

高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズ 技術検討書

- (3) 総合評価 -

2006年4月

日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門

FBR サイクル統括ユニット エネルギー評価グループ

高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズ 技術検討書

- (3) 総合評価 -

日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門 FBR サイクル統括ユニット
エネルギー評価グループ

(2006年4月20日受理)

本報告書は、FBR サイクル実用化戦略調査研究フェーズ（2001年度から2005年度の5ヶ年を対象）における総合評価として、FBR サイクル候補概念の多面的評価、FBR 移行シナリオ評価および投資対効果評価に関する手法の開発およびその評価結果について、技術検討書としてとりまとめたものである。

多面的評価については、フェーズ で検討した安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、技術的実現性の各視点に加え、新たに事業容易性や社会的受容性も評価視点に加えて検討した。これらの評価視点については、評価構造の策定・改良や定量評価に向けた効用関数の整備に取り組み、さらに各視点間の重み付け手法も開発した。以上の検討を通じて合計8つの視点から多面的評価を行い、FBR サイクルシステム候補概念の技術総括による総合的な評価結果の妥当性を確認した。また、FBR と他電源との多面的評価や、いくつかの評価視点に対して時系列評価も試みた。

FBR 導入シナリオ評価については、20の候補概念の中から代表的な概念を取り上げ、軽水炉ワンスルーやプルサーマルシナリオとの比較および多様なニーズに着目したサイクル諸量解析を通じて、FBR 導入の必要性と望ましい炉心の特徴などを明らかにした。

投資対効果評価については、代表的な概念に対して、FBR 移行シナリオに基づき、FBR 実用化によってもたらされる効果額を評価した。FBR を日本に導入した場合と、世界規模で導入した場合の評価を行い、FBR サイクル研究開発への投資が、FBR サイクル実用化によって大きな便益をもたらすという結果が得られた。

以上3つの評価の結果、ナトリウム冷却炉サイクル(MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造)が最も有望な概念であることを示した。

大洗研究開発センター(駐在)：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

本報告書には、電力会社9社、電源開発株式会社および日本原子力発電株式会社による電力共通研究の成果の一部、並びに、「日本原子力研究開発機構と財団法人電力中央研究所との原子力の研究開発に関する研究協力協定」に基づく共同研究の成果および電力中央研究所からの開示技術情報を含む。

Feasibility Study on Commercialization of Fast Reactor Cycle Systems
Technical Study Report of Phase II
- (3) Synthetic Evaluation for FR cycle -

Energy Strategy Evaluation Group

FBR Cycle Synthesis Unit
Advanced Nuclear System Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received April 20, 2006)

This technical study report presents the outline of the development and the results of Synthetic evaluation on the candidate Fast Reactor (FR) cycle system concepts, from study on the multidimensional evaluation, the scenario study on FR cycle deployment and the cost-benefit analysis on the candidate FR cycle system concepts in the synthetic evaluation (FY2001 through FY2005) of the phase II of the Japanese “Feasibility Study on Commercialization of Fast Reactor Cycle System (FS)”.

The characteristic evaluation extended to evaluate a new view point of Business Applicability and Public Acceptance besides the viewpoints of Safety, Economics, Environmental Burden Reduction, Efficient Utilization of Natural Uranium Resources, Nuclear Proliferation Resistance, and Technical Feasibility, which has been considered since the phase I of FS. As for the eight view points, hierarchy structures and utility functions for quantitative evaluation have been developed and/or improved. Furthermore, the methodology for weighing the viewpoints was also developed. The validity of the synthetic technological evaluation results for the candidate FR cycle system concepts was confirmed by the multidimensional evaluation from the eight viewpoints. The characteristic evaluation for alternative power supply systems and the time-series analysis were also evaluated in this report.

FR cycle deployment scenarios clarified the necessity of FR cycle deployment and the desirable core features, etc. through the long-term mass flow analysis, which includes comparison among other nuclear fuel cycle schemes and analysis for evaluating the degree to meet future needs, on the typical FR cycle systems.

The cost-benefit analysis based on the FR cycle deployment scenarios for the typical FR cycle system concepts were carried on two analysis cases, i.e., the FBR cycle R&D for the FS and the world deployment scale. The results showed that the investment for the R&D brings in good returns through the commercialized FR cycle deployment.

The results of the synthetic evaluation based on three evaluations showed that the “Sodium-cooled reactor + oxide fuel + advanced aqueous reprocessing + simplified pelletizing fuel fabrication method” cycle was the most promising concept.

Keywords : Multidimensional Evaluation, Scenario Study, Cost-benefit Analysis, Fast Reactor Cycle System, Feasibility Study on Commercialization of Fast Reactor Cycle System

This report is the outcome of collaborative study between JAEA and JAPC (that is the representative of 9 electric utilities, Electric Power Development Company and JAPC) in the accordance with ‘the agreement about the development of a commercial fast breeder reactor cycle system’. This report includes the outcome of collaborative study between JAEA and Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) in the accordance with ‘the agreement of collaboration about the research and development of atomic energy’ and the technical information offered by CRIEPI.

執筆者リスト

1. はじめに	小野 清
2. 総合評価の概要	川崎弘嗣
3. FBR サイクルの多面的評価 3.1 多面的評価手法 3.2 評価対象とした FBR サイクル概念 3.3 各視点からの評価結果 3.4 安全性を除く多面的評価結果 3.5 時系列評価 3.6 他電源との比較評価 3.7 多面的評価のまとめと今後の課題	塩谷洋樹、加藤篤志、向井田恭子 辺田正則*、安松直人* 塩谷洋樹、加藤篤志 塩谷洋樹、加藤篤志、向井田恭子、 大滝 明、川崎弘嗣 辺田正則*、安松直人*、久保田貞衣* 塩谷洋樹 塩谷洋樹、向井田恭子 辺田正則*、安松直人*、久保田貞衣* 塩谷洋樹、向井田恭子、辺田正則* 塩谷洋樹
4. 軽水炉サイクルから FBR サイクルへの 移行シナリオ評価 4.1 評価対象とした FBR サイクル概念 4.2 シナリオ評価の前提条件 4.3 各種移行シナリオのサイクル諸量解析結果 4.4 シナリオ評価のまとめと今後の課題	大滝 明 大滝 明、久保田貞衣* 大滝 明、久保田貞衣* 大滝 明
5. FBR サイクルの投資対効果評価 5.1 投資対効果評価手法 5.2 評価対象とした FBR サイクル概念 5.3 投資対効果評価の前提条件 5.4 投資対効果評価結果 5.5 投資対効果評価のまとめと今後の課題	川崎弘嗣 川崎弘嗣、安松直人* 向井田恭子、川崎弘嗣、安松直人* 川崎弘嗣、安松直人* 川崎弘嗣
6. おわりに	小野 清
付録1 FBR 候補概念および軽水炉 ・もんじゅの炉特性データ	大滝 明、久保田貞衣*
付録2 エネルギー経済モデルを用いた 投資対効果評価ツールの開発	塩谷洋樹
付録3 重み付けの結果詳細	塩谷洋樹

* 株式会社 NESI

目 次

1. はじめに	1
2. 総合評価の概要	2
3. FBR サイクルの多面的評価	6
3.1 多面的評価手法	6
3.1.1 多面的評価の概要	6
3.1.2 多重平衡サイクル評価手法	11
3.1.3 時系列評価手法	60
3.1.4 各評価視点の重み付け手法	70
3.2 評価対象とした FBR サイクル概念	124
3.3 各視点からの評価結果	126
3.3.1 安全性の評価結果	126
3.3.2 経済性評価結果	134
3.3.3 環境負荷低減性の評価結果	143
3.3.4 資源有効利用性の評価結果	147
3.3.5 核拡散抵抗性の評価結果	149
3.3.6 技術的実現性の評価結果	152
3.3.7 事業容易性の評価結果	155
3.3.8 社会的受容性の評価結果	157
3.4 安全性を除く多面的評価結果	202
3.4.1 普通の市民の視点間重み付け結果	202
3.4.2 電気事業者の重み付け結果	206
3.4.3 有識者の重み付け結果	208
3.4.4 重み付けを行わない評価結果(5評価視点からの評価)	209
3.4.5 重み付けを行わない評価結果(7評価視点からの評価)	212
3.4.6 重み付けを行った評価結果(5評価視点からの評価)	214
3.4.7 重み付けを行った評価結果(7評価視点からの評価)	216
3.5 時系列評価	251
3.5.1 時系列経済性評価結果	251
3.5.2 時系列環境負荷低減性評価結果	254
3.5.3 時系列多面的評価のまとめと課題	258
3.6 他電源との比較評価	300
3.6.1 比較評価の前提	300
3.6.2 他電源比較の評価視点	301
3.6.3 他電源比較の評価基準	309
3.6.4 他電源比較における入力値設定	310
3.6.5 他電源比較の評価結果と FBR サイクルの開発と導入による効果	318
3.6.6 他電源比較のまとめと今後の課題	322

3.7 多面的評価のまとめと今後の課題	357
4. 軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行シナリオ評価	366
4.1 評価対象とした FBR サイクル概念	366
4.2 シナリオ評価の前提条件	369
4.2.1 移行シナリオの基本的考え方	369
4.2.2 国内の想定条件	370
4.2.3 世界の想定条件	372
4.3 各種移行シナリオのサイクル諸量解析結果	385
4.3.1 日本国内を対象とした評価結果	385
4.3.2 世界全体を想定した評価結果	397
4.4 シナリオ評価のまとめと今後の課題	426
4.4.1 シナリオ評価のまとめ	426
4.4.2 今後の課題	427
5. FBR サイクルの投資対効果評価	429
5.1 投資対効果評価手法	429
5.1.1 投資対効果評価システムの概要	429
5.1.2 研究開発投資額の算出	430
5.1.3 導入効果の金銭価値換算	430
5.2 評価対象とした FBR サイクル概念	436
5.3 投資対効果評価の前提条件	440
5.4 投資対効果評価結果	455
5.4.1 日本国内を対象とした評価結果	455
5.4.2 世界を対象とした評価結果	466
5.5 投資対効果評価のまとめと今後の課題	470
6. おわりに	474
謝辞	477
付録1 FBR 候補概念および軽水炉・もんじゅの炉特性データ	付1-(1)
付録2 エネルギー経済モデルを用いた社会経済的影響評価手法の開発	付2-(1)
付録3 重み付けの結果詳細	付3-(1)

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Outline of synthetic evaluation for FR cycle	2
3. Multidimensional evaluation of FR cycle candidate concepts	6
3.1 Multidimensional evaluation methodology	6
3.1.1 Outline of multidimensional evaluation	6
3.1.2 Multiple equilibrium cycle assessment method	11
3.1.3 Time series assessment method	60
3.1.4 Methodology for weighting the viewpoints	70
3.2 Evaluated FR cycle systems in the candidate concepts	124
3.3 Results of each evaluation viewpoint	126
3.3.1 Results of safety	126
3.3.2 Results of economics	134
3.3.3 Results of environmental burden reduction	143
3.3.4 Results of efficient utilization of natural uranium resources	147
3.3.5 Results of nuclear proliferation resistance	149
3.3.6 Results of technical feasibility	152
3.3.7 Results of business applicability	155
3.3.8 Results of public acceptance	157
3.4 Results of multidimensional evaluation except for safety	202
3.4.1 Results of weighting the viewpoints based on responses from general people	202
3.4.2 Results of weighting the viewpoints based on responses from electricity utility companies	206
3.4.3 Results of weighting the viewpoints based on responses from intellectuals	208
3.4.4 Evaluation results without weighting (from 5 evaluation viewpoints)	209
3.4.5 Evaluation results without weighting (from 7 evaluation viewpoints)	212
3.4.6 Evaluation results with weighting (from 5 evaluation viewpoints)	214
3.4.7 Evaluation results with weighting (from 7 evaluation viewpoints)	216
3.5 Results of time series analysis	251
3.5.1 Results of economics based on time series assessment	251
3.5.2 Results of environmental burden reduction based on time series assessment	254
3.5.3 Conclusions and future works of time series assessment	258
3.6 Comparative evaluation of FR cycle and other power generation systems	300
3.6.1 Assumption of the evaluation	300
3.6.2 Evaluation viewpoints	301
3.6.3 Evaluation standards	309
3.6.4 Input data for the evaluation	310
3.6.5 Results of the evaluation and the benefits from development and deployment of FR cycle	318
3.6.6 Conclusions and future works	322

3.7 Summary and the future works of multidimensional evaluation	357
4. Scenario study of the transition from LWR to FR cycle	366
4.1 Evaluated FR cycle systems in the candidate concepts	366
4.2 Scenario analysis conditions	369
4.2.1 Basic methodology of the transition scenario	369
4.2.2 Assumption conditions of the domestic case	370
4.2.3 Assumption conditions of the world case	372
4.3 Results of scenario analysis of FR cycle systems	385
4.3.1 Results of scenario analysis of the domestic case	385
4.3.2 Results of scenario analysis of the world case	397
4.4 Summary and the future works of scenario study	426
4.4.1 Summary of scenario study	426
4.4.2 Future works	427
5. Cost-benefit analysis on FR cycle R&D	429
5.1 Evaluation method of cost-benefit analysis	429
5.1.1 Cost-benefit analysis system for FR cycle R&D	429
5.1.2 Estimated capital investment for FR cycle R&D	430
5.1.3 Cash-value change of the cost-benefit	430
5.2 Evaluated FR cycle systems in the candidate concepts	436
5.3 Cost-benefit analysis conditions	440
5.4 Results of cost-benefit analysis	455
5.4.1 Results of cost-benefit analysis of the domestic case	455
5.4.2 Results of cost-benefit analysis of the world case	466
5.5 Summary and the future works of cost-benefit analysis	470
6. Afterward	474
Acknowledgment	477
Appendix-1 Burn-up characteristics of FR cycle candidate concepts, LWR and Monju plant	付 1-(1)
Appendix-2 Development of socio-economic evaluation utilizing an energy-economic model	付 2-(1)
Appendix-3 Detail as a results of weighting the viewpoints	付 3-(1)

目 次

図 2.1 実用化戦略調査研究フェーズ における検討の流れ	4
図 2.2 総合評価の流れ	4
図 3.1.1 一般商品のマーケティング・マネジメント・プロセスの概要	73
図 3.1.2 FBR サイクルシステム内外における相互作用のイメージ	73
図 3.1.3 各時期における FBR サイクルと外部との相互作用	74
図 3.1.4 平衡期の FBR サイクルのイメージ	75
図 3.1.5 LLFP 核変換サイクルのイメージ	75
図 3.1.6 FBR サイクル候補概念の評価指標	76
図 3.1.7 多面的評価に用いる視点の改良	76
図 3.1.8 多面的評価の流れ	77
図 3.1.9 効用関数の設定例(定量評価の場合)	78
図 3.1.10 効用関数の設定例(段階的評価の場合)	78
図 3.1.11 安全性の評価構造	79
図 3.1.12 経済性に関する評価構造	79
図 3.1.13 発電原価試算における現在価値換算の概念	80
図 3.1.14 発電原価の効用関数	81
図 3.1.15 最大投資額の効用関数	81
図 3.1.16 投資回収期間の効用関数	82
図 3.1.17 定額法と定率法	83
図 3.1.18 廃棄物処理から処分までのフロー	83
図 3.1.19 発電原価算出フロー	85
図 3.1.20 現在価値換算の概念	86
図 3.1.21 リード・ラグタイム	86
図 3.1.22 燃料交換サイクルイメージ	87
図 3.1.23 燃料サイクル単価の計算フロー	89
図 3.1.24 キャッシュフロー	91
図 3.1.25 キャッシュフローと投資リスク指標	91
図 3.1.26 投資リスク評価フロー	92
図 3.1.27 環境負荷低減性の評価構造	94
図 3.1.28 廃棄物発生量(体積)の効用関数	94
図 3.1.29 廃棄物発生量(占有面積)の効用関数	95
図 3.1.30 放射性毒性の効用関数	95
図 3.1.31 核種移行による被ばくの効用関数	96
図 3.1.32 希釈放出による被ばくの効用関数	96
図 3.1.33 資源有効利用性の評価構造	97
図 3.1.34 資源節約性の効用関数	98
図 3.1.35 資源持続利用可能性の効用関数	98
図 3.1.36 核拡散抵抗性の評価構造	99

図 3.1.37	物質接近性の効用関数	100
図 3.1.38	必要原料量の効用関数	101
図 3.1.39	プルトニウム抽出時間の効用関数	101
図 3.1.40	プルトニウム抽出資金の効用関数	102
図 3.1.41	核兵器不適応性の効用関数	102
図 3.1.42	発熱量の効用関数	103
図 3.1.43	技術的実現性の評価構造	104
図 3.1.44	開発資金の効用関数	105
図 3.1.45	開発期間の効用関数	105
図 3.1.46	開発資金幅の効用関数	106
図 3.1.47	開発期間幅の効用関数	107
図 3.1.48	回答者の年代別・性別分布	109
図 3.1.49	回答者の地域別分布	109
図 3.1.50	事業容易性の評価構造	110
図 3.1.51	工事期間の効用関数(原子炉プラント)	111
図 3.1.52	工事期間の効用関数(燃料サイクルシステム)	112
図 3.1.53	時系列の評価のイメージ	118
図 3.1.54	時系列経済性評価手法のフロー	122
図 3.1.55	時系列放射性廃棄物発生量評価手法のフロー	122
図 3.1.56	時系列放射性廃棄物毒性評価ツールにおける計算イメージ	123
図 3.1.57	視点間重み付け設定のイメージ	123
図 3.3.1	経済性評価結果(効用値)	171
図 3.3.2	炉型及び燃料化学形態別の発電原価	171
図 3.3.3	炉型及び燃料形態別の資本費の内訳	172
図 3.3.4	炉型及び燃料形態別の運転費の内訳	173
図 3.3.5	炉型及び燃料形態別の燃料費の内訳	174
図 3.3.6	炉型及び燃料形態別の再処理単価、及び燃料製造単価	174
図 3.3.7	燃料サイクル技術別の発電原価(ナトリウム冷却炉)	175
図 3.3.8	燃料サイクル技術別の発電原価(ナトリウム冷却炉)	176
図 3.3.9	燃料サイクル技術間別発電原価(ナトリウム冷却炉)	177
図 3.3.10	燃料サイクル技術間別再処理・燃料製造単価(ナトリウム冷却炉)	177
図 3.3.11	資源重視型炉心、経済性重視型炉心別の発電原価	178
図 3.3.12	資源重視型炉心、経済性重視型炉心別の発電原価	179
図 3.3.13	炉型別の投資必要額	179
図 3.3.14	燃料サイクル技術別の投資必要額(ナトリウム冷却炉)	180
図 3.3.15	炉型別の投資回収期間	181
図 3.3.16	燃料サイクル技術別の投資回収期間(ナトリウム冷却炉)	181
図 3.3.17	環境負荷低減性の評価結果	182
図 3.3.18	環境負荷低減性の評価結果(乾式再処理 HLW 発生量変更)	183
図 3.3.19	環境負荷低減性(炉型別)の評価結果	184
図 3.3.20	環境負荷低減性(燃料サイクル別:50tHM/y)の評価結果	184

図 3.3.21	環境負荷低減性(燃料サイクル別:200tHM/y)の評価結果	185
図 3.3.22	環境負荷低減性(LLFP サイクル等)の評価結果	185
図 3.3.23	ウラン利用効率と資源持続利用可能性効用値との関係	186
図 3.3.24	天然ウラン 累積需要量と資源節約性効用値との関係	187
図 3.3.25	重み付けを考慮した資源有効利用性の評価結果	187
図 3.3.26	核拡散抵抗性の評価結果(全ケース)	188
図 3.3.27	核拡散抵抗性の評価結果(全ケース最下位指標)	189
図 3.3.28	核拡散抵抗性の評価結果(炉型別)	190
図 3.3.29	核拡散抵抗性の評価結果(燃料サイクル別:50tHM/y)	190
図 3.3.30	核拡散抵抗性の評価結果(燃料サイクル別:200tHM/y)	191
図 3.3.31	炉システム別の技術的実現性の評価結果	192
図 3.3.32	燃料サイクルシステム別の技術的実現性の評価結果	192
図 3.3.33	各候補概念に対する技術的実現性の評価結果	193
図 3.3.34	炉システム別の事業容易性の評価結果	193
図 3.3.35	燃料サイクルシステム別の事業容易性の評価結果	194
図 3.3.36	各候補概念に対する事業容易性の評価結果	194
図 3.3.37	炉システム技術に対するアンケート調査結果	195
図 3.3.38	サイクルシステム技術に対するアンケート調査結果(1/2)	196
図 3.3.39	炉システムに対する普通の市民の受容性	198
図 3.3.40	燃料サイクルシステムに対する普通の市民の受容性	198
図 3.3.41	社会的受容性の評価構造結果	199
図 3.3.42	炉システム別の社会的受容性の評価結果	200
図 3.3.43	燃料サイクルシステム別の社会的受容性の評価結果	201
図 3.4.1	単純平均から求めた評価視点の重み(5 評価視点)	223
図 3.4.2	5 評価視点の重みに関する度数分布	223
図 3.4.3	5 評価視点の重み付け結果	224
図 3.4.4	単純平均から求めた評価視点の重み(7 評価視点)	225
図 3.4.5	7 評価視点の重み付け結果	225
図 3.4.6	単純平均から求めた評価視点の重み(8 評価視点)	226
図 3.4.7	8 評価視点の重み付け結果	226
図 3.4.8	5 評価視点の重み(電気事業者)	227
図 3.4.9	7 評価視点の重み(電気事業者)	227
図 3.4.10	8 評価視点の重み(電気事業者)	227
図 3.4.11	5 評価視点の重み(各有識者および平均)	228
図 3.4.12	7 評価視点の重み(各有識者および平均)	229
図 3.4.13	8 評価視点の重み(各有識者および平均)	230
図 3.4.14	多面的評価の結果(5 評価視点:重み付けなし)	231
図 3.4.15	炉型別の評価結果(5 評価視点:重み付けなし)	232
図 3.4.16	炉型別の評価結果(5 評価視点:重み付けなし)	232
図 3.4.17	燃料サイクル別の評価結果(50tHM/y:5 評価視点:重み付けなし)	233
図 3.4.18	燃料サイクル別の評価結果(50tHM/y:5 評価視点:重み付けなし)	233

図 3.4.19	燃料サイクル別の評価結果(200tHM/y:5 評価視点:重み付けなし)	234
図 3.4.20	燃料サイクル別の評価結果(200tHM/y:5 評価視点:重み付けなし)	234
図 3.4.21	多面的評価の結果(7 評価視点:重み付けなし)	235
図 3.4.22	炉型別の評価結果(7 評価視点:重み付けなし)	236
図 3.4.23	炉型別の評価結果(7 評価視点:重み付けなし)	236
図 3.4.24	燃料サイクル別の評価結果(50tHM/y:7 評価視点:重み付けなし)	237
図 3.4.25	燃料サイクル別の評価結果(50tHM/y:7 評価視点:重み付けなし)	237
図 3.4.26	燃料サイクル別の評価結果(200tHM/y:7 評価視点:重み付けなし)	238
図 3.4.27	燃料サイクル別の評価結果(200tHM/y:7 評価視点:重み付けなし)	238
図 3.4.28	多面的評価の結果(5 評価視点:普通の市民平均の重み付け)	239
図 3.4.29	多面的評価の結果(5 評価視点:電気事業者平均の重み付け)	240
図 3.4.30	多面的評価の結果(5 評価視点:有識者平均の重み付け)	241
図 3.4.31	炉型別の評価結果(5 評価視点:普通の市民平均の重み付け)	242
図 3.4.32	燃料サイクル別の評価結果(50tHM/y:5 評価視点:普通の市民の重み付け)	242
図 3.4.33	燃料サイクル別の評価結果(200tHM/y:5 評価視点:普通の市民の重み付け)	243
図 3.4.34	各種の重みの違いによる多面的評価の結果(5 評価視点)	244
図 3.4.35	多面的評価の結果(7 評価視点:普通の市民平均の重み付け)	245
図 3.4.36	多面的評価の結果(7 評価視点:電気事業者平均の重み付け)	246
図 3.4.37	多面的評価の結果(7 評価視点:有識者平均の重み付け)	247
図 3.4.38	炉型別の評価結果(7 評価視点:普通の市民平均の重み付け)	248
図 3.4.39	燃料サイクル別の評価結果(50tHM/y:7 評価視点:普通の市民平均の重み付け)	248
図 3.4.40	燃料サイクル別の評価結果(200tHM/y:7 評価視点:普通の市民平均の重み付け)	249
図 3.4.41	各種の重みによる多面的評価の結果の違い(7 評価視点)	250
図 3.5.1	発電にかかる費用および平均発電原価の推移【ケース ~ 】(割引率 0%)	260
図 3.5.2	発電にかかる費用および平均発電原価の推移【ケース ~ 】(割引率 0%)	260
図 3.5.3	各シナリオの費用総額の比較(割引率 0%)	261
図 3.5.4	燃料製造費用推移【ケース 】(割引率 0%)	262
図 3.5.5	燃料製造費用推移【ケース 】(割引率 0%)	263
図 3.5.6	燃料製造費用推移【ケース 】(割引率 0%)	264
図 3.5.7	燃料製造費用推移【ケース 】(割引率 0%)	265
図 3.5.8	燃料製造費用推移【ケース 】(割引率 0%)	266
図 3.5.9	再処理費用推移【ケース 】(割引率 0%)	268
図 3.5.10	再処理費用推移【ケース 】(割引率 0%) (1/2)	269
図 3.5.11	再処理費用推移【ケース 】(割引率 0%) (1/2)	271
図 3.5.12	再処理費用推移【ケース 】(割引率 0%) (1/2)	273
図 3.5.13	再処理費用推移【ケース 】(割引率 0%)	276
図 3.5.14	発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース 】(割引率 0%)	276
図 3.5.15	発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース 】(割引率 0%)	277
図 3.5.16	発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース 】(割引率 0%)	278
図 3.5.17	発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース 】(割引率 0%)	279
図 3.5.18	発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース 】(割引率 0%)	280

図 3.5.19	発電にかかる費用の推移【ケース ~ 】(割引率2%)	281
図 3.5.20	発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース ~ 】(割引率2%)	282
図 3.5.21	各シナリオの費用総額の比較(割引率2%)	283
図 3.5.22	各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)	284
図 3.5.23	各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)	285
図 3.5.24	各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)	286
図 3.5.25	各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)	287
図 3.5.26	各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)	288
図 3.5.27	各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)	289
図 3.5.28	平均の廃棄物発生量(発生体積:ケース ~)	290
図 3.5.29	各年の廃棄物発生量(占有面積)の推移(ケース ~)	291
図 3.5.30	各年の廃棄物発生量(占有面積)の推移(ケース ~)	292
図 3.5.31	平均の廃棄物発生量(占有面積:ケース ~)	293
図 3.5.32	各年の廃棄物毒性の推移(ケース)	294
図 3.5.33	各年の廃棄物毒性の推移(ケース)	295
図 3.5.34	各年の廃棄物毒性の推移(ケース)	296
図 3.5.35	各年の廃棄物毒性の推移(ケース)	297
図 3.5.36	各年の廃棄物毒性の推移(ケース)	298
図 3.5.37	平均の廃棄物毒性(ケース ~)	299
図 3.6.1	他電源比較の評価視点	324
図 3.6.2	経済性評価構造	325
図 3.6.3	放射性物質の評価構造	326
図 3.6.4	環境影響低減性評価構造	326
図 3.6.5	資源供給性評価構造	327
図 3.6.6	社会不安定影響性評価構造	328
図 3.6.7	技術的実現性評価構造	329
図 3.6.8	心理的バイアス低減性評価構造	330
図 3.6.9	電力以外発生資源の評価構造	331
図 3.6.10	LNG の CIF 価格	337
図 3.6.11	天然ガスの将来価格見通し	337
図 3.6.12	石炭の将来価格見通し	338
図 3.6.13	わが国の原油 LNG、一般炭輸入価格推移	338
図 3.6.14	LNG の CIF 価格推移	340
図 3.6.15	ウラン価格の推移(単位:ドル/kgU)	341
図 3.6.16	ライフサイクル CO2 排出量(g - CO2 / kWh)	343
図 3.6.17	発電以外消費割合の推移(原油、天然ガス、石炭、ウラン)	344
図 3.6.18	世界の需給バランスから判断したリスクの比較(石油、天然ガス、石炭、ウラン)	345
図 3.6.19	大規模電源の特性	347
図 3.6.20	中小規模電源の特性	348
図 3.6.21	大規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け)	349
図 3.6.22	大規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け:普通の市民平均の重み)	350

図 3.6.23 大規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け:電気事業者平均の重み)	351
図 3.6.24 大規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け:有識者平均の重み)	352
図 3.6.25 中小規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け)	353
図 3.6.26 中小規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け:普通の市民平均の重み)	354
図 3.6.27 中小規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け:電気事業者平均の重み)	355
図 3.6.28 中小規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け:有識者平均の重み)	356
図 4.2.1 FBR サイクル移行シナリオのストーリーラインと主な検討事項	374
図 4.2.2 国内の原子力設備容量の想定条件	375
図 4.2.3 リファレンス条件の原子力発電設備容量と原子炉リプレースの想定条件	376
図 4.2.4 世界の原子力発電設備容量の想定条件	382
図 4.3.1 基本ケースの FBR 導入量	400
図 4.3.2 2030 年導入開始の FBR 導入量	400
図 4.3.3 基本ケースの天然ウラン需要量	401
図 4.3.4 2030 年導入開始の天然ウラン需要量	401
図 4.3.5 基本ケースの FBR 再処理設備容量	402
図 4.3.6 2030 年導入開始の FBR 再処理設備容量	402
図 4.3.7 基本ケースの FBR 再処理設備稼働率	403
図 4.3.8 2030 年導入開始の FBR 再処理設備稼働率	403
図 4.3.9 基本ケースの高レベル廃棄物中マイナーアクチニド重量	404
図 4.3.10 2030 年導入の高レベル廃棄物中マイナーアクチニド重量	404
図 4.3.11 リファレンス条件における各シナリオの FBR 導入量	405
図 4.3.12 CO2 制約条件における各シナリオの FBR 導入量	405
図 4.3.13 水素製造条件の FBR 導入量	406
図 4.3.14 ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心体系の各シナリオにおける天然ウラン累積需要量	407
図 4.3.15 ナトリウム冷却金属燃料炉心体系の各シナリオにおける天然ウラン累積需要量	407
図 4.3.16 濃縮テイルウラン濃度の天然ウラン節約効果	408
図 4.3.17 テイルウラン濃度と回収ウラン再濃縮利用における天然ウラン累積需要量の関係	409
図 4.3.18 軽水炉使用済燃料貯蔵量	410
図 4.3.19 軽水炉再処理量	410
図 4.3.20 シナリオ想定条件と FBR 炉心燃料のマイナーアクチニド濃度	411
図 4.3.21 ナトリウム冷却金属燃料炉心の原子力発電構成	413
図 4.3.22 ナトリウム冷却混合酸化物燃料炉心の原子力発電構成	413
図 4.3.23 ナトリウム冷却金属燃料炉心の原子力発電構成	414
図 4.3.24 ナトリウム冷却混合酸化物燃料炉心の原子力発電構成	414
図 4.3.25 高速増殖炉の導入特性	415
図 4.3.26 天然ウラン累積需要量	415
図 4.3.27 移行期間短縮化シナリオの原子力発電設備計画の想定条件	416
図 4.3.28 2050 年導入ケースの FBR 移行特性	417
図 4.3.29 2050 年導入ケースの天然ウラン累積需要量	417
図 4.3.30 2050 年導入ケースの再処理状況	418

図 4.3.31	2050 年導入ケースの軽水炉使用済燃料貯蔵量(冷却中の使用済燃料を除く)	418
図 4.3.32	2030 年導入ケースの FBR 移行特性	419
図 4.3.33	2030 年導入ケースの天然ウラン累積需要量	419
図 4.3.34	2030 年導入ケースの再処理状況	420
図 4.3.35	2030 年導入ケースの軽水炉使用済燃料貯蔵量(冷却中の使用済燃料を除く)	420
図 4.3.36	直接処分シナリオの原子力発電設備構成	421
図 4.3.37	直接処分シナリオの使用済燃料貯蔵量	421
図 4.3.38	直接処分シナリオの天然ウラン累積需要量	422
図 4.3.39	世界シナリオの代表的な FBR 導入量	423
図 4.3.40	テイルウラン濃度の天然ウラン節約効果(FBR 導入開始 2050 年)	423
図 4.3.41	FBR 移行シナリオの天然ウラン累積需要量	424
図 4.3.42	炉外サイクル時間短縮化の FBR 導入速度への影響(FBR 導入開始 2050 年)	425
図 4.3.43	炉外サイクル時間短縮化による天然ウラン節約効果(FBR 導入開始 2050 年)	425
図 5.1.1	FBR 研究開発投資効果の評価概念図	433
図 5.1.2	FBR 研究開発による効果の対象範囲	434
図 5.3.1	日本導入ケースの炉型別 FBR 導入量の推移(2050 年 FBR 導入)	446
図 5.3.2	日本導入ケースの導入年及び最大原子力発電設備容量の推移(ケース)	447
図 5.3.3	FBR 導入算定の基とした世界の原子力発電電力量	447
図 5.3.4	世界解析ケースの FBR 導入量の推移	447
図 5.3.5	天然ウラン資源量と生産コスト区分の 3 点から求めた線形近似式	448
図 5.3.6	天然ウラン累積需要量に伴う天然ウラン価格の推移	448
図 5.3.7	日本の将来軽水炉発電原価の推移(ケース)	449
図 5.3.8	世界の将来軽水炉発電原価推計の手順	450
図 5.3.9	将来軽水炉発電原価の推移(ケース 推計値)	450
図 5.3.10	日本の FBR 発電原価(2050 年)	451
図 5.3.11	FBR 発電原価の推移(2050 年導入)	451
図 5.3.12	日本の FBR 発電原価の推移(ケース)	451
図 5.3.13	世界の FBR 発電原価推計の手順	452
図 5.3.14	世界の FBR 発電原価(2050 年)	452
図 5.3.15	世界の FBR 発電原価の推移	453
図 5.3.16	過去の天然ウラン価格の推移	453
図 5.4.1	日本国内を対象とした各炉型のリファレンスケース評価結果の比較	456
図 5.4.2	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移	456
図 5.4.3	ナトリウム冷却炉金属燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移	457
図 5.4.4	鉛 - ビスマス冷却炉窒化物燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移	457
図 5.4.5	ヘリウム冷却炉窒化物燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移	458
図 5.4.6	水冷却炉 MOX 燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移	458
図 5.4.7	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の割引率による効果の違い(設計値による発電原価)	459
図 5.4.8	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の割引率による効果の違い(軽水炉同等の発電原価)	460
図 5.4.9	ナトリウム冷却炉金属燃料の割引率による効果の違い	460

図 5.4.10	鉛 - ビスマス冷却炉窒化物燃料の割引率による効果の違い	460
図 5.4.11	ヘリウム冷却炉窒化物燃料の割引率による効果の違い	461
図 5.4.12	水冷却炉 MOX 燃料の割引率による効果の違い	461
図 5.4.13	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の発電原価の設定による効果の違い	462
図 5.4.14	ナトリウム冷却炉金属燃料の発電原価の設定等による効果の違い	463
図 5.4.15	鉛 - ビスマス冷却炉窒化物燃料の発電原価の設定等による効果の違い	463
図 5.4.16	ヘリウム冷却炉窒化物燃料の発電原価の設定等による効果の違い	464
図 5.4.17	水冷却炉 MOX 燃料の発電原価の設定等による効果の違い	464
図 5.4.18	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の感度解析結果	465
図 5.4.19	世界を対象とした各炉型のリファレンスケース評価結果の比較	466
図 5.4.20	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料(高増殖)を世界に導入した場合の効果推移	467
図 5.4.21	ナトリウム冷却炉金属燃料(高増殖)を世界に導入した場合の効果推移	467
図 5.4.22	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料(高増殖)の割引率による効果の違い	468
図 5.4.23	ナトリウム冷却炉金属燃料(高増殖)の割引率による効果の違い	468
図 5.4.24	ナトリウム冷却炉 MOX 燃料(高増殖)の感度解析結果(世界導入ケース)	469
図 5.4.25	ナトリウム冷却炉金属燃料(高増殖)の感度解析結果(世界導入ケース)	469
付図 2.3.1	一般均衡モデルの概要	付 2-(3)
付図 2.3.2	一般均衡型モデルにおける技術選択(電源選択)の記述	付 2-(4)
付図 2.4.1	GTAP モデルの全体構造	付 2-(5)
付図 2.4.2	GTAP モデルにおける企業の生産構造	付 2-(6)
付図 2.4.3	GTAP-E モデルの生産構造	付 2-(7)
付図 2.5.1	Technology Bundle を活用した電源構成評価	付 2-(8)
付図 2.5.2	動学的な制約条件の反映方法	付 2-(9)
付図 2.6.1	FBR 導入による主要な経済波及経路	付 2-(11)
付図 2.6.2	貿易を介した経済波及効果	付 2-(12)
付図 3.1.1	「チェック用設問」への回答状況について	付 3-(19)
付図 3.1.2	有向グラフ表現と一対比較の矛盾	付 3-(20)
付図 3.1.3	主成分の成分行列の見方(第 1 主成分を中心)	付 3-(22)
付図 3.1.4	問 1 の主成分の成分行列(1/2)	付 3-(23)
付図 3.1.5	問 1 の主成分の成分行列(2/2)	付 3-(24)
付図 3.1.6	単純平均から求めた評価視点の重み(5 評価視点)	付 3-(25)
付図 3.1.7	5 評価視点の重みに関する度数分布	付 3-(25)
付図 3.1.8	複数の集団分布からなる重みの度数分布イメージ	付 3-(26)
付図 3.1.9	各クラスターの重み中心(クラスター中心)	付 3-(27)
付図 3.1.10	各クラスター別「回答者プロフィール」、「将来社会像」回答結果平均値	付 3-(28)
付図 3.1.11	5 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:6)	付 3-(29)
付図 3.1.12	5 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:5)	付 3-(30)
付図 3.1.13	5 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:4)	付 3-(31)

付図 3.1.14	5 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:3)	付 3-(32)
付図 3.1.15	各クラスターにおける最大の重みとクラスター生成数との関係	付 3-(35)
付図 3.1.16	5 評価視点の重み付け結果	付 3-(36)
付図 3.1.17	エネルギー関連業種に勤務する 112 名の重み付け結果平均	付 3-(37)
付図 3.1.18	単純平均から求めた評価視点の重み(7 評価視点)	付 3-(39)
付図 3.1.19	各クラスターの重み中心(クラスター中心:7 評価視点)	付 3-(40)
付図 3.1.20	7 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:8)	付 3-(41)
付図 3.1.21	7 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:7)	付 3-(42)
付図 3.1.22	7 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:6)	付 3-(43)
付図 3.1.23	7 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:5)	付 3-(44)
付図 3.1.24	各クラスターにおける最大の重みとクラスター生成数との関係(7 評価視点)	付 3-(47)
付図 3.1.25	7 評価視点の重み付け結果	付 3-(47)
付図 3.1.26	単純平均から求めた評価視点の重み(8 評価視点)	付 3-(48)
付図 3.1.27	各クラスターの重み中心(クラスター中心:8 評価視点)	付 3-(49)
付図 3.1.28	8 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:9)	付 3-(50)
付図 3.1.29	8 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:8)	付 3-(51)
付図 3.1.30	8 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:7)	付 3-(52)
付図 3.1.31	8 評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:6)	付 3-(53)
付図 3.1.32	各クラスターにおける最大の重みとクラスター生成数との関係(8 評価視点)	付 3-(56)
付図 3.1.33	8 評価視点の重み付け結果	付 3-(57)
付図 3.2.1	5 評価視点の重み(電気事業者)	付 3-(60)
付図 3.2.2	7 評価視点の重み(電気事業者)	付 3-(60)
付図 3.2.3	8 評価視点の重み(電気事業者)	付 3-(61)
付図 3.2.4	電気事業者の将来社会像に関する回答結果	付 3-(62)
付図 3.3.1	5 評価視点の重み(各有識者および平均)	付 3-(64)
付図 3.3.2	7 評価視点の重み(各有識者および平均)	付 3-(65)
付図 3.3.3	8 評価視点の重み(各有識者および平均)	付 3-(66)
付図 3.3.4	有識者の将来社会像に関する回答結果	付 3-(67)

表 目 次

表 2.1 フェーズ 最終評価における候補概念	5
表 3.1.1 経済性の評価基準	80
表 3.1.2 発電原価の構成費用(19)	82
表 3.1.3 廃棄物単価	84
表 3.1.4 FBR サイクル発電原価評価設定値	87
表 3.1.5 燃料サイクル単価試算条件	88
表 3.1.6 サイクル施設の廃止時の廃棄物に関する換算係数	89
表 3.1.7 各費用の評価基準年	90
表 3.1.8 補正対象データと建設工事費デフレーター(電力)	90
表 3.1.9 投資リスク評価条件	93
表 3.1.10 資源有効利用性の評価基準	97
表 3.1.11 核拡散抵抗性の評価基準	99
表 3.1.12 核物質形状の効用値	100
表 3.1.13 技術的実現性の評価指標	104
表 3.1.14 開発資金幅の評価基準(中間評価時)	106
表 3.1.15 開発期間幅の評価基準(中間評価時)	107
表 3.1.16 開発手段多様性の評価基準	108
表 3.1.17 システム特性影響	108
表 3.1.18 事業容易性の評価基準	110
表 3.1.19 必要インフラの評価基準	111
表 3.1.20 工事人員の評価基準	112
表 3.1.21 運転操作容易性の評価基準	113
表 3.1.22 輸送容易性に関する評価基準	113
表 3.1.23 保守補修容易性に関する評価基準	114
表 3.1.24 廃止容易性に関する評価基準	114
表 3.1.25 増殖比変更の評価基準	115
表 3.1.26 MA 燃焼の評価基準	115
表 3.1.27 LLFP 分離・核変換	116
表 3.1.28 大型化容易性の評価基準	116
表 3.1.29 小型容易性の評価基準	117
表 3.1.30 時系列評価の評価ケース	119
表 3.1.31 時系列評価における FBR サイクル関連施設の設定	120
表 3.1.32 時系列評価における LWR サイクル関連施設の設定	121
表 3.2.1 多面的評価の対象ケース(全 20 ケース)	125
表 3.3.1 ナトリウム冷却炉の安全性評価結果(1/3)	160
表 3.3.2 鉛ピスマス冷却炉の安全性評価結果(1/2)	163
表 3.3.3 ヘリウムガス冷却炉の安全性評価結果(1/2)	165
表 3.3.4 水冷却炉の安全性評価結果	167

表 3.3.5	先進湿式再処理法 / 簡素化ペレット燃料製造法の安全性評価結果	168
表 3.3.6	酸化物電解再処理法 / 振動充填燃料製造法の安全性評価結果	169
表 3.3.7	金属電解再処理法 / 射出鋳造燃料製造法の安全性評価結果	170
表 3.3.8	各炉型の建設単価達成目標に対する割合	172
表 3.3.9	各炉型の稼働率及び1タービンあたりのモジュール数	173
表 3.3.10	各炉型の平均燃焼度	175
表 3.3.11	ナトリウム冷却炉燃料サイクルの HLW 固化体発生量と発熱比(経済性重視型炉心)	176
表 3.3.12	各評価概念の全炉心取出平均燃焼度及び増殖比	178
表 3.3.13	各炉型のプロジェクト期間	180
表 3.3.14	評価対象概念と資源有効利用に係る計算結果	186
表 3.3.15	各候補概念の開発資金の比較	191
表 3.3.16	炉システム及びサイクルシステムの総合態度に対する重回帰分析結果	199
表 3.3.17	FBR サイクル候補概念に対する社会的受容性評価結果	200
表 3.4.1	アンケート回答者属性(男女 / 年齢)	220
表 3.4.2	アンケート回答者属性(居住都道府県別)	221
表 3.4.3	アンケート回答者属性(職種別)	222
表 3.4.4	アンケート回答者属性(業種別)	222
表 3.5.1	各シナリオの平均発電原価及び平均燃料サイクル単価の比較(割引率 0%)	261
表 3.5.2	各シナリオの平均発電原価及び平均燃料サイクル単価の比較(割引率 2%)	283
表 3.6.1	他電源比較の評価対象電源	324
表 3.6.2	経済性下位指標の重み付け	325
表 3.6.3	放射性物質の下位指標重み付け	326
表 3.6.4	天然ガスの発電以外の用途	327
表 3.6.5	資源供給性の下位指標の重み付け	327
表 3.6.6	社会不安定影響性の下位指標の重み	328
表 3.6.7	技術的実現性の下位指標重み	329
表 3.6.8	心理的バイアス低減性の下位指標の重み	330
表 3.6.9	事業容易性の下位指標重み	331
表 3.6.10	大規模 / 中小規模の評価基準について(同一基準か否か)	332
表 3.6.11	定量評価指標の満足値設定(大規模電源比較)	332
表 3.6.12	定量評価指標の満足値設定(中小規模電源比較)	333
表 3.6.13	他電源比較の段階的(定性)評価における評価基準	334
表 3.6.14	発電所建設単価の事例	335
表 3.6.15	総合エネルギー調査会による LNG 火力発電原価試算結果	335
表 3.6.16	主要発電技術等の特性データ	336
表 3.6.17	エネルギーショック時の原油 LNG および石炭価格上昇率	339
表 3.6.18	1年ごとの LNG の CIF 価格変動幅(最高 - 最低)	340
表 3.6.19	投資回収年数の設定	342
表 3.6.20	大気汚染物質の排出原単位推定	343
表 3.6.21	現行火力発電の SO _x 、NO _x 排出原単位推定値	343
表 3.6.22	各種電源用燃料に関する必要資源量の算出	344

表 3.6.23 エリア別の政治経済リスク指標	345
表 3.6.24 わが国のエリア別輸入依存度から見たリスクの比較	346
表 4.1.1 FBR サイクル実用化戦略調査研究フェーズ の検討概念	367
表 4.1.2 将来概念のグルーピングとシステム構成	368
表 4.2.1 代表的なシステムデータの想定条件	377
表 4.2.2 国内シナリオ評価用炉心特性データ一覧(1/2)	378
表 4.2.3 国内シナリオ評価用炉心特性データ一覧(2/2)	379
表 4.2.4 国内の移行シナリオ解析ケース一覧	380
表 4.2.5 世界全体を対象とした FBR サイクル移行特性評価用炉心特性データ	381
表 4.2.6 世界全体の移行シナリオ解析ケース一覧	383
表 4.2.7 世界を対象とした FBR 移行シナリオ解析の前提条件	384
表 4.3.1 各種移行シナリオにおける軽水炉共存期間の一覧	406
表 4.3.2 高増殖低インベントリ型炉心の主要仕様、特性及び性能(ナトリウム冷却炉)	412
表 4.3.3 直接処分シナリオの天然ウラン需要見通し	422
表 4.3.4 FBR 移行シナリオの天然ウラン需要見通し	424
表 5.1.1 FS 中間評価と最終評価との効果の比較	434
表 5.1.2 最終評価における効果の範囲と内容	435
表 5.2.1 投資対効果の解析ケース	437
表 5.2.2 投資対効果の日本導入解析ケース	438
表 5.2.3 投資対効果の世界導入解析ケース	439
表 5.3.1 主な前提条件一覧	446
表 5.3.2 天然ウラン資源量と生産コストの関係(Uranium 2003 年度版)	448
表 5.3.3 2050 年軽水炉発電原価	449
表 5.3.4 日本と世界の将来軽水炉発電原価の比率(割引率 5%)	452
表 5.3.5 エネルギーショック時のウラン価格増加割合	454
付表 1.1 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 1-1~2-1)	付 1-(1)
付表 1.2 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 2-2~4-1)	付 1-(2)
付表 1.3 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 4-2~6-1)	付 1-(3)
付表 1.4 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 6-2~8-1)	付 1-(4)
付表 1.5 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 8-2~10)	付 1-(5)
付表 1.6 軽水炉およびもんじゅの炉特性データ	付 1-(6)
付表 2.5.1 モデルの地域区分産業区分の設定	付 2-(9)
付表 2.6.1 改良した GTAP モデルによって評価可能な諸量	付 2-(10)
付表 3.1.1 アンケート回答者属性(男女/年齢)	付 3-(16)
付表 3.1.2 アンケート回答者属性(居住都道府県別)	付 3-(17)

付表 3.1.3 アンケート回答者属性(職種別)	付3-(18)
付表 3.1.4 アンケート回答者属性(業種別)	付3-(18)
付表 3.1.5 「サイクル」の個数別回答者数	付3-(20)
付表 3.1.6 問1への各回答の相関行列	付3-(21)
付表 3.1.7 問1の主成分分析結果	付3-(21)
付表 3.1.8 問1への回答の主成分の解釈	付3-(22)
付表 3.1.9 5評価視点間の重みによる回答者のクラスター分析結果	付3-(26)
付表 3.1.10 5評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:6)	付3-(28)
付表 3.1.11 5評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:5)	付3-(29)
付表 3.1.12 5評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:4)	付3-(30)
付表 3.1.13 5評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:3)	付3-(31)
付表 3.1.14 クラスター生成数が異なる場合における初期クラスターの分割統合	付3-(33)
付表 3.1.15 初期(7分類)クラスターの結合性と独立性	付3-(34)
付表 3.1.16 各クラスターが重視する評価視点	付3-(34)
付表 3.1.17 各クラスターに含まれるエネルギー関連業種に勤務する回答者の割合	付3-(37)
付表 3.1.18 「矛盾を含む回答」等が重み付けに及ぼす影響	付3-(38)
付表 3.1.19 評価視点間の重みによる回答者の初期クラスター分析結果	付3-(39)
付表 3.1.20 7評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:8)	付3-(41)
付表 3.1.21 7評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:7)	付3-(42)
付表 3.1.22 7評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:6)	付3-(43)
付表 3.1.23 7評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:5)	付3-(44)
付表 3.1.24 初期クラスターの分割統合(7評価視点)(1/2)	付3-(45)
付表 3.1.25 初期クラスターの分割統合(7評価視点)(2/2)	付3-(46)
付表 3.1.26 各クラスターが重視する評価視点(7評価視点)	付3-(46)
付表 3.1.27 8評価視点間の重みによる回答者のクラスター分析結果	付3-(49)
付表 3.1.28 8評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:9)	付3-(50)
付表 3.1.29 8評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:8)	付3-(51)
付表 3.1.30 8評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:7)	付3-(52)
付表 3.1.31 8評価視点重みのクラスター分析結果(クラスター数:6)	付3-(53)
付表 3.1.32 初期クラスターの分割統合(8評価視点)(1/2)	付3-(54)
付表 3.1.33 初期クラスターの分割統合(8評価視点)(2/2)	付3-(55)
付表 3.1.34 各クラスターが重視する評価視点(8評価視点)	付3-(55)
付表 3.3.1 有識者アンケート結果に見るメッセージ	付3-(68)

1. はじめに

1999年7月に開始した高速増殖炉(以下FBRと表記)サイクル実用化戦略調査研究(以下FSと表記)では、2001年3月までのフェーズにおいて多様な炉型(冷却材としてナトリウム、鉛-ビスマス、ガス、水など)、燃料形態(酸化物、窒化物、金属など)、再処理方法(湿式法、乾式法など)、燃料製造方法(ペレット法、振動充填法、鑄造法など)について幅広い検討を行い、各候補概念の特徴を把握した。

その後、2001年4月から5ヵ年計画で始まったフェーズにおいては、フェーズの結果を受けて原子炉と燃料サイクルの整合性を考慮して、数多くのFBRサイクル候補概念を対象に総合評価(多面的評価、FBRサイクル導入シナリオ評価、および投資対効果評価などの各特性評価から構成)を行い、2005年度には幾つかの有望なFBRサイクル概念を抽出した。

本報告書は、2003年度に行った中間とりまとめ以降、2004年度から2005年度にかけて行ったフェーズの最終評価における、FBRサイクル候補概念の多面的評価、導入シナリオ評価および投資対効果評価に関する手法の開発およびその評価結果について報告するものである。

多面的評価については、フェーズ中間とりまとめまでに開発した安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、技術的実現性、社会的受容性の7つの視点を再整理し、新たに事業容易性を独立させ、これら指標の構造の改良および効用関数の整備等を実施した。8つの視点は安全性から順に技術的実現性までの6つの視点を基本とし、社会的受容性と事業容易性は参考的な視点として位置付けた。以上、8つの視点から多面的評価を行い、20ケースのFBRサイクル候補概念の特性を明らかにした。また、今回初めて経済性、環境負荷低減性の2つの指標について時系列評価を行うとともに、中間とりまとめ時に引き続きFBRと他電源との間で定量的な多面的評価も試みた。

FBR導入シナリオ評価については、候補概念の中から代表的な5つの概念を取り上げ、軽水炉ワンズスルーやプルサーマルシナリオとの比較も含めてFBR導入の必要性をサイクル諸量の観点から明らかにした。

投資対効果評価については、日本および世界を対象に評価を実施した。投資額に関しては、上記多面的評価の中の技術的実現性のデータを参考にした。また、FBRサイクルの発電コストについては、「FSの設計に基づく評価値」、「2050年でLWRと同等の発電コスト」、および「FBR建設費50%増」の3ケースについて評価を試みている。

本報告書の第2章では総合評価の概要を紹介し、第3章では多面的評価の手法および結果についてとりまとめた。さらに、第4章では導入シナリオ評価の結果について、第5章では投資対効果評価に関する結果をとりまとめた。

2. 総合評価の概要

実用化戦略調査研究においては、有望なFBRサイクル候補概念を明確にし、FBR研究開発計画の策定を行うこととしている。フェーズⅠでは、各FBRサイクル候補概念の特性評価を把握する観点から「多面的評価」を、FBRサイクルを実際に導入した場合の特性、効果を把握する観点から「FBRサイクル移行シナリオ評価」および「投資対効果評価」の合計3つの評価手法を取り入れて総合評価を進めた¹⁾。フェーズⅡ中間評価においても、これら3つの評価手法を基本とし、さらにFBRサイクルと他電源（軽水炉や火力など）の多面的な比較・評価についても実施した²⁾。フェーズⅢ最終評価も基本的に3つの評価手法により総合評価を実施し、FBRサイクルと他電源との間の多面的評価や、経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性の時系列評価も加え、有望概念の明確化に資するために客観的な視点から定量的な評価を行った。

実用化戦略調査研究フェーズⅢの検討全体の流れを図 2.1 に示す。フェーズⅢでは最も優れた概念を選択し重点的に研究開発を進める方針を築くために、技術総括を実施した。まず、わが国の数十年後のエネルギー需給を取り巻く社会環境を考慮して、安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、および核拡散抵抗性の5つの観点について、開発目標ならびに具体的な設計要求を設定する。次に、システム設計研究と要素技術開発研究を通して、FBRプラントシステムと燃料サイクルシステムについてシステム候補技術を抽出し、個々の候補技術を対象に技術総括（5つの観点からの設計要求に対する適合可能性および技術的実現性の評価）を実施する。FBRプラントシステム及び燃料サイクルシステムの技術総括を踏まえて、それぞれに抽出された有望な概念を組み合わせ、FBRサイクルシステムとして有望な概念を構築し、それらの概念について、開発目標への適合可能性、技術的実現性などの観点から総合的な技術評価を行う。ここで多面的評価は、FBRシステムと燃料サイクルシステムとの組合せの候補について、分析的アプローチにより多面的な視点（開発目標への適合可能性及び技術的実現性の5視点）に対する目標適合度の定量評価を行い、相対的に比較評価することによって、FBRサイクルの技術総括による総合的な評価結果を確認する参考データとするものである。

総合評価は、図 2.2 に示すように、これら FBRプラントシステムと燃料サイクルシステムについて抽出した個々の候補技術を組み合わせ構築した代表的な 20 ケースの「FBR サイクル候補概念」（表 2.1 参照）を対象に多面的評価を実施し、目標への適合度を分析・数値化して定量評価する。また、総合的な目標適合度の高いと考えられる概念を中心に FBR 移行シナリオ評価、投資対効果評価を行い、FBR サイクルシステムに客観的な視点からの評価を与え、有望概念の明確化に資する。

多面的評価では、20 ケースの FBR サイクル候補概念を対象に、安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、および核拡散抵抗性の5つの開発目標に対する適合度の評価に、技術的実現性を加え、さらに参考的に事業容易性と社会的受容性の2つを加えた合計8つの視点から達成度評価を行い、実用化候補概念の特徴を明確にする。評価を8視点とすることにより、技術総括における5視点の評価に加え、より広い視点で総合的な評価を実施する。各視点は、基準達成型評価の安全性、定量評価の経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、および専門家等の判断(定性評価)と定量評価を組み合わせた核拡散抵抗性、技術的実現性、事業容易性、社会的受容性の大きく3種類に分類され、各々最高3次までの下位指標（階層構造）を有する。定量評価においては、効用関数を用いて最下層の指標を0～1.0の効用値に変換し、視点間に将来社会の価値観を想定した重み付けを行い、それらの効用値の総和を算出

して比較評価した。

FBR サイクル移行シナリオ評価（サイクル諸量評価）では、代表的な FBR サイクル候補概念を対象に、実用化後 100～200 年程度にわたって FBR およびサイクル施設の導入戦略を構築し、天然ウラン累積需要量、使用済燃料貯蔵量などのサイクル諸量上の特徴を把握することにより、軽水炉から FBR への移行におけるニーズに対する適合性を明確にする。さらに、軽水炉シナリオとの比較や水素製造シナリオの導入、世界規模の FBR サイクル導入シナリオも考慮するなど、幅広い評価を実施した。

投資対効果評価は、多面的評価および FBR サイクル移行シナリオ評価とともに、FBR サイクル導入効果を把握する側面の一つとして実施し、総合評価の一翼を担う。FBR サイクルよりもたらされる効果を様々な角度から経済的価値に換算し、研究開発費との比較により投資対効果を評価するシステムを用いて、FBR サイクル候補概念間の評価に加え、世界規模の FBR サイクル導入シナリオについても投資対効果評価を実施した。

上記 3 種類の評価は、主に 20 ケースの FBR サイクル候補概念間や代表的な概念間の比較が中心であるが、さらに、他電源と比較して FBR サイクルの電源としての特徴を把握するために、代表的な FBR サイクル候補概念と軽水炉ワンズスルーや火力発電などの各種電源との多面的な比較評価を実施した。評価は、FBR サイクル候補概念間の多面的評価とほぼ同様の手法を用い、経済性、資源供給性、放射性廃棄物、環境負荷低減性、核拡散抵抗性、技術的実現性、心理的バイアス低減性、事業容易性の 8 つの視点から行った。また、経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性の 3 つの指標について、FBR サイクルに関する時系列の特性を多面的な視点から評価し、移行期を含む FBR サイクル候補概念間の評価を実施した。

以上、各システム候補技術を対象とした技術総括の結果および FBR サイクル候補概念を対象とした総合評価の結果を踏まえて、有望な FBR サイクル候補概念を明確にし、今後の FBR サイクルの研究開発計画の策定に資する。

[参考文献]

- 1) 篠田佳彦 他：“総合評価技術検討書 - 実用化戦略調査研究（フェーズ ）成果報告 - ”，JNC TN9400 2001-061 (2001)
- 2) 塩谷洋樹 他：“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究（フェーズ ） 中間報告 - 総合評価技術検討書 - ”，JNC TN9400 2004-052 (2004)

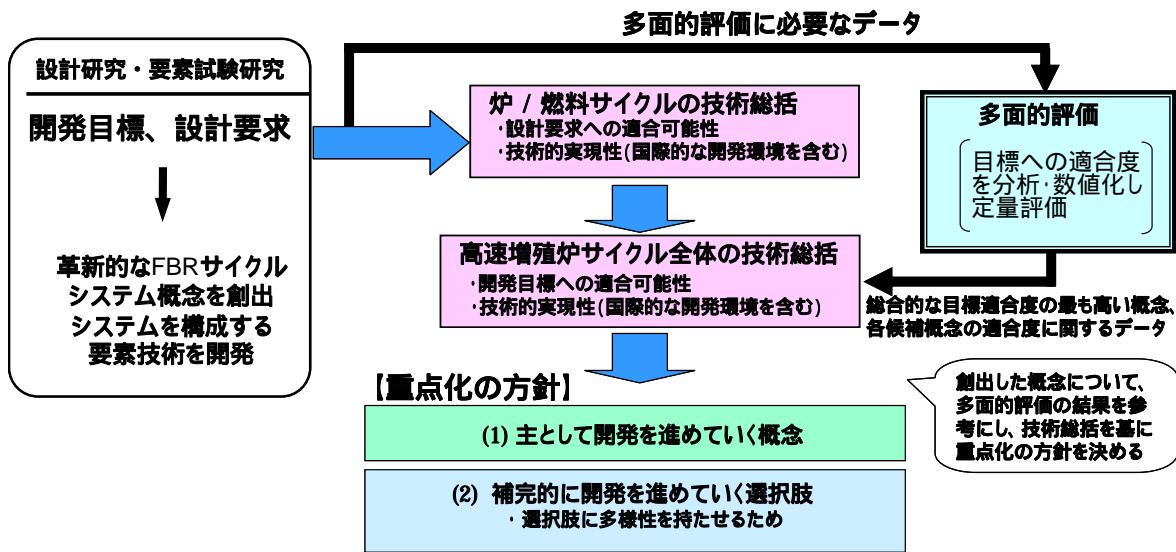


図 2.1 実用化戦略調査研究フェーズにおける検討の流れ

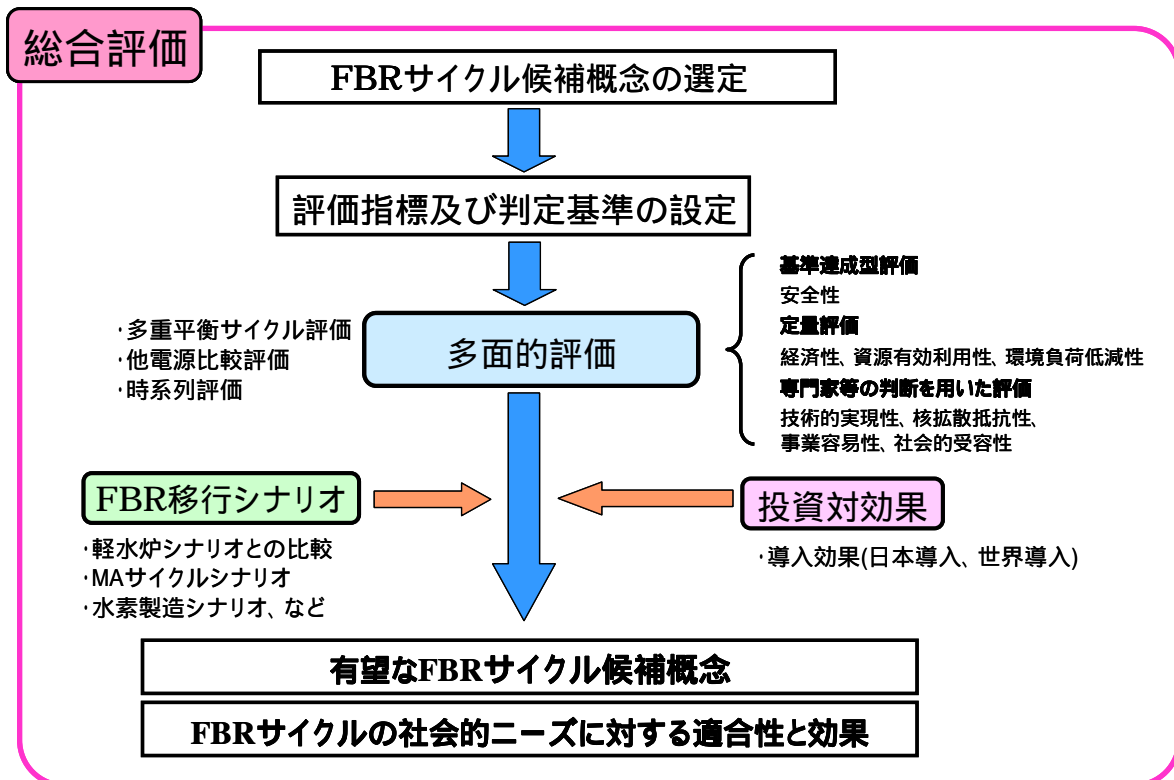


図 2.2 総合評価の流れ

表 2.1 フェーズ 最終評価における候補概念

ケース	炉	燃料	再処理			燃料製造	炉心	備考		
			湿/乾	処理規模	方式					
1-1	Na大型炉 (1500MWe × 2基)	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化ベレット	資源	Na冷却炉MOX燃料の代表的かつ有望なサイクル概念		
1-2							経済			
1-3						LLFP	FPの分離・回収・核変換を行うサイクルの代表概念			
2-1						資源				
2-2					経済	燃料製造法の違いを評価				
3-1					資源					
3-2					経済	経済性においてスケールメリットはあるものの、導入初期において採用される可能性のある概念				
4-1					資源					
4-2			経済	湿式サイクルにおいて小規模でも経済性向上が期待される概念						
5-1			資源							
5-2			経済	MOX燃料の最も有望な乾式概念						
6-1			資源							
6-2			経済	金属	乾式	大規模 (200t/y)	金属電解	射出鑄造	資源	酸化物燃料との横並び評価の観点からの金属燃料の大規模サイクル施設概念
7-1			資源							
7-2	経済	小規模 (50t/y)	酸化物電解		振動充填	資源				
8-1	資源									
8-2	経済	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化ベレット	資源	Pb-Bi炉の代表的かつ有望なサイクル概念				
9-1	資源									
9-2	経済	Heガス大型炉 (1500MWe × 2基)	窒化物被覆粒子	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	被覆法	資源	Heガス炉の代表的かつ有望なサイクル概念	
10	経済									
10	水大型炉 (1356MWe × 2基)	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化ベレット	-	水冷却炉の代表的かつ有望なサイクル概念		

*炉心 { 資源: 倍増時間を短縮し、より効率的にPuを増殖させる炉心仕様。増殖比1.1程度。(資源重視型炉心)
 経済: 径ブランケット燃料無しで、平均燃焼度向上により燃料サイクルコストの低減を図った概念。
 増殖比1.0を僅かに上回る。(経済性重視型炉心)
 LLFP : ターゲット集合体としてLLFPを装荷し、核変換することを目指した概念。

3. FBR サイクルの多面的評価

3.1 多面的評価手法

3.1.1 多面的評価の概要

本項では、FBR サイクルを総合的な観点から評価することを目的とする多面的評価にあたってどのように FBR サイクルシステムを捉えるのかを説明する。FBR サイクルをシステムとして把握し、その特性を評価する際に必要な視点やシステムの振る舞い等を規定する要因等の概要を記述する。また、多重平衡サイクルの評価と時系列評価の違い等について紹介する。

FBR サイクルも実用化されれば一種の新商品であり、公益事業であることを考慮すれば、ステークホルダーのニーズあるいは価値観を反映したものにすることが必要である。フェーズ 最終評価では、FBR サイクルの研究開発のプロセスを再検討して、新商品開発の際に用いられるマーケティング手法を活用することを試みた。図 3.1.1 に一般的な商品開発を対象としたマーケティング・マネジメント・プロセスの概要を示す¹⁾²⁾。FBR サイクルの総合評価は、マーケティング・マネジメント・プロセスの中では、戦略ポジショニングとマーケティング・ミックスの決定に大きく関与する。これは、図 3.1.1 において、将来製品の事業領域の決定を踏まえ（ただし、評価にあたっては FBR サイクルの事業領域などについて改めて問い直すことは必要である）必要に応じて顧客のセグメンテーションとターゲティングを行なった上で、戦略ポジショニングとマーケティング・ミックスの決定に関わるものである。

フェーズ 最終評価における多面的評価については、フェーズ 最終評価における有望概念の選択にあたっての参考とするため、従来横並びで検討を行ってきた各種の FBR サイクル候補概念を研究開発戦略上適切に位置づける（戦略ポジショニング）ために実施されたという面が強い。以下で、その際に用いた評価手法と評価結果の概要について説明する。この部分は、基本的にフェーズ 中間評価で開発した手法³⁾を基に追加・改良を行っており、その結果について説明する。また、FBR サイクルについては、時系列での特性を評価する手法を開発し、主要な概念について評価を実施したので、その結果も記述する。

しかし、研究開発戦略策定上は、FBR サイクルの事業領域を踏まえ、FBR サイクルのステークホルダーを適切に分類しながら明確化し（顧客のセグメンテーション）そのニーズや価値観を把握して評価および設計作業に関する目標設定を行なっておくこと（ターゲティング）が、実際の評価作業にあたって重要となる。以下では、フェーズ 最終評価で設定した FBR サイクルの事業領域と、マーケティング・ミックスの決定に必要となる将来 FBR サイクルの顧客設定についても触れることとする。また、顧客セグメンテーションとターゲティングについては、中間評価と異なり、可能なステークホルダーについてアンケートに基づいたセグメンテーションを実施しており、上記手法の概要を「重み付け手法」と総称して説明する。

さらに、フェーズ 最終評価の知見と結果は、フェーズ 以降、実用化に向けて、開発目標設定や設計要求の決定（マーケティング・ミックスの決定）に活用することが期待される。これはフェーズ 以降の主要課題となる。

また、評価にあたっては、中間評価における立場を引き続き踏まえ、システムとして眺めるといった立場を取った。システムとは、例えば「環境の中の特定のものや現象に焦点をあて、その部分だけを外界から切り離して一つのまとまりと考える。そしてそのまとまりの内部の機能 Σ を考え、それが環境と行う相互作用のうち、環境が Σ に及ぼす影響を入力といい、 Σ が環境に及ぼす影響を出力とみなす考え方である」と定義され、その際、そのまとまりや相互作用の一部ではな

く、全体に関心が持たれる、とされている。そうすることでシステムの持つ共通の性質を取り出し、共通の枠組みで捉えることが可能となる⁴⁾⁵⁾⁶⁾。実用化戦略調査研究で検討している FBR サイクルシステムもこのようなシステム理論の考え方で整理すると、その特性を評価する際に有用であると考えられる。

3.1.1.1 システムとしての FBR サイクル

(1) FBR サイクルシステムと外部環境

システム論の考え方にしたがうと、あるシステムを評価・検討する際には、システムの境界を明確にして、さらにシステム外部との相互作用に着目することが求められる。

したがって、「FBR サイクル」を「システム」として評価する場合は、「内」と「外」の区別を行い、全体を見渡しながら内外における相互作用について検討していく必要がある（図 3.1.2 に FBR サイクルシステム内外における相互作用のイメージを示す）。

フェーズ 中間評価時には、多重平衡サイクルの多面的評価を中心に実施し、開発期から移行期の時系列評価をフェーズ 後半以降の開発課題としていた。このフェーズ 最終評価報告では、最終評価に向けて改良した多重平衡サイクルの評価手法を記載し、開発課題であった開発期及び移行期の時系列多面的評価の開発状況を中心に、主要 FBR サイクル候補概念の評価結果概要についても報告する。

FBR サイクルシステムを時間的、空間的に俯瞰すると、まず現状を確定した境界条件として考える必要がある。また、FBR サイクルシステムの導入や基幹電源としての FBR サイクルシステムについては、確定していない将来の想定として評価を行うことになる。

時間的には、わが国において軽水炉システムが導入されており、FBR サイクルは研究開発の段階であるという現状を出発点として、将来、研究開発が継続・成功して競争力を持った FBR サイクルシステムが開発され、次に FBR サイクルが徐々に導入されることで次第に電源構成の大きな部分を占めて、多重平衡サイクルに達するときの状態（極論すれば千年以降の遠い将来に訪れるであろう、エネルギー源としての FBR サイクルの終了も考える必要があるが、現時点で検討する意義は少ない）までを評価する必要がある。

FBR サイクルシステムは、空間的には FBR サイクルの各施設を含むこととなる。現在、我が国に存在する FBR サイクル関連施設は、研究開発施設のみである。原子力施設としては、軽水炉と燃料加工施設、再処理施設等である。また、実用化戦略調査研究で設計が行われているのは、FBR システムを構成する炉（プラント）および炉心燃料、燃料サイクルシステムを構成する再処理施設および加工施設である。総じてこれらの個別のシステムの実用期の姿に関しては、フェーズ を通じて設計が進捗してきた。他方で、施設の立地形態（各施設のコロケーションや都市近郊や僻地における小型炉の立地）や燃料等の輸送など複数施設に跨る検討や・廃棄物の処分については、検討すべき課題が多く残されている。こうした課題を検討するためには、FBR サイクルシステム内部の相互作用である各施設を還流する燃料などの流れを把握することが重要である。

さらにシステム（全体）と外との相互作用の分析を通じて、システムの特性を検討するための評価の視点が生まれてくる。特に環境負荷などを検討する場合には、相互作用の分析にあたってシステム境界を定義し、どこまでがシステム内であるのかについて明確にする必要がある。3.1.2 章では、各評価視点を評価するための手法を紹介する。

図 3.1.3 に開発期、移行期から平衡期までの FBR サイクルシステムと外部との相互作用、さ

らに評価視点や評価指標との関係を示しておく。これらの相互作用が、評価の視点および評価指標に反映されることとなる。多重平衡サイクルの多面的評価で用いる各評価視点に即して記載すれば、安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性の一部、核拡散抵抗性、社会的受容性の一部については、平衡状態の FBR サイクルを評価したといえる。これに対して、資源有効利用性の一部、技術的実現性、社会的受容性の一部については、現状から FBR サイクルが平衡に達するまでを評価したものであると整理できる。

(2) FBR サイクルシステムの実用化

FBR サイクル実用化戦略調査研究の目的・内容は、“FBR サイクルの実用化戦略を明確にする上で必要となる判断資料を整備して、軽水炉サイクルと比肩する経済性を達成しうる実用化概念の構築及び実用化に向けた開発シナリオの策定に資する”ことにある⁷⁾。ここで、新型炉の場合を例にとると、実験炉-原型炉-実証炉（注：名称は例に過ぎない）といったいくつかの段階を経て実用炉（実用発電用原子炉）が建設されると考えられる。FBR についても、原型炉もんじゅ以降、必要ならば、技術実証のために必要な炉を建設して、段階的に実用化に進むことは自然であろう。実用発電用原子炉の建設にあたっては、その工事計画の認可について、設置者から認可申請され、経済産業省の審査の上、経済産業大臣から認可されることとなっている。このことから、新型原子炉が実用に供するためには、設置者である事業者が工事計画の認可を申請する際にその炉型として選定されることが必要になると考えることができる。

上記を踏まえて、ここでは「実用化」を、「実用 FBR サイクルシステムが、その設置者たる事業者によって設置対象として選定されること」と定義する。ただし、「選定」自身は、その時期を含めて事業者の意思決定の問題であるので、フェーズ 最終評価においては「実用炉初号基を設置するために十分な知見を獲得できる時」と考える。したがって、技術開発の範囲に関しては、フェーズ 終了時である現時点から、事業者が実用 FBR サイクルシステムの設置を決定することを可能とするまでに線引きされる。この点は、技術的実現性で評価する内容に対応している。

(3) 評価の主体

評価作業にあたっては、誰の視点からの評価なのかを特定することが重要となる。フェーズ 最終評価では、フェーズ 中間評価結果に対する外部のコメント等を踏まえ、実用化戦略調査研究の目的や実用化の定義を考慮して、評価主体を以下のように設定した。

普通の市民全体

実用化戦略調査研究は、国民の税金を用いて行われており、実用化した FBR サイクルによる発電から得られる便益やリスクなどを享受する普通の市民全体としての立場を評価主体として取り上げる。

電気事業者

実用化した FBR を導入することが予想される電力会社等の事業者については、評価主体として取り上げる。

有識者

エネルギー政策における FBR の位置づけについては、政策的な議論が行われることとなる。それら政策的議論に影響を及ぼすと考えられる有識者についても、評価主体として取り上げる。

なお、技術開発者である日本原子力研究開発機構に関しては、評価主体として設定はしない(日本原子力研究開発機構による各評価視点間の重みは算出しないこととする)ものの、詳細部分の評価にあたっては、評価視点内の細かい重み付けやデータの作成などにあたって、技術開発を担当する専門家として重要な役割を果たす。また、電気事業者については、実用化戦略調査研究においても実施主体として密接に議論・検討へ参加していることも付言する。

(4) 評価の時期

FBR サイクルシステムは実用化されておらず、現在技術開発の途上にあるエネルギーシステムである。したがって評価にあたっては、評価主体を定めることに加え、どの時点のシステムをいつの時点で評価するのかを整理する必要もある。ここでは、導入時期(2050年ごろを想定:2030年以降)のシステムについて、現状の知見を用いて評価することを基本方針とする。

したがって、評価対象とする FBR サイクル及び他電源の特性は 2030 年以降の想定値とすることが望ましい。FBR サイクルについては、実用化戦略調査研究における設計データを基に評価を実施する。特に各種電源比較評価の対象となる電源には、2030 年以降の実用化を目標としたデータが必ずしも存在するわけではない。その場合には、データ収集に努めた上で、2030 年以前の性能・特性を比較対象とし、技術開発にかかる期間を評価指標に含める。なお、時系列評価や技術的実現性については、現時点から見た項目(例えば、近い将来の発電原価、技術開発に要する期間)も自然と評価に含まれている。

3.1.1.2 多重平衡期における FBR サイクルの特性評価

図 3.1.4 に多重平衡期における FBR サイクルのイメージを示す。多重平衡期に到達した FBR サイクルシステムは比較的単純な様相に落ち着くことになる。このとき、核燃料のうち FBR において核物質からエネルギーを取り出すために燃焼した部分が、FP として FBR サイクルから環境(システム外)に廃棄され、逆に環境からは、廃棄された FP に相当する分が新たな燃料として補充されればエネルギー供給を継続できる。他のエネルギーシステムと比較して、物質の持つエネルギーを核分裂によって効率的に取り出す(化学変化を利用する場合に比べて非常に効率が大きい)こと、また、潜在的にしかエネルギーを取り出せない物質であるウラン 238 を有効利用できること(軽水炉ワンスルーなどとは異なる)が、FBR サイクルの魅力である。しかも、FBR であれば、自己リサイクルを基本とする比較的単純な(付加的な燃料サイクル施設が少ない)エネルギー供給システムを大きな規模で長期間実現できる点も長所である。

長寿命放射性核分裂生成物(Long-Lived Fission Products: LLFP)を分離・核変換し、発熱元素を分離・貯蔵する LLFP サイクルについては、他の FBR サイクルとは少々異なる複雑なシステムとなる。図 3.1.5 にそのイメージを示す。最終評価で採用するシステムでは、酸化物(MOX)燃料を用いている。主にアクチニドを含有するメインの燃料の流れとは別にヨウ素(化合物としては YI_3)とテクネチウム(Tc 金属)を装荷するターゲット燃料のリサイクルが別々に行われていることが特徴である⁸⁾。

フェーズ 最終評価における LLFP 分離・核変換サイクルを評価する際に想定した条件を以下に示す。これらについては、今後の検討で変わりうるものである（環境負荷低減性の評価等で述べる）。

核変換の対象としては、超長期の半減期を持ち、埋設処分安全性等への影響も考えられるヨウ素、テクネチウムを想定した。上記のとおり化合物形態として、テクネチウムは金属であり、ヨウ素はヨウ化イットリウム（中間評価と異なる）を用いている。中間評価では、径ブランケット部への装荷を想定したが、最終評価では、炉心部分のターゲット集合体に装荷することとした。

高レベル廃棄物（ガラス固化体）の発生量を低減することを目的として、セシウム、ストロンチウムを再処理施設において分離し、硝酸溶液として減衰待ち貯蔵（40 年間）した後に、高レベル廃液と混合し、ガラス固化体として処分することを想定した。また、ガラス固化体の安定性を高め、核分裂生成物を効率的に処分するため、モリブデンは再処理施設において分離した後、余裕深度処分型低レベル廃棄物として処分することとした。施設としては、使用済燃料の再処理施設で、ヨウ素、テクネチウム、セシウム、ストロンチウム、モリブデンを分離し、ヨウ素とテクネチウムはターゲット燃料製造施設に送られる。また、セシウムとストロンチウムはタンクにおいて溶液の状態での 40 年間貯蔵され、発熱量を低減した後、高レベル放射性廃液と混合されてガラス固化される。モリブデンは分離された後、セメント固化されて余裕深度処分される。また、ターゲット集合体を再処理する施設も設計された。ターゲット集合体再処理施設では、ジルコニウムは廃棄され、ヨウ素やテクネチウムは回収される。

燃料製造では、LLFP を装荷する集合体を製造する施設の検討が行われた。このとき、部材等も必要な量を想定して検討した。通常のドライバー燃料製造施設に加えて、ターゲット燃料製造施設では、水素化ジルコニウム、ヨウ化イットリウム、金属テクネチウムピンが集合体に組み立てられる。

多重平衡サイクルに関しては、FBR サイクルシステム内外における物質収支の評価（諸量評価）や現金収支の評価を基にして、FBR サイクルシステムが持つ特性を評価する。多重平衡サイクルの評価は、時系列評価に比べて以下の特徴がある。

まず、外との相互作用が限定されている（多重平衡サイクルを想定した核燃料サイクルシステムをクローズド・サイクルということも多い）ため、システム固有の特徴がより明確化される。したがって、性格が異なるシステムの特性を際立たせて評価するために適している。また、外との相互作用が少なく FBR サイクルの設計結果以外に必要な前提条件が少ないため、評価にあたって厳密な手法を用いることが比較的容易であり、特性を左右する不確実性も小さくなる。物質収支計算においても、多重サイクルに関しては時系列評価に比べて詳細な手法を適用でき、その計算結果も安定している。

3.1.2 多重平衡サイクル評価手法

ここでは、多重平衡状態に達したときのFBRサイクルの評価手法について述べることにする。前述したとおり多重平衡サイクルについて検討・評価することは、性格の異なる候補概念の特性を横並びで比較評価するためには優れた方法であり、実用化戦略調査研究フェーズ までにおいては、検討の中心的な役割を果たしてきた。

多重平衡サイクルに関する評価視点である安全性から事業容易性までの8つの視点について順番に検討した結果を述べる。安全性と核拡散抵抗性の一部の評価指標については、基準達成を確認することによる合否判定を行なう。また、その他の評価指標については、各候補概念を定量的に比較評価するために効用値を算出するが、定量的なデータから効用関数を設定して評価する評価指標と、段階的（定性的）な判断を用いて評価する評価指標とに大きく分かれる。

3.1.2.1 多重平衡サイクルの評価視点と効用について

FBRサイクルシステムの総合的な特性を定量的に検討するためには、様々な視点から特徴を把握・評価することが重要である。フェーズ 最終評価では、将来実用化すべき概念の明確化と今後の研究開発計画の立案に資することを目的に、多重平衡サイクルに到達した時期のFBRサイクル候補概念間の比較評価、および他の電源間も含めた比較評価を視野に入れて、以下の8つの評価視点を選定した。3.1.2.2 項以降、各視点の評価構造について検討を進めるが、評価指標全体を図 3.1.6 に示す。これらは、FBRサイクルシステムの現状や課題、魅力に関するフェーズ 以来の分析を反映したものであり、安全性から核拡散抵抗性までの5つの視点については、視点に対応した開発目標と設計要求が設定されている。安全性から核拡散抵抗性までの5評価視点は開発目標及び設計要求と密接に関連した評価視点である。また、技術的実現性は、ロードマップと開発計画の策定と密接に関連した評価視点であり、これらの評価視点から安全性を除く5評価視点だけを選んで評価視点の重み付けをした総合評価を行なう。事業容易性と社会的受容性については、フェーズ において新たに選定された評価視点であり、社会的な要因が極めて大きい評価視点である。そこで、技術的に正確な評価を行なうことは難しいと考えられるので、検討に基づいた参考評価を実施する。

安全性
経済性
環境負荷低減性
資源有効利用性
核拡散抵抗性
技術的実現性
事業容易性
社会的受容性

フェーズ 中間評価では、事業容易性を除く7つの評価視点から評価を実施した。フェーズ 最終評価では図 3.1.7 に示すように、中間評価で社会的受容性として評価していた観点を技術的実現性、事業容易性、社会的受容性として分割して評価する。また、他の視点についても、評価構造の見直しを行なった。

安全性については、あらゆるエネルギー供給システムにおいて確保することが求められる要素であるが、特に潜在的に危険な放射性物質を大量に取り扱う原子力エネルギーシステムに関しては、安全性に関する論議も盛んであり、安全性を確保することが導入の前提条件であると考えられる。経済性については、エネルギーシステム導入にあたって重要視される視点である。FBR サイクルの現状の性能とエネルギー自由化など電気事業者を取り巻く状況を考慮すれば、経済性向上の追求は、さらに重要になってくる。環境負荷低減性については、エネルギーの大量生産、大量消費に起因する地域および地球的規模の環境問題に大きな社会的関心が集まっていることを踏まえると、今後ますます重要となる視点である。資源有効利用性については、わが国において、FBR サイクルがウラン資源制約からの解放のために検討されてきたものであり、経済的に利用可能なエネルギー資源に恵まれないわが国にとってはもちろんのこと、世界的に見ても人類の持続的発展には必要な視点である。核拡散抵抗性は、原子力特有の課題とすることができ、FBR サイクルシステムが、平和利用目的のみに用いられるように配慮することは重要である。技術的実現性については、FBR サイクルの実用化への研究開発を実施していく場合には重要な視点である。潜在的性能の優れた FBR サイクルシステムであっても、研究開発に極めて膨大な時間や資金を要する場合や成功する可能性が非常に低いシステムは戦略的には不適切である。事業容易性については、実際に FBR サイクルを建設・運転する事業者にとっての技術の使いやすさを評価する視点であり、今後 FBR サイクルの実用化が近づくにつれて重視されると考えられる。社会的受容性については、近年、重要視されている視点である。FBR サイクルの実用化が大規模な研究開発を伴い、普通の市民からの税金等も投入されること、また潜在的なリスクを有するシステムとして普通の市民全体の生活にも影響を与えることから、FBR サイクルの開発については、普通の市民をはじめとする関係者の受容が必要となる。

これら各視点によって把握されるシステムの特徴は、本来、相互に影響しあっており、また、実際の設計作業も、各評価視点のトレードオフなどについて勘案しながら実施している。したがって、理想的には、視点間の相関を考慮した評価手法を開発することも考えられたが、フェーズの評価においては、各視点をそれぞれ独立なものとして取り扱うこととした。これは、おおまかにシステムを取り扱う際には、重みを適切に設定することにより適切な手法となると考えられる。

FBR サイクル候補概念の多面的評価にあたっては、図 3.1.6 に示した経済性、環境負荷低減性などの 8 つの評価視点について達成度（開発目標があるものについては、適合度と呼ぶ）をできるだけ定量的に評価することとした。評価結果を示す際には、それぞれの評価視点の性格が異なる点を考慮していくことになる。例えば、安全性から核拡散抵抗性までは、開発目標が定められており、設計要求も出されている。この中でも、安全性については設定した基準を満たすように（妥当な安全性を持つように）設計が行われており、各視点から見た性能を競うという観点とはそぐわないと考えられる。また、技術的実現性、社会的受容性、事業容易性については、FBR サイクルの特性を評価するためには重要であるが、開発目標などは定められていない。したがって、こうした各評価視点の差異を考慮して、評価結果をどのように示していくのかについては検討する余地がある。

このために、それらを多属性効用分析法（MAUA: Multi Attribute Utility Analysis）および階層分析法（AHP: Analytic Hierarchy Process）を組み合わせ、応用して評価する多面的評価手法を開発した⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。具体的には、以下の手順を踏んで達成度を算出する。この手法は自由度がかなり大きく、評価視点の性格の違いなども考慮して、重みを付ける視点を追加したり、削除し

たりすることも可能である。

各評価視点を構成する属性に分解し、最終的には物理量や個別の判断項目を最下層として階層的に組み立てられるように評価構造（数次程度）を作成する。

上位指標に対して、そのすぐ下のレベルに位置する指標の重みを総和が1になるように設定する。

効用分析による定量化手法（効用関数を設定）や定性的な分析により最下位指標の効用値を求める

下位指標の効用値から上位指標の効用値を計算する。階層構造にしたがってこの作業を繰り返して、最上位（評価視点）の効用値を計算する。

各評価視点の重み付けを行い、総合的な効用値を算出して達成度とする。

フェーズ 最終評価で用いた多面的評価手法では、階層分析法は評価にあたって要となる評価視点間の重み付けの設定に用いており、効用値の合成に関しては多属性効用分析法の考え方を採用している。また、各評価視点の下にあるさまざまな指標の重み付けについては、フェーズ 中間評価以来の課題であったが、フェーズ 最終評価では、それぞれの評価視点の性質を考慮して、いくつかの方法を選択することとした。例えば、社会的受容性では、一般公衆のアンケート結果を参考として決定し、経済性と事業容易性については、電気事業者のアンケート結果を参考として決定した。他の評価視点については、工学的な判断を踏まえて評価関係者を中心に設定して評価を進めた。多面的評価手法の流れを図 3.1.8 に示す。

ここで、定量評価が可能な指標（発電原価、天然ウラン利用効率、単位発電量当たりの放射性廃棄物発生量・・・等）に対する効用値は、設定した効用関数を用いて規格化し、0 から 1 までの数値で表す。すなわち努力目標値（= 効用値が 1.0 のときの属性値）、達成目標値（= 効用値が 0.5 のときの属性値）および許容値（= 効用値が 0.0、FBR サイクルの導入意義がなくなる属性値）の 3 点で定義される指数関数（効用関数）を用いて効用値を算出している。定量評価が可能な指標についての効用関数の設定例を図 3.1.9 に示す。なお、効用関数は、対象となる物理量等と効用（達成度、目標への適合による満足度等）の関係をより適切に表現するため、最終取りまとめに向けて検討を継続する予定である。なお、一部の評価指標では、効用関数として対数関数や一次関数を用いたもの（被ばく評価など）もある。

一方、定量評価が困難な指標（核拡散抵抗性の接近性、改造、社会的受容性の許認可容易性、理解容易度・・・等）については、エキスパートジャッジメントによる段階的な評価を行った。この場合、各段階に対して 0～1 で数値化した効用値を定めておき、段階的な評価を効用値に換算して評価することとした。段階的（定性的）な評価を行なうときの効用関数の設定例を図 3.1.10 に示す。

なお、安全性と核拡散抵抗性の 1 次指標（評価視点のすぐ下の指標）である制度的核拡散抵抗性については基準達成型の評価を行うこととした。この場合、個別の下位指標毎に合否判定を行い、全ての指標の評価結果が合格の場合は全体を合格とみなした。言い換えれば、下位指標のうちどれか一つでも不合格の場合は全体を不合格とし、比較の対象から外すことになる。

3.1.2.2 安全性評価手法に関する検討

安全性は、あらゆるエネルギーシステムに求められる視点であるが、特に原子力は潜在的に危険な放射性物質を大量に扱うエネルギー源であるため、その安全性の確保は重要な課題とされてきた。将来の原子力システムである FBR サイクルシステムを検討する際にも、安全性は大前提となる視点であるという点は変わらない。例えば、設計を行なった結果、安全面で問題があると考えられたシステムは、他の性能を犠牲にしても設計を変更して安全性の向上を図ることが通例である。

かかる事情を踏まえて、FBR サイクル候補概念全体を対象として安全性の基準を達成するために大きな問題がないかを評価することとする。また、後段で各評価視点間で重みを付けた総合評価を行なうが、安全性については、前提条件であるとの扱いをして、他の評価視点との相対的な重みを付けないこととする。

図 3.1.11 がフェーズ 最終評価において設定した安全性の評価構造である。

安全性を決定論的安全評価と確率論的安全評価に大きく 2 分し、さらに決定論的安全評価について「設計基準事象 (DBE: Design Basis Event) に関する評価」と「設計拡張条件 (DEC: Design Extension Condition) に関する評価」に 2 分している点が大きな特徴である。原子炉プラントシステムと燃料サイクルシステムで分割していた中間評価からは大きく変わったように見えるが、安全性評価の中で検討・評価する内容については中間評価と大差はない。原子炉プラントシステムおよび燃料サイクルシステム両者に対して、決定論的安全評価における「設計基準事象に関する評価」においては、安全設計の妥当性を確認するための決定論的安全評価を行なう。また、この評価では、事象当たりの公衆の被ばく線量が 5mSv を超えないことなども確認する。

次に、「設計拡張条件に関する評価」および「確率論的安全評価」については、原子炉プラントシステムと燃料サイクルシステムで異なる部分があるので、以下に述べることとする。

原子炉プラントシステムにおける「設計拡張条件に関する評価」¹³⁾では、炉心損傷防止方策と炉心損傷時の影響緩和方策に焦点を絞って行う。ここでの評価内容自身は、以下の通り、中間評価で実施した内容と基本的に変わらない。つまり、炉心損傷時の影響緩和方策として、炉心が損傷してさらに再臨界の状態になると大きなエネルギーが発生する可能性が生じるが、その機械エネルギーが発生しないようにするための方策（例えば、再臨界を排除する方策）について確認する。さらに損傷した炉心の崩壊熱を除去し、格納機能を維持するための方策（例えば、炉容器あるいは格納容器内における事象の終息を図る方策）についても確認する。一方、「確率論的安全評価」では、原子炉プラントシステムに対しては、異常事象に関するレベル 1 の確率論的安全評価を実施して、炉心損傷頻度が 10^{-6} /炉年を下回ることを目標とする。

また、燃料サイクルシステム⁸⁾に対しては、「設計拡張条件に関する評価」は実施しないが、「確率論的安全評価」では、設計基準事象および設計基準事象を超える事象のうち、代表的な事象を対象としたレベル 3 の確率論的安全評価を行なう。なお、中間評価時には、確率論的安全評価を限られた候補概念に関してしか実施できなかったが、最終評価では、設計の進捗や変更に対応し、主要な FBR サイクル候補概念について確率論的安全評価を実施した（ただし、先進湿式再処理法については、先進湿式再処理法を MOX 燃料の使用済燃料に適用した場合のみを実施した）。このとき、人間の死亡リスクを指標として、他のリスク（急性死亡に関しては、国内における不慮の事故による死亡の年間発生確率値を小さい方に丸めた値である 10^{-4} （死・人・年） 晩発性死亡に関しては、国内における悪性新生物による死亡の年間発生確率値を小さい側に丸めた値 10^{-3} /

(死・人・年))と比較して十分に低い(0.1%以下)ことを目標とする。具体的には、急性死亡の発生頻度が 10^{-7} (人・年・サイト)を下回ることを、また、事象発生から50年間の放射線被ばくによる致死性ガン(上記の悪性新生物による死亡発生に対応)の発生頻度が 10^{-6} (人・年・サイト)を下回ることを目標としている。

安全性に関しては、下位指標ごとに合否判定を行い、全ての指標について合格基準を達成することが安全性の面で合格するための条件とする。そこで、下位指標の重みは不要となるので下位指標の重み付けは行なわない。

3.1.2.3 経済性評価手法に関する検討

資源、物資、労働などあらゆる資機材やサービスに価格が付けられている今日の社会¹を前提とするならば、経済性は、電力システムが効率的に電力を生産しているのかを検討するための重要な視点である。経済性の向上は、電力自由化への動きが進展していることで、電力会社にとってますます重要性を増している課題である。

フェーズ 中間評価では、経済性評価に関して発電原価を唯一の評価指標としていた。フェーズ 最終評価では、その評価構造は図 3.1.12 のとおりである。フェーズ 最終評価においては、経済性について発電原価だけでなく、キャッシュフローに着目した投資リスクも評価することとした。投資リスクの概念は広義であるが、一般的には、投資した資金が回収できない危険性を表すものと考えられる。後述するように、フェーズ 最終評価では投資リスクをもうひとつの1次指標として考え、その中で投資必要額と投資回収期間を評価することとした。

また、これらの下位指標の重みについては、電気事業者へのアンケート結果を参考にして、発電原価を重視するように設定した。

なお、経済性を評価するために実際の売電価格を指標にすべきとの意見もあるが、売電価格は、発電に要する費用とは別の要素、例えば他の発電方式や社会情勢に影響されるため、技術選択の目的で FBR サイクルシステムの特性を判断する指標としては必ずしも適切ではない。したがって、発電システムの経済性を素直に評価するためには、費用すなわち発電原価が分かりやすい指標となる。このことは、電力自由化が進んで電力が普通の商品に近づけば、さらに妥当なものとなる。それは、たとえ実際の売電価格がどうであろうと、発電原価が安い発電システムは価格競争に生き残る余力があることになり、自由競争にさらされる電力会社にとって魅力的となるからである。

(1) 発電原価評価に関する検討

発電原価は、単位量の電力を発生するときに必要な費用(金額)を単位としており、資本費(減価償却費、廃止措置費など)、運転維持費(人件費、修繕費、業務分担費、事業税など)および燃料費(加工費、再処理費、輸送費、廃棄物処分費など)からなる。発電に要する費用を年あたりで、関連(FBR サイクル)施設の建設から廃止に至るまで算出した後、原子炉の運転開始時に現在価値換算し、同じく運転開始年に現在価値換算した年の発電量で除して、上述したように単位発電量(kWh)を生産するための原価(耐用年あるいは寿命期間平均発電原価)を算出する。現在価値換算の概念を図 3.1.13 に示す。

原子力発電の経済性については通産省(現経済産業省)総合エネルギー調査会(現総合資源エネルギー調査会)原子力部会(以下原子力部会)において、平成 11 年 12 月に現状最新軽水炉プラントを対象とした発電原価評価結果として、5.9 円/kWh が報告されている¹⁴⁾。また、平成 16 年 1 月には経済産業省総合エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会において(以下コスト等検討小委員会)、国内のバックエンド事業全般にわたる収益に関する検討を反映した発電原価評価結果として、5.3 円/kWh(設備利用率 80%、割引率 3%)が報告されている¹⁵⁾。これらは現状の軽水炉サイクルの経済性を示す典型例として広く認識されており、平成 16 年 11 月の原子力委員会 新計画策定会議 技術検討小委員会(以下技術検討小委員会)による発電原価検討¹⁶⁾

¹経済外部性が存在する場合には、価格が適正に付けられないという問題が生じる。

においても用いられている。技術検討小委員会では、使用済燃料に関する 4 通りのシナリオ 全量再処理 再処理能力を超えるものは直接処分 全量直接処分 当面貯蔵後選択を想定し、設備利用率 80%、割引率 2%の時、それぞれのシナリオについて、 5.2 円/kWh、 5.0~5.1 円/kWh、 4.5~4.7 円/kWh、 4.7~4.8 円/kWh を発表した。コスト等検討小委員会では割引率 3%をリファレンスケースとしているのに対し、当該委員会では近年の低金利を反映し割引率 2%をリファレンスケースとしている。今後原子力関連施設を導入する場合、上記報告と直接比較されることが予想される。

表 3.1.1 に経済性の評価基準を示す。以下の 3 点より効用関数を設定し、経済性の視点での効用値とする。こうして算出した発電原価に関しては、以下のように効用関数を設定して効用値を求める。

努力目標は、国際的な価格競争力を有する将来発電原価とする。そこで、現在から将来にかけてわが国の LWR の発電原価の低下状況を基に、国際機関（経済協力開発機構 / エネルギー機関および同原子力機関：OECD/IEA および OECD/NEA）がまとめている発電原価予測中で最も低価格であった将来の韓国における原子力発電原価予測¹⁷⁾を 2050 年に外挿して設定する。その結果、努力目標値は 1.8 円/kWh（2003 年 7 月 1 日為替レート：119 円/\$）と設定する。

達成目標については、将来の国内 LWR に競合し得る発電原価として 3.6 円/kWh とする。なお、LWR の将来発電原価の試算値は、発電所建設単価の低減や設備利用率の向上、燃料の燃焼度向上を想定すると 3.6 円/kWh 程度となる¹⁸⁾。

許容値については、LWR の発電原価の改善がなされず現状単価が続く場合を想定し、5.3 円/kWh とする⁷⁾。

以上の考え方に基づいて設定した効用関数を図 3.1.14 に示す。わずかに上に凸の関数となっている。

発電原価評価は原子力部会評価の手法に極力あわせ、コスト等検討小委員会におけるバックエンド事業に関する検討結果を可能な限り反映することとした。発電原価は耐用年平均の現在価値換算法を適用し、減価償却費については定率法により算出する¹⁸⁾。また、廃止措置費用に関しては設計より得られた廃止措置時の廃棄物量を基に、コスト等検討小委員会の検討での廃止措置における廃棄物区分やサイクル単価の設定値等を活用して算出する。

(i) 発電原価の構成と計算手法

表 3.1.2 にそれぞれの費用の構成要素を示し、次の順で()に設定法を述べ、表 3.1.4 に設定値をまとめて示す。

(a) 資本費

減価償却費、 事業報酬、 固定資産税、 廃止措置費

(b) 運転費

人件費、 修繕費、 諸費、 業務分担費、 事業税

(c) 燃料費

フロントエンド費、バックエンド費

(ii) 発電原価構成費用の計算法

(a) 資本費

資本費は、原子炉プラントの減価償却費、事業報酬、固定資産税、廃止措置費で構成される。

減価償却費¹⁹⁾

減価償却費とは、固定資産として一度投下した資本を、その固定資産の耐用年数間に合理的に配分して回収するために計上する費用のことをいい、実際には社内で留保され、借金の返済や新しい投資の原資とされる。減価償却費を多額に計上することは、経営戦略上有利なことであるといえるが、税法により、法定耐用年数間に定額または定率で配分した額の償却に限られ、「定額法」、「定率法」の2つのうちどちらかの償却方法を選択するように定められている。定額法とは、耐用年数間、毎年一定額で減価償却していく方法のことをいい、定率法とは、耐用年間定められた割合で減価償却していく方法で、初年度ほどその率は高く、年々減少していく。

電気事業においては、昭和63年の電気料金改定時より定率法を用いて減価償却を行うことが一般的となっていることから、発電原価試算においては定率法を採用し、建設に係わる費用についての減価償却を行うものとした。

定率法での原子力プラントの減価償却費は、次式で求めることができる。定額法と定率法のイメージ図、及び計算法を図3.1.17にまとめる。

$$\text{減価償却費（定率法）} = (\text{建設費}-\text{土地代}) \times (1-\alpha)^{t-1} \times \alpha$$

$$\text{減価償却率 } \alpha = 1 - \text{残存価額割合}^{1/\text{償却期間}} \times \alpha$$

建設費は、プラント設計により、米国の軽水炉用原子力施設のデータベース（EEDB）あるいは実用炉の建設コストを算出する目的で作成されたコマンドコストコード（CCC）を間接的に利用することで、建設機材、建設に必要な人件費、建設中利子、土地代等を含めた費用として求められる。土地代は減価償却の対象とならないため、建設費から除くものとする。ただし、FBR候補概念においては、軽水炉のリプレースとして導入されることを想定しているため、土地代は発生しない。

建設中利子は、建設費原価に対して2%（割引率と同様の割合）とした。ただし、ある年度の借入金に対する利子は次年度に支払うと想定し、建設計画から運転開始までのプロジェクト期間の最終年度時点で借入している金額に対する利子（即ち、運転開始年度に支払う利子）については建設費に含めず、事業報酬の中から支払うものとした。また、設備の取替費用は原子力部会同様、考慮しないものとする。

減価償却期間は、軽水炉の法定耐用年数16年と同様とする。法定耐用年は、軽水炉建屋、設備機器、ユーティリティーなどの耐用年数の平均として求められた年数であり、原子力プラントの償却期間として一般的に用いられている。運転期間が16年以上であっても、減価償却は16年で終了する。

1 年目 減価償却費 : (建設費・土地代) × α
 2 年目 減価償却費 : {(建設費・土地代) - 1 年目減価償却費} × α
 :
 t 年目 減価償却費 : {(建設費・土地代) - (t-1) 年目減価償却費} × α

原子炉の運転期間は、これまでコスト等検討小委員会に準じて現行軽水炉と同様 40 年と
 していたが、最終評価に向けて、FBR の設計耐用年数である 60 年とした。

残存価額は財務省令に定められる 10% とし、特別償却は考慮しないとす。

事業報酬

電気事業は公益事業であるものの、一つの企業として企業リスクを補償し、資金の調達を
 円滑に行う必要があることから公正報酬率規制が適用されている。公正報酬は、資金の調達
 に伴う支払い利息や配当金等を賄うものであり、具体的には電気事業の資産価値に対して適
 正な報酬率を乗じるレートベース方式がとられている。

発電原価試算においては、原子力プラント建設以降に追加される固定資産はないものとし、
 建設費償却後の残存価額を資産価値として事業報酬を求めることとする。

事業報酬 = 残存価額 × 事業報酬率

フェーズ 中間評価においては、平成 9 年の電気料金引き下げ時の算定根拠に準じて 4.4%
 を採用していたが、最終評価では割引率と同じ 2% とすることが適当であるとした。

固定資産税

固定資産税は、土地、家屋及びその他の有形償却資産に課せられる税である。税率は、標
 準税率である 1.4% を用いることとする。

固定資産税 = 残存価額 × 固定資産税率

廃止措置費

廃止措置費は、原子力プラント廃炉に係る費用であり、原子力プラントの解体費と解体廃
 棄物処分費で構成され、プラント設計により算出し、原子炉運転期間中に一定額ずつ積み立
 てる（減債基金法）ものとして計上する。具体的には、解体撤去等で発生する廃棄物の物量
 と単価から求め、作業の特徴を考慮し、解体撤去作業費用は廃棄物重量（ト）と対応する単
 価（円/ト）より計上し、他の作業ステージでは、廃棄物体積（m³）と対応する単価（円/m³）
 より計上するものとする。各年の積立額は次式より求める。

廃炉費積立率は割引率と同様 2% とし、積立期間は原子炉運転期間 60 年とした。

廃止措置費 = 廃止措置費総額 × 廃炉費積立率 / (1 + 廃炉費積立率)^{積立期間 - 1}

最終評価においては、原子力プラントの解体廃棄物として、高レベル廃棄物、地層処分型低レベル廃棄物、余裕深度処分型低レベル廃棄物、浅地中ピット処分型低レベル廃棄物、浅地中トレンチ処分型低レベル廃棄物、非放射性廃棄物を想定し、これらの解体撤去、構外輸送・処分費を含めることとした。廃棄物処理から処分までのフローを図 3.1.18 に、それぞれの単価、及び設定根拠を表 3.1.3 にまとめる。単価の設定については、コスト等検討小委員会における検討²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾に基づいて行った。

高レベル廃棄物については、処理施設、及び貯蔵施設を近接立地と想定し、貯蔵費、貯蔵場から処分場までの輸送費、処分費を計上した。

浅地中ピット処分型低レベル廃棄物、浅地中トレンチ処分型低レベル廃棄物、非放射性廃棄物については、処理後即時処分を想定し、処理施設から処分場までの輸送費、及び処理費を計上した。

(b) 運転費

運転費は、直接運転に係わる人件費、修繕費、諸費、さらに間接的費用である業務分担費、事業税により構成される。事業税以外は、毎年一定額を計上するため現在価値換算をせず、年間運転費/年間発電量により求めることができる。フェーズ 最終評価においては、運転費構成費用の見直しを重点的に行った。

人件費

人件費は、発電所職員の給与手当や福利厚生費用などをまとめた費用である。人件費は次式にて求めることができる。

$$\text{人件費} = \text{要員数} \times \text{人件費単価}$$

フェーズ 中間評価までは、人件費単価を 900 万円/人としていた。この単価は、厚生労働省発表の電気・ガス事業の前年例平均賃金に福利厚生などの諸経費を約 2 割と見込んで算出した値である¹⁸⁾。最終評価では見直しを行い、H11~15 年度の東京電力株式会社の有価証券報告書総覧²⁴⁾と、東京電力株式会社の web サイト²⁵⁾に記載されている原子力発電所従業員数を参考に人件費を算定した。その結果、従業員 1 人あたりの人件費の単価を 1,004 万円/人年、大型炉 1 基あたりの従業員数を 140 人/基とした。

修繕費

修繕費は、固定資産を維持し、満足に稼働させるために必要な費用であり、固定資産の価額を増すことなく、当該事業年度に費用として計上される。修繕費は設計により異なり、定期点検期間中に費用が発生するという想定において、軽水炉の実績を元に算出する。経済性評価においては、プラント設計による建設費総額に対する比率で設定し、次式によって求められる。

$$\text{修繕費} = \text{建設費} \times \text{修繕費率}$$

諸費

諸費には、人件費、修繕費以外に運転に必要な費用を計上している。具体的には、雑給、廃棄物処理費、消耗品費、補償費、賃貸料、委託費、損害保険料、諸費、雑税、固定資産除去費、共有設備等分担額、共有設備等分担額（貸方）である。次式に示すように、建設費に諸費率を乗じて算出する。

$$\text{諸費} = \text{建設費} \times \text{諸費率}$$

諸費率は、FS フェーズ 中間評価では日本エネルギー研究所の1995年の評価例²⁶⁾に従い1.5%を採用していたが、最終評価では電力9社の有価証券報告書を元に見直しを行い、その結果得られた諸費率1.3%を採用することとした。

業務分担費

業務分担費とは、本社関連経費である一般管理費を原子力発電分に配賦したものである。主に本社役員の人件費、事務経費等が含まれ、下記の式で算出する。業務分担比率は、平成11年の原子力部会における原子力発電原価5.9円/kWhのうちの運転維持費費用内訳²⁷⁾から算出した12.5%を採用することとした。

$$\text{業務分担費} = (\text{人件費} + \text{修繕費} + \text{諸費}) \times \text{業務分担比率}$$

$$\text{業務分担比率} = \text{一般管理費の原子力配賦分} / (\text{人件費} + \text{諸費} + \text{修繕費})$$

事業税

事業税は、電気事業者の場合、事業年度の総収入に課せられる税である。発電原価計算は、運転開始時点の価格に換算した発電総経費と毎年の発電総収入が等しくなるように決定するものであるから、事業税を含む全費用に一定税率を乗じて算出するものとする。ただし、事業税は事業年度終了後2ヶ月以内に納付することが定められていることから、操業1年目には支払わず、1年遅れで支払うこととした。次式にて事業税を算出し、事業税率は税法の1.3%とした。

$$\text{事業税} = \text{事業税を除く全費用} \times \text{事業税率} + \text{事業税} \times \text{事業税率}$$

$$= \text{事業税を除く全費用} \times \text{事業税率} / (1 - \text{事業税率})$$

(c) 燃料費

燃料費は、発電を基準としたフロントエンド費とバックエンド費で構成される。燃料費は、燃料サイクル単価に燃料所要量を乗じて求める。

FBR 候補概念の評価では、燃料サイクル単価について、燃料製造、新燃料輸送、使用済燃料輸送、再処理、操業時の高レベル廃棄物、浅地中ピット処分型低レベル廃棄物、浅地中トレンチ処分型低レベル廃棄物、非放射性廃棄物の貯蔵、輸送、処分費用を考慮することとしている。それぞれの廃棄物貯蔵・輸送・処分単価は、炉の廃止時の輸送・処分単価と同じとした（表 3.1.3 参照）。

燃料製造及び再処理単価は、プラント設計をベースに算出される。

新燃料輸送単価は、使用済燃料輸送単価と同等であるとし、これらはコスト等検討小委員会において試算された再処理施設までの使用済燃料輸送単価 1.8 万円/tHM²⁸⁾と同等であるとした。

高レベル廃棄物貯蔵・処分単価、その他廃棄物処分費については、廃棄物発生体積 (m³) と貯蔵単価 (万円/m³)、処理規模 (t/年) から求めることとした。

燃料所要量は、各工程でのロス率を考慮して求める。以下に詳細を示す。

フロントエンド費

フロントエンド費は、(天然ウラン購入) (転換) (濃縮) 燃料加工の費用で構成され、以下の式で求められる。() 内は軽水炉のみの作業である。

フロントエンド費 = (各燃料所要量×各燃料サイクル単価)

燃料所要量は、装荷時を基準として求められるため、装荷前に行われる工程に必要な所要量は、各工程でのロス率を考慮する。

- a. 天然ウラン所要量 = 転換諸量 (t/cycle) / (1 - 転換ロス率)
- b. 転換所要量 = 濃縮 (装荷) ウラン量 (tU) × 1 (tU) の濃縮ウラン製造に必要な天然ウラン量 (tU) / {(1 - 濃縮ロス率) × (1 - 加工ロス率)}
- c. 濃縮所要量 = 濃縮 (装荷) ウラン量 (tU) × 1 (tU) の濃縮ウラン製造に必要な分離作業量 (SWU) / (1 - 加工ロス率)
- d. 加工所要量 = 装荷ウラン量

1(tU) の濃縮ウランを製造するのに必要な天然ウラン量(tU)は次の式で求める²⁹⁾³⁰⁾。

天然ウラン量 (tU) : F、天然ウラン濃縮度(%) : X_f、濃縮ウラン量 (tU) : P、
装荷燃料濃縮度(%) : X_p、テイル劣化ウラン量 (tU) : W、
テイル劣化ウラン濃縮度(%) : X_w とすると、

$$F = P + W \cdots (1)、X_f F = X_p P + X_w W \cdots (2)$$

$$\text{式(1)、(2)より } F = P \times (X_p - X_w) / (X_f - X_w) \cdots (3)$$

また、分離作業量については、「濃縮ウラン濃度、テイルウラン濃度、天然ウラン濃度のそれぞれに、適当な重み (価値関数 V_x) を与え、物質質量×重み (価値関数) = 価値とし、濃縮作業によって増加した価値のことをいう」と定義されている。

濃縮工場では、濃縮によって得られる濃縮ウランとテイルウランの分離作業を行うことから、濃縮作業への対価は、濃縮ウラン量のみでなく、テイルウラン分離作業も含んだものとなる。分離作業量は、この濃縮分離作業を評価する必要性から生まれた指数であり、下記の式で求めることができる³⁰⁾³¹⁾。

$$\begin{aligned}
& \text{分離作業量} = \text{製品の価値} + \text{廃品の価値} - \text{原料の価値} \\
& = (\text{濃縮ウラン量} \times \text{単位濃縮ウランの価値}) + (\text{テイルウラン量} \times \text{単位テイルウランの価値}) - (\text{天然ウラン量} \times \text{単位天然ウランの価値}) \\
& = P \times V(X_p) + W \times V(X_w) - F \times V(X_f) \qquad V(X) : \text{価値関数} = (2X-1) \times \ln X / (1-X)
\end{aligned}$$

バックエンド費

バックエンド費は、使用済燃料輸送、再処理、中間貯蔵、高レベル廃棄物貯蔵・処分、その他放射性廃棄物処分の費用で構成され、次の式で求める。

$$\text{バックエンド費} = (\text{各燃料所要量} \times \text{各燃料サイクル単価})$$

(iii) 発電原価計算法と現在価値換算

前述したように、発電原価は、これまで述べてきた資本費、運転費、燃料費の年あたりの費用（燃料費は1サイクルあたりの費用）を運転開始年に現在価値換算して総和をとり、同じく運転開始年に現在価値換算した発電電力量の総和で除すことによって求めることができる。図 3.1.19 に発電原価算出における、各費用のフロー図を示す。

ここで用いる現在価値換算とは、現在の金銭の価値と将来の金銭の価値が異なるという概念から、毎年発生する費用を評価地点の価格に換算する手法のことをいい、企業の新規投資への意思決定に用いられる。この概念は、投資費用に見合う利回りを将来得られるとは限らない、というリスクや、この投資以外にも、他に利回りを得られる投資の機会があるということから、現在と比べ、将来の金銭価値は低いと考えるものである³²⁾³³⁾。例えば、ある投資家が100万円持っていたとして、年利回り10%を得ることができる事業に投資した場合、1年後の110万円と現在の100万円は現在の評価地点では等価だと考えられる（図 3.1.20）。このとき、1年後の105万円を現在価値である100万円に換算する係数を「割引率」といい、一般に、投資基準となる事業収益率が用いられる。

発電原価評価において、資本費、運転費は年単位で現在価値換算する。ただし、運転費のうち事業税以外は毎年同額が計上されるものであることから、現在価値換算を行わない。

燃料費はサイクル単位で現在価値換算し、さらに燃料装荷時を基準としたリード・ラグタイム、及び炉内滞在期間を考慮するものとする。フロントエンドリードタイムはH11年原子力部会原子力発電原価5.9円/kWhを日本原子力研究開発機構で再現した際の設定値を、バックエンドラグタイムはコスト等検討小委員会の設定値に基づいて設定した²⁸⁾。ただし、FBRの再処理ラグタイム（使用済燃料冷却期間）は、実用化戦略調査研究において再処理プラントの設計による使用済燃料の受入条件と、使用済燃料の発熱、放射能を勘案して当面の目標とされている4年とした。再処理施設から高レベル廃棄物貯蔵施設までの輸送は、これら施設が近郊にあることを想定し、即時輸送とした。高レベル廃棄物貯蔵施設から処分場までの輸送は、陸上及び海上輸送を想定し、貯蔵・輸送費用は40年の貯蔵期間の中間地点で発生し、貯蔵後に処分費用が発生するとした。

低レベル廃棄物については、将来には十分な処分場があると想定し、再処理施設での処理後、即時処分とした。再処理施設から処分場までの輸送には、再処理施設内での滞留時間と輸送期間として1年間を考慮した。リード・ラグタイム設定における時間軸のイメージ図を図 3.1.21

に示す。想定したリード・ラグタイムについては燃料サイクル単価と共に表 3.1.4 に示す。

炉内滞在時間は、炉心のバッチ数、1 サイクルの運転期間と定検期間により設定され、これらは炉心及びプラントの設計によって決まる。燃料交換は 1 サイクル毎に 1 回、1 バッチずつ行うこととするため、初装荷燃料については炉内滞在時間が燃料バッチ毎に異なる。このため、初装荷燃料については、全バッチの平均炉内滞在時間を 1 バッチの炉内滞在期間とする。また、運転終了サイクル年には、全バッチを取り出すことになるので、バッチ毎に炉内滞在時間を計算して、現在価値換算を行うこととする。燃料交換サイクルのイメージ図を図 3.1.22 に、各耐用年平均費用の算出式を以下に示す。

a. 耐用年平均資本費

$$\begin{aligned} \text{耐用年平均資本費} &= \Sigma \{ n \text{ 年目の資本費} / (1 + \text{割引率})^n \} \\ &/ [\{ n \text{ 年目の発電量} / (1 + \text{割引率})^n \}] \\ n \text{ 年目の発電量 [kWh]} &= \text{電気出力 [kW]} \times 24 \text{ [時間]} \times 365 \text{ [日]} \times \text{設備利用率 [\%]} \\ &\quad \times (1 - \text{所内率}) [\%] \end{aligned}$$

b. 耐用年平均運転費

$$\begin{aligned} \text{耐用年平均運転費 (事業税以外)} &= \text{年間運転費} / \text{年間発電量} \\ \text{耐用年平均事業税} &= (\text{耐用年平均資本費} + \text{事業税以外の耐用年平均運転費} \\ &+ \text{耐用年平均燃料費}) \times \text{事業税率} / (1 - \text{事業税率}) / (1 - \text{割引率}) \end{aligned}$$

c. 耐用年平均燃料費

$$\begin{aligned} \text{耐用年平均燃料費 (フロントエンド)} \\ &= \Sigma [\{ m \text{ サイクル目の燃料費} \times (1 + \text{割引率})^{\text{リードタイム}} / (1 + \text{割引率})^l \} \\ &/ (m \text{ サイクルの発電量} / (1 + \text{割引率})^l)] \end{aligned}$$

耐用年平均燃料費 (バックエンド)

$$\begin{aligned} &= \Sigma [\{ m \text{ サイクル目の燃料費} \times (1 + \text{割引率})^{\text{炉内滞在時間} + \text{ラグタイム}} / (1 + \text{割引率})^l \} \\ &/ (m \text{ サイクルの発電量} / (1 + \text{割引率})^l)] \\ l &= m \text{ サイクル目の経過年} \end{aligned}$$

サイクルの途中で運転終了となる場合は、以下の式を用いて最終サイクルの経過年、及び発電量を算出する。

$$\begin{aligned} \text{最終サイクルの経過年} &= \text{運転期間} \\ \text{最終サイクルの発電量} &= 1 \text{ サイクルの発電量} \times (\text{運転期間} - \text{最終装荷時の経過年}) \\ &/ 1 \text{ サイクル期間} \end{aligned}$$

(iv) 再処理及び燃料製造単価の計算手法

再処理及び燃料製造単価は、基本的に発電原価と同様の手法で算出する。発電原価は費用を発電量 (kWh) で除すが、サイクル施設単価は費用を燃料処理量 (kgHM) で除して求める。

また、資本費と運転費のみを考慮する。設定条件を表 3.1.5 に、計算フローを図 3.1.23 に示した。

(a) 資本費

減価償却費

燃料サイクル施設の建設費は、建屋及び設備の償却期間の違いを考慮して評価する。建中利子については、炉プラントと同様ある年度の借入金に対する利子は次年度に支払うとし、運転開始年に発生する利子は事業報酬の中から支払うこととした。なお、建設費に土地代は含めていない。

FS フェーズ 中間評価においては、燃料サイクル施設建設費の償却方法として、原子炉と同様に定率法、残存価額 10%とし、償却期間については建屋 38 年、設備 9 年であるとしてきた。これらの償却期間は、財務省令「減価償却資産の耐用年数等に関する省令」³⁴⁾に基づいた期間であるが、平成 5 年に、鉄骨鉄筋コンクリート造又は鉄筋コンクリート造の工場建物 38 年、核燃料加工設備 11 年に改訂されていることから、これに基づき、建屋 38 年、設備 11 年であるとした。なお、再処理施設については省令がなく、核燃料加工設備と同様であるとする。

償却方法については、税法に基づき、定額法、残存価額 10%で償却し、償却期間終了後は残存価額 5%になるまで同額償却するものとした。さらに、建屋については、法人税施行令第 61 条 2 に該当する「堅ろうな建物」であることを想定し、残存価額が 5%に達した場合、残額を残存使用期間中に定額償却するものとした。

固定資産税

固定資産税は税法において、定率法にて算出した残存価額（毎年 1 月 1 日の価格）に掛かる税とされている。このため、定額法での減価償却額計算による残存価額とは別に、定率法で計算した結果の残存価額に固定資産税率 1.4%を乗じて固定資産税を算出するものとする。

FS フェーズ 中間評価においては、「藤井 晴雄/原子力発電の経済性分析及び核燃料産業の将来予測（1973）」²⁹⁾における固定資産税の計算法をもとに、固定資産税のうち、操業 5 年以下の期間は 1/3、5～11 年 2/3 に減額することとしていたが、現在の税法とは異なるため、操業 1 年目から全額計上することとした。

廃止措置費用

廃止措置費用については、原子炉と同様に廃棄物発生体積（ m^3 ）と貯蔵単価（万円/ m^3 ）、処理規模（t/年）から求めることとした。

再処理、燃料製造プラント設計においては解体時の廃棄物について、解体直後の廃棄物重量(t)についての検討を実施しているが、処理方法や処理形態を考慮した最終廃棄体の体積（ m^3 ）としての詳細評価には至っていない。このため、コスト等検討小委員会における再処理廃止措置費用の検討を元に廃棄物の処分形態を想定し、重量と体積の関係を利用して最終処分体としての体積に換算した³⁾。表 3.1.6 に、使用した換算係数を示す。

事業報酬率

事業報酬率は、割引率と同様 2%とした。

(b) 操業費

人件費

FS フェーズ 中間評価においては、燃料サイクル施設の人件費単価については原子炉と同様とし、900 万円/人年としていた³⁾。コスト等検討小委員会において、再処理事業、及び MOX 加工事業について、平成 13 年度版「労働統計年報（労働大臣官房政策調査部）」の統計データを基にエンジニア及び管理監督者：44,500 円/人日、一般作業員：29,900 円/人日の人件費が設定されており³⁵⁾³⁶⁾、FBR サイクル事業についてもこれと同様であるとした。

修繕費

修繕費はプラント設計により求められる。設備の更新費用は資本的支出として、通常資本費に含まれるが、年あたりに換算して修繕費に含めることとしている。

諸費

消耗品等と委託費に分けて検討している。消耗品等率（プラント建設費に対する年間の消耗品等費用の割合）はプラント設計により求められ、委託費は業務分担費に含むとした。

業務分担費率

FS フェーズ 中間評価においては、燃料サイクル施設の業務分担比率について、製造業や委託作業契約などの実績値を参考に、人件費+修繕費+諸費の 15%としていた。コスト等検討小委員会において、再処理事業、MOX 加工事業に係わる運転管理費用が詳細検討されていることから³⁵⁾³⁶⁾、これらの費用のうちの一般管理費の割合を試算したところ、再処理事業については約 10%、MOX 加工事業については約 16%の数値となった。これにより、委託費を含めた業務分担比率について、人件費+修繕費+諸費の 15%という数値は妥当であると考え、最終評価においても業務分担比率 15%とした。

事業税

FS フェーズ 中間評価では、燃料サイクル施設の事業税は原子炉（電気事業者）と同様に「全経費×事業税率 1.3%」としてきた。しかし、燃料サイクル事業者は普通法人と考えられ、電気事業者とは課税対象が異なる。普通法人の場合、事業税は所得に課税されるものと、外形基準（企業の付加価値、資本金）に課税されるものに分けられることから、新たに所得、及び外形基準を設定し、事業税を算出することとした。ただし、燃料サイクル単価を算出する上で、燃料サイクル事業者は最低限経営に必要な収入のみを得ると設定することから、利益となる所得はないものとした。このため、事業税は外形基準に課税されるもののみを計上する。

外形基準による事業税は、次の式で求められる。

事業税 = 外形基準割額（付加価値割額×資本金割額）

付加価値割額 = 付加価値×付加価値割率

企業の付加価値は「報酬給与額」、「純支払利子」、「純支払賃貸料」、「単年度損益」の合計によって決められる。付加価値割率は、法定値より 0.48%とした。

「報酬給与額」は、事業者が支払った職員への給与である。このため、人件費、及び業務分担費の内の役員給与、退職金分とした。業務分担費の中の役員給与、退職金の割合については、平成 15 年度の日本原燃株式会社の実績値²⁸⁾より、一般管理費のうちの割合をとり、業務分担費の 13%と設定した。

「純支払利子」は、負債による資金調達に対して支払う利子から、預金による受取利子を除いたものである。燃料サイクル施設建設に要する資金のうち、負債により調達した資金が 70%であると設定し（電気事業者並であると設定）平成 15 年度の日本原燃の実績値²⁸⁾から算出した純支払利子と負債額の比（1.034%）から算出することとした。

「純支払賃貸料」は、土地・家屋に係る支払賃貸料から、受取賃貸料を除いたものである。支払賃貸料については、考慮せず、ゼロとすることとした。

「単年度損益」は、繰越欠損金控除前の税法上の所得である。所得はないものと設定することから、ゼロとした。

付加価値割額 = (給与所得+純支払利子+純支払賃貸料+単年度損益) × 0.48%

給与所得 = 人件費+業務分担費×13%

純支払利子 = 建設費（利子込）×70%×1.034%

純支払賃貸料 = 0

単年度損益 = 0

資本金割額は次の式で求められる。

資本金割額 = 資本金×資本金割率

資本金は、燃料サイクル施設建設に要する資金のうちの株主資本の額であるとした。株主資本の割合は電気事業者並の 30%であるとした。資本金割率は、税法により 0.2%とした。

資本金割額 = 建設費（利子込）×30%×0.2%

部材費

ラッパ管や被覆管などの燃料部材にかかわる費用である。通常燃料製造費に含まれる。燃料集合体の仕様により決定される。部材費は各燃料製造施設で共通に 5 万円/kgHM であるとした。

(v) 物価価値補正

プラント設計によって評価された各費用は、その項目によってそれぞれ評価基準年が異なる。

最終評価では全て 2005 年を評価基準年として統一するため、国土交通省発表の建設工事費デフレーター³⁸⁾のうち、工事種類別構成における「電力」のものを用いて物価価値補正を行った。各費用における評価基準年を表 3.1.7 に、補正対象データと補正デフレーターを表 3.1.8 にまとめる。

(2) 投資リスクに関する検討

電力市場の自由化や需要の鈍化によって、将来、長期安定的な収入が見込めないとの懸念から、発電原価は低い初期投資の大きい従来の大型電源に対し、発電原価は比較的高いものの、初期投資の小さい中型、小型電源に近年注目が集まっている。このため、発電原価に加えて投資リスクについての評価が求められてきたが、投資リスクとして評価すべき内容や具体的評価手法についての見当がなされておらず、評価が困難であった³⁹⁾。フェーズ 最終評価では、原子力発電の投資リスクについて検討し、これを評価するための投資リスク評価ツールを開発した。さらに、評価条件を設定し、FBR サイクル候補概念を対象に評価を行い、その妥当性を確認した。

検討の結果、原子力発電の投資リスクについては、大別して以下の 2 つを想定した。

1 つは、経済的リスクである。従来の原子力発電は、他電源と比べ発電原価が低いというメリットがあるが、巨額の初期投資がかかるというデメリットも持ち合わせている。需要が安定しており、将来需要予測が可能な場合投資回収を見込んだ適切な投資の選択が可能であるが、電力市場の自由化によって競争が生まれ大型電源を持つ電力会社への需要が鈍化し、将来の需要予測が困難または悲観的となれば、長期安定的な需要、収入が見込めない懸念が生じる。さらに、バックエンドについて、現在その殆どが研究段階であり、将来見込んだ以上のコストが発生することも考えられる。

もう 1 つのリスクは、政治的リスクである。原子力発電所の建設には、国の許認可、立地地域住民の理解が不可欠であり、原子力関係施設の事故や不祥事によって世論の逆風が高まれば、それに伴う政治的見解によって、計画から着工までの遅れや早期閉鎖が生じる可能性が考えられる。

これら 2 つのリスクのうち、政治的リスクは定量的な評価が困難であること、評価が可能であっても実用化戦略調査研究における FBR サイクル候補概念間で差を生じさせる可能性が少ないことなどから、経済的リスクに焦点を絞り投資リスクを評価することとした。また、原子力発電所における投資リスクを評価するという観点から、評価の対象を原子炉プラントとし、燃料サイクルプラントについての投資リスク評価は行わない。

フェーズ 最終評価では、投資リスク指標のうち投資必要額の評価基準に関して、以下のとおりとする。

努力目標として、極めて安価な大規模基幹電源の投資に必要な金額を想定する。300 万 kW_e の電源を設置するとき、kW_e あたりの建設単価として 10 万円/kW_e を想定し、これに要する費用（3000 億円）と初装荷燃料費用（およそ 600 億円と試算）を合計して 3600 億円とする。なお、この建設単価は、将来最安価電源の建設単価や他電源比較における大規模基幹電源の建設単価と近い値である。

達成目標については、将来軽水炉の場合を想定して、それと比肩する金額とする。約 20 万円/kW_e の建設単価を想定し、初装荷燃料費用を合計して 6600 億円と設定する。

許容値については、既存の軽水炉の場合を想定する。約 30 万円/kWe の建設単価を想定し、初装荷燃料費用を合計して 9600 億円と設定する。

一方、投資リスク指標のうち投資回収期間の評価基準に関しては、以下のとおりとする。

努力目標として、原子炉の建設期間なみの短期間で投資を回収できることを非常に高い目標として定める。原子炉の建設期間としては、大型炉の建設期間を一応の目安として、3.5 年（42 ヶ月）を考えた。

達成目標については、法廷耐用年数を考慮して 16 年を想定した。この時期までには残存価額以外は減価償却が終わっており、投資した資金を回収するための重要な目安となると考えられる。

許容値については、最終評価で設定した FBR の耐用年数の半分である 30 年とする。投資の回収に 30 年以上を要すると、投資の回収性に不安が生じることも考えられることが想定される。

投資リスクの評価方法としては、発電原価試算と同様に、キャッシュフローを用いた現在価値換算法を用いる事とした。発電原価試算では、運転開始年で現在価値換算した毎年の費用を、同じく現在価値換算した毎年の発電量で除して耐用年平均発電原価を試算する。これに対し、投資リスク評価では、現在価値換算した毎年の費用と収入から収支計算を行い、収支を積み上げた累積収支を算出することによって、投資必要額、投資回収期間（投資回収までに掛かる年数）を評価する。現在価値換算の方法は発電原価と同様に、割引率 2%を用いて行う事とし、キャッシュフロー算出にあたっては、将来の物価変動に伴うインフレ率変動を考慮することとした。具体的には、n 年目の現在価値、インフレ率を考慮した費用、収入を下記の式によって求め、収支を算出し、最も大きい借入額を投資必要額、累積収支がプラスとなった時点を投資回収期間とした。

キャッシュフローを図 3.1.24 に、キャッシュフローと投資リスク指標の関係を図 3.1.25 に、評価のフローを図 3.1.26 に、試算条件を表 3.1.9 示す。

$$\begin{aligned} \text{インフレ率考慮費用(収入)現在価値} &= \text{費用(収入)} \times (1 + \text{インフレ率})^n / (1 + \text{割引率})^n \\ n \text{ 年目の累積収支} &= \{ (n-1) \text{ 年目累積収支} + (n-1) \text{ 年目借入金利} + (n-1) \text{ 年目預入金利} \\ &\quad + n \text{ 年目の収支} \} / (1 + \text{割引率})^n \end{aligned}$$

(i) キャッシュアウトフロー（費用）

毎年の発電に掛かる費用は、発電原価と同様の、資本費、運転費、諸費、さらに送電費、借入、預入に伴う金利であり、毎年各構成費用を積み上げてキャッシュアウトフローとしている。各費用の算出法は基本的に発電原価と同様とした。ただし、費用発生時に費用を計上するというキャッシュフローの観点から考慮して、一部の費用に関しては発電原価と異なった方法で計上している。

(a) 資本費

プロジェクト費

発電原価計算手法では、建設費を減価償却費として、運転開始年から耐用年数間償却する方法をとっている。しかし実際には、減価償却費は会計上の費用であり、社外に支払われずに社内で内部留保され、借金の返済資金や次の投資の原資となるものであることから、投資リスク評価では、実際に社外に費用として支払われた費用を評価する目的から、建設費については支払い時に一括で計上することとし、実際のキャッシュの流れ(キャッシュフロー)を評価することとした。このため、建設費を含むプロジェクト費はプラント設計によって決定されるプラント建設期間中の毎年の資金需要に従って発生する。

固定資産税

固定資産税は、減価償却資産の償却残存価額に一定の税率で掛かる費用であり、社外に支払われるものである。このため、会計上の償却残存価額に応じて計上するものとした。建設費の償却方法は発電原価評価と同様に、定率法、残存価額 10%とし、固定資産税率 1.4%とした。

廃止措置費

電力会社において、原子炉の廃止措置費は原子力施設解体引当金として運転期間中に積み立てる方式がとられており、発電原価評価においても、プラント設計によって算出された解体費用を毎年積み立てることとしている。しかし、建設費と同様、廃止措置費についても、実際には社内で内部留保されている費用であるため、投資リスク評価では、費用発生時、即ち廃炉時期に一括計上することとした。廃炉時期は、コスト等検討小委員会同様、運転終了 7 年後とした。費用の算出は発電原価同様、解体撤去等で発生する廃棄物の物量と単価から求めることとした。

(b) 運転費

人件費・修繕費・諸費・業務分担費

発電原価と同様とし、人件費単価を 1,004 万円/人年基、諸費は建設費×1.3%、業務分担費は(人件費+修繕費+諸費)の 12.5%、修繕費はプラント設計によるとした。

事業税率

法人事業税は、法人が行う事業に対して課税される税である。地方税法により、電気事業の場合、事業税は収入に課税される。発電原価評価では、仮定的に費用と収入が同等として、事業税を含む全費用に掛かる税として算出したが、投資リスク評価では収入を考慮するために、収入に税率を掛けて算出することとした。事業税率は法定値の 1.3%とした。

事業税 = 送電端発電量×売電単価×事業税率

法人税・住民税

法人税は、法人の企業活動により得られる利益を基礎に求められる国税であり、法人が 1 年間(事業年度)を通じて生み出した所得金額に、税率を乗じることにより求められる。

住民税は地方税であり、その都道府県・市区町村に事務所・事業所・寮等を有している会社が納める道府県民税、市町村民税のことをいう。住民税には、法人の資本金・従業員数等に応じて課税される「均等割額」、法人税額を基礎として課税される「法人税割額」、預金等の利子等を基礎として課税される「利子割額」があるが、法人の資本金・従業員数等に応じて課税される「均等割額」に関しては「諸費」に含めて計上しているため、ここでは「法人税割額」及び「利子割額」を計上する。なお、地方税法において、「利子割額」を課されたときは、当該利子割額を「法人税割額」より控除するとされているため、計算上は「法人税割額」のみを計上する。

法人税率は標準税率の30%、住民税率は道府県民税5%、市町村民税12.3%のそれぞれの標準税率を合わせた17.3%とした。

課税対象である所得は、単年度の収支のプラス分であるとした。

単年度収支が0以上のとき

法人税・住民税 = 単年度収支 × 法人税率 × (1 + 住民税率)

燃料費

算出方法は発電原価と同様とし、発電に必要な毎年の燃料費を計上した。

送電費

発電した電力は、送電線、変電線、配電線等の一連の輸送経路を経て、需要者へ販売される。このため、電力会社は発電経費の他、発電所経費の他、変電から販売までの送電費用を投資する必要がある。そこで、投資リスク評価には、発電に掛かる資本費、運転費、燃料費の他、送電費を費用として含めることとした。費用の算出には電力9社の平成15年度有価証券報告書総覧を用い、各電力会社の販売電力・電灯量あたりの送電費、変電費、配電費、販売費の総和を求めた結果、4.0円/kWhとなった。

(c) 金利

借入金利・株主配当

借入金利は、銀行、社債発行などの負債によって投資資金を調達する場合にかかる実質の金利であり、株主配当利回りは株式の発行によって株主資本から資金を調達した場合に支払う株主への配当利回りである。投資資金調達における負債と株主資本の割合は、電力10社の実績から負債：株主資本 = 75：25であるとし、割引率と同様の2%とした。

預入金利

預入金利は、収益を運用した際にかかる実質の金利であり、2000年～2004年までの10年満期国債の国債価格⁴⁰⁾の平均をとり、1.34%とした。

(ii) キャッシュインフロー(収入)

キャッシュインフローは即ち売電による収入である。送電端発電量に売電単価を乗ずることで求められる。売電単価は、電源として原子力発電のみを有する日本原子力発電株式会社の平

成 15 年度有価証券報告書⁴¹⁾を用い、販売電力量あたりの売電収入 7.4 円/kWh を算出した。将来、発電所建設単価の低減や設備利用率の向上、燃料の燃焼度向上によって発電原価が安くなるとすると、その分売電単価も安くなることが考えられることから、発電原価現在の発電原価 5.3 円/kWh(コスト等検討小委員会試算¹⁵⁾)と、将来軽水炉発電原価 3.6 円/kWh(JAEA 試算値)の差額分、現在の売電単価 7.4 円/kWh から安くなるとし、5.7 円/kWh を設定した。ただし、日本原子力発電は送電線を有してないことから送電費分の収入が含まれていない。このため、電力 9 社平均送電費 4.0 円/kWh をこれに足し合わせ、売電単価を 9.7 円/kWh とした。

(iii) インフレ率変動

キャッシュフローの算出にあたっては、将来の物価変動に伴うインフレ率変動が考えられる。インフレ率とは即ち物価動向の指標であり、消費者物価指数、GDP デフレーターなどが上げられる。消費者物価指数とは、消費者が購入する「消費財」・サービスの価格(輸入品含む)についての総合的価格動向を示したものであるのに対し、GDP デフレーターは国内全て(企業、消費者)に直面する消費・投資・サービスの価格動向を示した指標である⁴²⁾。将来インフレ予測については、実際には 2050 年以降という長期的な将来インフレ予測は困難であり、近年のインフレ率が、消費者物価指数、GDP デフレーター共に前年比を下回るデフレ傾向にあること³⁹⁾⁴³⁾、日本銀行の金融政策は、インフレでもデフレでもない物価安定を目指しており、極度のデフレ傾向にあった 1999 年～2000 年には「ゼロ金利」政策が採られていたことなどを考慮し、本評価においては、インフレ率はゼロとした。

3.1.2.4 環境負荷低減性に関する検討

地球上の自然環境は、土壌圏、水圏、大気圏および生物圏の間を物質が循環し、バランスを保つことで成立している。資源・エネルギー・不用品の大量採取、大量生産、大量消費、大量廃棄が行われている現在の社会において、自然(環境)への負荷が増大していることを考えれば、FBRサイクルの導入によって循環型社会実現の一翼を担うことは有意義であり、環境負荷の低減は重要となる⁴⁴⁾。これまでも、フェーズ¹⁸⁾においても、環境への負荷となる一般的項目が列挙されており、フェーズ¹⁸⁾でも、環境白書の平成14年度版⁴⁵⁾や環境パフォーマンス指標ガイドライン⁴⁶⁾等を参考に環境への負荷一般を検討してきた。

ただ、こうした一般的な環境負荷低減性の評価を実施するためには、多様な物質等について、FBRサイクルシステムから環境への物質放出量を評価する必要がある。しかし、例えば温室効果ガスの総量などについては、精度の高いデータは得られておらず、FBRサイクル候補概念の比較を行うことは難しく、他の電源との比較では意味があるものの候補概念間の比較のためには有意義な結果が得られないと考えられた。そこで、FBRサイクルシステムの環境負荷低減性の評価にあたっては、フェーズ¹⁸⁾およびフェーズ¹⁸⁾中間評価と同様に施設操業場所での放射性物質放出の評価を中心として行うこととした⁴⁷⁾⁴⁸⁾。

放射性物質の放出に限定しても、実用化戦略調査研究を開始した時点では評価を行うために必要な放射性物質放出量等のデータがわずかしか得られなかった。しかし、世界的に環境に対する関心が高まっていることを背景に、環境経済学といった分野でさまざまな人間活動のライフサイクル評価が試みられるようになってきた。この点に関しては原子力分野も例外ではなく、フェーズ¹⁸⁾が実施された5年間に、わが国をはじめ世界的に核燃料サイクルの検討やその評価手法開発が盛んとなってきたことも相まって、従来は入手困難であった廃棄物発生量に関するデータが出揃い、本格的な評価を実施できる土台が整備されてきた。また、実用化戦略調査研究における設計活動も徐々に進捗しており、より詳細な廃棄物量の評価を可能とする設計データを準備する体制が整ってきた。

フェーズ¹⁸⁾の設計においては、廃棄物を、高レベル廃棄物、地層処分型低レベル廃棄物、余裕深度処分型低レベル廃棄物、浅地中ピット処分型低レベル廃棄物、浅地中トレンチ処分型低レベル廃棄物、クリアランスレベル以下廃棄物、非放射性廃棄物と、基本的に処分方法別に区分して、最大7段階に分けて考えている(放射性廃棄物の区分や呼称については、必ずしも統一されていないが、ここでは原子力学会の標準委員会が検討している呼称案⁴⁹⁾に沿った形で既述した)。しかし、FBRサイクル全体で通してみると発生量を適切に評価できる放射性廃棄物は、高レベル廃棄物、地層処分型低レベル廃棄物、余裕深度処分型低レベル廃棄物、浅地中ピット処分型低レベル廃棄物、浅地中トレンチ処分型低レベル廃棄物の5区分の放射性廃棄物である。

図3.1.27が今回設定した環境負荷低減性に関する評価構造である。フェーズ¹⁸⁾中間評価の結果を踏まえて、構造の骨組みを中間評価時から若干変更した。各下位指標の重みに関しては、埋設処分する廃棄物について、廃棄物発生量と放射性毒性と被ばく影響を同等の重みとし、体積換算した廃棄物発生量と面積換算した廃棄物発生量では、面積換算した廃棄物発生量の方が環境負荷という面から重要であると考えて、倍の重みを付けることとした。さらに被ばく影響に関しては、現時点での被ばく影響である希釈放出の方が埋設処分よりも重要であると考えて、希釈放出する放射性廃棄物による被ばく影響の重みを、埋設処分する放射性廃棄物による被ばく影響の重みに対して倍とした。これは、中間評価と比較して、若干放射性毒性の重みが大きくなり、被ば

く影響の重みが小さめになっている。環境負荷低減性の評価にあたっては、廃棄物の特性を詳細に評価するため、多重平衡サイクル評価用の諸量評価ツールで物質収支を計算することとした。

なお、多重平衡サイクル評価用の諸量評価ツールについても、フェーズ 中間評価以降、取り扱うことが可能な炉心領域を 4 領域から 6 領域に拡張し、放射化生成物（軽元素）も扱い、全部で 1300 以上の核種組成を評価可能とした。また、構造材の照射や燃料不純物を考慮した解析を可能とするため、機能拡張を実施した。さらに、重量あたりの富化度調整だけでなく、体積あたりで富化度調整を実施する解析が可能とするなど、着実かつ精力的に改良を進めてきており、FBR サイクルの特性評価における多様かつ精緻な要求に応えうるツールとなっている。

(1) 埋設処分する廃棄物発生量(体積)に関する検討

まず埋設処分に関する環境負荷について記述する。

3.1.1.1 節で述べたことになって、FBR サイクルシステムと周囲の環境との相互作用のうち、放出される放射性物質に注目したとき、放射性廃棄物の放出量がまさに環境負荷であると考えてよい。ここで、さまざまなシステムを比較評価するための指標としては、FBR サイクルシステムが社会に対して便益である電力を単位量与えるとき、どの程度の量の廃棄物を社会に放出するのかが指標とすることが妥当である。このとき、廃棄物の発生量を体積で表すならば、単位としては (m^3/kWh) とすることが考えられる。発生体積で評価した廃棄物発生量に関する効用関数を図示すると図 3.1.28 のとおりである。

この指標では、放射性廃棄物を単に発生量で積算している。放射性廃棄物の発生量を見れば、高レベル廃棄物よりも低レベル廃棄物の方がずっと多く、支配的な影響を持つ。したがって、この指標は、低レベル廃棄物を重視した考え方を示している。

また、廃棄物発生量の許容値は、代表的な軽水炉、六ヶ所の再処理施設、六ヶ所の MOX 燃料製造施設の状況を参考にして、現状レベルの軽水炉サイクルのレベルを想定した評価を行い、仮設定して用いることとした。これは、放射性廃棄物の発生量と放射性毒性の評価に関する 3 指標で共通である。この点は、FBR サイクルを想定した中間評価から異なっており、フェーズの評価と類似した考え方である。

(2) 埋設処分する廃棄物発生量(占有面積換算)に関する検討

放射性廃棄物の量を評価指標とすることは、放射性廃棄物が等質ならば問題はないと考えられるが、廃棄物の質の差に注目する場合には、以下のように別の評価指標を考えるべきである。そもそも「放射性」廃棄物に注目するというのが、廃棄物の質に着目していることを示している。さらに、自然に存在する水でも放射性核種（トリチウム等）を含んでいるが、そのレベルはごく低い放射能物質として扱うことはないことから分かるように、一口に放射性廃棄物と総称してもその放射能の程度が重要である。そこで、放射性廃棄物の質の差を端的に示す指標として、埋設処分時の処分場占有面積を考えることとした。一般に体積換算して同じ量の放射性廃棄物であっても、放射能レベルの高い放射性廃棄物を処分するには、より広い処分場が必要となる。したがって、放射性廃棄物の発生量を廃棄物処分場の面積に換算して比較評価すれば、廃棄物の質の差を見込んだ評価を行うことができる。このとき、廃棄物の発生量を処分場の面積で表すならば、評価指標の単位としては (m^2/kWh) が適切と考える。埋設処分場の占有面積で評価した廃棄物発生量に関する効用関数を図示すると図 3.1.29 のとおりである。

(3) 放射性毒性に関する検討

廃棄物について環境負荷の点から検討する場合は、時間的な問題も考慮すべきと考えられる。これまで述べた廃棄物発生量は、体積換算した場合でも面積換算した場合でも廃棄物発生時(処分時)の発生量である。実際の放射性廃棄物処分に関しては、非常に長い期間にわたって致死量をはるかに超える放射性物質が地中に存在する。例えば、処分時には同程度の有害さであっても、少し時間がたてば無害になる廃棄物に比べて長期間そのまま有害である廃棄物の方が、環境負荷の面からはるかに問題であると考えられる。極端な場合、処分して即座にまったく無害となる廃棄物については、環境負荷は感じられないだろう。そこで、環境中に長期的な影響のある有害廃棄物を放出しない FBR サイクルの方が望ましいという観点から、将来の放射性毒性を評価指標の一つとして採用し、放射性廃棄物の持つ毒性評価結果を指標の一つとして用いることとした。また、環境負荷として放射性毒性を評価することは適切なのかについて議論はあるが、投資対効果評価でも定量化し難いが、一種の効果として考えられるものとして、放射性毒性の低減があげられている⁵⁰⁾。

サイクル機構が過去に実施した「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ - 分冊 3 地層処分システムの安全評価」⁵¹⁾において、高レベル廃棄物をガラス固化した場合の安全性を評価した例では、高レベル廃棄物を固化したガラスが 1000 年後から地下水と接触すると想定した解析を行っている。この 1000 年という数字は、ガラス固化体処分の安全性に十分な裕度があることを示すための保守的な(つまり時期的に早い)数字であり、あくまでも目安と考えられるべきであるが、この例に倣って処分 1000 年後の高レベル廃棄物および地層処分型低レベル廃棄物中に含まれる放射性毒性を評価することとした。このとき、放射性毒性を示すため、年間摂取限度(Annual Limits on Intake: ALI)や放射能(Bq)を考えることも多い。しかし、フェーズ 最終評価では中間評価と同様に、実効線量(Sv)を毒性の単位とする。この方法は、廃棄物を経口摂取した場合について、標準的な個人が受ける実効線量に換算することでわかりやすく毒性を示すことができるので、欧米ではよく用いられている。ただし、放射性毒性の評価は、ガラス固化体中の放射性物質を実際に経口摂取することを想定しているのではなく潜在的な危険性を評価しているだけであることに留意する必要がある。

また、評価指標については単位発電量あたりの放射性毒性で示すことが適当であると考え、単位は(Sv/kWh)とした。放射性毒性評価のために設定した効用関数を図 3.1.30 に図示する。なお、評価の基準値に関しては、廃棄物発生量と類似した方法を用いて、軽水炉サイクル相当を許容値として設定した。ただし、再処理施設における廃棄物への移行率を小さくすれば放射性毒性評価結果を小さくできることから、達成目標と努力目標の許容値に対する比を小さめに設定した。

(4) 埋設処分による被ばくに関する検討

埋設処分による被ばく線量率については、フェーズ 中間評価では、埋設処分される高レベル廃棄物からの被ばく線量率の最大値を評価した。フェーズ 最終評価では、評価可能な廃棄物の範囲を拡大することを検討した。埋設処分される放射性廃棄物には、高レベル廃棄物だけではなく、低レベル廃棄物でも、地層処分される放射性廃棄物や余裕深度処分される放射性廃

棄物、浅地中ピット処分される放射性廃棄物、浅地中トレンチ処分される放射性廃棄物というように放射能レベルに応じて様々な区分がある。しかし、現時点で実用化戦略調査研究における設計データに基づき、廃棄物に移行する放射性核種の種類と量がある程度の確度で得られる放射性廃棄物を評価するとの基本方針の下、フェーズ 最終評価では、高レベル廃棄物及び地層処分型低レベル廃棄物から周囲の環境へ移行する核種による被ばく線量率の最大値を評価することとした⁵¹⁾⁵²⁾⁵³⁾。そこで、埋設処分される放射性廃棄物から核種移行による被ばく線量率の効用関数を図 3.1.31 のとおり設定した。

なお、埋設処分される廃棄物の安全性評価では、近年 $10 \mu\text{Sv/y}$ がクライテリアとなっているが、ここでは、希釈放出される放射性物質による被ばくとの整合を考慮して、 $50 \mu\text{Sv/y}$ を許容値とした。この値は、原子力発電所からの（希釈放出）被ばく線量に対する一種の基準値であるが、通常埋設処分で用いられている値とは異なる。この差異については、今後議論すべき点であろう。また、被ばく関連指標の効用関数の形については、溶解や漏洩などが被ばく線量にバリアとして働くとき、その効果はそれらバリアの積として現れてくることを考慮し、現実の対策の効果を評価することができるように対数関数を用いた点が特徴である。

(5) 希釈放出による被ばくに関する検討

これまで説明してきた各指標は、環境に影響する要素として、放射性廃棄物の埋設処分に着目してきた。しかし、操業中の原子炉プラントや核燃料サイクル施設からも放射性物質が放出されている。それらの放射性物質も環境への負荷となっており、適切に評価した上で低減することが望ましい。また、希釈放出による被ばくに関しては、遠い将来に低い被ばく線量が予想される埋設処分に比べて、即座に被ばくが生じるために、重みを大きくすることとした。

原子炉プラントからの放射性物質については、原子炉プラントから放出される放射性物質のうち、大気放出については大気中での希釈、移行を解析して、施設境界外で最も被ばくする個人を対象に1年間で被ばくする線量を求めることとした³⁰⁾。その際、主要な核種について外部被ばくと内部被ばくの双方を考慮して算出した。燃料サイクル施設についても、大気放出については、原子炉プラントからの被ばく線量と同様に、大気中希釈と移行を解析して、施設境界外にいる最も被ばく線量が高い個人が1年間で被ばくする線量を求めた。各FBRサイクル候補概念に関し、FBRの年間発電量に対応する燃料サイクル施設を物質収支から想定して評価した。

海洋放出については、詳細な被ばく評価手法が適用できなかったため、既存施設の評価結果を参考にして、設計で算出された放出量に比例させて被ばく線量率を求めることとしたが、設計データについては、原子炉プラントおよび燃料サイクルプラントの両者共に、候補概念間での差がないために差別化できなかった。

なお、サイクル施設の操業時の放出量は再処理施設からの放出である。燃料製造施設については、一部を除いて施設からの物質放出は本来意図していないこと、ただし物質放出量は既存の施設から類推できるものの、再処理施設に比べて非常に小さいと考えられることからフェーズの評価では無視した。しかし、今後、希釈放出量を算出して再処理施設と適切に比較した上で適切な評価手法を検討することは重要であると考えられる。

希釈放出による被ばく線量を評価するために設定した効用関数を図 3.1.32 に示す。

3.1.2.5 資源有効利用性に関する検討

限られた資源を有効に利用できることは、将来開発すべき FBR サイクルにとって重要な側面である。資源有効利用性については、フェーズ およびフェーズ 中間評価での検討を引き継ぎ、図 3.1.33 のような評価構造を想定した。

資源有効利用性の評価構造の特徴は、2 つの 1 次指標があることである。ウラン資源を利用して長期間文明を支えることができるのか、あるいはウラン資源の欠乏が文明を維持していく制約にならないのか、といった点は、資源を有効に利用する観点から FBR サイクルに求められることである。ここでは、そうした特性を資源持続利用可能性で評価することとした。また、FBR サイクルが LWR と完全に置き換わって多重平衡サイクルが実現したときには、天然ウランをほとんど必要としない社会が到来するが、それまでに必要となる天然ウランの量が少ないことも、資源を有効に利用できる観点からは、FBR サイクルに求められることである。その特性を資源節約性で評価することとした。

また、表 3.1.10 に評価基準を示す。以下では、以下では、資源有効利用性を 2 つの 1 次指標（最下位指標）である、資源持続利用可能性と資源節約性に関する検討を記述する。両指標の重みについては、遠い将来にわたる資源有効利用性に関わる資源持続利用可能性に比べて、FBR サイクル導入という比較的近い将来の資源有効利用性に関わる資源節約性の重みを大きく取り、4 分の 3 を占めると設定した。

(1) 資源節約性に関する検討

資源節約性は、FBR サイクルの導入により、資源である天然ウランを節約できる程度を示す指標である。LWR をワンススルーで利用しているときには、天然ウランは炉における燃焼時に一部が利用されるだけでほとんどが廃棄物となる。したがって、発電を行うためには、原料となる天然ウランを次々に供給していく必要がある。一方、FBR サイクルシステムについては、FBR で燃焼した部分についてのみ、新たに外部からウランを FBR サイクルシステムに供給すればよく、資源である天然ウランを節約できることとなる。さらに外部から供給するウランとして、例えば、濃縮工場などで発生する劣化ウランを供給することによって、実際上は天然ウランを外部から供給せずに発電することが可能となる。したがって、国内の原子力発電所が全て FBR に置き換わったときには、ほとんど新たな天然ウランが消費されない原子力発電システムを実現できる。言い換えれば、原子力発電所が全て FBR となった後は、資源として必要な天然ウランの累積需要量はほぼ一定となる。そこで、わが国における天然ウランの累積需要量を算出することによって、FBR サイクル候補概念が導入されることによる資源の節約度合いを評価することができると考えられる。

天然ウラン累積需要量は、時系列諸量評価ツールである FAMILY-21 を用いて評価する⁵³⁾⁵⁴⁾⁵⁵⁾。FAMILY-21 は、4 章においても用いられている評価ツールであり、現状の原子力施設の状況等を入力すると、今後 200 年間程度のがわが国全体の原子力発電所を中心とする核燃料サイクル施設の容量や核物質の流量を概略的に評価できる機能を持っている、また、その際に、炉内燃焼を簡易的に模擬することにより、実用化戦略調査研究における MA を含むアクチニドをリサイクルする核燃料サイクルにおける炉心燃料組成の時系列変化を検討することも可能となっており、天然ウラン累積需要量を算出するには適切なツールである。

資源節約性については、今後、FBR 平衡社会に到達するまでにわが国が利用可能な天然ウラ

ン量を検討して、評価基準とする。この量を想定する際には、経済協力開発機構 / 原子力機関 (Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) / Nuclear Energy Agency : NEA) および、国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency : IAEA) が共同で発行している「Uranium2003: Resources, Production and Demand」⁵⁶⁾においてわが国が占める原子力発電の割合から資源節約性の基準 (表 3.1.10 参照) を設定した。

資源持続利用可能性の効用関数を図 3.1.34 に示す。

(2) 資源持続利用可能性に関する検討

資源持続利用可能性の検討においては、開発した FBR サイクル技術を利用して、どのくらいの期間にわたって人類が持続的に電力を享受できるのかを適切に指標化することが問われる。資源として考えられる (これは経済的に調達できることを意味する) 在来型の天然ウランの資源量は、既述したように「Uranium2003: Resources, Production and Demand」⁵⁶⁾で調査されているが、これらの天然ウランの全質量が核分裂したとき発生するエネルギー総量を究極的に天然ウランが潜在的に持つエネルギー量と考えることができる。

この場合、天然ウランを FBR サイクルシステムに投入してエネルギー源として利用するとき、実際に人類が享受できる電力量は、天然ウランのうちどの程度の割合を核分裂させられるのかによって決まる。そこで、フェーズ 最終評価においても、フェーズ およびフェーズ 中間評価での検討を受け継ぎ、天然ウラン利用効率を評価指標とすることとした。天然ウラン利用効率は、天然ウランの何%をエネルギーに変換できるのかを示す指標であるが、FBR サイクルに特徴的な増殖を伴う多重リサイクル利用により、天然ウラン利用効率は、増殖しない場合に比べて飛躍的に増大する。このことが FBR サイクルの本質的な魅力である。

平衡期の FBR サイクルの天然ウラン利用効率は、炉全体 (炉心とブランケットを含む) の平均燃焼度を B (%)、再処理や燃料製造の過程でのロス率を L (%) とすると、天然ウラン利用効率は、以下の式で表される。

$$\text{天然ウラン利用効率 (\%)} = \frac{B}{B + L} \times 100$$

フェーズ 中間とりまとめ時の評価では、上記の式にしたがい、設計データを基にして、平衡期の FBR サイクルシステムの天然ウラン効率を計算し、資源持続利用可能性の評価を行うこととする。

評価基準に関しては、現状の LWR サイクルの天然ウラン利用効率をおよそ 1% であると考えて、許容値として設定した。また、努力目標値については、究極的な目標として、ウラン資源の完全活用を想定し、100%とした。達成目標については、FBR サイクルにより、人口が 100 億人、一人当たりのエネルギー消費が現在の 2 倍、500 年間、発電によるエネルギーを供給できる天然ウラン利用効率 30%を採用することとした。

このようにして設定した資源持続利用可能性の効用関数を図 3.1.35 に示す。

3.1.2.6 核拡散抵抗性に関する検討

FBR サイクルシステムが実用化されれば、核兵器の原料となるプルトニウムなどを大規模に取り扱うこととなる。国際社会の一部を中心に FBR サイクルの実現に伴う核拡散に対する懸念が表明されることがある。こうした懸念に対しては、わが国がそもそも核拡散などを意図していないことを国際的に示し続けると共に、将来の FBR サイクルシステムとして、こうした懸念を払拭できるような特徴を持つシステムを実現することが望ましい。

このため、ある FBR サイクルシステムが核拡散にどれくらいつながら難いのかという観点から、核拡散抵抗性という評価視点を設けた。核拡散抵抗性に関しては、これまで様々な定義が提案されてきたものの、現在もまだ議論が行われており、その定量的評価についても、近年国際的に作成することが試みられているものの、さまざまな課題が指摘されている。実用化戦略調査研究で考慮すべき核拡散抵抗性の範囲は、この評価視点が経済性、環境負荷低減性等と横並びで出されていることを考慮すると非常に広いものである。フェーズ 最終評価の段階では保障措置、核物質防護、輸出管理などの核不拡散制度や技術的な特徴などの全て手段や措置を含み、国際核燃料サイクル評価 (International Nuclear Fuel Cycle Evaluation: INFCE)⁵⁷⁾や Technological Opportunities To Increase The Proliferation Resistance of Global Civilian Nuclear Power Systems (TOPS)⁵⁸⁾などにおける核拡散抵抗性の(広めの)定義に近いものである。また、想定すべき結果事象についても、核爆発装置(いわゆる「核兵器」と考えてよい)の製造および使用に加えて、盗取や妨害破壊行為による放射性物質の散布(いわゆる「汚い爆弾」なども含む)なども含まれることとなる。しかし、こうした要素を全てカバーして評価を行うことは現時点では容易ではない。フェーズ においては、評価構造は明示せず、核拡散抵抗性の因子について定性的評価を実施した。そこで、フェーズ 中間評価においては、テロを想定した評価よりも、核爆発装置の製造および使用に関する抵抗性を中心に、定性的判断を含むものの評価構造を設定し、簡略な定量的評価を行ったが、最終評価においても基本的に同様の評価を実施する。テロ等に関しては、今後より厳格な核物質防護体制が必要となると考えられるが、現時点の設計では特別に異なる配慮を行っている候補概念はなく、どの概念もほぼ同程度であろうと考えられる。

図 3.1.36 に設定した核拡散抵抗性の評価構造を、表 3.1.11 に評価基準を示す。現時点で想定している評価構造は、中間評価とほぼ同様であるが、形状の評価基準のみ中間評価から若干異なる。

核拡散抵抗性の評価構造においては、核拡散抵抗性を制度的な核拡散抵抗性と技術的な核拡散抵抗性に大別している点が特徴である。

さまざまな核物質利用において、核不拡散は、IAEA 保障措置⁵⁹⁾や核物質防護⁶⁰⁾、輸出管理といった核不拡散制度を適切に運用することで担保されてきた。一方で、取り扱う核物質の性状や施設の特徴などによって核拡散の困難さに差があるということも指摘されている。そこで、INFCE 以来、両者を包含する形で核拡散抵抗性が国際的に議論されてきた。評価構造では、前者を制度的核拡散抵抗性と呼び、後者を技術的核拡散抵抗性と呼んでいる。制度的核拡散抵抗性については、従来、核物質を扱う際に条約や国際的な意図表明とそれを担保する法令を遵守することが要求されており、わが国の事業者や研究機関は、誠実にその義務を履行してきた。また、今後についても核不拡散制度がなくなることは考え難い。したがって、制度的核拡散抵抗性については、一定のレベルの基準を満たすことが期待されるので、合否判定を実施することとする。上記のように核物質防護については、制度的核拡散抵抗性の面で一応合否を考えることとするが、

核物質を用いる設備はかなり頑丈な建屋内に配置され、適切な核物質防護等の措置が取られることを想定する（この点は輸出管理への対応も同様に実施する）。

技術的核拡散抵抗性は、「その技術がどの程度核兵器から遠いのか」という観点から評価する。最終評価では、制度に関する部分を除外して技術的な部分を取り出して評価することとするので、核不拡散制度の影響を除いた施設や核物質を想定して核爆発装置を作成する困難さを評価する。具体的には、FBR サイクルシステムの特定の地点（施設や工程）における核物質を用いた核拡散を検討することとなる。

技術的核拡散抵抗性については、核拡散への障壁を想定して、難接近性、難取り扱い性、難単離性、核兵器非魅力性といった指標を用いた。難接近性は、核物質に接近するための抵抗性を施設の頑丈さ、施設の接近しやすさと核物質への放射線バリア、必要な施設改造の程度から評価し、難取扱性は、入手した核物質の扱い難さを性状と量の面から評価し、難単離性は、核物質を金属製品に転換するまでの困難さを必要な時間と資金量を用いて評価し、核兵器非魅力性は、核兵器材料として利用する際の難しさを組成から評価することとした。

各指標の重みについては、制度的核拡散抵抗性で核不拡散性を担保できると考え方から、制度的核拡散抵抗性と技術的核拡散抵抗性の重みを等しく設定した。したがって、制度的核拡散抵抗性で合格ならば 0.5 点が与えられる。技術的核拡散抵抗性に関しては、難単離性の重みを他の 2 次指標の倍として、他は同程度の重みとした。下位の指標は等しい重みとしたが、核兵器非魅力性の下核兵器不適応性の方を発熱よりも重視した。また、これらの指標については、それほど偏った重みを配分していない。これは、ある指標が非常に大きくても、絶対的な核拡散への障壁にならないことに対応している。

核拡散を検討するためには、脅威を想定することが基本的な要件である。どれほど核拡散に対して潜在的に脆弱な核燃料サイクルが存在しても、核拡散を企図するという政治的目的を持つ脅威がなければ、核拡散は起こりえないからである。一般に核拡散を主体的に遂行する脅威として、核兵器国の政府（核兵器国が核拡散上の脅威となるかについては、異論も多い）、非核兵器国の政府、サブナショナルグループ（テロリスト等）、施設運転者、あるいはそれらの共謀等が考えられる。評価にあたって、理論的には全ての脅威を考慮することが望ましいものの、フェーズにおいては、核拡散への脅威を想定した上で、核拡散に対して脆弱な箇所を主に施設中の核物質の特性から特定して評価する。こうした脆弱な箇所は、脅威にとっては核拡散の起点として最も望ましい箇所となり、この箇所の核拡散抵抗性を評価することにより、各サイクル候補概念の核拡散抵抗性を保守的に（悪い方に）評価できる。この保守的な評価結果は、いわば各候補概念の核拡散脅威に対する保証水準（security level：ここでは、平和利用を志向する我が国がある FBR サイクルを選択したときに最低限得られる技術的核拡散抵抗性⁶¹⁾）と見なすことができる。そこで、この評価結果を核拡散抵抗性のレベル（あるいは指標とする値）と考える。

フェーズ 中間評価においては、FBR サイクル施設自身を不法使用（改造・運転条件の変更）して核拡散を企てる場合については、事業者あるいは国ぐるみの計画が必要となり、制度的な核拡散抵抗性（わが国の場合には少なくとも IAEA および国の保障措置）が健全ならば検知されることを覚悟の上で（あるいは明示的に）、政府ぐるみで実行する状況しかあり得ないとし、その場合には、核拡散抵抗性を原子力平和利用の目標とすることが無意味であるため、施設外に核物質を持ち出して秘密施設を用いて核拡散を企図することを中心に検討した。

フェーズ 最終評価では、脅威の想定範囲を拡大して、より大きな研究機関、事業者等の共謀

も想定したときの各候補概念の核拡散抵抗性の評価を試みた。このときは、施設を不法使用して核拡散を企図する場合も検討することとした。また、完全に外部の者が核拡散を企てるということに関しては、核物質を入手し、核拡散に用いる施設を利用できれば、内部の者が実施する場合とほぼ同様の状態となるが、それまでの困難さが違う（外部の者だけが核拡散を企てる方が困難となる）と考えられる。また、施設外の秘密施設に核物質を持ち出して、秘密の施設を建設して核拡散を企てるよりも、既存の施設や機器類を最大限利用して核拡散を企図することの方が容易である。また、原材料として用いる核物質については、核爆発装置を作成するために容易な状態のものを考える。

こうした仮定の下で評価を実施するが、以下で核拡散抵抗性に関して設定した評価構造にしたがって、下位指標の効用関数を順次検討した結果を述べる。

(1) 物質接近性に関する検討

核物質に接近することによって人体が受ける被ばくは、核物質への接近を難しくして核拡散抵抗性を増大させる。そこで転用対象となる核物質からの被ばく線量率を用いて転用対象核物質への接近の困難さを示す要素とする。ここでは、簡易的な評価のために点線源を仮定して、1mの地点における線による被ばく線量率を用いることとする。こうして算出した被ばく線量率に関して、以下のように効用関数を設定して評価することとした。

努力目標については、核物質に対して接近することが非常に困難な程度を考えて、1mにおける被ばく線量率が100 Sv/hと設定する。このとき、致死線量を考慮すると、1m以内に接近した作業は数分間しか行うことはできないが、このような場合には、核物質への接近はほとんど不可能であるとみなす。

達成目標については、核物質に対して接近することが困難な程度を考えて、1mにおける被ばく線量率が1 Sv/hと設定する。これは従来、核物質防護の基準と考えられたものと同程度である。

許容値については、1mにおける被ばく線量率が0 Sv/hと設定する。このときは被ばくによる接近への障害はまったくないことになる。

図 3.1.37 に設定した効用関数を示す。

(2) 核物質の形状(化学形態)に関する検討

核燃料サイクル施設から核物質の転用を企てる場合には、核物質の形状も転用の難しさに影響する。特に今回の評価では、核物質の移動も想定しており、運搬の際にどのような形状であるのかを検討することは意味がある。今回の評価で想定した効用値(関数)を表 3.1.12 に示す。物質の形状として、固体、粉体、液体、気体の順として段階的に評価することとした。このとき、設定した効用値については、専門家の判断によることとした。

(3) 必要原料量に関する検討

核燃料サイクル施設から核物質の転用を企てる場合には、核爆発装置を作成するために必要な核物質の量も転用の難しさに影響すると考えられる。そこで、一定の簡易な施設を想定して、

FBR サイクルから入手したプルトニウムを含む化合物を転用する時間を算出する。こうして算出したプルトニウム抽出時間については、以下のように目標値を考えて効用関数を設定した。

努力目標については、100t の原料が必要な場合とする。このとき、運搬や取扱いに一連の大規模な組織的活動が必要であると考えられ、必要な核物質の多量さのため、転用作業が困難になると考える。

達成目標については、1t の原料が必要な場合とする。このとき、少人数の人力による運搬や取扱いが困難となり、チームを組んで車両などを用意することが必要となると考えられ、転用作業にあたっての障壁になると考える。

許容値については、10kg の原料が必要な場合とする。この程度の重量以下ならば、特別でない個人でも運搬や取り扱いが可能であり、転用作業の障壁になっているとは考えにくい。

図 3.1.38 に設定した効用関数を示す。

(4) プルトニウム抽出時間に関する検討

核拡散抵抗性の高い技術とは、一般的に核兵器の製造から遠い技術ということになる。FBR サイクルについては、サイクル内に存在するプルトニウムを核兵器材料であるプルトニウム金属に転用するために必要な時間は、核兵器からの遠さを考える上で重要な観点である。また、転用に必要な時間は、保障措置の基礎となる保障措置パラメータの一つでもある。そこで、一定の簡易な施設を想定して、FBR サイクルから入手したプルトニウムを含む化合物を転用する時間を算出する。こうして算出したプルトニウム抽出時間については、以下のように目標値を考えて効用関数を設定して評価した。

努力目標については、保障措置パラメータにおいてウランの転用時間と考えられている年のオーダーとする。1年間あれば、プルトニウムを扱わない施設においても査察が行われるので、保障措置を考慮すると、転用時間としては十分に長いと考える。

達成目標については、保障措置パラメータにおいて、プルトニウムの転用時間と考えられている月のオーダーとする。1ヶ月はプルトニウムを取り扱う施設での適時性と考えられており、査察も実施されるため、転用するためにこの程度の時間を要すれば保障措置は適切に機能すると考えられる。

許容値については、1週間と設定する。金属プルトニウムの転用時間が週のオーダーと考えられており、金属プルトニウムへの転用時間がこれ以下ならば、核兵器材料を入手するために障壁になっているとは考えにくい。

プルトニウム抽出時間を評価するために設定した効用関数を図 3.1.39 に示す。

(5) プルトニウム抽出資金に関する検討

プルトニウム抽出時間と同様に、プルトニウムの抽出に要する資金についても、核兵器製造からの遠さを考える上で重要な観点である。そこで、FBR サイクルから入手したプルトニウム

を含む化合物を転用するために最低限必要な施設を想定して必要と考えられる資金額を概算する。こうして算出したプルトニウム抽出資金については、以下のように効用関数を設定して評価した。

努力目標については、1000億円とする。1000億円は、本格的な核燃料サイクル施設の建設費と同程度と考えられる。こうした国レベルといえるような開発が必要な場合には、1つの核爆発装置を製造するための資金額としては非常に大きいと考えられる。

達成目標については、10億円とする。実験施設（建物）が必要であるとき、この程度の資金が必要となる。この場合、資金額としてはよほど豊かな個人でなければ、グループあるいは企業レベルの資金が必要となる。

許容値については、1000万円と設定する。転用にこの程度の資金しか要しないとき、既存の広くない室内を利用して個人レベルで転用を試みることができると考えられる。

プルトニウム抽出資金を評価するために設定した効用関数を図 3.1.40 に示す。

(6) 核兵器不適合性に関する検討

抽出したプルトニウムを用いて核爆発装置を作成する場合でも、プルトニウムの同位体組成によっては核兵器としての性能を十分に発揮できない可能性がある。それほど精巧でない設計の場合には、プルトニウムの同位体組成によっては自発核分裂中性子のために十分大きな威力の核爆発を起こす前に連鎖反応が開始されてしまう恐れがある。この場合、核爆発装置の原材料として魅力的でないと考えられる⁶²⁾。こうした観点も核拡散抵抗性を考える上で考慮されてきている。フェーズ 最終評価では、簡易的に核爆発装置として性能を発揮できない可能性をプルトニウム組成から評価し、以下のように効用関数を設定して評価した。

努力目標については、プルトニウム 238 と同程度の自発核分裂中性子発生量として、250万/秒/kgPu とする。

達成目標については、原子炉級プルトニウムと同程度の自発核分裂中性子発生量として、36万/秒/kgPu とする。

許容値については、核兵器級プルトニウムと同程度の自発核分裂中性子発生量として、6万/秒/kgPu とする。

以上から、核兵器不適合性を評価するために設定した効用関数を図 3.1.41 に示す。

(7) 発熱量に関する検討

核兵器材料となる核物質からの発熱は核爆発装置組み立ての妨げになるとされている⁶²⁾。ただし、このことは、核爆発装置の組み立て時の除熱が容易となるように留意することによって、かなり緩和可能であると言われている。そこで、核爆発装置不適合性と比べると、核爆発装置の原材料の魅力が損なう程度は低いと判断できる。また、発熱量については、以下のとおり、効用関数を設定することとした。

努力目標については、プルトニウム 238 と同程度の発熱量として、500W/kgPu とする。

達成目標については、原子炉級プルトニウムと同程度の発熱量として、10W/kgPu とする。

許容値については、核兵器級プルトニウムと同程度の発熱量として、1W/kgPu とする。以上の考え方にしたがって設定した効用関数を図 3.1.42 に示す。

(8) 今後の課題

核拡散抵抗性に関しては、個々の FBR サイクル技術について考察すれば、核不拡散制度を適用するための機器や労力が異なることになるが、その違いは例えば施設の建設費や運転維持費といった形を取って経済性に影響する、あるいは、労力の違いを評価できれば、事業容易性に影響すると考えられる。

また核拡散抵抗性に関しては、核不拡散制度を遵守すれば国際的には必要十分であるとみなすべきという考え方もある。この場合、技術的核拡散抵抗性は、制度の中に反映されて初めて意味を持つこととなる。ただし、核不拡散制度を設計するときには、技術的な核拡散抵抗性を十分に検討すべきであるが、現時点では FBR サイクル候補概念の核不拡散制度に関わる検討が不十分なため、核拡散抵抗性を評価するにしても核不拡散制度設計の結果を利用することはできず、別の手法を取る必要がある。さらに、設計がある程度進捗すれば、現時点の核不拡散制度を想定して評価することも可能となるが、現実には核不拡散制度も決して不変ではなく、核拡散抵抗性に関する様々な状況を勘案して核不拡散制度自身も変化することに留意すべきである。実用化戦略調査研究においては、乾式の燃料サイクルをはじめとして、個々の FBR サイクル候補概念に対して適切な核拡散制度の設計は今後の大きな課題である。

核拡散抵抗性については、制度的な要素と技術的な要素に相互依存関係があり、このことが核拡散抵抗性を検討する際に問題を複雑化してきた点であった。そこで、フェーズ 中間評価では、FBR サイクル候補概念のおおよその技術的特徴を考慮するため、技術的要素に基づく核拡散抵抗性をできる限り制度的核拡散抵抗性から独立させて評価した。今後、GEN-IV の検討なども踏まえながら、制度的核拡散抵抗性と技術的核拡散抵抗性を統合して評価できる手法の構築が望まれる。

3.1.2.7 技術的実現性に関する検討

競争力のある FBR サイクルシステムを実現するためには、現状の技術をそのまま適用するだけでは不十分であり、今後も研究開発が必要であると考えられる。しかし、いくら有意義なシステムを構想しても、そのために無制限に社会的資源を費やすことは許されず、できる限り容易に開発できるシステムが望ましい。また、システムの技術開発にあたって、どの程度の不確実性があるのかを考慮しておくことが望ましい。

この種の評価は一般的にかなり困難で精度が低く、主観的なものとなると考えられてきた。さらに国の開発においては、開発資金をチェックするために国の予算制度があるので、評価をわざわざ実施することは必要でなかったという面もある。しかし、近年公共投資に関する費用対効果の評価など行政評価の必要性も叫ばれており、状況は変化してきている。さらに国の財政事情の逼迫もあり、無駄な経費の出費については許容できない状況にあるといえる。

一方、民間においても、やや景気は回復してきたものの、規制が緩和されて商品の開発競争や原価削減の動きが激しくなっている。その結果、短期的な収益に結びつかない研究開発資源は限定される傾向にあり、厳しい環境の中で効率的に開発を進めねばならなくなっている。

最近、技術戦略 (Management of Technology: MOT) やプロジェクトマネジメントといった分野が注目を集めている⁶³⁾⁶⁴⁾。わが国でも、「プロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブック」(いわゆる「P2M」)が発行される⁶⁵⁾などの動きがフェーズ 3 の間に起こった。それらの分野の検討は、研究開発における研究開発投資といった面に注目し、研究開発を業務のバリューチェーン(業務の様々な分野が連鎖的に価値を産み出すプロセス)の一部と見なして体系的に考察する、という特徴を持っている。このとき、プロジェクト資源として、金融資源や情報資源を考慮した上で、研究開発に伴うリスクを分析してマネジメントすることが求められる。

技術的実現性の検討においては、FBR サイクル実用化戦略調査研究というプロジェクト(より正確には「プログラム(注:プロジェクトが複数集合したもの)」と呼ぶべきかもしれない)のマネジメントに関わる課題、特にプロジェクト資源とリスクのマネジメントを中心とした側面を扱う。具体的には、FBR サイクルシステムを実現するために必要な資金や期間、それまでの技術的課題などについて検討する。FBR サイクルについては、これまでも大規模な投資を伴う研究開発が長期間続けられてきており、実用化戦略調査研究における FBR サイクル候補概念の検討や選択にあたっては、以上の観点を重視すべきであると考えられる。フェーズ 3 においては、技術的実現性として検討は行われていたが、具体的な評価は行われなかった。しかし、フェーズ 3 においては、評価構造を設定した上で評価を実施することとした。

まず、開発に必要な資源量を技術的実現性の多寡を評価する基本的な指標とする。開発に必要な資源量としては、開発資金と開発期間を取り上げた。また、この両者の指標を評価するのにあたっては不確実性が付随する。そこで、フェーズ 3 中間評価では、開発の容易さがどの程度なのかを開発容易性として開発資金、開発期間から評価し、開発の容易さがどの程度確からしいのかを開発リスクとしてそれぞれの幅から評価した。

さらに、フェーズ 3 最終評価では、開発容易性および開発リスクの評価は最も確からしい研究開発経路を対象に評価するものであるが、研究開発が失敗したときの代替手段や FBR サイクルシステム特性への影響について、新たに研究開発柔軟性という 1 次指標を技術的実現性に含めて評価することとした。研究開発柔軟性は、研究開発が必ずしも常に想定どおり成功するとは限らないことから、それらの研究開発の不確実性に対してどの程度柔軟性のある(あるいは強靭な)

FBR サイクルシステムなのか、または研究開発計画なのか、という点を評価する指標である。研究開発柔軟性を分解した 2 次指標である開発手段多様性は、研究開発の経路を多様にできることによって期待するシステム特性が得られるのかを評価する。システム特性影響については、システムが研究開発の成否によって大きな影響を受けてしまうのかを評価する。

以上のような考え方を踏まえて設定した評価構造を図 3.1.43 に示す。各指標の重みについては、ノミナルのデータを用いる開発容易性を技術的実現性にかかわる最も重要な指標であると考えて、全体の 6 割を占める程度に重みを取った。また、開発リスクおよび研究開発柔軟性については、開発容易性を同程度に補足する指標と考えて、等しく重みを設定した。また、さらに下位の評価指標（開発資金と開発期間など）についてはそれぞれ等しい重みとした。

フェーズ における検討では、関連文献などを調査して、評価を実行可能な手法の構築に努めた。技術的実現性については、通常の設計データというようなデータが得られることはない。近年、技術的実現性評価（場合によっては、プロジェクト管理あるいはプロジェクトリスク分析）は社会的に大きな課題として注目されているが、その定量的な評価にあたっては、2 種類の情報、即ち、技術的データと専門家の見解が用いられることが多い。

FBR サイクル候補概念の技術的実現性の評価に関して、利用可能な技術データという面から検討すると、開発に必要な資金と期間については、実用化戦略調査研究のロードマップと開発計画作成のために調査・検討したデータが存在する。ロードマップ等の作成に関連して出されている開発に必要な資金と期間については、フェーズ 以来の長期間に亘って調査、検討されてきており、技術的実現性の評価にあたっても基礎となるデータであると考えられる。しかし、必ずしも全ての FBR サイクル候補概念に関して実用化までの開発資金と開発期間が評価されているわけではない点が課題である。フェーズ 中間評価の段階では、開発資金や開発期間の幅についても、ロードマップ等の検討では対象となっていなかったため、それらの推定は専門家（設計者）の見解をヒアリングによって聴取して評価に用いた。しかし中間評価以降、実用化戦略調査研究において検討が精力的に進められた結果、フェーズ 最終評価における開発資金の幅と開発期間の幅の推定に関しては、ロードマップと開発計画を作成するために集積されたデータを基礎として用いることが可能となった。なお、研究開発柔軟性の 2 つの 2 次指標である開発手段多様性とシステム特性影響についても、一部はロードマップと開発計画の作成にあたって議論されたと考えられるが、それらに明示されていない部分もあった。

こうした状況を鑑みて、技術的実現性の評価では客観的と考えられる技術的データや実績を用いて評価するのが理想的であるが、フェーズ 最終評価においても中間評価と同様に、ロードマップ等におけるデータを最大限活用しつつ、追加の情報源として設計者の見解を活用して評価を実施することとした。現実問題として、プロジェクトのリスクなどの分析では、ある程度の主観的推定の要素を伴うとされている。

しかし、評価にあたって主観的推定を活用することには若干の危険性がある。単に通常の設計データと同様の形で技術的実現性のデータを取得した場合、ロードマップで検討していないデータについては、設計者によってバイアスを持ったデータが集められる可能性がある。その主な原因として、将来の開発見通しについては、個人によって楽観的だったり、悲観的だったりする場合があること、また、一部の問題点に留意し過ぎてしまい、大局的な推定を誤ったりすること等が考えられる。また、評価者は必ずしも個々の技術に関する専門家ではないため、専門家である設計者の意図や前提条件を誤解する恐れがあること等も考えられる。

技術的実現性の評価にあたっては、これらの危険性を可能な限り除くことが望ましい。そこで、フェーズ 中間評価では、単に設計者が設計データを評価者に提出するだけでなく、その考え方や前提条件の一致を図るため、設計者へのヒアリングを実施して技術的実現性に関するデータを取得した。このとき、評価者が共通の説明を設計者に行ない、設計者の考え方や前提条件も併せて評価者が知り、双方の考えを調整する機会を持つことで、技術的実現性に係るデータを推定する際のバイアスや誤解の生じる余地を減らすことが期待できる。中間評価を実施した結果、設計者の見解を活用した評価を行う場合に上記のようなヒアリングを実施することは、双方の誤解や前提条件を一致させるために有益であった。したがって、フェーズ 最終評価においても、同様のヒアリングを行って評価に活用することとする。

特に設計者に技術的実現性に関わる推定に関して共通の認識を持ってもらうため、即ち、開発資金や開発期間とそれらの幅、あるいは研究開発失敗時の影響について推定するときの考え方が統一されるように、実際のヒアリングに入る前に評価手法とヒアリングの内容について評価者から説明を行なうことを原則とする。この事前の説明により、技術的実現性の評価手法について共通認識が得られた設計者に対してヒアリングを行い、ロードマップの検討を踏まえた設計者の考え方を可能な限り公正に聴取することが可能となる。さらに設計者へのヒアリングについては、通常はある候補概念に対して最も知見を有する担当者の意見が上位者の意見により歪められる可能性を排除するため、まず担当者の意見から聴取することとした。その上で、設計者間の考え方に関する個人差については、最終的にロードマップの検討と併せて、担当部所の責任者と担当者間でフィードバックをかけながら調整することが重要である。

技術的実現性に関する評価指標を表 3.1.13 に示す。以下では、各指標に関する検討について詳述する。なお、開発資金幅および開発期間幅の評価については、それぞれ表 3.1.14 および表 3.1.15 も併せて参照されたい。

(1) 開発資金に関する検討

開発資金については、以下のとおり評価基準を設定した。まず、FBR が導入されうるまでの期間が 25 年程度（現状の軽水炉がリプレースされるまでの期間）と考えられるので、この時期に技術開発が間に合うことを基準として想定する。開発資金の評価基準設定にあたって重要な点は、フェーズ 中間評価では、実用化戦略調査研究に直接関連する資金を推定して評価を行ったが、フェーズ 最終評価では、FBR サイクルに関連する全ての資金を推計して評価することとした点である。そのため、基準値などを高めに変更することとなった。このことは、候補概念による違いだけを評価したい場合には優れてはいない方法だが、実際に普通の市民その他、外部の視点から見て FBR サイクル実用化に要する資金を推定・評価しているという点では優れている方法である。

ただし、実用化戦略調査研究の枠内では、詳細にロードマップや開発計画を検討しているので資金額についても比較的精度の高い推定値が得られるが、他（もんじゅ等）の項目については、将来必要となる資金（や予算）を必ずしも詳細に推定できないことに留意する必要がある。

努力目標については、10 年間（後述の開発期間の努力目標と整合させている）で FBR サイクルの実用化が可能になるとして、今後 FBR サイクルの研究開発に要する経費を毎年 300 億円で抑制して実用化できる場合を想定し、3000 億円とする。

達成目標については、LWR の大規模なリプレースが予想される 25 年間で FBR サイクルの実用化を可能とすることを目標として、毎年 500 億円程度の資金投入で実用化できる場合を想定して、1 兆 2500 億円とする。

許容値については、45 年間で FBR サイクルの実用化が可能になるとして、毎年サイクル機構のおよそ全予算である 1000 億円を要する研究開発を実施する必要がある場合を想定して、4 兆 5000 億円と設定する。

以上から、開発資金を評価するために設定した効用関数を図 3.1.44 に示す。

(2) 開発期間に関する検討

開発期間については、以下のとおり評価基準を設定した。

努力目標については、実用化戦略調査研究の終了が予定されており、実用化されるべき有望な技術体系を提示する 2015 年と FBR サイクルの実用化が可能となるという理想的状況を想定して、10 年とする。

達成目標については、LWR の大規模なリプレースが予想される時期がおよそ 2030 年(今後 25 年後)からと考えられるので、この時期に FBR サイクルの導入を可能とするために 25 年とする。

許容値については、現在、長期ビジョンとして具体的に将来を見通す範囲となっており、その中で石油・天然ガスといった資源の逼迫が目立つようになるとされているのが 2050 年であり、その時期までに技術開発を完了して実用化可能としておくことが、次世代原子力システム候補の中心的存在である FBR サイクルの研究開発が意義を持つための条件であるとし、45 年とする。

以上から、開発期間を評価するために設定した効用関数を図 3.1.45 に示す。

(3) 開発資金幅に関する検討

開発資金の幅については、フェーズ 中間評価で初めて評価を実施した。中間評価の時点においては、開発資金額に関してはロードマップ作成作業の過程で研究開発の個別項目と要する資金額が検討されていたので、それらを活用した評価を行うことができたが、資金の幅については、設計者の専門的判断に頼る部分が大きく、主にヒアリングを用いてデータを収集して評価した。また、ヒアリングから得られた開発資金の幅については、推定にあたっての誤差も大きいと考えられたため、他の指標と同様に効用関数を設定して評価するのではなく、開発資金額に対する相対値を用いて段階的に評価を行った。評価に用いた表を表 3.1.14 に示す。開発資金額が、4000 億円程度、開発資金の幅が 100 億円程度のとき、開発資金学左側の開発資金額区分の 2000 億円～5000 億円の行に該当し、誤差である 1000 億円は 4000 億円に対して 25%に相当するので、上側の開発資金幅(相対値)区分の 20%～50%の列に該当する。この結果から開発資金幅の効用値として、行と列の交点である 0.5 を入力値として評価した。

しかし、フェーズ 中間評価以降、実用化戦略調査研究では開発資金の幅についても組織的な検討・評価が進められてきており、フェーズ 最終評価では、設計者の技術的判断だけでは

なく、ロードマップおよび開発計画の検討結果を参照しながらより精度の高い評価が可能となった。したがって、開発資金幅については最終評価用データについても、3つの基準値から効用関数を設定して評価する。

開発資金の幅については、開発資金の項目で述べたように、現行のLWRの大規模なりプレーズが開始されるであろう25年程度の期間内に技術開発を進めることを想定し、その期間で必要な資金にどの程度幅が生じるのかという点から評価基準を作成した。設定した評価基準は以下のとおりである。

努力目標については、実用化までの道程（かなり大規模な施設建設やその運用なども含まれる）に必要な資金において、設計作業や基礎的な要素技術試験の金額と匹敵する50億円程度の幅が生じることを想定して、FBRサイクルの導入を可能とする技術開発を行う25年間と組み合わせて1250億円となる。ここから1000億円を理想的な基準として設定する。

達成目標については、年間200億円程度の開発資金幅（開発資金上昇など）を考慮して、FBRサイクルの導入を可能とする技術開発を行う25年間と組み合わせて5000億円と設定する。

許容値については、年間500億円程度の開発資金幅（開発資金上昇など）を考慮して、FBRサイクルの導入を可能とする技術開発を行う25年間と組み合わせて1兆2500億円と設定する。この金額は、開発資金の達成目標と同じ額であり、開発資金の幅として許容される最低限の金額であると考えて1兆2500億円とした。

設定した効用関数を図3.1.46に示す。これら開発資金幅や開発期間幅の評価にあたっては、幅の意味などを十分に確認して進める必要がある。

(4) 開発期間幅に関する検討

開発期間の幅については、開発資金の幅と同様にフェーズ 中間評価で初めて評価を実施した。中間評価の時点では、開発期間幅についても開発資金幅と同様に設計者の専門的判断に頼る部分が大きく、主にヒアリングを用いてデータを収集し、開発期間に対する相対値を用いて段階的に評価を行った。中間評価に用いた表を表3.1.15に示す。開発期間が、30年程度、開発期間の幅が10年程度のとき、開発期間は左側の開発期間区分の20年～50年の行に該当し、幅である10年は30年に対して30%に相当するので、上側の開発資金幅（相対値）区分の20%～50%の列に該当する。この結果から開発資金幅の効用値として、行と列の交点である0.5を入力値として評価した。

しかし、フェーズ 中間評価以降、実用化戦略調査研究では開発資金の幅についても組織的な検討・評価が進められてきており、フェーズ 最終評価では、設計者の技術的判断だけではなく、ロードマップおよび開発計画の検討結果を参照しながらより精度の高い評価が可能となった。したがって、開発資金幅については最終評価用データについても、3つの基準値から効用関数を設定して評価する。

開発資金の幅については、開発資金の項目で述べたように、現行のLWRの大規模なりプレーズが開始されるであろう25年程度の期間内に技術開発を進めることを想定し、その期間で

必要な資金にどの程度幅が生じるのかという点から評価基準を作成した。設定した評価基準は以下のとおりである。

努力目標については、実用化までの道程（かなり大規模な施設建設やその運用なども含まれる）に必要な資金において、設計作業や基礎的な要素技術試験の金額と匹敵する 50 億円程度の幅が生じることを想定して、FBR サイクルの導入を可能とする技術開発を行う 25 年間で組み合わせて 1250 億円となる。ここから 1000 億円を理想的な基準として設定する。

達成目標については、年間 200 億円程度の開発資金幅（開発資金上昇など）を考慮して、FBR サイクルの導入を可能とする技術開発を行う 25 年間で組み合わせて 5000 億円と設定する。

許容値については、年間 500 億円程度の開発資金幅（開発資金上昇など）を考慮して、FBR サイクルの導入を可能とする技術開発を行う 25 年間で組み合わせて 1 兆 2500 億円と設定する。この金額は、開発資金の達成目標と同じ額であり、開発資金の幅として許容される最低限の金額であると考えて 1 兆 2500 億円とした。

設定した効用関数を図 3.1.47 に示す。これら開発資金幅や開発期間幅の評価にあたっては、幅の意味などを十分に確認して進める必要がある。

(5) 開発手段多様性に関する検討

「開発手段多様性」は、想定するシステムと同じ FBR サイクルシステムを開発すること、開発に要する開発資金や開発期間がほぼ同程度であることを前提にして、研究開発の経路を多様にできる程度を評価する。同様の性能を持つ FBR サイクルシステムを研究開発する場合であっても、開発手段が多様であればそのシステムが期待した性能を現実に発揮できる可能性が高くなり、研究開発のリスクに対して頑健であると考えられる。

開発手段多様性については、表 3.1.16 に示した評価基準に基づいて評価する。

(6) システム特性影響に関する検討

「システム特性影響」については、開発手段多様性の結果と併せ、開発成否の予想が困難な研究開発の失敗によって取りうる研究開発の代替手段をとったとき FBR サイクルシステムの特徴がどの程度低下するのか否かを評価する。複数の評価視点に跨る特性を評価することが特徴であり、他の評価視点では、「システム特性影響」に含まれる要素を評価することが難しい。

システム特性影響に関しては、表 3.1.17 に示した評価基準に基づいて評価する。

3.1.2.8 社会的受容性に関する検討

多面的評価の視点のひとつとして社会的受容性の観点から FBR サイクル候補概念の評価を行った。昨年度までは開発者の側から普通の市民の態度を推定することにより評価を行ったが、今年度は普通の市民に直接態度を尋ねることによりデータを収集し、評価を行った。

インターネットを用いたアンケート調査が定着してきたことから、国内の2大ネット調査系列の一つである Goo リサーチの消費者モニター（登録者数約 19 万人）を利用してアンケート調査を実施した。アンケートでは、エネルギー問題、原子力、FBR に対する態度に引き続いて FBR サイクル候補概念に対する態度を尋ねる形をとった。

さらに、回答者が回答に至るまでの思考過程を把握する目的で、数人規模の5グループを対象にグループインタビューを実施した。

(1) アンケート調査の概要

アンケート設計の精度を高め、設計者側の意図が回答者に誤解されるのを防ぐために、次の2段階で調査を実施した。

第1段階を「プレアンケート調査」と位置付け、200票程度の回収規模で実施し、回答の傾向や把握できる事項などを確認した。

「プレアンケート調査」の結果を踏まえ、第2段階として、1,500票程度の回収規模で「本アンケート調査」を実施した。「プレアンケート調査」で特に片寄ったあるいは意図に反した回答傾向が見られなかったことから、「プレアンケート調査」と同じ質問形式を採用し、得られた結果を統合して分析した。

ただし、社会的受容性については、開発目標も設定されておらず、技術的な観点からは明確な評価を実施することはできない評価視点である。そこで、フェーズ 最終評価では、参考評価として扱うこととした。

一般の人々が科学技術に対して抱くリスクイメージとして多くの研究で「恐ろしさ因子」と「未知性因子」という2つの因子が安定して抽出されていることから、ここでは FBR サイクル候補概念に対する恐怖性と未知性という2つの因子により心理的な受容性が決定されると想定して、各候補技術に対するこれらの側面からの意識を尋ねた。さらに、未知性については、よく知られた技術かどうか、理解しやすい技術かどうかという2つの下位構造に展開した。最後に、これらを総合した受容の態度を尋ねることにより、それぞれの技術に対する受容性とそれを構成する因子の重みを把握することを試みた。

なお、FBR サイクル候補概念について普通の市民はその内容をほとんど理解していないことが予測されたため、各技術についてその特長と課題を簡潔に説明した上で上述の質問に入った。

アンケートはすべての登録者を対象に（ただし、本アンケートの場合は、プレアンケート回答者を除く）質問を発信し、一定数の回答が得られた段階で回答を打ち切るといった方式をとった。登録者は事前に性別、年齢、居住地、職業など一般的な属性が登録されており、必要に応じて回答結果の分析に利用した。今回回答を得た 1,811 名について年代別、性別、地域別の属性を図 3.1.48、図 3.1.49 に示す。相対的に女性がやや多く（全国平均 51.2% に対して 53.5%）、また若年層にかなり厚い分布となった。地域別では特に首都圏に集中する傾向が見られた。今回はすべての登録者から制限を設けずに回答を得たが、属性別に全国平均で回答者数を割り振ることにより普通の市民の平均的な意見に近づける工夫も有効であると考えられる。

(2) グループインタビューの概要

FBR サイクルの具体的な理解度や理解あるいは受容する上での課題、ポイントなどはアンケート調査で把握することが困難であることから、アンケート結果を分析するにあたって有用な知見を得ることを目的としてグループインタビュー調査を実施した。

年齢・性別・立場による意見の差異が把握できるよう、下記5グループを対象として実施した。参加者は合計27名で、居住地はいずれも首都圏(都心部まで1時間程度以内)であった。

ビジネスマン(40~50代;管理職)[6名]

ビジネスマン(30代;非管理職)[5名]

主婦(20~60代の各層)[6名]

学生(大学生・大学院生;文系)[3名]

学生(大学生・大学院生;理系)[7名]

グループインタビュー参加者には事前にアンケート票を送付し、回答した上で参加いただくよう依頼した。また、開発主体であるサイクル機構への信頼度などを問う質問に対して素直な意見を引き出すため、インタビューは今回の調査の委託先である三菱総研が司会進行にあたった。いずれのグループも全体の所要時間は約2時間であり、その進行は概ね次に示すとおりである。

司会者挨拶と参加者による簡単な自己紹介(原子力への印象等を含め)
主要なアンケート設問に対する回答結果とその判断理由について聴取

3.1.2.9 事業容易性に関する検討

潜在的な競争力のある FBR サイクルシステムを設計し、それらの技術開発が実現できる見込みが大きかったとしても、それだけでは、FBR サイクルが実用化される十分条件となる訳ではない。FBR サイクルの導入にあたっては、FBR サイクルの潜在的性能（ポテンシャル）やそのシステムの研究開発が技術的に容易なのかといった点だけでなく、その技術を実際に使用する者の立場を考慮することが重要である。実用化戦略調査研究のフェーズ 中間評価では、社会的受容性という評価視点を設け、評価構造や評価基準等を検討した。しかし、フェーズ 中間評価における社会的受容性評価では、以下の 2 つの観点を検討・評価していたと考えられる。

第 1 番目の観点：技術的受容性として、FBR サイクル技術を実際に用いる電力会社にとっての使いやすさ、受け入れやすさという観点。

第 2 番目の観点：心理的受容性として、FBR サイクル技術が公衆にとって安心でき、受け入れやすい技術であるという観点。

フェーズ 最終評価では、従来社会的受容性として評価していた両者を分離し、技術的受容性とされていた観点を中心として事業容易性という評価視点を設けることとした。優れた製品は、使う者の立場をよく考えて造られていると言われるが、実用化戦略調査研究が実用化される FBR サイクルの技術体系を提示することを目指すからには事業容易性の観点も重要となるはずである。また、開発した FBR サイクルを実際に建設、運用していくユーザー（電気事業者が考えられる）の立場を技術開発の時点から考慮することは、これまでの原子力利用で培ってきた経験を技術の開発に反映することであり、技術者にとって困難ではあるが有意義な挑戦である。

ただ、事業容易性については、社会的受容性と同様、開発目標も設定されておらず、技術的な観点からは明確な評価を実施することはできない評価視点である。そこで、フェーズ 最終評価では、参考評価として扱うこととした。

フェーズ 最終評価に向け、事業容易性を評価するために設定した評価構造を図 3.1.50 に示す。また、設定した評価基準を表 3.1.18 に示す。操業容易性と事業柔軟性という 2 つの 2 次指標からなっている点の特徴である。これらの観点は、フェーズ 中間とりまとめ時の評価においては、先に述べたとおり、ユーザーである電気事業者の受容に関わる指標であると見なして、社会的受容性に含めて評価したものである。ただ、研究開発の柔軟性については、中間評価後のコメント等を受けて、新たに技術的実現性で評価することとしたことは既に技術的実現性の評価手法を説明した際に述べたとおりである。また、事業容易性の評価にあたっては、FBR プラント、炉心、再処理、燃料製造の各設計に対応して評価値を求め、それらを平均して FBR サイクル候補概念の効用値とした。

重みに関しては、必要インフラや建設から廃止までの操業の容易さを示す操業容易性の重みを FBR サイクルの態様や容量の可塑性を示す事業柔軟性に比べて重くみて、8 割の重みを持つとした。さらに最下位指標の意味を考慮し、操業容易性のうちで運転容易性と保守補修容易性の重みを他の最下位指標の倍と大きく取った。事業柔軟性については、サイクル変更多様性と容量変更性のどちらも等しい重みとした。

以下では、事業容易性の下位指標それぞれについて評価基準を中心に内容を解説する。事業容易性については、いずれも明確な設計データや物理量を決められる段階ではないため、専門家（設計者）による段階的評価を行う指標が多い。「建設容易性」における工事期間が例外であり、効用関数を設定して評価する。これらの定性的評価については、設計者に対してヒアリングを行って

評価用データを収集した。

(1) 操業容易性に関する検討

「操業容易性」は、FBR サイクルを実用化した事業者にとっての簡便さを FBR サイクルのライフサイクルにわたって評価する指標である。「必要インフラ」、「建設容易性」、「運転操作容易性」、「輸送容易性」、「保守補修容易性」、「廃止容易性」の 6 つの 2 次指標に分解して評価することとした。これらは、広い意味では FBR サイクルの特性である。しかし、人間にとっての使いやすさ、といった観点を設計データ等で評価することは非常に難しい。そこで、たとえ技術開発が容易であり、かつ技術的な特性が優れていても、実用化しても簡便でない FBR サイクルは望ましくないと考えて評価視点として取り上げることとした。

評価基準面の特徴としては、建設容易性のうち、工事期間は設計目標も決まっており、設計目標が達成基準となるように効用関数を設定して評価し、必要インフラは段階的な評価を行うものの、評価基準は「ない」から「極めて多い」まで絶対的な量に基づいた評価を行うが、建設容易性から廃止容易性までのうち段階評価を行う指標については、現状の軽水炉サイクルシステムを基準として評価する点である。したがって、炉ならば最新型の軽水炉、再処理施設ならば、六ヶ所再処理施設、燃料製造ならば、六ヶ所のウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設を中程度の容易性、と念頭に置いて評価する。

(i) 必要インフラに関する検討

「必要インフラ」は、技術開発ではなく、FBR サイクルの導入時における社会的条件の難易性を評価する指標である。たとえ技術開発自身は簡単であり、一般公衆に受けがよく、かつ完成したシステムとして性能がよくても、FBR サイクルシステム以外に社会的に必要なインフラ（例えば、 ^{15}N の濃縮を前提とする FBR サイクルシステムを考えると、大規模かつ経済的な ^{15}N 同位体分離施設など）があまりに大規模な FBR サイクルシステムは事業者としては、実用化困難な面があり、望ましい FBR サイクルシステムとはいえない。したがって、「必要インフラ」を評価する意義は十分存在する。必要インフラの評価基準を表 3.1.19 に示す。

(ii) 建設容易性に関する検討

「建設容易性」は、FBR サイクル施設建設の難易性を評価する指標である。建設が容易なことは、ライフサイクルで考えたときに FBR サイクルの特性の一つの要素であり、フェーズ最終評価では、操業容易性の範囲で評価することとした。

建設容易性は、さらに 2 つの下位指標から構成され则认为る。

(a) 工事期間

工事期間は、施設の工事に要する月数である。ここでの工事期間は、実用化戦略調査研究で通常用いられているとおり、施設の着工から操業開始までの期間をさすこととする。なお、試運転を行っている期間を含むこととし、単位は月数で評価する。工事期間の想定値は、原子炉プラントシステムと燃料サイクルシステムで異なる。

原子炉プラントについては、中間評価の結果を踏まえて、基本的には 42 ヶ月程度（小型炉については、36 ヶ月程度）、また燃料サイクル施設については、60 ヶ月程度を基本として

設計している。この条件を踏まえて、フェーズ 最終評価にあたって設定した効用関数は、図 3.1.51 および図 3.1.52 のとおりである。

(b) 工事人員

工事人員は、施設の工事に要する人員である。現時点では絶対的な人数を評価できない場合もあることから、現状の核燃料サイクル施設と比較して人数が多いのか、少ないのかについて段階的に評価する。これは、施設規模に関係して決まる指標である。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.20 のとおりである。

(iii) 運転操作容易性に関する検討

「運転操作容易性」は、FBR サイクルシステムを適切に運転することが容易なのか、という点を評価する指標である。いずれの候補概念も運転操作は可能であるが、ヒューマンエラーの発生が少なく、運転にあたって高度な知識や経験が不要であり、神経を遣わずに運転できる FBR サイクルは望ましいと考えられる。

フェーズ 最終評価では、適切な運転の容易さやヒューマンエラー防止の容易さについて評価することとした。フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.21 のとおりである。

(iv) 輸送容易性に関する検討

「輸送容易性」は、燃料等の輸送に関して問題があるのかを評価する指標である。施設間の燃料輸送に関しては、施設設計が固まっていない段階では完全に追究することは難しい。しかし、フェーズ では燃料の輸送にあたっての問題点の検討を開始した。例えば、燃料の輸送にあたって、放射線の遮蔽や発熱への対応が必要となるので、輸送する核物質等の組成評価を基に検討が行われてきた。

また、空気や水分に触れると反応性の高い物質等の影響で輸送の際に特別の配慮が必要となったり、特別な輸送容器が必要となったりしない方が FBR サイクルシステムとしては望ましい。このような点を踏まえ、輸送容易性は、現状の知見の下で輸送面に関する問題点の有無やその程度を評価する指標である。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.22 のとおりである。

(v) 保守補修容易性に関する検討

「保守補修容易性」は、FBR サイクル施設の保守補修が容易であるのか、大きな問題がないのかについて評価する指標である。保守補修は、実用化した施設の運用にあたっては大きな問題であり、今後は定期検査期間などに反映して評価することも考えられるが、現時点では直接保守補修容易性を考えることとする。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.23 のとおりである。

(vi) 廃止容易性に関する検討

我が国の原子力利用も 50 年を迎え、廃止を迎える原子力施設が増加することが予想される。こうしたバックエンドに対して責任を持つ主体が電気事業者や燃料サイクル事業者なのか、

それとも政府となるのか等は議論が喧しいところであるが、いずれにしても施設の廃止措置が容易であることは、原子力利用を長期的な観点から検討する際には重要である。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.24 のとおりである。

(2) 事業柔軟性に関する検討

「事業柔軟性」は、FBR サイクルを実用化した事業者が事業環境変化に合わせて FBR サイクルの事業形態をどの程度容易に変化させられるのかについて評価する指標である。現在、FBR サイクル実用化戦略調査研究では、社会状況が変化したときの FBR サイクル設計の変更といった点を包括的に検討しているわけではない。もちろん、例えば、経済性が重視される社会ならば、炉心設計において、増殖比について 1 をわずかに超える程度に抑えて、高燃焼度化を図って経済性を向上させたり、天然ウラン資源が逼迫する恐れがあるときにブランケットを増やして、燃焼度は低くなるものの増殖比を高めるといった検討が行われたり、あるいは軽水炉サイクルと共存している時期に酸化物燃料の使用済燃料を FBR 金属燃料の使用済燃料再処理施設においてどのように処理するのか、また、プルサーマル使用済燃料をどのように先進湿式再処理施設で処理するのか、といった検討は行われている。しかし、さまざまな候補概念を並行して検討している現時点では、社会シナリオの変化と、それに伴う FBR サイクルの研究開発内容の変更、さらにはそれによる FBR サイクルの特性変化を全て設計評価しておくことは無理である。そこで、フェーズ Ⅱ では、社会の変動に対応して、研究開発を柔軟に実施できるような潜在的能力を持つ FBR サイクル候補概念は、その候補概念の範疇内で、現在進めている標準的な社会情勢に応じた標準的な特性の FBR サイクルを評価するだけでは評価できない魅力を持っていると考えることとし、多面的評価において評価することとした。なお、現状では、将来社会変化と各候補概念の特性変化の関係が明瞭でないので、「事業柔軟性」に関しては、フェーズ Ⅱ 中間評価では社会的受容性の一部として評価したが、事業者が環境変化に対応して FBR サイクルを変更することを想定していること、最終評価では「事業容易性」という評価視点を設けたことから、「操業容易性」と同様に「事業容易性」の中で評価する。

「事業柔軟性」については、「FBR サイクル変更多様性」、「容量変更性」の 2 つの 2 次指標に分解して評価することとした。見方を変えれば「事業柔軟性」の特徴は、他の指標で評価される特性（技術的実現性、あるいは経済性など）について、社会状況変化に応じて変更できる能力を評価しているということであり、他の評価視点の範囲では、「研究開発柔軟性」に含まれる要素を評価しにくいことを示している。

(i) FBR サイクル変更多様性に関する検討

「FBR サイクル変更多様性」は、FBR サイクルを質的に変更することができるのかについて評価する指標である。特に設計変更だけで、さまざまな状況変化に対応して FBR サイクルの様子を変更できる場合には、その FBR サイクルは大きな柔軟性を持っていると考えられる。ただし、質的変更といってもいろいろな変更が考えられる。フェーズ Ⅱ 最終評価では、その中でも FBR サイクルの特徴と可能性を活かすことができる概念を評価するために、(a) 炉心の増殖性能を高めることができるのか、(b) マイナーアクチニド (Minor Actinide: MA) の燃焼による施設の大幅な変更が必要かどうか、(c) 長寿命核分裂生成物 (Long-Lived Fission Product: LLFP) の分離や核変換が容易なのか、といった指標を用いて評価を行うこととした。

(a) 増殖比変更

多面的評価及び導入シナリオ評価にあたっては、基本的には国内に FBR サイクルを導入することを目標としている。今後の電力需要の伸びを考慮すると、炉心の増殖性能をそれほど高める必要はなく、実際に資源重視型炉心でも 1.1 程度に留まっている。しかし、FBR サイクルの多目的利用（水素製造、淡水化等）や国際的導入を考慮すると、高い増殖性能が必要な場合も想定できる（4章「軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行シナリオ評価」を参照）。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.25 のとおりである。

(b) MA 燃焼

実用化戦略調査研究の特徴の一つはアクチニドの回収と燃焼であり、FBR サイクルにおいて多重リサイクルしていくことを基本とする。これにより、廃棄物に移行するアクチニドを燃料として利用することで、より効率的な核燃料サイクルを実現することをめざしている。

現在のところ、軽水炉における燃焼で発生する MA は、高レベル廃棄物として廃棄されると考えられている。しかし、軽水炉サイクルに由来する MA についても、FBR サイクルの特長を活かせば FBR で燃料として燃焼することも可能である。このとき、FBR サイクル技術に特有の技術的困難さが少ない概念ならば、より望ましいと考えられる。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.26 のとおりである。

(c) LLFP 核変換

LLFP の変換も FBR サイクルについて研究が行われているテーマの一つである。特に分離・核変換サイクルとして、研究が行われている。実用化戦略調査研究フェーズ では、様々な核種の中で Sc、Sr、Mo、I、Te の分離と I と Te の核変換が当面の目標であると定められている。

LLFP 核変換は、各候補概念に関して、その概念が分離・核変換に対応する場合に、その FBR サイクル概念固有の技術的な制約がないのかについて評価する指標である。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.27 のとおりである。

(ii) 容量変更性に関する検討

「容量変更性」は、FBR サイクルを量的に変更することができるのかについて評価する指標である。さまざまな設備容量へのニーズ変化に対応して FBR サイクルの設備の容量を変更できるかどうかによって、FBR サイクルの持つ柔軟性を評価する。

容量変更性の指標としては、容量変更の方向に合わせて (a) 大型化容易性と (b) 小型化容易性を考えた。

(a) 大型化容易性

設備容量の変更に関しては、大型化する可能性が考えられる。原子力システムは、経済性をはじめとして、スケールメリットを得やすいシステムであることから、十分な需要が見込まれる場合には、大型化しやすい原子力システムは望ましいと考えられる。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.28 のとおりである。

(b) 小型化容易性

上述したものとは逆に、将来の設備容量の変更に関しては、小型化する可能性も考えられる。これは、今後の電力需要が停滞する場合には、それほど大きくない需要に対応するために小型化が容易な原子力システムは望ましいと考えられるからである。

フェーズ 最終評価にあたって設定した評価基準は表 3.1.29 のとおりである。

3.1.2.10 多重平衡サイクルの各評価視点評価手法のまとめ

多重平衡サイクルを行ったときのシステムに関しては、実用化戦略調査研究で中心的に検討されており、フェーズ 中間評価における多面的評価でも評価を実施した。中間評価終了後は、フェーズ 最終評価に向けて評価手法を改良したので、その内容を報告した。

評価手法全体を概観したとき、事業容易性という評価視点を設けたことが最大の変更である。この変更に伴って、社会的受容性は公衆が受ける印象等を評価する視点であることが明確となった。また、技術的実現性において研究開発柔軟性といった観点を含めて評価することとした。これらは中間評価では、いずれも社会的受容性で評価したものである。社会的受容性は、普通の市民を対象にアンケートを取った結果を基にして評価構造(特に評価基準など)を設定することとした。ただし、これらは、開発目標も設定されておらず、技術的な観点からは明確な評価を実施することはできない評価視点である。そこで、フェーズ 最終評価では、参考評価として扱った。

上記の他にも、安全性の評価構造を整理し、経済性では投資リスクを評価することとしたり、設定条件を見直したりした。また、環境負荷低減性では、物質収支評価手法や各指標の評価手法や基準等を見直し、核拡散抵抗性では、基準を若干変更し、異な転用シナリオも考慮して評価を行った。

3.1.3 時系列評価手法

3.1.3.1 時系列評価手法の概要

フェーズ 中間評価では、多重平衡サイクルの多面的評価を実施した。その評価手法と結果については概ね適切であると考えられたが、最終評価に向けて改良を施した結果を前項で説明した。一方で、多重平衡サイクルの多面的評価の結果を踏まえ、現時点における原子力を巡る状況から多重平衡サイクルに到達するまでの特性についても、多重平衡サイクルと類似の評価を実施することができないのか、という要望が出された。そこで、フェーズ 最終評価では、上記の要望に対応し、フェーズ 以降の展開も見据えて移行期を含む FBR サイクルの時系列特性評価手法の開発に取り組むこととした。現在から移行期および多重平衡期の特性を時系列で評価することにより、FBR サイクルの研究開発と実用化戦略を策定、実行していく上でのポイントを多面的かつ包括的に判断することが可能となり、時間的および空間的に詳細な検討が可能となる。

多重平衡期の FBR サイクルシステムと移行期の FBR サイクルシステムとの最も大きな違いは、軽水炉システムとの相互作用があることであろう。その結果、移行期の FBR サイクルシステムはより複雑な要素を孕み、その特性も時系列的に変化する。時系列の特性を多面的に評価するためには、多重平衡サイクル期と比較して複雑な作業が必要となるが、その背景を図 3.1.3 に即して、軽水炉サイクルが実用化しており、FBR サイクルの研究開発を行っている現在から、2200 年あるいはそれ以降に訪れる FBR サイクルによる多重平衡サイクル期までのわが国における原子力の状況を踏まえて述べることとする。

FBR サイクルが研究開発されている現在の時点では、FBR サイクルシステムへの入力として研究開発費や人的投資などがある。しかし、実際には FBR サイクルは現実化されていないため FBR サイクルシステムから外部環境へは知的財産や文化などが出力されることとなる。

FBR サイクルが実用化されると施設費や FBR サイクルを稼働させるための核燃料や原材料などを外部環境から入力し、FBR サイクルシステムから外部環境に対して電力を供給することができ、また放射性廃棄物などが発生して外部環境に処分・放出されることとなる。さらに前述したように、FBR が軽水炉と共存する移行期には、FBR サイクルシステムと軽水炉サイクルシステムとの間に相互作用がある。例えば、軽水炉サイクルシステムの再処理施設から得られる核物質が FBR サイクルシステムの燃料として用いられる。次いで FBR が軽水炉に置き換わって、FBR サイクルシステム内で燃料を循環させ続けるようになると FBR サイクルシステムは、徐々に単純な様相に落ち着いていき、最終的には多重平衡期の姿に収斂していくことが考えられる。

移行期を含んだ時系列特性評価については、多重平衡サイクルの特性評価とは異なるツールが必要となる。これらのツールは、図 3.1.3 に示す FBR サイクルと外部環境との相互作用（具体的には物資や金銭のフロー等）を踏まえて、FBR サイクルに関する時系列の特性を多面的な観点から評価し、FBR サイクル戦略の総合的な評価を可能とする。こうして、実施した時系列評価のイメージを図 3.1.53 に示す。わが国の核燃料サイクル全般の経済性や環境負荷を評価するための枠組みとなるものである。実際には、導入シナリオ評価と技術的実現性の評価を踏まえて、新たに開発したツールを用いて経済性や環境負荷を評価する。

経済性の時系列評価に関しては、2006 年から 2200 年までのわが国のほぼ全ての原子力施設で要する費用を算出し、それらを積算するツールを作成した（研究開発施設やフロントエンド施設およびバックエンド施設の一部は除く）。このツールは、後述するようにさまざまな容量の施設の費用を推算するための近似式も多用しており決して完全ではないものの、わが国の原子力のキャ

ツッシュフローの全体像を今後約 200 年間にわたって把握することが可能となった。このツールを用いた結果から、わが国原子力システムと環境（ここでは、システム外の世界を示す）との金銭面での相互作用に着目した評価を実施する。

環境負荷低減性の時系列評価に関しては、廃棄物発生量を積算するツールおよび放射性毒性を評価するツールである。2006 年から 2200 年までのわが国のほぼ全ての原子力施設で発生する廃棄物量を算出し、それらを積算するツールを作成し（研究開発施設やフロントエンド施設およびバックエンド施設の一部は除く）廃棄物発生量の評価に用いた。また、同様に 2006 年から 2200 年までのわが国のほぼ全ての原子力施設における核燃料の組成を算出し、それらから高レベル廃棄物と地層処分型低レベル廃棄物における 1000 年後の放射性毒性を推算するツールも作成し、わが国の将来の原子力全般の評価を実施した。

(1) 時系列多面的評価を実施したケース

フェーズ 最終評価では、多重平衡サイクル期における FBR サイクル候補概念 20 ケースを対象とした多面的評価を実施した。時系列の多面的評価では、既に多重平衡サイクルについて評価を実施していること、より煩雑な評価を実施することから、主要な評価ケースを対象とした評価を実施する。これらのケース選定にあたっては、多面的結果を大きく左右したのは、冷却材別に区分された炉型であったことを踏まえ、炉型別の代表的な FBR サイクル候補概念（4 ケース）と多重平衡サイクルの評価でも有望な概念と考えられたナトリウム冷却炉に金属燃料、金属電解再処理、射出鑄造燃料製造法を組み合わせた FBR サイクル候補概念の合計 5 ケースである。表 3.1.30 に時系列評価で対象としたケースを示す。なお、これらは 4 章の導入シナリオ評価で選定したケース（実際には、導入シナリオ評価においては、施設の特徴は似ているものの、将来計画や運用条件は異なる多数のケースを評価しており、それらを FBR サイクルにおける冷却材や燃料形式の違いから大別して 5 つのグループとしている⁷¹⁾）とほぼ同様である。

フェーズ 最終評価における時系列多面的評価における評価ケースにおける設定条件をまとめて、表 3.1.31（FBR サイクル関連：主に FBR と再処理（燃料製造））および表 3.1.32（軽水炉サイクル関連）に示す。

3.1.3.2 経済性の時系列評価手法

軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行期を含めたわが国の核燃料サイクルの経済性特性を包括的に評価することを目的とし、軽水炉サイクルが稼動している 2006 年から FBR サイクルへリプレースが行われていると想定する 2200 年を解析対象期間とし、この間に稼動していると想定される全原子力発電炉、及びサイクル施設についての時系列経済性評価を行った。

解析期間内に想定される各々の炉、施設については、建設計画から廃止措置に至るまで毎年発生する費用に着目し、3.1.2.3 節で述べた発電原価方法に基づいて炉型・サイクル施設別に毎年発生する費用を積み上げ、これらを各年毎に総計して毎年の国内原子力発電必要費用を評価した。さらに、年間の発電量で各年の費用を除することで、各年の原子力発電原価の評価を行った。発電のために必要な費用は多重平衡サイクルの発電原価と同様、資本費、運転費、燃料費である。ただし、費用の発生を時系列的に評価するという観点から、建設費の減価償却、廃炉費の毎年積み立てをせず、費用が発生する年に、発生する費用額をそのまま積み上げることとした。また、多重平衡サイクルの発電原価評価と異なり、時系列評価においては、軽水炉サイクルから FBR サイクルへ移行期が評価対象となるため、2006 年以前に建設された既存の軽水炉プラント、再処理施設、燃料製造施設については運転・燃料費、廃止措置費を計上し、更に、2006 年以降導入が想定される将来軽水炉、実規模試験施設～商業用の FBR プラント、FBR 燃料サイクル施設については建設費、運転・燃料費、廃止措置費を計上した。

時系列経済性評価のイメージ図を図 3.1.54 に示す。

(2) 原子炉プラント費用の想定

(a) 軽水炉プラント評価条件の想定

軽水炉プラントとしては、2006 年現在国内で稼動している既存のプラント 53 基（国内 9 電力会社及び日本原子力発電(株)保有）シナリオ上今後導入が見込まれる将来軽水炉プラント（平成 24 年運転開始予定の大間（フル MOX）原子力発電所を含む）を対象とした。将来軽水炉は、現行の軽水炉から高度化が図られるものと想定し、電気出力 1,500MWe（平均燃焼度 60,000MWd/t）級のプラントを想定した。既存の軽水炉については、各々のプラントによって設備容量が異なるため、それぞれ 500MWe、800MWe、1,100MWe、1,300MWe 規模のプラントに大別して費用を算出し、計上した。

現行軽水炉及び将来軽水炉についての評価条件は、総合資源エネルギー調査会電気事業分科会、コスト等検討小委員会の検討²⁸⁾に基づいて設定した。

出力規模に応じて顕著に変わり得ると考えられる建設費、閉鎖費、人件費については、それぞれ公開資料を基に出力規模に応じた値を設定し、その他、建設費や全費用額に対する比率から算出される事業報酬、固定資産税（資本費に含まれる）、修繕費、諸費、業務分担費、事業税（運転費に含まれる）の比率は出力規模に関わらず一定とした。また、燃料費については出力規模に比例して算出される炉特性に、それぞれ単価（万円/kgHM）を用いることで費用を算出した。下記に建設費、閉鎖費、人件費の設定方法を記す。

a. 建設費

現行軽水炉の建設費についても、コスト等検討小委員会の検討²⁸⁾に基づいて 1300MWe 規模プラントで建設単価 27.9 万円/kWe とし、0.7 乗則を用いて各出力に応じた補正を行った。

将来軽水炉の建設費については、1,300MWe 規模の将来軽水炉の想定建設単価 20 万円/kWe (1992 年価格) に 0.7 乗則を用いて 1,500MWe 規模に出力補正した 19.16 万円/kWe (1992 年価格) を、建設工事費デフレーター (1992 年 100%→2005 年 99.5%) (3.1.2.3 節参照) にて 2005 年価格に補正した 19.04 万円/kWe を用いた。

建設工事期間を含むプロジェクト期間については、ナトリウム冷却炉と同等であるとし、100 万 kWe 級を超える場合には 7 年、100 万 kWe 級以下の場合には 6 年と設定した。

b. 閉鎖費

閉鎖費は、廃炉に伴い発生する廃棄物量に、解体、処理・検査・構内輸送、構外輸送、処分単価を乗じ、合算することによって求められる。単価については、多重平衡サイクルの発電原価評価で用いた値を用いることが妥当であるが、廃棄物量については出力規模によって増減が考えられる。

現行軽水炉については総合エネルギー調査会「原子力発電所の解体廃棄物」⁶⁷⁾ によって報告された原子力発電所廃止時の廃棄物量を用いることとし、将来軽水炉については、これらの累乗近似式を用いて廃棄物量を推定した。ただし、非放射性廃棄物については 110 万 kWe 級以外の物量が報告されていないため、0.7 乗則を用いて他の出力規模の物量を推算した。

c. 人件費

人件費は 1 基あたりの従業員数 (人/基) に、人件費単価 (万円/人・基) を乗ずることで求められる。人件費単価については、FBR の発電原価計算における想定と同様に (3.1.2.3 節参照) 1,004 万円/人・基とし、従業員数については、次のように設定した。

原子力発電所に従事する職員は、運転員、および保守部門員、技術支援部門員、総務その他員であると考えられる。このうち、運転員はプラント専属であり、出力規模に応じて点検機器、点検範囲の増減があると考えられることから、その人数は出力規模に応じて増減すると想定した。一方、保守部門員、技術支援部門員、総務その他員はプラント専属ではなく発電所内の複数のプラントに従事していると考えられ、その増減は基数によるところが大きく、出力規模によって大きな増減はないものと想定できる。このため、保守部門員、技術支援部門員、総務その他員については、出力規模に関わらず、1 基あたりの人数は一定であるとした。具体的には、運転員は 5 班制とし、1 班あたりの人数は原子力発電所の実例を勘案し、100 万 kWe 級以上で 8 名/班、100 万 kWe 級未満で 6 名/班と想定した。また、発電原価計算において述べたように、東京電力株式会社の保有する原子力発電所の公開データ²⁵⁾ から 110 万 ~ 135.6 万 kWe 級 140 人/基であることが推測できるため、運転員 40 名を除いた 100 名が保守部門員、技術支援部門員、総務その他員であるとした。

これらの想定を基に人員数は 100 万 kWe 級未満のプラントにおいて 130 人/基・年、100 万 kWe 級以上のプラントにおいては 140 人/基・年であると設定した。

(b) FBR プラント評価条件の想定

シナリオ上今後導入が見込まれる FBR プラント評価におけるについての評価条件は、原則的に多重平衡サイクルにおける発電原価評価と同様とし、出力規模に応じて顕著に変わり得ると考えられる建設費、閉鎖費、人件費については、設計を元に設定し、このうち人件費について

は、軽水炉プラントと同様とした。以下に建設費、人件費について設定方法を述べる。

a. 建設費

ナトリウム冷却炉（MOX 燃料）における建設費については、設計に基づき評価されたナトリウム冷却（MOX 燃料）シングルプラント、及び 150 万 kWe（MOX 燃料）シングルプラントの建設費を累乗近似することにより得られた式を用いた。

ナトリウム冷却炉（金属燃料）については、習熟効果がナトリウム冷却炉（MOX 燃料）と同等であるとし、ナトリウム冷却炉（MOX 燃料）の設計から求められた累乗式を、それぞれの 150 万 kWe ツインプラントの建設費で補正することによって求められる式を用いた。

鉛-ビスマス冷却炉については、150 万 kWe（75 万 kWe モジュールプラント 4 基）の建設費に、出力の 0.7 乗則を用いた。

ヘリウムガス冷却炉については、フェーズ 中間評価時における設計で評価された 112.4 万 kWe ツインプラントの建設費と 150 万 kWe ツインプラントの建設費の比⁶⁸⁾を用いることで最終評価での設計における 112.4 万 kWe ツインプラントの建設費を推定し、これと 150 万 kWe ツインプラントの建設費を累乗近似することにより得られた式を用いた。

水冷却炉については、135.6 万 kWe ツインプラントの建設費に、出力の 0.7 乗則を用いた。

建設工事期間を含むプロジェクト期間については、100 万 kWe 級以上のプラントは 150 万 kWe と同等とし、各設計に基づきナトリウム冷却炉 7 年、鉛-ビスマス冷却炉 6 年、ヘリウムガス冷却炉 8 年、水冷却炉 7 年とし、100 万 kWe 級未満の場合は 1 年工期が短縮できるとした。

b. 閉鎖費

閉鎖費を算出するにあたって必要な単価については、多重平衡サイクルの発電原価評価と同じ値を用いた。廃棄物量については出力規模によって増減が考えられ、ここでは、それぞれの炉型の出力規模による廃棄物量について、出力規模に対しての廃棄物量の増減の感度は炉型に関わらず一定と仮定し、ナトリウム冷却炉（MOX）50 万 kWe、200 万 kWe 規模の廃棄物量の累乗近似式を基に、乗数を一定として炉型毎に傾きを補正して用いた。

(3) 燃料サイクルプラント評価条件の想定 - 再処理施設 -

(a) 軽水炉再処理施設評価条件の想定

軽水炉再処理施設としては、日本原燃㈱の六ヶ所再処理施設（800t/y）、さらにシナリオ上今後導入が見込まれる第 2、3 再処理施設を評価対象とした。既に建設が進んでいる六ヶ所再処理工場の稼働費、廃止措置費についてはコスト等検討小委員会にて電気事業連合会より報告された資料²⁰⁾³⁵⁾を基に設定した。

第 2、3 再処理施設については、処理規模に応じて顕著に変わり得ると考えられる建設費、閉鎖費、人件費については、コスト等検討小委員会における検討、及び FBR 先進湿式再処理における設計を基に処理規模に応じた値を設定し、その他の建設費や全費用額に応じて算出される事業報酬、固定資産税（資本費に含まれる）、修繕費、諸費、業務分担費、事業税（運転費に含まれる）の比率は出力規模に関わらず一定とした。

a. 建設費

六ヶ所再処理施設の建設費は、平成 5 年の着工時から平成 19 年の竣工までの 14 年間で 2 兆 1,400 億円（内、直接工事費 1 兆 7,400 億円、建中利子を含む間接工事費 4,000 億円）³⁵⁾が見積もられている。各年への建設費の配分は、日本原燃㈱によって発表されている建設工事進捗状況⁵⁴⁾に従って行った。

六ヶ所再処理施設以降の再処理施設については、六ヶ所再処理施設の工事進捗を基に建設工期の短縮を考慮し、処理規模に関わらず建設期間 5 年、試運転期間 1 年と想定した。

建設費については、工期短縮によって間接工事費が六ヶ所再処理施設工事費より約 286 億円/年削減できることを見込んだ。また、各処理規模の建設費については、FBR 先進湿式再処理施設 800t/y（50、200t/y の直線近似式より算定）に対する各処理規模の FBR 再処理施設建設費比をとり、これを軽水炉再処理 800t/y の建設費に乗ずることで求めた。

b. 廃止措置費

閉鎖費を算出するにあたって必要な各単価については、多重平衡サイクルの発電原価評価と同じ値を用いた。廃棄物量については、建設費同様 FBR 先進湿式再処理 800t/y（50、200t/y の直線近似式より算定）に対する各処理規模の FBR 再処理施設廃棄物量比をとり、これを軽水炉再処理 800t/y の廃棄物量に乗ずることで求めた。

c. 人件費

人件費算出に必要な人件費単価は、出力規模に関わらず六ヶ所再処理施設における想定³⁵⁾である 44,500 円/人日及び 29,900 円/人日、その比率を 8 : 2 とし、労働日数 250 日/年、人員数は 1,045 人とした。

(b) FBR 再処理施設における想定

シナリオ上今後導入が見込まれる FBR 再処理施設の評価条件は原則的に多重平衡サイクルにおける発電原価評価と同様とし、処理規模に応じて顕著に変わり得ると考えられる建設費、閉鎖費、人件費については、設計における検討方法を元に設定した。以下に建設費、閉鎖費、人件費、修繕費及び消耗品費について設定方法を述べる。

a. 建設費

先進湿式再処理施設については、先進湿式再処理施設（MOX）（50、200t/y）の設計値から求めた直線近似式より処理規模に対する建設費を算出し、200t/y 規模施設建設費との比率を求め、これを各燃料の先進湿式再処理施設 200t/y の建設費に乗ずることで他の処理規模の再処理施設の建設費を求めた。

金属燃料再処理施設については、50、200 t/y 規模施設の建設費近似式を用いて処理規模に対する規模施設の建設費を求めた。建設工期は出力規模に関わらず一定とし、設計に基づき 4 年、試運転期間 1 年とした。

d. 廃止措置費

閉鎖費を算出するにあたって必要な単価については、多重平衡サイクルの発電原価評価と同

じ値を用いた。廃棄物量は建設費同様、先進湿式施設については先進湿式再処理 (MOX) 50、200t/y 規模施設の廃棄物量の直線近似式より処理規模に対する廃棄物量を求め、200t/y 規模との廃棄物比を算出し、これを各燃料の先進湿式再処理施設 200t/y 廃棄物量に乗ずることで処理規模に対する廃棄物量を求めた。

金属燃料再処理施設については、50、200 t/y 規模施設の廃棄物量近似式を用いて処理規模に対する廃棄物量を求めた。

e. 人件費

人件費算出に必要な人件費単価は、出力規模に関わらず六ヶ所再処理施設における想定³⁵⁾である 44,500 円/人日及び 29,900 円/人日、その比率を 8:2 とし、労働日数 250 日/年とした。

人員数は先進湿式再処理出力規模に関わらず 200t/y 規模施設と一定とした。ただし、金属燃料再処理施設については、50、200t/y 規模施設の人員数の直線近似式から他の処理規模施設の人員数を求めた。

(4) 燃料サイクルプラント評価条件の想定 - 燃料製造施設 -

(a) 軽水炉燃料製造施設評価条件の想定

軽水炉燃料製造施設としては、既存の UO_2 燃料製造施設である 14 施設 (株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、三菱原子燃料(株)、原子燃料工業熊取事業所、同東海事業所保有) 及びシナリオ上今後プルサーマル燃料製造施設として導入される J-MOX (日本原燃(株)が建設計画中) シナリオ上導入が見込まれる新規 UO_2 燃料製造施設を評価対象とした。既存、及び新規の UO_2 燃料施設、J-MOX についての建設費、運転費については、コスト等検討小委員会による検討²⁷⁾を基に設定を行った。

UO_2 燃料施設については、既存の施設についての建設費等の費用が公表されていないことから、軽水炉発電原価を算定する上での燃料製造単価と J-MOX における燃料製造単価との比を算出し、これを J-MOX の年度展開費用に乗じた額を UO_2 燃料の年度費用とした。

(b) FBR 燃料製造施設評価条件の想定

シナリオ上、今後導入が見込まれる FBR 燃料製造施設の評価条件は原則的に多重平衡サイクルにおける発電原価評価と同様とし、また建設費、閉鎖費、人件費等処理規模に依存すると考えられる条件については、簡素化ペレット (MOX) 燃料製造施設、及び射出成型燃料製造施設の評価条件については設計値を用い、他概念においては簡素化ペレット (MOX) 燃料製造施設における 10、200t/y の各費用の比率を他概念の 200t/y の各費用に乗ずることで出力規模に対する費用を求めた。

3.1.3.3 環境負荷低減性の時系列評価手法

環境負荷低減性の時系列評価では、「ナトリウム冷却大型炉-MOX 燃料」、「ナトリウム冷却大型炉-金属燃料」、「鉛ビスマス冷却中型炉-窒化物燃料」、「ヘリウムガス冷却大型炉-窒化物被覆粒子燃料」、「水冷却大型炉-MOX 燃料」の5つの候補概念について、軽水炉サイクルから高速炉サイクルへの移行過程における約200年間(2006年から2200年まで)に発生する放射性廃棄物の発生量および放射性毒性を評価した。さらに多重平衡サイクルと同様に処分場の占有面積に換算した結果も求めた。

(1) 放射性廃棄物発生量の時系列評価手法

原子炉、燃料製造、再処理、濃縮の4つの施設を対象とした。発生する廃棄物は操業(運転)時と廃止措置時のそれぞれについて、高レベル廃棄物、地層処分型低レベル廃棄物、余裕深度処分型低レベル廃棄物、浅地中ピット処分型低レベル廃棄物、浅地中トレンチ処分型低レベル廃棄物(非放射性廃棄物についても積算可能である)に区分し、全体の発生量を積算することによって求めた。

(a) 原子炉

5つの評価ケースの環境負荷低減性を評価する際には、FBR本格導入以前に建設される実規模試験炉、実用初号機などの原子炉も考慮している。そのため、本格導入後の電気出力150万kWeの大型炉が対象である設計データとは別に、これら高速炉の出力規模に応じた運転時および廃止措置時の廃棄物発生量設定が必要となる。

ここで、3.5.1節の時系列経済性評価で求めた炉型ごとの廃棄物発生量に関する累乗近似式を用いて運転時および廃止措置時の値を設定した。本格導入後の高速炉は、電気出力を150万kWeに規格化されていると想定しており、設計データをそのまま用いて評価することが可能である。一方、既存および計画中の軽水炉については様々な出力規模が存在する。この場合には、操業時は実績値などを参考にし、廃止措置時は総合エネルギー調査会・原子力部会資料等の公開資料を基に廃棄物種別ごとに作成した累乗近似式を用いて出力規模に応じた発生量を設定した。

最後に、これら年ごとに発生する操業時の廃棄物発生量および廃止措置時の廃棄物量をその年の発電電力量で除して、単位発電量あたりの廃棄物発生量を算出することとした。この点は以下で述べる各施設に共通して実施する。

(b) 燃料製造

実規模試験炉、実用炉などの出力規模の小さな原子炉に燃料供給を行う小規模燃料製造施設から発生する廃棄物については、簡素化ペレットおよび射出鑄造の10t/yプラント設計データや簡素化ペレットを基に処理規模比例させた値を、操業時および廃止措置時の発生量として設定した。また、FBR本格導入後の燃料製造施設から発生する廃棄物量については、資源重視型および経済型の双方とも設計データを用いて操業時および廃止措置時の発生量とした。

一方、軽水炉のウラン燃料製造では、操業時は実績値などを参考にし、廃止措置時は様々な処理規模が存在することから0.6乗則を用いて発生量を設定した。さらにMOX燃料製造では、コスト等検討小委員会資料と評価に際し設定した重量から体積への換算係数を用いて操業時および廃止措置時の廃棄物発生量を設定した。

(c) 再処理

「ナトリウム冷却大型炉-MOX 燃料」、「ナトリウム冷却大型炉-金属燃料」の評価ケースでは小規模施設（50t/y プラント）と大規模施設（200t/y プラント）の設計データが整備されており、直線内挿式を作成し処理規模に応じた廃棄物発生量の設定を行うことは比較的容易である。

しかし、「鉛ビスマス冷却中型炉-窒化物燃料」、「ヘリウムガス冷却大型炉-窒化物被覆粒子燃料」、「水冷却大型炉-MOX 燃料」の3ケースについては大規模施設（200t/y プラント）のみであるため、サイクル諸量評価上は実規模試験炉および実用炉の使用済燃料を再処理するための小規模施設（50t/y プラント）が必要となる。そこで、「ナトリウム冷却大型炉-MOX 燃料」の先進湿式再処理の設計データを基に作成した直性内挿式を用い、規模比例させた発生量を設定した。また、高速炉本格導入後の施設稼働率向上などの観点から設計処理能力以外の 100t/y プラントの廃棄物量についても考慮する必要があり、前述の直線内挿式を用いて操業時およびスケール効果を考慮した廃止措置時の発生量を設定した。

一方、軽水炉再処理では評価ケースによって 50t/y から 1,200t/y までの処理規模を有する再処理施設によって構成されている。そこで、フェーズ 最終評価における先進湿式再処理の設計データを用いて得られたスケール効果と、コスト等検討小委員会の六ヶ所再処理を想定した資料、そして今回の評価に際し、設定した重量から体積への換算係数を用いて処理規模に応じた廃棄物発生量を設定した。

(d) 濃縮

いずれのケースにおいても軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行について評価を実施するため、シナリオ前半または全般にわたって濃縮ウラン燃料を用いた軽水炉サイクルが存在する。このことからウラン濃縮における廃棄物も考慮する必要があると考えられる。

コスト等検討小委員会の報告⁷⁰⁾によると、2010 年度末から順次リプレースされ 7 運転単位（1050 トン SWU/年）から 10 運転単位（1500 トン SWU/年）へ増設される予定である。そこで、上記のコスト等検討小委員会報告で設定されている運転単位を考慮して、年間の廃棄物発生量を算出することとした。また、廃止措置時については操業時と同様に、コスト等検討小委員会の資料および評価に際し設定した重量から体積への換算係数を用いて発生量を定めている。

ただし、5 つの評価ケースにおいて国内の濃縮施設で処理能力が不足する分については、海外委託するものとし廃棄物発生量には算入していない。

(2) 放射性毒性の時系列評価手法

(a) 核燃料サイクル中の物質組成評価用ツール

物質組成評価ツールは、サイクル諸量計算機能と ORIGEN コードの燃焼・崩壊機能を組み合わせ、等価フィッサイル法を用いた富化度調整による装荷燃料組成や燃焼後の取出燃料組成に加え、燃料サイクル施設である燃料製造施設または再処理施設における核燃料物質組成、さらに廃棄物組成の算出が可能なツールを作成した。

このツールは、わが国の全施設における 1000 以上の核種を現在から 2200 年という超長期間にわたってアクチニド、核分裂生成物を問わずに算出することが可能であるという機能を持つツールである。このツールで行っている計算のイメージを図 3.1.56 に示す。したがって、現在の軽

水炉サイクルから FBR サイクルの導入と共存、そして FBR による多重サイクルへの移行における多様な特性を解析できるポテンシャルを持っている点が特徴である。

(b) 放射性毒性の評価手法

上記のツールを用いた放射性毒性評価手法を以下に示す。まず、評価ケースごとに発電設備容量、炉特性、再処理計画および移行率、ガラス固化体制限因子などの計算条件を与えて、再処理時の高レベル廃棄物および地層処分型低レベル廃棄物の発生量を算出する。さらに、処分から 1000 年を経過した時点の高レベル廃棄物と地層処分型低レベル廃棄物の組成を計算し、最終的には比放射能等を用いて放射性毒性に換算する。多重平衡サイクルの評価の際と同様に、放射性毒性については、さまざまな表記の仕方が考えられるが、ここでは、実効線量当量への換算係数を用いて、その廃棄物を経口摂取したときの被ばく線量を尺度とした。ここでの、被ばくはあくまでも潜在的なもの、あるいは特別なシナリオなどでの危険性を表すものであり、通常の埋設処分からの核種移行による被ばくとは異なる性格を持っている。

さらに、放射性廃棄物発生量と同様に、求めた処分時から 1000 年を経過した廃棄物の放射性毒性を廃棄物が発生した年の発電電力量で除して、単位発電量あたりの放射性毒性とし、次式によって算出した。

単位発電量あたりの放射性毒性算出式：

$$\sum_{i=1}^{1696} (\text{廃棄物量}_i[\text{g}] \times \text{比放射能}_i[\text{Bq/g}] \times \text{実効線量係数}_i[\text{mSv/Bq}]) / \text{発電電力量}[\text{kWh}]$$

3.1.4 各評価視点の重み付け手法

(1) 重み付けの問題

多面的評価の開発を開始して以来、評価視点それぞれの重み付け手法は課題となってきた。実用化戦略調査研究では、将来の FBR サイクルに求められる観点として、評価視点が抽出されてきたが、総合的な判断を下すためには、それらの視点の個別評価だけでなく、多数の評価視点を考慮して全体的な判断を行なう必要がある。多面的評価における各評価視点の評価結果を統合し、総合的に評価を実施するために問題となってくるのが、(特に評価視点間の)重み付けである。

多面的評価手法では、重み付けについて AHP (Analytic Hierarchy Process : 階層分析法) を活用してきた^{9)、71)~76)}。この手法では、階層状の評価構造を構築し、それらの指標について、アンケートによる一対比較に基づいた重みを付けることが基本的な方法である。しかし、対象となる FBR サイクル、エネルギー分野の専門性、数十年後の技術や社会の状況等を考慮するといった困難な面があった。特に一般の市民については適切な人数を集めることが難しく FBR サイクルや評価視点に関して理解を得た上で、アンケートに回答してもらうことは難しいといわざるを得なかった。その際に、普通の市民、電気事業者、有識者等のステークホルダー間の考え方の違いや立場の違い等を考慮できる手法を策定する必要があった。

フェーズ 中間評価³⁾では、将来の社会で起こりうるさまざまな社会変化について、既存のわが国の社会構想や将来予測、さらにエネルギー関連の長期的な計画などから、将来社会におけるエネルギー関連の予測項目を列挙し、複数の未来予測項目が起こった状況に相当する将来社会シナリオを複数個作成した。

次いで、未来予測項目ごとに、それらの予測項目が生じたときに重視される評価視点について、集団 AHP の手法を用いて一対比較によって求め、作成した将来社会シナリオにおける各評価視点の重みを算出した。このとき、エネルギー分野に詳しいシンクタンクのメンバーで一対比較による評価を実施した。これは、一種のシナリオ評価を経由して将来社会における価値観を想定した重み付け手法である。

しかし、上記の手法は、一貫した手法を用いて顧客のセグメンテーションと戦略ポジショニングを実施したわけではなく、多面的評価で評価すべき概念の選択に係る顧客の定義は曖昧な部分があった。また、評価視点に対する重みを専門家の評価に頼ったこと、また将来社会シナリオを用いて間接的に将来社会の価値観を想定することなど、顧客ニーズを直接かつ具体的に把握できなかったことは改善すべき点と考えられた。

上記の点を受けて、フェーズ 最終評価にあたって、多面的評価の流れを考慮する作業の一環として重み付け手法を再検討することとした。既に 3.1 節で述べたとおり、実用化戦略調査研究において、新製品開発プロセスの各段階はそれなりに検討されてきている。例えば、将来製品である FBR サイクルの事業領域とターゲットについては、基本的には我が国の基幹電源として現存する軽水炉の代替を主なターゲットとしている。また、顧客については、通常の製品と異なり難しい面があるものの、電力事業者であり、消費者である普通の市民であると判断される。ただし、電力などのエネルギー供給は公益事業と考えられることから、国全体等の観点で基幹電源を判断する国(行政府、有識者等)などの立場もステークホルダーであり、一種の顧客となる可能性があると考えられる。また、戦略ポジショニングについては、将来軽水炉サイクルによる発電原価に比肩する発電原価を目標とする等々といった形で、既に開発目標、設計要求に反映されていると考えてよい。

そこで、フェーズ 最終評価では、特に顧客のセグメンテーションとニーズの把握に関して、アンケートに基づいた検討結果を多面的評価（特に重み付け）に反映することで、戦略ポジショニングとマーケティング・ミックスの決定（具体的には、有望概念の選定など）に資することとした¹⁾²⁾⁷⁷⁾。このとき、新製品開発に用いられるマーケティング手法を参考として、実用化戦略調査研究の開始当初から実施が期待されていたアンケートを活用した評価視点間の重み付けを実施した。特に普通の市民に関しては、インターネットを用いて2,000名規模のアンケートを行った。数十名の電気事業者には、アンケートを送付して回答を得た。さらに数名の有識者にアンケートに協力していただき回答を得た。これらの結果から各評価視点の重みを付けることとした。得られた重みについては、上記のとおり、各評価視点の評価結果を総合化するために用いた。また、経済性と事業容易性に関しては、評価視点に含まれる各評価指標の重みを設定する際、以下で述べる重み付け手法とその結果を参考とした。また、社会的受容性に関しては、評価視点内の重み付け手法と評価作業が一体化している。

評価の主体として、普通の市民全体、電力会社、有識者を取り上げることとしたことは既述した。特に「普通の市民全体」の価値観を反映した重みということを考えれば、（不適切な回答を除外した）アンケートの回答者全員の結果を活用することが望ましい。実際に、フェーズ 最終評価における普通の市民全体の重み付けには、回答者全員の単純平均結果を基本として用いる。しかし、「普通の市民全体」は、様々な特性や意見を持った人々をカバーし、かつ人数が極めて多いため、一体として取り扱うことになじみにくい面があるのは確かである。そこで、実用化に向けて詳細な顧客セグメンテーションを行なうことを考慮して、「普通の市民全体」を分類して重み付けに反映する方法を検討・開発した。その手法を用いて、フェーズ 最終評価では、アンケート結果によって回答者をセグメンテーションすることを試みた。なお、アンケートの項目では、評価視点の対比較を実施する設問への回答であるが、アンケート自身については、以下の構成となっており、回答者のプロフィールや将来社会シナリオ等への考え方についても調査できるものとなっている。⁷⁸⁾

Q1～Q4：回答者のプロフィールに関する設問

問1： 将来社会に関する設問

問2： 評価視点間の対比較に関する設問

問3： チェック用の設問

(2) クラスタ分析を用いたセグメンテーション

フェーズ 中間評価と異なり、フェーズ 最終評価では、社会の声を聴いて各評価視点の重みを算出することを目標として、できるだけ天降り方式で重みを与えないように留意した。そこで、アンケートへの回答から得られるステークホルダーの価値観にしたがって重み付けを行う前には、何も基準を設けない方法が望ましい。

データ解析における技法のうち、クラスタ分析（あるいはクラスタリング）と呼ばれる手法は、外的な基準を設けることなくデータを分類する手法である。近年では、マーケティングの分野などで顧客に関する膨大なデータを解析するために多用されてきている。フェーズ 中間評価ではアンケート等を用いずに重み付けを行なったが、フェーズ 最終評価では、外的な基準にできるだけ依存しない重み付けを実施するために、重み付けにあたって得られた実データ

ータに基づいた顧客のセグメンテーションやニーズ・価値観把握を実施することを目的として、クラスター分析の手法を活用することとした。²⁾

クラスター分析には、大きく分けて階層型手法と非階層型手法がある。階層型手法については、分類の過程がよくわかり、どこでクラスター凝集を停止するのか判断するのが容易であるといった長所がある反面、初期の分布への依存性もあり、大規模なサンプルを分類するには計算資源を使うので、あまり用いられないといった短所もある。非階層型手法については、クラスターの生成数についての検討が別途必要となるものの、大規模なサンプルの分類に用いることも容易であるといった長所がある。

フェーズ 最終評価では、大規模なサンプルを分類するため、非階層型の手法を用いたが、クラスター分析の過程で生成した各クラスターが代表的な集団なのか、についても検討を行った。図 3.1.57 に視点間重み付けに用いたクラスターのイメージを示す。回答者全員の意思が反映されているという観点から、単純平均結果を基本重みとする。一方で、クラスター分析に見たように、各視点に特に大きな重みをつける回答者層も存在する。いくつかの派生重み付けケースを示し、アンケート回答者に含まれる代表的な集団による重み付け結果として、それら派生重み付け結果を位置づけることとする。分析対象数は 2,000 以上であったことから、階層型クラスター分析法を実施するにあたっての計算資源や結果整理の煩雑さを考慮して、非階層型の手法(ここでは k-means 法を用いる)によりクラスター分析を実施した。なお、k-means 法は非階層型の手法であり、クラスター数を分析前に設定する必要がある。そこで、クラスター数の設定についても併せて検討を実施した結果、アンケートで得られたデータを用いて分類数などを設定することとした、そこで、評価結果を説明する部分でクラスター生成数の設定についても併せて記述する。

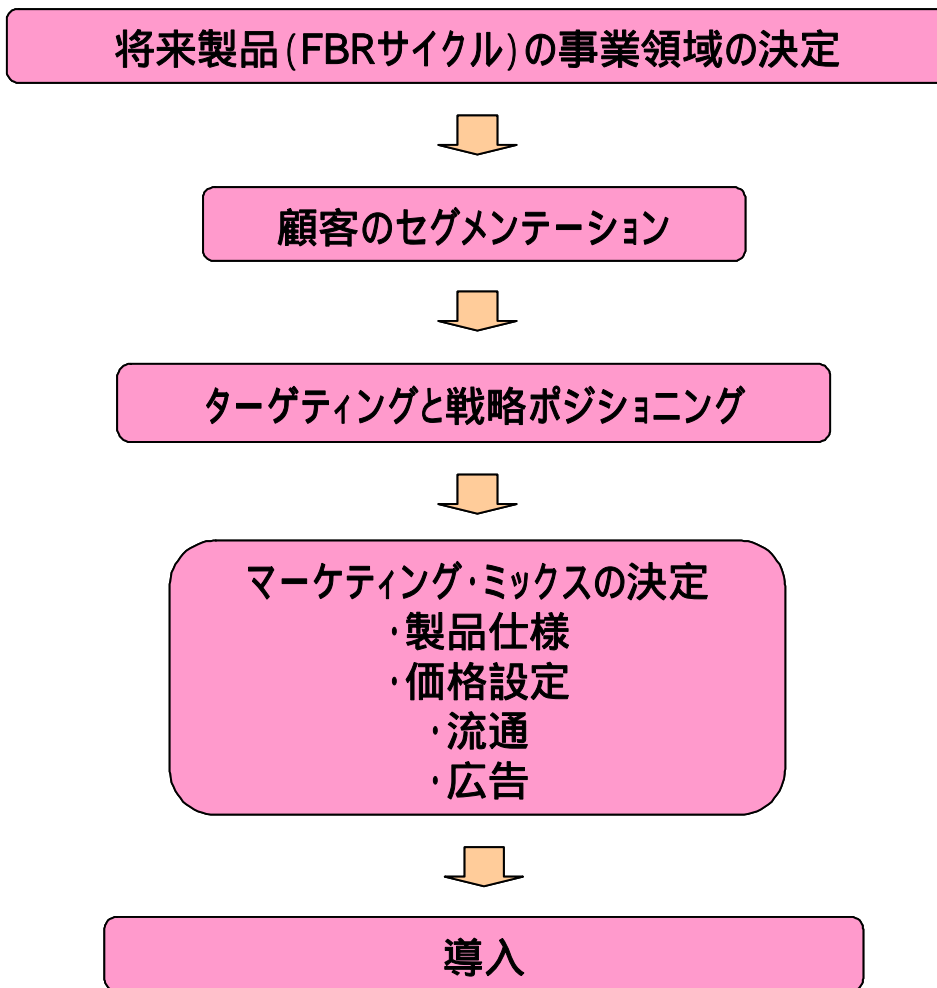


図 3.1.1 一般商品のマーケティング・マネジメント・プロセスの概要

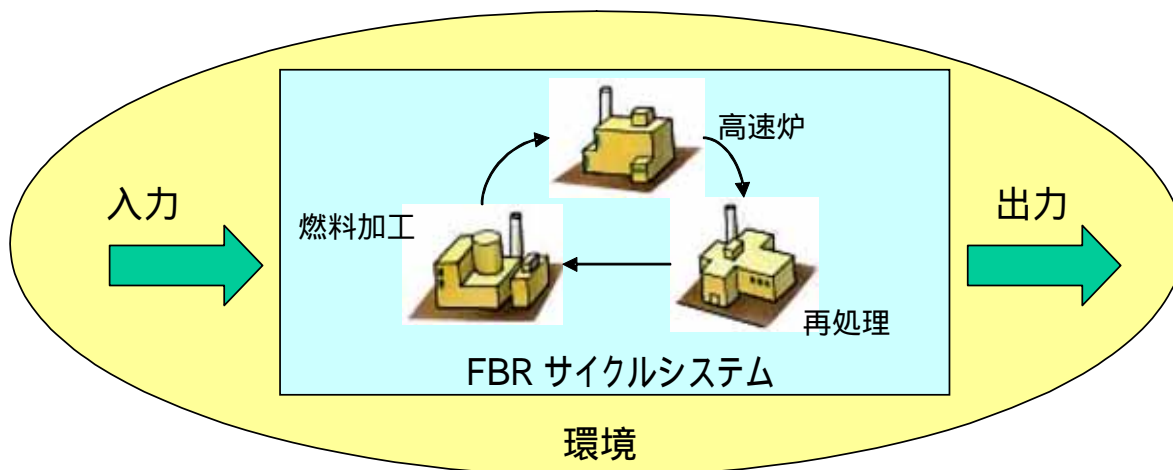


図 3.1.2 FBR サイクルシステム内外における相互作用のイメージ

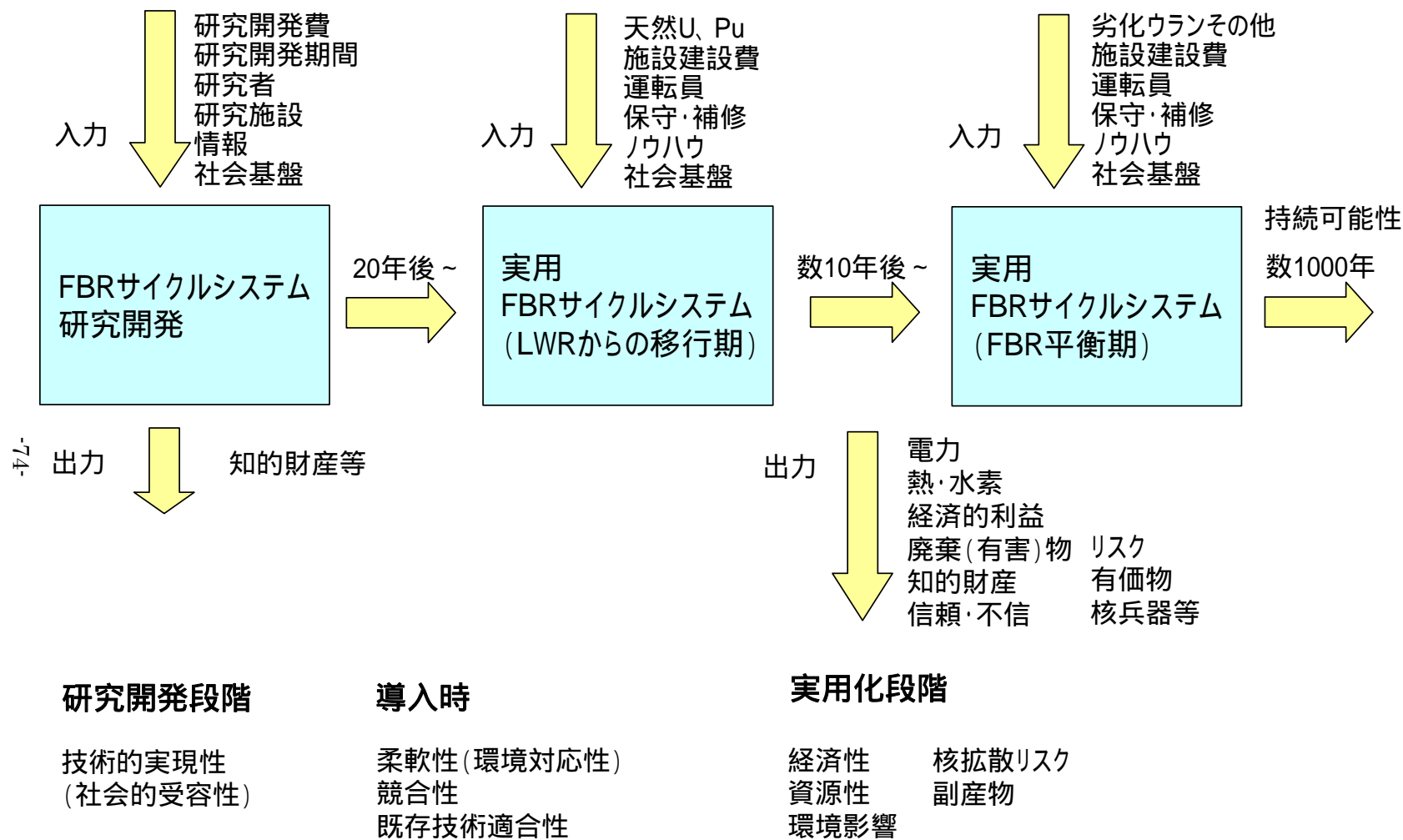


図 3.1.3 各時期における FBR サイクルと外部との相互作用

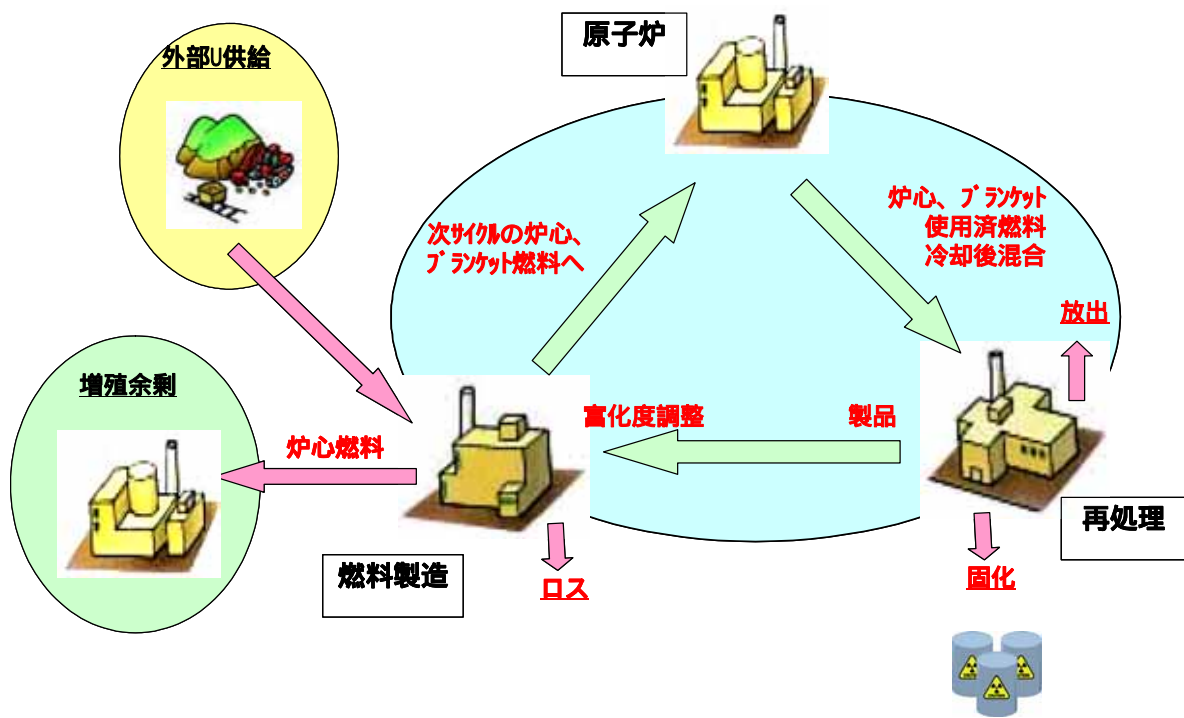


図 3.1.4 平衡期のFBRサイクルのイメージ

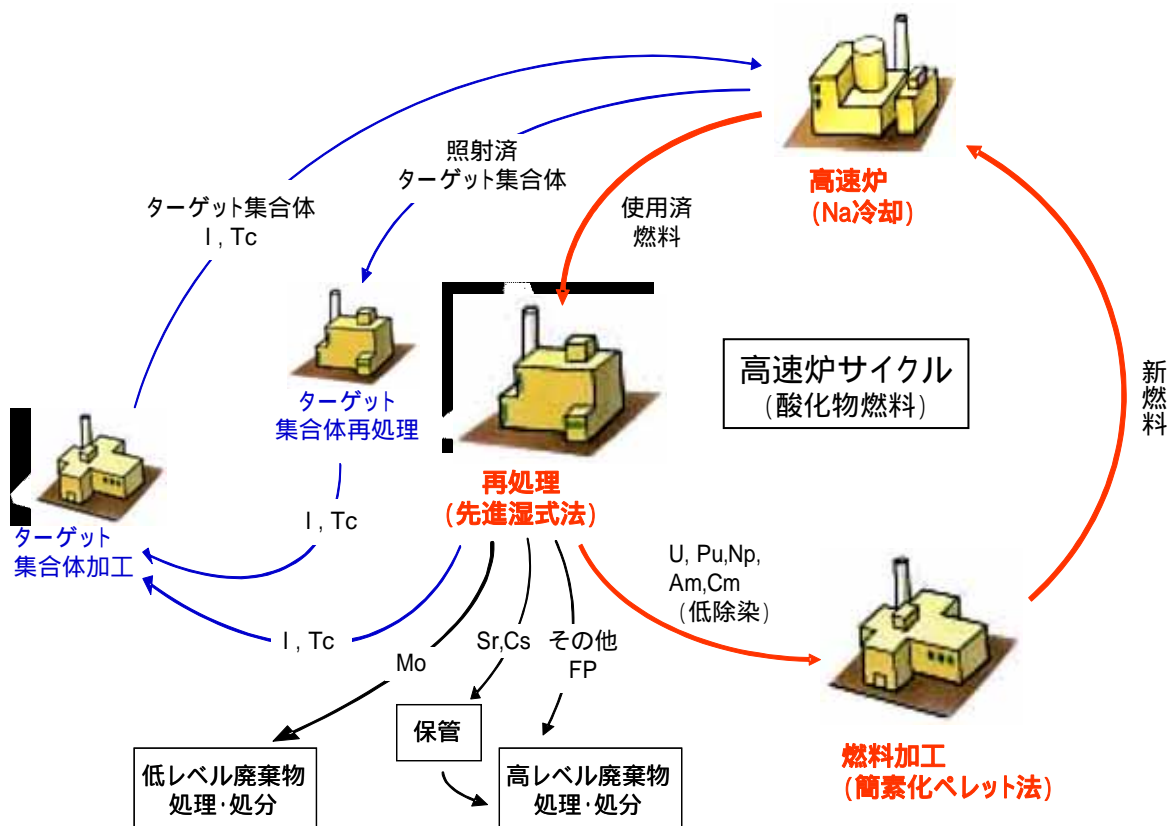


図 3.1.5 LLFP核変換サイクルのイメージ

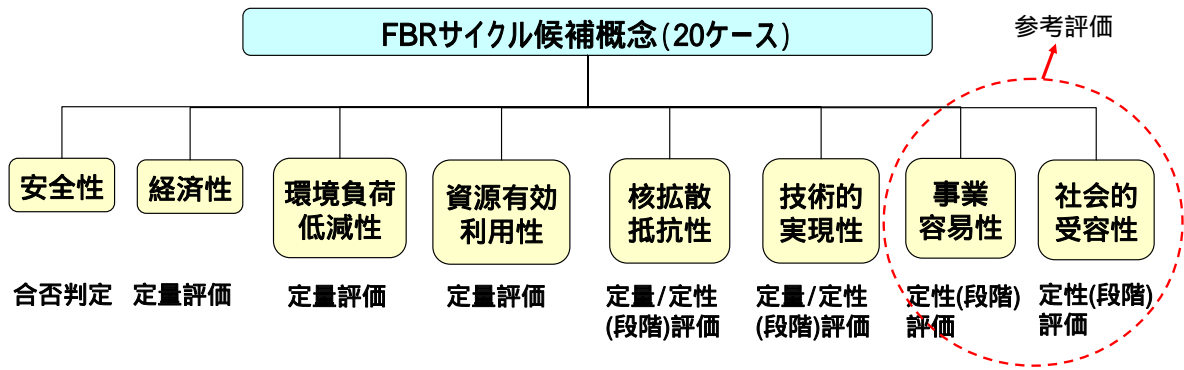


図 3.1.6 FBR サイクル候補概念の評価指標

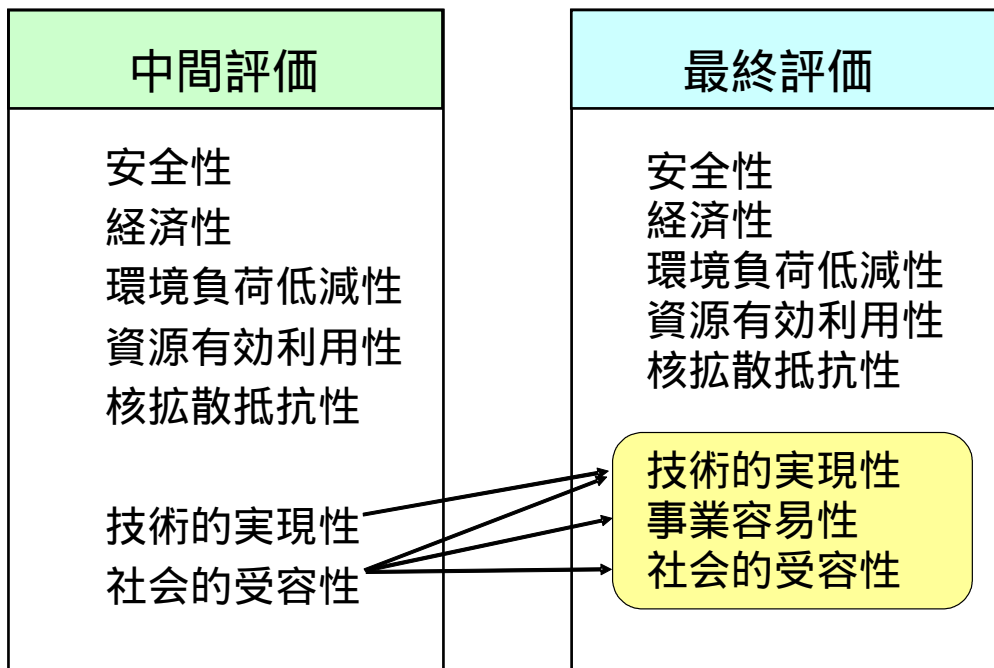


図 3.1.7 多面的評価に用いる視点の改良

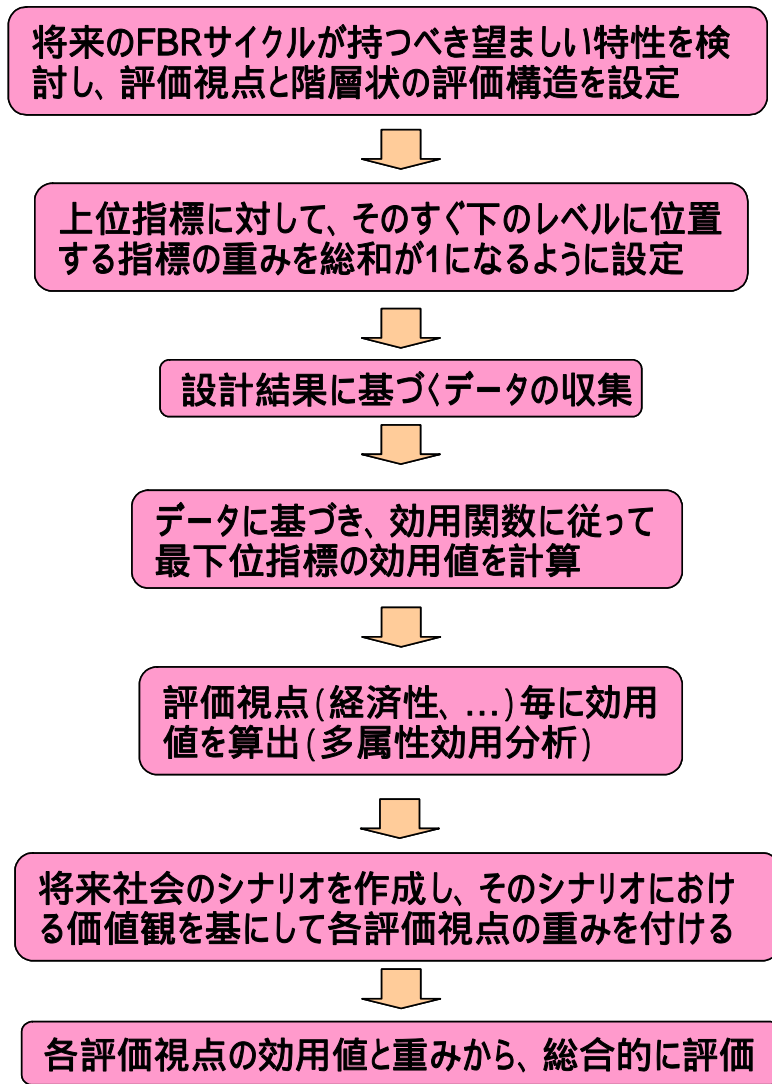


図 3.1.8 多面的評価の流れ

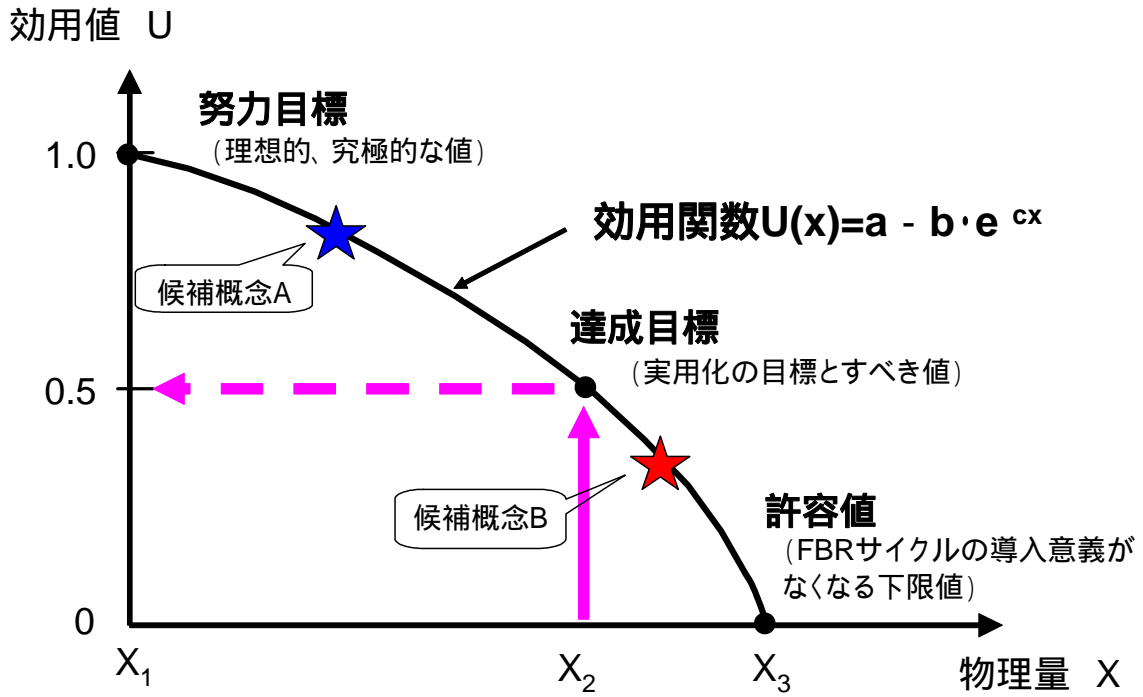


図 3.1.9 効用関数の設定例 (定量評価の場合)

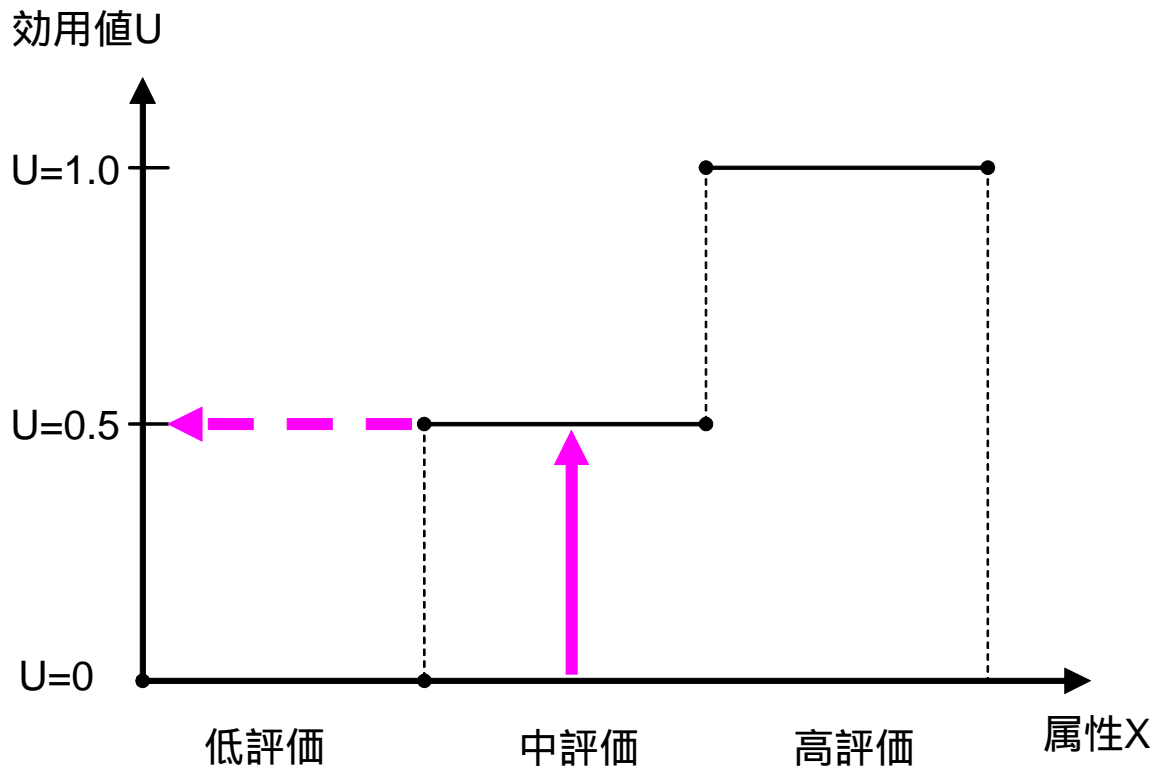


図 3.1.10 効用関数の設定例 (段階的評価の場合)

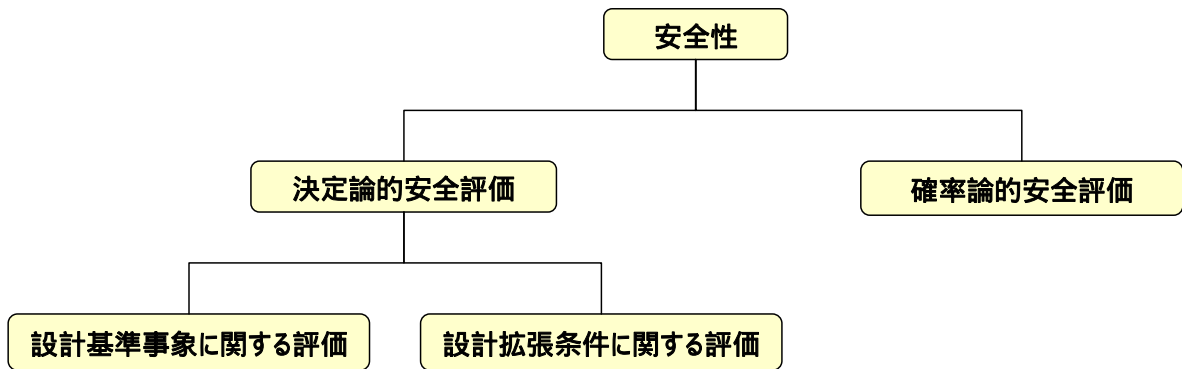


図 3.1.11 安全性の評価構造

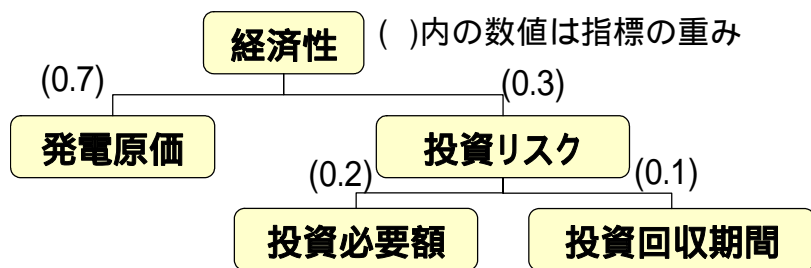


図 3.1.12 経済性に関する評価構造

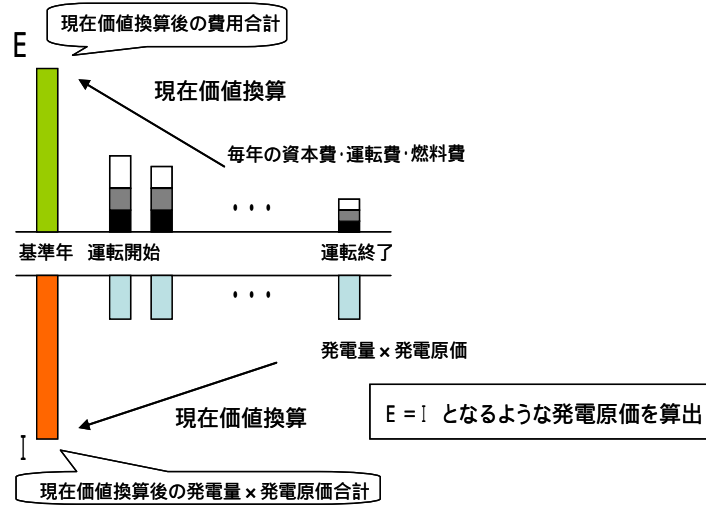


図 3.1.13 発電原価試算における現在価値換算の概念

表 3.1.1 経済性の評価基準

評価視点	1次指標	2次指標	基準	基準の意味	
経済性	発電原価 (0.8)	努力目標	1.8円/kWh	2050年を想定した各国将来発電原価予測の最低額から算出	
		達成目標	3.6円/kWh	2050年を想定した我が国の将来LWRを想定	
		許容値	5.3円/kWh	現行LWR発電原価	
	投資リスク	投資必要額 (0.2)	努力目標	3600億円	10万円/kW × 300万kWに初装荷燃料費(約600億円)を加えた
			達成目標	6600億円	将来LWRの場合を想定(20万円/kW × 300万kW)し、初装荷燃料費を加えた
			許容値	9600億円	現行LWRの場合を想定(300万kW規模)し、初装荷燃料費を加えた
		投資回収期間 (0.1)	努力目標	3.5年	建設期間と同期間で回収
			達成目標	16年	法定耐用年
			許容値	30年	将来のFBRの耐用年数の半分

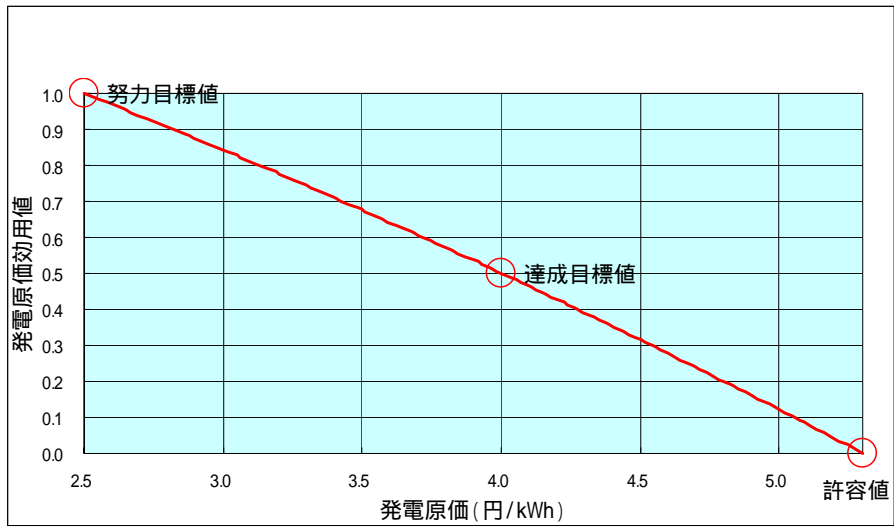


図 3.1.14 発電原価の効用関数

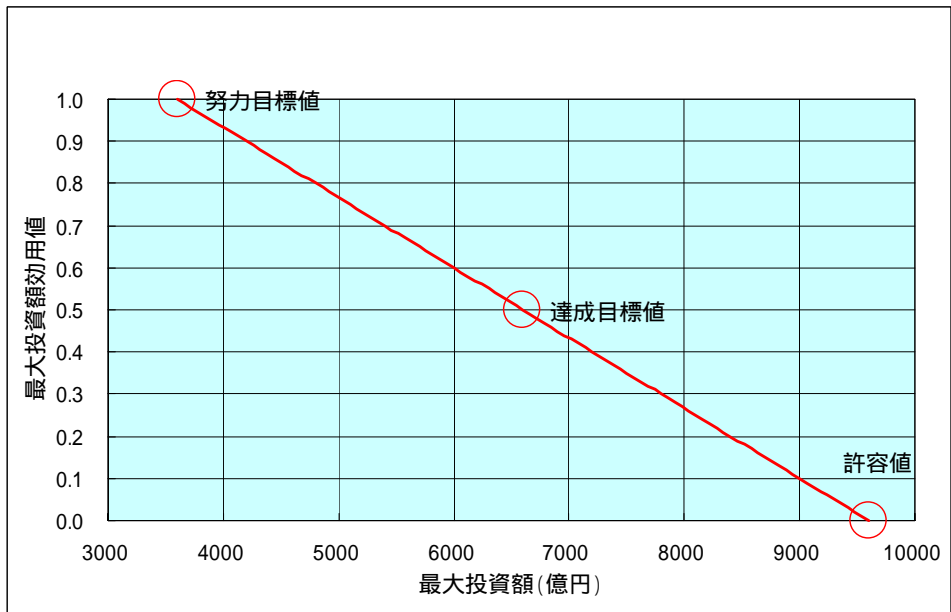


図 3.1.15 最大投資額の効用関数

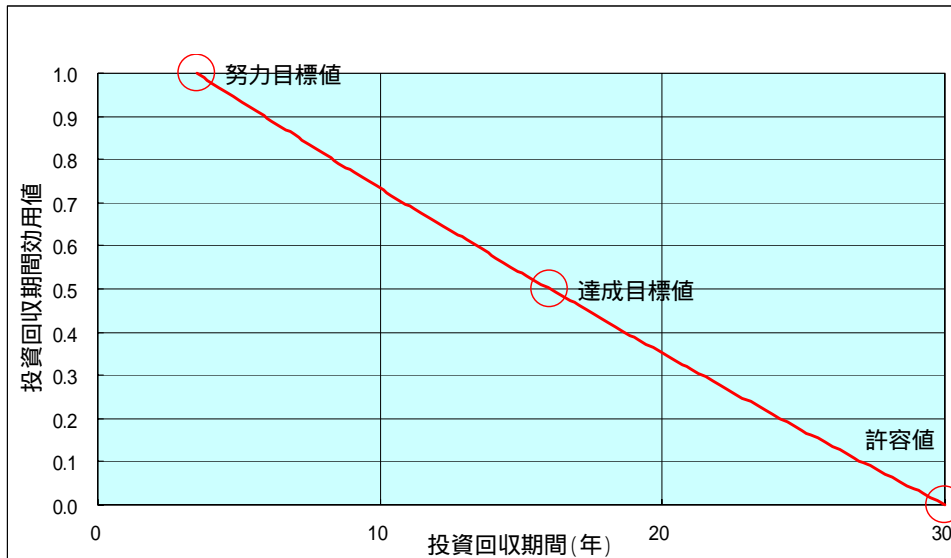


図 3.1.16 投資回収期間の効用関数

表 3.1.2 発電原価の構成費用¹⁹⁾

分類		内訳	
資本費	減価償却費	建設に係わる費用の減価償却費	
	事業報酬	資金調達に係わる支払利息、配当金等を賄うために必要な事業報酬	
	固定資産税	固定資産税	
	廃止措置費	解体費、解体廃棄物処理処分費	
運転費	人件費	発電所正職員の給与・厚生費。役務、委託作業員給与は委託費。	
	修繕費	固定資産を維持し、満足に稼働させるために要する費用。固定資産の価額を増加させることなく、現状回復に必要な費用であるという考えから、減価償却ではなく、毎年の費用として計上される。	
	諸費	消耗品費	潤滑油脂費、作業用被服費、什器用品費、事務用品費、水道費、光熱費等
		廃棄物処理費	放射性廃棄物処理費
		補償費	契約、協定、覚書等による補修義務に基づいて定期的、臨時的に支出する費用および事業に関連する人の障害、死亡に対する賠償金、損害賠償金
		賃借料	他人の資産を使用した場合の使用料、賃貸料
		委託費	社外に業務を委託する場合の費用。設備運転、点検等の委託運転費、雑委託費
		損害保険料	火災保険、運送保険、原子力財産保険等の保険料
		諸費	通信運搬費、旅費、雑費等
		雑税	県市町村民税、事業所税、不動産取得税、登録免許税、核燃料税、地価税、印紙税等
		固定資産除却費	固定資産の除却に伴い発生する費用。
		共有設備等分担金	共有設備等の維持、運転の管理を相手方に依頼する場合に分担する費用
	業務分担費	主に本社の一般管理費の原子力配賦分	
事業税	収益に係わらず、収入金額が課税対象となる		
燃料費	フロントエンド費	(天然ウラン購入費)、(ウラン濃縮費)、(転換費)、燃料加工費、使用済燃料輸送費、再処理費、廃棄物処理・処分費など ()内は軽水炉サイクルのみ	
	バックエンド費		

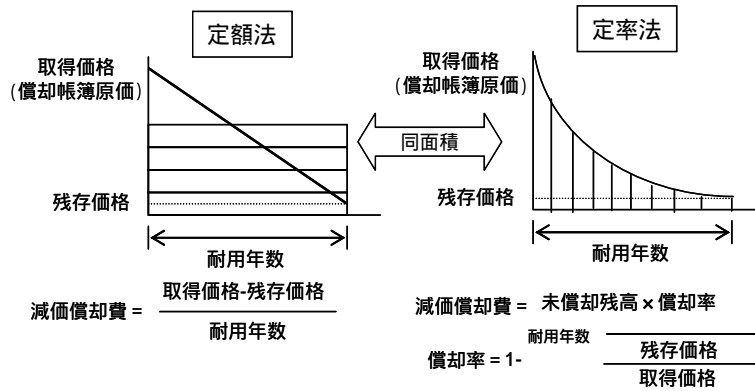


図 3.1.17 定額法と定率法

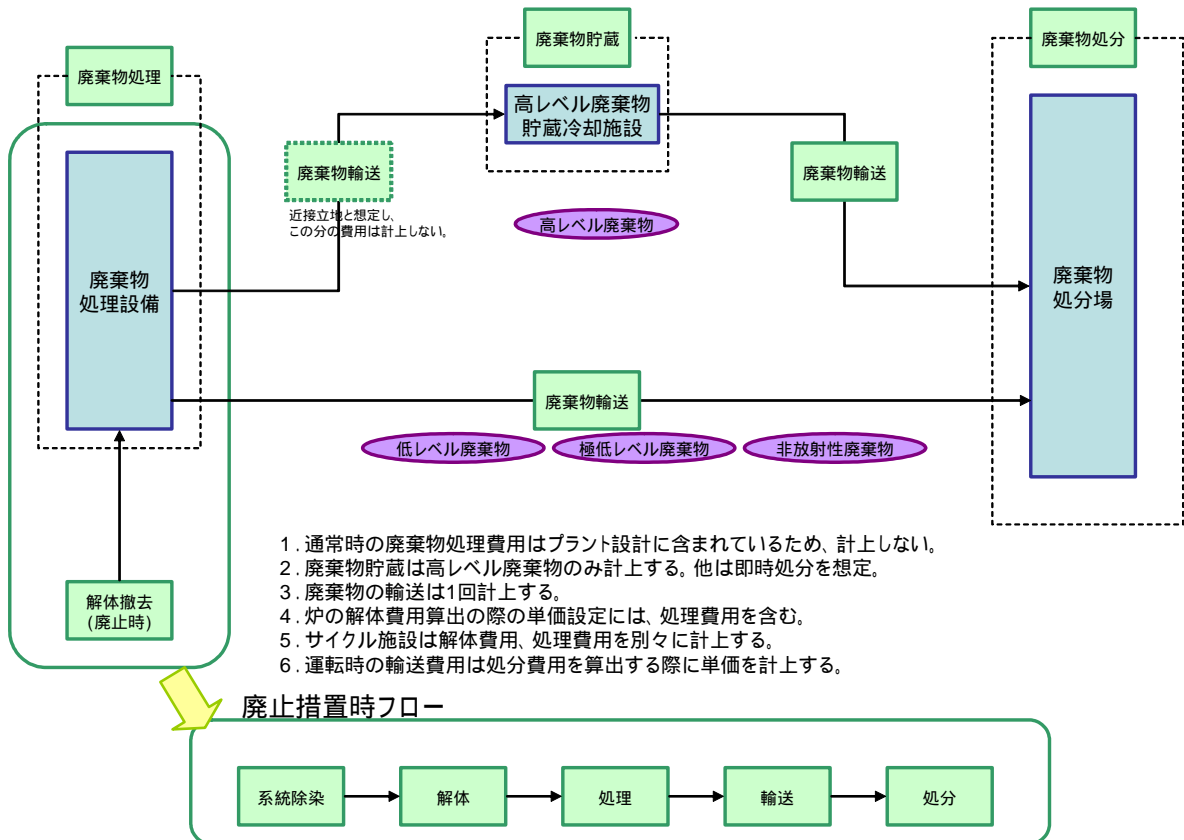


図 3.1.18 廃棄物処理から処分までのフロー

表 3.1.3 廃棄物単価

廃棄物貯蔵費	高レベル放射性廃棄物	65509 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²¹⁾ を基に設定。廃止措置貯蔵施設(2880本貯蔵管理)貯蔵費:2700億円、廃止措置費130億円 2830億円/2880本 = 9826万円/本 固化ガラス容積を0.15m ³ と想定すると 6億5509万円/m ³
	低レベル廃棄物		
	極低レベル放射性廃棄物	処理後即時処分	
	非放射性廃棄物		
廃棄物輸送費	高レベル放射性廃棄物	1533 万円/m ³	貯蔵施設 処分場を想定。処理施設 貯蔵施設の輸送費用は近接立地を想定し計上しない、コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。230万円/本。固化ガラス容積を0.15m ³ と想定。
	低レベル廃棄物	地層処分 600 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。
		余裕深度処分 600 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。
		浅地中処分 100 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。
	極低レベル放射性廃棄物	50 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。
非放射性廃棄物	0.35 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料より、クリアランス対象廃棄物重量 = 90311t 輸送単価:0.4万円/t 総費用 = 36124万円(全て金属と想定) 金属重量から体積への換算係数 = 0.8635t/m ³ より 90311t/0.8635t/m ³ =104587m ³ 36124万円/104587m ³ = 0.35万円/m ³	
廃棄物処分費	高レベル放射性廃棄物	48000 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²²⁾ より、 2002年時点の4万本の処分費用合計:28819億円 28819億円/4万本 = 7205万円/本 固化ガラス容積を0.15m ³ と想定すると 約4億8000万円/m ³
	低レベル廃棄物	地層処分 4500 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²³⁾ による。
		余裕深度処分 1200 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。
		浅地中処分 200 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。
	極低レベル放射性廃棄物	40 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ による。
非放射性廃棄物	0.17 万円/m ³	コスト等検討小委員会資料 ²⁰⁾ より、クリアランス対象廃棄物重量 = 90311t 処分単価:0.2万円/t 総費用 = 18062万円(全て金属と想定) 金属重量から体積への換算係数 = 0.8635t/m ³ より18062万円/0.8635t/m ³ =104587m ³ 18062万円/104587m ³ = 0.17万円/m ³	

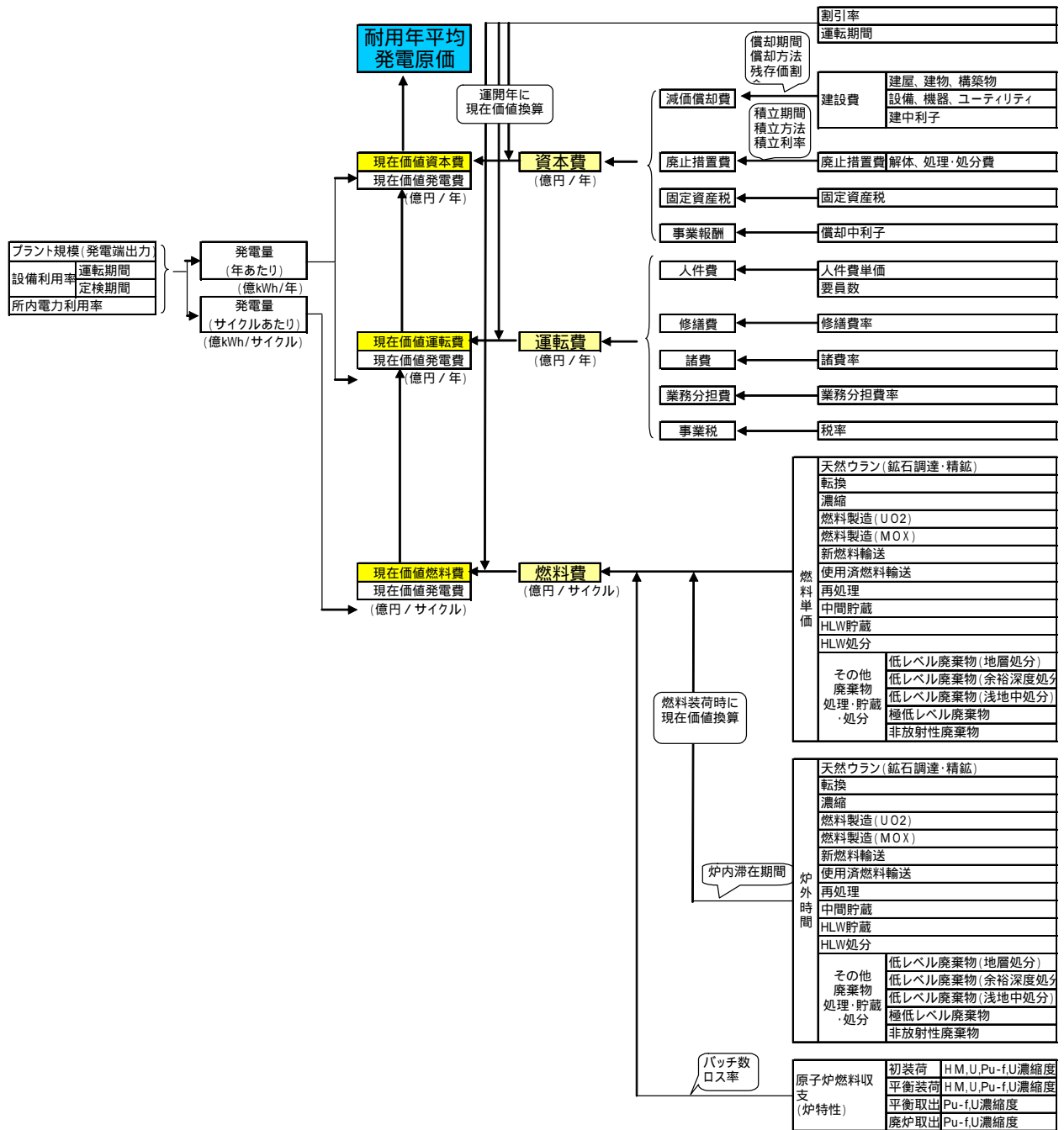


図 3.1.19 発電原価算出フロー

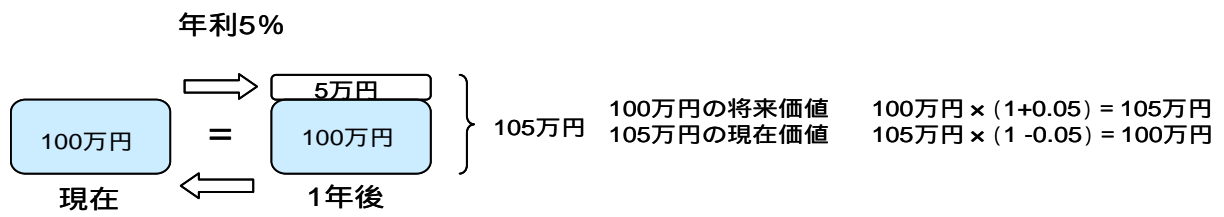


図 3.1.20 現在価値換算の概念

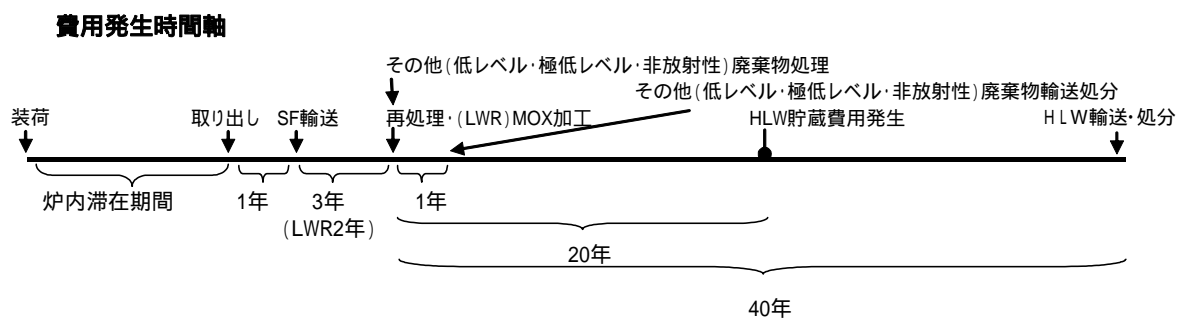


図 3.1.21 リード・ラグタイム

表 3.1.4 FBR サイクル発電原価評価設定値

項目			備考	
電気出力(発電端)	設計による			
設備利用率	運転期間	設計による		
	定検期間	設計による		
所内電力利用率	設計による			
割引率	2%		電力9社有価証券報告書より試算	
資本費	建設単価(万円/kWe)	設計による		
	運転期間	60	設計耐用年	
	減価償却	償却期間	16	軽水炉と同様
		償却方法	定率法	電気料金算定の慣例より ¹⁹⁾
		残存価額率	10%	法定値
	廃止措置費	解体・処理処分費	設計による	
		積立利率	2%	割引率と同じ
		積立期間	60	耐用年と同じ
	固定資産税	1.40%		法定値
	事業報酬率	2%		割引率と同じ
運転費	人件費	人件費単価	1004万円/人年	東電有価証券報告書総覧 ²⁴⁾ より
		要員数(人)	設計による	大型炉140人/基・東電webサイト ²⁵⁾ より
	修繕費率(×建設費/年)	設計による		
	諸費率(×建設費/年)	1.30%		東電有価証券報告書総覧より
	業務分担費率	12.50%		H11年原子力部会発電原価試算結果 ²⁷⁾ より
	事業税率	1.30%		法定値
燃料費(単価・リードラグタイム)				
MOX燃料加工	設計より試算、0.5年			
新燃料輸送	1.8万円/kgHM、0.5年		軽水炉サイクルと同等	
使用済燃料輸送	1.8万円/kgHM、炉内滞在期間+1年		軽水炉サイクルと同等	
再処理	設計より算出、炉内滞在期間+4年		ラグタイムは技術検討小委員会資料 ¹⁶⁾ より	
高レベル廃棄物貯蔵	設計より試算、炉内滞在期間+24年		ラグタイムは技術検討小委員会資料 ¹⁶⁾ より	
高レベル廃棄物処分	設計より試算炉内滞在期間+44年		ラグタイムは技術検討小委員会資料 ¹⁶⁾ より	
その他廃棄物(低レベル・極低レベル・非放射性)処理貯蔵	設計より試算炉内滞在期間+5年		ラグタイムは技術検討小委員会資料 ¹⁶⁾ より	
その他廃棄物(低レベル・極低レベル・非放射性)処分	設計より試算炉内滞在期間+5年		ラグタイムは技術検討小委員会資料 ¹⁶⁾ より	

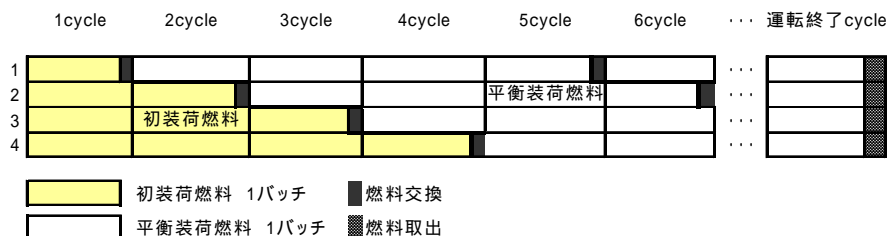


図 3.1.22 燃料交換サイクルイメージ

表 3.1.5 燃料サイクル単価試算条件

項目	設定		
施設規模(年間処理量)	50tHM、200tHM		
割引率	2%		
資本費 建設費	建屋(億円)	設計より	
	設備(億円)	設計より	
	建設期間	5年(試運転1年含む)	
	建設中利子利率	2%(100%借入)	
運転期間	40年		
減価償却	償却期間	建屋	38年
		設備	11年
	償却方法	定額法	
	残存価額率	10%、償却期間経過後5%	
廃止措置費	解体・処理処分費	設計より	
	積立利率	2%	
	積立期間	40年	
固定資産税率	1.4%		
事業報酬率	2.0%		
操業費	人件費	人件費単価	エンジニア及び管理監督者:44,500円/人日、 一般作業者:29,900円/人日
		要員数	設計より
	修繕費率(×建設費/年)	設計より	
	消耗品費率(×建設費/年)	設計より	
	業務分担費率	(人件費+修繕費+消耗品費)×15%	
	事業税(外形基準)	(報酬給与額+純支払利子)×0.48%+資本金×0.2%	
		報酬給与額	人件費+業務分担費×13%
		純支払利子	建設費(利子込)×30%×1.034%
		資本金	建設費(利子込)×0.2%
	部材費(燃料製造に計上)	5万円/kgHM	

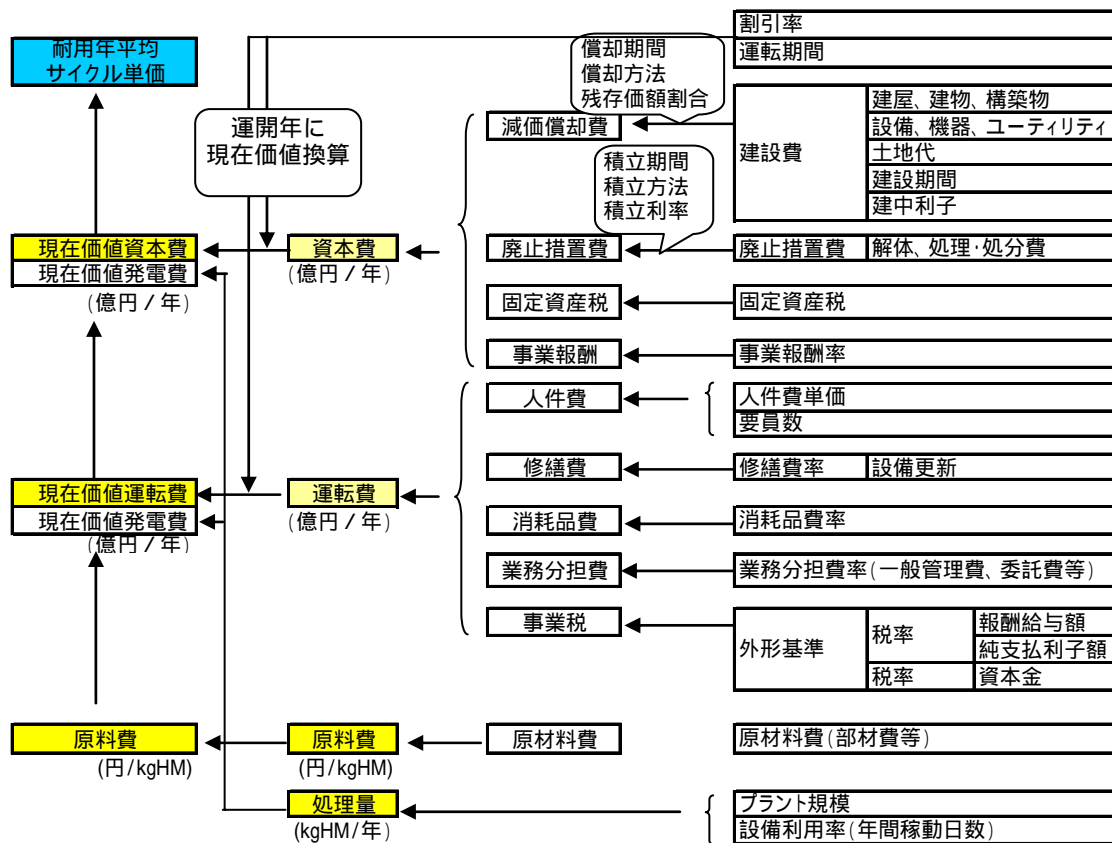


図 3.1.23 燃料サイクル単価の計算フロー

表 3.1.6 サイクル施設の廃止時の廃棄物に関する換算係数

廃棄物処分区分		発生量	廃棄体への換算(t/m ³)	参考文献
低レベル放射性廃棄物	地層処分	t	1.229	20)
	余裕深度処分	t	1.206	20)
	浅地中処分	金属	t	2.800
コンクリート		t	1.096	20)
極低レベル放射性廃棄物	金属	t	0.8635	67)
	コンクリート	t	1.298	67)
クリアランス以下の(放射性)廃棄物	金属	t	0.8635	67)
	コンクリート	t	1.298	67)

表 3.1.7 各費用の評価基準年

FBR システム		燃料サイクルシステム		バックエンドコスト単価	
建設費	1992 年	建設費など	2005 年 ²	各種廃棄物 輸送・貯蔵・ 処分単価	2005 年 ²
人件費	1999～2003 年の平均				
修繕費	1999 年				
廃止措置費(単価)	1984 年				

表 3.1.8 補正対象データと建設工事費デフレーター(電力)

補正対象データ	補正対象データの評価年	各評価年を基準とした 2005 年 4 月建設工事費デフレーター(電力)
炉 建設費	1992 年	99.5
炉 人件費	1999～2003 年の平均	102
炉 修繕費	1999 年	103
炉 廃止措置費(単価)	1984 年	112.3(1985 年デフレーター) ³

² 燃料サイクル施設の建設費、修繕費、消耗品費(設計データ)は評価した年(2005 年)を評価基準年とし、他のデータはコスト等検討小委員会を基に設定したデータである。コスト等検討小委員会における評価年を 2005 年 4 月と仮定し、評価基準年として準じる。

³ 国土交通省発表の建設工事費デフレーター(電力)は 1985 年以降発表されており、1984 年のデータは未発表である。個別名目のデフレーターをまとめた総合デフレーターを見ると、1984 年 = 115.1、1985 年 = 115.6 と、その差が小さいことから 1985 年の値を代用して用いた。

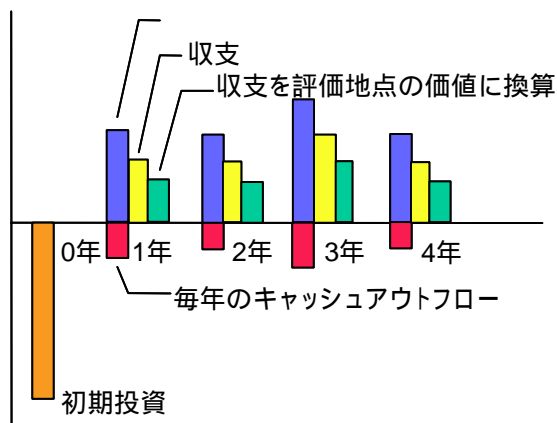


図 3.1.24 キャッシュフロー

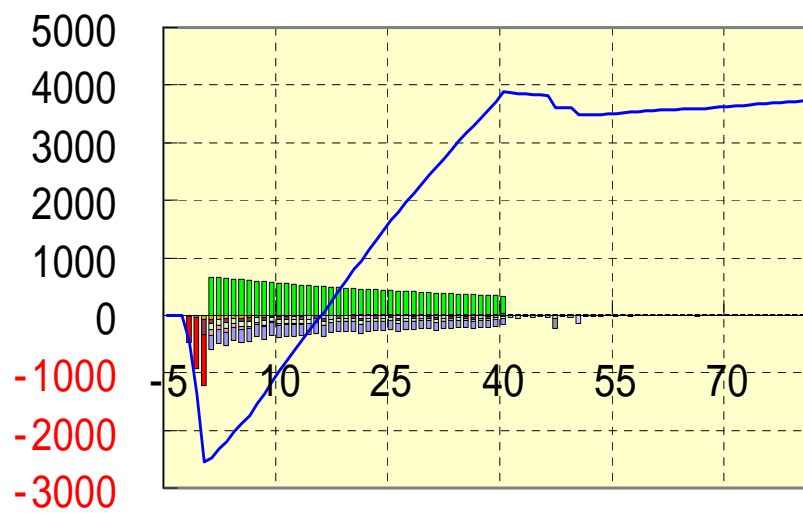


図 3.1.25 キャッシュフローと投資リスク指標

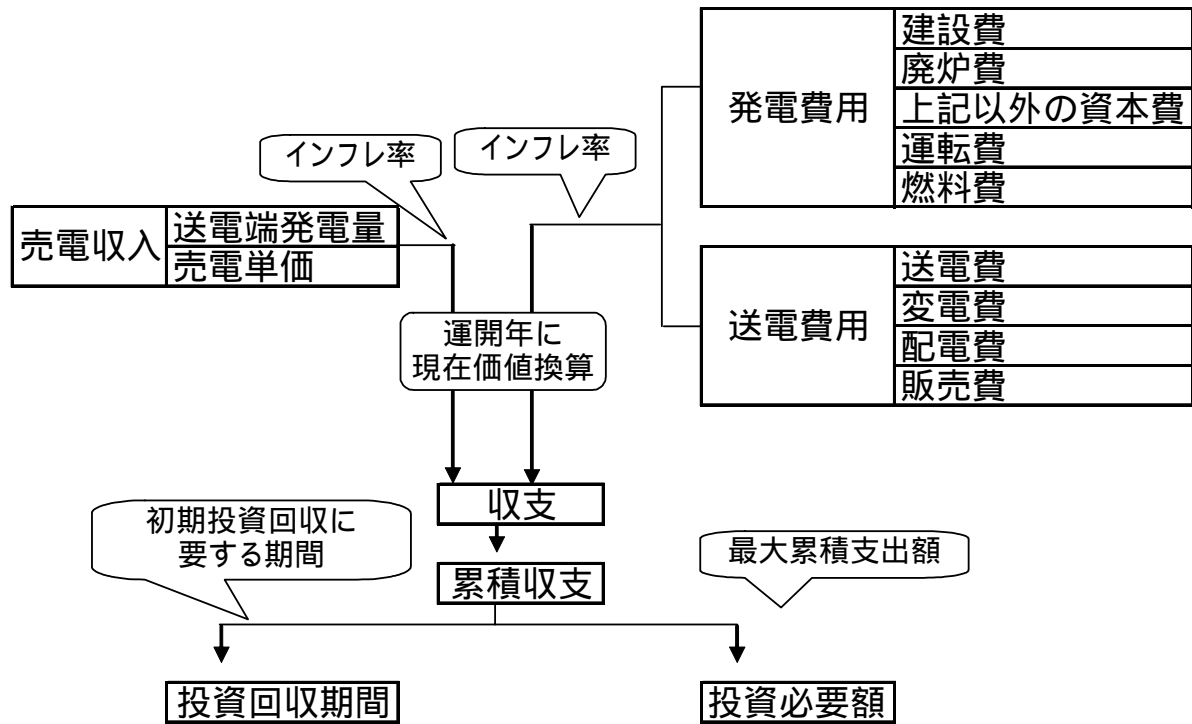


図 3.1.26 投資リスク評価フロー

表 3.1.9 投資リスク評価条件

項目		備考		
電気出力(発電端)		設計による		
設備利用率	運転期間	設計による		
	定検期間	設計による		
所内電力利用率		設計による		
割引率	2%	電力9社有価証券報告書より試算		
運転期間	60年	設計耐用年		
建設費	プロジェクト費(年次)(億円)	設計による	原子炉プラント運開までの年次プロジェクト費、 運転開始前の費用として計上する。	
	プロジェクト期間(年)	設計による	原子炉建設起案から運開までにかかる期間	
	評価年補正デフレーター	99.5	建設工事費デフレーター 1992年 2005年	
廃止措置費	解体・処理処分費	設計による		
	廃炉年	67年	割引率と同じ	
	評価年補正デフレーター	112.3	建設工事費デフレーター 1984年 2005年	
固定資産税		1.40%	法定値	
	減価償却費 償却期間	16	軽水炉と同様	
		償却方法	定率法	電気料金算定の慣例より ¹⁹⁾
	残存価額率	10%	法定値	
金利	借入金利	2%	割引率と同様	
	預入金利	1.3%	10年新発国債利回りより	
費用	運転費 人件費	人件費単価	1004万円/人年	東電有価証券報告書総覧 ²⁴⁾ より
		要員数(人)	設計による	大型炉140人/基・東電webサイト ²⁵⁾ より
		評価年補正 デフレーター	102	建設工事費デフレーター 1999～2003年平均 2005年
	修繕費率(×建設費/年)	設計による		
		評価年補正 デフレーター	103	建設工事費デフレーター 1999年 2005年
	諸費率(×建設費/年)	1.30%	東電有価証券報告書総覧 ²⁴⁾ より	
	業務分担費率	12.50%	H11年原子力部会発電原価試算結果 ²⁷⁾ より	
	事業税率	1.30%	法定値。収入に対する税率。	
燃料費	(単価・リードラグタイム)			
	MOX燃料加工	設計より試算、0.5年		
	新燃料輸送	1.8万円/kgHM、0.5年	軽水炉サイクルと同等	
	使用済燃料輸送	1.8万円/kgHM、炉内滞在期間+1年	軽水炉サイクルと同等	
	再処理	設計より試算、炉内滞在期間+4年	ラグタイムは技術検討小委員会報告書 ¹⁶⁾ より	
	高レベル廃棄物貯蔵	設計より試算、炉内滞在期間+24年	ラグタイムは技術検討小委員会報告書 ¹⁶⁾ より	
	高レベル廃棄物処分	設計より試算炉内滞在期間+44年	ラグタイムは技術検討小委員会報告書 ¹⁶⁾ より	
	その他廃棄物(低レベル・極低レベル・非放射性)処理貯蔵	設計より試算炉内滞在期間+5年	ラグタイムは技術検討小委員会報告書 ¹⁶⁾ より	
その他廃棄物(低レベル・極低レベル・非放射性)処分	設計より試算炉内滞在期間+5年	ラグタイムは技術検討小委員会報告書 ¹⁶⁾ より		
送電費	送電単価(円/kWh)	4.0	送電、変電、配電、販売費用の総額/販売電力量、 H15年度電力9社有価証券報告書より算出	
収入	売電収入 売電単価(円/kWh)	9.7	電気事業者有価証券報告書の試算値から、 現在の原子力発電原価と将来発電原価の差額分 安くなると設定	

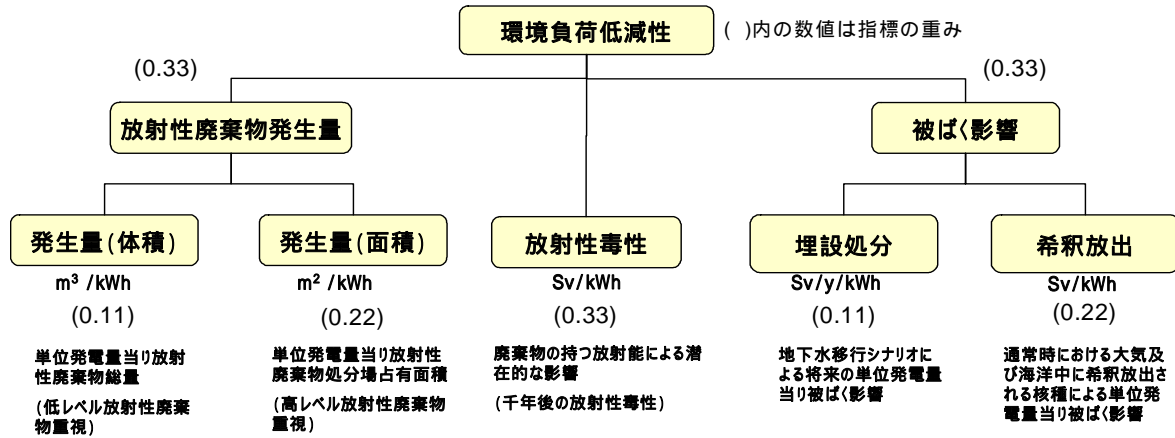


図 3.1.27 環境負荷低減性の評価構造

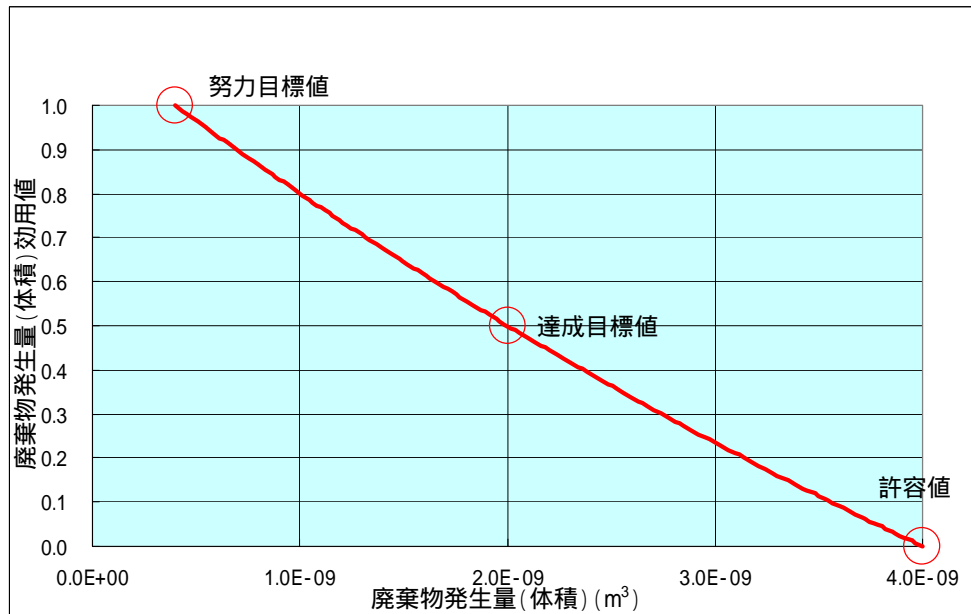


図 3.1.28 廃棄物発生量(体積)の効用関数

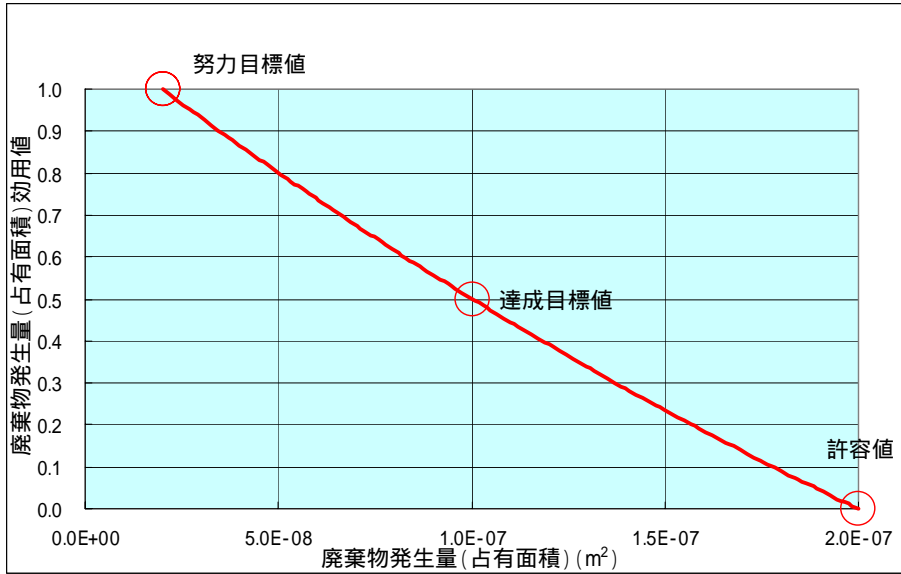


図 3.1.29 廃棄物発生量（占有面積）の効用関数

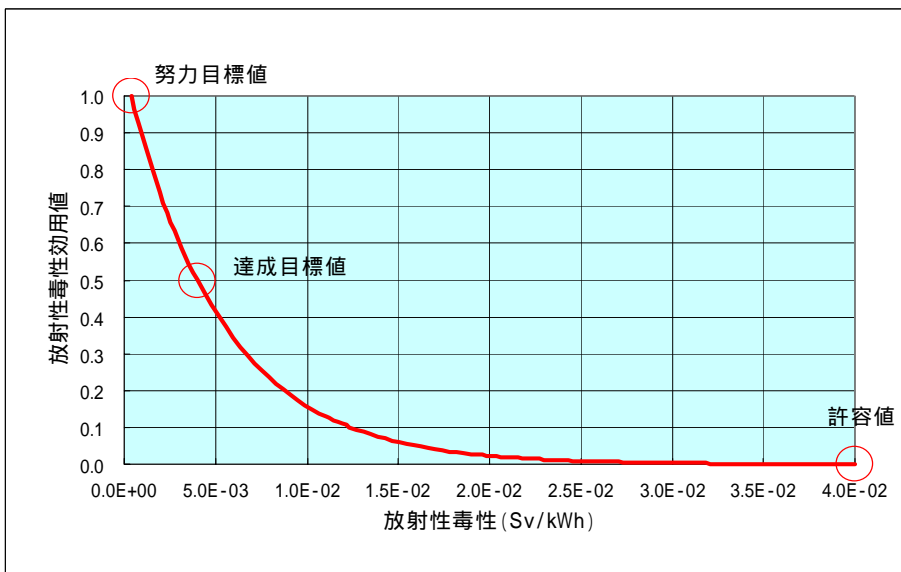


図 3.1.30 放射性毒性の効用関数

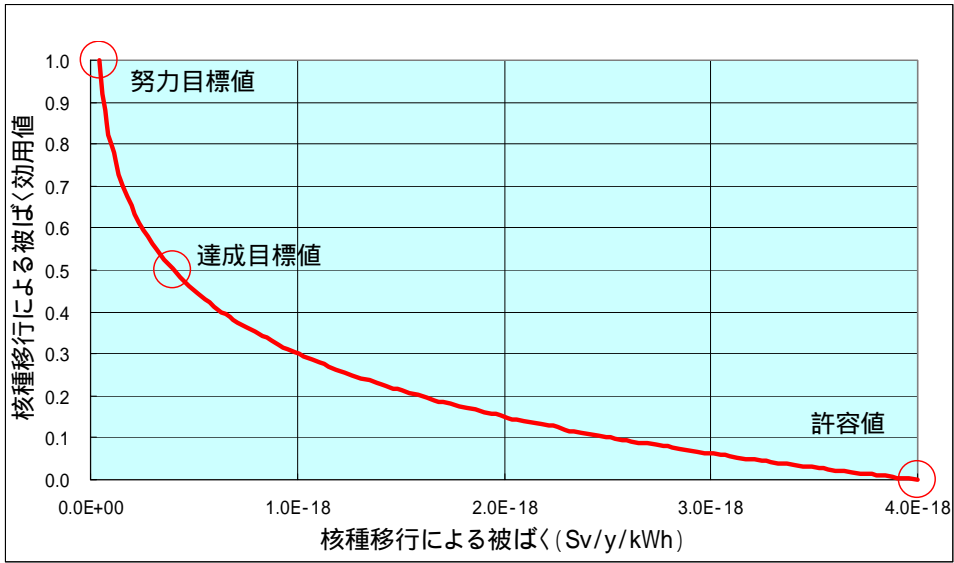


図 3.1.31 核種移行による被ばくの効用関数

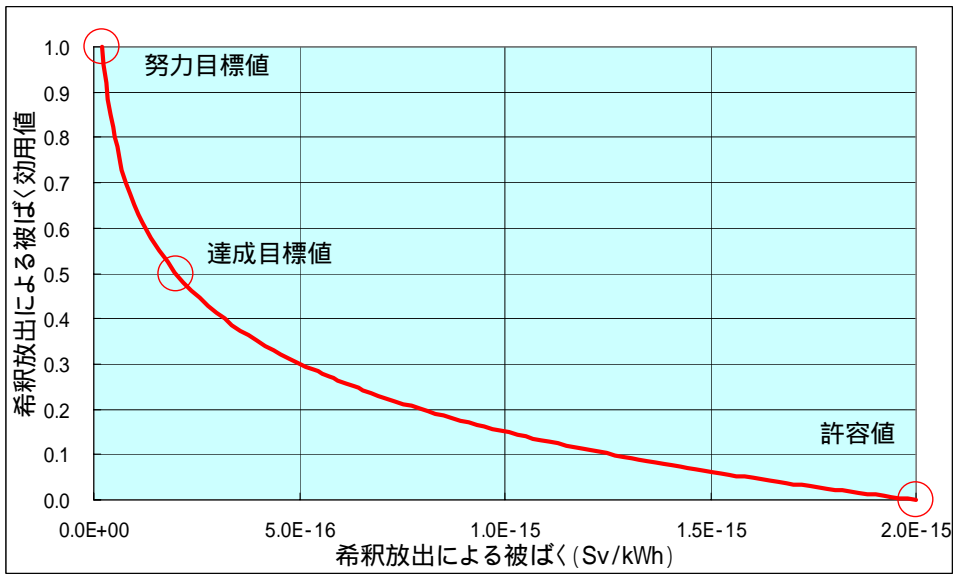


図 3.1.32 希釈放出による被ばくの効用関数

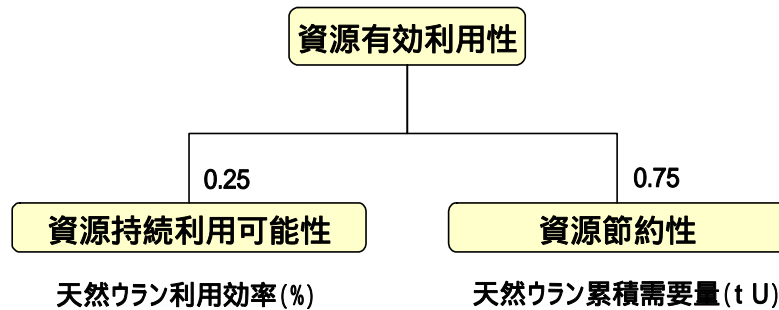


図 3.1.33 資源有効利用性の評価構造

表 3.1.10 資源有効利用性の評価基準

評価視点	1次指標		基準	基準の意味	備考
資源有効利用性	資源持続利用可能性 (天然ウラン利用効率) (0.25)	努力目標	100%	陸上の天然ウラン資源の完全活用	
		達成目標	30%	人口100億人、一人当たりのエネルギー消費を現状の2倍、利用期間を500年と設定	
		許容値	1%	FBRサイクルがない場合を想定(LWR並み)	
	資源節約性 (天然ウラン累積需要量) (0.75)	努力目標	46万トン	既知資源量の10%	天然ウラン既知資源量(約460万t)と現在のウラン消費に我が国が占める割合(約10%)から算出
		達成目標	144万トン	在来型資源量の10%	天然ウラン在来型資源量(約1440万t)と現在のウラン消費に我が国が占める割合(約10%)から算出
		許容値	288万トン	在来型資源量の20%	天然ウラン在来型資源量(約1440万t)と将来のウラン消費に我が国が占める割合を現在の倍(約20%)と想定して算出

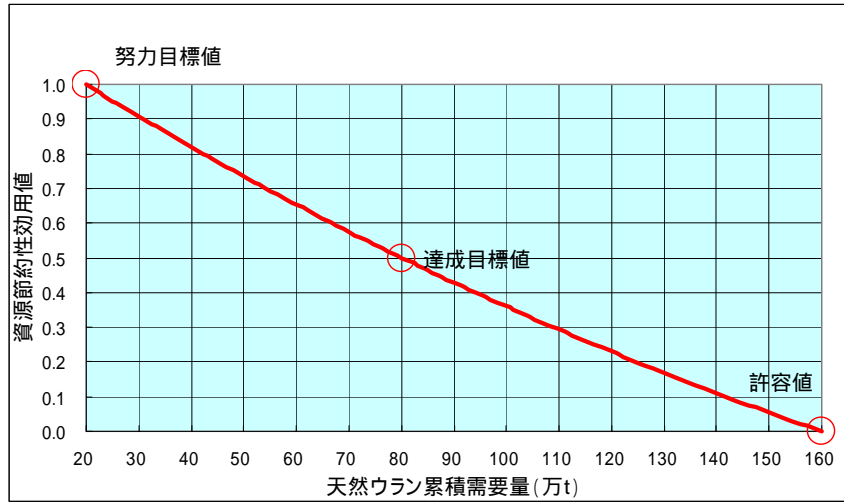


図 3.1.34 資源節約性の効用関数

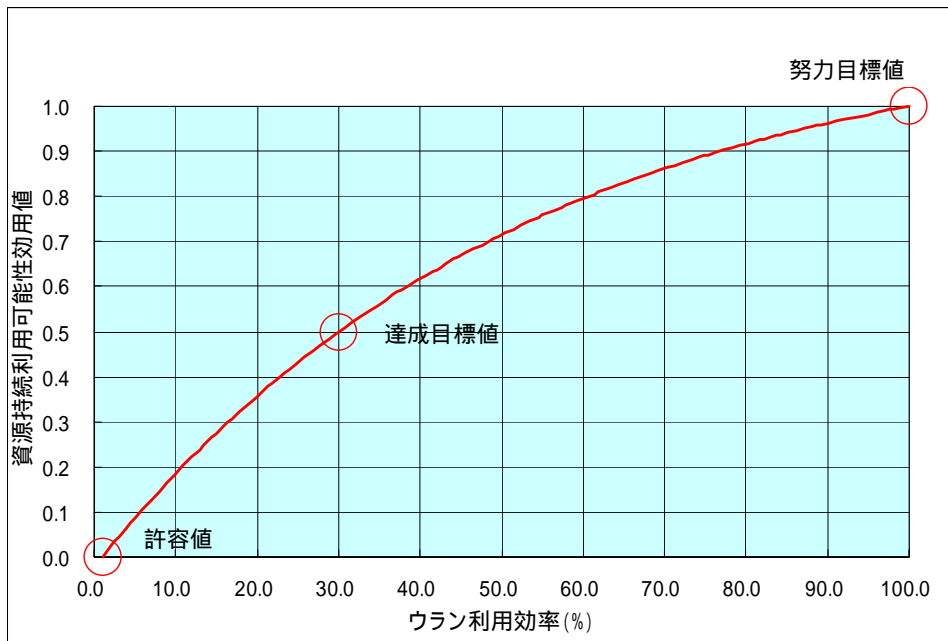


図 3.1.35 資源持続利用可能性の効用関数

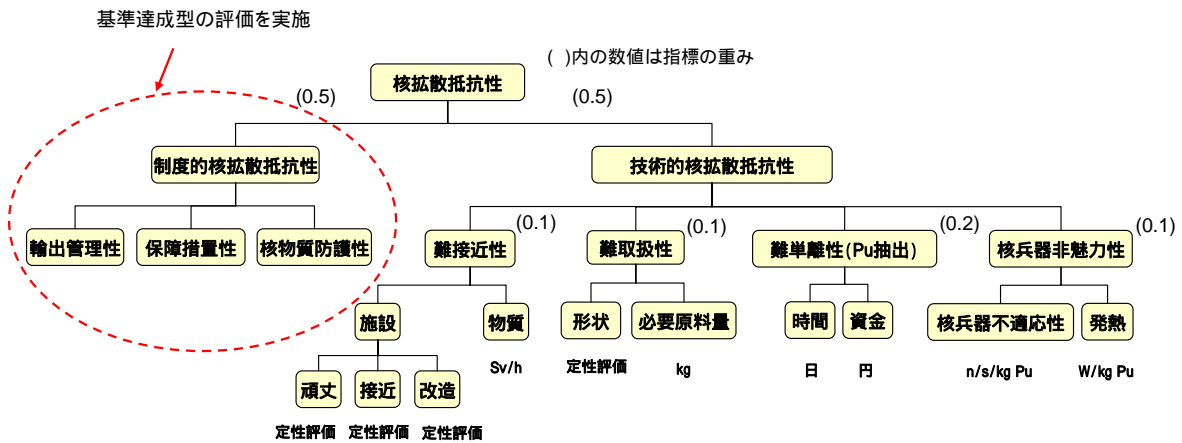


図 3.1.36 核拡散抵抗性の評価構造

表 3.1.11 核拡散抵抗性の評価基準

項目と重み		基準 (仮設定)	基準の意味
頑丈性 (0.025)	段階評価	難(1.0)、中(0.5)、易(0)	
接近性 (0.025)	段階評価	難(1.0)、中(0.5)、易(0)	
改造性 (0.025)	段階評価	難(1.0)、中(0.5)、易(0)	
物質接近性 (0.025)	努力目標	100Sv/h	基準値100倍 (ほぼ近接作業不可能)
	達成目標	1Sv/h	核物質防護の基準値
	許容値	0Sv/h	接近への困難なし
形状 (0.05)	段階評価	気体、高揮発性液体、高飛散性粉体(1.0)、 中揮発性液体(0.6)、 中飛散性粉体(0.4)、 固体、低揮発性液体、低飛散性粉体(0)	持ち運び困難かどうかを評価
必要原料量 (Puの場合) (0.05)	努力目標	1t	一連の大規模なオペレーション必要
	達成目標	100kg	チームでかつ車両等必要
	許容値	10kg	個人運搬可能
Pu抽出時間 (0.1)	努力目標	1年	U化合物並に必要
	達成目標	1ヶ月	Pu化合物並に必要
	許容値	1週間	週のオーダー
Pu抽出資金 (0.1)	努力目標	1000億円	国が必要
	達成目標	10億円	組織による施設建設が必要
	許容値	1000万円	個人や小グループで可能
核兵器不適応性 (0.07)	努力目標	250万/s/kgPu	Pu238に近いレベル
	達成目標	36万/s/kgPu	原子炉級Puと同レベル
	許容値	6万/s/kgPu	核兵器級Puと同レベル
発熱量 (0.03)	努力目標	500W/kg HM	Pu238に近いレベル
	達成目標	10W/kg HM	原子炉級Puと同レベル
	許容値	1W/kg HM	核兵器級Puと同レベル

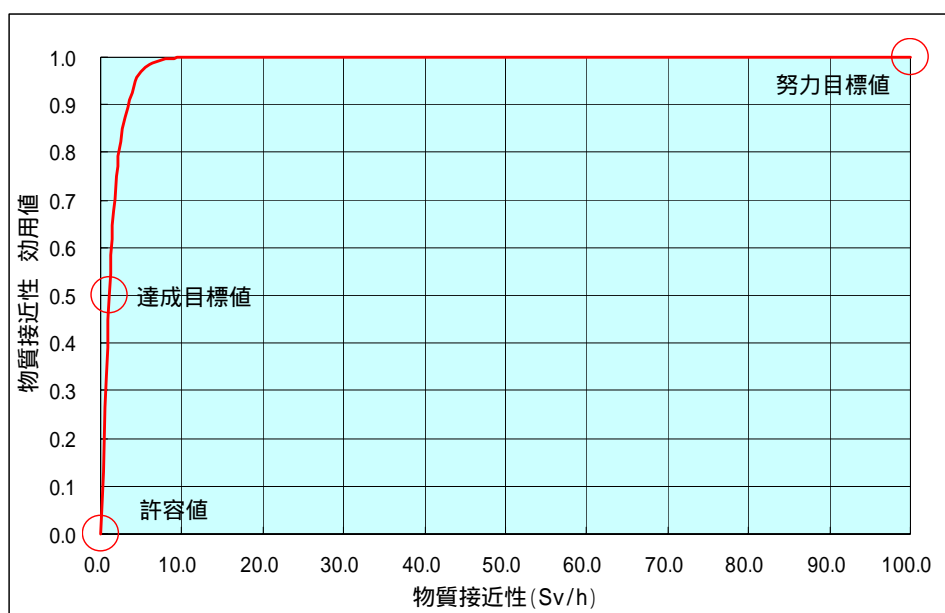


図 3.1.37 物質接近性の効用関数

表 3.1.12 核物質形状の効用値

核物質の形状	概要	設定した効用値
気体、高揮発性気体、高飛散性粉体	気体、あるいはそれに準ずる取り扱いが必要であり、タンク等の気密容器が必要。	1.0
中揮発性液体	運搬に時間を要すると揮発することを想定し、気密に留意する必要がある。	0.6
中飛散性粉体	飛散することを想定し、容器に蓋をする等の配慮が必要である。	0.4
固体、低揮発性液体、低飛散性粉体	外部に散逸しないので、運搬が容易である。	0

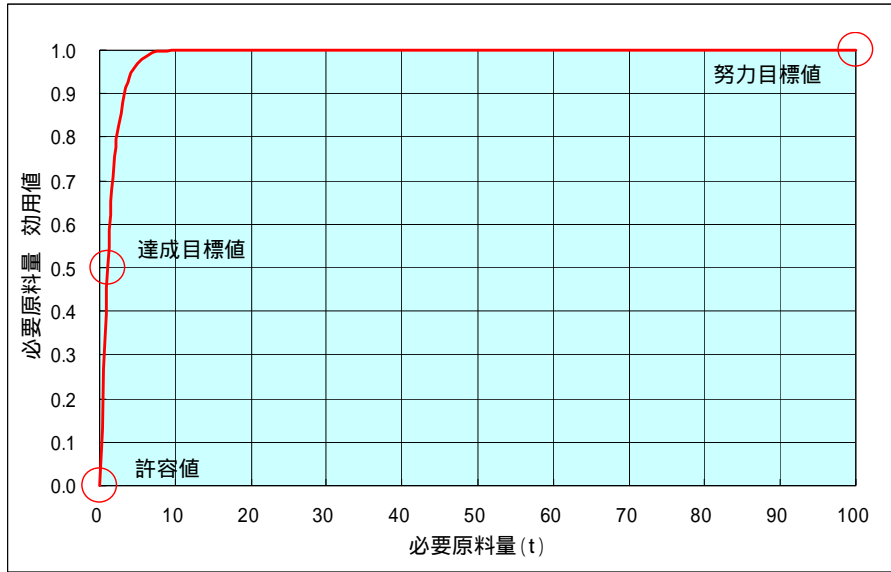


図 3.1.38 必要原料量の効用関数

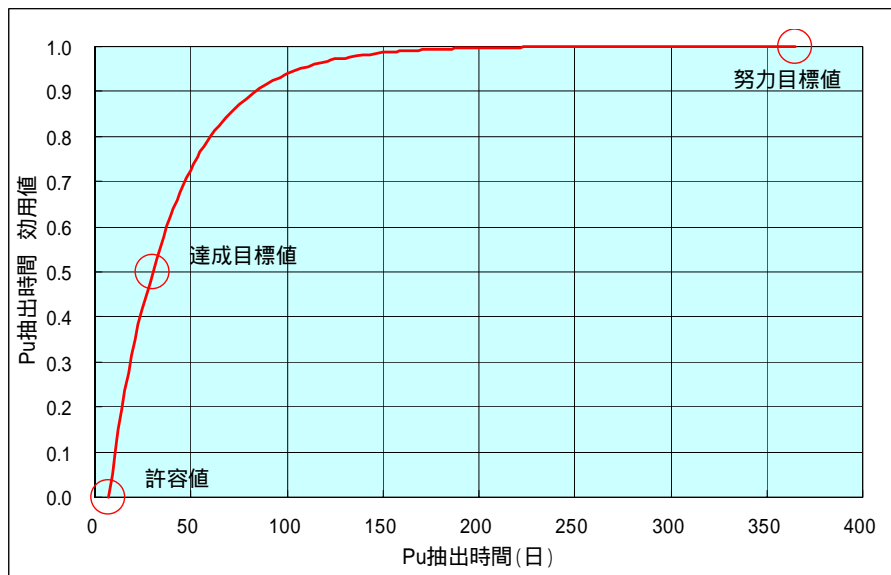


図 3.1.39 プルトニウム抽出時間の効用関数

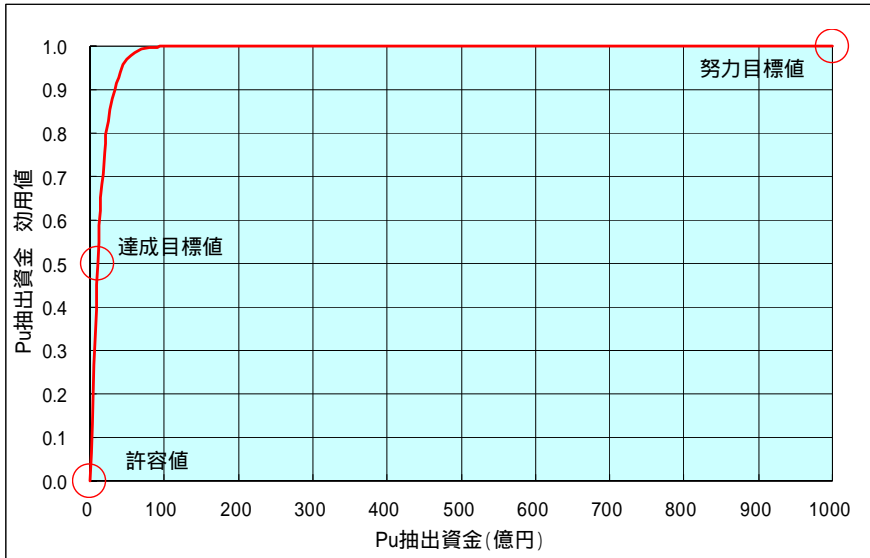


図 3.1.40 プルトニウム抽出資金の効用関数

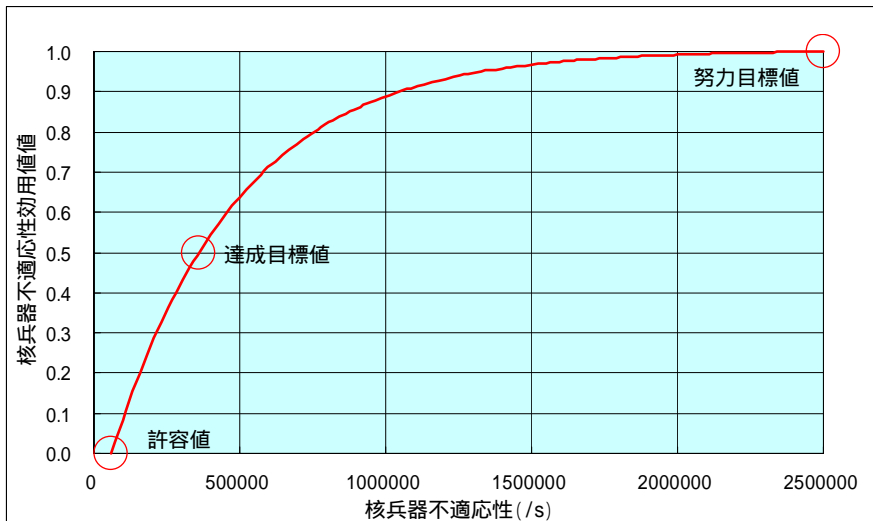


図 3.1.41 核兵器不適応性の効用関数

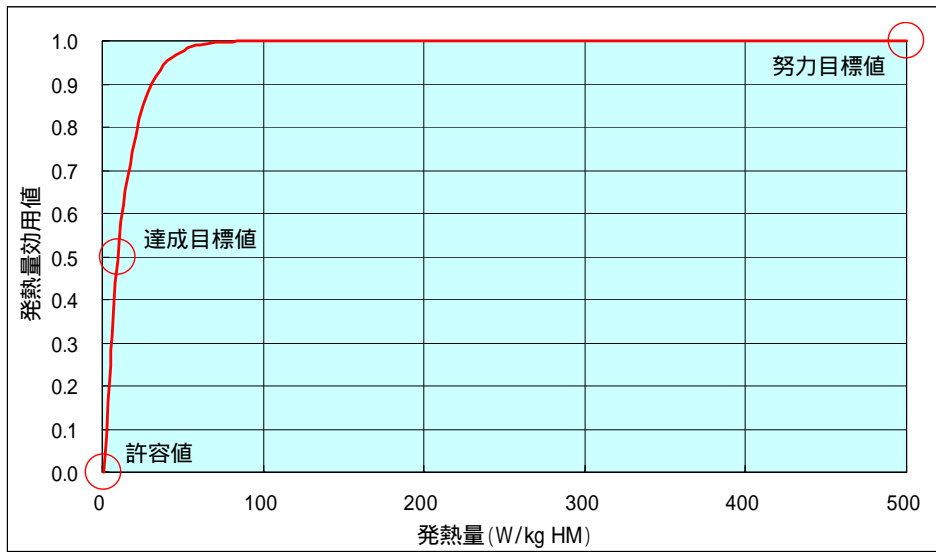


図 3.1.42 発熱量の効用関数

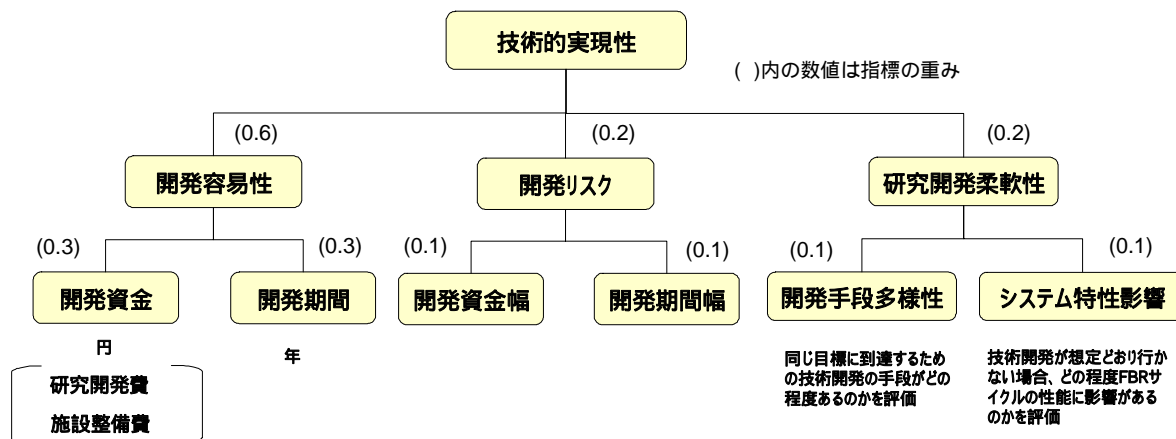


図 3.1.43 技術的実現性の評価構造

表 3.1.13 技術的実現性の評価指標

項目と重み		基準	基準の意味
開発資金 (0.3)	努力目標	3000億円	300億円×10年(新規大規模施設不要、改良程度)
	達成目標	1兆2500億円	500億円×25年(サイクルのパイロットプラントが必要な程度)
	許容値	4兆5000億円	1000億円×45年(実験炉、原型炉、実証炉等全て必要、JNC現状予算全額)
開発期間 (0.3)	努力目標	10年	実用化戦略調査研究終了時に実用化可能
	達成目標	25年	2030年代のLWRリブレース時期までに間に合う(1世代以内)
	許容値	45年	長期将来ビジョンなどの想定範囲である2050年に実用化可能
開発資金幅 (0.1)	努力目標	1000億円	50億円×25年 = 1250億円 1000億円
	達成目標	5000億円	200億円×25年 = 5000億円
	許容値	1兆2500億円	500億円×25年 = 1兆2500億円
開発期間幅 (0.1)	努力目標	5年	(トラブル程度で遅延する期間)
	達成目標	10年	実用炉の改良程度の期間(重大なトラブル等で遅延する期間)
	許容値	25年	1世代程度の期間(開発期間倍増のリスク)
開発手段多様性 (0.1)	段階評価	4以上(1.0)、2~3(0.5)、1(0)	同じ目標に到達するための技術開発の手段がどの程度あるのかを評価 1は代替手段なしを示す
システム特性影響 (0.1)	段階評価	影響は少ない(1.0)、システム性能の若干低下(0.7) システムの見直し(0.3)、システム不成立(0)	技術開発が想定どおり行かない場合、どの程度FBRサイクルに影響があるのかを評価

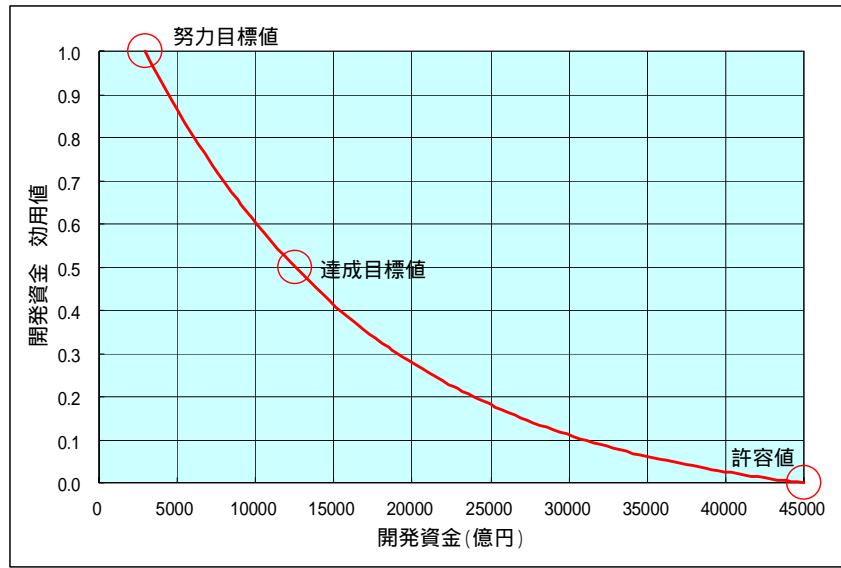


図 3.1.44 開発資金の効用関数

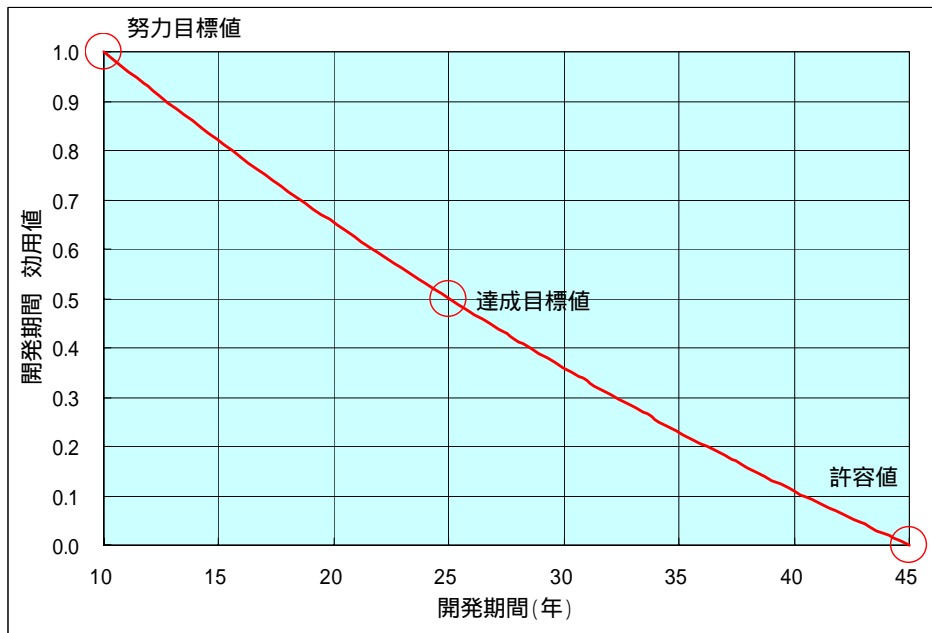


図 3.1.45 開発期間の効用関数

表 3.1.14 開発資金幅の評価基準（中間評価時）

開発資金幅効用値		開発資金幅（相対値）		
		～ 20%	20% ～ 50%	50% ～
開発資金	～ 2000 億円	1.0	0.75	0.5
	2000 億円 ～ 5000 億円	0.75	0.5	0.25
	5000 億円 ～	0.5	0.25	0

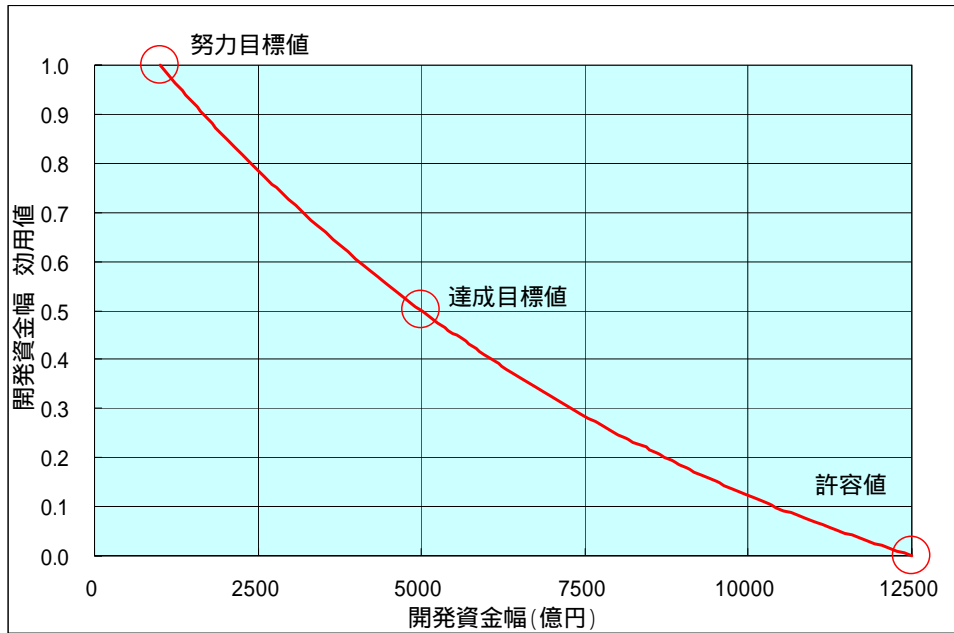


図 3.1.46 開発資金幅の効用関数

表 3.1.15 開発期間幅の評価基準（中間評価時）

開発期間幅効用値		開発期間幅（相対値）		
		～ 20%	20% ～ 50%	50% ～
開発期間	～ 20 年	1.0	0.75	0.5
	20 年 ～ 50 年	0.75	0.5	0.25
	50 年 ～	0.5	0.25	0

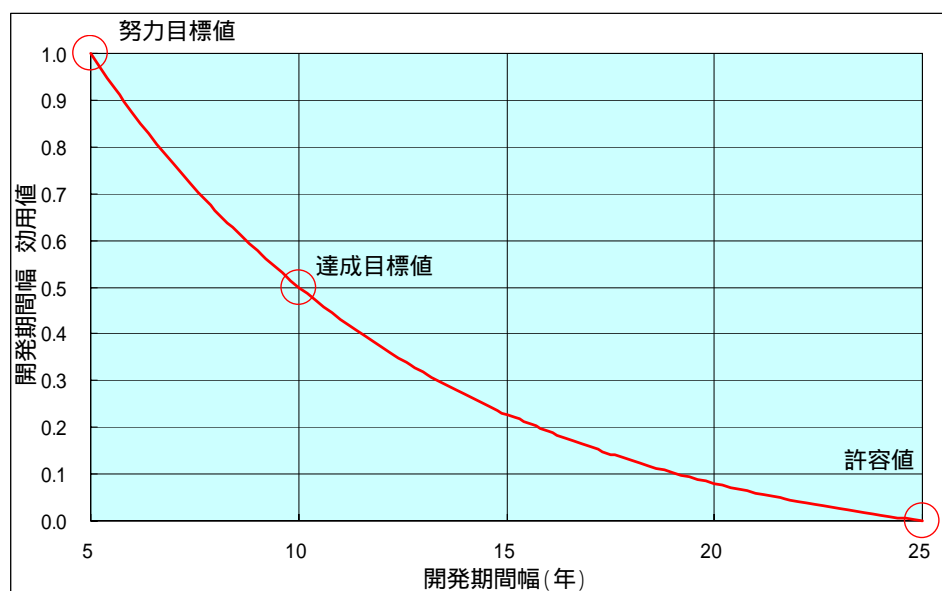


図 3.1.47 開発期間幅の効用関数

表 3.1.16 開発手段多様性の評価基準

	効用値	備考
代替の研究開発手段がある	1	既存施設及び新規施設を活用して、研究開発の手段（経路）に4種以上の手段が存在する。
代替の研究開発手段がない	0	1種しか開発手段がない。 現時点で想定している開発手段以外に代替する手段がない。

表 3.1.17 システム特性影響

	効用値	備考
影響は少ない	1.0	開発成否の予想が困難な新規技術が開発できなくても、代替技術を開発するか、既存技術を適用することによって、FBR サイクルとして期待している性能を確保できるので、影響は少ない。
システム性能の若干低下	0.7	開発成否の予想が困難な新規技術が開発できなかった場合、代替技術の開発や既存技術の適用が可能であるが、FBR サイクルシステムの性能が若干低下する。
システムの見直し	0.3	開発成否の予想が困難な新規技術が開発できなかった場合、代替技術の開発や既存技術の適用が可能であるが、FBR サイクルシステムの性能が大幅に低下し、FBR サイクルシステム概念を見直す必要がある。
システムの不成立	0	開発成否の予想が困難な新規技術が開発できなかった場合、代替技術の開発や既存技術の適用は難しく、FBR サイクルシステム概念として技術的に成立しなくなる。

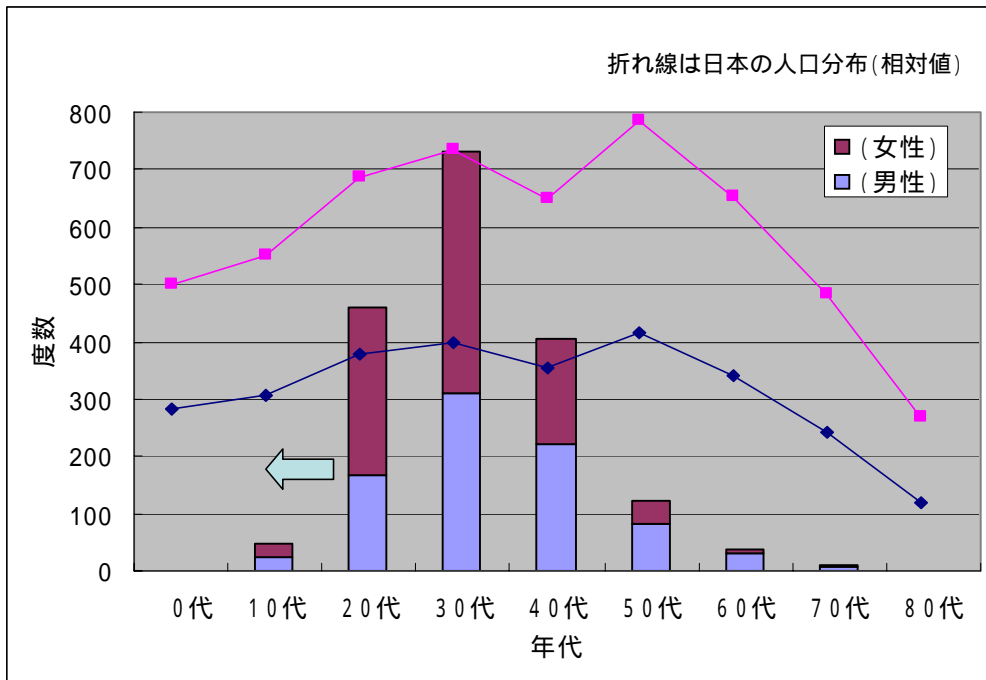


図 3.1.48 回答者の年代別・性別分布

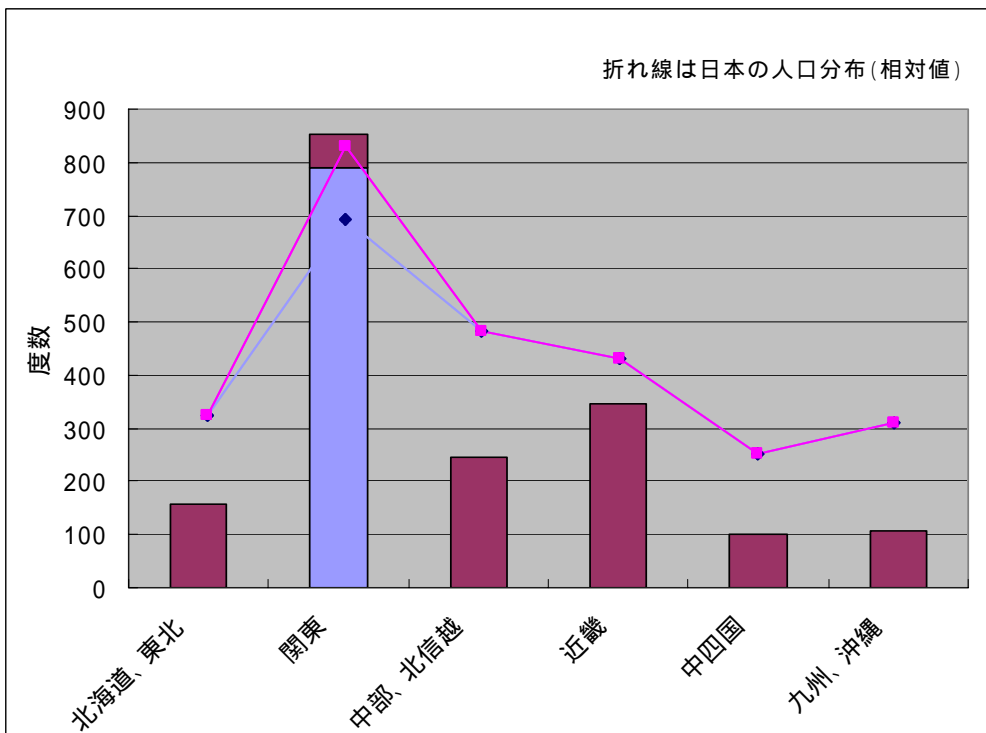


図 3.1.49 回答者の地域別分布

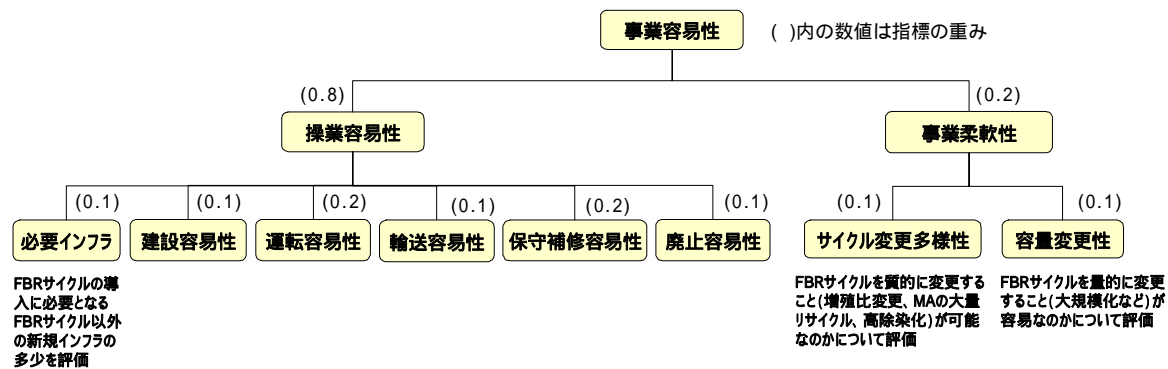


図 3.1.50 事業容易性の評価構造

表 3.1.18 事業容易性の評価基準

評価視点	1次指標	2次指標	3次指標	備考	単位	
事業容易性	操業容易性 (0.8)	必要インフラ (0.1)		候補概念を導入するためFBRサイクル以外の新規インフラがどの程度必要なのか	なし、少、中、多、極多	
		建設容易性 (0.1)	工事期間	施設の工事に要する期間	36月(1)、42月(0.5)、60月(0)	
			工事人員	施設の工事に要する人員	小、中、多	
		運転操作容易性 (0.2)			適切に運転することが容易なのか (ヒューマンエラーの防止なども考慮)	易、やや易、中、やや難、難
		輸送容易性 (0.1)			適切に輸送することが容易なのか	易、やや易、中、やや難、難
		保守補修容易性 (0.2)			メンテナンス頻度は多少、 メンテナンス期間の長さ メンテナンスの人員が多いのか メンテナンスの手段があるのか メンテナンスの範囲が広いのか 被ばく量の低減対策が容易か といった点を勘案	易、やや易、中、やや難、難
	廃止容易性 (0.1)			施設等の廃止措置が簡単なのか	易、やや易、中、やや難、難	
	事業柔軟性 (0.2)	サイクル変更多様性 (0.1)		追加R&Dなしで、サイクルの変更が技術的に容易か	設計変更のみで可能(1.0)、 経済的負担あり(0.7) 追加R&Dが必要(0.3)、難(0)	
		容量変更性 (0.1)	大型化容易性	追加R&Dなしで、大型化が容易か	易、中、難	
小型化容易性			追加R&Dなしで、小型化が容易か	易、中、難		

表 3.1.19 必要インフラの評価基準

	効用値	
なし	1	新規インフラをまったく必要としない。
少	0.75	導入時期など一時的に小規模な新規インフラが必要。
中	0.5	一時的に FBR サイクル施設並みの新規インフラが必要。 あるいは、小規模の新規インフラが恒常的に必要。
多	0.25	FBR サイクル施設と同規模の新規インフラが必要。
極多	0	FBR サイクル施設よりも大きな規模の新規インフラが必要。

インフラには、資機材の生産・供給施設

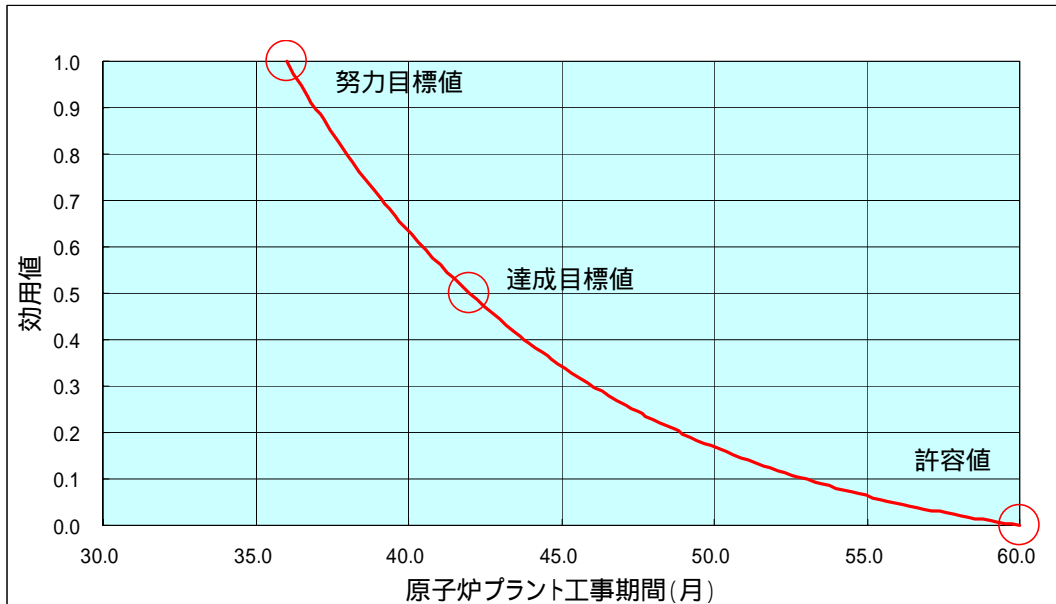


図 3.1.51 工事期間の効用関数（原子炉プラント）

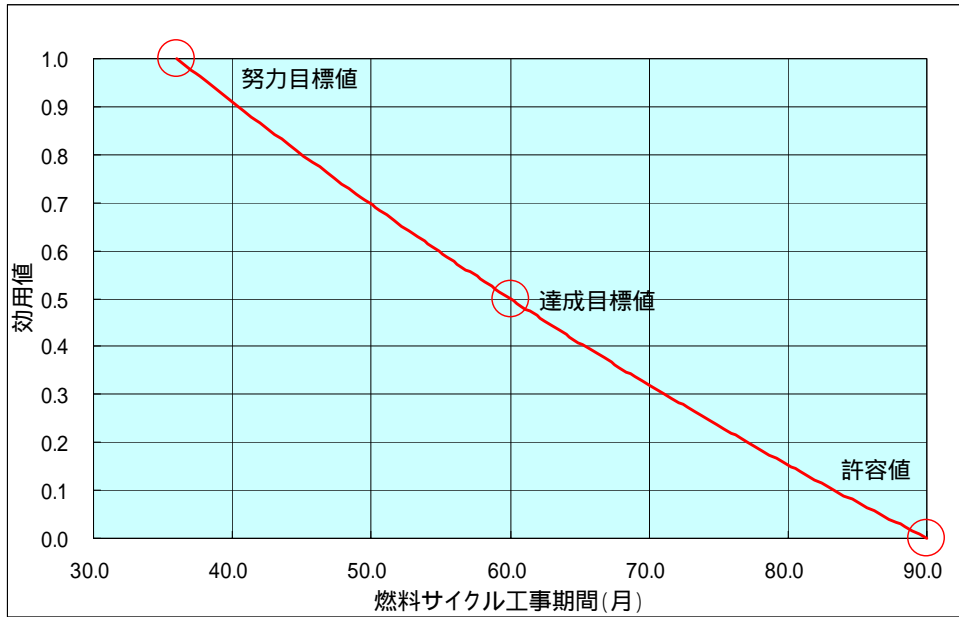


図 3.1.52 工事期間の効用関数（燃料サイクルシステム）

表 3.1.20 工事人員の評価基準

	効用値	
少	1	工事にあたっては、現状の軽水炉サイクル施設よりも少ない人員で可能であると考えられる。
中	0.5	工事にあたっては、現状の軽水炉サイクル施設と同程度の人員が必要。
多	0	工事にあたって、現状の軽水炉サイクル施設よりも多くの人員が必要と考えられる。

表 3.1.21 運転操作容易性の評価基準

	効用値	
易	1	現状施設と比べて、運転操作が容易である。自動化、簡略化等の手段により、施設全体の運転操作は容易となり、ヒューマンエラーも起こりにくくなるように施設全体が設計されていることが大きな特徴である。
やや易	0.75	現状施設と比べて、いくつかの面で運転操作や運転管理が容易となり、ヒューマンエラーも起こりにくくなっている。自動化、簡略化等の手段が検討され、施設設計に反映されている。
中	0.5	現状施設と比べて、運転操作や運転管理の難易度は同程度であり、ヒューマンエラー防止策も同程度備えている。
やや難	0.25	現状施設と比べて、いくつかの面で運転操作や運転管理、ヒューマンエラー防止が難しくなる。運転操作やヒューマンエラー防止等に関する開発課題がある。
難	0	現状施設と比べて、運転操作や運転管理、ヒューマンエラー防止が難しい。運転操作やヒューマンエラー防止等に関する多数の開発課題がある、または困難な開発課題がある。

表 3.1.22 輸送容易性に関する評価基準

	効用値	
易	1	現状施設と比べて、燃料等の施設間輸送が容易となるように設計されていることが大きな特徴である。(極端な場合として施設間の輸送が不要となる。)
やや易	0.75	現状施設と比べて、いくつかの面で燃料等の施設間輸送の実施が容易となる。輸送を容易とする手段が検討され、施設設計に反映されている。
中	0.5	現状施設と比べて、燃料等の施設間輸送実施の難易度は同程度である。従来どおりの対策を行えばよい。(開発課題には入らない輸送容器の設計変更等で対応できる。)
やや難	0.25	現状施設と比べて、いくつかの面で燃料等の施設間輸送の実施が難しくなる。輸送に関する開発課題がある。
難	0	現状施設と比べて、燃料等の施設間輸送の実施が難しい。輸送に関する多数の開発課題がある、または困難な開発課題がある。

表 3.1.23 保守補修容易性に関する評価基準

	効用値	
易	1	現状施設と比べて、保守補修が容易である。例えば、保守補修フリーであったり、あるいは保守補修が自動化されていたりと、保守補修が容易となるように施設全体が設計されていることが大きな特徴である。
やや易	0.75	現状施設と比べて、いくつかの面で保守補修が容易となる。保守補修を容易とする手段が検討され、施設設計に反映されている。
中	0.5	現状施設と比べて、保守補修の難易度は同程度である。(開発課題には入らない従来手法の小さな変更等で保守補修が可能。)
やや難	0.25	現状施設と比べて、いくつかの面で保守補修が難しくなる。保守補修に関する開発課題がある。
難	0	現状施設と比べて、保守補修は難しい。保守補修に関して多くの面で難しい。保守補修に関する多数の開発課題がある、または困難な開発課題がある。

表 3.1.24 廃止容易性に関する評価基準

	効用値	
易	1	現状施設と比べて、施設の廃止措置が容易である。廃止措置が容易となるように施設全体が設計されていることが大きな特徴である。
やや易	0.75	現状施設と比べて、いくつかの面で施設の廃止措置が容易となる。廃止措置を容易とする手段が検討され、施設設計に反映されている。
中	0.5	現状施設と比べて、施設の廃止措置の難易度は同程度である。(廃止にあたって、従来手法を適用すれば施設の廃止措置が可能)
やや難	0.25	現状施設と比べて、いくつかの面で施設の廃止措置が困難と考えられる。廃止措置に関する開発課題がある。
難	0	現状施設と比べて、施設の廃止は困難と考えられる。廃止措置に関する多数の開発課題がある、または困難な開発課題がある。

表 3.1.25 増殖比変更の評価基準

	効用値	
設計変更のみで可能	1	設計変更のみで、増殖比を 1.0 から 1.2 までの範囲で変更可能である。
経済的負担あり	0.75	増殖比を 1.0 から 1.2 までの範囲で変更可能であるが、建設費の高騰など経済的な負担がある。
追加 R&D が必要	0.25	増殖比を 1.0 から 1.2 までの範囲で変更可能であるが、追加の研究開発が必要となる。
難	0	技術的に増殖比を 1.0 から 1.2 までの範囲で変更できない、または困難な開発課題がある。

表 3.1.26 MA 燃焼の評価基準

	効用値	
設計変更のみで可能	1	設計変更のみで、軽水炉サイクルシステムからの MA (標準的な組成を 5%装荷) を燃焼可能である。
経済的負担あり	0.75	軽水炉サイクルシステムからの MA (標準的な組成を 5%装荷) を燃焼可能であるが、建設費の高騰など経済的な負担がある。
追加 R&D が必要	0.25	軽水炉サイクルシステムからの MA (標準的な組成を 5%装荷) を燃焼可能であるが、追加の研究開発が必要となる。
難	0	技術的に軽水炉サイクルシステムからの MA (標準的な組成を 5%装荷) を燃焼できない、または困難な開発課題がある。

表 3.1.27 LLFP 分離・核変換

	効用値	
設計変更により全ての対象 LLFP で可能	1	設計変更のみで、全ての対象 LLFP の分離・核変換が可能である。
経済的負担はあるが、全ての対象 LLFP で可能	0.75	建設費の高騰など経済的な負担はあるが、全ての対象 LLFP の分離・核変換が可能である（設計変更のみで分離・核変換可能な対象 LLFP がある場合を含む）。
追加 R&D が必要だが、全ての対象 LLFP で可能	0.5	追加の研究開発が必要となるが、全ての対象 LLFP の分離・核変換が可能（経済的負担や設計変更のみで分離・核変換可能な一部の対象 LLFP がある場合を含む）。
一部の対象 LLFP で難	0.25	一部の対象 LLFP を技術的に分離・核変換できない（分離・核変換の実効性のない場合を含む） または困難な開発課題がある。
全ての対象 LLFP で難	0	全ての対象 LLFP を技術的に分離・核変換できない（分離・核変換の実効性のない場合を含む） または困難な開発課題がある。

表 3.1.28 大型化容易性の評価基準

	効用値	
易	1	容量の大型化には、技術的な(その FBR サイクルシステム概念固有の)制約はない。研究開発が不要で設計変更のみで容易に可能。
中	0.5	容量の大型化には、技術的な(その FBR サイクルシステム概念固有の)制約があるが、研究開発により大型化が可能である。
難	0	容量の大型化には、技術的な(その FBR サイクルシステム概念固有の)制約があり、FBR サイクルシステム概念を変更する必要がある。大型化に関する困難な課題がある。

表 3.1.29 小型容易性の評価基準

	効用値	
易	1	容量の小型化には、技術的な(その FBR サイクルシステム概念固有の)制約はない。研究開発が不要で設計変更のみで容易に可能。
中	0.5	容量の小型化には、技術的な(その FBR サイクルシステム概念固有の)制約があるが、研究開発により小型化が可能である。
難	0	容量の小型化には、技術的な(その FBR サイクルシステム概念固有の)制約があり、FBR サイクルシステム概念を変更する必要がある。小型化に関する困難な課題がある。

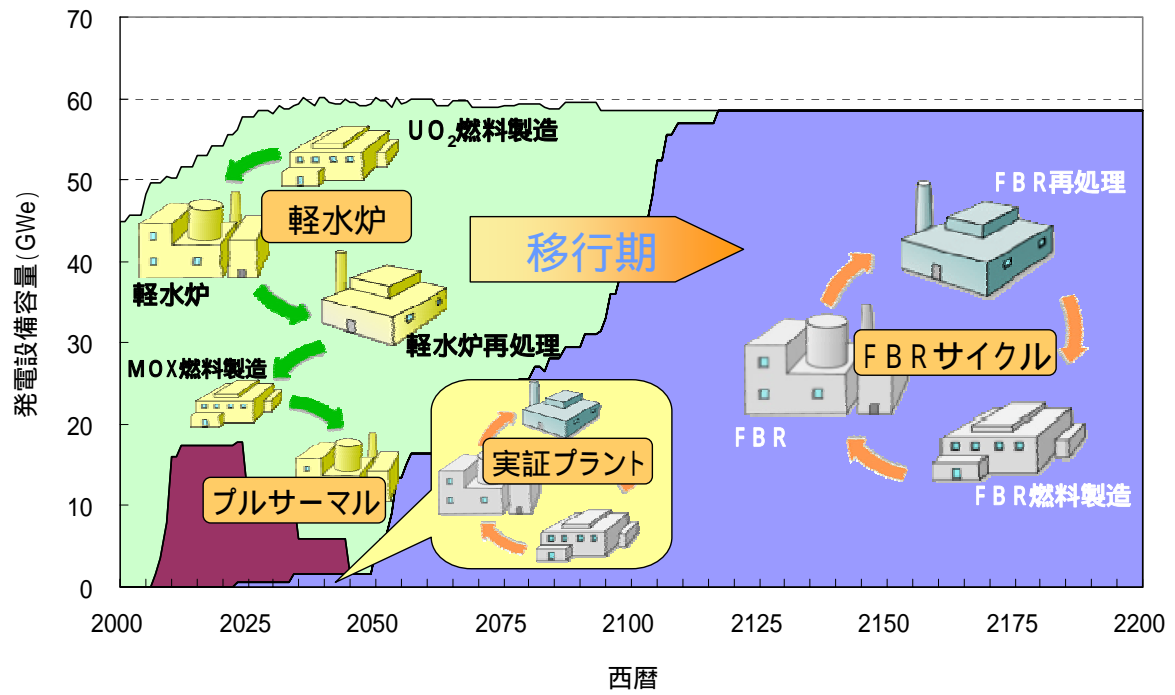


図 3.1.53 時系列の評価のイメージ

表 3.1.30 時系列評価の評価ケース

評価ケース	炉	燃料	湿 / 乾	処理規模	再処理	燃料製造	炉心
	Na大型炉 150万kWe × 2基	MOX	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源 経済
		金属	乾式	大規模 (200tHM/y)	金属電解	射出鋳造	資源 経済
	Pb - Bi中型炉 強制循環 75万kWe × 4基	窒化物	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源 経済
	He大型炉 150万kWe × 2基	窒化物 被覆粒子	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	被覆法	資源 経済
	水炉 135.6万kWe × 2基	MOX	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	

炉心概念

資源(資源重視型炉心): 倍增時間を短縮し、より効率的にプルトニウムを増殖させる炉心概念。増殖比1.1程度。
 経済(経済性重視型炉心): 径ブランケット燃料をなくして平均燃焼度を向上させ、燃料サイクル費の低減を狙った炉心概念。増殖比は1.0をわずかに上回る。

表 3.1.31 時系列評価における FBR サイクル関連施設の設定

ケース	FBR	設定 条件	FBR 使用済燃料再処理(燃料製造)	設定 条件
ケース 1	Na 冷却 (MOX) もんじゅ (28 万 kW) 実規模試験 (50 万 kW) 実用炉 (100 万 kW) 本格導入 (150 万 kW × 2)	2008 2026 2036 2050	先進湿式 (簡素化ペレット) 実用化推進施設 (100tHM/y) 本格導入 (100 または 200tHM/y)	2035 2050
ケース 2	Na 冷却 (金属) もんじゅ (28 万 kW) 実規模試験 (50 万 kW) 実用炉 (100 万 kW) 本格導入 (150 万 kW × 2)	2008 2026 2036 2050	金属電解 (射出鑄造) 実用化推進施設 (50tHM/y) 本格導入 (100 または 200tHM/y)	2035 2050
ケース 3	Pb-Bi 冷却 (窒化物) もんじゅ (28 万 kW) 実規模試験 (30 万 kW) 実用炉 (75 万 kW) 本格導入 (75 万 kW × 4)	2008 2047 2057 2070	先進湿式 (簡素化ペレット) 実用化推進施設 (50tHM/y) 本格導入 (100 または 200tHM/y)	2053 2070
ケース 4	He 冷却 (窒化物被覆粒子) もんじゅ (28 万 kW) 実規模試験 (30 万 kW) 実用炉 (100 万 kW) 本格導入 (150 万 kW × 2)	2008 2047 2057 2070	脱被覆 + 先進湿式 (被覆粒子ブロック型) 実用化推進施設 (50tHM/y) 本格導入 (100 または 200tHM/y)	2053 2070
ケース 5	水冷却 (MOX) もんじゅ (28 万 kW) 高転換型炉 (40 万 kW) 実用炉 (100 万 kW) 本格導入 (150 万 kW × 2)	2008 2015 2037 2050	先進湿式 (簡素化ペレット) 実用化推進施設 (100tHM/y) 本格導入 (100 または 200tHM/y)	2036 2050

- 燃料製造は燃料供給が可能なように建設するとし、本格導入以降は、水炉も含めて FBR を 150 万 kW 単位で導入するとした。
- 実験炉とホット工学試験施設は時系列評価で考慮せず、もんじゅは諸量評価及び容量設定で考慮し、経済性と環境負荷低減性評価で考慮しない。

表 3.1.32 時系列評価における LWR サイクル関連施設の設定

ケース	LWR	FAMILY-21 結果	LWR 再処理	設定 条件	備考
ケース 1	LWR プルサーマル	~ 2116 ~ 2044	第二再処理 1200tHM/y、 第三以降は需要に対応 L-MOX 等 (Pu サーマル、 大間含む) の U 燃料化	2045	
ケース 2	LWR プルサーマル	~ 2118 ~ 2044	第二再処理 1200tHM/y、 第三以降は需要に対応 L-MOX 等の U 燃料化 L-MOX 再 (50tHM/y)	~ 2045 2050	L-再処理 50tHM/t と同 様施設とみなす。
ケース 3	LWR プルサーマル	~ 2185 ~ 2064	第二再処理 1200tHM/y、 第三以降は需要に対応 L-MOX 等の U 燃料化 L-MOX 再 (50tHM/y)	2065 2070	L-再処理 50tHM/t と同 様施設とみなす。
ケース 4	LWR プルサーマル	~ 2176 ~ 2064	第二再処理 1200tHM/y、 第三以降は需要に対応 L-MOX 等の U 燃料化 L-MOX 再 (50tHM/y)	2065 2070	L-再処理 50tHM/t と同 様施設とみなす。
ケース 5	LWR プルサーマル	未完 ~ 2044	第二再処理 1200tHM/y、 第三以降は需要に対応 L-MOX 等の U 燃料化	2045	

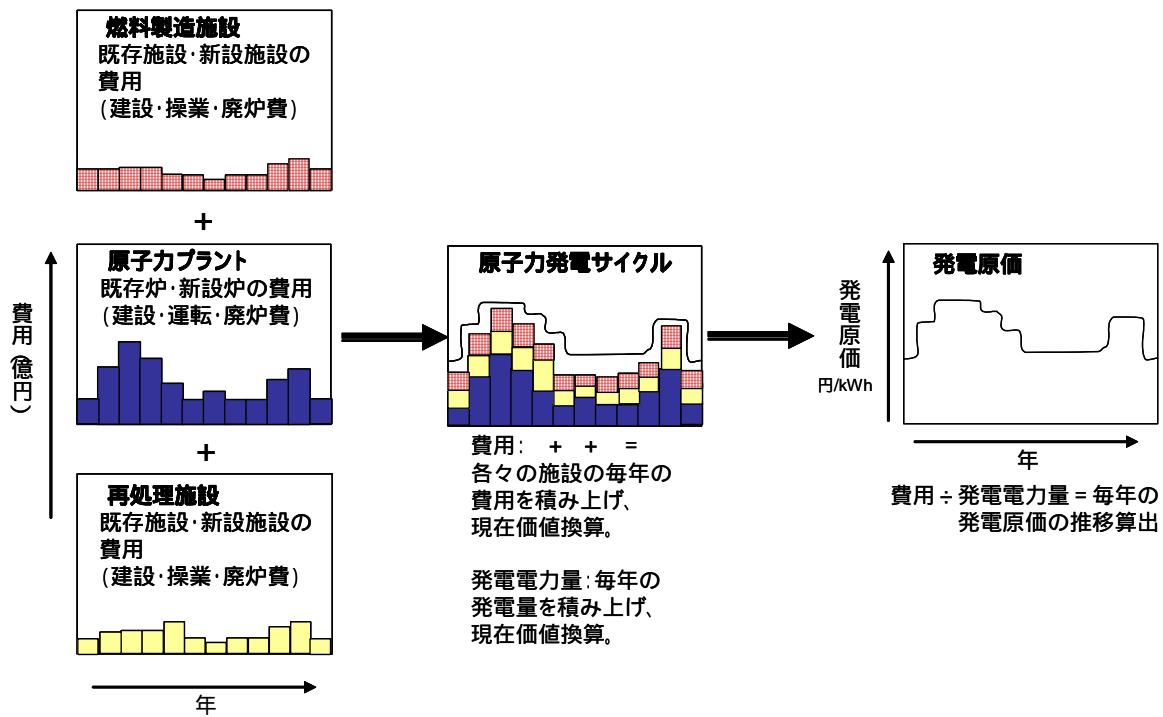


図 3.1.54 時系列経済性評価手法のフロー

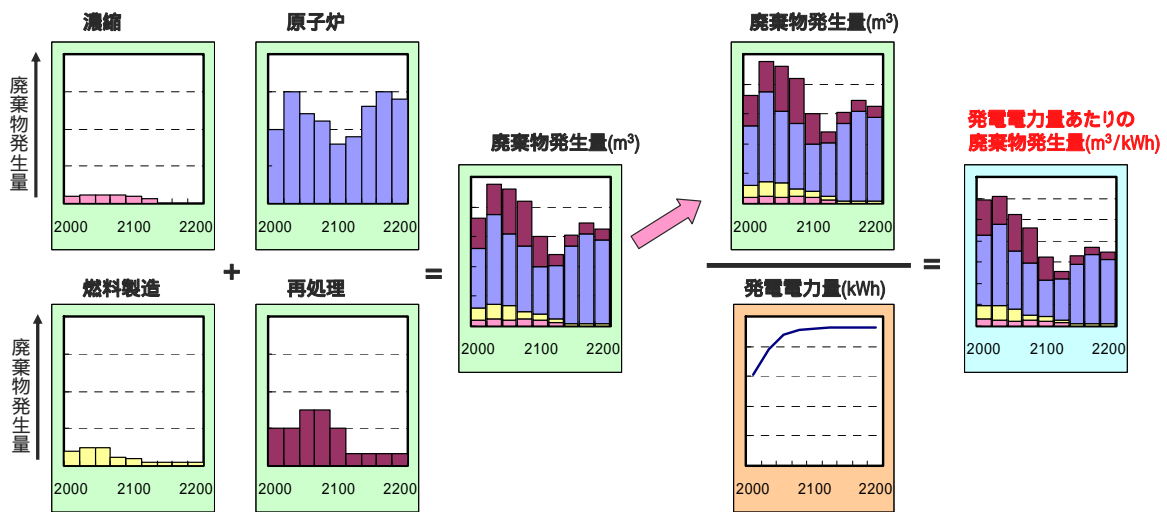


図 3.1.55 時系列放射性廃棄物発生量評価手法のフロー

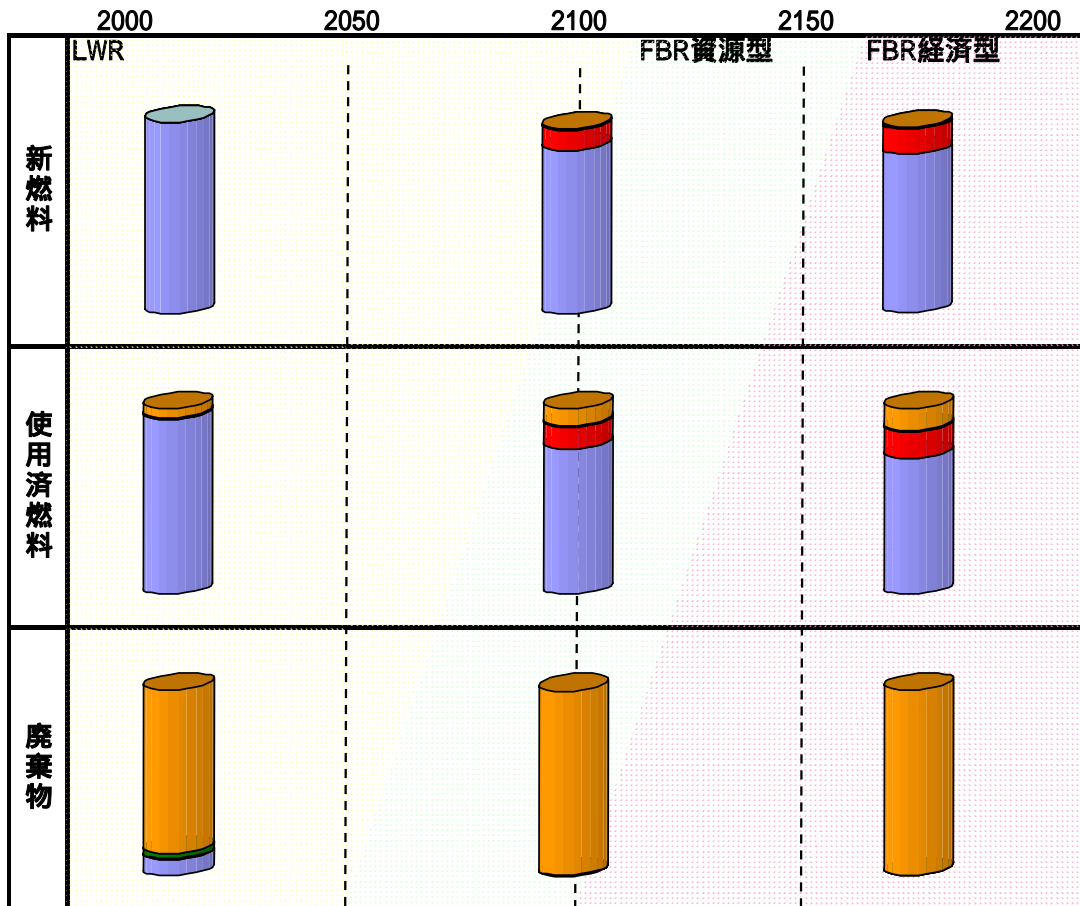


図 3.1.56 時系列放射性廃棄物毒性評価ツールにおける計算イメージ

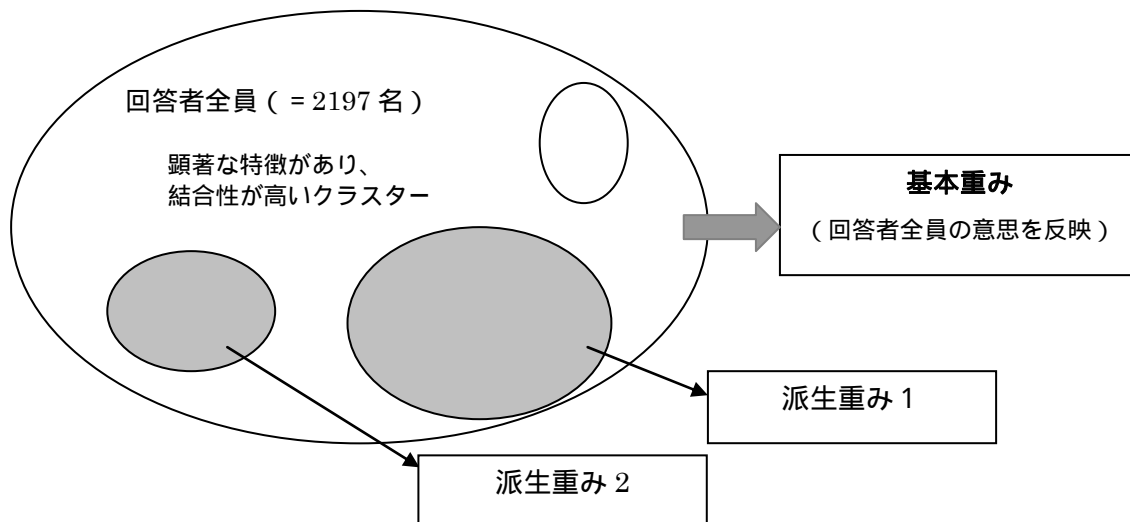


図 3.1.57 視点間重み付け設定のイメージ

3.2 評価対象とした FBR サイクル概念

FBR サイクルシステムを特徴付ける主な要素としては、原子炉冷却材、燃料形態、再処理方法、および燃料製造方法がある。フェーズ 中間評価の結果を踏まえて、フェーズ 最終評価では設計研究の対象となっているのは、次の通りである。

まず、FBR サイクルシステムを構成する要素として選択した FBR プラント、炉心燃料、再処理施設、燃料製造施設の設計の詳細については、それぞれ対応する技術検討書を参照してほしい。ただし、多面的評価用の設計については、必ずしも平成 17 年度に詳細に設計した施設等ではなく、平成 16 年度以前に実施した設計を中心に評価用に適宜再設計したものも用いている。

原子炉については、出力規模の観点から大型炉（約 150 万 kW_e）、中型炉（75 万 kW_e）と小型炉（5 万 kW_e と 30 万 kW_e）の 3 種類、冷却材の観点からナトリウム冷却、鉛ビスマス冷却、ヘリウムガス冷却、水冷却の 4 種類である。

燃料形態に関しては、その化学形態から酸化物、金属、窒化物の 3 種類、また炉心性能の観点から FBR 導入期を睨んだ増殖性能の高い「資源重視型炉心」と平衡期における経済性向上を目指した「経済性重視型炉心」、さらにより高い環境負荷低減を追求した「LLFP 核変換炉心」が対象となっている。

再処理については、湿式法として先進湿式法と超臨界直接抽出法、乾式法として酸化物電解法、金属電解法である。

燃料製造については、簡素化ペレット法、振動充填法、射出鋳造法、および被覆粒子法が設計の対象に取り上げられている。なお、再処理と燃料製造に関しては、その処理規模が小規模（50 トン/年）と大規模（200 トン/年）の代表的な 2 ケースについて設計を行っている。これらはフェーズ 中間評価から大きな変更はないものの、炉心性能をはじめとして全体に最適化が行なわれており、軽水炉サイクル体系からの移行を視野に入れた検討も開始された。

原子炉、燃料、再処理、および燃料製造の数多くの組み合わせの中から、技術的に合理性のないケース、他の代表的な組み合わせから評価結果が類推できるケース等を除き、多面的評価の対象として 10 個のタイプに絞り込んだ。多面的評価の対象ケースを表 3.2.1 に示す。以下の通り、水冷却炉以外のケースは、増殖比 1.1 程度の資源重視型と増殖比が 1.0 をわずかに上回る程度の経済性重視型の両タイプについて FBR サイクル候補概念を創出しており（水冷却炉については一つの候補概念のみであり、ナトリウム冷却炉については、LLFP 核変換炉心と組み合わせたケースも合わせて全部で三つの候補概念を考えている）、評価自体は 20 ケース行なった。

ナトリウム冷却炉では、フェーズ において、経済性や資源有効利用等の観点から高い炉心性能が得られる酸化物燃料と金属燃料を選んだ。フェーズ では酸化物燃料を対象に燃料サイクル施設の処理規模の影響を把握するため、先進湿式再処理+簡素化ペレット及び金属電解法+射出鋳造法について 50 トン/年と 200 トン/年のケースを設定すると共に、50 トン/年でも経済性向上が期待される超臨界直接抽出法のケースおよび LLFP 核変換炉心のケースも設定した。

鉛ビスマス冷却炉では、冷却材の重量が重い耐震上の理由から中型モジュール炉を採用し、高い炉心・プラント性能が得られる強制循環方式を取り上げた。

ヘリウムガス冷却炉では、原子炉出口温度の高温化に対応できる被覆粒子窒化物燃料サイクルを対象を選んだ。ただし、炉心燃料については、炭化珪素セラミックによる六角ブロック型を用いている点が中間評価と異なる点である。

水冷却炉では、酸化物燃料を対象に現状開発の進んでいる先進湿式再処理と簡素化ペレット法

を組み合わせたケースを設定した。

また、評価対象ケースは多面的な比較評価を行う上で、以下の観点から分類、整理される。

- 原子炉の冷却材ごとの特徴を把握する
- 炉心燃料の性能毎の特徴を把握する（各炉を対象）
- 燃料形態の特徴を把握する（ナトリウム冷却炉の酸化物と金属）
- 再処理や燃料製造施設の処理規模の影響を把握する（ナトリウム冷却炉サイクルを対象：酸化物燃料と金属燃料）
- 再処理と燃料製造の各処理方式の特徴を把握する（ナトリウム冷却炉サイクルを対象）

フェーズ 中間評価では、FBR サイクル候補概念に出力 75 万 kWe の中型炉も含まれており、原子炉の出力規模の影響を評価した。その結果、経済性等へのスケールメリットの程度はおおよそ把握できたと考えられるので、フェーズ 最終評価では中型炉を候補概念とはしない。同様に中間評価では、鉛ビスマス冷却炉に酸化物燃料を組み合わせた候補概念についても評価を実施したが、最終評価では、代表的かつ有望な候補概念として窒化物燃料を組み合わせるケースを評価する。また、設計の進捗に伴って、各施設の仕様も若干変化している。特に大きなものとして、水冷却炉以外の電気出力を 150 万 kWe に規格化したこと、ヘリウムガス冷却炉の炉心燃料形態がコンパートメント型から六角柱のブロック型に変わったこと、いくつかの再処理施設のマイナーアクチニド回収方法が変更になったこと、資源重視型炉心の燃焼度が全ての概念でほぼ 1.1 程度となったこと等があげられる。

表 3.2.1 多面的評価の対象ケース（全 20 ケース）

評価ケース	炉	燃料	湿/乾	処理規模	再処理	燃料製造	炉心	備考		
1-1	Na大型炉 150万kWe x 2	MOX	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	Na冷却炉MOX燃料の代表的かつ有望なFBRサイクル候補概念		
1-2							経済			
1-3							LLFP			
2-1							資源			
2-2							経済			
3-1							資源			
3-2				経済						
4-1				小規模 (50tHM/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	燃料製造法の違いを評価する観点から選定されたFBRサイクル候補概念		
4-2							経済			
5-1				乾式 (50tHM/y)	超臨界	簡素化 ペレット	資源	経済性においてスケールメリットはあるものの、導入初期において採用される可能性のあるFBRサイクル候補概念		
5-2							経済			
6-1				金属	乾式	大規模 (200tHM/y)	酸化物電解	振動充填	資源	MOX燃料の最も有望な乾式燃料サイクルFBRサイクル候補概念
6-2									経済	
7-1									資源	
7-2	経済									
8-1	資源									
8-2	経済									
9-1	Pb-Bi中型炉 強制循環	窒化物 被覆粒子	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	Pb-Bi炉の代表的かつ有望なFBRサイクル候補概念		
9-2							経済			
10	He大型炉 150万kWe x 2	窒化物 被覆粒子	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	被覆法	資源	Heガス冷却炉の代表的かつ有望なFBRサイクル候補概念		
	水炉 135.6万kWe	MOX	湿式	大規模 (200tHM/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	水冷却炉の代表的かつ有望なFBRサイクル候補概念		

炉心概念

- 資源（資源重視型炉心）：倍増時間を短縮し、より効率的にプルトニウムを増殖させる炉心概念。増殖比1.1程度。
- 経済（経済性重視型炉心）：径ブランケット燃料をなくして平均燃焼度を向上させ、燃料サイクル費の低減を狙った炉心概念。増殖比は1.0をわずかに上回る。
- LLFP：ターゲット集合体にLLFPを装荷し、核変換することをめざした炉心概念。

3.3 各視点からの評価結果

3.3.1 安全性の評価結果

安全性の評価結果に関しては、3.1.2.2 項で設計した評価構造等にしがって、FBR サイクルシステム全体で合否判定を行なうこととする。ここでは原子炉プラントシステムと燃料サイクルシステムに大別して評価した結果を述べ、最後にそれらのシステムを組み合わせた FBR サイクルシステムに関する評価結果を述べる。

3.3.1.1 原子炉プラントシステムの安全性評価

原子炉プラントシステムの安全性については、原子炉プラントシステム技術検討書において検討および評価されている¹³⁾が、以下では安全性の評価構造を参照して、炉型別に安全性が妥当なレベルに達していることを確認した結果について述べる。安全設計とその評価にあたっては、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」⁷⁹⁾、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」⁸⁰⁾、「高速増殖炉の安全性の評価の考え方」⁸¹⁾などが参考になっている。

原子炉プラントシステムについては、周辺公衆の放射線被ばくに着目して、主として炉心燃料の健全性に影響を及ぼしうる事象を設計基準事象として選定した。設計基準事象のうち代表的な事象および炉心損傷の防止と炉心損傷時の影響緩和の観点から設定した設計拡張条件について決定論的安全評価を実施し、次いで確率論的安全評価を実施した結果を冷却材別に各候補概念に対して述べる。

なお、安全性評価では、他に仮想事故を想定した立地評価も実施しており、全ての炉型で問題ないとの結果を得ているが、ここでは特に言及しない。

(1) ナトリウム冷却炉(ケース 1-1～7-2)

ナトリウム冷却炉については、先行ナトリウム冷却炉の設計、運転経験をベースに検討されているものの、多くの新技術を取り入れた検討途上の概念であり、基本設計に関する情報が完全に整合がとれた形で全て揃っているわけではなく、安全性の評価は予備的なものである。しかし、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は現状では見出されておらず、今後の検討によって設計要求に適合した概念構築が可能であると判断される。

決定論的安全評価のうち、設計基準事象に関する評価については、先行炉等の例も参考にしながら、初期事象を網羅的かつ体系的に摘出し、事象推移と影響の大きさを考慮して包絡関係を整理して「運転時の異常な過渡変化」および「事故」の2つのカテゴリーに分けて事象を選定した。さらに選定した設計基準事象の中から、結果が比較的厳しくなると予想される事象、あるいはナトリウム冷却炉の特徴から評価の必要がある事象を選定して炉心燃料の健全性に着目した解析による評価を実施した。この解析に用いる数値や解析条件については、保守的な条件を重ね合わせ、影響緩和設備として動的機器の作動に期待する場合、外部電源の喪失と単一機器の故障（結果を最も厳しくする機器の故障を想定）を重ね合わせ、安全設備に位置づけられない設備には期待しない等の条件とした。解析結果は、判断基準を満足しており、炉心燃料の健全性が確保できることが示された。さらに、軽水炉と同じ実効線量（事象あたり 5mSv 以下であること）を評価基準とする被ばく評価も行っており、判断基準を満足した。したがって、設計基準事象に関する評価については、合格であると判断した。

設計拡張条件については、安全裕度確認あるいは、設計基準をベースとする安全設計に対しさ

らなるリスク低減を図ることであることから、最確値ベースの評価を実施した。その結果、評価基準を満足する結果を得た。したがって、設計拡張条件に関する評価については、合格であると判断した。

確率論的安全評価に関しては、原子炉出力運転時における内的起因事象を起因とする炉心損傷の発生頻度の点推定値を評価した。このとき、同点推定値が 10^{-6} /炉年未満であることを判断基準とした。簡易なイベントツリーおよびフォールトツリーモデルを用いて炉心損傷頻度を見積った結果、判断基準を満足する結果を得た。したがって、確率論的安全評価に関しては、現時点では合格であると判断した。

評価構造の指標に合わせて、安全性のレベルを評価基準と照らして確認した結果を整理して表 3.3.1 に示す。

(2) 鉛ビスマス冷却炉(ケース 8-1 および 8-2)

鉛ビスマス冷却炉については、わが国では開発経験がなく、設計の基本概念を構築している段階であるため、安全性の評価は予備的なものである。しかし、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は現状では見出されておらず、鉛ビスマス環境下での防食技術の獲得とそれに関連する燃料被覆管および原子炉構造の健全性確保を実現できること、また再臨界回避方策については、鉛ビスマス冷却条件における窒化物燃料破損挙動に関するデータを取得すること、といった条件付きではあるが、今後の検討によって設計要求に適合した概念を構築できる可能性があるかと判断される。

決定論的安全評価のうち、設計基準事象については、ナトリウム冷却炉と同様に炉心燃料の健全性評価を実施した結果、判断基準を満足した。さらに、被ばく評価についても評価基準を満足した。したがって、設計基準事象の評価に関しては、合格であると判断した。

設計拡張条件については、ナトリウム冷却炉と同様に最確値ベースの評価を実施した結果、評価基準を満足する結果を得た。したがって、設計拡張条件に関する評価については、合格であると判断した。

確率論的安全評価に関しては、ナトリウム冷却炉と同様に、炉心損傷の発生頻度の点推定値を評価した。このとき、同点推定値が 10^{-6} /炉年未満であることを判断基準として評価した結果、評価基準を満足した。したがって、確率論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

評価構造の指標に合わせて、安全性のレベルを評価基準と照らして確認した結果を整理して表 3.3.2 に示す。

(3) ヘリウムガス冷却炉(ケース 9-1 および 9-2)

ヘリウムガス冷却炉については、わが国では小型の熱中性子炉である高温工学試験研究炉 (HTTR: High Temperature Test Reactor) の開発経験があるのみであり、設計の基本概念を構築している段階であるため、安全性の評価は予備的なものである。しかし、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は現状では見出されておらず、SiC 製の固相マトリックス内にバッファ付き被覆粒子燃料を充填し、充填層内に SiC 製の冷却管を垂直方向に設置したブロック型燃料集合体 (フェーズ 中間評価では、被覆粒子を SiC 製の 2 重円筒内に充填し、水平方向の冷却材流れによって被覆粒子燃料を直接冷却するコンパートメント型集合体だった) の具体化と、開発経験のない大型かつコンプレッサと同軸の縦置きタイプのガスタービンを原子炉と直結させ

た概念の具体化、に必要となる研究開発の成功といった条件付きではあるが、今後の検討によって設計要求に適合した概念を構築できる可能性がある」と判断される。

決定論的安全評価のうち、設計基準事象については、ナトリウム冷却炉と同様に炉心燃料の健全性評価を実施した結果、判断基準を満足した。さらに、被ばく評価についても評価基準を満足した。したがって、設計基準事象の評価に関しては、合格であると判断した。なお、設計基準事象の評価に関して、燃料健全性の判断基準として暫定している燃料あるいは冷却管最高温度 1600 は、本概念とは異なる被覆材料を使用した HTTR に適用されているものを参照しており、今後の開発努力によって、HTTR 燃料と同等の高温耐性が確保されることに期待している。

設計拡張条件については、ナトリウム冷却炉と同様に最確値ベースの評価を実施した結果、評価基準を満足する結果を得た。したがって、設計拡張条件に関する評価については、合格であると判断した。なお、設計拡張条件に対する評価については、評価対象炉が高い炉心損傷回避能力を有することを確認する目的で、減圧事故にスクラム失敗と崩壊熱除去系の強制循環機能喪失を重ねた苛酷な事象(AWS: Accident Without Scram)についての過渡解析を実施した。その際には、解析の目的に照らして、評価の判断基準を著しい炉心損傷の回避とし、その目安として燃料最高温度あるいは冷却管最高温度を暫定した。

確率論的安全評価に関しては、ナトリウム冷却炉と同様に、炉心損傷の発生頻度の点推定値を評価した。このとき、同点推定値が 10^{-6} /炉年未満であることを判断基準として評価した結果、評価基準を満足した。したがって、確率論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

評価構造に合わせて、安全性のレベルを確認した結果を整理して表 3.3.3 に示す。

(4) 水冷却炉(ケース 10)

水冷却炉については、わが国でも、現行熱中性子炉において、特に能動的な安全設備に関して十分な実績があり、その評価手法も実証されている。また、蓄圧注入系や隔離時冷却系等の安全機器、また受動的な安全炉についても、熱中性子炉における既存研究や経験がある。近年、シビアアクシデントに関しても研究が進んでおり、システムの合理的設計や事故時影響の評価手法も確立されてきている。今後、現行熱中性子炉と異なる特徴を中心に確認・検討する必要はあるが、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は現状では見出されておらず、今後の検討によって設計要求に適合した概念構築が可能であると判断される。

決定論的安全評価のうち、設計基準事象については、ABWR の設計基準事象を参考に、「運転時の異常な過渡変化」および「事故」について解析に用いる数値や解析条件について保守的な条件を重ね合わせ、影響緩和設備として動的機器の作動に期待する場合、外部電源の喪失と単一機器の故障（結果を最も厳しくする機器の故障を想定）を重ね合わせ、安全設備に位置づけられない設備には期待しない等の条件で、現行軽水炉の指針類を判断基準とする決定論的安全評価を実施し、判断基準を満足した。したがって、設計基準事象の評価に関しては合格であると判断した。

設計拡張条件については、炉心崩壊事故に関する検討を実施した結果、再臨界回避等が可能であると予想された。その結果、設計拡張条件に関する評価については、合格であると判断した。

確率論的安全評価に関しては、現行軽水炉の確率論的安全評価結果を準用できると判断し、炉心損傷の発生頻度について 10^{-6} /炉年未満を達成することが可能と考えられた。その結果、確率論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

評価構造に合わせて、安全性のレベルを確認した結果を整理して表 3.3.4 に示す。

3.3.1.2 燃料サイクルシステムの安全性評価結果

燃料サイクルシステムの安全性については、燃料サイクルシステム技術検討書において検討および評価されている⁸⁾が、以下では、安全性の評価構造を参照して、それぞれの燃料サイクル別に安全性が妥当なレベルに達していることを確認した結果について述べる。安全設計とその評価に関しては、「再処理施設安全審査指針」⁸²⁾、「ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設安全審査指針」⁸³⁾などに準拠し、また「六ヶ所再処理事業所 再処理事業指定申請書」⁸⁴⁾などが参考になっている。

燃料サイクルシステムについては、周辺公衆に対する放射線被ばくリスクの恐れのある代表的な異常事象（設計基準事象候補のうち代表的な事象）について決定論的安全評価を実施し、次いで大規模な放射能放出をもたらす可能性のある代表的な異常事象（機器の多重故障やヒューマンエラーを重畳した場合などに発生し、主に設計基準を越える事象（設計拡張条件とは異なる）であるが、あるいは設計基準事象の場合もある：以下では「設計基準を越える事象等」とする）については、周辺公衆の死亡リスクが有意に増加しないことを確認するために確率論的安全評価を実施した結果を燃料サイクルのタイプ毎に述べる。なお、確率論的安全評価については、致死ガンの発生確率以外にも、放射線被ばくによる急性死亡の発生確率が 10^{-6} 死/(人・年・サイト)以下という評価基準を設定したが、燃料サイクルシステムのリスク分析の結果として「周辺公衆の急性死亡をもたらす規模の放射性物質放出事象」が同定されず、この評価基準を用いた評価については、以下で燃料サイクル概念別に言及することを省略する。

- (1) 湿式燃料サイクル(先進湿式再処理法、簡素化ペレット燃料製造法)システム(ケース 1-1、1-2、1-3、3-1 および 3-2)

湿式燃料サイクルシステムについては、わが国でも、いくつかの施設が操業中、あるいは建設中である。これらの燃料サイクル概念は従来施設と比較的類似しており、先行施設の経験を活かすことができる概念であると考えられる。また、再処理施設に関しては、「再処理施設安全審査指針」を参考にしながら安全設計が行われており、放射線防護（遮蔽）、放射性物質の閉じ込め、核燃料物質の臨界安全（臨界防止）、地震に対する考慮、動的に維持される安全上の機能、システムおよびプロセス固有の危険性に関する考慮など、評価すべき事象に関して原因や進展シナリオを考慮しつつ、多重防護概念（発生防止策が中心）に基づく設計対応策を検討した。

代表的な異常事象（設計基準事象候補のうち代表的な事象）に関する決定論的安全評価に関しては、技術的に発生が想定される異常事象を体系的に漏れなく抽出するため、システムの主要な工程について変動の原因となる異常事象または変動の結果生じると考えられる事象を設計基準事象候補として検討し、摘出した。次に摘出した異常事象を放置した場合の影響を検討し、その影響を異常事象選定のために分類整理した。さらにソースタームの大きさや放出される放射性物質の拡散容易性に注目して、周辺公衆に対する放射線被ばくリスクの恐れのある事象を代表的な異常事象として3事象を選定し、事象発生時に周辺公衆の個人が受ける実効線量を評価した。その結果、評価基準である事象あたり5mSv以下であることを満足しており、代表的な異常事象の決定論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

代表的な異常事象（設計基準を越える事象等）の確率論的安全評価に関しては、放射性物質を大量に含有する全工程を対象として異常事象を摘出し、機器の多重故障およびヒューマンエラー

を重畳した場合に著しい量の放射性物質の施設外放出につながると考えられる異常事象として 4 事象に絞り込み評価を実施したところ、評価基準である致死ガンの発生確率を 10^{-6} 死/(人・年・サイト)以下を満足しており、(既述のとおり急性死亡に関しても評価基準を満足するので)設計基準を越える事象の確率論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

評価構造に合わせて、安全性のレベルを確認した結果を整理して表 3.3.5 に示す。なお、表中には明示されていないが、簡素化ペレット燃料製造システムでは、火災・爆発防止方策として、水素ガスを不活性ガスで 5%に希釈したものを用い、漏洩に備えてインターロックの設置を考慮している。また、臨界安全は形状管理を中心に質量管理も併用して確保し、耐震性についても既存指針類に準じる予定である。なお、発熱影響対策として適切な冷却方式を採ることを予定しており、冷却水を用いる場合については、臨界安全なども考慮することとしている。

なお、湿式燃料サイクルに関しては、燃料製造システムを再処理システムと一体化させると、ソースタームの大きさを決める工程内放射能インベントリが再処理の工程に比べて十分小さいので、同程度の危険源(可燃物など)があっても、事故の影響は再処理側に比べて小さくなる傾向がある。

(2) 湿式燃料サイクル(先進湿式再処理法、振動充填燃料製造法)システム(ケース 2-1 および 2-2)

振動充填燃料製造法を用いる FBR サイクルシステムの安全設計と対応策については、放射線防護面や耐震面では基本的な湿式燃料サイクルシステムと同様(表 3.3.5 参照)である。なお、安全設計については、簡素化ペレット法と比較して、添加剤として加えるポリビニルアルコール、テトラヒドロフルフリルアルコールあるいはゲルの洗浄に用いるイソプロピルアルコールが可燃物として用いられることへの対策、またゲル化反応の副生成物として硝酸アンモニウムが生成することへの対策、また金属粒子であるウランゲッターの火災防止などについて調査・検討を実施する必要がある。また、酸、高熱、高放射能による滴下燃料溶液の劣化を防止できることを確認することとしている。臨界管理については、形状管理を基本としている。また、発熱のプロセスへの影響も検討している。

しかし、現時点では、代表的な異常事象(設計基準事象候補のうち代表的な事象)の決定論的安全評価および代表的な異常事象(設計基準を越える事象等)の確率論的安全評価の両者に関して、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は今のところ発見されておらず、合格であると判断した。

(3) 湿式燃料サイクル(超臨界直接抽出再処理法、簡素化ペレット燃料製造法)システム(ケース 4-1 および 4-2)

超臨界直接抽出再処理法を用いる FBR サイクルシステムの安全設計と対応策については、基本的に湿式燃料サイクルシステムと同様(表 3.3.5 を参照)であるが、超臨界流体の圧力が高い(約 12MPa を超える)こと、TBP-硝酸錯体が使用済燃料と直接接触するという違いがあることから、安全性を検討した。

各設備、機器ごとにハザード源候補の洗い出し、起因事象及び擾乱の整理を行なって、「運転時の異常な過渡変化」事象(AT 事象)および「運転時の異常な過渡変化」を超える事象(BAT 事象)の候補を選定し、「漏洩」に分類されるもののハザード源として「超臨界圧力機器からの漏洩」が、AT 事象の「爆発への拡大」、「外部電源喪失(超臨界流体、冷却水供給停止)」、および BAT

事象の「爆発」、「短時間の全動力電源喪失(超臨界流体供給停止)」に分類されるもののハザード源として「TBP 錯体の急激な分解反応」が洗い出された。

「超臨界圧力機器からの漏洩」については、十分なセル容積を確保することにより、通常時のセル負圧を 40mmAq 程度に保っていれば、配管が破損して生じる CO₂ 漏洩に対し、セル内を正圧としない設計の可能性を確認することができた。

「TBP 錯体の急激な分解反応」については、通常運転時に急激な分解反応が発生する可能性は低いと考えられる。しかし、超臨界流体供給停止に対しては、インターロックとして抽出塔の強制冷却設備を備える必要性が示唆されたので、計測制御設備の設計に反映される予定である。上記の検討から、今後の安全対策を行なうことが条件ではあるが安全設計を実際に行うことができる。また、この燃料サイクルシステム概念では、処理規模も 50tHM/y と小さいことからソースタームも小さくなることも安全側に働き、現時点では、代表的な異常事象(設計基準事象候補のうち代表的な事象)の決定論的安全評価および代表的な異常事象(設計基準を越える事象等)の確率論的安全評価の両者に関して、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は今のところ発見されておらず、合格であると判断した。

(4) 湿式燃料サイクル(窒化物燃料対応)システム(ケース 8-1 および 8-2)

窒化物燃料に先進湿式再処理法および簡素化ペレット燃料製造法を適用する場合の燃料サイクルシステムの安全設計と対応策については、放射線防護面や耐震面では基本的な湿式燃料サイクルシステムと同様(表 3.3.5 参照)である。

なお、安全設計については、窒化物となることにより臨界制限が厳しくなることを踏まえた設計にする必要がある。また、窒化物燃料粉が酸素・水と反応し発火する恐れがあることから、窒化物燃料粉が雰囲気露出する再処理の解体・せん断から酸化工程までおよび燃料製造の炭素熱還元工程から燃料要素組立工程までをアルゴンセル内に設置することとしている。

しかし、現時点では、代表的な異常事象(設計基準事象候補のうち代表的な事象)の決定論的安全評価および代表的な異常事象(設計基準を越える事象等)の確率論的安全評価の両者に関して、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は今のところ発見されておらず、合格であると判断した。

(5) 湿式燃料サイクル(窒化物燃料、脱被覆+先進湿式再処理法、被覆粒子燃料製造法)システム(ケース 9-1 および 9-2)

脱被覆+先進湿式再処理法では、(4)の窒化物燃料対応の先進湿式法に前処理として集合体の解体工程の変更、脱被覆工程および酸化工程の追加を行なう。また、被覆粒子燃料製造法では、(2)の振動充填燃料製造法に炭素熱還元法による窒化物転換と再還元・焼結の後に被覆相を生成させる工程の追加を行なう。

まず、燃料サイクルシステムの安全設計と対応策については、放射線防護面や耐震面では基本的な湿式燃料サイクルシステムと同様(表 3.3.5 参照)である。なお、安全設計については、(2)の振動充填燃料製造法と同様に、アルコール類や硝酸アンモニウムによる火災・爆発の防止対策等が必要である。さらに(4)の窒化物燃料対応の湿式燃料サイクルと同様に、窒化物となることにより臨界制限が厳しくなることを踏まえた設計にする必要がある。また、窒化物燃料粉が酸素・水と反応し発火する恐れがあることから窒化物燃料粉が雰囲気露出する再処理の解体・せん断

から酸化工程までおよび燃料製造の炭素熱還元工程から燃料要素組立工程までをアルゴンセル内に設置することとしている（ただし、再処理施設ではCO₂除去装置の負荷低減の別の観点から溶解工程もアルゴンセル内に設置する）。他に臨界安全については、形状管理を適用し、一部質量管理も併用して行う（六角ブロックおよび集合体の製造・検査に関わる設備は、質量管理の一種である体数管理を行う）こととしている。発熱による火災防止のため、必要に応じて強制冷却を行う予定であり、さらに耐震性などについても適切に対応する予定である。

現時点では、代表的な異常事象（設計基準事象候補のうち代表的な事象）の決定論的安全評価および代表的な異常事象（設計基準を越える事象等）の確率論的安全評価の両者に関して、安全性に関する評価基準への適合性を否定する事項は今のところ発見されておらず、合格であると判断した。

(6) 乾式燃料サイクル(酸化物電解再処理法、振動充填燃料製造法)システム(ケース 5-1 および 5-2)

乾式燃料サイクル（酸化物電解再処理法、振動充填燃料製造法）については、わが国での施設開発経験も少なく、安全性の評価は予備的な段階である。プロセスの特徴を踏まえて、放射線防護（遮蔽）、放射性物質の閉じ込め、核燃料物質の臨界安全（臨界防止）、地震に対する考慮、動的に維持される安全上の機能、システムおよびプロセス固有の危険性に関する考慮など、評価すべき事象に関して原因や進展シナリオを考慮しつつ、多重防護概念（発生防止策が中心）に基づく設計対応策を検討した。

代表的な異常事象（設計基準事象候補のうち代表的な事象）に関する決定論的安全評価に関しては、技術的に発生が想定される異常事象を体系的に漏れなく抽出するため、システムの主要な工程について変動の原因となる異常事象または変動の結果生じると考えられる事象を設計基準事象候補として検討し、抽出した。次に抽出した異常事象を放置した場合の影響を検討し、その影響を異常事象選定のために分類整理した。さらにソースタームの大きさや放出される放射性物質の拡散容易性に注目して、周辺公衆に対する放射線被ばくりスクの恐れのある事象を代表的な異常事象として2事象を選定し、事象発生時に周辺公衆の個人が受ける実効線量を評価した。その結果、評価基準である事象あたり5mSv以下であることを満足しており、代表的な異常事象の決定論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

代表的な異常事象（設計基準を越える事象等）の確率論的安全評価に関しては、放射性物質を大量に含有する全工程を対象として異常事象を抽出し、機器の多重故障およびヒューマンエラーを重畳した場合に著しい量の放射性物質の施設外放出につながると考えられる異常事象として2事象に絞り込み評価を実施したところ、評価基準である致死ガンの発生確率を10⁻⁶死/(人・年・サイト)以下を満足しており、(既述のとおり急性死亡に関しても評価基準を満足するので)設計基準を越える事象の確率論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

評価構造に合わせて、安全性のレベルを確認した結果を整理して表 3.3.6 に示す。なお、表中には明示されていないものの、振動充填燃料製造システムでは、臨界安全に関しては、主にダブルバッチによる質量管理を行うこととしている。また、火災防止に関しては金属の酸素Getterの発火特性を検討する予定である。また、耐震性も適切に評価していく予定である。

(7) 乾式燃料サイクル(金属電解再処理法、射出鋳造法)システム(ケース 6-1、6-2、7-1 および 7-2)

乾式燃料サイクル（金属電解再処理法、射出鋳造法）については、わが国での開発経験も少なく、安全性の評価は予備的な段階である。プロセスの特徴を踏まえて、放射線防護（遮蔽）放射性物質の閉じ込め、核燃料物質の臨界安全（臨界防止）地震に対する考慮、動的に維持される安全上の機能、システムおよびプロセス固有の危険性に関する考慮など、原因や進展シナリオを考慮しつつ、多重防護概念（発生防止策が中心）に基づく設計対応策を検討した。

代表的な異常事象（設計基準事象候補のうち代表的な事象）に関する決定論的安全評価に関しては、技術的に発生が想定される異常事象を体系的に漏れなく抽出するため、システムの主要な工程について変動の原因となる異常事象または変動の結果生じると考えられる事象を設計基準事象候補として検討し、抽出した。次に抽出した異常事象を放置した場合の影響を検討し、その影響を異常事象選定のために分類整理した。さらにソースタームの大きさや放出される放射性物質の拡散容易性に注目して、周辺公衆に対する放射線被ばくりスクの恐れのある事象を代表的な異常事象として2事象を選定し、事象発生時に周辺公衆の個人が受ける実効線量を評価した。その結果、評価基準である事象あたり5mSv以下であることを満足しており、代表的な異常事象の決定論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

代表的な異常事象（設計基準を越える事象等）の確率論的安全評価に関しては、放射性物質を大量に含有する全工程を対象として異常事象を抽出し、機器の多重故障およびヒューマンエラーを重畳した場合に著しい量の放射性物質の施設外放出につながると考えられる異常事象として3事象に絞り込み評価を実施したところ、評価基準である致死ガンの発生確率を 10^{-6} 死/(人・年・サイト)以下を満足しており、(既述のとおり急性死亡に関しても評価基準を満足するので)設計基準を越える事象の確率論的安全評価に関しては、合格であると判断した。

評価構造に合わせて、安全性のレベルを確認した結果を整理して表3.3.7に示す。なお、表には明示されていないが、燃料製造施設では、製造設備には質量管理（本数管理を含む）、貯蔵施設には形状管理を適用する予定であり、計量管理の徹底と装置内の核物質の滞留防止を図ることとした（射出成型装置での過剰装荷による臨界については、確率論的安全評価でも代表的な異常事象として抽出された）。また、合金状の核燃料物質およびナトリウム金属による火災を防止するための設計対応として、射出鋳造装置をアルゴン雰囲気セルとし、開閉機構にインターロックを設置する。さらに、アルゴン雰囲気セルと空気雰囲気セルには窒息消火設備を配置する方針としている。なお、耐震性についても、既存指針と同等以上の耐震性を有するように検討を進めている。

3.3.1.3 FBR サイクル候補概念の安全性評価結果

FBR サイクル候補概念は、原子炉プラントシステム概念と燃料サイクルシステム概念を組み合わせられて創出されている。したがって、フェーズ最終評価の時点では、3.3.1.1 および3.3.1.2のとおり原子炉プラントシステム及び燃料サイクルシステムの全てが安全性の観点から（開発課題があるものの）各最下位指標について、合格と判断されたので、それらを組み合わせたFBR サイクル候補概念についても、相応の開発課題（あるいは条件）があるものの、いずれの概念も合格であると判断した。

3.3.2 経済性の評価結果

本項では、各 FBR サイクル候補概念を対象に、3.1.2 項において設定した評価構造、評価指標の重み付けの考え方にに基づき算出した経済性評価結果をまとめる。なお、本評価結果を技術総括において引用する。

図 3.3.1 に、評価対象各 20 ケースの経済性評価結果の効用値を示す。効用値 0.5 以上で、達成目標を満たしているといえる。グラフ中にはその内訳として、経済性評価指標である発電原価、及び投資リスクの各指標について、重み付け後の効用値を示す。

評価の結果、概念間の差は発電原価の差に依存する傾向にあり、評価対象とした全てのケースにおいて、達成目標を満たす見込みであることが示され、最も効用値が高いのは、ナトリウム冷却炉（酸化物燃料）経済性重視型炉心、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造法を採用したケース（1-2）であった。

以下に、発電原価、及び投資リスクについて、それぞれの評価結果について述べる。比較については、FBR サイクルの潜在的な経済性を評価することを目的として、経済性重視型炉心サイクルを対象とした。また、併せて資源重視型炉心サイクルと経済性重視型炉心サイクルの比較を実施した。

(1) 発電原価評価

発電原価については、それぞれの評価対象ケースの特徴をより明確にするために、炉型間、燃料サイクル技術間のそれぞれについて比較を行った。

(a) 炉型別の比較（経済性重視型炉心）

図 3.3.2 に炉型別の発電原価比較を示す。

ここでは炉型別に、ナトリウム冷却炉（酸化物燃料）鉛ビスマス冷却炉（窒化物燃料）ヘリウムガス冷却炉（窒化物被覆粒子燃料）水冷却炉（酸化物燃料）を採り上げた。燃料サイクル技術については、全ケースにおいて大規模施設（200t/y）の先進湿式再処理法、燃料製造法については、ヘリウムガス冷却炉が被覆粒子製造法である他は、簡素化ペレット法を選択したケースである。

評価の結果、いずれのケースにおいても、達成目標である 3.6 円/kWh を達成する見込みであることが示された。資本費については、ケース間での大きな差は見られないが、運転費については鉛ビスマス冷却炉、水冷却炉が相対的に高く、さらに水冷却炉については燃料費が最も高いために発電原価が最も高いケースとなった。

資本費

図 3.3.3 に各ケースの資本費の内訳を示す。資本費を構成する主要な因子は炉の建設単価（円/kWe）であることから、以下では建設中利子を含んだ建設単価を元に、各ケースの達成度について言及する。表 3.3.8 に各炉型の建設単価達成目標 20 万円/kWe に対する割合をまとめる。

本最終評価においては、設計の変更、建設費算出コードにおける勘定項目の見直し等により、建設費が削減されている。

ナトリウム冷却炉は、将来軽水炉と比較して、単基出力の増加（150 万 kWe）によるスケ

ールメリット、ツインプラント化による共用・習熟効果、プラントコンパクト化(2ループ化の採用、1次循環ポンプを熱交換器内に組み込んだ機器の採用、12Cr系鋼の採用による配管短縮等)などによる物量の削減が図られ、建設単価の要求値である20万円/kWeに対して約90%を達成できる見込みであり、最も資本費が低くなる概念である。

鉛ビスマス冷却炉は、二次系を有しないタンク型構造であり、ナトリウム炉と比べ主冷却設備経費を削減できるという利点を有している。一方、冷却材の比重が高く、耐震性の面からループ型及び大型化が困難であることから中型炉を採用しており、スケールメリットによる建設単価の削減を図ることができず、さらに炉容器および冷却材の物量が多いこと等の理由から、ナトリウム冷却炉に比べ建設費が高い概念である。しかし、経済性向上等の観点から、中型モジュールタンク型を採用したことによって、燃料取扱設備及び原子炉部分以外の原子力発電所周り(BOP・Balance of plant)設備の共有化による原子力蒸気供給システム(NSSS・Nuclear steam supply system)の物量削減、多量生産及び習熟効果、大型ユニット工法の採用等、建設費の削減が図られた結果、建設単価は達成目標に対して約95%となる見込みとなった。

ヘリウムガス冷却炉は、蒸気発生器を有しないガスタービン直接発電方式のため、ナトリウム炉と比べ主冷却設備経費が削減できるという利点を有している。一方、直接タービン設備を原子炉容器内に収納しているために原子炉建屋体積、炉容器重量が大きく、加えて850という高温出口温度を有しているのに対し、冷却材が気体で、他の液体冷却材を用いた概念よりも冷却材密度が小さく輸送性能が低いことから、これを補うために高圧環境下で運転を行い、冷却材密度を高めている。このため、減圧事故による冷却性能の低下が起きた場合にも安全性が保たれるよう、格納容器を耐圧構造としていることも建設費を増大させている。これらの要因から、フェーズ 中間評価における建設単価は達成目標を超える111%となる見込みであったが、最終評価においては、従来112.4万kWeであった電気出力を、150万kWeに増大させることにより、達成目標に対して約97%の建設単価となる見込みとなった。

水冷却炉は、建設費が将来軽水炉並であることを想定しており、建設費単価は達成目標と同程度(約100%)となる見込みである。

以上のように、建設単価のみを見ると、ナトリウム炉以外の概念に大きな差はないが、資本費全体としてはヘリウムガス冷却炉が最も高い。これは、ヘリウムガス冷却炉が高圧環境下で運転を行うことから、原子炉構造(原子炉容器、動力変換容器)、一次系(動力変換容器内構造物)の物量(金属)が他の炉型に比べて大きく、廃止措置費が高いことに由来している。

運転費

図 3.3.4 に各ケースの運転費の内訳を示す。

運転費の内、修繕費が占める割合は相対的に大きく、修繕費の大きさが候補間の差を生む要因となっている。このため修繕費の高い鉛ビスマス炉が最も運転費が高い。

経済性評価において、プラントの修繕費は定期点検時に発生するものと想定している。具体的には次の通りである。

- a. 軽水炉プラントにおける定期点検費用実績を、原子炉設備における定期点検費用、タービン設備の定期点検費用に分け、定期点検一日当たりに必要な費用を算出する。

- b. 原子炉設備の定期点検費用は、点検日数及び1タービンあたりの原子炉モジュール数に比例すると想定する（鉛ビスマス冷却炉は他の炉型と出力規格を揃えるために150万kWe出力あたりとして1タービン2モジュールで計算）。
- c. タービン設備の点検費用は、タービン発電機の出力に比例すると想定する。
- d. b.c.における想定を元に軽水炉プラントにおける定期点検費用実績を補正する。
- e. 補正後の定期点検一日あたりに必要な費用と、候補概念毎の定期点検期間より修繕費を算出する。

これらの方法を用いることにより、運転サイクル期間が短く定期点検日数が長いほど（稼働率が低いほど）また原子炉モジュール数が多いほど、修繕費は高くなった。ここで用いる運転サイクル期間は炉心設計により、定期点検日数はプラント毎に工程を評価することによって算出している。

表 3.3.9 に各候補概念の稼働率、及び1タービンあたりのモジュール数を示す。鉛ビスマス炉は稼働率が他の炉型と同程度であるが、モジュール数が多い（1タービンあたり2モジュール）ために修繕費が高くなったといえる。

一方、ヘリウムガス冷却炉については、モジュール数はナトリウム冷却炉、水冷却炉と同数であり、稼働率は他の炉型と同等であるが修繕費が低くなっている。これは、ヘリウムガス冷却炉の有する4つのタービン発電機のうち、一回の定期点検あたり1つのタービン発電機を点検すると想定されているためであり、点検対象となるタービン発電機あたりの出力が低いために修繕費が低くなっている。

燃料費

図 3.3.5 に各ケースの燃料費の内訳を示す。

燃料費の内、加工費、及び再処理費の占める割合が相対的に大きく、これらは炉内の平均燃焼度、及び燃料サイクル単価（万円/kgHM）の影響を受ける。

図 3.3.6 に各ケースの燃料製造単価及び再処理単価を、表 3.3.10 に燃焼度を示す。

ここで採り上げた4つのケースは、いずれにおいても同様の先進湿式再処理法を採用し、ヘリウムガス冷却炉が被覆粒子燃料製造法である他は、簡素化ペレット法を採用したケースである。すなわち、ケース間の燃料サイクル単価の差は技術間によるものではなく、それぞれの炉型が採用する燃料化学形態に対応した工程に要する設備投資費用に起因している。

ナトリウム冷却炉は、酸化物燃料を用いており、窒化物燃料採用炉型と比較して燃料サイクル工程に¹⁵Nの濃縮・回収工程を必要としないために相対的に燃料サイクル単価が低くなる概念である。さらに、他の炉型と比較して燃焼度が相対的に高く（全炉心取出平均燃焼度114,900MWd/t）、燃料量の削減を図ることができるために燃料費が低くなる。

鉛ビスマス冷却炉は、燃焼度が炉型間で最も高く（全炉心取出平均燃焼度128,000MWd/t）燃料量の削減が図れるものの、窒化物燃料を採用しているために燃料サイクル工程に¹⁵Nの濃縮・回収工程が追加されることから燃料サイクル単価は増加し、酸化物燃料と比較して燃料費が高い結果となっている。

ヘリウムガス冷却炉は、鉛ビスマス冷却炉と同じく窒化物燃料を採用している概念であり、燃料サイクル単価が増大する傾向にある。加えて被覆粒子燃料を採用していることから、再処理における脱被覆工程の追加等の増加要因がある。更に、前述したように熱輸送能力が低

く除熱特性が劣る概念であることから、横方向流れによる効果的な除熱概念を採用し、除熱特性の向上を図っており、炉心における冷却材体積比が大きく、燃料体積比が小さいために燃焼度はそれほど高くできない(全炉心取出平均燃焼度 89,000MWd/t)。これらのことから、燃料費は鉛ビスマス冷却炉サイクルよりも高い結果となった。

水冷却炉は、酸化物燃料を用いた概念であり、燃料サイクル単価は相対的に低いが、他の概念と比較して燃焼度が低いため必要燃料量が多くなり(全炉心取出平均燃焼度 45,000MWd/t)、燃料費は最も高い結果となった。

(b) 燃料サイクル技術別の比較(経済性重視型炉心)

図 3.3.7 にナトリウム冷却炉サイクルについての再処理及び燃料製造概念別の発電原価を示す。

全体的に見ると、大規模サイクル施設(200t/y)のスケールメリットにより燃料サイクル単価は減少し、燃料費における達成度は大規模施設のほうが高い。しかし、金属燃料サイクルについては再処理施設における機器費用、それに伴う修繕費が処理規模に対して比例傾向にあることから特に再処理単価が高くなり、先進湿式再処理を採用したケースよりも燃料費における達成度は低い結果となった。

金属電解法を用いた金属燃料サイクルでは、電解槽のウラン、低レベル廃棄物回収後の溶解塩再生工程としてゼオライトを用いた FP 除去があり、この塩吸蔵ゼオライトの量が多いため高レベル廃棄物(HLW・High Level radioactive Waste)の発生量が多くなる。一方で、その発熱量は先進湿式再処理法と比べて小さいことから、その輸送・貯蔵・処分費用について、発生体積に比例して費用を見積もるか、発熱量に比例して費用を見積もるかによって費用が異なる。

表 3.3.11 に各燃料サイクルの HLW の年間発生量(m³/年)及び先進湿式法を用いた酸化物燃料サイクルを基準とした固化体の発熱量比を、図 3.3.8 に、体積に比例して HLW 関係費用を見積もった場合と、発熱量に比例して HLW 関係費用を見積もった場合(処分費用のみ、輸送・貯蔵・処分費用に全てについて)の発電原価の比較を示す。

評価の結果、酸化物電解法のサイクルについては、発熱比がほぼ同程度のため、体積比例にて HLW 関係費用を見積もった場合と発電原価は殆ど変わらなかった。

一方、金属電解法のサイクルの場合、体積比例で見積もった場合は最も高い概念となったが、発熱比で見積もった場合には、その発熱量の低さ(発熱比 0.55)から HLW 関係費用が相対的に低くなり、大規模サイクル施設においては、簡素化ペレット法に対応した先進湿式再処理法と比べやや割高なもの、振動充填法に対応した先進湿式再処理法と比肩しうる概念となり、小規模サイクル施設においては、最も安価な概念となった。

このように、HLW 関係費用見積もりを体積比例にて行うか、発熱比にて行うかによって、金属電解法を用いた概念の発電原価は高く異なる結果となった。

最終的な効用値としては、他の概念との整合性を考え保守的に見積もり、体積比例の発電原価を採用することにした。

図 3.3.9 に燃料費の内訳、図 3.3.10 に再処理単価、及び燃料製造単価を示す。

大規模サイクル施設(200t/y)間を比較すると、従来技術を利用することが可能な先進湿式再処理法・簡素化ペレット燃料製造法を用いた概念が最も燃料費が低い。

先進湿式再処理に対応した振動充填法は、外部ゲル化法により粒子燃料を成型させる製法であるため、簡素化ペレット法に比べ前処理工程が増え、燃料費が割高となる。フェーズ最終評価において、フェーズ中間評価時から建屋構造・ライン構造・付帯設備等の見直し及び合理化が図られたものの、その差を顕著に縮小させるには至らず、目標値を達成しているものの、簡素化ペレット法と比較すると発電原価は高い結果となった。

金属電解法については、前述したように HLW 廃棄物の発生量が多く、体積比例にて費用を見積もった場合、HLW 関係費用が増大するため最も高い概念となった。

小規模サイクル施設 (50t/y) を比較すると、大規模サイクル施設 (200t/y) の中で最も低い先進湿式再処理法、簡素化ペレット燃料製造法の概念は、スケールデメリットの影響が最も大きく、最終評価においては運転操作条件の見直しが図られたものの、最も高い概念となっている。

超臨界直接抽出法は抽出工程の削減により、小規模サイクル施設における湿式再処理の経済性向上に有望な概念であり、小規模サイクル施設において、金属電解法と同等の燃料サイクル単価となっている。最終評価においては更に工程概念・運転操作条件の設計見直しが図られ、経済性向上が検討された。

酸化物電解法は、フェーズ中間評価において先進湿式再処理・簡素化ペレット燃料製造の概念と同程度に高い概念であったが、最終評価において MOX 電解、MA 回収プロセスなどの再処理プロセスの見直し、設備の見直し等が図られた結果、超臨界直接抽出法と同程度の評価となった。

金属燃料サイクルは、体積比例で HLW 関係費を見積もった場合、先進湿式再処理法・簡素化ペレット燃料製造法の概念に次いで高い概念となっている。

(c) 資源重視型炉心と経済性重視型炉心の比較

図 3.3.11 に、代表的なケースについて資源重視型炉心と経済性重視型炉心でサイクルを構成した際の各々の発電原価の比較を、表 3.3.12 に各評価概念の全炉心取出平均燃焼度及び増殖比を示す。

いずれのケースにおいても、資源重視型炉心は目標値である 3.6 円/kWh を達成できる見込みであり、経済性を確保したまま増殖性能を確保できる幅広い要求に対応できる見込みが得られた。

経済性重視型炉心は燃料ピンの太径化によって燃料体積の増加を図り、内部転換比を高めることによって径方向ブランケットを不要とした炉心概念 (高内部転換型) であり、炉心とブランケットを合わせた全炉心取出平均燃焼度を向上させて燃料費の低減を図っている。ナトリウム炉(MOX)/先進湿式再処理/簡素化ペレット (200t/y) のケースを例にとると、具体的には、全炉心取出平均燃焼度が 114,900MWd/t と、資源重視型炉心の 90,000MWd/t に対して約 30% 増加させることが可能であり、燃料費の低減が期待できる。

一方、資源重視型炉心は経済性よりも増殖性を重視した炉心で、経済性重視型炉心の増殖比が 1.03 であるのに対し、資源重視型の増殖比は 1.10 と高いものの、燃焼度は低く経済性の観点からは不利になる。このため、資源重視型炉心においては燃料サイクル単価の差が顕著に現れ、候補間の結果にばらつきが大きくなっている。

(d) LLFP 分離・核変換サイクルの経済性

LLFP の核変換、及び発熱性核種を含む元素の分離・貯蔵を実施した場合の経済性について評価した。ここで想定したサイクル概念は 3.1.1.2 を参照。

経済性評価では、再処理における各元素の分離、ヨウ素、テクネチウム燃料（ターゲット燃料）の製造、これらのサイクルが付加されることによる放射性廃棄物の増減、セシウム及びストロンチウムの貯蔵が再処理と燃料製造に与える影響、炉心設計に与える影響を考慮して評価を行った。なお、集合体あたりの新燃料輸送費は、核物質と FP で同様であると想定し、炉における使用済燃料貯蔵施設の増減は考慮していない（他の概念の評価結果から、全体として影響は小さいと考えられる）。

図 3.3.12 に結果を示す。結果を見ると、FP 回収とターゲット燃料をリサイクルするための費用が付加的に必要となることが影響して燃料サイクル費が高くなることから、資源重視型炉心、経済性重視型炉心を採用した概念よりも発電原価が高くなった。

(2) 投資リスク評価

投資リスク評価に影響する大きな因子としては、炉の建設費、初装荷燃料費、発電原価が挙げられる。このため、投資リスク評価結果の比較については、建設費、発電原価に顕著な差が見られる炉型間での比較、燃料費に顕著な差が見られる燃料サイクル技術間での比較を行う。

(a) 投資必要額

炉型別の比較

図 3.3.13 に炉型別の投資必要額比較を示す。

ここでは炉型別に、ナトリウム冷却炉（酸化物燃料）鉛ビスマス冷却炉（窒化物燃料）、ヘリウムガス冷却炉（窒化物被覆粒子燃料）、水冷却炉（酸化物燃料）を採り上げた。評価の結果、ヘリウムガス冷却炉を除く概念において、達成目標である 6,600 億円を達成する見込みが得られた。

投資必要額に影響する因子は建設費（建設中利子込）初装荷燃料費である。従って、建設費が高く、さらに建設を計画してから発電を開始するまでの費用発生期間（プロジェクト期間）が長いほど、建設中利子、現在価値換算の効果によって投資必要額は増大する。また、燃焼度が低いほど、初装荷燃料費が高くなることから、燃焼度の大きさも関係している。表 3.3.13 にプロジェクト期間を示す。全炉心取出平均燃焼度については表 3.3.10 を参照されたい。

ナトリウム冷却炉は、建設費（建設中利子込）が最も低い概念であり（3.3.2（1）発電原価項参照）さらに燃焼度も高い（全炉心取出平均燃焼度 114,900MWd/t）概念であることから、投資必要額が最も少ない概念となった。

鉛ビスマス冷却炉は、中型モジュール炉という特性を生かし、工期短縮の観点から建屋構造体並びに機器類を組み込んだ状態で工場製作し、設備類を組み込んだ大型ユニットとして建設サイトに据え付けることを想定している。このため、他の大型炉と比較して最もプロジェクト期間が短い概念であるが、建設費（建設中利子込）が高いために最も投資必要額が高い概念となった。

ヘリウムガス冷却炉は、建設費（建設中利子込）は鉛ビスマス炉と同程度であるが、原子炉格納容器が大きく、建設工期が長いためにプロジェクト期間が長い。また、燃焼度がナトリウム冷却炉、鉛ビスマス冷却炉と比べ比較的小さい（全炉心取出平均燃焼度 89,000MWd/t）ため、初装荷燃料費が大きく、このため最も投資必要額が大きい概念となっている。

水冷却炉は、建設費（建設中利子込）はナトリウム冷却炉と同程度であるが、他の炉型と比較して燃焼度が低いため（全炉心取出平均燃焼度 45,000MWd/t、ナトリウム冷却炉の約 1/3）初装荷燃料費が高くナトリウム冷却炉よりも投資必要額が高い結果となった。

燃料サイクル技術間での比較

図 3.3.14 にナトリウム冷却炉サイクルについての再処理及び燃料製造概念別の投資必要額を示す。

燃料サイクル技術間においては、酸化物燃料と金属燃料でわずかな違いがあるものの、建設費（建設中利子込）がほぼ同じであることから、初装荷燃料費の高さが概念間の差の主な

因子となる。

初装荷燃料費に影響する主な要因は燃料製造単価であり、燃料製造単価の低い概念、即ちスケール効果のある大規模サイクルにおける、先進湿度式再処理・簡素化ペレットの概念が最も投資必要額が最も低い結果となった。

一方、小規模サイクル施設において、振動充填燃料製造法を用いた酸化物燃料サイクルのほうが射出鑄造燃料製造法に対応した金属燃料サイクルと比べ燃料製造単価が低いのにに対し、投資必要額は振動充填燃料製造法を用いた酸化物燃料サイクルのほうが高くなっている。これは、金属燃料に対応した炉心の平均燃焼度が大きく、必要燃料量の削減を図ることができるためである。各概念の燃料製造単価については、図 3.3.10 を、全炉心取出平均燃焼度については表 3.3.8 を参照されたい。

(b) 投資回収期間

炉型別の比較

図 3.3.15 に炉型別の投資回収期間を示す。

評価の結果、水冷却炉以外の全ての概念においては、目標である 16 年以下で投資回収が可能で、ナトリウム冷却炉が最も早いという結果であったが、水冷却炉は達成目標を超え、投資回収に最も長期を要する結果となった。

投資回収期間に影響する因子は、投資必要額、及び発電原価である。即ち、投資必要額が高く、発電原価が高いほど投資回収に期間を要することとなる。投資必要額については図 3.3.13、発電原価については図 3.3.2 を参照されたい。

ナトリウム冷却炉は、投資必要額が最も低く、加えて発電原価が最も低い概念であることから、投資回収期間が最も短いという結果となった。

鉛ビスマス冷却炉は、投資必要額、発電原価が最も高いことから、ナトリウム冷却炉よりも投資回収期間が長い。

ヘリウムガス炉は、投資必要額が高く、発電原価も高いため、鉛ビスマス冷却炉と投資回収期間が同期間という結果となった。

水冷却炉は、投資必要額はそれほど高くなかったものの、燃焼度が低いために燃料費が高く、発電原価が高くなるために最も投資回収に期間を要する結果となった。

燃料サイクル技術間での比較

図 3.3.16 にナトリウム冷却炉サイクルについての再処理及び燃料製造概念別の投資回収期間を示す。

燃料サイクル技術間においては、投資必要額、及び発電原価が異なる。

大規模サイクル施設 (200t/y) については、3 ケースのうち投資必要額が最も高い先進湿式再処理・振動充填燃料製造の概念、発電原価が最も高い金属電解再処理・射出鑄造燃料製造の概念が同期間となり、投資必要額、発電原価の低い先進湿式・簡素化ペレットの概念が最も早期に投資回収が可能であるという結果となった。

小規模サイクル施設 (50t/y) については、投資必要額、発電原価の最も高い先進湿式再処理・簡素化ペレット、および投資必要額がこれと同程度の超臨界再処理・簡素化ペレット燃料製造の概念が同期間の投資回収期間となった。金属電解再処理・射出鑄造燃料製造は 4 ケー

ス中最も投資必要額が低い概念であるが発電原価が高いために酸化物電解再処理・振動充填燃料製造と同期間となっている。

3.3.3 環境負荷低減性の評価結果

環境負荷低減性に関しても、設定した評価構造と評価基準にしたがって各 FBR サイクル候補概念を評価した。

全体的な評価結果を図 3.3.17 に示す。高レベル廃棄物に関しては、湿式再処理からはホウケイ酸ガラス固化体、金属電解法からはソーダライト（人工鉱物）、酸化物電解法では、鉛リン酸ガラス、フツリン酸ガラス、合金インゴットが発生するとしている。それぞれの廃棄体の種類によって、マトリックス等に結合する FP の割合は異なること、発熱制限がどの程度と想定するのか等の理由によって、乾式燃料サイクルから発生する高レベル廃棄物に含まれる FP の割合は湿式燃料サイクルから発生する高レベル廃棄物に含まれる FP の割合よりも小さくなると想定されている。その結果、それぞれの高レベル廃棄物からの発熱量は大きく異なる。高レベル廃棄物処分場の面積は、発熱量だけでなく構造的強度にも関連すると考えられているので単純な比例計算はできないが、廃棄体当たりの発熱量が小さい高レベル廃棄物については、廃棄物の発生量を減らすことができたり、処分場においてより稠密に処分できたりする可能性がある。そこで、乾式再処理の高レベル廃棄物発生量を発熱に比例すると想定した場合（なお、処分場占有面積のみを減らすことができると想定した場合は、若干評価結果が悪くなるものの、あまり変わらない結果が得られる）の評価結果を図 3.3.18 に示す。

図 3.3.17 および図 3.3.18 の評価結果からは、各 FBR サイクル候補概念で若干の差があったといえる。また、各候補概念の設計と検討の深さに差があるという現状を踏まえると、各候補概念に対する評価結果の小さな差を取り上げて一様に議論することは必ずしも有益ではない。以下では、炉型別および燃料サイクル別（LLFP 分離・核変換サイクルも）に代表的な候補概念を取り上げて説明する。特に現状の設計結果に基づいて設定したデータが評価結果に影響した部分について、最下位の指標レベルで原因となるデータ設定と対応する評価結果を説明する。

なお、放射性廃棄物発生量と放射性毒性に関し、中間評価では、基準となる核燃料サイクルとして現状レベルの FBR サイクルを用いたが、最終評価では、現状の技術レベルの軽水炉サイクル（軽水炉、六ヶ所再処理施設、六ヶ所の MOX 燃料加工施設）を許容値算出の基準として評価を実施した。被ばく線量率に関しては、共通の基準値から評価基準を定めており（3.1.2.4 参照）、中間評価結果と最終評価結果の違いが生じる一因となっている。

全体として、一部の例外（金属電解法のケース 6-1 およびケース 6-2）を除いて資源重視型炉心を利用する FBR サイクルよりも、経済性重視型炉心を利用する FBR サイクルの方がわずかに評価結果は良い。しかし、最終評価では、資源重視型炉心も経済性等に配慮して、増殖比が 1.1 程度という低めの炉心となっているので、最終評価ではフェーズ 中間評価と比較すると両者の差は小さく、資源重視型炉心の結果を中心に評価結果を説明しても大きな問題は生じないと考えられる。

炉型別の評価結果を図 3.3.19 に、小規模（50tHM/y）燃料サイクル別の評価結果を図 3.3.20 に、大規模燃料サイクル別の評価結果を図 3.3.21 に示す。また、LLFP 分離・核変換サイクル（ケース 1-3）の評価結果を資源重視型（ケース 1-1）、経済型炉心（ケース 1-2）と共に図 3.3.22 に示す。

図 3.3.19 の炉型別の評価結果では、廃棄物発生量（発生体積および占有面積）と被ばく（希釈放出）の指標において差が見られる。単位発電量当たりの放射性廃棄物発生量（発生体積）の評価では、単位発電量当たりの発生量（体積）が大きな低レベル廃棄物が重視される。特に炉の

廃止時の低レベル廃棄物量が支配的である。ヘリウムガス冷却炉サイクル（ケース 9-1 およびケース 9-2）では、タービンも含めて放射性廃棄物となり、またそれらを含む格納容器も大きいいため、廃止時の放射性廃棄物発生量が増加する。一方、水冷却炉サイクル（ケース 10）では、BWR タイプのため、ヘリウムガス冷却炉の場合と同様にタービン等が放射性廃棄物となると考えられる。そこで、全体として廃止時の放射性廃棄物が増加することが想定される。また、他の炉型に比べてやや熱効率が低いために、単位発電量あたりの廃棄物発生量（体積）では不利な評価結果となっている。さらに、燃焼度も低く、燃料サイクル施設の廃止時の放射性廃棄物量も単位発電量あたりに換算すると大きくなる。

サイクル施設から発生する放射性廃棄物は、サイクル施設での処理量、あるいはサイクルを還流する核物質と正の相関がある（設計データ算出にあたっては、放射性廃棄物発生量が処理量に比例すると想定した施設もある）。したがって、同じ発生電力量ならば、高燃焼度炉心を利用する FBR サイクルの方が、サイクル施設で処理される核物質量は少ない。そのため、発生電力量当たりで換算すると、高燃焼度炉心を利用する FBR サイクルの方が廃棄物発生量は少なくなる傾向が生じる。このことは、環境負荷低減性の面から見た高燃焼度化のメリットである。

単位発電量あたりの放射性廃棄物発生量（占有面積）による評価では、発熱量も大きく単位発生量あたりの処分場の占有面積が大きい高レベル廃棄物発生量が支配的である。炉型別に見ると、熱効率の違いが評価結果の違いにおおよそ対応している。これは、高レベル廃棄物の作製方法がほとんど変わらないときには、高レベル廃棄物の発生量を規定する核分裂生成物発生量は核分裂量にほぼ比例すること、発電電力量が熱効率に比例することから、単位発電量あたりの放射性廃棄物発生量（占有面積）は、熱効率に反比例するからである。特にヘリウムガス冷却炉は、熱効率が最も高く、評価結果が良好となった。評価結果の差はそれほど大きくないが、次いでナトリウム冷却炉、鉛ビスマス冷却炉、水冷却炉の順となっており、冷却材温度の違いに起因する熱効率の違いと整合している。

放射性毒性については、評価手法を説明した箇所で記述したとおり、処分から 1000 年後における高レベル廃棄物と地層処分型低レベル廃棄物に含有される放射性廃棄物を仮想的に経口摂取した場合の単位発電量当たりの被ばく線量当量（Sv/kWh）で評価した。1000 年後の放射性毒性の評価結果については、廃棄物に移行するアクチニドの量が大きな影響を及ぼすため、再処理施設的设计への感度が大きい。また、燃焼度の大きな燃料サイクルについては、単位発電量当たりで比較すると廃棄物に移行する物質の絶対量が小さくなるので、良好な結果となる。全体的に FBR サイクル候補概念は、マイナーアクチニドまで含めたアクチニドリサイクルを行い、かつ燃焼度も高いので、評価結果が良くなると考えられる。

埋設処分する廃棄物からの被ばくに関しては、高レベル廃棄物処分場及び地層処分型低レベル廃棄物処分場からの最大被ばく線量当量率について評価することとした。現時点では、この両者の廃棄物は近接して処分される可能性が高いとされている。フェーズ 中間評価との違いは、基準となる燃料サイクルを決めるのではなく、被ばく線量当量率から基準を取ったことであり、全体として評価結果が高くなった。各 FBR サイクル候補概念から環境に出される放射性廃棄物中の放射性核種が地下水移行し、将来の地上に暮らす人へ与える最大被ばく線量当量率は、炉型別に見てもそれほど大きくは変わらない。これは、各候補概念については、最大被ばく線量当量率を与える核種が処分場に移行することを防ぐための特別な措置を講じていないことによる。評価結果の若干の相違は、主に熱効率の違いに対応しているが、廃棄物組成の違いもわずかに評価結

果に影響していると考えられる。なお、最大被ばく線量当量率を支配する核種はヨウ素 129 であると考えられる。

希釈放出による被ばくでは、単位発電量当たりの被ばく線量当量を評価している。したがって、原子炉サイトや核燃料サイクル施設の周辺における個人や集団の被ばく線量当量をそのまま評価しているわけではなく、安全性の評価とは少し違った観点から FBR サイクルシステムを評価している点にも注意されたい。水冷却炉は ABWR と同様と想定したため、主蒸気系の気密性がナトリウム冷却炉のカバーガス系やヘリウムガス冷却炉の主冷却系の気密性よりも劣る評価となっており、相対的に低めの評価結果となった。鉛ビスマス冷却炉サイクル、ナトリウム冷却炉サイクル、ヘリウムガス冷却炉サイクルについては、それほど大きな差は生じないが、鉛ビスマス冷却炉はカバーガスのバウンダリ外への漏洩率が低いこと、ヘリウムガス冷却炉は、主冷却系の気密性が HTTR 並みに高くできると想定していることと放射能減衰のための浄化設備を設けていることから、ナトリウム冷却炉と比較して被ばく線量率が小さくなっている。これらの評価については、バウンダリ外への漏洩率などに関して設計の具体化にあわせて適切な値を検討していく必要がある。なお、原子炉やサイクル施設からの海洋放出被ばくについては一定量であると想定しており、評価結果に大きな差を生じない。

燃料サイクル別の評価結果を図 3.3.20 および図 3.3.21 に示す。放射性廃棄物発生量（占有面積）に関する各ケースの相違が大きくない中で、ケース 6-1、6-2 及び 7-1、7-2 だけは評価結果が低くなっている。これは、金属電解法再処理を行うこれらのケースでは、ゼオライトに FP を吸着させることによって人工鉱物（ソーダライト）を作製するが、そのときソーダライト中に含有できる FP の量が少なく、単位発電量にほぼ比例する FP の発生量あたりの高レベル廃棄物（人工鉱物）の量が多くなってしまふからである。この評価結果は基本的にはフェーズ 中間評価と同様である。しかし、廃棄物からの発熱量が少なくなれば廃棄物を大型化し発生個数を減らしたり、処分場でより稠密に処分できたりする可能性もある。そこで、乾式再処理（金属電解法再処理と酸化物電解法再処理）を行うケース（ケース 5～7）では、発熱量を勘案して高レベル廃棄物発生量を低減できることも想定して評価を行った（図 3.3.18 参照）。その場合、乾式再処理を行なうケースの評価結果はすべて改善され、特に金属電解法を用いる FBR サイクルについては評価結果が大きく伸びる。貴金属については、金属電解法ではセメント固化して地層処分型低レベル廃棄物となり、酸化物電解法では合金として高レベル廃棄物として処分すると想定した。これらの処分形態については、今後検討を深めて評価に反映する必要がある。なお、湿式燃料サイクルから発生するホウケイ酸ガラスに含有できる FP の量についても、（ホウケイ酸）ガラス固化体の高減容化として、充填割合を増加させる検討が進められている。

放射性毒性については、炉型別の評価結果を説明した箇所で記述したとおり、廃棄物に移行するアクチニドの量が大きな影響を及ぼすため、再処理施設の設計への感度が大きい。また、主に炉心燃料の設計に関連するが、燃焼度の大きな燃料サイクルについては、単位発電量あたりと比較すると廃棄物に移行する絶対量が小さくなる傾向があるので、評価結果は良好となる。ただし、現状の設計では、再処理施設の元素移行率は技術的に確定できるものではなく、未だ設計目標値といった意味合いも含まれていることから、評価結果の取り扱いには十分留意する必要がある。実際に設計対応によって、各候補概念の放射性毒性を小さくすることは可能であり、例えば、先進湿式再処理施設の設計では廃棄物に移行するアクチニドを回収するプロセスを設けた結果として、先進湿式再処理法を含む FBR サイクル候補概念は放射性毒性に関して非常に高い評価結果

を得ている。これに対して、酸化物電解法再処理を行う FBR サイクル候補概念では、廃棄物へのアメリカシウムやキュリウムの移行率が大きく、放射性毒性の評価結果は相対的に若干低下した。

各 FBR サイクル候補概念から環境に出される放射性廃棄物中の放射性核種が地下水移行し、将来の地上に暮らす人へ与える最大被ばく線量率は、ケース 1-3 の LLFP 分離・核変換サイクルを例外として各ケースでほとんど変わらない。これは、各候補概念については、最大被ばく線量率を与える核種が処分場に移行することを防ぐための特別な措置を講じていないことによる。なお、乾式再処理を実施したときの廃棄物を処分したときの廃棄体特性については、あまり検討されていない。フェーズ 最終評価では、実用化戦略調査研究における検討結果を一部踏まえて、さまざまな廃棄物についても基本的には現状の廃棄物と同様の特性を持つ（溶解速度など）であると想定して、インベントリの変化が被ばく線量率に反映されるとした。

燃料サイクル別の希釈放出被ばく結果については、全体としては炉型による違いが支配的なので、評価結果を左右するような差は生じなかった。なお、上述したように、海洋放出被ばくは一定量であると想定しており、評価結果に大きな差を生じない。

ケース 1-3 の分離核変換サイクルの評価結果を図 3.3.22 に示す。このケースでは、テクネチウム及びヨウ素の核変換を行なうことを想定したが、これによって廃棄物からの被ばく線量率の低減が期待できる。フェーズ 最終評価では、ヨウ素の分離・核変換を想定して、埋設処分場からの被ばく線量率が他の概念に比べて小さくなると評価した。セシウムやストロンチウムについては、発熱を低減するための貯蔵を行なった後に高レベル廃棄物以外の廃棄物（例えば、余裕深度処分型低レベル廃棄物）として処分できる可能性もある⁸⁵⁾が、フェーズ 最終評価では高レベル廃棄物として処分することとした。したがって、高レベル廃棄物中の酸化物量を低減する効果はほとんど現れない。また、モリブデン分離の効果として、ガラス固化体の安定性向上よりも、むしろモリブデンを高レベル廃棄物から除去することによって、他の FP をより多く処分できる効果が表れており、放射性廃棄物発生量（占有面積）の評価結果が良好になった。以上のことから、分離や核変換を行う場合には、状況や狙いに応じて費用対効果のあがるような対象と方策を採用すべきであることがわかる。

環境負荷低減性については、FBR サイクルが与える環境負荷あるいは環境影響をどのように捉えるかによって、また、設計の考え方や定量的データの取得できる範囲、それに基づく評価範囲によって結果が大きく変わるため、今後も新たな知見も取り入れながら適宜見直していく必要がある。逆に環境負荷をどのように捉えて実用化への研究開発を進めていくのかについて、議論の余地があると思われる。今後の検討にあたっては、バックエンド関係者との十分な連携が望まれる。

3.3.4 資源有効利用性の評価結果

ここでは、前記 3.1.2.5 項で既述された資源有効利用性の評価構造と重み付けの考え方に基づいて算出した資源有効利用性の一次評価指標（持続利用可能性、資源節約性）の評価結果について述べる。また、それぞれの一次評価指標の効用値に重み付け加算処理を施し、資源有効利用性として一元化した効用値を用いて多面的評価対象概念全 20 ケースの比較結果をまとめる。

(1) 資源有効利用性の一次評価指標用評価データ

資源有効利用性の一次評価指標に選定された持続利用可能性と資源節約性は、それぞれ表 3.3.14 に示される天然ウラン利用効率と天然ウラン累積需要量に基づいて定量化される。この中で持続利用可能性を導くための天然ウラン利用効率は、各評価対象概念の設計データとして提示された炉心全体の平均燃焼度 $B(\%)$ 、再処理や燃料製造でのロス率 $L(\%)$ を基に $B / (B+L) \times 100$ から導出された計算結果である。一方、資源節約性の評価に用いる天然ウラン累積需要量は、国内で軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行を想定した場合のウラン需要量を示しており、ここではサイクル諸量解析コード FAMILY-21³⁾⁴⁸⁾ の計算結果を採用している。

(2) 持続利用可能性の評価結果

持続利用可能性の評価結果として、ウラン利用効率と効用値の関係を図 3.3.23 に示す。評価対象概念全 20 ケースのウラン利用効率は 98.6% ~ 94% の高い水準にあるため、効用値のうえでは 0.99 前後の高い効用が期待される。また、効用値が比較的狭い範囲に分布していることから、持続利用可能性の視点では概念間の差は小さい。

(3) 資源節約性の評価結果

資源節約性の評価結果として、天然ウラン累積需要量と効用値の関係を図 3.3.24 に示す。資源節約性の高い概念はフィッサイル-プルトニウムインベントリが最も小さいナトリウム冷却大型炉金属燃料（ケース 6、7）であり、効用値のうえでは資源重視型炉心と経済性重視型炉心においてそれぞれ 0.6 程度の高い効用が期待される。それに次ぐ高い効用が見込まれる候補概念としては、資源重視型炉心を採用したナトリウム冷却大型炉 MOX 燃料（ケース No：1-1、3-1、4-1、5-1）と鉛-ビスマス冷却中型炉窒化物燃料（ケース No：8-1）で、それぞれの効用値は 0.5 前後に位置している。一方、フィッサイル-プルトニウムインベントリが比較的大きいヘリウムガス冷却炉（ケース 9）や水冷却炉（ケース 10）の効用値は全体の中で低い方に位置し、とくに水冷却炉の天然ウラン累積需要量は 2300 年頃に約 136 万トンと見込まれ、目標の許容値（在来型資源約 1440 万トンの 10%）に迫る結果となった。

(4) 資源有効利用性の評価結果とまとめ

図 3.3.25 に評価ケースのシステム構成と資源有効利用性の効用値を評価結果として示す。また、資源有効利用性の効用値については、重み付けを考慮した持続性利用可能性と資源節約性をそれぞれ内訳として表示している。

多面的評価対象概念全 20 ケースの資源有効利用性の効用を横断的に評価すると、持続利用可能性については 20 概念間で有意な差がみられないことから、もう一方の一次評価指標である資源節約性が評価結果の支配因子になり得ることが分る。資源有効利用性については、ヘリウムガ

ス冷却炉や水冷却炉に比べ液体金属冷却炉の効用が高い傾向を示し、とくにフィッサイル-プルトリウムインベントリが小さいナトリウム冷却大型炉金属燃料では、資源重視型炉心と経済性重視型炉心の双方で最も高いポテンシャルが期待される。

3.3.5 核拡散抵抗性の評価結果

核拡散抵抗性についても、設定した評価構造及び評価基準にしたがって、評価を行なった。20 ケースの FBR サイクル候補概念の評価結果からは、全体として大きな差がみられなかった。核拡散抵抗性については、全体の評価構造が複雑なので、2 次指標レベルでの全ケースに対する評価結果を図 3.3.26 に示す。なお、詳細な指標まで図示した結果を図 3.3.27 に示す。また、他の評価視点と同様に図 3.3.28 に炉型別の評価結果、図 3.3.29 および図 3.3.30 に燃料サイクル別（小規模：50tHM/y、大規模：200tHM/y）の評価結果を示して説明する。

まず、制度的核拡散抵抗性については、全ての候補概念で目標となる基準を達成する見通しであるために差が付かない。制度的核拡散抵抗性の範疇に入るものとして、保障措置、核物質防護、輸出管理があげられる。輸出管理については、設計によらず、遵守されることが考えられる。原子炉プラントシステムについては、保障措置や核物質管理について特に問題があるとは考えられていない。他方で燃料サイクルシステムについては、湿式燃料サイクルに関しては、既に保障措置設計や具体的な核物質防護手段を確定して実施した経験があり、低除染の燃料サイクルであることの困難さはあるものの、核不拡散制度に対応できる見通しはほぼ明確である。乾式燃料サイクルに関しては、核物質防護は設計が詳細になるまで進んでから具体的な適用手法を検討することになるが、どの概念にも大きな問題があるとは考えられていない。保障措置に関しては、核物質の分析におけるサンプルの代表性を確保する手法を検討中であり、具体的に保障措置手法を設計するためには、今後の技術開発が必要であると考えられる。

炉型別の評価結果を図 3.3.28 に示す。炉型によって評価結果に大きな差は生じていない。サイクル別の評価結果についても言えることであるが、制度的核拡散抵抗性の重みは核拡散抵抗性全体の半分を占めており、技術的特徴の細かい差に比べて、制度的核拡散抵抗性の重要さを示すとともに、結果としても各候補概念間で大きな差が生じない原因となっている。ただ、水炉サイクル（ケース 10）については、プルトニウム富化度が高く、アクチニドの高次化が進んだ燃料組成となるので、結果として核兵器原材料に必要なプルトニウムは少ないものの、高次化したアクチニドのために発熱量等は大きくなり、核兵器非魅力性は高くなる。他のケースについては、多重平衡サイクルを行ったときの状態によってわずかな差が生じたもので、大きな差は生じなかった。結果として、どの炉型も核拡散抵抗性の評価結果としては同程度となった。

燃料サイクル別の評価結果についても、ほとんど差は見られない。ただ、小規模施設の場合でも、大規模施設の場合でも、若干プルトニウム富化度の高い金属が存在する金属電解法再処理・射出鑄造燃料製造では、やや評価結果が下がることとなった。しかし、この違いは小さく、今後の評価手法の改良や転用経路の設定によっては、変わりうるものである。

フェーズ Ⅱ の最終評価では、核不拡散制度についてはいずれの概念も対応できるとして、全て合格と判断した。ただし、金属電解法に適用する保障措置については、フェーズ Ⅱ の設計研究の結果から、従来の保障措置手法を適用すると実用化への障害となる恐れがあるので、入出量計量管理の技術開発を進めることや、ニアリアルタイム検認の適用方法を確立する等の課題があると考えられる。

また、保障措置や核物質防護、輸出管理といった核不拡散制度や関連基準についても不変ではない点には留意すべきである。現在、核不拡散制度も変革期にあり、今後大きく変更される可能性もある。また、ブッシュ米大統領やエルバラダイ事務局長などが核不拡散について新たな提案を行い、米国から GNEP（Global Nuclear Energy Partnership）が発表されたことは記憶に新

しい。GNEP は核不拡散分野に限定された計画ではないものの、全体の目標の中で核拡散抵抗性や保障措置が重視されていることは事実であり、核拡散抵抗性の評価にあたっては大きな影響を及ぼす可能性がある。いずれにしても、核不拡散制度（特に保障措置）は、最終的には各国および国際機関（事務局）との交渉や検討によって決まる面が大きいので、将来制度が明確になっていないうちに、将来制度の実現を前提とした評価を実施することは危険な面を孕んでいる。

技術的核拡散抵抗性のうち、接近性については、各候補概念で差が生じなかった。特に燃料サイクルの施設は、低除染（つまり高放射線）の燃料を扱うためにセル構造を採用しており、非常に丈夫な（壁の厚さが 2m）コンクリート造りのため、破壊行為などに対しては強靱であると考えられる。また、核物質を直接扱う場所への接近しやすさについても、基本的に人間が近接して作業することがほとんどないと考えられるため、例えば、グローブボックスなどを用いて作業する施設に比べて難しいと考えられる。核物質の性質に基づく接近しやすさについては、転用の対象となりうる FBR サイクル内の核物質の放射線（ γ 線）を目安として評価することとした。より詳細に検討するには、アクチノイドによる中性子線を考慮すべきであるが、中性子線による線量は γ 線と比較して低く、ここでの評価結果に大きな影響はないと考えられる。おおまかに言って再処理方式によって差が生じており、より低除染の FBR サイクルの方が評価値は高くなる。金属電解再処理に関しては、希土類について非常に低除染であって製品側にかなり移行するものの、 γ 線を多量に放出する核種を含む元素については、廃棄物側に移行する割合が大きいので、評価値がそれほど高くならなかったと考える。

難取扱性については、どの FBR サイクル候補概念もほとんど評価値がなかった。これは、最終評価では、さまざまな起点物質を想定したが、固体である燃料の状態が最も評価結果が低くなり、すべてのケースで固体を起点とする評価を行ったためである。

難単離性については、水冷却炉のケースや金属燃料のケースなど、プルトニウム富化度等によって若干結果が異なるものの、概念ごとの差は大きくなかった。単離を行う施設についてもほとんど差はなく、それに必要な時間も大きな差はないと想定されたからである。

核兵器非魅力性については、炉型別に検討すると、燃料中のプルトニウムの高次化が進む水冷却炉がわずかに良好だったものの、全体的にはやはり大きな差にはならなかった。

総じて、技術的核拡散抵抗性の違いによる影響はわずかであり、全体の評価結果（効用値）としては数パーセントの差である。この結果は、設計の進捗状況や想定条件の不確実性を考慮すると有意なものではなく、評価手法の違いや、新たな転用経路の検討などで順位が変わりうる程度の差異であると思われる。なお、ブランケットなどからの転用経路も別途想定したが、ここに示した結果とほとんど違いはなかった。この点についても、今後の評価手法の改良などで変わりうる可能性があると考えている。

評価手法に関する今後の課題としては、Gen IV の PRPP（Proliferation Resistance and Physical Protection）ワーキンググループの動向なども踏まえて、核拡散抵抗性と核物質防護を分けて評価することなどが検討課題であろう。この場合、核拡散抵抗性については、国による核爆発装置の製造を考え、核物質防護は、国以外の集団について評価を実施することが考えられる。ただし、国をあげての転用について検討した場合、小集団による転用を評価したときと比べ、転用時間と核物質の組成などによる核拡散抵抗性が中心的な要素になるものの、それら技術的な障壁の持つ意味は非常に小さくなることが予想される。そこで、今後は、実用化戦略調査研究において核拡散抵抗性の持つ意味をどのように考えるのかが問われることになるだろう。

また別の課題として、FBR サイクルについて核拡散抵抗性の高い技術であると認められる場合には、核不拡散制度の適用を緩和できることが望ましい。そのためには、わが国の FBR サイクル技術と核不拡散への取り組みが「ベストプラクティス」であることを国際的に認知させること等が重要であると思われる。

3.3.6 技術的実現性の評価結果

(1) 技術的実現性の効用値の算定

技術的実現性の評価に際し、評価指標のデータの性格から効用値の算定方法を以下のようにした。開発容易性(開発資金、開発期間)と開発リスク(開発資金幅、開発期間幅)の評価指標は定量指標であり、フェーズ終了後から実用初号機が設計できる技術レベルに到達するまでのロードマップをベースに算定した。研究開発柔軟性の評価指標は定性指標であり、設計担当者等の工学的判断に基づいた。いずれも、炉プラント、炉心燃料、再処理、燃料製造の4分野の視点から、各設計担当者等へのヒアリングにより得られたデータが基となっている。ここで、1つの指標項目に対し4つの分野のデータが得られるため、開発資金と開発資金幅については4分野の合計額(ただし、炉心燃料の開発費用や期間は炉プラントの費用や期間に含めているため、加算は3分野の合計となる)で評価し、開発期間と開発期間幅については、ネックとなる技術に影響されることを考慮し最長期間で評価した。一方、研究開発柔軟性は可能性や影響程度を示すものであり、4つの分野を総体的にみて評価するため、4分野の効用値の平均値で評価した。

表 3.3.15 に各候補概念の開発資金の比較を示す。ここで、開発資金はフェーズ終了後から実用初号機が設計できる技術レベルに到達するまでの期間の高速増殖炉システム及び燃料サイクルシステムの開発資金の合計である。これには、研究開発費、実験炉/実規模システム試験施設(炉側)や工学規模ホット試験施設(燃料サイクルシステム側)など実用化に必要と考えられる施設の建設費、「常陽」や「もんじゅ」を活用した研究成果を利用する場合はその維持管理費と運転・管理のための人件費、FBRサイクルの研究開発に従事する人員の人件費等が考慮されている。開発期間は開発資金の算定と同じ期間であり、実用初号機が設計できる技術レベルに到達するまでの期間、すなわち、実用化初号機に先立つ実規模システム試験炉での運転経験を3年積んだ後とした。資源重視型炉心と経済性重視型炉心との間で開発資金は同じであるため、一方のみを示した。水炉は低く、鉛ビスマス炉やヘリウムガス炉はやや高めであるが、全体平均でみれば一つの候補概念あたり約1兆円前後の開発資金となる。

(2) 炉システムの技術的実現性の評価結果

炉システム別の技術的実現性の評価結果を図 3.3.34 に示す。図は、燃料サイクルシステムとして、先進湿式再処理+簡素化ペレット製造(He炉のみ被覆粒子燃料製造)と組み合わせた場合の評価である。炉システムの種類は技術的実現性に大きな相違を与えた。ナトリウム冷却大型炉サイクル(MOX燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造)と水冷却大型炉サイクル(MOX燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造)とが比較的技術的実現性が高く、鉛ビスマス冷却中型炉サイクル(窒化物燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造)とヘリウムガス冷却大型炉サイクル(窒化物被覆粒子燃料、先進湿式再処理、被覆法燃料製造)は比較的低いケースとなり、2つに分かれた。

このような相違の要因としては、ナトリウム炉や水炉は開発経験があるため、ある程度技術が見通せる部分もあり、その差は主に開発資金や開発期間に直接現れているためと考えられる。特に水炉は、現状軽水炉技術が利用でき、開発要素が少ないことが利点であり、技術的実現性は最も高い。ナトリウム炉と水炉との効用値の相違は0.1程度である。この相違は、開発期間はナトリウム炉も水炉も20年で変わらないが、水炉は今後プラントの開発が不要であると想定したFBRサイクル候補概念であるため、開発資金がナトリウム炉の約半分と少ないことである。水炉

の開発資金としては、主にジルカロイの被覆管材料の開発といった燃料関係の要素技術開発と、高転換型実規模プラントを建設して高燃焼度化技術を確立するための費用として挙げられている。また、大きな開発課題がないため、代替技術の必要がなく、研究開発柔軟性も高い。

ナトリウム炉も、「常陽」、「もんじゅ」といった開発経験があるため開発容易性は高いが、実用化炉の開発のためにはこれら既存施設の活用も図っていく必要があるため、これらの施設維持費等で開発資金が水炉よりは大きくなる。研究開発柔軟性については、ODS 鋼の代替として FMS 鋼、12Cr の代替として 9Cr、2 重管 SG の代替としてヘリカルコイル型 SG というように、代替手段としてはあるが、システム性能は若干低下すると評価された。

鉛ビスマス炉やヘリウムガス炉の効用値は、達成目標(0.5)を下回る。わが国において既に実用化している水冷却炉、実験炉及び原型炉が完成しているナトリウム冷却炉に比べて、未だ実験炉レベルの炉も国内に存在しない鉛ビスマス炉やヘリウムガス炉については、実験炉の建設も考慮して実用化までの時間や資金も多く必要になる。窒化物燃料の実現にはやや資金も時間も要する上に、窒素同位体(N-15)分離法を開発する必要がある。このように新たな技術開発課題が多いことや、実験炉建設費やその維持費も必要となることから、開発資金や開発期間の増大により効用値は低くなっている。開発手段としては、鉛ビスマス炉は耐食材料開発、酸素濃度制御技術開発、窒化物燃料開発等の課題があり、ヘリウムガス炉は SiC 燃料材料開発の成否が大きなポイントとなる。これらの代替手段は現状では見いだせないことが研究開発柔軟性を低下させている要因となっている。また、ヘリウムガス炉は、再処理施設での前処理として燃料の破碎設備も必要となるため開発資金がアップし、窒化物被覆粒子は前処理技術が確立できないとシステム特性影響においてシステム見直しになることが影響し、鉛ビスマス炉より効用値は若干低い結果となった。

(3) 燃料サイクルシステムの技術的実現性の評価結果

燃料サイクルシステム別の技術的実現性の評価結果を図 3.3.35 に示す。図はいずれもナトリウム冷却炉のケースにおける燃料サイクル別の比較を示したものであるが、燃料サイクルの技術的実現性は炉プラントのような大きな相違はなく、効用値で 0.6~0.7 前後にある。燃料サイクルの比較的共通した開発資金としては、CPF、Pu 燃料製造施設といった既存施設を利用した研究開発を実施するための施設維持費や、工学規模ホット試験を実施するための施設建設費が大きな費用となるため、燃料サイクルシステム間の開発資金にあまり差がない。また、再処理や燃料製造においては、代替技術や代替施設があり、システム特性影響の差としては、システム性能が低下するか、システムの見直しになるかの差である。相対的には、開発期間の差が全体の差となっている。

燃料サイクルシステムの中で、技術的実現性の比較的高いものは、ナトリウム冷却炉における [MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造] システムと [MOX 燃料、先進湿式再処理、振動充填燃料製造] システムである。[MOX 燃料、超臨界直接抽出再処理、簡素化ペレット燃料製造] システムは、主工程がが高圧システムとなるため、技術の不確定性が開発資金や開発期間の増大となっている。[MOX 燃料、酸化電解再処理、振動充填燃料製造] システムは、再処理施設の工学規模ホット試験終了までを考慮した開発期間の長さが影響し、効用値は他と比べてやや低い。

(4) 候補概念に対する技術的実現性のまとめ

各候補概念の技術的実現性の評価結果を図 3.3.35 に示す。ここでは総括的に結果をみている

と、水炉サイクルが最も技術的実現性が高い候補概念である。次いで、ナトリウム炉サイクルであり、特に MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造もしくは振動充填燃料製造と組合せたとき、技術的実現性が高い候補概念となる。水炉サイクルが、炉プラントシステムの開発が不要という極端な特徴を持つ FBR サイクル候補概念であることを考えると、ナトリウム炉サイクルは技術的実現性がかなり高い概念であるといえる。また、ナトリウム炉サイクルで比較すれば、湿式再処理の方が乾式再処理よりも効用値は相対的に大きい。これは開発期間による差が大きく、乾式再処理では開発課題が多く、工学規模ホット試験を実施する工程を見込んでいるため、開発期間としては長くなる。LLFP 分離核変換を意図した FBR サイクルのケースも、ターゲット燃料の開発、I、Tc、Cs と Sr を分離する機能を持つ再処理施設の開発など、開発課題の多さから開発期間が長くなる。

相対的には、各候補概念における技術的実現性の相違は、開発資金と開発期間の差によるところが大きい。ナトリウム冷却大型炉サイクル(MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造)は、多面的評価の技術的実現性の評価においても、実現性は高い概念といえる。また、ナトリウム冷却大型炉サイクル(金属燃料、金属電解再処理、射出鑄造燃料製造)も、再処理の開発期間が先進湿式再処理よりは長いものの、多面的評価の技術的実現性の評価は高い。さらに、ヘリウムガス冷却大型炉サイクル(窒化物被覆粒子燃料、先進湿式再処理、被覆法燃料製造)は、多面的評価の技術的実現性の評価結果からは最も低い実現性であった。しかし、多目的利用等や、GIF プロジェクト等の国際協力による基礎的課題等の解決の可能性もあり、多様なニーズに対応できるメリットをもつ概念である。

3.3.7 事業容易性の評価結果

(1) 事業容易性の効用値の算定

事業容易性の評価に際し、効用値の算定方法は以下のようにした。炉プラント、炉心燃料、再処理、燃料製造の4分野において、各設計担当者等へのヒアリングにより得られたデータを基にこれら4つの効用値の平均値で評価した。ここで、操業容易性に関しては、炉心燃料用施設はプラントや燃料製造施設のいずれかに包含されるため3分野のヒアリング結果を基にこれら3つの効用値の平均値で評価した。

(2) 炉システムの事業容易性の評価結果

炉システム別の事業容易性の評価結果を図 3.3.34 に示す。図は、燃料サイクルシステムとして、先進湿式再処理 + 簡素化ペレット製造 (He 炉のみ被覆粒子燃料製造) と組み合わせた場合の評価である。各炉型とも効用値に大きな差はないが、ナトリウム冷却炉の事業容易性が比較的高い。水冷却炉は保守・保修性は良いが、サイクル変更多様性における増殖比変更において、増殖比 1.1 程度までが限界と考えられることや、LLFP 分離・核変換の点で難しさがあるため、サイクル変更多様性が低くなっている。鉛ビスマス冷却炉は、炉プラントの工事期間が短いことが建設容易性を若干有利にしているが、ビスマス製造施設のようなインフラが必要となることや、材料腐食や質量移行、ポロニウムの放射化による被ばくの課題があるため保守補修性もやや低い。ヘリウムガス冷却炉は、可視化できるためナトリウム炉よりは保守補修性の点で有利であり、炉内機器の引き抜きが可能な設計となっている点などから廃止容易性の点で有利であるが、SiC 製造施設や窒素同位体(N-15)の分離施設のインフラが必要となること、炉プラントの工事期間が長いこともあり、炉システム間の比較においては最も効用値は低かった。

(3) 燃料サイクルシステムの事業容易性の評価結果

燃料サイクルシステム別の事業容易性の評価結果を図 3.3.35 に示す。図はいずれもナトリウム冷却炉のケースにおける燃料サイクル別の比較を示したものである。大きな差ではないが燃料サイクルの候補概念による差がある程度でている。

[MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造]システムの事業容易性が最も高かった。次いで、[MOX 燃料、超臨界直接抽出再処理、簡素化ペレット燃料製造]システム、次に[MOX 燃料、先進湿式再処理、振動充填燃料製造]システムや[MOX 燃料、酸化物電解再処理、振動充填燃料製造]システム、最も低かったのは[金属燃料、金属電解再処理、射出鑄造燃料製造]システムとなった。

超臨界再処理法は、主工程が高圧システムとなるため、圧力制御やバッチ処理の面でやや難しさがあり、運転操作容易性や保守補修容易性がやや低い。酸化物電解や金属電解法もバッチ処理のため、運転操作容易性や保守補修容易性はやや低いことと、Sr の分離回収が困難と予想されるためサイクル変更多様性もやや低い。湿式の振動充填法は、臨界制限により機器の大型化は困難であり、乾式の振動充填法はバッチ処理のため1ラインの大型化は望めないため、容量変更性がやや低い。金属電解 - 射出鑄造法は、ODS 鋼の製造施設に加え、金属ウラン 238 の精錬施設等のインフラが必要であること、輸送の点では燃料の発熱対策やボンディング Na の流動防止策にやや難しさがあり、効用値は最も低かった。

(4) 候補概念に対する事業容易性のまとめ

各候補概念の事業容易性の評価結果を図 3.3.36 に示す。総括的に結果をみれば、候補概念間で大きな相違はないが、[ナトリウム冷却、MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造]システムは相対的に事業容易性が高い候補概念であるといえる。200t/y 大規模処理施設は、廃止容易性などの点で現行施設と同程度と想定されるが、50t/y 小規模処理施設は規模が小さい分やや易と考えられ、[ナトリウム冷却、MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造]システムの 50t/y 小規模処理施設が最も効用値は高かった。

相違を与えた評価指標項目の主な点について述べれば、次のようである。

運転操作容易性で相違を与える要因は、再処理システムにおいて、高圧系設備となるものやバッチ処理となるものはやや難しさがあることがマイナス要因となった。

再処理施設からの輸送容易性については、燃料製造施設と一体型の施設となるため、施設間の輸送がなくなるというメリットがある。輸送上のデメリットは、ナトリウム冷却炉の場合、燃料の熱的対策や金属燃料の場合のボンディング Na の流動防止策が必要となることである。

保守補修容易性は、現行軽水炉との比較においてはナトリウム炉の方が一般的にやや難と考え、特に再処理システムで超臨界の高圧系設備の検査、窒化物の前処理、酸化物電解や金属電解のバッチ処理による保守回数の増加などが考えられることがさらにマイナス要因となって相違がでている。

サイクル変更多様性では、LLFP 分離・各変換において、主に再処理システムの酸化物電解法や金属電解法において一部の核種(Sr)が分離困難であることがマイナス要因となって相違がでている。

容量変更性の大型化については、鉛ビスマス炉の耐震上の問題からの困難性、再処理システムや燃料製造システムでは、機器の臨界制限やバッチ処理による 1 ラインの容量限界からの困難性がマイナス要因となって相違がでている。

総括すれば、ナトリウム冷却大型炉サイクル(MOX 燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造)は、多面的評価の事業容易性の評価においても効用値は相対的に高く、実現性は高い概念といえる。また、最も低い事業容易性を示したナトリウム冷却大型炉サイクル(金属燃料、金属電解再処理、射出鑄造燃料製造)でも相対的な相違はそれほど小さくなく、バッチ処理や熱的対策に起因するデメリットから運転、保守、輸送といった点で対策、改善を図ることにより事業容易性の向上はある程度望まれると考えられる。

3.3.8 社会的受容性の評価結果

社会的受容性の評価においては、FBR サイクル候補概念への心理的許容度を評価するため、普通の市民へ直接アンケートすることにより、総合態度を構成する要因を分析し、その要因モデルを基に FBR サイクル候補概念に対する心理的許容度として評価すべき要因を抽出し、抽出された因子とアンケート結果の評価点から、評価構造と重みを決定し、効用値を算定して、FBR サイクル候補概念間の比較評価を行った。以下、このような流れに沿って結果を示す。

(1) アンケート調査結果

FBR サイクルを構成する各技術に対する恐怖性、未知性（技術面、理解面）及び総合態度についてのアンケート調査結果を図 3.3.37、図 3.3.38 に示す。

8段階回答のうち「どちらともいえない」の回答割合は3割程度、「わからない」の回答割合は1割程度であり、6割はどちらかの態度を示していた。全体の傾向としては、やや態度B)側の比率が高く、恐怖性、未知性に懸念があるようである。

(2) グループインタビュー結果

(a) 炉候補概念に対する評価

全体として内容があまり良く分からないという意見が多かったなかで、4つの候補を比較すれば、ヘリウムガス冷却炉に最も肯定的な意見が寄せられた。その理由は、ヘリウムガスが身近であること、化学的に安定であることなどであった。逆に最も否定的であったのは鉛ビスマス冷却炉で、その理由は、「腐食」への恐れであった。これは、近年の原子力発電所で発生した事故によるイメージからの連想が強く表れていると推測された。ナトリウム冷却炉については、「水と激しく反応」すること、またもんじゅ事故のイメージから否定的な意見が多かったが、一方で、もんじゅで既に事故も経験しているのでこの先は大丈夫ではないか、といった経験を重視する意見も挙げられた。水冷却炉については、水という物質や軽水炉での経験からの安心感はあるものの、「高い圧力」への不安が挙げられた。

(b) サイクル候補概念に対する評価

全体として炉候補概念以上に難しく良く分からないという意見が多く、未知の部分が多いなかでの評価という状況であった。その中で、肯定的あるいは否定的なイメージを形成する要因がいくつか挙げられた。

肯定的要因

a. 「簡素なもの」「少ない機器からなる一貫した工程」

複雑な構造やプロセスに対する不安感が大きく、仕組みが簡素なものに対して肯定的な評価となる。

b. 「毒性を弱める・毒性の強いものを再利用」

毒性を弱めたり、毒性のある物質を減らすことができる技術には肯定的意見が多い。一方で、そもそも毒性のある物質を扱うことに対する不安の意見も見られた。

c. 「核兵器の材料として利用されてしまうことを抑制」

核兵器への転用を懸念する意見が多く、これを抑制する技術へ肯定的な評価が与えられた。

否定的要因

a. 「廃棄物の処理技術を確立」

放射性廃棄物に対する懸念が強く、処理方法が確立されていない技術について不安との評価であった。

b. 「遠隔操作」

遠隔操作に安全なイメージがある一方で、自動化に対する不安や困難視する評価であった。

c. 「新たな施設を追加」

分離変換処理を追加する候補概念に対して、放射性物質を扱う施設が多くなればそれだけリスクが増すとの懸念が表明された。

(3) アンケート結果に基づく受容性の効用値

炉システム及びサイクルシステムの各技術に対するアンケート調査結果に基づき、普通の市民の受容性の視点からの効用値を次のような手順で導いた。

各技術に対する最終的な受容の態度を、アンケート調査における総合態度の回答結果から直接算出した。まず、8段階回答のうち「わからない」を除いた。この回答割合は、炉技術で10%未満、サイクル技術では炉技術より若干増えて10%前後であった。残りの7段階回答を「安心して受け入れられる」を1.0、「不安で受け入れられない」を0.0としてその間を6等分して評価基準の効用値として割り付けた。それぞれの技術に対してこれらを集計して得られた効用値を図3.3.39、図3.3.40に示す。炉システムでは、ヘリウムガス炉、水炉の受容性が他をやや上回る結果となった。燃料サイクルシステムでは炉システムに比べると候補間の差は小さかった。

(4) 社会的受容性の評価構造と重み付け

社会的受容性の評価構造に対する重み付けを行うため、アンケート調査で得られた結果から総合態度を構成する要因を分析した。炉システム及びサイクルシステムについて、「FBRサイクル候補への心理的許容度(社会的受容性)」を、「FBRサイクル開発への態度」、「FBRサイクル候補のリスクイメージ」といった項目群で重回帰分析(一括投入)したところ、表3.3.16に示すような回帰結果が得られた。「FBRサイクル開発への態度」は、各サイクル候補概念に共通する要因であり、ここでの評価構造の考察からは除外して考える。この結果から、サイクル候補概念に対する心理的許容度の評価構造として図3.3.41のような構造を設定した。次に、炉とサイクルの標準偏回帰係数の平均をとり、社会的受容性の下位指標の重みとした。

FBRサイクル候補概念に対する心理的許容度の評価構造としては、「恐怖性」(重み0.5)、「未知性」(重み0.5)といったリスクイメージの要因が評価指標として抽出され、両者の重みは同等であった。「未知性」においては、その下位指標として技術的な側面としての「既知技術」(重み0.1)と、理解的な側面としての「理解容易度」(重み0.4)が挙げられ、「理解容易度」にやや重みが付けられた。

(5) FBRサイクル候補概念に対する社会的受容性の評価結果

(4)項の社会的受容性の評価構造とその重みに基づき、(3)項の炉システムと燃料サイクルシステムの各候補概念に対して得られた効用値とを組み合わせ、サイクル候補概念に対する効用値を

算出した結果を表 3.3.17 に示す。また、炉システム間の比較を図 3.3.42 に、燃料サイクルシステム間の比較を図 3.3.43 に示す。

炉システムでは、ヘリウムガス炉、水炉の受容性が他をやや上回り、これらの技術は他の技術に比べると恐怖性が低く、既知性が高いことがうかがえる。サイクルシステムでは炉システムに比べると候補概念間の差は小さかった。

本評価結果は、グループインタビューで明らかにされたように、必ずしも技術の内容を理解した上での評価ではなく、いくつかの鍵となる用語を断片的に読み取ったうえでの評価であることに十分注意する必要がある。特に炉システムではこの傾向が強いことが差となって現れ、燃料サイクルはそもそもよく分からないということから差がでにくいものとなったといえよう。

表 3.3.1 ナトリウム冷却炉の安全性評価結果(1/3)

下位指標名		
設計基準事象に関する決定的安全評価	設計基準事象の選定	<p>初期事象を網羅的かつ体系的に摘出し、事象推移と影響の大きさを考慮して包絡関係を整理して「運転時の異常な過渡変化」および「事故」として代表的な事象を選定した。</p>
	炉心燃料の健全性確保	<p>炉心燃料の健全性確保の観点から結果が厳しくなりうるのは、炉心に流入する1次冷却材流量が減少する流量減少型事象および炉心出力が上昇する過出力型事象であり、これらのカテゴリーのうち、代表的な事象について解析を実施した。</p> <p>流量減少型事象については、選定された事象のうち、最も流量減少が急激な1次ポンプ軸固着を対象とした。結果として、燃料、被覆管、冷却材の最高温度、被覆管 CDF (クリープ損傷和) のいずれも安全性評価基準を満足した。</p> <p>過出力型事象では、制御棒誤引き抜きを対象とした。原子炉の出力運転中に制御棒駆動機構の故障や運転員の誤操作により制御棒1本が連続して引き抜かれることによって、炉心に異常な正の反応度が挿入され、原子炉出力および燃料温度等が上昇するが、燃料、被覆管、冷却材の最高温度、被覆管 CDF のいずれも安全性評価基準を満足した。</p>
	ナトリウムの化学反応抑制 (ナトリウム冷却炉に特徴的な事象)	<p>ナトリウムの化学反応抑制の観点から蒸気発生器伝熱管漏洩と冷却材漏洩について評価した。</p> <p>蒸気発生器伝熱管漏洩事象に関しては、蒸気発生器伝熱管に2重管を採用し、共通要因による内外管の同時破損と内管破損による外管の従属破損を極力防止することとしており、内外管が異なる要因によって破損した場合までを考慮しても、水漏洩発生可能性は極めて低く、かつ、仮に漏洩が生じた場合にも、その漏洩率は極小規模に限定されうることから、本事象が安全上問題となることはない見通しである。</p> <p>冷却材漏洩事象に関しては、酸素濃度2%の窒素ガス雰囲気を実定しているエンクロージャ内でのナトリウム燃焼解析を実施した結果、エンクロージャの最高温度は、漏洩ナトリウム温度を10上回る程度であり、かつ、燃焼に伴う雰囲気圧力の上昇もわずかであるので、エンクロージャのナトリウム保持機能は確保されとの見通しが得られた。</p>
	被ばく評価	<p>炉心燃料健全性にとって厳しい結果を与えると考えられる1次ポンプ軸固着および制御棒誤引抜においても燃料健全性は維持される。このため、格納容器内への有意な放射性物質放出をもたらす事象は、設計基準事象の範囲では想定しがたい。</p> <p>そこで、通常運転状態において偶発的要因によって一部燃料の破損がありうることを考慮した上で、「1次冷却系配管破損」および「原子炉カバーガス漏洩(1次アルゴンガス漏洩)」を想定して評価した結果、周辺公衆の実効線量は、それぞれ7×10^{-4} mSv/事象、3×10^{-2} mSv/事象程度以下となり、判断基準の5mSv/事象を満足した。</p>

表 3.3.1 ナトリウム冷却炉の安全性評価結果(2/3)

設計拡張条件に関する決定的安全評価	設計拡張条件（評価内容）の選定	SASS の有効性を評価する ATWS (Anticipated Transient Without Scram) 解析 (DEC として、異常な過渡変化時の主及び後備炉停止系不作動を想定) 長時間の全交流電源喪失時の炉心冷却性を評価する崩壊熱除去系の自然循環除熱解析 (DEC として、長時間の全交流電源喪失を想定) および炉心損傷時の再臨界回避方策有効性評価 (DEC として、1 次冷却材流量喪失時の SASS を含めた炉停止系不作動を想定) を対象とした。
	SASS の有効性の評価	SASS の有効性を評価する ATWS 解析では、UTOP では、0.5 ϕ /s の制御棒誤引き抜きにスクラム失敗を重畳した。 ULOOF では外部電源喪失、ULOHS では蒸気発生器除熱機能喪失にそれぞれスクラム失敗を重畳した。UTOP では燃料最高温度は融点未満であり燃料健全性が確保される見通しである。 ULOOF では、SASS の切り離し温度を 680 とした条件では冷却材沸騰を回避できる見通しである (ODS 鋼の短時間急速加熱条件下における高温耐性データ取得と炉心設計の詳細化と併せた SASS 切り離し温度の設定が今後の課題)。 ULOHS でも、事故の判断基準を満足する結果となった。
	崩壊熱除去特性の評価	バウンダリ破損時にも静的機器であるガードベッセルや外管によって炉心冷却に必要な冷却材が確保される。異常時の炉心冷却の機能を担う崩壊熱除去系に対しては、必要な循環能力と除熱量が確保できることが重要であるが、冷却材の注入機能は不要である。DRACS 1 系統と PRACS2 系統は、動的機器に依存しないので、全交流電源喪失を想定しても長時間の炉心冷却が可能である。ただし、崩壊熱の減衰に対応した除熱量の調整のために空気冷却器ダンパ開度を調整する必要があり、その制御のためのバッテリー容量が実際の冷却可能時間の制約となるが、バッテリー容量確保と系統運用によって、配電網の整備状況に応じた必要時間の制御能力を確保する。
	炉心損傷時の再臨界回避方策有効性等の評価 (MOX 燃料炉心)	これまでのナトリウム冷却炉での経験を踏まえて、MOX 燃料炉心における ULOOF を対象とした評価を実施した。ULOOF 起因過程 (IP: Initiating Phase)、解析では、即発臨界に至ることなく出力低下し、遷移過程へ移行した。燃料平均温度の最高値は 2700 ~ 2900K 程度であり、比較的低温の状態では遷移過程へ移行する。遷移過程 (TP: Transition Phase) では、厳しい再臨界を回避できる見通しがある。デブリ冷却性については、炉心入口プレナム内のナトリウム体積を増大させ、入口プレナム内に水平板状の構造物を多段に設置してデブリの受け皿としており、その有効性が見通された。
	炉心損傷時の再臨界回避方策有効性等の評価 (金属燃料炉心)	金属燃料炉心に関しても、主に ULOOF の事象推移を検討し、一連の炉心損傷推移の特徴を把握した。 ULOOF 起因過程解析では、即発臨界は回避される結果となった。初期の遷移過程解析では、出力レベルが定格値程度に維持される場合には、短尺化された下部軸ブランケット部を通過して有効な燃料流出が生じうる見通しを得た。また、出力レベルが定格の 20% 程度以下に減衰する場合には、燃料の流出は生じないまま自然循環除熱によって冷却される可能性が示された。 遷移過程の予備解析では、MOX 燃料炉心と比較して低出力で緩慢に推移した。 事故後の冷却性に関しては、厳しい再臨界が回避される場合、炉心から流出した燃料と原子炉容器下部プレナム内のナトリウムとの FCI による発生圧力は大きくはなく、また、固化した燃料は糸くず状となり比較的大きな空隙率をもって堆積することが期待される。一方で、燃料の融点は低く溶融しやすく、スチールを共晶反応によって侵食する特性を有しているため、今後の試験データ拡充が求められる。

表 3.3.1 ナトリウム冷却炉の安全性評価結果(3/3)

<p>確率論的 安全評価</p>	<p>原子炉停止失敗に伴う炉心損傷（ATWS&AWS：Anticipated Transient Without Scram & Accident Without Scram）原子炉液位確保失敗に伴う炉心損傷（LORL：Loss Of Reactor Level）崩壊熱除去失敗に伴う炉心損傷（PLOHS：Protected Loss Of Heat Sink）について炉心損傷確率を評価した。</p> <p>その結果、ATWS&AWSの発生頻度の点推定値は、高々約3×10^{-8}/炉年、LORL発生頻度の点推定値は約4×10^{-9}/炉年、PLOHS発生頻度の点推定値は約2×10^{-8}/炉年と評価された。そこで、大型炉の全炉心損傷発生頻度の評価値は、SASSの非信頼度を上限の1と想定した場合で約5.4×10^{-8}/炉年となり、判断基準である10^{-6}/炉年を満足した。</p>
----------------------	---

表 3.3.2 鉛ビスマス冷却炉の安全性評価結果(1/2)

下位指標名		
設計基準事象に関する決定論的安全評価	設計基準事象の選定	<p>初期事象を網羅的かつ体系的に摘出し、事象推移と影響の大きさを考慮して包絡関係を整理して「運転時の異常な過渡変化」および「事故」として代表的な事象を設計基準事象として選定した。</p>
	炉心燃料の健全性確保	<p>炉心燃料の健全性確保の観点から結果が厳しくなりうるのは、炉心に流入する 1 次冷却材流量が減少する流量減少型事象および炉心出力が上昇する過出力型事象であり、これらのカテゴリーのうち、代表的な事象について解析を実施した。</p> <p>流量減少型事象については、選定された事象のうち、1 次ポンプ軸固着を代表として選定とした。評価結果として、燃料、被覆管、冷却材の最高温度、被覆管 CDF (クリープ損傷和) のいずれも安全性評価基準を満足した。</p> <p>過出力型事象では、制御棒誤引抜きを対象とした。原子炉の出力運転中に制御棒駆動機構の故障や運転員の誤操作により制御棒 1 本が連続して引き抜かれることによって、炉心に異常な正の反応度が挿入され、原子炉出力および燃料温度等が上昇するが、燃料、被覆管の最高温度、被覆管 CDF のいずれも安全性評価基準を満足した。</p>
	蒸気発生器伝熱管破損事象 (鉛ビスマス冷却炉概念に特徴的な事象)	<p>鉛ビスマス冷却炉概念に特徴的な事象として、蒸気発生器伝熱管破損事象を選定した。伝熱管 1 本破断時の水リーク率は、フェーズ 最終評価時の概念で 7kg/s 程度である。リーク発生時の 1 次系内の圧力上昇は、0.2MPa 程度に止まり、原子炉冷却材バウンダリ機能への影響は問題ない見通しであった。また、蒸気発生器下端部に蒸気ジェットをブレイクさせるためのバッフル板を設置して炉心への大規模蒸気侵入を防止するとともに、カバーガスの圧力上昇検出を安全保護系信号として、蒸気泡が炉心を通過する前にスクラム可能とすることにより、万一蒸気泡が炉心に侵入する場合にも燃料破損を防止できる見通しである。</p> <p>炉心への大規模な蒸気侵入が発生し反応度投入事象となった場合の炉心挙動について評価するため、保守的に伝熱管 1 本破断時に放出される蒸気の全量が一斉に炉心に流入してステップ状の正反応度が挿入されることを想定した。蒸気泡は炉心全体で一様に分布するとした場合、投入反応度は 60 セント弱であり、急峻な出力上昇を示すが、中性子束高信号により安全に炉停止できる結果となっており、蒸気発生器伝熱管破損に対する安全設計概念が構築しうることが示された。</p>
	被ばく評価	<p>燃料健全性にとって厳しい結果を与えられとされる 1 次ポンプ軸固着および制御棒誤引抜においても燃料健全性は維持される。このため、格納容器内への有意な放射物質放出をもたらす事象は、設計基準事象の範囲では想定しがたい。</p> <p>そこで、通常運転状態において偶発的要因によって一部燃料の破損がありうることを考慮した上で、特に冷却材中で生成されるポロニウムに関して保守的に想定して、「原子炉カバーガス漏洩」を想定して評価した結果、$7 \times 10^{-2} \text{mSv/事象}$程度以下となり、判断基準の 5mSv/事象を満足した。</p>

表 3.3.2 鉛ビスマス冷却炉の安全性評価結果(2/2)

設計拡張条件に関する決定的安全評価	設計拡張条件（評価内容）の選定	<p>SASS の有効性を評価する ATWS (Anticipated Transient Without Scram) 解析 (DEC として、異常な過渡変化時の主及び後備炉停止系不作動を想定) 長時間の全交流電源喪失時の炉心冷却性を評価する崩壊熱除去系の自然循環除熱解析 (DEC として、長時間の全交流電源喪失を想定) および炉心損傷時の再臨界回避方策有効性評価 (DEC として、1 次冷却材流量喪失時の SASS を含めた炉停止系不作動を想定) を対象とした。</p>
	SASS の有効性の評価	<p>SASS の有効性を評価する ATWS 解析では、UTOP では、SASS を考慮しない場合、ドブラー反応度、制御棒軸伸び反応度および炉心支持板膨張反応度の効果により、110% 程度の過出力状態で静定する結果となった。</p> <p>ULOF では外部電源喪失にスクラム失敗を重畳した。SASS の切り離し温度を 600 にすることで有効に機能する見通しである。SASS を考慮しない場合については、被覆管最高温度は 1200 を越え燃料破損すると思われる、最終評価時の概念が特に優れてはいないと判断された。</p> <p>ULOHS (蒸気発生器除熱喪失時炉停止失敗) については、解析は実施していないが、炉心入口冷却材温度が徐々に上昇していく緩慢な事象推移となることが予想される。制御棒軸伸び反応度と炉心支持板膨張反応度を考慮することによって低出力ないし炉停止状態へ受動的に移行できる可能性がある。出力状態が維持される場合には、SASS が有効に機能することが予想される。</p>
	崩壊熱除去特性の評価	<p>全交流電源喪失事象に対して、1 次ポンプ全数トリップ、スクラム成功、崩壊熱除去系 3 系統による自然循環除熱を想定したとき、燃料と冷却材バウンダリともに健全性が確保される結果となった。なお、2 次系を削除した結果として水蒸気系の異常の影響が炉心に及びやすい可能性があり、1 次冷却系の逆流などが生じるのか等を確認することは今後の検討課題である。</p>
	炉心損傷時の再臨界回避方策有効性等の評価	<p>ULOF からの炉心損傷について、予備解析により評価し、炉心損傷影響緩和対策設備概念について検討した。強制循環炉では、放出されたガス気泡が主に上方向へ成長するため、大きな正のポイド反応度が挿入されることはない。その後、事象進展に伴って燃料ペレット温度が上昇する結果、スウェリングによって燃料ペレットが膨張し、冷却材中を浮上すると考えられる。そこで、炉心損傷事故の炉内終息を実現するには、炉容器の冷却材出口位置よりも低いレベルで燃料ペレットを受け止め、未臨界形状を維持しつつ冷却することが必要となる。</p>
確率論的安全評価	<p>原子炉炉停止失敗に伴う炉心損傷 (ATWS&AWS : Anticipated Transient Without Scram & Accident Without Scram) 原子炉液位確保失敗に伴う炉心損傷 (LORL : Loss Of Reactor Level) 崩壊熱除去失敗に伴う炉心損傷 (PLOHS : Protected Loss Of Heat Sink) について炉心損傷確率を評価した。</p> <p>その結果、ATWS&AWS の発生頻度の点推定値は、高々約 5×10^{-8}/炉年、LORL 発生頻度の点推定値は約 3×10^{-11}/炉年、PLOHS 発生頻度の点推定値は約 2×10^{-8}/炉年と評価された。そこで、全炉心損傷発生頻度の評価値は、SASS の非信頼度を上限の 1 と想定した場合で約 7×10^{-8}/炉年となり、判断基準である 10^{-6}/炉年を満足した。</p>	

表 3.3.3 ヘリウムガス冷却炉の安全性評価結果(1/2)

下位指標名		
設計基準事象に関する決定論的安全評価	設計基準事象の選定	<p>初期事象を網羅的かつ体系的に摘出し、事象推移と影響の大きさを考慮して包絡関係を整理して「運転時の異常な過渡変化」および「事故」として代表的な事象を設計基準事象として選定した。</p>
	炉心燃料の健全性確保	<p>炉心燃料の健全性確保の観点から厳しい結果となりうるのは、炉心に流入する1次冷却材流量が減少する流量減少型事象および炉心出力が上昇する過出力型事象および流量の減少と系統圧力の減少が重畳する減圧型事象である。</p> <p>流量減少型事象については、選定された事象のうち、最も流量減少が急激なタービン発電機負荷喪失を代表的な事象として対象とした。コンパートメント型炉心を対象にした評価結果では燃料最高温度とバウンダリ最高圧力は安全性評価基準を満足した。なお、ブロック型はコンパートメント型よりも減圧反応度が低減されており、成立性はあると考えられる。</p> <p>過出力型事象では制御棒誤引抜事象を代表的な設計基準事象として評価した。評価結果として、燃料、冷却管の最高温度、バウンダリ最高圧力のいずれも安全性評価基準を満足した。</p> <p>減圧型事象についてはバウンダリ破損に伴う1次冷却材漏洩を代表的な事象として選定した。評価結果として、燃料、冷却管の最高温度、バウンダリ最高圧力のいずれも安全性評価基準を満足した。</p>
	被ばく評価	<p>燃料健全性にとって厳しい結果を与えられられる1次冷却材漏洩においても燃料健全性は維持される。このため、格納容器内への有意な放射物質放出をもたらす事象は、設計基準事象の範囲では想定しがたい。そこで、通常運転状態において偶発的要因によって一部燃料の破損がありうることを考慮した上で、「1次冷却材漏洩」を想定して評価した結果、$4 \times 10^{-1} \text{mSv/}$事象程度(1500MWe 炉心相当に評価結果を調整したもの)となり、判断基準の5mSv/事象を満足した。</p>

表 3.3.3 ヘリウムガス冷却炉の安全性評価結果(2/2)

設計拡張条件に関する決定的安全評価	設計拡張条件（評価内容）の選定	SASS の有効性を評価する ATWS（Anticipated Transient Without Scram）解析（DEC として、異常な過渡変化時の主及び後備炉停止系不作動を想定）長時間の全交流電源喪失時の炉心冷却性を評価する崩壊熱除去系の自然循環除熱解析（DEC として、長時間の全交流電源喪失を想定）および炉心損傷時の再臨界回避方策有効性評価（DEC として、炉停止後の崩壊熱除去機能喪失を想定）を対象とした。
	SASS の有効性の評価	SASS の有効性を評価する ATWS 解析では、UTOP および ULOF について評価を実施した結果、両者ともに冷却管最高温度は安全性評価基準を満足した。
	崩壊熱除去特性の評価	<p>全交流電源喪失時の除熱能力評価では、4 系統の崩壊熱除去系による自然循環除熱を想定した評価を行った結果、冷却管最高温度は安全性の評価基準を満足した。</p> <p>さらに 1 次冷却材漏洩にスクラム失敗と崩壊熱除去系の強制循環機能喪失を重畳した苛酷事象(AWS)を想定し評価した。評価結果からは、炉心冷却形状維持の目安を冷却管最高温度 2200 とすれば、このような苛酷な条件下でも炉心損傷は防止される。ただし、冷却管最高温度の 2200 は燃料集合体の構造材料である SiC の高温健全性確保の観点から暫定している値であり、燃料被覆層を含めた健全性あるいは冷却性が確保されるかどうかについて判断するためには今後試験データ取得を含めた検討が必要である。</p>
	炉心損傷時の再臨界回避方策有効性等の評価	<p>炉心損傷時の再臨界回避特性評価では、炉心損傷の事象推移を定性的に推定し、コアキャッチャーに代表される炉心損傷影響緩和対策設備概念について検討した。ヘリウムガス冷却炉は異常状態で受動的に炉停止しやすい概念なので、そのときの除熱喪失を想定し、崩壊熱による炉心損傷過程を検討した。現時点では、燃料の過熱過程におけるマイルドな再臨界事象発生を否定することは難しいものの、ガス放出等による燃料分散や集合体の膨張、駆動軸破損に起因する制御棒の挿入効果等による再臨界抑制の可能性を有する。また、全燃料解離時の圧力上昇はバウンダリ健全性評価上問題とはならない。また、炉容器下部での臨界性と流出性に関しては、多段構造の耐熱構造材の設置などによる再臨界防止と流出挙動（燃料性状（窒化物のままか、金属に解離するのか）に依存）のデータ取得が課題であるが、再臨界時でも周囲への機械的エネルギーは大きくならない見通しである。</p> <p>炉心損傷事故の格納容器内終息を実現するためには、炉外コアキャッチャーで流出燃料を受け止め、未臨界形状を維持しつつ加水により冷却できる見通しである。</p>
確率論的安全評価	<p>原子炉停止失敗に伴う炉心損傷（ATWS&AWS：Anticipated Transient Without Scram & Accident Without Scram）原子炉冷却材密度維持失敗に伴う炉心損傷（LOCD：Loss Of Coolant Density）崩壊熱除去失敗に伴う炉心損傷（PLOHS：Protected Loss Of Heat Sink）について炉心損傷確率を評価した。</p> <p>ATWS&AWS の発生頻度を評価したところ、SASS に期待しない場合の評価値は、約 7×10^{-8}/炉年であり、LOCD の発生頻度の点推定値を評価した結果、約 1×10^{-7}/炉年となった。PLOHS の発生頻度を評価したところ、グラビティダンパの共通原因故障排除が必須であり、さらに加圧状態での 3 系統による自然循環除熱で炉心損傷防止を可能とし、かつ減圧状態での 4 系統による自然循環除熱で炉心損傷防止を可能とするか、ガスタービン発電ユニットによる崩壊熱除去を可能とするか、ヘリウム循環機の信頼度を国内軽水炉のポンプ並みに向上させるかのいずれかがを実施すれば、10^{-6}/炉年未満を実現し、かつ全炉心損傷発生頻度も 10^{-6}/炉年未満との判断基準を満たすことが明らかとなった。</p>	

表 3.3.4 水冷却炉の安全性評価結果

下位指標名		
設計基準事象に関する決定論的安全評価	<p>運転時の異常な過渡変化</p>	<p>運転時の異常な過渡変化については、出力運転時の制御棒の異常な引き抜き、給水加熱喪失、負荷の喪失、給水制御系の故障、原子炉圧力制御系の故障、給水流量の全喪失、について評価した。評価結果からは、最小限界出力比 (MCPR: Minimum Critical Power Ratio)、表面熱流束最大値、原子炉圧力について、それぞれ判断基準である $MCPR > 1.07$、表面熱流束 < 約 130%、原子炉圧力 < 約 9.5MPa を満足した。</p>
	<p>事故</p>	<p>事故については、原子炉冷却材喪失、主蒸気管破断、について評価することとした。燃料被覆の最高温度、酸化量の計算値、発生水素量、長時間に渉る崩壊熱除去の確保、公衆の被ばく (ABWR と同程度と想定) などはいずれも判断基準を満足した。</p>
設計拡張条件に関する決定論的安全評価	<p>受動的な炉停止機能</p>	<p>水冷却炉の原子炉停止機能は現行軽水炉の制御棒駆動機構による炉停止機能の優れた実績に基づいている。現行軽水炉では、制御棒駆動機構の信頼性は極めて高く、炉停止失敗に起因するリスクは、全リスクと比べて極めて小さい。ボロン水注入による停止機構についても、性能評価、設計、製作、維持管理に関して十分な実績がある。異常発生から炉心損傷の可能性が生じるまで1時間程度の時間余裕があり、運転員の介在により炉心損傷が防止できるため、安全確保目的の受動的な炉停止機能は不要である。</p>
	<p>崩壊熱除去特性の評価</p>	<p>崩壊熱除去系に関しても、現行軽水炉における多重性あるいは多様性を有する崩壊熱除去系の実績を利用する。特に BWR における Emergency Condenser (緊急凝縮系) 等の受動的 (要素が強い) システムについての実績とともに 80 年代以降に実施された受動安全炉に関する研究開発成果を利用し、全交流動力電源の喪失を想定しても炉心冷却が可能な設計とすることは容易であると判断する。さらに、現行軽水炉に対する AM (Accident Management) 策の検討をベースに、適切な事故管理方策を整備して崩壊熱除去系の機能回復を図る。</p>
	<p>炉心損傷時の再臨界回避方策有効性等の評価</p>	<p>再臨界に関しては、炉心で生じる場合には水が存在しないことから、構造物の健全性に影響するような機械的エネルギー発生は生じ難い。溶融燃料が下部プレナムに移行する場合、デブリベッドが生成される過程で、燃料と構造材がよく混合され、かつ、平坦に蓄積する場合には、下部プレナムでは再臨界は生じない。より長期的には、デブリベッドの再溶融が生じ、圧力容器が破損する前に溶融金属と燃料が分離し十分な量の溶融燃料が集まることになれば、再臨界が生じる可能性はあるものの、制御棒駆動機構からの水注入等、デブリベッドの再溶融を防ぐ AM が可能である。デブリベッド生成時における構造材の混合による再臨界防止が確認できない場合には、下部プレナムに中性子吸収材を設置し、再臨界を防止する。</p> <p>格納容器底部における再臨界性については、ホウ酸水注入、デブリが広がりやすい形状の採用、デブリ落下以前に水を張っておく等の AM 対応により、格納容器内で再臨界を防止することが可能である。現行軽水炉 AM 策をベースにし、事故後の融体静定、熱除去、放射性物質の閉じ込めを可能な限り炉容器内で達成し格納施設への熱・機械的負荷を大幅に緩和して放射性物質の閉じ込め能力を確保することで炉心損傷の影響を周辺環境に有意に及ぼさない設計が可能である。</p>
確率論的安全評価	<p>安全解析所の ABWR に対する炉心損傷発生頻度の評価結果は、AM 実施前で 1.5×10^{-7}/炉年で、AM 実施により 2.5×10^{-8}/炉年であった。炉心溶融が生じる以前の挙動は本炉と ABWR で同様であることから、炉心損傷発生頻度を 10^{-6}/炉年未満とすることは可能と考えられる。</p>	

表 3.3.5 先進湿式再処理法 / 簡素化ペレット燃料製造法の安全性評価結果

下位指標名		
<p>代表的な異常事象 (設計基準事象候補のうち代表的な事象) (放射線被ばくリスクの恐れのある異常事象発生時に周辺公衆の個人が受ける実効線量の評価を含む)</p>	<p>システムの主要な工程について変動の原因となる異常事象または変動の結果生じると考えられる事象を設計基準事象候補として検討し、抽出した。</p>	<p>ソースタームの大きさや放出される放射性物質の拡散容易性に注目して、周辺公衆に対する放射線被ばくリスクの恐れのある事象を代表的な異常事象として以下の3事象を選定して被ばく評価を実施した。</p>
	<p>プルトニウムを装荷した可燃性有機溶媒のセル内漏洩および火災</p>	<p>放射性物質の異常な放出の観点から代表的な事象として選定して被ばく評価を行なったところ、約 1.55×10^{-2} mSv 以下となり、評価基準である事象当たり 5mSv を下回った。</p>
	<p>高放射性廃液貯槽の冷却機能喪失による沸騰</p>	<p>放射性物質の異常な放出の観点から代表的な事象として選定して被ばく評価を行なったところ、約 7.28×10^{-3} mSv 以下となり、評価基準である事象当たり 5mSv を下回った。</p>
	<p>Am, Cm 製品受槽からの MA 含有溶液の漏えい</p>	<p>放射性物質の異常な放出の観点から代表的な事象として選定して被ばく評価を行なったところ、約 3.03×10^{-2} mSv 以下となり、評価基準である事象当たり 5mSv を下回った。</p>
<p>代表的な異常事象 (設計基準を越える事象等)のリスク評価(確率論的安全評価)</p>	<p>放射性物質を大量に含有する全工程を対象として異常事象を抽出した。</p>	<p>機器の多重故障およびヒューマンエラーを重畳した場合に著しい量の放射性物質の施設外放出につながると考えられる異常事象として以下の4事象に絞り込み評価を実施した。</p>
	<p>安全冷却機能喪失による高発熱性溶液の沸騰</p>	<p>短期の臓器被ばく線量は高々ミリシーベルトのオーダーと算定されたため、周辺公衆の急性死亡リスクは無視しうるほど小さく、判断基準である 10^{-7} (死・人・年・サイト) を満足する。</p>
	<p>第一抽出器有機相出口配管の破損によって漏えいした有機溶媒のセル内火災</p>	<p>また、一般公衆の個人に対する致死ガン発生リスクについては、最も高いリスクの異常事象は「MA含有溶液のセル内沸騰」であり、約 3×10^{-8} (死・人・年・サイト) となったため、判断基準である 10^{-6} (死・人・年・サイト) を満足する。</p>
	<p>Am, Cm 製品受槽から漏えいした MA 含有溶液のセル内沸騰 抽出不良により高放射性廃液側へリークした Pu による臨界</p>	

(注: 線量係数は ICRP Pub.30 ベースを用いている)

表 3.3.6 酸化物電解再処理法 / 振動充填燃料製造法の安全性評価結果

下位指標名		
代表的な異常事象 (設計基準事象候補のうち代表的な事象) (放射線被ばくりスクの恐れのある異常事象発生時に周辺公衆の個人が受ける実効線量の評価を含む)	システムの主要な工程について変動の原因となる異常事象または変動の結果生じると考えられる事象を設計基準事象候補として検討し、抽出した。	ソースタームの大きさや放出される放射性物質の拡散容易性に注目して、周辺公衆に対する放射線被ばくりスクの恐れのある事象を代表的な異常事象として以下の2事象を選定して被ばく評価を実施した。
	ルツボ移送時の落下による放射性物質を含む固化塩の飛散	被ばく評価を行った結果、約 $6.0 \times 10^{-3} \text{mSv}$ となり、評価基準である事象当たり 5mSv を下回った。
	TRU を抽出した液体 Cd の漏えい	被ばく評価を行った結果、約 $2.0 \times 10^{-3} \text{mSv}$ となり、評価基準である事象当たり 5mSv を下回った。
代表的な異常事象 (設計基準を越える事象等) のリスク評価 (確率論的安全評価)	放射性物質を大量に含有する全工程を対象として異常事象を抽出した。(HEPA フィルタが健全か破損するかによって、シーケンスは細分化された)	機器の多重故障およびヒューマンエラーを重畳した場合に著しい量の放射性物質の施設外放出につながると考えられる異常事象として以下の2事象に絞り込み評価を実施した。
	電解装置ルツボの移送中の落下による溶融塩のセル内漏えい(HEPA フィルタの機能が健全、あるいは破損)	一般公衆の個人に対する致死ガン発生リスクについては、最も高いリスクの異常事象は「電解ルツボの移送中の落下による溶融塩のセル内漏えい(HEPA フィルタが破損する場合)」であり、約 $1.1 \times 10^{-10} / (\text{死} \cdot \text{人} \cdot \text{年} \cdot \text{サイト})$ となったため、判断基準である $10^{-6} / (\text{死} \cdot \text{人} \cdot \text{年} \cdot \text{サイト})$ を満足する。
	抽出後 Cd 受槽からの液体 Cd の払出配管破損による液体 Cd のセル内漏えい(HEPA フィルタの機能が健全、あるいは破損)	

(注: 線量係数は ICRP Pub.30 ベースを用いている)

表 3.3.7 金属電解再処理法 / 射出鑄造燃料製造法の安全性評価結果

下位指標名		
<p>代表的な異常事象（設計基準事象候補のうち代表的な事象） （放射線被ばくリスクの恐れのある異常事象発生時に周辺公衆の個人が受ける実効線量の評価を含む）</p>	<p>システムの主要な工程について変動の原因となる異常事象または変動の結果生じると考えられる事象を設計基準事象候補として検討し、摘出した。</p>	<p>ソースタームの大きさや放出される放射性物質の拡散容易性に注目して、周辺公衆に対する放射線被ばくリスクの恐れのある事象を代表的な異常事象として以下の 2 事象を選定して被ばく評価を実施した。</p>
	<p>溶融状態の核分裂生成物および燃料核種を施設内で最も大量に内蔵する電解精製槽からの使用済塩移送時におけるセル内への塩全量の漏洩</p>	<p>臨界が発生した場合の周辺公衆に対する放射線被ばくリスクを評価するために「溶融状態の核分裂生成物および燃料核種を施設内で最も大量に内蔵する電解槽からの使用済塩移送時におけるセル内への塩全量の漏洩」について被ばく評価を行った結果、約 0.0028mSv となり、評価基準である事象当たり 5mSv を下回った。</p>
	<p>アルゴンセルバウンダリ破損に伴う空気侵入により生じる Cd 陰極処理装置から払出される Pu-U 合金インゴットの火災</p>	<p>金属火災が生じた場合の周辺公衆に対する放射線被ばくリスクを評価するために「アルゴンセルバウンダリ破損に伴う空気侵入により生じる Cd 陰極処理装置から払出されるウラン - プルトニウム合金インゴットの火災」について被ばく評価を行った結果、約 2.15×10^{-8} mSv となり、評価基準である事象当たり 5mSv を下回った。</p>
<p>代表的な異常事象（設計基準を越える事象等）のリスク評価（確率論的安全評価）</p>	<p>放射性物質を大量に含有する全工程を対象として異常事象を摘出した。</p>	<p>機器の多重故障およびヒューマンエラーを重畳した場合に著しい量の放射性物質の施設外放出につながると考えられる異常事象として以下の 3 事象に絞り込み評価を実施した。</p>
	<p>溶融状態からの核分裂生成物及び燃料核種を施設内で最も大量に内蔵する電解槽からの使用済塩移送時におけるセル内への塩全量の漏洩</p>	<p>一般公衆の個人に対する致死ガン発生リスクについては、異常事象に起因するリスクの点推定値が約 1.0×10^{-11} 死/(人・年・施設)となった。このため、1 サイト当たり 1 施設の立地を前提として致死ガン発生リスクについての判断基準 10^{-6} 死/(人・年・サイト)以下を十分に満足すると評価できる。</p>
	<p>アルゴンセルバウンダリ破損および連続式陰極処理装置アルゴン循環系配管の同時破損によるプルトニウム金属等の火災 射出成型装置での過剰装荷による臨界</p>	<p>リスクに支配的なシーケンスは、射出成型装置での臨界事故が発生してオフガス系および建屋換気系が健全なシーケンスである。</p>

(注：線量係数は ICRP Pub.30 ベースを用いている)

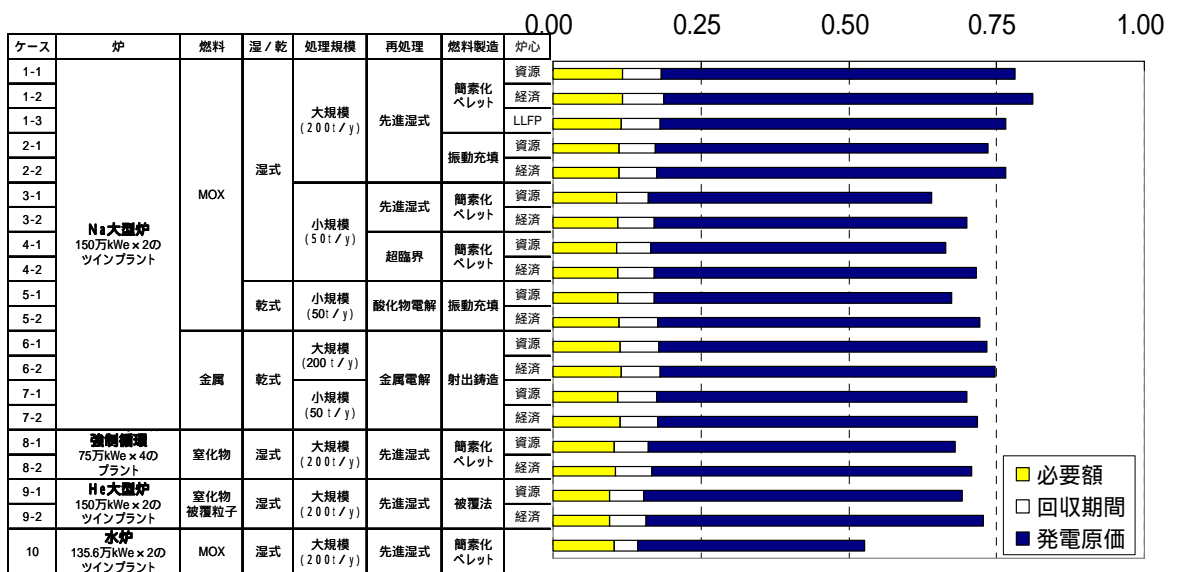


図 3.3.1 経済性評価結果（効用値）

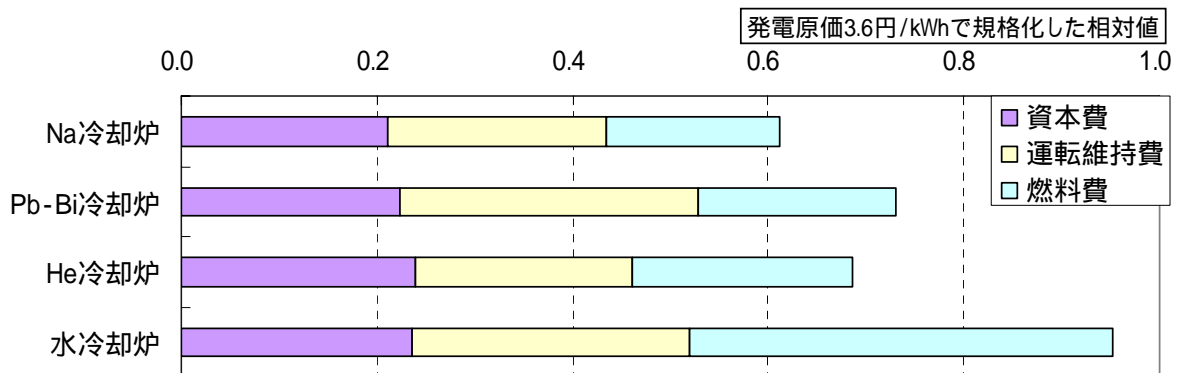


図 3.3.2 炉型及び燃料化学形態別の発電原価

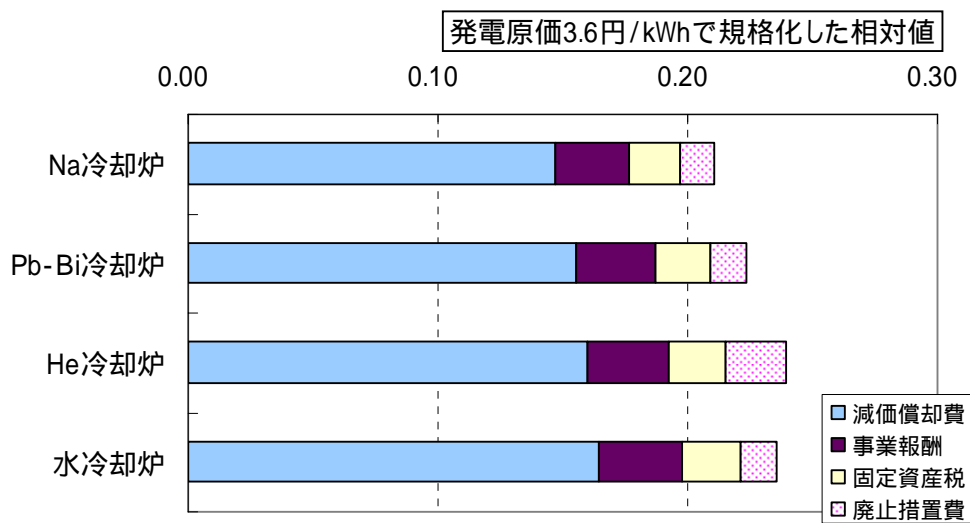


図 3.3.3 炉型及び燃料形態別の資本費の内訳

表 3.3.8 各炉型の建設単価達成目標に対する割合

炉型	Na 冷却炉	Pb-Bi 冷却炉	He 冷却炉	水冷却炉
達成目標(20万円/kWe)に対する割合	約 90%	約 95%	約 97%	約 100%

発電原価3.6円/kWhで規格化した相対値

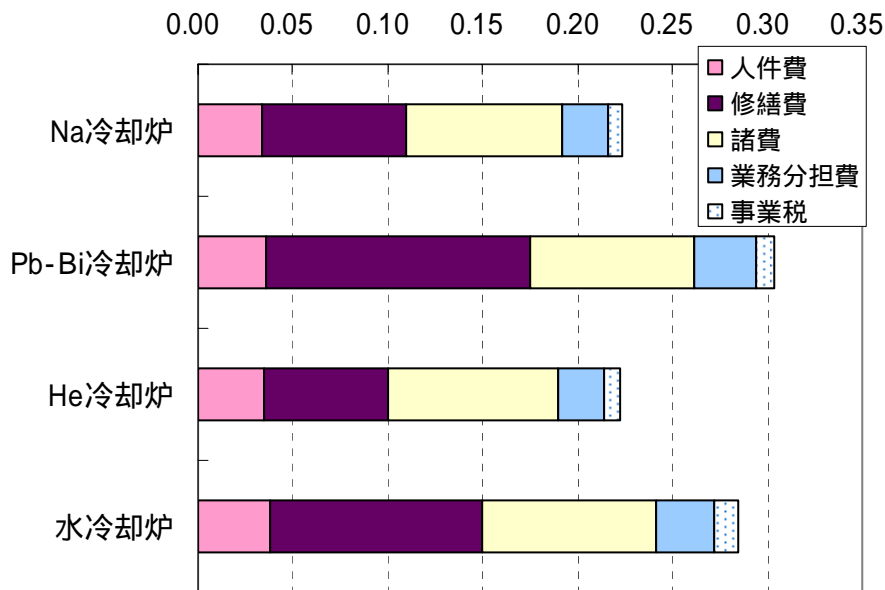


図 3.3.4 炉型及び燃料形態別の運転費の内訳

表 3.3.9 各炉型の稼働率及び1タービンあたりのモジュール数

炉型	Na 冷却炉	Pb-Bi 冷却炉	He 冷却炉	水冷却炉
稼働率	95%	93%	92%	93%
モジュール数	1	2	1	1

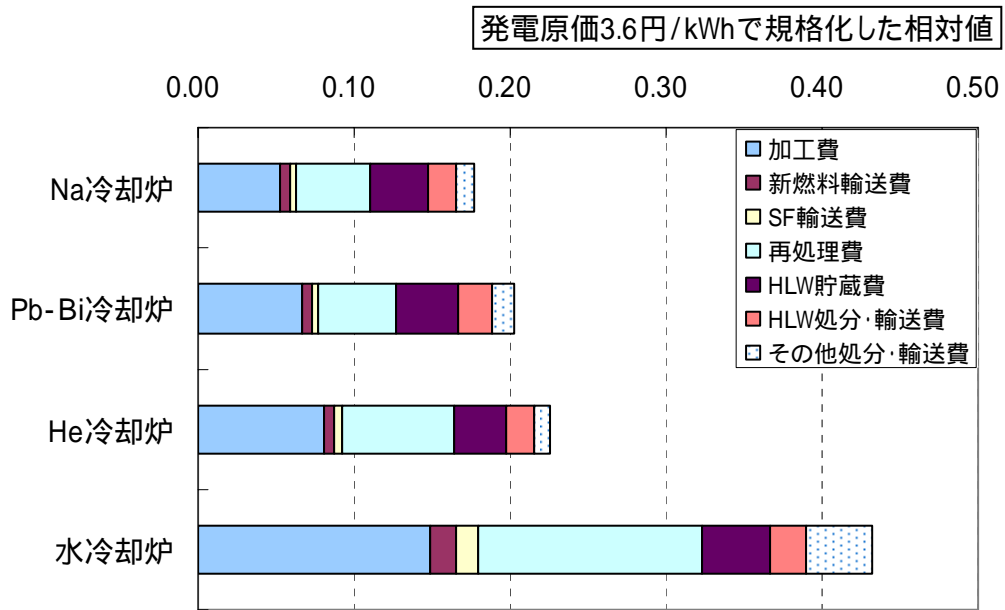
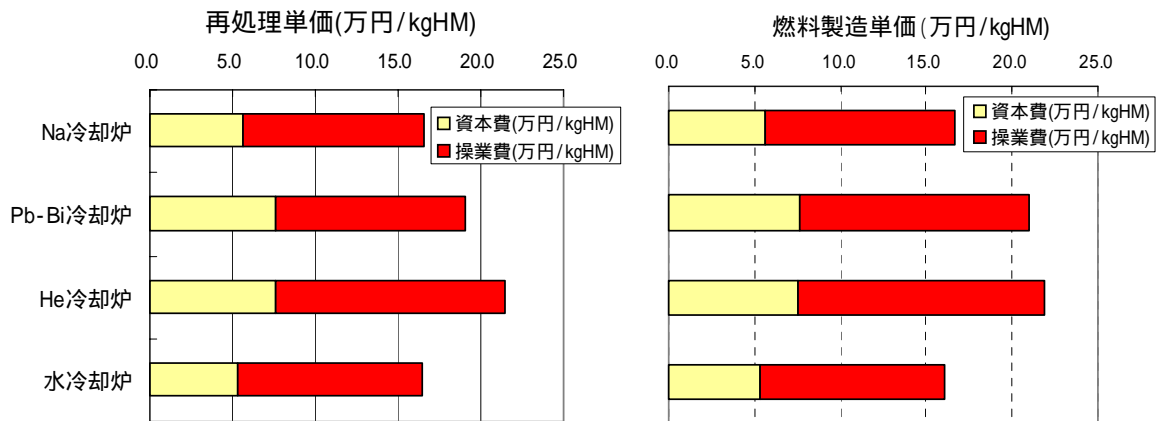


図 3.3.5 炉型及び燃料形態別の燃料費の内訳



再処理: 先進湿式
 燃料製造: 簡素化ペレット (He冷却炉のみ被覆粒子)

図 3.3.6 炉型及び燃料形態別の再処理単価、及び燃料製造単価

表 3.3.10 各炉型の平均燃焼度

炉型	Na 冷却炉	Pb-Bi 冷却炉	He 冷却炉	水冷却炉
全炉心取出平均燃焼度 (MWd/t)	114,900	128,000	89,000	45,000

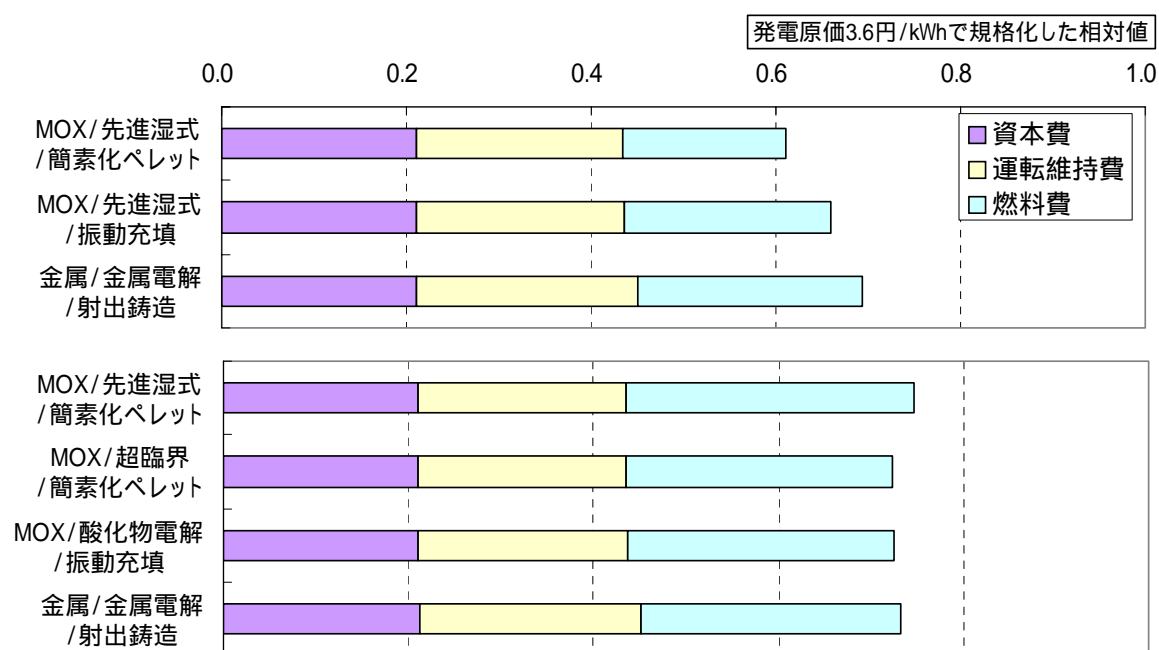


図 3.3.7 燃料サイクル技術別の発電原価 (ナトリウム冷却炉)

表 3.3.11 ナトリウム冷却炉燃料サイクルの HLW 固化体発生量と発熱比（経済性重視型炉心）

規模	大規模			小規模			
	先進湿式		金属電解	先進湿式	超臨界	酸化物電解	金属電解
再処理	先進湿式		金属電解	先進湿式	超臨界	酸化物電解	金属電解
燃料製造	簡素化ペレット	振動充填	射出鑄造	簡素化ペレット	簡素化ペレット	振動充填	射出鑄造
HLW 固化体発生量 (m ³ /年)	67	62	167	17	17	19	42
発熱比	1.0		0.55	1.0		0.89	0.55

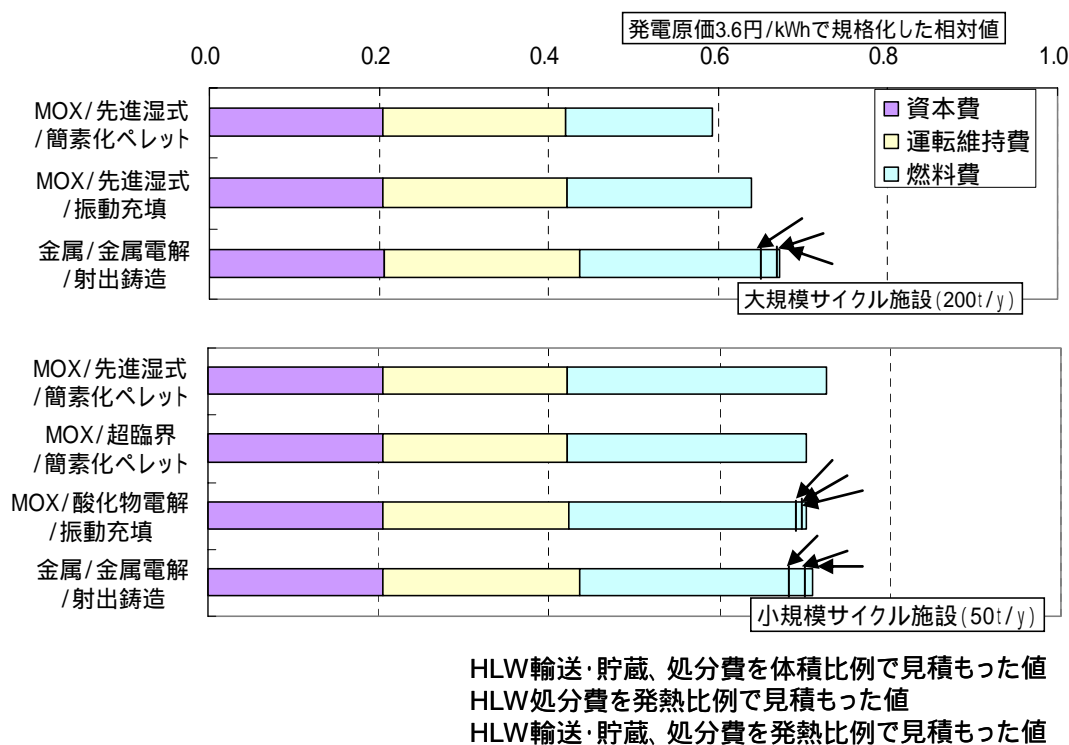


図 3.3.8 燃料サイクル技術別の発電原価（ナトリウム冷却炉）

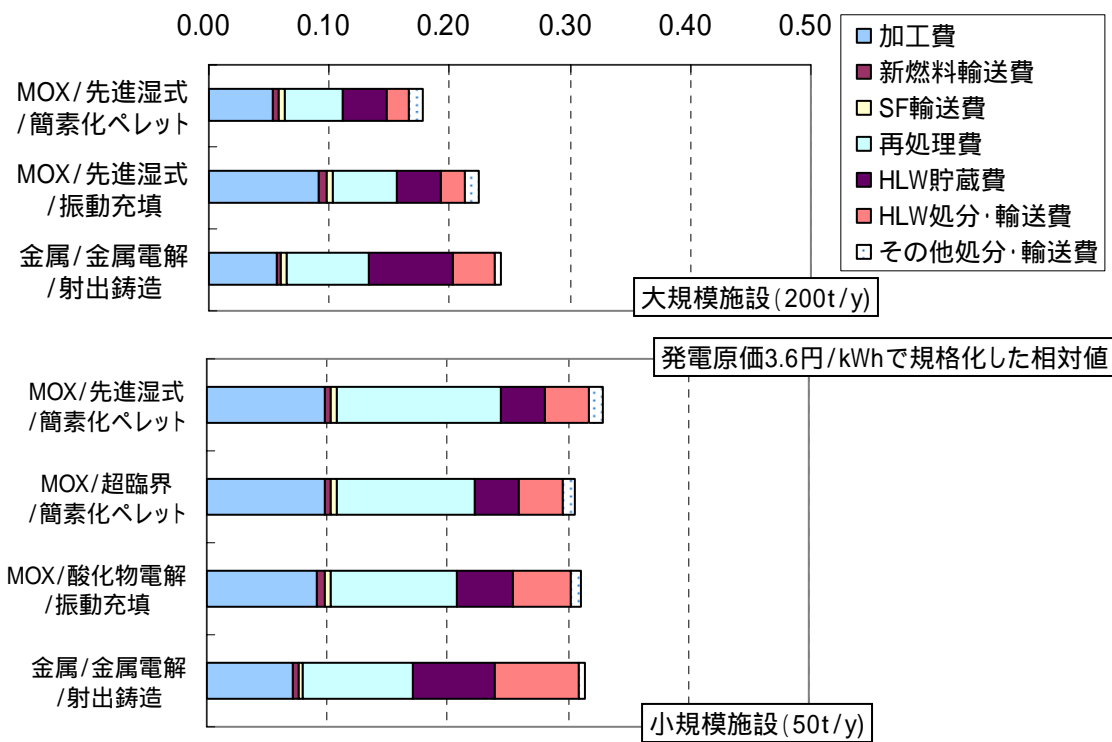


図 3.3.9 燃料サイクル技術間別発電原価（ナトリウム冷却炉）

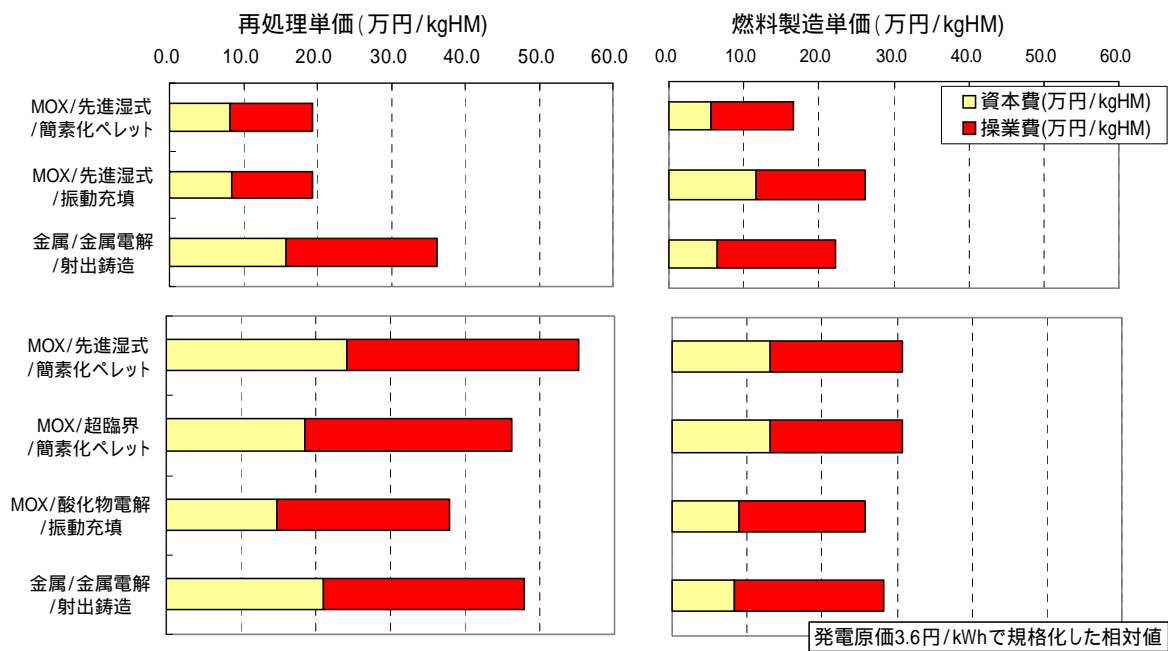


図 3.3.10 燃料サイクル技術間別再処理・燃料製造単価（ナトリウム冷却炉）

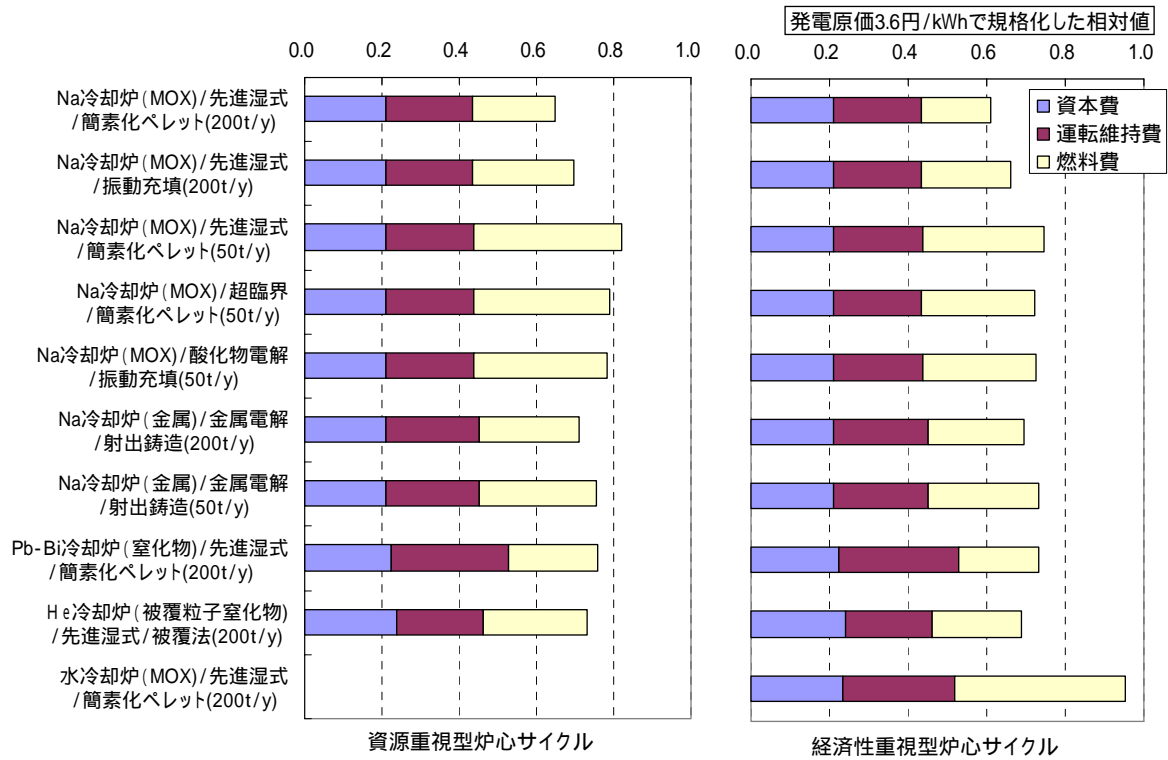


図 3.3.11 資源重視型炉心、経済性重視型炉心別の発電原価

表 3.3.12 各評価概念の全炉心取出平均燃焼度及び増殖比

		Na冷却炉				Pb-Bi冷却炉	He冷却炉	水冷却炉
		先進湿式/超臨界		酸化物電解	金属電解	先進湿式	先進湿式	先進湿式
		簡素化ペレット	振動充填	振動充填	射出鑄造	簡素化ペレット	被覆法	簡素化ペレット
資源重視型炉心	平均燃焼度 (MWd/t)	90,000	82,600	80,900	134,000	104,700	69,000	/
	増殖比	1.10	1.10	1.10	1.11	1.10	1.11	
経済重視型炉心	平均燃焼度 (MWd/t)	114,900	103,500	102,400	153,000	128,000	89,000	45,000
	増殖比	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03

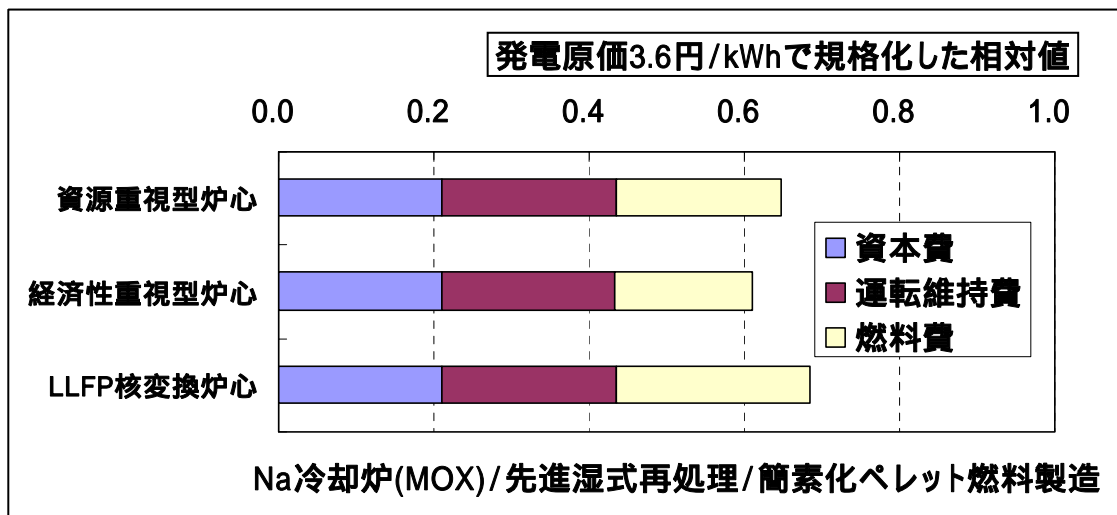


図 3.3.12 資源重視型炉心、経済性重視型炉心別の発電原価

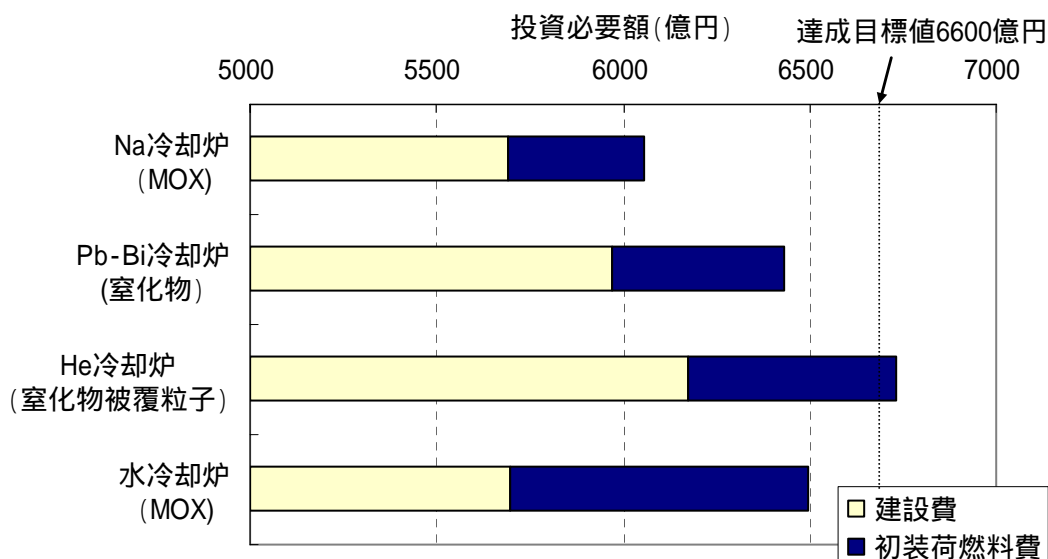


図 3.3.13 炉型別の投資必要額

表 3.3.13 各炉型のプロジェクト期間⁴

	Na 冷却炉	Pb-Bi 冷却炉	He 冷却炉	水冷却炉
プロジェクト期間 (年)	7	6	8	7

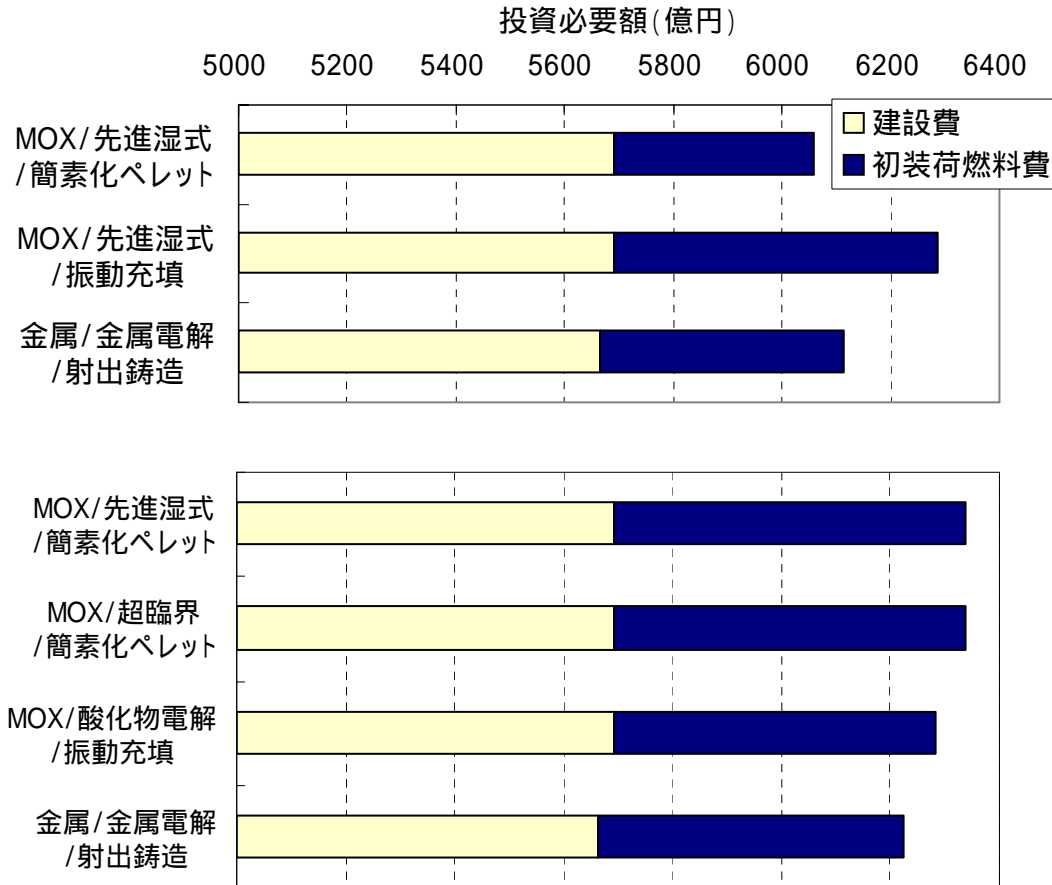


図 3.3.14 燃料サイクル技術別の投資必要額 (ナトリウム冷却炉)

⁴ 「プロジェクト期間」とは、原子炉の建設を計画してから営業運転を開始するまでの期間を指す。

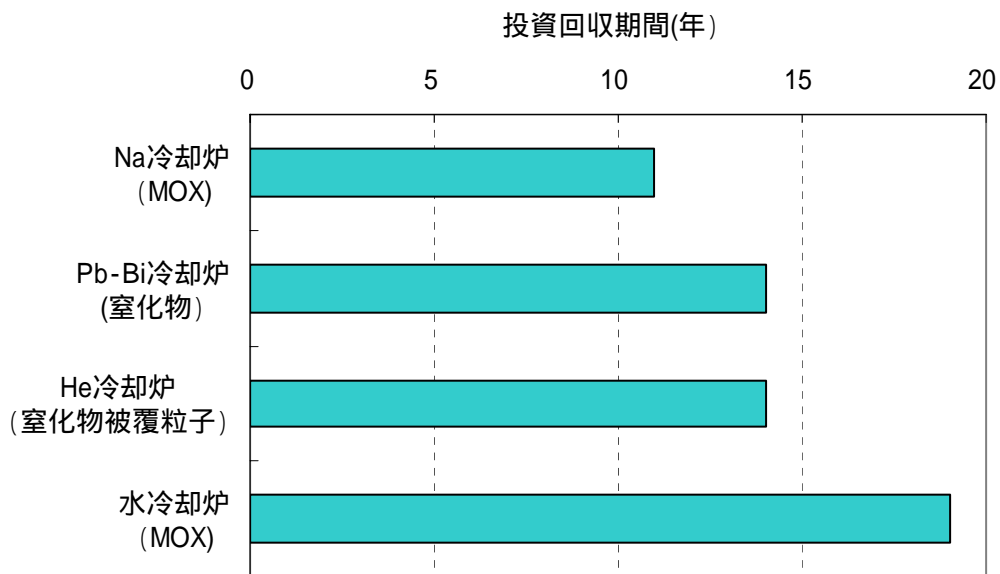


図 3.3.15 炉型別の投資回収期間

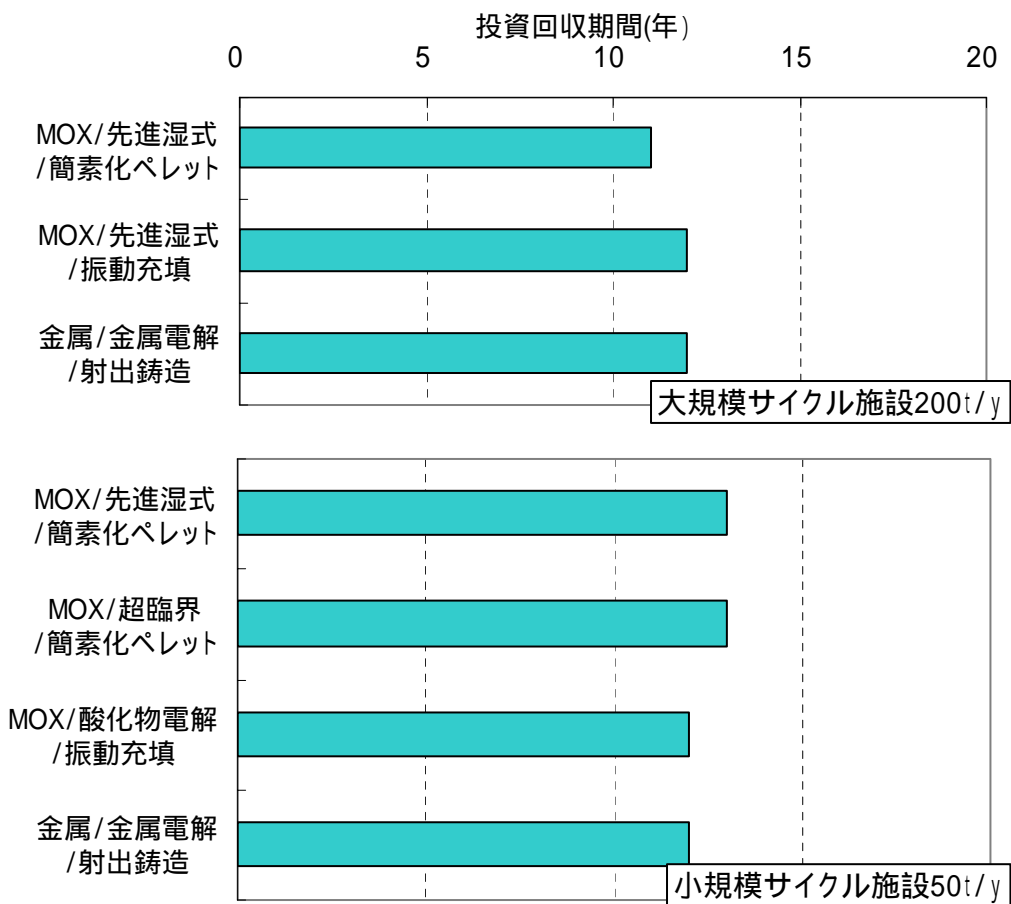


図 3.3.16 燃料サイクル技術別の投資回収期間(ナトリウム冷却炉)

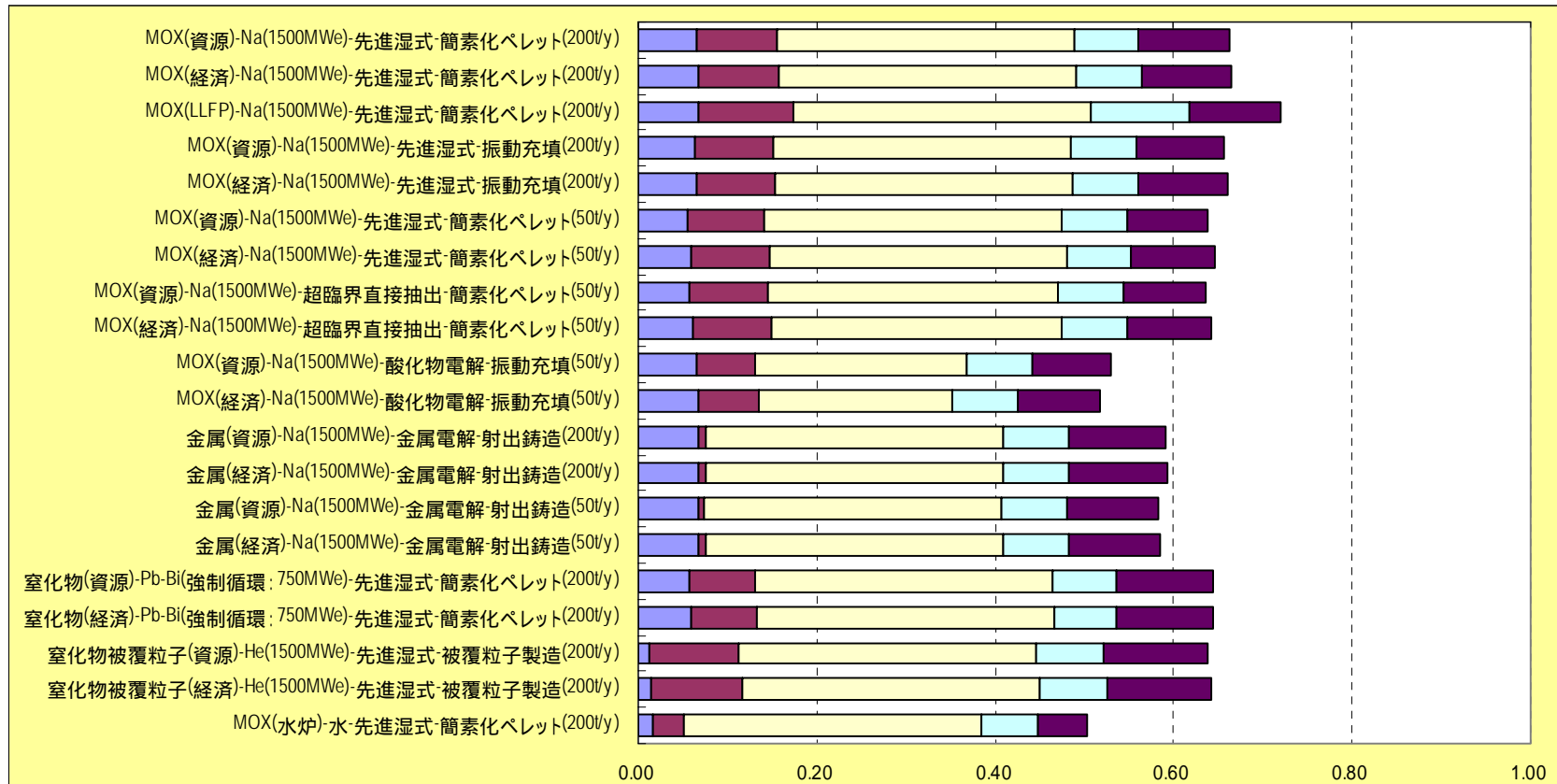
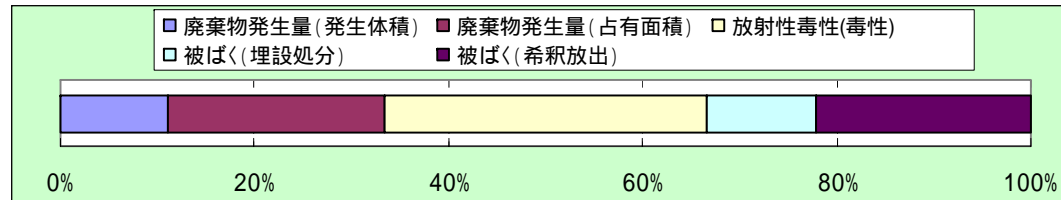


図 3.3.17 環境負荷低減性の評価結果

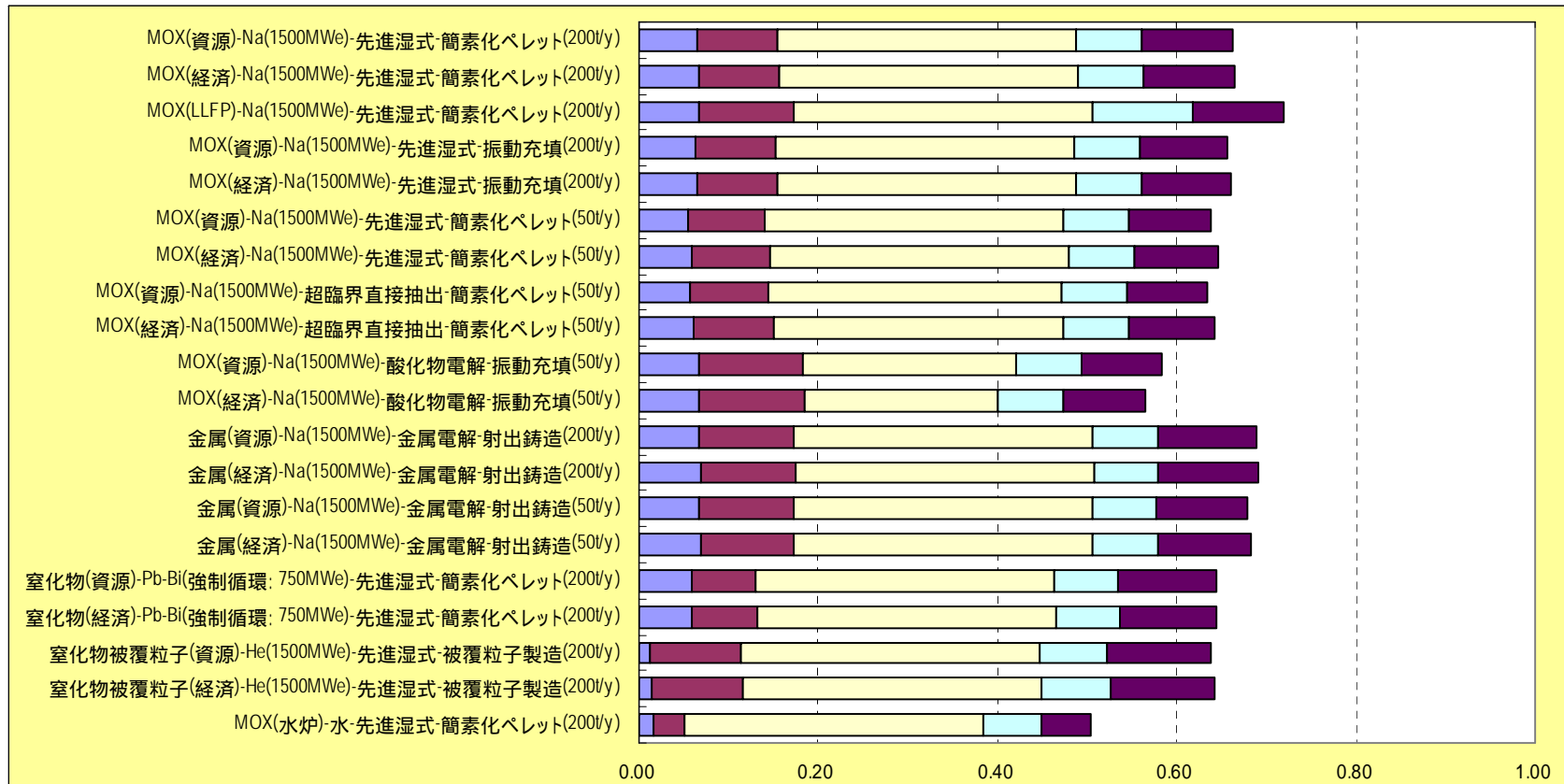
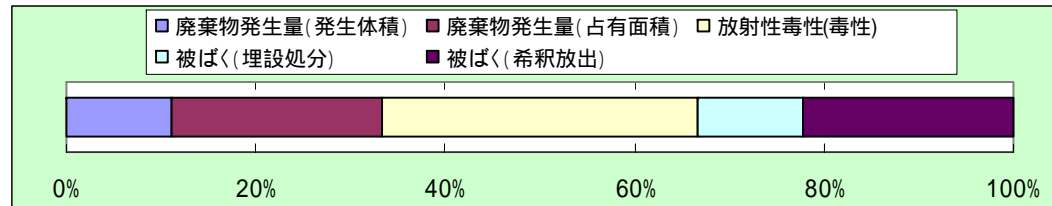


図 3.3.18 環境負荷低減性の評価結果（乾式再処理 HLW 発生量変更）

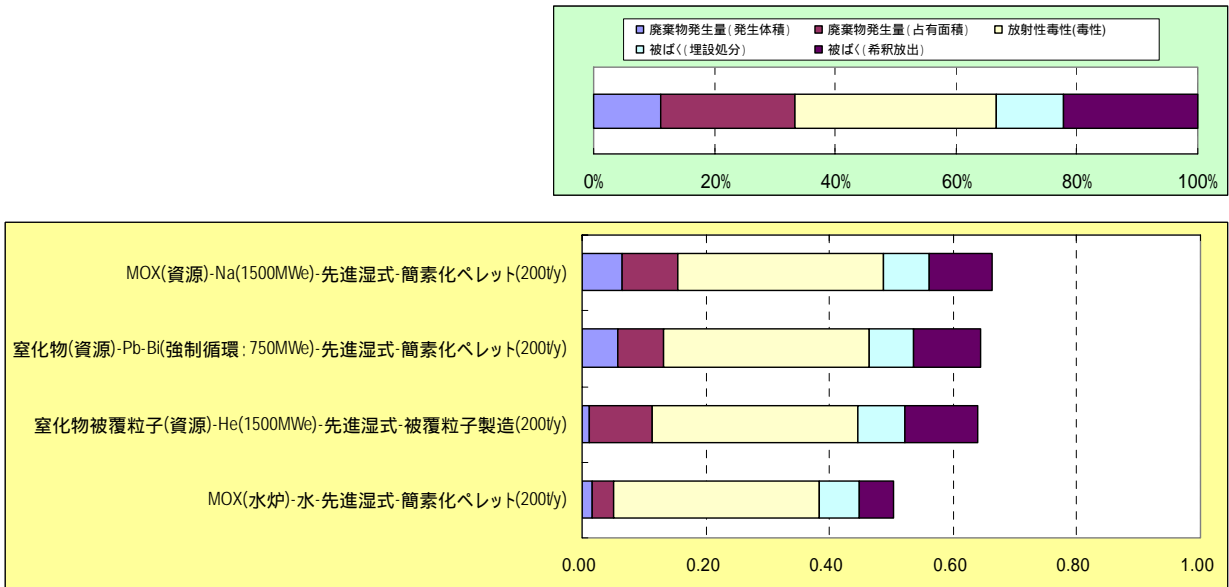


図 3.3.19 環境負荷低減性(炉型別)の評価結果

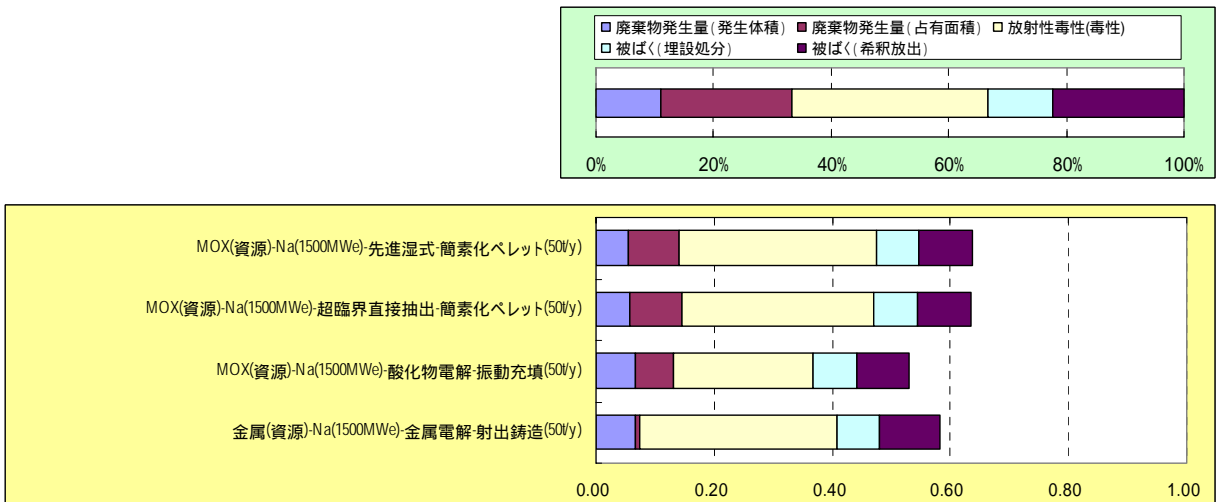


図 3.3.20 環境負荷低減性(燃料サイクル別:50tHM/y)の評価結果

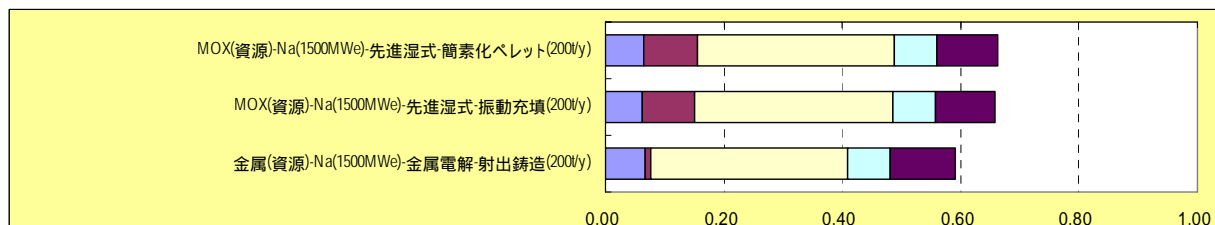
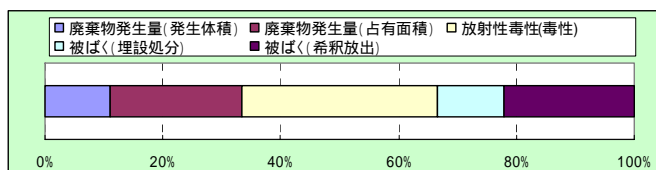


図 3.3.21 環境負荷低減性（燃料サイクル別：200tHM/y）の評価結果

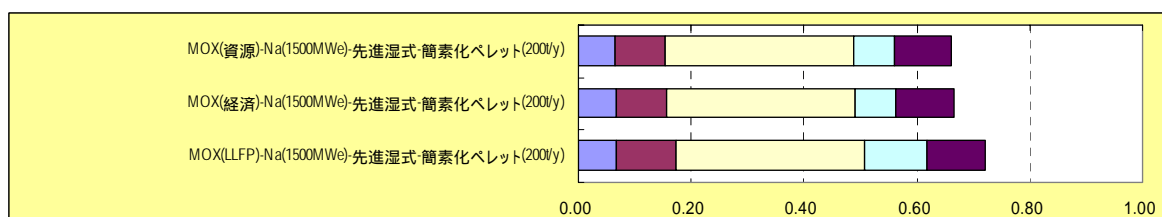
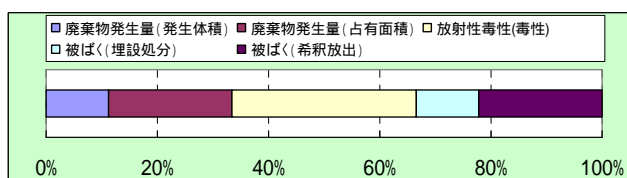


図 3.3.22 環境負荷低減性（LLFP サイクル等）の評価結果

表 3.3.14 評価対象概念と資源有効利用に係る計算結果

評価ケース	FBRサイクルシステム構成							資源有効利用に係る計算結果			
	炉	燃料	湿/乾	処理規模	再処理	燃料製造	炉心	天然ウラン利用効率 (%)	天然ウラン累積需要量 (万トン)	移行完了年	
1-1	Na大型炉 150万kWe × 2	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	98.0	71	2117年	
1-2							経済	98.4	81	2169年	
1-3						LLFP	98.0	86	2169年		
2-1						振動充填	資源	97.8	72	2169年	
2-2				経済	98.2	84	2169年				
3-1				小規模 (50t/y)	先進湿式	資源	98.0	71	2117年		
3-2						経済	98.4	81	2169年		
4-1				超臨界	簡素化 ペレット	資源	94.2	71	2117年		
4-2			経済			95.4	81	2169年			
5-1			乾式	小規模 (50t/y)	酸化物電解	振動充填	資源	96.3	74	2169年	
5-2							経済	96.7	89	2229年	
6-1			金属	乾式	大規模 (200t/y)	金属電解	射出鋳造	資源	94.0	66	2109年
6-2								経済	94.7	66	2109年
7-1					小規模 (50t/y)	金属電解	射出鋳造	資源	94.0	66	2109年
7-2	経済	94.7						66	2109年		
8-1	Pb - Bi中型炉 75万kWe × 4	窒化物	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	98.3	74	2169年	
8-2	He大型炉 150万kWe × 2	窒化物 被覆粒子	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	被覆法	資源	97.4	92	2174年	
9-2							経済	97.9	95	2174年	
10	水炉 135.6万kWe × 2	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	-	96.0	136	2294年	

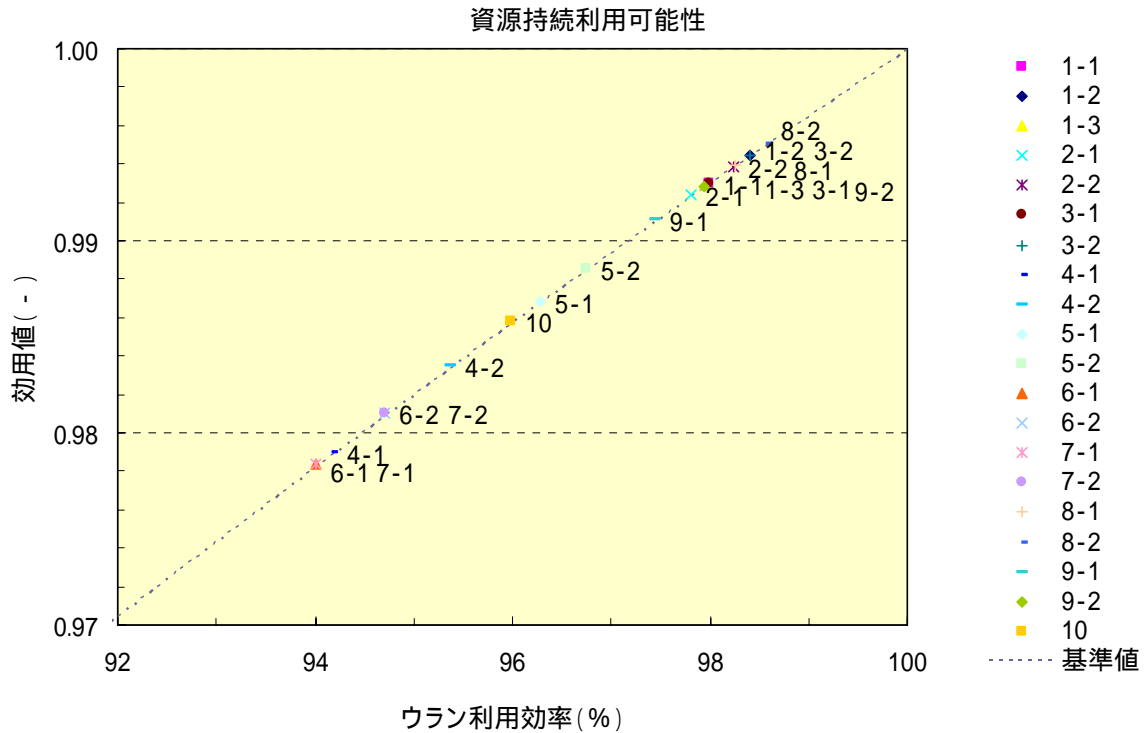


図 3.3.23 ウラン利用効率と資源持続利用可能性効用値との関係

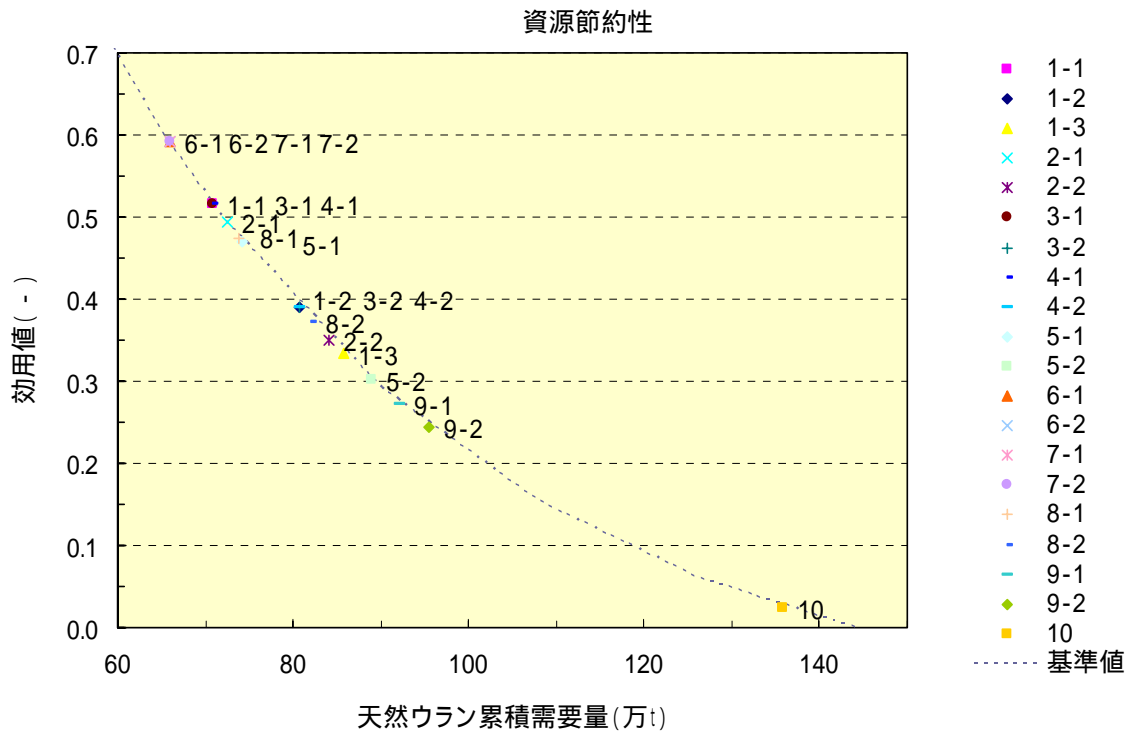


図 3.3.24 天然ウラン累積需要量と資源節約性効用値との関係

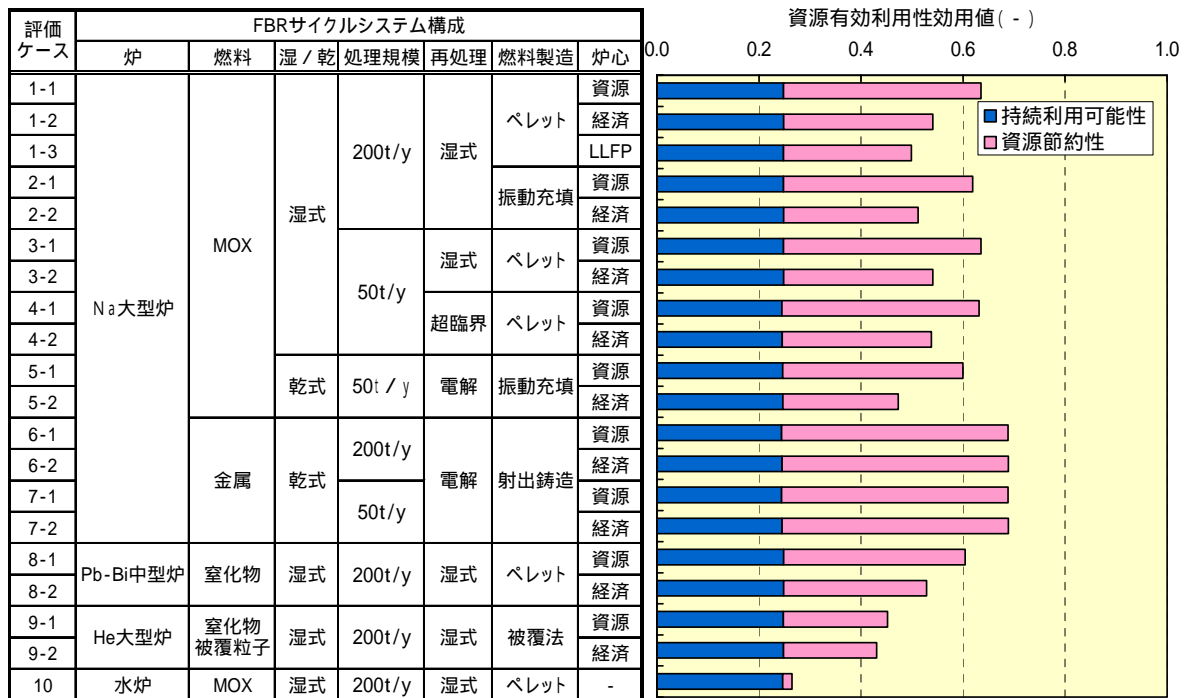


図 3.3.25 重み付けを考慮した資源有効利用性の評価結果

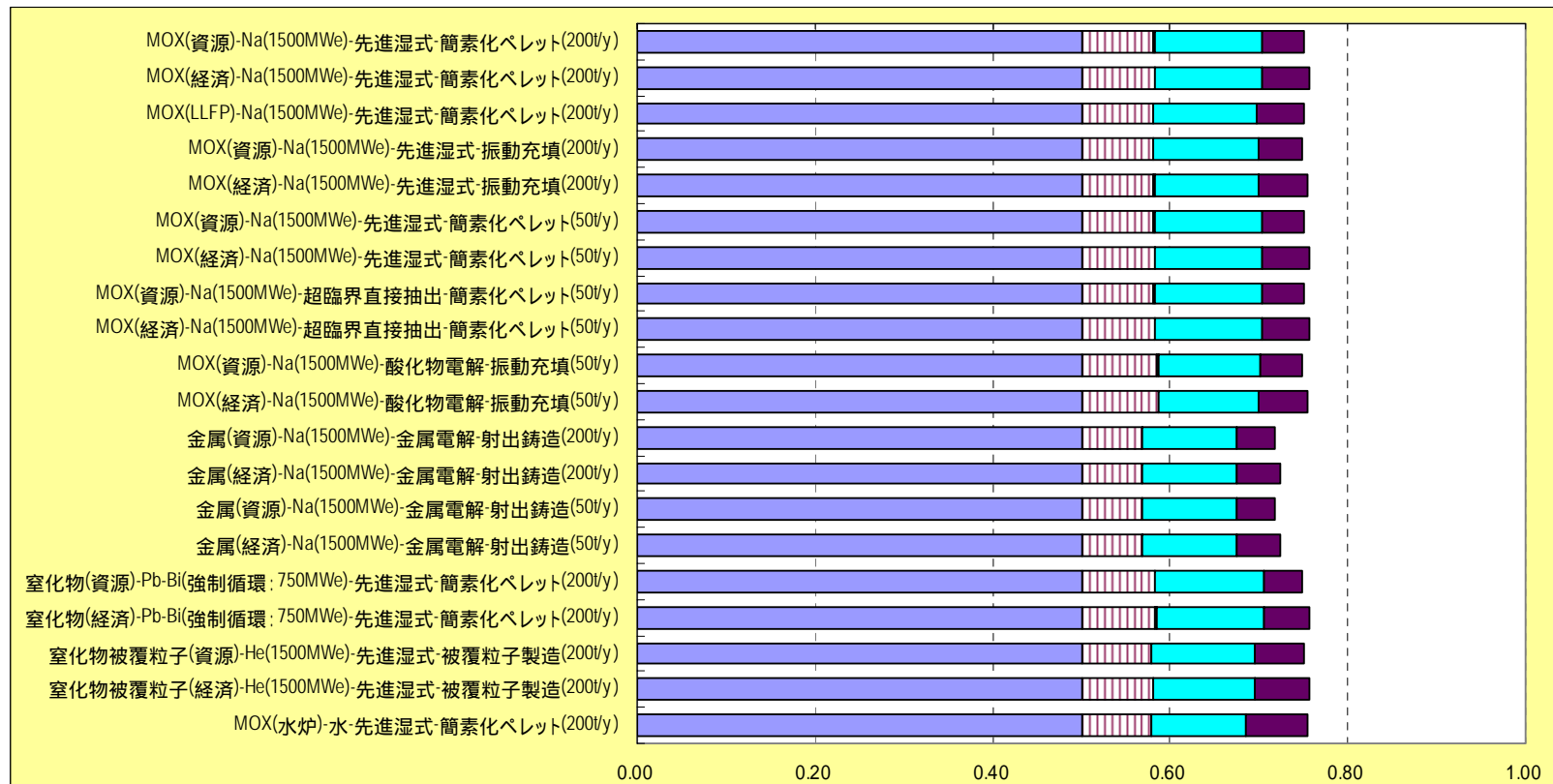
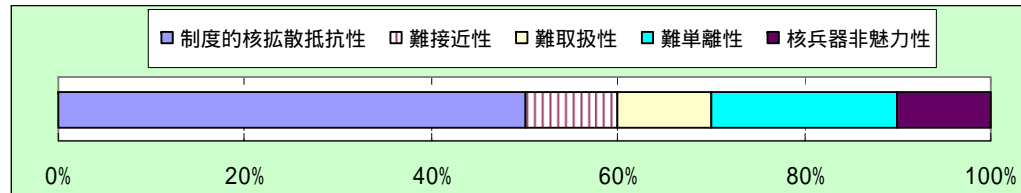


図 3.3.26 核拡散抵抗性の評価結果 (全ケース)

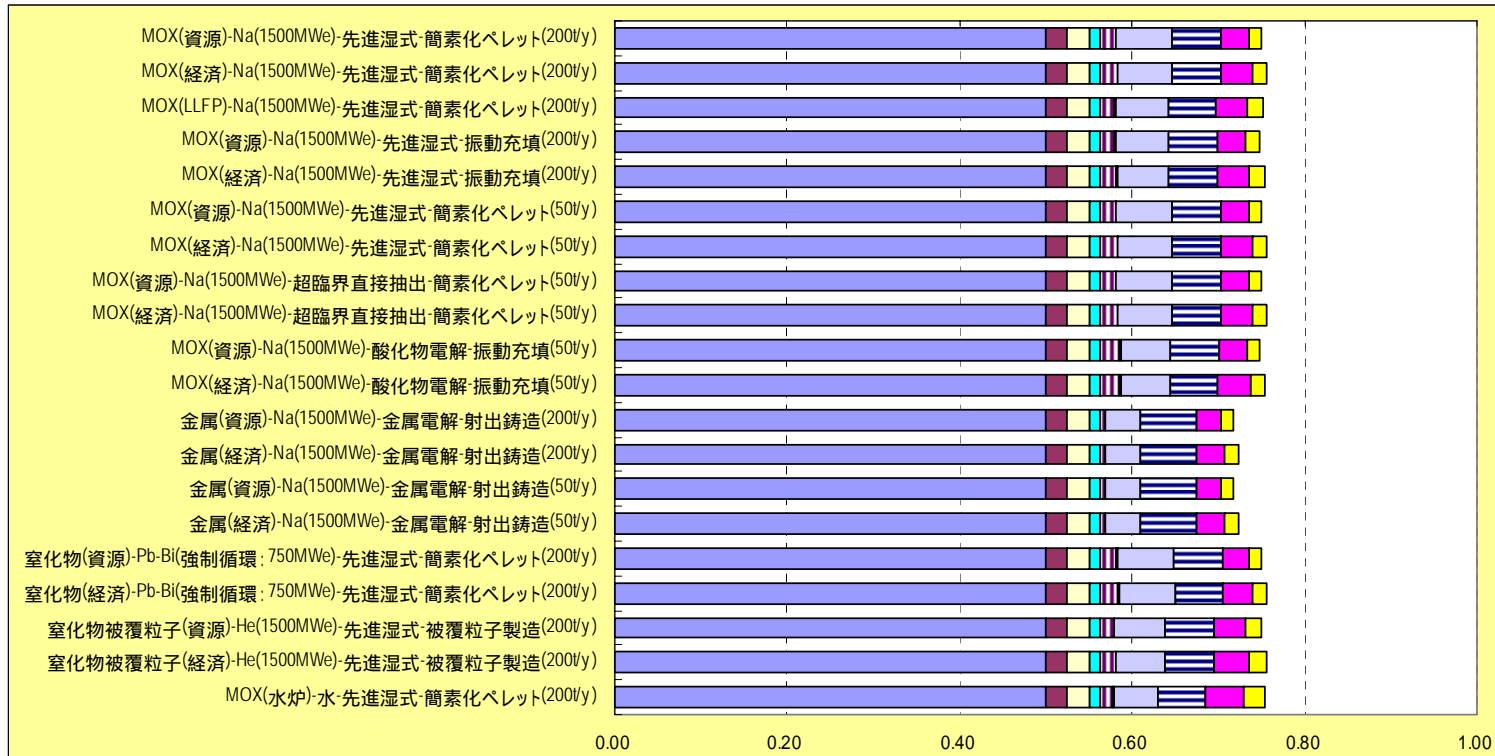
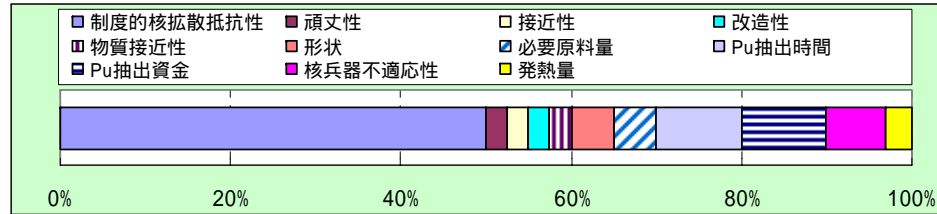


図 3.3.27 核拡散抵抗性の評価結果（全ケース最下位指標）

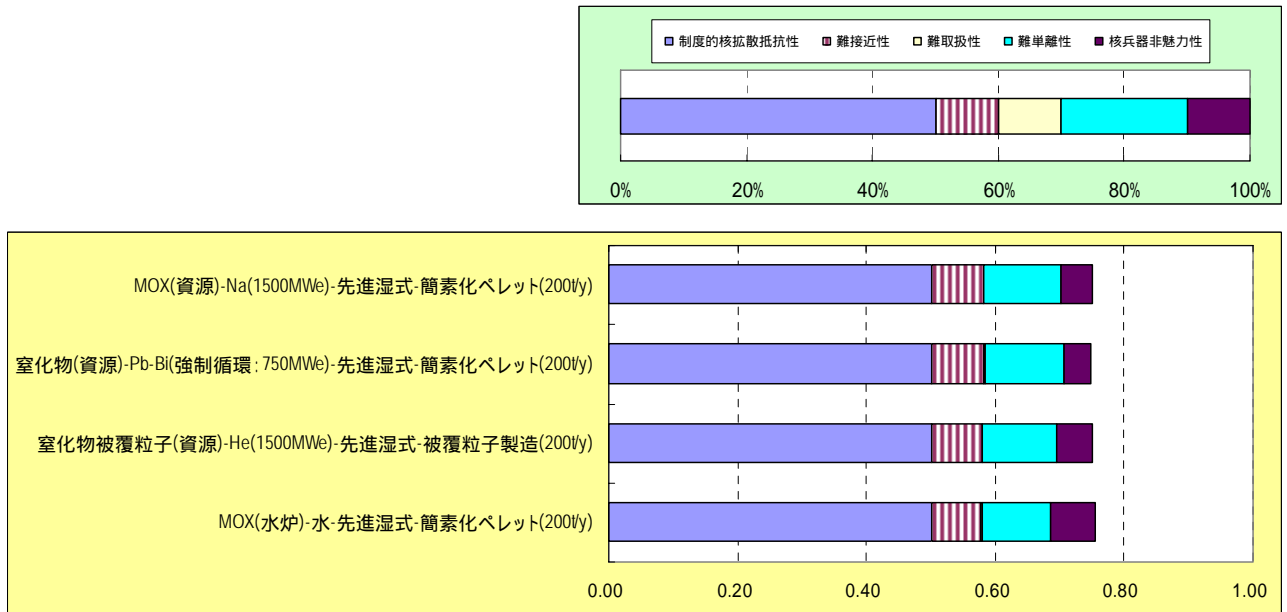


図 3.3.28 核拡散抵抗性の評価結果（炉型別）

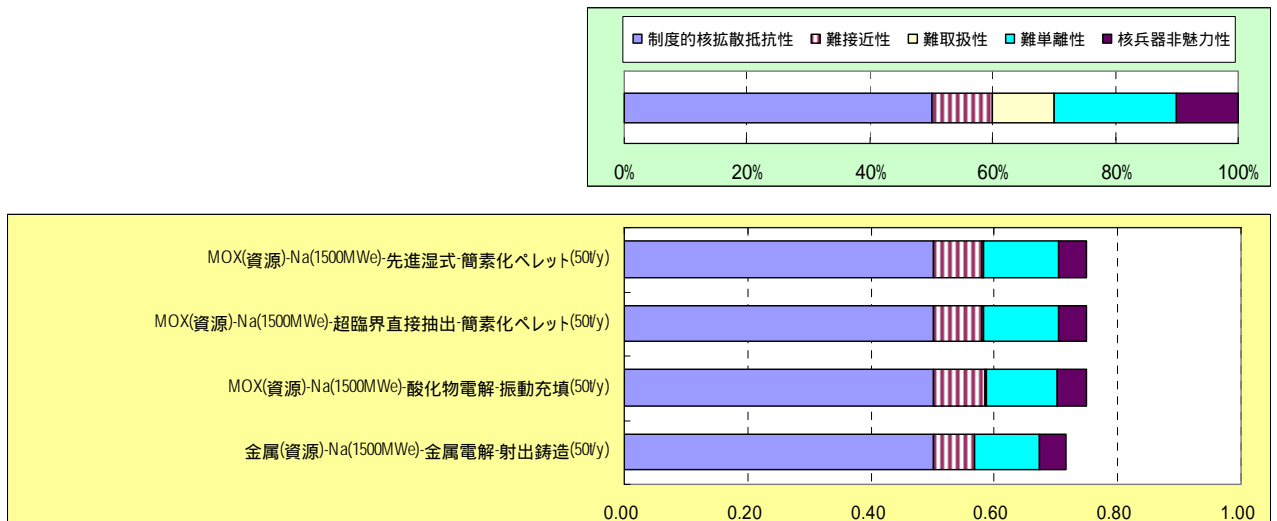


図 3.3.29 核拡散抵抗性の評価結果（燃料サイクル別：50tHM/y）

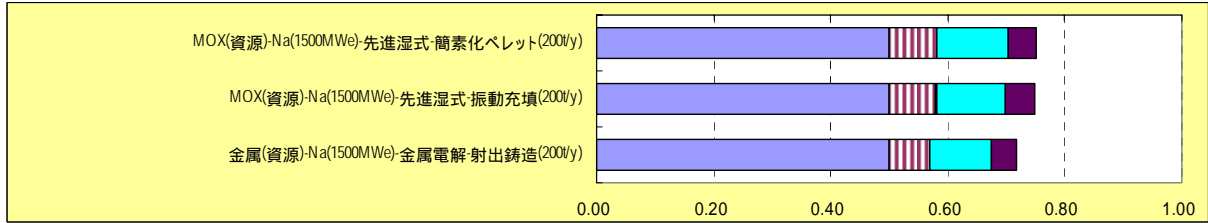
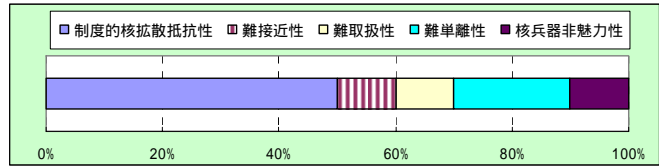


図 3.3.30 核拡散抵抗性の評価結果（燃料サイクル別：200tHM/y）

表 3.3.15 各候補概念の開発資金の比較

評価ケース	炉	燃料	湿 / 乾	処理規模	再処理	燃料製造	炉心	開発資金 (評価ケース1-1を100とした場合の指数)
1-1	Na大型炉 150万kWe × 2	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化ペレット	資源	100
1-3						LLFP	116	
2-1				振動充填	資源	99		
3-1				先進湿式	簡素化ペレット	資源	100	
4-1		超臨界	簡素化ペレット	資源	107			
5-1		乾式	小規模 (50t/y)	酸化物電解	振動充填	資源	105	
6-1		金属	乾式	大規模 (200t/y)	金属電解	射出鑄造	資源	105
7-1	小規模 (50t/y)						資源	105
8-1	Pb-Bi中型炉 強制循環 75万kWe × 4	窒化物	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化ペレット	資源	158
9-1	He大型炉 150万kWe × 2	窒化物 被覆粒子	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	被覆法	資源	167
10	水炉 135.6万kWe × 2	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化ペレット		42

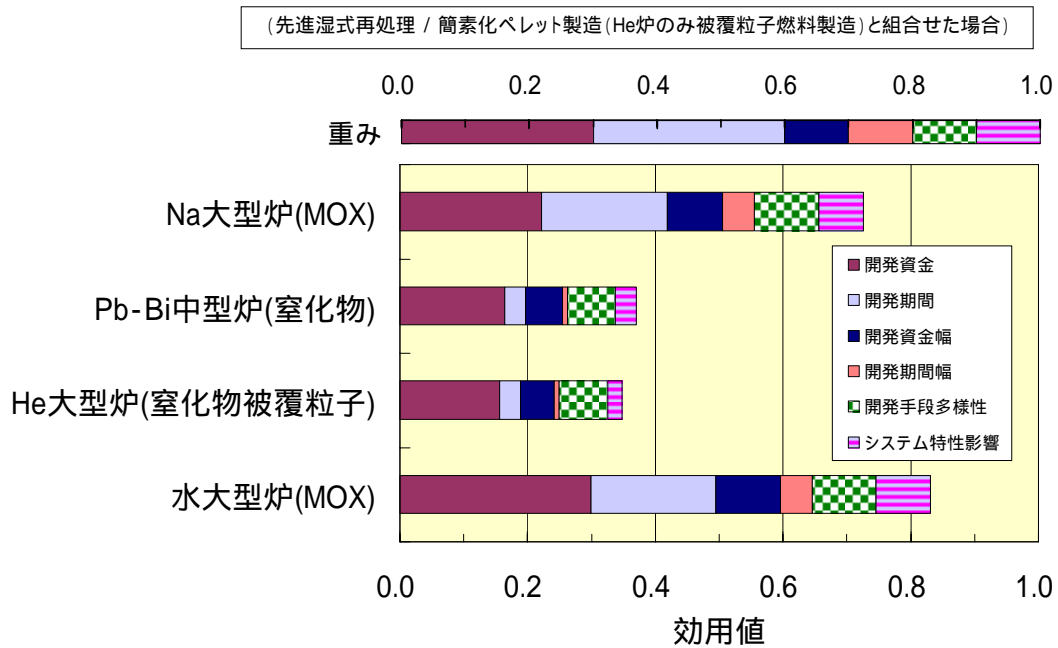


図 3.3.31 炉システム別の技術的実現性の評価結果

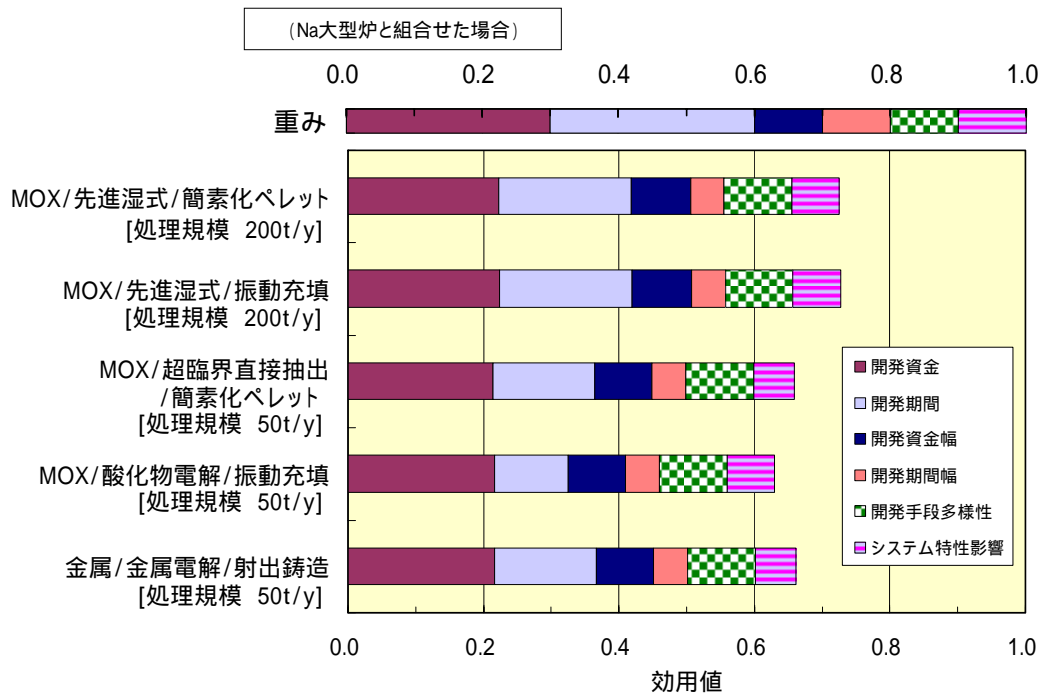


図 3.3.32 燃料サイクルシステム別の技術的実現性の評価結果

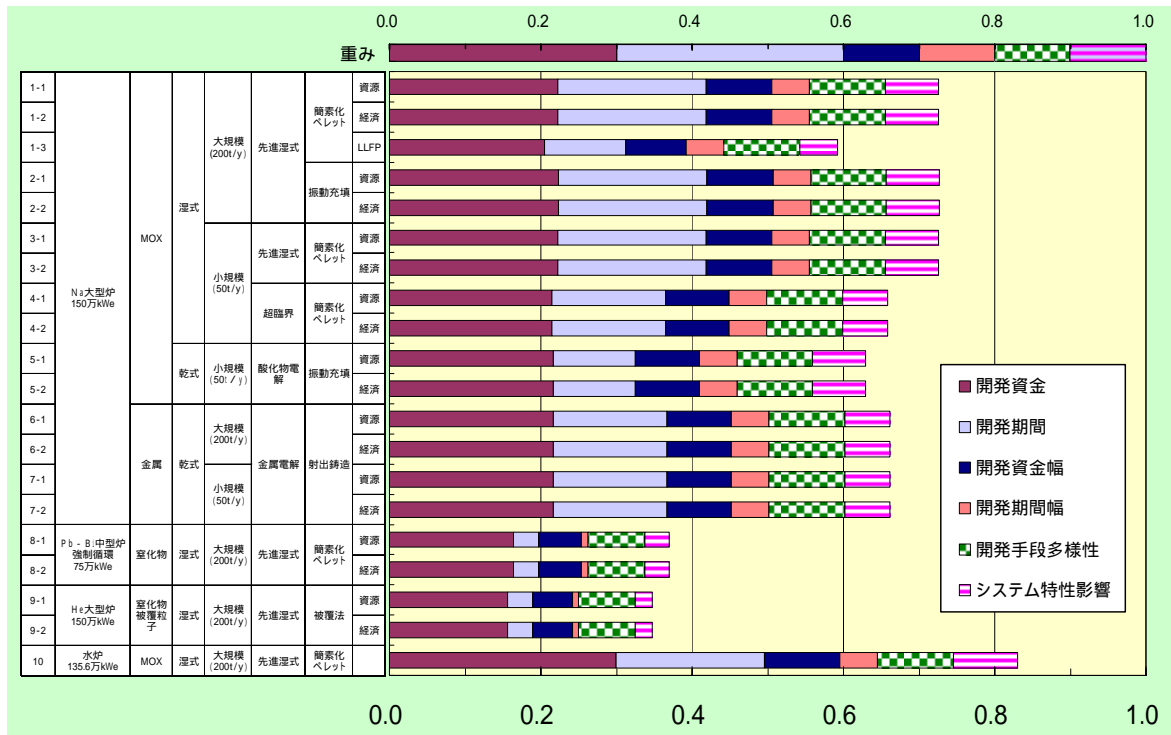


図 3.3.33 各候補概念に対する技術的実現性の評価結果

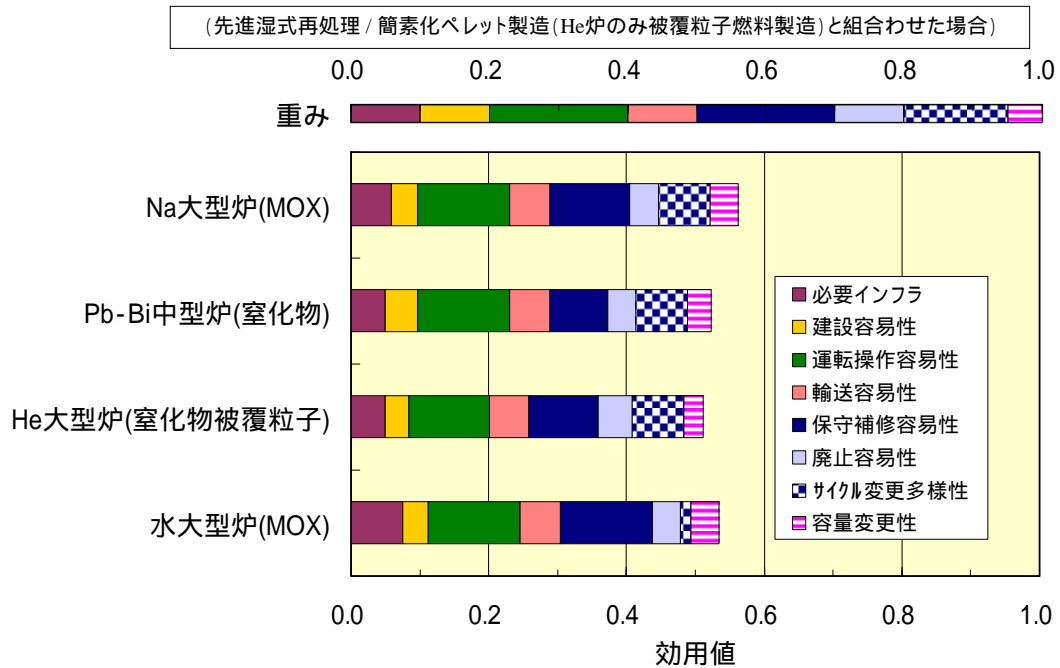


図 3.3.34 炉システム別の事業容易性の評価結果

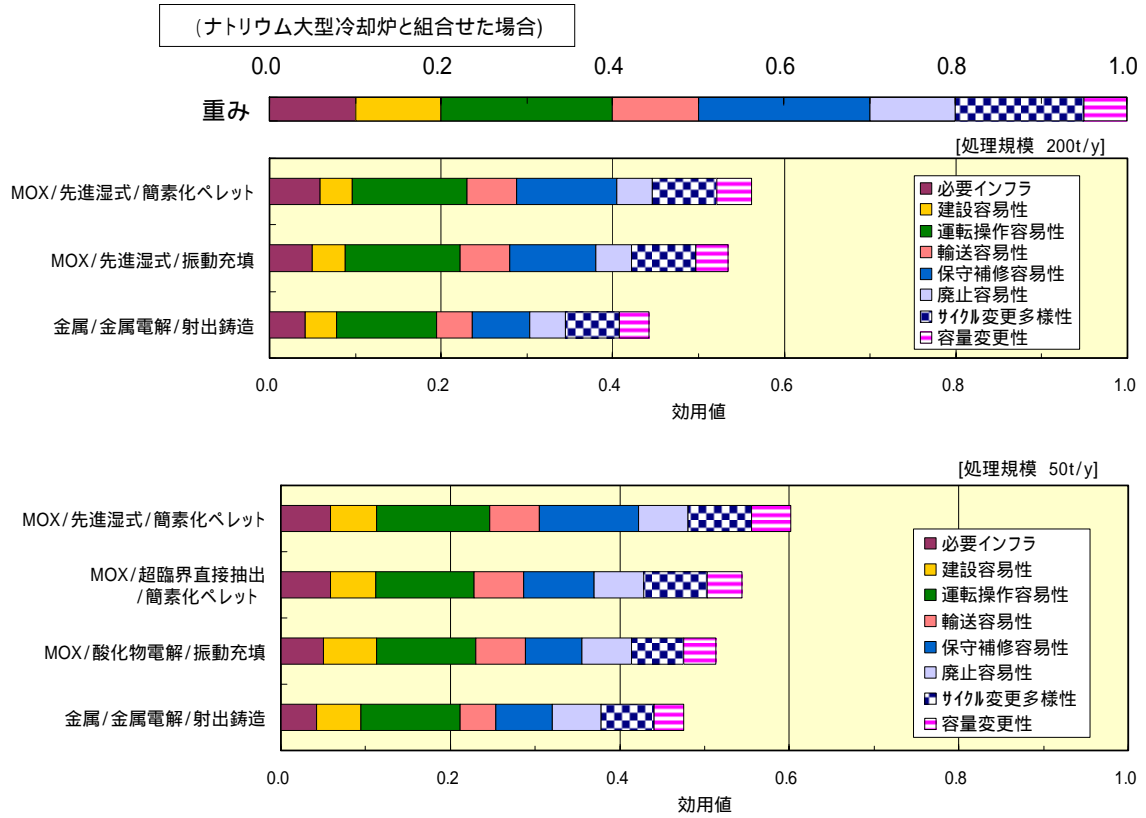


図 3.3.35 燃料サイクルシステム別の事業容易性の評価結果

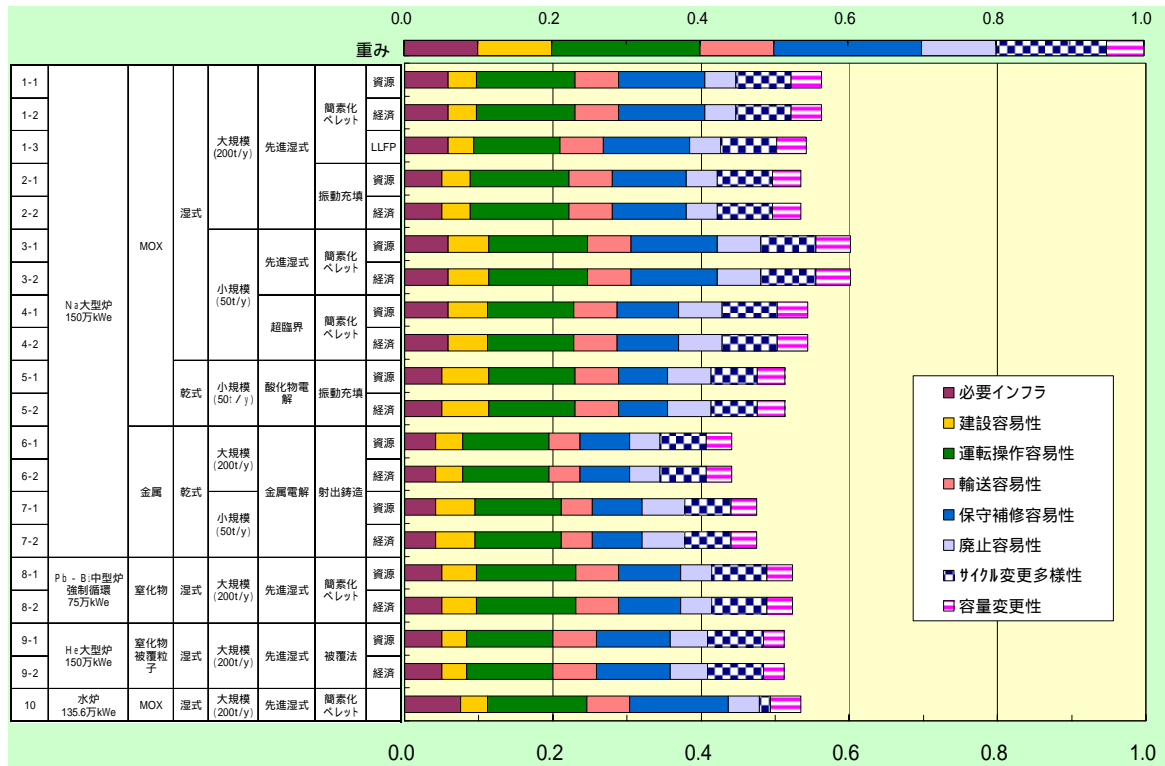
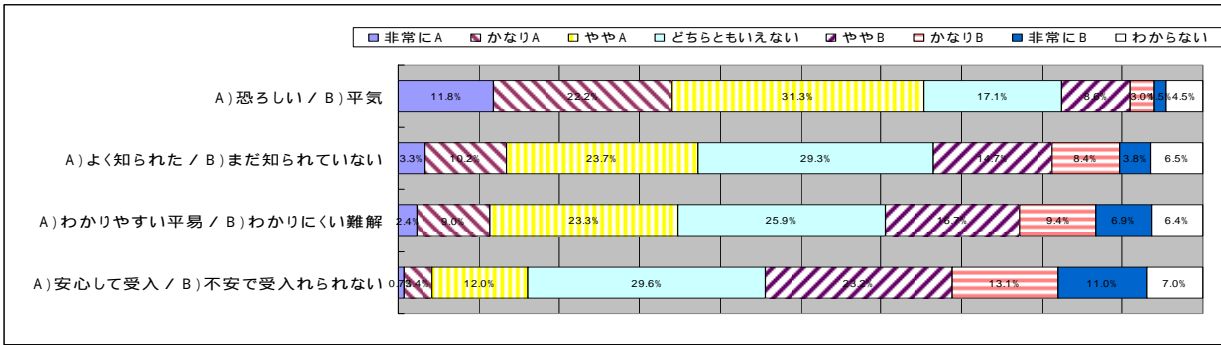
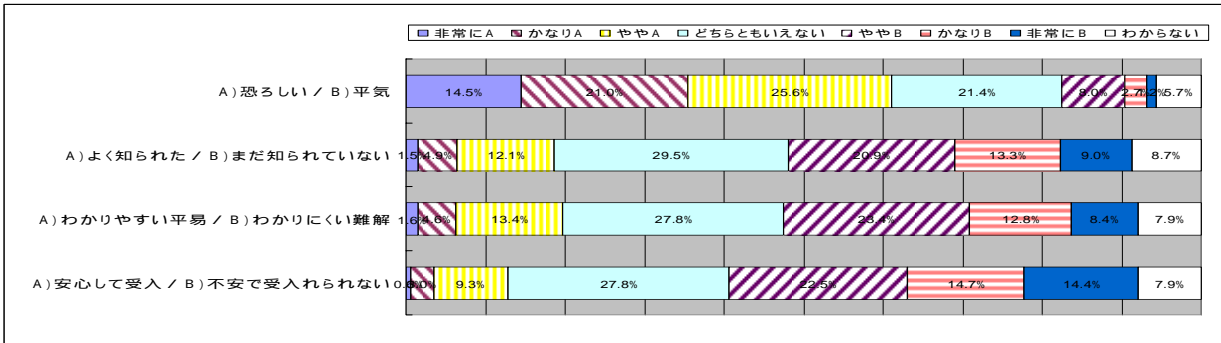


図 3.3.36 各候補概念に対する事業容易性の評価結果

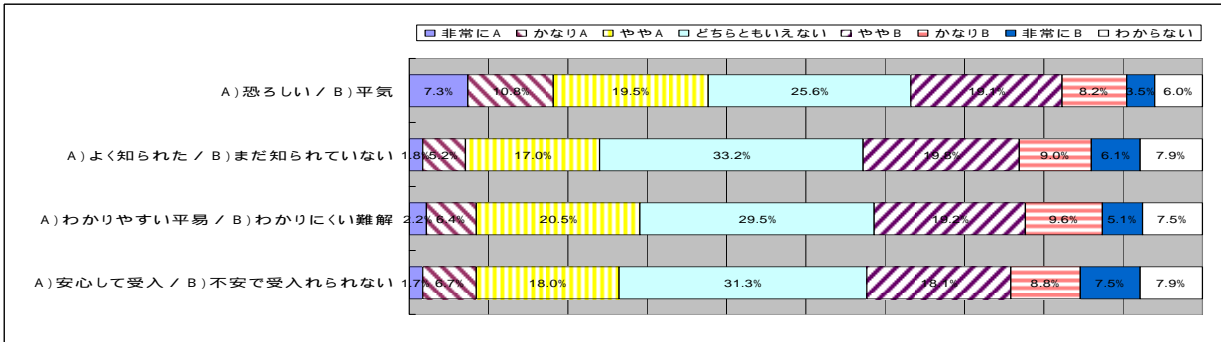
【ナトリウム炉】



【鉛ビスマス炉】



【ヘリウムガス炉】



【水炉】

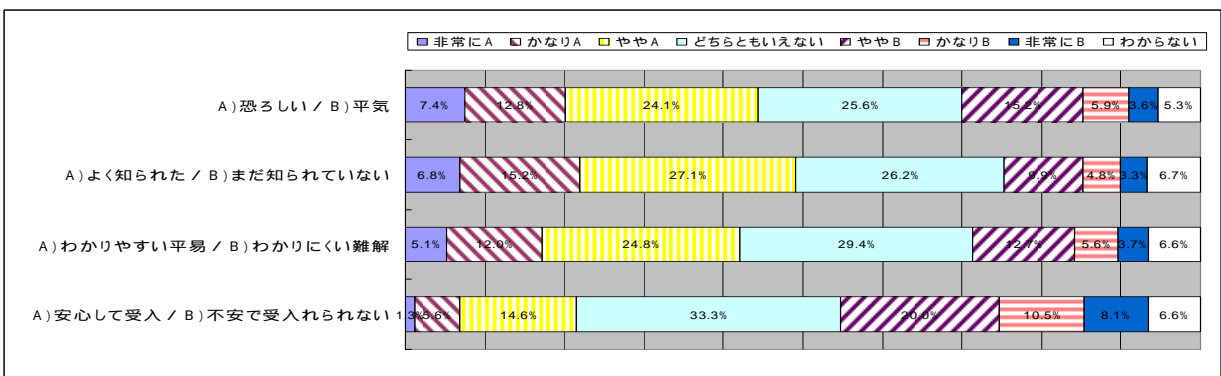
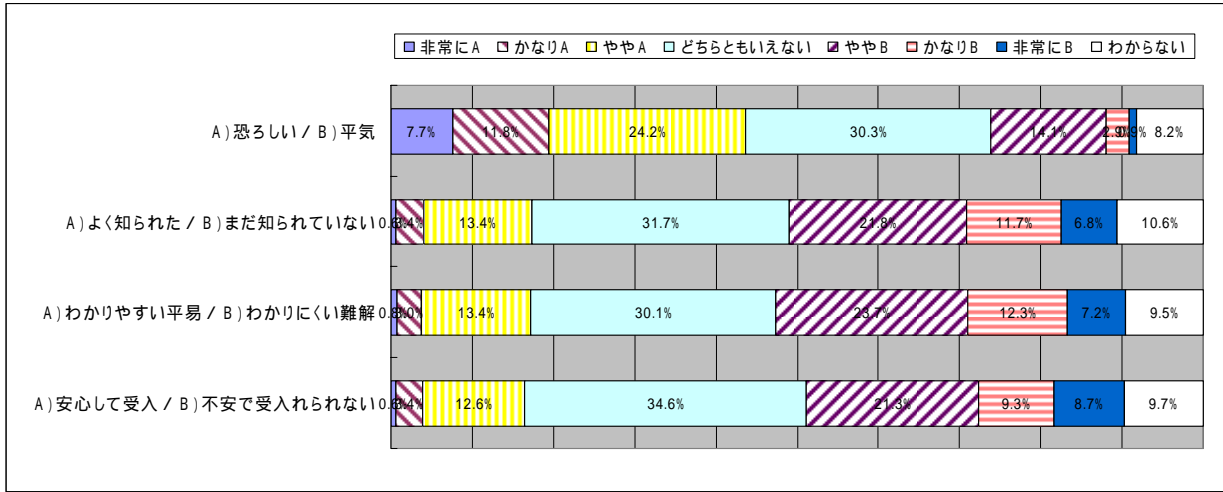
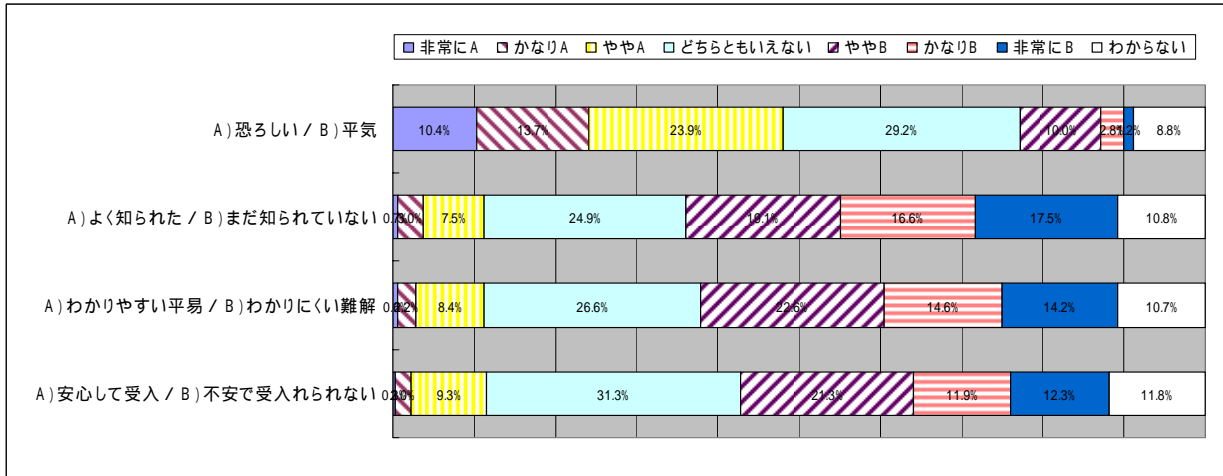


図 3.3.37 炉システム技術に対するアンケート調査結果

【 1 . 先進湿式再処理と簡素化ペレット燃料製造】



【 2 . 超臨界直接抽出再処理と簡素化ペレット燃料製造】



【 3 . 先進湿式再処理と振動充填燃料製造】

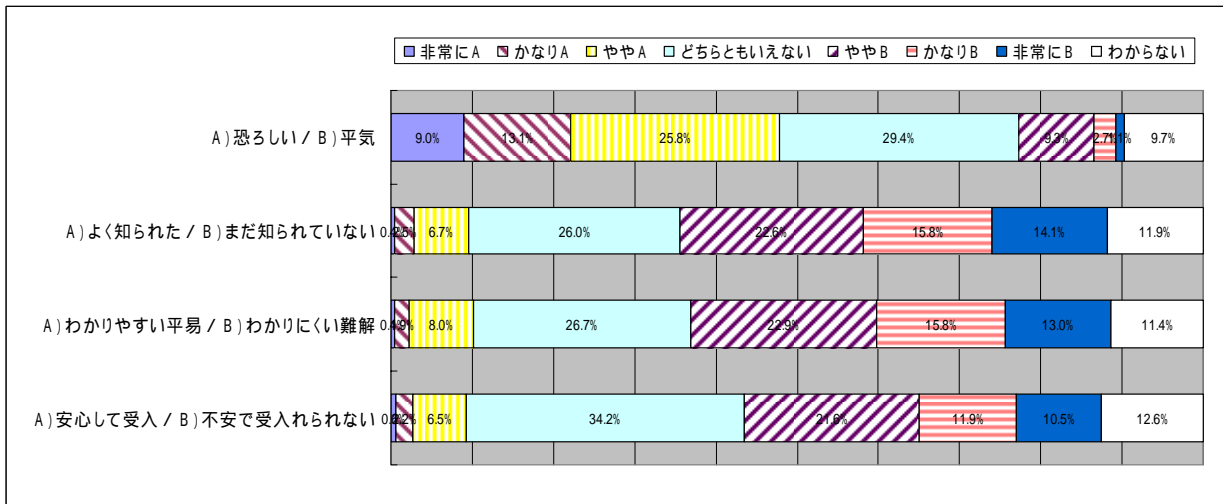
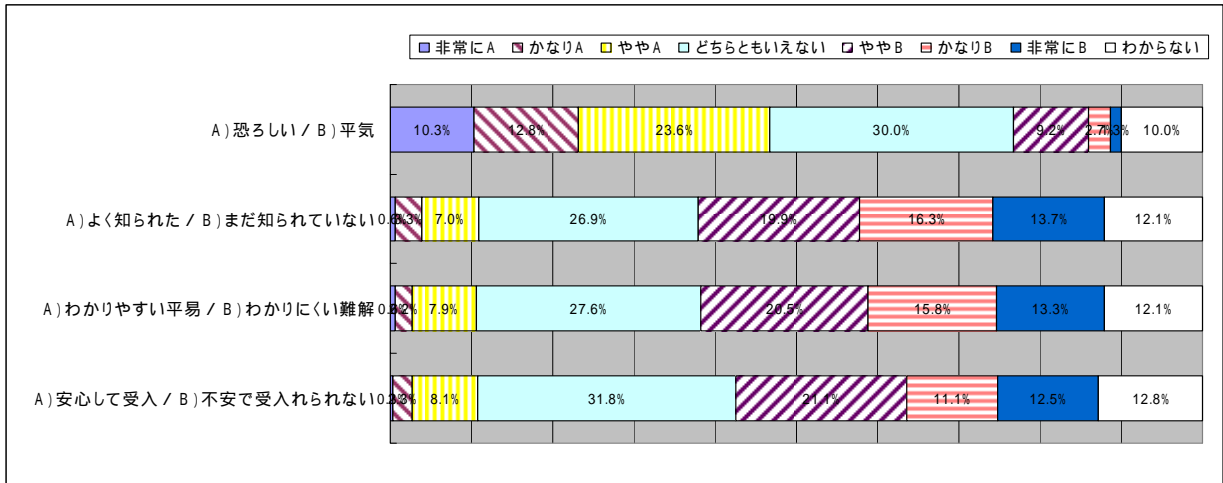
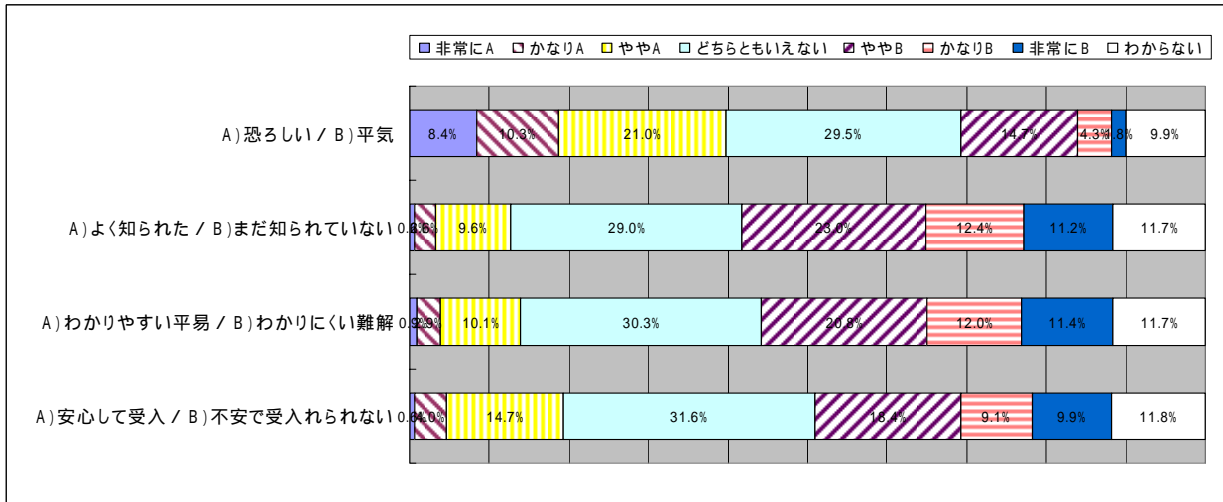


図 3.3.38 サイクルシステム技術に対するアンケート調査結果(1/2)

【 4 . 酸化物電解再処理と振動充填燃料製造】



【 5 . 金属電解再処理と射出成型燃料製造】



【 6 . LLFP 分離変換処理追加】

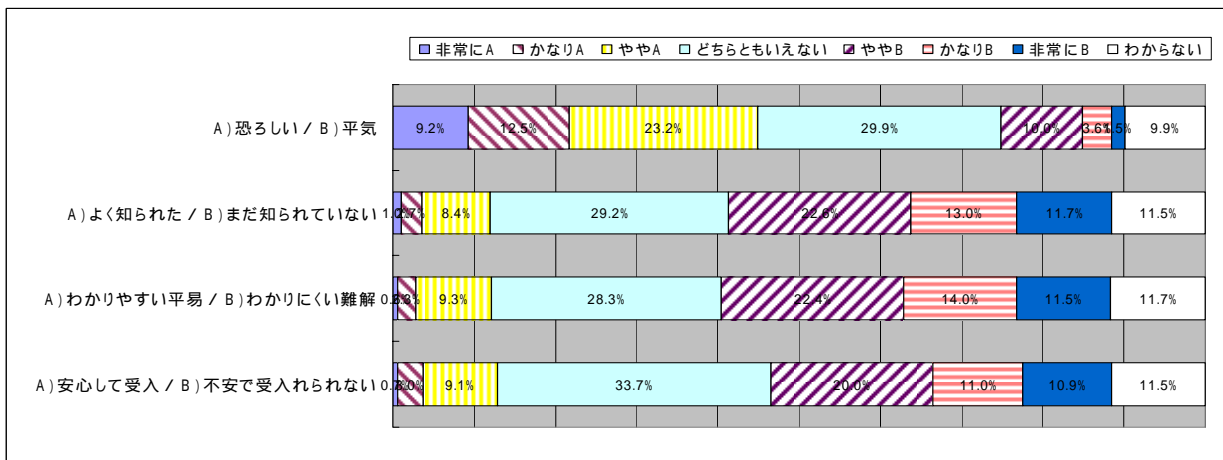


図 3.3.38 サイクルシステム技術に対するアンケート調査結果(2/2)

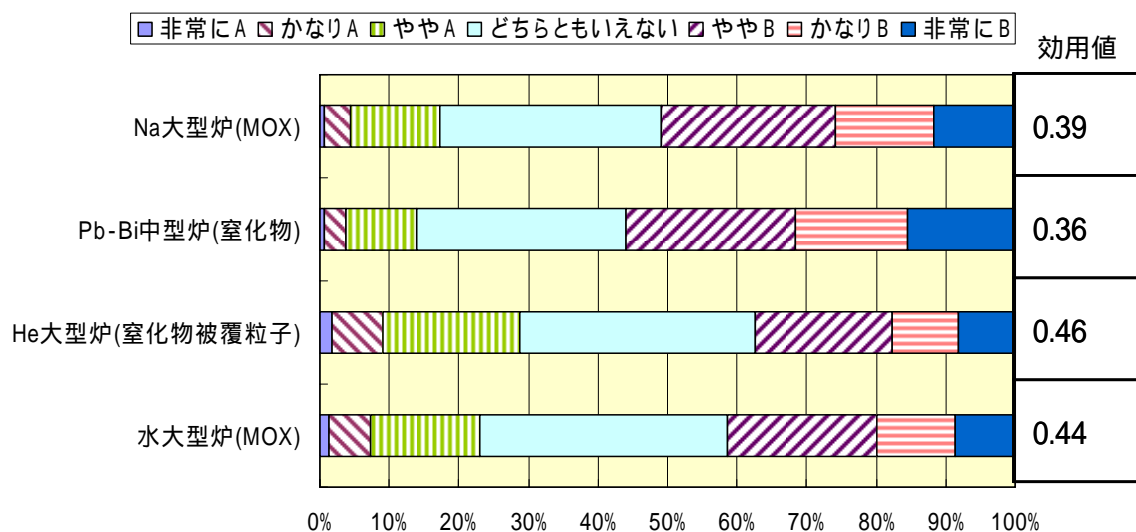


図 3.3.39 炉システムに対する普通の市民の受容性

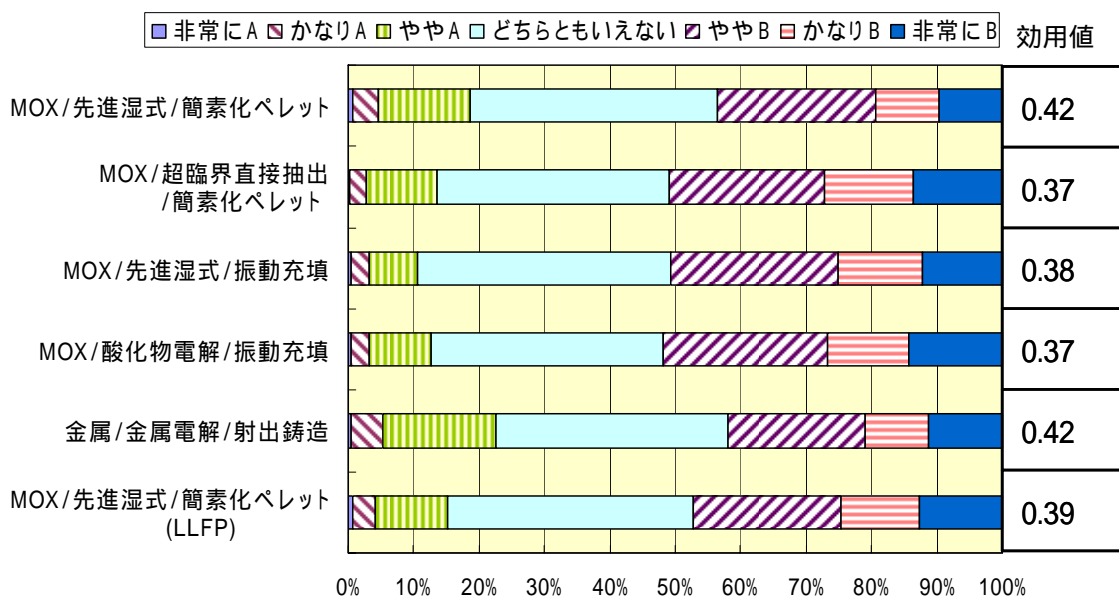


図 3.3.40 燃料サイクルシステムに対する普通の市民の受容性

表 3.3.16 炉システム及びサイクルシステムの総合態度に対する重回帰分析結果

	一般的態度	標準偏回帰係数			調整済 重決定係数	有意確率
		恐怖性	技術未知性	理解未知性		
炉	0.165	-0.436	-0.118	-0.283	0.401	0.001
型		-0.393	-0.111	-0.259	0.419	0.001
シ		-0.354	-0.134	-0.421	0.497	0.001
ス	0.152	-0.310	-0.131	-0.398	0.508	0.001
テ						
ム						

(注1) 標準偏回帰係数の正負について了解し易くするため、「受容性」のほか「一般的態度」「恐怖性」については逆転項目として扱ってある。

(注2) すべての標準偏回帰係数は、0.1%水準で有意である。

社会的受容性の評価構造

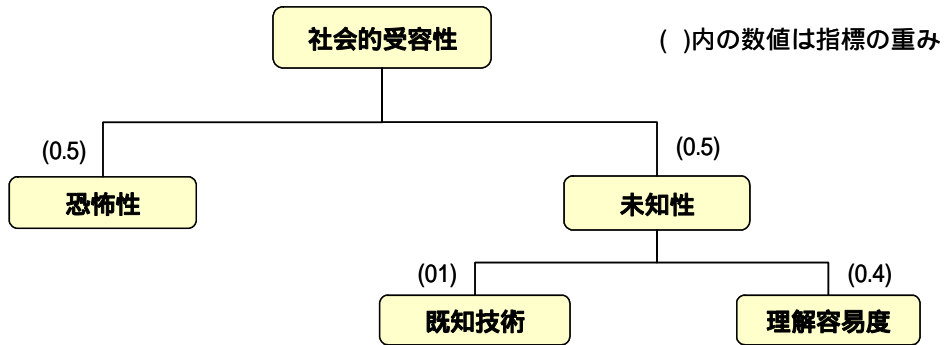


図 3.3.41 社会的受容性の評価構造結果

表 3.3.17 FBR サイクル候補概念に対する社会的受容性評価結果

ケース	炉	再処理	燃料製造	効用値
1	Na大型炉	先進湿式	簡素化ペレット	0.40
1-3 (LLFP)				0.39
2			振動充填	0.38
3		先進湿式	簡素化ペレット	0.40
4		超臨界	簡素化ペレット	0.38
5		酸化物電解	振動充填	0.38
6		金属電解(大)	射出鑄造	0.41
7		金属電解(小)		0.41
8	Pb - Bi中型炉	先進湿式	簡素化ペレット	0.39
9	Heガス大型炉	先進湿式	被覆法	0.44
10	水大型炉	先進湿式	簡素化ペレット	0.43

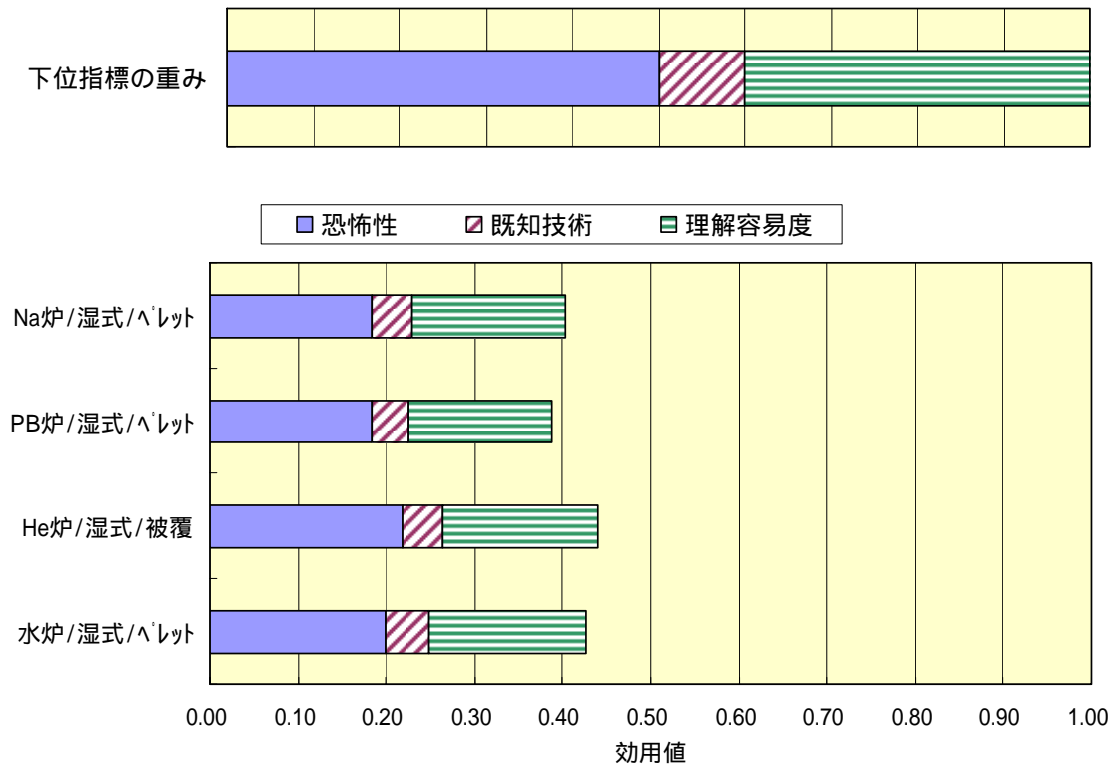


図 3.3.42 炉システム別の社会的受容性の評価結果

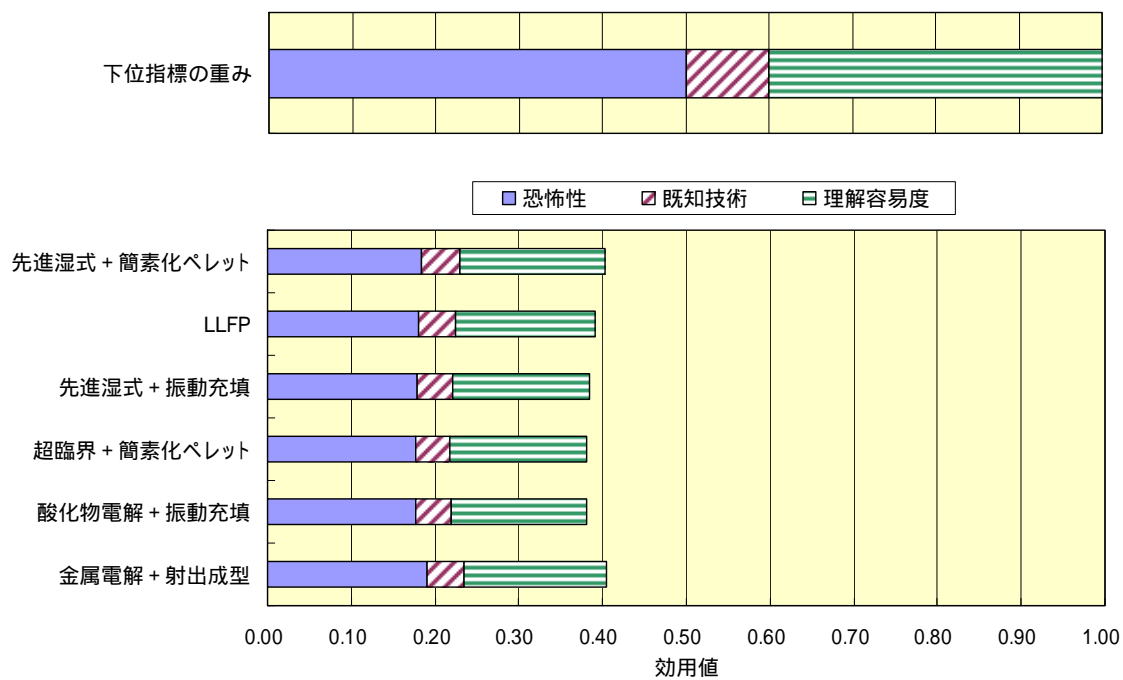


図 3.3.43 燃料サイクルシステム別の社会的受容性の評価結果

3.4 安全性を除く多面的評価結果

3.4.1 普通の市民の視点間重み付け結果

既に述べた検討結果にしたがって、フェーズ 最終評価では、アンケート結果を用いて評価視点間及び一部評価視点内の評価指標の重みを設定した。その結果を以下で記述する。アンケートについては、普通の市民、電気事業者、有識者の順番に記述する。

3.4.1.1 普通の市民へのアンケートの概要

(1) アンケート実施概要と基本構成

普通の市民の立場からの視点間重み付けは、アンケート調査は下記の要領で実施した。なお、アンケート票の基本構成において、Q1 から得られる結果を「回答者プロフィール」、問 1、問 2 から得られる結果を、それぞれ「将来社会像」、「重み付け結果」と呼ぶこととした。重み付けの作業は、問 2 の一対比較に関する質問への回答を基にして実施したので、以下では、普通の市民を対象として実施したアンケートの概要と重み付けの結果を中心に記述し、問 1 への回答や重み付けプロセスの詳細については、付録 3 で記述する（電気事業者と有識者へのアンケートについてもこの方針は同様とする）。

< アンケート実施概要 >

- 調査方法 : インターネットアンケート
- 実施期間 : 2005 年 5 月 31 日～6 月 7 日
- 回収数 : 2,197
- 調査票 : 付録 3 参照

< アンケート票の基本構成 >

Q1～4 : 回答者プロフィールに関する設問

問 1 : 将来社会に関する設問

問 2 : 視点間一対比較に関する設問

問 3 : チェック用設問

*設問内容詳細は付録 3 参照

(2) アンケート回答者属性

アンケート回答者属性および問 3（回答の整合性チェック用設問）に関してまとめる。

アンケート回答者の属性を、男女／年齢別（表 3.4.1）、居住都道府県別（表 3.4.2）、職種別（表 3.4.3）、業種別（表 3.4.4）にそれぞれ示す。

年齢層としては、20 代後半～40 代前半が全体の 7 割程度を占めており、居住地域は 3 大都市圏（首都圏、大阪／兵庫／京都、愛知）が全体の 6 割程度を占めている。回答者の職種と業種の分布からは、一般に“サラリーマン”と呼ばれる回答者、および、専業主婦が大きな割合を占めている。なお、本アンケートでは、業種分類において、「鉱業／電力・ガス／その他エネルギー」に含まれる回答者を 100 名以上抽出することを条件としており、同カテゴリーに属する回答者として 112 名（全体の約 5.1%）が得られている。

3.4.1.2 5 評価視点間の重み付け結果

ここでは、主に問2の視点間一対比較に関する設問への回答から、評価視点の重み付けを検討した結果について述べる。まず、開発目標に記載されている4評価視点（経済性、資源有効利用性（電源間比較では資源供給性）、環境負荷低減性（電源間比較では放射性廃棄物）、核拡散抵抗性）およびロードマップと開発計画で検討した結果を基にして評価を行なった技術的実現性に関わる5評価視点について、重み付けを検討し、重みを設定する。

(1) 単純平均による重み付け結果

5評価視点に関わる一対比較の結果から、一対比較行列を介して重み付けした結果を、回答者全員（2,197名）について単純平均した（一対比較行列からの重み付けは、固有値を用いない簡易法による）。

各評価視点の重みについて、求めた平均値と標準偏差を図3.4.1に示した。放射性廃棄物と核拡散抵抗性に、それぞれ約28%、約24%の重みがかかっており、それら以外の3評価視点（経済性、資源供給性、技術的実現性）の重みはそれぞれ15%程度となっている。資源供給性の重みは他と比較して標準偏差が小さい（バラツキが小さい）傾向にあることがわかる。

各評価視点の重みに関する度数分布を図3.4.2に示す。各評価視点の重み平均値が15～25%程度であるのに対し、それぞれ最大値は70%程度となっており、各評価視点とも特に大きな重み付けをする回答者層が存在することを示唆している。また、評価視点によっては度数分布に複数のピークがみられること、同図中に目安として示した重み平均値が必ずしも最頻値には位置していないことから、図3.4.2の度数分布は、複数の分布を合成したものと捉えられると考えられる。

次に評価手法の検討で説明したとおり、クラスター分析を実施することによってこれら度数分布の分解（回答者の分類）を試みる。

(2) 5 評価視点における重み付け結果

特に普通の市民については、さまざまな価値観を持つ集団が存在し、それらの特徴を考慮した重みが普通の市民における各集団に対応した重みとなると考えられる。このとき、クラスター分析手法を用いて、対象となる集団を分類して重みを設定する。

クラスター分析と集団分類の詳細は付録3に記述するが、クラスター分析の対象となる個体数は2,197（回答者）であることから、階層型クラスター分析法を実施するための計算資源や結果整理の煩雑さを考慮して、非階層型の手法（ここではk-means法を用いる）によりクラスター分析を実施した。

5評価視点の重み付けに関しては、回答者全員の意思が反映されていることを踏まえ、単純平均結果を基本となる重みとする。一方で、クラスター分析を行った際に見たように、各視点に特に大きな重みをつける回答者も存在する。そこでクラスター分析で得られた各クラスターに対応する評価視点の重みについては、アンケート回答者における特徴のある集団による重み付けとして考えられる場合、それらを派生的な重みとして位置づけることとする。その結果として、6分類の場合で得られた以下の5つのクラスターについて、派生重みを算出するために選定した。

- クラスター1：経済性を特に重視する集団

- クラスタ-2：資源供給性を重視する集団
- クラスタ-3：放射性廃棄物（環境負荷低減として）を特に重視する集団
- クラスタ-4：核拡散抵抗性を特に重視する集団
- クラスタ-5：技術的実現性を特に重視する集団

このときの各評価視点の重みを図 3.4.3 に示す。基本となる重みと各評価視点を重視する 5 つの派生重みという、全部で 6 種類の重みが得られた。

3.4.1.3 7 評価視点間の重み付け結果

ここでは、FBR サイクル候補概念間比較評価を実施するための 7 評価視点（経済性、環境負荷低減性（放射性廃棄物）、資源供給性、核拡散抵抗性、技術的実現性、事業容易性、社会的受容性（心理的バイアス低減性））について、重み付けを検討し、重みを設定した結果を記述する。なお、5 評価視点の場合と同様の検討を行なった点は適宜説明を割愛する。

(1) 単純平均による重み付け結果

7 評価視点に関わる一対比較の結果から、一対比較行列を介して重み付けした結果を、回答者全員（2,197 名）について単純平均した（一対比較行列からの重み付けは、固有値を用いない簡易法による）。

各評価視点の重みについて、求めた平均値と標準偏差を図 3.4.4 に示した。また、5 視点間の重み付け結果も参考として再掲した。7 視点間重み付けで新たに加わった 2 視点のうち、社会的受容性が、環境、核拡散に次ぐ大きさの重みを有している。

(2) 7 評価視点の重み付け結果

7 評価視点の重み付けに関しては、5 評価視点の場合と同様に、回答者全員の意思が反映されていることを踏まえて単純平均結果を基本となる重みとし、アンケート回答者における特徴のある集団による重み付けとして考えられる場合、クラスタ分析で得られた各クラスタに対応する評価結果を派生的な重みとして位置づけた。

上記を勘案して、派生重み付けケースは、7 分類クラスタ分析で得られたクラスタのうち、以下の 6 クラスタを選定する。

- クラスタ-1：経済性を特に重視する集団
- クラスタ-2：資源供給性を重視する集団
- クラスタ-3：放射性廃棄物（環境負荷低減として）を特に重視する集団
- クラスタ-4：核拡散抵抗性を特に重視する集団
- クラスタ-5：技術的実現性を特に重視する集団
- クラスタ-6：社会的受容性を特に重視する集団

このときの各評価視点の重みを図 3.4.5 に示す。基本となる重みと各評価視点を重視する 6 つの派生重みという、全部で 7 種類の重みが得られた。

3.4.1.4 8 評価視点間の重み付け結果

ここでは、他電源との比較評価を実施するための 8 評価視点（経済性、放射性廃棄物、環境影響低減性、資源供給性、社会不安定影響性（核拡散抵抗性）、技術的実現性、事業容易性、心理的バイアス低減性（社会的受容性））について、重み付けを検討し、重みを設定した結果を記述する。8 評価視点の結果は、各種電源との比較にのみ用いるので、FBR サイクル候補概念間の比較には用いない。なお、5 評価視点の場合と同様の検討を行なった点は適宜説明を割愛する。

(1) 単純平均による重み付け結果

8 評価視点に関わる一対比較の結果から、一対比較行列を介して重み付けした結果を、回答者全員（2,197 名）について単純平均した（一対比較行列からの重み付けは、固有値を用いない簡易法による）。

各評価視点の重みについて、求めた平均値と標準偏差を図 3.4.6 に示した。また、5 視点間の重み付け結果も参考として再掲した。8 視点間重み付けで新たに加わった 2 視点のうち、心理的バイアス低減性（社会的受容性）が、環境関連（放射性物質、環境負荷低減性）、核拡散に次ぐ大きさの重みを有している。

(2) 8 評価視点の重み付け結果

8 評価視点の重み付けに関しては、やはり回答者全員の意思が反映されていることを踏まえて単純平均結果を基本となる重みとし、アンケート回答者における特徴のある集団による重み付けとして考えられる場合、クラスター分析で得られた各クラスターに対応する評価結果を派生的な重みとして位置づけることとする。

上記を勘案して、派生重み付けケースは、8 分類クラスター分析で得られたクラスターのうち、以下の 7 クラスターを選定する。

- クラスター1：経済性を特に重視する集団
- クラスター2：資源供給性を重視する集団
- クラスター3：放射性廃棄物低減性を重視する集団
- クラスター4：環境影響低減性（放射性廃棄物を除く）を特に重視する集団
- クラスター5：核拡散抵抗性を特に重視する集団
- クラスター6：技術的実現性を特に重視する集団
- クラスター7：心理的バイアス低減性を特に重視する集団

このときの各評価視点の重みを図 3.4.7 に示す。基本となる重みと各評価視点を重視する 7 つの派生重みという、全部で 8 種類の重みが得られた。

3.4.2 電気事業者の重み付け結果

3.4.2.1 電気事業者へのアンケートの概要

(1) アンケート実施概要と基本構成

電気事業者を重み付け主体とした場合の視点間重み付けは、電力会社に勤務する人を対象に、普通の市民を対象として実施したものと同様の質問票を用いてアンケートを実施し、その結果の単純集計により算出する。電力会社勤務者アンケートの実施概要は以下のとおり。

電気事業者へのアンケートから算出する重みについては、普通の市民へのアンケートから算出した重みとの違いを把握・検討することを目的とする。また、評価視点のうち、経済性と事業容易性については下位指標の重み設定の参考とするため、新たなアンケートの設問を設けた。これら下位指標の重みを設定するための設問では、電力経営や事業に関するかなり細かい観点について、それらの相対的な重要度を質問するので、普通の市民を対象に尋ねることとはしなかった。

< アンケート実施概要 >

- 調査方法 : 調査票手渡し→郵送回収(一部、メールにて回収)
- 実施期間 : 2005年8月1日～8月31日
- 回収数 : 35
- 調査票 :

< アンケート票の基本構成 >

- 問1 : 将来社会に関する設問
- 問2 : 視点間一対比較に関する設問
- 問3 : 経済性、事業容易性の下位指標重み付け

(2) アンケートへの回答者属性概要

アンケートへの回答者の属性の概要は以下のとおり。

< 回答者属性概要 >

- 技術系(原子力、火力、燃料、研究、他) : 13名
- 事務系(営業、立地、等) : 6名
- 原子力機構派遣者 : 8名
- FBR関係者 : 8名

3.4.2.2 電気事業者へのアンケートによる重み付け結果

普通の市民のときと同様の重み付け手法により算出した5評価視点、7評価視点、8評価視点の重み付け結果については、図3.4.8から図3.4.10に示す。

図中には、普通の市民のアンケート結果と平均値を比較し、その差の検定(2標本検定)を行うため、各視点の重みについてt値を算出して併せて示している。t値を用いた仮説検定の概略は以下のとおりである。まず、二つのサンプル集団に対するt値は、サンプル集団iの平均、標準偏差、サンプル数をそれぞれ、 X_i 、 s_i 、 n_i としたとき、

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

で表され、自由度 v の t 分布に従う。

$$v = \frac{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}{\sqrt{\frac{(s_1^2/n_1)}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)}{n_2 - 1}}}$$

ここで、帰無仮説 H_0 を、

H_0 : (ある視点の) 電気事業者平均値 = 普通の市民平均値

としたとき、 t 値 (絶対値) $> t_{0.25}(v)$ であれば有意水準 5% で H_0 は棄却される (すなわち、95% の確率で電気事業者平均値と普通の市民平均値に差があると言える)。 v の値は視点によって異なるが、ここでは近似的に 35 であるとすれば、 $t_{0.25}(35) = 2.030$ である。

今回電気事業者へのアンケート結果の場合、上記より、 t 値 = 約 2 を基準とすると、以下の評価視点の重みについて、電気事業者と普通の市民との間に差があると考えられる (有意水準: 約 5%)。

- 「資源供給性」、「環境負荷低減性」、「事業容易性」: 電気事業者の重みが普通の市民よりも大きい
- 「心理的バイアス」、「核拡散抵抗性」、「放射性廃棄物」: 電気事業者の重みが普通の市民よりも小さい

3.4.3 有識者の重み付け結果

普通の市民のときと同様の重み付け手法により算出した 5 評価視点、7 評価視点、8 評価視点の重み付け結果については、図 3.4.11 から図 3.4.13 に示す。

回答数が少ないために、統計的な有意性はないものの、回答を頂いた有識者の方の重みの傾向を普通の市民と比較すると、以下の点があげられる。

- 「資源供給性」、「環境負荷低減性」、「核拡散抵抗性」: 有識者の重みが普通の市民よりも大きい
- 「放射性物質」、「心理的バイアス低減性」: 有識者の重みが普通の市民よりも小さい

3.4.4 重み付けを行わない評価結果（5 評価視点からの評価）

FBR サイクル候補概念について、まず、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、技術的実現性という 5 つの評価視点について、評価視点の重み付けを行わないときの評価結果に関して記述する。

前節までの結果を受けて、評価結果を棒グラフにて図 3.4.14 に示す。この結果は、候補概念全ての評価結果を示したものである。ただし、評価ケース全てを対象とした議論は冗長になるため、代表的なケースを取り出して結果を説明する。また、各候補概念の結果については、仮に軽水炉と比較したとき、全ての候補概念で良好と考えられる視点（たとえば資源有効利用性）などでも、候補概念間で相対的に比較して良し悪しを述べることとする。

3.4.4.1 炉型別の評価結果（5 評価視点からの評価）

まず、大型炉サイクルで冷却材を変えたときの評価結果、つまり 4 炉型別の評価結果について述べる。再処理施設及び燃料製造施設は、ヘリウムガス冷却炉については、再処理が脱被覆法と先進湿式法の組み合わせ、燃料製造が被覆粒子製造法（ブロック燃料）として組み合わせるサイクルを構成しているものの、他は先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造を炉に組み合わせている。また、燃料サイクル施設は全て 200tHM/y の処理規模（大型施設）を考えた。また、炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。評価結果をレーダーチャートにて図 3.4.15 に、また、棒グラフにて図 3.4.16 に示す。一般的に核拡散抵抗性では、炉型による評価結果の差は小さい。また、環境負荷低減性では、熱効率の差や低レベル廃棄物発生量の差があり、若干ナトリウム冷却炉サイクルと鉛ビスマス炉サイクルの評価結果が良かったものの、大きな差は生じなかった。以下では、経済性、資源有効利用性、技術的実現性について中心的に記述する。

ナトリウム冷却炉サイクル（ケース 1-1）は、特に劣る部分もなく全般的にバランスが取れた結果であった。特に今後の開発要素が少なく早期に導入できることが幸いして、経済性、資源有効利用性や技術的実現性などで相対的に優れている。

鉛ビスマス冷却炉サイクル（ケース 8-1）とヘリウムガス冷却炉サイクル（ケース 9-1）については、双方とも窒化物燃料を用いており、経済性では、かなりの性能が期待できるものの、今後、実用化までに要する期間や資金が大きいために技術的実現性に課題がある。なお、鉛ビスマス冷却炉サイクル（ケース 8-1）とヘリウムガス冷却炉サイクル（ケース 9-1）の評価結果には、窒化物燃料（鉛ビスマス冷却炉サイクルについては、窒化物ペレット燃料、ヘリウムガス冷却炉サイクルについては、窒化物被覆粒子燃料）を利用することによる影響も含まれている。もちろん、炉心燃料形態も原子炉プラントと相性がよいものが選ばれており、燃料サイクル施設は冷却材の選択と無関係ではない。ただ、プラントの違い（冷却材の違い）だけが評価結果の差を説明する理由ではないことも留意すべきである。また、資源有効利用性に関しては、ヘリウムガス冷却炉は炉のインベントリが大きく導入に時間を要するため、ナトリウム冷却炉と比較すると相対的には評価結果がやや劣ることとなった。

水冷却炉サイクル（ケース 10）については、プラントの性能向上をめざした研究開発を実施せずに現状の軽水炉プラントをそのまま使い、炉心燃料と燃料サイクル施設の開発を行うと想定した FBR サイクルであるので、技術的実現性の評価結果が高い評価結果となった。他方で、炉のインベントリが大きく資源有効利用性の評価は低くなり、燃焼度が低い等の影響もあって経済性もあまり高い評価結果とならなかった。

3.4.4.2 燃料サイクル施設別の評価結果(50tHM/y:5 評価視点からの評価)

次に燃料サイクル施設を変更したときの評価結果について分析を行う。プラントは、ナトリウム冷却大型炉を選び、サイクル施設の処理規模は全て 50tHM/y (小規模)として比較する。炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。再処理方式と燃料製造方式をそれぞれ先進湿式簡素化ペレット法(MOX 燃料)の場合(ケース 3-1)、超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法(MOX 燃料)の場合(ケース 4-1)、酸化物電解法□振動充填法(MOX 燃料)の場合(ケース 5-1)、金属電解法 射出成型法(金属燃料)の場合(ケース 7-1)について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果をレーダーチャートにて図 3.4.17 に、また棒グラフにて図 3.4.18 に示す。

わずかに酸化物電解法 振動充填法が低めの結果となった以外は、ほとんど同程度の結果が得られた。全体として候補概念間の差は大きくないものの、あえて言えば以下の特徴がある。

先進湿式 簡素化ペレット法については、経済性についてやや劣っており、先進湿式法では、小規模では経済性を向上することがかなり難しいという検討結果が反映されている。一方、今後の研究開発の期間も短く、資金も少ないので、技術的実現性においてやや優れている。超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法については、先進湿式 簡素化ペレット法よりも経済性評価結果が向上するが、環境負荷低減性や技術的実現性などでやや評価結果が低下する。酸化物電解法 振動充填法については、経済性はさらに向上するが、技術的実現性と社会的受容性の評価結果が低下する。金属電解法 射出成型法については、先進湿式 簡素化ペレット法に比べ、フェーズ 最終評価時点での設計どおり、高レベル廃棄物の発生量が相当多い場合でも経済性は最も向上するが、より効率的な高レベル廃棄物処分方法が開発されれば、この利点はさらに大きくなる。また、資源有効利用性もかなり高い評価結果である。逆に技術的実現性と社会的受容性は低下するが、酸化物電解法 振動充填法と比較してかなり少ない。ただ、核拡散抵抗性については、わずかに低めであった。

上で述べたように燃料サイクルによる候補概念間の差は大きくないが、どの評価視点を重視するのかによって望ましい燃料サイクルが変わることが予想される。

大規模な燃料サイクルを組み合わせたときの評価結果については、次に記述する。なお、経済性重視型炉心とした場合には結果が微妙に変化するだけであり、大きな差は生じない。

3.4.4.3 燃料サイクル施設別の評価結果(200tHM/y:5 評価視点からの評価)

最後に、プラントはナトリウム冷却大型炉を選び、サイクル施設の処理規模は全て 200tHM/y (大規模)としたときの評価結果について述べる。炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。再処理方式と燃料製造方式をそれぞれ先進湿式 簡素化ペレット法(MOX 燃料)の場合(ケース 1-1)、先進湿式法 振動充填法(MOX 燃料)の場合(ケース 2-1)、金属電解法 射出成型法(金属燃料)の場合(ケース 6-1)について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果をレーダーチャートにて図 3.4.19 に、また棒グラフにて図 3.4.20 に示す。

評価結果は全体としてわずかな差で先進湿式 簡素化ペレット法、先進湿式法 振動充填法、金属電解法 射出成型法の順番となった以外は、ほとんど同程度の結果が得られた。全体として候補概念間の差は大きくないものの、あえて言えば以下の特徴がある。

先進湿式法 簡素化ペレット法については、全体として満遍なく良好な評価結果を得た。特に技術的実現性において、他の候補概念よりも優れている。先進湿式法 振動充填法については、先進湿式 簡素化ペレット法と類似しているが、技術的実現性などでやや評価結果が低下する。金属電解法 射出成型法については、先進湿式 簡素化ペレット法に比べて資源有効利用性の評価結果はやや向上する。しかし、小規模燃料サイクルの結果と比較すると経済性はそれほど向上しない。

また、核拡散抵抗性と技術的実現性についてはわずかに低めの評価結果であった。

3.4.5 重み付けを行わない評価結果（7 評価視点からの評価）

さらに、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、技術的実現性に加えて、事業容易性と社会的受容性という 7 つの評価視点に関し、視点間の重み付けを行わないときの評価結果を棒グラフにて図 3.4.21 に示す。5 評価視点の場合と同様に、評価ケース全てを対象とした議論は冗長になるため、代表的なケースを取り出して結果を説明する。

3.4.5.1 炉型別の評価（7 評価視点からの評価）

ここでは、事業容易性と社会的受容性を含む 7 つの評価視点から 4 炉型を評価したときの結果について述べる。再処理施設及び燃料製造施設は、ヘリウムガス冷却炉については、再処理が脱被覆法と先進湿式法の組み合わせ、燃料製造が被覆粒子製造法（ブロック燃料）として組み合わせでサイクルを構成しているものの、他は先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造を炉に組み合わせている。また、燃料サイクル施設は全て 200tHM/y の処理規模（大型施設）を考えた。また、炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。評価結果をレーダーチャートにて図 3.4.22 に、また棒グラフにて図 3.4.23 に示す。基本的には、経済性等の結果は 5 評価視点での評価結果と変わらないので、事業容易性と社会的受容性の評価結果について述べる。

ナトリウム冷却炉サイクル（ケース 1-1）は、特に劣る部分もなく全般的にバランスが取れた結果である点は 5 評価視点の場合と変わらない。事業容易性については、現在の原子力と類似したシステムを有し、運転保守補修に関する検討も相対的に進捗していることから、比較的良好な結果が得られた。社会的受容性については、それほど高い結果ではないが、候補概念間の差は小さい。

鉛ビスマス冷却炉サイクル（ケース 8-1）とヘリウムガス冷却炉サイクル（ケース 9-1）の評価結果には、窒化物燃料（鉛ビスマス冷却炉サイクルについては、窒化物ペレット燃料、ヘリウムガス冷却炉サイクルについては、窒化物被覆粒子燃料）を利用することによる影響も含まれている。事業容易性の評価結果については、現存する炉との相違が大きいため、あまり良好ではない。この結果には、FBR プラントに加えて燃料サイクル施設の違いも評価結果に影響している。なお、社会的受容性に関しては大きな差はないものの、ヘリウムガス冷却炉はわずかによい結果が得られたが、これは語感の問題に過ぎない可能性も考えられる。

水冷却炉サイクル（ケース 10）については、社会的受容性は他の候補概念と遜色ない結果が得られた。また事業容易性は全体として他の候補概念と比較して良好な結果が得られた。しかし、事業容易性の下位指標である事業柔軟性の評価結果だけはあまりよくなかった。これは中性子経済が厳しく、燃料サイクルの変更が難しいからである。

3.4.5.2 燃料サイクル別の評価（50tHM/y：7 評価視点からの評価）

燃料サイクル施設を変更したときの評価結果について分析する。プラントは、ナトリウム冷却大型炉を選び、サイクル施設の処理規模は全て 50tHM/y（小規模）として比較する。炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。再処理方式と燃料製造方式をそれぞれ先進湿式 簡素化ペレット法（MOX 燃料）の場合（ケース 3-1）、超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法（MOX 燃料）の場合（ケース 4-1）、酸化物電解法 振動充填法（MOX 燃料）の場合（ケース 5-1）、金属電解法 射出成型法（金属燃料）の場合（ケース 7-1）について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果をレーダーチャートにて図 3.4.24 に、また棒グラフにて図 3.4.25 に示す。

5 評価視点の場合と同様に、全体として候補概念間の差は小さい。以下では、5 評価視点に加わ

った事業容易性と社会的受容性を中心として、概念間の差について述べる。

まず、社会的受容性に関しては候補概念間の差は小さい。先進湿式 簡素化ペレット法については、5 評価視点の場合に比べて、事業容易性については良好である。超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法については、先進湿式 簡素化ペレット法よりも事業容易性はよくないものの、その評価結果の差は小さい。酸化物電解法 振動充填法については、経済性は向上するが、事業容易性の評価結果はやや低下する。金属電解法 射出成型法については、事業容易性の評価結果はやや低下する。

大規模な燃料サイクル（200tHM/y）を組み合わせたときの評価結果については、次に記述する。なお、経済性重視型炉心とした場合には結果が微妙に変化するだけであり、大きな差は生じない。

3.4.5.3 燃料サイクル別の評価(200tHM/y:7 評価視点からの評価)

FBR プラントはナトリウム冷却大型炉を選び、サイクル施設の処理規模は全て 200tHM/y（大規模）としたときの評価結果について述べる。炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。再処理方式と燃料製造方式をそれぞれ先進湿式 簡素化ペレット法（MOX 燃料）の場合（ケース 1-1）、先進湿式法 振動充填法（MOX 燃料）の場合（ケース 2-1）、金属電解法 射出成型法（金属燃料）の場合（ケース 6-1）について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果をレーダーチャートにて図 3.4.26 に棒グラフにて図 3.4.27 に示す。

全体として候補概念間の差は小さい。経済性等の 5 評価視点については既に述べたとおり、金属電解法 射出成型法については、先進湿式法 簡素化ペレット法等に比較して、資源有効利用性に若干優れ、技術的実現性と経済性、環境負荷低減性でわずかに劣っている。ここでは事業容易性と社会的受容性について補足する。

まず、社会的受容性については、候補概念間にほとんど差がなかった。先進湿式法 簡素化ペレット法については、各評価視点に関して劣っている点が少ない。事業容易性においてもやや優れている。先進湿式法 振動充填法については、先進湿式 簡素化ペレット法と類似しているが、事業容易性の評価結果がわずかに低下する。金属電解法 射出成型法についても、事業容易性の評価結果に関しては、先進湿式 簡素化ペレット法に比べてわずかに低下した。

3.4.6 重み付けを行った評価結果（5 評価視点）

FBR サイクル候補概念について、まず、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、技術的実現性という 5 つの評価視点について、評価視点の重み付けを行ったときの評価結果に関して記述する。

普通の市民平均の重み、電気事業者平均の重み、有識者平均の重みを用いた評価結果を棒グラフにて図 3.4.28～図 3.4.30 に示す。

評価ケース全てを対象とした議論は冗長になるため、普通の市民の平均を取った重みを中心に用いて代表的なケースを取り出して結果を説明する。

3.4.6.1 炉型別の評価結果（5 評価視点から重み付けした評価）

まず、大型炉サイクルで冷却材を変えたときの評価結果、つまり 4 炉型別の評価結果について述べる。再処理施設及び燃料製造施設は、ヘリウムガス冷却炉については、再処理が脱被覆法と先進湿式法の組み合わせ、燃料製造が被覆粒子製造法（ブロック燃料）として組み合わせでサイクルを構成しているものの、他は先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造を炉に組み合わせている。また、燃料サイクル施設は全て 200tHM/y の処理規模（大型施設）を考えた。また、炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。評価結果を棒グラフにて図 3.4.31 に示す。重みは、普通の市民のアンケート結果を平均して算出したものを用いた。

全般的に核拡散抵抗性では、炉型による評価結果の差は小さい。以下では、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、技術的実現性について中心に記述する。なお、経済性重視型炉心とした場合には結果が微妙に変化するだけであり、大きな差は生じない。

ナトリウム冷却炉サイクル（ケース 1-1）は、特に劣る部分もなく全般的にバランスが取れた結果であった。特に今後の開発要素が少なく早期に導入できることが幸いして、経済性、資源有効利用性や技術的実現性などで優れており、全体的に満遍なく高い評価結果を得た。

鉛ビスマス冷却炉サイクル（ケース 8-1）とヘリウムガス冷却炉サイクル（ケース 9-1）については、双方とも窒化物燃料を用いており、経済性では、かなりの性能が期待できるものの、今後、実用化までに要する期間や資金が大きいため技術的実現性に課題がある。なお、鉛ビスマス冷却炉サイクル（ケース 8-1）とヘリウムガス冷却炉サイクル（ケース 9-1）の評価結果には、窒化物燃料（鉛ビスマス冷却炉サイクルについては、窒化物ペレット燃料、ヘリウムガス冷却炉サイクルについては、窒化物被覆粒子燃料）を利用することによる影響も含まれている。もちろん、炉心燃料形態も原子炉プラントと相性がよいものが選ばれており、燃料サイクル施設は冷却材の選択と無関係ではない。ただ、プラントの違い（冷却材の違い）だけが評価結果の差を説明する理由ではないことも留意すべきである。また、資源有効利用性に関しては、ヘリウムガス冷却炉は炉のインベントリが大きく、導入に時間を要するため、評価結果がやや劣ることとなった。

水冷却炉サイクル（ケース 10）については、プラントの性能向上をめざした研究開発を実施せずに現状の軽水炉プラントをそのまま使い、炉心燃料と燃料サイクル施設の開発を行うと想定した FBR サイクルであるので、技術的実現性の評価結果は高かった。他方で、炉のインベントリが大きく資源有効利用性の評価は低くなり、燃焼度が低い等の影響もあって経済性もあまり良好な評価結果とならなかった。また、熱効率や廃棄物量が多いので、若干ではあるが環境負荷低減性の評価結果も低めであり、重みも大きいため水冷却炉サイクルの評価結果に影響した。

3.4.6.2 燃料サイクル別の評価結果(50tHM/y:5 評価視点から重み付けした評価)

次に燃料サイクル施設を変更したときの評価結果について分析を行う。プラントは、ナトリウム冷却大型炉を選び、まず、サイクル施設の処理規模は全て 50tHM/y(小規模)として比較する。炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。なお、大規模な燃料サイクルを組み合わせたときの評価結果については、次に記述する。ここでは、再処理方式と燃料製造方式がそれぞれ先進湿式 簡素化ペレット法(MOX 燃料)の場合(ケース 3-1)、超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法(MOX 燃料)の場合(ケース 4-1)、酸化物電解法 振動充填法(MOX 燃料)の場合(ケース 5-1)、金属電解法 射出成型法(金属燃料)の場合(ケース 7-1)について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果を棒グラフにて図 3.4.32 に示す。炉型別の結果と同様に、重みとしては普通の市民のアンケート結果を平均して算出したものを用いた。

全体として候補概念間の差は小さくなく、あえて言えば以下の特徴があるものの、重み付けしない場合(3.4.4.2)の評価結果における概念間の相違がさらに小さくなった。それは、重みが大きくなる環境負荷低減性と核拡散抵抗性に関する候補概念間の評価結果の違いが小さいからである。逆に経済性については、湿式の燃料サイクルの方にスケールメリットが大きく表れるので、乾式システムの方が安価になる傾向がある。しかし、その差は経済性の重みが相対的に小さいためにはっきりとは表れにくくなっている。なお、経済性重視型炉心とした場合には結果が微妙に変化するだけであり、大きな差は生じない。

先進湿式 簡素化ペレット法については、経済性についてやや劣っており、小規模では経済性を向上することがかなり難しいという検討結果が反映されている。一方、再処理移行率の影響によって環境負荷低減性の結果がややよく、また今後の研究開発の期間も短く、資金も少ないので、技術的実現性においてやや優れている。超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法については、先進湿式 簡素化ペレット法よりも経済性評価結果が向上するが、環境負荷低減性や技術的実現性などでやや評価結果が低下する。酸化物電解法 振動充填法については、経済性はさらに向上するが、環境負荷低減性の評価結果は高くない傾向がある。金属電解法 射出成型法については、先進湿式 簡素化ペレット法に比べて経済性はそれほど向上しないが、技術的実現性の低下はそれほど大きくない。また、資源有効利用性はかなり向上する一方、核拡散抵抗性の評価結果は、わずかに低くなった。

3.4.6.3 燃料サイクル別の評価結果(200tHM/y:5 評価視点から重み付けした評価)

最後に、プラントはナトリウム冷却大型炉を選び、サイクル施設の処理規模は全て 200tHM/y(大規模)としたときの評価結果について述べる。炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。再処理方式と燃料製造方式をそれぞれ先進湿式 簡素化ペレット法(MOX 燃料)の場合(ケース 1-1)、先進湿式法□振動充填法(MOX 燃料)の場合(ケース 2-1)、金属電解法□射出成型法(金属燃料)の場合(ケース 6-1)について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果を棒グラフにて図 3.4.33 に示す。

全体として候補概念間の差は大きくないものの、大規模な燃料サイクルでは、わずかに先進湿式法 簡素化ペレット法がよい評価結果を得た。各候補概念については、あえて言えば以下の特徴がある。

先進湿式法 簡素化ペレット法については、全体としてあまり劣っている点が少なく、比較的満遍なく優れていた。先進湿式法 振動充填法については、先進湿式 簡素化ペレット法と類似しているが、経済性等でわずかに評価結果が低下する。金属電解法 射出成型法については、先進湿式

簡素化ペレット法に比べて資源有効利用性の評価結果はやや向上する。しかし、廃棄物発生量等の影響で経済性と環境負荷低減性の評価結果が伸びなかった。また、核拡散抵抗性と技術的実現性についてはわずかに低めの評価結果であった。

比較的重みの大きな環境負荷低減性と核拡散抵抗性の面で、わずかに湿式燃料サイクルの方が金属電解法 射出成型法よりも良好な結果となっているので、重みをつけない場合と比較して評価結果の差がやや大きくなる。

3.4.6.4 各種の重みの違いによる多面的評価結果(5 評価視点)

重み付け手法で導出した様々な重みについて、5 評価視点からの多面的評価を実施した結果を記述する。評価ケースは、これまでケース間比較で取り上げた資源重視型炉心のケースを中心とするが、経済性重視型炉心の場合(ケース 1-2)および LLFP 分離・核変換を実施するケースを含めて図 3.4.34 に示す。重みの面からは、経済性重視、環境負荷低減性重視、資源有効利用性重視、技術的実現性重視、有識者、電気事業者といった集団のアンケート結果に基づく重みのときに評価結果に差が生じ、特色ある結果がでていた。

全体として、ナトリウム冷却炉の評価結果が高く、特に大型炉・MOX 燃料に燃料先進湿式 簡素化ペレット法の場合(ケース 1-1 およびケース 1-2)は、様々な重みを考慮しても全体に高い評価結果を得た。

ナトリウム冷却炉以外の炉型については、かなりの差が付いているが、鉛ビスマス冷却炉及びヘリウムガス冷却炉については、社会的受容性を重視する普通の市民の重みについては例外であるが、やや鉛ビスマス冷却炉の方が良好ではあるものの、類似した結果となっている。したがって、両者の優劣については、多面的評価では考慮が困難であり、かつ双方の炉型で状況が異なると考えられる要因(諸外国の研究開発の進展による技術的なブレークスルーや多目的利用の可能性等)をも考慮して検討すべきであろう。水冷却炉については、普通の市民の平均、有識者、電気事業者のアンケート結果に基づく重みのいずれについても評価結果が伸びなかった。他にも経済性重視の集団、環境負荷低減性重視の集団、資源有効利用性重視の集団の価値観に基づく重みを用いても評価結果は芳しくなかった。ただし、他の FBR サイクルと異なる動きを示すことから、技術的実現性を重視する普通の市民集団の価値観に基づく重みを用いたときは相対的に評価結果がよくなった。

湿式の燃料サイクルシステムに関しては、先進湿式法 振動充填法(ケース 2-1)、超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法の場合(ケース 4-1)については、先進湿式・簡素化ペレット法を凌駕する結果は得られなかった。LLFP の分離・核変換を実施する場合(ケース 1-3)では、環境負荷低減性を重視する普通の市民集団の価値観に基づく重みを用いるとケース 1-2 に迫る評価結果となったものの、技術的実現性を重視する集団の価値観に基づく重みを用いる場合では、若干見劣りする結果となった。

また、乾式の燃料サイクルシステムに関しては、共に 50tHM/y の施設である、金属電解法 射出成型法(金属燃料)の場合(ケース 7-1)と酸化物電解法・振動充填法(MOX 燃料)の場合(ケース 5-1)について評価した結果を比較すると、それほど大きな差は生じないものの、全ての重みで金属電解法が優る結果となった。

3.4.7 重み付けを行った評価結果(7 評価視点)

FBR サイクル候補概念について、次に経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗

性、技術的実現性、事業容易性、社会的受容性という7つの評価視点について、評価視点の重み付けを行ったときの評価結果に関して記述する。普通の市民の平均を取った重み、電気事業者平均の重み、有識者平均の重みを用いたときの評価結果を棒グラフにて図 3.4.35～図 3.4.37 に示す。これまでと同様に評価ケース全てを対象とした議論は冗長になるため、普通の市民平均の重みを中心に代表的なケースを取り出して結果を説明するが、全体としては、重み付けを行わないときと、評価結果に大きな差は見られなかった。また、事業容易性と社会的受容性の評価結果には、候補概念間の差が比較的小さかったので、5 評価視点の場合の結果と類似した傾向の結果であった。

3.4.7.1 炉型別の評価結果(7 評価視点から重み付けした評価)

ここでは、事業容易性と社会的受容性を含む7つの評価視点から4炉型を評価したときの結果について述べる。再処理施設及び燃料製造施設は、ヘリウムガス冷却炉については、再処理が脱被覆法と先進湿式法の組み合わせ、燃料製造が被覆粒子製造法(ブロック燃料)として組み合わせでサイクルを構成しているものの、他は先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造を炉に組み合わせている。また、燃料サイクル施設は全て200tHM/yの処理規模(大型施設)を考えた。また、炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。評価結果を図 3.4.38 に示す。基本的には、経済性等の結果は5 評価視点での評価結果と変わらないので、事業容易性と社会的受容性の評価結果について述べる。

ナトリウム冷却炉サイクル(ケース 1-1)は、特に劣る部分もなく全般的にバランスが取れた結果である点は5 評価視点の場合と変わらない。事業容易性については、現在の原子力と類似したシステムを有し、運転保守補修に関する検討も相対的に進捗していることから、比較的良好な結果が得られた。社会的受容性については、それほど高い結果ではないが、他の炉型との差は小さかった。

鉛ビスマス冷却炉サイクル(ケース 8-1)とヘリウムガス冷却炉サイクル(ケース 9-1)の評価結果には、窒化物燃料(鉛ビスマス冷却炉サイクルについては、窒化物ペレット燃料、ヘリウムガス冷却炉サイクルについては、窒化物被覆粒子燃料)を利用することによる影響も含まれている。事業容易性の評価結果については、現存する炉との相違が大きいため、あまり良好ではない。また、プラントに加えて燃料サイクル施設の違いも評価結果に影響している。なお、社会的受容性に関しては、大きな差はないものの、ヘリウムガス冷却炉はわずかによい結果であったが、これは語感の問題に過ぎない可能性がある。

水冷却炉サイクル(ケース 10)については、事業容易性と社会的受容性共に他の候補概念と遜色ない結果が得られたが、事業容易性の下位指標である事業柔軟性の評価結果だけはあまりよくなかった。これは、重み付けを実施しない場合と同様である。

全体として、普通の市民へのアンケート結果の平均に基づく重みは極端ではなかったこともあり、その影響は小さいと考えてよい。また、事業容易性と社会的受容性の評価結果の違いは大きくなかったため、5 評価視点の場合との違いも小さかった。やはり、ナトリウム冷却炉が良好な評価結果を得ており、他の炉型については大きな差が生じなかった。

3.4.7.2 燃料サイクル施設別の評価結果(50tHM/y:7 評価視点から重み付けした評価)

燃料サイクル施設を変更したときの評価結果について分析する。プラントは、ナトリウム冷却大型炉を選び、サイクル施設の処理規模は全て50tHM/y(小規模)として比較する。炉心燃料は

全て資源重視型で比較することとした。再処理方式と燃料製造方式をそれぞれ先進湿式 簡素化ペレット法 (MOX 燃料) の場合 (ケース 3-1)、超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法 (MOX 燃料) の場合 (ケース 4-1)、酸化物電解法 振動充填法 (MOX 燃料) の場合 (ケース 5-1)、金属電解法 射出成型法 (金属燃料) の場合 (ケース 7-1) について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果を棒グラフにて図 3.4.39 に示す。

5 評価視点の場合と同様に、全体として候補概念間の差は小さい。以下では、5 評価視点に加わった事業容易性と社会的受容性を中心として、概念間の差について述べる。

先進湿式 簡素化ペレット法については、5 評価視点の場合に比べて、事業容易性については良好である。社会的受容性に関しては、候補概念間の差は小さい。超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法については、先進湿式 簡素化ペレット法よりも事業容易性はよくないものの、その評価結果の差は小さい。酸化物電解法 振動充填法については、経済性は向上するが、事業容易性の評価結果はやや低下する。金属電解法 射出成型法については、事業容易性の評価結果はやや低下する。

大規模な燃料サイクル (200tHM/y) を組み合わせたときの評価結果については、次に記述する。なお、経済性重視型炉心とした場合には結果が微妙に変化するだけであり、大きな差は生じない。

3.4.7.3 燃料サイクル別の評価結果 (200tHM/y: 7 評価視点から重み付けした評価)

プラントはナトリウム冷却大型炉を選び、サイクル施設の処理規模は全て 200tHM/y (大規模) としたときの評価結果について述べる。炉心燃料は全て資源重視型で比較することとした。再処理方式と燃料製造方式をそれぞれ先進湿式 簡素化ペレット法 (MOX 燃料) の場合 (ケース 1-1)、先進湿式法 振動充填法 (MOX 燃料) の場合 (ケース 2-1)、金属電解法 射出成型法 (金属燃料) の場合 (ケース 6-1) について評価した結果を取り出した燃料サイクル別の評価結果を図 3.4.40 に示す。

全体として候補概念間の差は小さいが、先進湿式法 簡素化ペレット法、先進湿式法 振動充填法、金属電解法 射出成型法の順番となっている。評価結果の差に関しては、5 評価視点のときに、経済性や環境負荷低減性、技術的実現性などで若干差がつくことを指摘したが、7 評価視点の場合でも、事業容易性でわずかにこの傾向が助長されるだけであり、ほとんど変わらない結果であった。さらに事業容易性と社会的受容性を中心に追加すると以下のとおりである。

まず、社会的受容性に関しては、候補概念間の差は小さかった。先進湿式法 簡素化ペレット法については、各評価視点に関して劣っている点が少ない。事業容易性においてもやや優れている。先進湿式法 振動充填法については、先進湿式 簡素化ペレット法と類似しているが、事業容易性の評価結果がわずかに低下する。金属電解法 射出成型法については、社会的受容性については、先進湿式法 簡素化ペレット法と同程度であったが、事業容易性の評価結果に関してわずかに低下した。

3.4.7.4 各種の重みの違いによる多面的評価の結果 (7 評価視点)

重み付け手法で導出した様々な重みについて、7 評価視点からの多面的評価を実施した結果を記述する。評価ケースは、これまでケース間比較で取り上げた資源重視型炉心のケースを中心とするが、経済性重視型炉心の場合 (ケース 1-2) および LLFP 分離・核変換を実施するケースを含めて図 3.4.41 に示す。

重みの面からは、経済性重視、資源有効利用性重視、環境負荷低減性重視、技術的実現性重視、

有識者、電気事業者といった集団のアンケート結果に基づく重みのときに評価結果に差が生じ、特色ある結果がでていた。また、社会的受容性を重視する集団の価値観に基づく重みを用いた場合は、社会的受容性の評価結果自身に大きな差はないので顕著ではないが、他の評価視点を重視する場合は、異なる傾向の結果が得られた。

ナトリウム冷却炉の評価結果が高く、特に大型炉・MOX 燃料に燃料先進湿式 簡素化ペレット法の場合（ケース 1-1 およびケース 1-2）の評価結果が様々な重みを考慮しても全体に高い評価結果を得た。

ナトリウム冷却炉以外の炉型については、かなりの差が付いているが、鉛ビスマス冷却炉及びヘリウムガス冷却炉については、社会的受容性を重視する普通の市民の重みについては例外であるが、やや鉛ビスマス冷却炉の方が良好ではあるものの、類似した結果となっている。したがって、両者の優劣については、多面的評価では考慮が困難であり、かつ双方の炉型で状況が異なると考えられる要因（諸外国の研究開発の進展による技術的なブレークスルーや多目的利用の可能性等）をも考慮して検討すべきであろう。水冷却炉については、普通の市民の平均、有識者、電気事業者のアンケート結果に基づく重みのいずれについても評価結果がよくなかった。ただし、他の FBR サイクルと異なる動きを示すことから、技術的実現性や社会的受容性を重視する普通の市民集団の価値観に基づく重みを用いたときは相対的に評価結果がよくなった。

湿式の燃料サイクルシステムに関しては、先進湿式法 振動充填法（ケース 2-1）、超臨界直接抽出法 簡素化ペレット法の場合（ケース 4-1）については、先進湿式・簡素化ペレット法を凌駕する結果は得られなかった。LLFP の分離・核変換を実施する場合（ケース 1-3）では、環境負荷低減性を重視する普通の市民集団の価値観に基づく重みを用いるとケース 1-2 に迫る評価結果となったものの、技術的実現性を重視する集団の価値観に基づく重みを用いる場合では、若干見劣りする結果となった。また、乾式の燃料サイクルシステムに関しては、共に 50tHM/y の施設である、金属電解法 射出成型法（金属燃料）の場合（ケース 7-1）と酸化物電解法・振動充填法（MOX 燃料）の場合（ケース 5-1）について評価した結果を比較すると、それほど大きな差は生じないものの、全ての重みで金属電解法が優る結果となった。

表 3.4.1 アンケート回答者属性（男女／年齢）

	男	女	合計
15～19歳	15 (0.7%)	18 (0.8%)	33 (1.5%)
20～24歳	60 (2.7%)	90 (4.1%)	150 (6.8%)
25～29歳	138 (6.3%)	209 (9.5%)	347 (15.8%)
30～34歳	219 (10.0%)	305 (13.9%)	524 (23.9%)
35～39歳	165 (7.5%)	206 (9.4%)	371 (16.9%)
40～44歳	182 (8.3%)	160 (7.3%)	342 (15.6%)
45～49歳	133 (6.1%)	58 (2.6%)	191 (8.7%)
50～54歳	63 (2.9%)	42 (1.9%)	105 (4.8%)
55～59歳	46 (2.1%)	23 (1.0%)	69 (3.1%)
60～64歳	25 (1.1%)	6 (0.3%)	31 (1.4%)
65～69歳	21 (1.0%)	7 (0.3%)	28 (1.3%)
70歳以上	6 (0.3%)	(0.0%)	6 (0.3%)
合計	1,073 (48.8%)	1,124 (51.2%)	2,197 (100.0%)

注)(カッコ)内は、全回答者(2,197名)に対する割合を表す。

表 3.4.2 アンケート回答者属性（居住都道府県別）

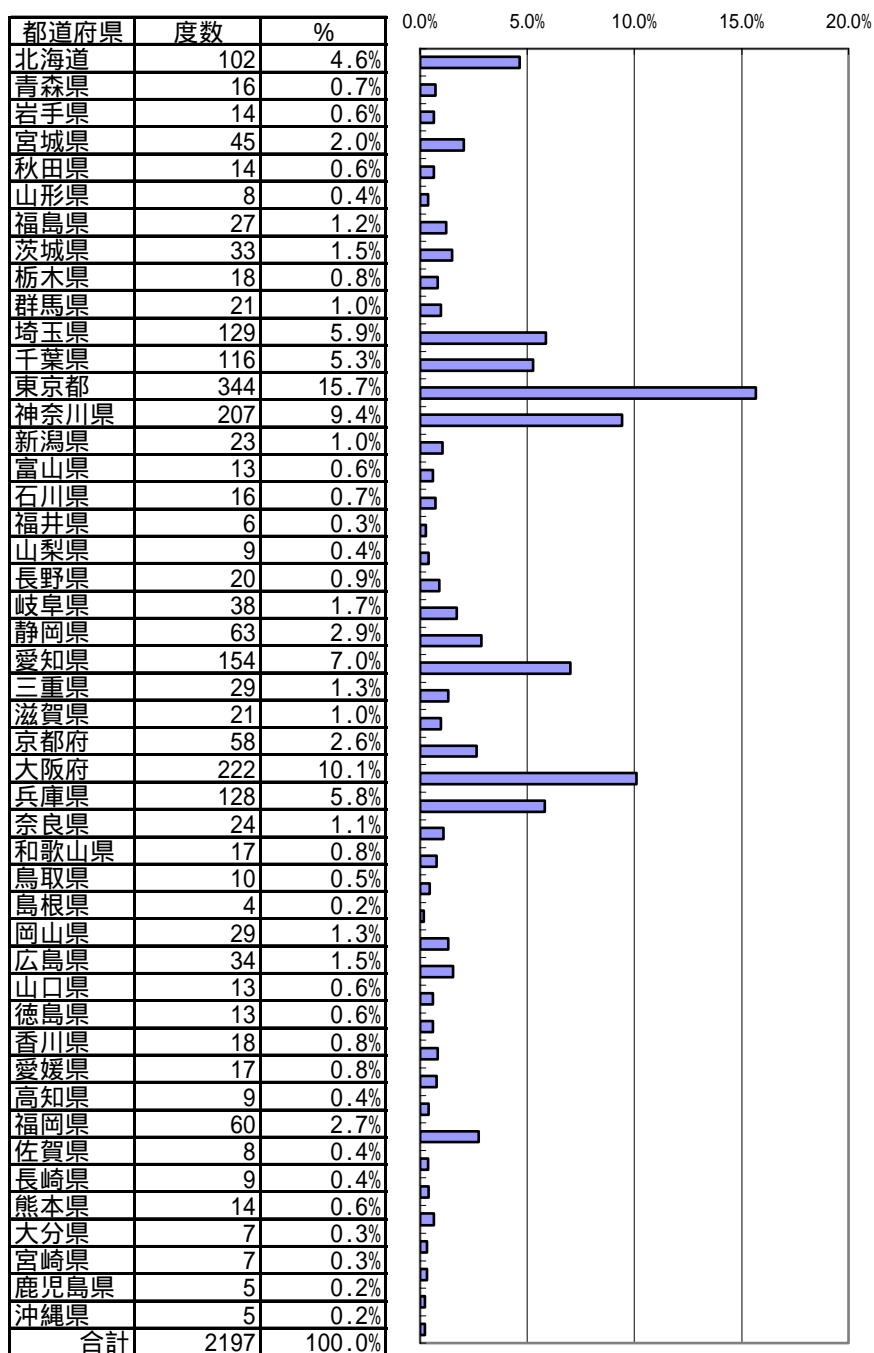


表 3.4.3 アンケート回答者属性（職種別）

職種	度数	%
公務員・非営利団体職員	120	5.5%
会社・団体の経営者・役員	43	2.0%
その他給与所得者（管理職）	96	4.4%
その他給与所得者（事務職）	310	14.1%
その他給与所得者（技術・専門職）	386	17.6%
その他給与所得者（販売・サービス）	135	6.1%
その他給与所得者（その他）	63	2.9%
教職員	27	1.2%
医師・医療技術士・医療関係者	38	1.7%
自営業	141	6.4%
農林漁業	5	0.2%
弁護士・公認会計士・税理士	3	0.1%
その他自由業（フリーター含む）	88	4.0%
専業主婦	414	18.8%
兼業・有職主婦	97	4.4%
大学・大学院生・短大・専門学校	89	4.1%
高校生・予備校生	27	1.2%
無職	84	3.8%
その他	31	1.4%
合計	2,197	100%

表 3.4.4 アンケート回答者属性（業種別）

業種	度数	%
農林水産	8	0.4%
鉱業・電力・ガス/その他エネルギー	112	5.1%
建設・土木・住宅・プラント	87	4.0%
木材/紙・パルプ/繊維製造/印刷	21	1.0%
化学/石油/ゴム製品	18	0.8%
医薬品/化粧品	29	1.3%
鉄鋼・非鉄・金属・素材・製品	31	1.4%
水産加工/食料品/飲料/酒類	24	1.1%
電気/電子/コンピュータ/通信機器	127	5.8%
自動車/自動車部品	38	1.7%
機械・機械部品・精密機械	47	2.1%
その他製造業	48	2.2%
商社	21	1.0%
百貨店/スーパー	10	0.5%
コンビニエンスストア	1	0.0%
その他の流通・小売業	29	1.3%
銀行/信託/信金/信組/政府系金融	13	0.6%
信販/消費者金融/その他金融	9	0.4%
証券業/商品取引	7	0.3%
生命保険/損害保険業	12	0.5%
不動産開発販売業	14	0.6%
リース/レンタル業	2	0.1%
運輸/倉庫業	22	1.0%
ホテル/旅行代理店業	7	0.3%
外食/フードサービス業	12	0.5%
通信業	36	1.6%
ソフトウェア/情報処理/その他情報サービス	114	5.2%
新聞/出版/放送	15	0.7%
その他のサービス	131	6.0%
その他	108	4.9%
合計	1153	52%
欠損値	1044	

*%は合計 + 欠損値 = 2,197に対する割合

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現性
平均	14.591%	15.528%	28.094%	24.301%	17.486%
標準偏差	12.160%	9.064%	13.149%	13.042%	12.497%

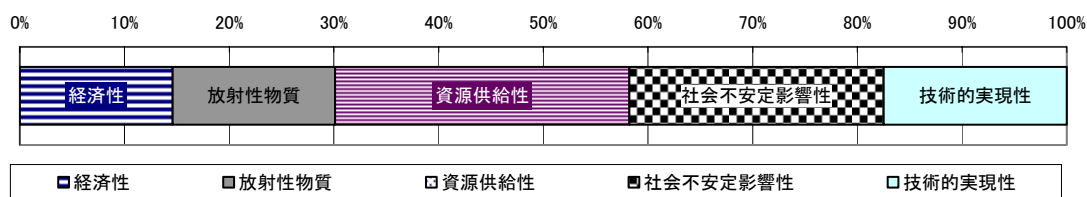


図 3.4.1 単純平均から求めた評価視点の重み (5 評価視点)

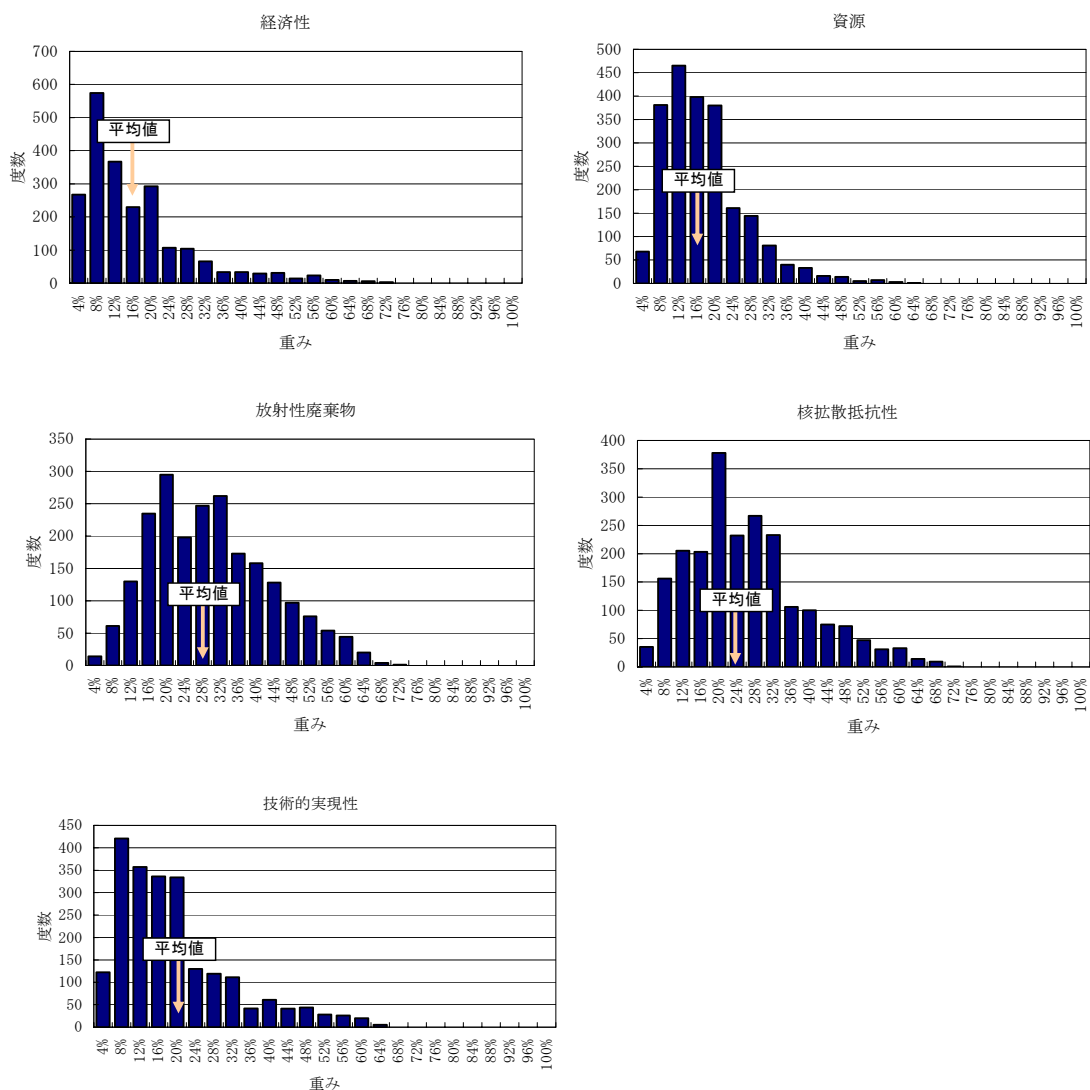


図 3.4.2 5 評価視点の重みに関する度数分布

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現性
主重み付け	14.591%	28.094%	15.528%	24.301%	17.486%
派生重み付け1	43.788%	17.661%	14.054%	12.938%	11.559%
派生重み付け2	13.452%	24.435%	34.979%	15.094%	12.040%
派生重み付け3	9.237%	46.722%	14.262%	18.946%	10.832%
派生重み付け4	8.351%	23.952%	10.877%	45.480%	11.339%
派生重み付け5	8.749%	16.374%	10.881%	20.938%	43.058%

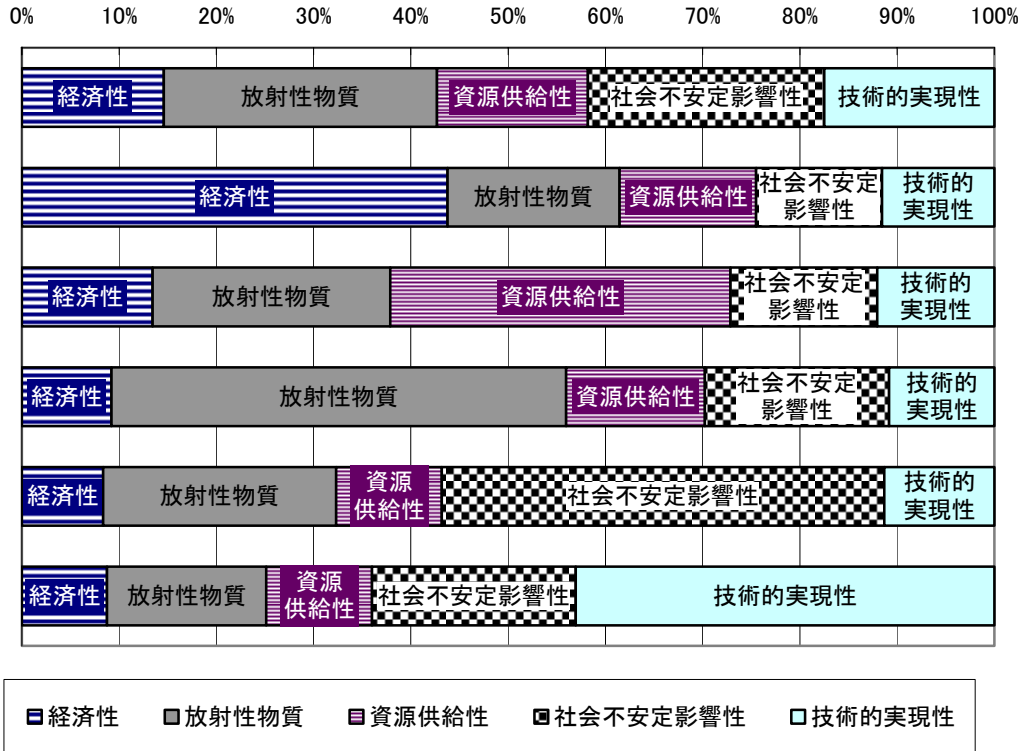
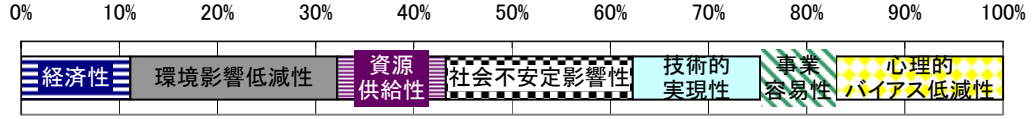


図 3.4.3 5 評価視点の重み付け結果

	経済性	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	11.135%	21.067%	11.067%	19.032%	12.964%	7.742%	16.993%
標準偏差	8.766%	9.927%	6.058%	10.134%	7.739%	5.225%	12.041%



■ 経済性 ■ 環境影響低減性 ■ 資源供給性 ■ 社会不安定影響性 □ 技術的実現性 ■ 事業容易性 ■ 心理的バイアス低減性

<参考>単純平均による5視点間の重み付け結果

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
平均	14.591%	15.528%	28.094%	24.301%	17.486%
標準偏差	12.160%	9.064%	13.149%	13.042%	12.497%

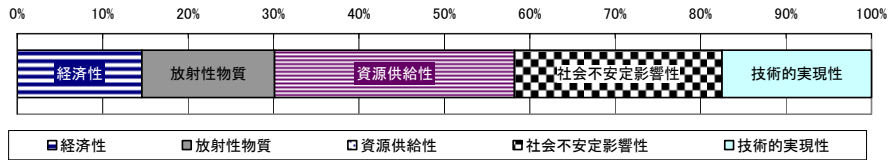


図 3.4.4 単純平均から求めた評価視点の重み (7 評価視点)

	経済性	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
主重み付け	11.135%	21.067%	11.067%	19.032%	12.964%	7.742%	16.993%
派生重み付け1	34.792%	15.413%	12.466%	10.587%	9.128%	10.760%	6.854%
派生重み付け2	13.556%	17.810%	23.711%	13.694%	9.667%	14.373%	7.190%
派生重み付け3	8.015%	36.221%	11.434%	17.014%	9.999%	6.325%	10.993%
派生重み付け4	7.365%	19.685%	8.876%	36.525%	9.914%	5.805%	11.830%
派生重み付け5	8.398%	15.121%	10.223%	17.011%	30.535%	7.466%	11.245%
派生重み付け6	7.026%	16.562%	6.797%	15.937%	12.571%	4.552%	36.556%

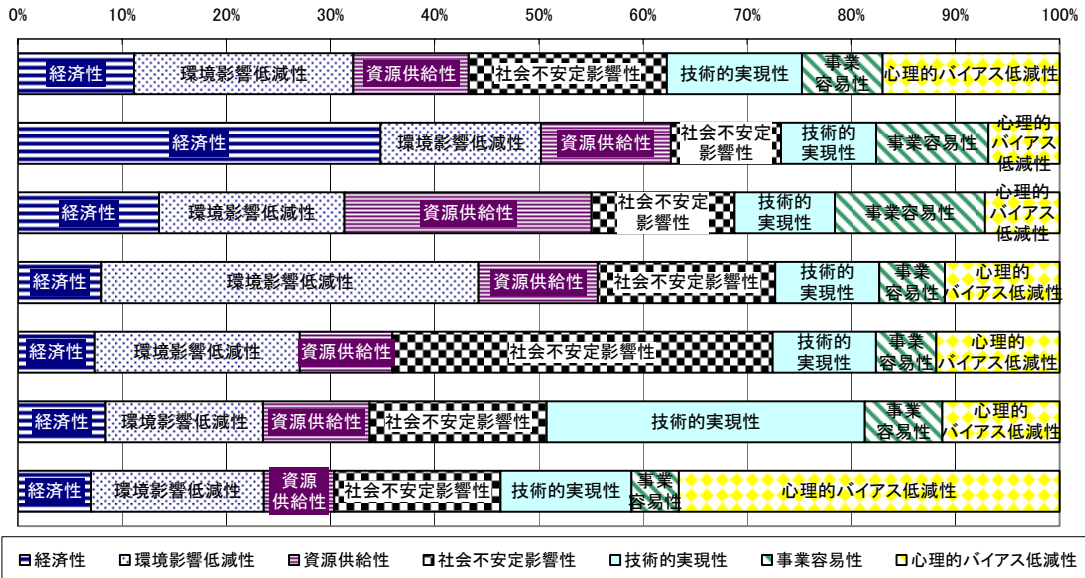
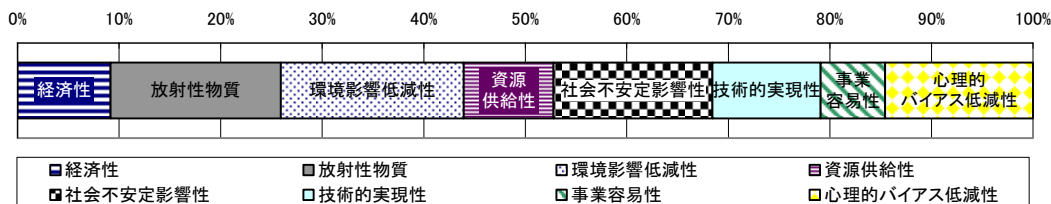


図 3.4.5 7 評価視点の重み付け結果

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	9.153%	16.786%	17.985%	8.863%	15.637%	10.675%	6.342%	14.558%
標準偏差	7.753%	7.762%	7.912%	5.031%	8.638%	6.700%	4.605%	10.975%



<参考>単純平均による5視点間の重み付け結果

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性
平均	14.591%	15.528%	28.094%	24.301%	17.486%
標準偏差	12.160%	9.064%	13.149%	13.042%	12.497%

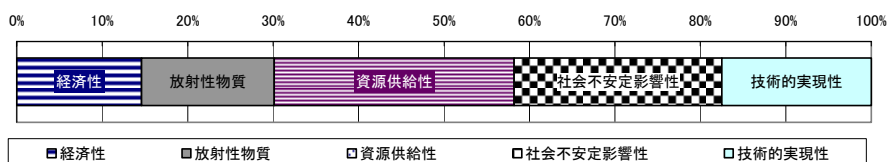


図 3.4.6 単純平均から求めた評価視点の重み (8 評価視点)

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
主重み付け	9.153%	16.786%	17.985%	8.863%	15.637%	10.675%	6.342%	14.558%
派生重み付け1	32.589%	13.264%	11.544%	11.141%	8.808%	7.636%	9.060%	5.958%
派生重み付け2	12.615%	13.968%	14.488%	19.964%	9.981%	7.896%	14.490%	6.596%
派生重み付け3	6.241%	29.296%	19.592%	8.020%	14.721%	7.867%	4.733%	9.529%
派生重み付け4	6.669%	18.049%	32.128%	9.276%	12.640%	8.318%	5.237%	7.682%
派生重み付け5	6.246%	15.412%	16.449%	6.733%	32.781%	7.681%	4.543%	10.154%
派生重み付け6	6.630%	12.142%	16.877%	7.897%	15.117%	25.264%	5.717%	10.355%
派生重み付け7	5.827%	12.804%	13.990%	5.409%	13.824%	11.096%	3.763%	33.287%

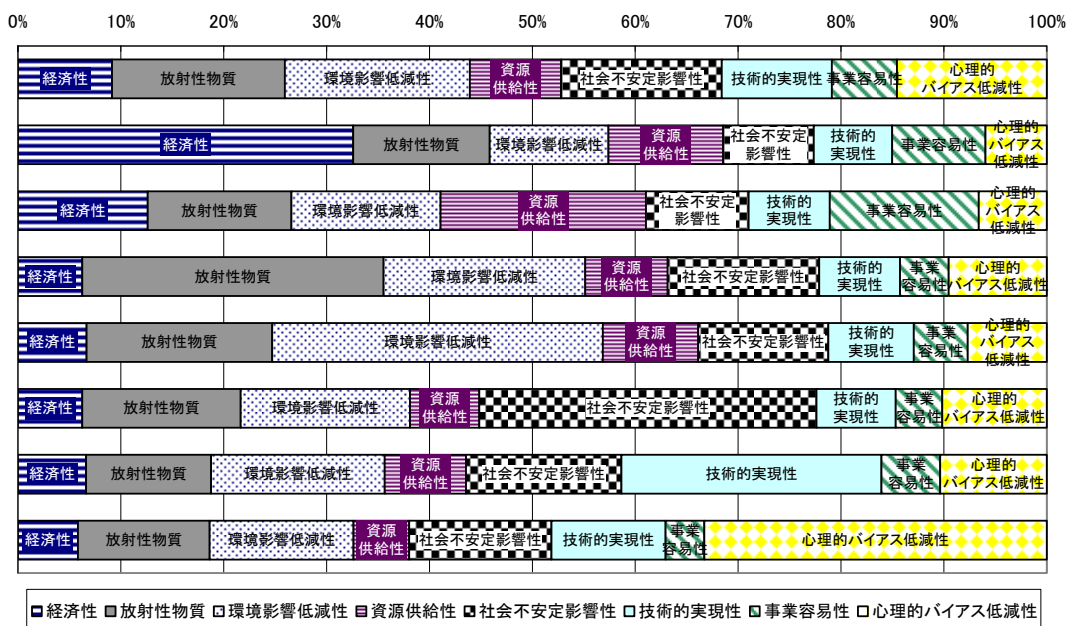


図 3.4.7 8 評価視点の重み付け結果

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性
平均	12.939%	22.137%	28.303%	20.156%	16.464%
標準偏差	12.636%	10.562%	14.793%	12.451%	13.818%
一般平均	14.591%	28.094%	15.528%	24.301%	17.486%
標準偏差	12.160%	13.149%	9.064%	13.042%	12.497%
t値	0.768	3.296	5.094	1.952	0.434
v	35.0	35.7	34.4	35.2	34.9

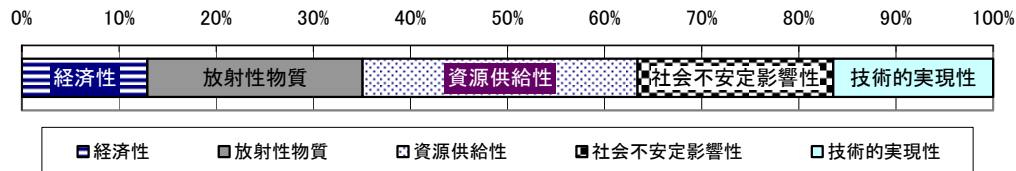


図 3.4.8 5 評価視点の重み（電気事業者）

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安 定影響性	技術的実 現性	事業容易 性	心理的バ イアス低 減性
平均	11.661%	18.744%	19.538%	15.835%	13.283%	12.096%	8.844%
標準偏差	10.095%	8.559%	9.011%	10.429%	10.113%	9.134%	9.335%
一般平均	11.135%	21.067%	11.067%	19.032%	12.964%	7.742%	16.993%
標準偏差	8.766%	9.927%	6.058%	10.134%	7.739%	5.225%	12.041%
t値	0.306	1.566	5.463	1.775	0.183	2.773	5.026
v	34.8	35.4	34.5	35.0	34.6	34.3	35.8

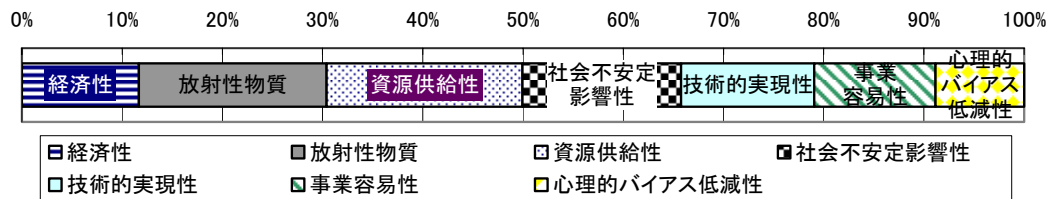


図 3.4.9 7 評価視点の重み（電気事業者）

	経済性	放射性物質	環境影響 低減性	資源供給 性	社会不安 定影響性	技術的実 現性	事業容易 性	心理的バ イアス低 減性
電力平均	9.259%	14.329%	21.552%	15.642%	12.560%	9.974%	9.363%	7.321%
標準偏差	8.030%	7.363%	7.379%	7.458%	8.297%	7.895%	7.659%	8.379%
一般平均	9.153%	16.786%	17.985%	8.863%	15.637%	10.675%	6.342%	14.558%
標準偏差	7.753%	7.762%	7.912%	5.031%	8.638%	6.700%	4.605%	10.975%
t値	0.078	1.957	2.834	5.358	2.175	0.523	2.327	5.042
v	35.0	35.2	35.3	34.5	35.2	34.8	34.4	35.9

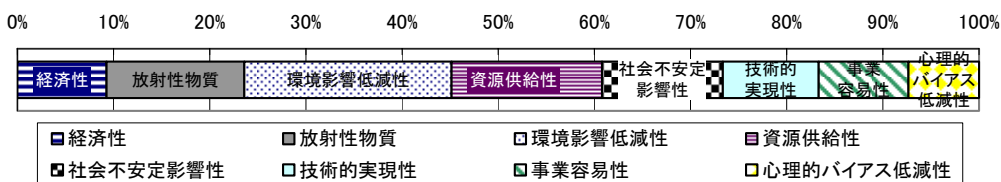
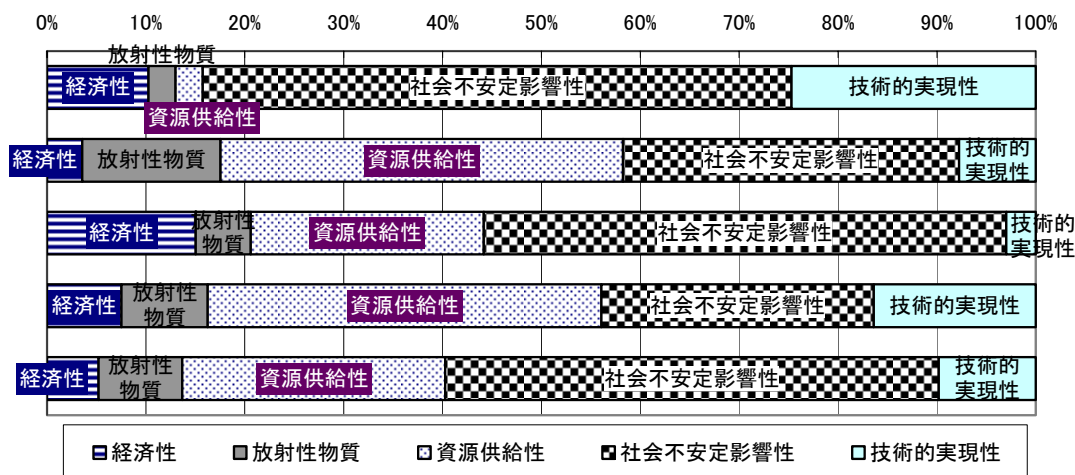


図 3.4.10 8 評価視点の重み（電気事業者）

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
E1	10.264%	2.746%	2.746%	59.526%	24.718%
E2	3.562%	13.981%	40.698%	34.008%	7.750%
E3	15.023%	5.592%	23.547%	52.857%	2.981%
E4	7.511%	8.731%	39.838%	27.541%	16.378%
E5	5.228%	8.437%	26.611%	49.916%	9.807%



<平均（上記5名）>

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
平均	7.831%	9.185%	32.674%	41.081%	9.229%

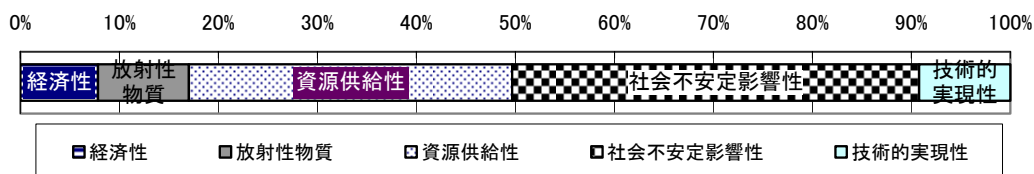
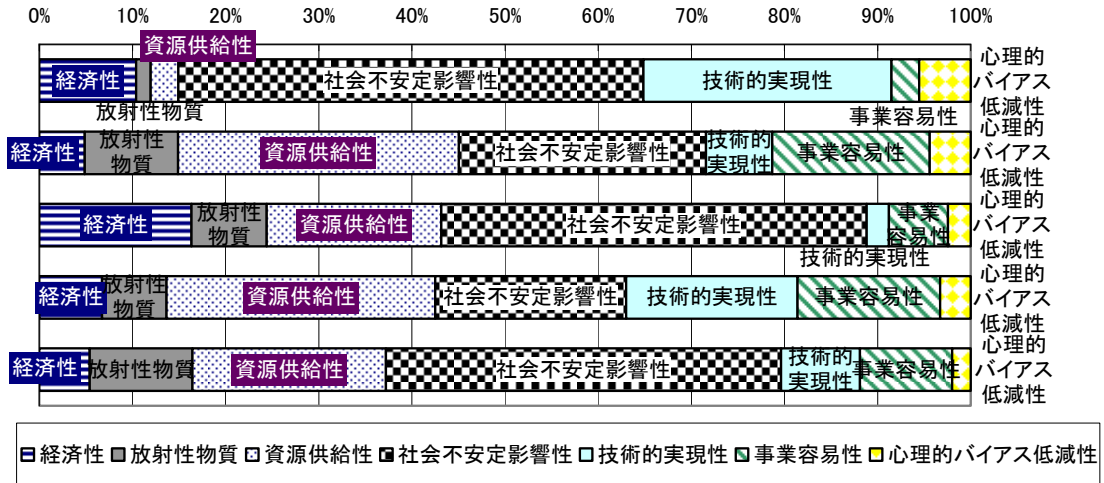


図 3.4.11 5 評価視点の重み（各有識者および平均）

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
E1	10.391%	1.580%	2.961%	49.917%	26.645%	2.961%	5.546%
E2	4.897%	9.991%	30.164%	26.532%	7.088%	16.930%	4.398%
E3	16.353%	8.073%	18.724%	45.662%	2.401%	6.332%	2.456%
E4	6.730%	6.931%	28.848%	20.497%	18.407%	15.289%	3.299%
E5	5.401%	11.019%	20.792%	42.418%	8.465%	9.912%	1.992%



< 平均（上記5名） >

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	8.345%	9.004%	24.632%	33.777%	9.090%	12.115%	3.036%

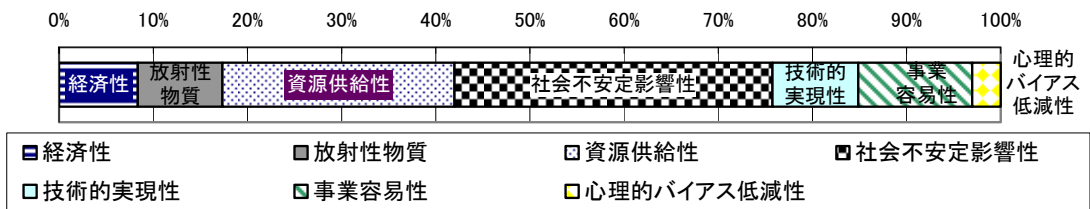
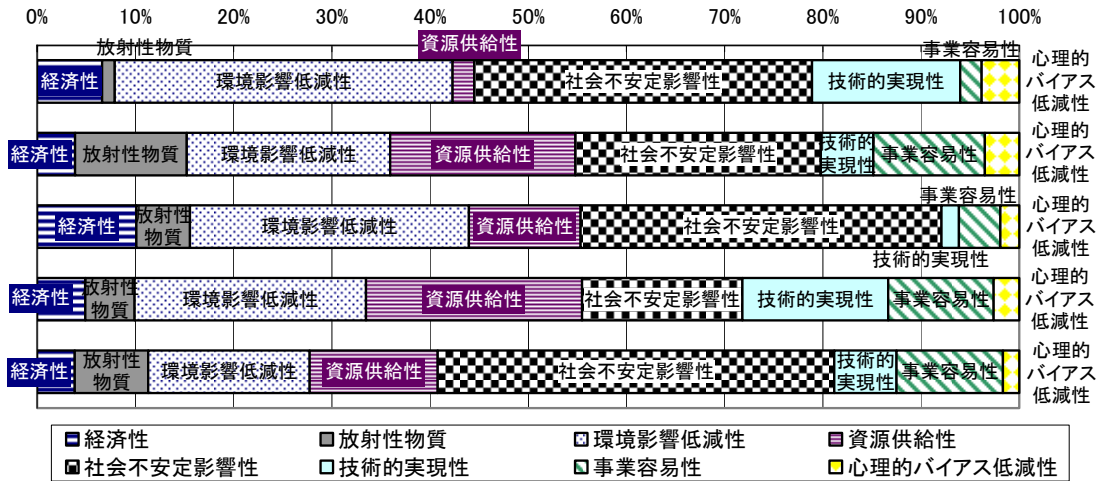


図 3.4.12 7 評価視点の重み（各有識者および平均）

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
E1	6.619%	1.274%	34.393%	2.206%	34.393%	15.088%	2.206%	3.821%
E2	3.846%	11.385%	20.705%	18.872%	24.992%	5.314%	11.385%	3.500%
E3	10.095%	5.444%	28.424%	11.365%	36.735%	1.803%	4.212%	1.921%
E4	4.890%	5.017%	23.562%	22.006%	16.318%	14.853%	10.734%	2.620%
E5	3.838%	7.484%	16.428%	13.043%	40.348%	6.362%	10.821%	1.676%



< 平均（上記5名） >

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	5.667%	7.332%	22.280%	16.322%	29.598%	7.083%	9.288%	2.429%

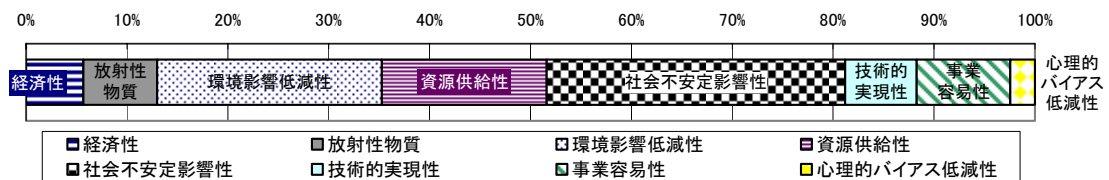


図 3.4.13 8 評価視点の重み（各有識者および平均）

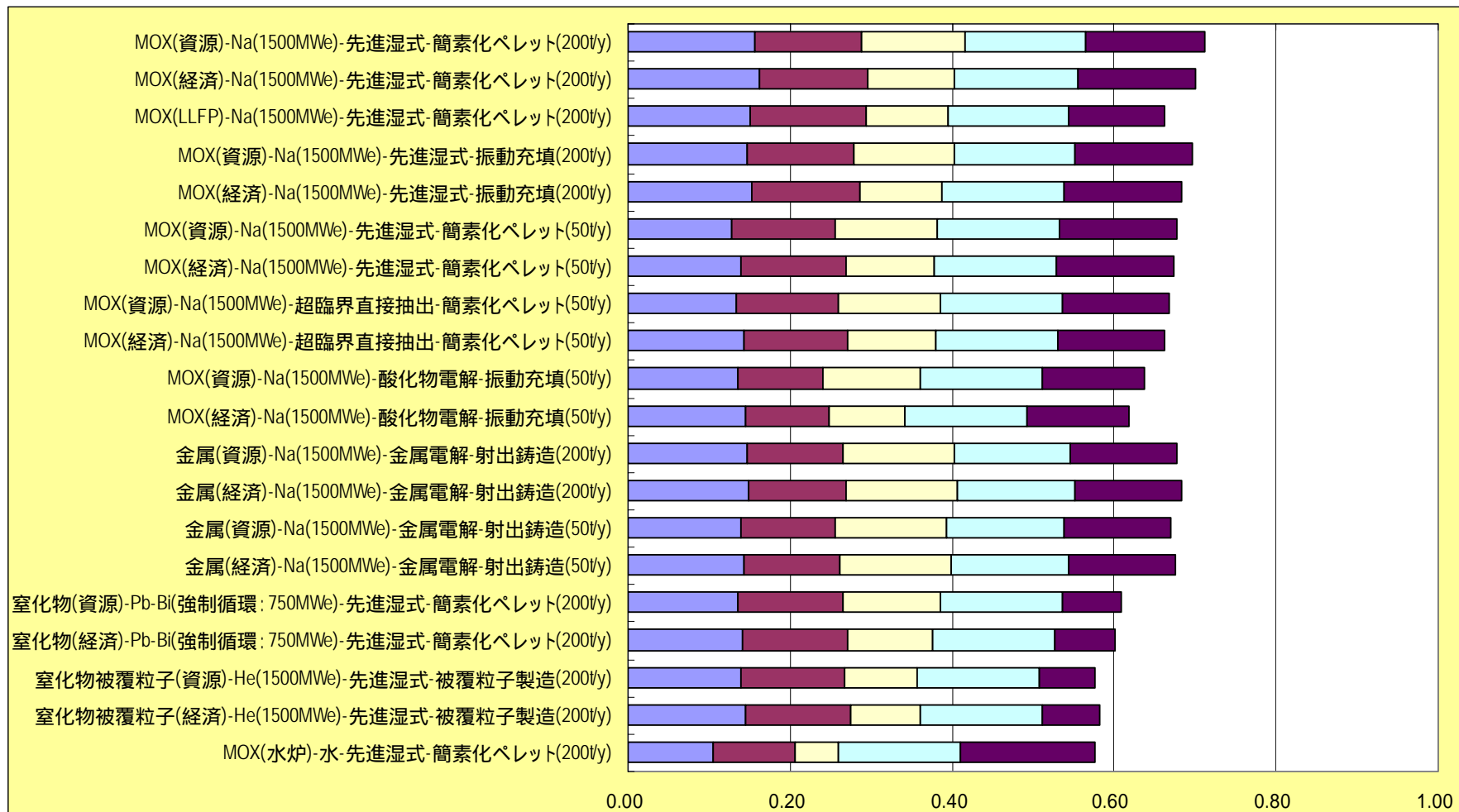


図 3.4.14 多面的評価の結果 (5 評価視点 : 重み付けなし)

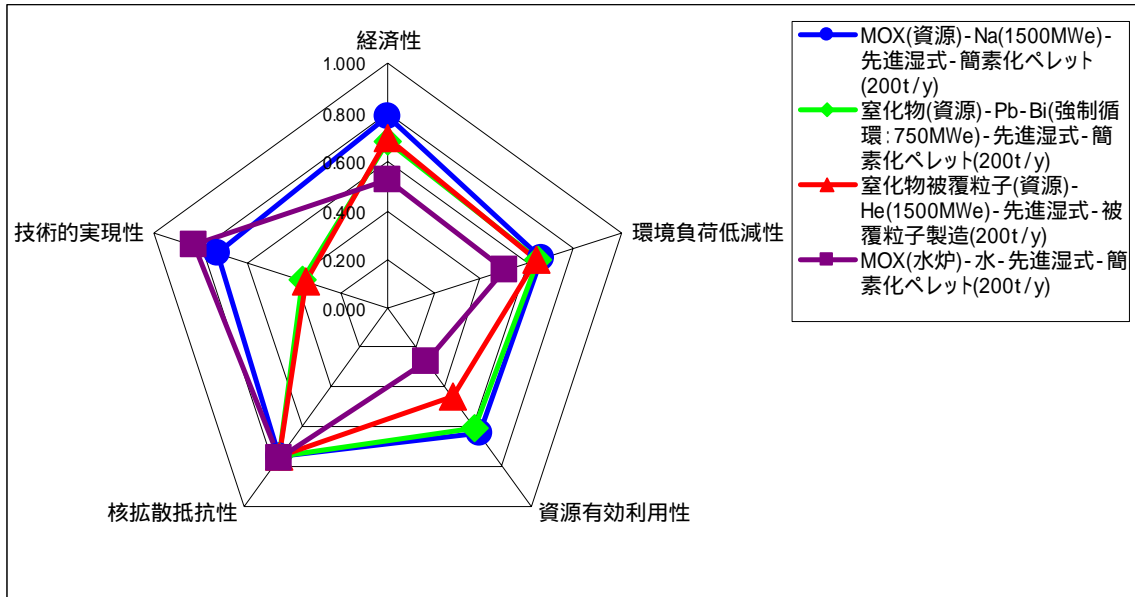


図 3.4.15 炉型別の評価結果（5 評価視点：重み付けなし）

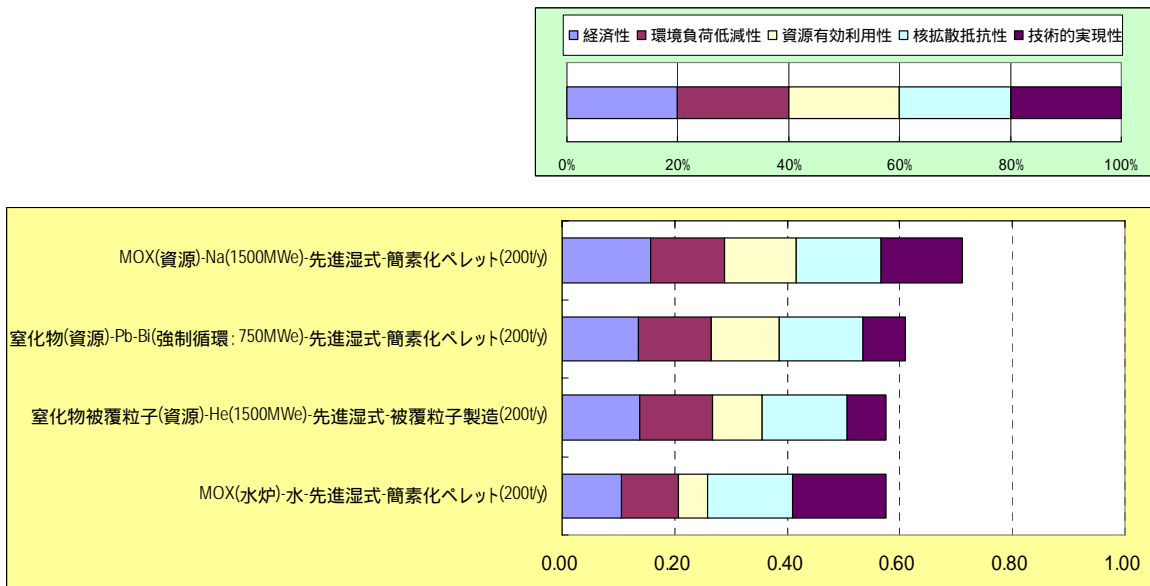


図 3.4.16 炉型別の評価結果（5 評価視点：重み付けなし）

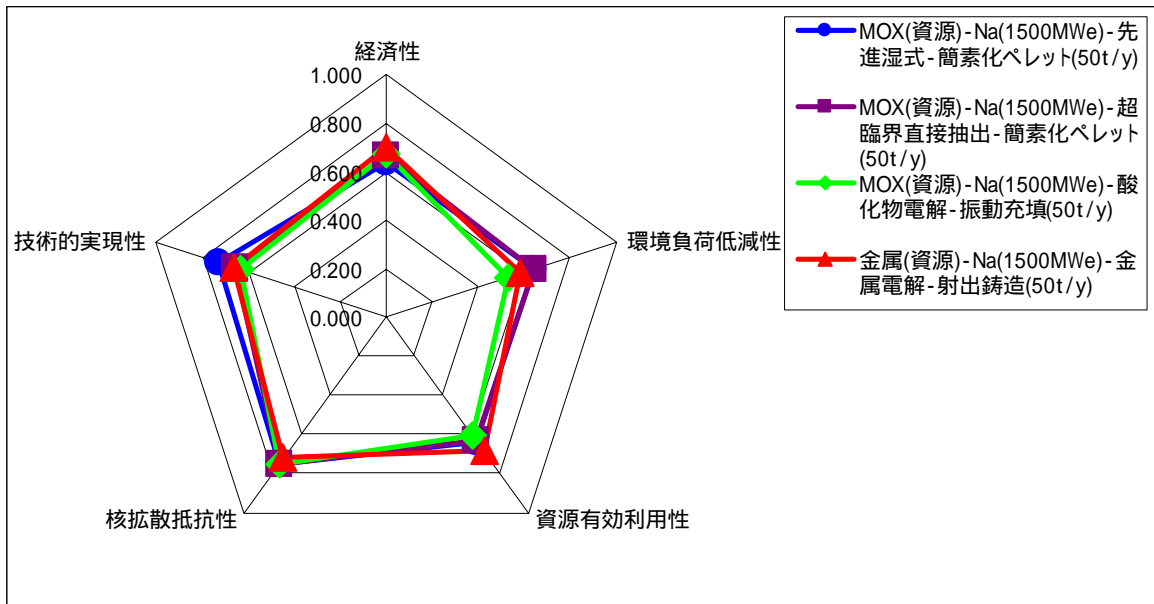


図 3.4.17 燃料サイクル別の評価結果 (50tHM/y : 5 評価視点 : 重み付けなし)

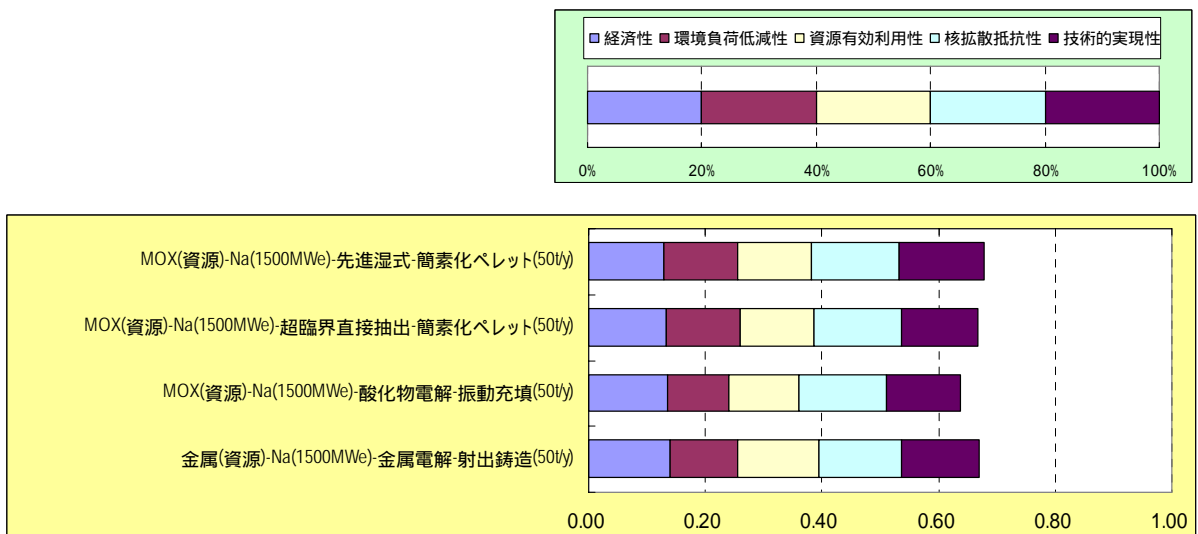


図 3.4.18 燃料サイクル別の評価結果 (50tHM/y : 5 評価視点 : 重み付けなし)

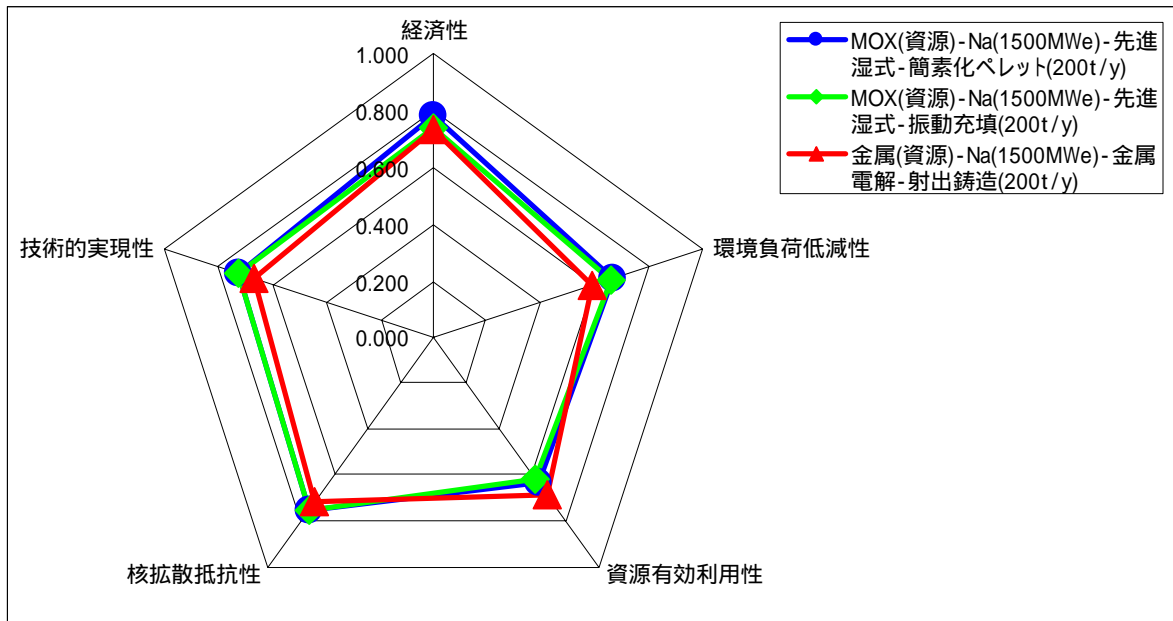


図 3.4.19 燃料サイクル別の評価結果 (200tHM/y : 5 評価視点 : 重み付けなし)

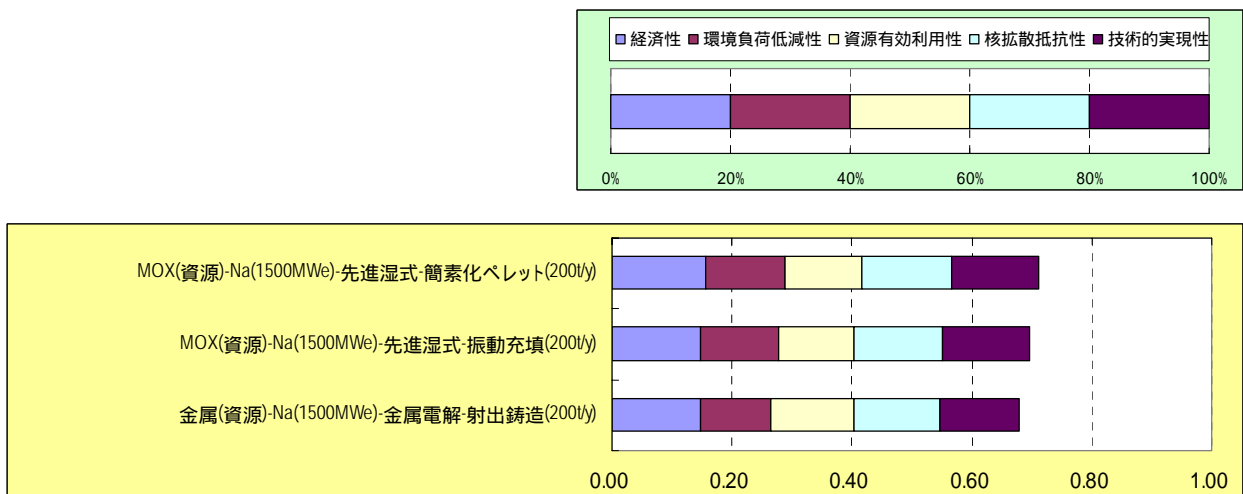


図 3.4.20 燃料サイクル別の評価結果 (200tHM/y : 5 評価視点 : 重み付けなし)

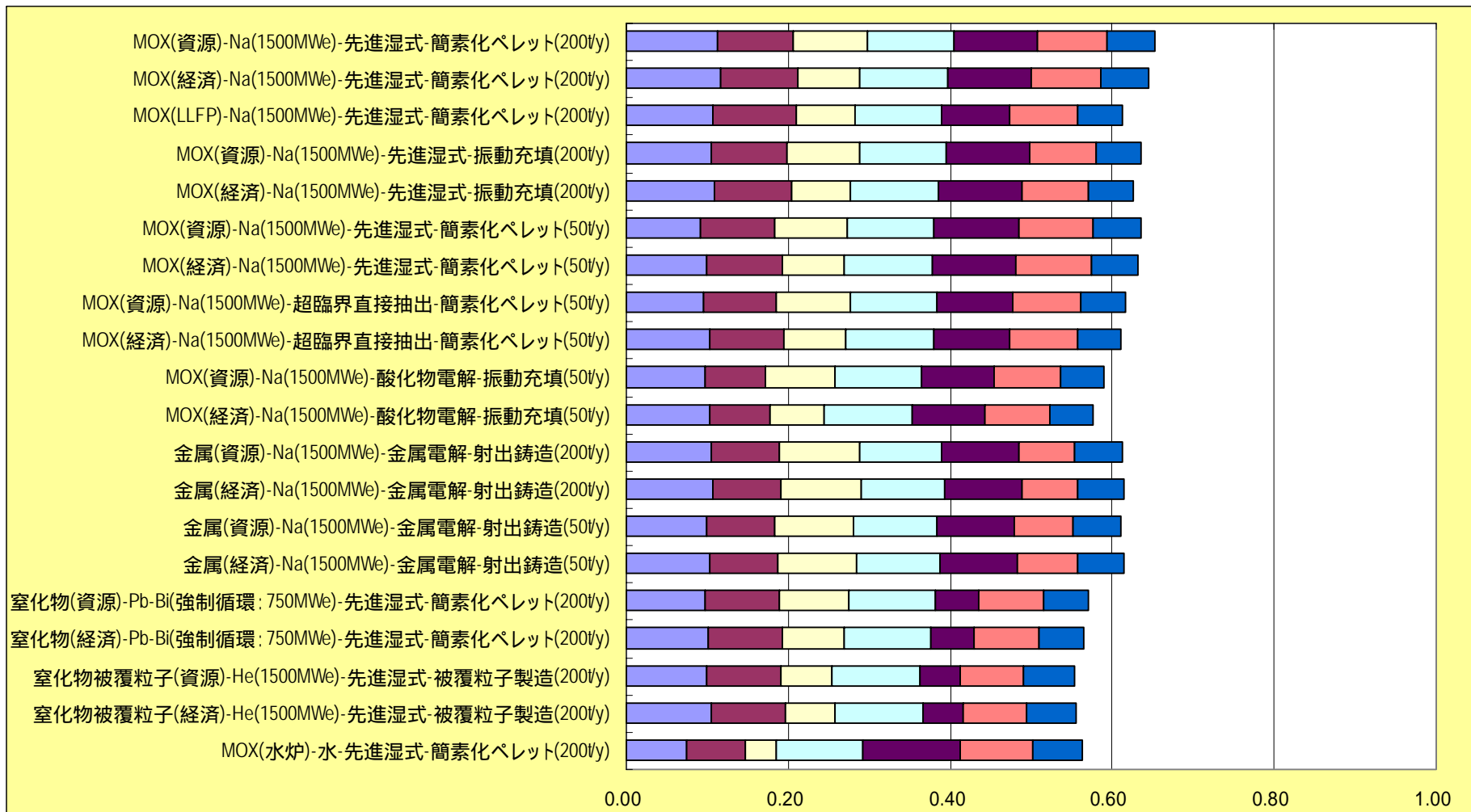


図 3.4.21 多面的評価の結果 (7 評価視点 : 重み付けなし)

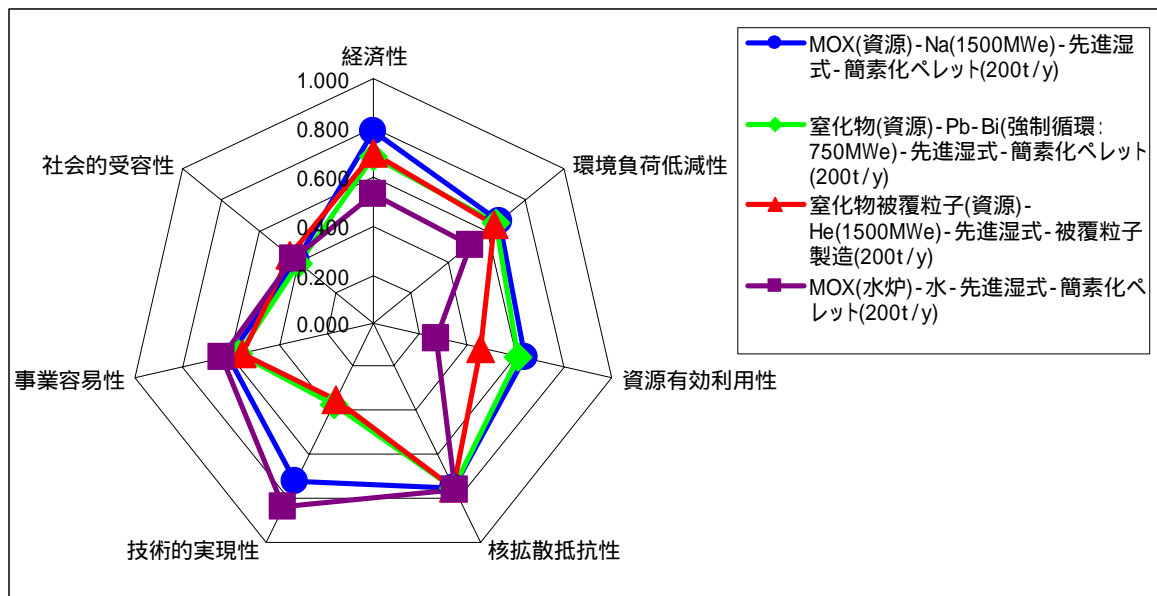


図 3.4.22 炉型別の評価結果（7 評価視点：重み付けなし）

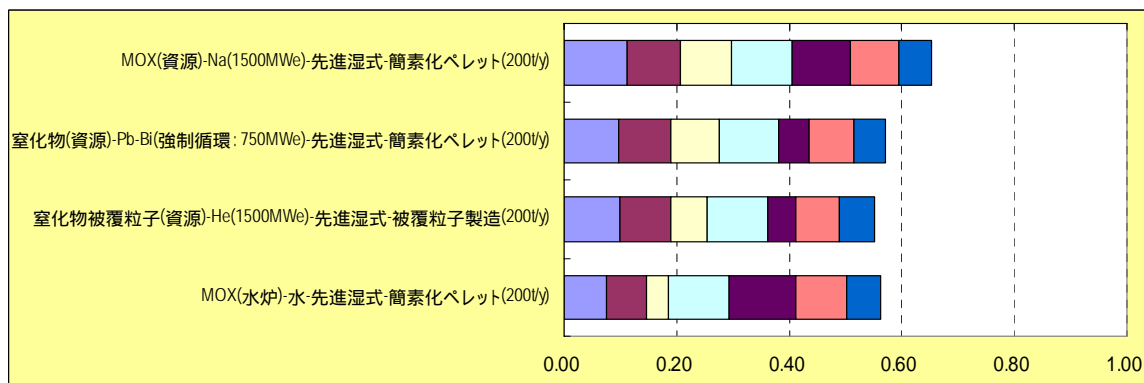
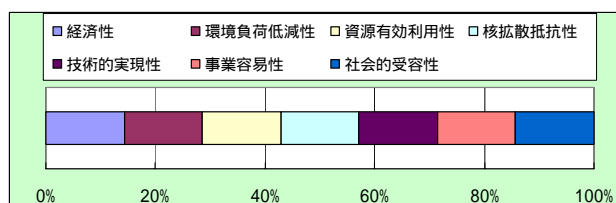


図 3.4.23 炉型別の評価結果（7 評価視点：重み付けなし）

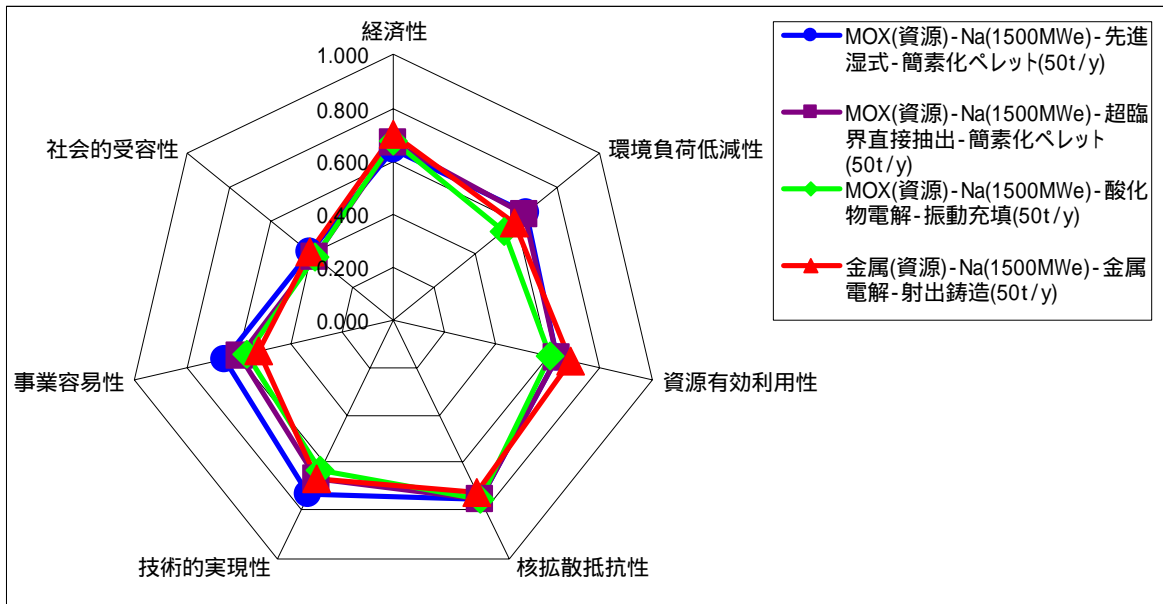


図 3.4.24 燃料サイクル別の評価結果 (50tHM/y : 7 評価視点 : 重み付けなし)

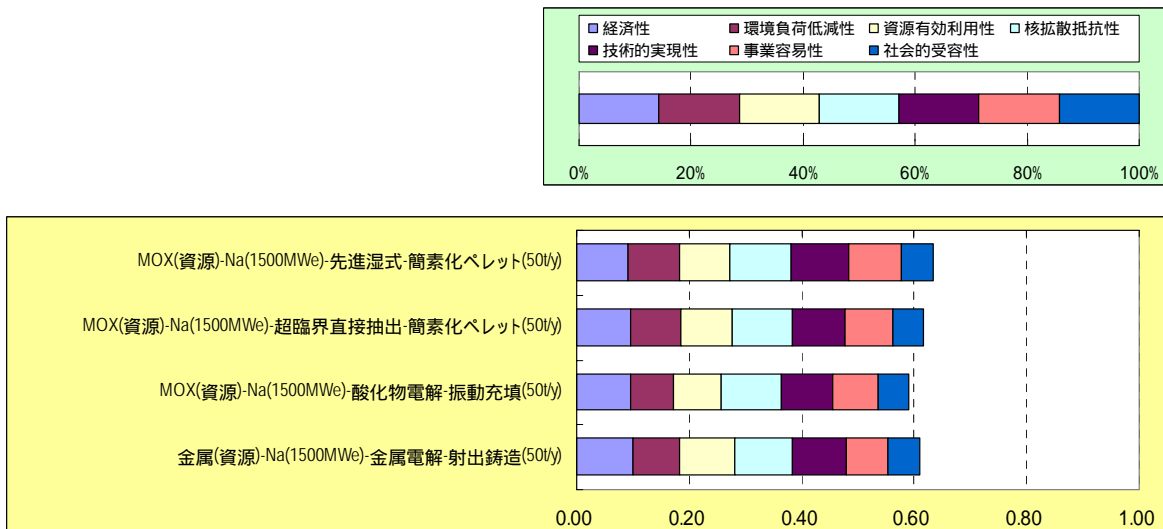


図 3.4.25 燃料サイクル別の評価結果 (50tHM/y : 7 評価視点 : 重み付けなし)

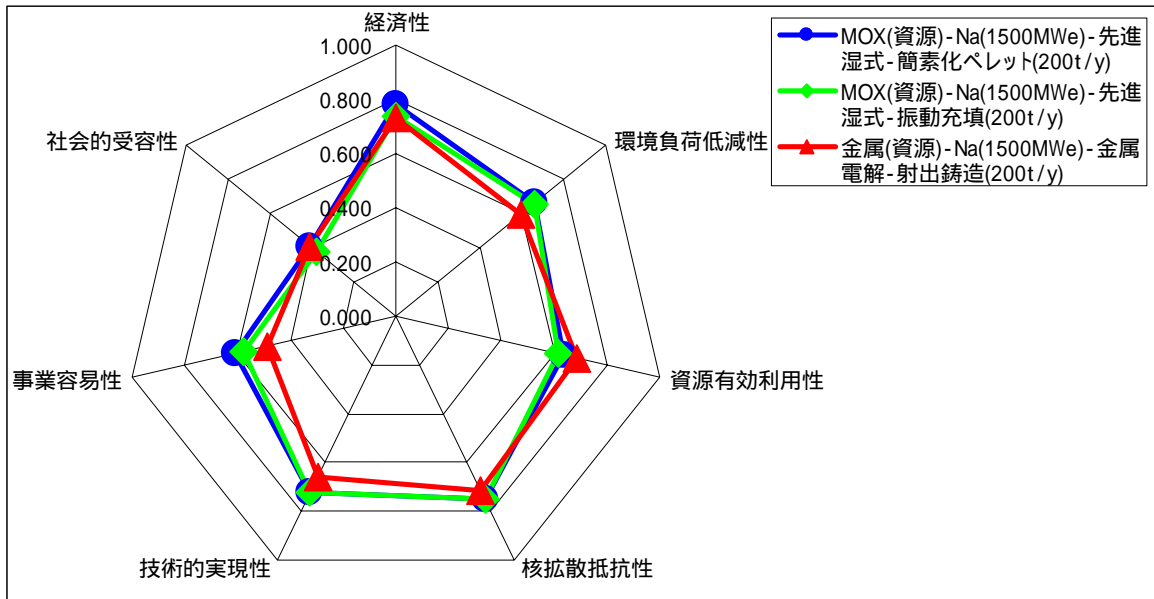


図 3.4.26 燃料サイクル別の評価結果 (200tHM/y : 7 評価視点 : 重み付けなし)

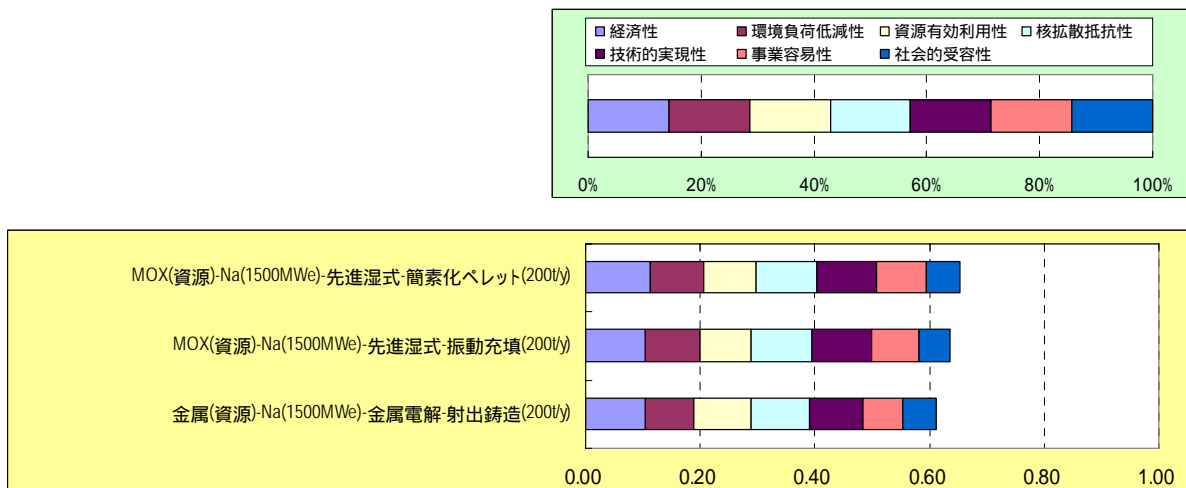


図 3.4.27 燃料サイクル別の評価結果 (200tHM/y : 7 評価視点 : 重み付けなし)

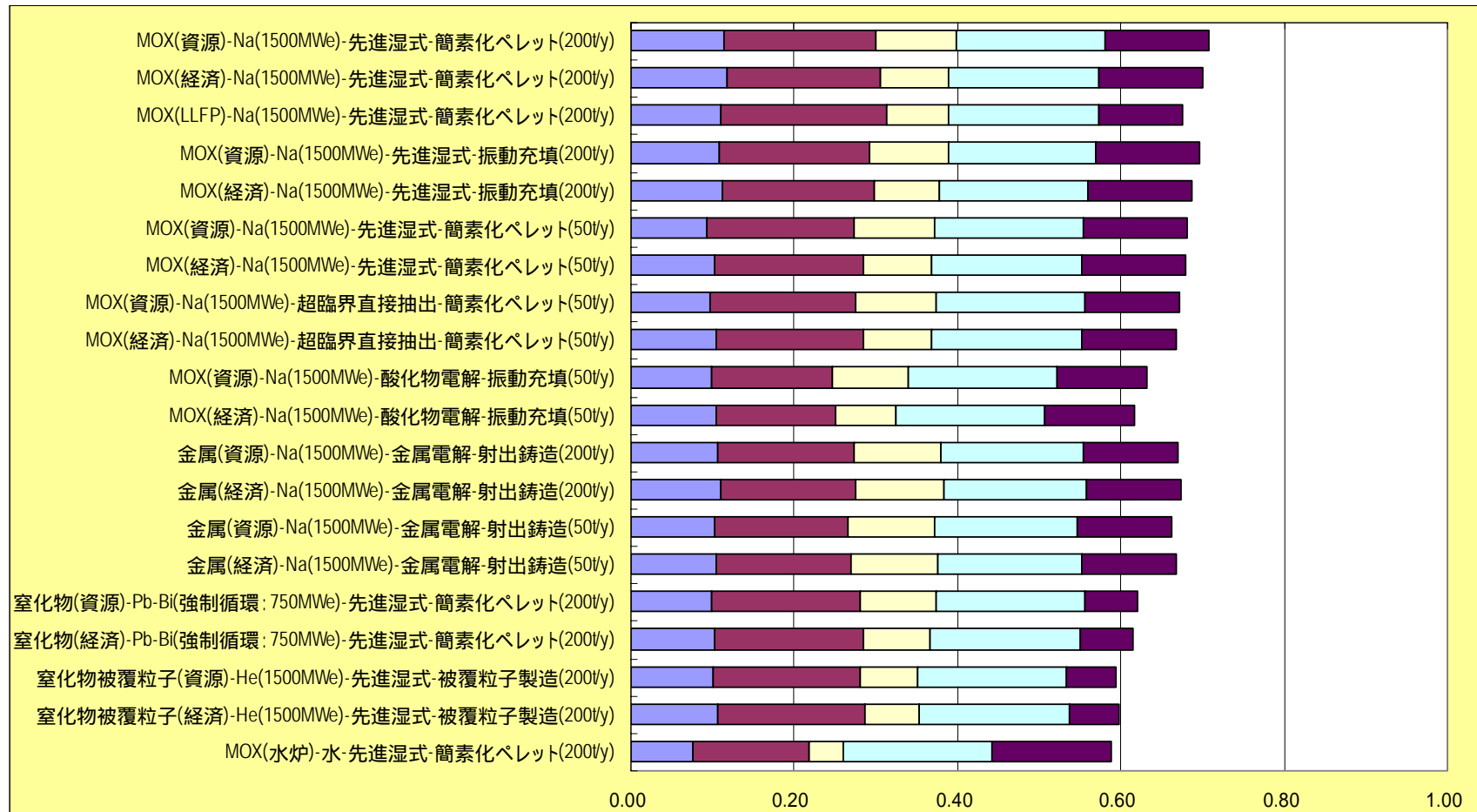


図 3.4.28 多面的評価の結果 (5 評価視点 : 普通の市民平均の重み付け)

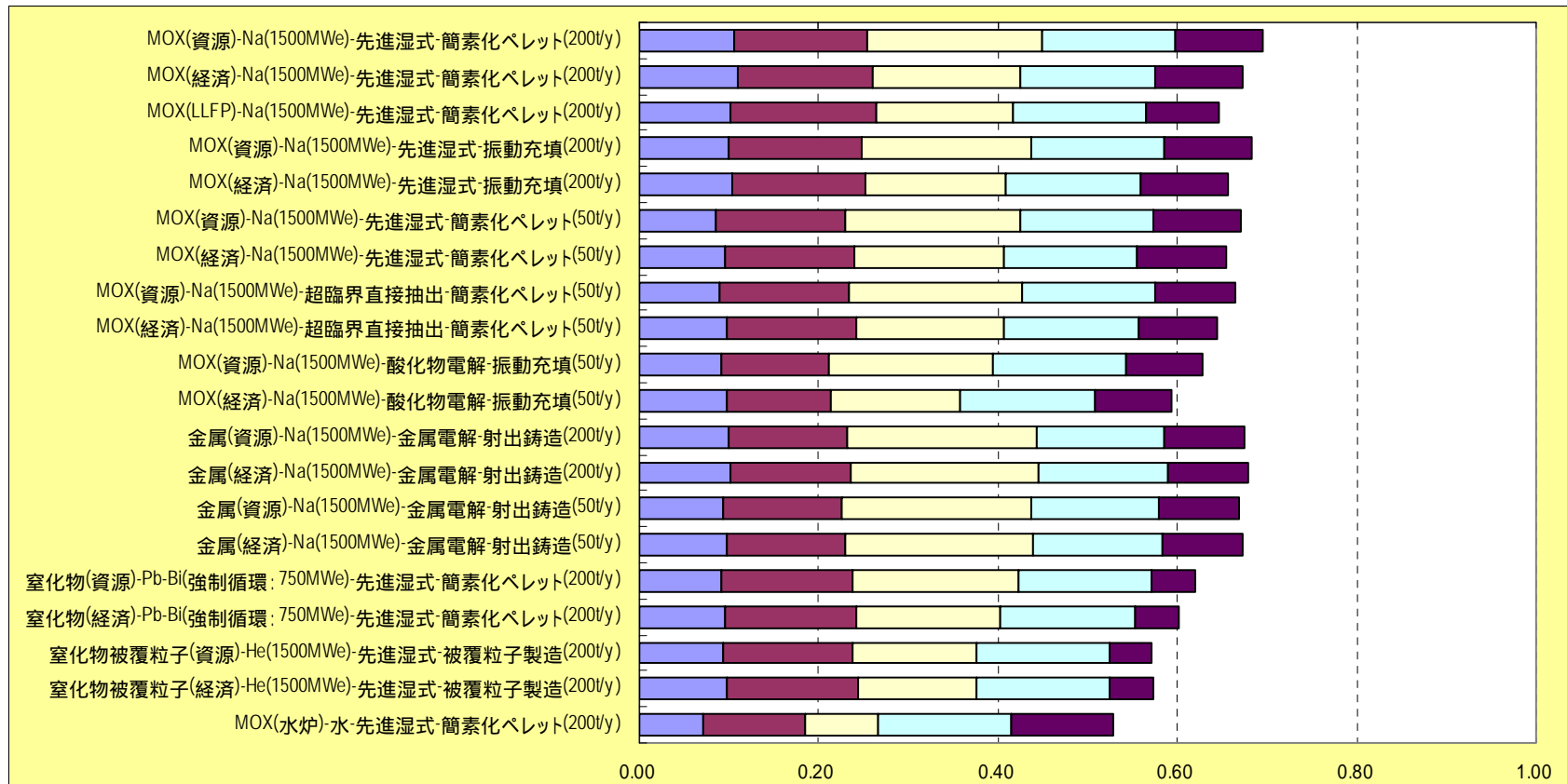
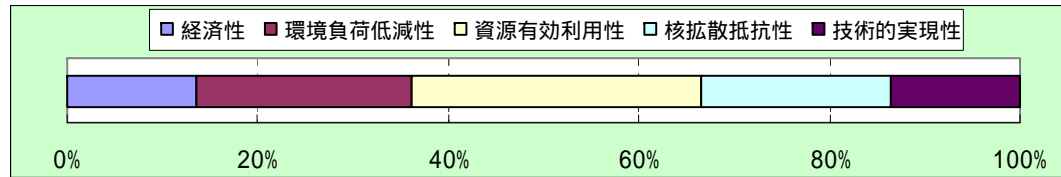


図 3.4.29 多面的評価の結果（5 評価視点：電気事業者平均の重み付け）

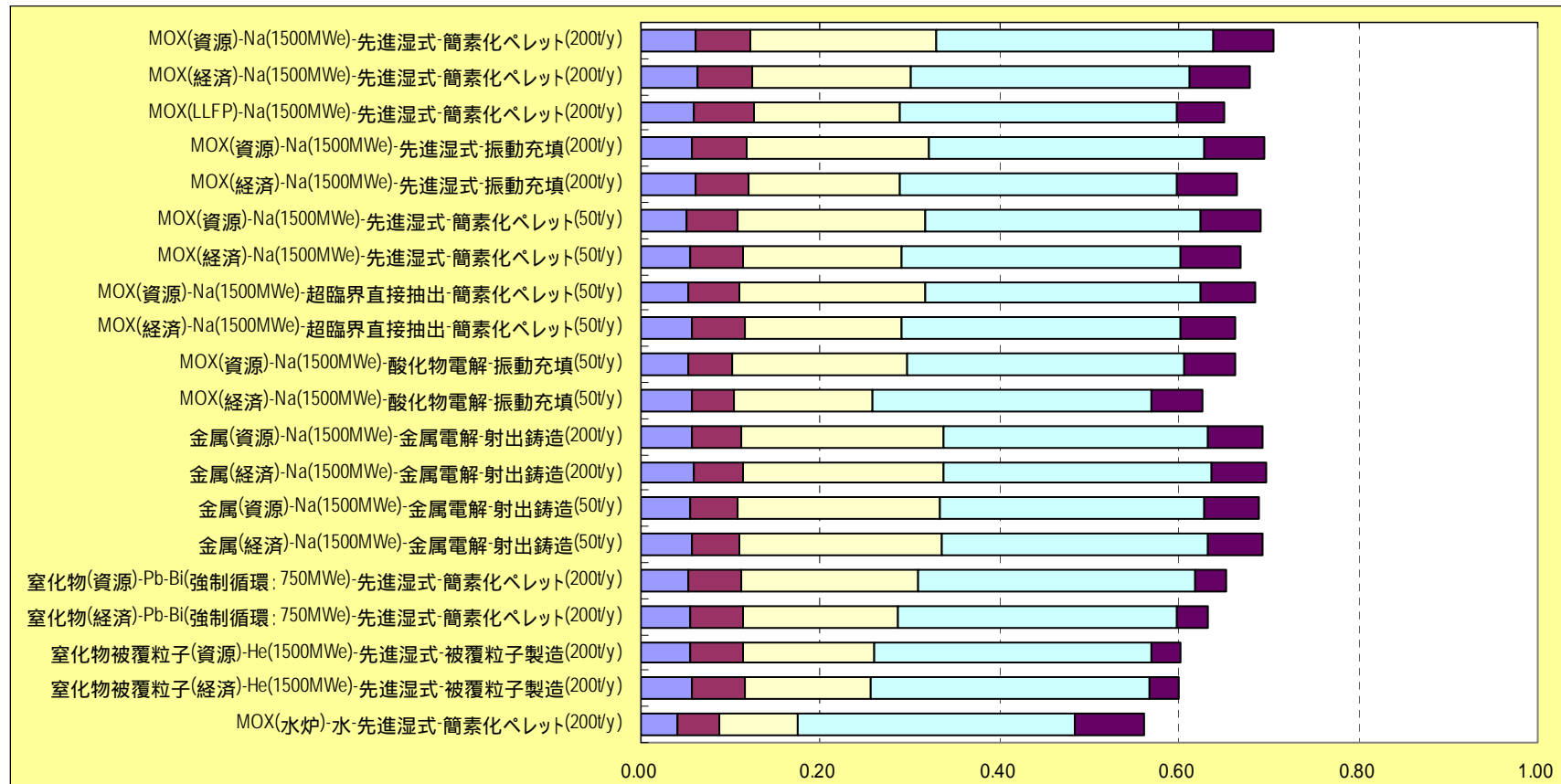
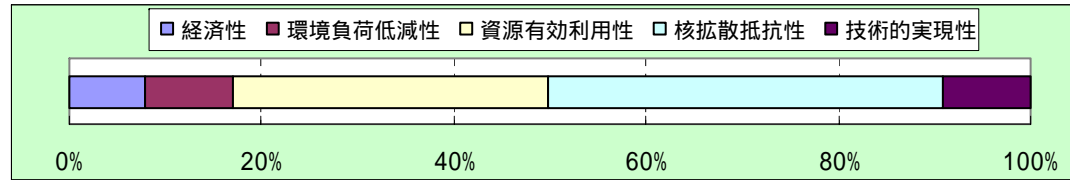


図 3.4.30 多面的評価の結果（5 評価視点：有識者平均の重み付け）

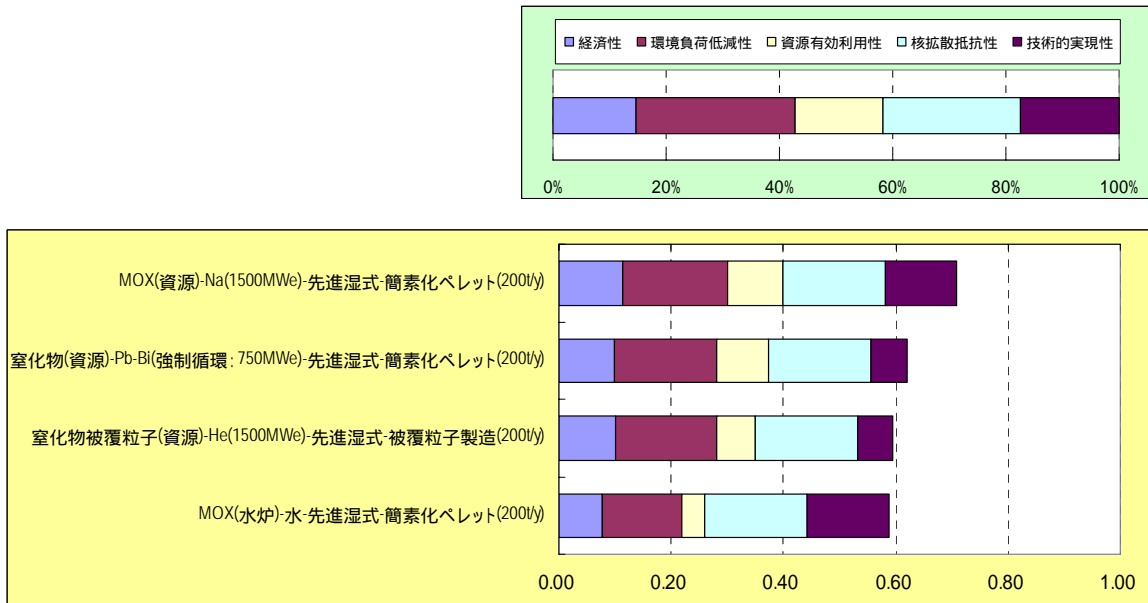


図 3.4.31 炉型別の評価結果 (5 評価視点：普通の市民平均の重み付け)

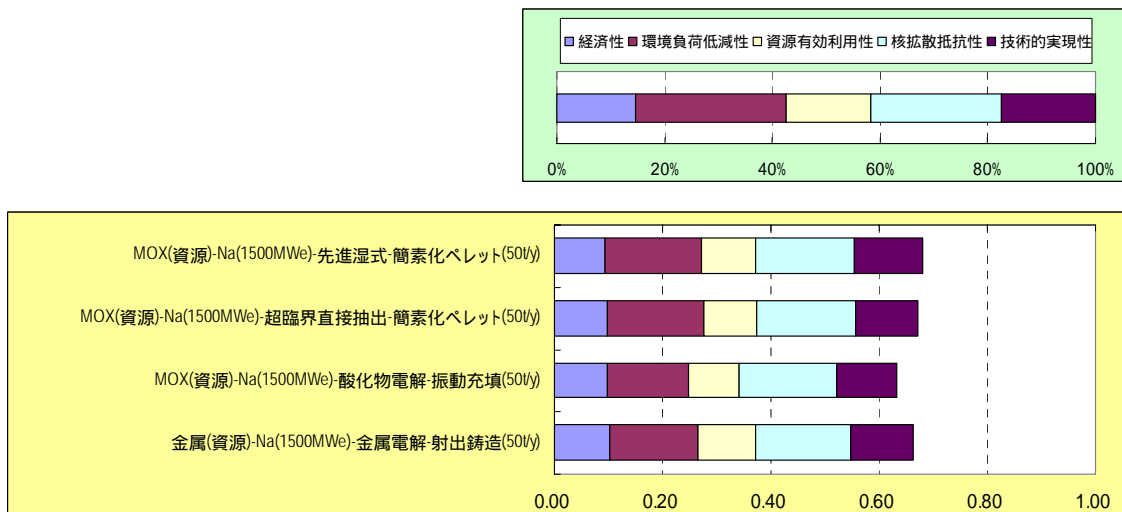


図 3.4.32 燃料サイクル別の評価結果 (50tHM/y：5 評価視点：普通の市民の重み付け)

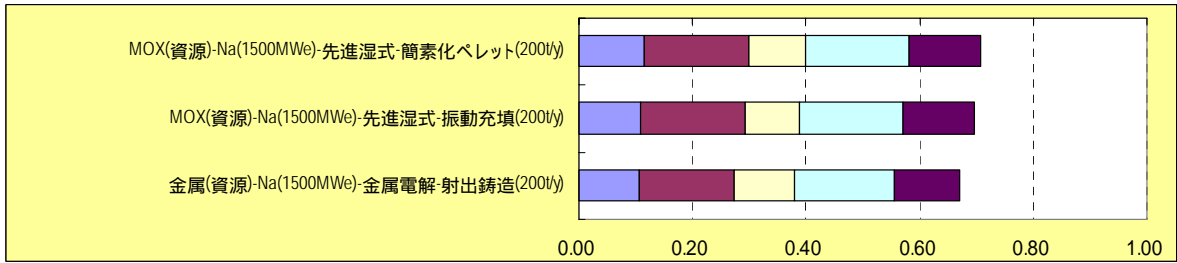
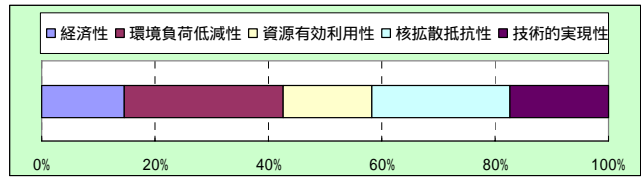


図 3.4.33 燃料サイクル別の評価結果 (200tHM/y : 5 評価視点 : 普通の市民の重み付け)

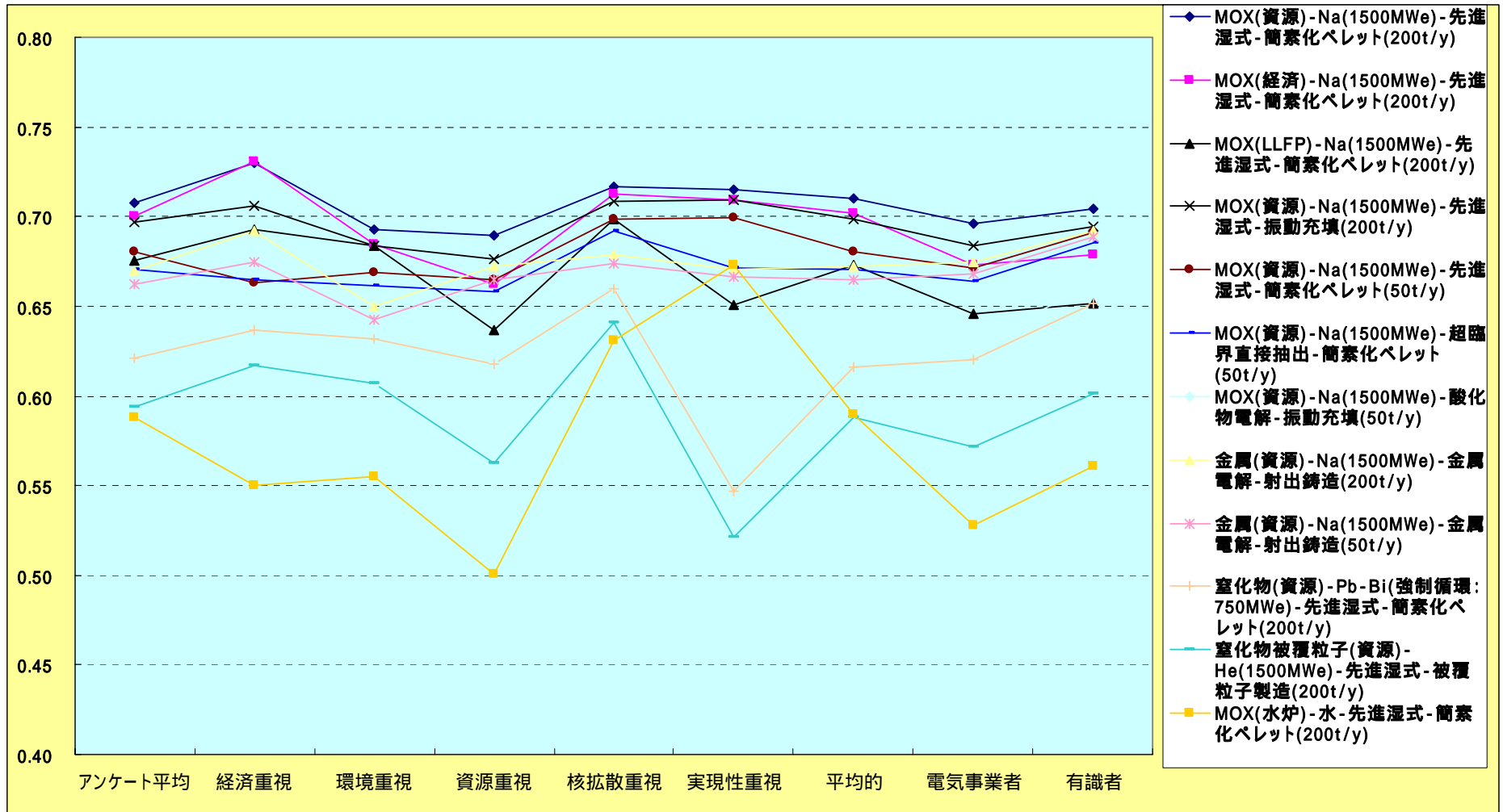


図 3.4.34 各種の重みの違いによる多面的評価の結果(5 評価視点)

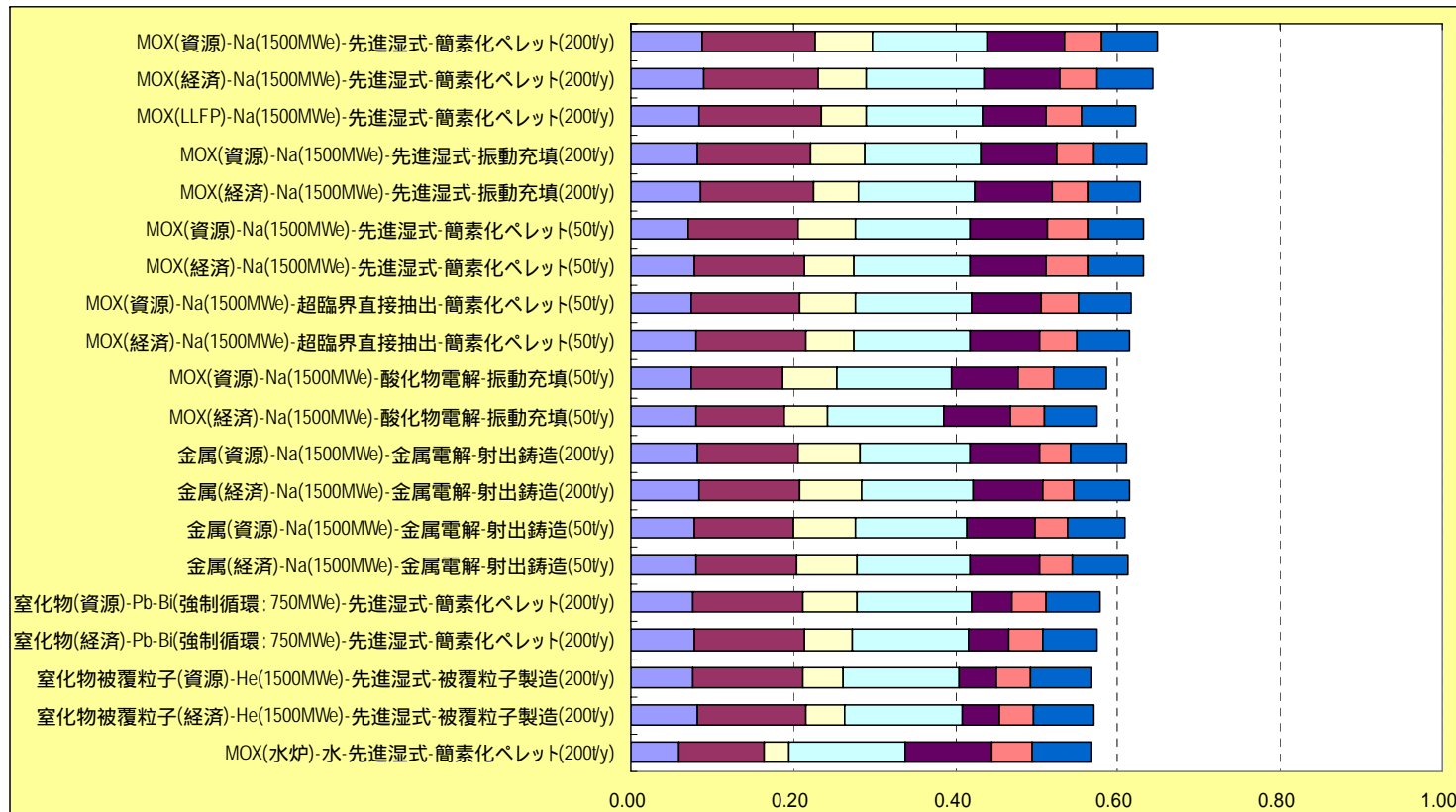
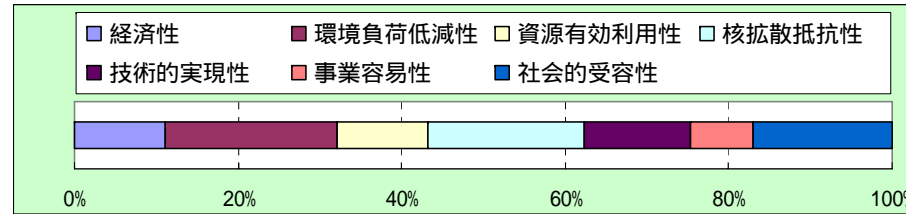


図 3.4.35 多面的評価の結果（7 評価視点：普通の市民平均の重み付け）

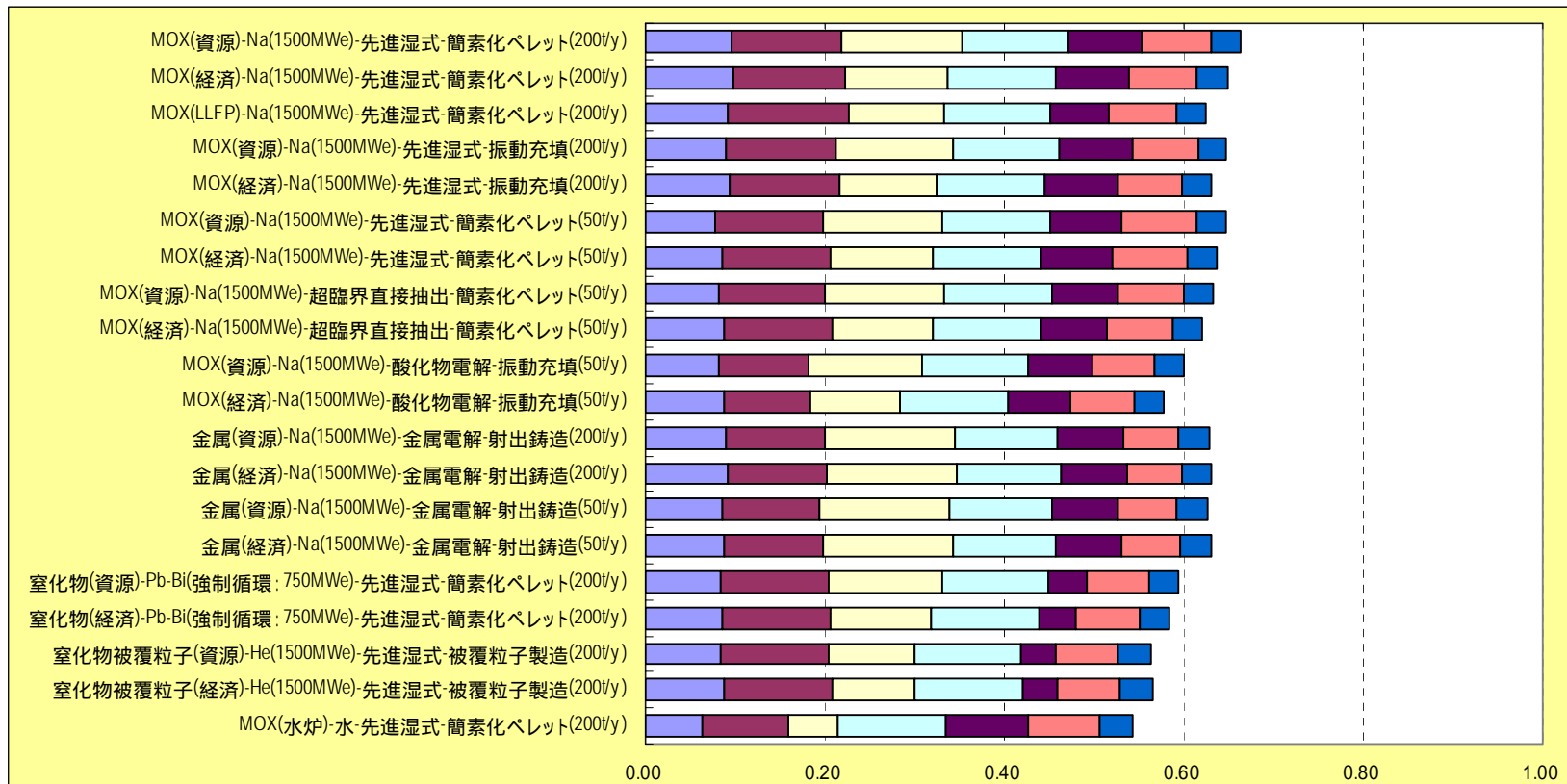
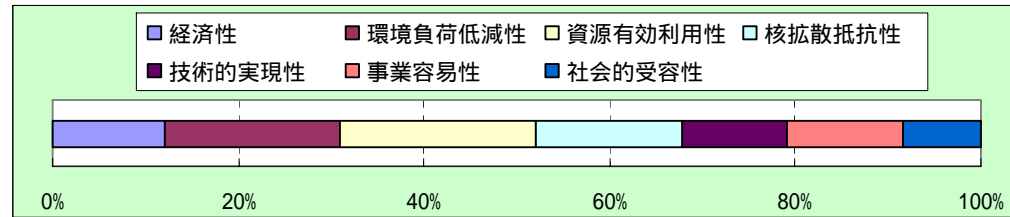


図 3.4.36 多面的評価の結果（7 評価視点：電気事業者平均の重み付け）

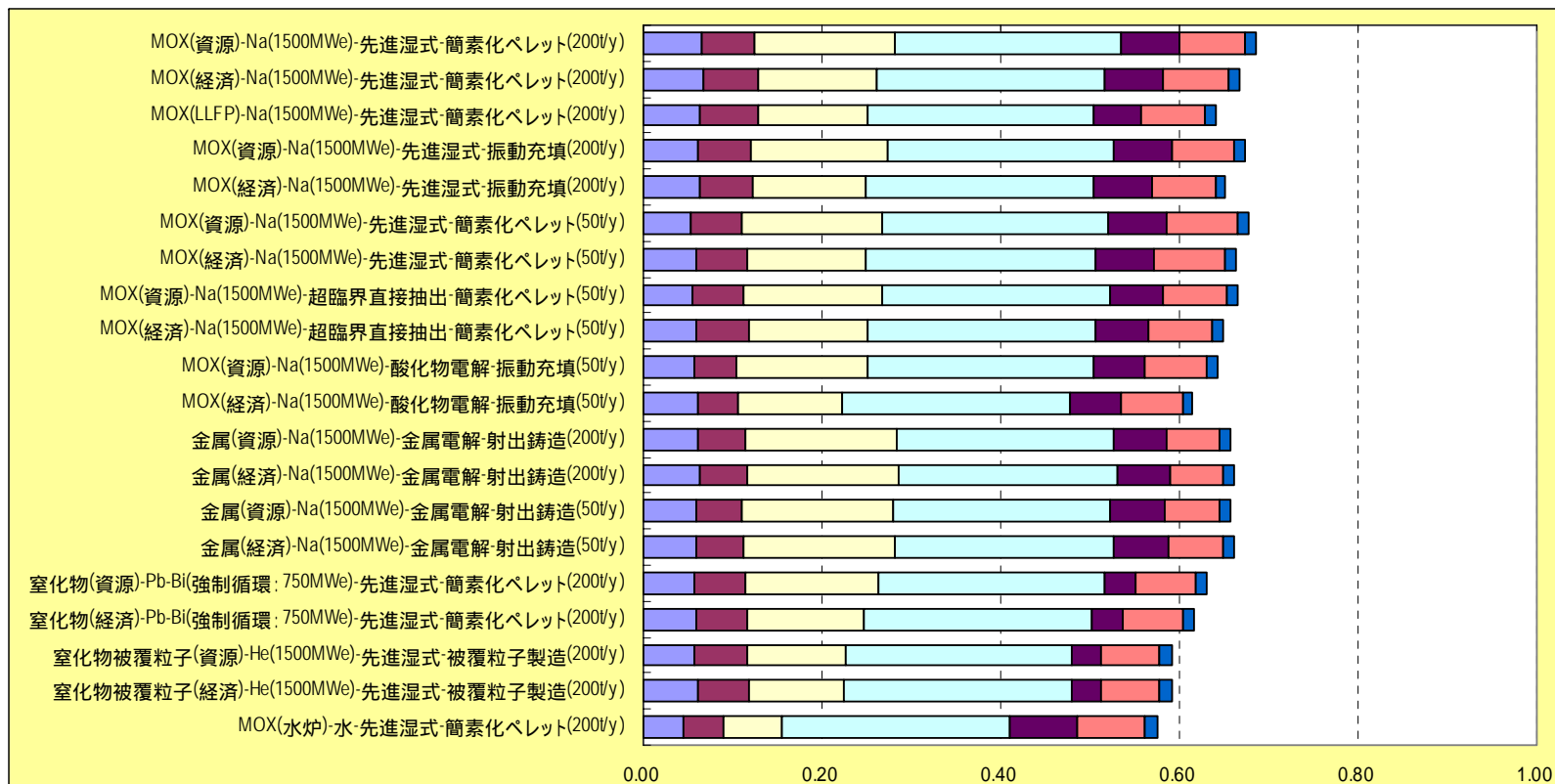
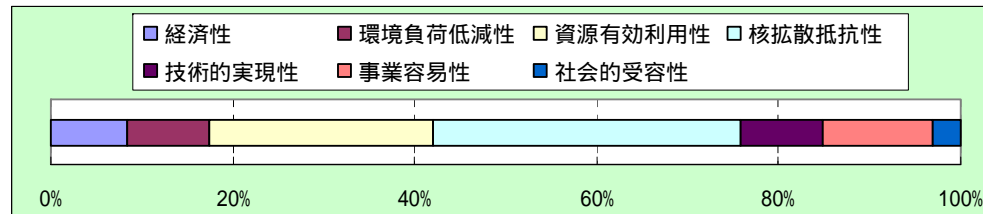


図 3.4.37 多面的評価の結果（7 評価視点：有識者平均の重み付け）

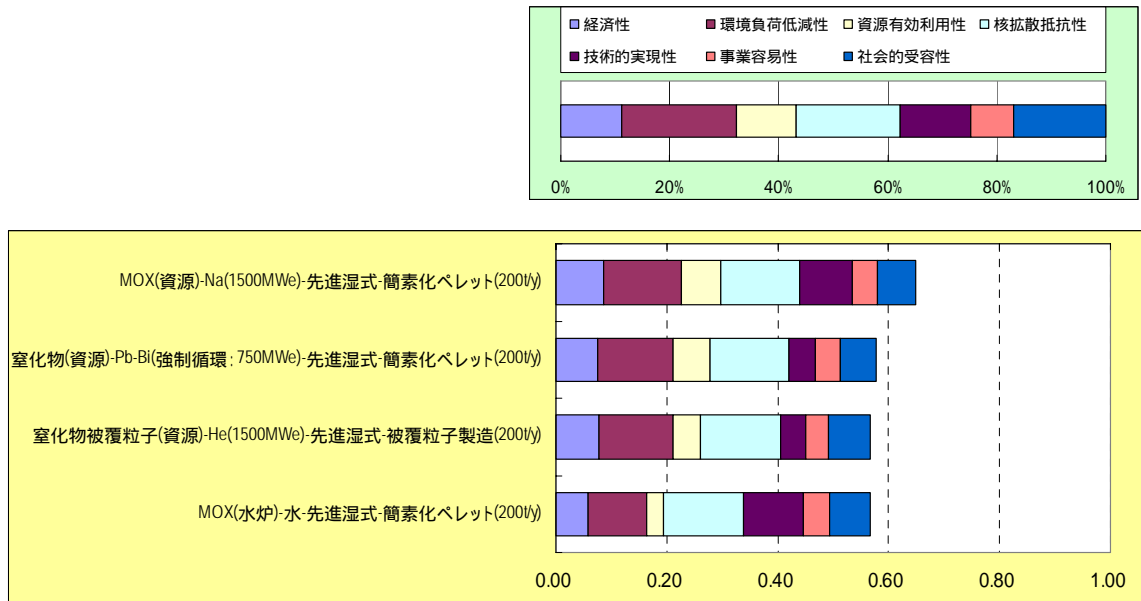


図 3.4.38 炉型別の評価結果（7 評価視点：普通の市民平均の重み付け）

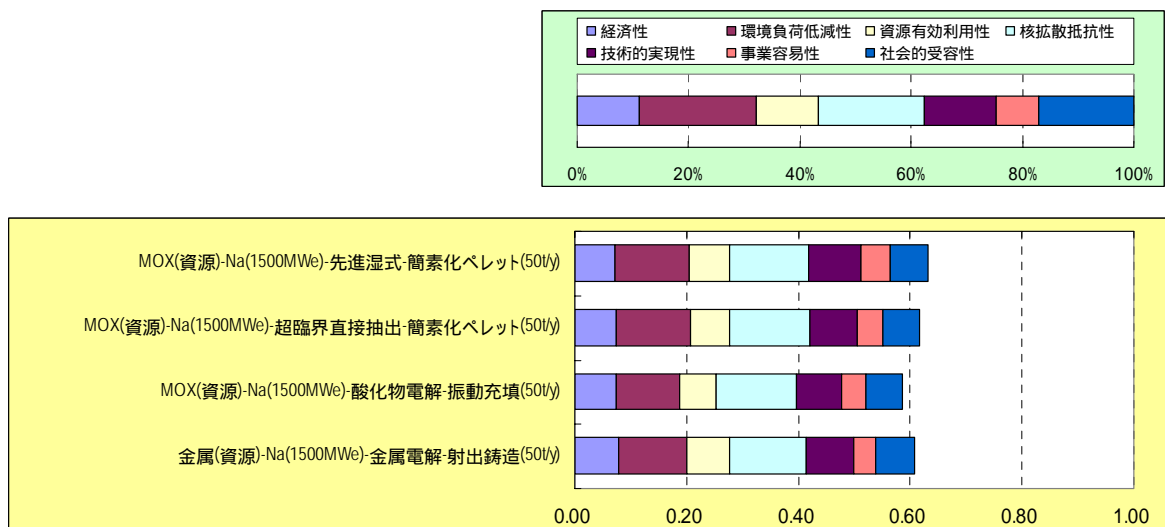


図 3.4.39 燃料サイクル別の評価結果（50tHM/y：普通の市民平均の重み付け）

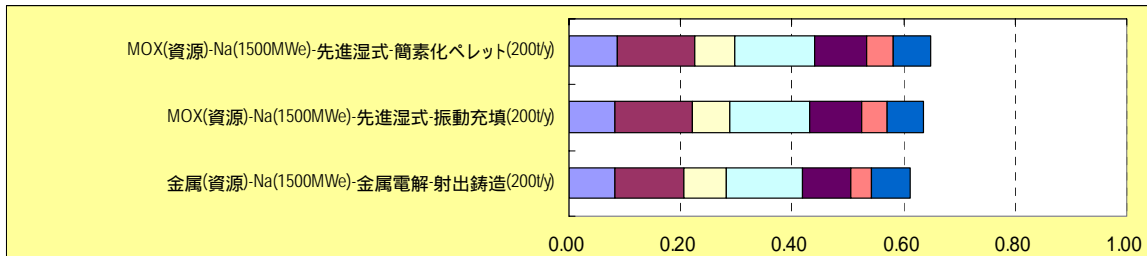
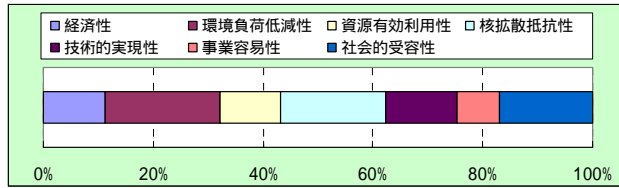


図 3.4.40 燃料サイクル別の評価結果 (200tHM/y : 7 評価視点 : 普通の市民平均の重み付け)

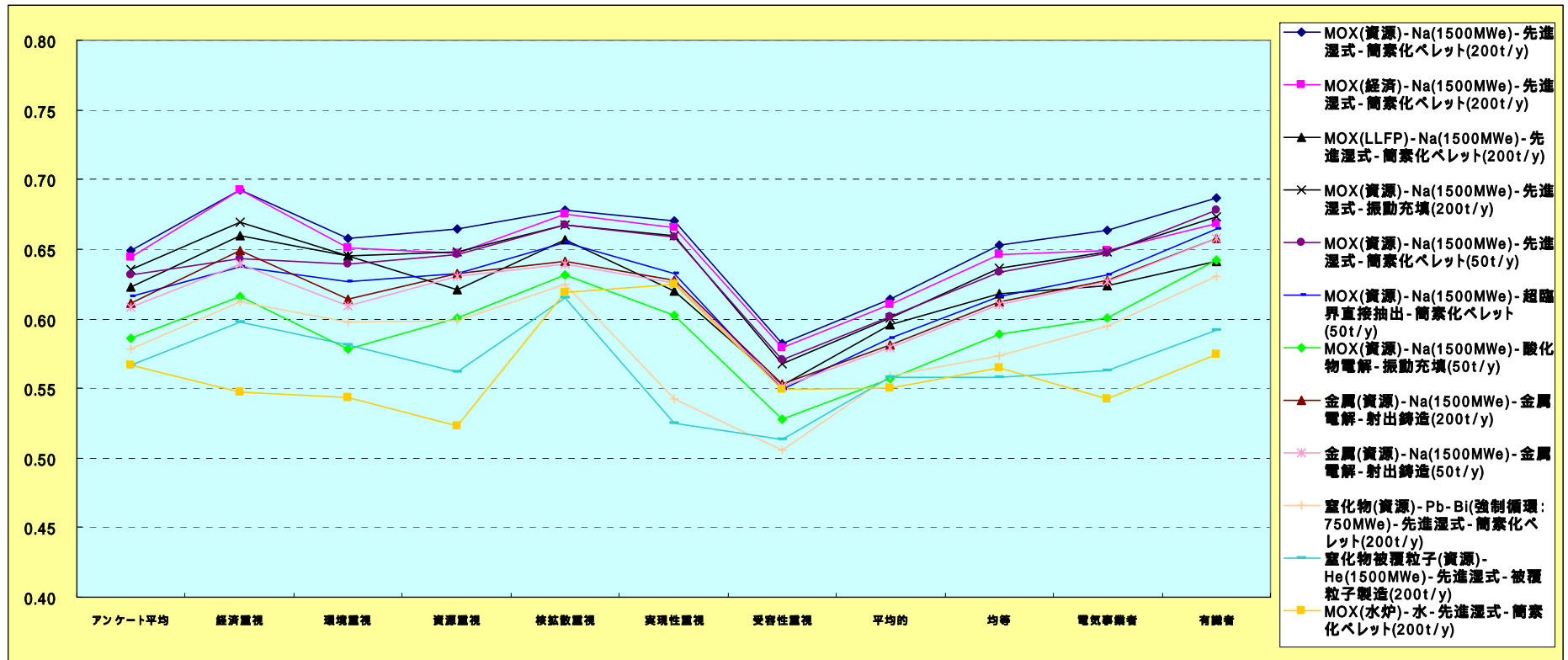


図 3.4.41 各種の重みによる多面的評価の結果の違い(7 評価視点)

3.5 時系列評価

3.5.1 経済性の時系列評価結果

本節では、現在稼動している軽水炉のリプレースが本格化する 2050 年頃を FBR 導入開始時期として、軽水炉から FBR への移行期を含めた原子力発電サイクルの時系列経済性評価結果について述べる。

FBR サイクル候補概念の代表ケースを対象に実施した時系列経済性評価結果を以下にまとめる。各ケースの傾向を知るために、先ず現在価値換算をせずに（割引率 0%）解析した結果について述べ、次に 2006 年時点に現在価値換算をして解析した結果（割引率 2%）について述べる。

(1) 割引率 0%での解析結果

図 3.5.1、図 3.5.2 に評価対象 5 ケースの 2006 年～2200 年の費用、及び発電原価推移を示し、図 3.5.3 に 2006 年～2200 年の費用総額、表 3.5.1 に平均発電原価及び燃料サイクル単価を示す。解析の結果、解析期間中平均で最も発電原価が低いケースは、ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心となり、水冷却炉が最も高い結果となった。

費用推移を見ると、ケース間を通じて費用増加の大きな要因となっているのは建設費であり、各ケース共、FBR 導入期である 2030 年～2060 年付近、耐用年が過ぎ次の炉がリプレースされる 2090～2120 年、2150～2180 年にそのピークが現れている。このうち、2040 年付近に注目すると、各ケースとも突出して費用が高い。これは、2040 年頃、各ケース共通で導入される第 2 軽水炉再処理施設の建設費が高いことが要因となっている。図 3.5.4～図 3.5.8 に各ケースの燃料製造費の推移、図 3.5.9～図 3.5.13 に再処理費の推移を示す。

第 2 軽水炉再処理施設（処理規模 1200tHM/y）は六ヶ所再処理施設と同様の施設と考えられ、建設費が高い。更にこの時期は原子炉導入期であり、FBR の建設とあわせて解析期間中最も費用を要する時期となっている。

各炉の平均発電原価の差を生んだ主な原因としては、2 つの要因が考えられる。主に 軽水炉から FBR への移行完了期の早さ及び移行割合の大きさがその要因を占め、次いで FBR サイクルの発電原価の高さ（燃料サイクル費の高さ）が関係する。

図 3.5.14～図 3.5.18 に各炉の発電費用推移を占める軽水炉サイクルと FBR サイクルの費用を示す。

要因 は、軽水炉と比べ比較的発電原価の低い FBR への移行が如何に早く進み、完了するかということであり、その意味では、図 3.5.14、図 3.5.18 に示すように解析期間内に移行が完了しない水冷却炉、2186 年移行完了の鉛ビスマス冷却炉、2176 年移行完了のヘリウムガス冷却炉と比べ、比較的早い時期に移行が完了するナトリウム冷却炉（MOX 炉心 2109 年、金属炉心 2109 年）が有利であり、特に本格導入当初から発電原価の低い経済性重視型炉心 FBR の導入が開始するナトリウム冷却金属燃料炉心と、2096 年に経済性重視型 FBR への導入が開始するナトリウム冷却 MOX 燃料炉心を比較した場合には、ナトリウム冷却金属燃料炉心が最も発電原価が低いケースとなるように考えられる。しかし、結果的に平均発電原価はナトリウム冷却 MOX 燃料炉心の方が低い。これは、平均発電原価の差を生む要因 である FBR サイクルの発電原価の高さ、さらに言えば燃料サイクル費、特にバックエンド費用の高さに由来している（表 3.5.1）。

表 3.5.1 の各燃料サイクル単価を見ると、燃焼製造単価については、ほぼ同等であるものの、

ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心、水冷却炉の MOX 炉心 FBR ケースを除くケースの再処理単価が比較的高く、特にナトリウム冷却金属炉心が最も高い。MOX 炉心 FBR ケース以外においては、軽水炉 MOX 使用済燃料から FBR 燃料（金属燃料、窒化物燃料、窒化物被覆粒子燃料）向けに再処理を行う、軽水炉 MOX 専用再処理施設の導入が考えられる。軽水炉 MOX 専用再処理施設は処理規模が小さく、処理規模あたりの建設単価のスケールデメリットの影響を受け、再処理単価が高いと考える。このため、MOX 炉心 FBR 以外のケースでは再処理単価が比較的高くなる。

また、ナトリウム冷却金属燃料炉心は、5 ケースの中で最も燃焼度が高く、年間の使用済燃料発生量が全般的に低く抑えられているため処理量が小さく、スケールデメリットの影響によって処理量あたりの建設単価の高い FBR 再処理施設が導入され再処理単価が増大することから、最も高いケースとなる。しかし一方で、処理量そのものは少ないため、バックエンド費用総額としてはそれほど高くなっていない。各ケース 2200 年頃の年間再処理量は、ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心約 300tHM/y、ナトリウム冷却金属燃料炉心 250～350tHM/y（軽水炉 MOX 使用済燃料再処理施設 50tHM/y も含む）、鉛-ビスマス冷却炉、ヘリウムガス冷却炉 350～550tHM/y（軽水炉 MOX 使用済燃料再処理施設 50tHM/y も含む）、水冷却炉では約 800tHM/y 程度の施設が必要となり、処理量の大きい施設は処理単価が低くなるものの、費用そのものは高い結果となっている。

総じて、ナトリウム冷却 MOX 炉心は以下の理由から最も平均発電原価が低いと考えられる。

軽水炉から FBR への移行完了が比較的早く（2117 年）また FBR 移行完了後において、平均燃焼度が高く発電原価の低い経済性重視型炉心 FBR を早期に導入可能である。

燃焼度の高い経済性重視型炉心 FBR を早期に導入可能であるために、燃料サイクル単価は比較的高いものの年間の再処理量が少なく、燃料サイクル費が低いために FBR サイクルの発電原価を低く保つことが可能である。

ナトリウム冷却金属炉心はこのうち、要因 については軽水炉から FBR への移行完了が最も早い（2109 年）ために平均発電原価は比較的低いものの、要因 については燃焼度が最も高いために年間の処理量が低いものの、処理量あたりの建設単価の高い FBR 再処理施設を導入するため再処理単価が高くなり、ナトリウム冷却 MOX 炉心よりも平均発電原価が高くなるものと考えられる。

鉛ビスマス冷却炉は、軽水炉から FBR への移行完了が比較的遅いものの（2186 年）早期の移行速度は速く（2125 年には約 70% の FBR 移行率となりその後 2165 年までほぼ一定となる）ナトリウム冷却炉に次いで平均発電原価が低くなっているものと考えられる。

ヘリウムガス冷却炉は、軽水炉から FBR への移行完了が比較的遅く（2176 年）さらに FBR への移行速度が遅いため（2126 年に約 50% の FBR 移行率となり、その後 2157 年までほぼ一定）水冷却炉に次いで平均発電原価が低くなっているものと考えられる。

水冷却炉は、2200 年時点で軽水炉から FBR への移行が完了しないため、最も平均発電原価が低くなっているものと考えられる。

(2) 割引率 2%での解析結果

2006 年時点に現在価値換算（割引率 2%）した各ケースの発電費用推移を図 3.5.19 に、発

電費用を占める軽水炉サイクル、FBR サイクル費用の割合(割引率 2%)を図 3.5.20 に、2006 年～2200 年の費用総額を図 3.5.21 に、平均発電原価及びサイクル単価を表 3.5.2 に示す。

解析の結果、解析期間中平均で最も発電原価が低いケースは、現在価値換算前(割引率 0%)での解析結果と同様ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心となり、ヘリウムガス冷却炉と水冷却炉が同等に高い結果となった。

発電費用推移を見ると、現在価値換算の影響によってケース間の差の主要な要因となる将来の FBR サイクル費用の寄与は小さくなり、軽水炉サイクル、FBR 導入初期の費用がそのほとんどを占めている。ケース間によって軽水炉サイクルの費用に大きな差はないことから、平均発電原価としての差は、特に前項で述べた要因である軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行割合、移行時期の早さに大きく影響され、FBR への移行完了が比較的早いナトリウム冷却 MOX 炉心、ナトリウム冷却金属炉心の平均発電原価が比較的低くなり、移行完了が遅い鉛ビスマス冷却炉、ヘリウムガス冷却炉、2200 年時点で移行が完了しない水炉が高い結果となった。

さらに、FBR への移行完了が早いナトリウム冷却 MOX 炉心とナトリウム冷却金属燃料との平均発電原価のわずかな差については、現在価値換算によって全体的に将来の費用の寄与が小さくなっているものの、比較的早期の FBR 導入期に建設される軽水炉専用 MOX 再処理施設を必要としないナトリウム冷却 MOX 炉心の平均発電原価が最も低くなったと考える。

鉛ビスマス冷却炉、ヘリウムガス冷却炉、水冷却炉については、FBR への移行時期、割合によってわずかな差はあるものの、その移行時期が遅いためにほとんど評価結果には影響しておらず、相対的に平均発電原価が高くなった。

3.5.2 環境負荷低減性の時系列評価結果

以下では、現時点から 2200 年までのわが国における核燃料サイクルの環境負荷の時系列評価を試みた結果について延べることとする。

先に述べたとおり、FBR サイクル候補概念 5 ケースを対象に実施した時系列環境負荷低減性評価結果を以下にまとめる。最初に放射性廃棄物発生量の評価から述べる。

(1) 放射性廃棄物発生量の評価結果

(a) 放射性廃棄物発生量（発生体積）の時系列評価結果

図 3.5.22～図 3.5.27 に各ケースの放射性廃棄物発生量（発生体積）を廃棄物の区分別推移（2006 年から 2200 年まで）を示す。また、2006 年から 2200 年までを平均した平均の放射性廃棄物発生量（占有面積）の結果を図 3.5.28 に示す。現時点の評価はまだプロトタイプの段階であり、今後の検討で追加すべき部分もあるが、各ケースの特徴は現れてきている。いずれも類似した形のグラフが描かれており、全体として軽水炉サイクルの影響が大きいこともわかる。また、2050 年の少し前（2090 年の少し前等も）にピークが現れているが、これは軽水炉使用済燃料の再処理施設の廃止措置によるものである。

FBR サイクル候補概念間で比較すると、廃棄物発生量を設計データよりも少ないと想定したケースを除けば、ケース 1 のナトリウム冷却炉・MOX 燃料・先進湿式再処理・簡素化ペレット燃料製造を組み合わせた FBR サイクルが、最も廃棄物の発生量が少なかった。これは、そもそも実用化戦略調査研究で設計している FBR サイクル施設は、従来施設と比べて物量が少なくコンパクトであり、廃止時の廃棄物発生量が抑えられることによる。ケース 2 は、他の候補概念と比較して早めにリプレースが進み、こうしたコンパクトな核燃料サイクルへの移行が速やかであること、また、現在の核燃料サイクルの延長線上にあるので、余計な施設を設ける必要がないこと、また燃焼度も比較的高いことなどの利点がある。

他のケースは、ケース 3 と比較するといくつかの要因で放射性廃棄物の発生量が増大したと考えられる。ケース 4 は、金属燃料炉心、金属電解再処理・簡素化ペレット燃料製造を用いるケースであり、ケース 5 の次に廃棄物発生量が小さくなった。このケースの場合は、FBR サイクルで金属燃料を利用するために、軽水炉 MOX 燃料の使用済燃料を再処理して FBR 燃料の原料となる核物質を得る軽水炉 MOX 専用再処理施設の導入を想定した。経済性評価でも影響が生じたように、環境負荷低減性評価においても、軽水炉 MOX 専用再処理施設は処理規模が小さくスケールデメリットを生じるために、若干ではあるが評価結果にマイナスの働きがある。他方で、ケース 6 は FBR への移行が非常に速やかであること、また炉心（炉心燃料とブランケット燃料）の燃焼度が高く、将来の核燃料サイクル施設は小さい容量で済むことなどは廃棄物発生量を低減するために有利な要因となっている。

ナトリウム冷却炉に金属燃料を組み合わせたサイクルであるケース 7 では、高レベル廃棄物（人工鉱物）に含有可能な FP の量が少なく、発熱量も少ないという特徴がある。このとき、今後の開発によっては、より多くの割合の FP を高レベル廃棄物として処分できる可能性がある。そこで、多重平衡サイクルの評価でも行ったように、高レベル廃棄物が、先進湿式再処理から発生する高レベル廃棄物並みの割合（発熱量が等しいと考える）で FP を含有できると想定したケースをケース 8 として設定した。このとき、放射性廃棄物の発生量は若干減少し、ケース 7 をわずかに下回る程度となった。このように、ケース 8 については、環境負荷の面からも有望となる可能

性を秘めた候補概念であると考えられる。

なお、高レベル廃棄物発生量の低減は処分場面積の低減につながる（このときも、廃棄物量が減少して処分場の面積を低減できる場合、廃棄物量が同じでも発熱量が小さく、処分場の面積を低減できる場合などが考えられる）ので、放射性廃棄物量を占有面積で評価する場合には、こうした想定は大きな影響を及ぼすと考えられる。

鉛ビスマス炉サイクルであるケース は、技術開発に時間を要すると考えて、導入時期を 2070 年頃と遅く想定した点が大きく影響している。この点は導入シナリオの評価と異なり、技術的実現性の評価と整合を取ったものであるが、FBR への移行が将来にずれ込んだ。もともと軽水炉サイクルから FBR サイクルへ置換する速度が大きく劣るわけではないが、不利な評価結果となった。

ヘリウムガス冷却炉サイクルであるケース については、技術開発に時間を要すると考えて、導入時期も 2070 年と遅く想定した。また既に述べたとおり、軽水炉から FBR に置換する速度もあまり速くないので、相対的にはかなり放射性廃棄物の発生量が大きくなった。ただし、実際にこの概念の技術開発に時間を要するの否かについては、国際協力などの進捗状況によって変わる可能性も大きいと考えられていることに留意すべきであろう。

水冷却炉サイクルであるケース については、導入時期が早いにも拘らず、軽水炉から FBR に置換する速度が遅いので、ケース とほとんど変わらない放射性廃棄物発生量となった。また、この概念は炉心（炉心燃料とブランケット燃料）燃焼度も相対的に低く、例え多重平衡サイクルの状態に到達しても燃料サイクル施設を多く必要とする。そこで、放射性廃棄物の発生量も大きくなる傾向にある。

(b) 放射性廃棄物発生量（占有面積）の時系列評価結果

各ケースの放射性廃棄物発生量を処分場の占有面積で換算した結果の推移（2006 年から 2200 年まで）を図 3.5.29 および図 3.5.30 に示す。また、2006 年から 2200 年までを平均した放射性廃棄物発生量（占有面積）の結果を図 3.5.31 に示す。評価結果は、軽水炉サイクルの影響が大きいことなど、廃棄物発生量（体積）の場合と共通の特徴も持っており、前段と重複する部分は省いて説明する。

廃棄物発生量を処分場の占有面積に換算して評価した場合には、放射性廃棄物のうち、高レベル廃棄物の発生量が大きな影響を及ぼす。高レベル廃棄物の発生量は再処理施設の操業によって発生するため、この評価結果は再処理施設容量に大きく依存するものとなる。また、高レベル廃棄物中の FP 含有率が低い燃料サイクルについては、評価結果が低くなる。

なお、軽水炉使用済燃料の再処理と FBR 使用済燃料の再処理では、同じ重金属量を処理しても高レベル廃棄物の発生量が異なる。そこで、FBR への移行速度が結果に影響を及ぼすこととなる。また、2050 年の少し前から放射性廃棄物発生量（占有面積）が増大している（ケース およびケース は時期が遅くなる）が、これは軽水炉使用済燃料の再処理施設容量が大きくなっているからである。

やはり、ナトリウム冷却炉・MOX 燃料・先進湿式再処理・簡素化ペレット燃料製造を組み合わせた FBR サイクルであるケース は、良好な評価結果を得た。熱効率も軽水炉より高くかつガラス固化体中に含有できる FP の量は多いため（高レベル廃棄物も他の概念と比較して特に多量に発生しない）廃棄物の発生量は少なくなる。また、FBR サイクルの多重平衡状態に近くなってきたときには、同じ発電量に対する燃料サイクル施設の容量も小さくなり、評価結果がよく

なったと考えられる。

ケース は、金属燃料炉心、金属電解再処理・簡素化ペレット燃料製造を用いるケースであり、面積換算した廃棄物発生量は大きくなった。これは、既に多重平衡サイクルの評価結果でも示されているように、ナトリウム冷却炉に金属燃料を組み合わせたサイクルであるケース では、高レベル廃棄物（人工鉱物）に含有可能な FP の量が少なく、高レベル廃棄物が他の概念よりも多く発生すると想定されるからである。ケース は軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行は速やかである。しかし、FBR サイクルに移行しても、高レベル廃棄物の発生量が多ければ、上記の点は有利には働かない。

なお、ケース に関しては、他のケース並みに高レベル廃棄物中に FP を含有できると想定したケース ' を考えて解析を行った。このとき、放射性廃棄物の発生量は減少し、ケース を下回った。ケース ' の結果も合わせて考えると、放射性廃棄物発生量（面積換算）に関してケース の評価結果は芳しくないものの、今後の技術開発如何によっては、環境負荷の面から有望となる可能性を秘めていると言えよう。

鉛ビスマス冷却炉サイクルであるケース は、全体の中では中程度の結果であった。まず、炉心出口温度が水冷却炉の次に低く、熱効率が悪くなるために、単位発電量あたりに換算すると高レベル廃棄物発生量は増大する傾向にある。また導入時期が遅く、軽水炉サイクルからの廃棄物が多くなってしまふ点も廃棄物発生量を増やす方向である。もっとも、軽水炉よりは高レベル廃棄物の発生量は少なく FBR サイクルへの移行速度は悪くない点は廃棄物量を低減する方向である。これらの要因が重なり、中程度の結果となったと考えられる。

ヘリウムガス冷却炉サイクルであるケース は、ケース の次に良好な結果であったが、ケース 等との違いは顕著ではない。ヘリウムガス冷却炉は熱効率が高く、単位発電量あたりの高レベル廃棄物発生量を減少できる可能性を有している。ただし、導入年度が遅く軽水炉から FBR サイクルへの移行速度も小さいことが、評価結果を低下させる方向として働いており、ケース との差が生じていると考えられる。

水冷却炉サイクルであるケース は、熱効率は軽水炉サイクル並みであり、廃棄物発生量は他の概念と比較して大きくなる傾向である。また、軽水炉から FBR サイクルへの移行速度は小さく、これも廃棄物発生量が大きくなる方向に働く。こうしたことから、ケース を除く他の概念よりも単位発電量あたりの高レベル廃棄物発生量は増加した。

(2) 放射性毒性の時系列評価結果

図 3.5.32～図 3.5.36 に各ケースの放射性毒性の推移（2006年から2200年まで）を示す。この評価に関しては、ケース ' の評価は実施しない。また、2006年から2200年までを平均した放射性毒性の評価結果を図 3.5.37 に示す。

この評価結果の特徴は、軽水炉サイクルの高レベル廃棄物の影響が支配的な点である。（単位発電量あたりの）放射性毒性の結果に大きな影響を及ぼすのは廃棄物中のアクチニドであるが、いずれの FBR サイクルも再処理の廃棄物側への移行率が軽水炉再処理と比較して非常に小さいために結果には影響を及ぼさない。また、燃焼度が高くなれば、単位発電量あたりの処理量が減少するので放射性毒性も小さくなるが、今回の評価では差は生じない。軽水炉サイクルからの地層処分型低レベル廃棄物の毒性も FBR サイクル並みであり、評価結果に影響しない。

また、今回の評価のケース ～ に対しては、プルサーマルの使用済燃料を専用で処理する再処理施設を建設すると想定した。評価結果からはこの影響も読み取ることができ、これらのケー

スではおよそ 3 割程度放射性毒性が増加した。

上記の結果を踏まえると、軽水炉サイクルから FBR サイクルに早く置換されるケースの評価結果が良好であった。また、MOX 燃料を湿式で再処理するケースでは、評価結果が良好だった。なお、放射性毒性についても、軽水炉再処理施設容量が増加する 2040 年頃からピークが現れている（ケース およびケース は導入時期が遅く、ピークの発生時期も遅くなった）。

ケース は、評価結果が良好となる条件を満たしており、最も評価結果が良好だった。また、ケース は、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの置換は早いものの、プルサーマル使用済燃料の専用再処理施設からの高レベル廃棄物の放射性毒性が加算されるので、ケース の評価結果よりも悪く（放射性毒性が大きくなる）なる。ケース は導入時期が遅いため、軽水炉サイクルからの高レベル廃棄物の放射性毒性が大きくなり、結果として評価結果はケース 、 よりも悪くなった。ケース はケース と同様に導入時期が遅く、軽水炉サイクルからの放射性毒性が大きくなる。さらに、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの置換速度も遅いので、高レベル廃棄物の放射性毒性はやはり大きくなっている。ケース は軽水炉サイクルから FBR サイクルへの置換速度が非常に遅く、軽水炉サイクルからの高レベル廃棄物の放射性毒性が大きくなっている。

3.5.3 時系列多面的評価のまとめと課題

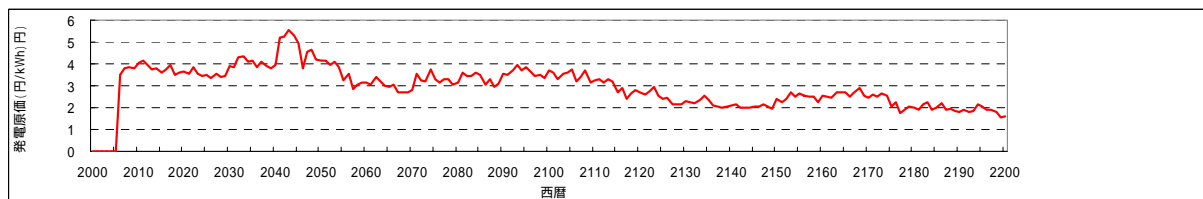
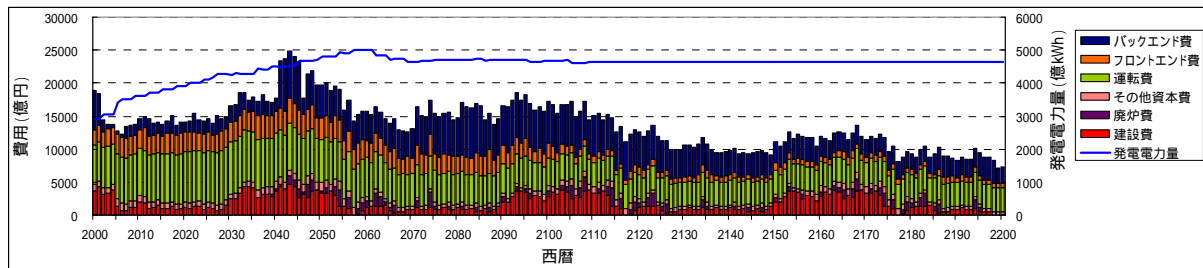
フェーズ 最終評価では、従来の多面的評価等の結果を踏まえ、現時点における原子力を巡る状況から多重平衡サイクルに到達するまでの特性についても、多重平衡サイクルと類似の評価を実施するために、フェーズ以降の展開も見据えて移行期を含む FBR サイクルの時系列特性評価手法の開発に取り組むこととした。現在から移行期および多重平衡期の特性を時系列で評価することにより、FBR サイクルの研究開発と実用化戦略を策定、実行していく上でのポイントを多面的かつ包括的に判断することが可能となり、非常に詳細な検討が可能となる。

フェーズ 最終評価の時点では、経済性と環境負荷低減性を対象とした時系列評価手法のプロトタイプを作成して導入シナリオ評価や技術的実現性の評価に沿った形で評価を行った。今回の経済性と環境負荷低減性の評価結果からは、軽水炉サイクルの影響が非常に大きいことがわかった。また、総合的に勘案すると、コンパクトな核燃料サイクルを実現できる FBR サイクル候補概念の評価が高くなる。例えば、軽水炉サイクルから FBR サイクルに速やかに移行できる概念は時間的にコンパクトであると考えられるし、移行時に余計な施設が不要な候補概念やそもそも施設が小さく廃棄物が多量に発生しない候補概念は高い評価となった。なお、2030 年代から 2050 年代(あるいはそれ以降)にかけて、従来の原子炉や燃料サイクル施設の廃止措置が増加し、FBR サイクルをはじめとする新規施設建設の需要も増加することから、経済性の面や環境負荷の面でピークが現れることが示された。この時期を乗り切るとは将来の原子力の課題となると考えられる。

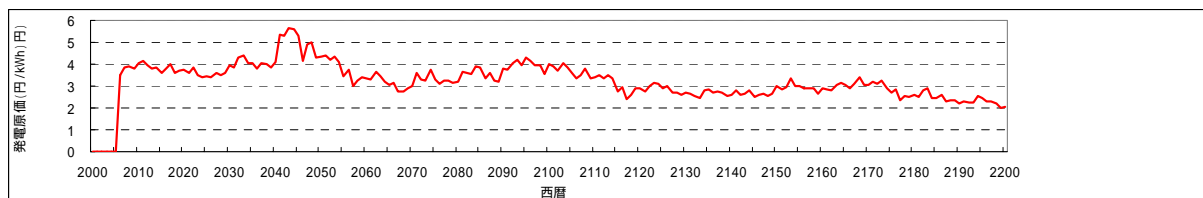
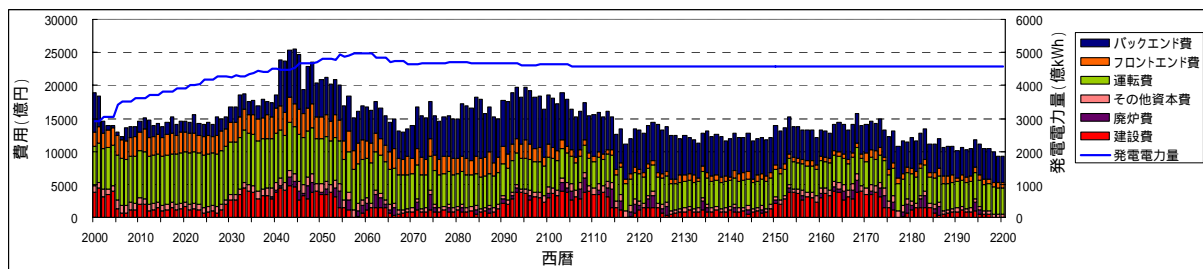
また、FBR サイクル候補概念を比較すると、全体としてナトリウム冷却炉サイクルの結果が良好であり、多重平衡サイクルの評価結果を裏付ける形となった。

今後の課題としては、フェーズ 最終評価の時点では経済性評価と環境負荷低減性評価のプロトタイプを作成したが、今後はより包括的な評価を実施できるよう、ツール開発や評価手法の改良を実施していくことが挙げられる。また、経済性評価ツールを開発戦略策定や研究開発の費用対効果評価に活用すること、環境負荷低減性評価ツールで実施できる多様な特性評価を設計検討に活用することなどが挙げられる。

ケース I



ケース II



ケース III

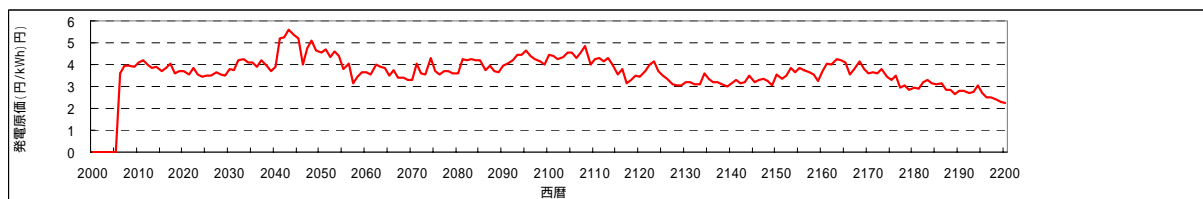
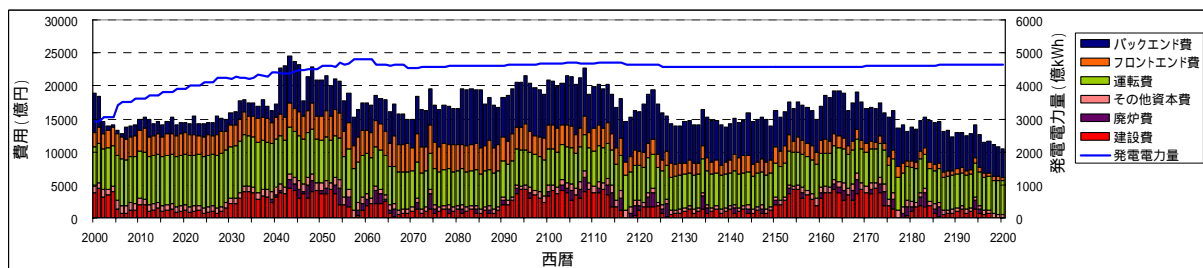
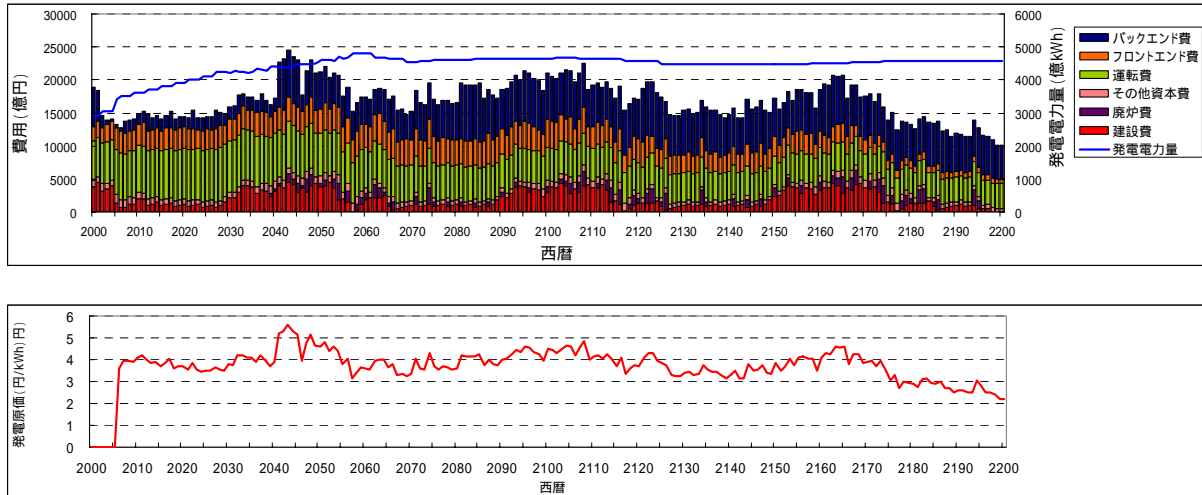


図 3.5.1 発電にかかる費用および平均発電原価の推移【ケース ~ 】(割引率 0%)

ケース IV



ケース V

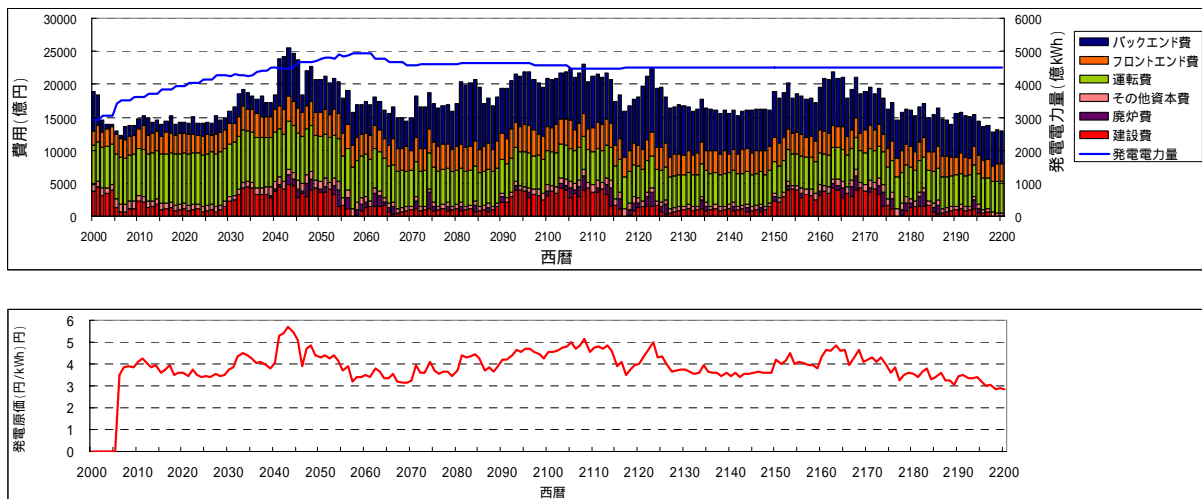


図 3.5.2 発電にかかる費用および平均発電原価の推移【ケース ~ 】(割引率 0%)

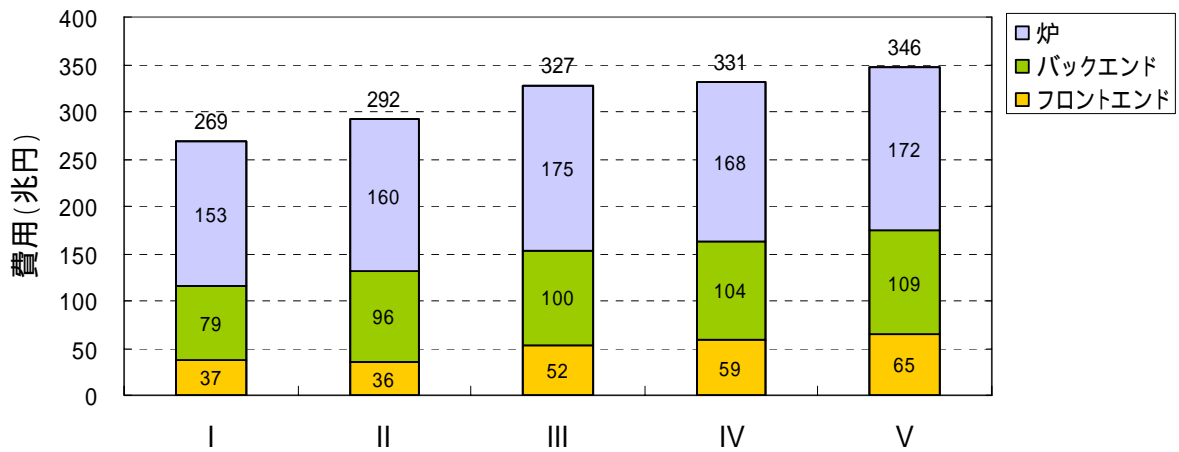
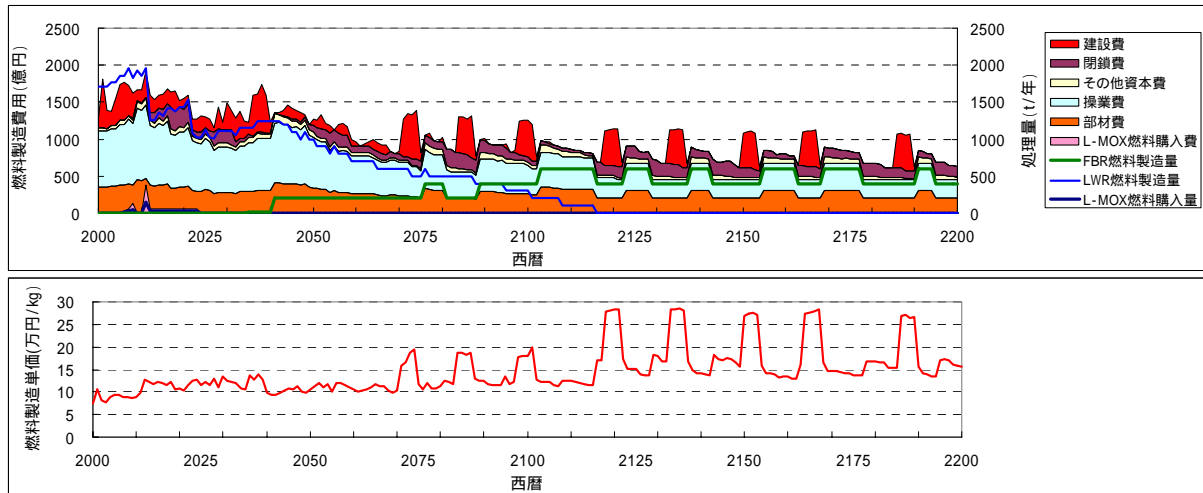


図 3.5.3 各シナリオの費用総額の比較 (割引率 0%)

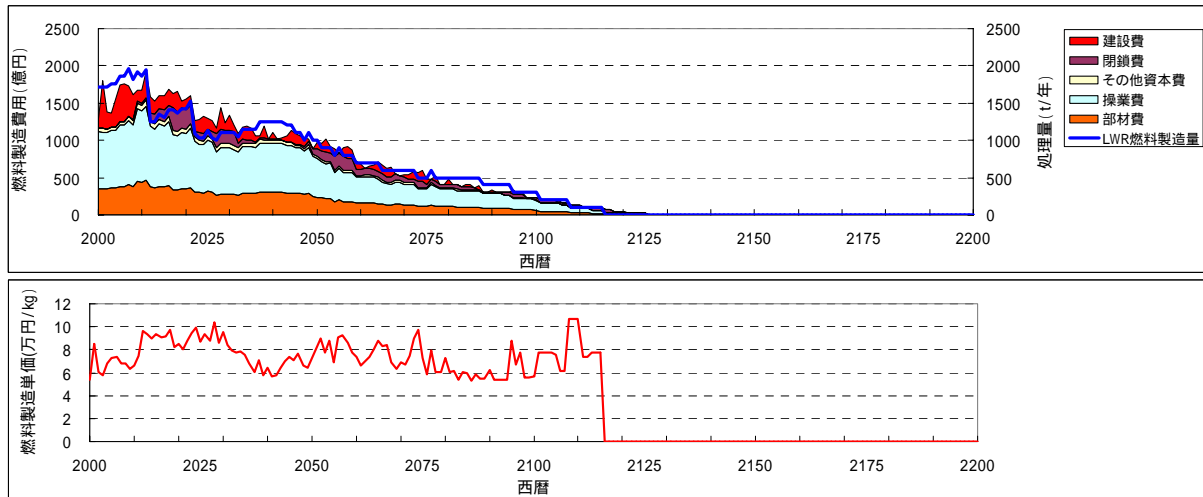
表 3.5.1 各シナリオの平均発電原価及び平均燃料サイクル単価の比較 (割引率 0%)

		I	II	III	IV	V
平均発電原価	円/kWh	3.0	3.3	3.7	3.8	4.0
平均燃料製造単価	万円/kg	13.3	14.6	13.9	13.6	12.6
平均再処理単価	万円/kg	31.1	44.1	40.9	41.7	29.3

ケース I



LWRのみ



FBRのみ

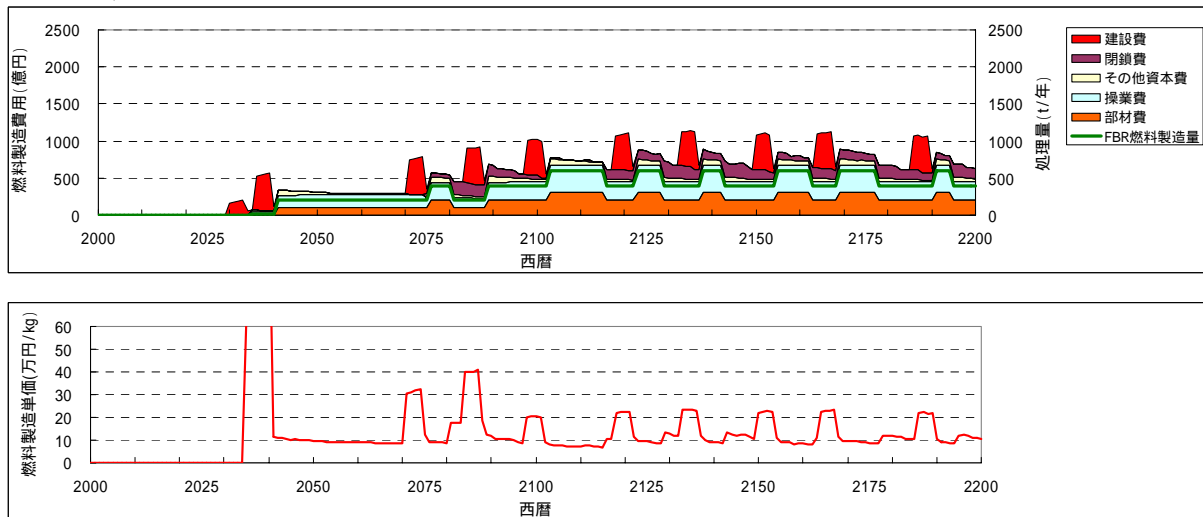
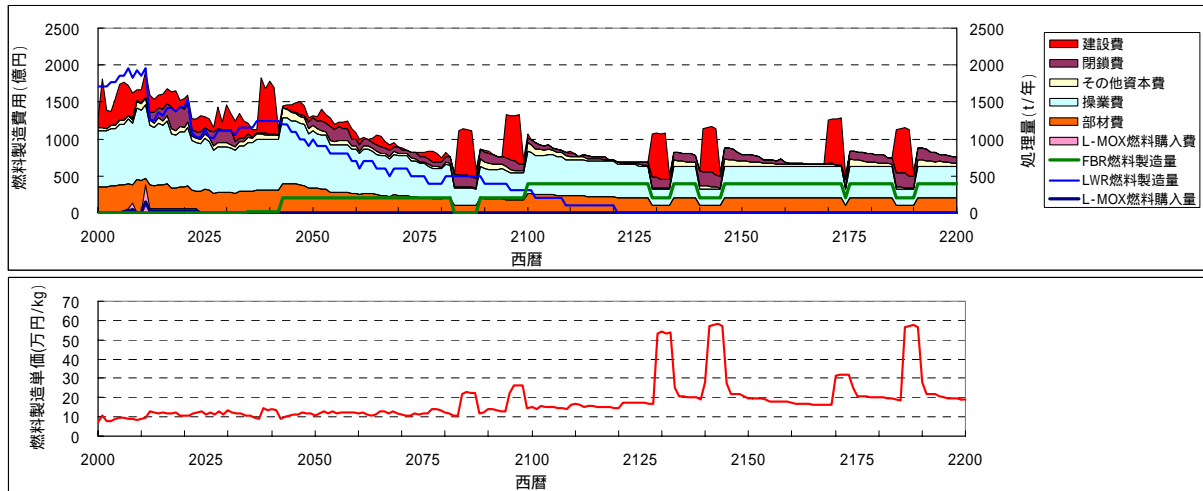
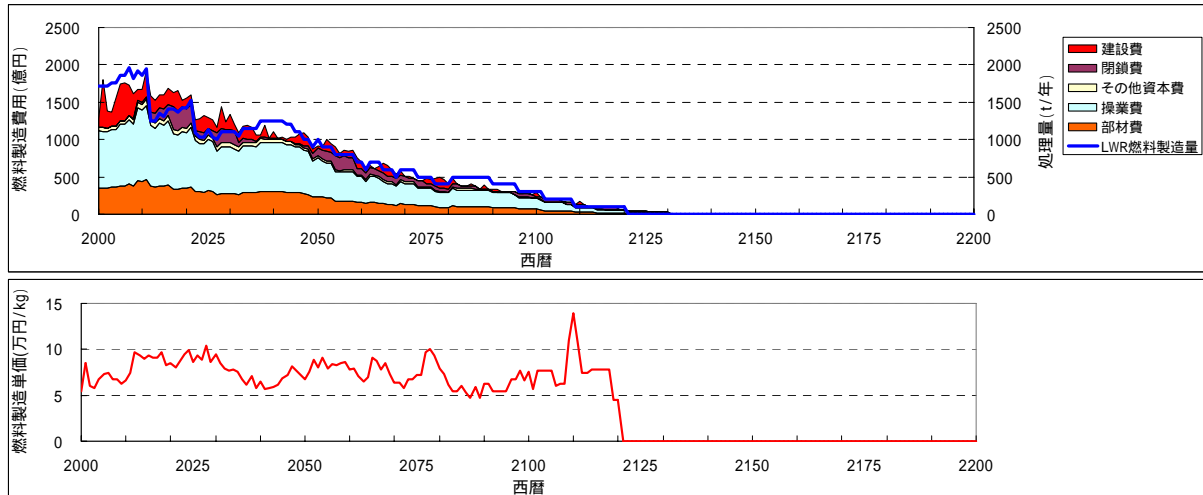


図 3.5.4 燃料製造費用推移【ケース I】(割引率 0%)

ケース II



LWRのみ



FBRのみ

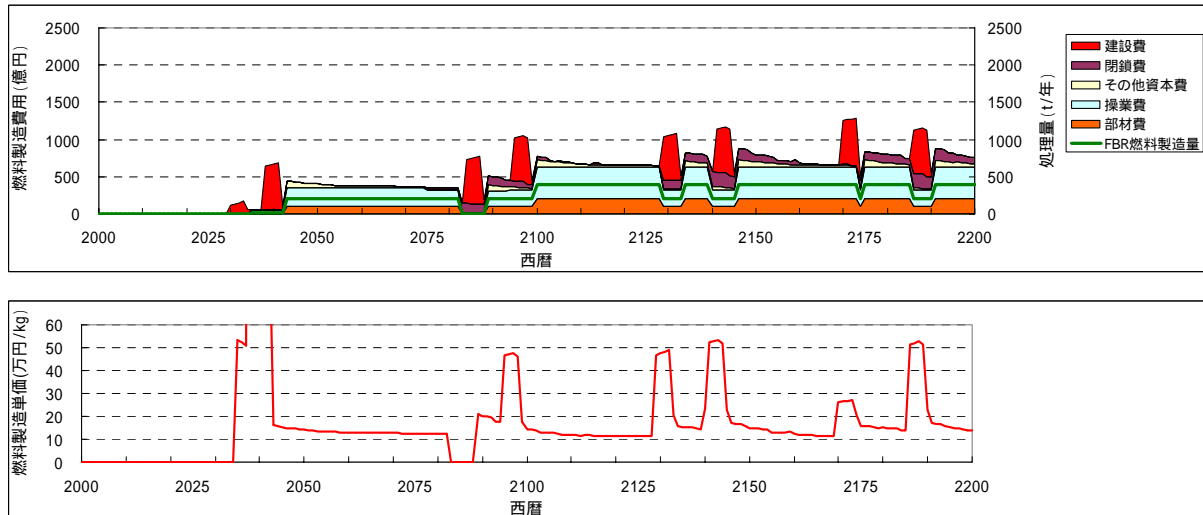
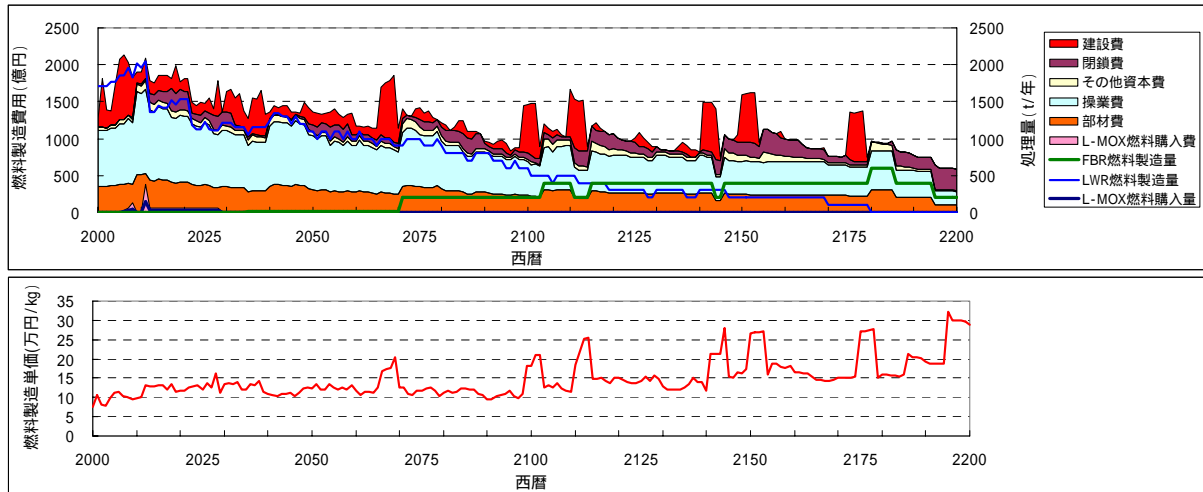
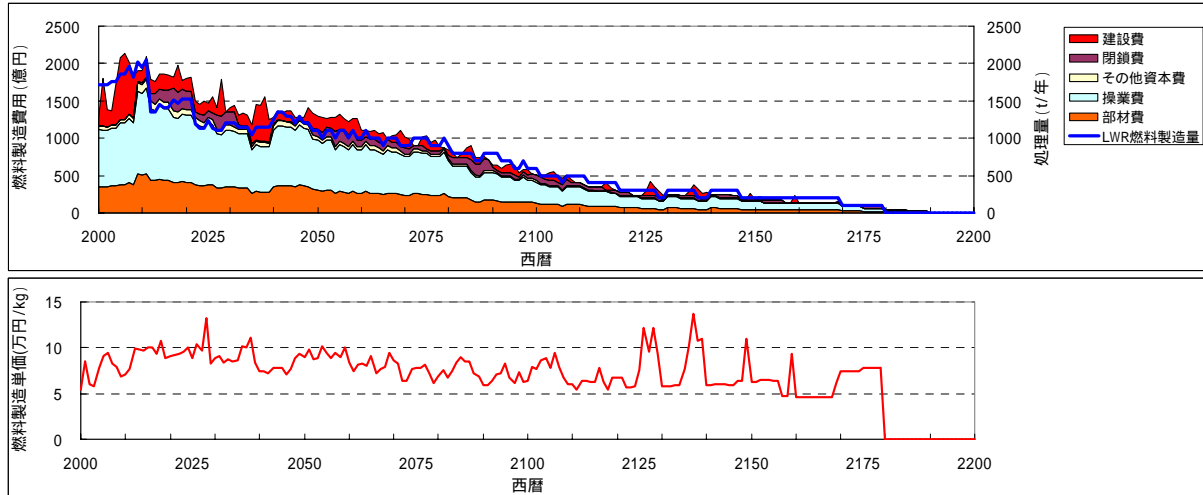


図 3.5.5 燃料製造費用推移【ケース II】(割引率 0%)

ケース III



LWRのみ



FBRのみ

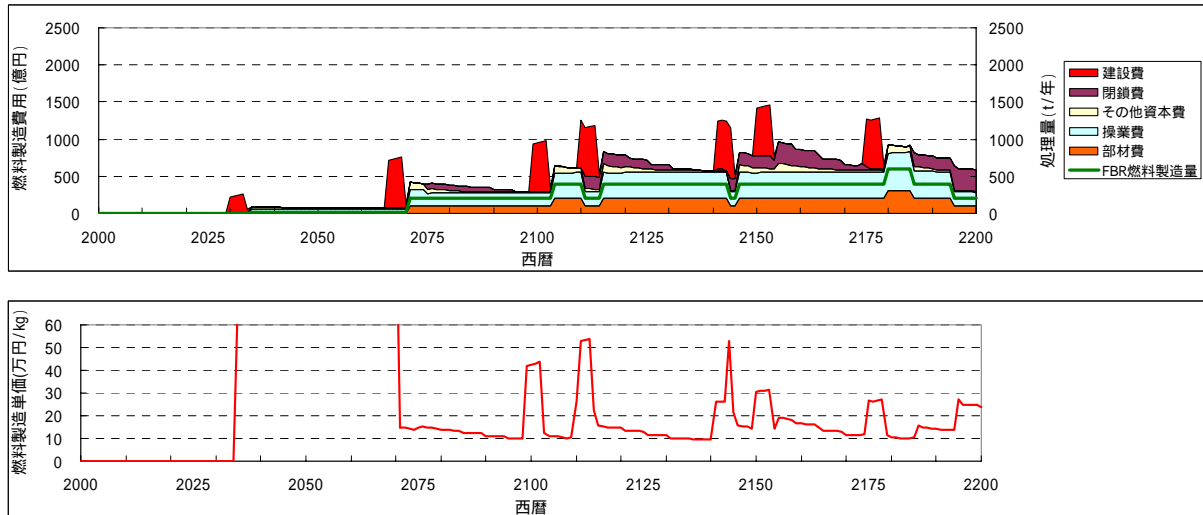
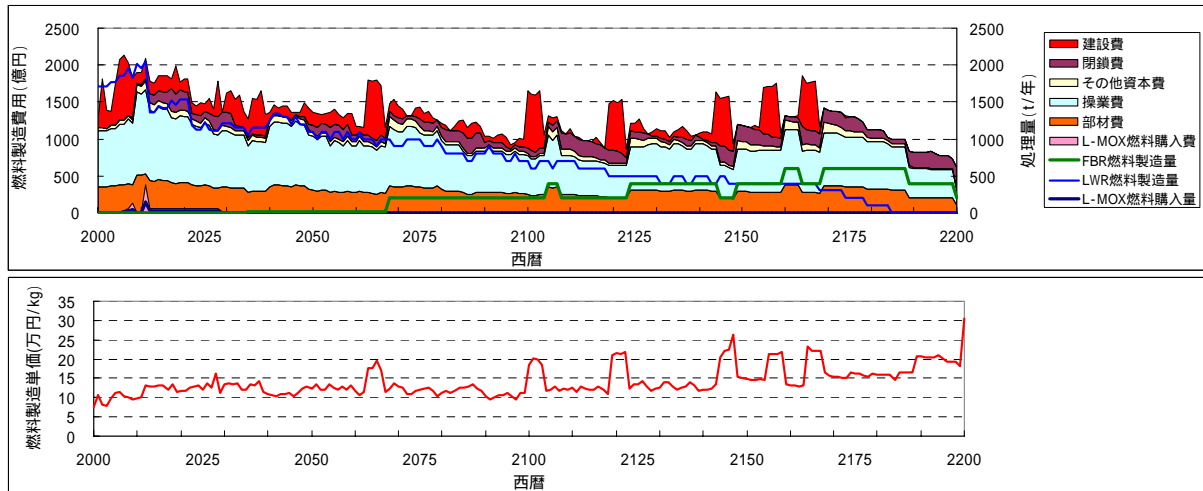
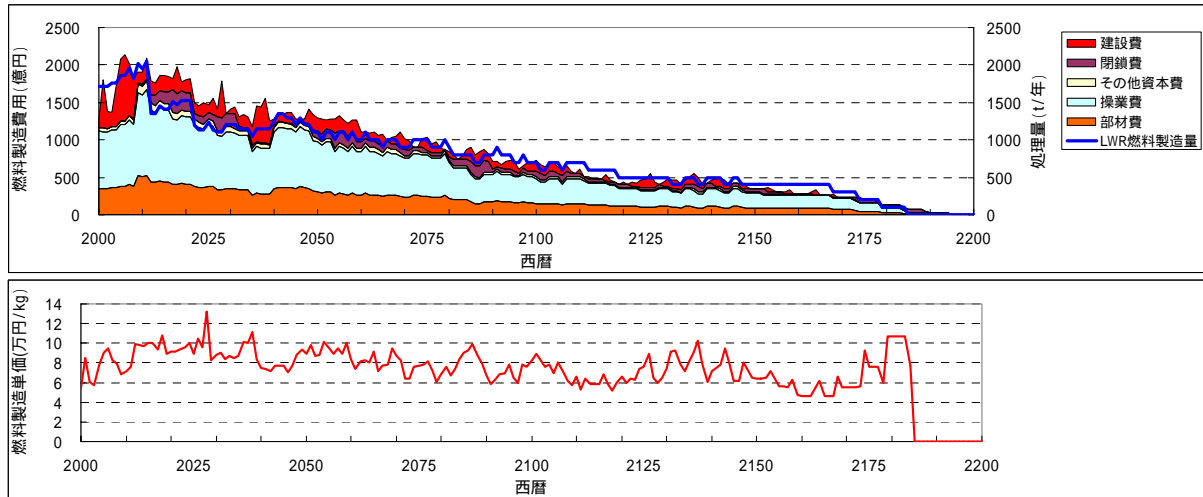


図 3.5.6 燃料製造費用推移【ケース III】(割引率 0%)

ケース IV



LWRのみ



FBRのみ

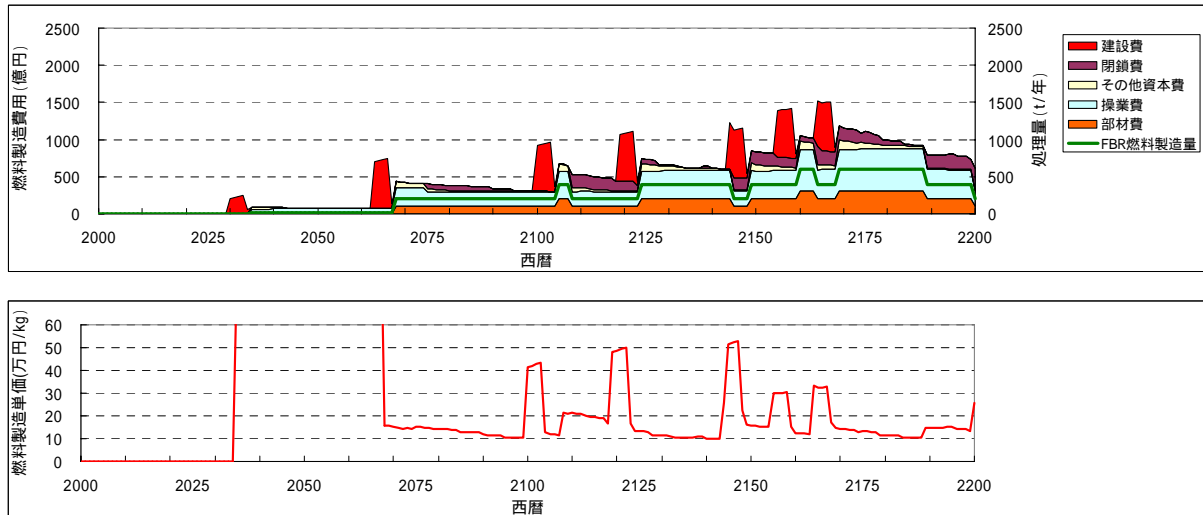
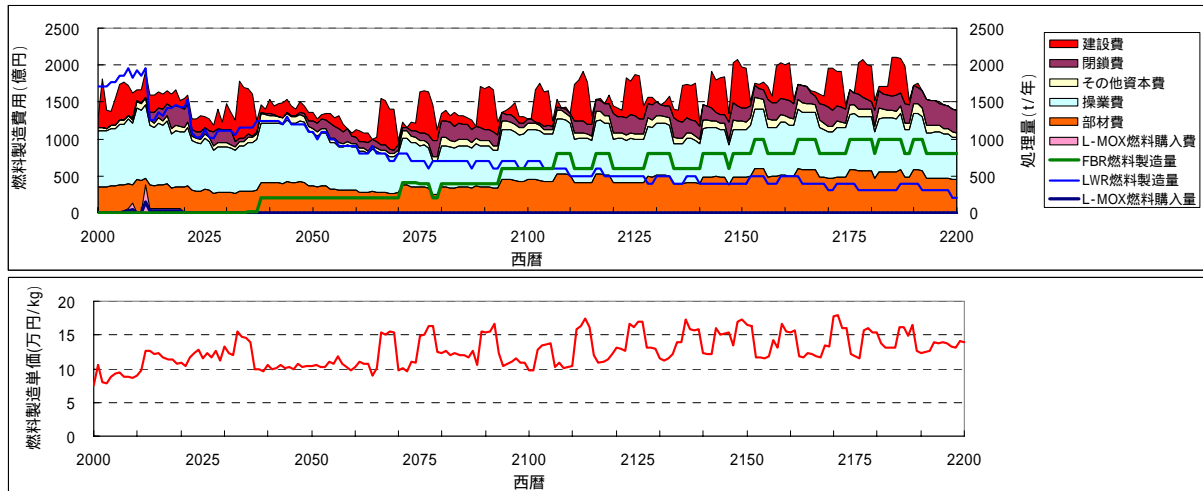
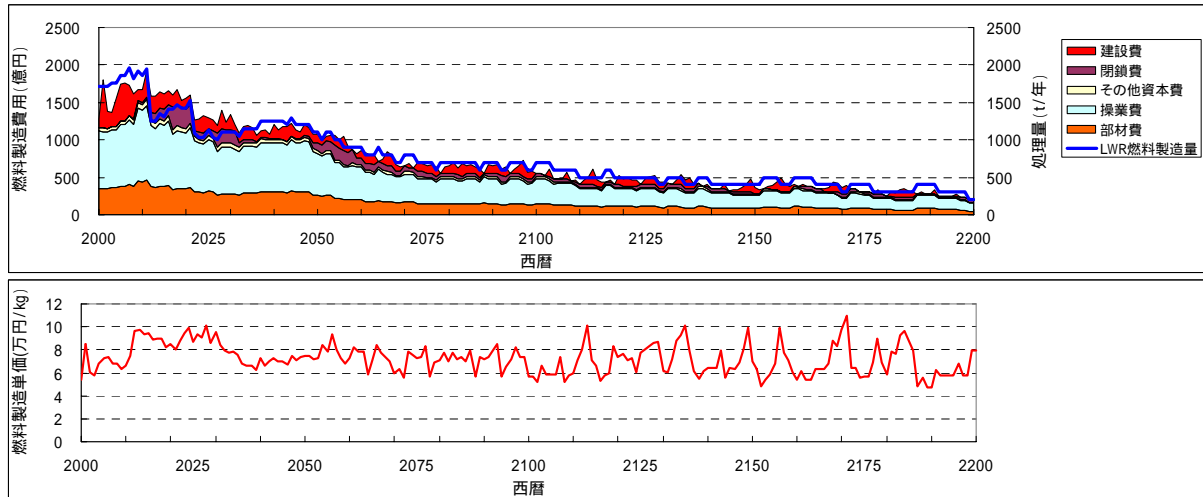


図 3.5.7 燃料製造費用推移【ケース IV】(割引率 0%)

ケース V



LWRのみ



FBRのみ

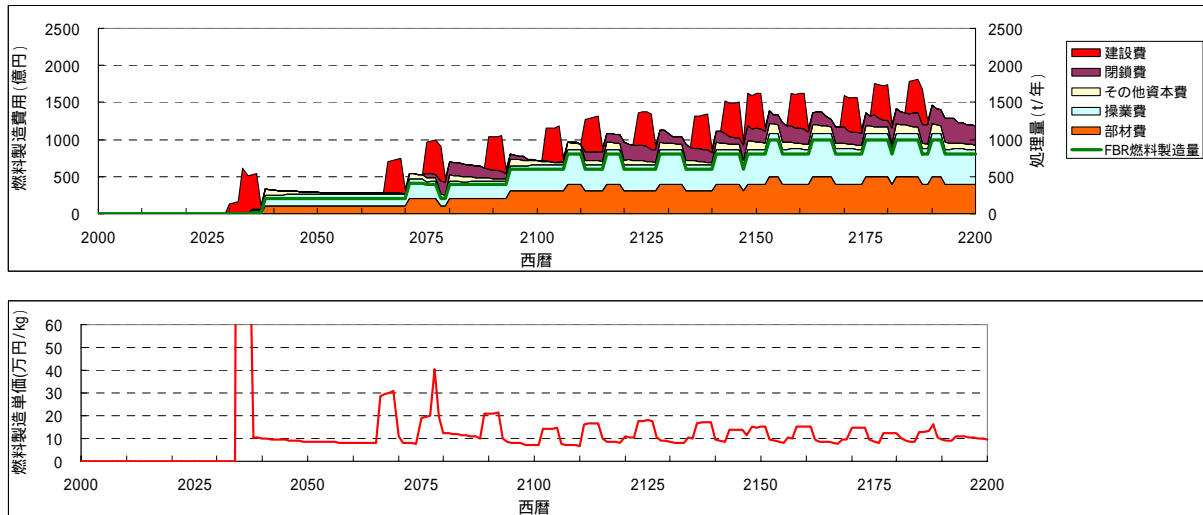
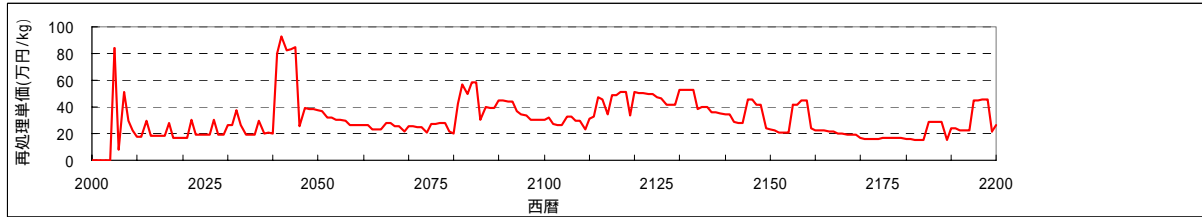
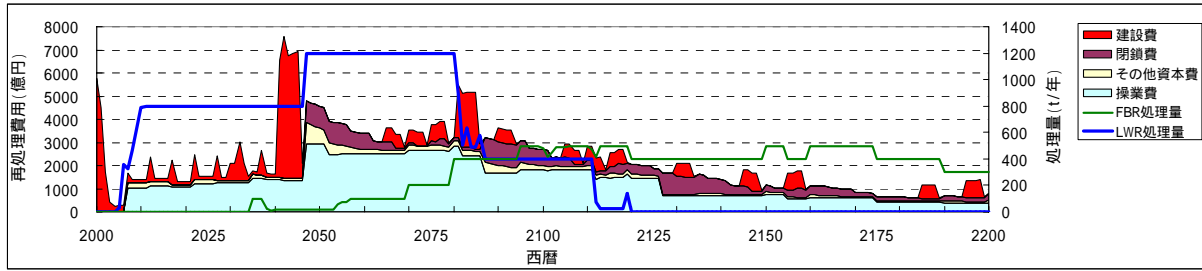
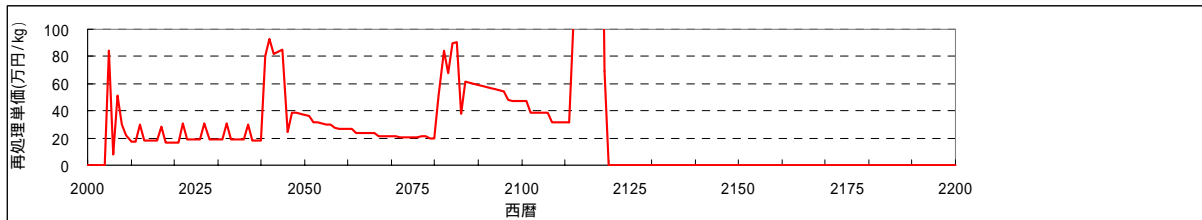
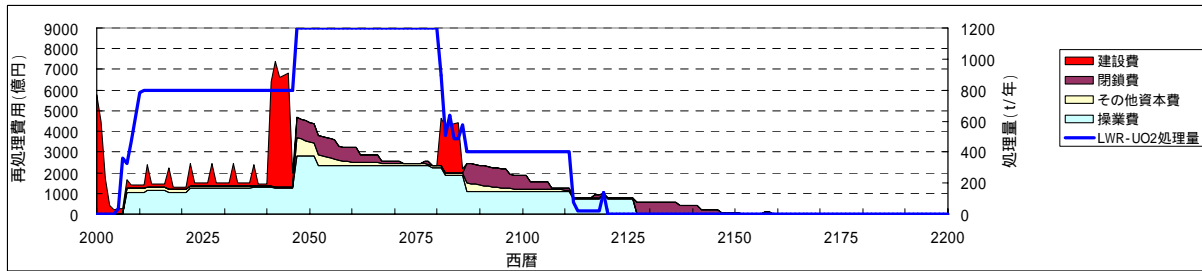


図 3.5.8 燃料製造費用推移【ケース V】(割引率 0%)

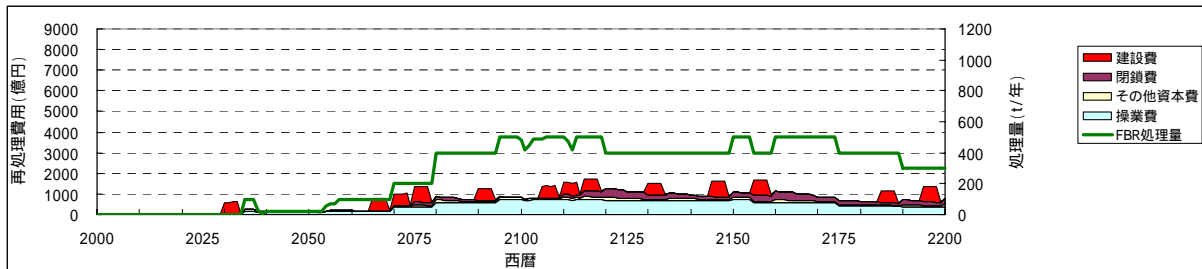
ケース I



LWRのみ



FBRのみ



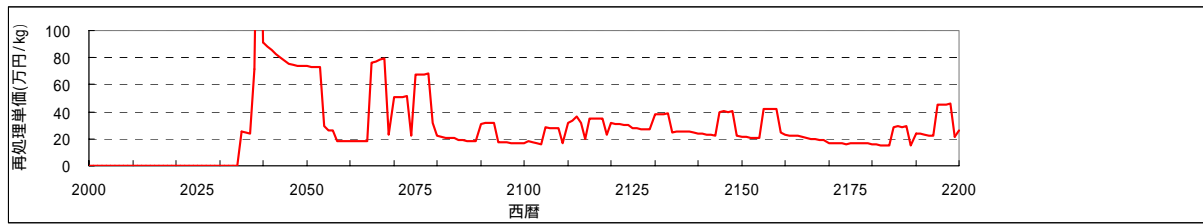
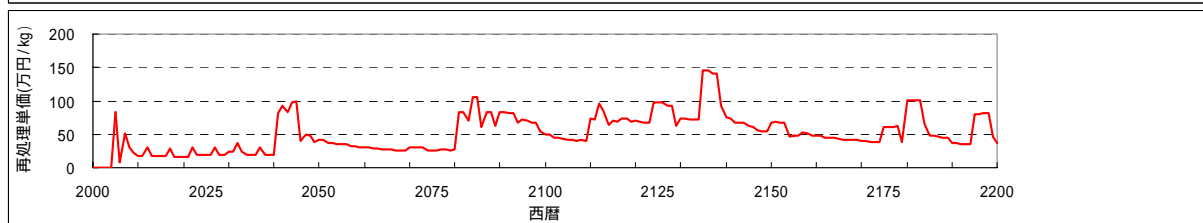
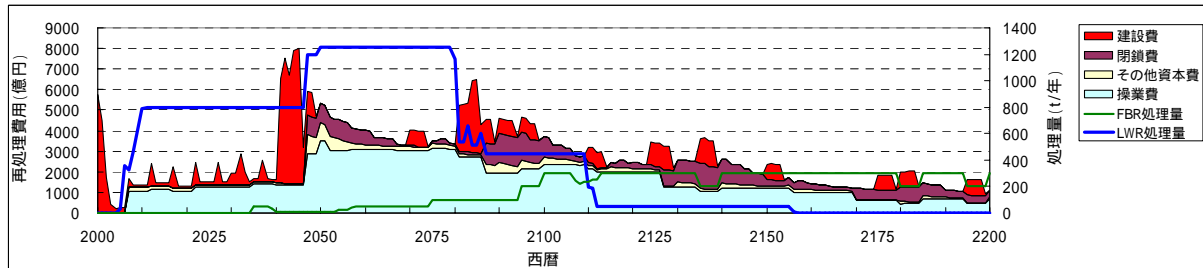
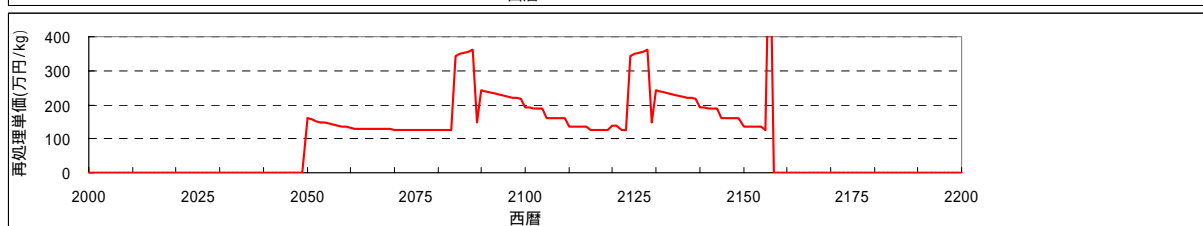
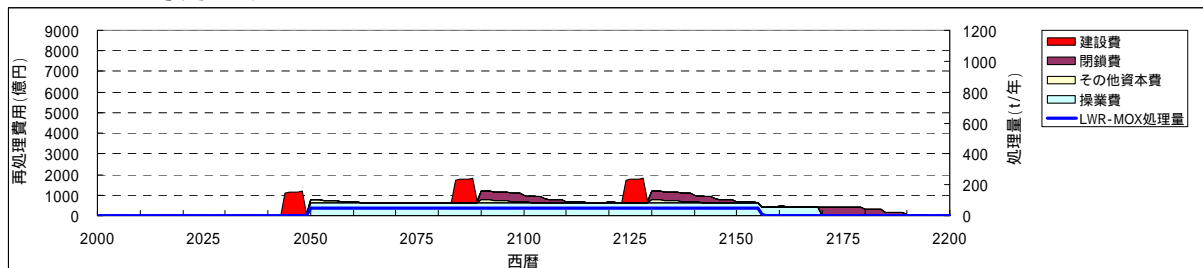


図 3.5.9 再処理費用推移【ケース II】(割引率 0%)

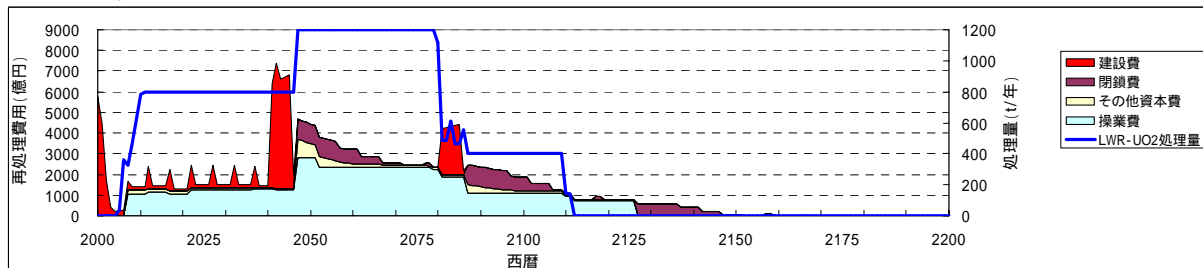
ケース II



LWR-MOX 専用のみ



LWR のみ



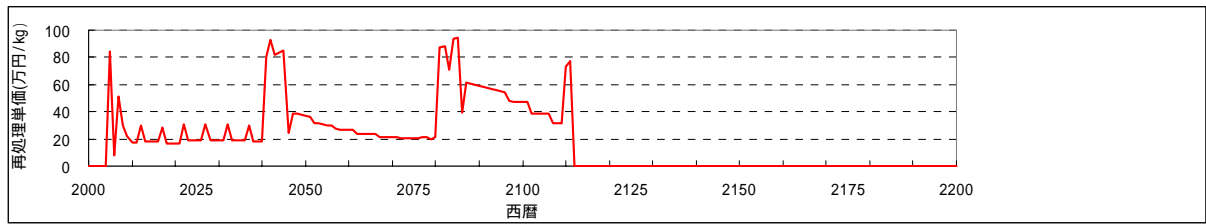


図 3.5.10 再処理費用推移【ケース】(割引率 0%)(1/2)

FBRのみ

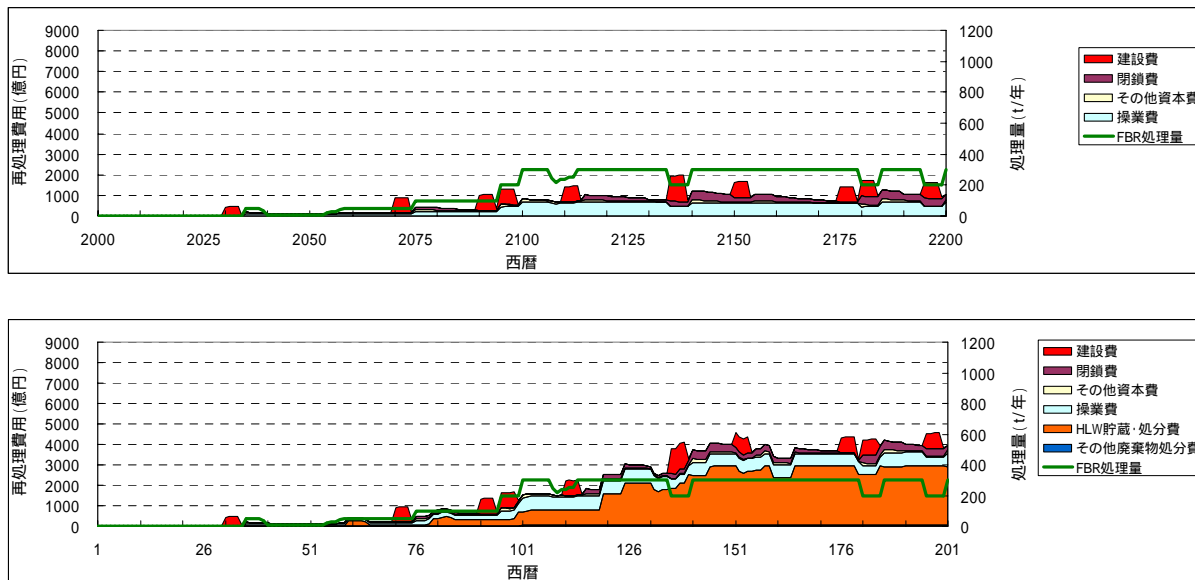
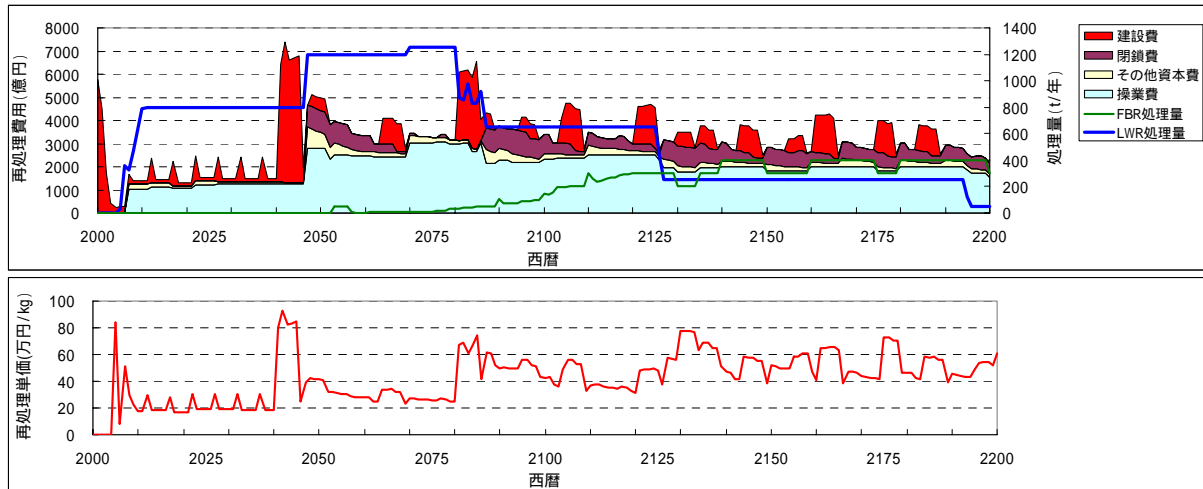
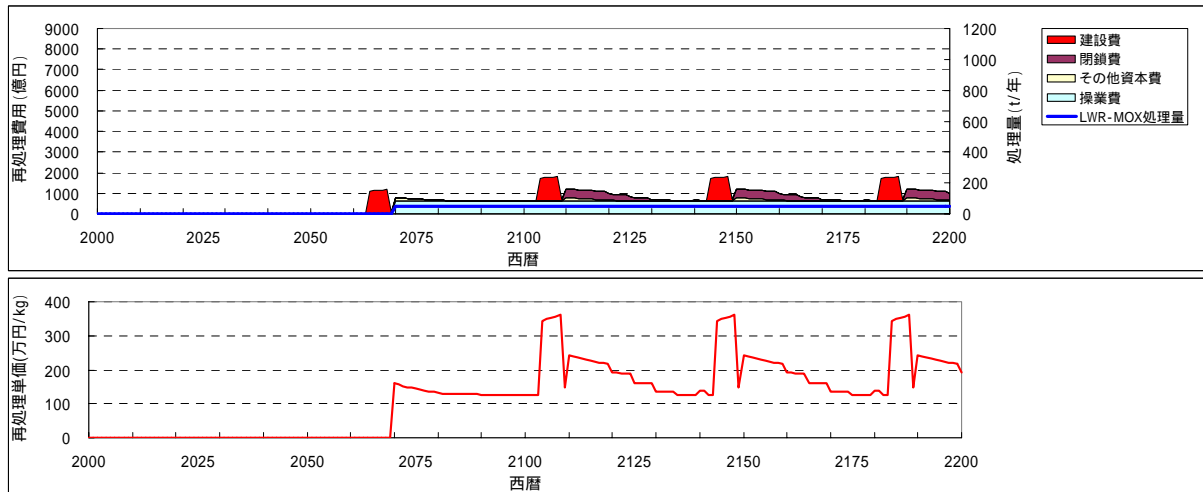


図 3.5.3.11 再処理費用推移【ケース】(割引率 0%)(2/2)

ケース III



LWR-MOX 専用のみ



LWR のみ

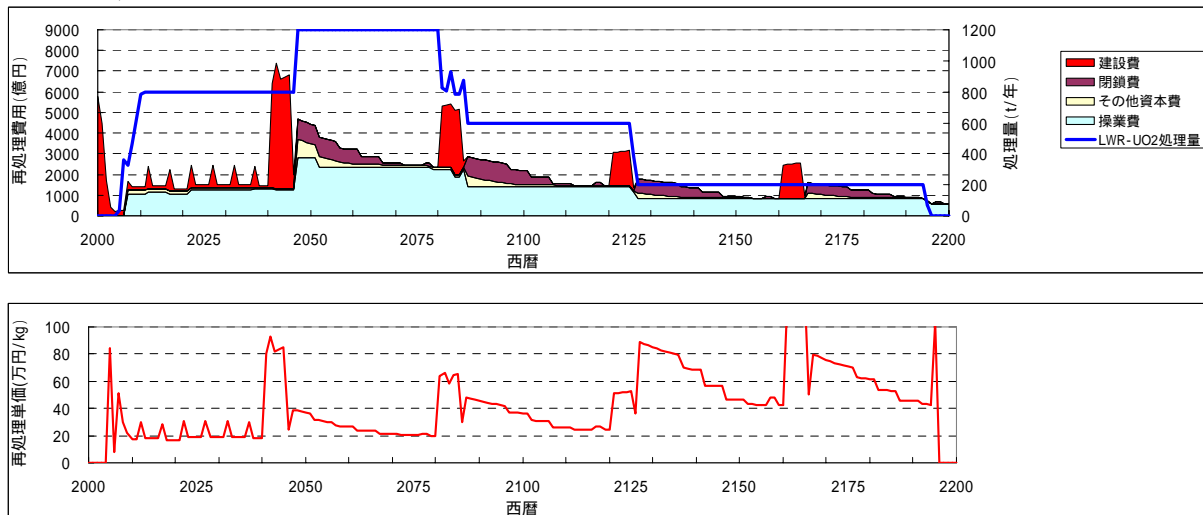


図 3.5.11 再処理費用推移【ケース III】(割引率 0%)(1/2)

FBRのみ

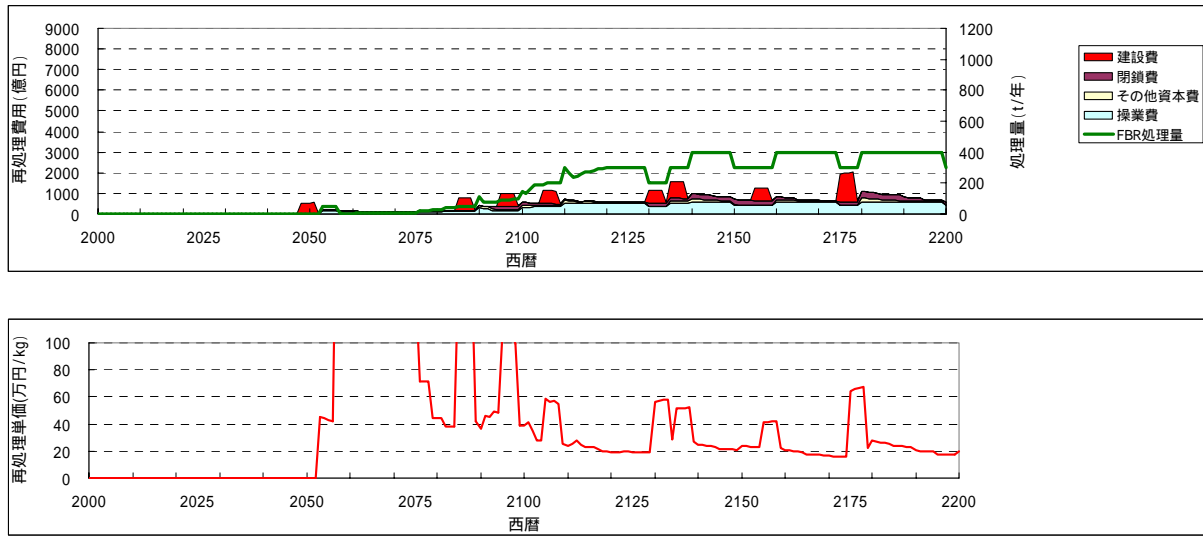
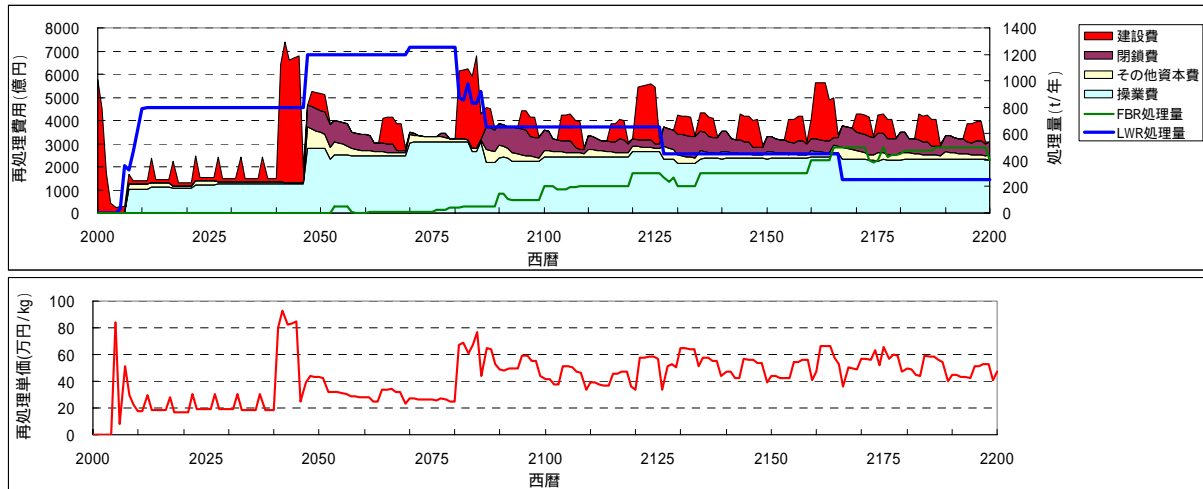
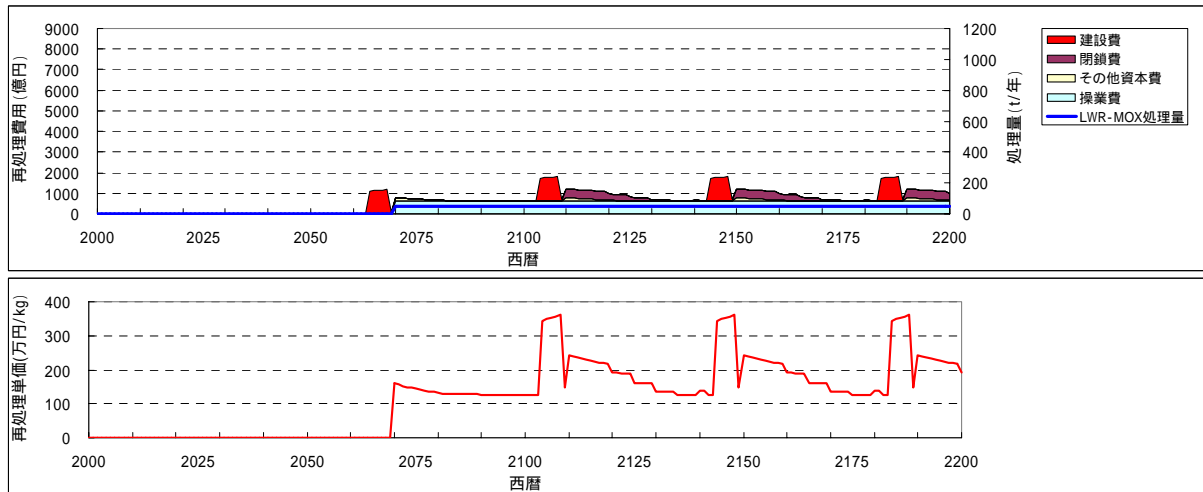


図 3.5.3.12 再処理費用推移【ケース】(割引率 0%)(2/2)

ケース IV



LWR-MOX 専用のみ



LWR のみ

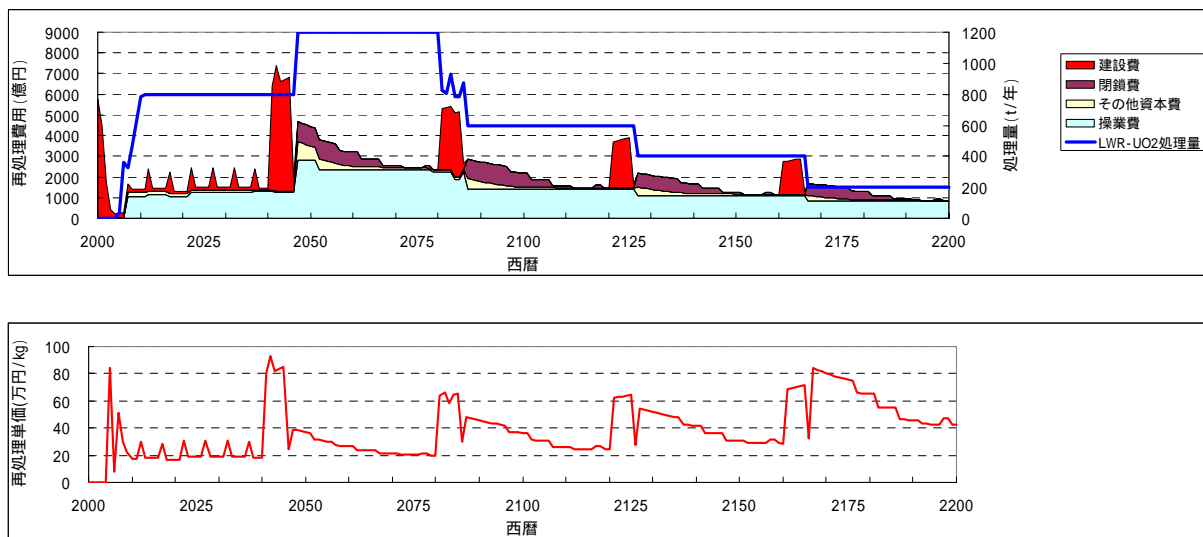


図 3.5.12 再処理費用推移【ケース IV】(割引率 0%)(1/2)

FBRのみ

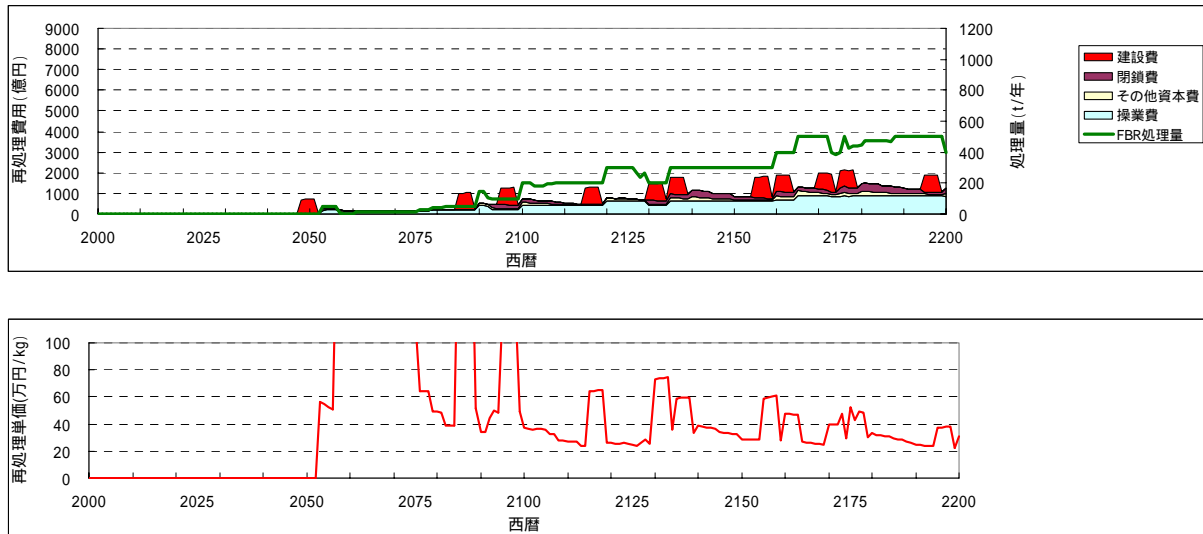
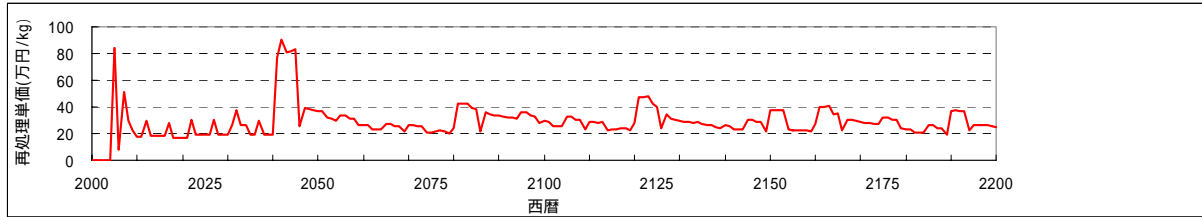
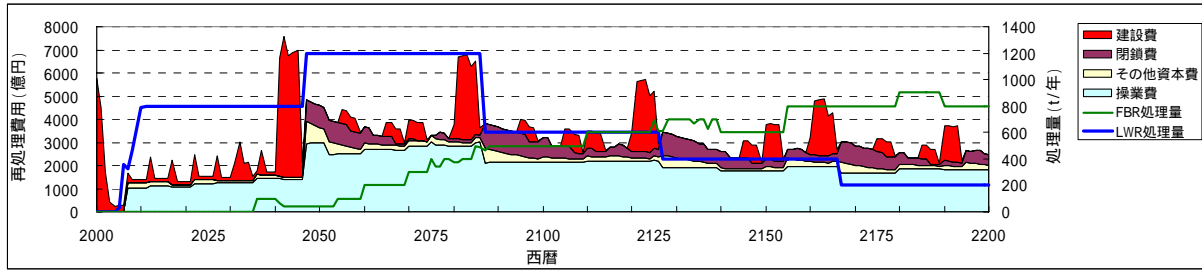
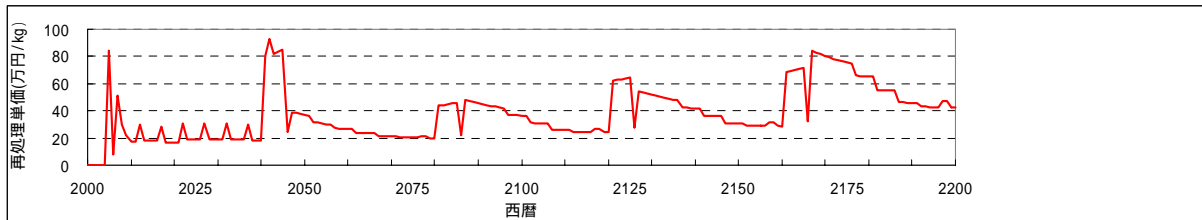
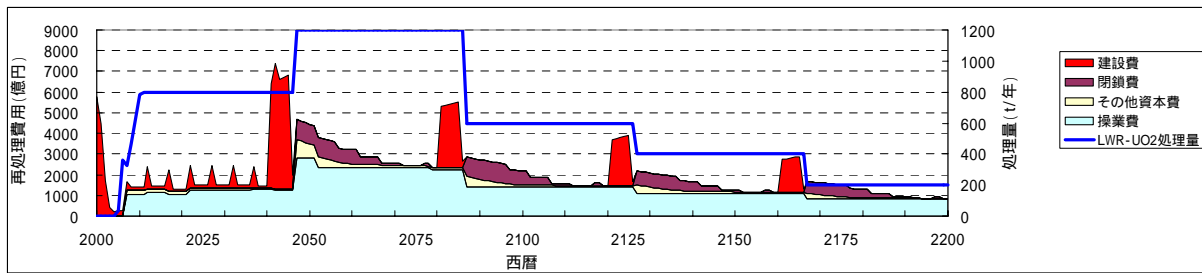


図 3.5.3.13 再処理費用推移【ケース】(割引率 0%)(1/2)

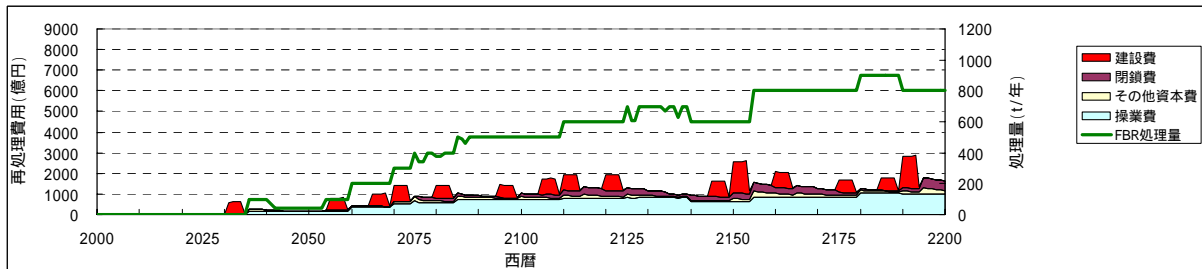
ケース V



LWR のみ



FBR のみ



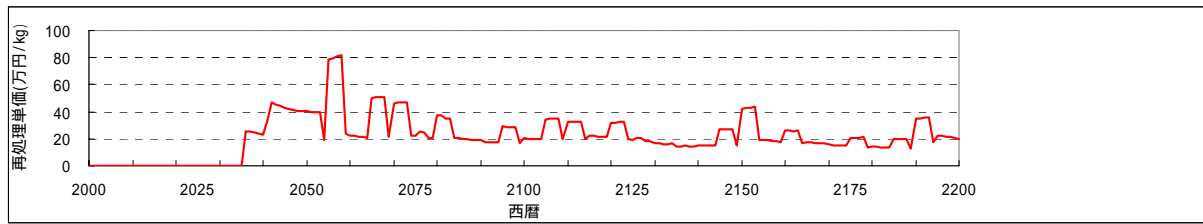
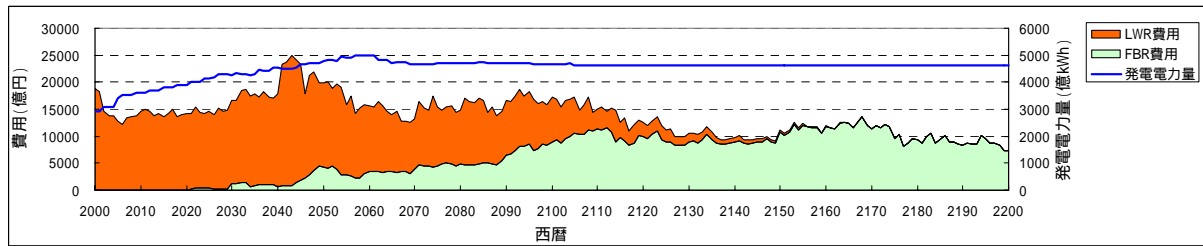
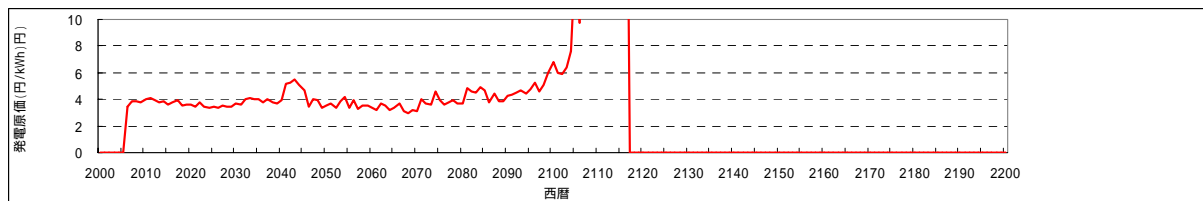
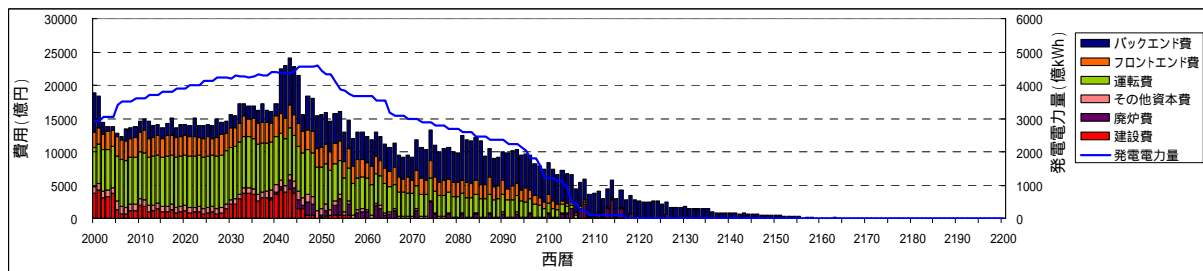


図 3.5.13 再処理費用推移【ケース I】(割引率 0%)

ケース I



LWR のみ



FBR のみ

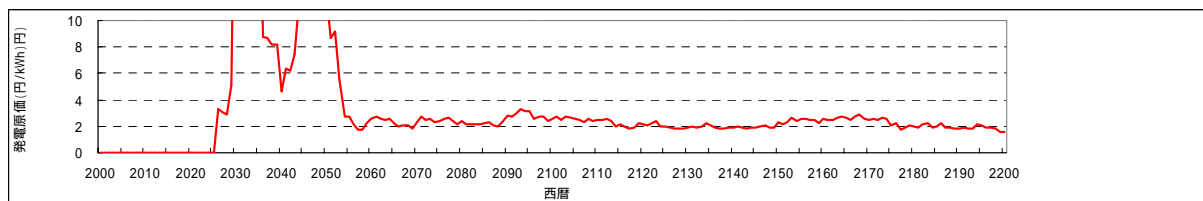
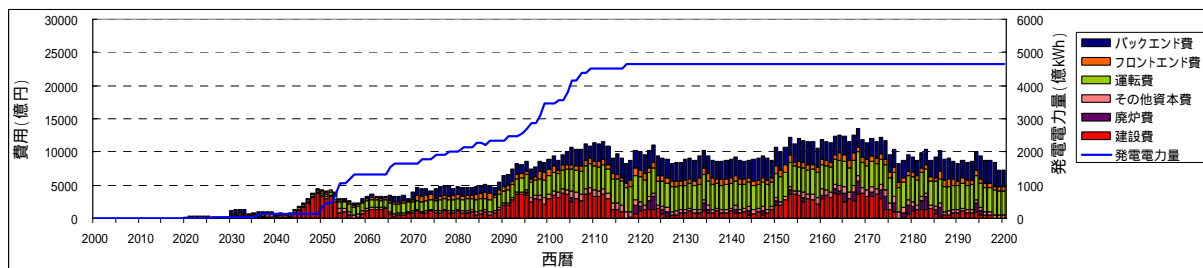
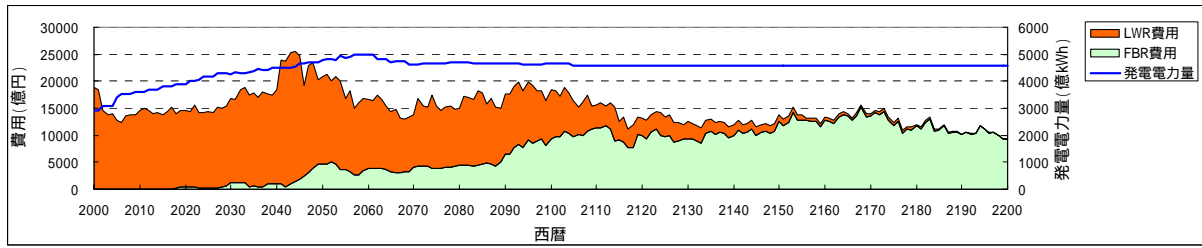
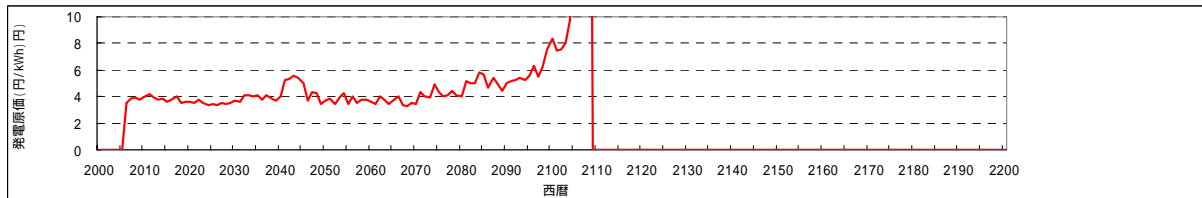
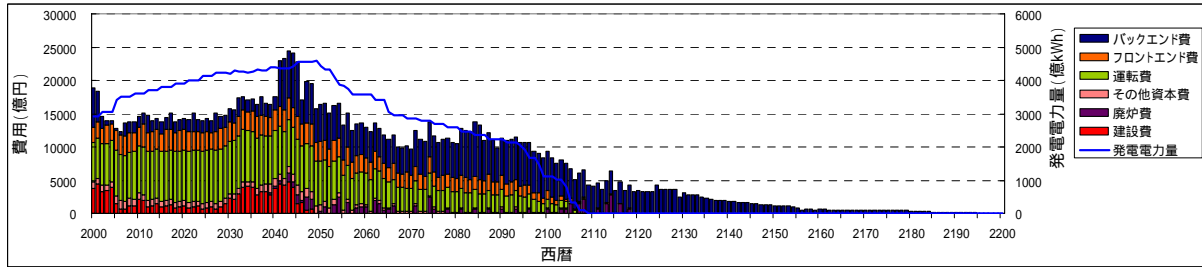


図 3.5.14 発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース I】(割引率 0%)

ケース II



LWRのみ



FBRのみ

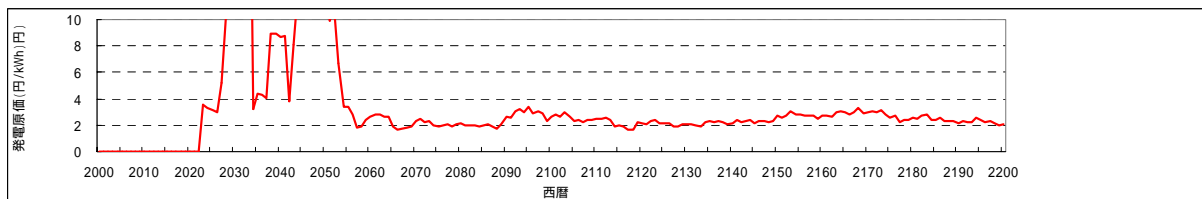
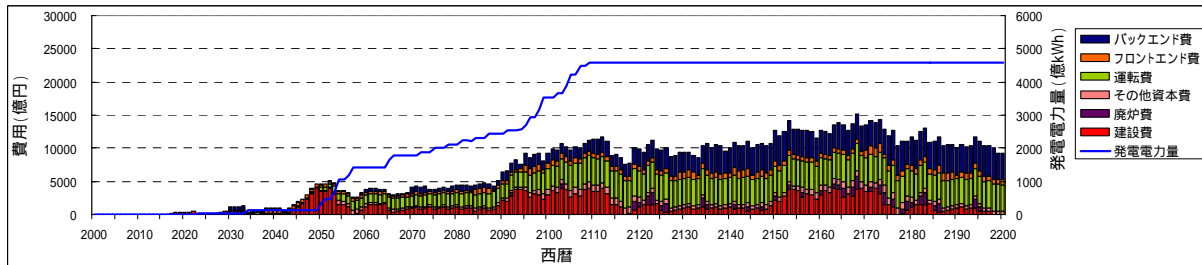
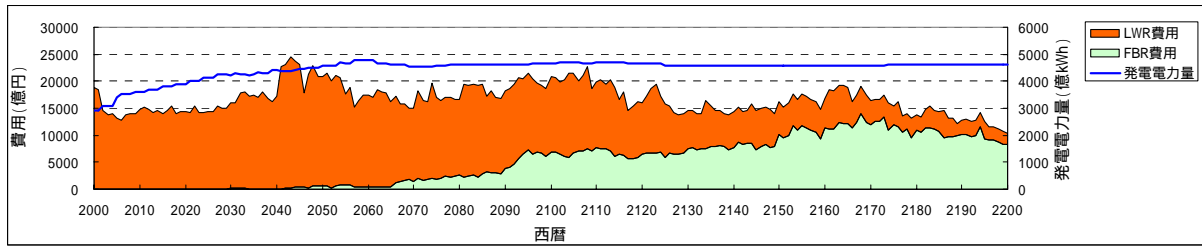
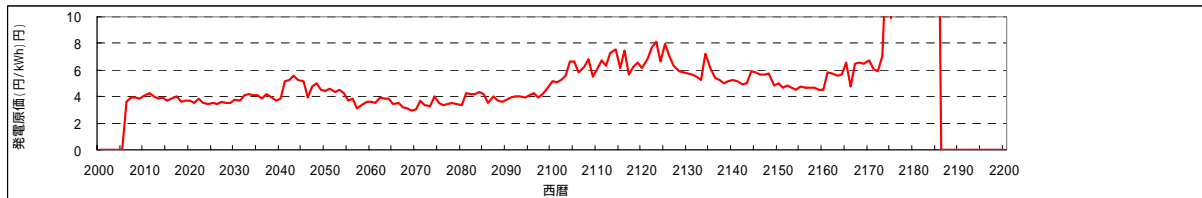
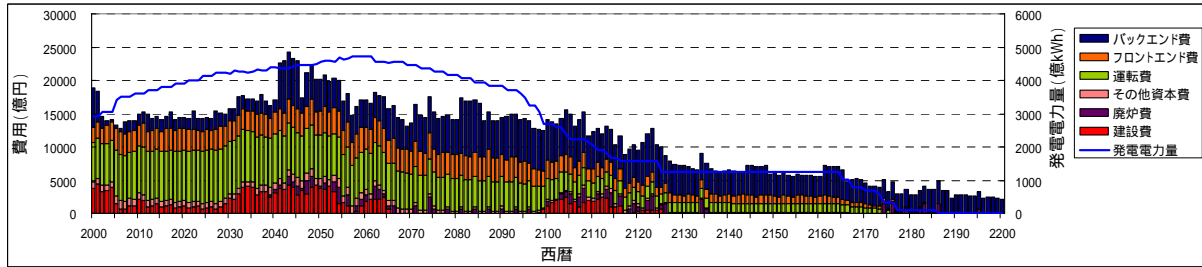


図 3.5.15 発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース II】(割引率 0%)

ケース III



LWRのみ



FBRのみ

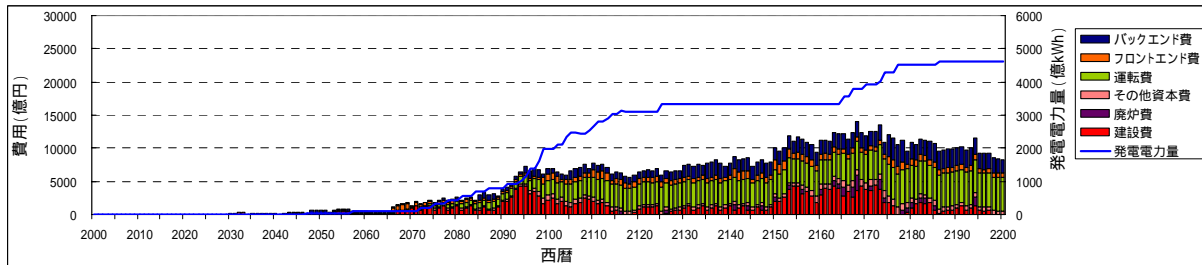
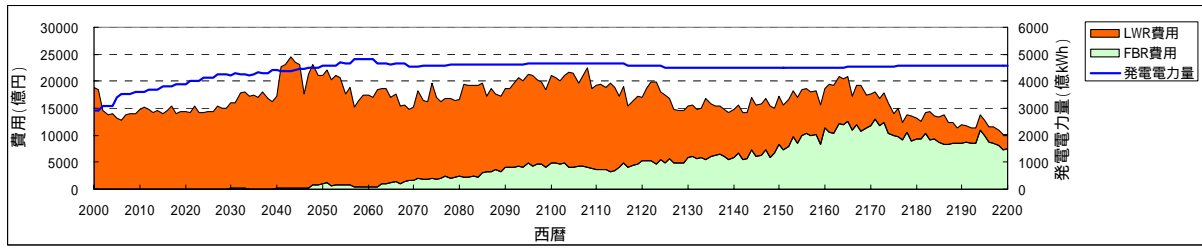
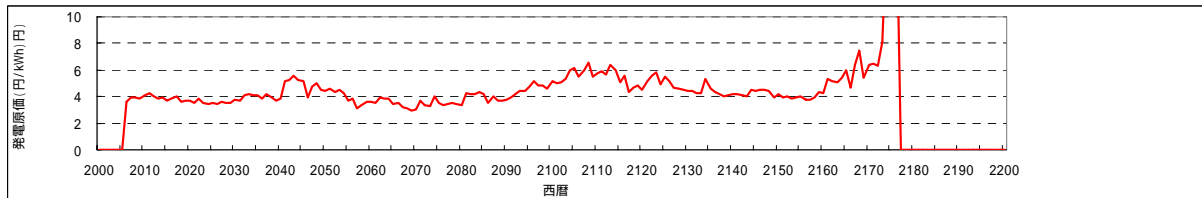
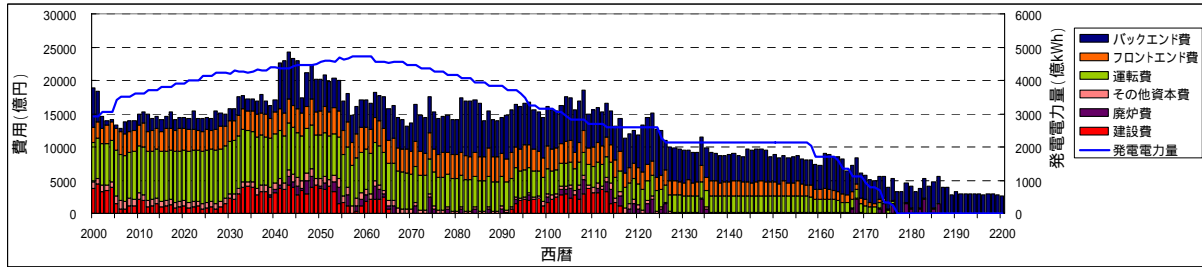


図 3.5.16 発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース III】(割引率 0%)

ケース IV



LWRのみ



FBRのみ

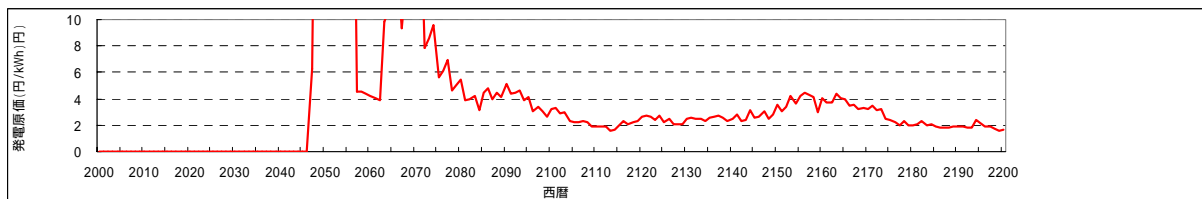
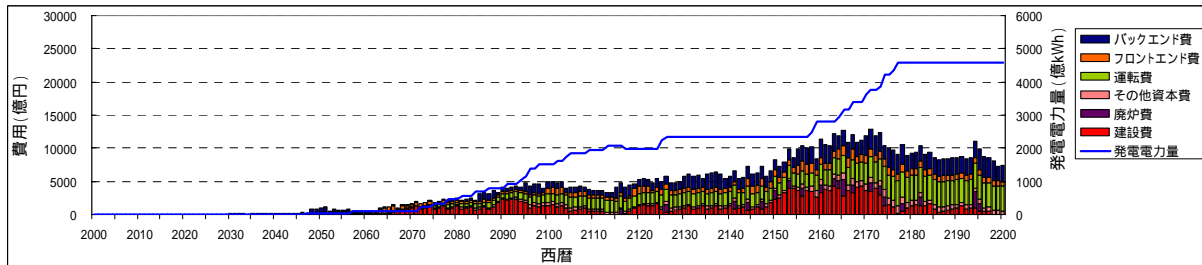
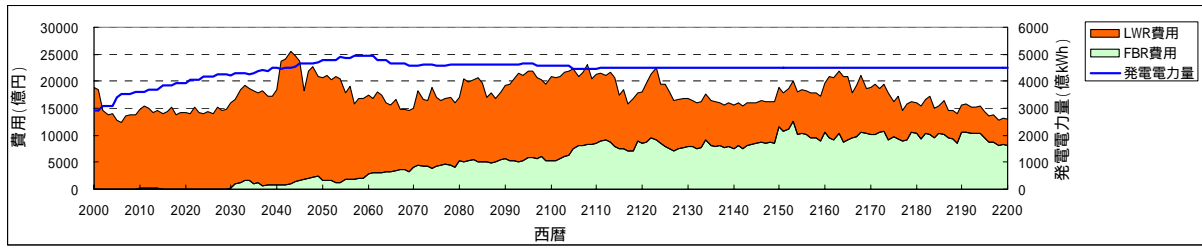
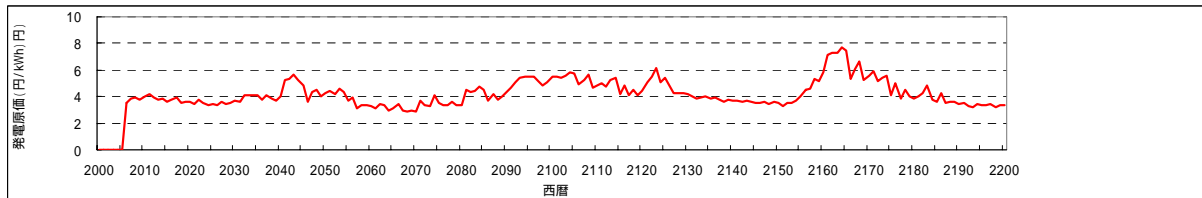
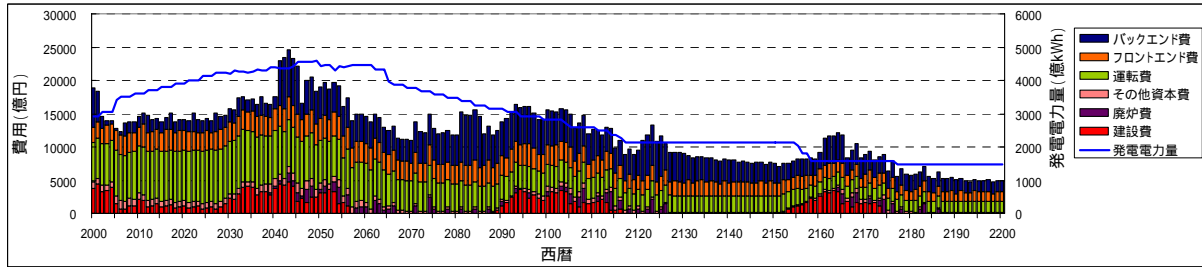


図 3.5.17 発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース IV】(割引率 0%)

ケース V



LWRのみ



FBRのみ

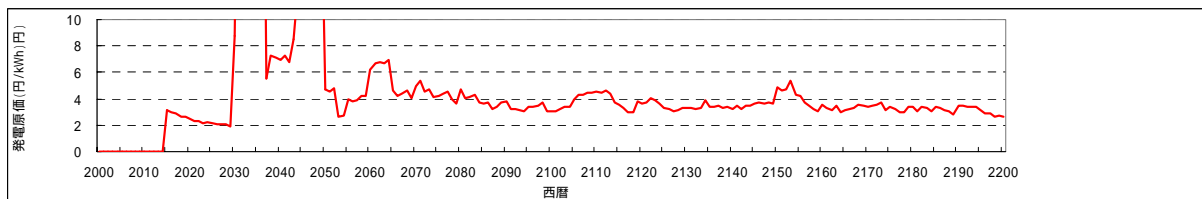
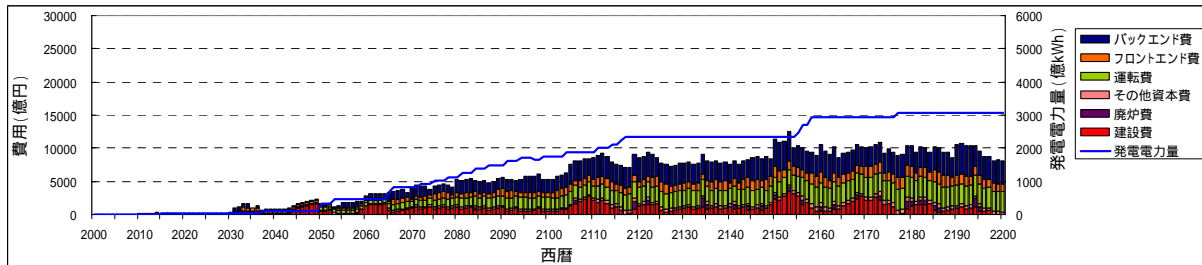
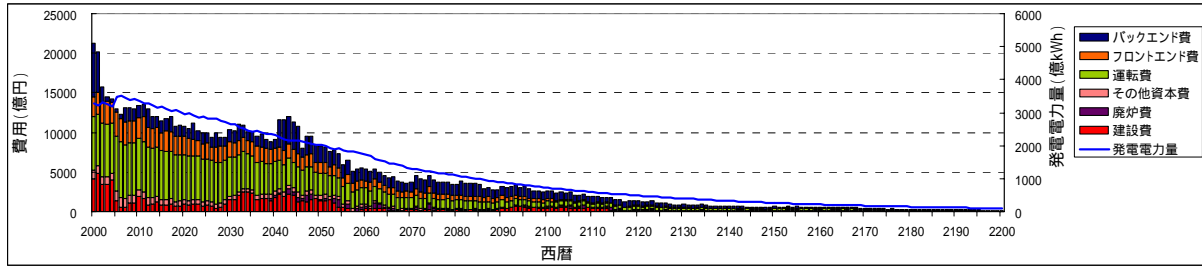
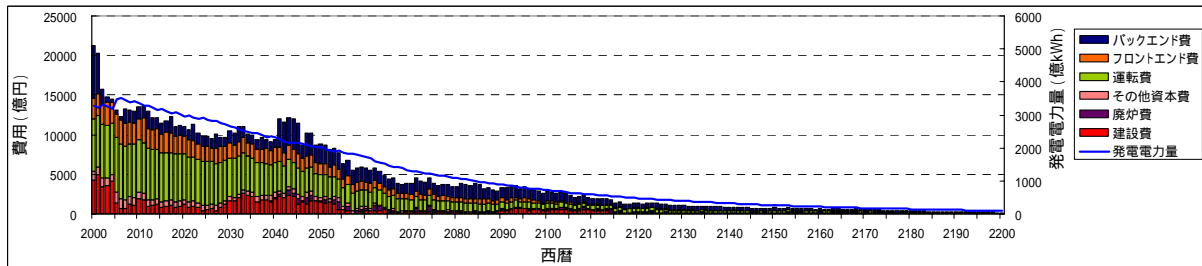


図 3.5.18 発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース V】(割引率 0%)

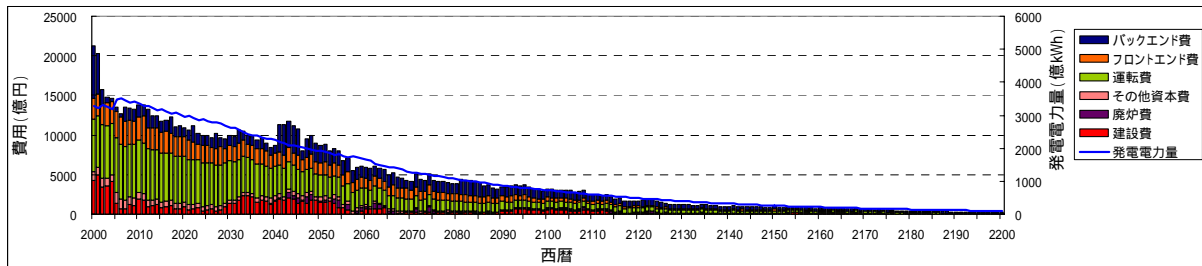
ケース I



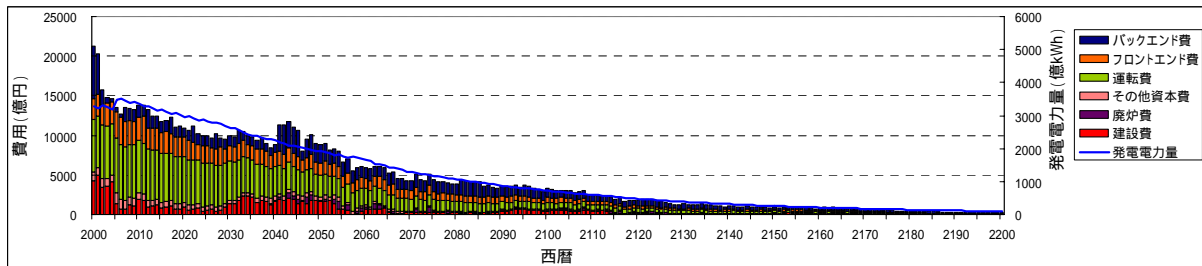
ケース II



ケース III



ケース IV



ケース V

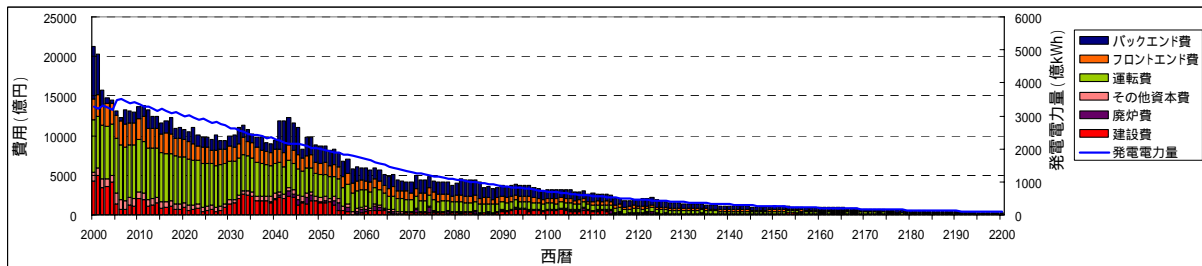
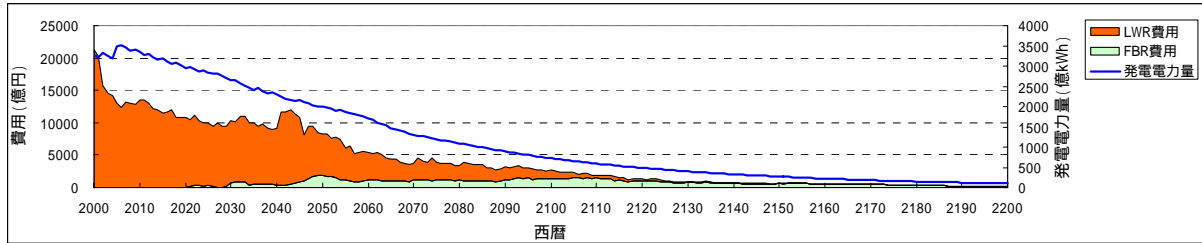
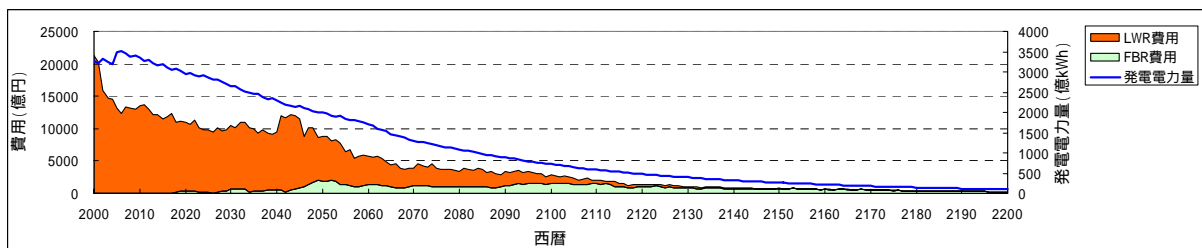


図 3.5.19 発電にかかる費用の推移【ケース ~ 】(割引率 2%)

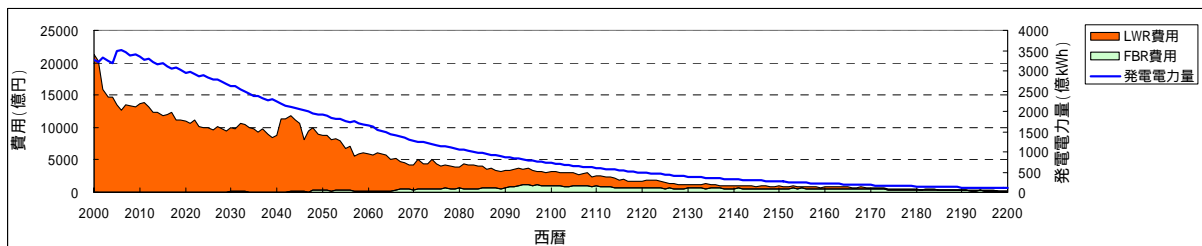
ケース I



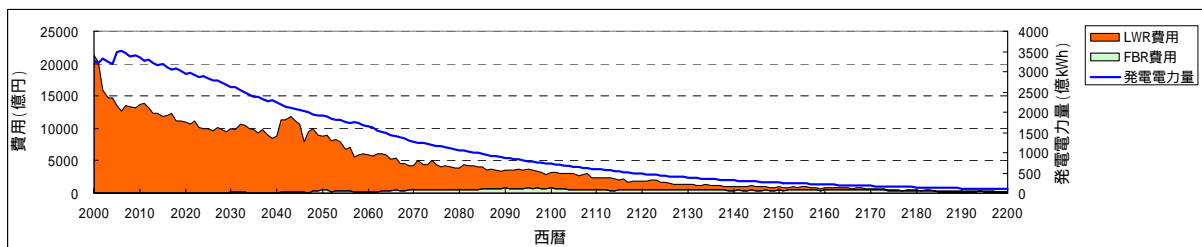
ケース II



ケース III



ケース IV



ケース V

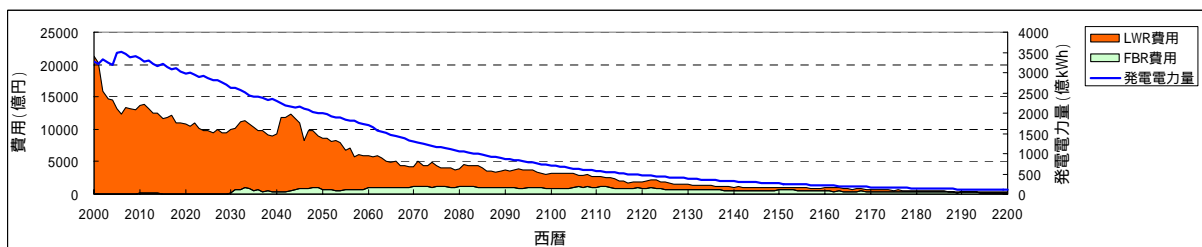


図 3.5.20 発電費用を占める軽水炉費用と FBR 費用の割合【ケース ~ 】(割引率 2%)

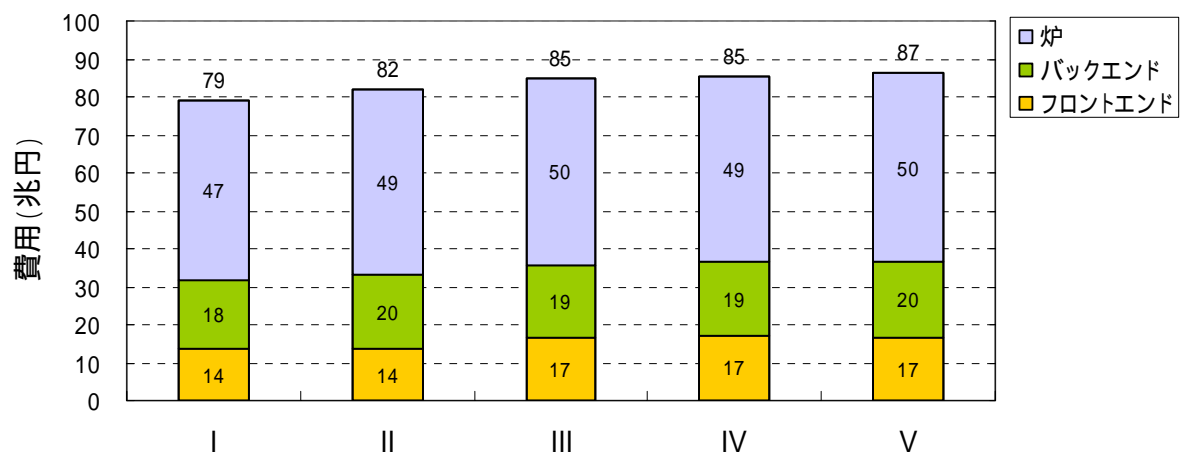
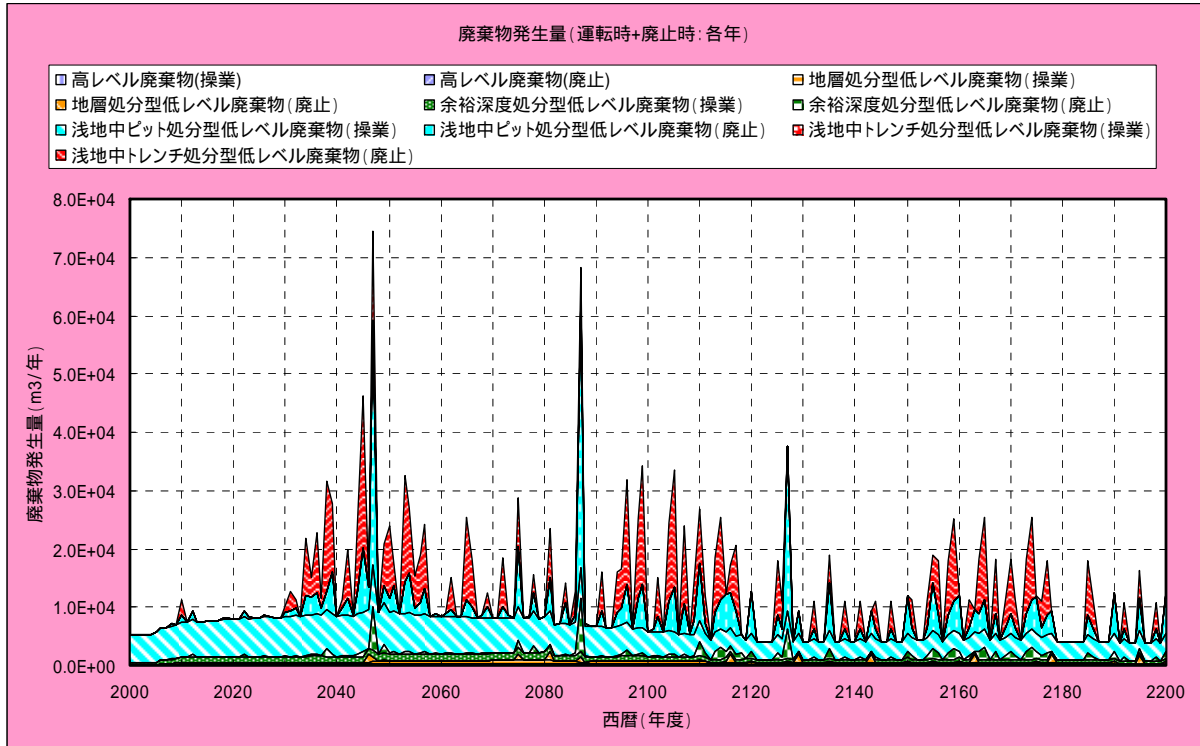


図 3.5.21 各シナリオの費用総額の比較（割引率 2%）

表 3.5.2 各シナリオの平均発電原価及び平均燃料サイクル単価の比較（割引率 2%）

		I	II	III	IV	V
平均発電原価	円/kWh	3.6	3.7	3.9	4.0	4.0
平均燃料製造単価	万円/kg	11.6	11.8	12.4	12.4	11.5
平均再処理単価	万円/kg	29.6	34.7	32.6	33.1	28.8

(各年)



(累積)

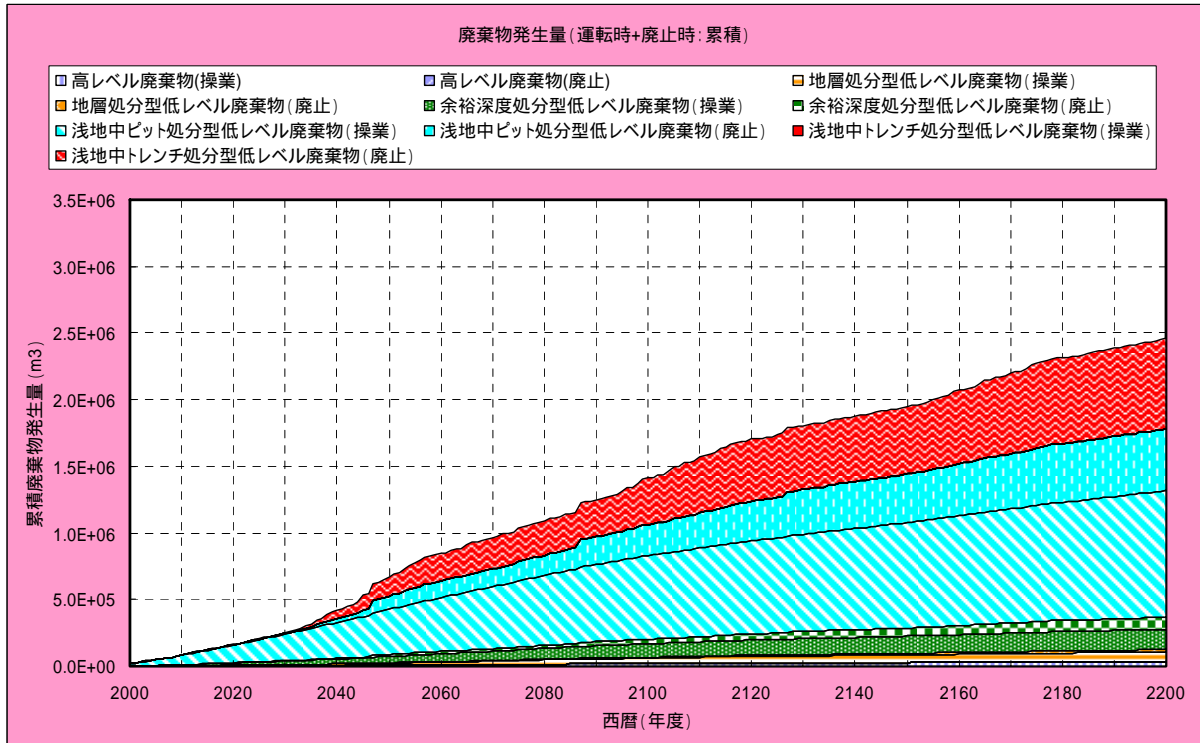
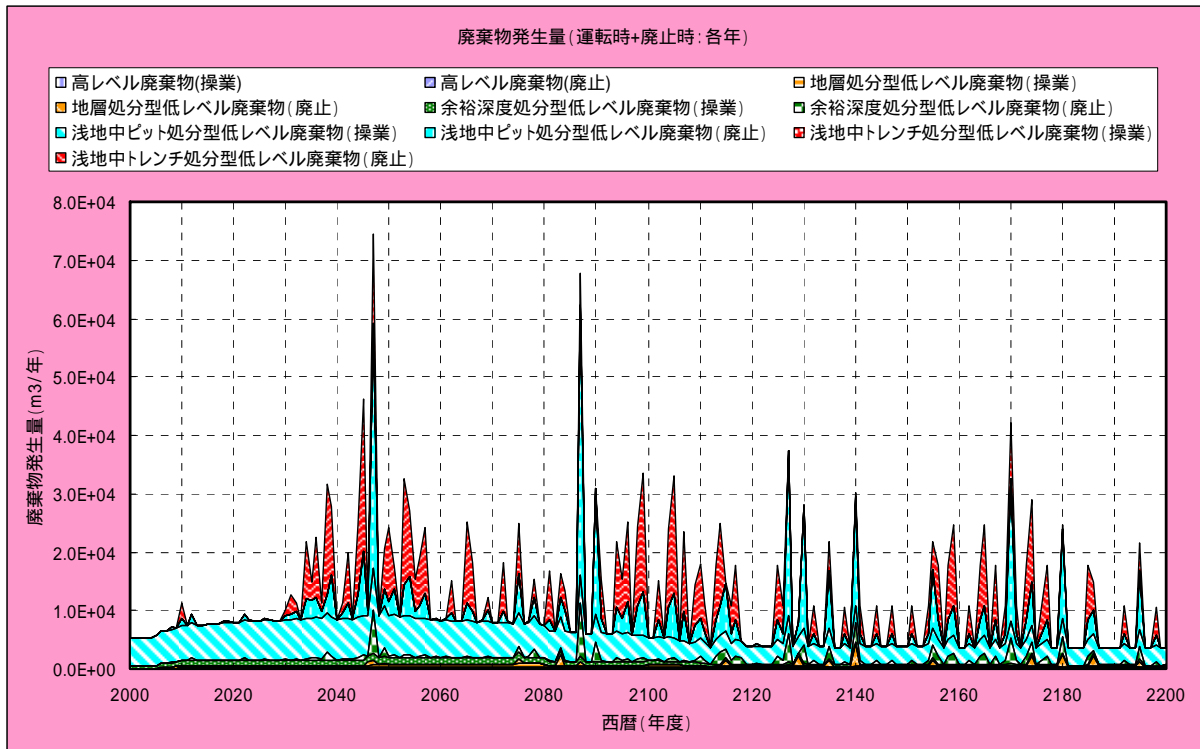


図 3.5.22 各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)

(各年)



(累積)

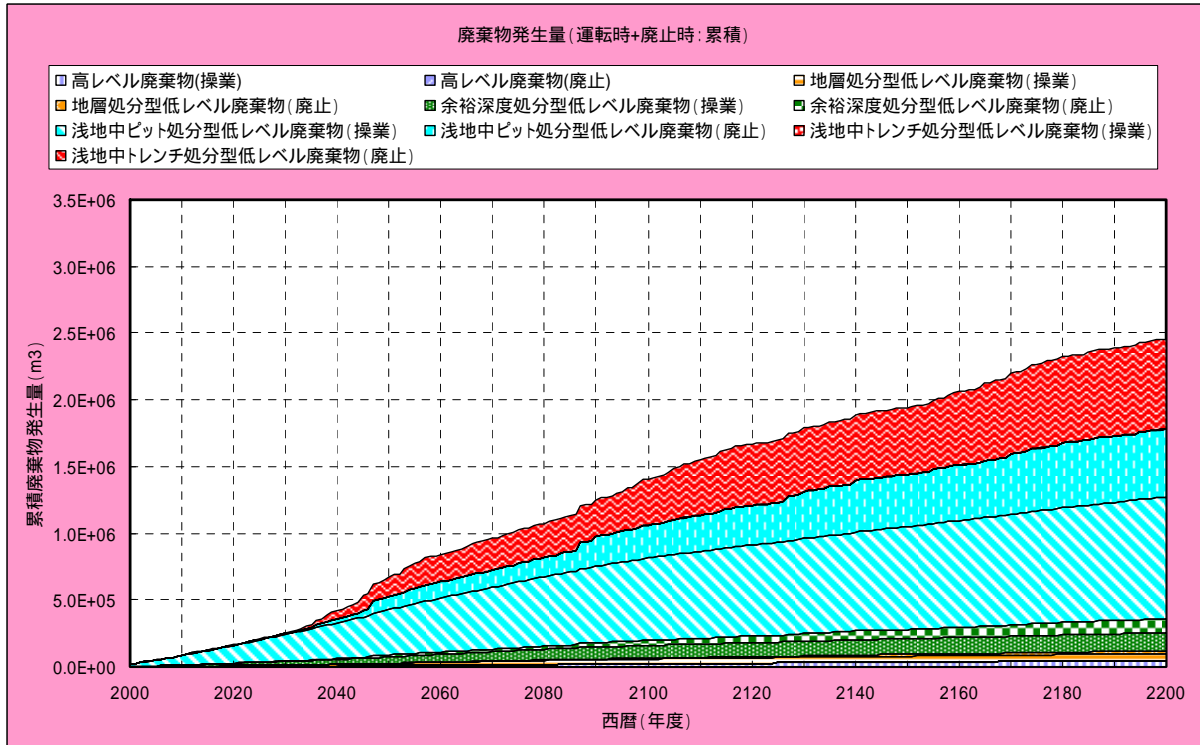
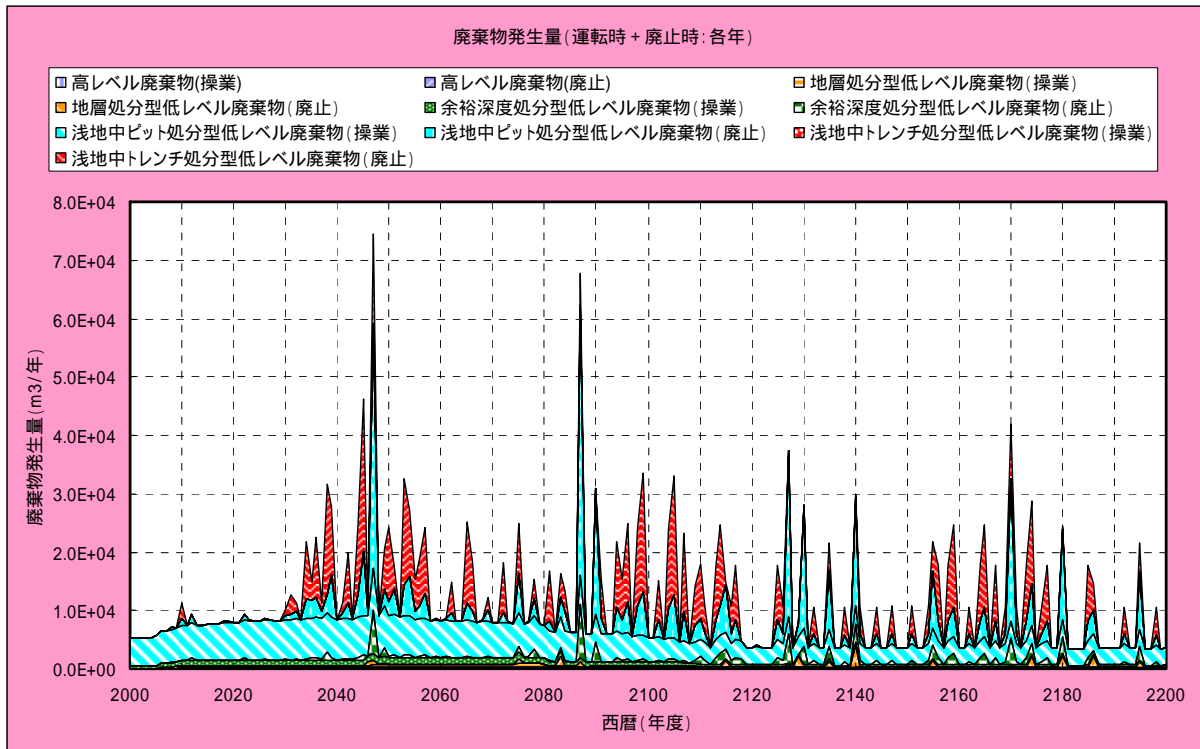


図 3.5.23 各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)

(各年)



(累積)

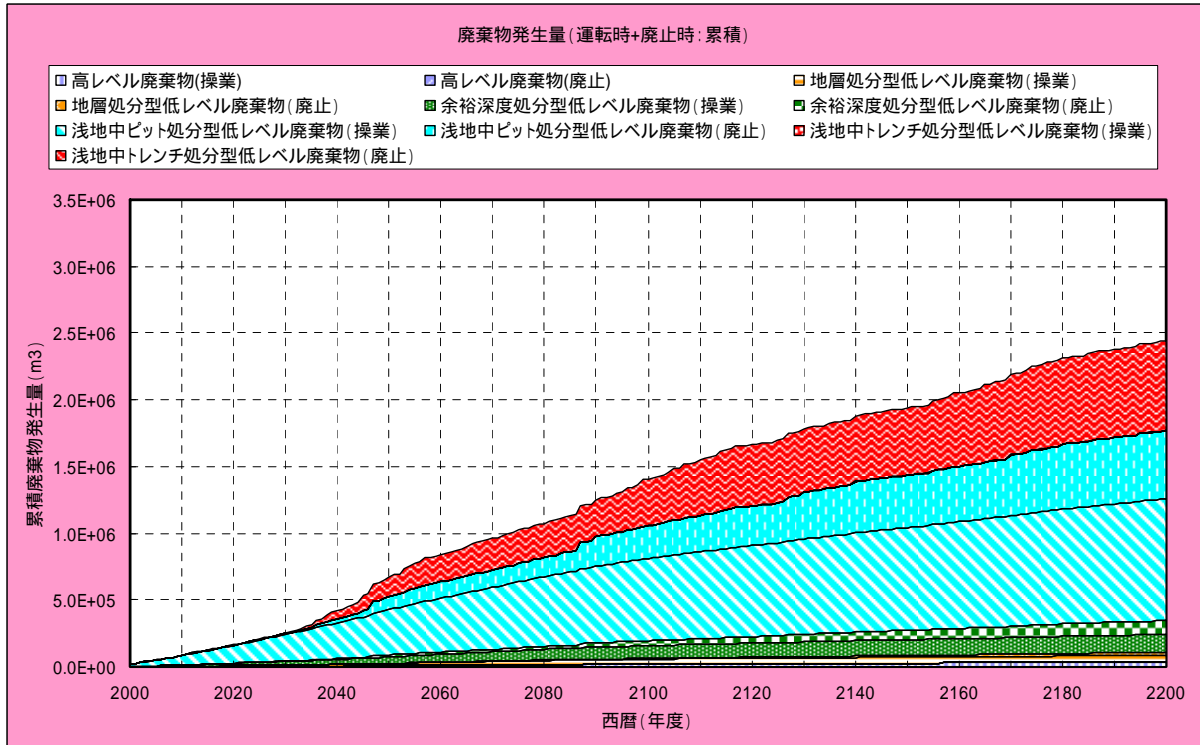
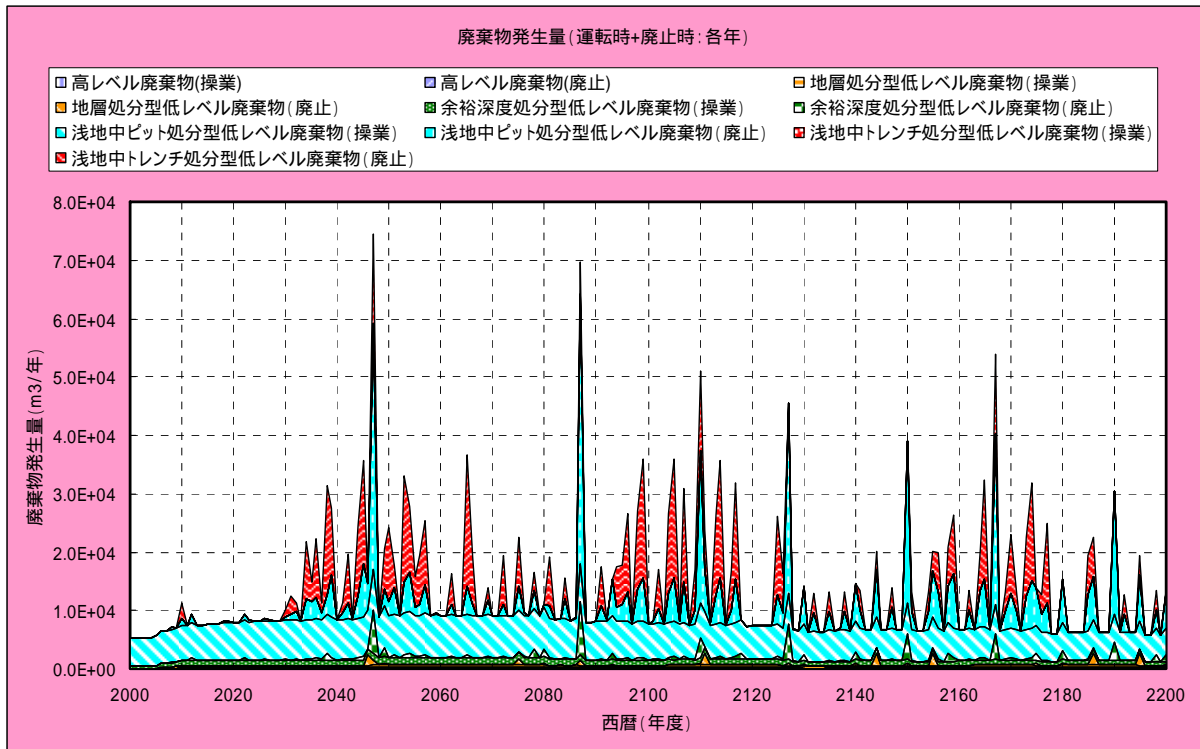


図 3.5.24 各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)

(各年)



(累積)

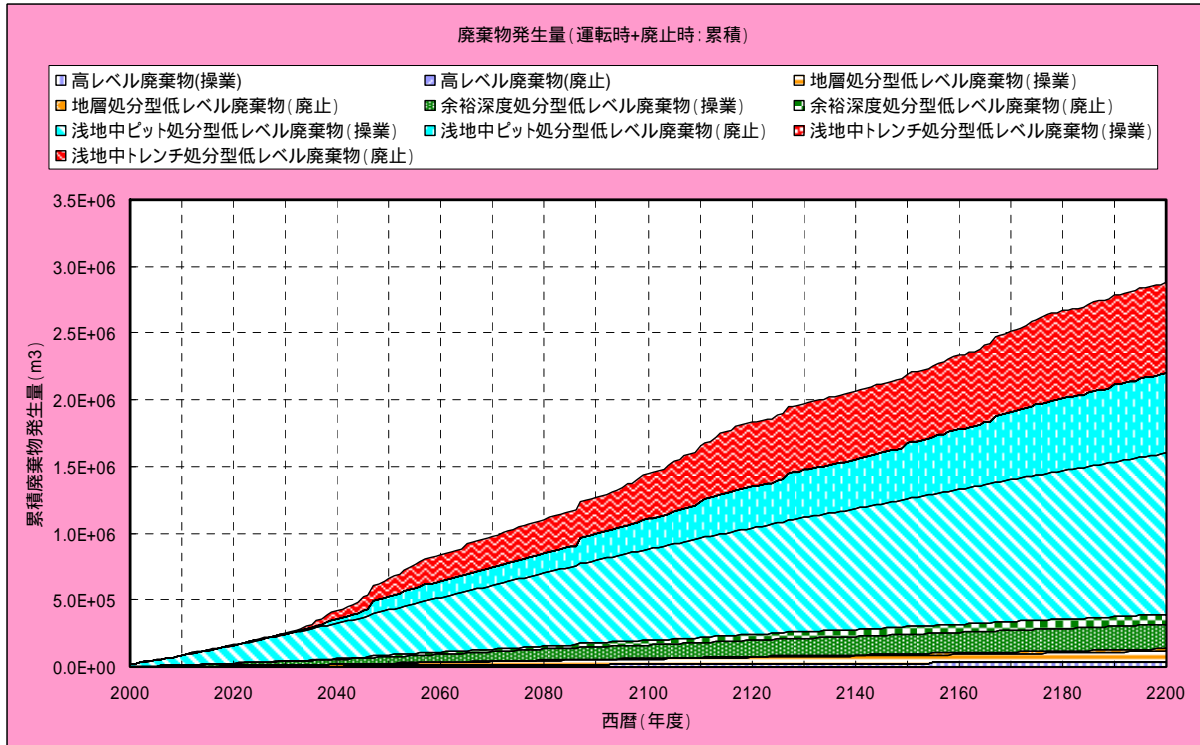
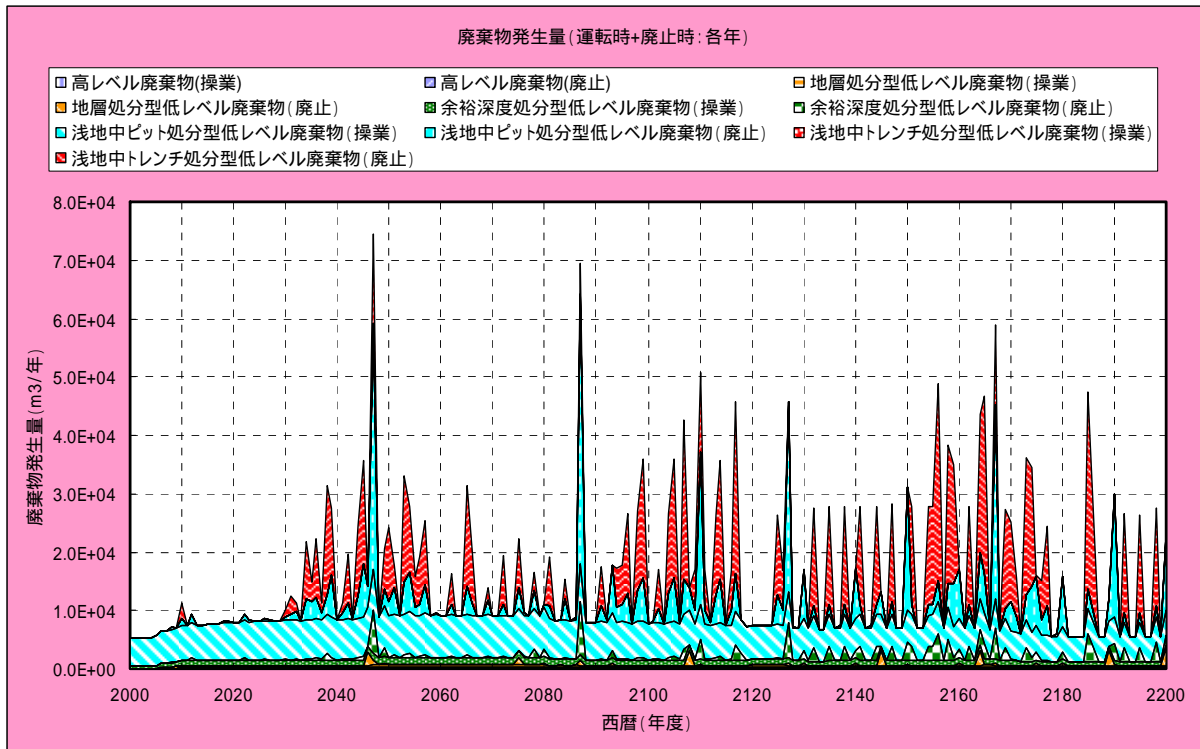


図 3.5.25 各年と累積の廃棄物発生量 (発生体積) の推移 (ケース)

(各年)



(累積)

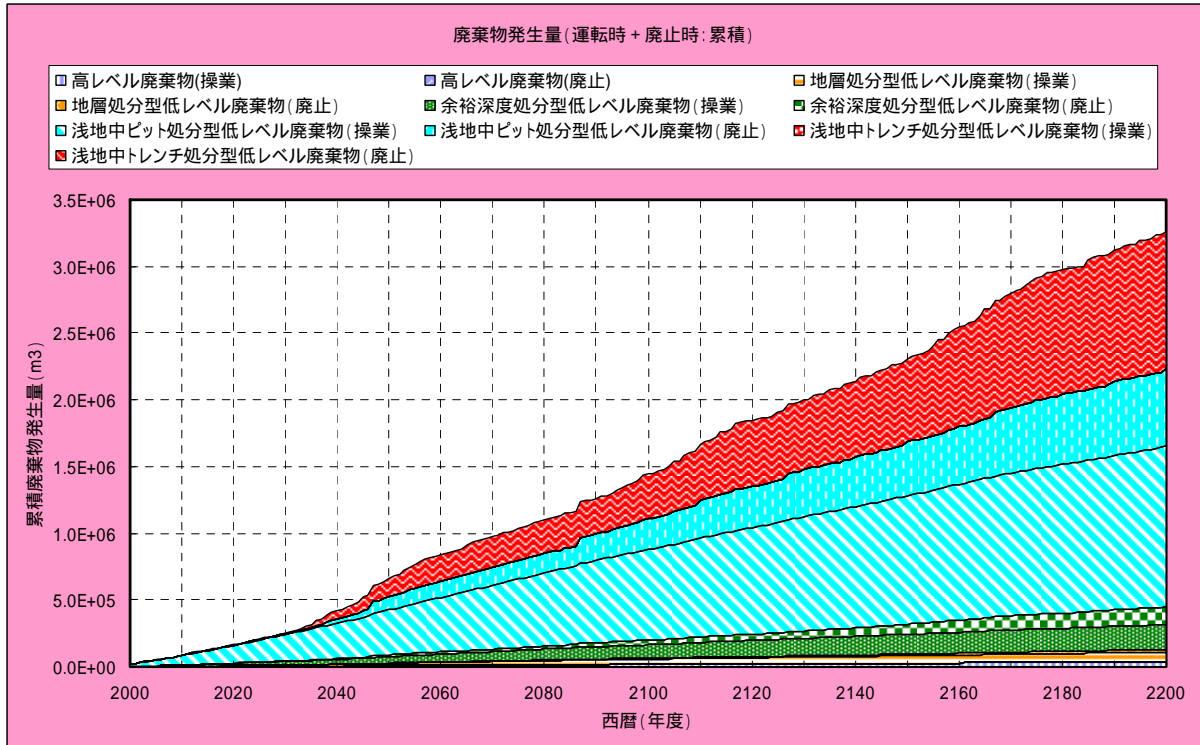
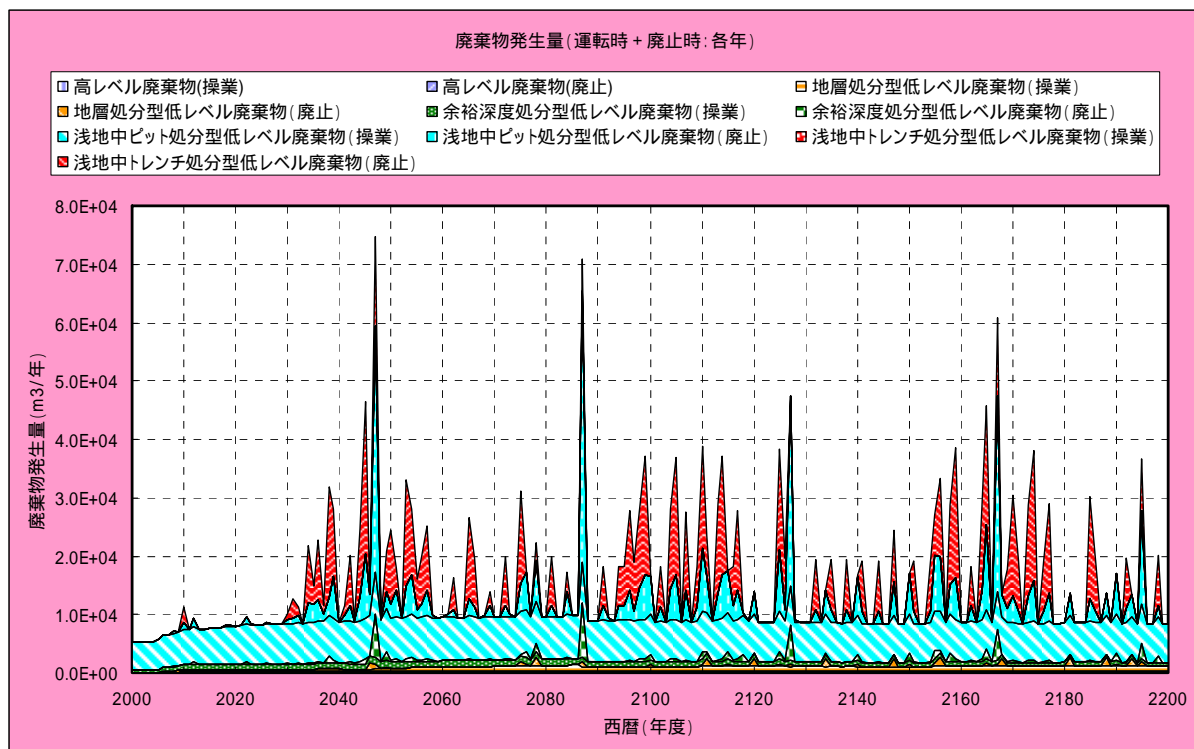


図 3.5.26 各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)

(各年)



(累積)

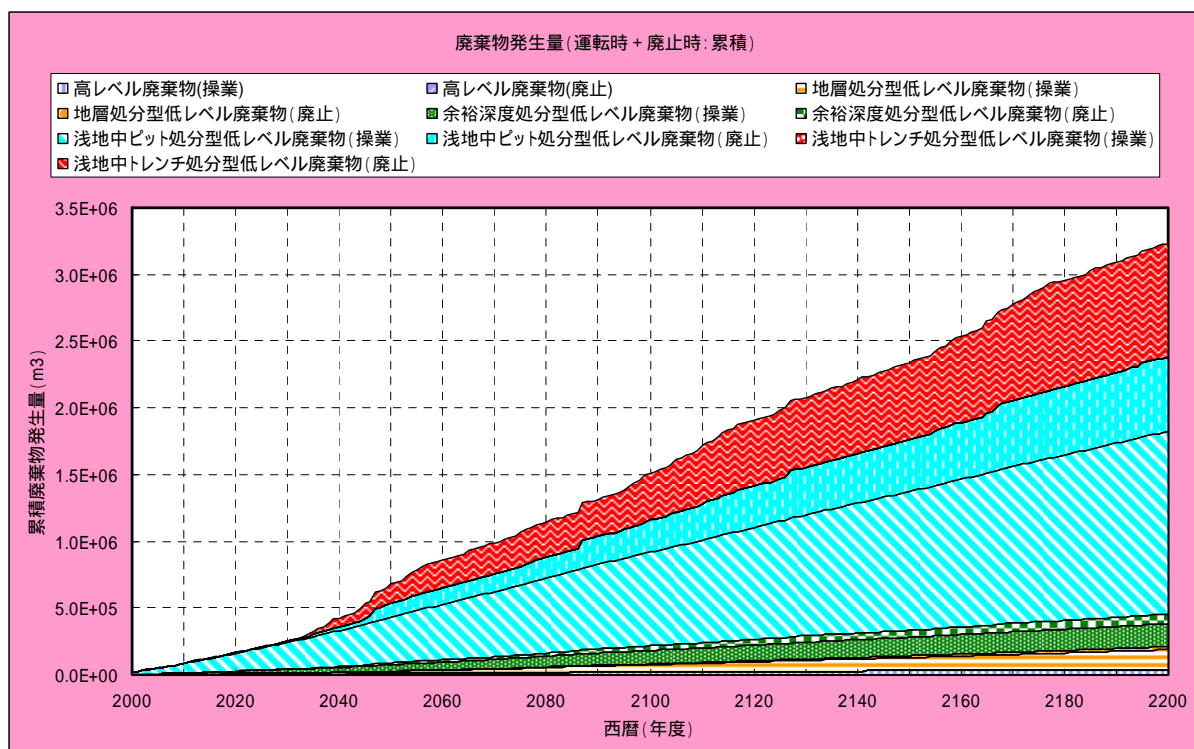


図 3.5.27 各年と累積の廃棄物発生量(発生体積)の推移(ケース)

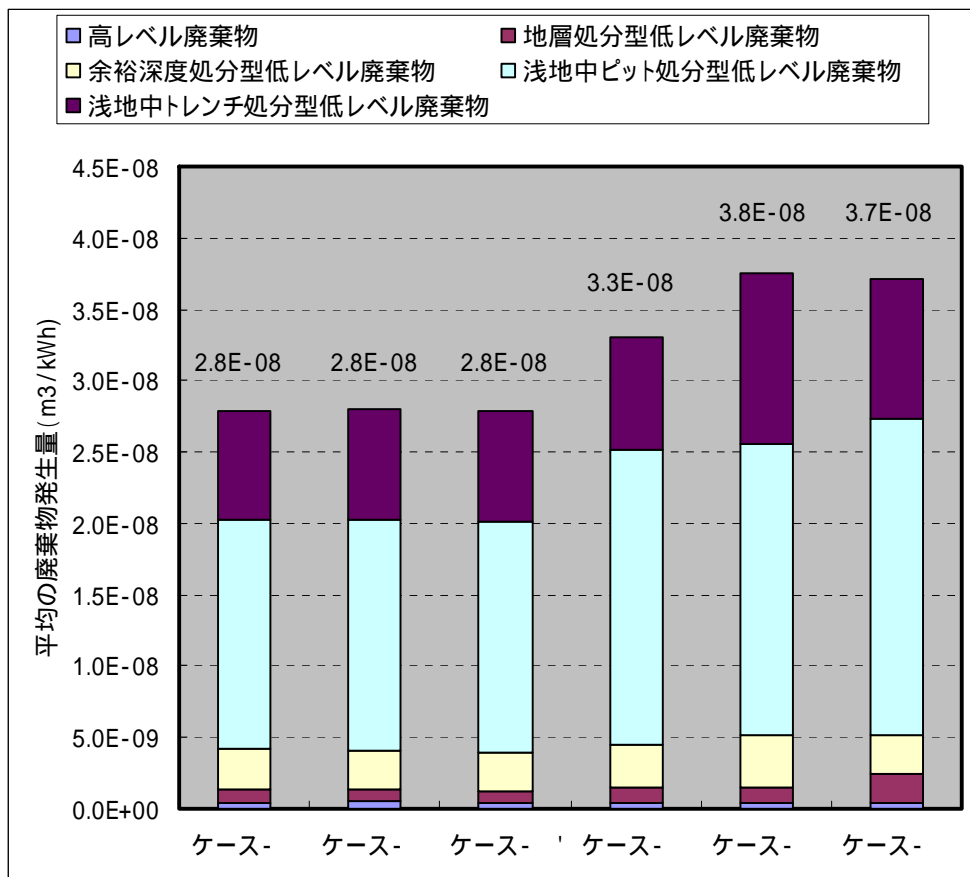
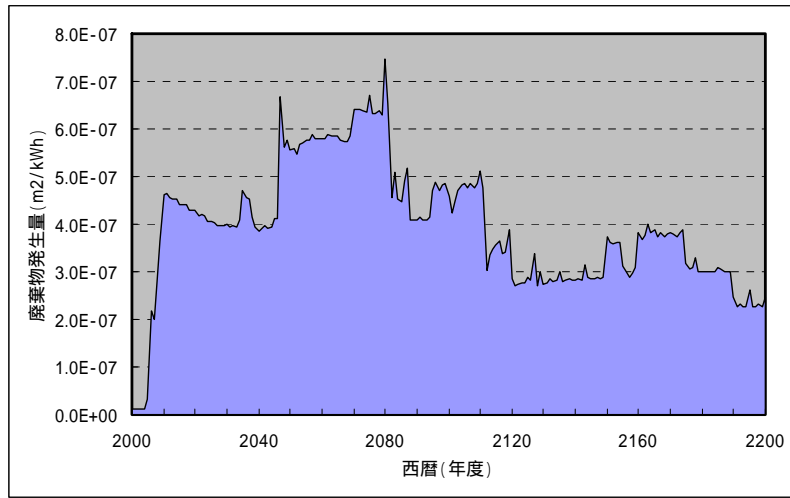
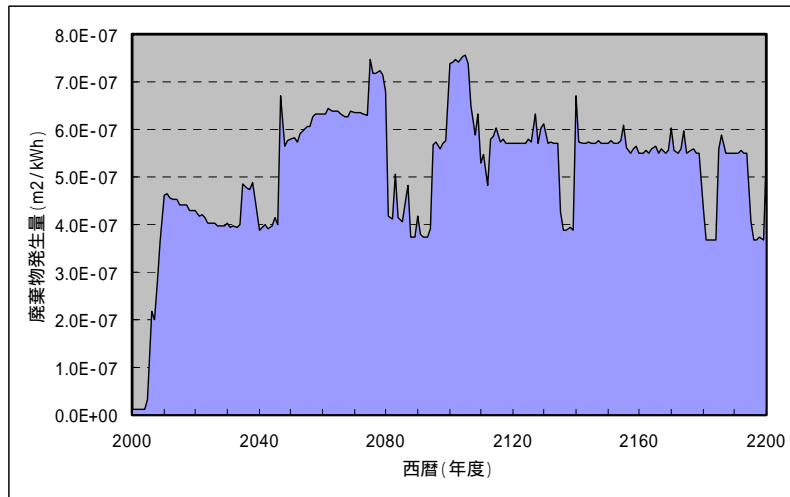


図 3.5.28 平均の廃棄物発生量（発生体積：ケース ~ ）

(ケース)



(ケース)



(ケース)

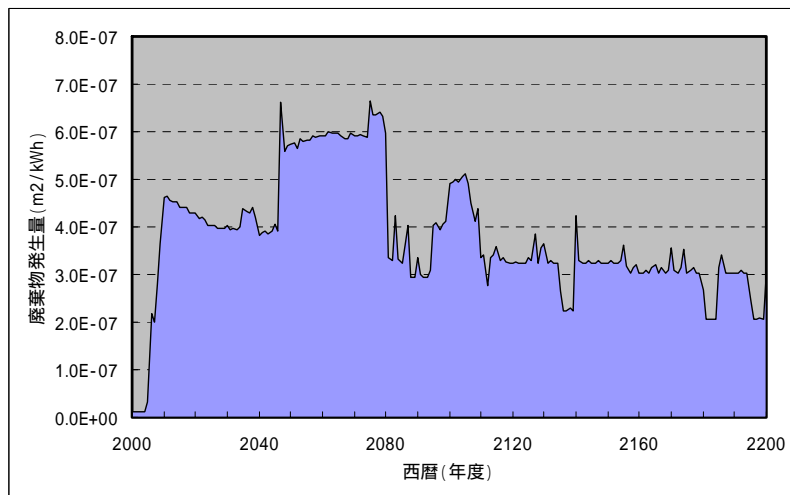
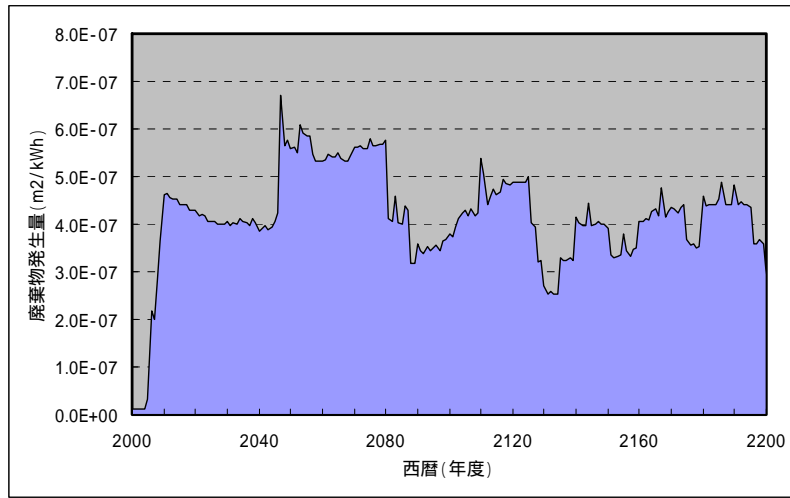
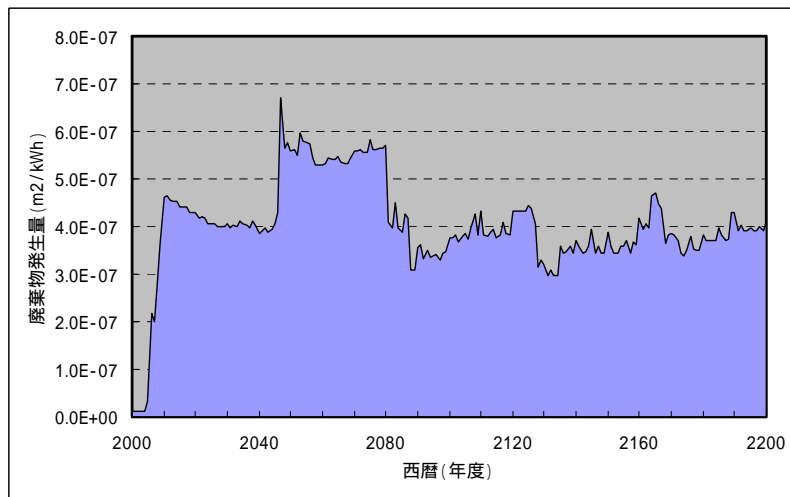


図 3.5.29 各年の廃棄物発生量 (占有面積) の推移 (ケース ~)

(ケース)



(ケース)



(ケース)

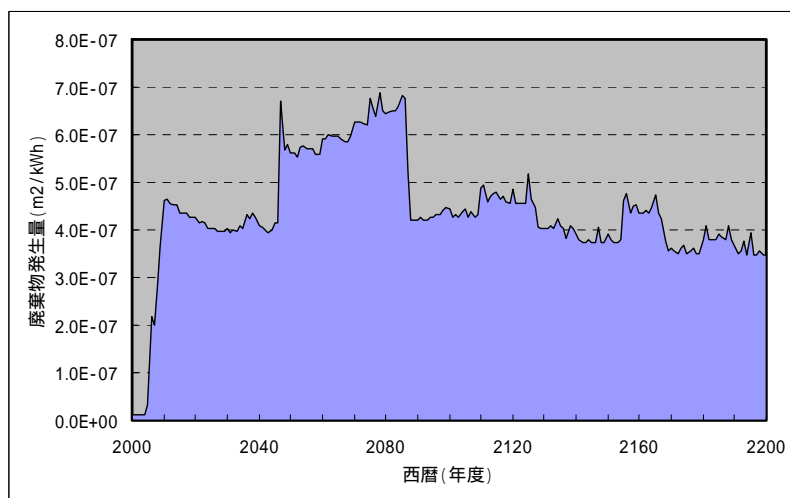


図 3.5.30 各年の廃棄物発生量 (占有面積) の推移 (ケース ~)

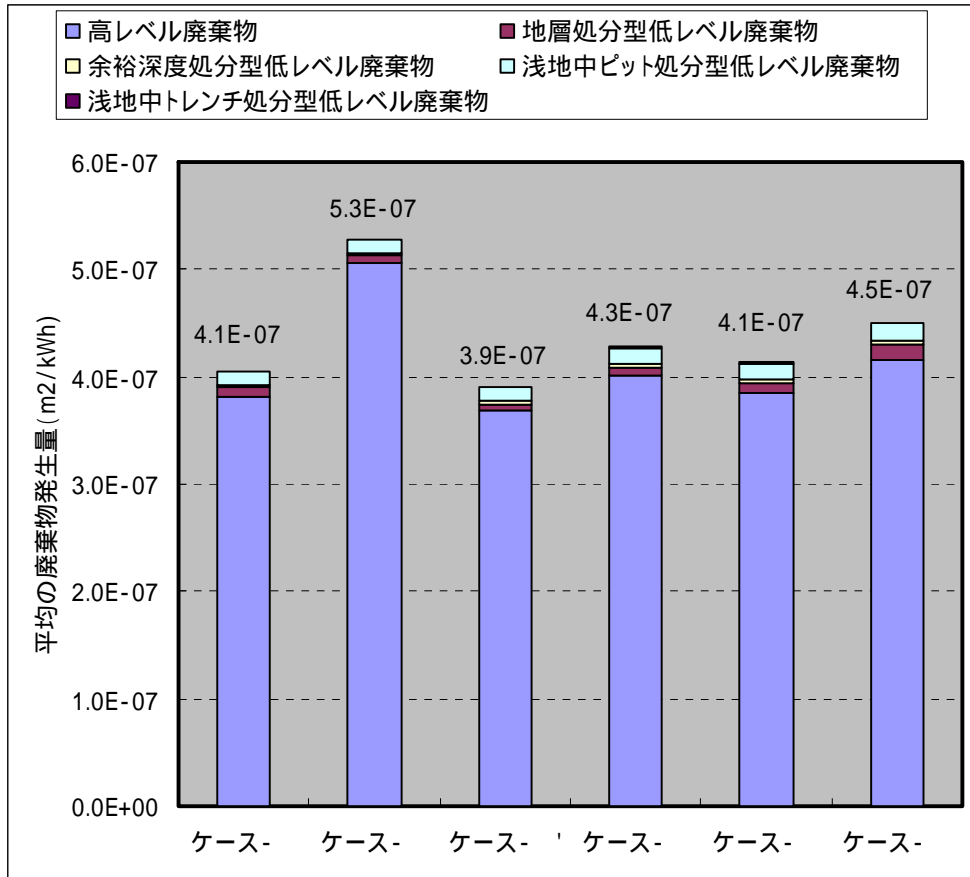


図 3.5.31 平均の廃棄物発生量（占有面積：ケース ~ ）

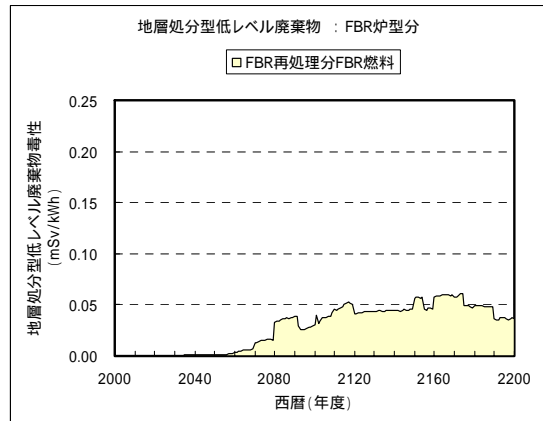
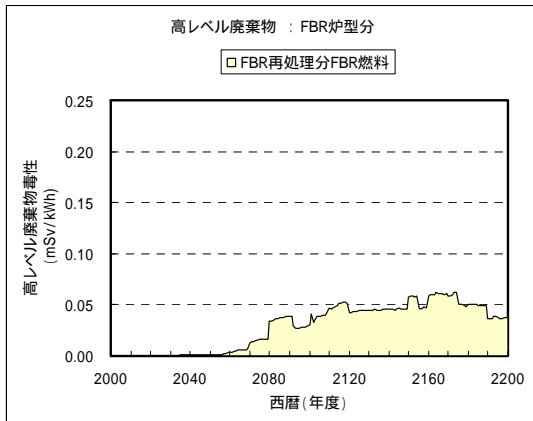
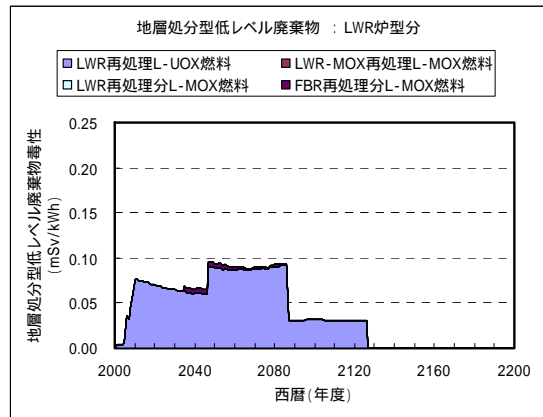
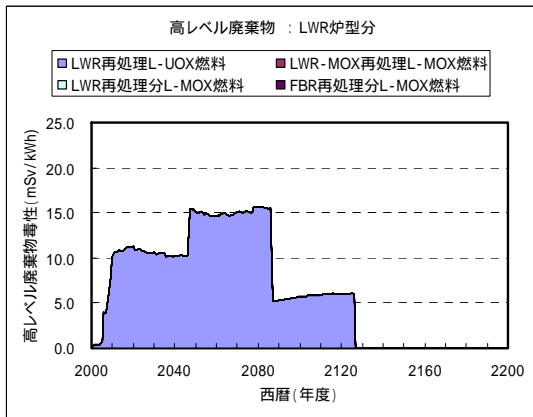
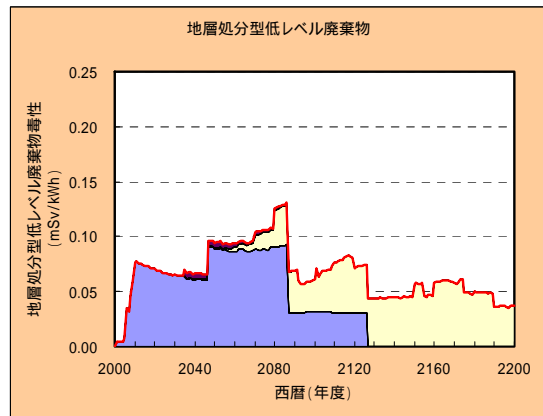
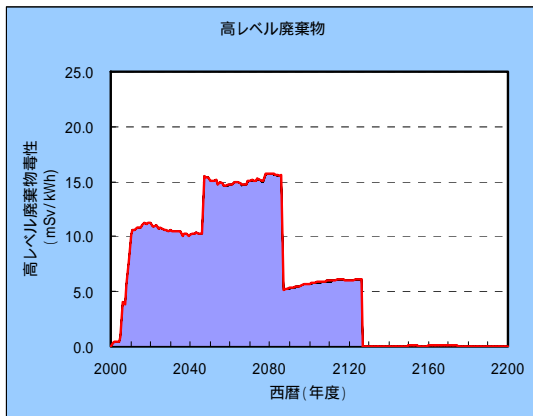


図 3.5.32 各年の廃棄物毒性の推移 (ケース)

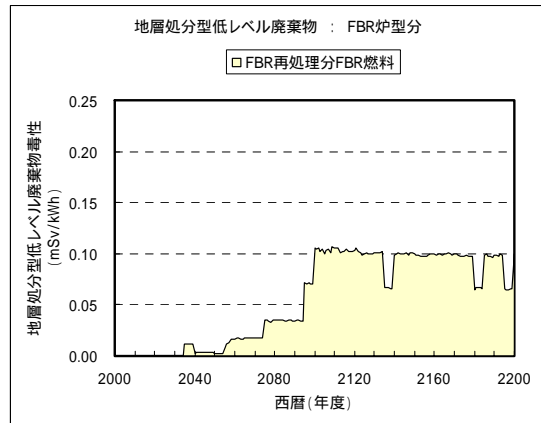
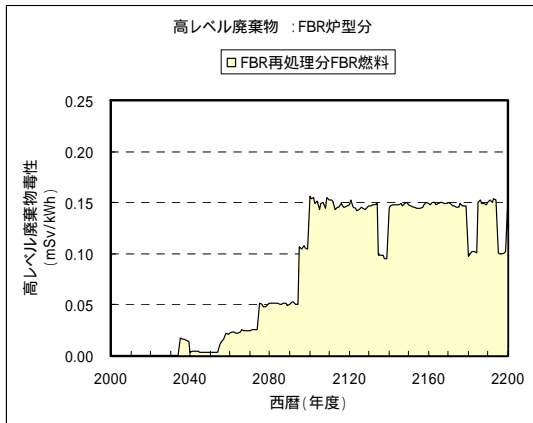
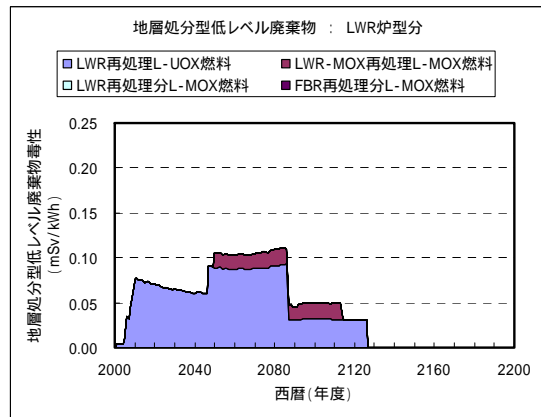
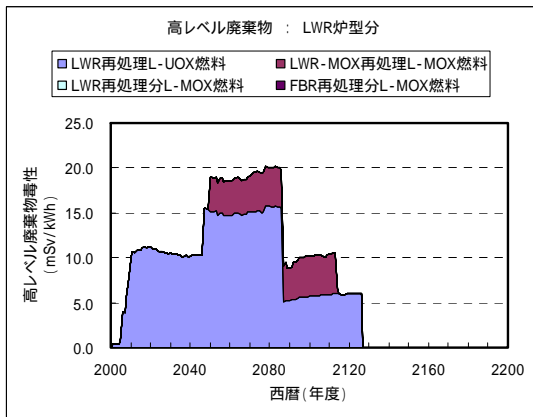
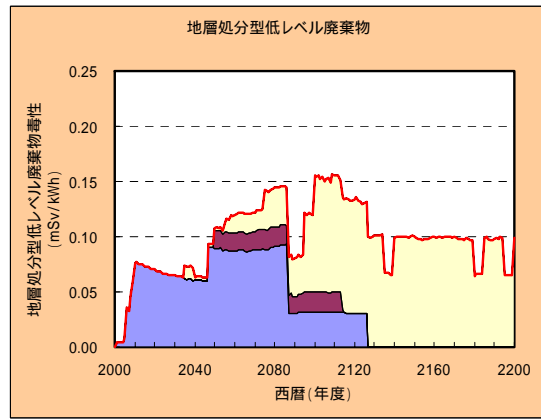
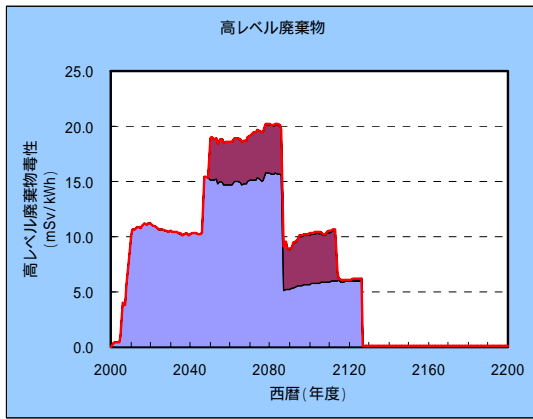


図 3.5.33 各年の廃棄物毒性の推移 (ケース)

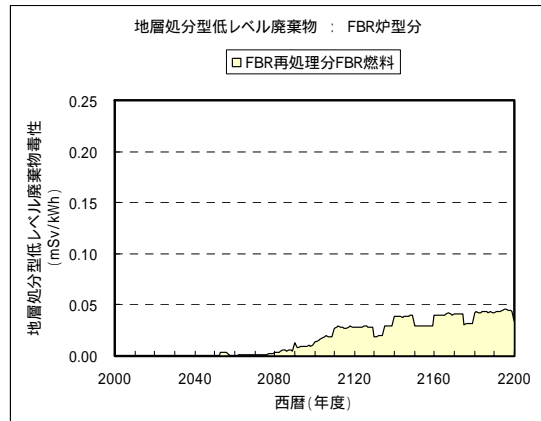
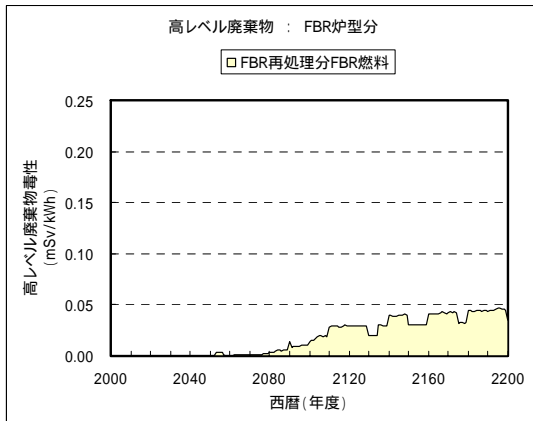
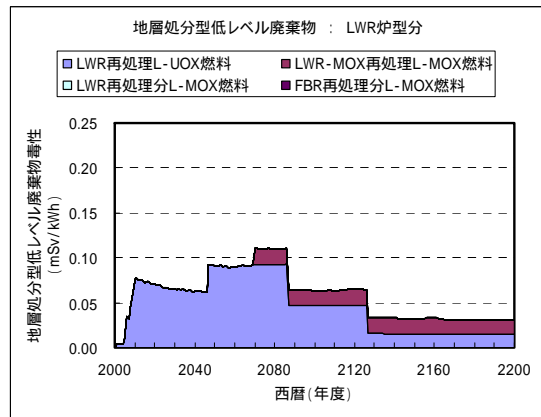
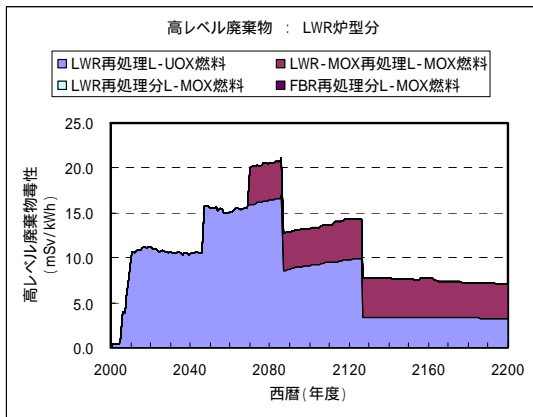
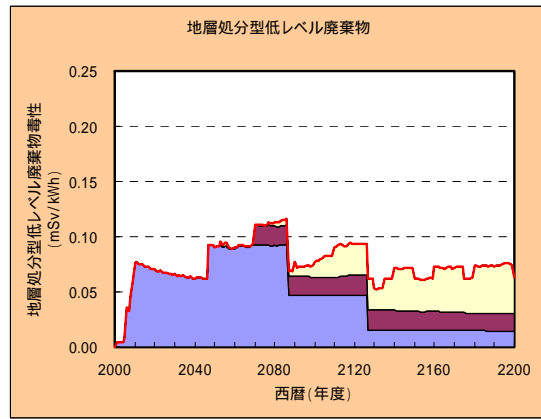
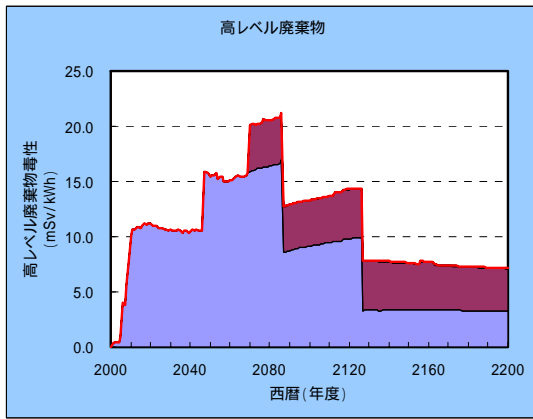


図 3.5.34 各年の廃棄物毒性の推移(ケース)

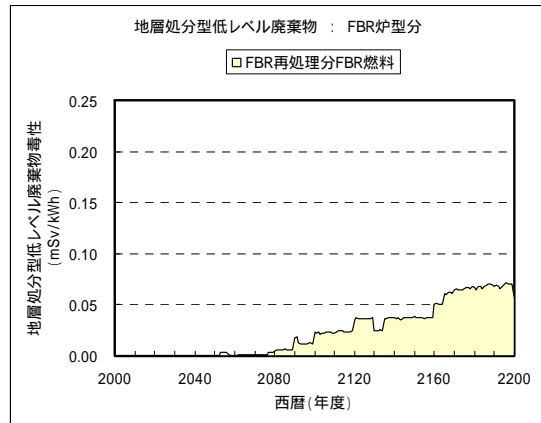
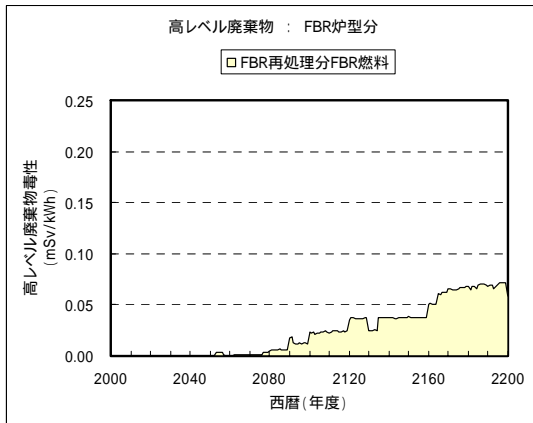
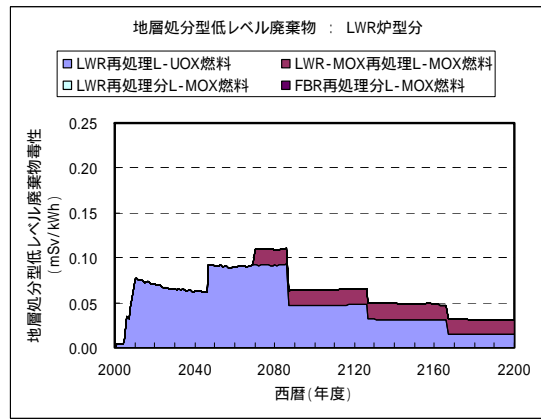
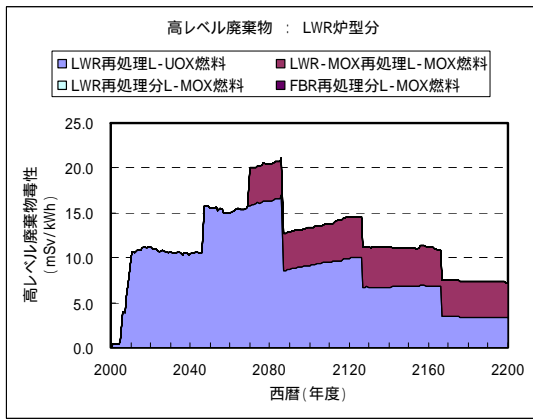
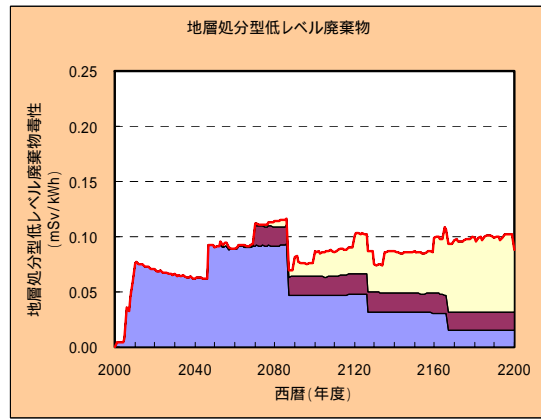
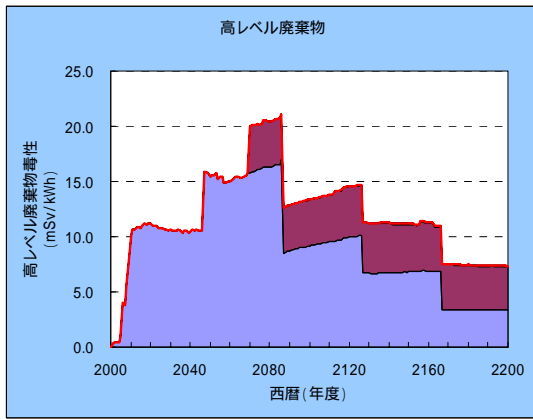


図 3.5.35 各年の廃棄物毒性の推移 (ケース)

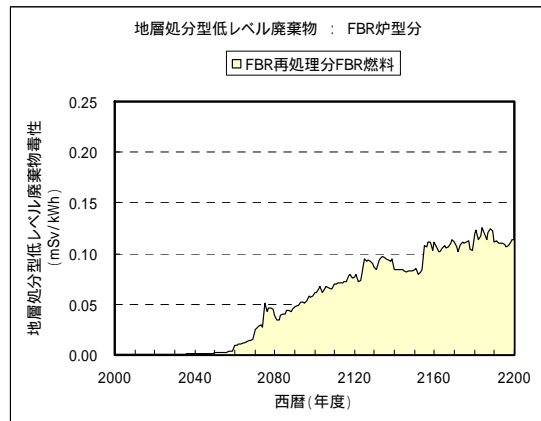
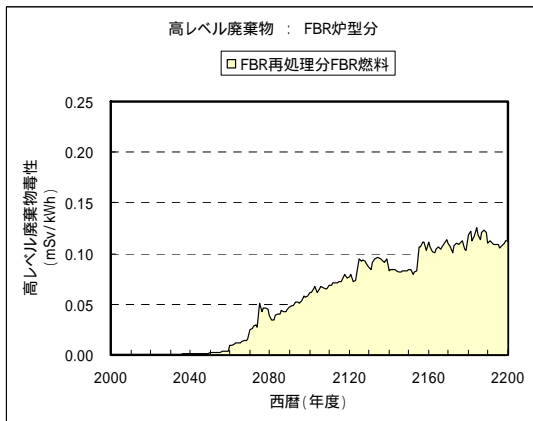
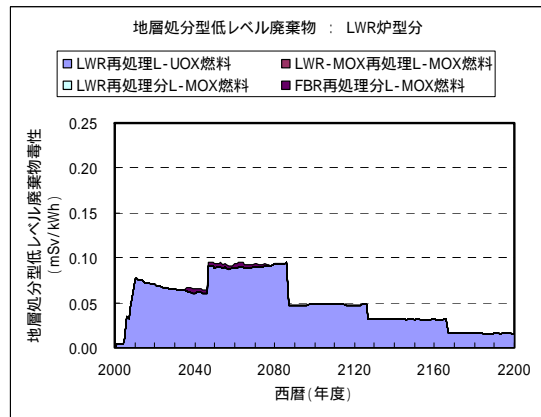
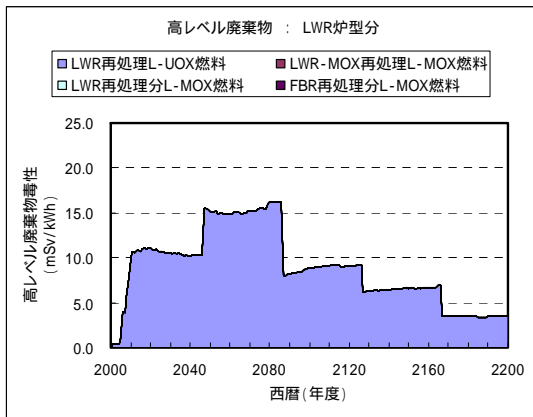
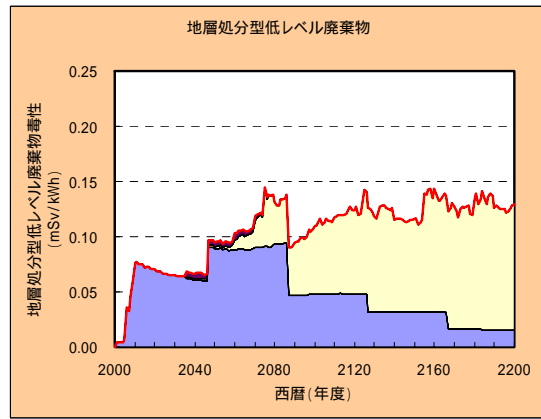
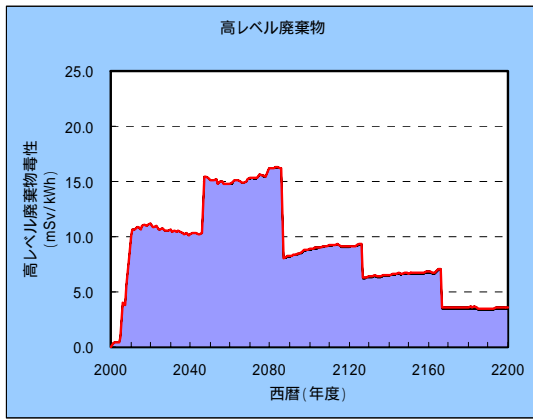


図 3.5.36 各年の廃棄物毒性の推移 (ケース)

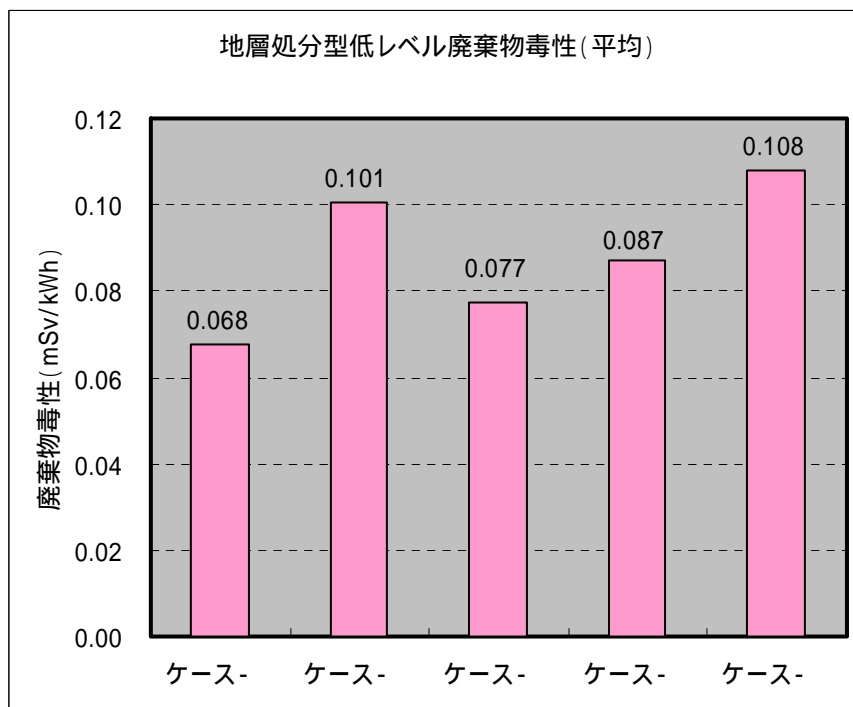
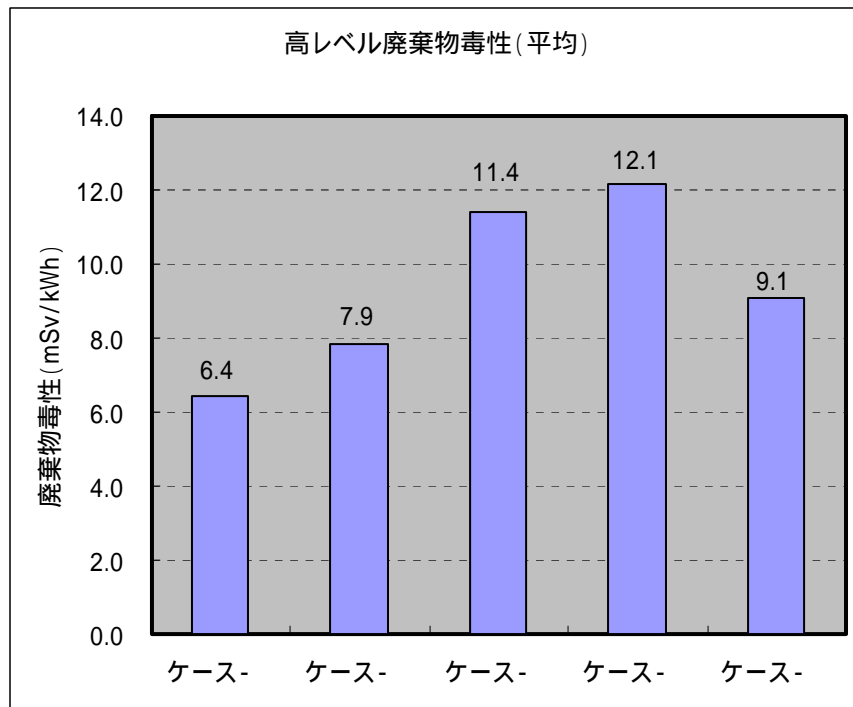


図 3.5.37 平均の廃棄物毒性(ケース ~)

3.6 他電源との比較評価

FBR サイクルの導入にあたっては、他の電源との間で競合することが考えられる。したがって、実用化戦略調査研究では、FBR サイクル候補概念同士だけではなく他の電源と比較評価することが重要であると考えられる。そこで、フェーズ 1 より、さまざまな電源の特性を多面的に評価する手法を検討してきた。フェーズ 2 最終評価では、中間評価と同様に大規模電源、中小規模電源を評価することとした。

3.6.1 比較評価の前提

フェーズ 2 最終評価において、電源としての特性比較対象とする他電源は、表 3.6.1 のとおりと設定する。また、比較評価にあたっては以下を前提とした。

フェーズ 2 最終評価においては、各電源の特性を明確にし、FBR サイクルの目標達成度、あるいは競合性を検討することを目的とする。

大規模電源については、ミドルまたはベース電源としての利用が考えられ、電源としての役割が大規模 FBR と類似している電源を評価対象として選択した。中小規模電源に関しては、都市近郊に立地し、量産効果によって経済性を向上させるタイプ（基本的には大規模電源と競合すると考えられる）と離島・極地等の遠隔地に立地し、燃料交換回数が少なくすることが可能なタイプがあるが、現時点では、大規模 FBR と大きく異なるタイプの FBR について、特性を検討することが有意義であると考えて遠隔地立地を想定した評価を行なうこととした。原子力機構で検討しているこのタイプの小規模 FBR は、5 万 kWe 程度を想定しており、他の対象電源についても、遠隔地の電源を想定して評価を行なうこととした。また、評価対象とする電源の導入規模は、大規模については 50GWe で 50 年間、中小規模については、50MWe で 50 年間発電できる規模とする。

3.6.2 他電源比較の評価視点

一般的な電源を比較評価するためには、相互に類似した特徴を持つ FBR サイクルを定量的に検討する場合よりも、性質の大きく異なるものの特徴を把握・評価できることが必要となる。そのため抽出した評価視点を図 3.6.1 に示す。フェーズ 中間評価からの変更点として、環境影響低減性から放射性廃棄物という評価視点を分離したこと、電力以外発生資源を削除したこと、事業容易性を追加したことが評価視点のレベルでは目立つ。

なお、フェーズ 中間評価と同様に、安全性については全ての電源について前提条件であると考えられること、また、他電源についての安全性評価を行なうことは実際上困難なので、評価視点から除外した。したがって、最大で 8 評価視点について比較評価することとした。FBR サイクル候補概念間比較に比べ、他電源との比較評価では、詳細ではないもののより広い範囲の特性について評価する。

- (1) 経済性
- (2) 資源供給性
- (3) 放射性廃棄物
- (4) 環境影響低減性（放射性廃棄物以外）
- (5) 社会不安定影響性
- (6) 技術的実現性
- (7) 心理的バイアス低減性
- (8) 事業容易性

3.6.2.1 評価指標作成の共通方針

フェーズ 最終評価で用いる評価指標作成にあたっては、以下の基本方針を採用した。入力データが得られない評価指標は除外することとした。

電源間で差のつかない評価指標は除外することとした。

また、FBR サイクル候補概念間比較用評価指標の検討進捗状況も踏まえて、評価指標を作成することとした。

他電源比較評価における下位指標重み付けは、以下の原則に従って実施する。

- FBR 候補概念間と同一の指標を用いている部分は、同じ重み付けとする。
- アンケートで対比較したもの（ここでは、環境負荷低減性の下位指標）については、アンケート結果を使用する。
- 上記以外については、同等の重み付けとすることを基本とする。
- 指標によっては、それらの上位指標から見た意味等で分類が可能なものもあり、それらは個別に対比較を検討する。

3.6.2.2 経済性の評価指標

経済性については、相互に特性の類似した FBR サイクル候補概念間比較の経済性とは異なり、他の電源間で比較を行うため、より幅の広い指標を含んでいる。ただし、定量的データを取り揃えることは容易ではなく、段階評価を行う割合が増加する。設定した経済性の評価構造を図 3.6.2 に示す。

発電原価に関しては、FBR サイクル候補概念と共通であり、細かい説明を省略するが、様々な電源を扱うためにデータも限られており、原価計算が難しい場合がある。このときは、公開されたデータを基にして算出した。

発電原価変動幅は、燃料原料価格が変動した際に発電原価が変動する幅（発電原価変動幅）で捉える方法を検討する。燃料原料単価変動幅については、エネルギーショック時における燃料価格上昇因子とエネルギーショック時に限らず取引市場において価格変動する因子とを分けて考えることとする。前者は比較的長期（数 10 年）で、また、後者は比較的短期（1 年程度）での変動を対象となる。

エネルギーショック時の燃料価格上昇は、エネルギーショック発生確率とエネルギーショック発生時の燃料価格上昇率の想定を行っており、これらをもとに金額換算して定量化する手法が考えられる。また、エネルギーショック時以外（安定供給時とする）の変動幅の定量化手法例としては、各年における価格変動幅を過去数 10 年にわたって平均化する方法などが考えられる⁸⁶⁾⁸⁷⁾⁸⁸⁾⁸⁹⁾。

しかしながら、上述した定量化手法は必ずしも価格変動幅を十分に表しているとは言えない。なぜなら、長期と短期と概念を分けてはいるものの、実際にはエネルギーショックのみの短期変動の評価であり、需給による長期変動因子は含まれていないからである。評価を運用する上でこの定量化手法が妥当でないと判断される場合には、燃料種ごとに一对比較を行うこととなる。

ところで、燃料価格変動可能性を評価する際、変動幅そのもので評価する考え方と、変動幅が発電原価に占める割合（発電原価の何%程度の変動があるか）で評価する考え方とがある。ここでは、次の二つの理由により、前者を採用することとする。燃料価格変動幅を定量化できない場合、発電原価に占める割合よりも燃料価格変動そのものを評価したほうが、一对比較が容易であると思われる。発電原価が高いものほど評価結果が有利となる。つまり、同じ燃料種を用いても発電原価が高いシステムで用いる場合のほうが、“燃料価格変動可能性”が小さいと評価されることになり、結果の解釈が難しくなる恐れがある。

なお、エネルギーショック発生確率など、発電単価変動幅の下位指標に現れる項目は、資源の種類ごとに異なる。そこで、これらの項目は資源供給性の下位指標として評価すべきという考え方もある。しかし、ここでは、資源の性質のうち経済性（発電原価）に及ぼす部分のみを取り上げていると考えて、経済性の一部に含めた。

投資回収性は、投資リスクなどに関する評価指標である。特に大規模発電所に対する設備投資は、投資回収に長期を要する、投資の絶対額が大きい、という特徴がある。このようなシステムに対する投資は、特に民間の事業主体にとっては受容しにくいものとなる。投資回収期間は、設備投資の採算性を評価する際にしばしば用いられており、発電所に関するキャッシュフローを計算する以外に、設備投資額を年あたりのキャッシュフローで割ったり、より簡便には減価償却期間を用いたり、といった評価手法が考えられる。中間評価時では、キャッシュフローの想定が困難であったので、減価償却期間を評価に用いることとした。最終評価に向け、改めて発電システムの技術的特性をよりよく評価できる手法を検討したい。また、投資回収期間のみでは投資総額を陽に評価できないので、投資回収期間と並列して 1 基あたりの投資総額を指標に加える。今後、リードタイム（例えば地点公表から運転開始までの期間、あるいは工事期間など）が長い電源は、立地計画の意思決定時点において、より遠い将来を想定（すなわちより大きな不確実性を想定）して投資回収計画を立てなければならないことになる。したがって、投資回収性に影響を及ぼす因子となる可能性が考えられるので、今後検討を進めたい。

発電出力変動の大きさや負荷追従の容易性などは、電源導入の目的によっては重要な指標とな

る。特に、自然エネルギーを利用する場合にはこの視点を欠いた評価で高得点を得ても実際に利用可能であるとは言えなくなる。ここでは、これら指標を電力品質として評価することを考える。この構造案では、通常運転時の品質のみではなく、メンテナンスや燃料交換等によるシステム停止頻度も、電力品質に関わる指標であるとして取り上げている。

また中間評価では、中小規模電源用の評価視点として簡便性を取り上げたが、最終評価では経済性や事業容易性などで、簡便性の内容を検討・評価できること、大規模基幹電源と中小規模電源で評価視点として取り上げるような別の要素はない方が望ましい。

経済性の下位指標重みは、FBR 候補概念間比較評価構造における同重み付けを参考に、以下の考え方にしたがって設定する。

- FBR 候補概念間比較評価では、「発電原価」：「投資リスク」= 70%：30%とした。
- 他電源比較では、「発電原価変動幅」という視点が加わっており、これは、発電原価のリスク部分（発電原価の間接的な評価指標）であると解釈する。
- 以上より、「発電原価」>「投資リスク」>「発電原価変動幅」という考え方で、一対比較を実施する。
- 「投資リスク」および「発電原価変動幅」の下位指標の重みは同程度であると考え

その結果、経済性下位指標の重みを表 3.6.2 のとおり設定した。

3.6.2.3 放射性物質の評価指標

フェーズ 最終評価では、フェーズ 中間評価時と異なって放射性物質関連の評価指標を一般的な環境影響低減性から一旦独立させた。放射性物質と他の環境影響物質は、別の観点から考えられているのではないが、との想定に基づくものであるが、放射性物質のみ特別扱いすべきでない等、様々な議論がありうると考えている。ただ、実際に放射性物質と環境影響物質をひとまとめにしたアンケートの設問を作成することが難しかったことから、今のところ、概念的に両者が一つにまとめられないという可能性が大きい。

放射性廃棄物に関しては、FBR サイクル候補概念間比較と同様に処分に着目して廃棄物の種類ごとに指標とし、設定した評価構造を図 3.6.3 に示す。また、放射性物質の下位指標の重みに関しては、特段の違いを設けずに同等とする（表 3.6.3）。

3.6.2.4 環境影響低減性の評価指標

環境影響低減性は、FBR サイクル候補概念間比較における環境負荷低減性に対応する評価視点である。FBR サイクルでは、放射性廃棄物を中心として評価構造を作成したが、他電源との比較では、放射性物質以外にも注目する必要がある。したがって、評価構造でも、放射性物質に加えて、他の環境に影響を与える物質などを評価する。このとき、環境に影響を及ぼす物質の放出という観点が強調されることから、他電源比較においては、評価視点の名称を環境影響低減性とする事とした。

環境影響低減性の評価構造については、当初、非常に幅が広いものが考えられた。そこでは、排出物質による影響だけでなく騒音・振動・景観といった項目までも評価指標に取り込みむことが可能であった。評価にあたっては以下の点に留意する。

- 各電源のライフサイクルにおける物質放出量（発生量ではない）を評価する。
- 定量化不可能な項目は一対比較により評価する。

環境影響物質については、評価対象となる量が発生量なのか放出量なのかを明確にする必要がある。ある環境影響物質が発生したとしても、それを放出しなければ環境影響があるとは必ずしも言えないからである。したがって、環境影響物質に関しては、放出量を評価することを基本的な方針とする。放出量に関しては、ここでは通常運転時（資源採鉱時、建設時、操業時を含む）のみを対象とし、事故時の影響は安全性と考える（ただし、評価は行わない）。また、放出量は、各電源システムのライフサイクルで評価する。すなわち、環境影響物質の放出については、燃料採鉱から発電所建設・運転・廃炉までの各過程における放出量を評価する。フェーズ 中間評価では、騒音、振動等は、電源システム立地地点での影響を評価対象としたが、フェーズ 最終評価では、定量的な評価を実施できる部分について、データを収集して評価を実施する。上記の観点から設定した評価構造を図 3.6.4 に示す。

環境影響項目に関する“制限値”には、環境基本法等に基づく「環境基準」や、条例に基づく「規制基準」がある。発電所の立地にあたっての環境影響評価では、「規制基準」がある場合には「規制基準」を、ない場合には「環境基準」の値を基準として、その数値を上回らないかどうかを測定・評価し、上回る場合にはその対策を講じることとなっている。

最下位指標に対して、実際の運用にあたっては必ずしも定量的な入力データが得られない場合等は、一対比較によって評価を行なうことは可能である。中間評価ではこうした手法を用いたが、最終評価では、環境については、できる限り定量的なデータが得られ、差別化できる指標を評価することとする。

なお、環境影響物質が発生しただけでは、直接的に環境への影響があるとは言えないものの、発生があるよりは発生がないほうが好ましいとする考え方もある。これを環境影響とするのか、それとも、発生量の評価は、環境影響低減性よりもむしろ社会的受容性の評価因子の1つとしても捉えるべきなのか議論がある。なお、事故時と通常運転時を統合して考えることにより、環境影響低減性と安全性を1つの構造にまとめ得る可能性も考えられる。これらを今後の検討課題としてあげておく。

3.6.2.5 資源供給性の評価指標

資源供給性についても、FBR サイクル候補概念間比較における資源有効利用性に類似した評価視点である。しかし、相互に特性の類似した FBR サイクル候補概念間比較の資源有効利用性とは異なり、より幅の広い指標を含んでいる。

一次指標として、まず、単位発電量あたりの資源量を比較することとする（kWh あたり資源量）。これを算出するに当たって、システム発電効率や燃焼度（軽水炉、FBR）、転換（増殖）比等のパラメータが考慮される。なお、いくつかの異なる種類の資源（天然ウラン、天然ガス、石炭）で比較するため、単位を統一する必要がある。

発電用燃料としての資源を節約するのであれば、発電以外の用途にも幅広く利用できる資源を節約したほうが資源有効利用性は高いと言えよう。例えば、発電以外にも表 3.6.4 のような用途が考えられる天然ガスと、ウラン資源とでは、天然ガスを節約するほうが“有効”であると考えられることができる。また、他用途にも使用可能な資源のほうが、そうでない資源と比較して価格変動

要因が大きい可能性も考えられる。

各資源が持つ性質として、確認可採埋蔵量などその資源の埋蔵量に関わる事項も評価指標となり得る。資源の埋蔵量は、可採年数（確認可採埋蔵量/年間生産量）で評価されることが多いが、技術革新などにより変化し得るものであるため、今後は究極埋蔵量なども指標に含めるべきであるか検討する。

既にエネルギーショック発生による経済性への影響については、経済性評価において検討した。その影響が同程度の場合には、資源の備蓄が容易であればリスクは軽減されるので、資源の備蓄性という指標を評価することが妥当と考えられる。資源の備蓄性についても、備蓄費用として経済性に含めるという考え方もあるが、中間評価では、その資源固有の性質として捉えて資源有効利用性の下位指標に含めた。

資源調達元政治的安定性は、エネルギー安全保障について評価するもので、世界の需給バランス安定性と我が国輸入先としての安定性という下位指標からなっている。総合資源エネルギー調査会総合部会エネルギーセキュリティワーキンググループでは、石油、石炭、天然ガス、ウランについて、供給削減等のリスクを比較するための定量化試算例を提示している⁹⁰⁾。このとき、2つの要素（世界の需給バランスに関するリスク、輸入相手国に関するリスク）を設定している。中間評価では、この検討に倣って資源調達元政治的安定性を評価することとしたので、以下で説明する。

世界の需給バランス安定性については、世界の総供給量に対する特定エリアの域外輸出量をリスク指標とし、“エリア間の取引度要因”と“特定エリアの輸出集中要因”の積として表している。世界を7つのエリア（北米、中南米、ヨーロッパ、旧ソ連、中東、アフリカ、アジア太平洋）に分け、各エリアに対する下式 のばらつき（標準偏差）を用いてリスクの程度を比較している。その結果、石油の標準偏差が8.0と最も大きく、天然ガス、石炭はそれぞれ1.7、0.9と評価されている。なお、原子力は、1.0となっているが、濃縮ウランの生産能力を用いているため、天然ウランとして評価すれば結果は異なることになる。

世界の需給バランスから見たリスク

$$= \text{エリア間の取引度要因} \times \text{特定エリアの輸出集中要因}$$

ここで、

$$\text{エリア間の取引度要因} = \text{世界の域外輸出量} / \text{世界の総供給量}$$

$$\text{特定エリアへの輸出集中要因} = \text{特定エリアの域外輸出量} / \text{世界の域外輸出量}$$

我が国輸入先としての安定性については、もともと、2つの要素（輸入相手依存度、輸入先の政治的・経済的不安定度）により評価される。前者は、各資源のエリア別輸入偏在度を用い、後者には、Euromoney誌に掲載される“Country Risk”を加工(国別の数値をエリアごとに集計)したものを用いている。資源別、エリア別の各要素について両者の積を求めたマトリックスより資源ごとに算出した分散をリスクの大きさを表す指標として比較している。結果として、石炭、原子力についてはリスクが小さくなり、天然ガスは石油の2倍程度のリスクを持つという結果が得られている。そこで、我が国輸入先の安定性として、まとめて最下位指標として評価することとした。

なお、フェーズでは、資源性の下位指標に導入限界量の概念を盛り込む議論もなされたが、LNGおよび石炭火力、原子力（LWR、FBR）等について、物理的な導入限界量は想定する導入

量よりも十分に大きいとし、評価指標に含めないこととした。

資源供給性の下位指標に関しては、まず、以下のとおり、資源の節約性に関する指標とそれ以外の性質に関する指標に分類し、前者の重みを大きいと考えて重み付けを実施する。

A：資源の節約性に関する指標

- 必要資源賦存性（賦存量が小さい資源ほど単体量節約あたりの効果が大きい）

B：資源の節約性以外の資源の性質に関する指標

- 他用途性
- 備蓄性
- 資源調達元政治的安定性

その結果、資源供給性の評価構造を図 3.6.5 のとおりに設定し、下位指標それぞれの重みを表 3.6.5 のとおり設定した。

3.6.2.6 社会不安定影響性の評価指標

社会不安定影響性は、FBR サイクル候補概念間比較における核拡散抵抗性を拡張した評価視点である。中間評価において、核拡散抵抗性では詳細な評価構造を設定したが、より多様な電源を比較するにあたって、社会秩序への悪影響一般を評価することを明確にするために、社会不安定影響性として他電源比較に取り入れることとした。ただし、評価構造としては、電源の悪用（転用等）の容易さとその結果の程度で評価するという簡易なものとなった。社会不安定影響性の評価構造を図 3.6.6 に示す。

ただし、実際には、原子力の悪用は想定しやすいものの、他の電源ではテロに巻き込まれる場合以外には大きな悪用の対象として考えにくい面があるので、今後評価構造なども改良していく。

社会不安定影響性の下位指標の重みについては、悪用の容易性と悪用のインパクトの両者とも、同等の重みがあると設定した（表 3.6.6）。

3.6.2.7 技術的実現性の評価指標

評価対象とする他エネルギー源、特に小規模電源には、いわゆる新エネルギーと呼ばれるものが含まれている。それらエネルギー源の特徴を評価するにあたり、導入の可能性（技術的な実現性など）は、重要な視点の1つになると考えられる。フェーズ 最終評価のために設定した評価構造を図 3.6.7 に示す。技術的実現性は、技術的実現性と研究開発受容性、研究開発柔軟性から構成される。

技術的実現性に関しては、FBR サイクル候補概念間比較で評価視点の1つとなっており、ここでも同様の趣旨で評価する。しかし、設計を実施している FBR サイクル候補概念間比較においても、幅に関するデータを得ることは難しいが、特に新エネルギーをはじめとして、他電源比較においては、開発期間や資金などの幅に関するデータを得ることは容易でない。したがって、開発期間や開発資金、開発することが必要な技術の3下位指標から技術的実現性を評価することとした。

技術的実現性の下位指標の重みに関しては、すべて同等の重みを持つと設定する（表 3.6.7）。なお、開発期間と開発資金を合わせると FBR サイクル候補概念間比較評価における技術的実現性評価の開発容易性に相当すると考えられる。これに対して、未開発必要技術はそれらの不確実さ（開発リスク）に対応するとも考えられる。なお、FBR サイクル候補概念間比較評価でもここでの設定と同様に両者の比を2対1程度と設定している。

3.6.2.8 心理的バイアス低減性の評価指標

心理的バイアス低減性は、電源に対する公衆の捉え方を評価するための指標である。FBR サイクル候補概念間比較では、社会的受容性という指標となっている。ある意味では、全ての評価視点が社会的受容性（心理的バイアス低減性）に係るとも考えられる。しかし、フェーズ 中間評価では、この評価視点を技術的評価と心理的評価のズレを表現するものであると考えて整理し、最終評価でも同様の考え方に基づいて評価構造を構築した。

当初、さまざまなリスク認知研究などの結果を活用して、心理的バイアス低減性の評価構造を検討したが、必ずしも発電システムに対する指標だけではなく、様々な科学技術やその応用製品に対して一般的に適用され得る指標も含まれた。中間評価では、電源を比較評価する目的に絞った構造に整理するために、いくつかの指標を除外することとした。例えば、被害者身元判明可否（未知性の下位指標）は、事故等の被害者が見分けられるか否かという指標として想定したが、事故の性質や規模によりケース・バイ・ケースであると考えられることから、電源システムに対する定量評価および対比較ともに困難であり、中間評価時の評価指標からは除外した。同様の理由で、構造中に含まれる可逆性（恐怖性の下位指標）も除外することを検討したが、この指標については、各電源に対して最悪の事故やトラブルを想定した場合の可逆性を判断することで指標構造に含めた。また、フェーズ の後半では、社会的受容性について検討が行われており、FBR サイクル候補概念の評価手法開発と評価（3.1.2.8 および 3.3.8 参照）や広報ツールなども作成された。

このような検討を経て最終評価にあたって設定した評価構造を図 3.6.8 に示す。また、設定した重みについては表 3.6.8 に示す。

心理的バイアス低減性には、さまざまな観点が含まれている。恐怖性や未知性は、リスク認知に関する大きな要因とされており、それらを構成する要素も大差はないものの、研究者によっていろいろなものが提案されている。また、これらの指標は、FBR サイクル候補概念間の比較にも用いられている。

その他事項は、便益などにも関連する指標である。便益が直接的ならば、心理的にはその便益を大きく感じるとされている。また、報道機関の注目度についても、安定した技術の特性ではないと考えられるが、心理的バイアスを検討する場合には重要な要素である。また、不利益性に関しては、リスクの属性というより、評価者とリスクとの関わりを評価する指標であると考えられる。事故時不利益の大きな指標に関しては、やはり嫌悪感が働くものと考えられる。

下位指標の重みに関しては、基本的にいずれの指標も均等としたが、周知度と理解度については理解度の方が大きいと判断して重みを大きくした。

3.6.2.9 事業容易性の評価指標

フェーズ 最終評価では、FBR サイクルでも、電気供給事業を行なう際に容易な電源の方が望ましいとの観点から、社会的受容性から事業容易性という評価視点を独立させた。各種の電源を比較する際にも、同様の観点から評価することは有意義であると考えられる。

基本的には、FBR サイクル候補概念間比較用の評価構造と同様であるが、高増殖比や分離・核変換等への対応能力を見るための指標であるサイクル変更多様性については、他電源との比較評価においては、評価指標から除外する。設定した評価構造を図 3.6.9 に示す。

事業容易性の下位指標の重みについても、主に FBR サイクル候補概念評価用に設定した重み

を参考として設定した（FBR サイクル候補概念に関しては、アンケート結果も勘案して設定された）。サイクル変更多様性については除外したので、その分は事業容易性の重みとしている。下位指標の重み付けについて設定した結果を表 3.6.9 に示す。

3.6.3 他電源比較の評価基準

これまで、検討した評価構造に対して、以下のとおり評価の基準を設定した。中間評価までに定量的データを得ることが困難な指標は、段階的評価を行なうこととした。

3.6.3.1 評価基準の規模依存性

さらに大規模電源と中小規模電源に関する評価基準を区別して整理する。すなわち、原則として以下の考え方によって基準を設定した。

- 規模に関係しない指標（kWeあたり、kWhあたり、燃料の性質に関わる指標など）は大規模と中小規模で同一の基準を用いる。
- 規模に関係する指標（「必要資源賦存性」、「災害の大きさ」など）導入目的によって基準が大きく異なると考えられる指標（経済性に関わる指標）については、大規模、中小規模に対して、それぞれの基準を設定する。

同一基準とするか否かは表 3.6.10 のとおりとした。定量評価指標については、「同一基準」とするものは対象 8 電源で平均と標準偏差を、「同一基準としない」ものは大規模、中小規模のそれぞれについて平均と標準偏差をとることとした。

3.6.3.2 定量評価基準

効用関数は、満足値（最大満足値：効用値 = 1.0、中間満足値：効用値 = 0.5、最低満足値：効用値 = 0）を定めることにより設定する。他電源比較における満足値は、“電源間の差を十分に表す”ことを念頭におき、以下の方針に従って設定した。大規模電源に関する設定内容は表 3.6.11 のとおり。また、小規模電源に関する設定内容は、表 3.6.12 のとおりである。

- (1) 最大満足値、最低満足値：それぞれ、評価対象電源の平均値と標準偏差から、上位 10%の範囲に入ると考えられる値と下位 10%の範囲に入ると考えられる値を設定する。
- (2) 中間満足値：評価対象電源の平均値とする。

3.6.3.3 段階的(定性)評価基準

他電源との評価は、FBR サイクル候補概念間の比較評価に比べてデータの入手が難しい。評価基準を作成でき、かつ定量的なデータを得られる指標に関しては、3.4.3.1 で記述したように定量的に評価を実施するが、そのためのデータが存在しない評価指標に関しては、段階的(定性)評価を実施する。そのときは、評価指標ごとに 5 段階の基準を設けて評価することを基本とした。設定した評価基準を表 3.6.13 に示す。また、基準ごとに与える効用値は、以下の考え方によって設定している。

- (1) 5 段階の最低基準の効用値を 0 とするが、かなり極端なケースとして設定する。
- (2) 5 段階の最高基準の効用値を 1 とするが、かなり極端なケースとして設定する。
- (3) 現状の LNG 火力発電のレベルを 0.5 程度に設定する。なお、技術的実現性については、現状の LNG 火力は 1 と設定する。

3.6.4 他電源比較における入力値設定

他電源との比較評価では、FBR サイクル候補概念以外のデータを中心に新たに入力データを設定する必要がある。ここでは、経済性、環境影響低減性等、評価視点別に評価で用いた定量的データを中心に説明する。データの設定に関しては、FBR サイクル候補概念間比較で用いたような詳細な手法ではなく、やや簡易的な手法を用いても各種電源の特性を共通の枠組みで把握・比較できるデータを揃えることを重視した。また、他電源比較で新たに設定する火力発電等の入力値を中心に説明する。なお、フェーズ 中間評価と同様と考えられる部分は、そのまま設定した。

3.6.4.1 経済性関連データ

大規模基幹電源、中小規模（僻地）電源の順番で、経済性評価関連データを電源別に述べることとするが、データ等に共通部分もある火力発電等は、それらを共通に述べる場合もある。発電原価データの設定等については、共通の手法で実施できることを重視して、主に資本費に相当する固定費、運転維持費と燃料費に相当する変動費の両者から算出するやや簡易的な手法（年経費率法）を用いた。

(1) 発電原価等

(a) LNG 火力発電（複合サイクル）の発電原価

まず、電力会社が最近、実際に設置した発電所の建設単価の中で、LNG 火力として安価だった事例を表 3.6.14 に示す⁹¹⁾⁹²⁾。

発電原価に関しては、平成 11 年 12 月に開催された総合エネルギー調査会第 70 回原子力部会において、以下の一定の前提をおいたモデル試算により、1kWh あたりの発電原価を提示している¹⁴⁾。前提条件、および試算結果とその内訳は表 3.6.15 のとおり。LNG 火力のモデルプラントは、同表に示したとおり全てコンバインドサイクルであり、建設単価は、203,000 円/kWe とされている。

また、他の発電コスト想定事例として、国際応用システム研究所（International Institute for Applied System Analysis: IIASA）のもとで日本原子力研究所が参加して実施された長期エネルギーシステムの最適化モデル MARKAL を用いた解析で設定した表 3.6.16 に示すような発電技術特性データ（抜粋）が発表されている⁹³⁾。ここでは、LNG 火力発電所の建設費として 25.6 万円/kWe と設定されている。

図 3.6.10 に、LNG の我が国 CIF 価格⁹⁴⁾を、また、図 3.6.11 に World Energy Outlook 2002 による天然ガス価格長期見通しを示した⁹⁵⁾。天然ガスの価格は長期的に上昇傾向となる見通しであるが、その上昇幅は大きくない。また、我が国輸入価格には、運搬費や保険料も含まれており、さらに為替レートの影響も直接受ける。そのため、燃料価格の将来予測は非常に困難であり、入力値設定としては、過去 10 年の平均値的な価格である 24,720 円/t を 2005 年における値とし、価格上昇率 0.27%/年 を用いて 2030 年における価格を算出すると、26,444 円/t となる。World Energy Outlook 2004（要約版）⁹⁶⁾によると、世界中の天然ガス需要は 2030 年までに 2 倍になると予想されるが、天然ガス埋蔵量は十分需要を満たすことができるとしている。

また、年間の運転費および燃料加工費については、フェーズ 中間評価の結果と同様にそれぞれ 8,000 円/kWe および 6.5 円/kg（6500 円/t）とおく。

LNG 火力発電の建設単価等については、フェーズ 中間評価と同様に上記事例のうち最も安い水準となることを想定して設定し、発電原価を算出すると以下ようになる。

- ・建設単価：110,000 円/kWe
- ・金利：2%
- ・耐用年数（償却期間）：15 年
- ・年経費率：0.078
- ・運転費（1 年あたり）：8,000 円/kWe
- ・稼働率：90%
- ・LNG 価格：26,444 円/t
- ・LNG 発熱量：13,300kcal/kg
- ・発電効率：65%
- ・燃料加工費：6,500 円/t

$$\begin{aligned} \text{資本費} &= (\text{建設単価} \times \text{年経費率} + \text{運転費}) \div (365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間}) \times (\text{稼働率}/100) \\ \text{燃料費} &= (\text{LNG 価格} + \text{燃料加工費}) \div \text{LNG 発熱量} \div 1,000 \times 860 \div (\text{発電効率}/100) \\ \text{資本費} &= 2.10 \text{ 円/kWh} \\ \text{燃料費} &= 3.28 \text{ 円/kWh} \\ \text{合計} &= 5.37 \text{ 円/kWh} \end{aligned}$$

(b) 石炭火力発電(石炭ガス化複合発電: Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC))

FBR サイクル導入時期における将来の電源を想定するので、石炭火力発電技術として、ここでは、フェーズ 中間評価に倣って石炭ガス化複合発電を想定した。フェーズ 最終評価の入力値としても、フェーズ 中間評価と同様に kWe あたり 25 万円を用いることとする⁷³⁾。

石炭の価格は、World Energy Outlook2002 による将来見通しは図 3.6.12 のようになっている。また、図 3.6.13 に示したように、過去数年ほぼ一定水準で推移している。ここでは、LNG 価格想定と同様に総合エネルギー調査会における想定を参考にし、現状価格(約 6,200 円/t: 2005 年)から、上昇率 0.77%/年を仮定して 2030 年における将来価格を算出する。

上記以外の設定については、上記 LNG 火力における設定値と同様として、発電原価を年経費率法により算出すると以下ようになる。

- ・建設単価：250,000 円/kWe
- ・金利：2%
- ・耐用年数（償却期間）：15 年
- ・年経費率：0.078
- ・運転費（1 年あたり）：8,000 円/kWe
- ・稼働率：90%
- ・石炭価格：7,510.6 円/t
- ・諸掛：2,000 円/t
- ・石炭発熱量：6,354kcal/kg（エネルギー・経済統計要覧 2005 より：一般炭（輸入）の 2000 年からの平均価格を使用）
- ・発電効率：55%

固定費 = (建設単価×年経費率 + 運転費) ÷ (365 日×24 時間) ×稼働率/100
燃料費 = (石炭価格 + 諸掛) ÷ 石炭発熱量 ÷ 1,000 × 860 ÷ (発電効率/101) 発電原価等

固定費 = 3.48 円/kWh
燃料費 = 2.34 円/kWh
合計 = 5.82 円/kWh

(c) 原子力(再処理なし(ワンススルー)、再処理あり、FBR)の経済性

軽水炉サイクルの発電原価としては、実用化戦略調査研究における評価手法を用いて以下の値を想定する。また、軽水炉の建設単価は、19 万円/kWe、FBR は 18 万円/kWe を想定値(原子力の設定値は基本的に設計データや他の検討結果等に基づく)とする。

再処理なし: 3.2 円/kWh
再処理あり: 3.6 円/kWh
FBR サイクル: 2.3 円/kWh

耐用年数は法定耐用年数をもとに、それぞれ 16 年とする。

(d) 離島用ディーゼル/風力ディーゼルハイブリッドシステムの経済性

小規模 FBR の競合相手として、想定したディーゼル発電は、いわゆる離島用のディーゼル発電である。離島用のディーゼル発電のコストは、設置される場所によって kWh あたり 30 円程度から同 90 円程度まで様々である。これは、主として燃料の単位量あたり輸送費用が場所と量に依存して大きく異なることが要因である。フェーズ 最終評価では、風力ディーゼルハイブリッドとして、NEDO で開発目標としている仕様を入力データとして利用することから、NEDO の設定値(http://www1.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey04/ey04_p.html)⁹⁸⁾を用いることを基本とする。

なお、同開発目標は、“設備利用率 30%、工事単価 15 万円/kWe、金利 6%の場合”であり、これは発電原価として約 7 円/kWh に相当する。よって、同開発目標の想定では、発電電力量の比として、風力発電:ディーゼル=約 60%:約 40% を想定していると考えられる。以下、環境負荷低減性等におけるデータ設定において、風力:ディーゼルの発電電力量比で概算する場合には、この比率を用いることとする。

また、ディーゼル発電機の kWe 単価は、株式会社三菱総合研究所の調査結果⁷¹⁾により、約 10 万円/kWe と想定することとする。このとき、ディーゼル発電の発電効率を 50%とした。

(2) 発電原価変動幅(エネルギーショック時)

(a) LNG 火力発電(複合サイクル)の発電原価変動幅

我が国の原油、LNG、一般炭輸入価格推移を図 3.6.13 に示す⁹⁷⁾。LNG 輸入価格は 1972 年までは固定価格であり、その後、原油輸入価格にリンクした価格フォーミュラによるものへと移行した(ただし、価格フォーミュラは LNG 売買契約ごとに異なり、公表されたものはほとんどない)。ここでは、今後も LNG 価格について原油輸入価格リンクが続くという仮定のもとに、LNG 価格変動に関する各パラメータを設定することとする。

従って、LNG に関するエネルギーショック発生確率は、原油価格に影響するエネルギーショック発生確率として設定する。図 3.6.13 によれば、原油価格の急激な上昇は以下に記すように 1965～2003 年で 4 回（2003 年以降、イラク戦争以来の高騰を含めれば 5 回）見られている。

- ・ 第一次オイルショック（1972～1974 年）
- ・ 第二次オイルショック（1979～1980 年）
- ・ 湾岸戦争（1990 年）
- ・ OPEC による減産（1999～2000 年）
- ・（イラク戦争以降の高騰（2003 年～））

OPEC 減産による原油価格上昇はオイルショックとは区別されることもあるが、価格を急上昇させる要因であるため、ここではエネルギーショックの 1 つとして取り上げることとする。一方、イラク戦争以降の原油価格上昇は、数ヶ月間にわたって徐々に上昇するものであり、現在も継続しているように考えられるため、ここでは、エネルギーショックには含めないことにする。やや保守的な評価かもしれないが、エネルギーショックは、37 年間で 4 回、すなわち 1 年間に約 10.8% の確率で発生すると想定する。

フェーズ 中間評価や投資対効果評価においても、エネルギーショック発生時の原油価格上昇率を、過去のエネルギーショック時の大まかな原油価格上昇実績値を用いてその平均値をとることにより想定した。フェーズ 最終評価でもその考え方を踏襲することとする。表 3.6.17 から上記 4 回のエネルギーショック時における原油および LNG 価格の大まかな上昇率の平均値を求めると、原油、LNG それぞれ約 160%、約 110% の上昇率である。

(b) 石炭火力発電（複合サイクル）の発電原価変動幅

石炭火力についても、LNG 火力と同様に、過去 37 年におけるエネルギーショックを 4 回と考え、エネルギーショック発生確率を 0.108 回/年、また、エネルギーショック時燃料価格上昇幅を表 3.6.17 より約 30% と想定する。kWh あたりに換算すると、約 0.7 円/kWh となる。

(c) 原子力発電の発電原価変動幅

燃料（の原料）であるウランの価格推移を図 3.6.15 に示す。1970 年代後半に高騰してはいるものの、図 3.6.13 に示したエネルギーショック時の明らかな価格上昇は見られない。また、ウランの輸入は財務省通関統計等では明らかになっていない（企業間の契約による）が、長期契約に基づく輸入が多くを占めると考え、短期的な価格変動も無視しうると考える。よって、発電原価変動幅はゼロを入力値とする。

(d) 離島用ディーゼル/風力ディーゼルハイブリッドの発電原価変動幅

ここでは、原油の価格変動幅（%）を燃料価格変動幅（%）とみなして算出する。表 3.6.17 より、過去 37 年におけるエネルギーショックを 4 回と考え、エネルギーショック発生確率を 0.108 回/年、燃料価格上昇幅を 160% とし、過去 5 年間の原油 CIF 価格の平均を 20,000 円/kl とすると、kWh あたり 6.4 円となる。

(3) 発電原価変動幅（安定供給時）

(a) LNG 火力発電（複合サイクル）の発電原価変動幅

財務省貿易統計により月ごとの LNG 輸入数量や CIF 単価が発表されている。ここでは、1998 年 1 月から 2005 年 6 月までの LNG 価格推移から、1 年間の LNG 価格変動幅を設定する。1 年ごとに CIF 価格の最高と最低の差を求めると表 3.6.18 のようになる。また、図 3.6.14 に示した各月データの標準偏差を求めると、約 4,350 円/t となっている。ここでは、この標準偏差 (= 4,350 円/t) を、LNG 価格変動幅として設定することとする。安定供給時の LNG 価格変動幅は 16% となる。

石炭火力についても同様に、1998 年 1 月から 2005 年 5 月までの、各月の一般炭輸入価格の標準偏差 (約 809 円/t) を安定供給時の価格変動幅の指標とする。変動幅は 10.8% となり kWh あたりに換算すると、約 0.25 円/kWh に相当する。

(b) 石炭火力発電 (複合サイクル) の発電原価変動幅

LNG における設定と同様に、1998 年 1 月から 2005 年 5 月までの、各月の一般炭輸入価格の標準偏差 (約 809 円/t) をもって安定供給時の価格変動幅の指標とする。変動幅は 10.8% となり、kWh あたりに換算すると、約 0.25 円/kWh である。

(c) 原子力発電の発電原価変動幅

価格推移からはエネルギーショック時にも価格変動は見られなかった。ウランの輸入は財務省通関統計等では明らかになっていない (企業間の契約による) が、長期契約に基づく輸入が多くを占めると考え、短期的な価格変動も無視しようとする。よって、発電原価変動幅はゼロを入力値とする。

(d) 離島用ディーゼル / 風力ディーゼルハイブリッドの発電原価変動幅

過去 5 年間ににおける年度内原油 CIF 価格変動幅 (年度内最高値 - 最安値) は、平均で 7,000 円 /kl 程度である。ここから、1.3 円/kWh を入力値として用いることとする。

(4) 投資回収年

投資回収年数を設定するにあたっては、発電した電気の売電価格を設定する必要がある。将来の売電価格設定は非常に困難であることから、ここでは、大規模、中小規模のそれぞれについて、“発電原価が最も高い発電システムでの投資回収が 15 年となるような売電価格”を設定することとする。

投資回収年は、以下の式によって簡易的に算出する。ここでは、設備投資額を減価償却し、加えて利益で返済できるとの考えに基づいている。投資回収の期間は、FBR サイクル候補概念の評価でも実施したが、ここで用いた手法はそれほど詳細なものではない。

投資回収年 = 設備投資額 / 平均キャッシュフロー

キャッシュフロー = 利益 + 減価償却費

各種電源システムに対する試算結果を表 3.6.19 に示す。

3.6.4.2 環境負荷低減性 (放射性廃棄物含む) 関連データ

(1) 放射性廃棄物発生量

放射性廃棄物に関しては、火力発電等も通常運転時に放射性廃棄物が発生することが想定できるものの、原子力以外では発生量をゼロとする。この設定については今後の課題であると思われる。原子力については、それぞれの燃料サイクルを想定したときの値を設定する。他の環境関連の設定値を含めて放射性廃棄物発生量はに示す。

(2) 大気汚染物質

フェーズ 最終評価でも、中間評価と同様に大気汚染物質として、窒素酸化物および硫黄酸化物を考慮することとした。窒素酸化物、硫黄酸化物の排出量に関しては、電力会社から実績値が報告されている事例があるが、火力発電所を平均とした値となっており、燃料種別に分類した公表はなされていない。大気汚染物質については、フェーズ 中間評価で用いた手法を準用し、現行火力発電所からの窒素酸化物、硫黄酸化物の排出量を推定した上で、発電効率向上分等を考慮して入力値を設定する。具体的には、東京電力が発表した各燃料からの SO_x、NO_x 排出原単位と発電電力量費率から、燃料別の排出原単位を推定するが、推定に用いたデータを表 3.6.20 に示す。

排出原単位は、燃料やプラントの仕様により異なるが、ここでは以下のように仮定して算出する。すなわち、石炭、石油、LNG による SO_x 排出原単位 (SO_x 石炭、SO_x 石油、SO_x LNG) と各発電電力量 (電力量石炭、電力量石油、電力量 LNG) は次の関係を満たすとする。

$$\begin{aligned} \text{電力量石炭} \cdot \text{SO}_x \text{石炭} + \text{電力量石油} \cdot \text{SO}_x \text{石油} + \text{電力量 LNG} \cdot \text{SO}_x \text{LNG} &= 0.17 * \text{全電力量} \\ \text{SO}_x \text{石炭} : \text{SO}_x \text{石油} : \text{SO}_x \text{LNG} &= 100 : 65 : 0 \end{aligned}$$

NO_x 排出原単位についても、同様の関係式が成り立つとする。以上から、現行火力発電の排出原単位が表 3.6.21 のように推定される^{100)~102)}。

この推定は、2003 年における東京電力発表の値¹⁰⁰⁾を用いており、対象となる LNG 火力の平均発電効率は約 42%程度であったと考える。ここで、LNG 火力発電の発電効率は 65%と想定するので、排出原単位は、表 3.6.21 の値の 45/65 倍程度になると想定し、窒素酸化物排出原単位を、 $0.13 \times 42 / 65 = 0.08$ とする。また、原子力発電システムからの排出量はゼロと設定する。なお、評価にあたって設定した値は、同様に示す。

(3) 地球温暖化物質

地球温暖化物質としては、CO₂のみを考え、数値としては、本藤・内山(電力中央研究所)らの評価結果(図 3.6.16 参照)を用いる。

(4) LNG 火力発電(複合サイクル)の資源供給性

1) システム発電効率

LNG コンバインドサイクルの発電効率は 65%を達成すると想定する。

3.6.4.3 資源供給性関連データ

(1) 必要資源賦存性

この指標は、ある導入規模である年数を運転したときに必要となる資源の量を算出し、確認可採埋蔵量との比で表される量とする。まず、LNG を含む各種電源用燃料を用いて発電するとき

に必要となる資源量を、表 3.6.22 のように算出する。天然ガス、石炭、石油の確認可採埋蔵量は、それぞれ、156 兆m³、984,211 百万トン（石油資料月報⁹⁴⁾）、143,561,643,836 トン（BP 統計¹⁰⁴⁾）である。上で算出した各資源の必要量との比をとると、

- ・ LNG 火力に用いる天然ガス： 1.56%
- ・ IGCC に用いる石炭：0.44%
- ・ 離島ディーゼルに用いる重油（石油に対して）：0.07%

となる。この値を、必要資源賦存性の設定値として使用する。なお、中間評価と同様に、原子力については以下の値を用いる。

- ・ 軽水炉ワンスルー：12%
- ・ 軽水炉（再処理あり）：8%

(2) 発電以外に消費する割合

フェーズ 中間評価と同様に、総合エネルギー統計¹⁰⁵⁾によれば、天然ガスまたは LNG の一次エネルギー供給量のうち、発電以外の目的に消費される割合は、天然ガス・LNG のエネルギー転換および最終エネルギー消費において、電気事業者による以外の消費量の割合として表すことができる。各資源の発電以外消費割合を図示したものが図 3.6.17 である。その中の最新値を発電以外に消費する割合のデータとして用いることとする。

(3) 運輸・民生部門消費割合

一次エネルギーの運輸・民生部門消費割合についても、総合エネルギー統計を参照¹⁰⁵⁾して値を設定する。フェーズ 中間評価と同様に算出すると、各資源の最終エネルギー消費における民生・運輸部門の割合は、

LNG：約 60%
石炭：0%
重油：約 47%
ウラン：0%

である。この値を評価用データとして用いることとする。

(4) 世界需給バランス安定性

フェーズ 中間評価と同様に、総合資源エネルギー調査会総合部会エネルギーセキュリティワーキンググループでは、石油、石炭、天然ガス、ウランに関する供給削減等のリスク比較定量化が検討された⁹⁰⁾。そこで使用されている二つの指標（世界の需給バランスに関するリスク、輸入相手国に関するリスク）のうち前者を、設定値として用いる。

世界の総供給量に対する特定エリアの域外輸出量をリスク指標とし、“エリア間の取引度要因”と“特定エリアの輸出集中要因”の積として表している。世界を 7 つのエリア（北米、中南米、ヨーロッパ、旧ソ連、中東、アフリカ、アジア太平洋）に分け、各エリアに対する下式 のばらつ

き（標準偏差）を世界の需給バランスに関するリスクの大きさを表す指標としている。図 3.4.14 に算出結果を再掲した。

7つのエリアについて 式を算出し、その標準偏差をリスク指標の大きさと考える。

世界の需給バランスから見たリスク

$$= \text{エリア間の取引度要因} \times \text{特定エリアの輸出集中要因}$$

$$\text{エリア間の取引度要因} = \text{世界の域外輸出量} / \text{世界の総供給量}$$

$$\text{特定エリアへの輸出集中要因} = \text{特定エリアの域外輸出量} / \text{世界の域外輸出量}$$

(5) わが国輸入先としての安定性

総合資源エネルギー調査会総合部会エネルギーセキュリティワーキンググループの検討結果を援用する点はフェーズ 中間評価と同様である⁹⁰⁾。「我が国の輸入相手エリアに関するリスク」と表現されたこの指標は、二つの下位指標（輸入相手依存度、輸入先の政治的・経済的不安定度）により評価している。前者は、各資源のエリア別輸入偏在度を用い、後者には、Euromoney 誌に掲載される“Country Risk”を加工(国別の数値をエリアごとに集計)したものをを用いている（表 3.6.23 参照）。資源別、エリア別の各要素について両者の積を求め、資源ごとに算出した分散をリスクの大きさを表す指標として比較している。結果からは（表 3.6.24 参照）石炭、原子力は輸入先としてのリスクが小さく、天然ガスは石油の 2 倍程度のリスクを持つという結果となっている。

3.6.5 他電源比較の評価結果と FBR サイクルの開発と導入による効果

3.6.5.1 評価視点間の重みを付けない評価結果

上の設定値を基にして、各大規模電源の特徴を示すためのレーダーチャートを図 3.6.19 に示す。また、同様に中小規模電源の特徴を示すためのレーダーチャートを図 3.6.20 に示す。

大規模電源の特徴として、FBR サイクルは経済性、環境負荷低減性、資源供給性に優れている。しかし、放射性廃棄物、社会不安定影響性、技術的実現性、事業容易性、心理的バイアス低減性については評価結果が低い。軽水炉サイクルも FBR サイクルと類似しているが、資源供給性の評価結果は高くない。軽水炉サイクルについては、再処理の有無でほとんど差は生じないが、経済性では再処理をしない方が、逆に資源供給性では再処理を行った方がわずかに良好となる。火力発電に関しては、原子力発電と対照的な結果が得られた。放射性廃棄物は非常に優れており、技術的実現性、社会不安定影響性などでは相対的に良い結果を得た。他方で、経済性と環境負荷低減性では評価結果は高くない。また、LNG 火力と石炭火力を比較した場合、LNG 火力の方が資源供給性ではやや評価が低いものの、経済性と環境負荷低減性では逆に評価結果がよくなった。

いずれにしても、全ての特性で良好な結果を得る電源はないことがわかる。

中小規模電源については、経済性、環境負荷低減性、資源供給性に優れるものの、放射性廃棄物、社会不安定影響性、心理的バイアス低減性に課題のある小規模 FBR サイクルと、放射性廃棄物、技術的実現性に優れ、社会不安定影響低減性と心理的バイアス低減性でもかなり良好な結果を得るものの、経済性、環境負荷低減性、資源供給性に課題のあるディーゼル発電との関係は、特性面からは大規模電源における原子力と火力の対比と類似した関係にあると考えられる。なお、事業容易性については、FBR では燃料交換不要の 30 年連続運転可能な炉心を想定している効果と、建設や廃止時の煩雑さが相殺されて、小規模 FBR とディーゼル発電と比較して評価結果にそれほど大きな差は生じなかった。風力ディーゼル発電は、ディーゼル発電と風力発電を組み合わせることで、技術開発が必要となり技術的実現性を犠牲にすることになるが、ディーゼル発電の持つ経済性、環境負荷低減性、資源供給性面のデメリットをかなり低減しており、放射性廃棄物を含めて各評価視点についてかなり良好な評価結果を得たといえる。

3.6.5.2 評価視点を重み付けした評価結果

(1) 大規模基幹電源の評価結果

各視点の評価結果（効用値）に、普通の市民、電気事業者、有識者へのアンケートより得られた評価視点ごとの重みを乗ずることにより、他電源比較評価結果を算出した。8 評価視点対象に重み付けした場合、8 評価視点から心理的バイアス低減性と事業容易性を除いた 6 評価視点（FBR サイクル候補概念の比較に主に扱われている視点）を対象に重み付けした場合、さらに社会不安定影響性と技術的実現性を除いた 4 評価視点を対象に重み付けした場合について評価を実施した。一例として 4 評価視点を重み付けした結果を図 3.6.21 に示す。なお、評価視点を減少させたときも、改めてクラスター分析を行うことはせず、8 評価視点の結果から近似的に評価視点を減少させたときの重みを算出して評価に用いた。

8 評価視点を対象に重み付けした結果からは、普通の市民へのアンケート結果平均から算出した重みでは、原子力発電（FBR サイクルも含む）は火力発電よりも高い評価結果は得られなかった。しかし、電気事業者や有識者へのアンケート結果の平均から算出した重みを用いると最高の

評価を得たことがわかった。また、経済性重、資源供給性、環境負荷低減性をそれぞれ重視する重みに基づいて評価した場合には、FBR サイクルを含む原子力発電は高い評価が得られた。他方で、放射性廃棄物、社会不安定影響性重視、技術的実現性重視、心理的バイアス低減性重視に基づいて評価した場合には、評価結果が低くなる傾向にある。なお、8 評価視点の結果において事業容易性や心理的バイアス低減性等やや粗い評価結果も含んでいるため、評価結果についてはやや不確実性を有している。

今回評価の対象とした大規模電源の中では非常に似た電源である軽水炉サイクル(再処理なし)および軽水炉サイクル(再処理あり)の両者については、極めて類似した評価結果を得た。また、原子力発電であり核燃料を用いることから全体的な傾向は FBR と似ている。他方で、経済性や資源を重視した場合には軽水炉サイクルよりも FBR サイクルの方がかなり評価結果は良く、環境負荷低減性を重視した場合にも、軽水炉サイクルより FBR サイクルの方が、わずかに良好な評価結果を得た。

放射性廃棄物重視、社会不安定影響性重視、技術的実現性重視、心理的バイアス低減性重視の重みを用いた評価結果では、LNG 火力発電の評価結果が最も良好だった。LNG 火力発電は、全体的傾向としては FBR などの原子力発電と逆の特性を有しているが、経済性重視の場合以外は、総じて良好な評価結果を得ている。石炭火力発電も LNG 火力発電と類似した傾向を示したが、若干低めの評価結果となった。

6 評価視点を重み付けした場合には、FBR サイクル候補概念を比較した評価視点に合わせて事業容易性と心理的バイアス低減性を除外したところ、FBR サイクルの評価結果は上昇した。放射性廃棄物と社会不安定影響性を重視する重みを用いた場合以外は、良好な結果を得た。ただ、普通の市民へのアンケート平均の結果から算出した重み(放射性廃棄物や社会不安定影響性等を重視する)を用いたときは、LNG 火力には及ばないことがわかった。また、軽水炉サイクルについても、放射性廃棄物重視や社会不安定性影響重視のときには結果が伸びないものの、全体的には火力発電と比肩する結果となっている。

さらに定性的な評価を行っているため、相対的に評価結果の主観性と不確実の大きな技術的実現性と社会不安定影響性を除いて、定量的なデータを中心に評価可能な 4 評価視点を重み付けした場合には、放射性廃棄物を重視する重みを用いたとき以外は、FBR サイクルが最も高い評価結果を得た。また、軽水炉サイクルについても、火力発電を上回る結果となっている。また、4 評価視点に関しては、普通の市民へのアンケート結果平均から算出した重み、電気事業者や有識者へのアンケート結果の平均から算出した重みを用いたときの評価結果を棒グラフにて図 3.6.22 ~ 図 3.6.24 に示す。

結論として、設計データを基に各評価視点を重み付けした評価を実施すると、大規模 FBR は基幹電源として有望であり、競争力があるものであることが示された。特に評価視点として、経済性や資源供給性など工学的な評価視点を選ぶと、強みを発揮することが明らかとなった。また、有識者や電気事業者など専門家として電気事業やエネルギー分野に関わっている人は、FBR サイクルの長所も評価しているのではないかと推察される。逆に放射性廃棄物や核不拡散などに関わる価値観が重視される場合、必ずしも FBR サイクルが市民から強く望まれる電源とはならない可能性がある。

(2) 中小規模電源の評価結果

中小規模電源としては、僻地(寒冷地や離島など)での利用が可能な電源を比較対象とした。

8 評価視点に重みをつけて評価した場合、小規模 FBR は、大規模 FBR と類似した特性を持っている。やはり、普通の市民へのアンケート結果平均から算出した重みでは原子力発電（FBR サイクルも含む）は火力発電よりも高い評価結果は得られなかったが、電気事業者や有識者へのアンケート結果の平均から算出した重みを用いると高い評価を得た。8 評価視点の場合、中小規模電源では、さまざまな価値観でも比較的まんべんなく良好な結果を得たのは風力ディーゼル発電であった。これは、経済性、環境負荷低減性、資源供給性については、小規模 FBR に及ばないものの、他の評価視点では相対的に良好な評価結果だったからである。

8 評価視点から 6、4 評価視点と評価視点が減少していくにしたがって、FBR サイクルの評価結果が良くなる傾向は大規模電源の結果と変わらない。中小規模電源については、4 評価視点を対象に重み付けした結果を図 3.6.25 に示す。小規模 FBR の評価結果は高く、放射性廃棄物を重視する重みに基づく評価結果を除き、最も高い評価結果を得た。このとき、普通の市民の重み、電気事業者平均の重み、有識者平均の重みから算出した結果をそれぞれ図 3.6.26～図 3.6.28 に示す。4 評価視点の場合、風力ディーゼル発電は小規模 FBR には及ばないものの、かなり高い評価を得た。ディーゼル発電については、技術開発すべき要素のない電源であるため、技術的実現性を重視した場合は高い評価結果となった。ただ全体としては、ディーゼル発電は、当然ながら風力ディーゼルと類似した傾向にあり、その評価結果は風力ディーゼル発電と比べると若干低目となった。

中小規模 FBR は、大規模 FBR ほどの競争力はないように思われるものの、将来社会の想定による影響は大規模 FBR と類似した傾向が現れ、有望な電源となる可能性が示されたといえる。

3.6.5.3 FBR サイクル開発と導入による効果と留意点

今回のアンケートでは、将来社会を想定して、多様な評価視点のうち重視するものをアンケートの回答から導出した。今回比較対象とした大規模電源の中では、FBR サイクルは最も大規模な研究開発を必要とすることから、FBR サイクルの技術的実現性の結果は低くなる。しかし、普通の市民へのアンケートから得られたさまざまなクラスターの回答結果から算出した重みの違いが、（現在の人考える将来の価値観であるという限定は付くものの）、将来社会とその価値観の不確実性を表現していると考えれば、わが国が大規模 FBR サイクルという選択肢を持つておくことは、普通の市民の価値観に基づく評価結果を考慮して社会の不確実性を考えても十分に有意義であると思われる。

さらに、標本数が少なく結果の信頼性が高いとは言えないものの、普通の市民とは異なる価値観を持つであろう電気事業者の価値観やエネルギーや原子力に精通した専門家の価値観から算出した重みを用いた評価結果では、FBR サイクルは非常に高い評価結果を得た。普通の市民と電気事業者、有識者という代表的なステークホルダーが持つ価値観が異なり、その結果、望ましいと考える電源が異なるということは、当然のこととも言える。今後、お互いがそれぞれの立場や考え方を交換しあえる場を拡充することは重要である。今回の評価結果は、電気事業者や専門家の立場から FBR が望ましい電源であると考えられても、普通の市民の立場からはまた異なる場合も多いということを示したとも考えられる。

それぞれの評価結果の中で最高の評価結果を得た場合と最低の評価結果を得た場合の差を見ればわかるように、FBR サイクルは有望な電源と見なしてよいものの、かなり特徴のある電源であると考えられる。経済性、環境負荷低減性、資源供給性が重視される電気事業者平均や有識者平均（人数が少なく、個人ごとのばらつきも大きいので、参考として捉えるべき重みであることに

注意)による重みでは、FBR サイクルの評価結果は良好だった。これは、FBR サイクルは、経済性、環境負荷低減性、資源供給性の面からは優れており、それらを重視する場合には極めて望ましい電源と考えられる可能性が高いことを示す。

ただし、核燃料特有ともいべき放射性廃棄物や核不拡散の視点は、普通の市民へのアンケート結果から算出した重みでは重視されており、FBR サイクルを普通の市民が望ましいと考えるのか否かに関して、重要な要素になると考えられる。つまり、社会の中で放射性廃棄物や核拡散への嫌悪感や恐怖感が拡がり、それらを低減することが社会の至上命題となったときには、好まれない基幹電源となり得るし、逆にそれらの要素が適切に管理されることを社会が納得すれば、FBR サイクルは極めて望ましい基幹電源と考えられることが予測される。したがって、FBR サイクルの開発にあたっては、放射性廃棄物や核不拡散といった要素を市民が重視するという点には十分に配慮することが有益であることが示唆される。

3.6.6 他電源比較のまとめと今後の課題

フェーズ 最終評価でも、フェーズ 中間評価と同様に、他の電源との競合などを考える必要があり、FBR サイクルと他の電源の特性を評価することとした。フェーズ 最終評価では、FBR サイクルが導入されるときの競合電源を検討して対象とする電源を見直し、必要な指標の付加および削除等を実施することで評価構造の整理・改良などを行いたい。設計の進捗状況を勘案して、中小規模 FBR を比較対象にすることも検討する。中間評価で実施した電源とも併せて考察すると有益であろう。

他電源の比較に関しては、FBR サイクル候補概念よりも広範囲であるが、それほど詳細ではない評価構造を作成して評価した点は、中間評価と同様であるが、中間評価に対するコメントも踏まえて、評価対象を FBR サイクルと競合する電源に明確化することで絞り、評価指標も評価用データ入手可能性等の観点から整理した。やはり、サイクル機構で設計を行っていない電源の評価を実施することから、データの入手なども難しく、定量的評価よりも段階的（定性的）評価を中心とした試算を実施した。

大規模電源間で比較した対象である FBR サイクル、石炭火力、LNG 火力、軽水炉ワンスルー及び軽水炉（再処理あり）の中では、大規模 FBR は基幹電源として有望であり、競争力があるものであることが示された。特に評価視点として、経済性や資源供給性など工学的な評価視点を選ぶと、強みを発揮することが明らかとなった。また、有識者や電気事業者など専門家として電気事業やエネルギー分野に関わっている人は、FBR サイクルの長所も評価しているのではないかと推察される。逆に放射性廃棄物や核不拡散などに関わる価値観が重視される場合、必ずしも FBR サイクルが市民から強く望まれる電源とはならない可能性がある。

また、大規模電源間比較評価結果を用いて、FBR サイクル研究開発と導入による影響を総合的に考察した。FBR サイクルの開発を行うことは、それなりの資源を要して、技術的実現性の面を犠牲にすることになる。しかし、将来社会を想定して評価したとき、軽水炉単独では火力発電に比べて劣っていた資源供給性を FBR サイクルの開発・導入によって逆転し、もともと原子力が優れている環境影響低減性や経済性などの面でも、さらに良好な結果が得られた。したがって、FBR サイクルは、比較的大規模で長期の研究開発を要する点を差し引いても、原子力の劣った特性のかなりの部分を補完し、原子力の優れた特性を伸ばす効果を持つ電源であると要約できる。さらに FBR サイクルを火力発電と組み合わせることで、多様な将来社会によりよく対応可能な基幹電源を構成できる可能性も大きくなる。したがって、FBR サイクルは、将来社会の不確実性を考慮しても、研究開発を継続して実用化する価値を持っている。

小規模電源間で比較した結果、中小規模 FBR は、大規模 FBR ほどの競争力はないと思われるものの、将来社会の想定による影響は大規模 FBR と類似した傾向が現れ、有望な電源となる可能性が示されたと言える。なお、フェーズ 最終評価では、中小規模電源に関しては、FBR の僻地利用を想定して比較対象とする電源を見直したが、中間評価で実施した電源とも併せて考察すると有益であろう。

FBR サイクルは、経済性、環境負荷低減性、資源供給性の面からは優れており、それらを重視する場合には極めて望ましい電源と考えられる可能性が高いことが示された。ただし、核燃料特有ともいべき放射性廃棄物や核不拡散の視点は、普通の市民へのアンケート結果から算出した重みでは重視されており、かつ FBR サイクルの評価は低いものであるので、FBR サイクルの開発にあたっては、放射性廃棄物や核不拡散といった要素を市民が重視するという点に十分に配慮することが有益であることが示唆された。

今後の他電源比較に関しては、国際共同開発などの状況も踏まえて国際市場の観点から FBR サイクルを比較評価できる手法も重要となる。このときは事業化や現実的な市場競争などを反映可能な評価とすべきであろう。こうした手法の開発がフェーズ以降、実用化までの課題となると考えられる。

表 3.6.1 他電源比較の評価対象電源

規模	評価対象電源の種類
大規模 (合計 50GWe)	LNG 複合サイクル火力、石炭ガス化複合火力、軽水炉 (ワンスルーおよび再処理あり)、FBR サイクル
中小規模 (単機 50MWe、合計 3GWe)	ディーゼル発電、風力・ディーゼル発電ハイブリッドシステム

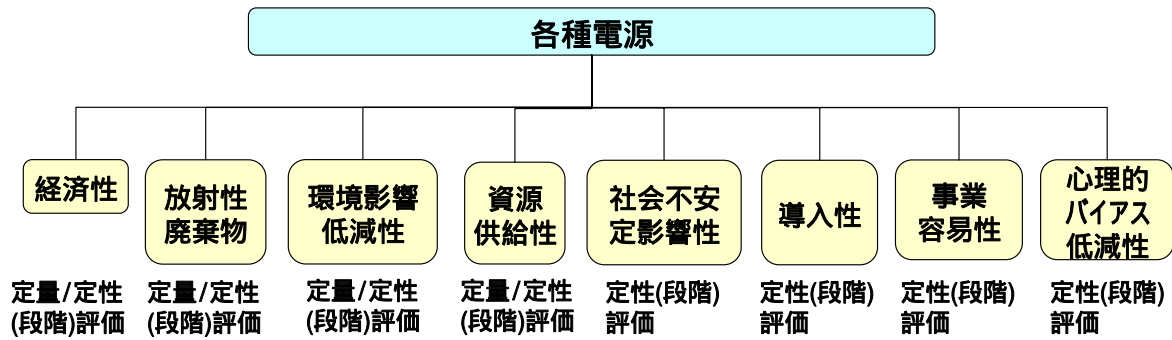


図 3.6.1 他電源比較の評価視点

表 3.6.2 経済性下位指標の重み付け

	発電原価	発電単価変動	投資リスク
発電原価	1	5	3
発電単価変動幅	1/5	1	1/3
投資リスク	1/3	3	1

指標	重み
発電単価	63.7%
発電単価変動幅	10.5%
投資回収性	25.8%

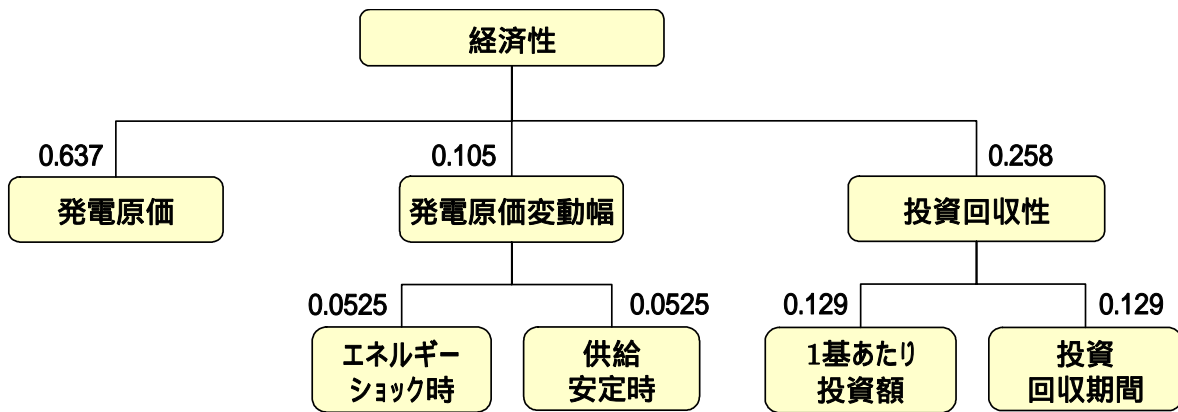


図 3.6.2 経済性の評価構造

表 3.6.3 放射性物質の下位指標重み付け

指標	重み
高レベル放射性廃棄物	20%
地層処分型低レベル廃棄物	20%
余裕深度処分型低レベル廃棄物	20%
浅地中ピット処分型低レベル廃棄物	20%
浅地中トレンチ処分型低レベル廃棄物	20%

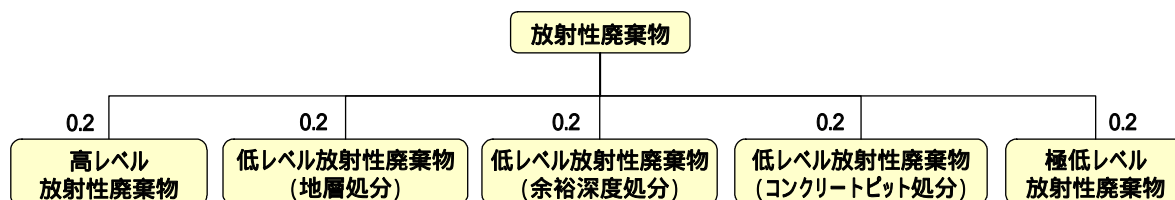


図 3.6.3 放射性物質の評価構造

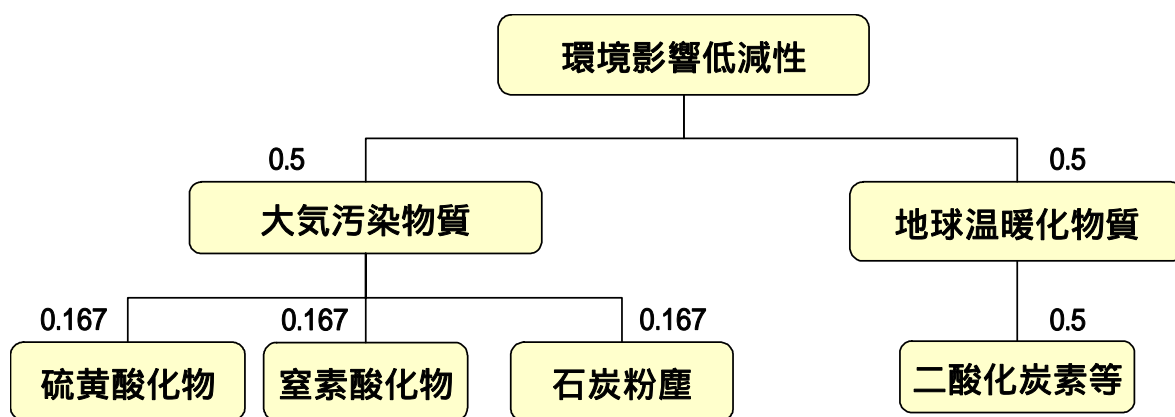


図 3.6.4 環境影響低減性の評価構造

表 3.6.4 天然ガスの発電以外の用途

エネルギー利用	都市ガス、天然ガス自動車燃料、燃料電池原燃料、等
合成ガス製造	水素、一酸化炭素、メタノール、ジメチルエーテル、等

表 3.6.5 資源供給性の下位指標の重み付け

	必要資源賦存性	他用途性	備蓄性	資源調達元政治的安定性
必要資源賦存性	1	3	3	3
他用途性	1/3	1	1	1
備蓄性	1/3	1	1	1
資源調達元政治的安定性	1/3	1	1	1

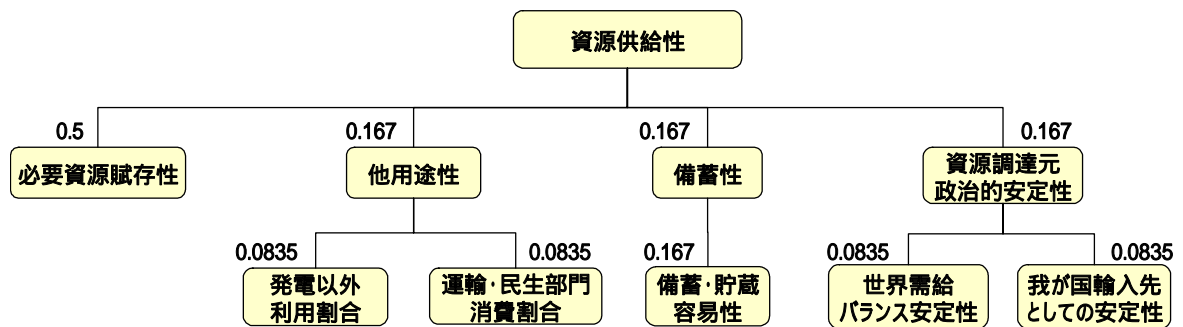


図 3.6.5 資源供給性の評価構造

表 3.6.6 社会不安定影響性の下位指標の重み

指標	重み
悪用の容易性	50.0%
悪用のインパクト	50.0%

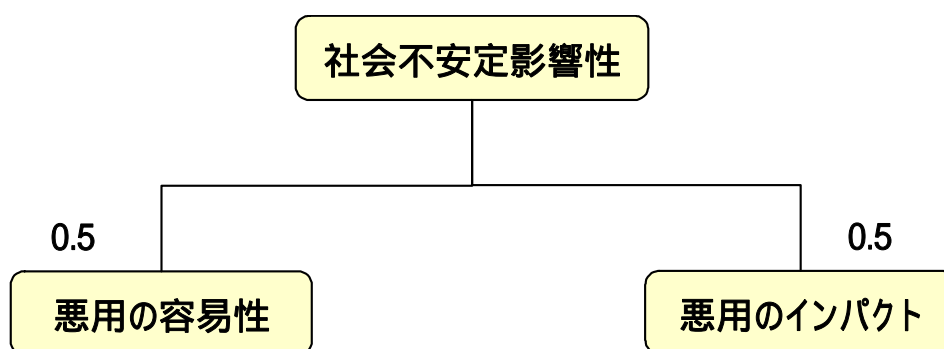


図 3.6.6 社会不安定影響性の評価構造

表 3.6.7 技術的実現性の下位指標重み

指標	重み
開発期間	33.3%
開発資金	33.3%
未開発必要技術	33.3%

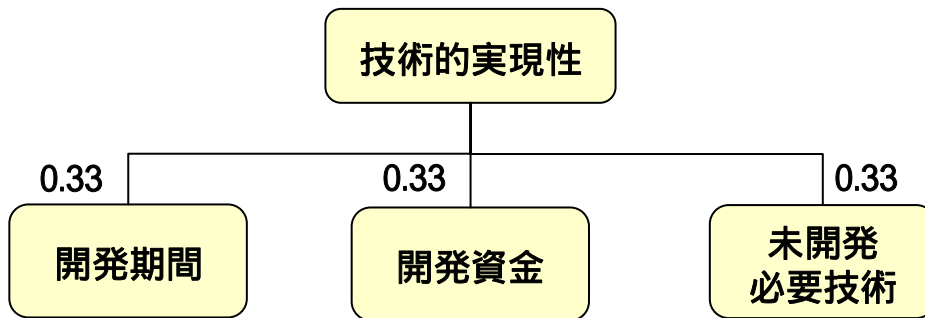


図 3.6.7 技術的実現性の評価構造

表 3.6.8 心理的バイアス低減性の下位指標の重み

指標	重み
恐怖性	33.3%
未知性	33.3%
その他事項	33.3%

指標	重み
災害の大きさ	33.3%
子供・子孫への影響	33.3%
可逆性	33.3%

指標	重み
周知度	20.0%
理解度	80.0%

指標	重み
報道機関の注目度	33.3%
便益の直接性	33.3%
事故時不利益の大きさ	33.3%

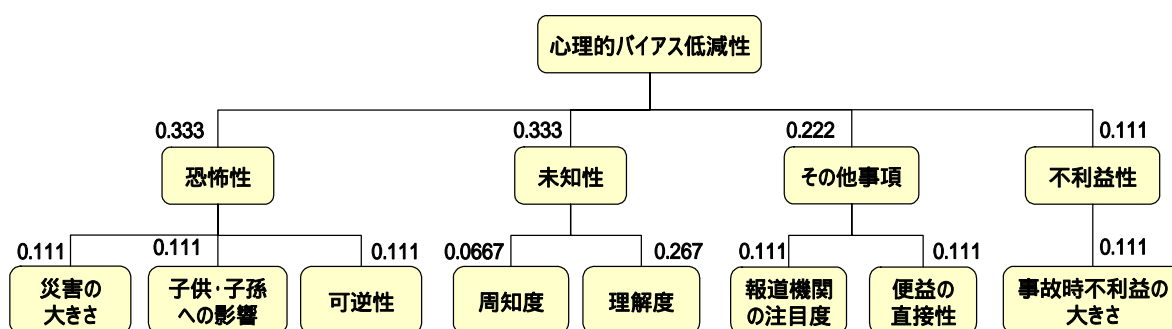


図 3.6.8 心理的バイアス低減性の評価構造

表 3.6.9 事業容易性の下位指標重み

指標	重み
操業容易性	90.0%
事業柔軟性	10.0%

指標	重み
必要インフラ	12.5%
建設容易性	12.5%
運転容易性	25.0%
輸送容易性	12.5%
保守補修容易性	25.0%
廃止容易性	12.5%

指標	重み
大型化容易性	50.0%
小型化容易性	50.0%

指標	重み
工事期間	50.0%
工事人員	50.0%

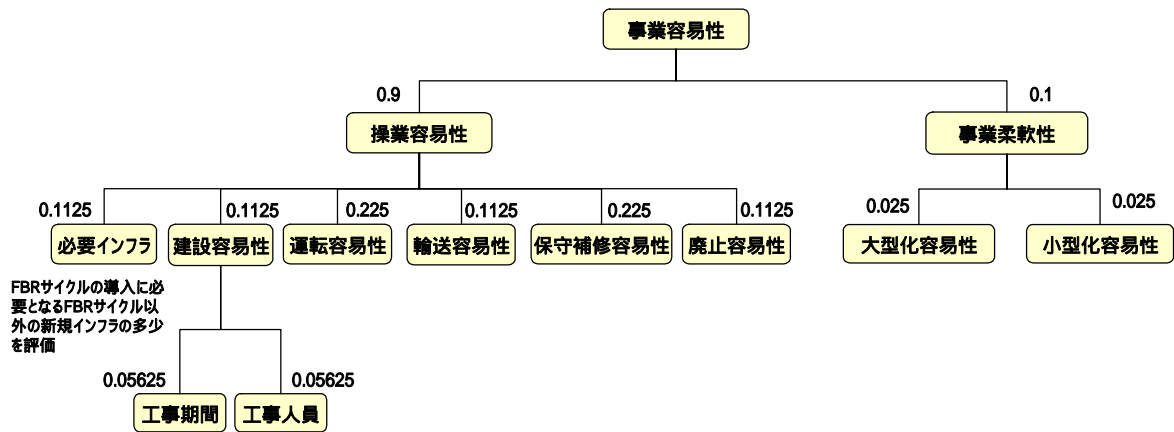


図 3.6.9 電力以外発生資源の評価構造

表 3.6.10 大規模 / 中小規模の評価基準について (同一基準か否か)

視点	指標	指標の考え方 (単位など)
経済性	発電原価	[円 / kWh]
	エネルギーショック時	[円 / kWh]
	安定供給時	[円 / kWh]
	kWhあたり初期投資額	[円 / kWh]
	投資回収期間	[年]
資源供給性	必要資源賦存性	「想定導入量 / 導入限界量」で評価。規模に依存。
	発電以外利用割合	[%]燃料の性質
	運輸・民生部門消費割合	[%]燃料の性質
	備蓄・貯蔵容易性	燃料の性質
	世界需給バランス安定性	燃料の性質
	我が国輸入先としての安定性	燃料の性質
放射性物質	高レベル廃棄物	[m3 / kWh]
	地層処分型低レベル廃棄物	[m3 / kWh]
	余裕深度処分型低レベル廃棄物	[m3 / kWh]
	浅地中処分型低レベル廃棄物	[m3 / kWh]
	トレンチ処分型低レベル廃棄物	[m3 / kWh]
環境影響低減性	硫酸酸化物	[g / kWh]
	窒素酸化物	[g / kWh]
	石炭粉塵等	窒素酸化物、硫酸酸化物以外の排出物の有無
	CO2等	[g-CO2/kWh]
社会不安定影響性	兵器への悪用性	兵器転用の可能性。規模は問わない。
	悪用のインパクト	規模によってインパクトは異なる。
導入性	開発期間	導入時期。規模によらない。
	開発資金	開発に必要な資金の規模。プラントの規模との直接的な関係は小さい。
	未開発必要技術	プラントの規模との直接的な関係は小さい。
心理的バイアス低減性	災害の大きさ	プラント規模によって災害の大きさは異なる。
	子供・子孫への影響	災害の性質。規模は問わない。
	可逆性	災害の性質。規模は問わない。
	周知度	電源の性質。規模によらない。
	理解度	電源の性質。規模によらない。
	報道機関の注目度	電源の性質。規模によらない。
	便益の直接性	規模に依存。
	事故時不利益の大きさ	ここでは、事故の質を問題にするため、規模によらないとする。
事業容易性	必要インフラ	電源の性質。ここでは規模によらないとする。
	工事期間	小規模であれば工期は短いと考えられる。
	工事人員	人員の質を評価。規模によらない。
	運転容易性	必要運転員数で評価。規模に依存。
	輸送容易性	電源の性質。規模によらない。
	保守補修容易性	電源の性質。規模によらない。
	廃止容易性	電源の性質。規模によらないとする。
	大型化容易性	規模に依存。
	小型化容易性	規模に依存。

表 3.6.11 定量評価指標の満足値設定 (大規模電源比較)

評価視点	項目	単位等	最大満足	中間満足	最低満足	平均	標準偏差	
経済性	発電原価	[円 / kWh]	3.2	4.6	6.0	4.6	1.4	
	発電原価変動幅	エネルギーショック時 安定供給時	0.0 0.0	0.9 0.2	2.4 0.4	0.9 0.2	1.6 0.2	
	投資回収性	kWhあたり初期投資額	[円 / kWh]	137,305	188,000	238,695	188,000	50,695
		投資回収期間	[年]	15.1	15.6	16.1	15.6	0.5
	資源供給性	必要資源賦存性		0.0E+00	4.5E-02	9.9E-02	4.5E-02	5.4E-02
他用途性		発電以外利用割合	[%]	0%	18%	45%	18%	27%
		運輸・民生部門消費割合	[%]	0%	12%	39%	12%	27%
		備蓄・貯蔵容易性						
資源調達元 政治的安定性		世界需給バランス安定性		0.00	0.52	1.29	0.52	0.77
		我が国輸入先としての安定性		0.00	0.46	1.30	0.46	0.84
放射性物質	高レベル	[m3 / kWh]	0.0E+00	9.9E-10	2.7E-09	9.9E-10	1.8E-09	
	高	[m3 / kWh]	0.0E+00	6.6E-10	1.4E-09	6.6E-10	7.5E-10	
	TRU	[m3 / kWh]	0.0E+00	1.2E-09	3.0E-09	1.2E-09	1.8E-09	
	低レベル	[m3 / kWh]	0.0E+00	1.4E-08	2.9E-08	1.4E-08	1.5E-08	
環境影響 低減性	大気汚染物質	硫酸酸化物	[ppm]	0.00	0.02	0.06	0.02	0.04
		窒素酸化物	[ppm]	0.00	0.06	0.16	0.06	0.10
		石炭粉塵等	有・無	0.38	0.60	0.82	0.60	0.22
	地球温暖化物質	CO2等	[g-CO2/kWh]	0	272	629	272	357

表 3.6.12 定量評価指標の満足値設定 (中小規模電源比較)

評価視点	項目	単位等	最大満足	中間満足	最低満足	平均	標準偏差	
経済性	発電単価		[円/kWh]	4.5	21.8	39.2	21.8	17.3
	発電単価変動幅	エネルギーショック時	[円/kWh]	0.0	3.0	6.2	3.0	3.2
		安定供給時	[円/kWh]	0.0	0.6	1.3	0.6	0.7
	投資回収性	kWhあたり初期投資額	[円/kWh]	0	257,833	520,458	257,833	262,624
		投資回収期間	[年]	11.3	20.0	28.7	20.0	8.7
資源供給性	必要資源賦存性			0.0E+00	3.8E-02	7.8E-02	3.8E-02	4.0E-02
	他用途性	発電以外利用割合	[%]	8%	60%	112%	60%	52%
		運輸・民生部門消費割合	[%]	4%	31%	59%	31%	27%
		備蓄・貯蔵容易性				0.666666667	0.288675135	
	資源調達元	世界需給バランス安定性		0.71	5.33	9.95	5.33	4.62
	政治的安定性	我が国輸入先としての安定性		0.09	0.67	1.24	0.67	0.58
放射性物質	高レベル	[m3/kWh]	0.0E+00	1.0E-10	2.7E-10	1.0E-10	1.7E-10	
	高	[m3/kWh]	0.0E+00	3.7E-10	1.0E-09	3.7E-10	6.4E-10	
	TRU	[m3/kWh]	0.0E+00	5.0E-10	1.4E-09	5.0E-10	8.7E-10	
	低レベル	[m3/kWh]	0.0E+00	3.3E-09	9.1E-09	3.3E-09	5.8E-09	
環境影響 低減性	大気汚染物質	硫酸酸化物	[ppm]	0.00	0.23	0.48	0.23	0.25
		窒素酸化物	[ppm]	0.00	0.23	0.48	0.23	0.25
		石炭粉塵等	有・無	0.13	0.42	0.71	0.42	0.29
	地球温暖化物質	CO2等	[g-CO2/kWh]	0	242	500	242	258

表 3.6.13 他電源比較の段階的（定性）評価における評価基準

評価視点	効用値（評価値）	0	0.25	0.5
資源供給性	備蓄・貯蔵容易性	格納困難な気体（水素など）	気体	液体
環境影響低減性	石炭粉塵等	窒素酸化物、硫黄酸化物以外に排出する大気汚染物質があり、問題が生じる可能性がある。	窒素酸化物、硫黄酸化物以外に排出する大気汚染物質があるが、規制内であれば大きな問題ではない。	窒素酸化物、硫黄酸化物以外に考慮すべき大気汚染物質はあるが、ほとんど排出がないと考えてよい
社会不安定影響性	兵器への悪用性	兵器転用を具体的に想定でき、その可能性低減も困難なレベル	兵器転用を具体的に想定でき、可能性を否定することはできないレベル	兵器転用を具体的に想定することは難しいが、可能性を否定することはできないレベル
社会不安定影響性	悪用のインパクト	被害が隣国まで及ぶ	被害範囲が一国範囲に及ぶ	被害範囲が地域レベルに及ぶ
導入性	開発期間	導入は50年以上後になるレベル	10～50年後には導入可能なレベル	5年後には導入可能なレベル
導入性	開発資金	開発金額の想定が困難	国家プロジェクトレベルで開発・普及のための助成が必要	大規模（国家プロジェクトレベル）ではなくとも、開発・普及のために助成が必要
導入性	未開発必要技術	未開発必要技術に係る研究開発は基礎研究レベル		未開発必要技術に対する具体的な研究開発が実施されている
心理的バイアス低減性	災害の大きさ	事故時被害が隣国に及ぶ	事故時被害が我が国全土に及ぶ	事故時被害が地域に及ぶ
心理的バイアス低減性	子供・子孫への影響	子孫への生体的影響が確実にある	子孫への生体的影響の可能性はある	環境影響等を通じた間接的な影響がある。
心理的バイアス低減性	可逆性	半永久的に復興しない	復興に数十年かかる	復興に1年程度かかる
心理的バイアス低減性	周知度	同一原理の発電技術の歴史が未だない。	同一原理の発電技術の歴史がLNG火力より新しい	同一原理の発電技術の歴史がLNG火力程度
心理的バイアス低減性	理解度	一部の専門家でなければ理解できないレベル	理解には大学生レベルの専門性が必要。	興味があれば一般に理解が可能。
心理的バイアス低減性	報道機関の注目度	常時「反対」キャンペーンが張られている	事象を懐疑的に報道されることが多い	注目されていない
心理的バイアス低減性	便益の直接性	導入可能な地方に限られる。	地方レベル（電力会社管内レベル）で地産地消が可能	都道府県レベルで地産地消が可能（最大被害時）負傷可能性大、および、家屋の全壊レベル
心理的バイアス低減性	事故時不利益の大きさ	ほぼ間違いなく生命が奪われる	生命の危険、土地の不毛化	
事業容易性	必要インフラ	我が国のインフラを一新する必要がある。	インフラ整備に新技術が必要となる可能性がある。	港などのインフラ整備が必要
事業容易性	工事期間	7年以上	5～6年程度	3～4年程度
事業容易性	工事人員	世界有数の有識者・技術者の関与が必要	専門家の関与が必要	メーカー等で建設
事業容易性	運転容易性	20名以上	20名程度	運転に必要な人員：10名程度
事業容易性	輸送容易性	建設物資や燃料輸送が極めて困難	建設物資や燃料輸送が大規模で規制がある。	建設物資や燃料の大規模輸送が必要
事業容易性	保守補修容易性	メンテナンスにより十分な稼働率が確保できない		定期検査が1ヶ月/18ヶ月レベル
事業容易性	廃止容易性	廃止技術の用途がたっていない	廃止に特別な措置が必要	通常の解体工事
事業容易性	大型化容易性	10万kWe 以下	10～50万kWe 程度	可能なユニット最大容量：50～60万kWe
事業容易性	小型化容易性	それ以上	～100万kWe程度	最小ユニットの出力：20～30万kWe

表 3.6.14 発電所建設単価の事例

事例	プラント	出力 (万 kW)	総工事費 (億円)	建設単価 (万円/kW)	発表日
LNG・ACC	富津3号	152	1,700	11.18	2001年7月
LNG・ACC	千葉1・2号	288	3,400	11.81	2000年6月

ACC：改良型コンバインドサイクル

出典) 東京電力プレスリリース等

表 3.6.15 総合エネルギー調査会による LNG 火力発電原価試算結果

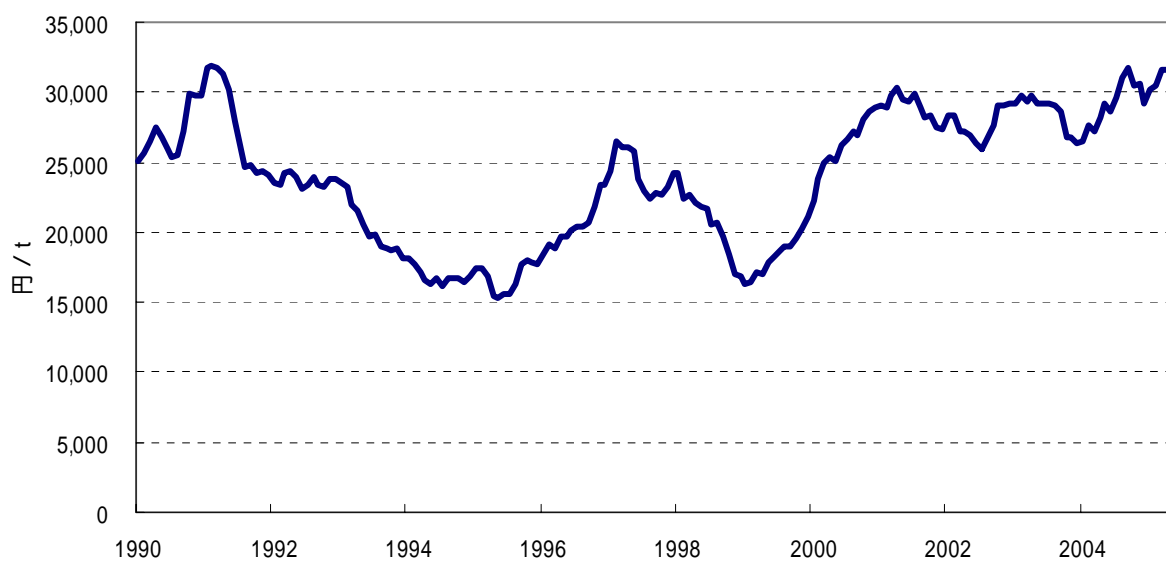
単位：円/kWh		(諸元)		(モデルプラント)			
発電原価	6.4	稼働率	80%として計算	発電所	出力(万kW)	運開年度	発電端熱効率
資本費	1.5	割引率	3%	横浜7	140	1998	
減価償却費	1.2	固定資産税率	1.40%	横浜8	140	1998	47.04%
固定資産税	0.1	事業税率	1.30%	千葉1	144	2000	
事業報酬税	0.2	LNG価格	18.902円/トン	千葉2	144	2000	48.92%
O&M費	1.1	燃料費上昇率	1.82%	川越3	165	1996	
修繕費	0.6	耐用年数	40年	川越4	165	1996	45.88%
諸費用	0.2	建設単価	20.3万円/kW	新名古屋7	145.8	1998	
給与手当て	0.1						48.32%
一般管理費	0.1						
事業税	0.1						
燃料費	3.8						

*発電端熱効率は平成12年度実績(「電力需給の概要」より)

表 3.6.16 主要発電技術等の特性データ

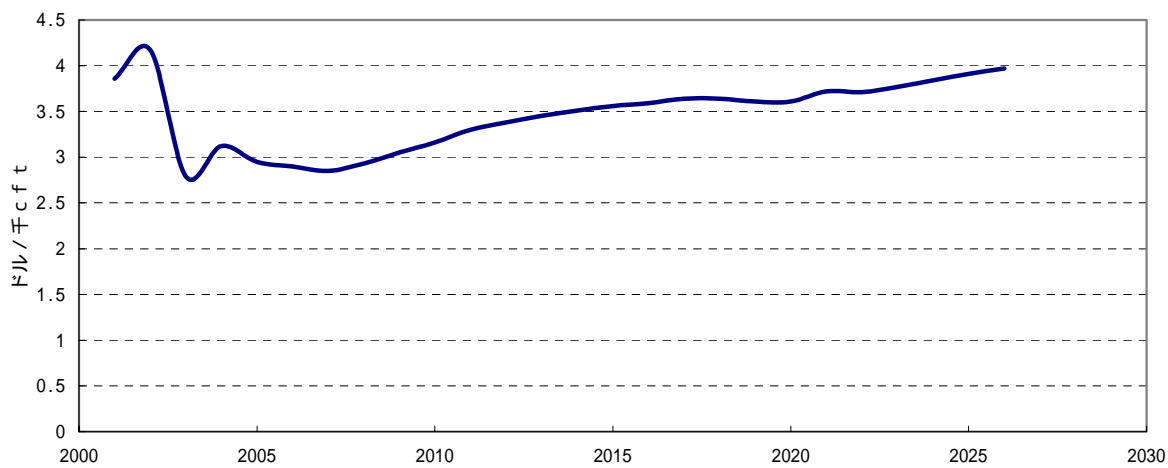
発電技術	年	耐用年数	稼働率 (上限) (%)	発電等効率 (%)	建設費 (円/W)	運転維持費 固定費 (円/W)	運転維持費 可変費 (円/MJ)
石油 (事業用)	1990-95 2000-50	30	60 50	41.0 42.0	202	8.65	0.0628
石油他 (産業自家発)	1990 2000 2020-50	30	70	35.0 36.0 38.0	233	9.98	0.0734
石油他 (産業熱供給)	1990 2000 2020-50	30	70	34.0 35.0 36.0	253	10.9	0.0797
石炭 (在来)	1990-00 2020-50	30	70	38.0 40.0	264	11.0	0.148
石炭 (IGCC)	2000 2010 2020-50	30	70	43.0 45.0 49.0	314	13.1	0.212
石炭 (MCFC)	2010 2020 2050	30	70	50.0 52.0 54.0	345	14.4	0.233
LNG 火力	1990 2000-50	30	65	42.0 43.0	212	9.08	-
LNG 総合サイクル	1990 2010 2020 2050	30	65	45.0 55.0 59.0 61.1	256	10.9	-
LWR 発電	1990 1995-50	30	75 80	FEQ	328	15.0	0.123
FBR 発電	2000 2020 2030-50	30	80	FEQ	1312 656 459	23.3	-
水力		60	53.2	FEQ	916	16.3	-
地熱 (低費用)		20	80	FEQ	600	17.4	0.020
地熱 (高費用)		20	80	FEQ	900	26.1	0.030
太陽光 (低費用)	1995 2000 2010 2050	20	12.5	FEQ	1490 561 337 303	29.7 11.2 6.72 6.05	-
太陽光 (高費用)	2015 2050	20	12.5	FEQ	359 333	7.15 6.66	-
風力	2000 2010 2020 2030	20	24	FEQ	600 450 370 320	24.8 18.6 15.3 13.3	-
熱電供給 (在来型)		20	70	電気 27.0 熱 38.0	276	10.9	0.170
燃料電池 (PAFC)	2000 2010-50	20	70	電気 43.3 熱 27.8	307 276	12.1 10.9	0.189 0.17
燃料電池 (MCFC)	1990-30 2050	20	70	電気 55.6 熱 27.8 電気 59.0 熱 29.5	331	13.1	0.204
地熱 (熱供給)		20	90	FEQ	101	10.1	0.153
廃熱 (熱供給)	2000 2030-50	30	90	(COP 6.0)	150 120	9.3 7.4	0.058 0.046

(注) FGQは化石エネルギー換算で投入エネルギーを与えることを示す。



出典) 石油連盟、「石油資料月報」より作成

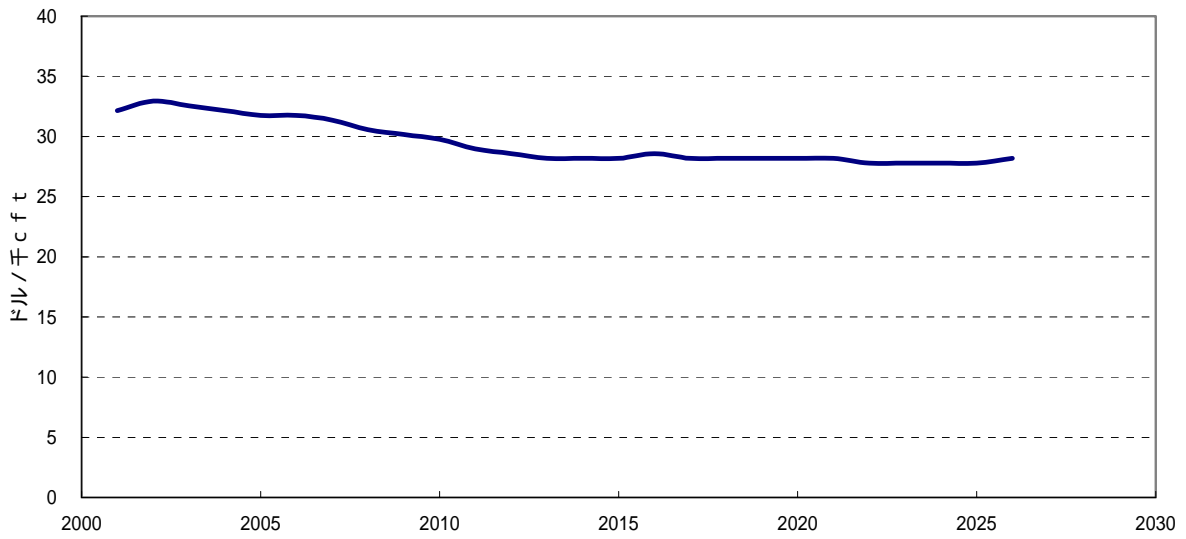
図 3.6.10 LNG の CIF 価格



出典) World Energy Outlook 2002 (参考文献[5])

注) cft : cubic feet 1000cft = 約 0.02 トン

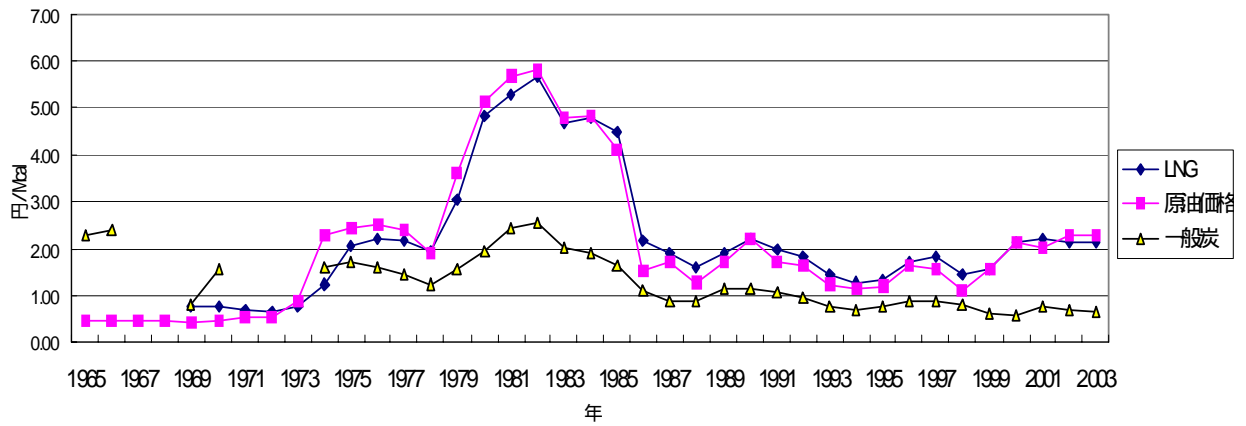
図 3.6.11 天然ガスの将来価格見通し



出典) World Energy Outlook 2002 (参考文献[5])

注) cft : cubic feet 1000cft = 約 0.02 トン

図 3.6.12 石炭の将来価格見通し



出典) 出典)(財)省エネルギーセンター、「エネルギー・経済統計要覧 2005」より作成

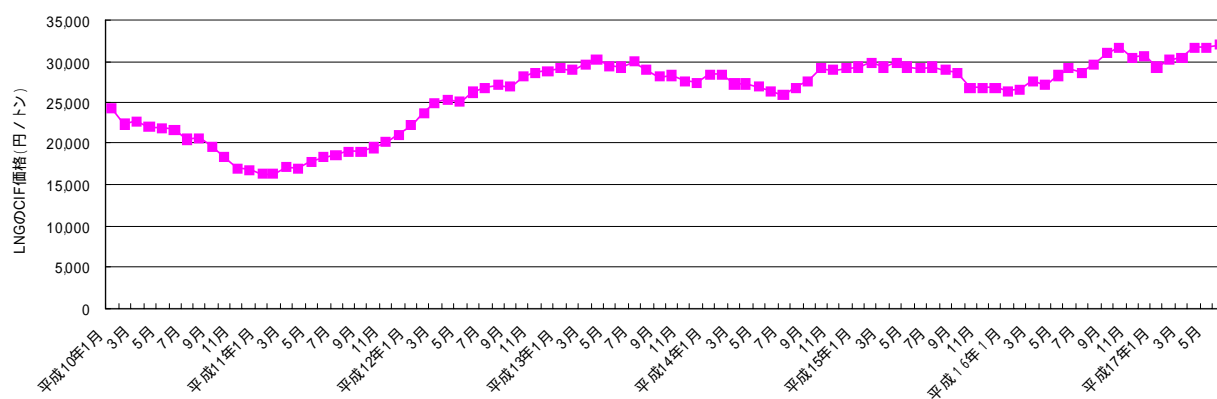
図 3.6.13 わが国の原油、LNG、一般炭輸入価格推移

表 3.6.17 エネルギーショック時の原油、LNG および石炭価格上昇率

オイルショック事例	価格変化 (円/M Cal)		上昇率
第一次オイルショック	原油	0.54 2.32	約 330%
	LNG	0.66 1.70	約 160%
	一般炭	-	
第二次オイルショック	原油	1.93 5.22	約 170%
	LNG	1.89 5.56	約 190%
	一般炭	1.20 2.52	約 110%
湾岸戦争	原油	1.75 2.23	約 30%
	LNG	1.85 2.16	約 20%
	一般炭	1.12 1.13	ほぼ 0%
OPEC 減産	原油	1.13 2.15	約 120%
	LNG	1.42 2.08	約 70%
	一般炭	0.79 0.60	0%
	原油平均		約 160%
	LNG 平均		約 110%
	一般炭平均		約 30%

表 3.6.18 1年ごとのLNGのCIF価格変動幅(最高 - 最低)

年	最高価格 - 最低価格 (円/t)
平成 10 年	7,285
平成 11 年	4,748
平成 12 年	6,585
平成 13 年	2,885
平成 14 年	3,226
平成 15 年	2,999
平成 16 年	5,289
平成 17 年	2,664
平均	5,097



出典) 財務省貿易統計

図 3.6.14 LNGのCIF価格推移

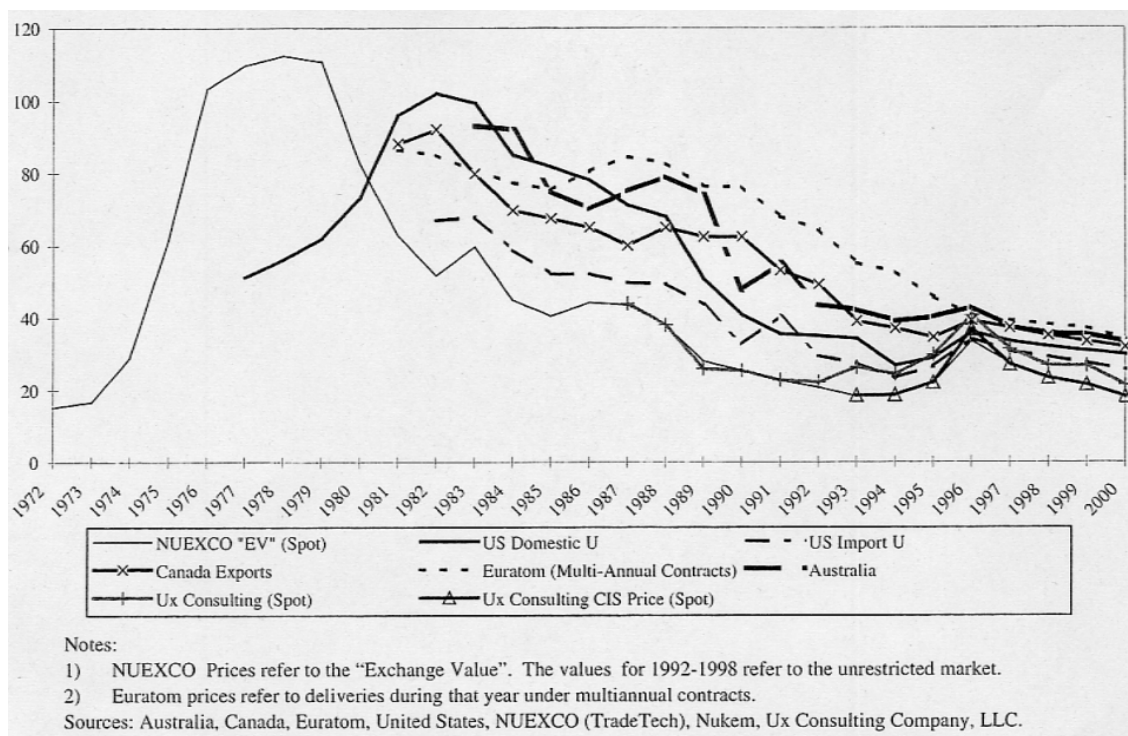


図 3.6.15 ウラン価格の推移 (単位: ドル/kgU)

表 3.6.19 投資回収年数の設定

		大規模FBR	軽水炉 (再処理なし)	軽水炉 (再処理あり)	LNG火力	石炭火力
設備投資額	円 / kW	180,000	190,000	190,000	110,000	250,000
法定償却年	年	16	16	16	15	15
売電価格	円 / kWh	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
発電原価	円 / kWh	2.30	3.20	3.60	5.38	5.82
稼働率		95%	90%	90%	90%	90%
年間コスト	円 / kW・年	19,060	25,229	28,382	42,399	45,907
うち減価償却費	円 / kW・年	10,125	10,688	10,688	6,600	15,000
平均収入	円 / kW・年	50,005	47,574	47,574	47,574	47,574
平均キャッシュフロー	円 / kW・年	41,070	33,033	29,879	11,775	16,667
回収年数	年	4.38	5.75	6.36	9.34	15.00

		中小規模FBR	ディーゼル	風力ディーゼル
設備投資額	円 / kW	820,000	100,000	112,500
法定償却年	年	16	15	15
売電価格	円 / kWh	40.2	40.2	40.2
発電原価	円 / kWh	13.40	40.00	20.00
稼働率		60%	50%	30%
年間コスト	円 / kW・年	70,430	175,200	52,560
うち減価償却費	円 / kW・年	46,125	6,000	6,750
平均収入	円 / kW・年	211,040	175,867	105,520
平均キャッシュフロー	円 / kW・年	186,735	6,667	59,710
回収年数	年	4.39	15.00	1.88

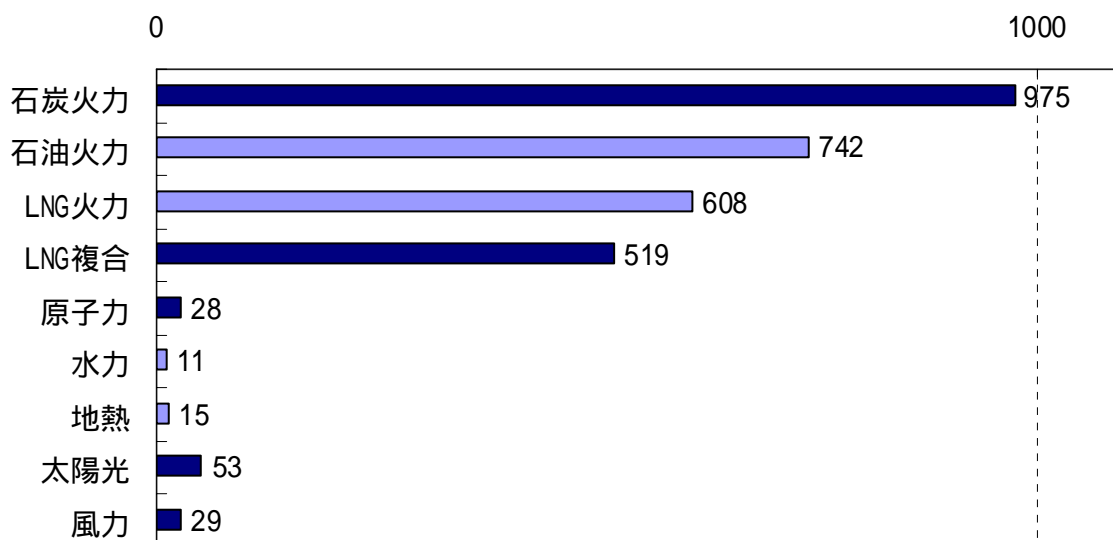
表 3.6.20 大気汚染物質の排出原単位推定

	石炭	石油	LNG
Sox 排出原単位 (g/kWh, 2003年) 1)	0.17 (火力発電所平均)		
Nox 排出原単位 (g/kWh, 2003年) 1)	0.21 (火力発電所平均)		
Sox 発生量 (石炭を 100 とする) 2)	100	65	0
Nox 発生量 (石炭を 100 とする) 2)	100	75	45
電力量 (億 kWh, 2002年) 3)	2,911	1,453	2,446

- (備考) 1)数表で見る東京電力、2004年
 2)OECD, "EMISSION CONTROLS" (1988)より作成
 3)OECD, "ENERGY BALANCES", (2004)

表 3.6.21 現行火力発電の SO_x、NO_x 排出原単位推定値

	石炭	石油	LNG
SO _x 排出原単位 (g/kWh)	0.30	0.20	0
NO _x 排出原単位 (g/kWh)	0.28	0.21	0.13



電力中央研究所：電中研ニュース No.338(2004)[24]より

図 3.6.16 ライフサイクル CO₂ 排出量 (g - CO₂ / kWh)

表 3.6.22 各種電源用燃料に関する必要資源量の算出

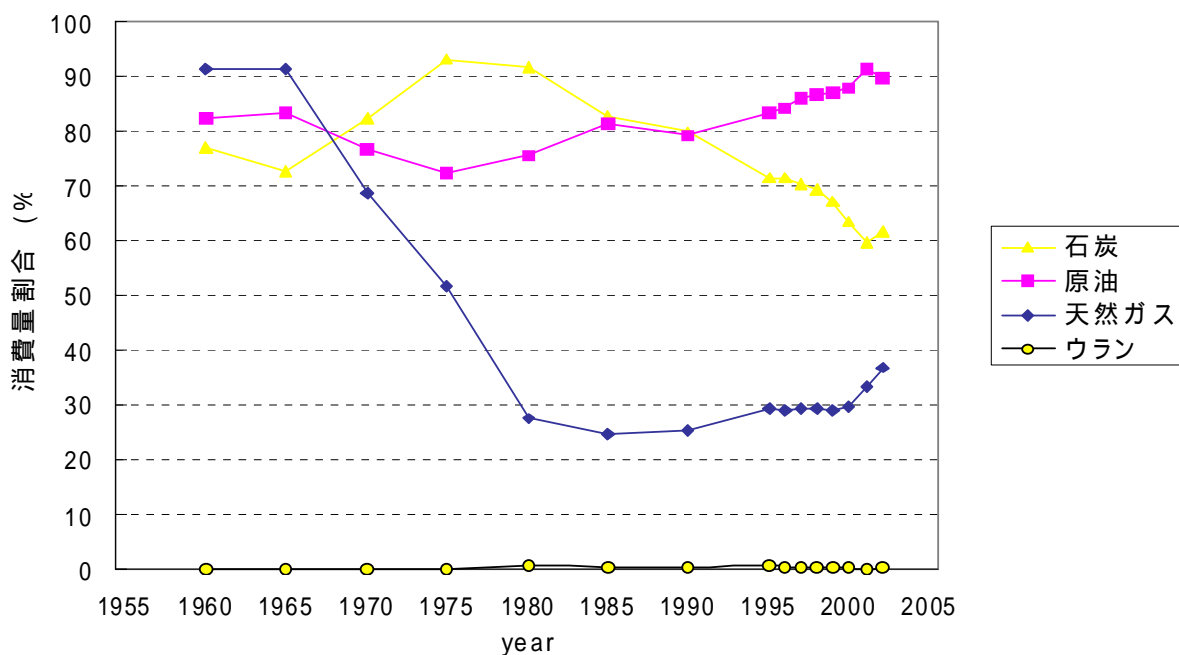
導入規模	50 GW	➔	50年間の発電量	17,520,000 GWh
運転年数	50 年		必要となるLNG量	1,742,880,278 トン
発電効率	65 %			2,440,032,389 千m3
運転年数	50 年			86,133,143,320 千cf
稼働率	80 %			

ただし、LNG発熱量：13,300kcal/kg LNG1トン=天然ガス1,400m3を用いた。
また、1kWh=約860kcal、1m3=約35.3cf

導入規模	50 GW	➔	50年間の発電量	17,520,000 GWh
運転年数	50 年		必要となる石炭量	4,192,670,507 トン
発電効率	55 %			
稼働率	80 %			

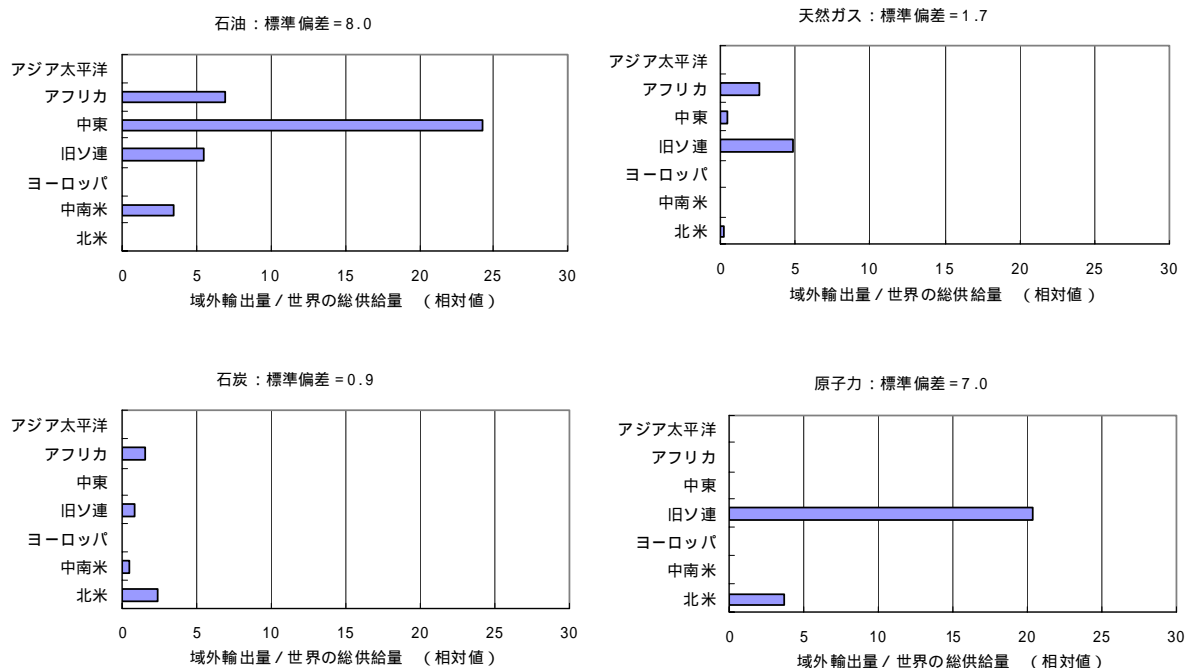
ただし、石炭発熱量：6,534kcal/kg 1kWh=約860kcal

導入規模	3 GW	➔	50年間の発電量	722,700 GWh
運転年数	50 年		必要となる重油量	120,683,883 トン
発電効率	50 %			
稼働率	55 %			



出典) 総合エネルギー統計平成 15 年度版より作成

図 3.6.17 発電以外消費割合の推移 (原油、天然ガス、石炭、ウラン)



出典) 経済産業省、「総合資源エネルギー調査会総合部会 エネルギーセキュリティワーキンググループ報告書」、平成 13 年

図 3.6.18 世界の需給バランスから判断したリスクの比較 (石油、天然ガス、石炭、ウラン)

表 3.6.23 エリア別の政治経済リスク指標

	石油	天然ガス	石炭	原子力
北米	0.00	0.06	0.09	0.06
中南米	0.00	0.00	0.00	0.00
ヨーロッパ	0.00	0.00	0.00	0.08
旧ソ連	0.00	0.00	0.70	0.00
中東	0.32	0.27	0.00	0.00
アフリカ	0.00	0.00	0.44	0.00
アジア太平洋	0.52	0.47	0.22	0.00

出典) 経済産業省、「総合資源エネルギー調査会総合部会 エネルギーセキュリティワーキンググループ報告書」、平成 13 年

注) 同文献において、Euromoney 誌「Country Risk」より作成。国別の指標について輸入量をウェイトとして加重平均した旨説明されている。数字が大きいほどリスクが大きいことを示す。

表 3.6.24 わが国のエリア別輸入依存度から見たリスクの比較

石油	天然ガス	石炭	原子力
1.0	1.94	0.32	0.03

出典) [経済産業省、「総合資源エネルギー調査会総合部会 エネルギーセキュリティワーキンググループ報告書」、平成 13 年

注) 石油を 1 とする。

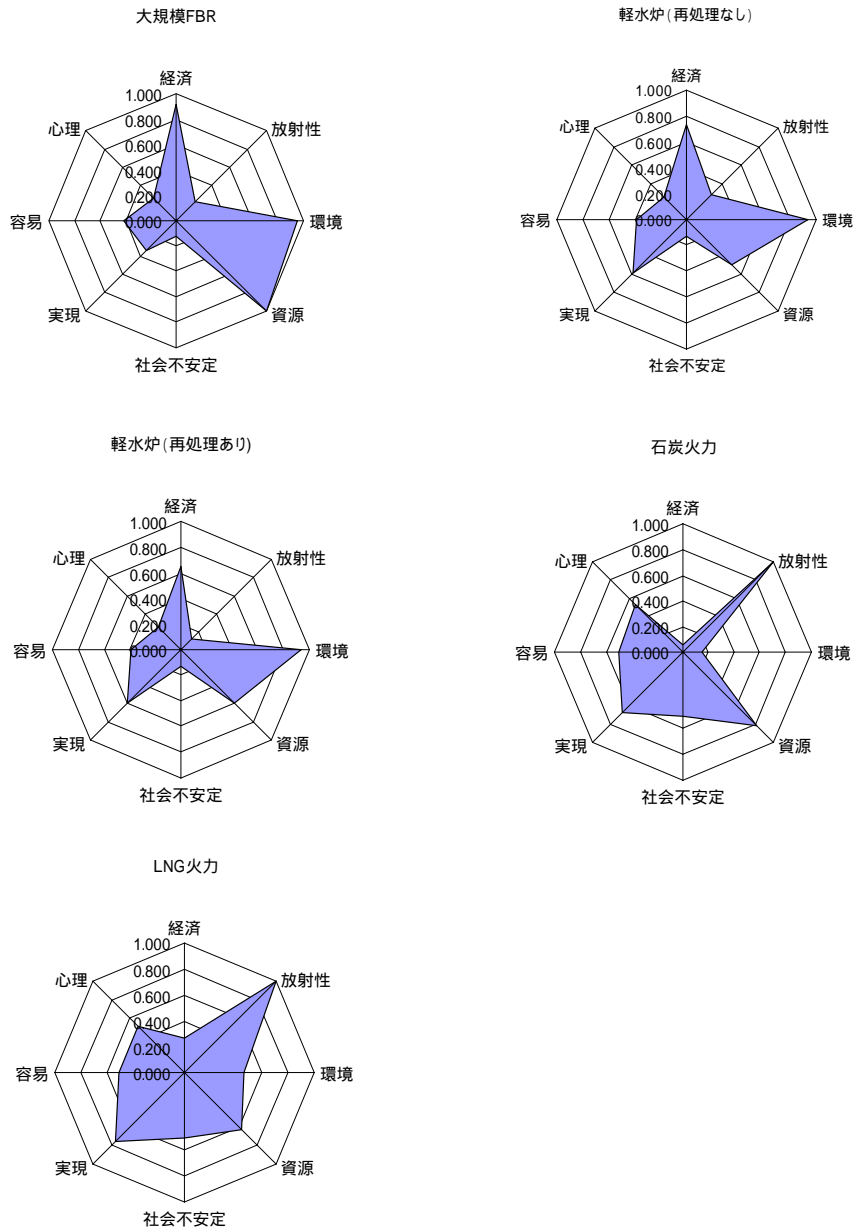


図 3.6.19 大規模電源の特性

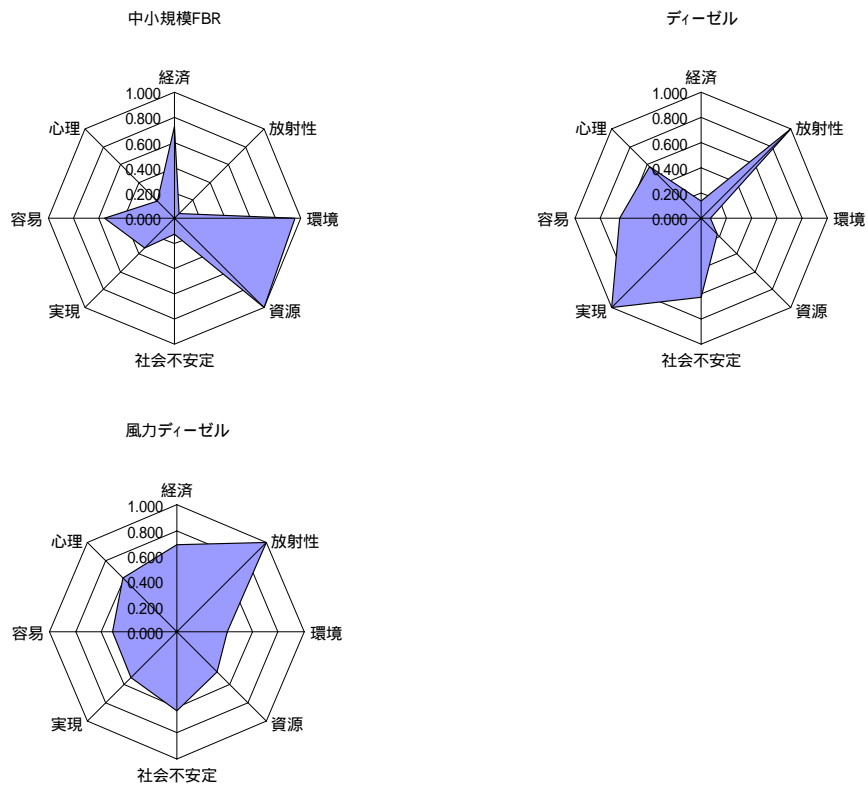


図 3.6.20 中小規模電源の特性

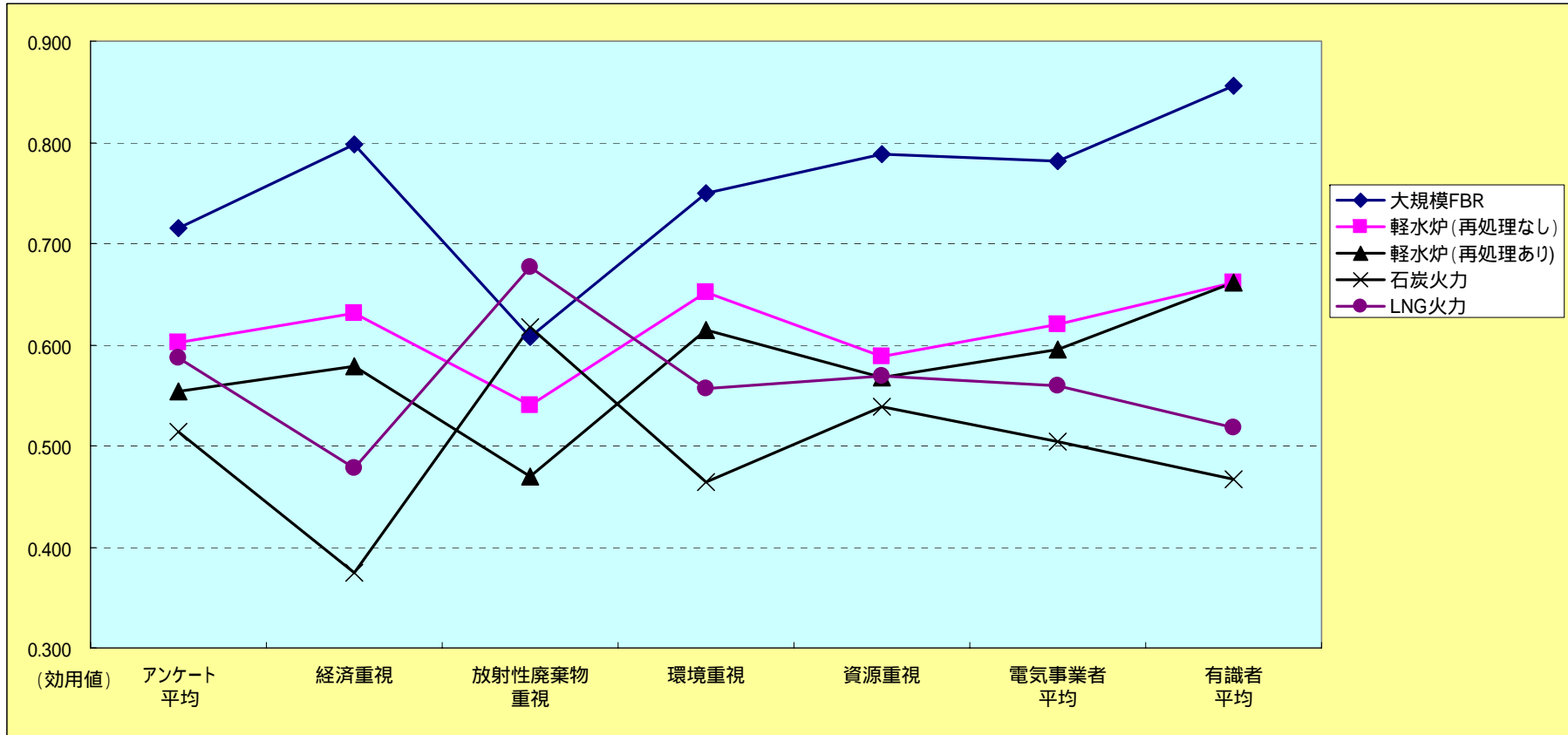


図 3.6.21 大規模電源評価結果(4 評価視点を重み付け)

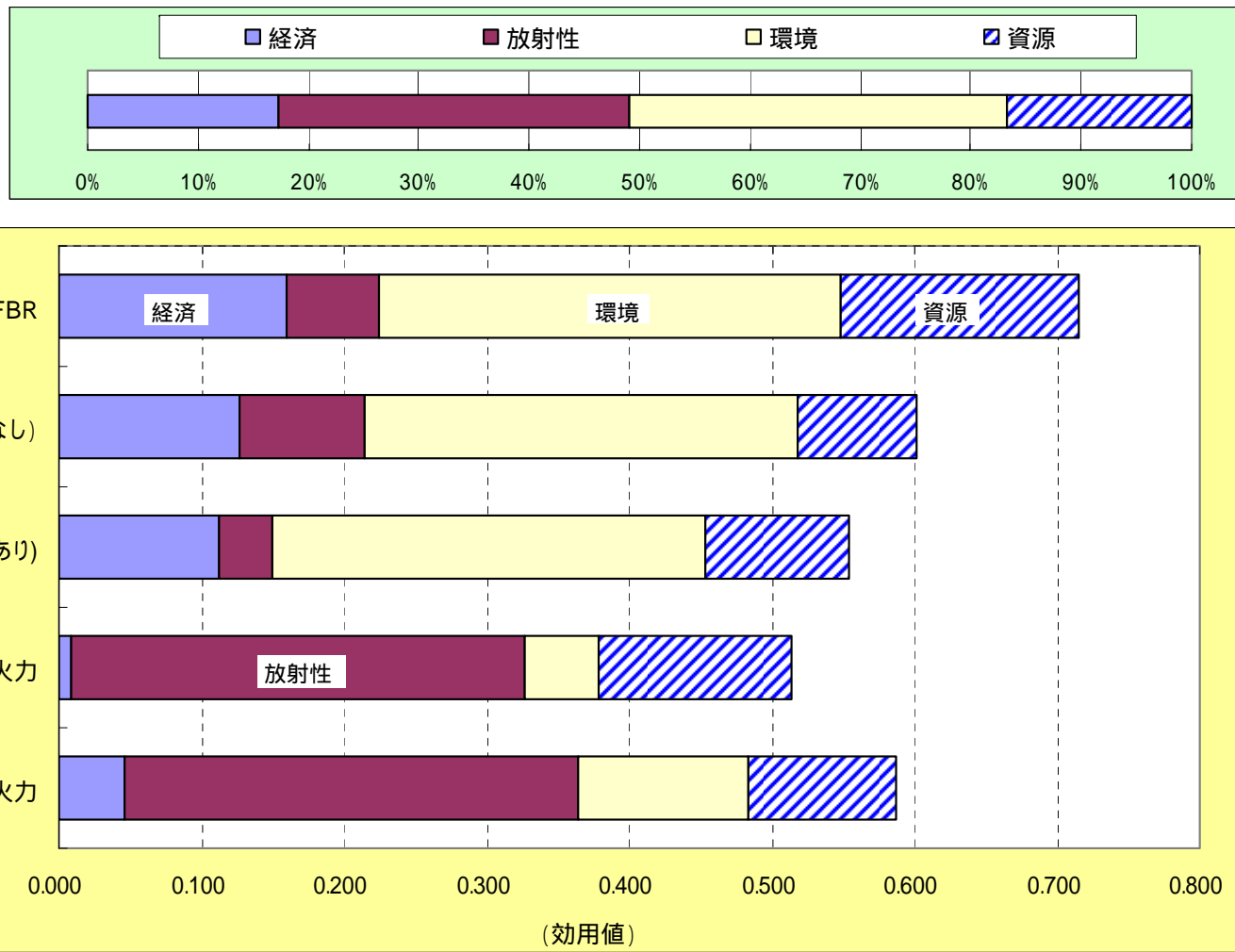


図 3.6.22 大規模電源評価結果（4 評価視点を重み付け：普通の市民平均の重み）

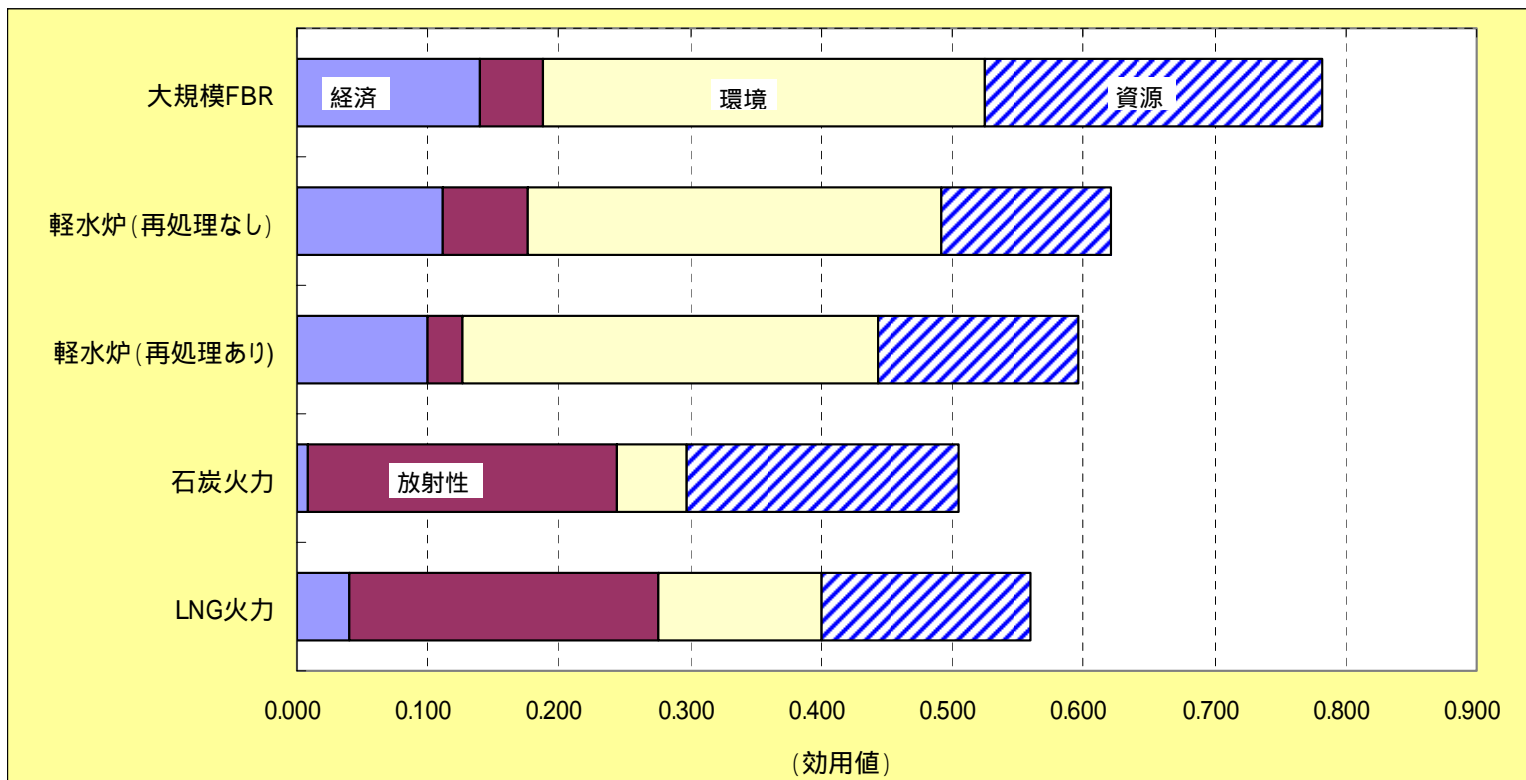
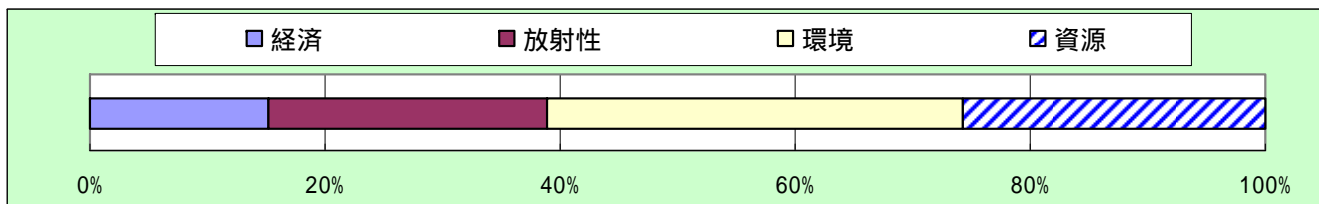


図 3.6.23 大規模電源評価結果 (4 評価視点を重み付け：電気事業者平均の重み)

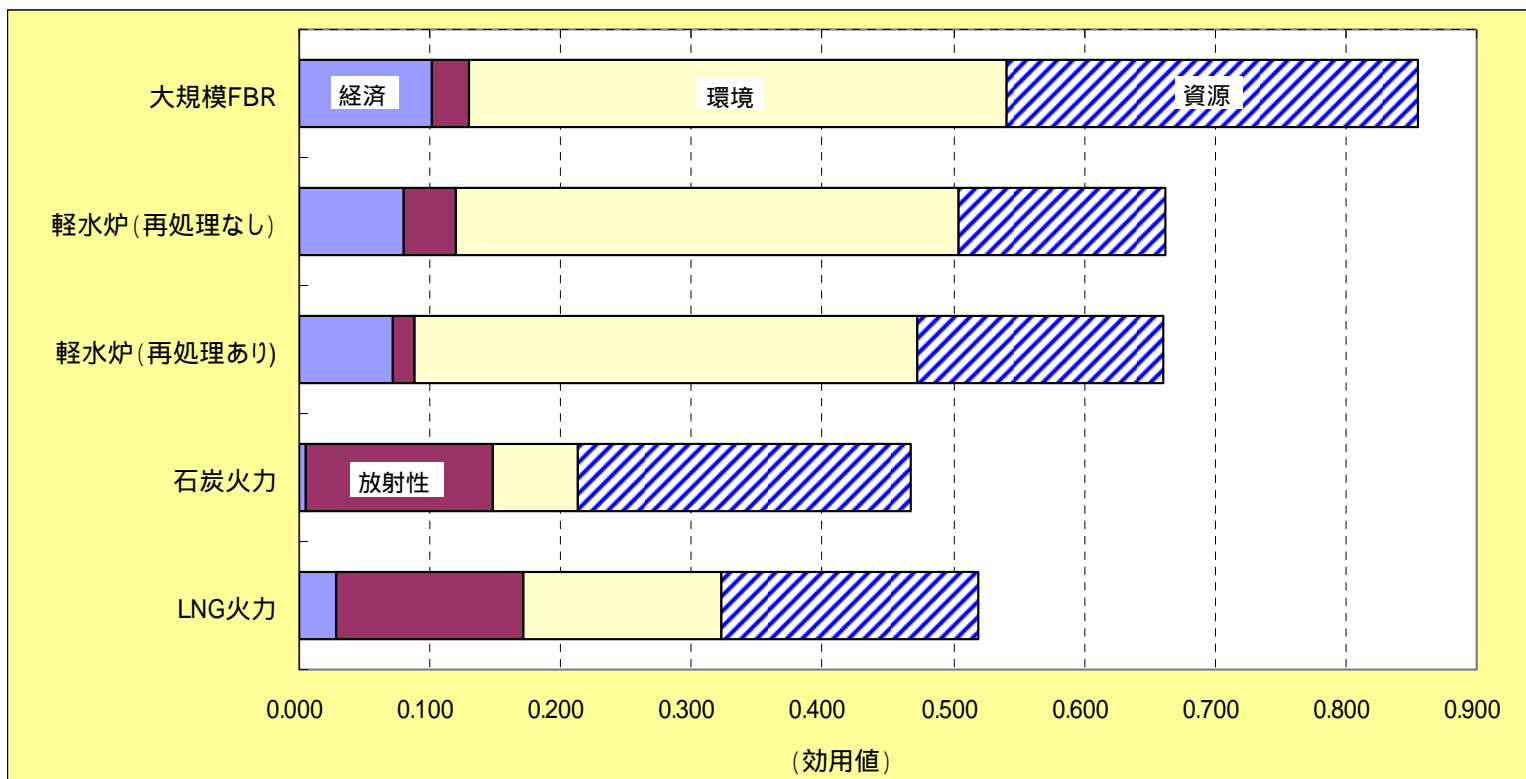
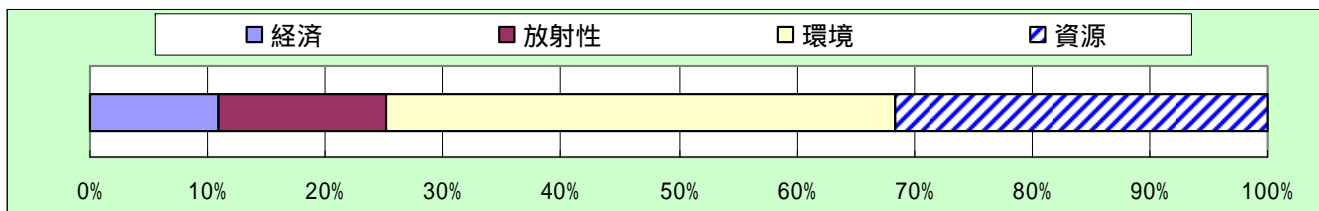


図 3.6.24 大規模電源評価結果 (4 評価視点を重み付け：有識者平均の重み)

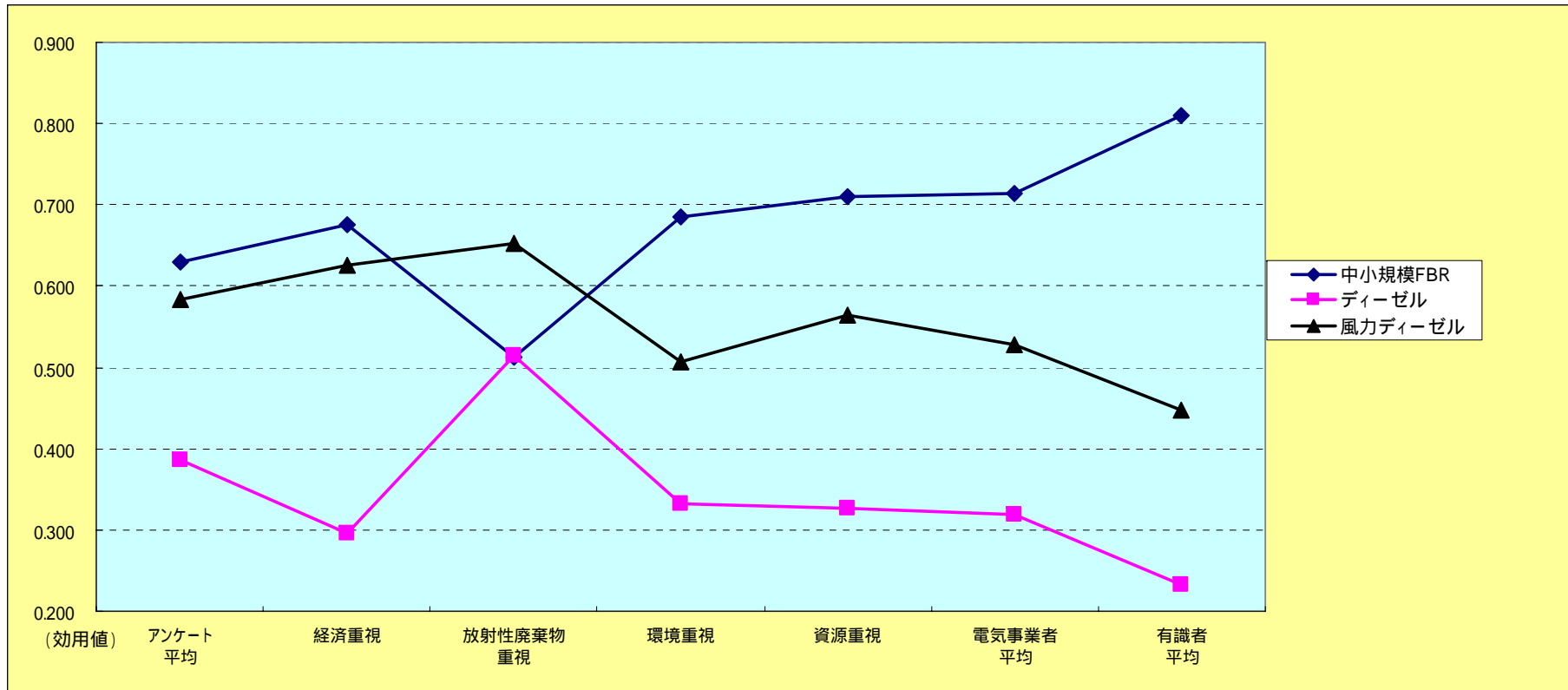


図 3.6.25 中小規模電源評価結果（4 評価視点を重み付け）

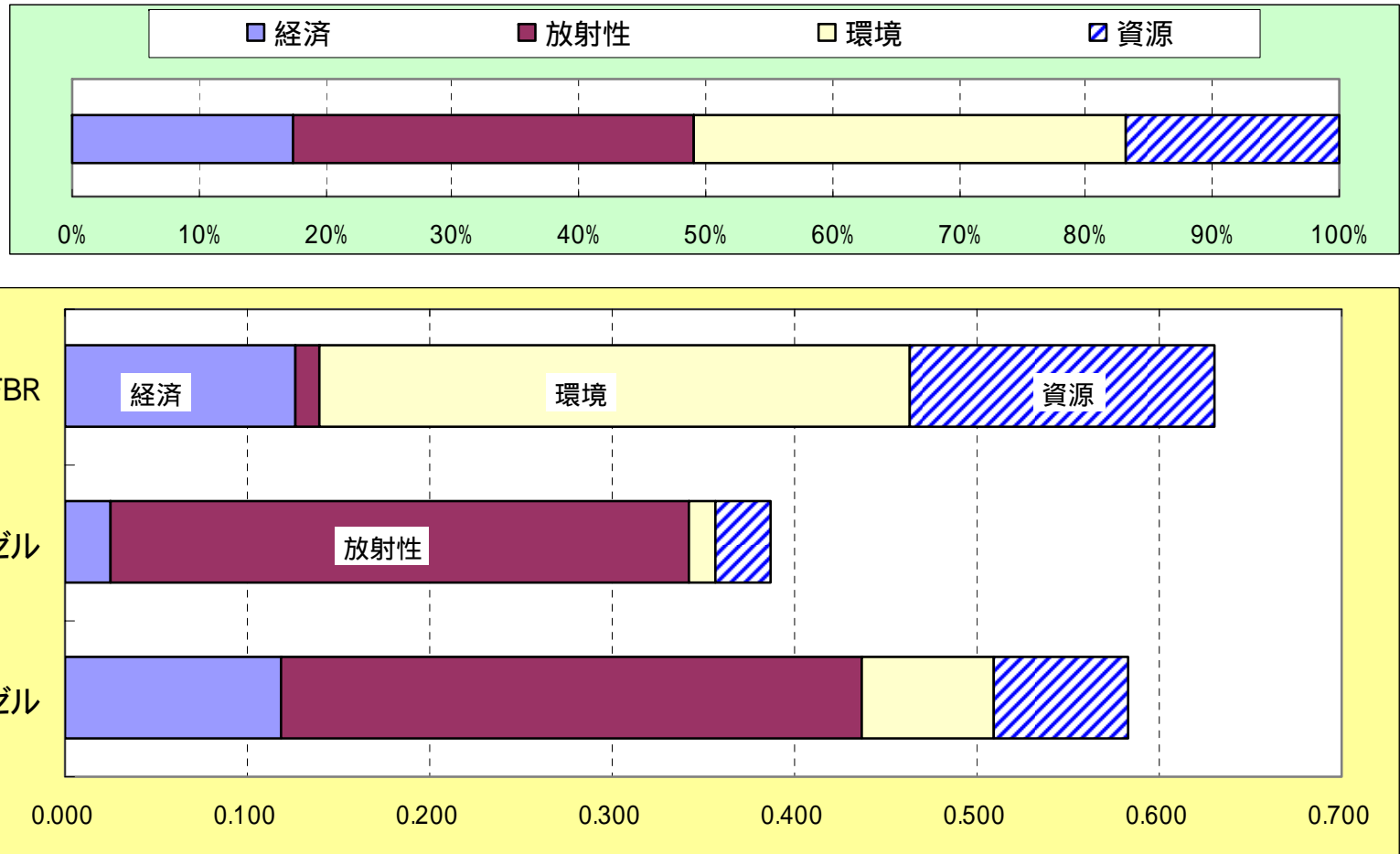


図 3.6.26 中小規模電源評価結果（4 評価視点を重み付け：普通の市民平均の重み）

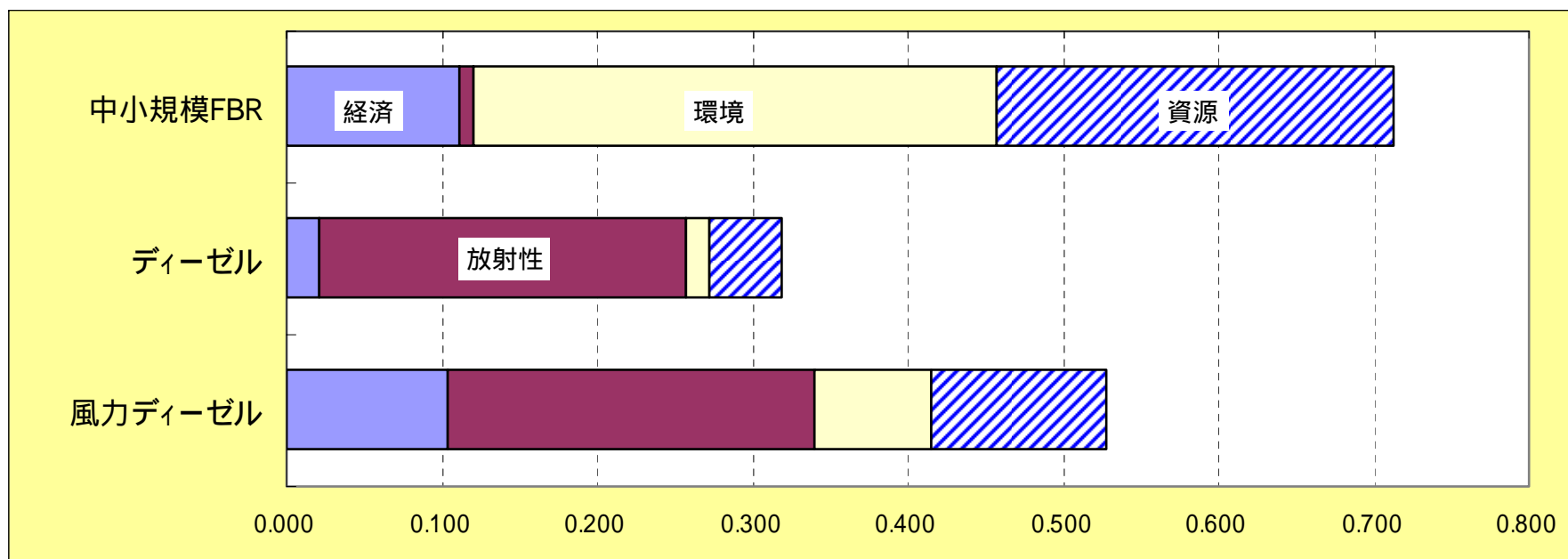
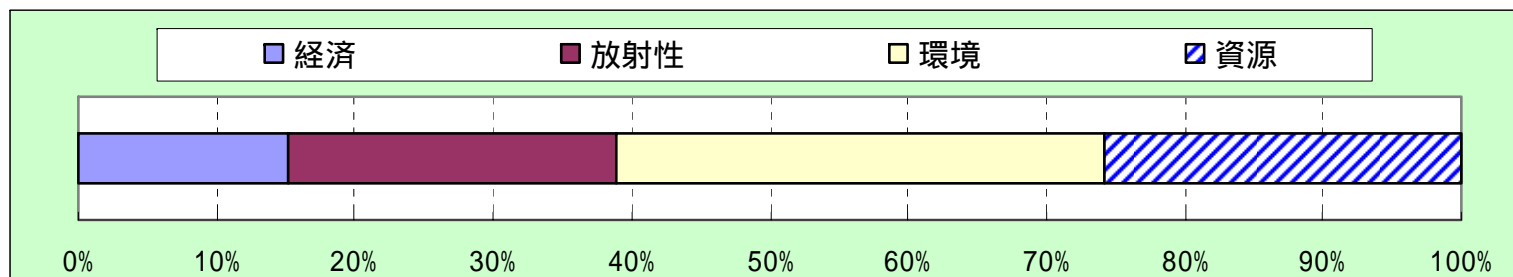


図 3.6.27 中小規模電源評価結果 (4 評価視点を重み付け：電気事業者平均の重み)

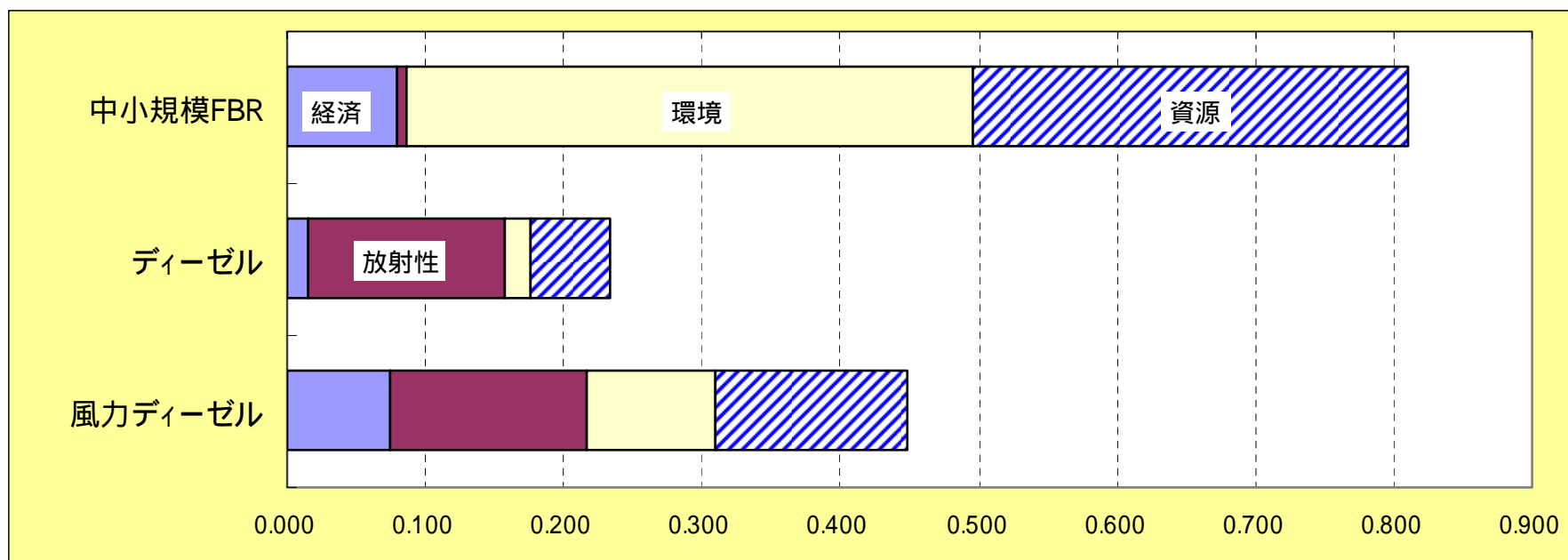
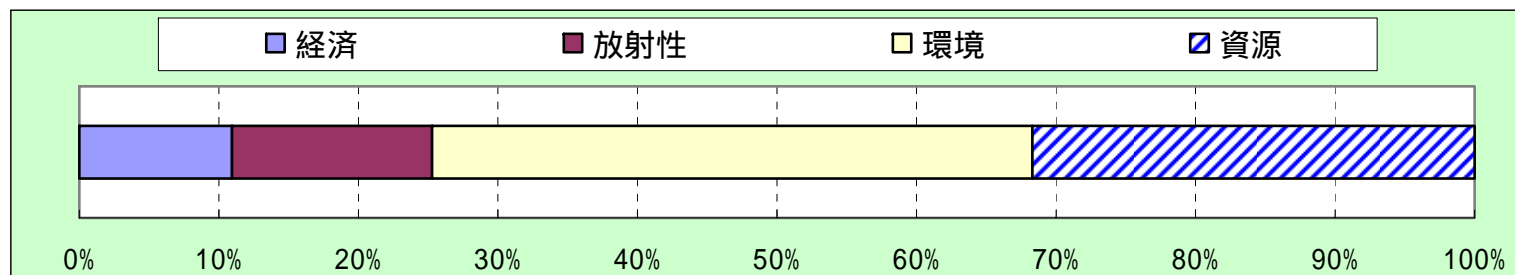


図 3.6.28 中小規模電源評価結果（4 評価視点を重み付け：有識者平均の重み）

3.7 多面的評価のまとめと今後の課題

将来、我が国が実用化すべき有望な FBR サイクル候補概念を明確化するために、複数の評価視点から多面的に、FBR サイクル候補概念間を比較評価する手法および FBR サイクルシステムと他の電源システムを比較評価する手法と評価結果について説明した。

FBR サイクル候補概念に関しては、フェーズ 中間評価以降の検討状況を踏まえ、安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、技術的実現性、事業容易性、社会的受容性という 8 つの評価視点を想定し、それぞれについて評価手法を開発した。さらに、将来の我が国の基幹電源として重視される価値観をアンケート等に基づいて想定することによって各評価視点の重みを付け、20 ケースの FBR サイクル候補概念を総合的に比較検討した。多重平衡サイクルが実現した時期を想定した FBR サイクルの特性の評価にあたっては、FBR サイクル候補概念の技術総括の結果とそれに基づく研究開発の重点化方針を定量的に裏付けるため、実用化の前提条件となる安全性と開発目標には含まれない事業容易性、社会的受容性を除く 5 つの評価視点から評価を実施し、それらの評価視点に対する適合度を算出した。また、上記の 5 評価視点に加えて、事業容易性と社会的受容性を評価視点に含め、FBR サイクルの特性を 7 つの評価視点から総体的に評価することも実施した。

最終評価では、FBR サイクル候補概念に関して研究開発段階から、導入期、平衡期に到達するまでの時系列特性評価手法も開発して評価を試みた。このときは、代表的な 5 ケースの FBR サイクル候補概念に関して、経済性と環境負荷低減性の評価視点について、多重平衡サイクル用の手法を踏まえて時系列の評価手法も開発し、評価を実施した。

原子炉プラントシステムを変えたときの結果は以下のとおりである。ナトリウム冷却炉サイクルは、各評価視点での評価結果が良好であり、評価視点の重みを付けて総合的に評価しても、やはり良好な結果が得られている。鉛ビスマス冷却炉サイクルは、技術的実現性と社会的受容性の面で課題があるものの、経済性については良好であり、資源有効利用性もかなり良い性能を持っている。ヘリウムガス冷却炉サイクルも、鉛ビスマス冷却炉サイクルと類似した特性を有しており、技術的実現性の面では課題があるものの、経済性でカバーする結果となった。ただし、資源有効利用性などでは、鉛ビスマス冷却炉サイクルに比べても課題があることがわかった。フェーズ 最終評価では、ヘリウムガス炉が多目的利用において大きな潜在的能力を持つ点や国際的に技術開発が盛んであり、わが国以外の国からブレイクスルーが起こる可能性がある点（技術的実現性の向上可能性など）は評価範囲外であった。水冷却炉を用いる FBR サイクルは、経済性と資源有効利用性の面で課題があり、技術的実現性と社会的受容性の面では良好だった。

燃料サイクルシステムを変えたときの結果には、炉型を変えたときほどの差が出なかったが、小規模システム（50tHM/y）と大規模システム（200tHM/y）において、湿式サイクルと乾式サイクルにおけるスケールメリットの効き方によって結果の傾向が若干異なった。全てナトリウム冷却炉で処理量を小規模にしたとき、MOX 燃料を先進湿式で再処理し、簡素化ペレット法で製造する場合には、経済性の面では若干課題があるものの、技術的実現性の面で良好であることが特徴である。同じく MOX 燃料を超臨界直接抽出で再処理し、簡素化ペレット法を製造する場合には、技術的実現性や環境負荷低減性の面で少々悪化するものの、経済性の面が改善されることになる。金属燃料を金属電解法で再処理し、射出成型法で製造する場合には、それほど技術的実現性と社会的受容性が悪化せずに経済性と資源有効利用性の面はよい結果となる。ただ、環境負荷低減性の向上が課題となったが、高レベル廃棄物の処理処分方法の発生量低減方策が具体化す

れば、湿式燃料サイクルを凌駕する可能性もある。大規模システム間の比較では、やはり大きな差は生じなかったが、MOX 燃料を先進湿式で再処理し、簡素化ペレット法で製造する場合には、より経済性に優れた結果が得られた。また、MOX 燃料を酸化物電解法で再処理し、振動充填法で燃料製造する場合には、技術的実現性と社会的受容性の面で課題があるが、さらに経済性を改善できる可能性がある。金属燃料を金属電解法で再処理し、射出成型法で製造する場合には、技術的実現性と社会的受容性が悪化せずに資源有効利用性の面はよい結果となる。ただし、経済面でのスケールメリットの効果は湿式法と比較して相対的に小さく、小規模の場合と同様に環境負荷低減性の向上（高レベル廃棄物発生量低減方策）が課題となった。

時系列評価に関しては、全ての評価視点を網羅した結果ではないものの、多重平衡サイクルの評価結果を裏付ける結果が得られた。実用化戦略調査研究において目指している FBR サイクルシステムは、経済性その他の開発目標に関して高い性能を有することが期待される。ただし、多重平衡サイクルの評価との違いは、軽水炉サイクルシステムの影響が大きいことと、FBR サイクルに早く移行できるような FBR サイクル候補概念については評価結果が良好となる点である。特に環境負荷低減性に関しては、軽水炉使用済燃料再処理施設を廃止する際の廃棄物量が大きいと考えられるため、早期に FBR サイクルの平衡状態に移行可能な FBR サイクル候補概念が良好な評価結果を得た。したがって、ナトリウム冷却炉サイクルについては、比較的早く FBR 体系に移行できるため時系列での評価結果は良いことになる。また、ヘリウムガス冷却炉サイクルおよび水冷却炉サイクルについては、導入から FBR サイクル平衡状態への移行は遅いので評価結果がやや劣る結果となった。時系列評価の結果からは、2030 年代から 2050 年代（あるいはそれ以降）にかけて、従来の原子炉や燃料サイクル施設の廃止措置が増加し、FBR サイクルをはじめとする新規施設建設の需要も増加することから、経済性の面や環境負荷の面でピークが現れることが示された。この時期を乗り切るとは将来のわが国原子力全体の課題となり、さまざまな対応が必要となると考えられる。

多面的評価の結果からは、多様な FBR サイクル候補概念のうち、総じて評価結果の高いナトリウム冷却炉・MOX 燃料・先進湿式再処理・簡素化ペレット燃料製造を組み合わせた FBR サイクルはもっとも有望な概念であると考えられる。他の炉型については、明確な結論を出すことは難しいものの、評価結果からは鉛ビスマス冷却炉が有望そうであるが、ヘリウムガス冷却炉は高温熱源として多くのニーズに対応できる可能性があることや国際協力によるブレークスルーを視野に入るとナトリウム冷却炉を超える魅力を持つ可能性がある。また、燃料サイクルシステムに関しては、先進湿式法に簡素化ペレット法を組み合わせた概念が最も評価結果が高いものの、他の概念もそれほど大きな差はない。たとえば、金属燃料を用いた金属電解再処理・射出鑄造燃料製造を組み合わせた概念は、炉心性能を向上させることができ、資源有効利用性の面から優れているため、将来のウラン需要拡大を考慮した場合には、先進湿式再処理・簡素化ペレット燃料製造を超える魅力を持つ可能性がある。

FBR サイクルシステムと他電源システムとの特性比較に関しては、FBR サイクル候補概念間の比較と異なり、より多様なシステムの特性を評価する必要がある。そのため、やはりフェーズ

中間評価以降の検討状況を踏まえ、（より広義の）経済性、資源供給性、環境影響低減性、放射性廃棄物、社会不安定影響性、技術的実現性、心理的バイアス低減性、電力以外発生資源といった評価視点から、質的な違いを比較可能な評価手法を策定した。個別の評価視点に関しては、中間評価実施結果を踏まえて、評価用データの入手可能性等の観点から評価指標を整理し、評価値

の与え方について系統的に整理することによって、FBR サイクルと競合する電源の特性の違いを明確化し、FBR サイクルの役割と意義を浮き彫りにできた。また、評価対象としては、将来の FBR サイクルと競合する可能性があるものとして、大規模電源に関しては、軽水炉と火力発電を考え、中小規模に関しては、FBR サイクルを僻地で利用することを考慮して、ディーゼル発電と風力・ディーゼル発電複合システムを取り上げて特性を比較評価した。

FBR サイクル候補概念および他電源との特性比較評価にあたっては、ステークホルダーの将来電源に関する多様な価値観やニーズを調査して多面的評価における各評価視点の重み付けに反映するため、アンケートの実施とその結果に基づく重み付け手法の開発を行なった。重み付けは、多面的評価自体が単純に比較・整理することが難しい多様な観点からの評価を実施するものだけに重要なステップである。フェーズ 最終評価では、開発者の専門的知識と社会の価値観やニーズの双方を尊重しながらより望ましい決定を行なうために、マーケティング手法を活用してアンケート調査を実施し、その結果から重み付けを行なう手法を開発して、各評価視点の重みを算出した。

大規模基幹電源同士の結果からは、FBR サイクルは火力発電や LWR サイクルなどの他の基幹電源と比較しても、心理的バイアス低減性や社会不安定影響性などで課題があるものの、環境影響低減性、資源供給性や経済性で優れていること、その結果として、将来社会の想定によって総合的な評価結果には若干の変化が見られるものの、競争力のある発電システムと考えられることが示された。中小規模電源については、設計の進捗状況から FBR サイクルを中間評価の評価対象に含めなかった。しかし、フェーズ 最終評価では、社会の中で求められる役割が基幹電源とは異なることを勘案し、基幹電源用の評価手法（評価構造や評価基準）を変更することにより、中小規模電源の特性を評価する手法を構築した。僻地利用を想定して評価した結果からは、大規模電源ほどの競争力はないと思われるものの、将来社会想定の影響については大規模電源と類似した傾向が見られ、有望な電源となる可能性のあることが示された。

フェーズ 最終評価では、将来ステークホルダーの価値観を考慮して、FBR サイクルの特性を多面的に評価する手法が整い、多面的評価を実施できることが示された。実用化戦略調査研究フェーズ 以来、総合評価手法の中核として開発を続けてきた多面的評価手法も、有望な FBR サイクル候補概念の明確化に資するための定量的評価結果を提供するという役割を果たした。一般に、多面的評価は、多量のデータを必要とするため、決して簡単ではないが、現在のように公共事業（科学技術政策に関する事業を含む）が社会に多様な影響を及ぼし、その事業を一面的な基準で設計して判断することが適切ではなくなっている時代においては、FBR サイクルの研究開発戦略策定へ適用するだけに留まらず、さまざまな社会的意思決定への応用可能性を有していると考えられる。

多面的評価に関する今後の課題として、まずフェーズ 最終評価結果の信頼性を増すためにも、不確実性および感度解析を実施した上で、評価手法を改良していくことが考えられる。フェーズ

最終評価では、電力供給事業に絞って評価を実施したが、今後は熱供給や水素製造といった多目的利用に関しても多面的評価に含めることでヘリウムガス炉などが持つ可能性を明示できるように改良する。他電源比較評価手法に関してはデータの拡充に努め、引き続き電力供給における FBR サイクルの役割を定量的に示していくための改良が望まれる。

今後は、多面的評価で得られた知見を投資対効果等に反映し、より現実的な検討・評価を行なっていくことも重要である。また、時系列的な評価を含む包括的な観点から多面的評価を実施す

ることによって、これまで社会的な影響がわかりにくかった特性や技術の影響の程度が定量的に把握できるようになる。そうした知見を踏まえて、有望な概念の研究開発内容に反映していくことが、将来の FBR サイクル実用化に向けて説得力ある研究開発を進めていく上で重要である。

[参考文献]

- 1) フィリップ・コトラー著，恩蔵直人訳：“コトラーのマーケティング・マネジメント・ミレニアム版”，ピアソン・エデュケーション，(2001)
- 2) 古川一郎他：マーケティング・サイエンス入門 市場対応の科学的マネジメント，有斐閣アルマ，(2003)
- 3) 塩谷洋樹他：“高速炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズ 中間報告 - 総合評価技術検討書 - ”，JNC TN9400 2004-052，(2004)
- 4) フォン・ベルタランフィ：一般システム理論，長野敬、太田邦昌共訳，みすず書房，(1973)
- 5) 鈴木正之他：メカトロニクス教科書シリーズ 14 動的システム論，コロナ社，(2000)
- 6) 熊澤峰夫他：全地球史解説，東京大学出版会，(2002)
- 7) 独立行政法人日本原子力研究開発機構 ホームページ(次世代原子力システム研究開発部門 高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究 実用化戦略調査研究の紹介 目的・内容)，(online) available from (<http://www.jaea.go.jp/04/fbr/mokuteki.html>)
- 8) 独立行政法人日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門：“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズ II 技術検討書(暫定版) (2)燃料サイクルシステム”(2006)
- 9) 木下栄蔵他：“AHPの理論と実際”，日科技連出版，(2000)
- 10) 石谷久，石川真澄：“シリーズ現代人の数理 2 社会システム工学”，浅倉書店，(1992)
- 11) 田村坦之他：“効用分析の数理と応用”，コロナ社，(1992)
- 12) Ralph L. Keeney and Howard Raiffa: “Decisions with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs”, Cambridge University Press, (1993) (First Published by John Wiley & Sons, (1976))
- 13) 独立行政法人日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門・原子力基礎工学研究部門：“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズ II 技術検討書(暫定版) (1)原子炉プラントシステム”，(2006)
- 14) 通産省：“原子力発電の経済性について”，総合エネルギー調査会原子力部会，第70回，資料3，(1999)
- 15) 総合エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会：“バックエンド事業全般にわたるコスト構造，原子力発電全体の収益性等の分析・評価～コスト等検討小委員会から電気事業分科会への報告～”，経済産業省，(2004)
- 16) 原子力委員会新計画策定会議技術検討小委員会：“基本シナリオの核燃料サイクルコストに関する検討書”，内閣府，(2004)
- 17) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) / Nuclear Energy Agency (NEA) / International Energy Agency (IEA): “Projected Costs of Generating Electricity Update 2005”，(2005)
- 18) 篠田佳彦他：“総合評価技術検討書 - 実用化戦略調査研究(フェーズ)成果報告 - ”，JNC TN9400 2001-061”，(2001)
- 19) 電気料金研究会：“新版市民の電気料金 制度改革とその仕組み”，p 64-94，(2003)
- 20) 電気事業連合会：“原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて，資

- 料 1-2 再処理施設の廃止措置費用について” ,総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会 ,(2004)
- 21) 電気事業連合会 : “原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて , 資料 1-4 返還廃棄物管理費用の見積もりについて” , 電気事業連合会 , 総合エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会 ,(2004)
- 22) 電気事業連合会 : “原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて , 資料 1-5 高レベル放射性廃棄物の輸送・処分費用の見積もりについて” , 電気事業連合会 , 総合エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会 ,(2004)
- 23) 電気事業連合会 : “原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて , 資料 1-6 TRU 廃棄物の地層処分費用の見積もりについて” , 電気事業連合会 , 総合エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会 ,(2004)
- 24) 東京電力株式会社 : “有価証券報告書総覧” ,(1999 ~ 2003)
- 25) 東京電力株式会社 : 東京電力の原子力データ , 原子力発電所ではどのくらいの人が働いているの ? , (online) available from <<http://www.tepco.co.jp/index-j.html>> (accessed 2006-02-22)
- 26) 小松崎均 : “わが国電気事業のコスト構造分析と今後の課題 , 第 311 回定例研究報告会 , (1995 年)
- 27) 資源エネルギー庁ホームページ : よくある質問とその回答(online) available from <<http://www.enecho.meti.go.jp/>> (accessed 2006-02-22)
- 28) 電気事業連合会 : “原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて , 資料 4 モデル試算による電源の発電コスト比較” , 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会 ,(2004)
- 29) 藤井晴雄 : “原子力発電の経済分析及び核燃料産業の将来予測” , フジインターナショナル , p292~295 , (1974)
- 30) Manson Benedict, Thomas H. Pigford, and Hans Wolfgang Levi: “Nuclear Chemical Engineering (Second Edition)”, McGraw-Hill, (1980)
- 31) 財団法人日本原子力文化振興財団 : “核燃料と原子材料” , p59~57 , (1997)
- 32) 経済産業省 : “地域金融人材育成プログラムテキスト キャッシュフローと資本コスト” , (2004)
- 33) ツヴィ・ボディ他 : “現代ファイナンス論 - 意思決定のための理論と実践 - ” , ピアソン・エデュケーション , (1999)
- 34) 財務省令第 38 号 : “減価償却資産の耐用年数等に関する省令 , 一般の減価償却資産の耐用年数 , 第 1 条”
- 35) 電気事業連合会 : “原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて , 資料 1-1 再処理施設の操業費用について” , 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会 ,(2004)
- 36) 電気事業連合会 : “原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて , 資料 1-3 MOX 加工事業費用について” , 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会 ,(2004)
- 37) 日本原燃株式会社 : “有価証券報告書総覧” ,(2003)

- 38) 国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課：“建設工事費デフレーター（過去のデータ）”，(2005.10)
- 39) 矢島正之：“電力自由化とエネルギーセキュリティ”，エネルギー・資源，Vol25.No1，p40~45，(2004)
- 40) 日本銀行：“金融経済統計”，(2004)
- 41) 日本原子力発電株式会社：“有価証券報告書総覧”，(2003)
- 42) 日本銀行ホームページ：わかりやすい金融経済(online) available from
< <http://www.boj.or.jp/index.html> > (accessed 2006-02-22)
- 43) 内閣府：“国民経済計算年報”，(2004)
- 44) 環境省：“循環型社会白書（平成15年版）”，ぎょうせい，(2003)
- 45) 環境省：“環境白書（平成14年版）”，ぎょうせい，(2002)
- 46) 環境省：“環境パフォーマンス指標に関するガイドライン”，(2003)
- 47) 牧隆他：“環境負荷低減に関する調査，JNC TJ9440 2000-012”，(2000)
- 48) 牧隆他：“FBR サイクル候補概念に関するサイクル諸量計算”，JNC TJ9400 2002-004，(2001)
- 49) 社団法人日本原子力学会 標準委員会 原子燃料サイクル専門部会 放射性廃棄物の用語・呼称検討タスク：“放射性廃棄物の用語・呼称について 中間報告書（案）”，(2004)
- 50) 川崎弘嗣他：“世界を対象とした高速増殖炉サイクルの研究開発投資効果”，JAEA-Research 2006-001，(2006)
- 51) 増田純男他：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - 分冊3 地層処分システムの安全評価”，JNC TY1400 2000-001，(2000)
- 52) 共同作業チーム（核燃料サイクル開発機構，電気事業連合会）：“TRU 廃棄物処理処分概念検討書”，JNC TY1400 2000-001，(2000)
- 53) 電気事業連合会，核燃料サイクル開発機構：“TRU 廃棄物処分技術検討書”，JNC TY1400 2005-013，FEPC TRU-TR2-2005-02，(2005)
- 54) 牧隆，堀内伸剛：“サイクル諸量解析コードの機能拡張”，JNC TJ9400 2002-006，(2002)
- 55) 牧隆，堀内伸剛：“サイクル諸量解析コードの機能拡張（ ）”，JNC TJ9400 2003-001，(2003)
- 56) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) / Nuclear Energy Agency (NEA)：“Uranium 2003: Resources, Production and Demand”(2003)
- 57) International Atomic Energy Agency (IAEA)：“International Nuclear Fuel Cycle Evaluation REPROCESSING”，PLUTONIUM, HANDLING, RECYCLE Report of INFCE Working Group 4 (1980)
- 58) The Tops Task Force of the Nuclear Energy Research Advisory Committee：“Technological Opportunities To Increase The Proliferation Resistance of Global Civilian Nuclear Power Systems (TOPS)”，Department of Energy (DOE) Nuclear Energy Research Advisory Committee (NERAC) (2000)
- 59) 日・IAEA 保障措置協定：“核兵器の不拡散に関する条約第3条1及び4の規定の実施に関する日本国政府と国際原子力機関との間の協定”，(1977)

- 60) International Atomic Energy Agency (IAEA): “INFCIRC/225/Rev. 4” (1999)
- 61) 岡田章：“ゲーム理論”，有斐閣，(1996)
- 62) Bruno Pellaud: “Proliferation Aspects of Plutonium Recycling”, Journal of Nuclear Material Management Volume XXXI No.1, pp. 30-38, (2002)
- 63) 寺本義也他：“最新 技術評価法”，日経 BP 社，(2003)
- 64) 松島克守：“MOT の経営学”，日経 BP 社，(2004)
- 65) プロジェクトマネジメント導入開発調査委員会：“P2M プロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブック”，財団法人エンジニアリング振興協会，(2001)
- 66) 三菱総合研究所：“FBR サイクルの社会的受容性向上方策に関する調査研究”，(2005)
- 67) 総合エネルギー調査会原子力部会：“原子力発電所の解体廃棄物”，原産マンスリー，34，p27-73 (1998)
- 68) 森部剛志 他：“ガス炉のプラント概念に関する研究”，JNC TY9400 2005-006，(2005)
- 69) 日本原燃株式会社：“日本原燃株式会社ホームページ，工事進捗状況”，(online) available from < <http://www.jnfl.co.jp/cycle-recycle/kouji/index.html> > (accessed 2005-11-09)
- 70) 電気事業連合会：“原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて，資料 1-8 ウラン濃縮工場バックエンド費用について”，総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会，(2004)
- 71) 大滝明他：“FBR サイクルの多面的評価(4) FBR サイクル候補概念の導入シナリオ評価”，日本原子力学会 2006 年春の年会 要旨集 E32，(2006)
- 72) 川崎弘嗣他：“FBR サイクルの多面的評価(3) 重み付けの手法と多面的評価結果”，日本原子力学会 2006 年春の年会 要旨集 E31，(2006)
- 73) 鈴木敦士：“核燃料サイクル 何をどのくらい重視する？”，三菱総合研究所ホームページ，(online) available from (http://eru.mri.co.jp/column/2005/0826_2.html)，(2005)
- 74) 芝剛史他：“目標達成度評価システムの機能拡張()”，J9400 2003-007，三菱総合研究所，(2003)
- 75) 芝剛史他：“目標達成度評価システムの機能拡張”，J9400 2002-003，三菱総合研究所，(2002)
- 76) 芝剛史他：“FBR サイクルの多面的評価手法の検討”，J9400 2001-013，三菱総合研究所，(2001)
- 77) 杉本徹雄：“消費者理解のための心理学”，福村出版，(1997)
- 78) 原純輔他：“社会調査演習[第 2 版]”，東京大学出版会，(2004)
- 79) 原子力安全委員会：“発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針”，(1990)
- 80) 原子力安全委員会：“発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針”，(1990)
- 81) 原子力安全委員会：“高速増殖炉の安全性の評価の考え方”，(1980)
- 82) 原子力安全委員会：“再処理施設安全審査指針”，(1986) 2001 改訂版
- 83) 原子力安全委員会：“ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設安全審査指針”(2002)
- 84) 日本原燃(株)：“六ヶ所再処理事業所 再処理事業指定申請書”，(1989) 1997 補正
- 85) 「分離核変換工学」専門委員会：“総説 分離変換工学”，社団法人日本原子力学会，(2004)
- 86) 芝剛史他：“FBR 研究開発に関する投資対効果評価システム概念の構築”，三菱総合研究所，JNC TJ9400 99-006 (1999)

- 87) 芝剛史他：“FBR 研究開発の投資対効果評価システムの詳細検討”，三菱総合研究所，JNC TJ9440 2000-011（2000）
- 88) 芝剛史他：“投資対効果評価システムの開発”，三菱総合研究所，JNC TJ9400 2001-018（2001）
- 89) 塩谷洋樹他：“FBR サイクル研究開発の投資対効果評価（研究報告）”，核燃料サイクル開発機構報告書，JNC TN9400 2002-048（2002）
- 90) 総合資源エネルギー調査会 総合部会：“エネルギーセキュリティワーキンググループ報告書”，（2001）
- 91) 東京電力株式会社：“TEPCO：プレスリリース | 富津火力発電所 3号系列（第4軸）の営業運転開始について～世界最高水準の熱効率 50%を実現するとともに、建設費の約3割のコストダウンを達成”，東京電力株式会社ホームページ，
（online）available from（<http://www.tepco.co.jp/cc/press/01070901-j.html>），（2001）
- 92) 東京電力株式会社：“TEPCO：プレスリリース | 千葉火力発電所 1・2号系列の完成について - 世界最高水準の熱効率 49%を実現するとともに、発電所全体で大幅なコストダウンを達成 - ”，東京電力株式会社ホームページ，
（online）available from（<http://www.tepco.co.jp/cc/press/00061501-j.html>），（2000）
- 93) 佐藤治他：“我が国における二酸化炭素削減戦略と原子力の役割”，JAERI-Research99-015，（1999）
- 94) 石油連盟：“石油資料月報”，（1990～2005）
- 95) IEA：“World Energy Outlook”：2002，（2003）
- 96) IEA：“World Energy Outlook”：2004（要約版），（2005）
- 97) （財）省エネルギーセンター：“エネルギー・経済統計要覧 2005”，（2005）
- 98) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ：（online）available from（http://www1.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey04/ev04_p.html）（2006）
- 99) 財務省：“財務省貿易統計”，（1998～2005）
- 100) 東京電力株式会社：“数表で見る東京電力”，（2004）
- 101) OECD：“EMISSION CONTROLS”，（1988）
- 102) OECD：“ENERGY BALANCES”，（2004）
- 103) 電力中央研究所：“電中研ニュース No.338”，（2004）
- 104) BP：“BP 統計 2005“（2005）
- 105) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編：総合エネルギー統計平成 15 年度版，（2005）

4. 軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行シナリオ評価

現在稼働中の軽水炉のリプレースが本格化する 2030～2050 年ごろをFBR導入開始時期として、FBRサイクル実用化戦略調査研究のフェーズⅡで検討された将来概念による軽水炉サイクルからFBRサイクルへの移行特性を、サイクル諸量解析に基づいたシナリオ分析^{※1}により評価した。

4.1 評価対象とした FBR サイクル概念

FBRサイクル実用化戦略調査研究のフェーズⅡでは、表 4.1.1に示される 20 ケースのFBRサイクル候補概念が検討された。主に国内導入を想定した各候補概念の潜在的ポテンシャルや開発目標に対する適合度については、第 3 章のFBRサイクルの多面的評価で既述したとおり、「ナトリウム冷却炉+MOX燃料+先進湿式再処理+簡素化ペレット燃料製造法」の組み合わせが最も高い目標適合度を示すと評価され、「ナトリウム冷却炉+金属燃料+金属電解再処理+射出鋳造」がそれに次ぐとされている。

一方、移行シナリオ評価では、この 20 ケースを FBR システムの冷却材と燃料形式の違いに着目して5つのグループに大別し、表 4.1.2 に示したそれぞれのグループを1つの将来概念として扱うこととした。増殖比が異なる原子炉システムを同じ将来概念にまとめた理由は、FBR 導入の標準的なスキームを考えた場合、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行過程ではプルトニウム供給を主目的とする高増殖型 FBR（本研究では「資源重視型 FBR」という）が指向され、プルトニウム需給が安定化した FBR 導入後期や軽水炉から FBR への移行完了後には低増殖型 FBR（本研究では「経済性重視型 FBR」という）が主流になると想定される。このように増殖比へのニーズは時間の経過とともに変化すると考えられることから、将来概念の中では増殖比を選択オプションとして位置付けている。

4.2 節以降で述べるシナリオ評価では、この5つのグループのFBR移行特性を国内導入条件の下で比較するとともに、そのうち第 3 章の多面的評価で目標適合度が高く技術総括によって有望概念に選定された3つの代表概念（表 4.1.2 中のグループⅠ、Ⅱ、Ⅳ）については、核燃料サイクルの将来計画や運用条件の不確かさを想定したシナリオ解析を行う。さらにグループⅠとⅡの両概念については、フェーズⅡ中間報告⁴に引き続き世界全体を検討対象範囲にしたFBR導入解析を行う。世界全体のFBR導入解析では、フェーズⅡ中間報告の考察を踏まえて国内導入に比べ増殖性能を強化した炉心（ナトリウム冷却MOX燃料炉心の増殖比 1.20、ナトリウム冷却金属燃料炉心の増殖比 1.26）を採用することとした。

^{※1} 将来起こり得る様々な局面変化を俯瞰的に分析し、それぞれに対処する戦略を予め準備する手法の一つ。シナリオとしては、変化がないベースケースや想定範囲内での極端ケース、典型的で判りやすく、内部矛盾がなく戦略的意味があるものが一般的に選定される。

表 4.1.1 FBR サイクル実用化戦略調査研究フェーズ の検討概念

FBRシステム				リサイクルシステム					備考	
通番	評価 ケース	炉	燃料	湿 / 乾	処理規 模	再処理	燃料製造	炉心		
1	1-1	Na大型炉 150万kWe × 2	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	MOX燃料の最も有望な湿式概念	
2	1-2							経済		
3	1-3						LLFP	FP核変換の代表的な有望概念		
4	2-1						資源			燃料製造方法の違いを評価
5	2-2						経済			
6	3-1				小規模 (50t/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	燃料サイクル施設規模の違いを評価	
7	3-2							経済		
8	4-1				超臨界	簡素化 ペレット	資源	小規模施設の経済性向上に有望な再処理概念		
9	4-2						経済			
10	5-1				乾式	小規模 (50t / y)	酸化物電解	振動充填	資源	MOX燃料の最も有望な乾式概念
11	5-2		経済							
12	6-1		金属	乾式	大規模 (200t/y)	金属電解	射出鑄造	資源	金属燃料で最も有望なサイクル概念	
13	6-2							経済		
14	7-1				小規模 (50t/y)			資源	燃料サイクル施設規模の違いを評価	
15	7-2							経済		
16	8-1	Pb - Bi中型炉 強制循環 75万kWe × 4	窒化物	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	資源	Pb-Bi炉サイクルの有望概念	
17	8-2							経済		
18	9-1	He大型炉 150万kWe × 2	窒化物 被覆粒子	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	被覆法	資源	He炉サイクルの有望概念	
19	9-2							経済		
20	10	水炉 135.6万kWe × 2	MOX	湿式	大規模 (200t/y)	先進湿式	簡素化 ペレット	-	水冷却炉サイクルの有望概念	
備考	資源:資源重視型炉心(高増殖タイプ), 経済:経済性重視型炉心(低増殖タイプ), FP:LLFP核変換炉心(低増殖タイプ)									

表 4.1.2 将来概念のグルーピングとシステム構成

項目	グループ					
炉型		Na冷却大型	Na冷却大型	Pb-Bi冷却中型	He冷却大型	水冷却大型
燃料		混合酸化物	金属	窒化物	窒化物被覆粒子	混合酸化物
増殖比	資源重視型炉心 経済性重視型炉心	1.10 1.03	1.11 1.03	1.10 1.04	1.11 1.03	1.05
複利システム倍増時間(年)		72	58	76	99	467
初期Pufインベントリ (ton-Puf/GWe) ¹		8.8	7.0	8.9	10.7	18.3
LWR回収MAの添加		5wt%上限	5wt%上限	5wt%上限	5wt%上限	4wt%上限
デモンストラシヨンプラント 実用初号機 2050年以降実用機		2023年:50万kWe 2034年:100万kWe 150万kWe	2023年:50万kWe 2034年:100万kWe 150万kWe	- - 150万kWe	- - 150万kWe	2015年:40万kWe - 150万kWe
燃料製造施設	製造方式 加工ロス率(%)	簡素化ペレット 0.1	射出成型 0.5	簡素化ペレット 0.1	被覆法(振動充填) 0.1	簡素化ペレット 0.1
FBR再処理施設	再処理方式 再処理ロス率(%) L-MOX再処理の適否 L-MOX再処理ロス(%) 初号機年間処理量 2050年以降施設年間再処理量	先進湿式 0.1 適(FBR:L-MOX=7:3) FBR燃料に同じ 50tHM/y(2040年) 100~200tHM/y	金属電解 0.4 不適 - 50tHM/y(2050年) 100~200tHM/y	先進湿式 0.1 不適 - 50tHM/y(2050年) 100~200tHM/y	先進湿式 0.1 不適 - 50tHM/y(2050年) 100~200tHM/y	先進湿式 0.1 適(FBR:L-MOX=7:3) FBR燃料に同じ 50tHM/y(2040年) 100~200tHM/y
L-MOX専用再処理施設	年間処理量 運開開始年	- -	50tHM/y 2050年	50tHM/y 2050年	50tHM/y 2050年	- -
備考	<p>1: 初装荷炉心と炉外冷却期間5年分の平衡装荷燃料に必要な核分裂性プルトニウム量</p> <ul style="list-style-type: none"> 軽水炉使用済MOX燃料回収Puは、軽水炉使用済MOX燃料をFBR再処理施設で処理する場合は、FBR回収Puと再処理量比(FBR:L-MOX=7:3)で混合して利用する。軽水炉使用済MOX燃料専用再処理施設で処理する場合は、同年にFBR再処理施設で回収されるPuとそのまま混合して利用する。 2030年導入ケースでは、2020年デモンストラシヨンプラントと2030年以降実用機の容量は上記と同じとする(実用初号機は考慮しない)。また、FBR再処理施設は2035年50tHM/y、それ以降100~200tHM/yとする。 					

4.2 シナリオ評価の前提条件

本節では、FBR サイクル移行シナリオの前提条件として、移行シナリオの基本的考え方、国内および世界を対象としたサイクル諸量解析の前提条件について述べる。

4.2.1 移行シナリオの基本的考え方

原子力利用に係る当面の国内課題として、軽水炉による核燃料サイクル事業の本格化や軽水炉使用済燃料中間貯蔵施設ならびに高レベル廃棄物最終処分場の確保が想定される。これらは持続的な原子力利用の基盤となることから適切な対応が求められる問題である。さらに、わが国の原子力利用が海外からのウラン輸入に依存していることを踏まえれば、エネルギー安全保障の脆弱性を克服することも重要である。そのためには競合する世界の原子力発電開発やウラン需給の将来動向に早くから目を向け、軽水炉の運転が滞ることなくウラン資源の確保や節約に努めるとともに、寿命廃止される軽水炉を順次 FBR としてリプレースする計画を国のエネルギー戦略として官民一体で推進することが肝要である。

世界の原子力発電動向については、原子力年鑑 2005^[2]によるとイギリスのコールダーホール原子力発電所やドイツのシュターデ原子力発電所のように経済性を理由として閉鎖が進む中で、日本をはじめ中国や韓国などのアジア地域では開発が躍進している。また、カナダやフィンランドにおいても休止施設の運転再開や建設着工の進展があり、世界規模の原子力発電開発は今なお成長し続けている。また、原子力ポケットブック 2005 年版^[3]によれば 2004 年 12 月末時点の世界の原子力発電容量は運転中が約 379GWe、建設中が約 28GWe および計画中が約 40GWe の合計約 447GWe とされており、イギリスやドイツにおける廃止を含めてもこの一年間で約 3% 増加している。原子力発電容量の将来見通しについては、IEA^[4]のように世界全体では 2030 年まで概ね横ばいで推移する見方があるものの、原子力に注力している国々ではエネルギー不足の解消と温室効果ガスの抑制を目的とする原子力開発プログラムを発表している。世界最大規模の原子力発電所を抱えるアメリカ（2004 年末時点約 103GWe）では 2020 年までに約 60GWe の増加を想定しており、自由主義経済活動が浸透してきたロシア（同約 23GWe）と中国（同約 7GWe）では 2030 年までの導入目標を、それぞれ約 60GWe と約 50GWe としている^[5]。さらに中国では 2050 年までの最低必要量を約 240GWe とする報告がなされている^[6]。

一方、近年のウラン需給実績と近未来のウラン需給見通しについては、レッドブック 2003^[7]によれば 2002 年のウラン需要実績は約 6 万 6,800 トンU とされ、2020 年のウラン需要量は低需要ケース（原子力発電容量 418GWe）で約 7 万 3,500 トンU、高需要ケース（原子力発電容量 483GWe）では約 8 万 6,100 トンU と予測されている。ウラン生産能力は 2003 年の約 4 万 7,900 トンU から 2010 年に約 6 万 3,900 トンU まで増加し、その後 2020 年には約 6 万 2,200 トンU まで低下すると予測されている。ウラン需要量と 1 次生産量のギャップを埋めるため在庫ウランの取り崩しが行われているが、さらには高濃縮ウランの民生利用、テイルウランの再濃縮、MOX や回収ウラン利用が必要とされており、これらの 2 次供給源からのウラン供給も 2020 年以降は減少すると見込まれている^[8]。

上述の国内外の将来課題を踏まえ、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行シナリオの基本スキームを以下のとおりとした。

- ① 持続的な原子力利用を実現するため、軽水炉サイクルによるプルトニウム利用から、ウラ

ン資源の有効利用と同時にマイナーアクチニドの核変換／燃焼による廃棄物削減も可能な FBR サイクルへと核燃料サイクルを進化させていく。

- ② 軽水炉サイクルの使用済燃料は、直接処分を行うことなく核燃料資源として全量再処理する。
- ③ 中間貯蔵される軽水炉使用済燃料や軽水炉使用済 MOX 燃料の再処理を考慮した軽水炉サイクルから FBR サイクルへの円滑な移行シナリオを構築する。
- ④ また、国内の移行シナリオは FBR サイクルへの本格移行開始時期、六ヶ所再処理工場以降の軽水炉再処理計画、国内外の原子力設備容量やウラン資源開発見通しなどの将来の局面変化に対応可能な柔軟性を備えたものとする。

4.2.2 国内の想定条件

(1) 移行シナリオの概要

図 4.2.1 は、国内を想定した FBR 移行シナリオのストーリーラインとサイクル諸量上の留意点を整理したものである。この FBR 移行シナリオでは、商業用 FBR の導入開始前に軽水炉プルサーマルを全て終了し、六ヶ所再処理工場で回収したプルトニウム、第 2 軽水炉再処理施設以降で回収されたプルトニウムとマイナーアクチニドはそれぞれ FBR 燃料としてリサイクルされる。また、軽水炉使用済 MOX 燃料については、FBR 燃料が MOX 燃料の場合は FBR 再処理施設で処理され、FBR 燃料がそれ以外の場合は軽水炉 MOX 燃料専用再処理施設で処理されるものとしている。軽水炉使用済 MOX 燃料から回収されたプルトニウムとマイナーアクチニドは、濃縮ウラン燃料の場合と同様に FBR でリサイクルが行われるものとしている。

(2) 対象概念と評価の視点

国内評価では、5つのグループに大別した将来概念の FBR 移行特性を上述のストーリーラインに沿ったサイクル諸量解析により横断的に比較する。また、そのうち第 3 章の多面的評価で目標適合度が高く技術総括によって将来有望とされた 3つの代表概念については、移行シナリオの基本的考え方で述べたように核燃料サイクルの将来計画や運用条件の不確かさを想定したシナリオ解析を行う。国内シナリオの解析ケース一覧を表 4.2.1 に示す。さらに将来概念と代表概念に対する評価視点の違いを以下に述べる。

(i) 将来概念の FBR 移行特性比較

ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心（グループ I）、ナトリウム冷却金属燃料炉心（同 II）、鉛-ビスマス冷却窒化物燃料炉心（同 III）、ヘリウム冷却窒化物燃料炉心（同 IV）および水冷却 MOX 燃料炉心（同 V）について、国内シナリオの基本ケース（発電設備容量約 58GWe、FBR 本格導入開始 2050 年、第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理量 1,200 トン）と FBR の本格導入開始を 2030 年に早めた場合の 2つのケースを FAMILY-21¹¹⁾により解析し、主に FBR 導入手量・天然ウラン累積需要量・高レベル廃棄物中のマイナーアクチニド量に着目して FBR 移行特性を比較評価する。

なお、FBR 移行特性の比較評価では、参考として軽水炉ワンスルーシナリオおよびプルトニウム多重リサイクルシナリオとの比較も行う。

(ii) 代表概念によるシナリオ解析

代表概念として、ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心（グループ I）、ナトリウム冷却金属燃料

炉心（同Ⅱ）、ヘリウム冷却室化物燃料炉心（同Ⅳ）を評価対象とする。

シナリオ解析では、将来計画の不確かさに対する柔軟性を把握するため、前述の基本ケースと2030年導入ケースの他に原子力設備容量や第2軽水炉再処理施設以降の年間処理容量が異なるケースをシナリオに加える。さらに回収ウラン再濃縮利用の実施の可否、濃縮役務におけるテイルウラン濃度あるいはFBR炉心燃料に添加するマイナーアクチニド濃度などの運用条件を変えた場合の影響についても評価する。

(3) 原子力設備容量

シナリオ解析に用いる原子力設備容量は図4.2.2に示すとおり、軽水炉を代替するリファレンス条件、軽水炉の他に火力の一部を代替するCO₂制約条件、基幹電源と水素製造を担う水素製造条件の3つを想定した。

(i) リファレンス条件

リファレンス条件の原子力発電容量は、経済産業省の総合資源エネルギー調査会需給部会が2004年6月に公表した「2030年のエネルギー需給展望（中間とりまとめ）」の基本ケース⁸⁾に準じており、2006年3月時点の約50GWeから2030年時点で約58GWeまで増加し、その後一定で推移するものと仮定した。リファレンス条件の原子力発電容量と原子炉リプレースの想定条件を図4.2.3に示す。同図中の2030年から2090年までの第一世代のリプレース期間に現れている設備容量の変動は、2030年以降に新設する原子力発電プラント一基あたりの設備容量を1.5GWeと仮定しているため廃止容量と新設容量の差異によって生じており、全てのプラントが1.5GWe／基に規格化された後では現れない。

(ii) CO₂制約条件

CO₂制約条件の原子力発電容量は、素材型産業から組立加工型産業への産業構造転換や民生部門における家電製品の普及により一次電力化率が今後約100年間に約42%から45%まで緩やかに成長し、同時に電気事業者のCO₂排出量についても1990年水準で維持するものと仮定した場合に必要な設備容量である。CO₂制約条件では火力発電の高効率化や再生可能エネルギー発電の積極的導入を図ってもCO₂排出量が1990年水準まで低下しないことから、軽水炉の他に火力発電の一部をFBRで代替するものとしている。原子力発電設備容量は2100年まで緩やかに上昇し、その後およそ80GWe一定で推移する。

なお、FBRサイクル実用化戦略調査研究では、シナリオ検討の一環として国内一次エネルギー需給量、一次エネルギー電力化率、再生可能エネルギー発電導入量、将来火力の熱効率や燃料構成、CO₂制約条件などが異なる様々な条件で超長期に渡る国内原子力発電容量を推計しており、今回採用したCO₂制約条件もその一例である^{[1]、[9]}。

(iii) 水素製造条件

水素製造条件の原子力設備容量は、リファレンス条件と同規模の発電用FBRと水素製造用FBRの合計である。水素製造プラントの設備容量については、燃料電池自動車消費する全ての水素を原子力で賄う場合、2020年頃から水素製造用原子力を立上げ、水素需要がピークを迎える2050年頃には約45GWe相当（ハイブリッド熱化学法^[10]ベース）が必要になると見込まれる。しかし、原子力施設の計画から運開までのタイムラグを考えると1年間あたり約3GWeの急速な新設ペースは極めて困難と考えられることから、燃料電池自動車への水素供給は軽水炉あるいは原子力以外の水素供給源と併用することとし、2020年から2080年までの60年間で約38GWeの水素製造用原子力を段階的に立上げ、その後は燃料電池自動車が

消費する全ての水素を水素製造用原子力で供給するものとしている。原子力による水素供給は2020年～2029年の期間は軽水炉による水電気分解法で行い、2030年以降についてはFBRによるハイブリッド熱化学法を想定している。なお、2070年以降の設備容量低下の原因は、将来社会の課題の一つである人口減少により国内自動車保有台数が減少し、その結果、燃料電池自動車の水素消費量も減ることによる^[11]。さらに2100年以降については発電用FBRと同様に一定と仮定している。

(4) 解析条件の概要

国内評価における核燃料サイクルの主要なシステムデータの想定条件を表4.2.1に示す。原子炉システムのうち、2019年までに運転を開始する軽水炉の燃焼度は現行の主流である約40,000～50,000MWd/tとし、2020年以降に運転を開始する軽水炉については燃焼度約60,000MWd/tを想定した。また、設備稼働率についてもそれぞれ80%および90%としている。炉外サイクル時間については軽水炉サイクル4年、高速炉サイクル5年を基本としているが、FAMILY-21では古い使用済燃料の再処理を優先しているため原子炉取出しから再処理までの待機期間は必ずしも一様ではない。軽水炉再処理システムには原子力機構東海再処理工場も含めており、年間処理量を40トンとしている。六ヶ所再処理工場については、2005年3月時点の計画に基づきホット試験運転とその後の計画運転を設定した。

一方、FBRの全炉心平均燃焼度は水冷却炉MOX燃料炉心の45,000MWd/tからナトリウム冷却金属燃料炉心の153,000MWd/tまで幅広く、その詳細や増殖比などについては表4.2.2と表4.2.3に示す炉心特性データを参照されたい。その他に高速炉導入初期のFBRシステムや再処理施設の導入計画、ロス率などについては前出の表4.1.2を参照されたい。

また、移行シナリオの解析ケース一覧を表4.2.4に示す。国内シナリオの基本ケース(枝番5)とFBR導入開始時期のみ2030年としたケース(枝番6)については、5つの概念に対して共通的に解析・評価を実施する。設備容量や第2軽水炉再処理施設以降の年間処理容量、回収ウラン再濃縮利用の可否などの運用条件をパラメータとする解析は、主にナトリウム冷却MOX燃料炉心(グループI)とナトリウム冷却金属炉心(グループII)を対象として行うこととした。

4.2.3 世界の想定条件

(1) 対象概念と評価の視点

FBRサイクル実用化戦略調査研究で検討している将来概念は、国内ニーズを満たすと同時に国際標準を目指すうえで世界規模のニーズにも対応し得るポテンシャルをもつことが望ましい。本研究で開発目標に掲げている安全性・核拡散抵抗性・環境負荷低減性については、人命や社会生活への脅威を取り除く意味で国際的に共通した技術目標の下で対応可能と考えられるが、資源有効利用性としての増殖性能は各々の国の原子力事情に適応した技術目標が存在する。

例えば既に多くの軽水炉が稼働している欧米や日本では軽水炉使用済燃料が十分に存在しているため、軽水炉使用済燃料から回収されたプルトニウムでFBRを立ち上げる場合はそれほど高い増殖性能を必要としない。一方、これから多くの原子力発電所を導入しようとする国々では、FBRを立ち上げるために必要なプルトニウムの不足が制約因子となりFBRの普及が進ま

ないケースが想定される。濃縮ウランに比べプルトニウムの輸出入管理が難しい状況を考慮すれば、世界を対象とした FBR 導入解析では少なくとも原子力開発先進国と原子力開発途上国に分け、それぞれの原子力発電導入状況に応じて FBR 移行開始時期や増殖性能などが異なる条件で FBR 導入特性を評価する方法も考えられる。しかし、ここでは世界全体を巨視的に一つの地域として扱い、その中で原子力先進国は持続的な原子力利用をリードするため FBR 利用を通してウラン消費を抑え、原子力開発途上国ではその余剰ウランで軽水炉開発を進め、これと並行的に世界規模のプルトニウム利用管理体制を整えて随時 FBR に移行するというシナリオを想定する。また、本解析ではナトリウム冷却 MOX 燃料炉心（グループ I）とナトリウム冷却金属燃料炉心（同 II）を代表概念とし、それぞれ国内導入に比べ増殖性能を強化した炉心（ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心の増殖比 1.20、ナトリウム冷却金属燃料炉心の増殖比 1.26）を採用することとした。世界全体を評価対象にした場合の FBR 炉心特性データを表 4.2.5 に示す。

(2) 原子力発電設備容量

世界全体の原子力発電設備容量は、国際応用システム解析研究所(IIASA)と世界エネルギー会議(WEC)によるエネルギー需給予測の中で、原子力発電電力量の需要成長が比較的現実的な C2 ケース（環境重視の観点から原子力と再生可能エネルギーの普及を見込んだシナリオ）に基づいて設定した。図 4.2.4 に示した原子力発電設備容量は、2019 年までの原子炉稼働率を 80% とし、2020 年以降の原子炉稼働率を 90%として IIASA/WEC（1998）C2 ケースの原子力発電電力量^[12]から換算したものである。なお、2100 年以降については一定と仮定した。

(3) 解析条件の概要

世界全体の FBR 移行シナリオ解析では、前述の増殖性能を強化したナトリウム冷却 MOX 燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心の二つの代表概念を対象として、FBR 導入開始時期やテイルウラン濃度を変えた場合の天然ウラン節約性などを評価する。表 4.2.6 に解析ケースの一覧を、表 4.2.7 にサイクル諸量解析の前提条件をそれぞれ示す。

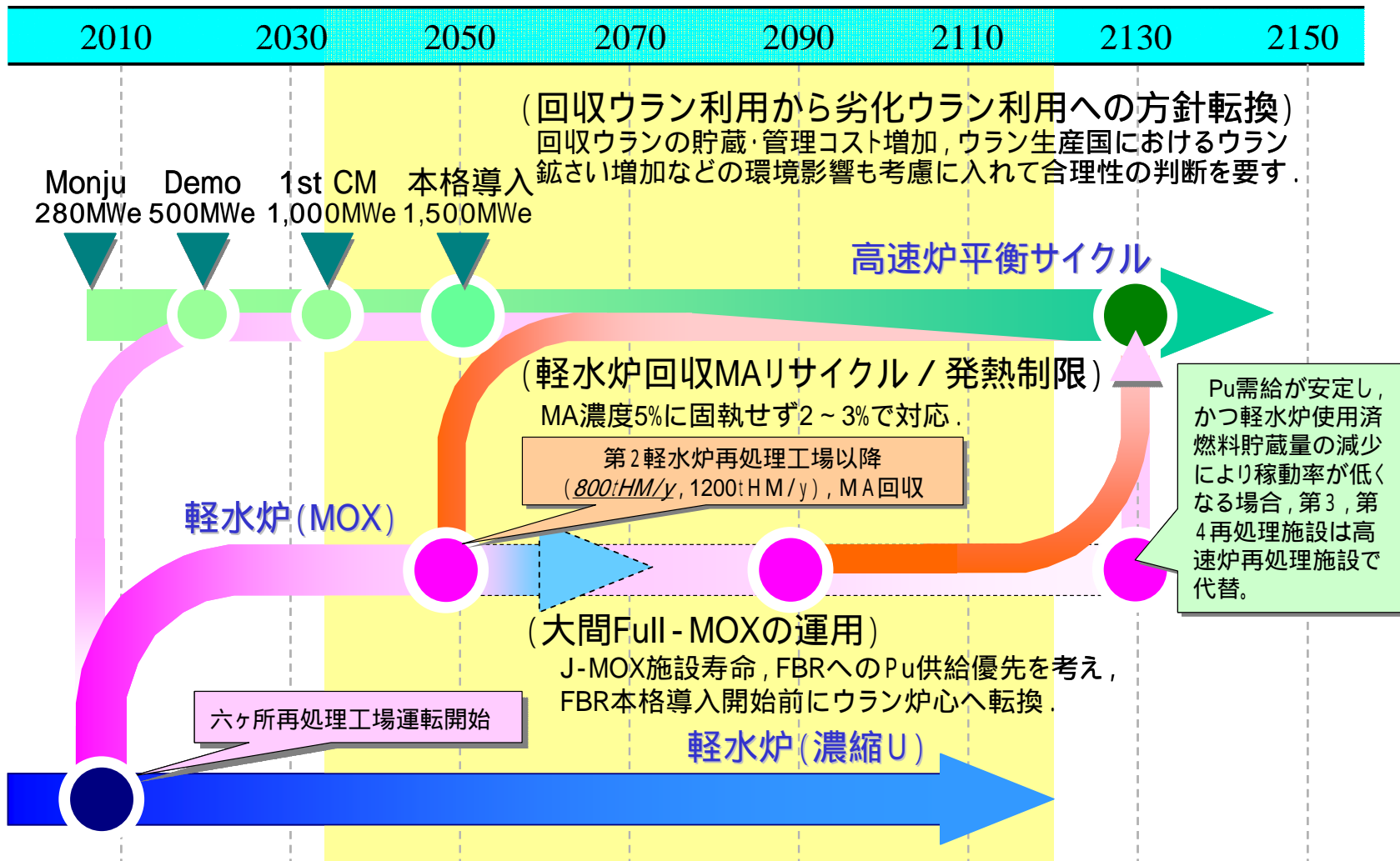
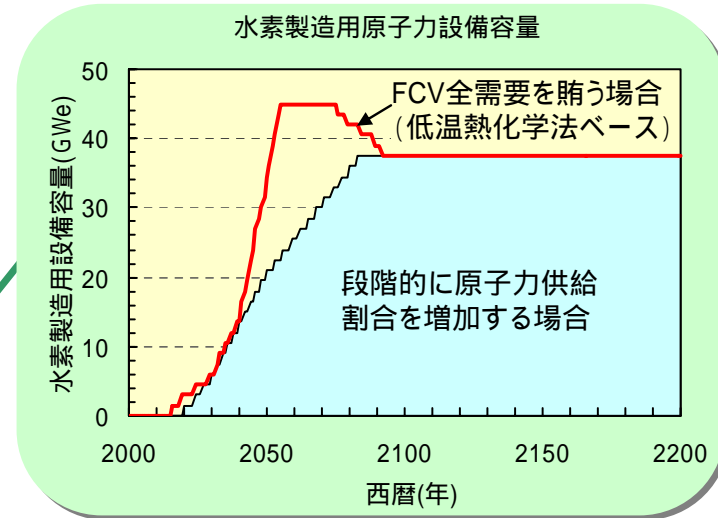
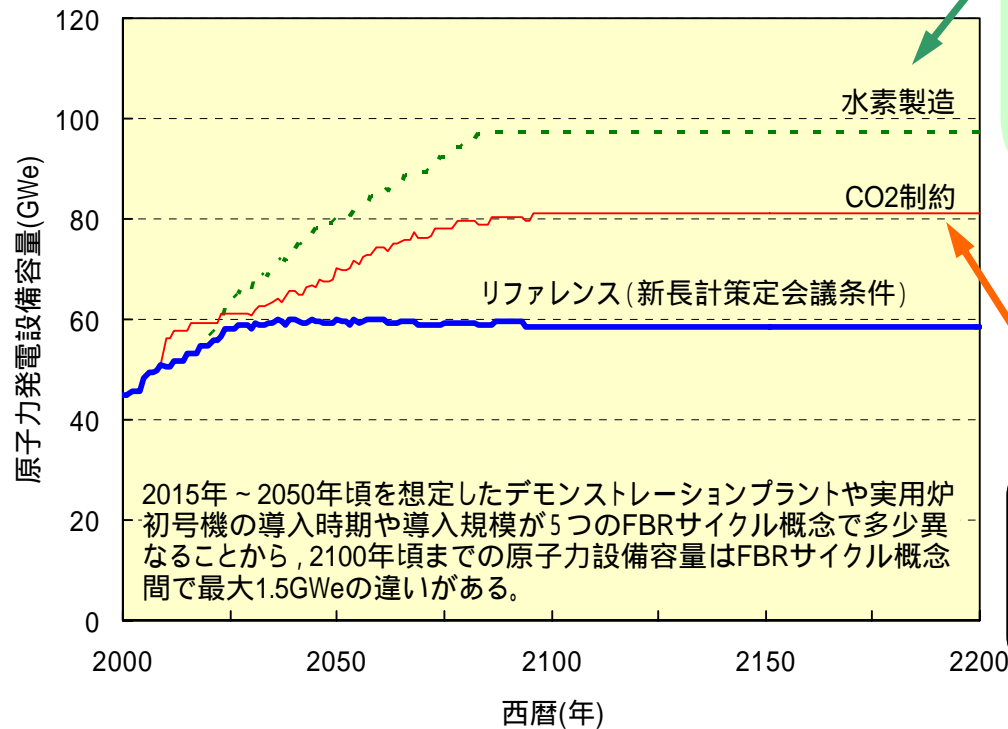


図 4.2.1 FBR サイクル移行シナリオのストーリーラインと主な検討事項

【原子力設備の主な用途】

条件	FBRの用途
リファレンス	軽水炉の後継(基幹電源)
CO ₂ 制約	軽水炉と火力の一部を代替
水素製造	基幹電源と水素製造



原子力水素製造の仮定

- ・2020年 LWR - 水電解法で供給開始
- ・2030年 FBR - 低温熱化学法

電力化率が約100年の間に42%から45%まで緩やかに成長し、電気事業者のCO₂排出量についても1990年水準で維持するものと仮定した場合に必要な原子力発電設備容量。

図 4.2.2 国内の原子力設備容量の想定条件

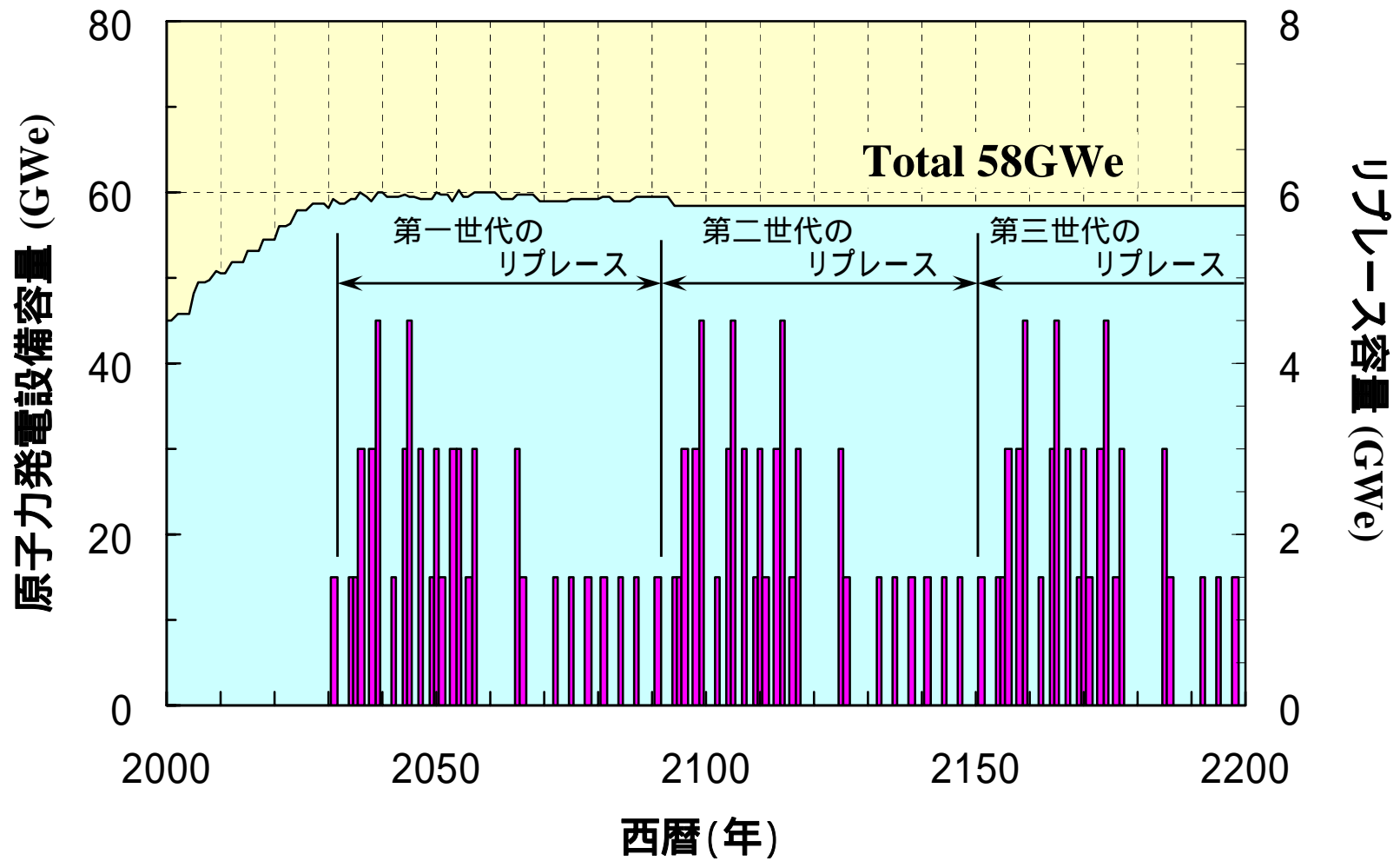


図 4.2.3 リファレンス条件の原子力発電設備容量と原子炉リプレイスの想定条件

表 4.2.1 代表的なシステムデータの想定条件

項目		想定条件
原子炉システム	軽水炉	BWR, PWR : 2019年以前の運開プラント 燃焼度 約40,000MWd/t, 稼働率 80% ABWR, APWR : 2020年以降の運開プラント 燃焼度 約60,000MWd/t, 稼働率 90%
	高速炉	表4.1.2, 表4.2.2および表4.2.3を参照
	炉寿命	軽水炉および高速炉とも60年
炉外サイクル時間	軽水炉	4年(炉外冷却 3年, 再処理0.5年, 燃料加工および輸送0.5年)
	高速炉	5年(炉外冷却 4年, 再処理0.5年, 燃料加工および輸送0.5年)
ロス率	軽水炉	加工 0.1%, 再処理 U;0.4%, Pu;0.5 %, MA;0.1%, 転換 0.5 %
	高速炉	表4.1.2を参照
再処理	軽水炉	東海再処理 : 2001-2005年 40 tonHM/年 六ヶ所工場 : 2005-2010年 計画運転, 2011-2046年; 800 tonHM/年, 2047年廃止 第2再処理 : 2047年以降 (高レベル廃液からのMA回収を想定)
	高速炉	表4.1.2を参照
	寿命	軽水炉再処理および高速炉再処理とも40年
その他	リファレンス条件では, 軽水炉使用済燃料の回収ウランは再濃縮利用を想定	

表 4.2.2 国内シナリオ評価用炉心特性データ一覧(1/2)

国内シナリオ評価	グループ -1			グループ -2			グループ -1			グループ -2		
炉/燃料	Na冷却大型炉MOX燃料			Na冷却大型炉MOX燃料			Na冷却大型炉金属燃料			Na冷却大型炉金属燃料		
再処理	先進湿式			先進湿式			金属電解			金属電解		
燃料製造	簡素化ペレット			簡素化ペレット			射出鑄造			射出鑄造		
炉心	資源重視型			経済性重視型			資源重視型			経済性重視型		
電気出力(GWe)	1.00			1.00			1.00			1.00		
熱出力(MWth)	2,380			2,380			2,380			2,380		
増殖比	1.10			1.03			1.11			1.03		
全炉心平均燃焼度(MWd/t)	90,000			114,900			134,000			153,000		
運転/定検(月)	26.3/1.5			26.3/1.5			22/1.5			22/1.5		
稼働率(%)	94.6			94.6			93.6			93.6		
プラント寿命(年)	60			60			60			60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ
初装荷燃料												
重金属(t)	47.883	21.050	15.694	47.881	18.415		62.314	8.987		62.314		
ウラン(t)	38.061	21.050	15.694	38.007	18.415		55.160	8.987		54.851		
プルトニウム(t)	9.380	0.000	0.000	9.429	0.000		6.940	0.000		7.240		
核分裂性プルトニウム(t)	5.736	0.000	0.000	5.766	0.000		4.889	0.000		5.100		
MA(t)	0.442	0.000	0.000	0.445	0.000		0.214	0.000		0.224		
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.300		0.300		
平衡装荷燃料												
重金属(t/年)	5.168	2.272	1.694	5.167	1.987		5.304	0.765		5.304		
ウラン(t/年)	4.108	2.272	1.694	4.102	1.987		4.695	0.765		4.669		
プルトニウム(t/年)	1.012	0.000	0.000	1.018	0.000		0.591	0.000		0.616		
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.619	0.000	0.000	0.622	0.000		0.416	0.000		0.434		
MA(t/年)	0.048	0.000	0.000	0.048	0.000		0.018	0.000		0.019		
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.298		0.300		
初期取出燃料												
重金属(t/年)	4.974	2.261	1.691	4.971	1.977		5.165	0.761		5.163		
ウラン(t/年)	3.937	2.231	1.678	3.929	1.949		4.545	0.754		4.520		
プルトニウム(t/年)	0.989	0.030	0.013	0.993	0.028		0.601	0.008		0.623		
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.600	0.028	0.013	0.602	0.026		0.423	0.007		0.438		
MA(t/年)	0.048	0.000	0.000	0.048	0.000		0.019	0.000		0.019		
ウラン濃縮度(%)	0.257	0.271	0.282	0.257	0.269		0.270	0.276		0.269		
平衡取出燃料												
重金属(t/年)	4.393	2.231	1.683	4.380	1.947		4.470	0.744		4.459		
ウラン(t/年)	3.424	2.108	1.629	3.410	1.833		3.797	0.696		3.777		
プルトニウム(t/年)	0.920	0.122	0.053	0.921	0.114		0.652	0.047		0.660		
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.541	0.111	0.050	0.540	0.103		0.455	0.043		0.457		
MA(t/年)	0.049	0.000	0.000	0.049	0.000		0.021	0.000		0.022		
ウラン濃縮度(%)	0.103	0.177	0.223	0.100	0.168		0.078	0.152		0.077		
廃炉取出燃料												
重金属(t)	43.327	20.842	15.635	43.262	18.218		56.651	8.864		56.521		
ウラン(t)	34.000	20.088	15.321	33.912	17.515		48.847	8.507		48.552		
プルトニウム(t)	8.876	0.752	0.313	8.897	0.702		7.572	0.355		7.727		
核分裂性プルトニウム(t)	5.302	0.699	0.301	5.305	0.650		5.363	0.334		5.441		
MA(t)	0.451	0.002	0.001	0.452	0.002		0.233	0.001		0.241		
ウラン濃縮度(%)	0.161	0.218	0.251	0.159	0.212		0.147	0.205		0.146		

表 4.2.3 国内シナリオ評価用炉心特性データ一覧(2/2)

国内シナリオ評価	グループ -1			グループ -2			グループ -1			グループ -2			グループ		
炉/燃料 再処理 燃料製造 炉心	Pb-Bi冷却中型炉窒化物燃料 先進湿式 簡素化ペレット 資源重視型			Pb-Bi冷却中型炉窒化物燃料 先進湿式 簡素化ペレット 経済性重視型			He冷却大型炉窒化物被覆粒子燃料 先進湿式 被覆粒子製造 資源重視型			He冷却大型炉窒化物被覆粒子燃料 先進湿式 被覆粒子製造 経済性重視型			水冷却大型炉MOX燃料 先進湿式 簡素化ペレット		
電気出力(GWe) 熱出力(MWth) 増殖比 全炉心平均燃焼度(MWd/t) 運転/定検(月) 稼働率(%) プラント寿命(年)	1.00 2,640 1.10 104,700 18/1.3 93.4 60			1.00 2,640 1.04 128,000 18/1.3 93.4 60			1.00 2,135 1.11 69,000 18/1.6 91.9 60			1.00 2,135 1.03 89,000 18/1.6 91.9 60			1.00 2,895 1.05 45,000 18/1.4 92.6 60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	内部ブラ
初装荷燃料															
重金属(t)	51.795	31.138		51.796	16.014		49.933	31.867	16.600	49.933	28.667		62.869	43.156	58.968
ウラン(t)	41.761	31.138		41.882	16.014		37.867	31.867	16.600	38.067	28.667		43.732	43.142	58.997
プルトニウム(t)	9.583	0.000		9.468	0.000		11.533	0.000	0.000	11.333	0.000		18.953	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t)	5.861	0.000		5.790	0.000		7.000	0.000	0.000	6.933	0.000		10.988	0.000	0.000
MA(t)	0.451	0.000		0.446	0.000		0.542	0.000	0.000	0.537	0.000		0.192	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.301	0.301		0.300	0.300		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		0.199	0.200	0.200
平衡装荷燃料															
重金属(t/年)	5.368	3.227		5.368	1.660		5.103	3.266	1.715	5.103	2.940		8.112	5.602	7.652
ウラン(t/年)	4.328	3.227		4.340	1.660		3.879	3.266	1.715	3.879	2.940		5.320	5.593	7.639
プルトニウム(t/年)	0.993	0.000		0.981	0.000		1.184	0.000	0.000	1.184	0.000		2.614	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.607	0.000		0.600	0.000		0.735	0.000	0.000	0.694	0.000		1.466	0.000	0.000
MA(t)	0.047	0.000		0.046	0.000		0.055	0.000	0.000	0.055	0.000		0.170	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.301	0.301		0.300	0.300		0.299	0.299	0.298	0.300	0.299		0.202	0.200	0.200
初期取出燃料															
重金属(t/年)	5.226	3.217		5.226	1.650		4.981	3.225	1.674	4.981	2.899				
ウラン(t/年)	4.207	3.187		4.218	1.630		3.797	3.185	1.674	3.797	2.899				
プルトニウム(t/年)	0.972	0.030		0.962	0.020		1.143	0.041	0.000	1.143	0.041				
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.593	0.027		0.586	0.018		0.694	0.041	0.000	0.694	0.041				
MA(t)	0.047	0.000		0.046	0.000		0.057	0.000	0.000	0.056	0.000				
ウラン濃縮度(%)	0.271	0.281		0.271	0.275		0.273	0.277	0.288	0.273	0.272				
平衡取出燃料															
重金属(t/年)	4.520	3.166		4.516	1.602		4.450	3.144	1.674	4.450	2.817		7.398	5.465	7.493
ウラン(t/年)	3.605	2.987		3.607	1.481		3.307	2.980	1.633	3.307	2.654		5.047	5.274	7.230
プルトニウム(t/年)	0.869	0.178		0.863	0.121		1.062	0.204	0.041	1.021	0.163		2.237	0.183	0.251
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.519	0.164		0.517	0.108		0.572	0.163	0.041	0.572	0.163		1.140	0.156	0.214
MA(t)	0.046	0.000		0.045	0.000		0.065	0.002	0.000	0.064	0.002		0.153	0.003	0.004
ウラン濃縮度(%)	0.094	0.178		0.094	0.134		0.127	0.144	0.220	0.123	0.132		0.140	0.068	0.067
廃炉取出燃料															
重金属(t)	46.917	30.844		46.895	15.739		46.200	31.400	16.533	46.133	28.200		59.351	42.603	58.237
ウラン(t)	37.577	29.739		37.633	14.970		34.800	30.200	16.333	34.867	27.133		39.823	41.667	56.932
プルトニウム(t)	8.890	1.103		8.818	0.767		10.800	1.200	0.267	10.733	1.133		18.289	0.944	1.291
核分裂性プルトニウム(t)	5.366	1.040		5.334	0.707		6.267	1.067	0.267	6.200	1.000		9.661	0.826	1.128
MA(t)	0.450	0.002		0.444	0.001		0.605	0.008	0.001	0.599	0.008		1.234	0.014	0.019
ウラン濃縮度(%)	0.162	0.222		0.161	0.192		0.100	0.199	0.249	0.184	0.191		0.169	0.097	0.097

表 4.2.4 国内の移行シナリオ解析ケース一覧

候補概念	解析		設備容量			FBR導入開始		LWR再処理				テイルウラン濃度		
	Gr-枝番	附番	基準	CO2制約	水素製造	2030年	2050年	L-MOX使用済燃料再処理		第二民間処理規模		0.3%(標準)	0.25%	0.2%
								FBR再処理	L-MOX専用	800tHM/y	1200tHM/y			
Na冷却大型MOX炉 簡素化ペレット 先進湿式再処理	-1													
	-2													
	-3													
	-4													
	-5													
	-6													
	-7													
Na冷却大型金属炉 射出成型 金属電解再処理	-1													
	-2													
	-3													
	-4													
	-5													
	-6													
	-7													
Pb-Bi冷却中型窒化物 簡素化ペレット 先進湿式再処理	-1													
	-2													
	-5													
	-6													
He冷却大型窒化物 被覆粒子(振動充填) 先進湿式再処理	-1													
	-2													
	-5													
	-6													
水冷却炉 簡素化ペレット 先進湿式再処理	-1													
	-2													
	-5													
	-6													

枝番1 国内シナリオのレファレンスケースである。発電設備容量2030年以降約58GWe一定、FBR本格導入開始2050年、FBR導入前に軽水炉プルサーマルを終え、LWR再処理の回収Puは全てFBR燃料加工に払い出す。Na冷却大型MOX炉については濃縮テイルウラン濃度を変えた場合の天然ウラン節約効果を把握する。

枝番2 発電設備容量は2030年以降約58GWe一定とし、FBR本格導入開始を2030年とする。FBR導入初期のFBR燃料用プルトニウムは主に軽水炉再処理から供給する。

枝番3 2010年以降の電気事業者によるCO₂排出量を1990年水準で維持するために必要な原子力発電設備容量(2100年時点で約80GWe)を想定し、レファレンスケースと同様に2050年からFBRの本格導入を開始する。第2軽水炉再処理施設以降の年間処理量を800tHMから1200tHMに増強する。Na冷却大型MOX炉については濃縮テイルウラン濃度を変えた場合の天然ウラン節約効果を把握する。

枝番4 2010年以降の電気事業者によるCO₂排出量を1990年水準で維持するために必要な原子力発電設備容量(2100年時点で約80GWe)を想定し、FBRの本格導入開始を2030年とする。第2軽水炉再処理施設以降の年間処理量を800tHMから1200tHMに増強する。

枝番5 国内シナリオのレファレンス条件のうち、第2軽水炉再処理施設の年間処理量を800tHMから1200tHMに増強した場合のFBR導入促進効果ならびに天然ウラン節約効果を把握する。

枝番6 FBRの本格導入開始を2030年に繰り上げ、さらに第2軽水炉再処理施設の年間処理量を800tHMから1200tHMに増強した場合のFBR導入促進効果と天然ウラン節約効果を把握する。

枝番7 将来の不確実な原子力設備容量に対するフレキシビリティを把握するため、原子力水素製造としての新たなニーズを想定し、さらにはFBRの本格導入開始を2030年に繰り上げた。第2軽水炉再処理施設以降の年間処理量を800tHMから1200tHMに増強する。Na冷却大型MOX炉については濃縮テイルウラン濃度を変えた場合の天然ウラン節約効果を把握する。

表 4.2.5 世界全体を対象とした FBR サイクル移行特性評価用炉心特性データ

炉/燃料 再処理 燃料製造 炉心	高増殖MOX炉心			高増殖金属炉心		
	Na冷却大型酸化物燃料コンパクト型炉心 先進湿式 簡素化ペレット			Na冷却大型金属燃料高出口温度型炉心 金属電解 射出鑄造		
電気出力(万kWe)	100			100		
熱出力(MWth)	2380			2380		
増殖比	1.198			1.257		
全炉心平均燃焼度(MWd/t)	54,300			55,400		
運転/定検(月)	18.0/1.5			21.5/1.5		
稼働率(%)/所内負荷率(%)	90/4.4			90/4.4		
プラント寿命(年)	60			60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ
初装荷燃料						
重金属(トン)	31.663	39.094	29.656	48.753	24.366	15.101
ウラン(トン)	23.850	39.094	29.656	42.712	24.366	15.101
プルトニウム(トン)	7.461	0.000	0.000	5.860	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(トン)	4.563	0.000	0.000	4.128	0.000	0.000
MA(トン)						
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
平衡装荷燃料						
重金属(トン/年)	4.749	5.864	4.448	8.163	4.080	2.529
ウラン(トン/年)	3.577	5.864	4.448	7.152	4.080	2.529
プルトニウム(トン/年)	1.119	0.000	0.000	0.981	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(トン/年)	0.684	0.000	0.000	0.691	0.000	0.000
MA(トン)						
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
初期取出燃料						
重金属(トン/年)	4.560	5.848	4.445	7.886	4.072	2.525
ウラン(トン/年)	3.436	5.788	4.423	6.852	4.036	2.506
プルトニウム(トン/年)	1.071	0.060	0.022	1.002	0.036	0.018
核分裂性プルトニウム(トン/年)	0.645	0.055	0.021	0.705	0.035	0.018
MA(トン)						
ウラン濃縮度(%)	0.258	0.278	0.288	0.247	0.280	0.282
平衡取出燃料						
重金属(トン/年)	3.991	5.799	4.433	7.330	4.058	2.517
ウラン(トン/年)	3.011	5.560	4.345	6.253	3.950	2.462
プルトニウム(トン/年)	0.925	0.239	0.088	1.044	0.108	0.055
核分裂性プルトニウム(トン/年)	0.527	0.221	0.084	0.732	0.104	0.054
MA(トン)						
ウラン濃縮度(%)	0.108	0.207	0.252	0.125	0.239	0.245
廃炉取出燃料						
重金属(トン)	28.400	38.856	29.599	45.459	24.287	15.061
ウラン(トン)	21.421	37.789	29.215	39.095	23.840	14.835
プルトニウム(トン)	6.616	1.062	0.383	6.171	0.445	0.225
核分裂性プルトニウム(トン)	3.857	1.002	0.371	4.355	0.432	0.220
MA(トン)						
ウラン濃縮度(%)	0.165	0.238	0.269	0.172	0.258	0.263

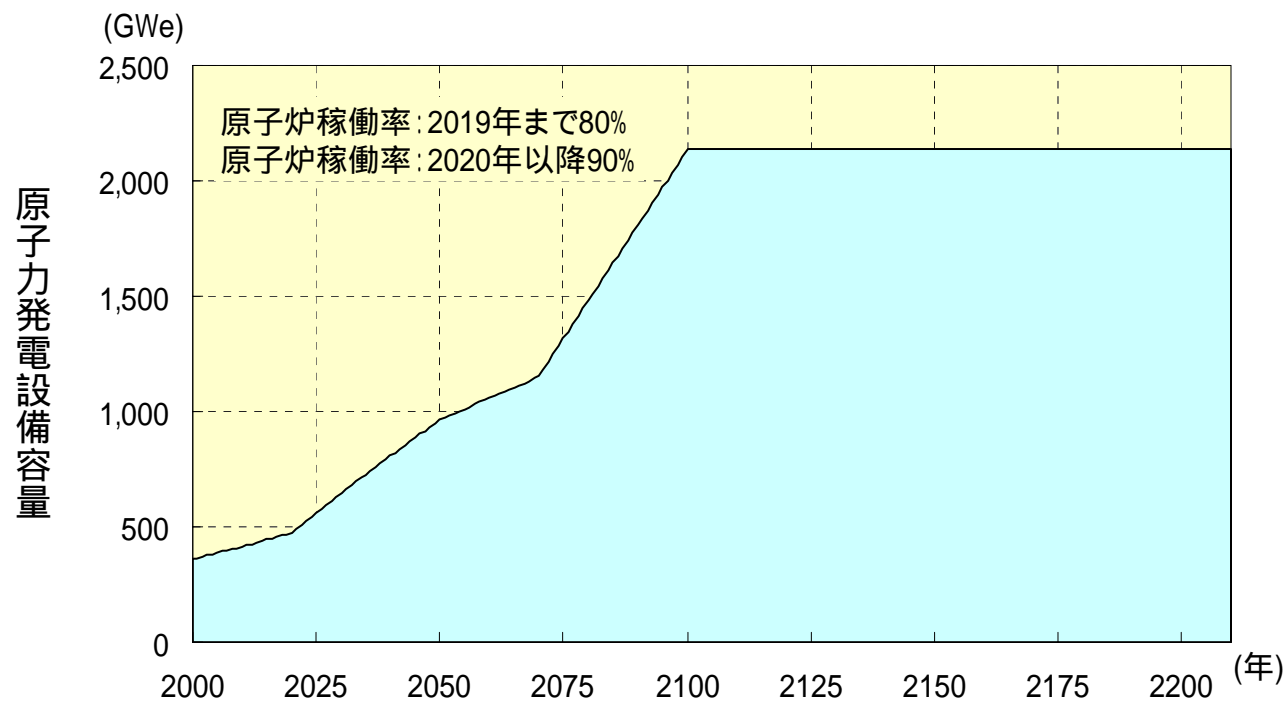


図 4.2.4 世界の原子力発電設備容量の想定条件
(IIASA/WEC(1998)の C2 ケースに基づく換算値)

出典:「GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES」,IIASA/WEC,1998

表 4.2.6 世界全体の移行シナリオ解析ケース一覧

候補概念	解析		テイルウラン濃度			世界規模の移行特性評価			
						リファレンス	早期導入		Pu生産効率化
	Gr-枝番	附番	0.3%(標準)	0.25%	0.2%	2050年導入	2030年導入	2040年導入	炉外時間3年
Na冷却大型MOX炉 簡素化ペレット 先進湿式再処理	-8								
	-9								
-10									
Na冷却大型金属炉 射出成型 金属電解再処理	-8								
	-9								
-10									

枝番8 枝番8～10では、世界全体を一様に考えた場合のFBR移行特性を評価する。リファレンス条件では将来の原子力発電設備容量はIIASA/WEC1998のC2ケースをベースとし、FBRの本格導入開始を2050年とする。基準炉心として資源型炉心よりも増殖性能が高い高増殖型炉心(仮称)を適用する。濃縮テイルウラン濃度を変えた場合の天然ウラン節約効果を把握する。

枝番9 FBRの本格導入開始を2030年および2040年に繰り上げた場合のFBR移行特性と天然ウラン節約効果を評価する。基準炉心は同じく資源型炉心よりも増殖性能が高い高増殖型炉心(仮称)を適用し、濃縮ウランテイル濃度は0.3%とする。

枝番10 原子力発電設備容量はIIASA/WEC1998のC2ケース、FBRの本格導入開始は2050年として、プルトニウム生産効率を高めてFBR移行特性を速やかにするため炉外サイクル時間を5年から3年に短縮する。なお、解析結果によってはFBRの本格導入開始を2050年から2030年に繰り上げたケースも実施する。基準炉心は同じく資源型炉心よりも増殖性能が高い高増殖型炉心(仮称)を適用する。

表 4.2.7 世界を対象とした FBR 移行シナリオ解析の前提条件

		設定値	備考
発電設備容量		・IIASA/WEC-C2ケースの原子力発電電力量(TWh)を稼働率80(2019年まで)～90(2020年以降)%で換算、2100年以降は2100年時点の規模が継続すると想定。(但し、2003年までは実績値)	・IIASA/WEC: "GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES", 1998 ・2003年までの実績値: 日本原子力産業会議: "世界の原子力発電開発の動向 2003年次報告-2003年12月31日現在-"
炉外サイクル時間	LWR, HWR	4年	
	FBR	5年(リファレンス)/3年	
炉寿命		全炉型60年	「Gen-4 Fuel Crosscut Group」Chapter3を参考
炉特性データ	BWR	2019年まで新設、燃焼度45,000Mwd/t、所内率3.5%、稼働率80%	HWRの稼働率は80%から90%への切り替えがツール上出来ないため90%一定とした。
	ABWR	2020年以降導入、燃焼度60,000Mwd/t、所内率4.5%、稼働率90%	
	PWR	2019年まで新設、燃焼度49,000Mwd/t、所内率3.5%、稼働率80%	
	APWR	2020年以降導入、燃焼度60,000Mwd/t、所内率4.5%、稼働率90%	
	HWR	燃焼度8,330Mwd/t(CANDU)、所内率5.8%、稼働率90%	
	FBR	Na冷却大型炉MOX燃料(高増殖炉心a-1/04NOHL-E1(W)): 全炉心燃焼度54,300～114,900Mwd/t、所内率4.4%、稼働率90% Na冷却大型炉金属燃料(高増殖炉心 /04NMHL-E1(D)): 全炉心燃焼度55,400～153,000Mwd/t、所内率4.4%、稼働率90%	
濃縮施設		処理能力の制限なし	
燃料加工施設		処理能力の制限なし	
再処理施設	LWR	FBR導入開始まで: 計画値(～2004年: 4,100t/年、2005年～2009年: 4,400t/年、2010年～FBR導入開始まで: 4,900t/年) FBR導入開始以降: 冷却後全量再処理(但し全量再処理開始初期時はそれまでのSF貯蔵量を全て処理することによるピークを発生させない程度に数千トン×約20～40年の規模で導入)	LWR再処理はOECD/NEA「Nuclear Energy Data 2004」を参考
	LWR-MOX	FBR導入開始年以降に20～40年間で処理	
	HWR	なし	
	FBR	冷却後全量再処理	
ロス率	LWR, HWR	濃縮0%、転換0.5%、加工0.1%、再処理約0.5%	・LWR(HWR)転換は「THE ECONOMICS OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE」OECD/NEA 1994 ・LWR再処理は「JNC TN8400 99-085高レベル放射性廃棄物ガラス固化体のインベントリ評価」より引用。
	FBR	Na冷却大型炉MOX燃料サイクル: 加工0.1%(簡素化ペレット)、再処理0.1%(先進湿式) Na冷却大型炉金属燃料サイクル: 加工0.5%(射出成型)、再処理0.4%(金属電解)	
テイル濃度		0.30%(リファレンス)/0.25%/0.20%	
回収ウラン利用		有	
計算開始年以前の 使用済燃料量		190,000tHM (BWR:38,000tHM、PWR:133,000tHM、HWR:19,000tHM)	「WORLD INVENTORY OF PLUTONIUM AND HIGHLY ENRICHED URANIUM 1992」を元に設定
計算開始年以前の 核兵器解体プルトニウム		95tPuf	核兵器の解体から発生するプルトニウム100tPu (fissile率95%)より
計算開始年以前の テイルウラン量		1,347,000 t(1997年未現在)	米国原子力情報サービス「余剰濃縮設備を活用した劣化ウラン利用の可能性」, 1999年6月(No.225)を元に設定
高濃縮ウラン(HEU)		天然ウラン換算: 171,000 tU 計算ツールの都合上、天然ウランの節約分として取り扱う	米国原子力情報サービス「2020年までの世界のウラン供給 二次供給への依存が続く見通し」, 1999年2月(No.221)を元に設定
計算開始年稼働炉 の炉型割合及び廃 止年		計算開始年稼働炉(約350GWe)の炉型割合は、BWR:PWR:HWR=2:7:1とし、廃止までの寿命は、0～60年で一様に分布しているものとする。	炉型割合は、「Key Issue Paper-1」を元に設定
新設炉型割合	BWR	FBRを除いた20%	「Key Issue Paper-1」を元に設定。ガス炉等その他の炉型は省略する。
	PWR	FBRを除いた70%	
	HWR	FBRを除いた10%	
	FBR	Puバランスに基づいて導入	
プルスーマル 導入量		2003年までは実績、それ以降は2003年のBWRとPWRの割合(1:9)でPuバランスに基づいて導入。FBR導入開始5年前まで導入する。	2003年までの実績値出典: 日本原子力産業会議: "世界の原子力発電開発の動向 2003年次報告-2003年12月31日現在-"
対象期間		2000年～2200年	
計算ツール		FAMILY-EX	

注) : HWR: Heavy Water Reactor(重水炉)

4.3 各種移行シナリオのサイクル諸量解析結果

4.3.1 日本国内を対象とした評価結果

4.3.1.1 将来概念の FBR 移行特性比較

ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心（グループ I）、ナトリウム冷却金属燃料炉心（同 II）、鉛-ビスマス冷却窒化物燃料炉心（同 III）、ヘリウム冷却窒化物燃料炉心（同 IV）および水冷却 MOX 燃料炉心（同 V）の 5 グループを対象として、①基本ケース（FBR 導入開始 2050 年、発電設備容量約 58GWe、第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理量 1,200 トン）と②FBR 導入開始 2030 年の各々のケースにおいて、FBR 導入量・天然ウラン累積需要量・再処理設備容量・高レベル廃棄物中マイナーアクチニド量の観点から FBR 移行特性を比較評価した。

(1) FBR 導入量

基本ケースである 2050 年導入ケースならびに比較対象の 2030 年導入ケースのそれぞれの FBR 導入量を図 4.3.1 と図 4.3.2 に示す。原子力発電設備容量がリファレンス条件のようにほぼ一定で推移する場合の FBR 導入量は、軽水炉再処理施設および FBR 再処理施設におけるプルトニウム回収量と FBR 炉心燃料としてのプルトニウム需要量の両者のマスバランス、原子炉のリプレースのタイミングにより決る。このため、単位電気出力あたりのプルトニウムインベントリさらに複利システム倍増時間（前出の表 4.1.2 に記載）が比較的小さいナトリウム冷却炉と鉛-ビスマス冷却炉では FBR 導入速度が速く、ヘリウム冷却炉や水冷却炉に比べ軽水炉との共存期間の短縮化が期待される。基本ケースの 2050 年導入では、ナトリウム冷却炉の軽水炉共存期間は FBR 本格導入開始から移行完了まで約 60～70 年にとどまるが、ヘリウム冷却炉や水冷却炉では 120 年～250 年程度を要すと見込まれる。一方、2030 年導入ケースでは軽水炉共存期間が全般的に長くなったためグループ間の軽水炉共存期間の差は幾分軽減されており、ナトリウム冷却炉の軽水炉共存期間 80 年に対して鉛-ビスマス冷却炉は 84 年とほぼ等しくなり、ヘリウム冷却炉と水炉はそれぞれ 110 年程度と 210 年程度に短縮した。

なお、2030 年導入ケースでナトリウム冷却炉の軽水炉共存期間が長引いた原因は、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行過程におけるプルトニウム不足による。特に 2030 年～2060 年までの 30 年間は第一世代の軽水炉のリプレースが集中しており、その規模は延べ約 47GWe におよぶため（図 4.2.3 を参照のこと）、プルトニウム需給バランスの観点から FBR に置き換えられずに軽水炉としてリプレースされるものが生じる。例えば FBR 導入開始以前に約 100 トンの核分裂性プルトニウムを備蓄しておき、これを FBR 導入時に回収プルトニウムと共に最大限活用しても、2030 年から 2060 年までの 30 年間ではリプレース対象の約 4 割分の供給量にとどまる。仮に 2060 年に廃止される軽水炉が再び軽水炉としてリプレースされた場合、FBR への移行完了までの所要年数は、少なくとも FBR 導入開始からの経過年数 30 年と炉寿命 60 年を足し合わせた 90 年になる。このように軽水炉から FBR への移行期前半にリプレースが集中するようなケースでも軽水炉共存期間を 60 年程度に抑えるには、FBR 導入開始以前のプルトニウム備蓄量を増強すると共に、軽水炉の計画廃止によるリプレース時期の分散化、さらには FBR 再処理施設を早期に立上げ、その余剰能力を軽水炉使用済燃料処理に充ててプルトニウム回収量の増加を図る方法が考えられる。

(2) 天然ウラン累積需要量

2050年導入ケースおよび2030年導入ケースの天然ウラン累積需要量を、それぞれ図4.3.3と図4.3.4に示す。各々のグラフには軽水炉ワンスルーと軽水炉プルサーマル多重リサイクルの天然ウラン累積需要量も併記している。

2050年導入ケースでは、ナトリウム冷却炉と鉛-ビスマス冷却炉は、日本の天然ウラン資源制約の目安としている在来型究極資源量5% (72万トン)^{※1}に概ね抑制可能である。一方、2030年導入ケースではナトリウム冷却炉と鉛-ビスマス冷却炉に加え、ヘリウム冷却炉でも在来型究極資源量5%を概ね達成可能と見込まれる。

なお、FBRの導入開始から移行完了まで約210年～250年を要す水冷却炉の天然ウラン累積需要量は、原子力発電設備容量が超長期に渡って約58GWe一定と仮定しても在来型究極資源量の9%程度に達すると見積もられる。

(3) FBR再処理設備容量と設備稼働率

同じく2050年導入ケースおよび2030年導入ケースのFBR再処理設備容量を、それぞれ図4.3.5と図4.3.6に示す。グループIIのナトリウム冷却金属燃料炉心は5つのグループの中で全炉心平均燃焼度が最も高いことから単年度あたりの使用済燃料発生量が少なく、そのためFBR再処理設備容量も全般的に低く抑えられている。FBR平衡期のFBR再処理設備容量は、ナトリウム冷却MOX燃料炉心では年間400トン～500トン程度、ナトリウム冷却金属燃料炉心では年間約350トン（軽水炉MOX使用済燃料再処理施設50トンを含む）、鉛-ビスマス冷却炉とヘリウム冷却炉では年間450トン～550トン程度が見込まれる。また、燃焼度が45,000Mwd/tと極端に低い水冷却炉の場合は、最終的に年間処理量1,300トン程度の再処理施設が必要になる。

図4.3.7および図4.3.8は上述のFBR再処理設備容量を想定した場合の設備稼働率である。軽水炉からFBRへの移行期間では再処理待ちのFBR使用済燃料の不足によりパルス状の一時的な稼働率低下が見られるものの、全般的には高い設備稼働率で維持されている。

(4) 高レベル廃棄物中マイナーアクチニド重量

図4.3.9と図4.3.10は2050年導入ケースおよび2030年導入ケースの高レベル廃棄物中のマイナーアクチニド重量を示している。各々のグラフに併記した軽水炉ワンスルーのマイナーアクチニド重量は、直接処分される軽水炉使用済燃料中の含有量と海外で処理されたガラス固化体中の含有量の合計量を示している。

また、軽水炉プルサーマル多重リサイクルとFBRサイクル導入ケースについてはガラス固化体に移行するマイナーアクチニド重量を示しているが、ガラス固化体として処分されるマイナーアクチニド重量は、第2軽水炉再処理施設以降においてマイナーアクチニドを回収する場合と六ヶ所再処理工場と同様回収せずに廃棄処分する場合とでは大幅に異なる。軽水炉プルサーマル多重リサイクルで再処理される使用済MOX燃料のマイナーアクチニド含有率は使用済ウラン燃料よりも3～5倍程度高いため、軽水炉プルサーマルの多重リサイクルを1世紀以上に渡って継続すると、ガラス固化体として処分されるマイナーアクチニドの総重量は使用済燃料を直接処分する軽水炉ワンスルーよりも多くなると見込まれる。

一方、FBRサイクル導入ケースでは、第2軽水炉再処理施設以降で回収されたマイナーアク

※1:URANIUM2003 (OECD/NEA) では在来型資源は世界全体で約1440万トンとされており、将来の世界全体の原子力発電累積電力量に占める日本の割合が概ね5%と見込まれていることから、日本の天然ウラン資源制約についても在来型資源5%を目安と想定した。

チニドは FBR 炉心燃料としてリサイクルされることから、ガラス固化体として処分されるマイナーアクチニド累積量の伸びは極めて小さく、2200 年までの約 150 年間における増加は 2～26 トン程度と推計され、軽水炉ワンスルーの約 400 トンや軽水炉プルサーマル多重リサイクルの約 485 トンを大幅に下回る。

4.3.1.2 代表概念による FBR 移行シナリオ解析

ここでは、将来有望とされる 3 つの代表概念（表 4.1.2 中のグループ I：ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心、同 II：ナトリウム冷却金属燃料炉心、同 IV：ヘリウム冷却窒化物燃料炉心）を対象に実施したシナリオ解析結果について述べる。シナリオ解析では、核燃料サイクルの将来計画や運用条件などの不確かさに対する代表概念のフレキシビリティを把握するため、主に①原子力設備容量、②FBR の本格導入開始時期、③第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理容量、④テイルウラン濃度などを変えた場合の影響や効果を軽水炉共存期間、天然ウラン需要量、軽水炉使用済燃料貯蔵量ならびに軽水炉再処理施設計画の見通し、FBR 炉心燃料のマイナーアクチニド濃度の観点から分析・評価した。

(1) 軽水炉共存期間

ここでは原子力発電設備容量の想定条件毎に各種シナリオの FBR 移行完了時期や軽水炉共存期間の見通しについて述べる。

(i) リファレンス条件

2030 年以降の原子力発電設備容量を約 58GWe 一定としたリファレンス条件の FBR 導入量を図 4.3.11 に示す。グラフ中の FBR 導入量は、ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心の両概念について、FBR 導入開始時期ならびに第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理容量の組み合わせを変えた計算結果である。

この 8 ケースの中で軽水炉から FBR への移行完了期間が最も短いのは 2050 年に金属燃料炉心を導入する 2 つのケースであり、第 2 軽水炉再処理以降の年間処理容量（800 トンあるいは 1,200 トン）に関係なく 2109 年に軽水炉から FBR への移行が完了し、他の 6 ケースの移行完了時期は 2116 年あるいは 2117 年であった。2030 年導入ケースについては、MOX 燃料炉心では第 2 軽水炉再処理容量が異なる 2 ケース（I-2、I-6）とも 2117 年に FBR への移行が完了し、金属燃料炉心の場合は第 2 軽水炉再処理容量を 1,200 トンに増強したケース II-6 がわずかに早く 2110 年に FBR への移行が完了しているものの、全般的には MOX 燃料炉心の 2050 年導入ケースと移行完了時期については大差ない結果であった。しかし、FBR 導入開始から移行完了直前までの FBR の累計導入量を比べると 2030 年導入は 2050 年導入の約 1.3～1.8 倍にのぼるため、天然ウラン節約の観点では大きな効果がある。なお、2030 年導入の移行完了が 2050 年導入と大差が無かった原因については、前述の 4.3.1.1(1)項を参照されたい。

また、第 2 軽水炉再処理以降の年間処理容量が 800 トンと 1,200 トンの場合の FBR 導入量を比較すると、後者は FBR へのプルトニウム供給量が約 1.5 倍に増えるため FBR 導入量の増大に寄与していることが判る。

(ii) CO₂制約条件

CO₂制約条件の FBR 導入量を図 4.3.12 に示す。評価対象は前記の(i)項と同様にナトリウ

ム冷却MOX燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心とし、第2軽水炉再処理以降の年間処理容量については1,200トンに限定し、FBR導入開始時期を2030年と2050年にした合計4ケースである。

この4ケースのFBR移行完了時期は多少バラつきが見られ、ナトリウム冷却MOX燃料炉心では2030年導入開始のケース（I-4）が軽水炉共存期間87年で移行を終えほぼ移行完了時期は基本ケース（発電設備約58GWe、2050年FBR導入開始）と同様であったが、2050年導入開始のケースI-3では移行完了まで93年と計算された。一方、金属燃料炉心のFBR移行完了時期は2030年導入開始と2050年導入で大差がなく、それぞれ2133年と2130年と計算された。

CO₂制約条件の2070年から2090年の期間でFBR導入量の伸びが鈍化している理由は、軽水炉のリプレースが少ないことと、原子力発電設備容量の増加も頭打ちになりFBRの新設量が減少したことに起因している。なお、軽水炉共存期間におけるFBR累積導入量を比較すると、2030年導入開始は2050年導入開始の約1.2～1.3倍と見積もられることから、FBRの早期導入の利点として軽水炉で消費する天然ウランの節約効果が期待される。

(iii)水素製造条件

基幹電源としての電力供給と将来の水素製造利用を想定したFBR導入量を図4.3.13に示す。評価対象はナトリウム冷却MOX燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心の他に、核熱利用も期待されるヘリウム冷却窒化物燃料炉心を加えた3ケースとした。本ケースでは、FBRの導入開始は2030年、第2軽水炉再処理以降の年間処理容量は1,200トンにそれぞれ限定している。

ナトリウム冷却MOX燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心では、2035年頃から2045年頃までの約10年間においてFBR導入速度に若干の違いが見られるが、その後については大部分がFBRに移行し終える2110年頃までは毎年1GWe程度のFBR導入ペースが見込まれる。この様にFBR導入量が直線的に増えた原因は、原子力設備容量が2090年頃まで連続的に増加していることから、軽水炉のリプレースを待つことなくプルトニウム需給が許容する範囲でFBRの新設が可能に起因している。原子力発電設備容量が少なく、しかも一定で推移する条件下では軽水炉リプレースが制約条件となってFBRサイクルの増殖性能すなわち規模を拡大するポテンシャルが充分発揮できないが、本ケースのように原子力設備容量が増大する条件でその性能が引き出される。さらにFBR導入速度を速める方策として軽水炉再処理施設の規模拡大によるプルトニウム回収量の増強も考えられるが、一方ではFBR移行完了前に軽水炉使用済燃料貯蔵量が底をついて再処理施設の稼働率低下や移行期後半のプルトニウム不足も想定される。この他の対応策としては軽水炉リプレース計画の最適化が考えられる。

ヘリウム冷却炉については、2117年頃までのFBR導入量は比較的順調に増えているが、その後は急速に鈍化して移行完了までのFBR導入速度が半減している。これは、ヘリウム冷却炉のプルトニウムインベントリが大きいことためFBR移行完了前に軽水炉使用済燃料貯蔵量が大幅に減少し、軽水炉再処理施設の稼働率低下により軽水炉サイクルからのプルトニウム供給が不足したことによる。既に導入したヘリウム冷却炉のリプレースについては自己の廃炉取出燃料で対応可能であるが、軽水炉からヘリウム冷却炉へのリプレースにともなう新規分については軽水炉サイクル側からのプルトニウム供給が不可欠であり、この点でいえば軽

水炉から新たに置き替わるヘリウム冷却炉全体のプルトニウムインベントリは軽水炉サイクル側のプルトニウム供給ポテンシャルを越えることができない。また、ヘリウム冷却炉の運用については、高増殖性能が得られ、かつプルトニウムインベントリが比較的小さいナトリウム冷却炉を併用し、それにより軽水炉サイクルからのプルトニウム供給依存度を軽減する方法も考えられる。

(iv)各種移行シナリオの軽水炉共存期間

前記の(i)~(iii)項で述べた各種移行シナリオの軽水炉共存期間を表 4.3.1 に示す。ナトリウム冷却炉の軽水炉共存期間は、2050年 FBR 導入開始の場合には概ね 59年~80年程度であり、最長でも 93年程度と見込まれる。2030年 FBR 導入開始の場合は、2030年から 2060年にかけて集中する軽水炉のリプレースにプルトニウム供給が追従しないため一部が再び軽水炉としてリプレースされることから、軽水炉共存期間は最低でも 80年と長くなる傾向にある。また、プルトニウムインベントリがナトリウム冷却炉の約 1.2~1.5倍に及ぶヘリウム冷却炉の軽水炉共存期間は 144年(水素製造; 96GWe 条件)と見込まれ、その短縮に向けては軽水炉の計画廃止やナトリウム冷却炉との併用に加えてプルトニウムインベントリのさらなるコンパクト化が必要と考えられる。

(2) 天然ウラン需要量

ここでは上述の各種 FBR 導入条件におけるナトリウム冷却炉の天然ウラン累積需要量について述べる。

(i)ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心体系 (グループ I)

図 4.3.14 はナトリウム冷却 MOX 燃料炉心体系の各シナリオにおける天然ウラン累積需要量である。天然ウラン累積需要は原子力発電設備容量(水素製造用含む)が高いケースほど多くなるが、FBR 導入開始時期を早めたり、第 2 軽水炉再処理施設以降の年間再処理容量を拡大することで軽減されるのが判る。また、天然ウラン累積需要量は 59.2 万トン~86.0 万トンと計算され、天然ウラン資源制約の目安としている在来型究極資源量 5% (72 万トン) をほぼ満たしている。

(ii)ナトリウム冷却金属燃料炉心体系 (グループ II)

前述のナトリウム冷却 MOX 燃料炉心体系よりも FBR 導入速度が全般的に速いナトリウム冷却金属燃料炉心体系の天然ウラン累積需要量を図 4.3.15 に示す。天然ウラン累積需要量は 46.0 万トン~86.2 万トンと計算され、在来型究極資源量 5%を目安としている資源制約を満足する。

(iii)テイルウラン濃度調整や回収ウラン再濃縮利用による天然ウラン節約効果

FBR 導入以外の天然ウラン節約方法としては、ウラン濃縮役務のテイルウラン濃度調整と回収ウランの再濃縮利用がある。

ウラン濃縮役務におけるテイルウラン濃度は、その時々天然ウラン価格と濃縮役務価格のバランスで変動する。ウラン協会資料によれば 1990 年の 0.28%から 2000 年には 0.25%まで低下すると述べられている^[13]。一方、OECD/NEAによる燃料コストの評価では、テイルウラン濃度を 0.25%とする基本ケースの他に、テイルウラン濃度を 0.2%~0.3%の範囲で変動させた場合の燃料コストの感度解析が行われている^[14]。FAMILY-21 によるサイクル諸量解析ではテイルウラン濃度の標準値として 0.3%を採用しており、これを 0.2%~0.3%の範囲で変えた場合の天然ウラン累積需要量を図 4.3.16 に示す。同図は、テイルウラン濃度を 0.3%

から**0.2%**へ**0.1%**程度下げることにより約**14～16**万トンの天然ウラン節約が期待できることを示しており、仮に水素製造などで原子力設備容量の拡大やウラン消費量の急増が生じて、テイルウラン濃度の調整で天然ウラン累積需要量を在来型究極資源量**5%**（約**72**万トン）に抑制できる可能性を示唆している。図**4.3.17**はテイルウラン濃度と天然ウラン累積需要量の関係を整理した結果であるが、原子力発電設備容量に関わらずテイルウラン濃度を**0.1%**低下させることによって概ね2割程度の天然ウラン節約が見込まれる。

また、回収ウランの再濃縮利用については、**FAMILY-21**を用いたサイクル諸量解析では標準的な想定条件として考慮しており、回収ウランを再利用しない一例（リファレンス条件、テイルウラン濃度**0.3%**）を前出の図**4.3.17**に示している。回収ウランの再濃縮利用を行わない「回収ウラン未利用ケース」の天然ウラン需要量は約**82.5**万トンと計算され、回収ウランの再濃縮利用を考慮した基本ケースの約**71**万トンに対して約**16%**の増加となった。この増加割合は**FBR** サイクル概念や原子力発電設備容量が異なるケースでもほぼ同程度と想定される。

(3) 軽水炉使用済燃料貯蔵量

ここでは、ナトリウム冷却**MOX**燃料体系の**FBR**サイクルを代表例として、各移行シナリオにおける軽水炉使用済燃料貯蔵量の将来見通しについて述べる。

図**3.1.18**は**FBR**移行シナリオの想定条件（原子力発電設備容量、**FBR**導入開始時期、第**2**軽水炉再処理施設以降の設備容量）が異なる代表ケースの軽水炉使用済燃料貯蔵量である。第**2**軽水炉再処理施設以降の年間処理容量を六ヶ所再処理工場と同様に**800**トン一定としたケースでは、原子力発電設備容量が最も低いリファレンス条件の場合でも軽水炉使用済燃料の貯蔵規模と貯蔵期間が最も長大化し、使用済燃料中間貯蔵量のピークは約**2万2千**トン、全て処理し終えるまでの期間は**120**年程度を要すると見込まれる。また、第**2**軽水炉再処理施設以降の年間処理容量を**800**トンから**1,200**トンに拡大した場合、再処理施設のフル稼働が期待される**2081**年までの使用済燃料中間貯蔵量は**2047**年の約**2**万トンをピークとして急速に減少し、約**30**年後には**3,500**トンまで軽減する。さらに両者の**2047**年から**2120**年までの使用済燃料中間貯蔵量の差は累計で約**61**万トン、最大時で約**1万5千**トン（**2081**年）におよぶ。

一方、原子力発電設備容量がリファレンス条件を超える**CO₂**制約ケースや水素製造ケースの場合、第**2**軽水炉再処理施設以降の年間処理量は使用済燃料中間貯蔵量削減の観点から少なくとも**1,200**トン／年程度必要と考えられるが、この発電設備容量と再処理容量の組み合わせにおける使用済燃料中間貯蔵量は上述の二つの基本ケースの結果に概ね包含されている。

(4) 軽水炉再処理施設計画

前項に引き続きナトリウム冷却**MOX**燃料体系を代表例として、第**2**軽水炉再処理施設以降の軽水炉再処理施設計画の見通しについて述べる。図**3.1.19**は**FBR**移行シナリオの想定条件が異なる代表ケースの軽水炉再処理年間処理量である。軽水炉再処理施設の年間処理容量を六ヶ所再処理工場と同様に**800**トン一定としたケースでは、再処理施設の操業期間は最長の**120**年程度と見込まれることから第**3**軽水炉再処理施設の建設が不可欠と考えられる。一方、第**2**軽水炉再処理施設以降の年間処理量を**1,200**トンに拡大したケースでは、第**2**軽水炉再処理施設の設備寿命を部分的に**10～15**年程度延長することにより第**3**軽水炉再処理施設の合理化が期待される。第**3**軽水炉再処理施設の合理化にともなう軽水炉使用済燃料の未処理分は、**2100**年頃の**FBR**導入状況やプルトニウムバランス状況から判断して**FBR**再処理施設で処理可能と

考えられる。

(5) FBR 炉心燃料のマイナーアクチニド濃度

FBR サイクル実用化戦略調査研究では、環境負荷低減の観点より FBR 使用済燃料および軽水炉使用済燃料から回収されるマイナーアクチニドについて多重リサイクルによる核変換／燃焼を目指しており、そのための技術開発目標として 5wt%を上限とするマイナーアクチニド装荷炉心燃料およびリサイクルシステムの概念検討を進めている。

図 4.3.20 はナトリウム冷却 MOX 燃料炉心体系の各種移行シナリオにおいて、第 2 軽水炉再処理施設以降でマイナーアクチニド回収が行われる場合の FBR 炉心燃料加工時のマイナーアクチニド濃度を示す。本解析における FBR 炉心燃料へのマイナーアクチニドの装荷条件は、マイナーアクチニドの均質リサイクルおよび FBR 炉心燃料へのバランス装荷、上限濃度 5wt%と想定している。しかしながら軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行過程では、FBR 炉心燃料のマイナーアクチニド濃度は第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理容量と FBR 導入量を主な要因とする需給バランスにより異なる。例えば、軽水炉使用済燃料から分離・回収されるマイナーアクチニドの年間供給量については、定性的には第 2 軽水炉再処理施設の年間処理量に比例すると考えてよいが、厳密には使用済燃料が再処理されるまでの貯蔵年数の違いや貯蔵年数が異なる使用済燃料の混在状況によって核特性の上では必ずしも同一量・同一組成とは限らない。また、マイナーアクチニドの年間需要量についても、FBR の新設状況や稼動規模に応じて FBR 炉心燃料の加工量が年ごとで異なるため一定していない。

図 4.3.20 中のグラフ a) は原子力発電設備容量と第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理容量を同一条件とし、FBR 導入開始時期を変えた場合の影響を示している。2030 年導入ケースでは第 2 軽水炉再処理施設が操業するまでに約 18GWe 程度の FBR が既に稼動しているため 1 基あたりのマイナーアクチニド装荷量が少なく移行過程の濃度は約 3 wt%にとどまる。一方、2050 年導入ケースのマイナーアクチニド濃度は、導入初期は上限の 5 wt%程度の装荷となるが、FBR 導入量の増加に伴って年々低下し、移行過程の平均濃度は約 4 wt%と見込まれる。同じく図 4.3.20 中のグラフ b) は FBR 導入開始時期と第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理容量を同一条件とし、将来の原子力発電設備容量が異なる場合のマイナーアクチニド濃度を示している。原子力発電設備容量が低い基本ケースのマイナーアクチニド濃度は、移行期間のほぼ半分に渡り上限濃度の 5 wt%となるが、原子力発電設備容量を CO₂ 制約ケースのように拡大した場合には約 3.5~4 wt%に低下することが判る。さらに図 4.3.20 中のグラフ c) のように FBR 導入開始時期、原子力発電設備容量および第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理容量が異なるケースの比較では、FBR の早期導入ならびに原子力発電設備容量（水素製造設備を含む）の拡大による影響で炉心燃料中のマイナーアクチニド濃度が低下しており、その傾向はリファレンス条件の原子力発電設備容量で対比したグラフ a) の FBR 導入開始時期の違いによる影響に近い。

以上の結果から、核燃料サイクルの運用条件と FBR 燃料中マイナーアクチニド濃度の関係を次のように整理することができる。

- 2030 年 FBR 導入開始の場合、2047 年以降の軽水炉使用済燃料回収マイナーアクチニドを FBR 炉心燃料に装荷する際の上限濃度は 3 wt%程度となる。
- 将来の原子力発電設備容量がリファレンス条件（約 58GWe）のケースでは、FBR 炉心燃料のマイナーアクチニド濃度の上限は供給側の第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理に応じて、年間処理量 800 トンの場合には 3 wt%程度、年間処理量 1,200 トンの場合に

は4～5 wt%程度となる。

- 原子力発電設備容量が拡大した場合は FBR 1 基あたりのマイナーアクチニド装荷量を減らす方向に作用するため、上述の上限濃度で対応可能と見込まれる。
- なお、マイナーアクチニド 5 wt%装荷については、炉外冷却4年後の FBR 使用済燃料の残留崩壊熱量、輸送や再処理での発熱対応などの評価を行なう必要がある。

4.3.1.3 軽水炉との共存期間の短縮化結果

ここでは、国内における軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行時期を対象とした軽水炉との共存期間の短縮化に係る検討結果について述べる。

軽水炉との共存期間の短縮方法については 4.3.1.1(1)項でも既述したが、①炉心設計のコンセプトに単位電気出力あたりのプルトニウムインベントリがコンパクトな炉心概念を取り入れる方法、②2030年頃から本格化するリプレースの集中緩和を考慮した原子力発電設備計画と既存概念にとらわれない再処理計画を採用する方法などが考えられる。具体的には、前者では高増殖・低インベントリ型炉心概念の導入、後者では原子炉リプレースの分散化とプルトニウム需要に応じた再処理設備容量の設定を講じることとし、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行期間の長さの目安を原子炉寿命相当の 60 年とした場合のそれぞれの効果を、FBR 導入特性、天然ウラン需要量、使用済燃料貯蔵量などのサイクル諸量の観点から考察した。各検討条件とサイクル諸量解析に基づいた検討結果を以下に示す。

(1) 高増殖・低インベントリ型炉心概念による共存期間の短縮化

(i) 検討条件の概要

高増殖・低インベントリ型炉心概念の概要、原子力発電設備容量と FBR 導入条件について述べる。FBR 再処理施設や軽水炉サイクルの想定条件については、前出の表 4.2.1 を参照されたい。

①高増殖・低インベントリ型炉心概念の概要

増殖性能を追究した炉心概念として、実用化戦略調査研究フェーズ II で検討された高増殖・低インベントリ型の金属燃料炉心と MOX 燃料炉心の主要仕様、特性および性能を表 4.3.2 に示す。高増殖・低インベントリ型炉心では、金属燃料炉心および MOX 燃料炉心の各増殖比を 1.11 (資源重視型) から 1.26 へ、1.1 (同) から 1.2 に高め、初装荷燃料の核分裂性プルトニウムインベントリについてもそれぞれ 20%程度軽減しており、少ないプルトニウムで効率的に FBR を立上げ、かつプルトニウム生産性の向上を図っている。

②原子力発電設備容量

高増殖・低インベントリ型炉心の導入効果は将来の原子力発電設備容量が成長し続けた場合に発揮されるものと考え、原子力発電設備容量の想定条件にCO₂制約条件を適用する。CO₂制約条件の原子力発電設備容量は、一次電力化率が今後約 100 年間に約 42%から 45%まで緩やかに成長し、同時に電気事業者のCO₂排出量を 1990 年水準で維持する場合に必要な設備容量として、2100 年時点で約 80GWeまで緩やかに上昇し、その後一定で推移する。

③FBR 導入の基本的な考え方

FBRの本格導入時期については、原子力委員会の目標¹⁶⁾に準じて 2050 年頃を本格導入

時期とする基本ケースの他に、参考ケースとして、世界全体で原子力開発が急速に進展したため天然ウラン供給が逼迫化し、FBRの本格導入時期を 2030 年頃に早めたシナリオも考慮する。また、FBRの導入方法については、現行軽水炉のリプレースに伴ってFBRが後継機として導入される場合と、原子力発電設備容量の増加分をFBRの新設で対応する場合が混在する。しかしながら、炉心燃料用プルトニウムの不足によってFBRが導入できない場合は先進軽水炉で代替する。導入初期のFBRは高増殖・低インベントリ型炉心を採用し、プルトニウム需給状況に応じて増殖比 1.03 の経済性重視型炉心にシフトすることとした。

(ii) サイクル諸量解析結果

①原子力発電構成

2050 年導入ケースの原子力発電構成を図 4.3.21 と図 4.3.22 に示す。ナトリウム冷却金属燃料炉心の場合、本格導入後 59 年で軽水炉から FBR への移行を完了し、低増殖型 FBR の導入開始も 2054 年と著しく早い (図 4.3.21)。また、金属燃料炉心に比べ増殖比が低いナトリウム冷却 MOX 燃料炉心の場合は本格導入後 67 年で FBR に全て移行し、低増殖型 FBR の導入時期は 10 年程度遅れるが比較的早い段階で高増殖性能が不要になる (図 4.3.22)。発電コストの安い低増殖型 FBR の早期導入は、原子力発電全体の経済性向上に寄与する。なお、2050 年以降の高増殖・低インベントリ型 FBR の導入規模は、金属燃料炉心では 10GWe 程度、MOX 燃料炉心では 15GWe 程度である。

一方、2030 年導入ケースの原子力発電構成を図 4.3.23 と図 4.3.24 に示す。2030 年導入ケースでは、金属燃料炉心 (図 4.3.23) と MOX 燃料炉心 (図 4.3.24) の FBR 移行完了時期や低増殖型 FBR 導入時期にそれほど差は無い。しかしながら、主なプルトニウム供給源が六ヶ所再処理工場に限られ、かつ現行軽水炉のリプレースが過密化する 2030 年～2050 年の FBR 導入量を比較した場合、増殖性能が高い金属燃料炉心の方が 3 割程度多く導入されている (2050 年比較)。2030 年以降の高増殖・低インベントリ型 FBR の導入規模は、金属燃料炉心では 48GWe 程度、MOX 燃料炉心では 32GWe 程度である。

②FBR 導入特性と天然ウラン需要量

FBR の導入特性と天然ウラン累積需要量を図 4.3.25 と図 4.3.26 に示す。FBR の導入特性を比較すると、金属燃料炉心は 2030 年導入ケースおよび 2050 年導入ケースのどちらにおいても MOX 燃料炉心を上回っていることから、金属燃料炉心を採用した場合、軽水炉から FBR への移行がより円滑に行われることが判る (図 4.3.25)。その結果、金属燃料炉心は MOX 燃料炉心に比べ天然ウラン需要量が 2 割 (2030 年導入) ～ 1 割程度 (2050 年導入) 少なく、将来の原子力発電設備容量が増加した場合でも天然ウラン累積需要量を在来型究極資源の 5%程度 (約 72 万トン) に抑制でき、天然ウラン供給が逼迫した状況を想定しても在来型既知資源の 10%程度 (約 46 万トン) に抑えるポテンシャルを持つことが判った (図 4.3.26)。

(2) 施設計画の見直しによる共存期間の短縮化

(i) 検討条件の概要

①原子力発電設備計画

原子力発電計画の想定条件を図 4.3.27 に示す。2030 年以降の原子力発電設備容量はリファレンス条件と同様に約 58GWe 一定とする。施設計画の見直しによる共存期間の短縮

化（以後、「短縮化シナリオ」と称す）では、リプレースの集中緩和を図るため設計寿命の数年前に原子力発電プラントを計画廃止したり、更新されたプラントの運転開始時期を数年遅らせたりしてリプレースの分散化を施している。このリプレースの分散化により、**2040年頃から2070年頃の原子力発電設備容量は1.5～3.0GWe程度の一時的な低下を生じるが、その減少量は累計で約26GWe、同期間の設備容量の累計に対して約1.5%にとどまる。**なお、**FBR 移行期中盤の2070年から2110年の原子力発電設備は、リプレースの集中緩和策を施す前と同一容量に設定されている。**

②軽水炉再処理施設計画

六ヶ所再処理工場の年間処理量は**800t**であるが、将来の原子力発電設備容量が約**58GWe**に増大した場合の軽水炉使用済燃料の年間発生量は約**1,000**トンと見込まれる。軽水炉使用済燃料貯蔵量を積極的に削減し、さらに回収されるプルトニウムを用いて効率的に**FBR**を立ち上げるため、ここでは第**2**軽水炉再処理施設の年間処理量を**1,200 t**と仮定する。なお、第**3**軽水炉再処理施設の年間処理規模については、**FBR**サイクル導入の有無および導入する**FBR**サイクル概念により異なってくることから、便宜的に**1,200 t**としてサイクル諸量解析を行う。ちなみに、他の解析結果を参照すると第**3**軽水炉再処理施設の年間処理量は**400t**程度と想定される。

③FBR 再処理施設計画

FBRを**2050**年から本格的に導入する場合、**FBR**の立ち上げに必要なプルトニウムの大部分は第**2**軽水炉再処理施設（年間処理量**1,200 t**）からの供給で概ね賄えると予想される。したがって、**FBR**再処理施設の年間処理量は**FBR**使用済燃料発生量に応じて順次増大させていくこととし、余力を利用して軽水炉プルサーマル使用済燃料を処理するものと仮定する。

一方、**FBR**の本格導入開始を**2030**年に早めた場合、軽水炉のリプレースが頻繁な**2030**年から**2050**年にかけては、**FBR**の立ち上げに必要なプルトニウムの供給量は六ヶ所再処理工場の年間処理量で制限されることから需要量を十分に賄うことができない。その対応策の想定として、**FBR**の本格導入開始前に**FBR**再処理施設を年間処理量**400t±200t**（六ヶ所再処理工場**800t/y**と第**2**軽水炉再処理施設**1,200t/y**の差を目安）で立ち上げ、**FBR**再処理施設で軽水炉使用済燃料（濃縮ウラン燃料、プルサーマル燃料）を積極的にリサイクルしてプルトニウム必要量を確保することとした。

なお、**2030**年導入ケースは国が掲げる原子力開発目標の**FBR**実用化時期を大幅に前倒しており、**FBR**再処理施設計画も従来の**FBR**使用済燃料発生量を基準にした考え方と異なる。このケーススタディでは、原子力利用課題の早期解決の観点より、軽水炉使用済燃料中間貯蔵の早期解消やウラン資源輸入からの早期脱却に対する効果を把握しようとしており、想定条件は必ずしも現実性を追求したものではない。

短縮化シナリオの解析条件は、上述の原子力発電設備計画と再処理施設計画の違いを除けば**4.2.2**項で述べた国内想定条件に準ずる。なお、**2050**年導入ケースと**2030**年導入ケースの再処理施設計画については、それぞれ以下のとおりとした。

- ・ **2050**年導入ケース 第**2**軽水炉再処理施設年間処理量**1,200**トン
 FBR再処理施設初号機**2040**年運開、年間処理量**50**トン

象として、FBR再処理施設を柔軟に運用したことが挙げられる。これにより、リプレースが集中する2030年から2050年までの約20年間で40GWe程度の軽水炉がFBRに移行可能となり、その後もFBR再処理施設と第2軽水炉再処理施設から回収されたプルトニウムを用いることで、滞ることなく軽水炉からFBRへのリプレースが行なわれた。すなわち、国内には58GWe程度のFBRを立ち上げるプルトニウムが使用済燃料として存在しており、これを十分活用できる設備対応が図られた場合、原子力利用方針が軽水炉からFBRへと急転回しても対応可能なことを示唆している。

b) 天然ウラン累積需要量

短縮化シナリオと移行シナリオBの天然ウラン累積需要量を図4.3.33に示す。短縮化シナリオの天然ウラン累積需要量37万トンは、移行シナリオBの天然ウラン累積需要量59万トンを大幅に下回り、軽水炉からFBRへの移行完了時点の差は22万トンに及ぶ。この天然ウラン節約量は20GWe程度の軽水炉が60年間に消費する天然ウラン需要量に相当する。また、世界全体で原子力開発が急速に進み、それにより天然ウラン供給が逼迫した状況を想定しても、FBRの早期導入と前述のプルトニウム供給対策を講じることによって天然ウラン累積需要量を在来型既知資源の10%（約46万トン）以下に抑制できる。この結果、2080年以降は海外からウラン資源を輸入することなく原子力エネルギーの持続的利用が可能になる。

c) 使用済燃料再処理量と軽水炉使用済燃料処理量

短縮化シナリオの軽水炉再処理施設とFBR再処理施設の使用済燃料年間処理量を図4.3.34に示す。2030年導入ケースでは第2軽水炉再処理施設（2047年運開）の年間処理容量を便宜的に800トンと設定しているが、2050年以降の使用済燃料年間処理量は炉外冷却期間4年を超える使用済燃料の大幅な減少によって平均200トン/年程度にとどまる。一方、FBR再処理施設の使用済燃料処理量については、2020年から2050年頃までの約30年間は軽水炉使用済燃料の処理が主体となり、その後はFBR使用済燃料のみ再処理されている。このように再処理される使用済燃料の内訳が大きく転換した背景には二つの理由があり、一つはFBR使用済燃料が乏しい時期の2030年から2050年頃までの約20年間は年平均2GWe程度のペースでFBRを導入するため軽水炉使用済燃料を積極的に活用せざる得ないこと、二つ目の理由としてはリプレースの過渡期を過ぎた2050年以降のFBR導入ペースが年平均0.5GWe程度にとどまることからFBRの初装荷燃料と平衡装荷燃料に必要なプルトニウムはFBR使用済燃料のリサイクルで十分賄えるためである。ちなみに2050年前後におけるFBR再処理施設の年間処理容量、再処理される使用済燃料の内訳などについて最適化が可能になれば、軽水炉とFBRの再処理施設の共用化¹⁷⁾による第2軽水炉再処理施設の合理化が期待できる。

また、短縮化シナリオと移行シナリオBにおける軽水炉使用済燃料貯蔵量（崩壊熱の減衰待冷却中を除く）を図4.3.35に示す。移行シナリオBでは軽水炉使用済燃料貯蔵量の最大ピークは2050年頃に1.8万トンHM程度と見込まれ、短縮化シナリオではFBR再処理施設の運転開始前年にあたる2019年に1.3万トンHM程度と予想され、中間貯蔵施設1施設分の合理化が期待される。さらに短縮化シナリオの場合、使用済燃料中間

貯蔵施設は概ね 2050 年以降不要となり、原子力発電施設内で冷却し終えた軽水炉使用済燃料は直ちに再処理施設内で管理可能となる。

4.3.2 世界全体を想定した評価結果

ここでは世界全体を巨視的に一つの地域として評価した場合のサイクル諸量解析結果について述べる。想定条件については前記 4.2.3 項に既述したとおりであるが、世界全体の原子力発電設備容量は IIASA/WEC による 2100 年までのエネルギー需給予測の中から C2 ケースを選び、2100 年以降の原子力発電設備容量については一定に維持されるものと仮定した。また、将来シナリオは直接処分シナリオと FBR 移行シナリオの二つとし、FBR 移行シナリオでは増殖性能を強化したナトリウム冷却 MOX 燃料炉心（グループ I）とナトリウム冷却金属燃料炉心（グループ II）の二つの代表概念を対象として、テイルウラン濃度や FBR 導入開始時期などを変えた場合の軽水炉共存期間ならびに天然ウラン節約効果などを評価した。

なお、本解析は FAMILY-21 の前身バージョンとして原子力機構が開発した FAMILY-EX^[15]を用いて実施した。

(1) 直接処分シナリオ

(i) 原子力発電設備構成と使用済燃料貯蔵量

直接処分シナリオの原子力発電設備構成を図 4.3.36 に示す。軽水炉と重水炉の導入割合は、IAEA の炉型・サイクル戦略予測^[18]を参考にして軽水炉 90%（PWR：70%、BWR：20%）および重水炉 10%と仮定している。また、図 4.3.37 は直接処分シナリオの使用済燃料貯蔵量（炉心取出後の 3 年冷却中を除く）を示している。重水炉の炉心平均燃焼度が軽水炉の 1/7～1/5 程度と低いことから単位出力あたりの年間使用済燃料発生量は軽水炉より極端に多く、そのため使用済燃料貯蔵量全体に占める重水炉の使用済燃料割合が 2010 年で約 25%、2100 年で約 43%、2200 年には約 45%と年々増大している。ちなみに 2100 年以降の使用済燃料貯蔵量の増加ペースは 1 年あたり約 6 万トンと見積もられ、これは米国のユッカマウンテン処分場規模相当の最終処分場が 1 年わずかではほぼ満杯になるイメージである。

(ii) 天然ウラン累積需要量

テイルウラン濃度を 0.2～0.3%の範囲で変えた場合の天然ウラン累積需要量を図 4.3.38 に示す。軽水炉と重水炉を仮に直接処分方法で運用し続けた場合の 2200 年時点における天然ウラン累積需要量は、テイルウラン濃度 0.2%では約 5,330 万トン、同じくテイルウラン濃度 0.3%では約 6,400 万トンと計算された。ちなみにレッドブック 2003 では在来型究極資源量を 1,440 万トンと予測していることから、この究極資源量の 4 倍程度の膨大な資源が約 200 年間で必要とされる。

表 4.3.3 は、直接処分シナリオの天然ウラン累積需要量が在来型資源の既知資源量 459 万トンおよび究極資源量 1,440 万トンに到達する年、さらに 50 年ごとの天然ウラン累積需要量を各テイルウラン濃度別に整理したものである。IIASA/WEC'98 の C2 ケースを一つの将来ケースとして考えた場合、既知資源は 2040 年代半ばに消費しつくし、また究極資源も今世紀末には枯渇するものと予想される。また、直接処分シナリオでは単年度の天然ウラン消費量が膨大なことからテイルウラン濃度調整による天然ウラン節約効果は小さくなり、既知資源や究極資源の利用年数を約 5～8 年延長する程度にとどまる。

(2) FBR 移行シナリオ

(i) 軽水炉共存期間

ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心の各 FBR を 2030 年および 2050 年に本格導入した場合の FBR 導入量を図 4.3.39 に示す。FBR 移行過程の軽水炉や重水炉との共存期間については、MOX 燃料炉心および金属燃料炉心とも 2050 年導入の場合が 110 年で最も短く、2030 年導入の場合は金属燃料炉心が 124 年、MOX 燃料炉心が 130 年と計算され、全体を通して 2150 年～2160 年に FBR への移行が完了すると見込まれる。

(ii) テイルウラン濃度調整による天然ウラン需要節約効果

図 4.3.40 は FBR 導入開始 2050 年のケースを対象として、テイルウラン濃度に 0.3%と 0.2% をそれぞれ採用した場合の天然ウラン累積需要量である。MOX 燃料炉心体系の天然ウラン累積需要量は、テイルウラン濃度が 0.3%の場合は 1,752 万トンと計算され、テイルウラン濃度を 0.2%に下げた場合は在来型究極資源量にほぼ等しい 1,435 万トンまで減少しており、テイルウラン濃度を 0.1%低下させることによって約 2 割の天然ウラン節約効果が期待される。一方、金属燃料炉心体系の天然ウラン累積需要量はテイルウラン濃度が 0.3%の場合でも在来型究極資源量をわずかに 50 万トン上回る程度である。

このことから、FBR 2050 年導入の場合に天然ウラン累積需要量を究極資源量以下に抑制可能な概念は、金属燃料炉心体系の適用あるいは MOX 燃料炉心体系とテイルウラン濃度調整の組み合わせが考えられる。

(iii) FBR の早期導入効果

2050 年導入開始と 2030 年導入開始の 2 ケースの天然ウラン累積需要量を図 4.3.41 に示す。各ケースのテイルウラン濃度には 0.3%の標準条件を採用しているが、MOX 燃料炉心体系を 2030 年から導入すれば天然ウラン累積需要量が在来型究極資源量にほぼ等しくなることが判る。金属燃料炉心体系の場合は 2050 年導入開始でも天然ウラン累積需要量は概ね究極資源量に抑えられており、2030 年に導入を開始すると約 3 割減の約 1,048 万トンにまで低下する。

さらに 2030 年導入とテイルウラン濃度調整を組み合わせた場合の天然ウラン累積需要量は、テイルウラン濃度 0.1%の低下で約 2 割の天然ウラン節約効果が期待されることから MOX 燃料炉心体系では約 1,150 万トン、金属燃料炉心体系では約 840 万トンが見込まれる。これまでに述べた各 FBR 移行シナリオの天然ウラン需要見通しを表 4.3.4 に整理する。

(iv) 炉外サイクル時間短縮効果

炉外サイクル時間の短縮化は、再処理待ちの使用済燃料を減らすことにより炉外プルトニウムインベントリを少なくし、その分を炉心燃料として活用するためプルトニウム利用率の改善さらには FBR 導入速度の向上が期待される。FBR 使用済燃料は軽水炉使用済燃料に比べ取出平均燃焼度が高く、マイナーアクチニドや核分裂生成物の含有割合も多いため、原子炉取出し後の炉外冷却期間を 2 年程度に短縮するには多くの技術的課題をとまなうと考えられる。ここでは、技術的実現性を考慮せずに FBR 導入速度と天然ウラン累積需要量の観点から炉外サイクル時間を 3 年（炉外冷却期間 2 年）とした場合の効果について述べる。

図 4.3.42 は炉外サイクル時間を 5 年および 3 年として計算した FBR 導入量である。炉外サイクル時間を 3 年としたケースでは金属燃料炉心体系および MOX 燃料炉心体系のいずれも FBR 導入速度が向上しており、特に金属燃料炉心体系の軽水炉共存期間はリファレンス条

件（炉外サイクル時間5年）に比べ約40年短い約70年に短縮されている。一方、MOX燃料炉心体系の軽水炉共存期間は炉外サイクル時間を3年に短縮しても5年のケースと同じく110年であるが、移行過程におけるFBR導入速度はリファレンス条件の金属燃料炉心体系を上回っている。

この軽水炉共存期間の短縮化やFBR導入速度の向上によって天然ウラン累積需要量は図4.3.43に示すよう低下しており、これにテイルウラン濃度調整を併用すればさらに2割程度の節約が期待される。

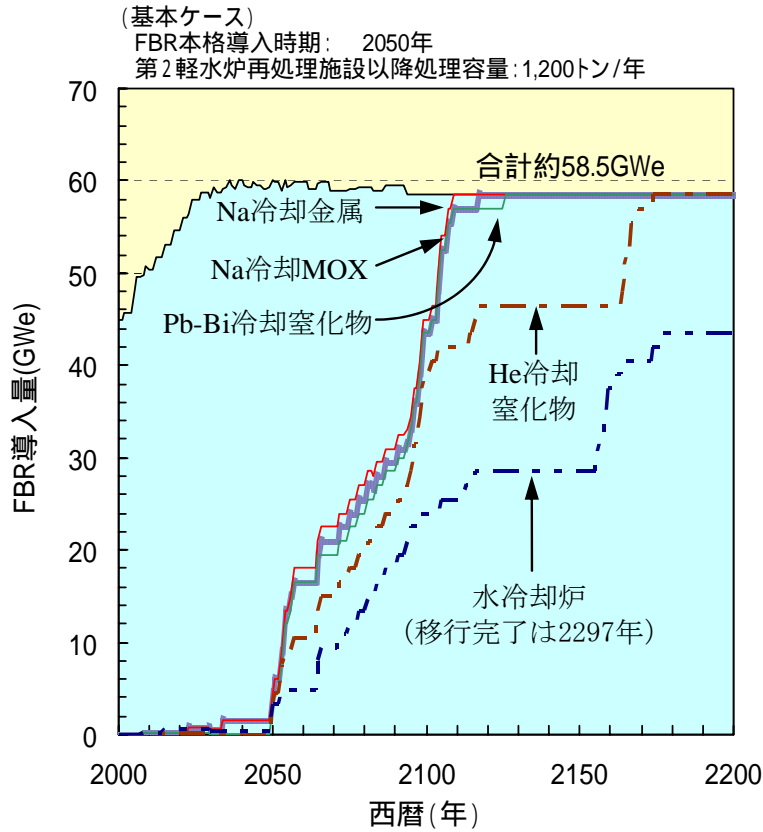


図 4.3.1 基本ケースの FBR 導入量

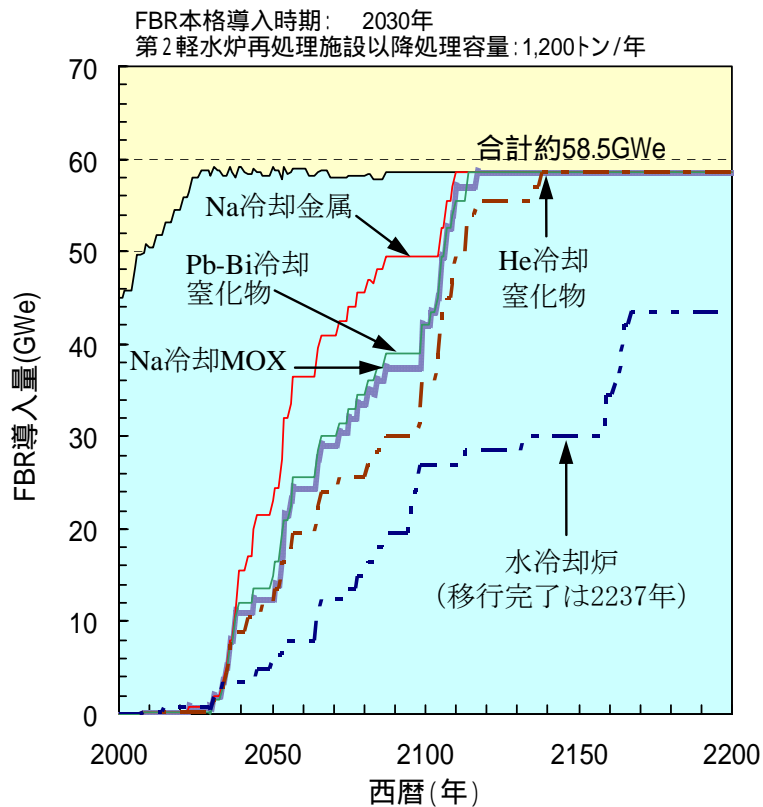


図 4.3.2 2030年導入開始の FBR 導入量

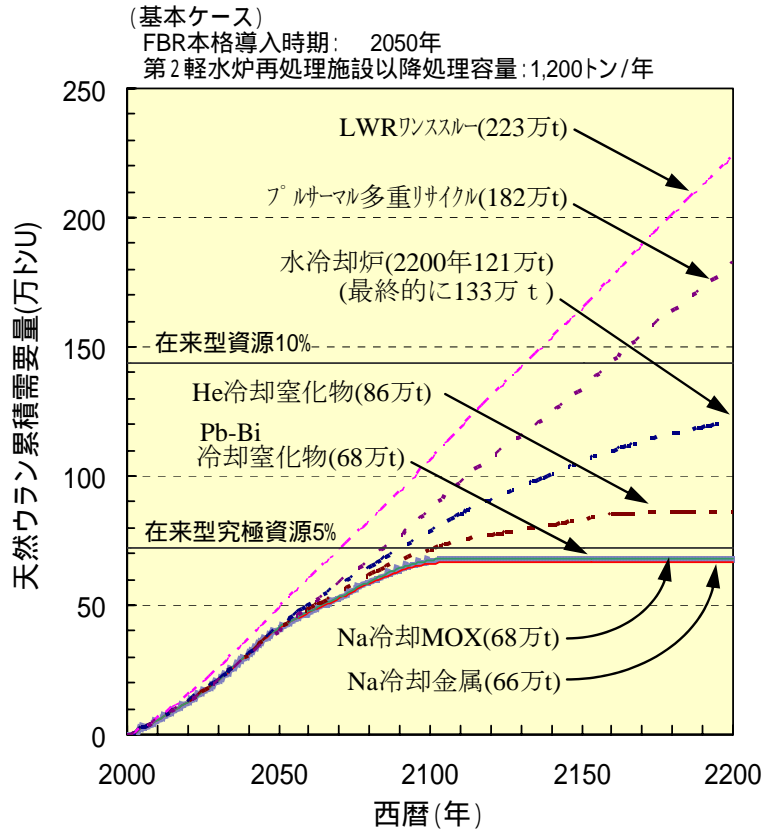


図 4.3.3 基本ケースの天然ウラン需要量

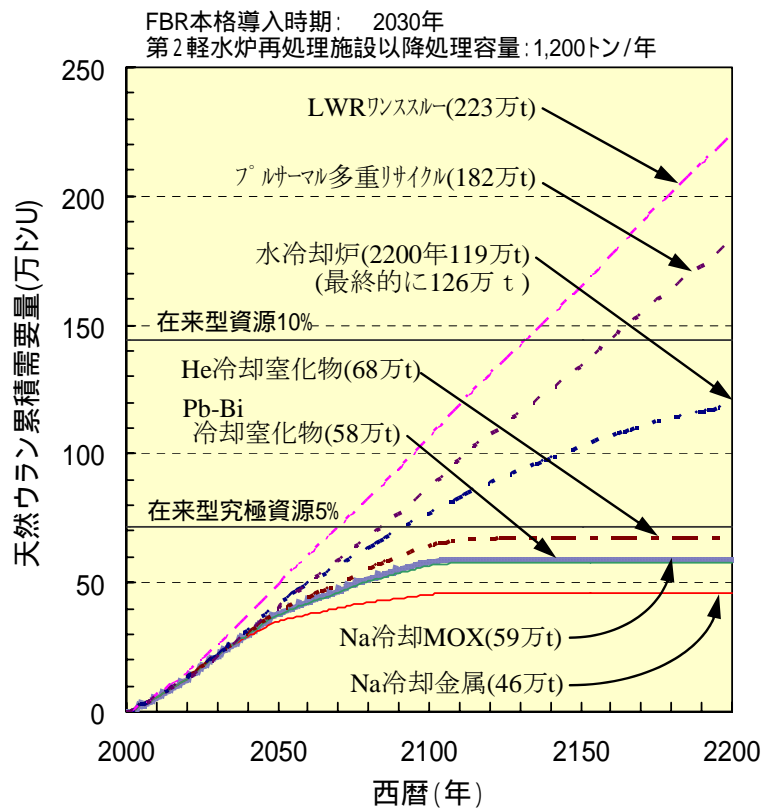


図 4.3.4 2030年導入開始の天然ウラン需要量

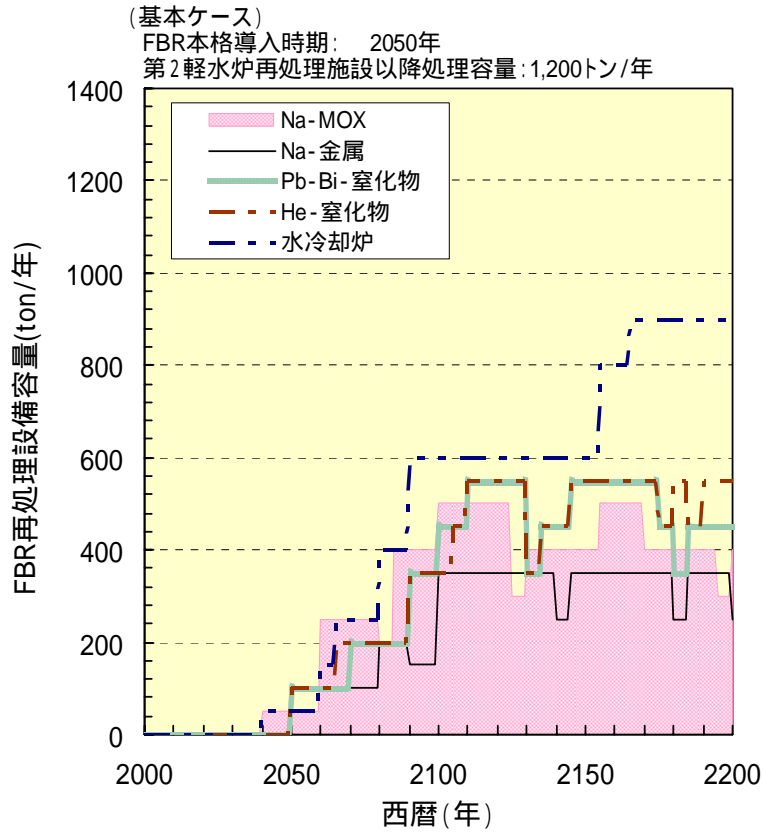


図 4.3.5 基本ケースの FBR 再処理設備容量

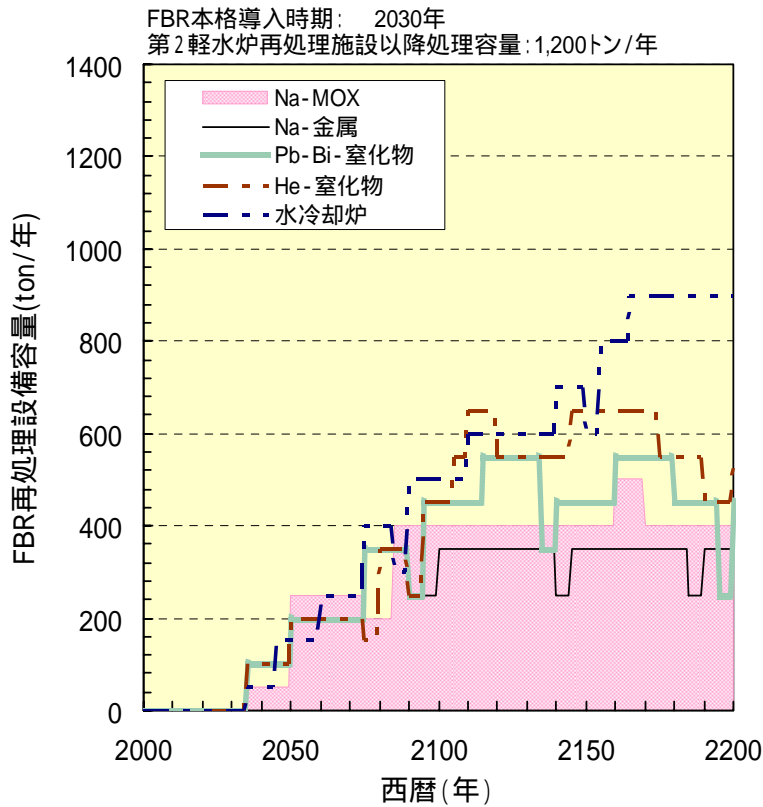


図 4.3.6 2030 年導入開始の FBR 再処理設備容量

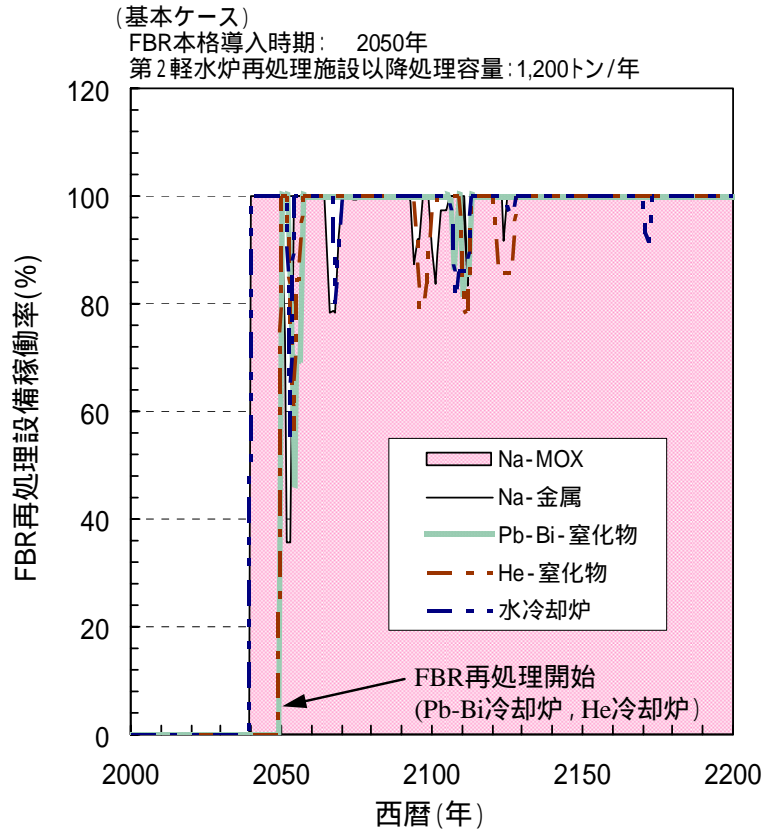


図 4.3.7 基本ケースの FBR 再処理設備稼働率

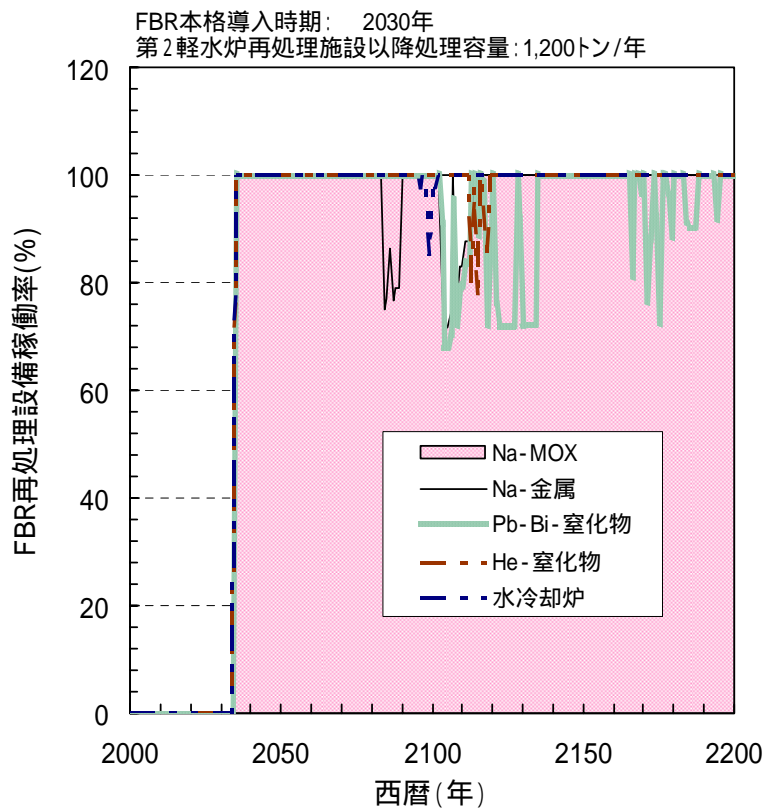


図 4.3.8 2030 年導入開始の FBR 再処理設備稼働率

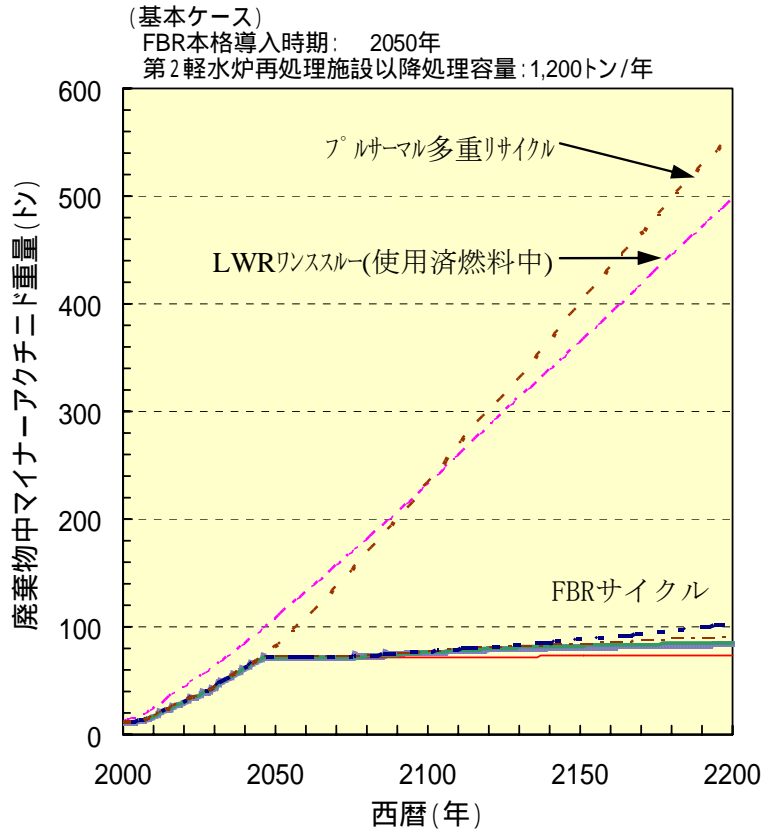


図 4.3.9 基本ケースの高レベル廃棄物中マイナーアクチニド重量

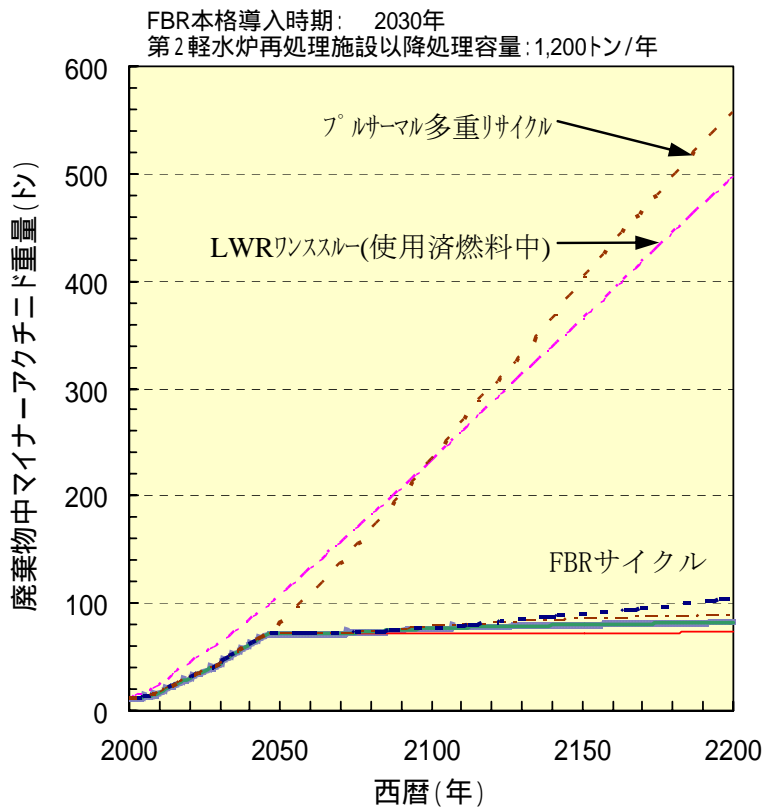


図 4.3.10 2030年導入の高レベル廃棄物中マイナーアクチニド重量

対象: ナトリウム冷却炉
 表示内容: 燃料種別 (MOX: 混合酸化物燃料, MTL: 金属燃料) 導入開始年
 - 第2軽水炉再処理施設以降の年間処理容量

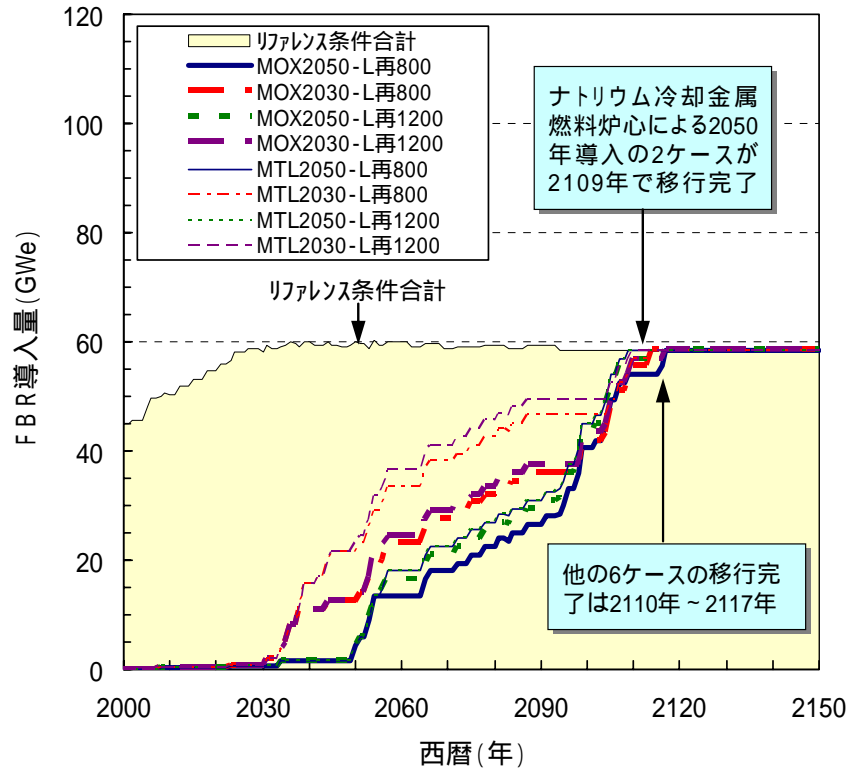


図 4.3.11 リファレンス条件における各シナリオの FBR 導入量

対象: ナトリウム冷却炉
 表示内容: 燃料種別 (MOX: 混合酸化物燃料, MTL: 金属燃料) 導入開始年
 - 第2軽水炉再処理施設以降の年間処理容量

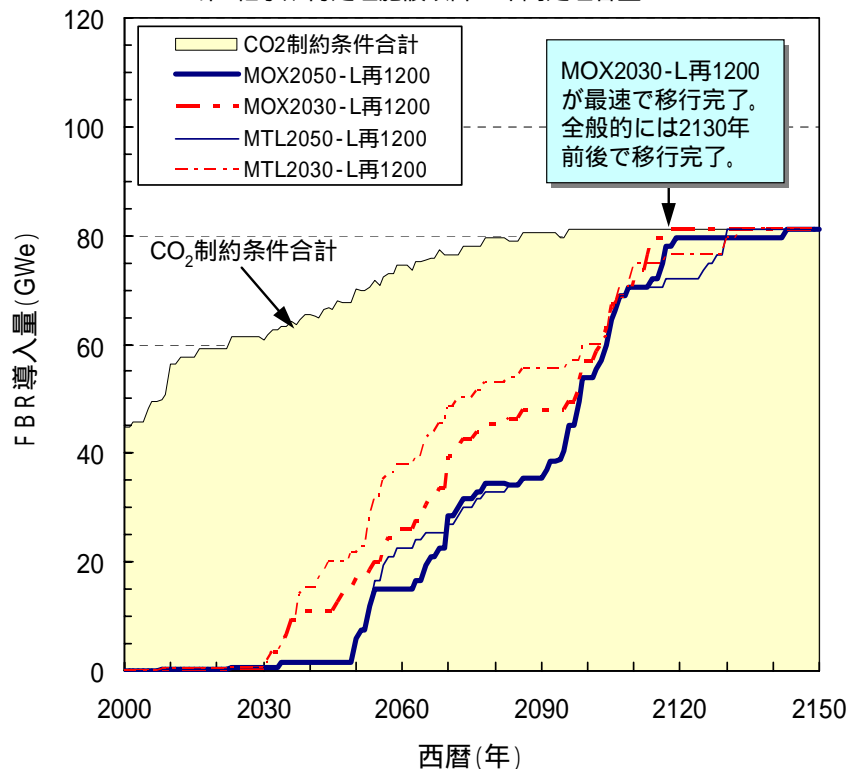


図 4.3.12 CO₂制約条件における各シナリオのFBR導入量

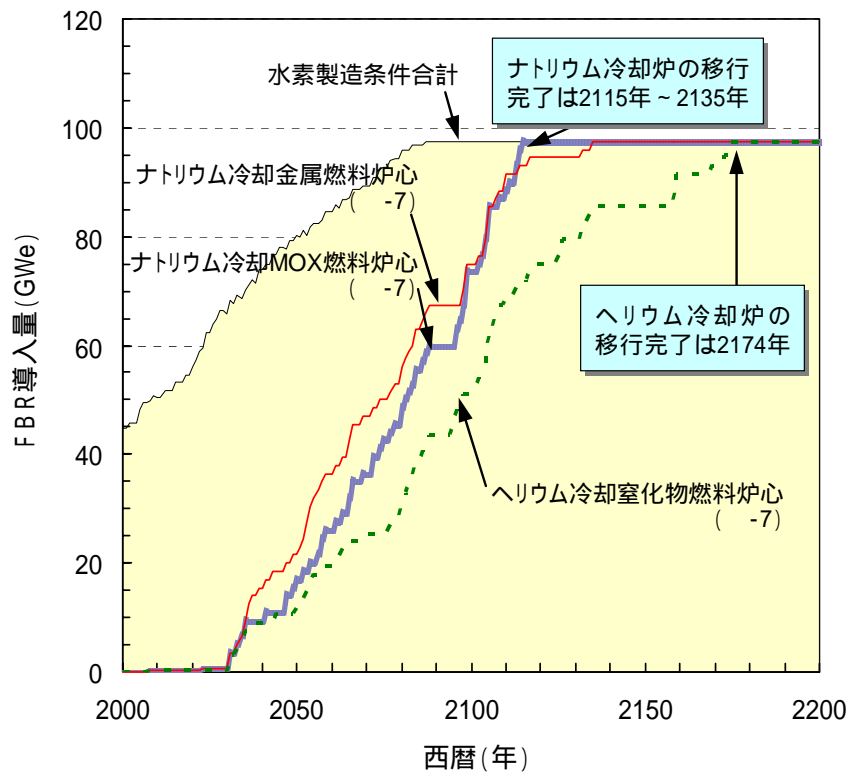


図 4.3.13 水素製造条件の FBR 導入量

表 4.3.1 各種移行シナリオにおける軽水炉共存期間の一覧

原子力設備容量	概念	導入開始年	第2軽水炉再処理容量	軽水炉共存期間	ケース
リアリティ (58.5GWe)	Na-MOX	2050年	800t _プ /年	67年	-1
		2030年	800t _プ /年	86年	-2
		2050年	1200t _プ /年	67年	-5
		2030年	1200t _プ /年	87年	-6
	Na-MTL	2050年	800t _プ /年	59年	-1
		2030年	800t _プ /年	84年	-2
		2050年	1200t _プ /年	59年	-5
		2030年	1200t _プ /年	80年	-6
CO ₂ 制約 (78GWe)	Na-MOX	2050年	1200t _プ /年	93年	-3
		2030年	1200t _プ /年	87年	-4
	Na-MTL	2050年	1200t _プ /年	80年	-3
		2030年	1200t _プ /年	103年	-4
水素製造 (96GWe)	Na-MOX	2030年	1200t _プ /年	85年	-7
	NA-MTL	2030年	1200t _プ /年	105年	-7
	He-NTR	2030年	1200t _プ /年	144年	-7

(備考) 表中のケース は表4.2.4に対応

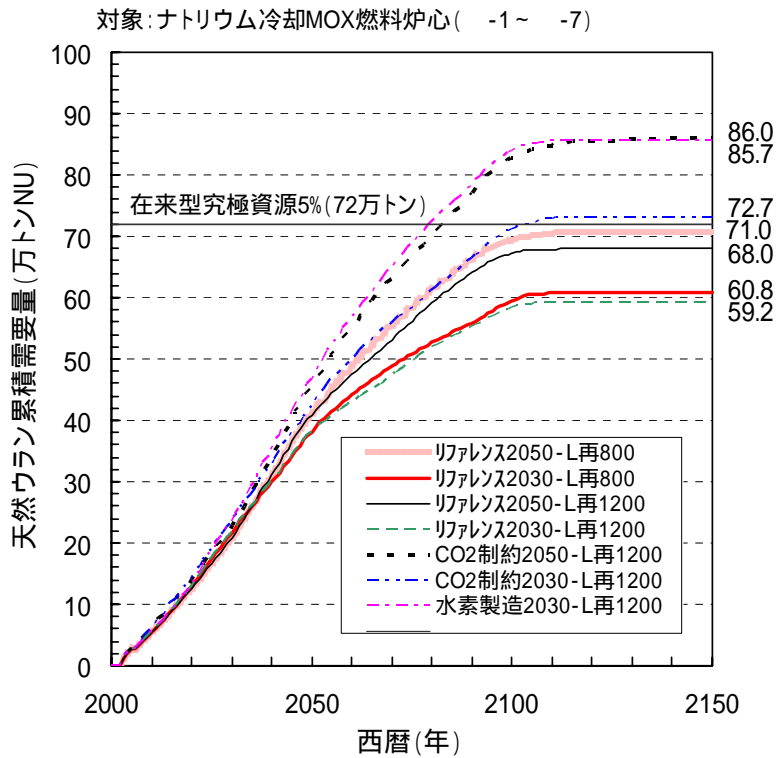


図 4.3.14 ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心体系の各シナリオにおける天然ウラン累積需要量

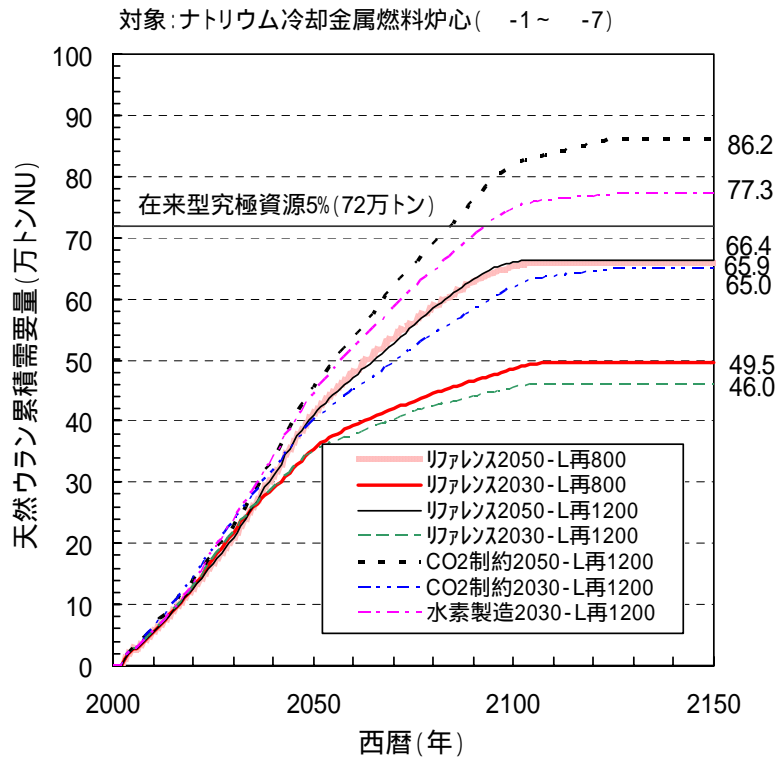
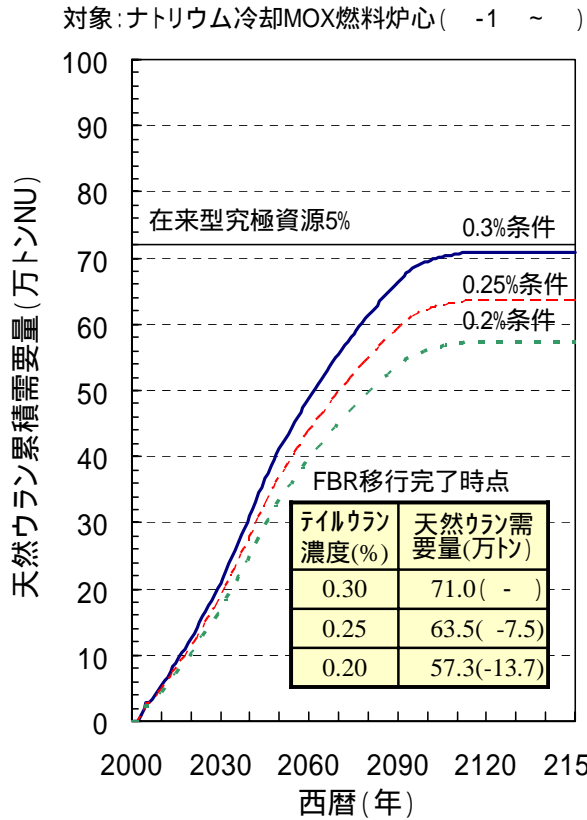
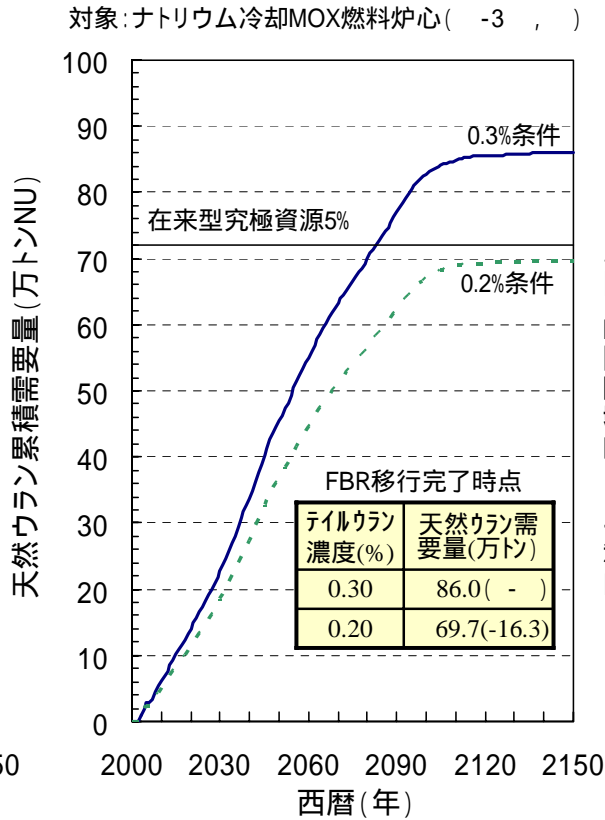


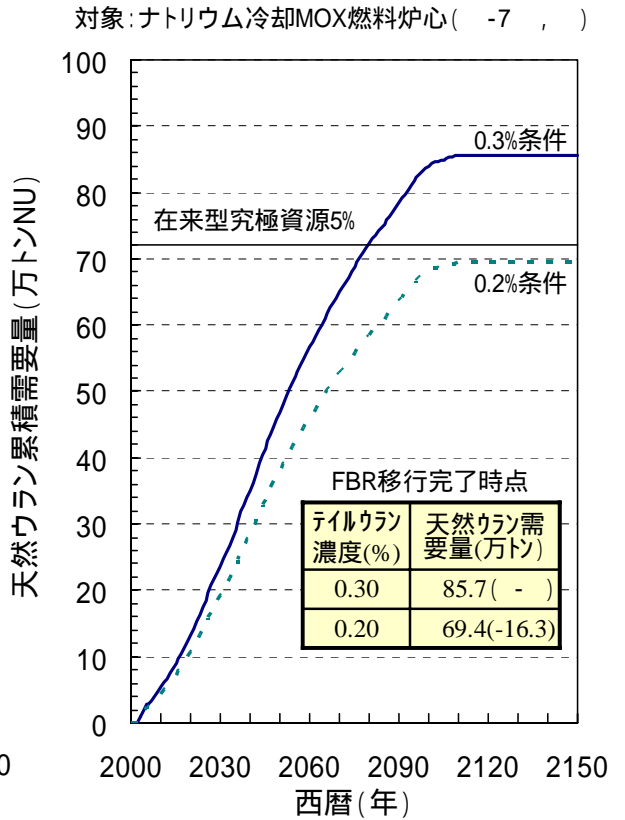
図 4.3.15 ナトリウム冷却金属燃料炉心体系の各シナリオにおける天然ウラン累積需要量



a) リファレンス条件



b) CO₂制約条件



c) 水素製造条件

図 4.3.16 濃縮テイルウラン濃度の天然ウラン節約効果

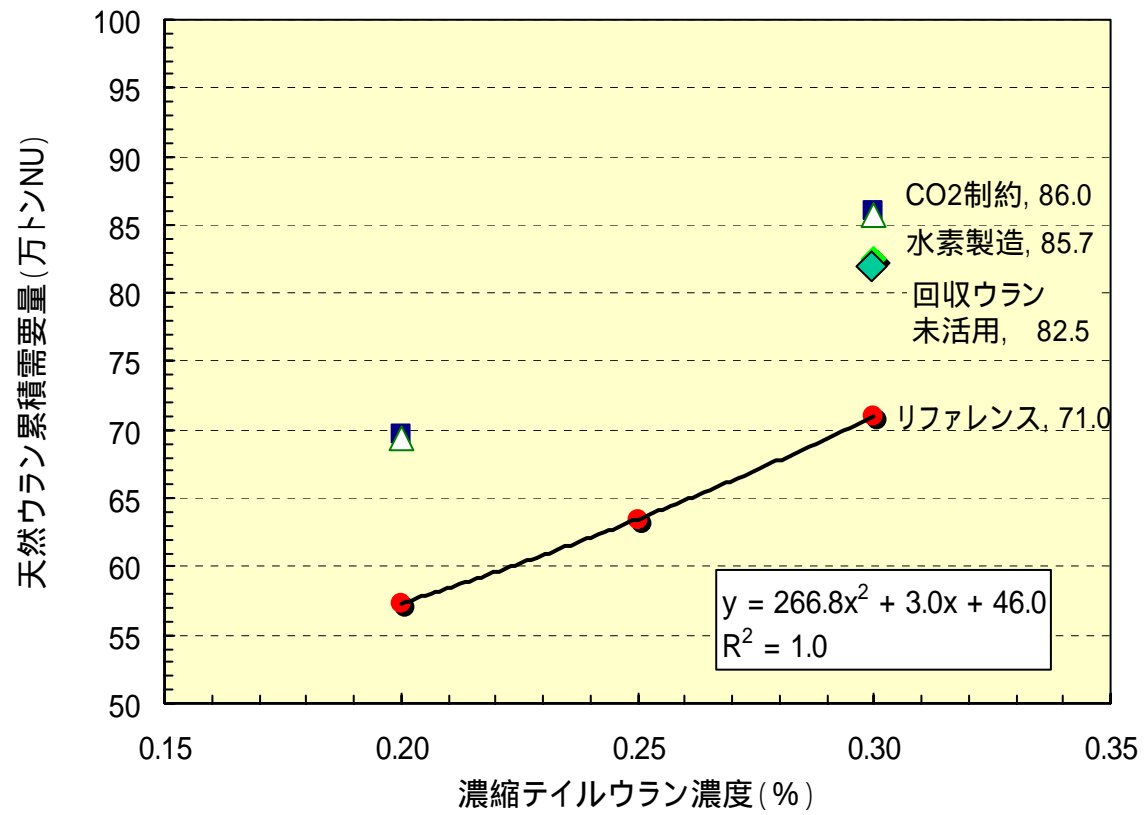


図 4.3.17 テイルウラン濃度と回収ウラン再濃縮利用における天然ウラン累積需要量の関係

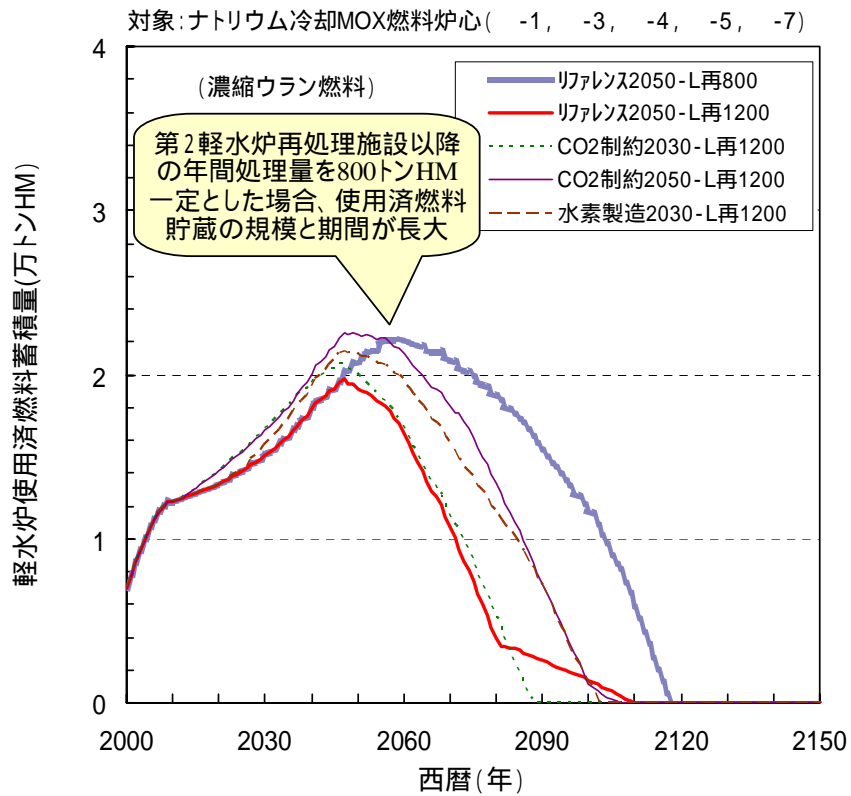


図 4.3.18 軽水炉使用済燃料貯蔵量

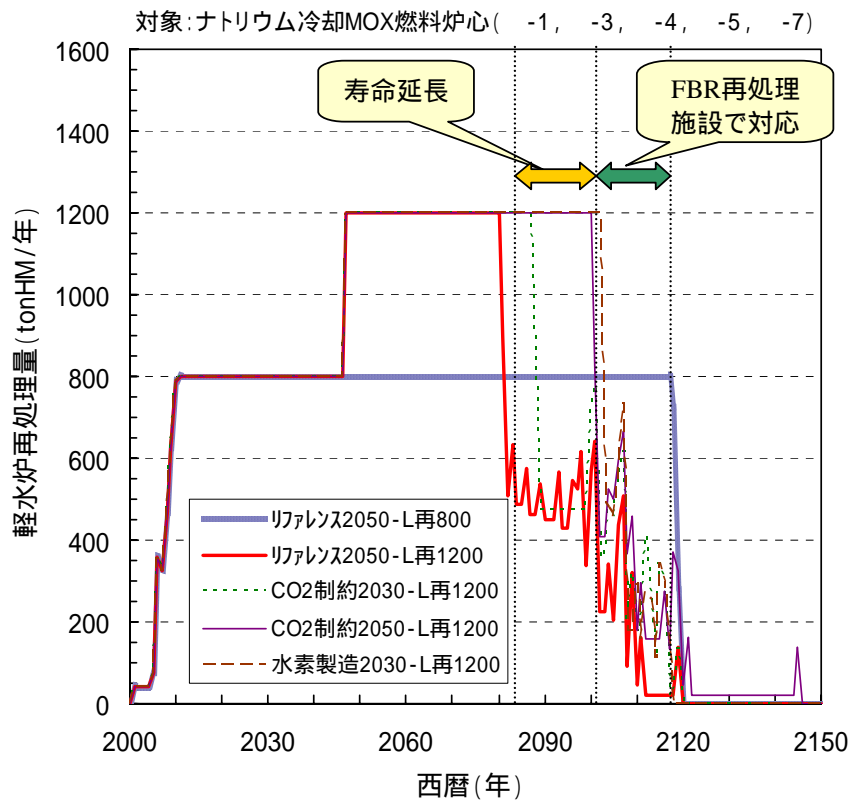
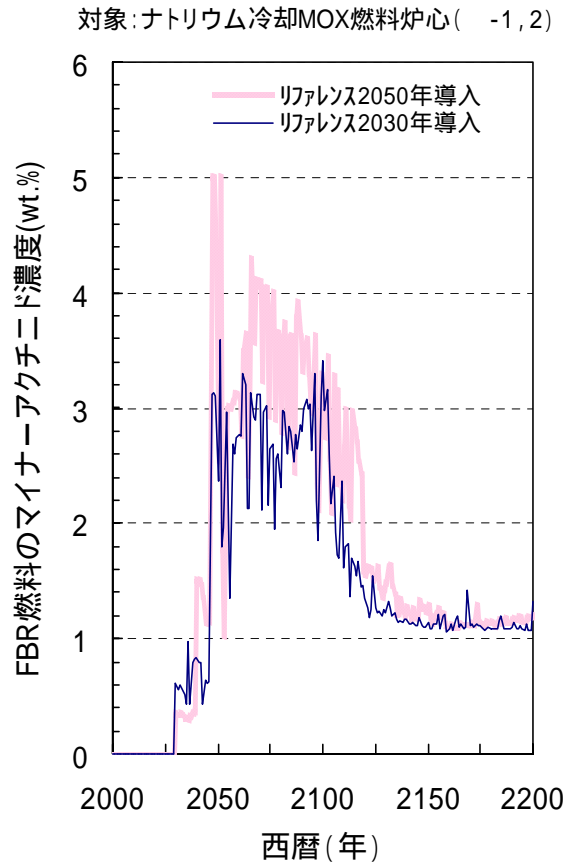
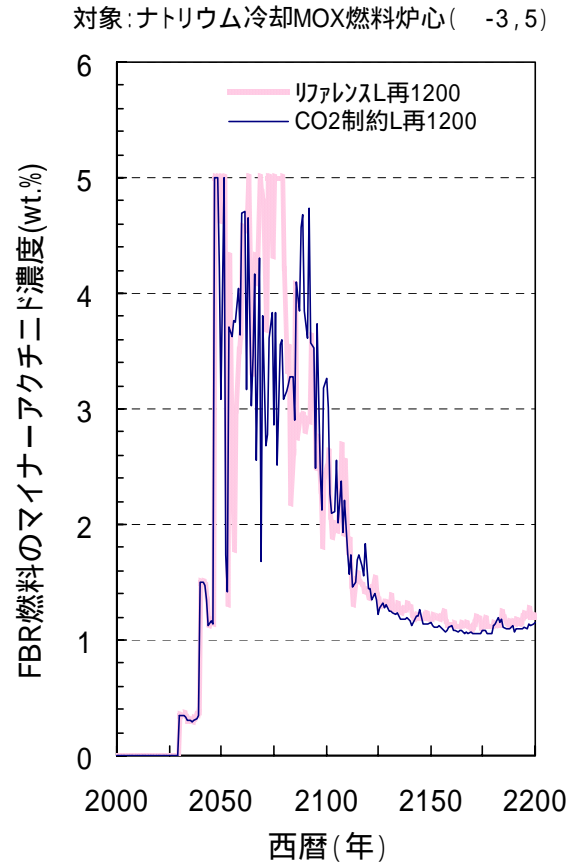


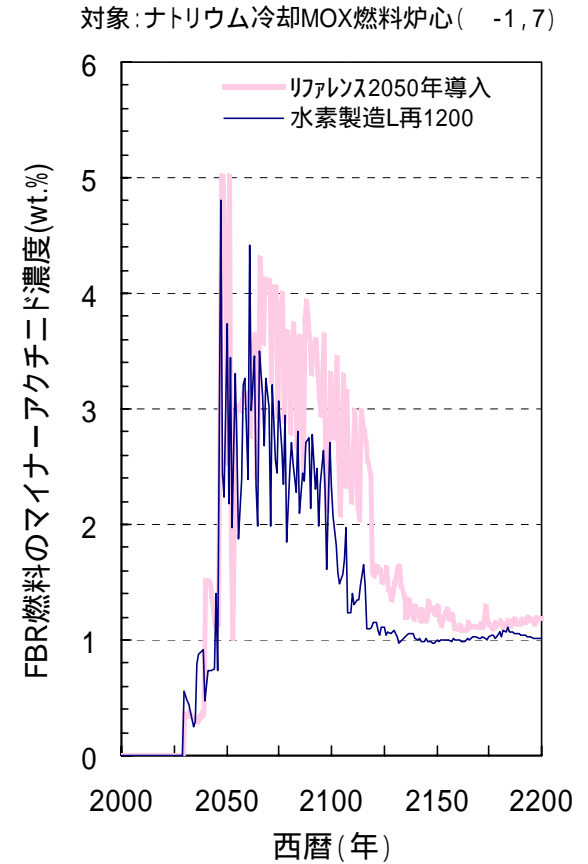
図 4.3.19 軽水炉再処理量



a) FBR導入開始時期の違いによる影響
(軽水炉再処理設備容量は800t/y一定)



b) 原子力発電設備容量の影響
(FBR導入開始時期は2050年)



c) 全ての条件が異なるケース
(原子力設備容量, 軽水炉再処理容量, FBR導入開始)

図 4.3.20 シナリオ想定条件とFBR炉心燃料のマイナーアクチニド濃度

表 4.3.2 高増殖・低インベントリ型炉心の主要仕様、特性及び性能(ナトリウム冷却炉)

項目		実用化戦略調査研究フェーズ 代表概念				高増殖・低インベントリ型炉心		
		資源重視型炉心		経済性重視型炉心				
		金属 ^{*1}	MOX	金属 ^{*1}	MOX	金属	MOX	
主要仕様	電気出力(万kWe)	150						
	運転サイクル長さ(ヶ月)	22.0	26.3	22.0	26.3	21.5	18.0	
	燃料ピン径(mm)	8.2	10.4	8.2	10.4	7.2	8.8	
	炉心高さ(cm)	100	100	100	100	95	80	
	軸ブランケット厚さ[上/下] (cm)	15/ -	20/20	-	15/20	50/ -	40/50	
	燃料体数[炉心/径ブランケット]	645/ -	562/96	645/ -	562/ -	645/96	594/198	
炉心特性	Pu富化度 ^{*2} [内側/外側] (wt%)	11.1/11.1	18.3/20.9	11.6/11.6	18.3/21.1	12.0/12.0	22.0/25.4	
	初装荷核分裂性Pu重量(t/GWe)	4.9	5.7	5.1	5.8	3.9	4.4	
	増殖比	1.11	1.10	1.03	1.03	1.26	1.20	
	取出平均燃焼度 (GWd/t)	炉心	149	147	153	150	96	154
		全炉心 ^{*3}	134	90	153	115	55	54
最大高速中性子照射量 ^{*4} ($\times 10^{23}n/cm^2$)		8.5	4.9	8.5	5.0	5.2	4.6	

* 1: 高燃焼度化炉心

* 2: Pu/HM

* 3: ブランケット燃料を含む

* 4: E>0.1MeV、ODS開発目標 $5 \times 10^{23}n/cm^2$

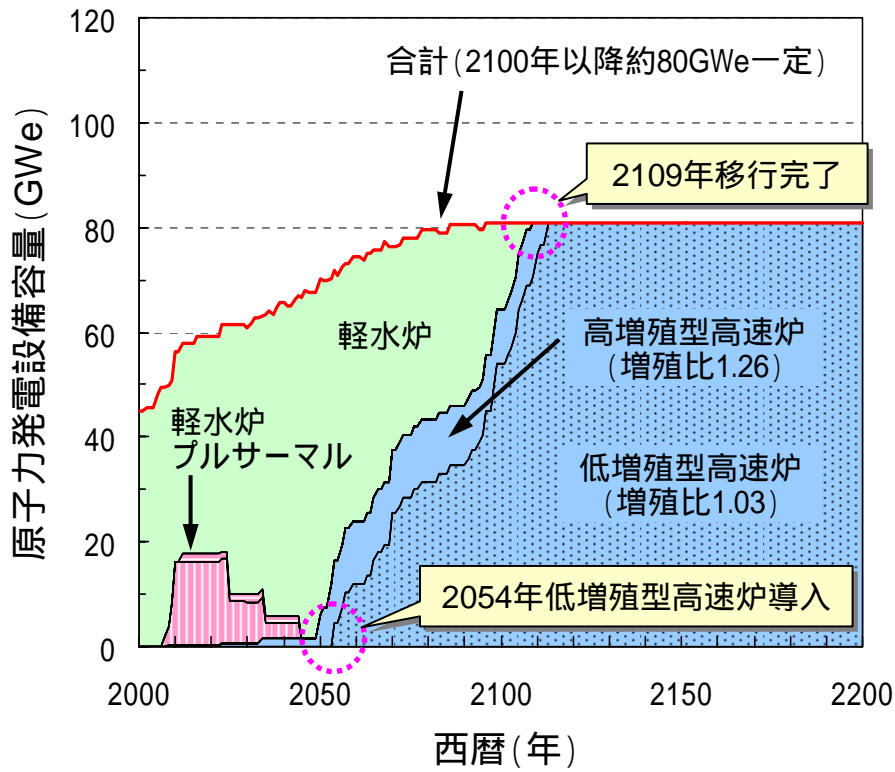


図 4.3.21 ナトリウム冷却金属燃料炉心の原子力発電構成

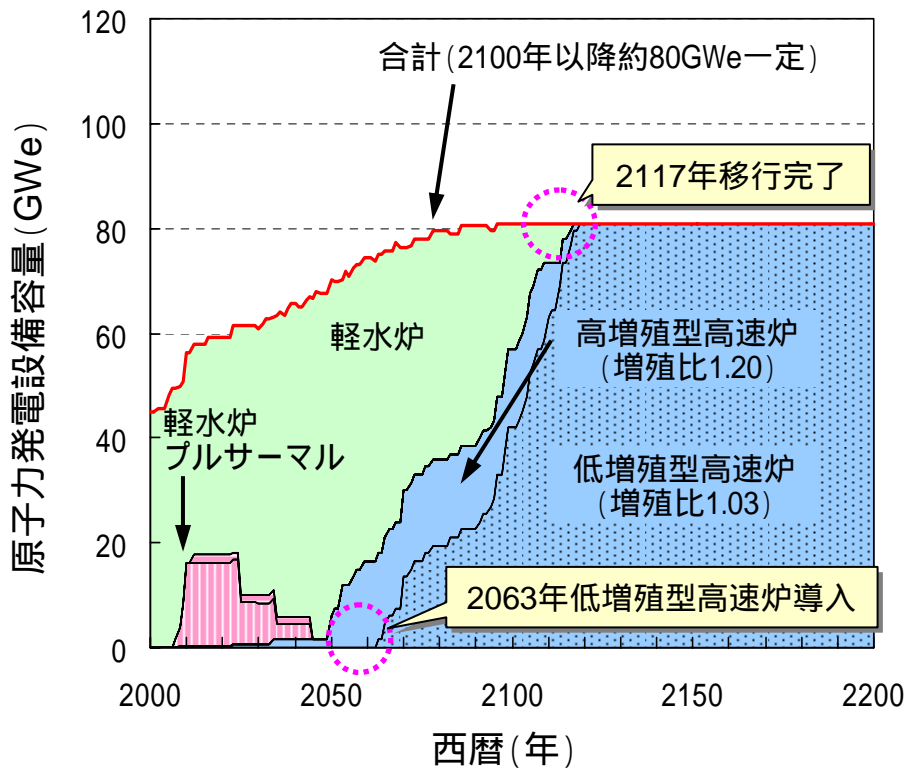


図 4.3.22 ナトリウム冷却混合酸化物燃料炉心の原子力発電構成

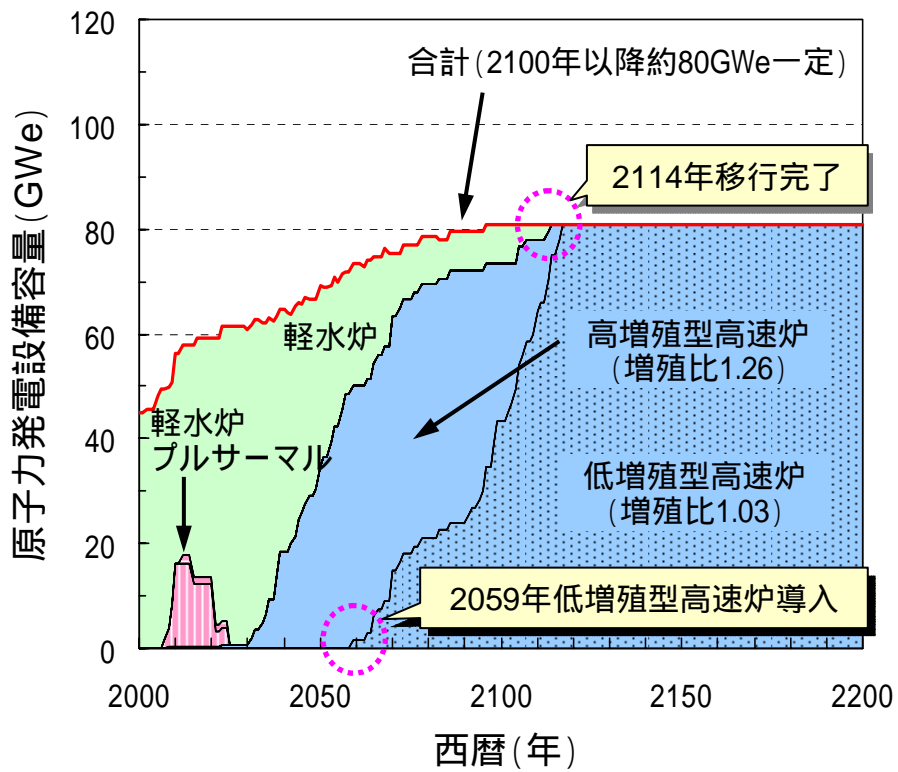


図 4.3.23 ナトリウム冷却金属燃料炉心の原子力発電構成

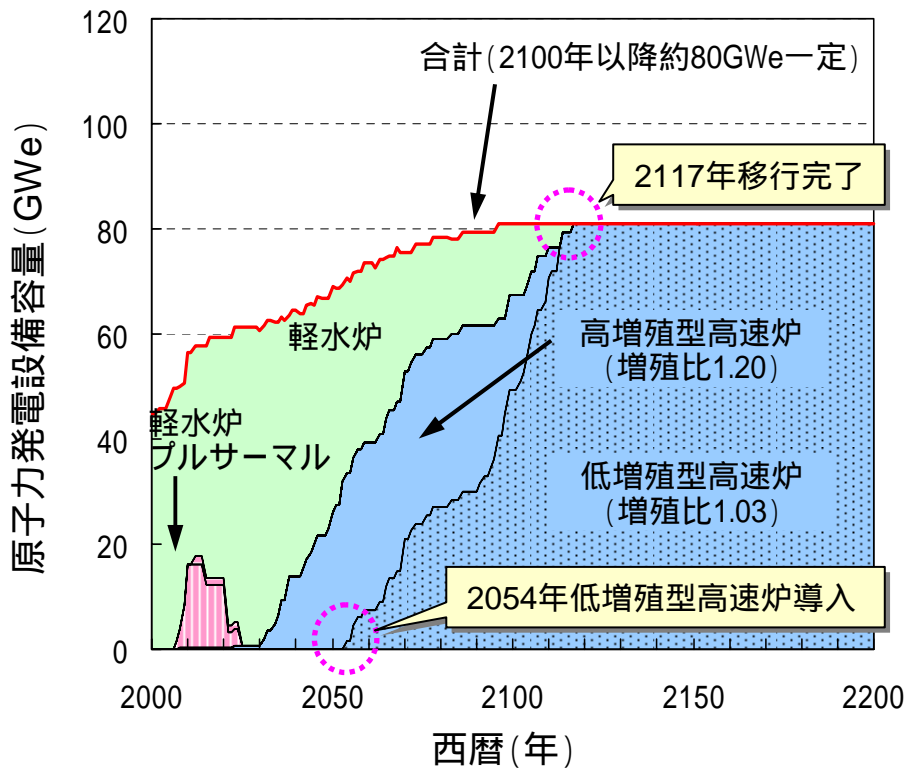


図 4.3.24 ナトリウム冷却混合酸化物燃料炉心の原子力発電構成

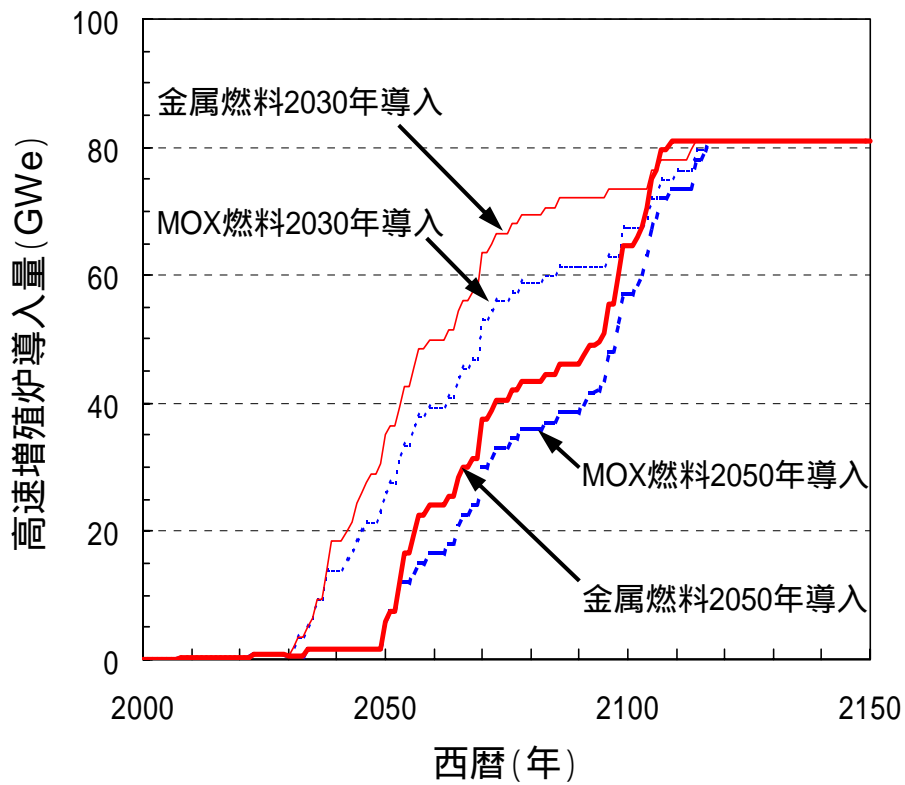


図 4.3.25 高速増殖炉の導入特性

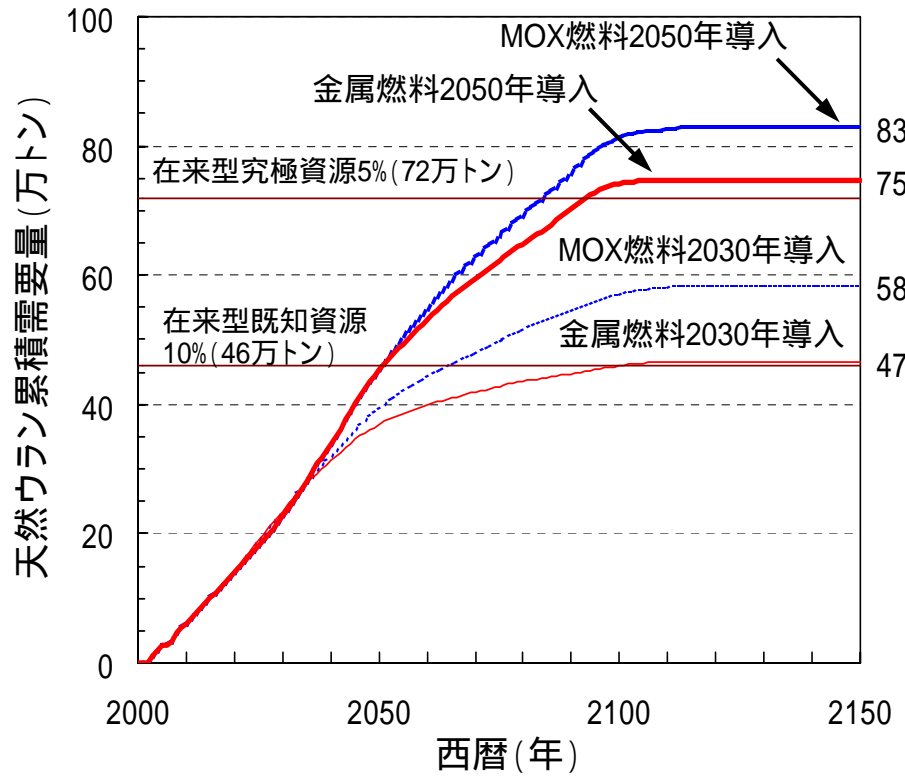


図 4.3.26 天然ウラン累積需要量

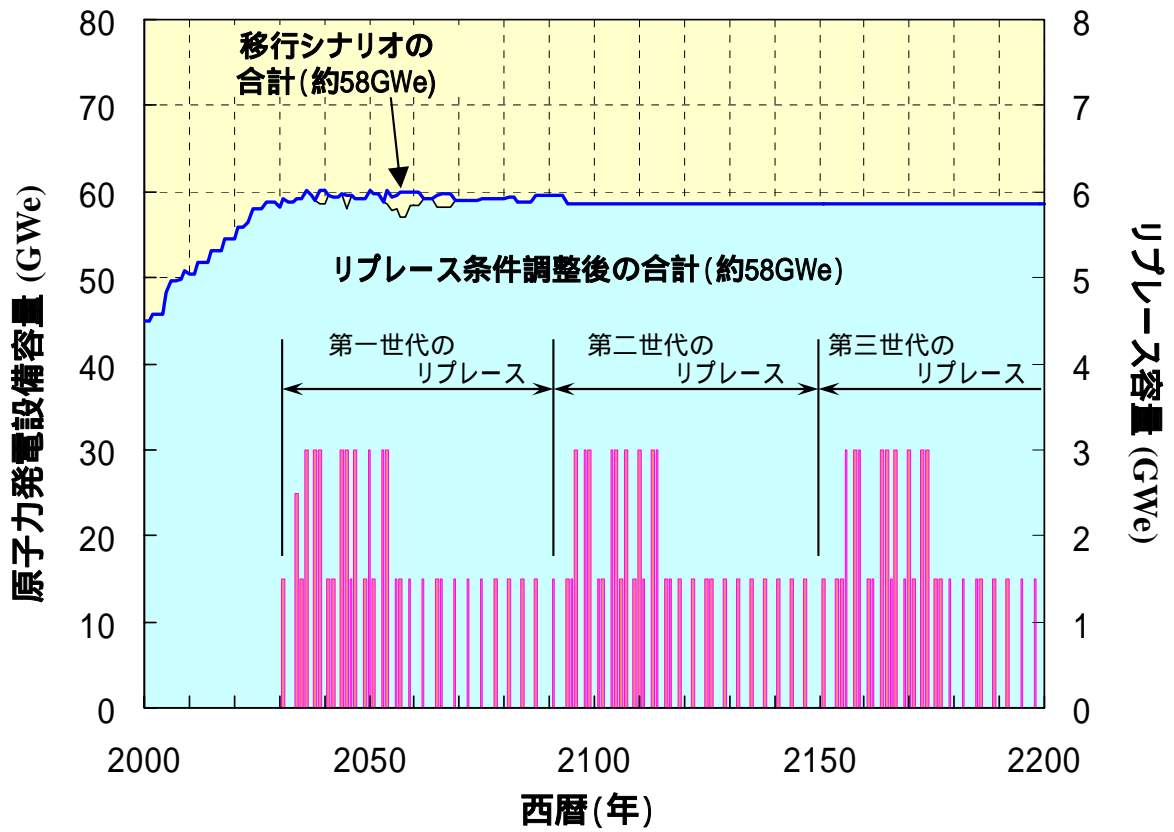


図 4.3.27 移行期間短縮化シナリオの原子力発電設備計画の想定条件

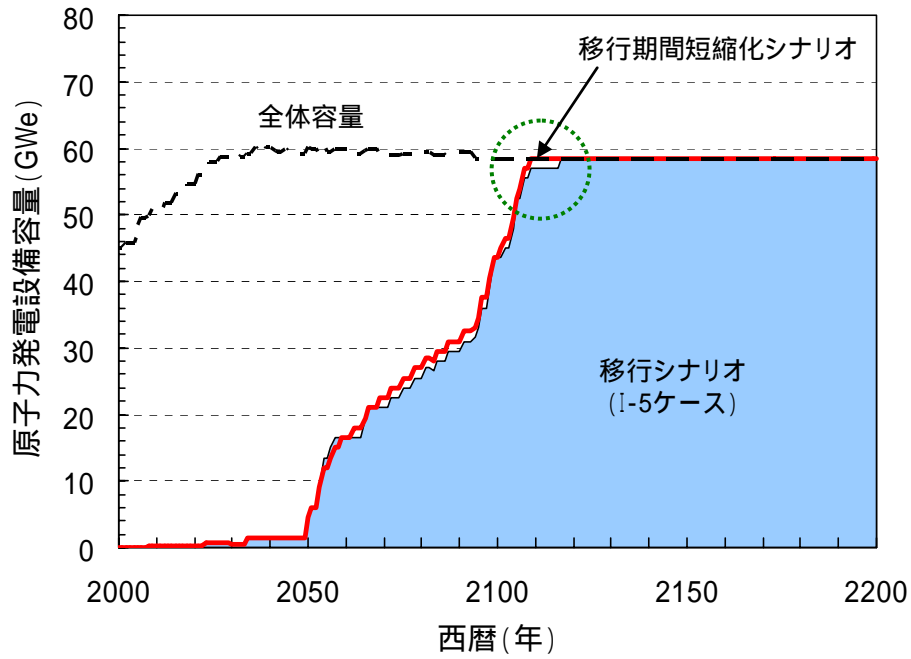


図 4.3.28 2050 年導入ケースの FBR 移行特性

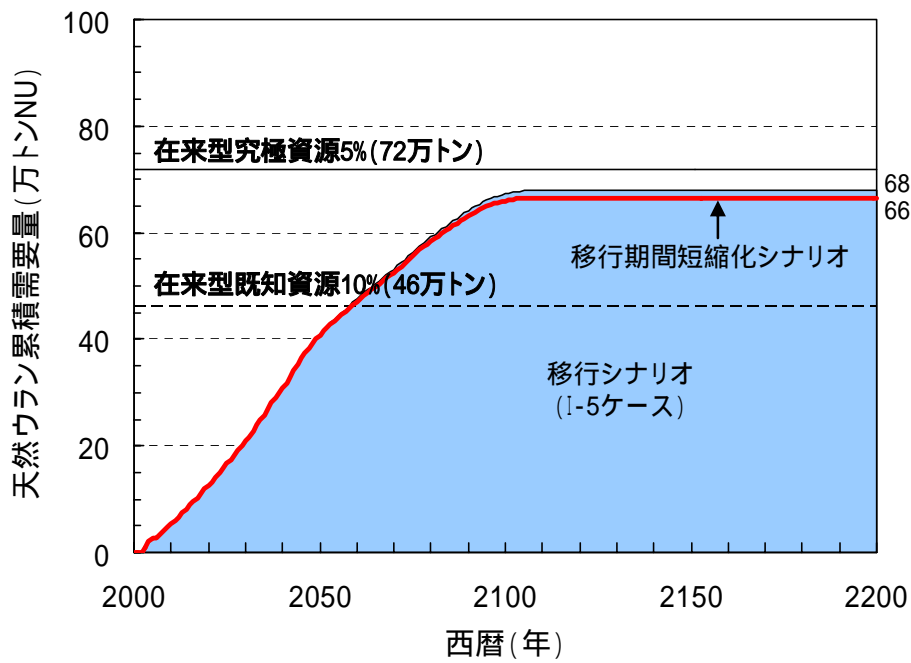


図 4.3.29 2050 年導入ケースの天然ウラン累積需要量

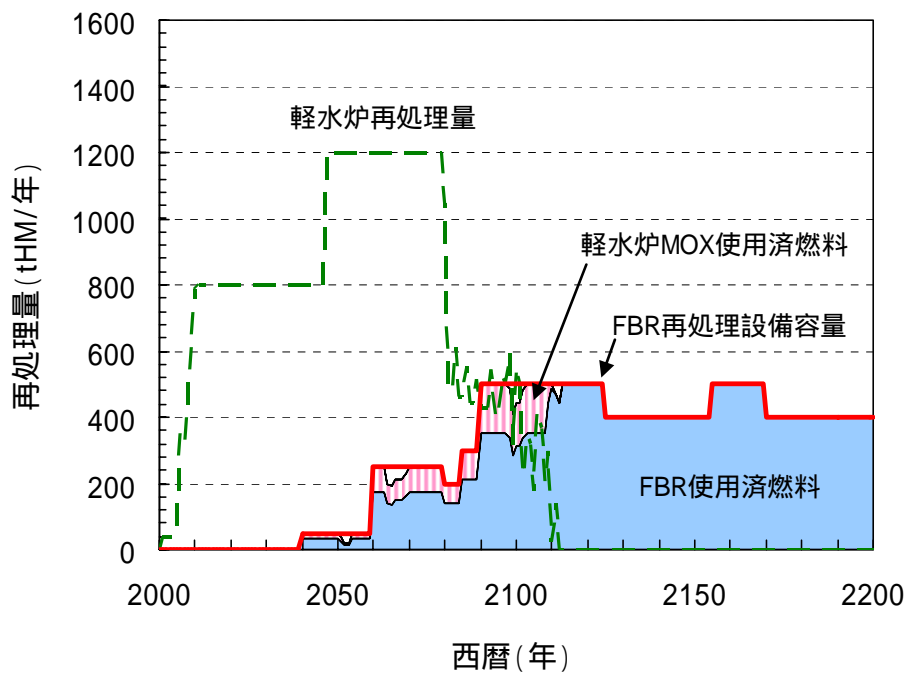


図 4.3.30 2050 年導入ケースの再処理状況

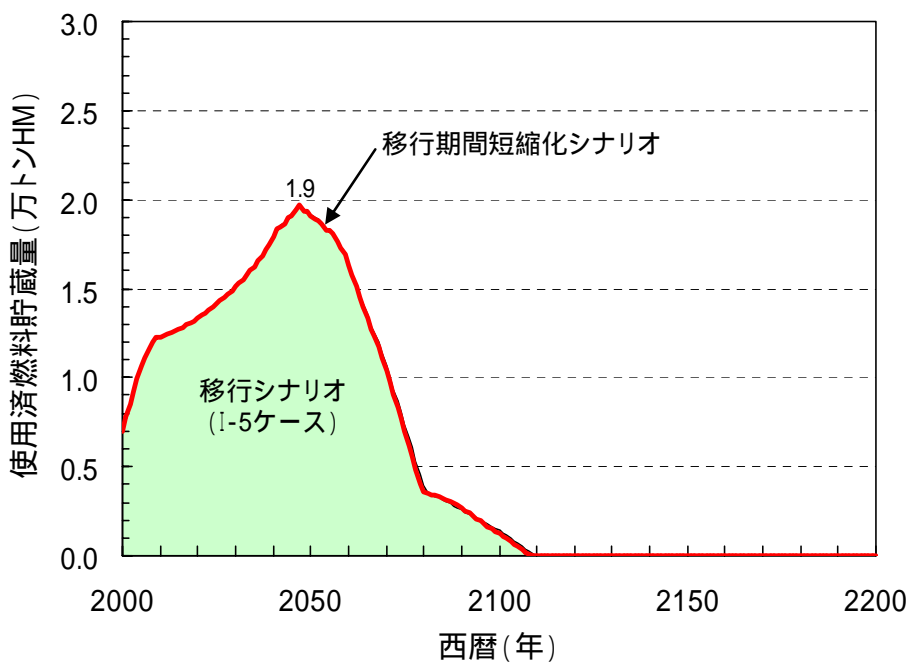


図 4.3.31 2050 年導入ケースの軽水炉使用済燃料貯蔵量
(冷却中の使用済燃料除く)

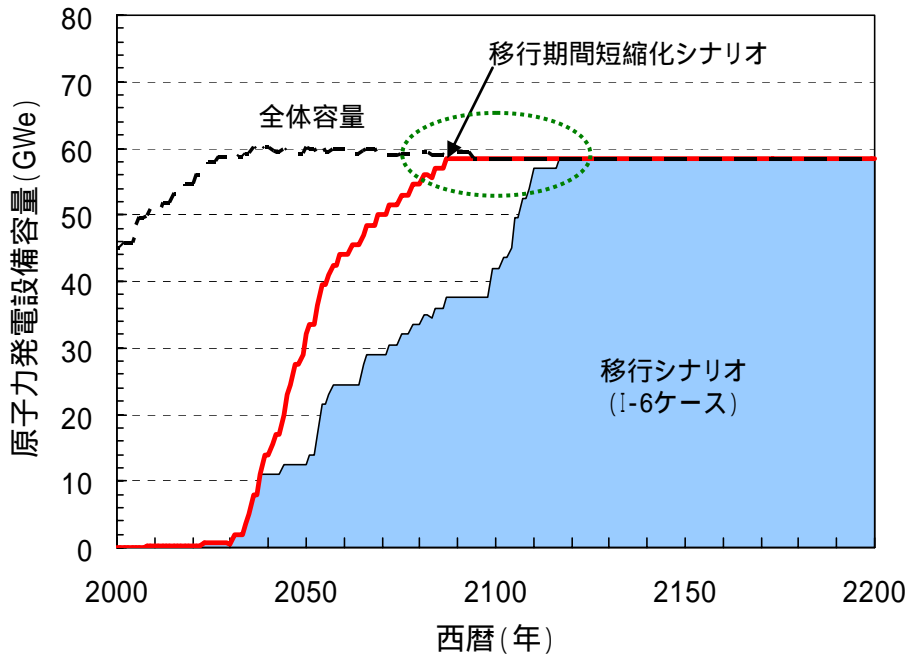


図 4.3.32 2030 年導入ケースの FBR 移行特性

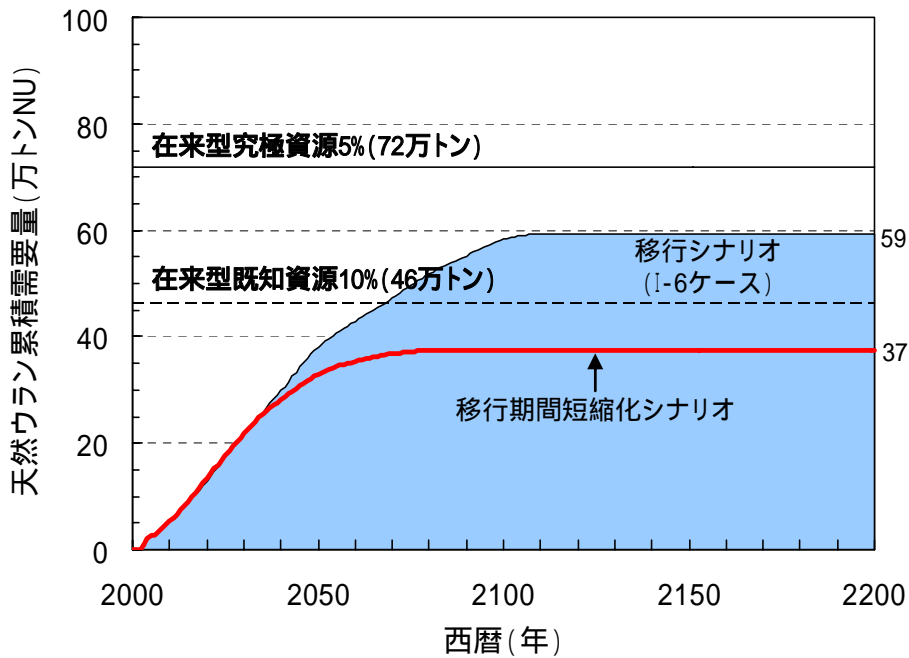


図 4.3.33 2030 年導入ケースの天然ウラン累積需要量

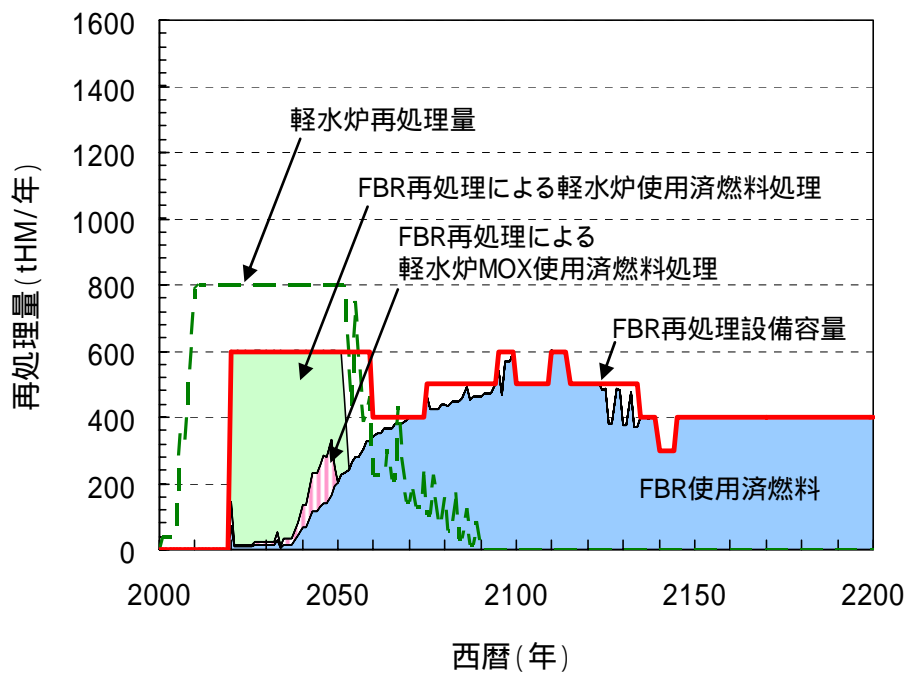


図 4.3.34 2030 年導入ケースの再処理状況

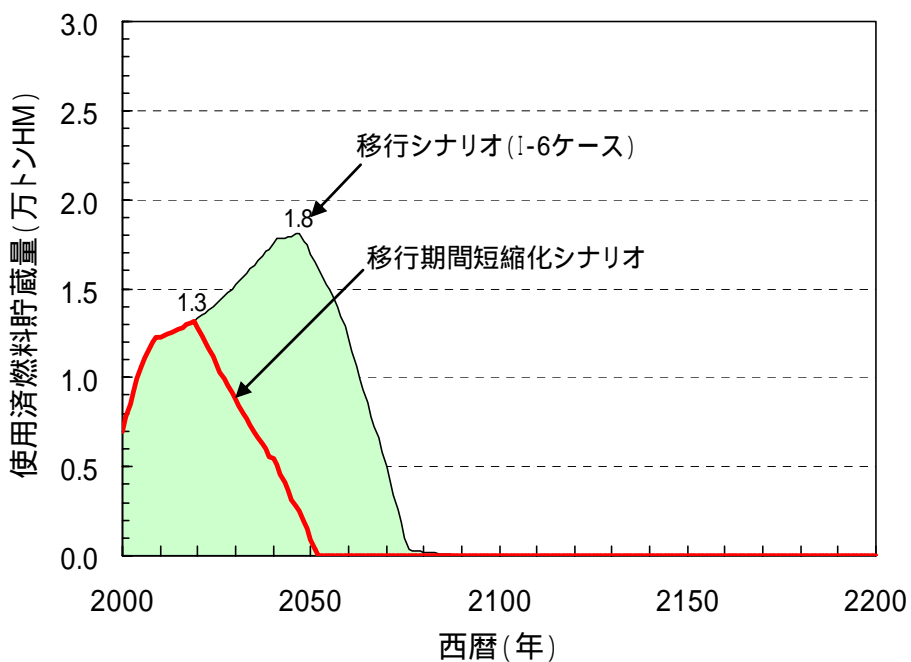


図 4.3.35 2030 年導入ケースの軽水炉使用済燃料貯蔵量
(冷却中の使用済燃料除く)

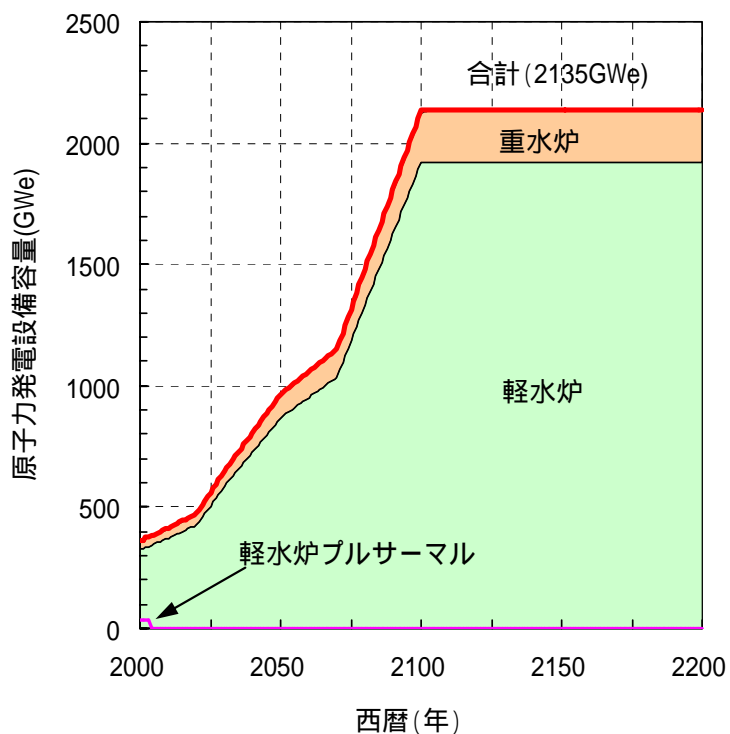


図 4.3.36 直接処分シナリオの原子力発電設備構成

(備考) ・原子力発電設備容量は C2 ケース(IIASA/WEC 98)の原子力発電量に基づく換算値
 ・軽水炉(LWR)と重水炉(HWR)の設備割合は、2200年までそれぞれ90%と10%を仮定

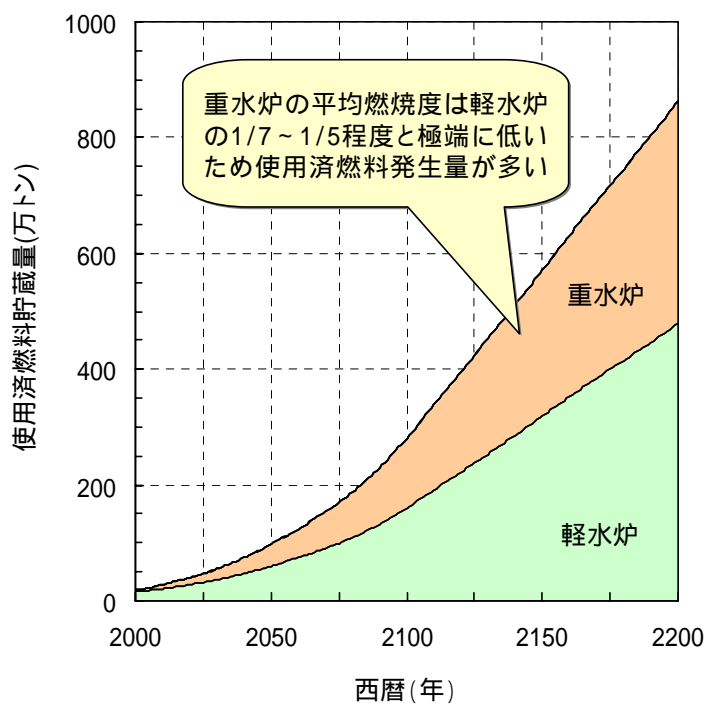


図 4.3.37 直接処分シナリオの使用済燃料貯蔵量

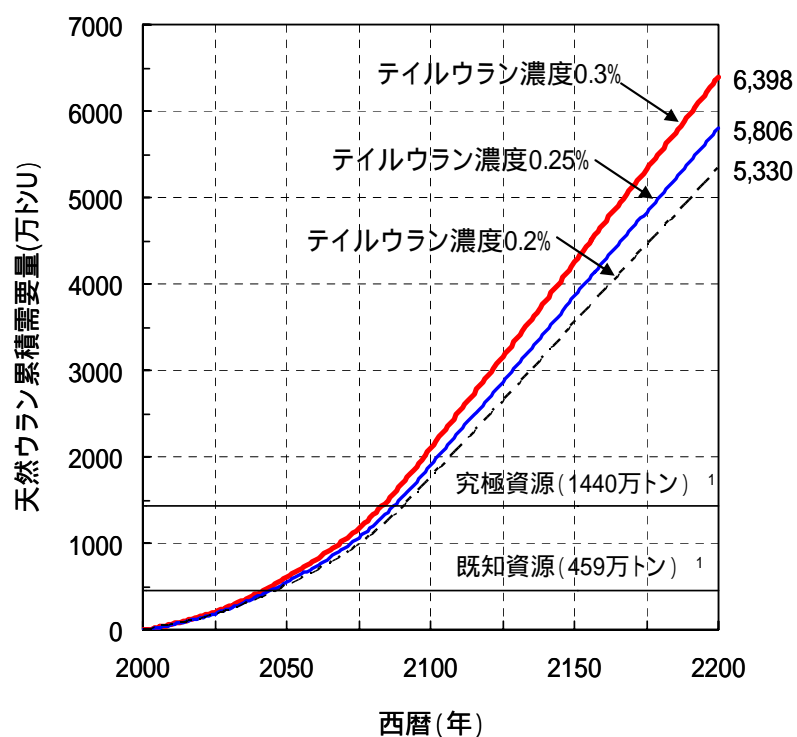


図 4.3.38 直接処分シナリオの天然ウラン累積需要量

1 : Uranium 2003 Resources Production and Demand
OECD/NEA/IAEA

表 4.3.3 直接処分シナリオの天然ウラン需要見通し

		テイルウラン濃度 (%)		
		0.3	0.25	0.2
既知資源到達年		2043	2045	2048
究極資源到達年		2084	2088	2092
天然ウラン 累積需要量 (万トン)	2050年	605	549	505
	2100年	2099	1905	1749
	2150年	4250	3857	3504

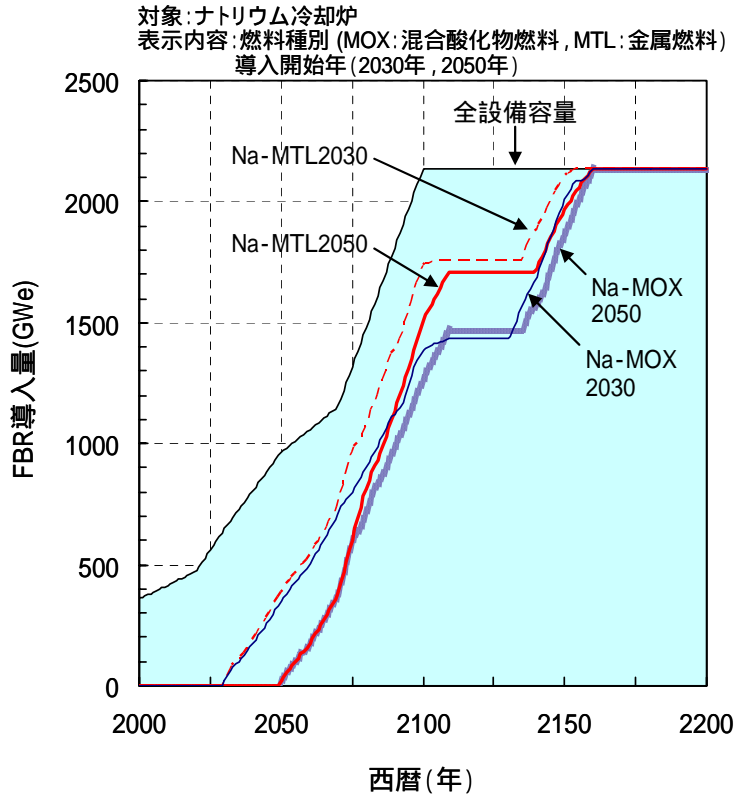


図 4.3.39 世界シナリオの代表的な FBR 導入量

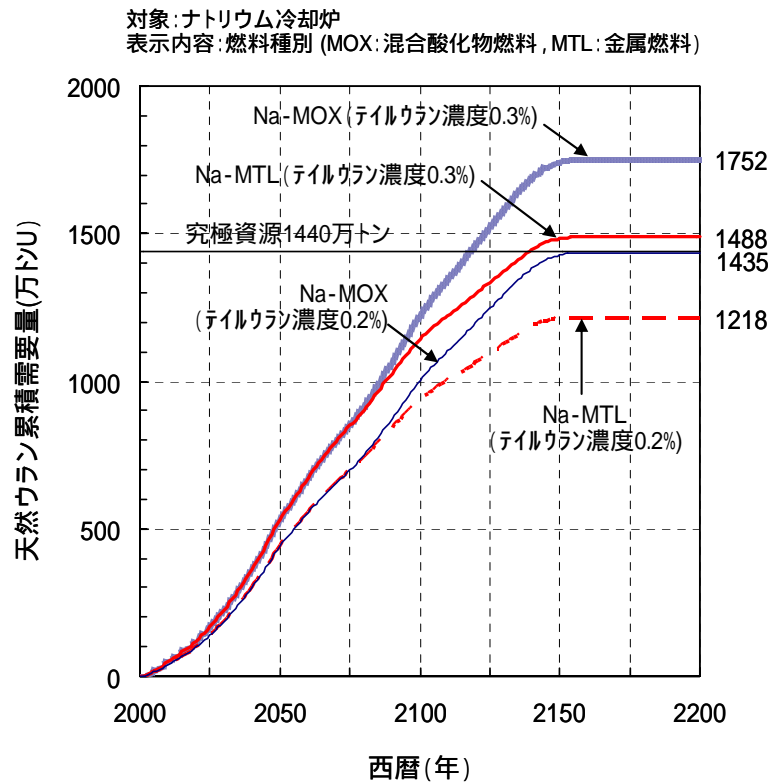


図 4.3.40 テイルウラン濃度の天然ウラン節約効果 (FBR 導入開始 2050 年)

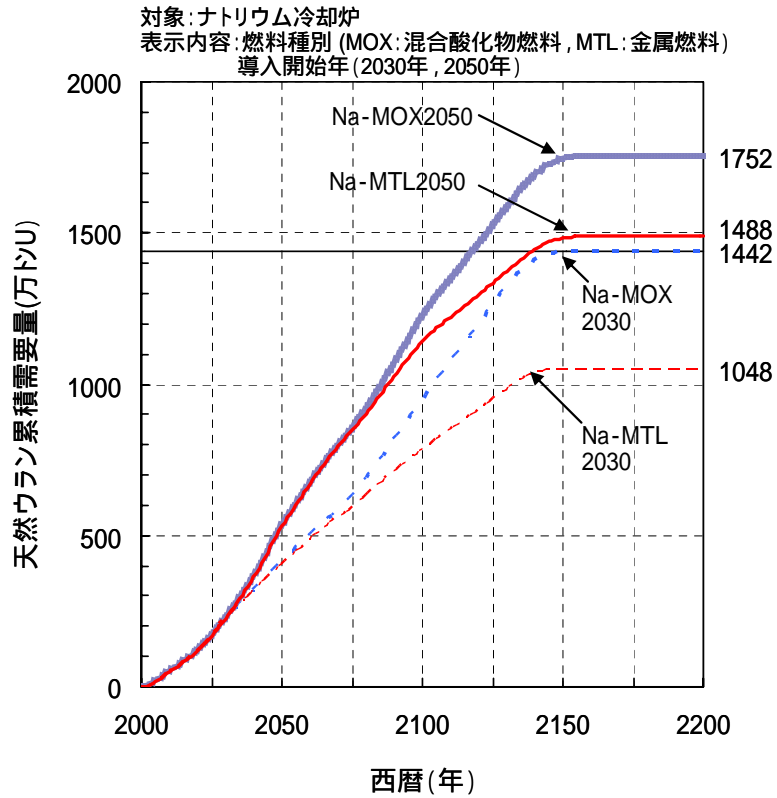


図 4.3.41 FBR 移行シナリオの天然ウラン累積需要量

表 4.3.4 FBR 移行シナリオの天然ウラン需要見通し

(単位:万トン)

		テイルウラン濃度 (%)	
		0.3	0.2
ナトリウム冷却 MOX燃料炉心 先進湿式 (グループ)	2030年導入	1442	(1150)
	2050年導入	1752	1435
ナトリウム冷却 金属燃料炉心 金属電解法 (グループ)	2030年導入	1048	(840)
	2050年導入	1488	1218

(備考) カッコ内は,テイルウラン濃度0.3%の天然ウラン累積需要量に基づく概算値

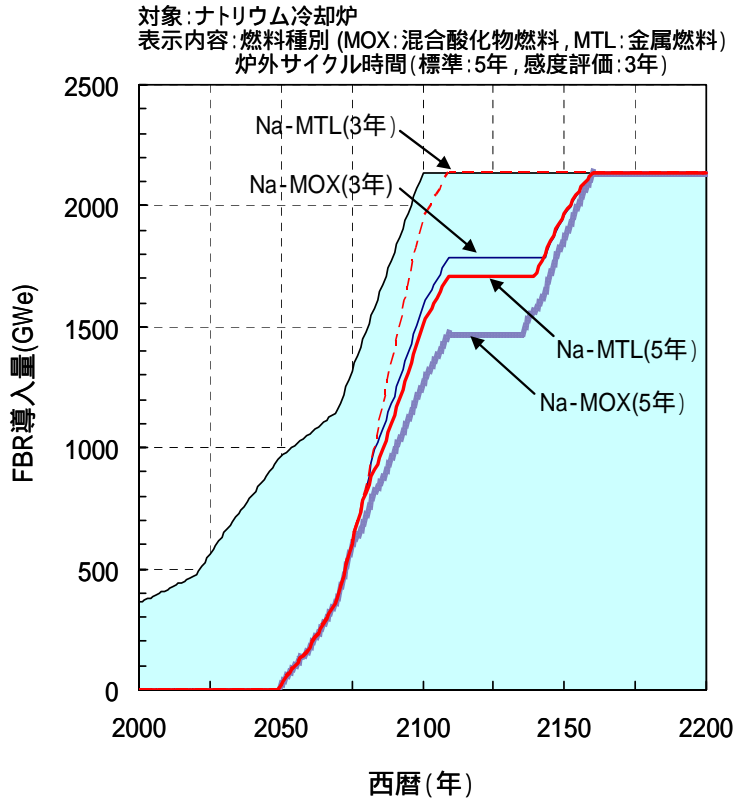


図 4.3.42 炉外サイクル時間短縮化のFBR 導入速度への影響
(FBR 導入開始 2050 年)

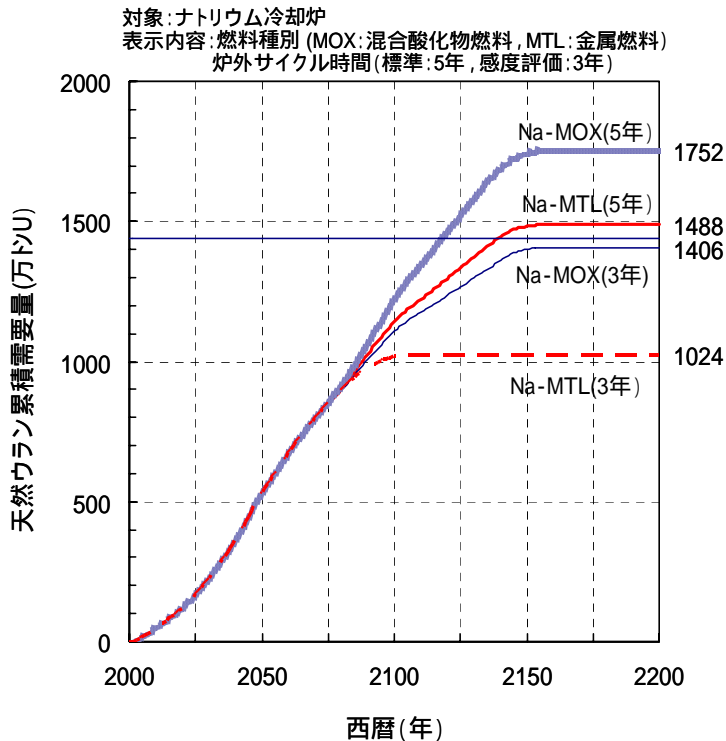


図 4.3.43 炉外サイクル時間短縮化による天然ウラン節約効果
(FBR 導入開始 2050 年)

4.4 シナリオ評価のまとめと今後の課題

4.4.1 シナリオ評価のまとめ

(1) 将来概念の FBR 移行特性

(i) 軽水炉との共存期間

2050 年導入の基本ケースでは、ナトリウム冷却炉は約 60～70 年とほぼ原子炉の寿命と同程度にとどまるが、それ以外の概念では 100 年～250 年程度を要すと見込まれる。

(ii) 天然ウラン需要量

同じく 2050 年導入の基本ケースを対象とした場合、プルトニウムインベントリと複利システム倍増時間が著しく大きいヘリウム冷却炉と水冷却炉以外は、在来型究極資源量の 5% (約 72 万トン) 前後に抑制可能である。

(iii) 環境負荷低減効果

ガラス固化体として処分されるマイナーアクチニド重量は、第 2 軽水炉再処理施設以降でマイナーアクチニドを回収し、これを FBR 炉心燃料としてリサイクルする場合、FBR 導入開始から約 150 年間で約 2～26 トン程度の増加にとどまる。一方、軽水炉ワンスルーおよび軽水炉プルサーマル継続における高レベル廃棄物 (使用済燃料またはガラス固化体) へのマイナーアクチニド移行量は、同じく 150 年間で約 400～485 トンの増加が予想される。

(iv) 代表概念について

5 グループに大別した将来概念のうち、FBR サイクルの多面的評価において最も高い目標達成度を示すと評価された「ナトリウム冷却炉+MOX 燃料+先進湿式再処理+簡素化ペレット燃料製造法」、それに次いでポテンシャルが高いとされた「ナトリウム冷却炉+金属燃料+金属電解再処理+射出鋳造」は、軽水炉共存期間、天然ウラン需要量および廃棄物削減の観点より、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの円滑な移行が期待される。

(2) 将来計画の不確実性に対する柔軟性について

(i) 原子力設備容量

有望概念に選定されたナトリウム冷却炉体系の FBR サイクル概念は、将来の国内原子力設備容量 (発電用と水素製造用を想定) が 21 世紀末に約 80～100GWe に増加する場合でも、第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理容量を 1,200 トンに拡大すれば適応できる。

(ii) 天然ウラン需要量

原子力設備容量の増加にともなう天然ウラン需要の伸びは、FBR サイクルの資源節約性能により充分抑制することが可能であるが、テイルウラン濃度の調整によって 2 割程度の天然ウラン節約が期待され、在来型究極資源の 5% (約 72 万トン) 程度に抑制できる可能性を示唆している。さらに、世界全体で原子力開発が急速に進み、それにより天然ウラン供給が逼迫した状況を想定しても、FBR の早期導入と適切なプルトニウム供給対策を講じることにより、天然ウラン累積需要量を在来型既知資源の 10% (約 46 万トン) 以下に抑制可能である。

(iii) 軽水炉再処理計画について

①マイナーアクチニド回収プロセス

マイナーアクチニド回収プロセスの導入については、最終処分される廃棄物中のマイナーアクチニドを大幅に減少できるため、環境負荷低減の観点から不可欠と考えられる。

②第 2 軽水炉再処理施設以降の年間処理量

年間処理量については、六ヶ所再処理工場と同様 800 トン HM を維持した場合、使用

済燃料の貯蔵規模と処理期間が長大化するため第3再処理施設の導入が不可欠と考えられる。年間処理量を1,200トンHMとした場合、第2再処理施設の10～20年程度の寿命延長およびFBR再処理施設での軽水炉使用済燃料の再処理を考慮すれば第3再処理施設の合理化が見込まれる。

③軽水炉MOX使用済燃料再処理

軽水炉MOX使用済燃料から回収されるTRU製品はFBR使用済燃料から回収したTRU製品との混合でリサイクル可能なことから、軽水炉MOX使用済燃料をFBR再処理施設で処理することを提案する。

(iv) その他

FBR炉心燃料へのマイナーアクチニド装荷濃度の上限は、第2再処理施設以降の年間処理量に応じて変わる。年間処理量800トンHMの場合には3%程度、年間処理量が1,200トンHMの場合には4～5%となる。

(3) 世界全体への適応性

IIASA/WECのC2ケースに基づく世界全体の原子力発電需要に対して、有望概念としてナトリウム冷却MOX燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心を想定した高増殖型炉心の適応性を評価した。世界全体の軽水炉と重水炉がFBRサイクルに移行し終えるまでの天然ウラン累積需要量を適応性の目安とした場合、2050年導入ケースではナトリウム冷却MOX燃料炉心とテイルウラン濃度0.2%の併用により、ナトリウム冷却金属燃料炉心についてはテイルウラン濃度0.25%で在来型究極資源1,440万トン以内に抑制可能である。また、2030年導入ケースでは、両概念ともテイルウラン濃度0.3%のままで天然ウラン累積需要量を在来型究極資源量内に抑制可能であった。よって、有望概念であるナトリウム冷却MOX燃料炉心とナトリウム冷却金属燃料炉心は、世界全体をスコープに入れたFBR移行シナリオにも適応可能なポテンシャルを持つことが判った。

4.4.2 今後の課題

(1) FBRサイクル概念について

シナリオ分析とサイクル諸量解析で採用した想定条件は将来に対する不確かさや制約を含んでいるが、FBRサイクル実用化戦略調査研究フェーズIIで抽出された有望概念は、その想定条件の範囲において妥当な移行特性をもつと評価される。今後は、軽水炉サイクルを含めた核燃料サイクル全体の運用計画を具体化することにより、軽水炉サイクルからFBRサイクルへの移行期におけるリサイクルシステムの在り方や詳細化をさらに進めたい。

(2) FBRサイクル導入開始時期に応じた移行シナリオの詳細化

軽水炉のリプレースが本格化する2030年～2050年はFBRサイクル導入開始の一つの目安となるが、2030年～2060年までの30年間は第一世代の軽水炉のリプレースが集中しているため、プルトニウム需給バランスの観点からFBRに置き換えられずに再び軽水炉としてリプレースされるものが生じる。このように軽水炉からFBRへの移行期前半にリプレースが集中するようなケースでも軽水炉共存期間を60年程度にとどめるには、軽水炉の計画廃止によるリプレースの分散化、さらにはFBR再処理施設を早期に立上げ、その余剰能力を軽水炉使用済燃料処理に充ててプルトニウム回収量の増加を図る方法が考えられる。今後は、FBRサイクルの導入開始時期に応じた詳細な移行シナリオを提案する必要がある。

参考文献

- [1] 塩谷, 他, “高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究フェーズⅡ中間報告ー総合評価技術検討書ー”, JNC TN9400 2004-052, 2004年9月 (2004).
- [2] 社団法人日本原子力産業会議, “原子力年鑑 2005”, 2004年10月, (2004).
- [3] 社団法人日本原子力産業会議, “原子力ポケットブック 2005年版”, 2004年7月15日, p.120-121, (2004).
- [4] “World Energy Outlook 2004”, International Energy Agency (2004).
- [5] “Nuclear Power Generation in the APEC Region”, Asia Pacific Energy Research Centre (2004).
- [6] 徐銖 (シュー・ミイ); “中国の高速炉サイクル開発の現状と展望”, 日本原子力産業会議主催国際ワークショップ「核燃料サイクル研究開発と高速増殖炉開発」2005年3月24日, (2005).
- [7] OECD・NEA/IAEA, “Uranium 2003:Resources, Production and Demand” (2004).
- [8] “2030年のエネルギー需給展望 (中間取りまとめ原案)”, 総合資源エネルギー調査会 需給部会, (2004.6)
- [9] 小野, 他 “FBR導入シナリオの検討”, JNC TN9400 2001-036, 2001年2月 (2001).
- [10] 中桐他 “高速炉を用いた熱・電気併用による水素製造技術”, 日本原子力学会和文論文誌 Vol.3, No.1, pp.88~94(2004)
- [11] 篠田, 他, “高速増殖炉サイクルの特性評価”, サイクル機構技報No.12, JNC TN1340 2001-008, 2001年9月, p.113-115, (2004).
- [12] “GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES”, IIASA/WEC (1998)
- [13] “Uranium in the New World Market Supply and Demand 1990-2010”, The Uranium Institute, p.86-87, (1991).
- [14] “The Economics of The Nuclear Fuel Cycle”, p.49, OECD/NEA (2004) .
- [15] 大滝, 他, “核燃料サイクルにおける物質収支解析手法の機能拡張”, JNC TN9410 2000-006, 2000年4月, p.50~71, (2000).
- [16] 原子力委員会, “原子力政策大綱”, 平成17年10月11日 (平成17年10月14日閣議決定)
- [17] Yoshikazu Koma, Kimihiko Yano, Akira Ohtaki, Koji Sato, A Forthcoming Reprocessing Plant for Processing Fast and Thermal Reactor Fuels, Proceedings of GLOBAL'05, Oct 9-13, 2005, Tsukuba, Japan (2005)
- [18] “Key Issue Paper-1”, International Symposium on Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategy: Adjusting to New Realities, IAEA, (1997)

5. FBR サイクルの投資対効果評価

FBRサイクルの実用化までには、多額の研究開発投資が必要と考えられることから、FBRサイクルの投資対効果を行い、実用化に向けた研究開発の妥当性を検討する必要がある。FBRサイクルの実用化に関する検討は、1999年から2000年にかけて行われたFBRサイクル実用化戦略調査研究フェーズに続き、2001年から5カ年計画で開始したフェーズを実施しており、フェーズの中間評価(2004年度)では、将来のFBRサイクルについていくつかの実用化候補概念を比較評価するため、一つの手段として投資対効果を実施してきた^{1)・4)}。フェーズの最終評価においては、有望と考えられる概念の明確化を実施するため、技術総括による総合的な評価結果の妥当性を確認するための参考データとして、多面的評価に加えFBR移行シナリオ評価と投資対効果評価による3つの評価から総合評価を実施した。

一方、将来のFBR研究開発については、原子力委員会主催の原子力長期計画策定のための会議(新計画策定会議)⁵⁾の中でも検討された。新計画策定会議は、次期原子力長期計画を策定するため、2004年6月から検討が始まり、検討の結果は2005年10月に「原子力政策大綱」⁶⁾として閣議決定された。FBR研究開発に関する審議の中で、投資対効果の評価結果もFBRサイクル研究開発の議論に資するべく参考資料⁷⁾として提示した。この時、世界規模でFBRを導入した場合の評価^{8)・9)}を実施しており、フェーズ最終評価においても世界導入ケースを視野に入れて評価した。

本章ではフェーズ最終評価における投資対効果の評価結果について述べる。フェーズの中間評価と異なる点は、代表的なFBRサイクル候補概念を対象に、軽水炉からFBRへの移行シナリオのみを想定し、投資効果の範囲と評価すべき内容を整理し、種々の解析前提条件を見直し、発電原価等新たな感度解析を行い、世界規模の導入効果を評価した等の点である。

5.1 投資対効果評価手法

5.1.1 投資対効果評価システムの概要

将来、FBRを実用化するにあたっては、実用化までの研究開発費用(投資)が必要である。ある時期からFBRの導入が開始されれば、事業による便益(効果)が得られる。この費用に対する便益を評価し、両者を比較して事業計画の妥当性を評価することが投資対効果の評価である。

将来FBRの導入によって電力を供給する場合、エネルギー需給シナリオにおいては軽水炉発電をFBR発電によって代替することを想定する。すなわち、図5.1.1に示すように、将来の電力需要に対して、FBRを導入しない場合の電源構成例Bに対し、FBRを導入した場合は電源構成例Aようになる。この図は、原子力によるエネルギー供給において、軽水炉発電に対し、FBRをある時期から徐々に導入し、やがて軽水炉がすべてFBRで置き換えられる場合を想定した模式図である。FBR導入効果とは、軽水炉発電がFBR発電に置き換わる部分の効果を評価するものである。このFBR導入効果を研究開発投資額と比較し、導入効果の妥当性を判断する。

当機構は、これまでFBR研究開発の投資対効果の評価するシステムを構築^{10)・12)}してきてお

り、FBRサイクル実用化戦略調査研究フェーズ の中間評価時にも、当システムの改善が図られ評価に供された。最終評価においては、世界規模でのFBR導入ケースの投資対効果を新たに評価するため、従来の各効果額の算出方法に一部改良を加えた。

当システムは、汎用表計算ソフト(Microsoft Excel)を利用してプログラミングされており、前述したような研究開発投資及び実用化により将来に渡って得られる効果額について、将来の価値を現在価値に換算して期待される各効果額が算出できるようなシステムとなっている。また、当システムは、別途当機構が開発した発電原価を解析するコード FCC-EX をプラグインできるため、発電原価等の算出結果の受け渡しが可能である。

5.1.2 研究開発投資額の算出

FBR 研究開発投資額については、FBR サイクル実用化までに必要な研究開発費及び実用化後の改良等の研究開発費が考えられるが、ここでの評価は現在から FBR サイクル実用化までに必要な研究開発費を積算したものを FBR 研究開発投資額とした。実用化の定義としては、実規模システム試験の運転を開始し、3年の運転を経験した時点とした。

日本国内で FBR を実用化するために投資される研究開発費用は、第3章の多面的評価の3.3.6 技術的実現性の評価結果のところ「開発資金」として算定しており、これを研究開発投資額とする。すなわち、1概念あたり約1兆円前後となる。

世界規模で FBR を実用化するために投資される研究開発費用は、最近の国際的な FBR サイクル開発プロジェクトの取り組みが実用化段階まで進むと考えれば、総額で数兆円と推測される。ただし、世界規模で FBR を実用化するために投資される研究開発費用は、今後の FBR に関する国際共同開発による費用分担の状況にも依存してくるものである。

5.1.3 導入効果の金銭価値換算

(1) 効果の経済的評価手法

投資対効果を定量的に示すためには、金銭的利益として示すことである。しかし、FBRの研究開発投資効果は、軽水炉に比べて発電コストを低減できるという発電コスト削減効果だけではなく、例えば、CO₂等の環境影響物質の排出を低減する効果や、ウラン燃料の輸入を削減する効果、生命へのリスクを低減するような効果等も考慮されるべきものであるから、こうした効果も何らかの方法で定量的に金銭価値換算することが必要となる。

さらに、異なる時点の金銭の価値を比較するには、将来得られる金銭の価値を現在価値に換算する必要がある。この現在価値換算のとき、「割引率」¹³⁾が用いられる。

投資対効果の評価においては、将来得られる効果のある一定の割引率をもって現在価値換算して、これらの効果額を累積した効果総額を算出する。

(2) 効果の評価にあたっての考え方

FBR研究開発投資効果の対象範囲についての理解のため、図 5.1.2 に整理した。世界のエネルギー需給シナリオとして、例えば世界エネルギー会議の環境主導シナリオ (IIASA/WEC C2 シナリオ)¹⁴⁾等で想定される原子力発電電力量の将来予測に基づいて、軽水炉発電が徐々

にFBR発電に代替される場合を想定する。このとき、FBR導入により代替される部分の効果は、FBRと軽水炉の発電原価との差が発電コスト削減効果として評価される。一方、想定される原子力発電電力量の総量の内、FBRによって代替されない部分（軽水炉発電として残る部分）は、FBR導入による天然ウラン価格上昇抑制効果が軽水炉発電原価を低減する効果として働くため、ウラン燃料価格の上昇を抑制する効果として評価される。このように、FBR導入により、軽水炉が代替される部分と代替されない部分のそれぞれに効果が得られることになる。これらの効果は、いずれも経済性に直接関係した効果といえる。

(3) 効果の範囲と内容

FBR サイクル実用化戦略調査研究フェーズ の中間評価時の投資対効果評価において想定した効果に対し、最終評価においては世界導入ケースも評価する上で、効果の範囲と内容を見直し、整理した。表 5.1.1 に中間評価と最終評価の効果の比較を示す。中間評価時のエネルギーセキュリティ向上効果は、エネルギーショックによる影響を回避できる効果であることから、エネルギーショックによる天然ウラン価格上昇率として評価することとなること、また資源枯渇抑制効果は、FBR 導入による天然ウラン価格の抑制となるため、軽水炉発電原価の抑制に効果があることから、中間評価時のこれら 2 つの効果をも、ウラン燃料価格上昇の抑制効果として整理することとした。

なお、投資効果としては、上記以外にも定量化や金銭価値換算が困難である効果もある。例えば、原子力関連技術の維持・向上や人材育成といった科学技術の発展に結びつく効果、FBR が建設される地域への産業に与える経済的な波及効果、マイナーアクチニドを燃焼させることによる廃棄物の放射性毒性を低減するという環境影響を低減する効果が考えられる。このような付加価値の効果についても、間接的な効果をもたらすものであるが、評価に必要なデータの計測が困難であること、金銭価値換算が困難である等のため、これらの効果の評価は実施していない。

最終評価における効果の範囲と内容を整理すれば、表 5.1.2 のようになる。大きく 2 つの効果に分類でき、それぞれ経済性向上効果と外部経済性向上効果と呼ぶこととする。すなわち、経済性向上効果としては、FBR を導入するにあたって経済性に直接関わる効果を評価するものであり、発電コスト削減効果、ウラン燃料価格上昇抑制効果である。外部経済性向上効果としては、FBR を導入するにあたって間接的に関わる効果を金銭価値換算により評価するものであり、ウラン燃料輸入削減効果、環境影響低減効果、生命リスク低減効果である。

(4) 効果の算定

発電コスト削減効果

軽水炉ワンスルー時の発電原価(FBR を導入しないときの軽水炉発電原価)と、FBR の発電原価との差による効果を評価する。発電原価は、ウラン燃料価格上昇を考慮する。

$$\left(\begin{array}{c} \text{ウラン燃料価格上昇を考慮} \\ \text{した軽水炉発電原価} \end{array} - \text{FBR発電原価} \right) \times \text{FBRによる発電量}$$

ウラン燃料価格上昇の抑制効果

将来、天然ウランの消費により天然ウラン価格を含めたウラン燃料価格が上昇していくとすれば、軽水炉の発電原価の上昇となる。しかし、軽水炉発電のみのシナリオと、FBRを導入することによって軽水炉発電の一部を代替するシナリオとでは、後者はFBR導入による天然ウランの消費節約分がウラン燃料価格の上昇を抑制するため、軽水炉の発電原価上昇も抑制される。軽水炉発電量の一部をFBRが代替するのであれば、ウラン燃料価格上昇の抑制効果は代替されない軽水炉発電の部分に対しても働く。この代替されない軽水炉発電分の発電原価抑制の効果を評価する。

さらに、エネルギーショックが発生してウラン価格が上昇した場合、FBRの導入によりウラン燃料輸入量を削減した結果、エネルギーショックによる影響を軽減できる効果も考えられる。このため、ウラン燃料価格の上昇分には、エネルギーショックによるウラン燃料価格の上昇分も含めることとする。

$$\left(\begin{array}{c} \text{FBRを導入しない場合} \\ \text{の軽水炉発電原価} \end{array} - \begin{array}{c} \text{FBRを導入した場合の} \\ \text{軽水炉発電原価} \end{array} \right) \times \begin{array}{c} \text{FBRに代替されない} \\ \text{軽水炉の発電電力量} \end{array}$$

ウラン燃料輸入削減効果

FBR導入に伴い、天然ウランの輸入に依存しない発電が行われることにより、国民経済的な観点から、輸入が減少する分、国内総生産(GDP)を引き上げる効果があると考え、これをウラン燃料輸入削減効果として評価する。これは、代替された軽水炉発電分の天然ウランの輸入削減により、GDP(消費+投資+政府支出+輸出-輸入)の輸入削減分の効果を示すもので、自国内での天然ウラン消費が抑制されることにより生まれる効果である。世界を対象とした評価では、世界全体におけるウラン輸入量の削減による効果は想定し難いため、本効果を想定しない。

$$\left(\begin{array}{c} \text{FBRを導入しない場合} \\ \text{の天然ウラン輸入量} \end{array} - \begin{array}{c} \text{FBRを導入した場合の} \\ \text{天然ウラン輸入量} \end{array} \right) \times \begin{array}{c} \text{FBR導入時の天然ウラン価格} \end{array}$$

環境影響低減効果

環境に影響を与える物質として、CO₂、SO_x、NO_xを対象とし、それらの削減による健康・温暖化被害の低減効果を想定する。この効果は、軽水炉発電とFBRからの発生量の差に削減価値を乗じて求められる。これらの削減価値は、税あるいは排出権取引額等を参考として設定する。すなわち、次のように表される。

$$\left(\begin{array}{c} \text{軽水炉の環境影響} \\ \text{物質発生量} \end{array} - \begin{array}{c} \text{FBRの環境影響} \\ \text{物質発生量} \end{array} \right) \times \begin{array}{c} \text{環境影響物質} \\ \text{削減価値} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{FBRによる発電量} \end{array}$$

生命リスクの低減効果

安全面に関しては、生命リスクを低減する効果を想定する。この効果は、軽水炉とFBRによる職業人及び公衆の死亡リスクの差に(そのリスクを低減するために支払う金額に関するアンケート結果や生命保険等を参考にした統計的生命の価値を乗じて求める生命リスク低減量である。

$$\left(\begin{array}{c} \text{軽水炉による} \\ \text{死亡リスク} \end{array} - \begin{array}{c} \text{FBRによる} \\ \text{死亡リスク} \end{array} \right) \times \begin{array}{c} \text{統計的生命価値} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{FBRによる発電量} \end{array}$$

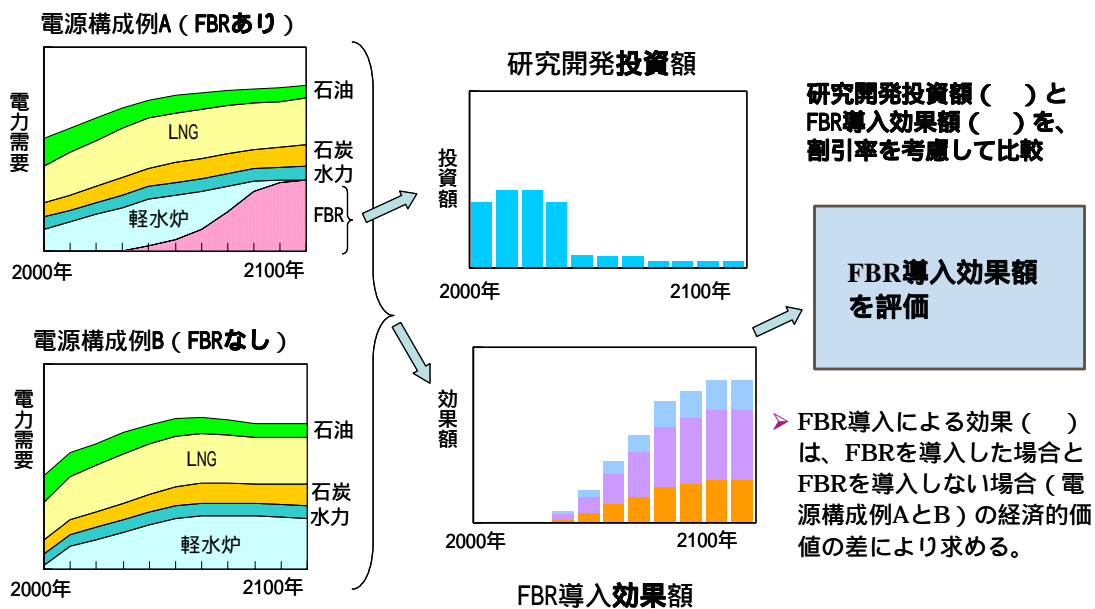


図 5.1.1 FBR 研究開発投資効果の評価概念図

世界を対象とした場合の「経済性向上効果」の考え方

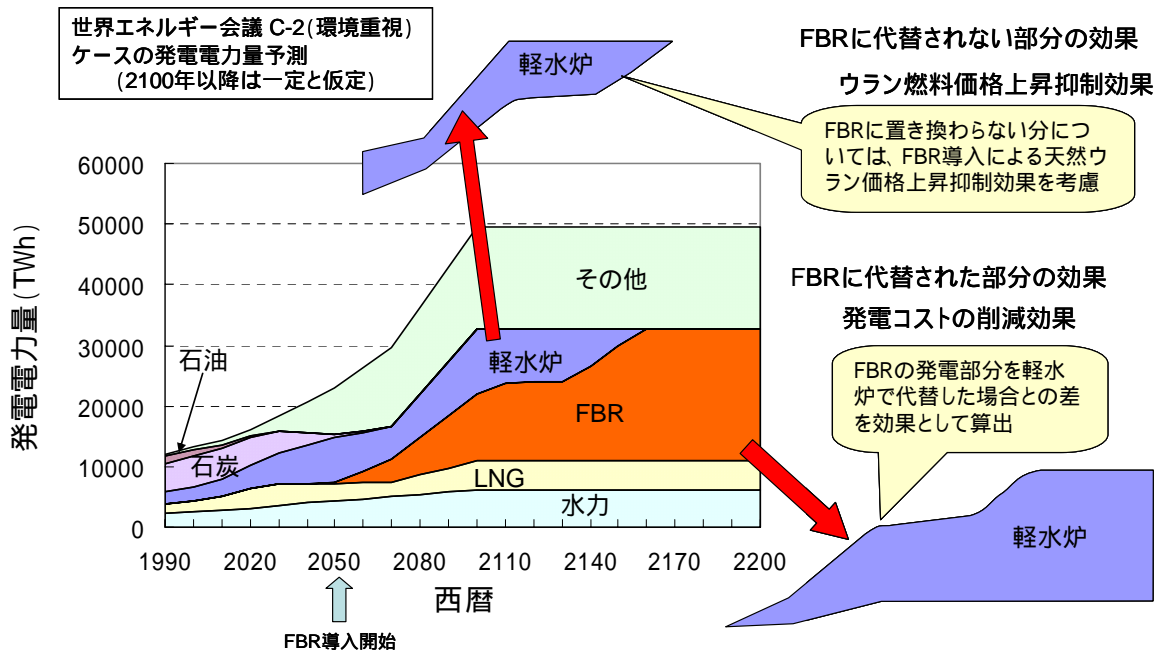


図 5.1.2 FBR 研究開発による効果の対象範囲

表 5.1.1 FS 中間評価と最終評価との効果の比較

中間評価時に想定した効果	最終評価で想定する効果
発電コスト削減効果	発電コスト削減効果
エネルギーセキュリティ向上効果	ウラン燃料価格上昇の抑制効果
資源枯渇抑制効果	
燃料輸入削減効果	ウラン燃料輸入削減効果
環境影響低減効果	環境影響低減効果
生命リスクの低減効果	生命リスクの低減効果

表 5.1.2 最終評価における効果の範囲と内容

効果項目	効果の内容
<p>経済性 向上効果</p>	<p>発電コストの削減効果（軽水炉からFBRへの代替分） ウラン燃料価格上昇*を考慮した軽水炉とFBRの発電原価の差 (燃料価格上昇を考慮した軽水炉発電原価 - FBR発電原価) × FBRの発電電力量</p> <p>ウラン燃料価格上昇の抑制効果（FBRに代替されていない軽水炉分） 天然ウラン需要削減に伴いウラン燃料価格上昇が抑制されることによる軽水炉の発電原価上昇抑制 (FBRを導入しない場合の軽水炉発電原価 - FBRを導入した場合の軽水炉発電原価) × FBRにリプレースされない軽水炉の発電電力量</p>
<p>外部経済性 向上効果</p>	<p>ウラン燃料輸入削減効果（日本の評価ケースのみ考慮） リプレースされた軽水炉のウラン燃料輸入削減による国内総生産GDPの増加</p> <p>環境影響低減効果（軽水炉とFBRのCO₂、SO_x、NO_xの発生量は同等と想定） 軽水炉とFBRのCO₂、SO_x、NO_xの発生量の差に削減価値を乗じて求める環境影響低減量</p> <p>人命損失のリスクの低減効果（軽水炉とFBRのリスクは同等と想定） 軽水炉とFBRのリスクの差に統計的生命の価値を乗じて求める生命リスク低減量</p>

* エネルギー危機によるウラン燃料価格上昇分を含む。

** 「外部経済性向上効果」については、

・日本導入ケースのみ「ウラン燃料輸入削減効果」を考慮する

・世界導入ケースでは、「外部経済性向上効果」はすべて考慮しない。

5.2 評価対象とした FBR サイクル概念

FBR サイクル実用化戦略調査研究フェーズ の中間評価(平成 16 年度)では、解析ケースの設定にあたっては、候補概念 22 ケースに対して、それぞれの候補概念単一ケースの導入シナリオを想定し、横並びの比較評価として実施した。最終評価においては、技術総括による総合的な評価結果の妥当性を確認するため、代表的な概念を中心に評価した。このため、FBR 移行シナリオ評価と整合させ、資源重視型炉心プラントの導入後、経済性重視型炉心プラントの導入を想定したシナリオに基づき評価する。よって解析ケースとしては、基本的に 4 章の FBR 移行シナリオの評価で実施した解析ケースと整合しており、4 章では移行シナリオの観点から、本章では投資対効果の観点から評価を行った。よって、中間評価時とは、基本的に評価ケースの選定および移行シナリオの想定で異なることに注意を要する。

表 5.2.1 に解析ケースを示す。候補概念の評価ケースは、日本国内での FBR 導入ケース(日本導入ケース)を検討したものであるが、世界規模で FBR を導入するケース(世界導入ケース)についても検討した。日本導入ケースは、候補概念とされるナトリウム冷却大型炉 - MOX 燃料、ナトリウム冷却大型炉 - 金属燃料、鉛 - ビスマス冷却中型炉、ヘリウムガス冷却大型炉 - 窒化物被覆粒子燃料、水冷却大型炉の 5 つのケースを評価した。世界導入ケースでは、高増殖型炉心プラントのケースを想定し、ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型 MOX 炉心、ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型金属炉心の 2 つのケースを評価した。

評価においては、前提条件の不確定要素もあることから、リファレンスケースに加え、感度解析も行った。感度解析も含めた解析ケースの具体的な前提条件は 5.3 節で詳述するとして、本節では解析をする上で主要なパラメータを以下のように考えた。

FBR 導入量

日本導入ケース、世界導入ケースとも、4 章の FBR 移行シナリオで想定した発電設備容量をリファレンスケースとした。また、日本導入ケースにおいて、COP3 の CO₂ 制約を継続した場合に想定される原子力発電設備容量を感度解析ケースとした。

FBR 導入時期

「原子力政策大綱」⁶⁾によれば、FBRは「2050 年頃から商用ベースでの導入を目指す」とされており、本評価でも商用ベースでの本格導入時期 2050 年をリファレンスとし、2030 年の早期導入のケースを感度解析ケースとした。

FBR 発電原価

実用化戦略調査研究の設計に基づく発電原価のケースと比較するため、これより高い発電原価となるケースを実施し、投資効果の下限としての幅を把握することとした。実用化戦略調査研究で実施してきた発電原価評価に基づき算定される FBR の発電原価を用いたケース(ケース 1) をリファレンスとし、FBR 導入時点の FBR 発電原価を軽水炉と同等という仮定をおいたケース(ケース 2)、およびケース 1 の発電原価の算定過程において炉の建設費を 50%増しにしたケース(ケース 3)を感度解析ケースとして、この 3 つのケースを比較した。ケース 1 は、FBR の発電原価は軽水炉よりも安くできるという設計研究をいかしたケース(軽水炉より安い)であり、

ケース 2 は、FBR 導入時点では発電原価に差はなく同程度であろうと想定するケース(軽水炉と同等)であり、ケース 3 は、炉建設費の不確かさを考慮して設計ベースの 5 割り増し(軽水炉より高い)の発電原価を想定したものである。

ケース 1：実用化戦略調査研究での設計に基づく FBR の発電原価を想定した場合

ケース 2：FBR の導入時点（2050 年）の軽水炉と同等の発電原価を想定した場合

ケース 3：ケース 1 の試算において、FBR の建設費を 50% 増とした発電原価を想定した場合

割引率

割引率は、超長期の現在価値換算においては、便益に大きな影響を及ぼすと考えられるパラメータであり、本来、景気の状態に関連して変わりうるものであるため、割引率の設定には十分注意が必要である。本評価では、現在の景気の状態や他の検討例を参考に割引率を定めたが、その前後の値も感度解析として実施した。

ウラン価格上昇

原子力発電によるウラン燃料の消費により、天然ウラン価格の上昇を考慮した。このとき、エネルギー危機によるウラン燃料価格上昇分も考慮した。感度解析ケースとして、本解析期間として設定している 2200 年まで天然ウラン価格の上昇がないとしたケースを実施した。

再処理規模

2050 年以降、第 2 軽水炉再処理において、その処理量をリファレンスの年間 1200t から年間 800t へ縮小したケースを想定し、感度解析ケースとして実施した。

以上の各パラメータの考え方から、解析ケースは表 5.2.2、表 5.2.3 のようになる。日本導入ケースは 41 ケース、世界導入ケースは 14 ケースである。

表 5.2.1 投資対効果の解析ケース

日本導入 ケース	Na 冷却大型炉	Na 冷却大型炉	Pb - Bi 中型炉	He 冷却大型炉	水冷却大型炉
	<ul style="list-style-type: none"> MOX 燃料 先進湿式 簡素化ペレット 	<ul style="list-style-type: none"> 金属燃料 金属電解 射出鑄造 	<ul style="list-style-type: none"> 窒化物燃料 先進湿式 簡素化ペレット 	<ul style="list-style-type: none"> 窒化物被覆粒子燃料 先進湿式 被覆法 	<ul style="list-style-type: none"> MOX 燃料 先進湿式 簡素化ペレット
世界導入 ケース	Na 冷却大型炉	Na 冷却大型炉			
	<ul style="list-style-type: none"> 高増殖型 MOX 炉心 (増殖比 1.2) 	<ul style="list-style-type: none"> 高増殖型金属炉心 (増殖比 1.26) 			

表 5.2.2 投資対効果の日本導入解析ケース

No.	解析ケース	ケース名	導入量		導入時期		割引率			発電原価			燃料価格上昇		再処理規模	
			58GWe	80GWe	2050年	2030年	2%	0%	1%	3%	FS設計値	LWRと同等	建設費50%増し	400%増(13.3%/年)	上昇なし(0%)	1200t/y
Na冷却大型炉 ・MOX燃料 ・先進湿式再処理 ・簡素化ペレット燃料製造	-リファレンス															
	-導入量80GWe															
	-導入開始2030年															
	-割引率															
	-LWRと同等															
	-LWRと同等/割引率															
	-建設費50%増															
	-ウラン価格上昇なし															
Na冷却大型炉 ・金属燃料 ・金属電解再処理 ・射出鋳造燃料製造	-1リファレンス															
	-割引率															
	-LWRと同等															
	-導入開始2030年															
Pb-Bi中型炉 ・窒化物燃料 ・先進湿式再処理 ・簡素化ペレット燃料製造	-1リファレンス															
	-割引率															
	-LWRと同等															
	-導入開始2030年															
He冷却大型炉 ・窒化物被覆粒子燃料 ・先進湿式再処理 ・被覆法燃料製造	-1リファレンス															
	-割引率															
	-LWRと同等															
	-導入開始2030年															
水冷却大型炉 ・MOX燃料 ・先進湿式再処理 ・簡素化ペレット燃料製造	-1リファレンス															
	-割引率															
	-LWRと同等															
	-導入開始2030年															
-第2L再800t/y																

各感度解析パラメータ以外はリファレンス条件とする。

感度解析ケース

導入量は、COP3のCO2制約を継続した場合の原子力発電設備容量(80GWe)を想定する。

導入時期は、2030年の早期導入の効果を想定。

割引率は、将来の不確定要素としての幅を示す位置づけ。割引なし(0%)も想定。

発電コストは、下限値としてLWR同等ケース、上限値として炉建設費50%増しを想定。

燃料価格上昇は、価格上昇のない理想的なケース(0%)を想定する。

再処理規模は、第2軽水炉再処理施設の年間処理量を1200t/yから800t/yに減少させた場合も想定。

表 5.2.3 投資対効果の世界導入解析ケース

No.	解析ケース	ケース名	導入量	導入時期		割引率			発電原価		
			16,830TWh(IIASA/WECC2)	2050年	2030年	2%	0%, 1%, 3%	FS設計値	LWRと同等	建設費50%増し	
- 世界 (高増殖)	Na冷却大型炉 (増殖比1.2) ・高増殖型MOX炉心 ・先進湿式再処理 ・簡素化ペレット燃料製造	-リファレンス									
		-導入開始2030年									
		-割引率									
		-LWRと同等									
		-建設費50%増									
- 世界 (高増殖)	Na冷却大型炉 (増殖比1.26) ・高増殖型金属炉心 ・金属電解再処理 ・射出鑄造燃料製造	-リファレンス									
		-導入開始2030年									
		-割引率									
		-LWRと同等									
		-建設費50%増									

各感度解析パラメータ以外はリファレンス条件とする。

5.3 投資対効果評価の前提条件

本節では、5.2 節で示したFBRサイクル候補概念の評価にあたり設定した解析の前提条件を説明する。表 5.3.1に主な前提条件を示す。

(1) 解析期間の設定

解析期間については、本来は FBR 導入のための投資に対し、効果が得られる全期間について解析を行うべきであるが、非常に遠い将来の状況を考慮した超長期にわたる解析を行うことは、データの信頼性やシステム制約の面から見て現実的でないため、本評価においては、評価の時点である 2005 年を解析開始年とし、FBR の移行シナリオ検討において標準的な解析期間としている 2200 年までを対象とした。2200 年までには、ほとんどの FBR サイクル候補概念について軽水炉から完全に置き換わることとなる。

(2) 割引率の設定

長期にわたる投資に対する効果を評価する上で、社会的な効果（あるいは便益）の現在価値の大きさは、割引率に大きく依存する。意図的に低い割引率が用いられた場合、効果の現在価値を過大に評価することになり、逆に高すぎる割引率を用いた場合、その効果の現在価値を過小評価することになる。

今回の評価においては、近年の日本経済の低成長・低インフレが今後も継続すると予測した 2%を基準とした。割引率 2%は、原子力委員会技術検討小委員会の報告書¹⁶⁾において、核燃料サイクルのコストを算定する上でもリファレンスとされている数値であり、本評価においても、同じ値をリファレンスとした。ただし先に述べたように、超長期の評価において割引率は結果に大きく影響を与えることから、その前後の 1%、3%、及び割引率 0%のケースについても感度解析を行った。

(3) FBR 導入開始年及び導入量の設定

4 章のFBR移行シナリオ評価に基づき、FBRの導入を 2050 年から開始すると想定した。原子力委員会による「新計画策定会議」で検討された導入シナリオにおいても同解析条件が用いられており¹⁷⁾、「原子力政策大綱」⁶⁾においてもFBRは「2050 年頃から商用ベースでの導入を目指す」とされている。また、感度解析として 2030 年に導入される場合についても評価した。

導入量の設定についても同様に、FBR 移行シナリオ評価結果に基づいた。詳細については 4.3 節を参照されたい。以下に 日本国内における FBR 導入量、 世界における FBR 導入量についての概要を述べる。

日本における FBR 導入量

日本における導入量（発電設備容量）は、新計画策定会議での設定に基づいて 2100 年頃までは約 58GWe まで伸び、その後は一定量で推移するとした（4.3 節参照）。これは、近年の長期的な低成長を反映して、将来の電力需要がそれほど増加しない状況といえる。

また、比較ケースとして、FSフェーズ 最終評価において有望概念であると考えられる「ナトリウム冷却大型炉 (MOX)、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造」(ケース)については、2010年以降の電気事業者のCO₂排出量を1990年水準で維持するために必要な原子力発電設備容量が2100年時点で約80GWeであると想定したシナリオ(以下CO₂制約シナリオとする)についても評価した。図5.3.1に2050年導入の場合の各解析リファレンスケースのFBR導入量(TWh)の推移を、図5.3.2に「Na冷却大型炉(MOX)、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造」(ケース)を例として、2050年導入、2030年導入、及びCO₂制約シナリオのFBR導入量の推移を示す。なお、図はそれぞれの原子力発電の最大設備容量を基に算出したFBR導入量(GWe)の推移を発電電力量(TWh)に換算して示してある。

世界における FBR 導入量

世界におけるFBR導入量は、1998年の世界エネルギー会議(IIASA/WEC)の原子力発電電力量予測¹⁴⁾における環境主導C2シナリオ(以下「IIASA/WEC-C2シナリオ」と記述する)に基づき、FBR移行シナリオ評価で求めたFBRの導入量(発電設備容量)をリファレンスケースとした(4章参照)。FBRの本格導入開始年を2050年と想定した場合、FBRの発電電力量は、最大16,830TWhとなり、稼働率を2019年までは80%、2020年以降は90%と想定すると発電設備容量は約2135GWeとなる。これは2000年時点の発電設備容量約336GWeの約6.4倍の容量である。図5.3.3に解析に用いたIIASA/WECC-C2シナリオにおける原子力発電電力量を、図5.3.4に世界のFBR導入量を示す。

(4) FBR 研究開発費の設定

各評価対象概念のFBR研究開発費は、原子炉プラント、再処理施設、燃料製造施設の実用化までの研究開発に係わる費用の合計額とし、約1兆円程度と試算されている(5.1.2節参照のこと)。

(5) 代替電源導入割合の設定

代替電源は、FBR発電が軽水炉発電のリプレースとして導入され、軽水炉発電のうち100%がFBR発電に置き換わることを想定した。

(6) 将来天然ウラン価格の設定

OECD/NEA,IAEAによる「Uranium2003」にて報告されている天然ウランの資源量と生産コストの関係(表5.3.2)¹⁵⁾から、資源量に対する生産コストの関係を線形近似式(図5.3.5)で求め、別途諸量計算コード「FAMILY-EX」を用いてFBR移行シナリオの解析で求めた天然ウラン需要量をその近似式に当てはめることで、そのシナリオのウラン需要量に連動した天然ウラン価格を求めた。なお、FBR移行シナリオの天然ウラン需要量が在来型資源量を超えた場

IIASA/WEC-C2シナリオでは、2100年までの世界エネルギー需給シナリオが示されている。本評価においては、2100年以降のエネルギー需給は一定と仮定した。

合は、Generation-IVにおける検討を参考に海水ウランの収集に必要なコスト（200\$/kgU）を定め、これを用いることとした。

例として、軽水炉ワンススルーシナリオの天然ウラン価格の推移を図 5.3.6 に示す。

(7) 発電原価の設定

将来軽水炉発電原価

発電原価解析ツール「FCC-EX」を用い、日本、及び世界の将来軽水炉の発電原価の算定を行った。将来軽水冷却炉の燃焼度については、将来高燃焼度化が計られるとして、燃焼度 60,000MWd/t,APWRを想定した¹⁸⁾。表 5.3.3 に日本、及び世界の将来発電原価をまとめる。

日本の将来（FBR本格導入時期である 2050 年を想定）軽水炉発電原価の算定に当たり必要な前提条件、及び燃料サイクル単価等については、コスト等検討小委員会により報告された「バックエンド事業全般にわたるコスト構造、原子力発電全体の収益性等の分析・評価」¹⁹⁾における諸条件、及び燃料サイクル単価を参考にした。解析により、割引率 2%における日本の将来（2050 年）軽水炉発電原価は 3.6 円/kWhと算定した。

2050 年以降、2200 年までの日本国内の将来軽水炉発電原価については、5.3 節（6）で想定した「天然ウラン価格」に従い、天然ウラン価格が上昇した場合の軽水炉発電原価を時系列で求めた。日本の将来軽水炉の発電原価の推移を、ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケース を例として図 5.3.7 に示す。

世界の軽水炉発電原価については、現在や数年後の予測値はあるものの、2050 年という将来の発電原価を予測した例はないため、現在の日本と世界の発電原価や、日本の現在と将来の発電原価の比を用いて推定した。詳細を以下に記す。

世界の将来軽水炉発電原価の算定に当たっては、「日本における現在と将来の発電原価の増減率は、世界においても同じ比率である」と仮定し、日本の現在の軽水炉発電原価と将来の軽水炉発電原価の増減比率を、世界の現在の平均軽水炉発電原価に適用し、世界の将来の軽水炉発電原価を算出した。世界の将来軽水炉発電原価を推計する手順を図 5.3.8 に示す。世界の原子力発電原価は、「OECD/NEA Projected Costs of Generating Electricity 2005 Update」²⁰⁾において報告された世界原子力発電原価（表 5.3.2）をベースとした。これは、2005～2010 年までに商業利用が可能になるとみられる発電所までが想定の対象となっている。現在の世界の軽水炉発電原価としては、この推計値を用いた（図 5.3.8,a）。

さらに、表 5.3.2 中の原子力発電原価を算定してある国すべてを対象とした 12 カ国の各国の発電電力量に 対する加重平均をとり、全世界の現在の平均発電原価を算出した（図 5.3.8,b）。表中の割合は、OECD/NEA にて評価されている 12 カ国の原子力総発電電力量に占める、その国の原子力発電電力量の割合である。

次に、2050 年（FBR 導入想定時期）の将来の軽水炉発電原価を想定するために、日本の現在の発電原価と 2050 年の予測値との増減比率を求めた。この比率は、内訳構成（資本費、運転費、燃料費）ごとに算出した（図 5.3.8,c）。なお、日本の現在の発電原価としては「OECD/NEA Projected Costs of Generating Electricity 2005 Update」にて予測されている日本の 2010 年予測値、将来発電原価については表 5.3.2 の世界の発電原価が割引率 5%にて求められた値であるため、割引率 5%で算出した値を用いた。

ここで得られた日本の増減比率 c.を、全世界の平均発電原価 b.に適用し(資本費、運転費、燃料費ごとに算出)、世界の将来(2050年)軽水炉平均発電原価を算出した(図 5.3.8,d)。

最後に、5.3節(6)で設定した天然ウラン価格を基に、将来、天然ウラン価格が上昇した場合の日本の軽水炉発電原価を時系列(2050年~2200年)で求め、さらに軽水炉発電原価に占める天然ウラン費の割合と時系列の上昇割合を求め、これを d.で求めた世界の将来軽水炉発電原価に適用し、2050年~2200年までの世界の将来軽水炉発電原価を算出した(図 5.3.8,e)。

日本、及び世界の将来軽水炉発電原価の2050~2200年までの推移を、ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケース を例として図 5.3.9 に示す。

日本だけに FBR を導入した場合、FBR 導入時、非導入時の発電原価の大きな差はみられない。これは、世界全体の天然ウラン需要に対して FBR 導入による天然ウラン資源の節約効果が小さく、天然ウラン価格に顕著な相違を与えないためである。一方で、世界に FBR を導入した場合には、世界全体の天然ウラン需要への天然ウラン資源の節約効果は大きく、FBR 非導入の場合には 2084 年に最高値に達するのに対し、FBR を導入した場合には 2118 年まで価格を抑えることが可能となることがわかる。

FBR 発電原価

日本の FBR 発電原価については、FS フェーズ 最終評価における発電原価評価において算出した値を 2050 年 FBR 発電原価とした(詳細は 3.3.2 節を参照のこと)。

感度解析ケースとしては、2050 年時点での将来軽水炉発電原価(割引率 2%)と同等の FBR 発電原価の場合について評価した。また、原子炉プラントの建設費が 50%高くなった発電原価の場合についても評価した。

日本の各解析ケースの FBR 発電原価(2050年)を図 5.3.10 に、FBR 発電原価の推移を図 5.3.11、図 5.3.12 に示す。軽水炉の発電原価については、前出したように時間の経過と共に天然ウランの需要増大、価格上昇に併せて燃料費が増大すると考えられ、天然ウラン価格が海水ウラン価格に達する 2080 年以降、最高値で一定となると想定した。一方、水冷却炉を除く FBR の発電原価については、FBR 導入初期の増殖性を重視した資源型炉心導入から、徐々にプルトニウム生産量を抑え、経済性を向上させるために経済型炉心の FBR 導入に移行していくとし、経済型炉心の導入と共に発電原価が低くなると想定した。また、水冷却炉については、資源型、経済型炉心の概念がなく、全て同一炉心としているために発電原価は一定とした。

世界の FBR 発電原価算定にあたっては、評価ケースである「ナトリウム冷却大型炉(MOX)、先進湿式再処理、簡素化ペレット燃料製造」(ケース ・世界)、及び「ナトリウム冷却大型炉(金属)、金属電解再処理、射出鑄造燃料製造」(ケース ・世界)の 2 ケースについて、「日本と世界における現在の軽水炉発電原価の比率は、将来の日本と世界の FBR 発電原価においても同じ」と仮定し、この比率を日本の将来の FBR 発電原価に適用し、世界の将来の FBR 発電原価を算出した。

また、感度解析ケースとして、2050 年時点での将来軽水炉発電原価(割引率 2%)と同等の FBR 発電原価の場合、原子炉プラントの建設費が 50%高くなった場合についても評価するため、これらのケースの発電原価も算定した。

世界の FBR 発電原価を推計する手順を図 5.3.13 に示す。

で求めた世界の将来軽水炉発電原価と、日本の将来の軽水炉発電原価との比率を求めた(図

5.3.13,a) この比率は、内訳構成(資本費、運転費、燃料費)ごとに算出した(表 5.3.4)。

次に、日本の FBR 発電原価の予測値の内訳構成(資本費、運転費、燃料費)に、a.で得られた比率を適用し、世界の将来の FBR 発電原価を算出した(図 5.3.13,b)。なお、世界の将来の FBR 発電原価は、FBR 資源重視型炉心と FBR 経済性重視型炉心の 2 つについてそれぞれ推計した。

以上の発電原価の推計方法により算定した各ケースの発電原価を図 5.3.14 に、FBR 発電原価の推移を図 5.3.15 に示す。

(8) エネルギーショック発生確率

本評価では、エネルギー危機によるウラン燃料価格上昇分を考慮するため、天然ウラン価格の推移から上昇率を算定した。天然ウランをはじめとする燃料の価格は、社会的、経済的要因によって変動する。過去の天然ウラン価格の推移を図 5.3.16 に示す。

6 \$ /lbU3O8 台で推移していたウラン価格は、1973 年頃の第一次エネルギーショックの際に急上昇し、1976 年には 40 \$ /lbU3O8 を超え、1978 年には 43 \$ /lbU3O8(1973 年比 7 倍)を記録している。その後、1979 年の米国スリー・マイル・アイランド原子力発電所 2 号炉(Three Mile Island : TMI-2)事故の影響による原子力発電所建設中止の増加や、1995 年より「解体核兵器派生ウラン購入」に関する米露政府間協定に基づいて解体核からのウラン供給が開始されたことなどから、ウランの需要減少が予測され、ウラン価格は下がり続けた。ウラン価格は、1996 年に一時 14 \$ /lbU3O8 に上昇(1994 年比 1.5 倍)した以外、1989 年以降は 10 \$ /lbU3O8 近辺を推移している。

しかし近年では、2001 年の豪州・オリンピックダム鉱山精錬工場火災、2003 年のカナダ・マッカーサーリバー鉱山の坑内出水事故などによる生産の不調、ナミビア・ロッシング鉱山の生産量の減少などにより、2003 年の世界のウラン精鉱生産量が 4,000tウラン近く(世界のウラン生産量の約 1 割に当たる)減少していること、「解体核兵器派生ウラン購入」に関する米露政府間協定が 2013 年に終了し、西側諸国の解体核の在庫もほぼ同時期には無くなるとみられていること、一方で中国、ロシア等の需要増加が見込まれていることなど、複合的な要因から 2003 年後半から徐々にウラン価格が上昇しており、2004 年末には 20 \$ /lbU3O8、2005 年 6 月には 30 \$ /lbU3O8(2002 年比 3 倍)と現在に至るまで上昇傾向を辿り、第一次エネルギーショック以来の高値となっている^{21) 22)}。

以上のウラン価格の推移から、ウラン価格の安定値は 10 \$ /lbU3O8 近辺であると考えられ、それ以上の価格となった場合には、何らかの上昇要因があると考えられる。これより、1973 年から 1979 年の上昇と、2003 年から現在(2005 年)までの上昇が、天然ウラン価格におけるエネルギーショックであると考え、発生確率を算出した結果、エネルギーショック確率は約 30 年に 1 回、ウラン価格増加率は 400%と想定した(表 5.3.5)。

(9) その他の解析条件

FBR を導入することで、他国からの輸入に頼らずに燃料を国内で賄うことが可能になると考えられ、国内 GDP の上昇効果を考えることができるが、これについては日本における経済向

上効果のみを評価することとし、世界を対象にした評価では考慮しないとした。

また、発電施設が環境に影響を与える物質として二酸化炭素（CO₂）、硫黄酸化物（SO_x）、窒素酸化物（NO_x）を対象とし、FBRを導入することで、それらの削減による健康・温暖化被害の低減を効果として考えることができる。この効果は軽水炉発電とFBRからの発生量の差に削減価値を乗じて求めることができるが、本評価においては軽水炉とFBRにおけるこれらの影響は同程度であるとして、評価に含めないとした。さらに、FBRを導入することで、事故による生命リスクを低減する効果についても、軽水炉とFBRの事故による死亡率を同程度とし、評価に含めていない。

表 5.3.1 主な前提条件一覧

項目	設定値	備考	
解析期間	2005～2200年		
割引率	2%	感度解析として0,1,3%の場合も評価	
FBR 導入開始時期	2050年	比較として2030年導入の場合も評価	
FBR 導入量	日本導入ケース	最大 58GWe	FS フェーズ 最終評価移行シナリオ評価の国内におけるリファレンスケースに基づいて設定(4.3節参照)
		最大約 80GWe	FS フェーズ 最終評価移行シナリオ評価の国内CO ₂ 制約シナリオに基づいて設定(4.3節参照)
	世界導入ケース	最大約 2135GWe	FS フェーズ 最終評価移行シナリオ評価の世界におけるシナリオに基づいて設定(4.3節参照)
FBR 研究開発費	設計ロードマップによる	5.1.2節参照	
代替電源	100%軽水炉にて代替	軽水炉発電がFBR発電に全て置き換わることを想定	
天然ウラン価格	解析ケースによる	「Uranium2003」 ¹⁵⁾ におけるウラン需要量とコスト区分、及び各解析ケースにおける天然ウラン需要量(4.3節参照)から算出	
発電原価	解析ケースによる	将来の発電原価を推定	
エネルギーショック	発生確率	0.033回/年	約30年に1回
	価格上昇率	400%増(13.3%/年)	1970年から2005年までの天然ウラン価格推移より想定
CO ₂ 発生量	-	軽水炉とFBRは同程度と仮定	
SO _x 発生量	-	軽水炉とFBRは同程度と仮定	
NO _x 発生量	-	軽水炉とFBRは同程度と仮定	
事故による死亡率	-	軽水炉とFBRは同程度と仮定	

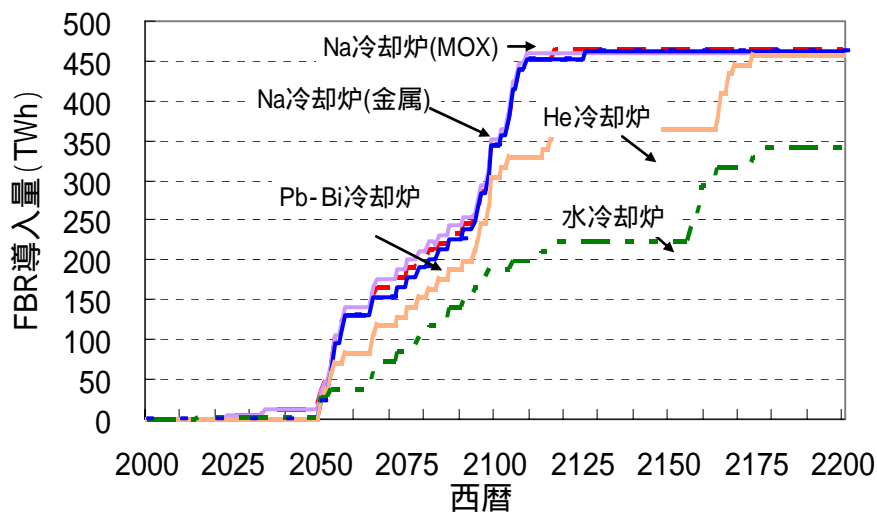


図 5.3.1 日本導入ケースの炉型別 FBR 導入量の推移(2050年 FBR 導入)

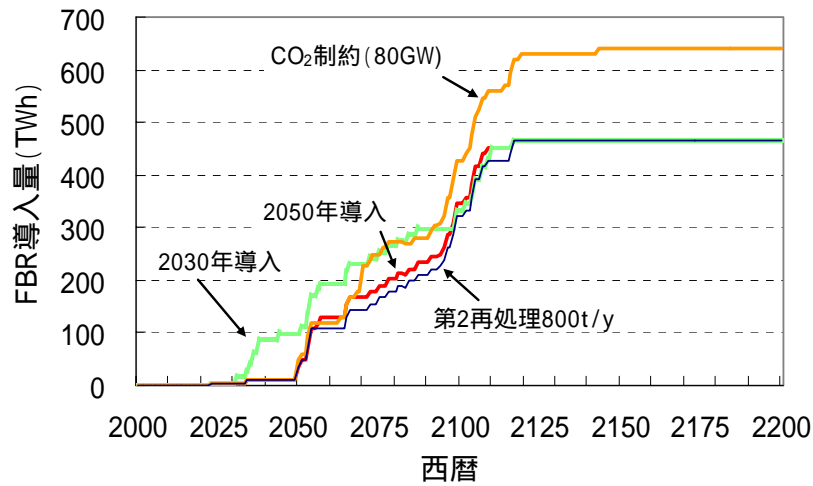


図 5.3.2 日本導入ケースの導入年及び最大原子力発電設備容量の推移(ケース)

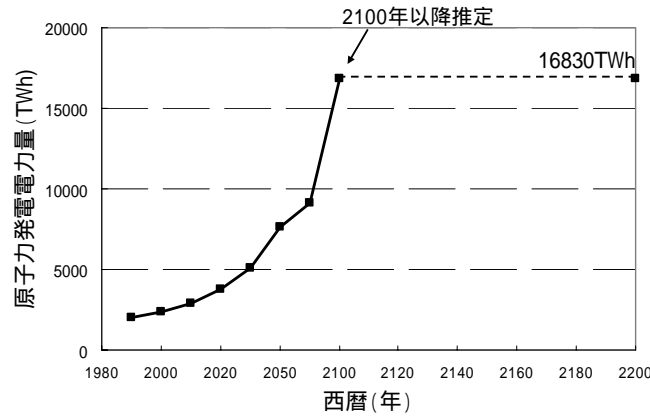


図 5.3.3 FBR 導入算定の基とした世界の原子力発電電力量

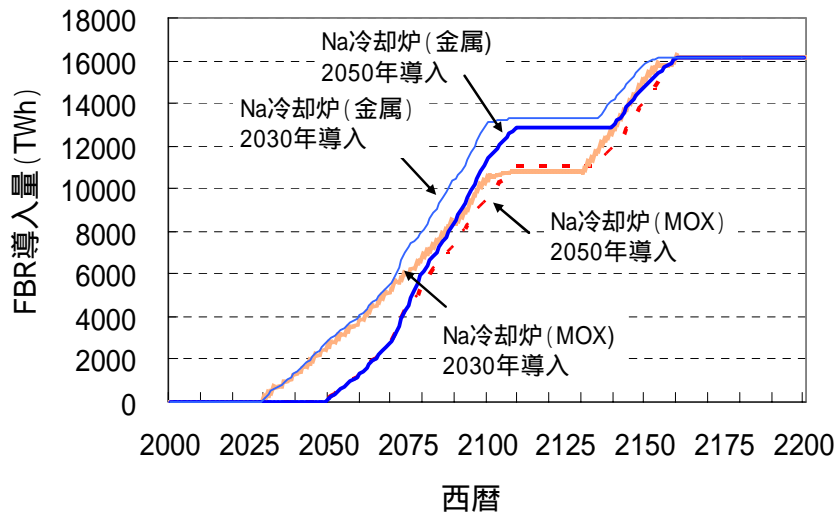


図 5.3.4 世界解析ケースのFBR 導入量の推移

表 5.3.2 天然ウラン資源量と生産コストの関係(Uranium 2003 年度版)

生産コスト(/ kgU) 下段(/ lbU3O8)	\$40 以下 \$15 以下	\$80 以下 \$31 以下	\$130 以下 \$50 以下	区分なし	合計
確認資源(万 t)	173	246	317		317
推定追加資源-1(万 t)	79	108	142		142
推定追加資源-2(万 t)		147	225		225
期待資源(万 t)			444	310	754
合計(万 t)	252	501	1128	310	1438

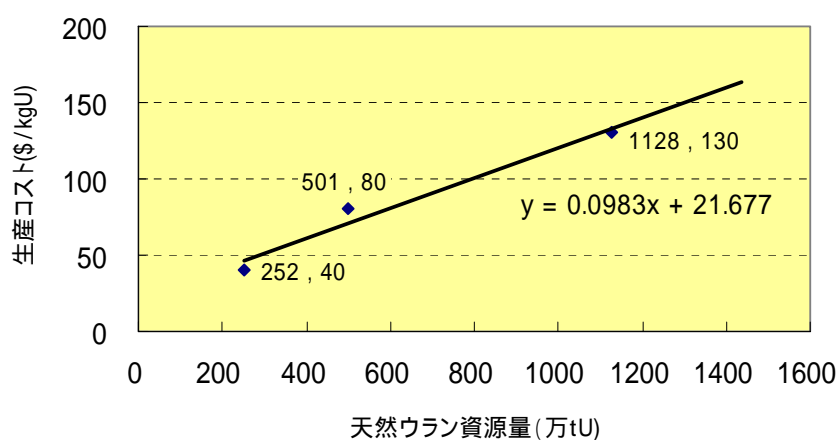


図 5.3.5 天然ウラン資源量と生産コスト区分の3点から求めた線形近似式

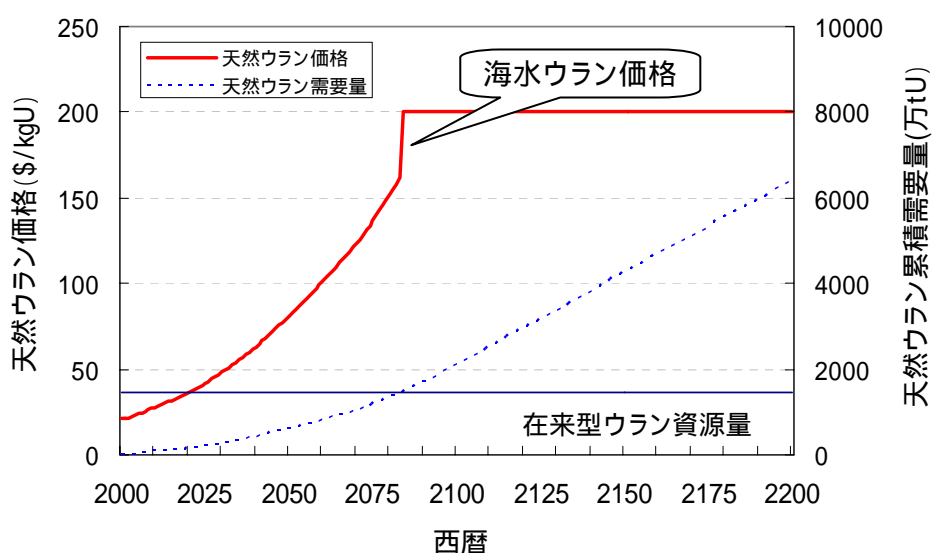


図 5.3.6 天然ウラン累積需要量に伴う天然ウラン価格の推移

OECD/NEA, IAEA 「Uranium 2003」¹⁵⁾ のデータより作成

表 5.3.3 2050 年輕水炉発電原価

軽水炉発電原価(2050		
年)	日本	世界
[円/kWh]		
割引率	2%	5%
資本費	0.8	1.1
運転費	1.1	0.7
燃料費	1.6	0.8
発電原価	3.6	2.6

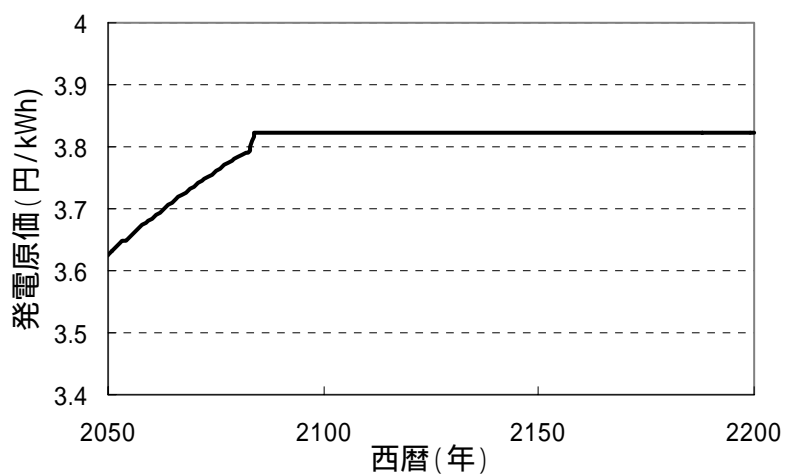


図 5.3.7 日本の将来軽水炉発電原価の推移(ケース)

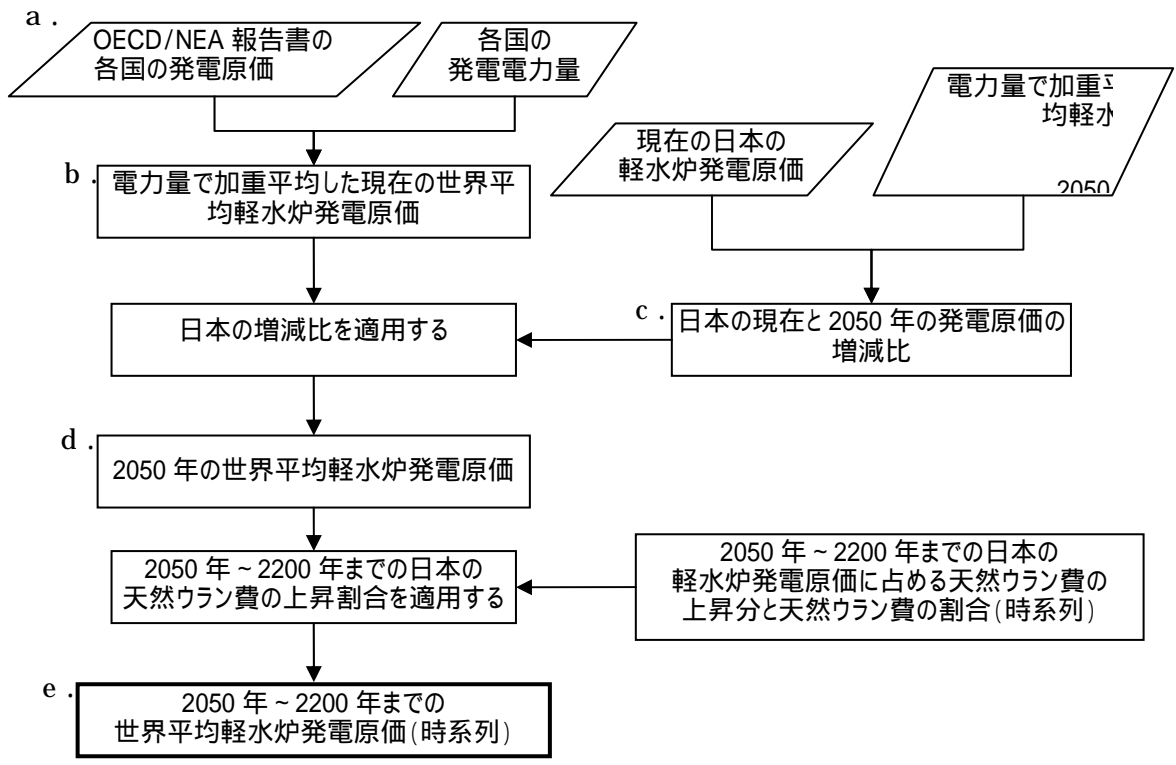


図 5.3.8 世界の将来軽水炉発電原価推計の手順

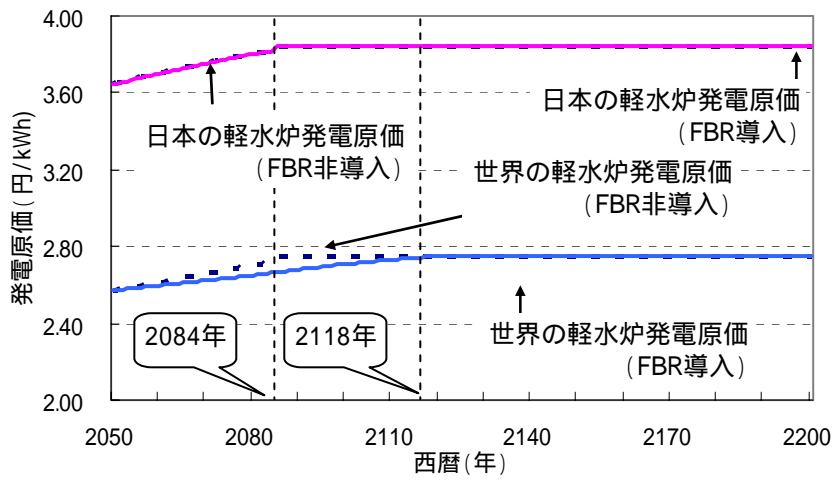


図 5.3.9 将来軽水炉発電原価の推移(ケース 推計値)

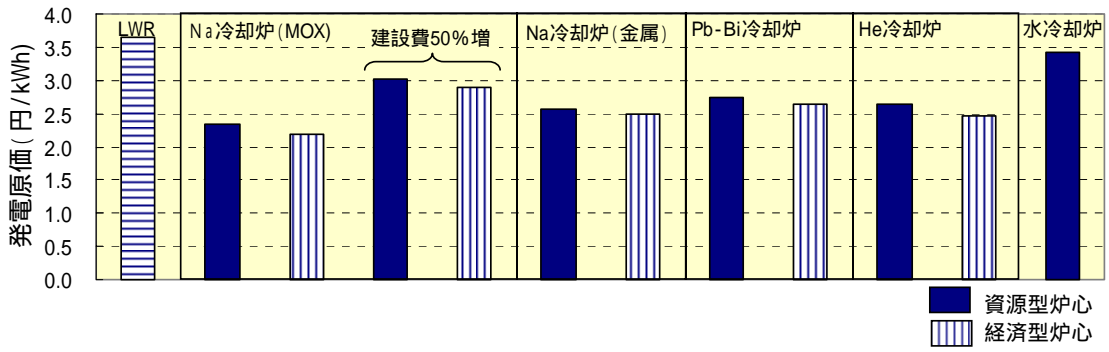


図 5.3.10 日本のFBR 発電原価(2050年)

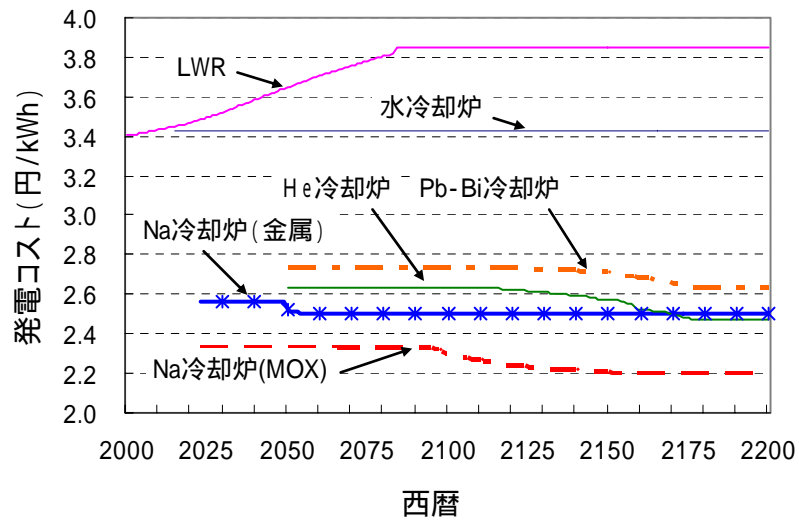


図 5.3.11 FBR 発電原価の推移(2050年導入)

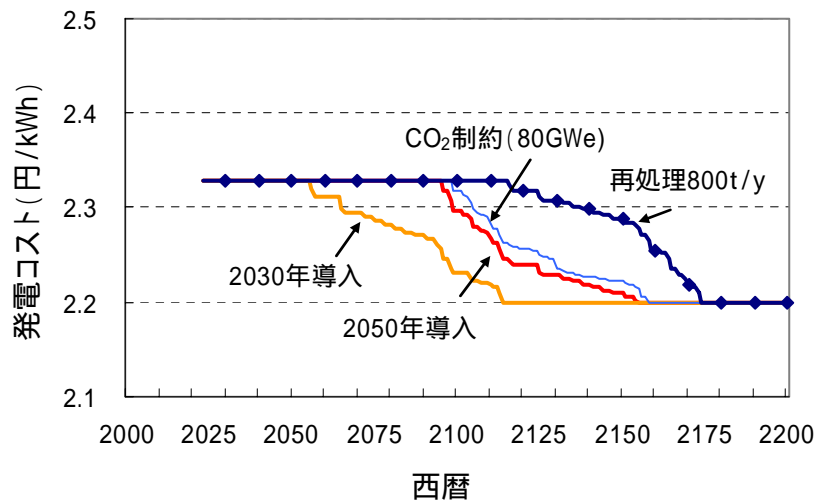


図 5.3.12 日本のFBR 発電原価の推移(ケース)

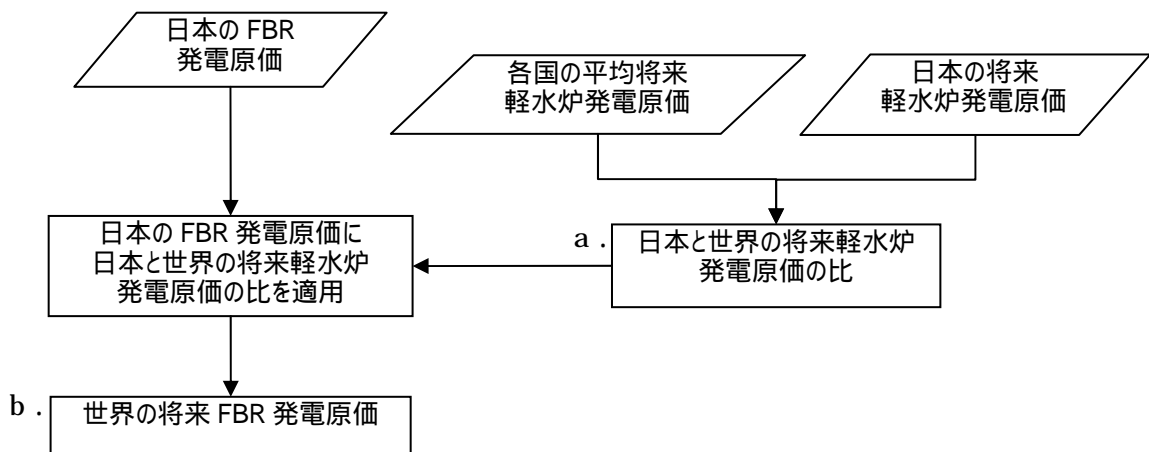


図 5.3.13 世界のFBR発電原価推計の手順

表 5.3.4 日本と世界の将来軽水炉発電原価の比率(割引率5%)

	2050年	日本	世界	比率
資本費		1.5	1.1	74%
運転維持費		1.1	0.7	62%
燃料費		1.5	0.8	49%
発電単価		4.1	2.6	

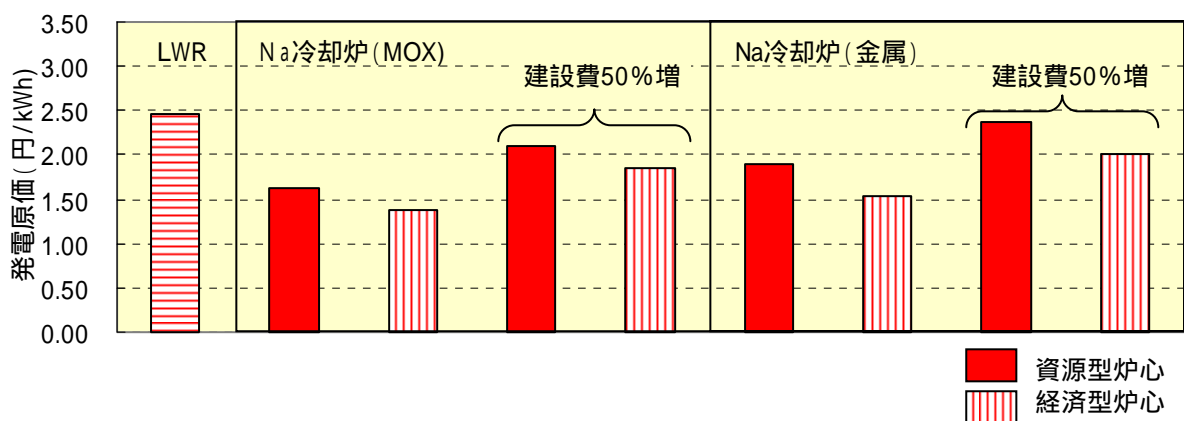


図 5.3.14 世界のFBR発電原価 (2050年)

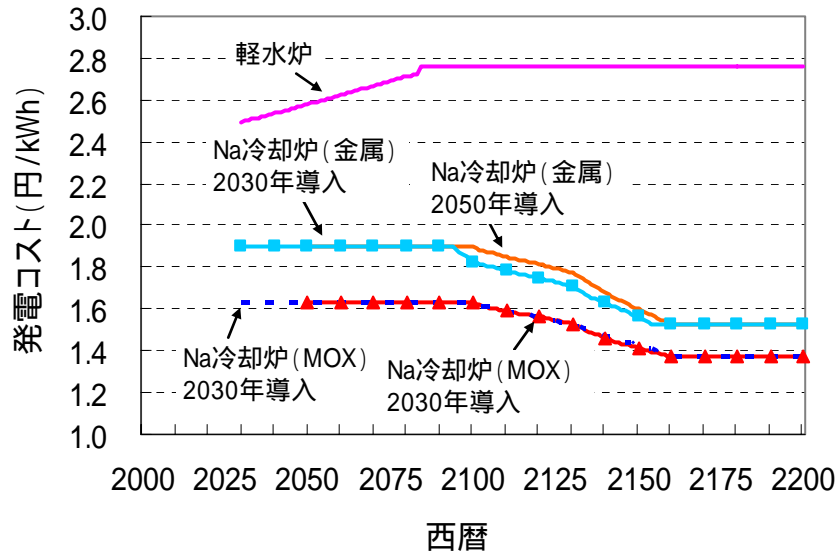


図 5.3.15 世界のFBR 発電原価の推移

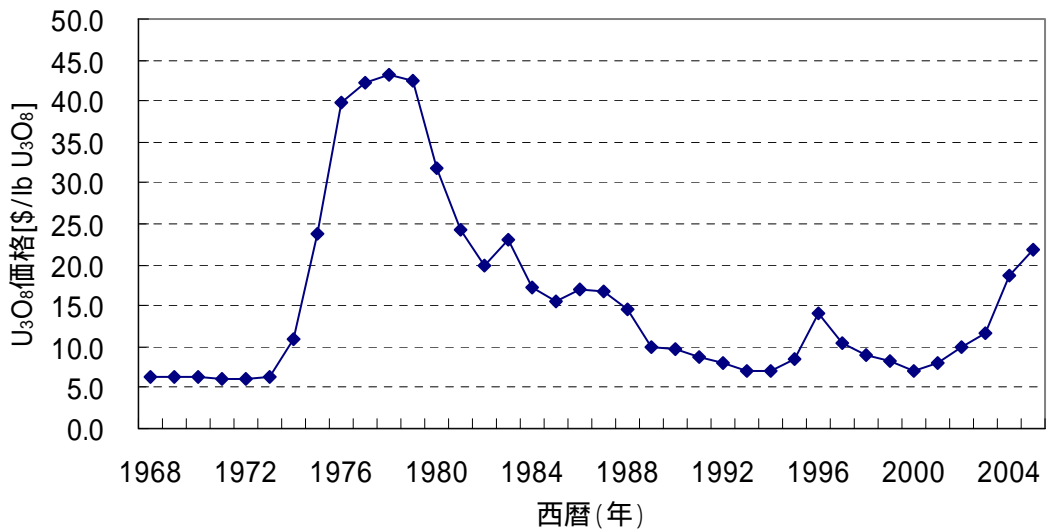


図 5.3.16 過去の天然ウラン価格の推移

TradeTech社ホームページ「Uranium・info」²¹⁾公表データより作成

表 5.3.5 エネルギーショック時のウラン価格増加割合

エネルギーショック年	ウラン価格増加割合
1973年 ~ 1979	600%
2003年 ~ 2005	200%
エネルギーショック確率	約30年に1回 400%増(13.3%/年)

5.4 投資対効果評価結果

5.4.1 日本国内を対象とした評価結果

(1) 各炉型のリファレンスケース評価結果

FBR サイクル候補概念の投資対効果を評価した結果を以下に述べる。炉型別のリファレンスケースを評価するため、5つの候補概念、すなわち、ナトリウム冷却大型炉 - MOX 燃料、ナトリウム冷却大型炉 - 金属燃料、鉛 - ビスマス冷却中型炉、ヘリウムガス冷却大型炉 - 窒化物被覆粒子燃料、水冷却大型炉の投資効果の比較を行った。リファレンスの条件（FBR 導入を 2050 年開始とし、FBR サイクル実用化戦略調査研究の設計より得られる発電原価を用い、割引率を 2%とした場合）において炉型ごとに FBR 移行シナリオに基づき FBR 導入の効果を比較すれば、図 5.4.1 のようになる。ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心が約 11 兆円ともっとも高い値となった。次に、ナトリウム冷却金属燃料炉心の効果が約 10 兆円、鉛 - ビスマス冷却窒化物燃料炉心が約 9 兆円、ヘリウム冷却窒化物燃料炉心が約 8 兆円、水冷却 MOX 燃料炉心が約 3 兆円となった。

効果額の内訳としては、経済性向上効果が約 7 割を占め、このうち発電コスト削減効果がほとんどを占め、ウラン燃料価格上昇の抑制効果の割合は小さい。このことは、発電コスト削減効果は、炉型の違いによる発電原価の差が直接関係するが、ウラン燃料価格上昇の抑制効果は、天然ウラン価格の変化が発電原価に与える影響として小さいことが反映されている。すなわち、天然ウラン価格は、発電原価内訳（資本費、運転費、燃料費）の中の燃料費の一部を構成するもので、発電原価の約 1 割程度に過ぎないため、影響は小さいと考えられる。残り 3 割を占める外部経済性向上効果はウラン燃料輸入削減効果のみが評価対象である。したがって、発電コスト削減効果とウラン燃料輸入削減効果が効果額として大きく影響する。発電原価は 5.3(7) で示したように、ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心が最も安い発電原価の FBR サイクル候補概念であり、次いでナトリウム冷却金属燃料炉心、ヘリウム冷却窒化物燃料炉心、鉛 - ビスマス冷却窒化物燃料炉心、の順に高くなり、水冷却 MOX 燃料炉心は軽水炉の発電原価に近く最も高い。このため、各炉型の発電原価の差が発電コスト削減効果額の相対的な差となって現れている。外部経済性向上効果(ウラン燃料輸入削減効果)は、経済性向上効果ほど大きな差を与えていないが、ここでの相違の要因としては、各候補概念炉の導入量(導入ペース)の差にある。つまり、FBR の導入ペースが早いものは天然ウラン需要量の削減となって現れるため、ウラン燃料輸入の削減となる効果が得られるものである。このため、5.3(3) で示したように、比較的導入ペースの早いナトリウム冷却炉のケースにおいて、ウラン燃料輸入削減効果が大きくなっている。水冷却 MOX 燃料炉心においては導入ペースが最も遅いため、ウラン燃料輸入削減効果額は他の概念と比べて小さくなっている。

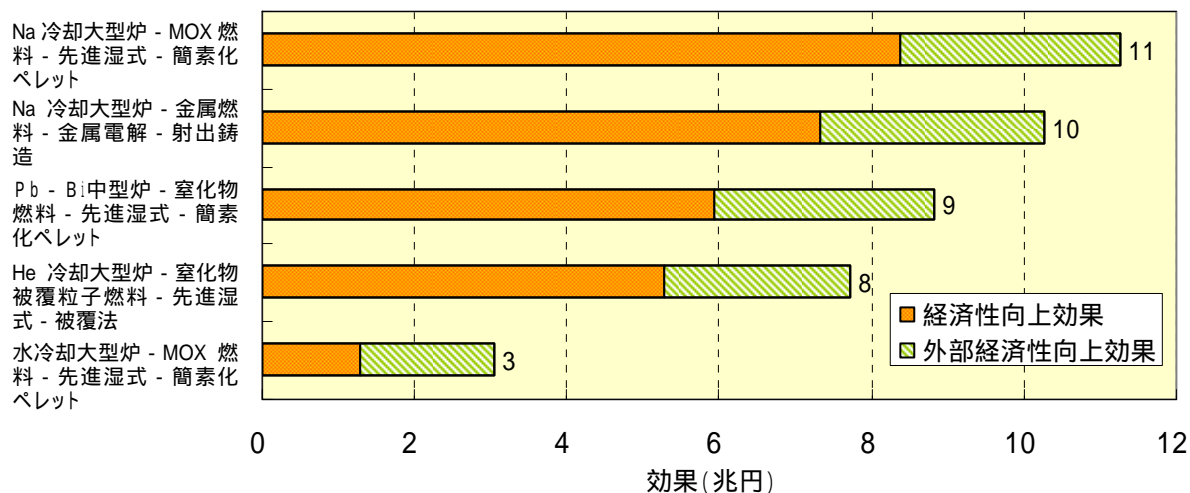


図 5.4.1 日本国内を対象とした各炉型のリファレンスケース評価結果の比較

次に、効果額の時系列推移を図 5.4.2～図 5.4.6 に示す。FBR の導入が進むにしたがって効果額は上昇していく様子が見られる。ただし、導入が進み、軽水炉が全て FBR に代替され、FBR の導入量が上昇しなくなると、効果額は得られるものの、割引の影響によって各年度の効果額は減少していく。遠い将来においては、このように割引の影響によって各年度の効果額は次第に減少し、その程度は割引率に依存する。図はリファレンスケースであるため、割引率 2% のケースであるが、割引が無い場合(割引率 0%)はこのような減少傾向は示さず、導入量が増加すれば効果額も増加し、導入量が一定になれば効果額も一定で推移する。

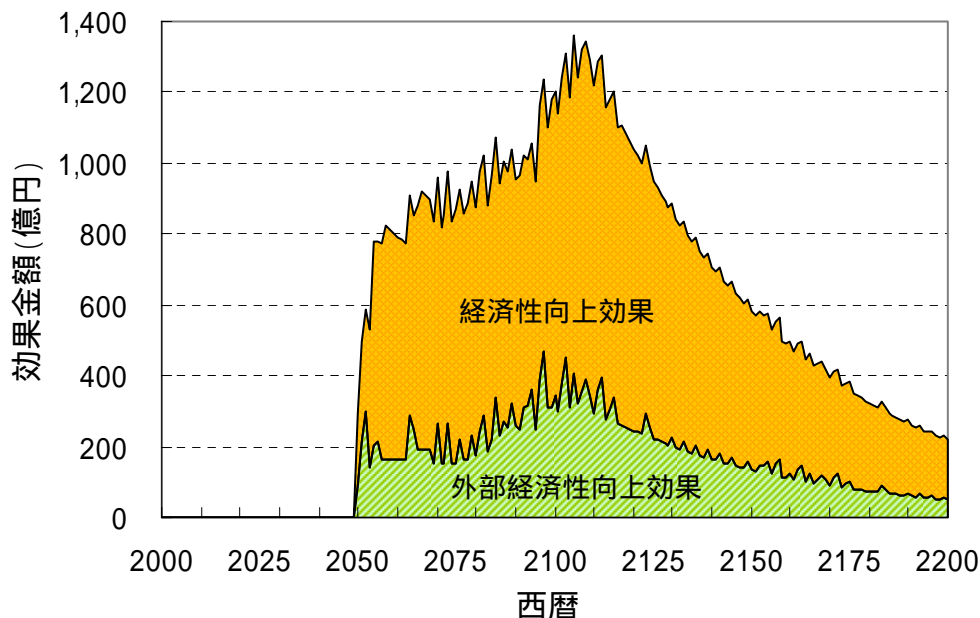


図 5.4.2 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移

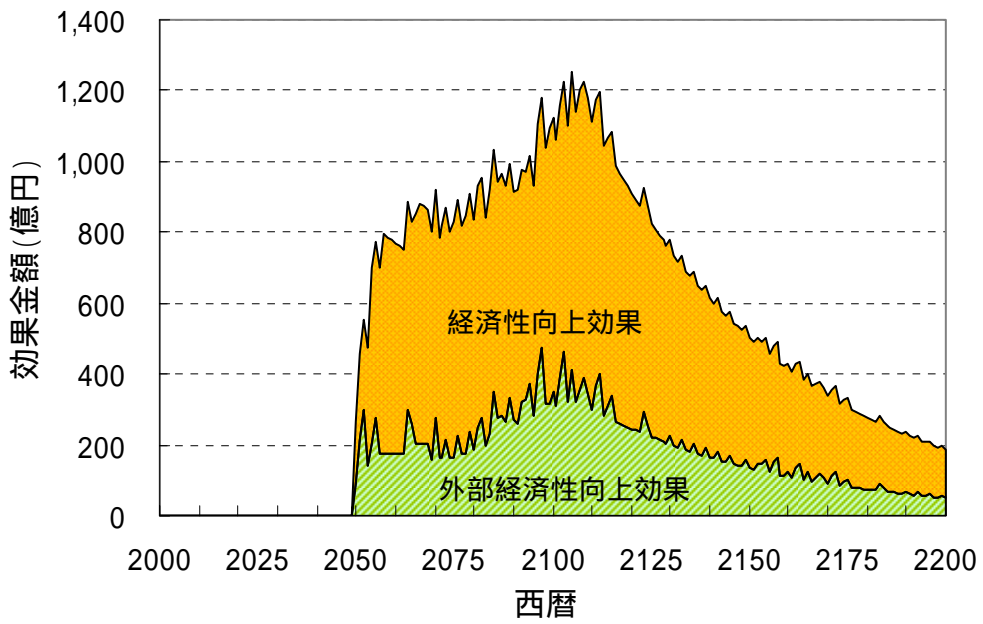


図 5.4.3 ナトリウム冷却炉金属燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移

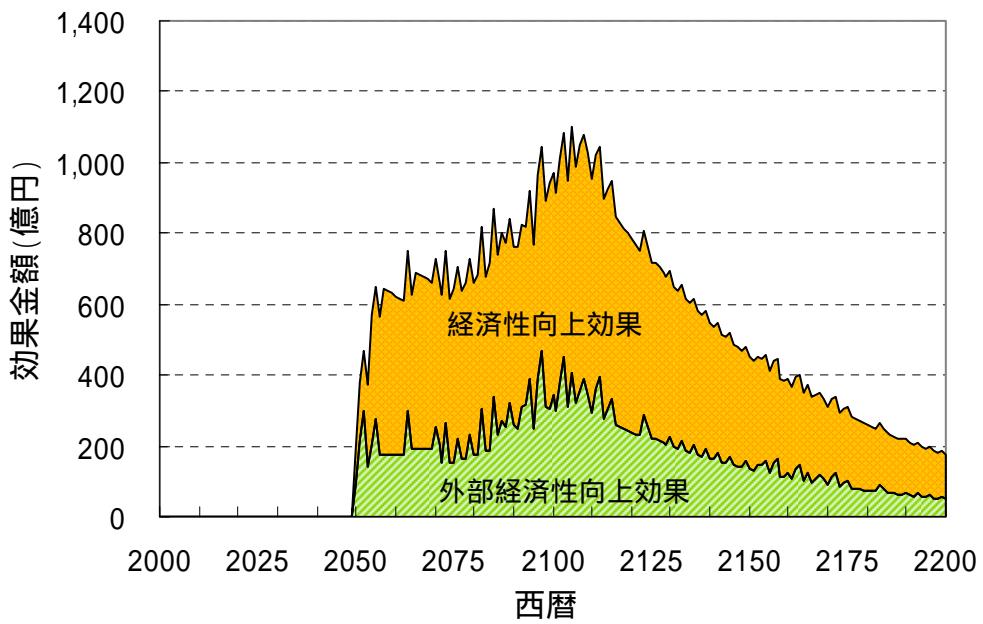


図 5.4.4 鉛 - ビスマス冷却炉窒化物燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移

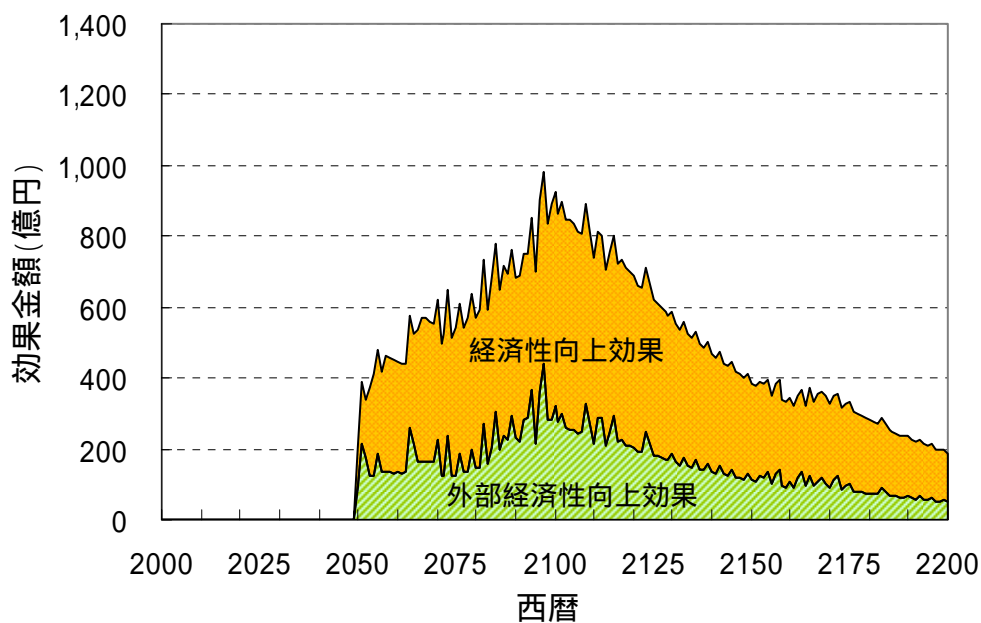


図 5.4.5 ヘリウム冷却炉窒化物燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移

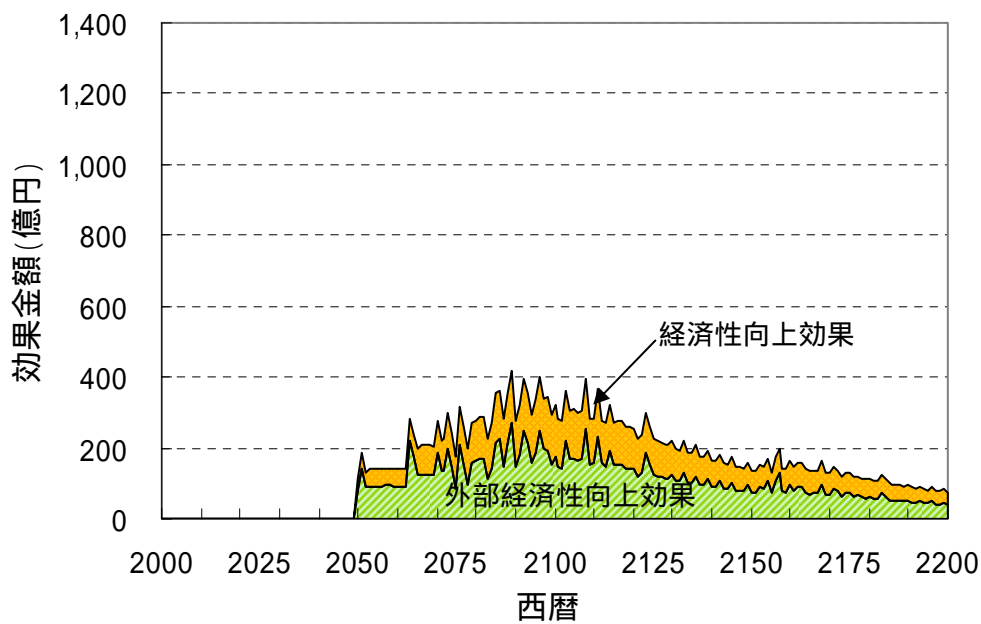


図 5.4.6 水冷却炉 MOX 燃料のケースを国内に導入した場合の効果推移

(2) 各炉型の感度解析結果

割引率の影響

超長期の予測においては、割引率による効果額の減少がみられた。そこで割引率をパラメータとして効果額を示せば図 5.4.7～図 5.4.12 のようになる。ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースにおいて、実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価を想定したケース(図 5.4.7)においては、割引がない場合(割引率 0%)は、約 123 兆円と大きい。割引率の増加とともに効果額は大きく減少し、割引率 3%では約 4 兆円となる。同様に、FBR の導入時点の軽水炉と同等の発電原価を想定したケース(図 5.4.8)では、割引がない場合(割引率 0%)は約 46 兆円あるが、割引率 3%では約 2 兆円となる。他の各炉型においてもこのような割引率の影響により、同様な傾向を示す。このように、割引率は大きく影響するパラメータである。しかしながら、割引率の設定は一意に設定し難いパラメータである。リファレンスとした割引率 2%は、近年の日本経済の低成長・低インフレが今後も継続すると予測した場合であるが、割引率が 1%であればさらに大きな効果額が得られ、超長期の解析を実施する際にはやや大きめの値と考えられる割引率 3%でも投資を上回る効果が期待できることを示している。

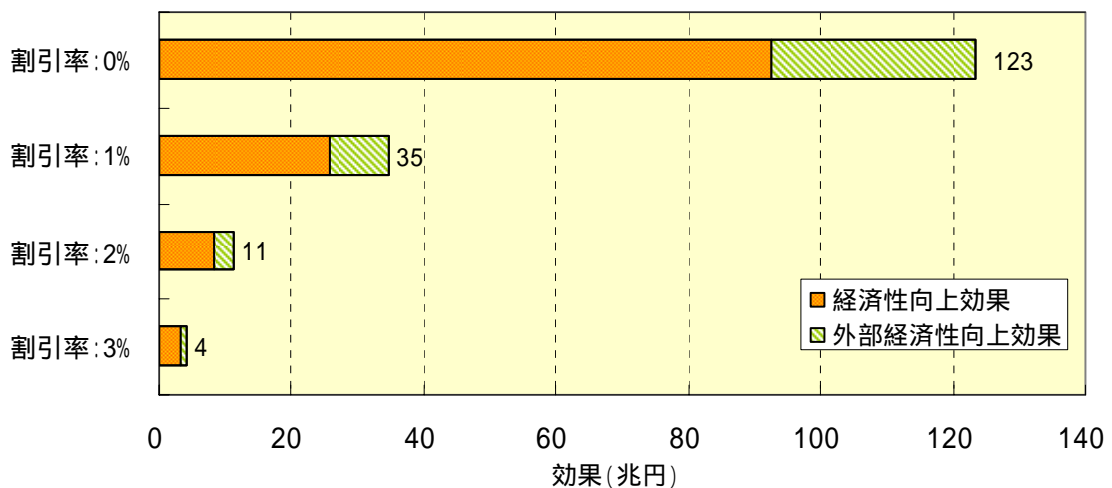


図 5.4.7 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の割引率による効果の違い(設計値による発電原価)

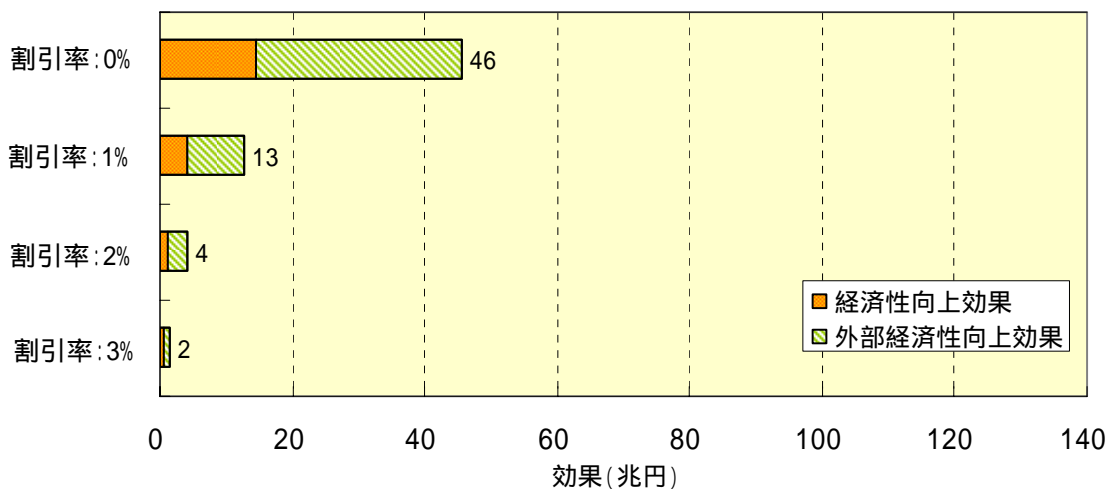


図 5.4.8 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の割引率による効果の違い(軽水炉同等の発電原価)

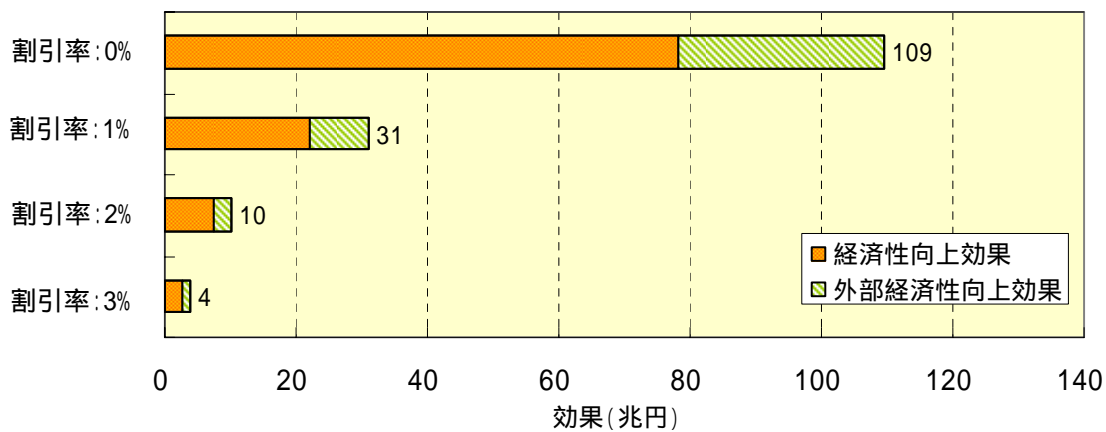


図 5.4.9 ナトリウム冷却炉金属燃料の割引率による効果の違い

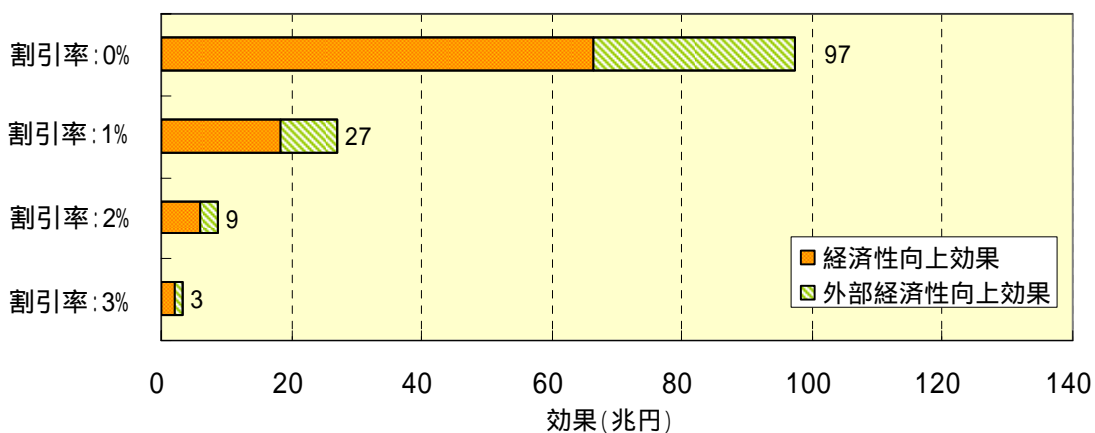


図 5.4.10 鉛 - ビスマス冷却炉窒化物燃料の割引率による効果の違い

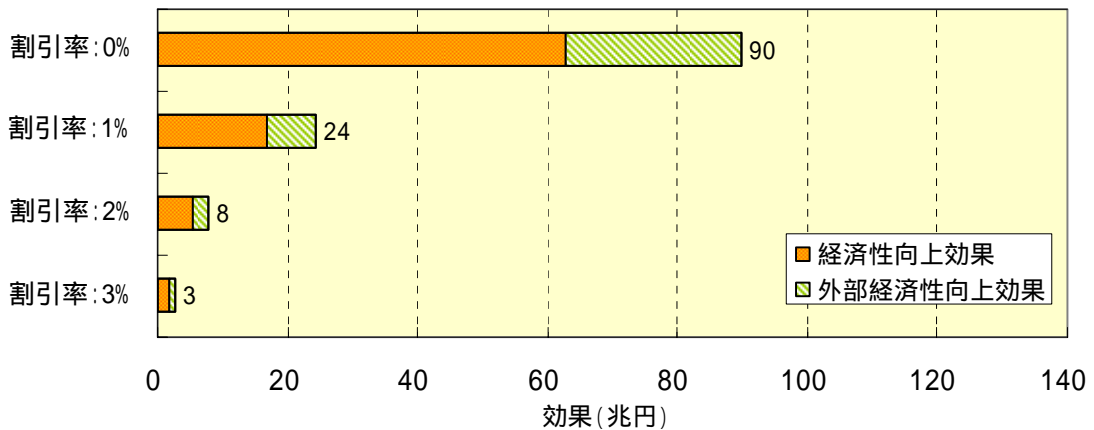


図 5.4.11 ヘリウム冷却炉窒化物燃料の割引率による効果の違い

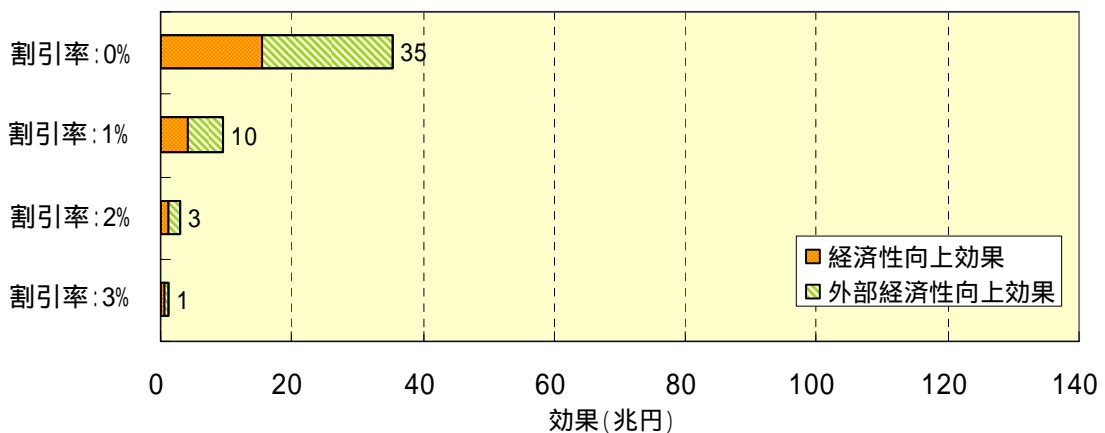


図 5.4.12 水冷却炉 MOX 燃料の割引率による効果の違い

発電原価等の影響

FBR 発電原価をパラメータに評価したナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースの結果を図 5.4.13 に示す。

ケース 1 の実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価を想定した場合には、FBR の発電原価が軽水炉の発電原価を下回ること(5.3(7) 参照)、FBR 導入により軽水炉の天然ウランの需要量が減るため、ウラン燃料価格上昇による発電原価上昇を回避できる効果により、約 11 兆円の効果が期待できる結果となった。

ケース 2 の FBR の導入時点での軽水炉と同等の発電原価を想定した場合には、将来の天然ウラン価格の上昇分だけ、FBR 発電原価が軽水炉の発電原価を下回る分の効果となるため、発電コスト削減効果はあまり期待できないが、FBR の導入により軽水炉による天然ウランの需要が減るため、天然ウラン燃料価格の上昇による軽水炉発電原価の上昇を回避できる効果に

より、約 4 兆円の効果が期待できる結果となった。

ケース 3 の FBR の設計ベースの建設費を 50% 増として発電原価を想定した場合では、FBR の発電原価が軽水炉の発電原価に近づくため、実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価を想定した場合と比べ、発電コスト削減効果は小さくなるが、ウラン燃料価格上昇による発電原価上昇を回避できる効果もあり、約 7 兆円の効果が期待できる結果となった。

発電原価は、経済性に大きく影響を及ぼすパラメータであり、FBR 発電原価を軽水炉の発電原価からどの程度安くできるかで、経済効果は大きく影響する。FBR の導入時点で軽水炉と同等の発電原価と想定することは、発電原価を安くできる FBR のメリットをなくしているため、効果額が小さいのは当然であるが、仮に同等と仮定しても、FBR 導入後の天然ウランの価格や需要量を抑制する効果により、投資を上回る効果が期待できることを示している。一方、外部経済性向上効果であるウラン燃料輸入削減効果は、天然ウランの需要量であるため FBR 導入ペースに関係し、この図ではいずれもナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースであるため導入ペースは同じであり、外部経済性向上効果の効果額は変わらないものとなっている。

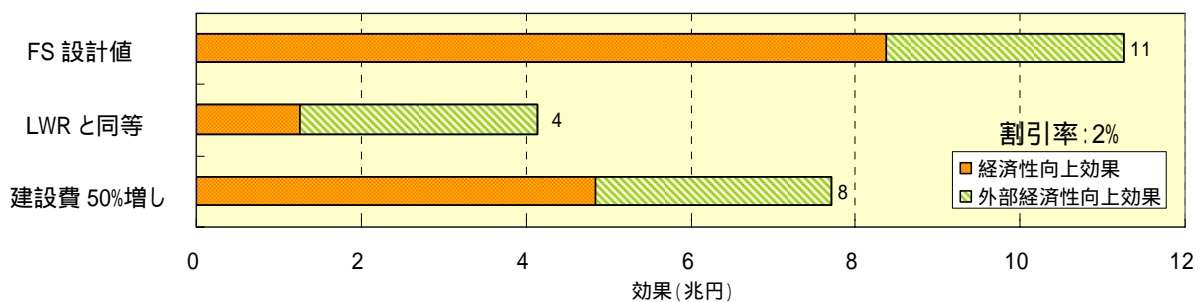


図 5.4.13 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の発電原価の設定による効果の違い

ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケース以外のケースについては、実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価と FBR の導入時点の軽水炉と同等の発電原価を想定したケースとの比較を行った結果を図 5.4.14 ~ 図 5.4.17 示す。これらの比較により、リファレンスケースと発電原価を厳しめにみたケース(効果が小さいケース)により、発電原価の範囲に対する導入効果の範囲を把握できる。FBR の導入時点の軽水炉と同等の発電原価を想定したケースにおいては、前述したナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケース、ナトリウム冷却炉金属燃料のケース、鉛 - ビスマス冷却炉窒化物燃料のケースは約 4 兆円、次いでヘリウム冷却炉窒化物燃料のケース、水冷却炉 MOX 燃料は約 2 兆円となる。いずれも、発電コスト削減効果が減少するため、経済性向上効果が小さくなっていく。しかしながら、いずれの炉型においても、発電原価を安くできる FBR のメリットをなくしたと仮定しても、FBR 導入後の天然ウランの価格や需要量を抑制する効果により、数兆円の効果を期待できることを示している。

また、図には FBR の導入時期を 2030 年とした結果も示した。いずれも、リファレンスケ

ースより効果額は大きくなり、早期導入の効果は大きいことがわかる。早期に FBR を導入することは、FBR の導入ペースが早くなり(5.3(3) 参照)、軽水炉の代替が早くから行われるため、発電原価の安い FBR による発電コスト削減効果等により効果額は大きくなる。

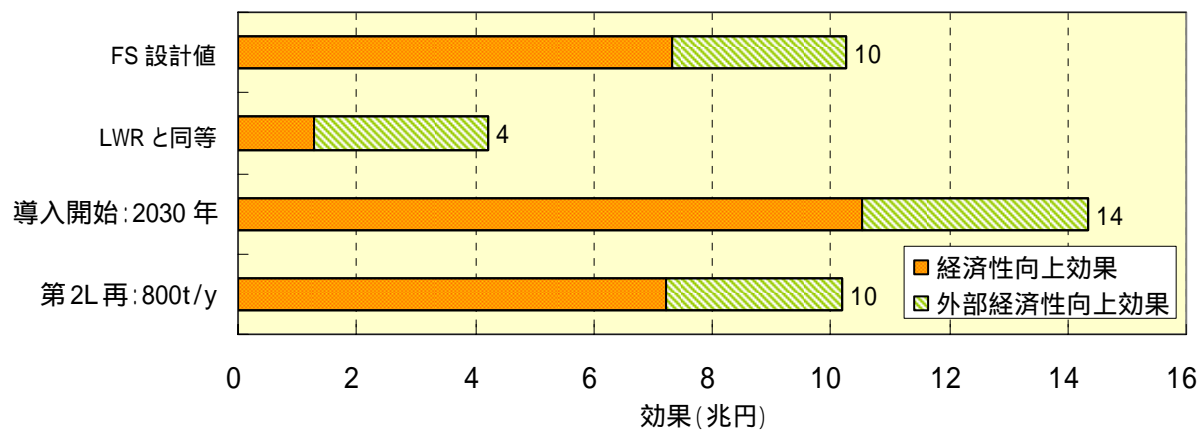


図 5.4.14 ナトリウム冷却炉金属燃料の発電原価の設定等による効果の違い

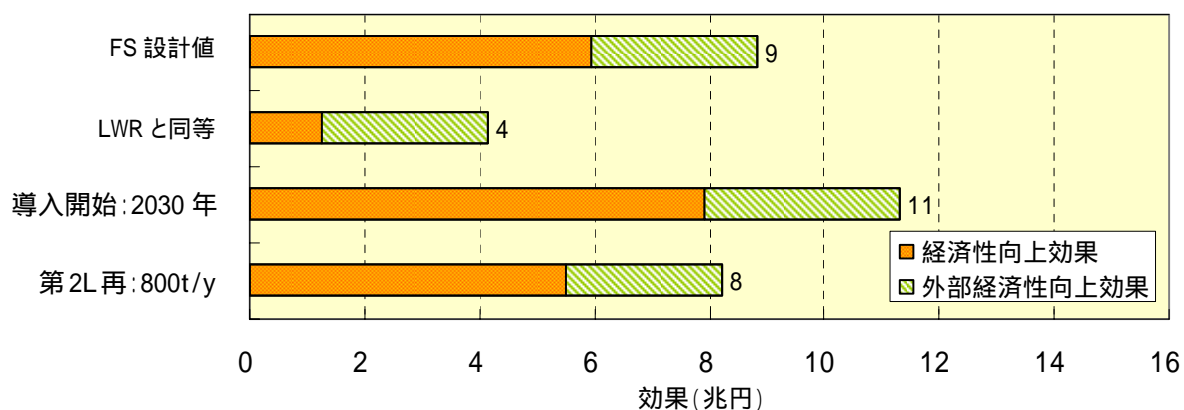


図 5.4.15 鉛 - ビスマス冷却炉窒化物燃料の発電原価の設定等による効果の違い

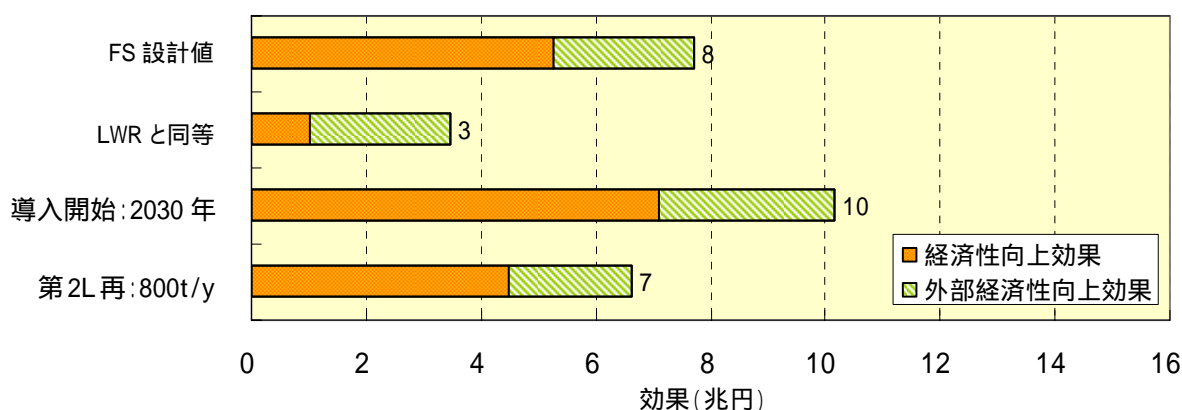


図 5.4.16 ヘリウム冷却炉窒化物燃料の発電原価の設定等による効果の違い

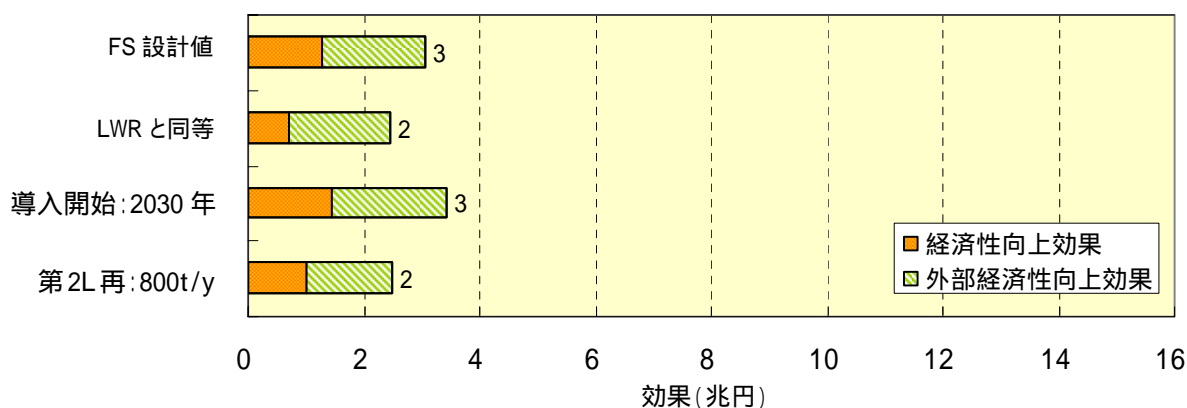


図 5.4.17 水冷却炉 MOX 燃料の発電原価の設定等による効果の違い

その他の比較ケース

比較ケースとしていくつかの感度解析を実施した結果を図 5.4.18 に示す。天然ウラン価格上昇が無いと想定したケースは、天然ウラン価格に直接関係するウラン燃料価格上昇抑制効果や、ウラン需要量にかけ算で効くウラン燃料輸入削減効果に大きく影響する。よってウラン資源を節約できる FBR サイクルにとってはこれらの効果額は減少するものの、ウラン価格上昇が軽水炉の発電原価へ及ぼす影響は小さいため発電コスト削減効果はあまり減少せず、元々占める割合が大きいこともあり、全体の効果額を大きく低下させることはなく、リファレンスケースの約 11 兆円に対し約 8 兆円の効果があった。2050 年以降、第 2 軽水炉再処理において、その処理量をリファレンスの年間 1200t から年間 800t へ縮小したケースを想定した場合は、処理量の減少によりプルトニウムの供給が減り、FBR の導入ペースが少し遅くなるため(5.3(3) 参照)、効果がやや減少する。

リファレンスケースより効果額が大きくなるケースとしては、FBR 導入量を増やしたケー

ス、FBR 導入開始年が早まるケースがある。COP3 の CO2 制約を継続した場合の原子力発電設備容量(80GWe)を想定した場合は、FBR 導入量が 58GWe から 80GWe に増えたことにより FBR 導入ペース、最大導入量が大きく増大するため(5.3(3) 参照)、FBR の効果は大きく増え、約 14 兆円の効果が得られた。2030 年に FBR 導入を想定したケースでも、約 14 兆円の効果が得られ、早期導入も効果としては大きい。

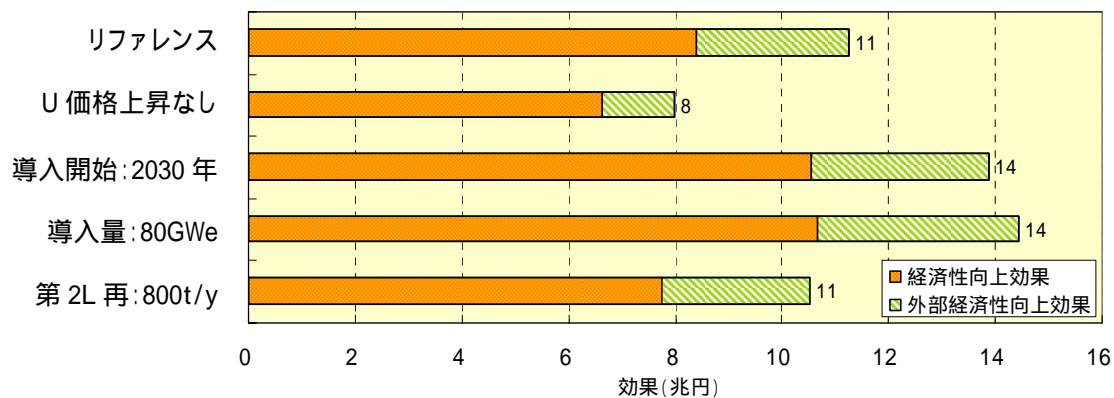


図 5.4.18 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料の感度解析結果

5.4.2 世界を対象とした評価結果

(1) 各炉型のリファレンスケース評価結果

世界導入ケースでは、高増殖型炉心プラントのケースを想定し、ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型 MOX 炉心、ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型金属炉心の 2 つのケースを評価した。リファレンスの条件 (FBR 導入を 2050 年開始とし、FBR サイクル実用化戦略調査研究の設計より得られる発電原価を用い、割引率を 2%とした場合) において炉型ごとに移行シナリオに基づき FBR 導入の効果を比較すれば、図 5.4.19 のようになる。ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心の効果が約 169 兆円、ナトリウム冷却金属燃料炉心の効果が約 152 兆円となった。世界を対象とした評価では、世界全体におけるウラン輸入量の削減による効果は想定し難いため、外部経済性向上効果(ウラン燃料輸入削減効果)は考えず、経済性向上効果のみの評価であるが、日本国内を対象とした評価結果に比べ桁大きな経済効果が期待できる。

効果額の内訳としては、経済性向上効果の約 9 割は発電コスト削減効果であり、残り約 1 割がウラン燃料価格上昇抑制効果である。発電原価は 5.3(7) で示したように、ナトリウム冷却 MOX 燃料炉心よりはナトリウム冷却金属燃料炉心の方がやや高いが、FBR 導入量(導入ペース)は 5.3(3) で示したようにナトリウム冷却金属燃料炉心の方が早い。FBR の導入ペースが早いナトリウム冷却金属燃料炉心の方が、天然ウラン価格の上昇を抑制する効果が早くから得られるため、ウラン燃料価格上昇抑制効果は大きくなるが、経済性向上効果は発電原価の差が直接効いてくる発電コスト削減効果の割合が大きいため、発電原価の安いナトリウム冷却 MOX 燃料炉心の方が効果額は大きい。

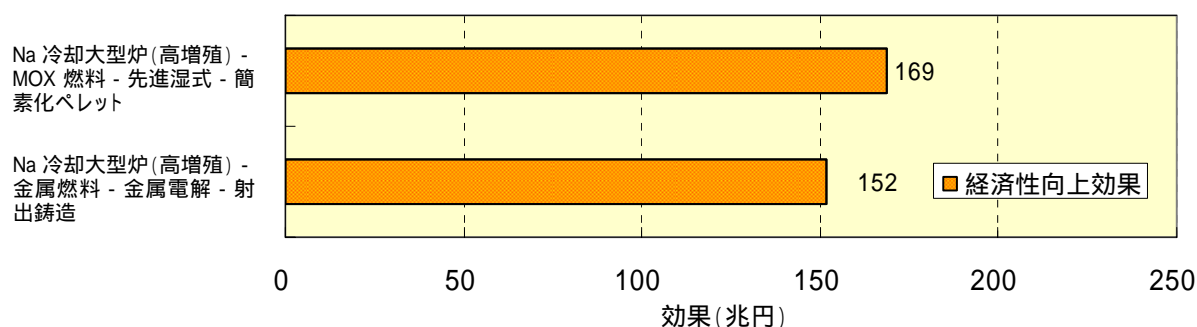


図 5.4.19 世界を対象とした各炉型のリファレンスケース評価結果の比較

次に、効果額の推移を図 5.4.20、図 5.4.21 に示す。ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型 MOX 炉心のケースおよびナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型金属炉心のケースとも、効果額の推移は同じような傾向を示している。また日本国内への導入ケースと同様、効果額の時系列推移は、FBR の導入が進むにしたがって効果額は上昇し、FBR の導入量が上昇しなくなると、効果額は得られるものの、割引の影響によって各年度の効果額は減少していく。図はリファレンスケースであるため、割引率 2%のケースであるが、遠い将来においては割引の影響によって各年度の効果額の減少程度は変わりうる。

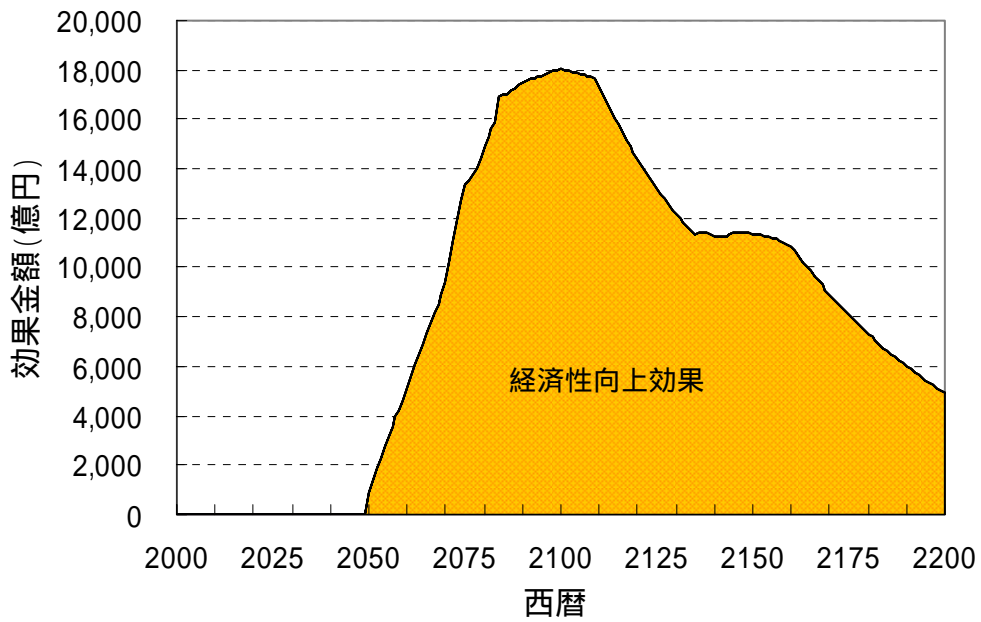


図 5.4.20 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料(高増殖)を世界に導入した場合の効果推移

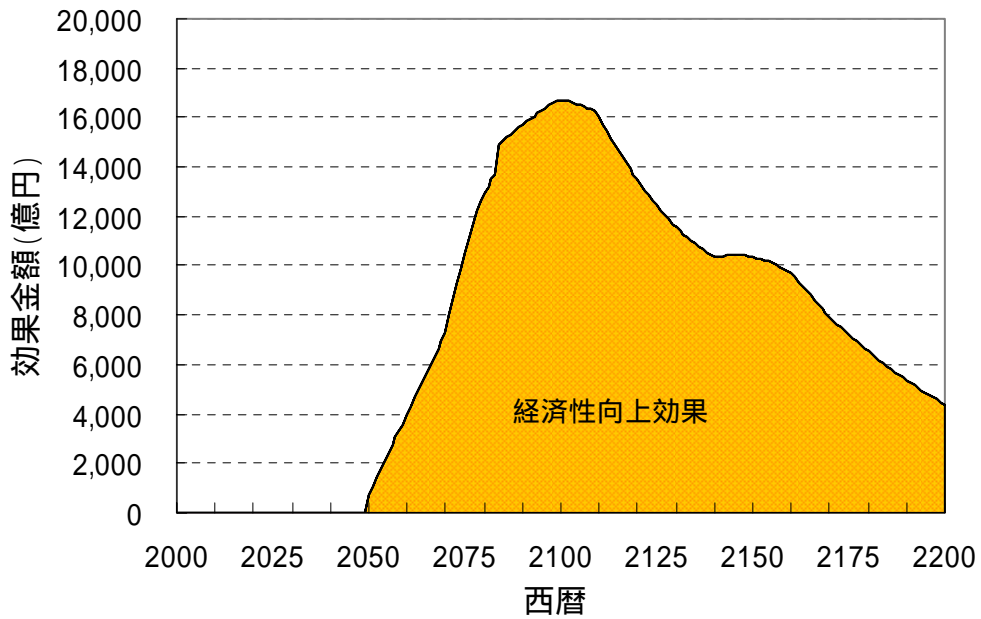


図 5.4.21 ナトリウム冷却炉金属燃料(高増殖)を世界に導入した場合の効果推移

(2) 各炉型の感度解析結果

割引率の影響

割引率をパラメータとした効果額を図 5.4.22、図 5.4.23 に示す。実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価を想定したケースにおいては、割引がない場合(割引率 0%)の効果は

最も大きく、割引率の増加とともに効果額は大きく減少している。このように、日本導入ケースと同様、割引率は大きく影響するパラメータであるが、割引率 3%でも投資を上回る効果が期待できることを示している。

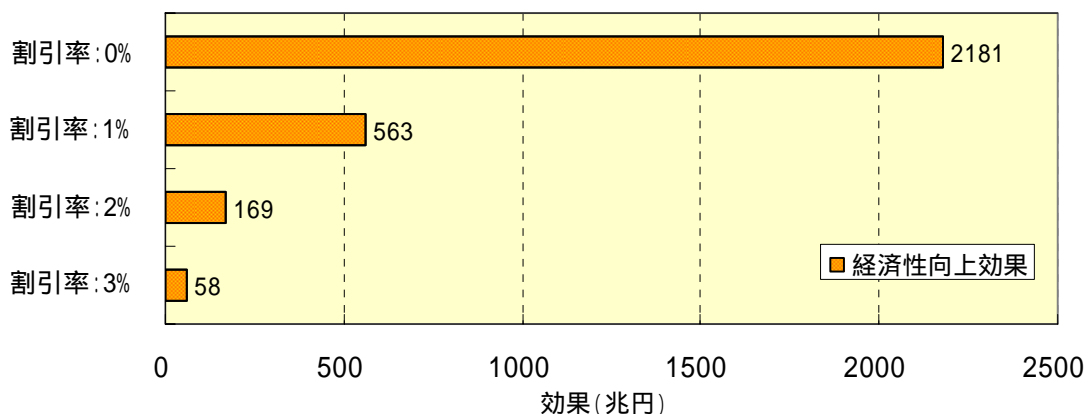


図 5.4.22 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料(高増殖)の割引率による効果の違い

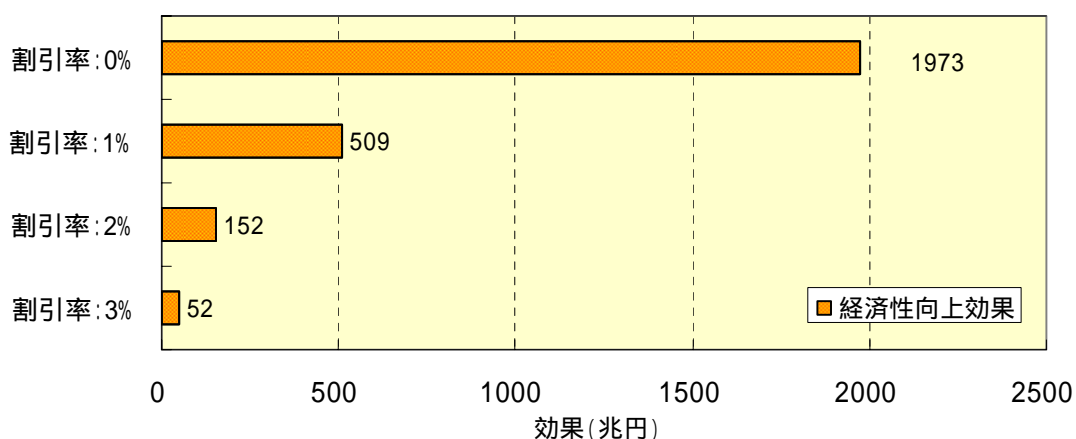


図 5.4.23 ナトリウム冷却炉金属燃料(高増殖)の割引率による効果の違い

発電原価等の影響

FBR 発電原価等をパラメータに評価した結果を図 5.4.24、図 5.4.25 に示す。ケース 1 の実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価を想定した場合は、FBR の発電原価が軽水炉の発電原価を下回ることと、FBR 導入により軽水炉の天然ウランの需要量が減るため、ウラン燃料価格上昇による発電原価上昇を回避できる効果により、ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースで約 169 兆円、ナトリウム冷却炉金属燃料のケースで約 152 兆円の効果が期待できる結果となった。

ケース 2 の FBR の導入時点の軽水炉と同等の発電原価を想定した場合は、将来の天然ウラン価格の上昇分だけ、FBR 発電原価が軽水炉の発電原価を下回る分の効果となるため、

発電コスト削減効果はあまり期待できないが、FBR の導入により軽水炉による天然ウランの需要が減るため、天然ウラン燃料価格の上昇による軽水炉発電原価上昇を回避できる効果により、ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースで約 35 兆円、ナトリウム冷却炉金属燃料のケースで約 39 兆円の効果が期待できる結果となった。ここで、FBR の導入ペースが早いナトリウム冷却金属燃料炉心の方が、天然ウラン価格の上昇を抑制する効果が早くから得られるため、ウラン燃料価格上昇抑制効果を大きくさせるプラスの効果となる。一方、FBR 導入時点の発電原価を軽水炉と同等とおいた想定の下では、FBR 発電原価の差による発電コスト削減効果の差がなくなる。このため、ウラン燃料価格上昇抑制効果が大きくなるナトリウム冷却炉金属燃料のケースの方が効果額はやや大きくなっている。

ケース 3 の FBR の設計ベースの建設費を 50% 増とした発電原価を想定した場合には、FBR の発電原価が軽水炉の発電原価に近づくため、実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価を想定した場合と比べ、発電コスト削減効果は小さくなるが、ウラン燃料価格上昇による発電原価上昇を回避できる効果もあり、ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースで約 107 兆円、ナトリウム冷却炉金属燃料のケースで約 82 兆円の効果が期待できる結果となった。

2030 年に FBR 導入を想定したケースでは、ナトリウム冷却炉 MOX 燃料のケースで約 215 兆円、ナトリウム冷却炉金属燃料のケースで約 201 兆円という大きな効果が得られ、早期導入の効果は大きいことを示している。

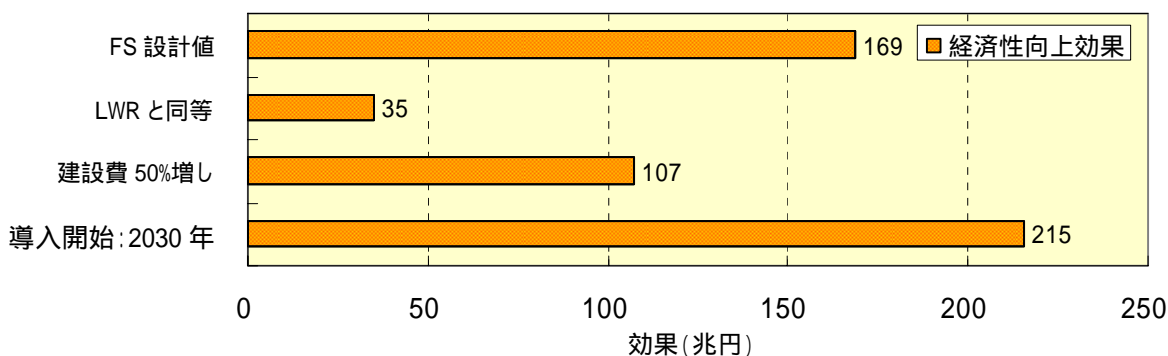


図 5.4.24 ナトリウム冷却炉 MOX 燃料(高増殖)の感度解析結果(世界導入ケース)

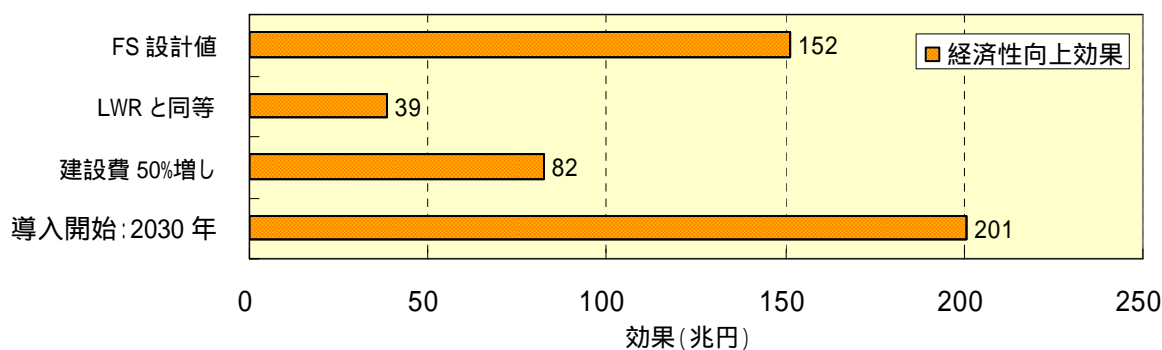


図 5.4.25 ナトリウム冷却炉金属燃料(高増殖)の感度解析結果(世界導入ケース)

5.5 投資対効果評価のまとめと今後の課題

本章では、FBRサイクル実用化戦略調査研究フェーズの最終評価において、投資対効果の観点からFBRサイクル候補概念の評価を実施した結果を述べた。投資対効果の評価は、多面的評価やFBR移行シナリオ評価とともに、総合評価の一翼を担い、FBRサイクルよりもたらされる効果を様々な角度から経済的価値に換算し評価した。候補概念のFBRサイクルについては、資源重視型炉心プラントの導入後、経済性重視型炉心プラントの導入を想定した移行シナリオに基づき評価し、比較ケースとしていくつかの感度解析も実施した。さらに、将来のエネルギー資源枯渇問題やCO₂排出などによる地球温暖化対策は地球規模の課題であるがゆえに、エネルギー供給システムは世界規模で検討する必要があるため、世界規模でFBRを導入した場合の投資対効果も評価した。

投資対効果の考え方としては、将来、原子力エネルギーが一定のシェアをもつことを前提に、そのシェアが徐々に軽水炉発電からFBR発電に置き換わっていくことを想定した。その場合、軽水炉がFBRにリプレースされたことにより得られる効果に加え、リプレースされない軽水炉発電部分にも天然ウラン燃料価格の上昇を抑制する効果が得られる。このような経済的効果を将来に渡って得られる効果額として試算した。その際、割引率を用いて将来の価値を現在価値に金銭価値換算して評価した。

投資対効果の評価は、一定の精度で定量的評価が可能であると考えられる直接的な効果として、次の2つの効果を考えた。「経済性向上効果」は経済性に直接関わる効果を評価するものとし、発電コストを削減できる効果、ウラン燃料価格の上昇を抑制する効果を想定した。また、「外部経済性向上効果」は間接的な効果を金銭価値換算により評価するものとし、ウラン燃料の輸入を削減する効果、環境への影響を低減する効果、生命リスクを低減する効果を想定した。ここで、環境影響(CO₂、SO_x、NO_x発生量)と人命リスクについては軽水炉とFBRは同等と仮定したため、「経済性向上効果」と、「外部経済性向上効果」のうちウラン燃料輸入削減効果を評価した。ただし、世界導入ケースは輸入を考慮しないため、「経済性向上効果」のみの評価を行った。

日本導入ケースについては、有望概念と考えられるナトリウム冷却大型炉 - MOX燃料、ナトリウム冷却大型炉 - 金属燃料、ヘリウムガス冷却大型炉 - 窒化物被覆粒子燃料の3ケースに加え、鉛 - ビスマス冷却中型炉と水冷却大型炉を加えた5つのケースを評価した。世界規模でFBRを導入した場合の投資対効果においては、ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型MOX炉心、ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型金属炉心の2つのケースを評価した。これらの主な結果を整理すれば以下のとおりである。

- リファレンスの条件(FBR導入を2050年開始とし、FBRサイクル実用化戦略調査研究の設計より得られる発電原価を用い、割引率を2%とした場合)において炉型ごとにFBR導入の効果を比較した結果、ナトリウム冷却MOX燃料のケースの効果が約11兆円ともっとも高く、次いでナトリウム冷却金属燃料のケースの効果が約10兆円、鉛 - ビスマス冷却窒化物燃料のケース約9兆円、ヘリウム冷却窒化物燃料のケース約8兆円、水冷却MOX燃料のケース約3兆円の経済効果が得られる。
- 割引率は効果額に大きく影響するパラメータである。割引率を0~3%まで変化させた場合、

3%が最も効果額が小さくなるが、投資を上回る経済効果が得られている。

- 発電原価は、発電コスト削減効果に直接影響し、またこの効果は経済性向上効果に占める割合が大きい。発電原価の感度解析から、実用化戦略調査研究での設計に基づく発電原価を想定した場合(ケース1)、FBRの導入時点の軽水炉と同等の発電原価を想定した場合(ケース2)、FBRの設計ベースの建設費を50%増とした発電原価を想定した場合(ケース3)の比較において、効果額が最も小さくなるのはケース2であるが、十分投資を上回る経済効果が得られた。
- COP3のCO₂制約を継続した場合の原子力発電設備容量(80GWe)を想定した場合は、FBR導入量が58GWeから80GWeに増えたことによりFBR導入ペース、最大導入量が大きく増大するため、効果額は増加する。
- FBRの導入時期を2030年とした結果は、FBRの導入ペースが早くなり、軽水炉の代替が早くから行われるため、発電コスト削減効果等により効果額は増加する。

以上の結果から、各炉型に対する移行シナリオに基づいた投資対効果は、いずれも投資を上回る経済効果があることがわかった。特に国内導入ケースでは、ナトリウム冷却大型炉 - MOX燃料とナトリウム冷却大型炉 - 金属燃料のケースは、他の炉型と比べて投資を上回る経済効果が最も大きく、ヘリウムガス冷却大型炉 - 窒化物被覆粒子燃料のケースも十分な効果額が得られた。世界導入ケースとしてのナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型MOX炉心、ナトリウム冷却大型炉 - 高増殖型金属炉心の両ケースについても、投資を上回る大きな経済効果が得られた。世界規模でFBRを実用化するために投資される研究開発費用は、今後のFBRに関する国際共同開発による費用分担の状況にも依存してくるものであるため、国際協力の進展により投資対効果はさらに期待できる可能性がある。

なお、超長期の解析においては、割引率の設定が評価結果に大きく影響する。今回の解析では、最近の日本経済の低成長・低インフレが今後も継続するとして予測した2%をリファレンスとし、感度解析として超長期の解析を実施する際にはやや大きめの値と考えられる3%のケースも実施したが、得られた効果額の解釈に対しては、割引率により大きく影響していることに留意すべきであるとともに、割引率の設定には細心の注意が必要である。

今後の課題として、評価方法の信頼性や評価の高度化が考えられる。本評価方法については、将来の予測であることから、解析条件としていくつかの仮定をおいたものとなっている。将来の発電原価の推計、天然ウラン価格やその上昇、エネルギーショックなどの求め方など、日々刻々と変化するパラメータの設定の信頼性向上が望まれる。また、発電原価の想定など、本来不確実性を含むと考えられるため、得られた効果額に対する不確実性を考慮した評価も検討する必要がある。評価の高度化方策としては、FBR導入によってもたらされる社会的・経済的な影響として広く捉えて評価することが必要である。このため、市場における価格メカニズム等を反映し、社会のさまざまな分野に影響が波及していく過程を考慮して評価できるエネルギー経済モデルを開発し、定量的な分析を行っていく必要がある。

[参考文献]

- 1) 篠田佳彦 他：“総合評価技術検討書 - 実用化戦略調査研究（フェーズ ）成果報告 - ”，JNC TN9400 2001-061 (2001)
- 2) 塩谷洋樹 他：“FBRサイクル研究開発に関する投資対効果評価手法の開発”，サイクル機構技報 No.16，JNC TN1340 2002-002 (2002)
- 3) 塩谷洋樹 他：“FBR サイクル研究開発の投資対効果評価（研究報告）”，JNC TN9400 2002-048 p.93-104 (2002)
- 4) 塩谷洋樹 他：“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究（フェーズ ） 中間報告 - 総合評価技術検討書 - ”，JNC TN9400 2004-052 (2004)
- 5) 原子力委員会：“新計画策定会議”，(online) available from <http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki_saku.htm>
- 6) 原子力委員会：“原子力政策大綱”，(online) available from <<http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki.htm>>
- 7) 原子力委員会：原子力委員会第16回新計画策定会議(2005年1月13日) の参考資料3及び第17回新計画策定会議(2005年1月28日)の参考資料2，“高速増殖炉サイクルの研究開発投資効果”，核燃料サイクル開発機構，(online) available from <http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei2004/sakutei17/sakutei_si17.htm>
- 8) 川崎弘嗣，小野清，安松直人：“世界を対象としたFBRサイクルの研究開発投資効果の評価”，日本原子力学会2005年秋の大会予稿集，M11，p634，2005.9
- 9) 川崎弘嗣 他：“世界を対象とした高速増殖炉サイクルの研究開発投資効果”，JAEA-Research 2006-001，(2006)
- 10) 芝剛史 他：“FBR 研究開発に関する投資対効果評価システム概念の構築”，三菱総合研究所，JNC TJ9400 99-006 (1999)
- 11) 芝剛史 他：“FBR 研究開発の投資対効果評価システムの詳細検討”，三菱総合研究所，JNC TJ9440 2000-011 (2000)
- 12) 芝剛史 他：“投資対効果評価システムの開発，三菱総合研究所”，JNC TJ9400 2001-018 (2001)
- 13) 武井満男：“原子力産業”，同文書院，p.160-161 (1988)
- 14) IIASA/WEC：“GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES”，(1998)
- 15) OECD/NEA IAEA：“Uranium 2003:Resources, Production and Demand”，p.18-21(2004)
- 16) 原子力委員会 新計画策定会議 技術検討小委員会：“基本シナリオの核燃料サイクルコスト比較に関する報告書”，p.70-95(2004) ，(online) available from <<http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryu2004/kettei/sakutei041124.pdf>> (accessed 2005-12-15)
- 17) 原子力委員会：“第9回新計画策定会議 資料第13号「核燃料サイクル諸量の分析について(改訂版)」“(2004) ，(online) available from <http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei2004/sakutei09/sakutei_si09.htm> (accessed 2005-12-15)
- 18) 小野清 他：“FBRサイクル導入シナリオの検討（ ）-サイクル諸量の観点からのFBR導入シナリオの評価”，JNC TN9400 2003-061 (2003)
- 19) 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会：“バックエンド事業全般に

- わたるコスト構造、原子力発電全体の収益性等の分析・評価“,p.51-53 (2004)
- 20) OECD/NEA : “Projected Costs of Generating Electricity 2005 Update“, p27-52 (2005)
- 21) TradeTech社 : “Uranium・Info「U₃O₈ Monthly Spot」”, (2004) , (online) available from
<<http://www.uranium.info/prices/monthly.html>> (accessed 2005-12-13)
- 22) 東京電力 : “TEPCO REPORT ”107, p.16-17(2004)

6. おわりに

高速炉サイクル実用化戦略調査研究フェーズ の後半(平成16年度～17年度)において、原子炉と燃料サイクルの整合性を考慮して組み合わせられた20ケースのFBRサイクル候補概念を対象に、多面的評価、FBR導入シナリオ評価、および投資対効果評価を行った。

多面的評価においては、まず、評価指標構造の構築、評価基準の設定、視点間や指標間の重み付けの設定など評価手法の開発に取り組んだ。FBRサイクル候補概念を対象とした多面的評価では、開発目標ならびに具体的な設計要求を設定した「安全性」、「経済性」、「環境負荷低減性」、「資源有効利用性」、および「核拡散抵抗性」の5つの視点に「技術的実現性」を加え基本とし、さらに参考として「社会的受容性」と「事業容易性」の2つの視点を加えて、合計8つの視点から開発目標に対する達成度評価を実施した。「経済性」においては新たに投資リスクの項目を追加した。各視点間の重みは、普通の市民、電気事業者、および有識者を対象に行ったアンケート結果を基に重みを抽出し、設定した。

合否判定の視点である「安全性」と参考として取り上げた「社会的受容性」と「事業容易性」の3つを除いた残り5つの視点から多面的評価を行った結果、炉型別で比較した場合、ほとんどの重み付けのケースにおいて、各視点でバランス良く平均点の高いナトリウム冷却炉サイクル(MOX燃料、金属燃料)が高い評価を受けることが分かった。次いで、鉛ビスマス炉サイクル、ヘリウム冷却炉サイクルと続く。「技術的実現性」に優れる水冷却炉サイクルは、経済性や資源有効利用性で劣る部分をカバーし、普通の市民の重み付けでは鉛ビスマス炉サイクルに匹敵する評価が得られることが分かった。また、参考で実施した「事業容易性」の視点からはナトリウム冷却炉サイクル(MOX燃料)と水冷却炉サイクルが優れており、「社会的受容性」の視点からは恐怖性が低く既知性の高いヘリウム冷却炉サイクルと水冷却炉サイクルが優れていることが分かった。また、全ての重み付けのケースにおいて、燃料サイクルの影響は炉型間の差ほど大きくなかったが、「経済性」については規模の経済効果により小規模システムと大規模システムの間で若干差が生じ、「環境負荷低減性」では、湿式と乾式など燃料サイクルシステムによって廃棄物側への核種移行率に違いがあることからやや差が見られる。

また、「経済性」、「環境負荷低減性」の2つの指標については、FBRサイクル導入シナリオ評価に合わせ時系列評価を実施した。その結果、多面的評価結果と同様、ナトリウム冷却炉サイクル(MOX燃料、金属燃料)が高い評価を受けることが分かった。今後は、各指標構造の改良を進めるとともに、評価基準の見直しなど多面的評価手法の開発に継続的に取り組む。

一方、FBRサイクルの電源としての特徴を把握するために、代表的なFBRサイクル候補概念と軽水炉ワンスルーや火力発電などの他の大規模電源との多面的評価を実施した。評

価は、FBR サイクル候補概念間の多面的評価とほぼ同様の手法を用い、「経済性」、「資源供給性」、「放射性物質」、「環境影響低減性」、「社会不安定影響性」、「導入性」、「心理的バイアス低減性」、「事業容易性」の8つの視点から行った。「放射性物質」、「社会不安定影響性」、および「心理的バイアス低減性」を重視した重み付けでは、火力発電の評価点が高くなる傾向が見られる。また、「資源供給性」、「放射性物質」を重視した重み付けで軽水炉（ワンズルー及びプルサーマル）の評価点が低めであるものの、FBR サイクルの導入により、「経済性」、「資源供給性」などの観点を改善できることが示された。今後、評価基準および入力データの全体的な信頼性向上を図り、より精度の高い評価を実施する必要がある。

FBR サイクル導入シナリオ評価では、フェーズ で新たに開発した FAMILY-21 コードを用いて、多面的評価で取り上げた20ケースを代表的な5つのグループのFBR サイクル候補概念（主に炉型別概念）に整理して、国内（全体、地域）および世界全体を対象としたサイクル諸量解析を行った。

「環境負荷低減（MA 処分量削減）」、「ウラン資源節約」、「経済性」、「需要変動（原子力発電設備容量58～約100GWe）への柔軟性」を追求したシナリオ評価からは、将来のFBR サイクルについて、炉内プルトニウムインベントリが小さくブランケット領域の運用により資源重視型炉心、経済性重視型炉心などに増殖性能に対して柔軟に対応できる能力を有する炉心、また、炉心全体の平均燃焼度が高く再処理量などの各諸量が小さい炉心が望しいことが分かった。発電設備容量58GWeでFBR導入を2050年と想定した場合、サイクル諸量評価上、総じてナトリウム冷却炉サイクル（MOX燃料、金属燃料）の性能が良いことが分かった。また、世界規模のニーズを考慮した場合には、国内シナリオを念頭に置いた資源重視型FBR サイクル概念の増殖性能をさらに強化したオプションが必要となる。

今後は、フェーズ で絞り込まれた有望な概念を中心に、最新のFBR サイクルの概念設計を用いて、原子力利用の持続化や多様化に向け高速増殖炉と軽水炉の共存など幅広い将来シナリオを具体的に提示していく予定である。

投資対効果評価では、これまでに開発した投資対効果評価システムを用い、代表的な5つのグループのFBR サイクル候補概念を対象に評価を実施した。評価は、発電コスト削減効果など経済性に直接かかわる効果「経済性向上効果」とウラン燃料の輸入削減効果など間接的な効果「外部経済性向上効果」の2つの側面について行った。国内を対象とした評価では、いずれの候補概念も投資を上回る経済効果があることが分かった。なかでも発電コストの安いあるいは導入ペースが速いナトリウム冷却炉サイクル（MOX燃料、金属燃料）は他の炉型と比べて投資を上回る経済効果が大きく、また、鉛ビスマス冷却炉サイクルとヘリウム冷却炉サイクルも十分な経済効果が得られた。一方、世界規模にFBRを導入した投資対効果評価では、国内評価に比べてさらに大きな経済効果があることが分かった。今

後、エネルギー経済モデルを取り込んだ FBR の導入影響を評価できる手法を開発し、マクロ経済の観点からより包括的な評価に取り組む予定である。

フェーズ では、多面的評価、シナリオ評価および投資対効果評価の 3 つの中間評価等の結果に基づき、経済性や資源有効利用性等の設計要求の設定において、発電原価（4.0 円/kWh）や増殖性能（増殖比 1.1 程度）等について具体的な提言を行った。平成 18 年度以降の実用化研究においては、フェーズ の最終評価結果を基に日本国内だけでなく世界の情勢を鑑み、経済性の一層の向上あるいはより高い増殖性能のオプションの必要性等が求められることが考えられる。このような将来の社会ニーズに適合したより完成度の高い FBR サイクル候補概念の構築を目指して、詳細なシナリオ評価や適切な多面的評価を実施し、設計研究等に適宜フィードバックする予定である。

謝辞

実用化戦略調査研究における総合評価を進めるにあたり御協力いただいた（株）三菱総合研究所に深く感謝致します。さらに、評価手法開発のさまざまな局面でご協力・ご支援をいただいた核不拡散科学技術センター核物質管理室、核燃料サイクル工学研究所リスクコミュニケーション室、同放射線管理部、同サイクル工学試験部、同環境技術管理部、同再処理技術開発センター技術開発部・環境保全部、同プルトニウム燃料技術開発センター技術部・燃料技術部、大洗研究開発センター安全管理部、同技術開発部の方々に深く感謝いたします。

また、本書の構成等にご指導いただいた次世代原子力システム研究開発部門研究開発推進室の方々に深く感謝致します。

付録1 FBR 候補概念および軽水炉・もんじゅの炉特性データ

資源有効利用性に関する検討(3.3.4節)および軽水炉サイクルからFBRサイクルへの移行シナリオ評価(4章)で使用したFBR候補概念の炉特性データを付表1.1~付表1.5に示す。また、軽水炉およびもんじゅの炉特性データを付表1.6に示す。

なお、炉特性データは電気出力1GWe(発電端)あたりに規格化している。

付表 1.1 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース1-1~2-1)

多面的評価ケース	ケース1-1			ケース1-2			ケース1-3			ケース2-1		
炉/燃料	Na冷却大型炉MOX燃料			Na冷却大型炉MOX燃料			Na冷却大型炉MOX燃料			Na冷却大型炉MOX燃料		
再処理	先進湿式			先進湿式			先進湿式			先進湿式		
燃料製造	簡素化ペレット			簡素化ペレット			簡素化ペレット			振動充填		
炉心	資源重視型			経済性重視型			経済性重視型			資源重視型		
電気出力(GWe)	1.00			1.00			1.00			1.00		
熱出力(MWth)	2,380			2,380			2,380			2,380		
増殖比	1.10			1.03			1.03			1.10		
全炉心平均燃焼度(MWd/t)	90,000			114,900			89,000			82,600		
運転/定検(月)	26.3/1.5			26.3/1.5			26.3/1.5			25.3/1.5		
稼働率(%)	94.6			94.6			94.6			94.4		
プラント寿命(年)	60			60			60			60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ
初装荷燃料												
重金屬(t)	47.883	21.050	15.694	47.881	18.415		47.922	26.308	11.207	45.670	27.440	15.792
ウラン(t)	38.061	21.050	15.694	38.007	18.415		36.709	26.308	11.207	35.560	27.440	15.792
プルトニウム(t)	9.380	0.000	0.000	9.429	0.000		10.709	0.000	0.000	9.655	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t)	5.736	0.000	0.000	5.766	0.000		6.548	0.000	0.000	5.904	0.000	0.000
MA(t)	0.442	0.000	0.000	0.445	0.000		0.505	0.000	0.000	0.455	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.301
平衡装荷燃料												
重金屬(t/年)	5.168	2.272	1.694	5.167	1.987		5.172	2.839	1.209	5.110	3.070	1.767
ウラン(t/年)	4.108	2.272	1.694	4.102	1.987		3.962	2.839	1.209	3.979	3.070	1.767
プルトニウム(t/年)	1.012	0.000	0.000	1.018	0.000		1.156	0.000	0.000	1.080	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.619	0.000	0.000	0.622	0.000		0.707	0.000	0.000	0.661	0.000	0.000
MA(t/年)	0.048	0.000	0.000	0.048	0.000		0.055	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.301
初期取出燃料												
重金屬(t/年)	4.974	2.261	1.691	4.971	1.977		4.975	2.829	1.207	4.915	3.058	1.764
ウラン(t/年)	3.937	2.231	1.678	3.929	1.949		3.806	2.794	1.198	3.813	3.021	1.752
プルトニウム(t/年)	0.989	0.030	0.013	0.993	0.028		1.113	0.035	0.010	1.051	0.037	0.012
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.600	0.028	0.013	0.602	0.026		0.671	0.032	0.009	0.637	0.033	0.012
MA(t/年)	0.048	0.000	0.000	0.048	0.000		0.056	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.257	0.271	0.282	0.257	0.269		0.258	0.273	0.281	0.257	0.271	0.282
平衡取出燃料												
重金屬(t/年)	4.393	2.231	1.683	4.380	1.947		4.384	2.797	1.201	4.330	3.020	1.757
ウラン(t/年)	3.424	2.108	1.629	3.410	1.833		3.340	2.658	1.162	3.316	2.872	1.708
プルトニウム(t/年)	0.920	0.122	0.053	0.921	0.114		0.985	0.139	0.038	0.963	0.148	0.049
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.541	0.111	0.050	0.540	0.103		0.564	0.127	0.036	0.566	0.134	0.046
MA(t/年)	0.049	0.000	0.000	0.049	0.000		0.060	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.103	0.177	0.223	0.100	0.168		0.110	0.187	0.220	0.102	0.177	0.223
廃炉取出燃料												
重金屬(t)	43.327	20.842	15.635	43.262	18.218		43.217	26.095	11.160	41.248	27.195	15.740
ウラン(t)	34.000	20.088	15.321	33.912	17.515		32.995	25.228	10.925	31.763	26.315	15.463
プルトニウム(t)	8.876	0.752	0.313	8.897	0.702		9.680	0.865	0.235	9.027	0.878	0.276
核分裂性プルトニウム(t)	5.302	0.699	0.301	5.305	0.650		5.666	0.810	0.225	5.393	0.816	0.265
MA(t)	0.451	0.002	0.001	0.452	0.002		0.542	0.002	0.001	0.458	0.002	0.001
ウラン濃縮度(%)	0.161	0.218	0.251	0.159	0.212		0.166	0.224	0.247	0.161	0.218	0.251
備考	国内シナリオ評価グループ			国内シナリオ評価グループ								

付表 1.2 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 2-2 ~ 4-1)

多面的評価ケース	ケース2-2			ケース3-1			ケース3-2			ケース4-1		
炉/燃料 再処理 燃料製造 炉心	Na冷却大型炉MOX燃料 先進湿式 振動充填 経済性重視型			Na冷却大型炉MOX燃料 先進湿式 簡素化ペレット 資源重視型			Na冷却大型炉MOX燃料 先進湿式 簡素化ペレット 経済性重視型			Na冷却大型炉MOX燃料 超臨界直接抽出 簡素化ペレット 資源重視型		
電気出力(GWe)	1.00			1.00			1.00			1.00		
熱出力(MWth)	2,380			2,380			2,380			2,380		
増殖比	1.03			1.10			1.03			1.10		
全炉心平均燃焼度(MWd/t)	103,500			90,000			114,900			90,000		
運転/定検(月)	25.3/1.5			26.3/1.5			26.3/1.5			26.3/1.5		
稼働率(%)	94.4			94.6			94.6			94.6		
プラント寿命(年)	60			60			60			60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ
初装荷燃料												
重金屬(t)	45.668	25.149		47.883	21.050	15.694	47.881	18.415		47.883	21.050	15.694
ウラン(t)	35.507	25.149		38.061	21.050	15.694	38.007	18.415		38.061	21.050	15.694
プルトニウム(t)	9.704	0.000		9.380	0.000	0.000	9.429	0.000		9.380	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t)	5.934	0.000		5.736	0.000	0.000	5.766	0.000		5.736	0.000	0.000
MA(t)	0.457	0.000		0.442	0.000	0.000	0.445	0.000		0.442	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300		0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.300	0.301
平衡装荷燃料												
重金屬(t/年)	5.110	2.814		5.168	2.272	1.694	5.167	1.987		5.168	2.272	1.694
ウラン(t/年)	3.973	2.814		4.108	2.272	1.694	4.102	1.987		4.108	2.272	1.694
プルトニウム(t/年)	1.086	0.000		1.012	0.000	0.000	1.018	0.000		1.012	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.664	0.000		0.619	0.000	0.000	0.622	0.000		0.619	0.000	0.000
MA(t/年)	0.051	0.000		0.048	0.000	0.000	0.048	0.000		0.048	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300		0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.300	0.301
初期取出燃料												
重金屬(t/年)	4.911	2.801		4.974	2.261	1.691	4.971	1.977		4.974	2.261	1.691
ウラン(t/年)	3.805	2.766		3.937	2.231	1.678	3.929	1.949		3.937	2.231	1.678
プルトニウム(t/年)	1.055	0.036		0.989	0.030	0.013	0.993	0.028		0.989	0.030	0.013
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.639	0.032		0.600	0.028	0.013	0.602	0.026		0.600	0.028	0.013
MA(t/年)	0.051	0.000		0.048	0.000	0.000	0.048	0.000		0.048	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.257	0.269		0.257	0.271	0.282	0.257	0.269		0.257	0.271	0.282
平衡取出燃料												
重金屬(t/年)	4.314	2.763		4.393	2.231	1.683	4.380	1.947		4.393	2.231	1.683
ウラン(t/年)	3.302	2.621		3.424	2.108	1.629	3.410	1.833		3.424	2.108	1.629
プルトニウム(t/年)	0.961	0.142		0.920	0.122	0.053	0.921	0.114		0.920	0.122	0.053
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.563	0.128		0.541	0.111	0.050	0.540	0.103		0.541	0.111	0.050
MA(t/年)	0.051	0.000		0.049	0.000	0.000	0.049	0.000		0.049	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.100	0.168		0.103	0.177	0.223	0.100	0.168		0.103	0.177	0.223
廃炉取出燃料												
重金屬(t)	41.170	24.910		43.327	20.842	15.635	43.262	18.218		43.327	20.842	15.635
ウラン(t)	31.679	24.062		34.000	20.088	15.321	33.912	17.515		34.000	20.088	15.321
プルトニウム(t)	9.033	0.846		8.876	0.752	0.313	8.897	0.702		8.876	0.752	0.313
核分裂性プルトニウム(t)	5.387	0.784		5.302	0.699	0.301	5.305	0.650		5.302	0.699	0.301
MA(t)	0.459	0.002		0.451	0.002	0.001	0.452	0.002		0.451	0.002	0.001
ウラン濃縮度(%)	0.159	0.212		0.161	0.218	0.251	0.159	0.212		0.161	0.218	0.251
備考												

付表 1.3 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 4-2 ~ 6-1)

多面的評価ケース	ケース4-2			ケース5-1			ケース5-2			ケース6-1		
炉/燃料 再処理 燃料製造 炉心	Na冷却大型炉MOX燃料 超臨界直接抽出 簡素化ペレット 経済性重視型			Na冷却大型炉MOX燃料 酸化物電解 振動充填 資源重視型			Na冷却大型炉MOX燃料 酸化物電解 振動充填 経済性重視型			Na冷却大型炉金属燃料 金属電解 射出鑄造 資源重視型		
電気出力(GWe)	1.00			1.00			1.00			1.00		
熱出力(MWth)	2,380			2,380			2,380			2,380		
増殖比	1.03			1.10			1.03			1.11		
全炉心平均燃焼度(MWd/t)	114,900			80,900			102,400			134,000		
運転/定検(月)	26.3/1.5			25.3/1.5			25.3/1.5			22/1.5		
稼働率(%)	94.6			94.4			94.4			93.6		
プラント寿命(年)	60			60			60			60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ
初装荷燃料												
重金属(t)	47.881	18.415		45.784	28.126	16.779	45.782	25.778		62.314	8.987	
ウラン(t)	38.007	18.415		35.649	28.126	16.779	35.596	25.778		55.160	8.987	
プルトニウム(t)	9.429	0.000		9.679	0.000	0.000	9.728	0.000		6.940	0.000	
核分裂性プルトニウム(t)	5.766	0.000		5.919	0.000	0.000	5.949	0.000		4.889	0.000	
MA(t)	0.445	0.000		0.456	0.000	0.000	0.459	0.000		0.214	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300		0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.300	
平衡装荷燃料												
重金属(t/年)	5.167	1.987		5.123	3.147	1.877	5.123	2.884		5.304	0.765	
ウラン(t/年)	4.102	1.987		3.989	3.147	1.877	3.983	2.884		4.695	0.765	
プルトニウム(t/年)	1.018	0.000		1.083	0.000	0.000	1.088	0.000		0.591	0.000	
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.622	0.000		0.662	0.000	0.000	0.666	0.000		0.416	0.000	
MA(t/年)	0.048	0.000		0.051	0.000	0.000	0.051	0.000		0.018	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300		0.300	0.300	0.301	0.300	0.300		0.300	0.298	
初期取出燃料												
重金属(t/年)	4.971	1.977		4.927	3.134	1.875	4.923	2.871		5.165	0.761	
ウラン(t/年)	3.929	1.949		3.823	3.096	1.862	3.815	2.835		4.545	0.754	
プルトニウム(t/年)	0.993	0.028		1.054	0.038	0.013	1.057	0.036		0.601	0.008	
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.602	0.026		0.639	0.034	0.012	0.640	0.033		0.423	0.007	
MA(t/年)	0.048	0.000		0.051	0.000	0.000	0.051	0.000		0.019	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.257	0.269		0.257	0.271	0.282	0.257	0.269		0.270	0.276	
平衡取出燃料												
重金属(t/年)	4.380	1.947		4.341	3.096	1.867	4.323	2.832		4.470	0.744	
ウラン(t/年)	3.410	1.833		3.325	2.944	1.815	3.310	2.686		3.797	0.696	
プルトニウム(t/年)	0.921	0.114		0.965	0.152	0.052	0.961	0.146		0.652	0.047	
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.540	0.103		0.567	0.138	0.049	0.564	0.131		0.455	0.043	
MA(t/年)	0.049	0.000		0.051	0.000	0.000	0.051	0.000		0.021	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.100	0.168		0.102	0.177	0.223	0.100	0.168		0.078	0.152	
廃炉取出燃料												
重金属(t)	43.262	18.218		41.351	27.875	16.723	41.263	25.533		56.651	8.864	
ウラン(t)	33.912	17.515		31.843	26.969	16.430	31.758	24.665		48.847	8.507	
プルトニウム(t)	8.897	0.702		9.050	0.903	0.293	9.045	0.867		7.572	0.355	
核分裂性プルトニウム(t)	5.305	0.650		5.406	0.840	0.282	5.395	0.803		5.363	0.334	
MA(t)	0.452	0.002		0.459	0.002	0.001	0.459	0.002		0.233	0.001	
ウラン濃縮度(%)	0.159	0.212		0.161	0.218	0.251	0.159	0.212		0.147	0.205	
備考										国内シナリオ評価グループ		

付表 1.4 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 6-2 ~ 8-1)

多面的評価ケース	ケース6-2			ケース7-1			ケース7-2			ケース8-1		
	Na冷却大型炉金属燃料 金属電解 射出鑄造 炉心 経済性重視型			Na冷却大型炉金属燃料 金属電解 射出鑄造 資源重視型			Na冷却大型炉金属燃料 金属電解 射出鑄造 経済性重視型			Pb-Bi冷却中型炉窒化物燃料 先進湿式 簡素化ベレット 資源重視型		
電気出力(GWe)	1.00			1.00			1.00			1.00		
熱出力(MWth)	2,380			2,380			2,380			2,640		
増殖比	1.03			1.11			1.03			1.10		
全炉心平均燃焼度(MWd/t)	153,000			134,000			153,000			104,700		
運転/定検(月)	22/1.5			22/1.5			22/1.5			18/1.3		
稼働率(%)	93.6			93.6			93.6			93.4		
プラント寿命(年)	60			60			60			60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ
初装荷燃料												
重金属(t)	62.314			62.314	8.987		62.314			51.795	31.138	
ウラン(t)	54.851			55.160	8.987		54.851			41.761	31.138	
プルトニウム(t)	7.240			6.940	0.000		7.240			9.583	0.000	
核分裂性プルトニウム(t)	5.100			4.889	0.000		5.100			5.861	0.000	
MA(t)	0.224			0.214	0.000		0.224			0.451	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.300			0.300	0.300		0.300			0.301	0.301	
平衡装荷燃料												
重金属(t/年)	5.304			5.304	0.765		5.304			5.368	3.227	
ウラン(t/年)	4.669			4.695	0.765		4.669			4.328	3.227	
プルトニウム(t/年)	0.616			0.591	0.000		0.616			0.993	0.000	
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.434			0.416	0.000		0.434			0.607	0.000	
MA(t/年)	0.019			0.018	0.000		0.019			0.047	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.300			0.300	0.298		0.300			0.301	0.301	
初期取出燃料												
重金属(t/年)	5.163			5.165	0.761		5.163			5.226	3.217	
ウラン(t/年)	4.520			4.545	0.754		4.520			4.207	3.187	
プルトニウム(t/年)	0.623			0.601	0.008		0.623			0.972	0.030	
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.438			0.423	0.007		0.438			0.593	0.027	
MA(t/年)	0.019			0.019	0.000		0.019			0.047	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.269			0.270	0.276		0.269			0.271	0.281	
平衡取出燃料												
重金属(t/年)	4.459			4.470	0.744		4.459			4.520	3.166	
ウラン(t/年)	3.777			3.797	0.696		3.777			3.605	2.987	
プルトニウム(t/年)	0.660			0.652	0.047		0.660			0.869	0.178	
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.457			0.455	0.043		0.457			0.519	0.164	
MA(t/年)	0.022			0.021	0.000		0.022			0.046	0.000	
ウラン濃縮度(%)	0.077			0.078	0.152		0.077			0.094	0.178	
廃炉取出燃料												
重金属(t)	56.521			56.651	8.864		56.521			46.917	30.844	
ウラン(t)	48.552			48.847	8.507		48.552			37.577	29.739	
プルトニウム(t)	7.727			7.572	0.355		7.727			8.890	1.103	
核分裂性プルトニウム(t)	5.441			5.363	0.334		5.441			5.366	1.040	
MA(t)	0.241			0.233	0.001		0.241			0.450	0.002	
ウラン濃縮度(%)	0.146			0.147	0.205		0.146			0.162	0.222	
備考	国内シナリオ評価グループ						国内シナリオ評価グループ					

付表 1.5 FBR 候補概念の炉特性データ(多面的評価ケース 8-2 ~ 10)

多面的評価ケース	ケース8-2			ケース9-1			ケース9-2			ケース10		
炉/燃料 再処理 燃料製造 炉心	Pb-Bi冷却中型炉窒化物燃料 先進湿式 簡素化ペレット 経済性重視型			He冷却大型炉窒化物被覆粒子燃料 先進湿式 被覆粒子製造 資源重視型			He冷却大型炉窒化物被覆粒子燃料 先進湿式 被覆粒子製造 経済性重視型			水冷却大型炉MOX燃料 先進湿式 簡素化ペレット		
電気出力(GWe)	1.00			1.00			1.00			1.00		
熱出力(MWth)	2,640			2,135			2,135			2,895		
増殖比	1.04			1.11			1.03			1.05		
全炉心平均燃焼度(MWd/t)	128,000			69,000			89,000			45,000		
運転/定検(月)	18/1.3			18/1.6			18/1.6			18/1.4		
稼働率(%)	93.4			91.9			91.9			92.6		
プラント寿命(年)	60			60			60			60		
	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	内部ブラ
初装荷燃料												
重金属(t)	51.796	16.014		49.933	31.867	16.600	49.933	28.667		62.869	43.156	58.968
ウラン(t)	41.882	16.014		37.867	31.867	16.600	38.067	28.667		43.732	43.142	58.997
プルトニウム(t)	9.468	0.000		11.533	0.000	0.000	11.333	0.000		18.953	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t)	5.790	0.000		7.000	0.000	0.000	6.933	0.000		10.988	0.000	0.000
MA(t)	0.446	0.000		0.542	0.000	0.000	0.537	0.000		0.192	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300		0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		0.199	0.200	0.200
平衡装荷燃料												
重金属(t/年)	5.368	1.660		5.103	3.266	1.715	5.103	2.940		8.112	5.602	7.652
ウラン(t/年)	4.340	1.660		3.879	3.266	1.715	3.879	2.940		5.320	5.593	7.639
プルトニウム(t/年)	0.981	0.000		1.184	0.000	0.000	1.184	0.000		2.614	0.000	0.000
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.600	0.000		0.735	0.000	0.000	0.694	0.000		1.466	0.000	0.000
MA(t)	0.046	0.000		0.055	0.000	0.000	0.055	0.000		0.170	0.000	0.000
ウラン濃縮度(%)	0.300	0.300		0.299	0.299	0.298	0.300	0.299		0.202	0.200	0.200
初期取出燃料												
重金属(t/年)	5.226	1.650		4.981	3.225	1.674	4.981	2.899				
ウラン(t/年)	4.218	1.630		3.797	3.185	1.674	3.797	2.899				
プルトニウム(t/年)	0.962	0.020		1.143	0.041	0.000	1.143	0.041				
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.586	0.018		0.694	0.041	0.000	0.694	0.041				
MA(t)	0.046	0.000		0.057	0.000	0.000	0.056	0.000				
ウラン濃縮度(%)	0.271	0.275		0.273	0.277	0.288	0.273	0.272				
平衡取出燃料												
重金属(t/年)	4.516	1.602		4.450	3.144	1.674	4.450	2.817		7.398	5.465	7.493
ウラン(t/年)	3.607	1.481		3.307	2.980	1.633	3.307	2.654		5.047	5.274	7.230
プルトニウム(t/年)	0.863	0.121		1.062	0.204	0.041	1.021	0.163		2.237	0.183	0.251
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.517	0.108		0.572	0.163	0.041	0.572	0.163		1.140	0.156	0.214
MA(t)	0.045	0.000		0.065	0.002	0.000	0.064	0.002		0.153	0.003	0.004
ウラン濃縮度(%)	0.094	0.134		0.127	0.144	0.220	0.123	0.132		0.140	0.068	0.067
廃炉取出燃料												
重金属(t)	46.895	15.739		46.200	31.400	16.533	46.133	28.200		59.351	42.603	58.237
ウラン(t)	37.633	14.970		34.800	30.200	16.333	34.867	27.133		39.823	41.667	56.932
プルトニウム(t)	8.818	0.767		10.800	1.200	0.267	10.733	1.133		18.289	0.944	1.291
核分裂性プルトニウム(t)	5.334	0.707		6.267	1.067	0.267	6.200	1.000		9.661	0.826	1.128
MA(t)	0.444	0.001		0.605	0.008	0.001	0.599	0.008		1.234	0.014	0.019
ウラン濃縮度(%)	0.161	0.192		0.100	0.199	0.249	0.184	0.191		0.169	0.097	0.097
備考	国内シナリオ評価グループ			国内シナリオ評価グループ			国内シナリオ評価グループ			国内シナリオ評価グループ		

付表 1.6 軽水炉およびもんじゅの炉特性データ

炉型	BWR		PWR		BWR フルサーマル		PWR フルサーマル		BWR フルMOX	もんじゅ		
										炉心	軸ブラ	径ブラ
電気出力(GWe)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
燃焼度(MWd/t)	45,000	60,000	49,000	60,000	45,000	60,000	49,000	60,000	45,000	80,000		
稼働率(%)	80.0	90.0	80.0	90.0	80.0	90.0	80.0	90.0	80.0	71.2		
プラント寿命(年)	60	60	60	60	60	60	60	60	60			
					1/3MOX	1/3MOX	1/3MOX	1/3MOX				
初装荷燃料												
重金属(t)	111.9	111.9	77.1	77.1	37.1	37.1	25.7	25.7	111.4	21.0	16.0	45.7
ウラン(t)	111.9	111.9	77.1	77.1	36.1	35.8	24.6	24.4	108.2	15.5	16.0	45.7
プルトニウム(t)	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.38	1.07	1.30	3.17	5.50	0.00	0.00
核分裂性プルトニウム(t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.81	0.73	0.87	1.84	3.43	0.00	0.00
MA(t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
ウラン濃縮度(%)	3.4	4.5	3.2	3.8	2.4	3.0	0.2	0.2	2.4	0.3	0.3	0.3
平衡装荷燃料												
重金属(t/年)	18.7	15.9	17.3	15.9	6.2	5.3	5.8	5.3	18.7	7.4	5.6	16.0
ウラン(t/年)	18.7	15.9	17.3	15.9	5.8	4.8	5.4	4.9	17.5	5.3	5.6	16.0
プルトニウム(t/年)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.44	0.34	0.38	1.22	2.10	0.00	0.00
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.27	0.23	0.26	0.75	1.31	0.00	0.00
MA(t/年)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
ウラン濃縮度(%)	3.8	4.9	4.6	5.3	1.3	1.3	0.2	0.2	1.3	0.3	0.3	0.3
初期取出燃料												
重金属(t/年)	21.4	18.3	16.7	15.3	7.1	6.1	5.6	5.1	21.4			
ウラン(t/年)	21.2	18.1	16.6	15.1	6.9	5.9	5.4	4.9	20.8			
プルトニウム(t/年)	0.19	0.18	0.17	0.17	0.19	0.20	0.17	0.17	0.56			
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.12	0.11	0.12	0.11	0.09	0.09	0.10	0.09	0.28			
MA(t/年)	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04			
ウラン濃縮度(%)	0.7	0.8	0.9	0.8	0.6	0.7	0.1	0.1	0.6			
平衡取出燃料												
重金属(t/年)	17.9	14.9	16.5	14.9	6.0	5.0	5.5	5.0	17.9	6.8	5.6	16.0
ウラン(t/年)	17.7	14.7	16.3	14.7	5.7	4.6	5.3	4.8	17.0	4.9	5.4	15.8
プルトニウム(t/年)	0.17	0.17	0.19	0.19	0.29	0.30	0.21	0.20	0.87	1.83	0.15	0.24
核分裂性プルトニウム(t/年)	0.10	0.10	0.13	0.12	0.13	0.13	0.10	0.10	0.40	1.07	0.14	0.23
MA(t/年)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.06	0.05	0.00	0.00
ウラン濃縮度(%)	0.6	0.6	0.9	0.8	0.6	0.5	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.3
廃炉取出燃料												
重金属(t)	109.0	108.0	74.5	74.0	36.0	35.7	24.9	24.7	107.9	20.0	15.9	45.6
ウラン(t)	108.2	107.1	73.8	73.2	33.9	33.0	23.7	23.3	101.6	14.3	15.7	45.2
プルトニウム(t)	0.72	0.84	0.65	0.69	2.00	2.54	1.10	1.23	6.00	5.49	0.26	0.42
核分裂性プルトニウム(t)	0.52	0.59	0.47	0.49	1.02	1.28	0.60	0.67	3.06	3.30	0.26	0.41
MA(t)	0.04	0.06	0.05	0.06	0.08	0.12	0.08	0.10	0.25	0.13	0.00	0.00
ウラン濃縮度(%)	1.7	2.0	1.9	2.0	0.9	0.9	0.1	0.1	0.9	0.2	0.3	0.3
備考	*1	*1	*2	*3	*1	*1	*3	*3	*1	*3		

*1 JNC TJ9440 2000-007「Pu利用技術に関する調査(5)」(2000年3月)日本ニュークリア・フュエル株式会社

*2 JNC TJ9440 99-014「プルトニウム利用技術に関する調査検討(3)」(1999年3月)新型炉技術開発株式会社, 2003年一部改訂

*3 日本原子力開発機構調べ

付録2 エネルギー経済モデルを用いた社会経済的影響評価手法の開発

付録2.1 背景と目的

2003 年以降、近年の中国やアジア諸国の経済発展に伴うエネルギー需要の急激な増加により、化石燃料などの資源価格が急騰している。原油の市場価格は史上最高値で推移しており、世界経済の安定的な成長に対する最大のリスク要因の一つとなっている。将来に関しては、今後の数年～10 年程度の期間における原油価格シナリオについての見方は分かれていると思われる。しかし、50 年～100 年という期間で考えた場合にはやはり原油価格をはじめとする化石燃料価格は大幅に高騰する可能性が高く、現在のエネルギー供給構造のままでは持続的な経済成長が困難になる懸念がある。一方、地球温暖化防止の観点から現在よりもCO₂排出量の少ないエネルギー供給構造が求められている。このCO₂抑制のためのコスト増加も持続的な経済成長にとっての大きな制約条件になりうる。

原子力発電（FBRまで含む）は、このようなCO₂制約及び資源制約を大幅に緩和できる可能性を持つ技術であることは定性的には明らかである。しかし、原子力やFBRの価値をより明確にし、今後のFBR開発の意義を示すためには、資源制約やCO₂制約の下で持続的な発展可能な社会を構築する上での原子力やFBRの役割を定量的に評価しておくことが重要である。

また、公的資金を用いた研究開発については、従来は前年と同様の内容を実施する場合にはそのまま継続可能といった側面があると言われていた。しかし、研究開発実施の意義や得られる効果を具体的に示すことは、国民に対して研究開発実施の説明責任を果たすために必要であり、適切な予算等の資源配分を行なって研究開発計画を最適化するためにも重要である。上記の点は、特殊法人改革以来の動きからも裏付けられている。

核燃料サイクル開発機構においても、こうした点を踏まえて、FBR サイクル研究開発の費用対効果（投資対効果評価）を試みてきた。これらの検討結果は、FBR サイクル導入による社会経済的効果に関して一定の見通しを与えてきたと考える（本報告書 5 章「FBR サイクルの投資対効果評価」参照）。

ここでは、FBR を含む核燃料サイクルを研究開発して導入することによる社会や経済への影響を、市場における価格メカニズム等を反映し、多様な分野に影響が波及していく過程を考慮して評価できる経済モデルを開発する。そして、開発したモデルを用いて FBR 導入の社会的・経済的な影響に関する定量的な分析を行うことを目的とする。

付録2.2 評価手法の概要

ここでは、Pardue 大学で開発された（応用）一般均衡モデル GTAP（Global Trade Analysis Project）を導入・改良することを通じて、FBR サイクルによる世界全体の経済厚生上の影響を評価可能なモデルを構築する。

一般均衡モデルを採用した大きな理由としては以下の 3 点が挙げられる。

①費用対効果を評価する際に用いる FBR の導入量について、例えば核物質バランスだけから天下的に定めず、市場原理等を重視して決定できるようにする。

②家計、企業などを経済的合理的な活動主体として考慮しており、エネルギー価格変化による家計、企業の行動の変化を考慮した経済波及効果を分析できる。

③ 経済全体での資金のバランスをとるため、企業の経済活用は現実的な資金制約を考慮した上でエネルギー価格変化に対して最も経済合理的な活動を行う。

また、一般均衡モデルの中で GTAP モデルを採用した理由としては、以下の点が挙げられる。

- ①世界全体を対象（64 地域、37 産業部門の柔軟な組合せ）
- ②データベース（需要、所得、弾性値、産業構造、貿易構造など）の更新（5 年ごと）
- ③OECD、世銀、WTO、経済企画庁等の多くの公的機関での使用実績
- ④エネルギー価格の経済影響分析を目的とした GTAP-E モデルの存在

特に、データベースの更新が定期的に行われている点が大きな強みである。その際には、公的機関における使用実績が豊富であり、その中での検討を踏まえてデータベースが継続的に改善されていることがデータベースの信頼性の向上に寄与している。

GTAP モデルには、GTAP-E モデルというエネルギー価格の経済影響分析を目的として開発された派生バージョンが存在している。しかし、GTAP-E モデルにおいても電源構成やその中の原子力発電のシェアは明示的に取り扱われていない。また、GTAP-E モデルは超長期の動学的分析が実施可能なモデル構造とはなっていない。このため、評価目的に即して以下のようなモデルの改良を実施する。

- ①電力事業の詳細化（電源構成の明示的な評価）
- ②新型炉サイクル開発国を考慮した地域区分
- ③原子力や FBR に特有の制約条件の考慮（Pu バランス等）
- ④超長期の動学分析への対応

以下では、まず一般均衡モデルの概要及び GTAP モデルの概要・限界を説明し、それを踏まえて実施した GTAP モデルの改良内容について記述する。

付録2.3 一般均衡モデル

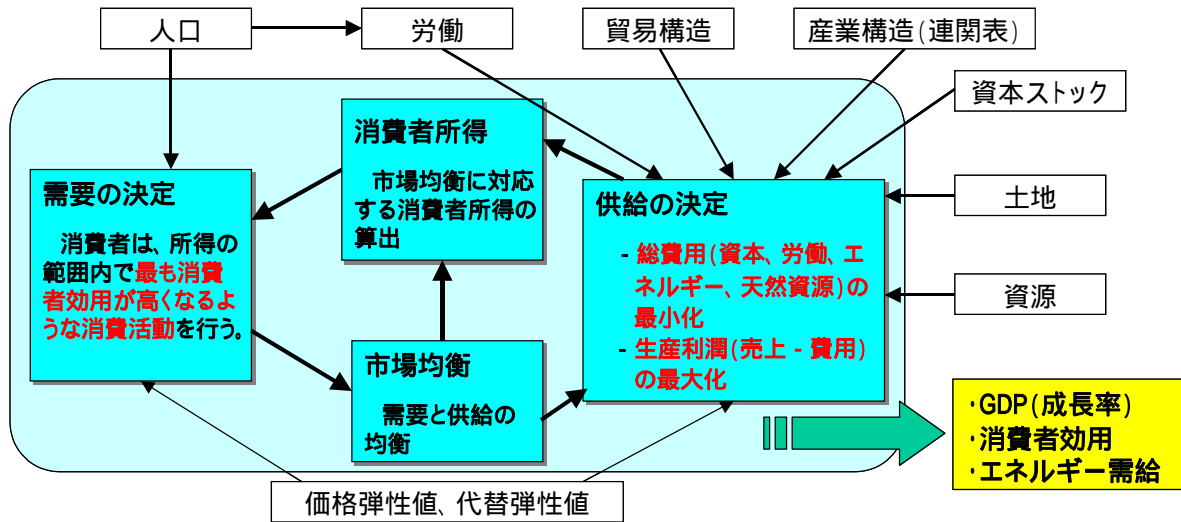
付録2.3.1 一般均衡モデルの概要

付図 2.3.1 に、一般均衡モデルの概要の概要を示す。一般均衡モデルでは、「消費者の効用最大化」と「供給者(企業)の利潤最大化」の 2 つの行動原理の結果としての需給の均衡解が求められる。より具体的に記述すると、一般均衡理論はミクロ経済学を基礎としており、家計、企業などの経済主体が経済合理性の下で行動することを前提に、経済全体の動きを説明する理論体系である。消費者は予算制約下での需要・サービスから得られる効用を最大化するために行動するようモデル化され、企業は設備投資のみを行うのではなく生産主体として扱われており、自らが有する資源や技術により利潤が最大化となるよう行動するようモデル化されている。このように、消費者側の行動まで含めてモデル化されているため、最適化型モデルでは入力条件として外生的に与える経済成長率、失業率、エネルギー需要といったデータを内生的に求められる。なお、一般均衡型モデルでは、全ての変数は基本的に金銭単位である。

一般均衡モデルの主要な入力データとしては、人口、労働者数(人口構成、女性の雇用環境等)、貿易構造、産業構造(連関表、Leontief 投入係数)、価格弾性値、代替弾性値等が挙げられる。人口及び労働者数については、世界や日本の専門機関が推定した将来の人口予測シナリオが利用可能である。貿易構造及び産業構造については、現状の統計データか

ら初期値を作成することは可能であるが、将来の状況予測は非常に困難である。特に、超長期のシミュレーションを実施する場合には何らかのシナリオ想定が必要と考えられる。

価格弾性値及び代替弾性値は、一般均衡モデルの入力データとして非常に重要である。例えば、「非常にコストの安い省エネ技術が開発された」といった技術革新は、資本とエネルギー使用量との代替弾性値の変化（より少ない資本で多くのエネルギーを代替できる）として反映される。



付図 2.3.1 一般均衡モデルの概要

付録2.3.2 一般均衡モデルによる電源選択の表現

付図 2.3.2 に、一般均衡型モデルにおける技術選択（電源選択）のイメージを最適化型の電源選択モデルと対比して示す。いずれも将来燃料価格（LNG 価格）が上昇した場合の技術選択変化を示している。

最適化型の技術選択モデルでは、ガスタービンと CCGT の導入量自体が評価される。一方、一般均衡型モデルでは、LNG 価格の上昇に伴い、電気事業者は利潤最大化の観点からより熱効率の高い発電所（資本費が高い）を建設する。この結果、燃料投入が減少し、資本投入が増加する、といった生産要素配分の変化という形で電源構成の変化が表現される。

このため、既存の一般均衡型モデルでは、入力データとして（又は分析結果から）技術の詳細な代替関係を把握することは困難である。一般均衡型モデルで電源構成変化に関する詳細な分析を行うためには、電力財を 1 つの財ではなく、原子力発電の電力財、火力発電の電力財等のように財を電源別に分割し、発電種別ごとに、資本、労働、燃料、土地等の投入要素の特性を反映する必要があると考えられる。各電源に関する入力データを作成するためには、1 単位の売電収入を得る（1 単位の財を生産する）ためには、「何単位の資本、労働、燃料、土地の投入が必要であるか?」、「各要素間に代替性(燃料に関しては、輸入国間の代替性を含めて)はあるのか?」等について検討する必要がある。詳細については次節において述べる。

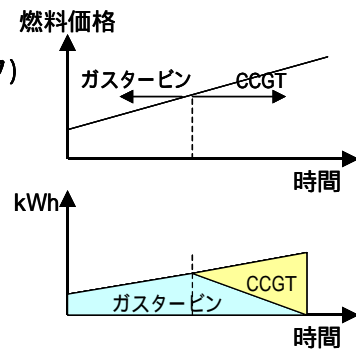
最適化モデル

プラント価格(固定値、将来の技術進展を考慮した時系列データ)

- ガスタービン: 建設費 400\$/kW、効率40%
- CCGT: 建設費 800\$/kW、効率50%

資源価格(資源の埋蔵量の減少に伴う生産コストの増加)

上記の2つの情報から価格が最も安くなる技術選択



一般均衡モデル

燃料価格が上昇は、主に燃料と資本間又は燃料間の代替によって考慮される。

燃料価格が上昇すれば、熱効率の高い発電所を建設する(資本投入が増加し、燃料投入が減少)

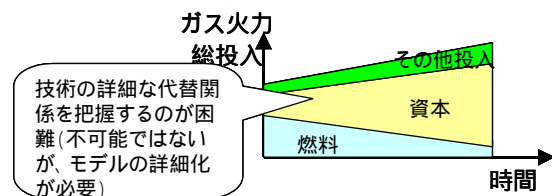
燃料価格が上昇すれば、他の安価な燃料に転換

燃料と資本の代替関係を示す指標 「価格弾性値、代替弾性値(後述)」

(将来の技術進展を踏まえて設定)

各電源の特性

- 火力(石油、ガス): 燃料大、資本小
- 原子力: 燃料小、資本大、雇用やや大
- 新エネ: 燃料小、資本大、土地大



付図 2.3.2 一般均衡型モデルにおける技術選択(電源選択)の記述

付録2.4 GTAP モデル

付録2.4.1 GTAP モデルの概要

(1) 比較静学モデル

GTAP モデルは、初期の均衡状態(例えば、2000年の経済構造)を出発点として、ある経済構造の変化(エネルギー価格上昇)を想定し、その変化による経済全体への波及が収斂した新たな均衡状態を求め、両者の比較を行うことにより、想定した経済構造変化の影響を評価するモデルである。こうした特徴を持つモデルを比較静学モデルという。このため、通常の GTAP モデルには時間の経過という概念が存在しない。

(2) モデル構造

GTAP モデルでは、取引主体として、企業(生産者)、民間家計および政府の存在が仮定されている。家計では、予算制約下での需要・サービスから得られる効用を最大化するために行動する。また企業は、生産主体として扱われており、自らが有する資源や技術により利潤が最大化となるよう行動するようモデル化されている。

各主体の経済的合理化行動をもとに、モデルでは市場の均衡を達成するように財の取引が行われる。ここで、GTAP では取引量が以下の通りに記述される。

$$(\text{取引量}) = (\text{数量}) \times (\text{単価})$$

市場の均衡とは、各市場での財の需要と供給が一致することである。ある産業の財に関

(3) 企業の生産構造

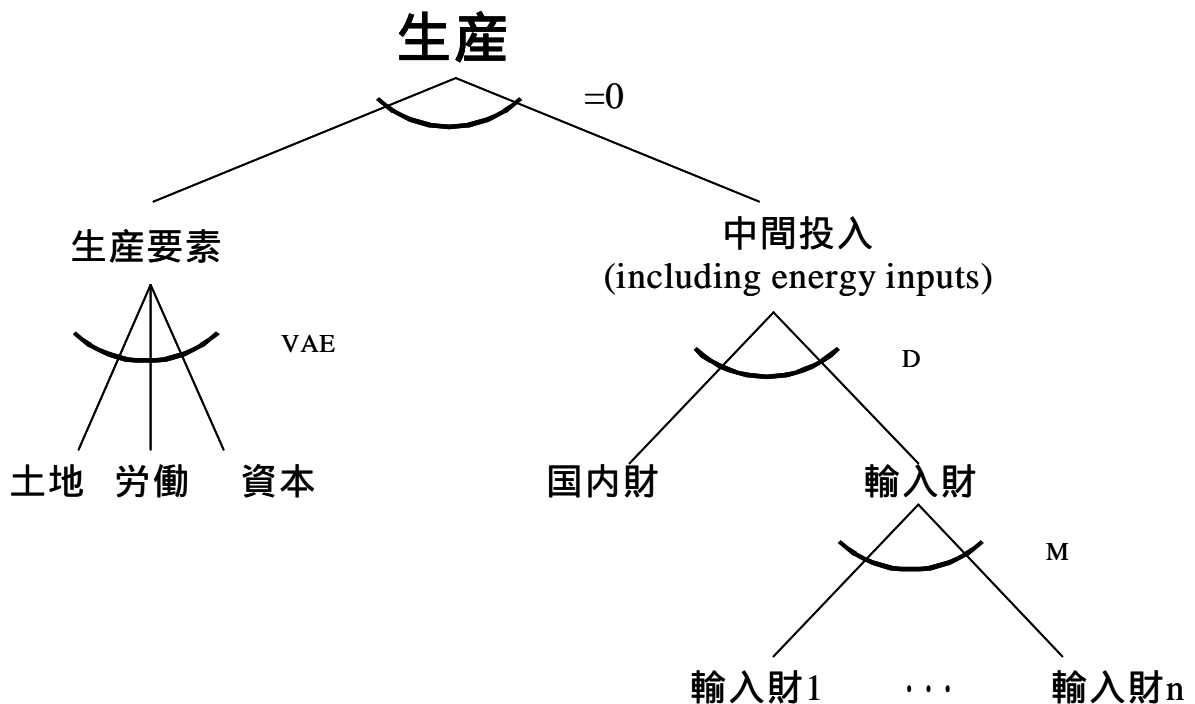
企業の生産構造のイメージを付図 2.4.2 に示す。また、その特徴を以下に示す。

企業の生産量を所与として、生産要素への投入と資材などへの中間投入を費用最小化原則に基づき決定する。

生産要素は各要素の複合財として扱われ、各要素間での費用最小化行動により決定される。要素間の振り分けは代替弾力性 (VAE) で決定される。

中間投入は国内財と輸入財に振り分けられこれも代替弾力性 (D) で決定される。輸入財をどこから調達するかについては輸入財の輸入先の代替弾力性 (M) をもとに費用最小化により決定される。

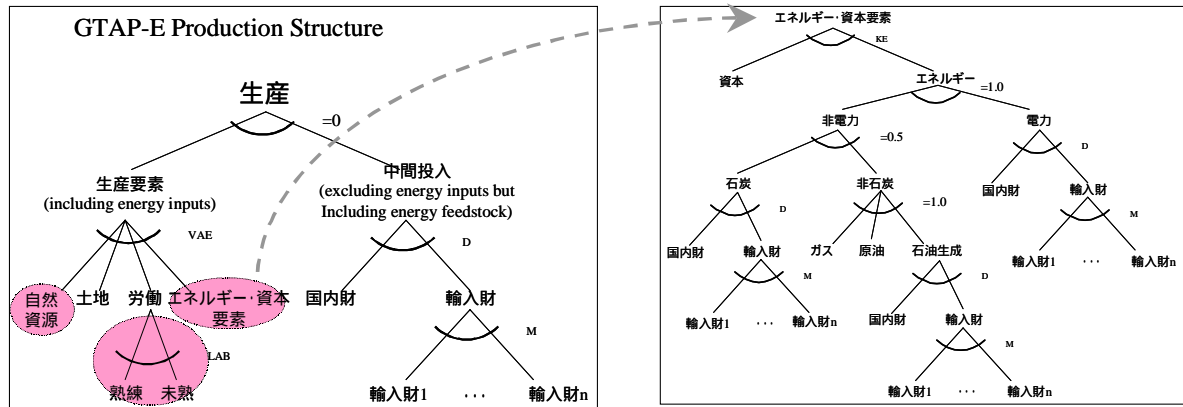
GTAP(standard model) Production Structure



付図 2.4.2 GTAP モデルにおける企業の生産構造

付録2.4.2 GTAP-E モデルの概要

標準的な GTAP モデルでは生産要素は資本、労働、土地の3つとなっており、エネルギーは中間投入財として取り扱われており、生産量に対して常に一定の比率で投入されるため、特定のエネルギー資源の価格が上昇した場合に他の安価なエネルギーによる代替や省エネの促進（資本による代替）を表現することができない。この問題に対して、米国パデュー大学、豪国ニューサウスウェールズ大学により GTAP に新たにエネルギー要素を取り入れた GTAP-E の開発が行われている。このモデルでは、資本の代わりにエネルギー・資本複合要素が定義され、また自然資源も生産要素として付け加えられている。エネルギー・資本複合要素は資本とエネルギーが代替弾力性で配分され、エネルギーについては、電力と非電力要素から構成され、代替弾力性 = 1 のコブ・ダグラス型関数（各シェアが一定）により定義されている。電力は国内、および国外からの調達が可能で、非電力要素は石炭および非石炭（ガス、石油、石油製造物）を構成要素として、電力同様に国内、および国外からの調達が可能となっている。GTAP-E モデルにおける生産構造の概要について付図 2.4.3 に示す。付図 2.4.2 の GTAP モデルの場合と比較して、上記の点が詳細化されていることがわかる。



付図 2.4.3 GTAP-E モデルの生産構造

付録2.4.3 GTAP-E モデルの限界

GTAP-E モデルは、従来の GTAP モデルに比べてエネルギーの利用構造を詳細にモデル化しているものの、以下の点を改善する必要がある。

一点目は、電源構成という概念が考慮されていない点である。電力産業は1単位の生産（売上げ）を上げるのにどの程度の資本、労働、燃料（化石燃料、電力）の投入を要するか、という形でモデル化されており、各発電技術の利用割合が明確に評価されているわけではない。特に、原子力に関しては、原子力に必要なウラン資源の投入もモデル化されていないため、化石燃料発電に比べて更に問題が大きい。

二点目は、比較静学モデルという点である。このため、ある均衡状態から次の均衡状態までの変化（40%の石油価格上昇がどの程度 GDP 成長率を押し下げるか、といった問題）の評価は可能であるが、エネルギーコストの長期的な上昇に伴う経済影響の評価には適していない。

付録2.5 改良された GTAP モデル

付録2.5.1 電源構成評価

GTAP-E モデルの限界を解消し、発電技術の利用割合を評価するため、電気事業者の下に Technology Bundle を設定することにより電源構成の変化を記述可能なモデル構造に改良する。

具体的には、以下のようなモデルの改造及びデータの再設定を行う。

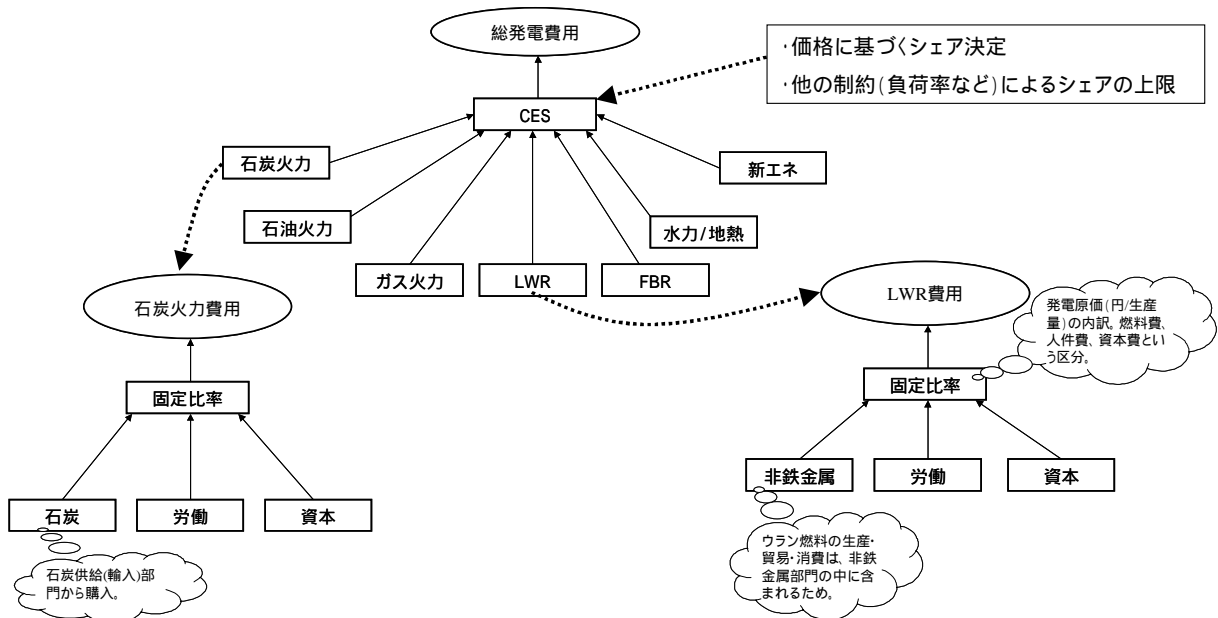
各発電技術の組合せとして電力分門を表現する。

発電技術に FBR を含めて 7 種類の発電技術をモデル化する。

資本、労働、燃料などの各要素の投入割合を発電技術ごとに設定する。なお、均衡状態における発電技術ごとの生産要素の総和が、従来の GTAP モデルにおける電力部門全体への資本、労働、燃料の投入量に一致するようにデータを設定する。

ウラン資源価格の上昇、放射性廃棄物処理費用、FBR 用の MOX 燃料の価格等を容易に考慮できるように、軽水炉及び FBR への投入する燃料要素を UOX 燃料及び MOX 燃料というように別途設定する。

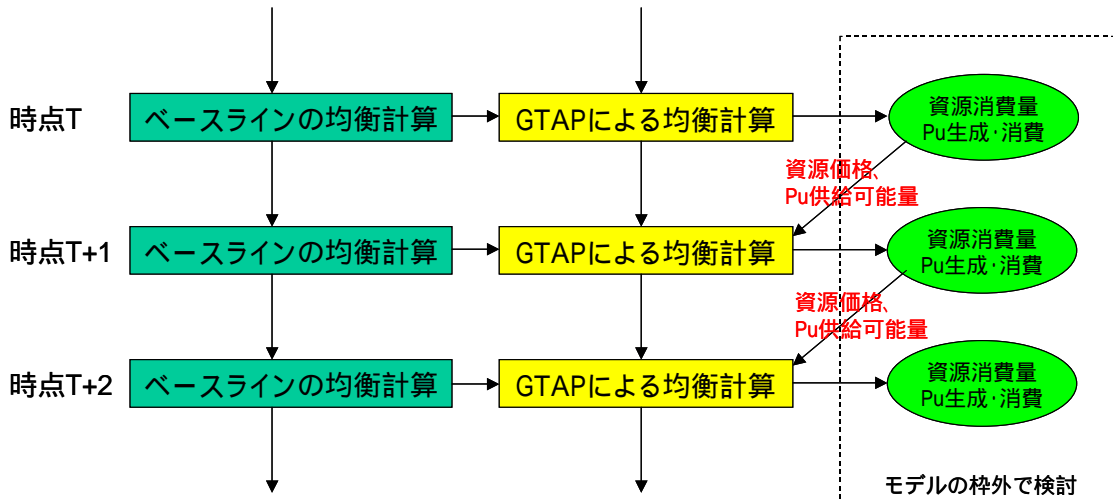
上記の改良を行うことにより、ある発電技術の燃料価格が高騰した場合に、その電源が、より発電コストの安価な発電技術によって代替される、といった電源構成の変化を評価することが可能となる。この電源間の代替関係は価格弾性値によって決定されるが、電源構成が非現実的なものとならないように、負荷追従性などの要素を考慮した各電源のシェアの上限についても考慮した。



付図 2.5.1 Technology Bundle を活用した電源構成評価

付録2.5.2 モデルの動学化

超長期の経済影響分析に対応できるように、GTAPモデルの動学化を行う。また、動学化に併せて各資源価格やPuバランスなどの動学的な制約条件を考慮するモデルも構築する。各資源価格やPuバランスなどの制約条件は下図に示す通り、モデルの均衡計算の枠外で実施するものとし、時点Tまでの累積消費資源量や累積Pu生成・消費量を考慮して、次の時点(T+1)の均衡計算に用いる資源価格やPu(MOX燃料)供給可能量を計算する。



付図 2.5.2 動学的な制約条件の反映方法

付録2.5.3 地域・産業区分の変更

新型炉サイクルの開発状況や産業規模・エネルギーコストの影響度を考慮して、地域区分及び産業区分を付表 2.5.1 のように設定した。これらの地域・産業区分は関連するデータセットを整備することにより、必要な国や産業の追加・変更が可能である。

付表 2.5.1 モデルの地域区分・産業区分の設定

番号	地域区分		産業区分	
1	JPN	日本	Col	石炭
2	AUS	オーストラリア	Oil	石油
3	NUZ	ニュージーランド	Gas	ガス
4	USA	米国	GCT	ガス供給
5	CAN	カナダ	P_C	石油・石炭製品
6	EU	1998年EU(仏国、英国以外)	ELY	電力
7	FRA	仏国	I_S	鉄鋼
8	GBR	英国	NFM	非鉄金属
9	FSU	旧ソ連	CRP	化学
10	EER	中東欧	OMN	その他製造業
11	RoA1	その他Annex1	TRP	輸送
12	CHN	中国	AGR	農業
13	IND	インド	SER	サービス
14	KOR	韓国		
15	ASA	その他アジア		
16	LAN	中南米		
17	RoW	その他世界		

付録2.6 改良した GTAP モデルによる評価

付録2.6.1 評価可能な経済指標

付表 2.6.1 に、GTAP モデルによって評価可能な諸量を示す。GDP や産業別生産高といった主要な経済指標に加えて、貿易量の変化や電源構成の変化も把握することが可能である。このとき、電源別コストなどと考え合わせて様々な分析を行うことが可能である。

また、厚生水準や失業率といった社会全体に対する効用の変化も把握することができ、これらの効用変化を FBR サイクル導入の社会経済的影響として考えることができる。

付表 2.6.1 改良した GTAP モデルによって評価可能な諸量

区分	評価項目	概要
マクロ経済指標	GDP、GDP成長率	国内(地域内)総生産
	GDPデフレーター	通貨の貨幣価値変動率
	産業別生産額	国(地域)別、産業別の生産額
	投資増加率、投資額	国内(地域内)の投資額
	資本ストック	国内(地域内)の資本ストック
	生産要素分配	国(地域)別、産業別の生産要素分配率
貿易構造	輸出成長率、輸出額	産業別、貿易相手国(地域)別の輸出成長率、輸出額を評価
	輸入成長率、輸入額	産業別、貿易相手国(地域)別の輸入成長率、輸入額を評価
	輸出入デフレーター	対ドルでの貨幣価値変動率
エネルギー	電源構成	電力生産に占める各発電技術の割合
	電源別コスト	各発電技術の発電コスト
	エネルギー産業構造	エネルギー関連産業の生産額、貿易構造、生産要素配分など
社会効用	厚生水準	国(地域)別の厚生水準(消費者余剰の等価変分)
	失業率	国(地域)別の失業率

付録2.6.2 FBR 導入の社会経済的効果

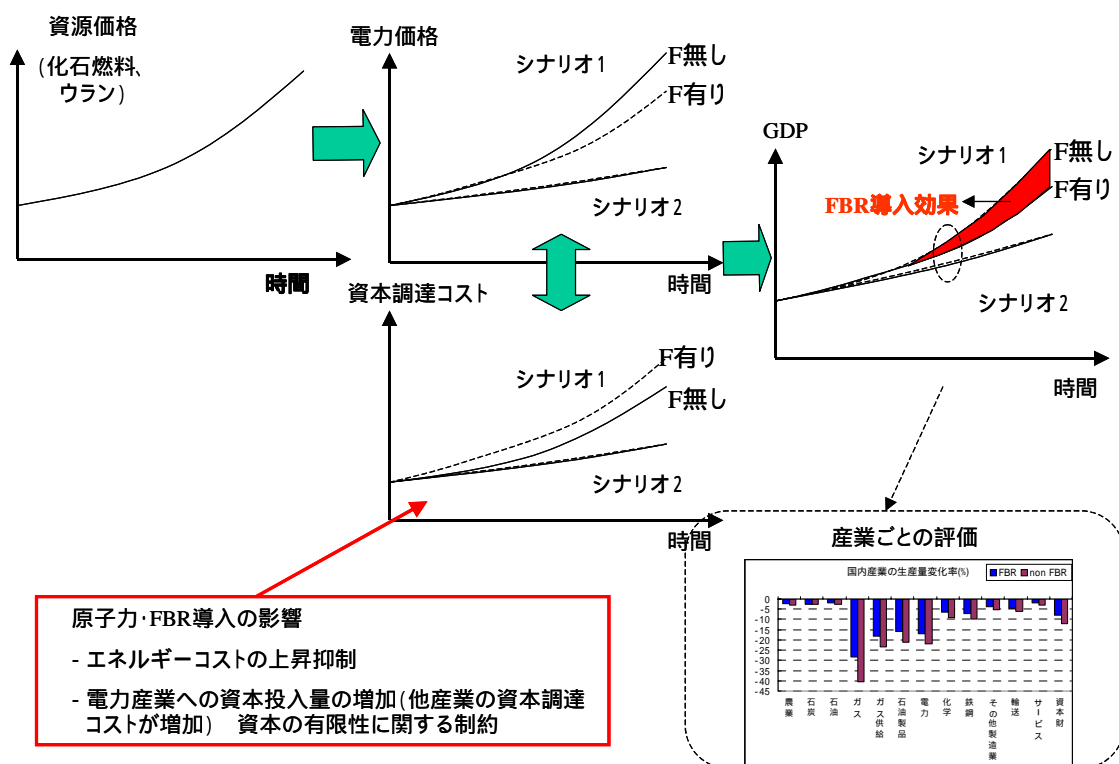
(1) 国内における効果

FBR 導入の社会経済的効果は、単純に発電原価の削減だけに留まるものではなく、それらが経済社会全体に影響していくことから生じる。

付図 2.6.1 に示すように、化石燃料やウラン資源の価格上昇を考慮すると、FBR を導入した場合と導入しない場合では、長期的にはエネルギー価格（電力価格）が大きく変化するものと考えられる。この FBR 導入による長期的なエネルギー価格抑制の経済影響（各部門の生産量、GDP 成長率）を分析することが可能である。

一方、FBR や原子力の導入はエネルギー価格の抑制という経済にとって正の影響だけでなく、資本コストの上昇を通して他の部門に悪影響を及ぼす可能性がある。これは、FBR や原子力が資本集約型の電源であるため、FBR や原子力の導入促進は電力部門への資本投入の増大を意味する。この資本需要の増加は国全体の資本調達コストを押し上げるため、他産業のコスト上昇要因になりえる。

このように、エネルギーコストの抑制効果という正の効果だけでなく、資本コストの上昇という負の効果を考慮した経済波及効果を把握することができる。



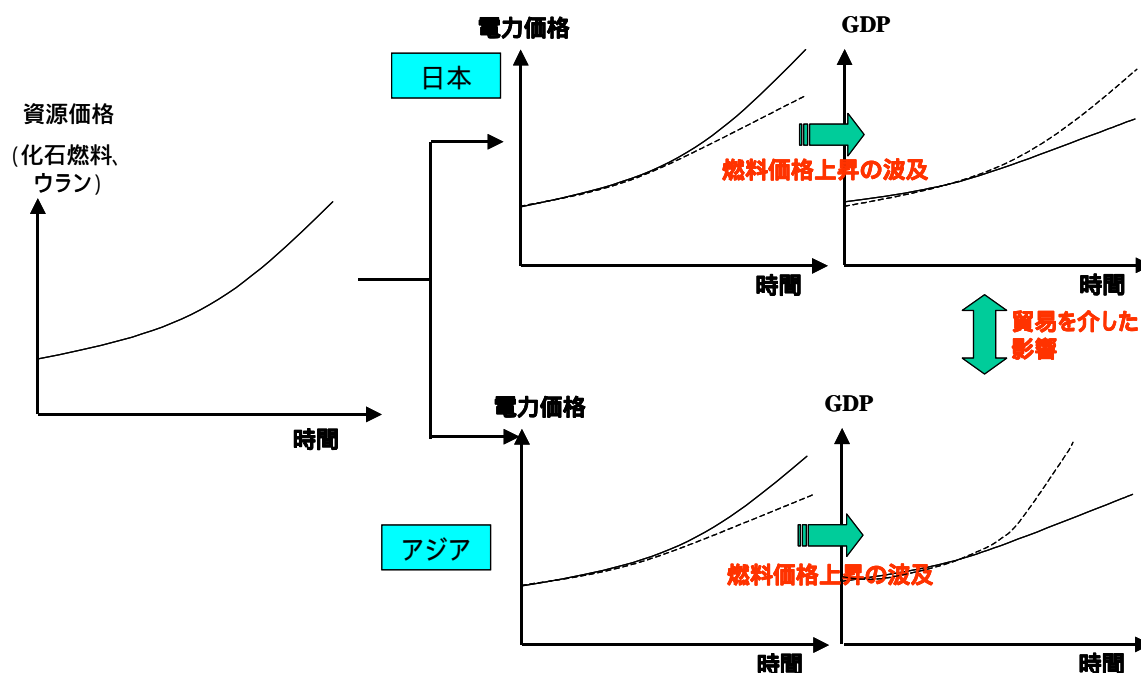
付図 2.6.1 FBR 導入による主要な経済波及経路

(2) 貿易を介した波及効果の分析

エネルギー価格のわが国への影響を考えた場合、一つの経路は上で述べたようにわが国の産業界への直接的な価格波及効果であり、もう一つの経路は、わが国の主要な貿易相手国（アジア、米国など）におけるエネルギー価格の上昇の影響が貿易を通してわが国に波及する可能性である。特に、化石資源やウラン資源の高騰による中国やインドの経済成長

率の停滞は、貿易を介してわが国に非常に大きい影響を与える可能性があると考えられる。

FBR サイクルの導入に関しては、わが国単独で導入したときにも一定の社会経済的効果が期待されるが、世界全体に導入したときにはさらに大きな社会経済的効果が得られることが期待できる。こうした効果を適切に判断するためには、貿易を介した経済波及効果を検討することが不可欠である。貿易を介した経済波及効果のイメージを付図 2.6.2 に示す。



付図 2.6.2 貿易を介した経済波及効果

付録2.7 手法開発のまとめと今後の課題

フェーズ 以降の展開も考慮して、市場原理を考慮し、直接的な効果に加えて波及効果等も考慮した投資対効果評価を実施できるように、エネルギー経済モデルを活用して核燃料サイクル導入時の社会経済的効果を評価する手法の開発状況を報告した。

今後は、実用化戦略調査研究で設計研究が行われている FBR サイクル概念を研究開発し、導入したときにどのような社会的影響が生じるのかを定量的に評価することが課題である。特に研究開発の直接的な効果と波及的な効果を区別して示すことにより、従来の投資対効果評価手法および経済性評価との関係を検討すること等は興味深いテーマである。また、市場原理に加えて、核物質量の制約やその他の制約条件を考慮した FBR サイクルの導入量を評価することも今後の課題である。こうした目的のために、現時点では大雑把な部分の大きなモデルを改良する作業が必要となる。

エネルギー経済モデルを活用した評価結果は、FBR サイクル研究開発の意義を示すための材料となることが期待される。また、主要な研究開発項目の費用対効果を評価して研究開発のマネジメントに活用することは、フェーズ 以降の検討を効率的・効果的に進めるために重要となろう。

付録3 重み付けの結果詳細

付録3.1 普通の市民の視点間重み付け結果

既に述べた検討結果にしたがって、フェーズ 最終評価では、アンケート結果を用いて評価視点間及び一部評価視点内の評価指標の重みを設定した。その結果を以下で記述する。

付録3.1.1 普通の市民へのアンケートの概要

(1) アンケート実施概要と基本構成

普通の市民の立場からの視点間重み付けは、アンケート調査は下記の要領で実施した。なお、アンケート票の基本構成において、Q1 から得られる結果を「回答者プロフィール」、問 1、問 2 から得られる結果を、それぞれ「将来社会像」、「重み付け結果」と呼ぶこととした。

< アンケート実施概要 >

- 調査方法 : インターネットアンケート
- 実施期間 : 2005 年 5 月 31 日 ~ 6 月 7 日
- 回収数 : 2,197

< アンケート票の基本構成 >

- Q1 ~ 4 : 回答者プロフィールに関する設問
- 問 1 : 将来社会に関する設問
- 問 2 : 視点間一対比較に関する設問
- 問 3 : チェック用設問

(2) アンケート回答者属性

アンケート回答者属性および問 3 (回答の整合性チェック用設問) に関してまとめる。

アンケート回答者の属性を、男女 / 年齢別 (付表 3.1.1)、居住都道府県別 (付表 3.1.2)、職種別 (付表 3.1.3)、業種別 (付表 3.1.4) にそれぞれ示す。

年齢層としては、20 代後半 ~ 40 代前半が全体の 7 割程度を占めており、居住地域は 3 大都市圏 (首都圏、大阪 / 兵庫 / 京都、愛知) が全体の 6 割程度を占めている。回答者の職種と業種の分布からは、一般に“サラリーマン”と呼ばれる回答者、および、専業主婦が大きな割合を占めている。なお、本アンケートでは、業種分類において、「鉱業 / 電力・ガス / その他エネルギー」に含まれる回答者を 100 名以上抽出することを条件としており、同カテゴリーに属する回答者として 112 名 (全体の約 5.1%) が得られている。

(3) 不適切な回答についての検討

以下の 3 つの手段を用いて、回答者が適切に回答できたのか等について検討した。

(i) 首尾一貫しない回答をチェックするための設問と回答状況

実施したアンケートでは、普通の市民を対象としているにも拘らず、将来の原子力・エネルギー分野に関するやや詳細な質問を行なっている。回答者が専門的な知識を持っていることを前提条件としてはいないので直感的な回答も許容し、各設問の書き振りも正確さを損なわない範囲で具体的にしたつもりであるが、回答者にとっては、設問への回答が困難・厄介であると感じられる可能性も危惧される。そこで、“いい加減な回答”の占める割合をチェックすることを目的として、途中に現れた設問と同一の内容を再度尋ねる設問をアンケート末尾に2問設けた。もちろん、これだけでは、回答者が設問の内容を完全に理解していることや誠実な回答を行なったことを確実に担保できないが、安易な回答のかなりの部分をチェックすることは可能と考えられる。これらの設問それぞれに対する回答を、前出した設問に対する回答と比較し、その差異をまとめたものが付図 3.1.1 である。回答のずれが±1 以内の回答者を“誠実に（実際には、首尾一貫して）回答した”とみなせば、8~9 割以上がそれに該当すると言える結果が得られている。

(ii) 有向グラフを活用した一対比較における整合性チェック

AHP における一対比較では、その整合性を下式で表される「CI (Consistency Index)」と呼ばれる指標を用いて評価することができる。

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

ただし、 λ_{\max} ：一対比較行列の主固有値

n：一対比較行列の大きさ (= 比較対象数)

上式に見られるように、CI の算出には一対比較行列の固有値計算が必要になる。ここでは、大規模なアンケート結果の全件に対する固有値計算の煩雑さを避けることから、以下の考え方をういて「明らかな矛盾を含む」回答を識別し、それらが重み付けに与える影響を分析する。

「矛盾を含む一対比較」の識別

従来のCIに代わる整合性の評価基準として、一対比較行列に対応する有向グラフ（点と枝からなる図形（付図 3.1.2）のうち、枝に向きが付いているものである。）より整合性を判定する方法が提案されている¹⁾。これは、推移律（任意の選択肢 a, b, c について $a > b$ かつ $b > c$ が成立するならば、 $a > c$ が成り立つ）が成立しているか否かを検証する方法である。

ここでは、重みづけ対象となる視点を「ノード」として有向グラフで表現し、有向グラフの中にサイクルが存在するか否かで矛盾を抽出するものである。トライアングルを構成する矢印が全て同一方向を向き、矢印がもとの選択肢（比較対象）に戻ってくる「サイクル」を形成している場合、重要度選好の推移律が成立していないことを示す。このとき、当該評価対象に対する重要度の順序付けに矛盾がある。したがって、一対比較行列における「サイクル」の有無が、整合性を判断する1つの指標となり得る。

本研究では 8 項目に対する一対比較を実施しており、有向グラフにおける「トライアングル」は 56 個存在する（8 項目から 3 項目を選択する Combination）。そのうち、「明らかな矛盾」となる「サイクル」の個数別に、該当回答者数をまとめたものが付表 3.1.5 である。「明らかな矛盾」を全く含まない回答者は全体の半数強であり、「明らかな矛盾」が 1 つ以下の回答者数も全体の 7 割程度にとどまっている。

ここでは、「明らかな矛盾」が 1 つ以下の回答者の回答を、許容できる整合性があるのみならずこととし、「明らかな矛盾」が 2 つ以上の回答者については、それらが含まれる影響を後に議論する。

(iii) 全ての設問に対して、「どちらにも同程度に近い」と回答した者の扱い

回答者の中には、全ての設問に対して“どちらにも同程度に近い”を選択した者が含まれている（今回アンケートでは、2,197 名のうち 61 名が該当）。それらのうちいくつかは、“いい加減に”回答したものである可能性がある。その一方で、熟考した上で、“本当にどちらにも同程度に近いと考え”て回答した可能性も否定することはできない。

後の分析では、それら 61 名の影響を見ることを目的として、それら 61 名を上記「2 サイクル以上を含む回答者」とともに除いたケースについて分析した結果を示す。

(4) 将来社会像に関する分析

(i) 問 1 への各回答の相関行列

問 1 では、将来社会において不確定性が大きいと考えられる 19 の項目について、30 年後以降にどのような状況になっていると思うか認識を尋ねたものである。ここでは、19 の項目に関するアンケート結果について主成分分析を実施し、将来社会を描く“軸”の抽出について可能性を検討する。

ただし、付表 3.1.6 に見られるように、問 1 を構成する項目間の相関が小さいことから、これら変数を主成分によって“代表”させる必要はないと考えることもできる。これは設問を検討したときに、重要な不確定性について網羅すると共に、重複する項目をできるかぎり除外したことなどによると考える。一般に、変数間の相関が小さく独立性が高い場合、それらの主成分は十分な“代表性”を持たず、主成分分析による変数の集約化は達成されにくくなる。

ここでは、まず主成分分析を行なって、その結果を吟味しながら問 1 への回答から抽出される重要な成分（要因）を検討しておくこととした。

(ii) 問 1 への各回答の主成分分析

問 1 の結果について、主成分分析を実施した結果を付表 3.1.7 に示した。同表に示すように、主成分として抽出する最小固有値を 1.0 とすると 6 つの主成分が抽出される。それら 6 つによる固有値の累積率は約 52.5%となっており、19 変数の変動全体の半分程度を説明していることになる。

ここで得られた 6 つの主成分について、付表 3.1.8 のように解釈を与えた。これらの結果

は、後述する重み付けの要因分析でも活用した。

各主成分の成分行列を付図 3.1.3 に、問 1 の主成分の成分行列を付図 3.1.4 示す。それぞれの主成分と各設問への回答との関係を見ることができる。

付録3.1.2 5 評価視点間の重み付け

ここでは、主に問 2 の視点間一対比較に関する設問への回答から、評価視点の重み付けを検討した結果について述べる。まず、開発目標に記載されている 4 評価視点（経済性、資源有効利用性（電源間比較では資源供給性）、環境負荷低減性（電源間比較では放射性廃棄物）、核拡散抵抗性）およびロードマップと開発計画で検討した結果を基にして評価を行なった技術的実現性に関わる 5 評価視点について、重み付けを検討し、重みを設定する。

(1) 単純平均による重み付け

5 評価視点に関わる一対比較の結果から、一対比較行列を介して重み付けした結果を、回答者全員（2,197 名）について単純平均した（一対比較行列からの重み付けは、固有値を用いない簡易法による）。

各評価視点の重みについて、求めた平均値と標準偏差を付図 3.1.6 に示した。放射性廃棄物と核拡散抵抗性に、それぞれ約 28%、約 24%の重みがかかっており、それら以外の 3 評価視点（経済性、資源供給性、技術的実現性）の重みはそれぞれ 15%程度となっている。資源供給性の重みは他と比較して標準偏差が小さい（バラツキが小さい）傾向にあることがわかる。

各評価視点の重みに関する度数分布を付図 3.1.7 に示す。各評価視点の重み平均値が 15～25%程度であるのに対し、それぞれ最大値は 70%程度となっており、各評価視点とも特に大きな重み付けをする回答者層が存在することを示唆している。また、評価視点によっては度数分布に複数のピークがみられること、同図中に目安として示した重み平均値が必ずしも最頻値には位置していないことから、付図 3.1.7 の度数分布は、複数の分布を合成したものとして捉えられると考えられる。

次に評価手法の検討で説明したとおり、クラスター分析を実施することによってこれら度数分布の分解（回答者の分類）を試みる。

(2) 各クラスターの重み付け

(i) 最大のクラスター生成数の設定

クラスター分析の対象となる個体数は 2,197（回答者）であることから、階層型クラスター分析法を実施するための計算資源や結果整理の煩雑さを考慮して、非階層型の手法（ここでは k-means 法を用いる）によりクラスター分析を実施する。評価手法検討の部分で記述したように、k-means 法ではクラスター数を分析前に設定する必要がある。

フェーズ 最終評価では、クラスター数を複数通りに設定して得られる結果を比較するプロセスを経た分析を実施するが、ここでは、クラスター生成数の最大設定値について考える。各評価視点の重みの度数分布が、いくつかの分布の合成となっている可能性については既述した。これら可能性のある分布を全て考慮した分析を行なうとき、クラスター生成数が極め

て大きくなる危険性がある。放射性廃棄物にかかる重みを例にとって説明すると、図 3.4.8 に示したように 4 つの分布の合成と捉えられる可能性がある（これは説明のためのイメージである）。それら 4 つの分布を構成する集団は、他の視点について見れば、さらに異なった重み分布を持つ複数の集団に分割される可能性もある。よって、視点ごとに 3~4 の分布を全て抽出しようとする、クラスター数としてはその“視点数”乗程度の値が得られる可能性がある（例えば、3 の 5 乗 = 243）。このとき、数名程度の大きさのクラスターが多数存在することになる。

回答者をこれほど多数の集団に分類し、それぞれの集団が重視する評価視点を求めても、実用化戦略調査研究で今後重点的に研究開発を行う FBR サイクル候補概念を選択する問題や基幹電源となる将来電源の特性を評価し検討する問題に関して、現時点ではあまり有益でないと考えられる。それは、特に原子力などの（特に大きな）電源について、数百もの（食事や服装ほどの）細かいオプション開発を行なうことが現実的ではないからである。それよりも、比較的少数の集団に普通の市民を分類し、おおまかにある評価視点を重視する集団がどの程度存在するのか、といったことを検討することが有意義であると考えられる。

ここでは、下記に述べる考察に基づいて、評価視点ごとに“最も大きな重みをつける集団（付図 3.1.8 における分布 にイメージされる）”を抽出されるのかを検討・確認していくこと等を考慮して、最大のクラスター数を 7 と設定する。なお、この想定は暫定的なものであり、クラスタリングの手続きの中で検討・確認されるべきものである。

<理由>

- 多面的評価の評価視点は、将来の基幹電源として重要と考えられる観点を列挙したものである（FBR サイクル候補概念比較用か各種電源特性比較用なのかで具体的な内容が異なる）。したがって、それらの評価視点を重視する普通の市民集団が存在することが想定される。この想定を検討・確認するため、評価視点の個数以上のクラスター数は確保したい。
- 逆に複数の評価視点を重視するクラスターが存在するのかについても、確認しておきたい。ただ、1 つの評価視点にかかる重みが大きければ、相対的に他の評価視点の重みは小さくなることから、複数の評価視点を重視する程度には限界がある。
- 付図 3.1.8 における分布 の平均値は、前節に示した単純平均による重み付け結果（放射性廃棄物については約 28%）と比較して著しく大きく、AHP の評価結果に対する影響も大きい特徴的な集団であると考えられる。
- “回答者を構成する 1 つの集団”とみなすことができる最低の構成員数を全体（2,197 名）の 1 割程度であると考えれば、クラスター数は最大でも 10 以下にしたい。
- 上記を総合的に勘案して、まず、最初に最大クラスター数 = 視点数（5）+ 2 = 7 とする（なお後述する 8 評価視点の場合には、最大のクラスター生成数を 10 となる）。ここで“+ 2”としたのは、例えば、特に重視する評価視点がない回答者が、“単純平均に近い集団”と“全てに同程度の重みをつけた集団”に分かれる可能性がある

との仮説を立てたからである。また、評価視点それぞれに対応した普通の市民のクラスターが生成されるのか、それとも、別の形のクラスターが生成されるのか、を検討するために適切な個数であると考えたからである。

(ii) クラスター数を7とした場合

当初のクラスター分析(クラスター数:7)の結果として、各クラスターに含まれる回答者数、および、視点間重み付けのクラスター内平均値(すなわちクラスター中心)を付表 3.1.9 に示した(付図 3.1.9 にはクラスター中心を図示)。各クラスターの傾向を以下のように読み取ることができる。また、重みの標準偏差は、単純平均結果と比較すれば小さくなる。

- クラスター1:「経済性」重視
- クラスター2:「資源供給性」重視
- クラスター3:「放射性廃棄物」重視
- クラスター4:「核拡散抵抗性」重視
- クラスター5:「技術的実現性」重視
- クラスター6:単純平均値に類似した傾向
- クラスター7:全視点に同程度の重み付け

(iii) クラスター数を7とした場合の回答の特徴

各クラスター1~5(5視点それぞれの重みが特に大きいクラスター)に含まれる回答者の特徴を掴むために、視点間一対比較以外の設問(「回答者プロフィール」「将来社会像」に関する設問)の回答結果を比較した。付図 3.1.10 は、それらのうち、クラスター間の差が特に大きい設問について回答結果平均値を示したものである。設問別には、「経済的満足度」「二酸化炭素削減に対する原子力の位置づけ」「Q1 得点」で比較的バラツキが大きくなっており、クラスター別に見ると、クラスター1、3が他のクラスターとやや異なった動きを示している。しかし、全体としてはクラスター間に顕著な差が見られるとは言えない結果であると言える。

(iv) クラスターの重み度数分布の状況

付図 3.1.11 は、経済性重みの度数分布におけるクラスター1(経済性重視クラスター)の分布、資源有効利用性(資源供給性)重みの度数分布におけるクラスター2(資源有効利用性重視クラスター)の分布、...を、各視点について図示したものである。なお、図中の曲線は、ガンマ分布を仮定して、それぞれの平均と分散から係数を導いたものである(ガンマ分布を仮定したのは、分布形状が比較的よく適合する滑らかな曲線だからであり、理論的な裏付けは特になくことに留意されたい)。

それぞれの評価視点に関して重みが大きい範囲(右側の部分)に、対応するクラスターに属する回答者が分布していることがわかる。あまり顕著ではないものの、資源有効利用性(資源供給性)以外の4視点については、評価視点の重み全体の曲線が複数のピークを持ち、かつ対応するクラスターが、複数の重みの中で最も右側のピークを占めていることから、各評

価視点を重視するクラスターが、当該評価視点の重み全体の分布から独立しているようにも考えられる(ガンマ分布を仮定した2本の曲線が一致しないことも参考となる)。これに対し、資源有効利用性(資源供給性)に関しては、クラスター2が他の集団からの独立性が低く、資源有効利用性の重み全体の分布の一部であるようにも思われる。あくまでも相対的な観点からではあるが、クラスター2が大きな特徴を有するクラスターではなく、普通の市民における1つの“代表的な集団”として捉えるべきではない可能性が示唆されている。

以下では上記の点にも留意しつつ、各クラスターを“代表的な集団”としてみなし得るかどうか、より詳細な検討を実施する。

(v) クラスターの安定性の検討

各クラスターを“代表的な集団”としてみなし得るかどうかを検討することを目的として、7つのクラスターを生成した場合(以下、便宜的に「初期クラスター」とも記述する)と異なるクラスター生成数で実施したクラスター分析結果と比較しながら、クラスター1~7がどのように分割・統合されるのを見る。その結果から、各クラスターに含まれるデータの類似度に関連して、各クラスターの結合度合い(クラスター数の変化に対して安定しているクラスターなのか否か)を評価する。この目的のために、「結合度」と「初期クラスター占有率」という指標を以下のとおり定義して用いる。

初期クラスター(ここでは、7つのクラスターを生成) i のうち、生成数の異なるクラスターリングを行なったときに生成されるクラスター j に含まれる度数を a_{ij} としたとき、

- 初期クラスター i の「結合度」: $\text{MAX}(a_{ij} : j) / (a_{ij} : j)$
- クラスター j における「初期クラスター i の占有率」 : $a_{ij} / (a_{ij} : i)$

注) カッコ内の $i : j$ は、それぞれ、 i 、 j について合計または最大値をとることを意味する。

クラスター数を6、5、4、3とした場合の分析結果を、それぞれ付表3.1.10~付表3.1.13、付図3.1.12~付図3.1.14に示す。各分析結果におけるクラスターの番号付けは、初期クラスターの場合に倣って、経済、資源、放射性物質、核拡散抵抗性、技術的実現性のそれぞれの重みが最大になるクラスターをそれぞれ1、2、3、4、5とした。

付表3.1.14は、各クラスター分析における初期クラスターの分割・統合状況を示したものである。6分類クラスター分析では、主として初期クラスター(7分類クラスター)6が分割され、他のクラスター(主にクラスター3、4、7)に統合されている。同様に、5分類クラスターでは初期クラスター6および7(他にも吸収されるが、主にクラスター2に統合)が、4分類クラスターではクラスター2(主にクラスター1および3に統合)、6、7が分割され、他のクラスターへ統合されることが示されている。なお、3分類クラスターでは、クラスター5も分割され、主にクラスター4に統合されるように記載されているが、これはクラスター4とクラスター5のほぼ対等な統合であると考えられる。また、この統合まではクラスター5は、他クラスターからの個体と統合されることも少なく(6~4分類クラスター分析における

初期クラスター占有率が高いことに留意し、独立していたと考えられる。

先に資源有効利用性を重視するクラスターが「代表的な集団」ではない可能性について記述したが、この分析においてクラスター2が比較的分割・統合されやすく、しかも各評価視点をほぼ均等に重み付けるクラスター7と統合されやすかった(5分類クラスター分析における結果から分かるように、統合後にはクラスター7に属していた個体数の方が多いため、初期クラスター占有率が低くなる)ことから、クラスター2はやや安定性に欠けるきらいがあるとはいえるだろう。

「結合度」および「初期クラスター占有率」を指標として、各初期クラスターの“結合性”と“独立性”を評価したものが付表 3.1.15 である。結合性は、クラスター1、3、4、5で大きくなっており、独立性はクラスター5が大きく、次いでクラスター1、3、4となる。クラスター2はそれらよりも結合度、独立性で劣り、クラスター7は独立性が低く、クラスター6は結合度が小さい。

(vi) 5 評価視点の重み付け結果

5 評価視点の重み付けに関しては、回答者全員の意思が反映されていることを踏まえ、単純平均結果を基本となる重みとする。一方で、クラスター分析を行った際に見たように、各視点に特に大きな重みをつける回答者も存在する。そこでクラスター分析で得られた各クラスターに対応する評価視点の重みについては、アンケート回答者における特徴のある集団による重み付けとして考えられる場合、それらを派生的な重みとして位置づけることとする。このとき、あまり大きな特徴がないクラスターについては、派生重みとして取り上げず、クラスター数をできるかぎり減らすこととする。付表 3.1.16 にクラスター生成数を変化させたときの各クラスターが最も重視する評価視点をまとめた。表中で(重み小)と書かれているのは、7 分類のときと比べて重みが小さくなっており、分割数を変化させることで特徴が失われたクラスターと考えられる。6 分類のときには、基本重みである回答者全員の単純平均から算出した評価視点の重みと類似した重みを持つクラスターのみがなくなっており、派生重みを抽出する観点からは大きな影響はない。5 分類のときには、各評価視点をほぼ均等に重視するクラスターがなくなっているが、このクラスターは、派生重みとして取り上げるほどの特徴がなかったとも考えられる。なぜなら、全ての評価視点について「どちらも同じ程度重視」する回答者(いい加減な回答を行った可能性あり)もこのクラスターに含まれること、また、各評価視点の重みが全て均等の場合には、重み付けしない場合と結果的に類似した結果をもたらすこと、さらに、全て均等な重みは全回答者の単純平均に比較的近いことから派生重みとして取り上げる必要性が小さいと考えられるからである。また、5 分類のときには、資源有効利用性を重視するクラスターにおける資源有効利用性の重みが、初期クラスターのときと比較してかなり小さくなってしまっており、独立したクラスターとしての特徴を失っているようにみえる。そこで、6 分類のときの各クラスターの中から均等な重みとなるクラスター(初期クラスター7)を除く5つのクラスターにおける重みを派生重みとして取り上げることとする。

また、この結果をグラフで表したものが、付図 3.1.15 である。クラスター生成数が6のと

きには、各評価視点を重視するクラスターが最も重視する評価視点の重みは初期クラスターのとくと変わらないものの、クラスター生成数が5のときには、資源有効利用性を重視するクラスターにおける資源利用有効性の重みが、クラスター生成数が7のときと比較して顕著に減少していることが確認できる。

上記を勘案して、派生重み付けケースは、6分類クラスター分析で得られたクラスターのうち、以下の5クラスターを選定する。

派生重み付けケース：

6分類クラスター分析で得られたクラスターのうち、

- クラスター1：経済性を特に重視する集団
- クラスター2：資源供給性を重視する集団
- クラスター3：放射性廃棄物（環境負荷低減性）を特に重視する集団
- クラスター4：核拡散抵抗性を特に重視する集団
- クラスター5：技術的実現性を特に重視する集団

このときの各評価視点の重みを付図 3.1.16 に示す。基本となる重みと各評価視点を重視する5つの派生重みという、全部で6種類の重みが得られた。

(3) 重み付けに関する補足的な検討

(i) エネルギー関連業種に勤務する回答者の分析

エネルギー関連業種に勤務する回答者（112名）について算出した重み付け結果の平均値を付図 3.1.17 に示す。回答者全体の単純平均に対して「資源供給性」の重みがやや大きくなっている傾向がある。また、初期クラスター分析結果（7分類クラスター）に関し、それぞれに含まれるエネルギー関連業種回答者の数と割合を付表 3.1.17 に示した。クラスター2（資源供給性を重視）のうち12.5%がエネルギー関係業種の勤務者であり、逆にエネルギー関係業種の勤務者の約2割が初期クラスター2に含まれることがわかる。

(ii) 矛盾を含む回答等の影響分析

有向グラフを活用した対比較における整合性チェックを行なった際に説明したとおり、推移律を満たさない「サイクル」を2つ以上持つ回答者（明らかな矛盾を含む回答）と将来社会像に関する設問全てについて「どちらにも同程度に近い」と回答した者を取り除いた合計1432名の回答結果を用いてクラスター分析を実施した（7つのクラスターを生成）。付表 3.1.18 に見られるように、除外前と除外後で結果に大差はなく、また、除外された回答者は各クラスターに同程度存在している。

このように、矛盾を含む回答等が結果に及ぼす影響が小さいこと、また、矛盾を含む回答にも熟考の結果としての回答が多く含まれる可能性が否定できないことから、矛盾を含む回答者の回答結果を取り除くことはせず、2197名の回答結果を分析対象として大きな問題はないと考えられる。

付録3.1.3 7 評価視点間の重み付け

ここでは、FBR サイクル候補概念間比較評価を実施するための7 評価視点（経済性、環境負荷低減性（放射性廃棄物）、資源供給性、核拡散抵抗性、技術的実現性、事業容易性、社会的受容性（心理的バイアス低減性））について、重み付けを検討して重みを設定した結果を記述する。なお、5 評価視点の場合と同様の検討を行なった点は適宜説明を割愛する。

(1) 単純平均による重み付け

7 評価視点に関わる一対比較の結果から、一対比較行列を介して重み付けした結果を、回答者全員（2,197 名）について単純平均した（一対比較行列からの重み付けは、固有値を用いない簡易法による）。

各評価視点の重みについて、求めた平均値と標準偏差を付図 3.1.18 に示した。また、5 視点間の重み付け結果も参考として再掲した。7 視点間重み付けで新たに加わった2 視点のうち、社会的受容性が、環境、核拡散に次ぐ大きさの重みを有している。

(2) 各クラスターの重み付け

(i) クラスター数を9とした場合

5 視点間重み付けと同様の検討を経て、クラスター数を「視点数 + 2 = 9」として、クラスター分析を実施した（以下では、7 視点間重み付け結果に対する「初期クラスター分析」とする）。当初のクラスター分析（クラスター数：9）の結果として、各クラスターに含まれる回答者数、および、視点間重み付けのクラスター内平均値（すなわちクラスター中心）を付表 3.1.19 に示した（付図 3.1.19 にはクラスター中心を図示）。各クラスターが重視する評価視点を以下のように読み取ることができる。また、重みの標準偏差は、単純平均結果と比較すれば小さくなる。クラスター1 からクラスター6 は、それぞれある一つの評価視点を特に重視する集団と考えられるが、「事業容易性」を重視する集団はクラスターとして抽出されていない。

- クラスター1：「経済性」重視
- クラスター2：「資源供給性」重視
- クラスター3：「放射性廃棄物」重視
- クラスター4：「核拡散抵抗性」重視
- クラスター5：「技術的実現性」重視
- クラスター6：「心理（社会的受容性）」重視
- クラスター7：単純平均に近い集団のうち、「心理」重視
- クラスター8：単純平均に近い集団のうち、「心理」を重視しない
- クラスター9：各視点を同程度に重視

(ii) クラスターの安定性の検討

5 評価視点の場合と同様に、各クラスターを“代表的な集団”としてみなし得るかどうか

を検討することを目的として、9つのクラスターを生成した場合（以下、便宜的に「初期クラスター」とも記述する）と異なるクラスター生成数で実施したクラスター分析結果と比較しながら、クラスター1～9がどのように分割・統合されるのかを検討した。

クラスター数を8、7、6、5とした場合の分析結果を、それぞれ付表 3.1.20～付表 3.1.23 および付図 3.1.20～付図 3.1.23 に示す。各分析結果におけるクラスターの番号付けは、初期クラスターの場合に倣って、経済、資源、放射性物質、核拡散抵抗性、技術的実現性、社会的受容性、事業容易性のそれぞれの重みが最大になるクラスターをそれぞれ1、2、3、4、5、6、7とした。

付表 3.1.24 は、各クラスター分析における初期クラスターの分割・統合状況を示したものである。8分類クラスター分析では、主として初期クラスター（9分類クラスター）8が分割され、主にクラスター3、4、7に統合されている。同様に、7分類クラスターでは初期クラスター7（主にクラスター6に統合）および8が、6分類クラスターではクラスター2（主にクラスター9に統合）、7、8が分割され、他のクラスターへ統合されることが示されている。なお、5分類クラスターでは、クラスター5も分割され、主にクラスター9に統合されるように記載されているが、このときクラスター5はほとんど分割されずに統合されている。また、この統合まではクラスター5は、他クラスターからの個体と統合されることも少なく（8～6分類クラスター分析における初期クラスター占有率が高いことに留意）独立していたと考えられる。参考までに、4分類クラスターでは、さらにクラスター9が分割・統合され、3分類クラスターでは、クラスター4も分割・統合された。

また、5評価視点の場合と同様に、クラスター2はやや安定性に欠ける傾向がある。

(iii) 7評価視点の重み付け結果

7評価視点の重み付けに関しては、5評価視点の場合と同様に、回答者全員の意思が反映されていることを踏まえて単純平均結果を基本となる重みとし、アンケート回答者における特徴のある集団による重み付けとして考えられる場合、クラスター分析で得られた各クラスターに対応する評価結果を派生的な重みとして位置づけることとする。また、あまり大きな特徴がないクラスターについては、派生重みとして取り上げず、クラスター数をできるかぎり減らすこととする。付表 3.1.26 にクラスター生成数を変化させたときの各クラスターが最も重視する評価視点をまとめた。表中で（重み小）と書かれているのは、9分類のときと比べて重みが小さくなっており、分割数を変化させることで特徴が失われたクラスターと考えられる。6分類のときには、基本重みである回答者全員の単純平均から算出した評価視点の重みと類似した重みを持つクラスターのみがなくなっており、派生重みを抽出する観点からは大きな影響はない。5分類のときには、各表視点をほぼ均等に重視するクラスターがなくなっている。

ただ、初期クラスターのうち、クラスター7～9は、環境負荷低減性、核拡散抵抗性、社会的受容性のいずれか、あるいは複数の視点を重視する傾向と全ての評価視点を均等に重視する傾向の中間に位置するクラスターであり、全体のうち大きな割合を占めているものの、各評価視点についてはもっと極端に重視するクラスターがあること、相対的に回答者全員の単

純平均に近い性格のクラスターであると考えられることから、派生重みとして取り上げる必要性が小さいと考えられる。また、資源有効利用性を重視するクラスターは、6 分類としたときには消滅してしまう。そこで、7 分類のときの各クラスターのうち、均等な重みとなるクラスター（初期クラスター9）を除くクラスターを派生重みとして取り上げることが考えられる。

また、この結果をグラフで表したものが、付図 3.1.24 である。クラスター生成数が7のときには、各評価視点を重視するクラスターが最も重視する評価視点の重みは初期クラスターのときと変わらないこと、クラスター生成数が6のときには、資源有効利用性を重視するクラスターが消滅していることが確認できる。

これらを勘案して、派生重み付けケースは、7 分類クラスター分析で得られたクラスターのうち、以下の6 クラスターを選定する。

派生重み付けケース：7 分類クラスター分析で得られたクラスターのうち、

- クラスター1：経済性を特に重視する集団
- クラスター2：資源供給性を重視する集団
- クラスター3：放射性廃棄物（環境負荷低減性）を特に重視する集団
- クラスター4：核拡散抵抗性を特に重視する集団
- クラスター5：技術的実現性を特に重視する集団
- クラスター6：社会的受容性を特に重視する集団

このときの各評価視点の重みを付図 3.1.25 に示す。基本となる重みと各評価視点を重視する6つの派生重みという、全部で7種類の重みが得られた。

付録3.1.4 8 評価視点間の重み付け

ここでは、他電源との比較評価を実施するための8 評価視点（経済性、放射性廃棄物、環境影響低減性、資源供給性、核拡散抵抗性（社会不安定影響性）、技術的実現性、事業容易性、社会的受容性（心理的バイアス低減性））について、重み付けを検討し、重みを設定した結果を記述する。なお、5 評価視点の場合と同様の検討を行なった点は適宜説明を割愛する。

(1) 単純平均による重み付け

8 評価視点に関わる一対比較の結果から、一対比較行列を介して重み付けした結果を、回答者全員（2,197 名）について単純平均した（一対比較行列からの重み付けは、固有値を用いない簡易法による）。

各評価視点の重みについて、求めた平均値と標準偏差を付図 3.1.26 に示した。また、5 視点間の重み付け結果も参考として再掲した。8 視点間重み付けで新たに加わった3 視点のうち、社会的受容性が、環境、核拡散に次ぐ大きさの重みを有している。

(2) 各クラスターの重み付け

(i) クラスター数を10とした場合

5 評価視点および 8 評価視点間重み付けと同様の検討を経て、クラスター数を「視点数 + 2 = 10」として、クラスター分析を実施した（以下では、8 視点間重み付け結果に対する「初期クラスター分析」とする）。当初のクラスター分析（クラスター数：10）の結果として、各クラスターに含まれる回答者数、および、視点間重み付けのクラスター内平均値（すなわちクラスター中心）を付表 3.1.27 に示した（付図 3.1.27 にはクラスター中心を図示）。

各クラスターが重視する評価視点を以下のように読み取ることができる。クラスター1 からクラスター7 は、それぞれある一つの評価視点を特に重視する集団と考えられるが、「事業容易性」を重視する集団はクラスターとして抽出されていない。

- クラスター1：「経済性」重視
- クラスター2：「資源供給性」重視
- クラスター3：「放射性廃棄物」重視
- クラスター4：「環境影響低減性（放射性以外）」重視
- クラスター5：「核拡散抵抗性」重視
- クラスター6：「技術的実現性」重視
- クラスター7：「心理的バイアス低減性（社会的受容性）」重視
- クラスター8：平均に近い集団のうち、「心理」重視
- クラスター9：平均に近い集団のうち、「心理」を重視しない
- クラスター10：各視点を同程度に重視

(ii) クラスターの安定性の検討

5 評価視点の場合と同様に、各クラスターを“代表的な集団”としてみなし得るかどうかを検討することを目的として、9 つのクラスターを生成した場合（以下、便宜的に「初期クラスター」とも記述する）と異なるクラスター生成数で実施したクラスター分析結果と比較しながら、クラスター1～9 がどのように分割・統合されるのかを検討した。

クラスター数を 9、8、7、6 とした場合の分析結果を、それぞれ付表 3.1.28～付表 3.1.31 および付図 3.1.28～付図 3.1.31 に示す。各分析結果におけるクラスターの番号付けは、初期クラスターの場合に倣って、経済性、資源供給性、放射性廃棄物、環境影響低減性、核拡散抵抗性、技術的実現性、心理的バイアス低減性（社会的受容性）のそれぞれの重みが最大になるクラスターをそれぞれ 1、2、3、4、5、6、7 とした。

付表 3.1.32 は、各クラスター分析における初期クラスターの分割・統合状況を示したものである。9 分類クラスター分析では、主として初期クラスター（9 分類クラスター）9 が分割され、主にクラスター3、5、その他に統合されている。同様に、8 分類クラスターでは初期クラスター8（主にクラスター7、一部がクラスター10 に統合）および 8 が、7 分類クラスターではクラスター2（主にクラスター10 に統合）、7、8 が分割され、他のクラスターへ統合されることが示されている。なお、6 分類クラスターでは、クラスター6 も分割され、主にクラスター10 に統合されるように記載されているが、このときクラスター6 のほとんど分割されずに統合されている。また、この統合までクラスター6 は、他クラスターからの個体と統

合されることも少なく(9~7分類クラスター分析における初期クラスター占有率が高いことに留意)、独立していたと考えられる。参考までに、5分類クラスターでは、さらにクラスター3が分割・統合された。また、5評価視点および7評価視点の場合と同様に、他の各評価視点を重視するクラスターと比較して、クラスター2はやや安定性に欠ける傾向がある。

(iii) 8評価視点の重み付け結果

8評価視点の重み付けに関しては、やはり回答者全員の意思が反映されていることを踏まえて単純平均結果を基本となる重みとし、アンケート回答者における特徴のある集団による重み付けとして考えられる場合、クラスター分析で得られた各クラスターに対応する評価結果を派生的な重みとして位置づけることとする。また、大きな特徴がないクラスターについては派生重みとして取り上げず、クラスター数をできるかぎり減らすこととする。付表3.1.34にクラスター生成数を変化させたときに各クラスターが最も重視する評価視点をまとめた。表中で(重み小)と書かれているのは、10分類のときと比べて重みが小さくなっており、分割数を変化させることで特徴が失われたクラスターと考えられる。

初期クラスターのうち、クラスター8~10は、環境影響低減性、核拡散抵抗性、心理的バイアス低減性のいずれか、あるいは複数の視点を重視する傾向と全ての評価視点を均等に重視する傾向の中間に位置するクラスターであり、全体のうち大きな割合を占めているものの、各評価視点についてはもっと極端に重視するクラスターがあること、相対的に回答者全員の単純平均に近い性格のクラスターであると考えられることから、派生重みとして取り上げる必要性が小さいと考えられる。また、資源供給性を重視するクラスターは、7分類としたときには消滅してしまう。そこで、8分類のときの各クラスターのうち、均等な重みとなるクラスター(初期クラスター10)を除く7クラスターを派生重みとして取り上げることが考えられる。

この結果をグラフで表したものが、付図3.1.32である。クラスター生成数が8のときには、各評価視点を重視するクラスターが最も重視する評価視点の重みは初期クラスターのときと大きく変わらないこと、クラスター生成数が7のときには、資源有効利用性を重視するクラスターが消滅していることが確認できる。

これらを勘案して、派生重み付けケースは、8分類クラスター分析で得られたクラスターのうち、以下の7クラスターを選定する。

派生重み付けケース：

7分類クラスター分析で得られたクラスターのうち、

- クラスター1：経済性を特に重視する集団
- クラスター2：資源供給性を重視する集団
- クラスター3：放射性廃棄物を重視する集団
- クラスター4：環境影響低減性(放射性廃棄物を除く)を特に重視する集団
- クラスター5：核拡散抵抗性を特に重視する集団
- クラスター6：技術的実現性を特に重視する集団

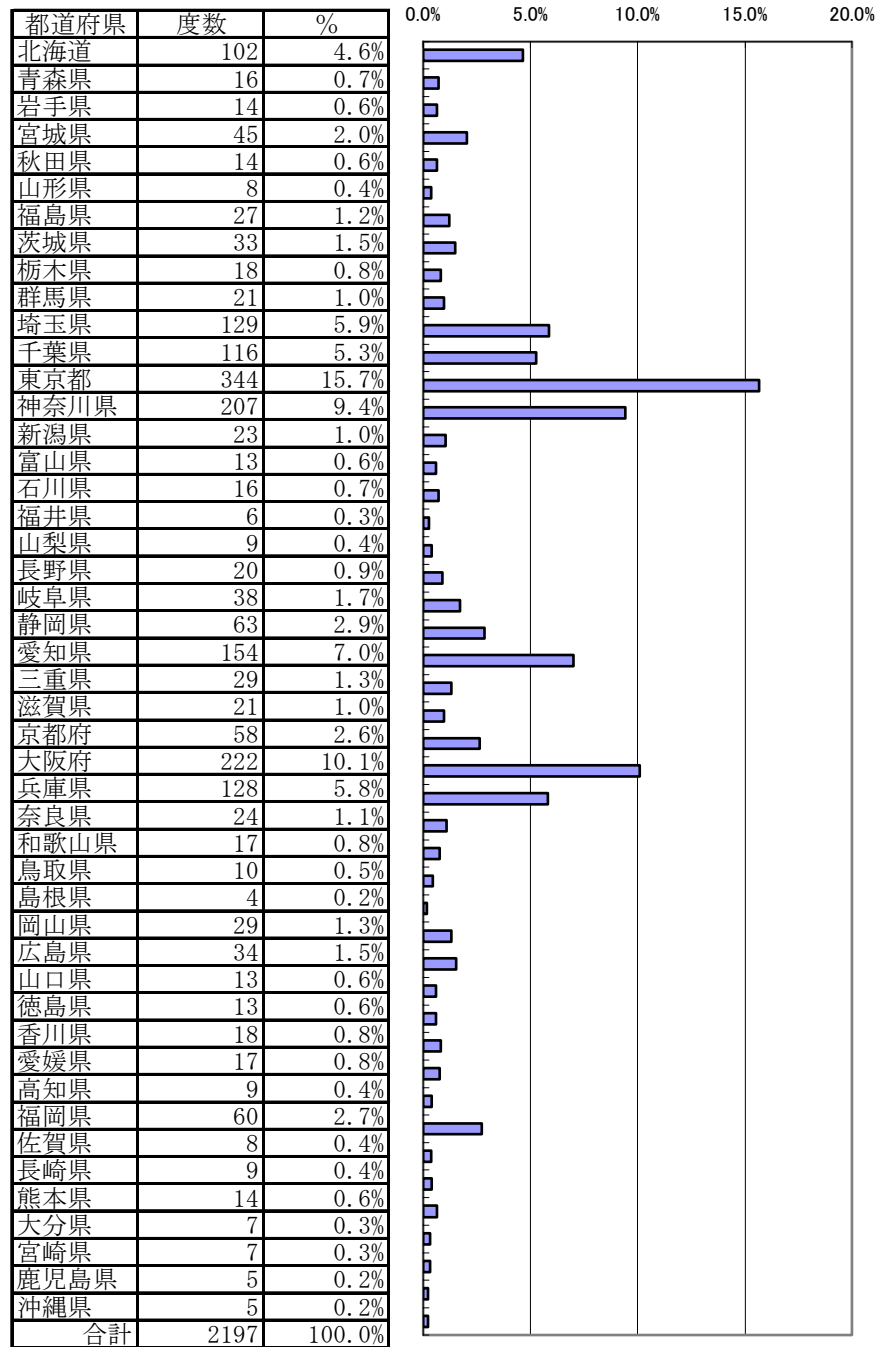
- クラスタ7：心理的バイアス低減性を特に重視する集団

このときの各評価視点の重みを付図 3.1.33 に示す。基本となる重みと各評価視点を重視する7つの派生重みという、全部で8種類の重みを得られた。

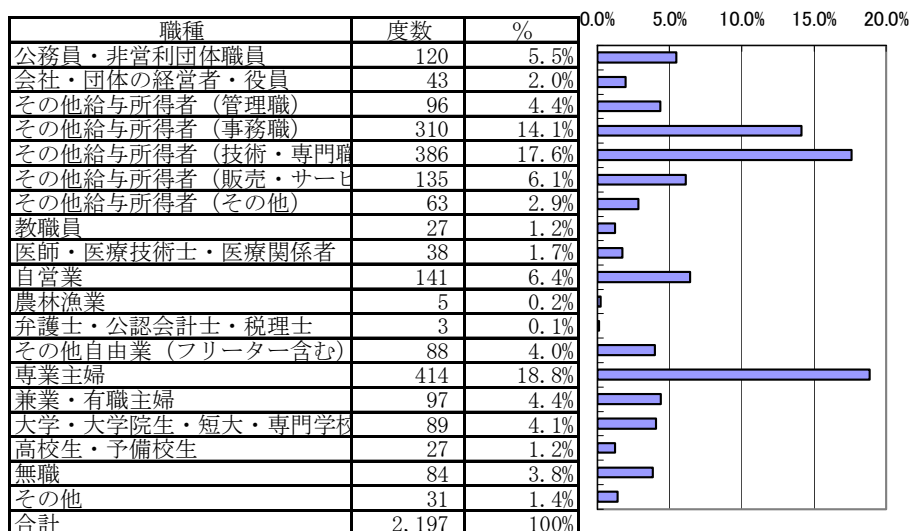
付表 3.1.1 アンケート回答者属性（男女／年齢）

	男	女	合計
15～19歳	15 (0.7%)	18 (0.8%)	33 (1.5%)
20～24歳	60 (2.7%)	90 (4.1%)	150 (6.8%)
25～29歳	138 (6.3%)	209 (9.5%)	347 (15.8%)
30～34歳	219 (10.0%)	305 (13.9%)	524 (23.9%)
35～39歳	165 (7.5%)	206 (9.4%)	371 (16.9%)
40～44歳	182 (8.3%)	160 (7.3%)	342 (15.6%)
45～49歳	133 (6.1%)	58 (2.6%)	191 (8.7%)
50～54歳	63 (2.9%)	42 (1.9%)	105 (4.8%)
55～59歳	46 (2.1%)	23 (1.0%)	69 (3.1%)
60～64歳	25 (1.1%)	6 (0.3%)	31 (1.4%)
65～69歳	21 (1.0%)	7 (0.3%)	28 (1.3%)
70歳以上	6 (0.3%)	(0.0%)	6 (0.3%)
合計	1,073 (48.8%)	1,124 (51.2%)	2,197 (100.0%)

付表 3.1.2 アンケート回答者属性（居住都道府県別）



付表 3.1.3 アンケート回答者属性（職種別）

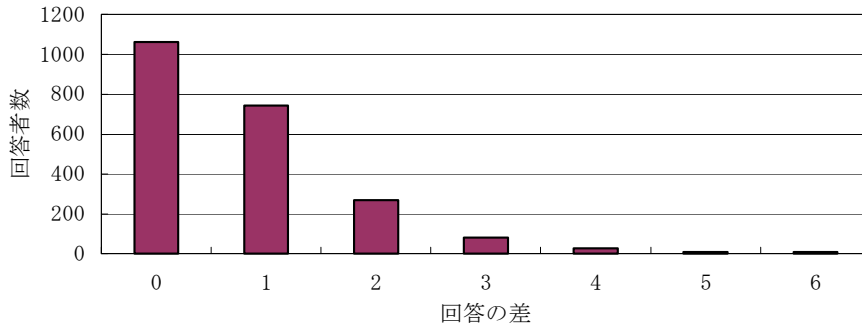


付表 3.1.4 アンケート回答者属性（業種別）

業種	度数	%
農林水産	8	0.4%
鉱業・電力・ガス/その他エネルギー	112	5.1%
建設・土木・住宅・プラント	87	4.0%
木材/紙・パルプ/繊維製造/印刷	21	1.0%
化学/石油/ゴム製品	18	0.8%
医薬品/化粧品	29	1.3%
鉄鋼・非鉄・金属・素材・製品	31	1.4%
水産加工/食品/飲料/酒類	24	1.1%
電気/電子/コンピュータ/通信機器	127	5.8%
自動車/自動車部品	38	1.7%
機械・機械部品・精密機械	47	2.1%
その他製造業	48	2.2%
商社	21	1.0%
百貨店/スーパー	10	0.5%
コンビニエンスストア	1	0.0%
その他の流通・小売業	29	1.3%
銀行/信託/信金/信組/政府系金融	13	0.6%
信販/消費者金融/その他金融	9	0.4%
証券業/商品取引	7	0.3%
生命保険/損害保険業	12	0.5%
不動産開発販売業	14	0.6%
リース/レンタル業	2	0.1%
運輸/倉庫業	22	1.0%
ホテル/旅行代理店業	7	0.3%
外食/フードサービス業	12	0.5%
通信業	36	1.6%
ソフトウェア/情報処理/その他情報サービス	114	5.2%
新聞/出版/放送	15	0.7%
その他のサービス	131	6.0%
その他	108	4.9%
合計	1153	52%
欠損値	1044	

*%は合計+欠損値=2,197に対する割合

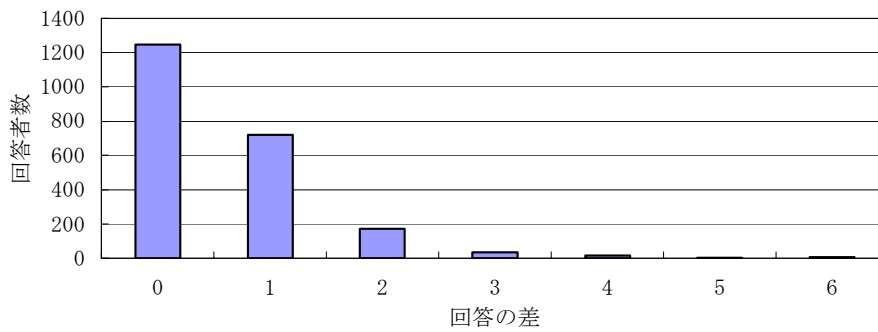
問3-1と問1-19の比較



回答の差*	0	1	2	3	4	5	6
回答者数	1063	742	268	80	26	9	9
%	48.4%	33.8%	12.2%	3.6%	1.2%	0.4%	0.4%
累計%	48.4%	82.2%	94.4%	98.0%	99.2%	99.6%	100.0%

*回答の差：同一の回答であれば0、隣り合った位置に記していれば1、二つ隣であれば2、となる。最大で6。

問3-2と問2-3の比較

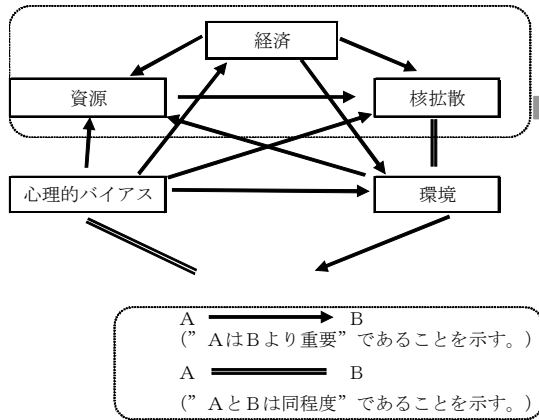


回答の差*	0	1	2	3	4	5	6
回答者数	1246	720	171	36	15	2	6
%	56.7%	32.8%	7.8%	1.6%	0.7%	0.1%	0.3%
累計%	56.7%	89.5%	97.3%	99.0%	99.6%	99.7%	100.0%

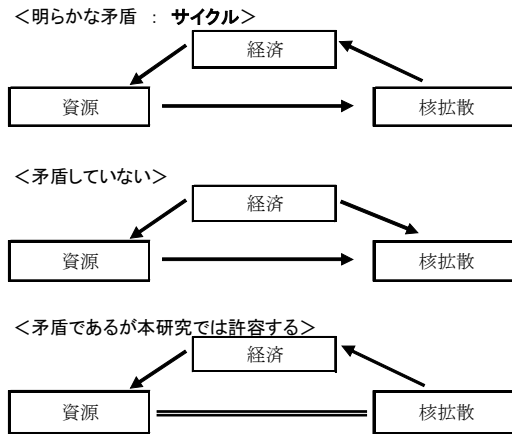
*回答の差：同一の回答であれば0、隣り合った位置に記していれば1、二つ隣であれば2、となる。最大で6。

付図 3.1.1 「チェック用設問」への回答状況について

視点をノードとして有効グラフ表現



例) 経済-資源-核拡散 の有効グラフ表現



付図 3.1.2 有向グラフ表現と一対比較の矛盾

付表 3.1.5 「サイクル」の個数別回答者数

「明らかな矛盾」 の個数 (最大56)	許容		要検討															
	←	→	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
該当回答者数	1185	308	228	140	106	62	56	34	27	18	12	10	5	2	3	1		
累積	1185	1493	1721	1861	1967	2029	2085	2119	2146	2164	2176	2186	2191	2193	2196	2197		
累積%	53.9%	68.0%	78.3%	84.7%	89.5%	92.4%	94.9%	96.4%	97.7%	98.5%	99.0%	99.5%	99.7%	99.8%	100.0%	100.0%		

付表 3.1.6 問1への各回答の相関行列

	1新工 新技術	2化石 燃料枯	3ウラン 資源	4原油 価格	5国際 社会の	6治安 悪化	7国民 意識の	8省エ ネ進展	9新工 ネ普及	10地球 環境	11地域 環境	12二酸 削減	13二酸 原子	14自由 化の	15原子 官民	16放射 性廃	17電源 立地	18地方 分権	19経済 成長	
1新工新技術																				
2化石燃料枯	-0.13																			
3ウラン資源	-0.12	0.63																		
4原油価格	-0.07	0.39	0.27																	
5国際社会の	0.07	0.04	-0.01	0.21																
6治安悪化	-0.06	0.13	0.12	0.21	0.21															
7国民意識の	0.02	-0.06	-0.01	-0.11	-0.04	-0.08														
8省エネ進展	0.26	0.01	0.01	-0.01	0.18	0.04	0.07													
9新工ネ普及	0.45	-0.05	-0.03	-0.02	0.14	-0.02	0.03	0.52												
10地球環境	-0.04	0.18	0.13	0.24	0.29	0.14	-0.01	0.12	0.05											
11地域環境	0.03	0.19	0.15	0.25	0.26	0.19	-0.10	0.15	0.12	0.43										
12二酸削減	0.02	0.12	0.09	0.19	0.14	0.13	-0.06	0.04	0.02	0.17	0.11									
13二酸原子	-0.03	0.11	0.13	0.11	0.09	0.06	0.09	0.05	0.00	0.19	0.18	0.03								
14自由化の	0.19	-0.07	-0.08	-0.08	0.01	-0.07	0.04	0.19	0.26	-0.07	-0.04	-0.08	0.00							
15原子官民	0.04	0.04	0.05	-0.03	-0.02	0.04	0.05	0.03	0.05	-0.04	0.06	-0.07	0.05	-0.02						
16放射性廃	0.04	-0.02	-0.04	0.01	0.03	-0.05	-0.04	0.01	0.08	0.04	0.07	-0.04	0.03	0.03	-0.01					
17電源立地	0.16	-0.01	-0.03	0.05	0.13	-0.01	-0.07	0.26	0.22	0.08	0.11	0.01	0.18	-0.02	0.15					
18地方分権	0.11	-0.01	-0.03	-0.05	0.00	-0.07	0.03	0.12	0.14	-0.04	-0.06	-0.07	-0.01	0.22	-0.06	0.04	0.19			
19経済成長	0.14	0.08	0.06	0.12	0.26	0.17	0.04	0.22	0.20	0.23	0.21	0.10	0.16	0.09	0.05	0.00	0.18	0.07		

付表 3.1.7 問1の主成分分析結果

<各成分の固有値>

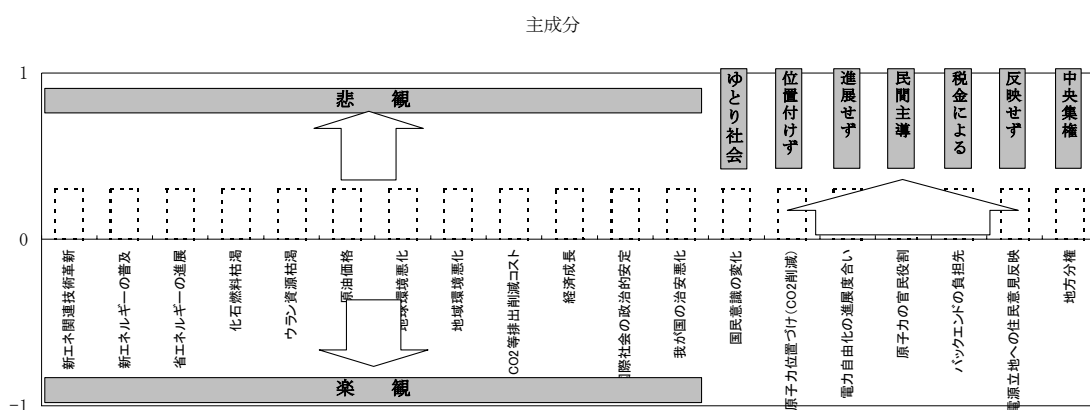
成分	固有値	固有値の %	累積 %
1	2.77	14.6%	14.6%
2	2.41	12.7%	27.2%
3	1.38	7.3%	34.5%
4	1.23	6.5%	40.9%
5	1.13	6.0%	46.9%
6	1.07	5.6%	52.5%
7	0.98	5.1%	57.7%
8	0.86	4.5%	62.2%
9	0.84	4.4%	66.6%
10	0.81	4.3%	70.9%
11	0.76	4.0%	74.9%
12	0.75	3.9%	78.8%
13	0.73	3.9%	82.7%
14	0.71	3.7%	86.4%
15	0.67	3.5%	90.0%
16	0.61	3.2%	93.2%
17	0.53	2.8%	96.0%
18	0.42	2.2%	98.2%
19	0.35	1.8%	100.0%

<成分行列>

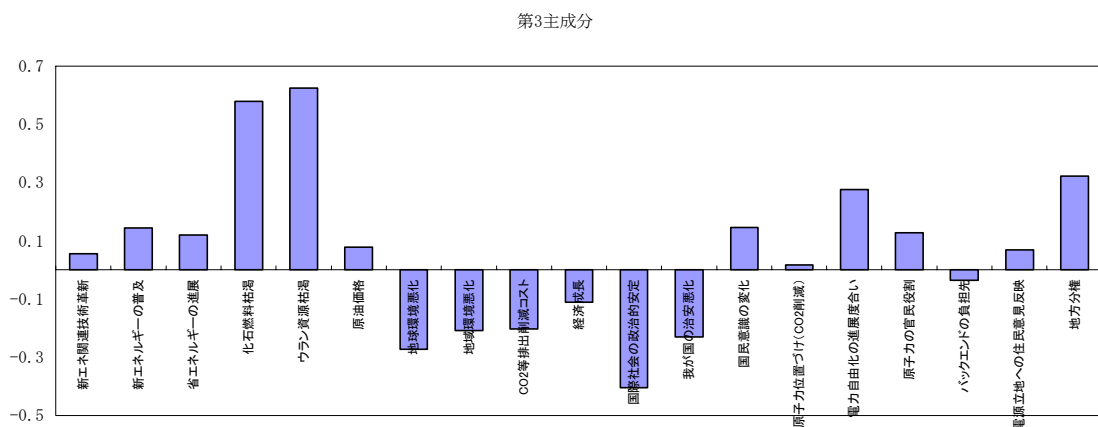
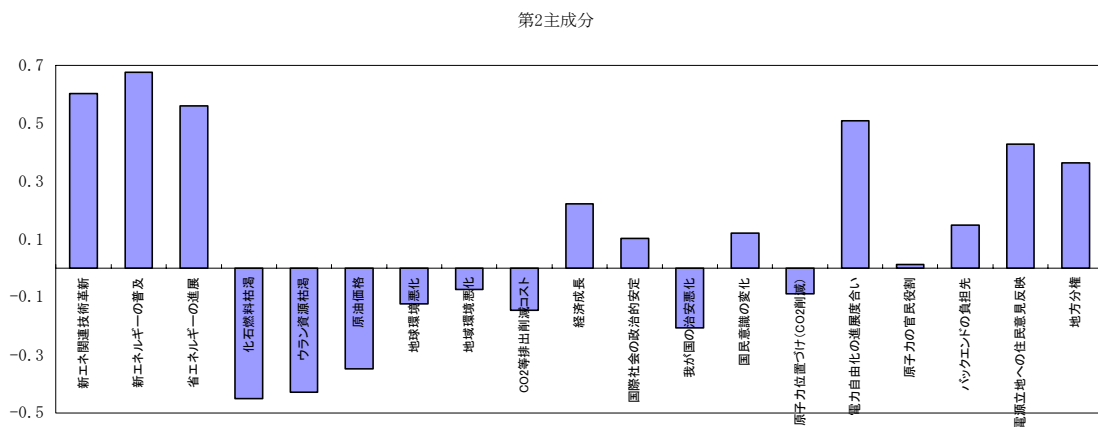
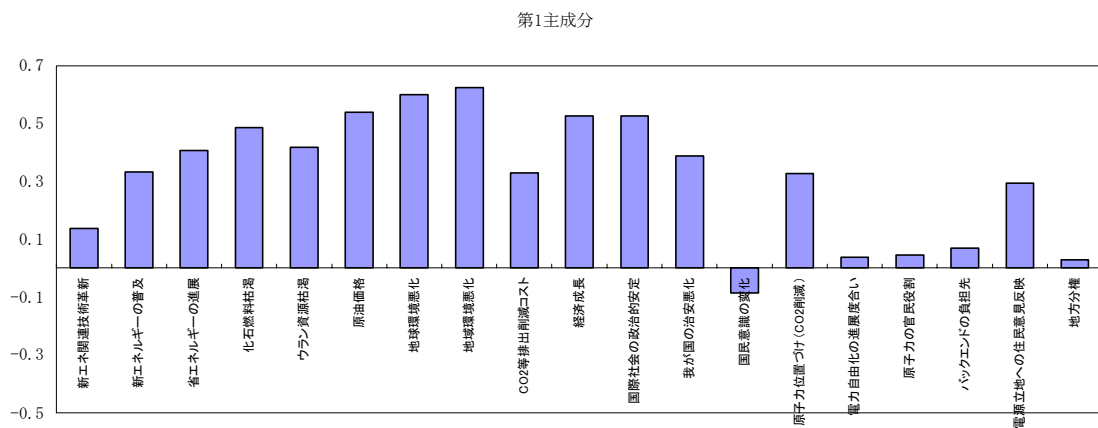
	主成分	1	2	3	4	5	6
問1-1新エネルギー関連技術革新		0.138	0.603	0.056	0.061	-0.285	0.138
問1-9新エネルギーの普及		0.333	0.676	0.143	0.083	-0.236	0.143
問1-8省エネルギーの進展		0.406	0.561	0.120	0.123	-0.180	0.020
問1-2化石燃料枯渇		0.486	-0.451	0.578	-0.077	-0.059	0.029
問1-3ウラン資源枯渇		0.417	-0.429	0.623	0.022	-0.072	0.035
問1-4原油価格		0.540	-0.349	0.077	-0.214	-0.071	-0.005
問1-10地球環境悪化		0.599	-0.123	-0.273	0.041	0.256	-0.097
問1-11地域環境悪化		0.624	-0.074	-0.209	0.039	0.174	0.210
問1-12二酸化炭素等排出削減コスト		0.330	-0.146	-0.202	-0.156	-0.380	-0.227
問1-19経済成長		0.526	0.223	-0.111	0.185	0.040	-0.168
問1-5国際社会の政治的安定		0.527	0.103	-0.406	-0.019	-0.018	-0.110
問1-6我が国の治安悪化		0.388	-0.206	-0.231	0.045	-0.260	-0.002
問1-7我が国の国民意識の変化		-0.086	0.121	0.145	0.602	0.205	-0.381
問1-13二酸化炭素 排出削減における原子力の位置づけ		0.327	-0.089	0.016	0.380	0.459	-0.153
問1-14電力自由化の進展度合い		0.038	0.508	0.275	-0.102	0.081	-0.182
問1-15原子力開発・利用に対する官民の役割		0.045	0.013	0.126	0.518	-0.045	0.581
問1-16放射性廃棄物処分費用の負担先		0.070	0.148	-0.037	-0.295	0.530	0.452
問1-17電源立地に対する地域住民の意思・意見の反映		0.294	0.427	0.068	-0.366	0.217	0.083
問1-18地方分権		0.029	0.363	0.322	-0.275	0.228	-0.359

付表 3.1.8 問 1 への回答の主成分の解釈

主成分	解釈	備考
1	悲観的社会	「楽観／悲観」軸となる変数の係数が全て同一方向である。
2	資源が豊富な旧態依然エネルギー社会	資源枯渇の懸念は小さく、(その結果として、と言えるかどうかは別として) 新エネ・省エネの普及も無い社会。また、電力自由化も進んでいない。旧態依然としたエネルギー社会⇔化石燃料が枯渇して新エネ・省エネの時代と捉えられる。
3	資源枯渇社会	資源枯渇懸念は現実化するも、国際問題や環境問題は安定。(枯渇した資源を補うエネルギーについては触れていない)
4	地方分権下のゆとり社会	ゆとり社会のなかで、地方／地域住民の発言力が強くなる。原子力に対する国の関与も縮小化。
5	原子力の地位低迷社会	環境悪化の懸念はあるものの、CO2削減コストは小さく抑えられ、新エネも進む。原子力はその主要電源としての地位を得られない。中央集権色の強い社会であり、バックエンドは国を挙げて負担。
6	地方分権化のスピード社会	地方分権が進み、原子力に対しても国の関与は小さくなる。ただし、便利なスピード社会を保つべくバックエンド負担には税金を投入。

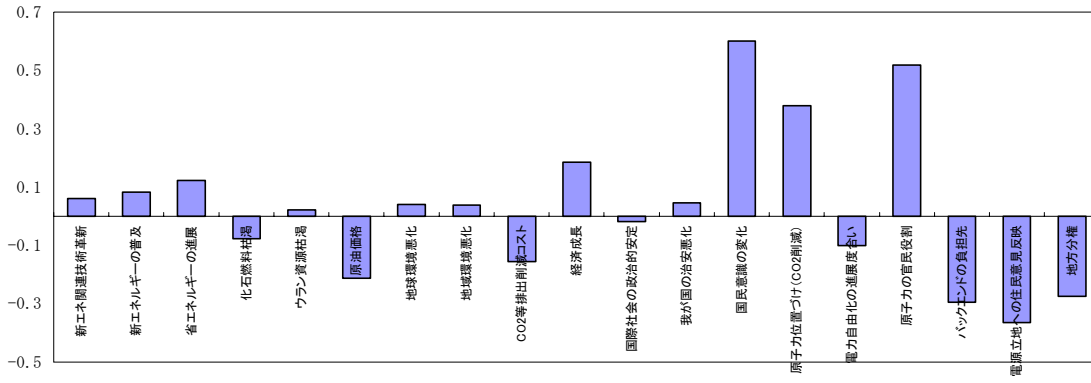


付図 3.1.3 主成分の成分行列の見方 (第 1 主成分を中心)

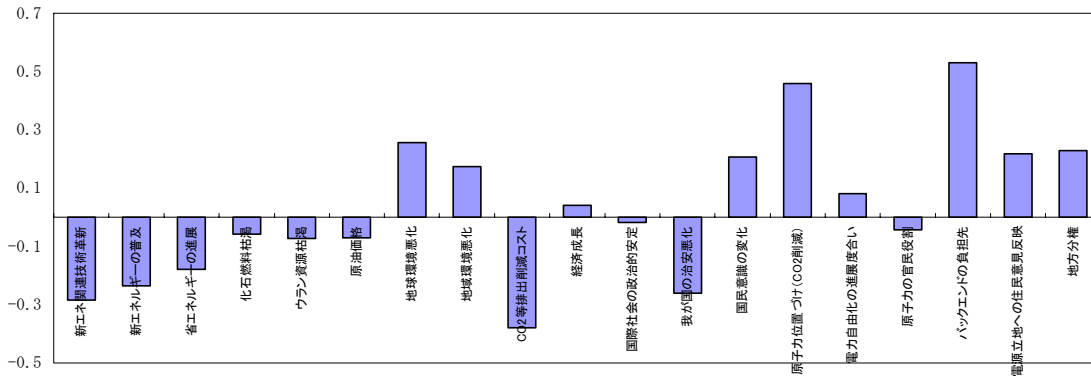


付図 3.1.4 問1の主成分の成分行列 (1/2)

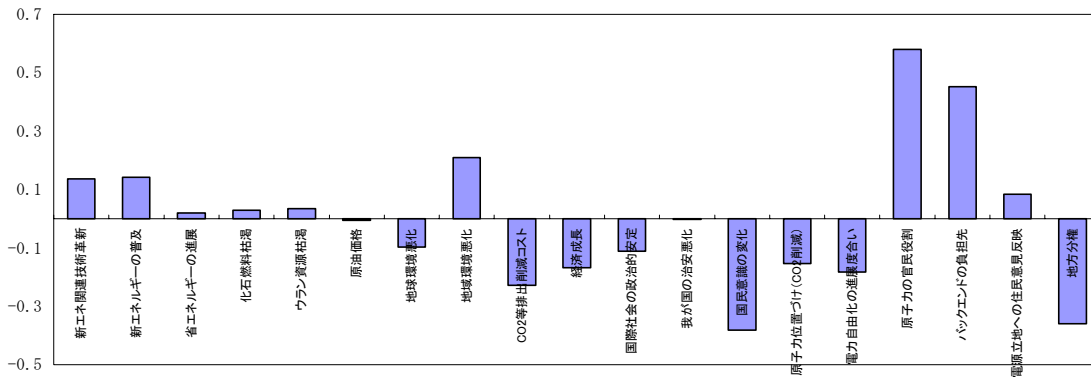
第4主成分



第5主成分

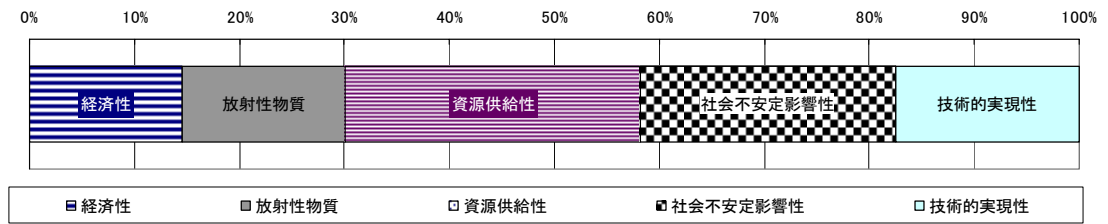


第6主成分

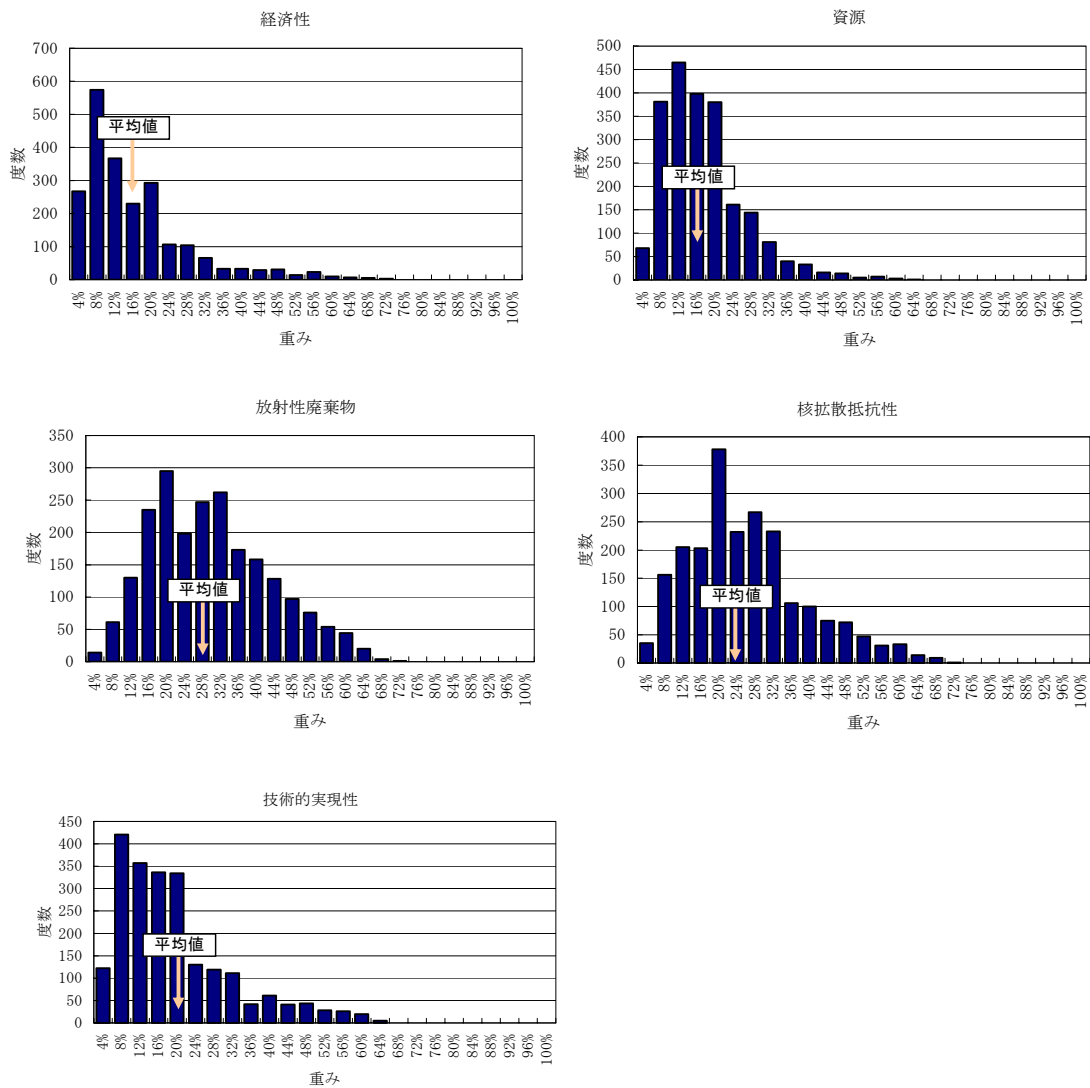


付図 3.1.5 問1の主成分の成分行列 (2/2)

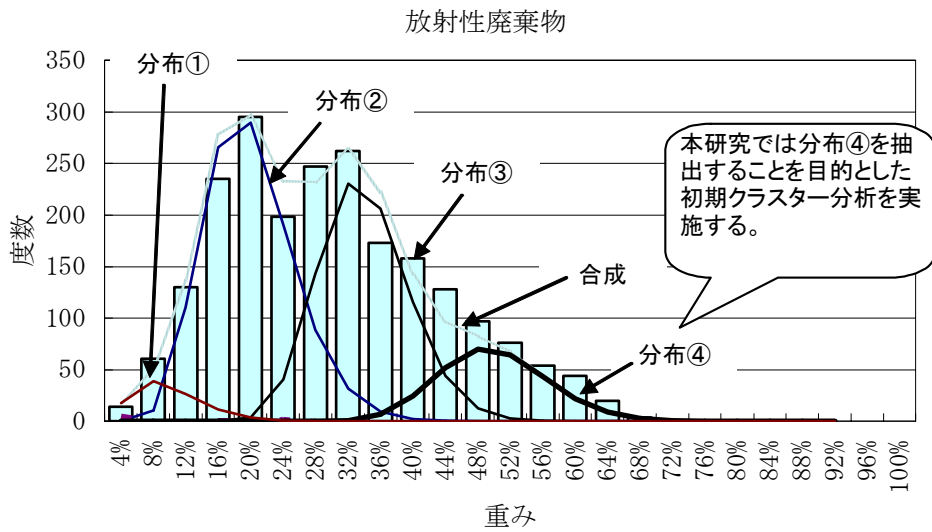
	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
平均	14.591%	15.528%	28.094%	24.301%	17.486%
標準偏差	12.160%	9.064%	13.149%	13.042%	12.497%



付図 3.1.6 単純平均から求めた評価視点の重み (5 評価視点)



付図 3.1.7 5 評価視点の重みに関する度数分布

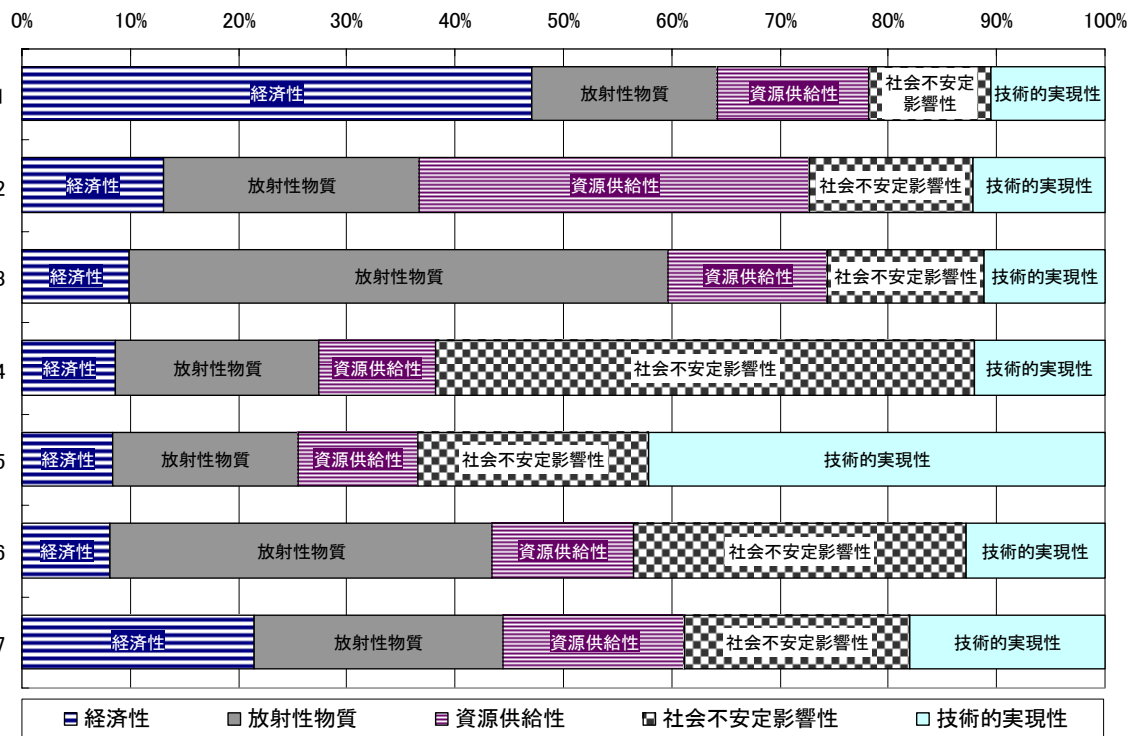


付図 3.1.8 複数の集団分布からなる重みの度数分布イメージ

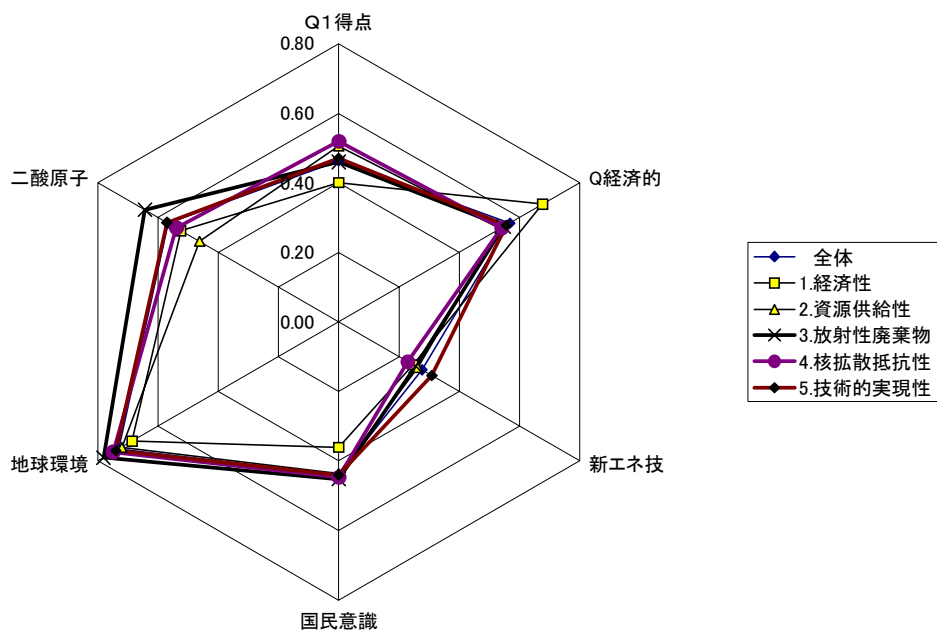
付表 3.1.9 5評価視点間の重みによる回答者のクラスター分析結果

クラスタNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性	回答者数
1	47.141%	17.031%	13.970%	11.268%	10.590%	164
2	13.028%	23.685%	35.998%	15.059%	12.231%	184
3	9.946%	49.642%	14.788%	14.414%	11.210%	341
4	8.688%	18.666%	10.846%	49.729%	12.072%	261
5	8.345%	17.189%	11.007%	21.325%	42.133%	310
6	8.114%	35.242%	13.081%	30.710%	12.854%	479
7	21.390%	23.061%	16.701%	20.863%	17.986%	458

標準偏差	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性
1	12.611%	4.954%	4.224%	3.476%	3.312%
2	4.213%	6.989%	10.229%	4.698%	3.969%
3	4.394%	18.175%	6.009%	5.725%	4.769%
4	3.552%	6.586%	4.090%	16.281%	4.707%
5	3.508%	6.535%	4.430%	8.075%	15.042%
6	3.893%	14.816%	5.997%	13.001%	6.187%
7	9.124%	9.760%	7.260%	8.922%	7.864%



付図 3.1.9 各クラスターの重み中心 (クラスター中心)



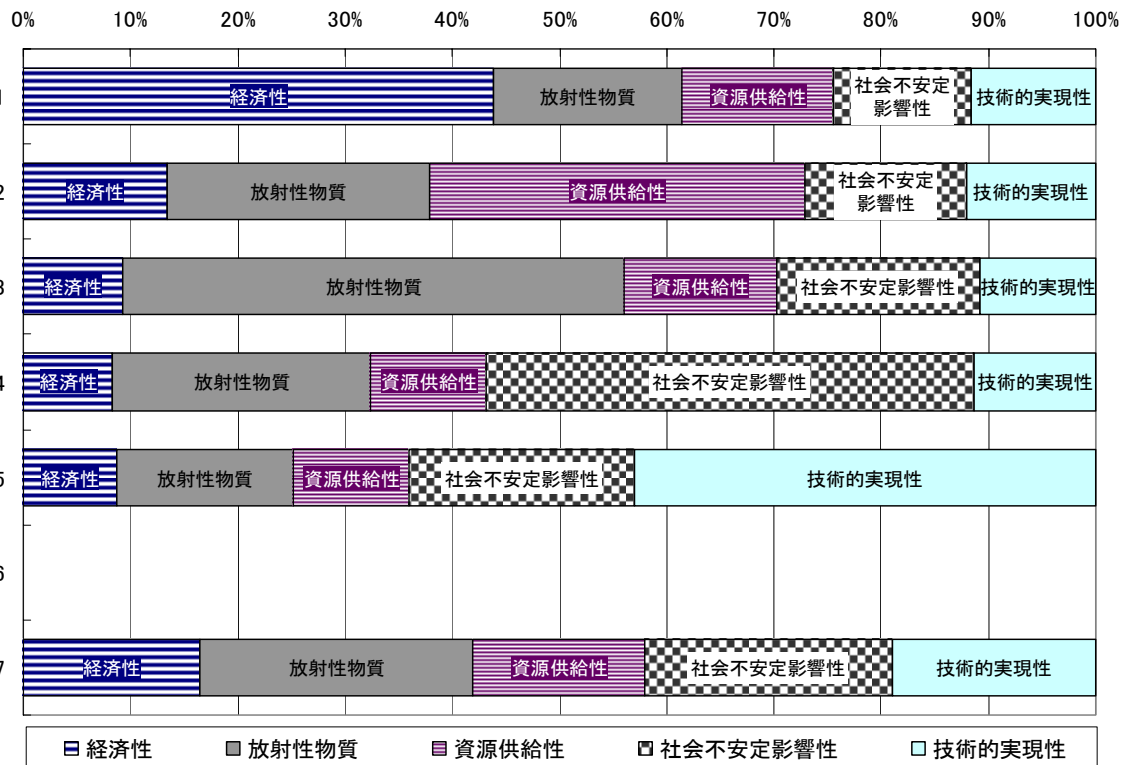
	Q 1 得点	Q経済的	新エネ技	国民意識	地球環境	二酸原子
全体	0.46	0.57	0.28	0.44	0.73	0.57
クラスタ 1. 経済性	0.40	0.68	0.25	0.36	0.69	0.52
クラスタ 2. 資源供給性	0.51	0.54	0.26	0.44	0.72	0.46
クラスタ 3. 放射性廃棄物	0.46	0.55	0.25	0.45	0.78	0.64
クラスタ 4. 核拡散抵抗性	0.52	0.54	0.23	0.45	0.75	0.54
クラスタ 5. 技術的実現性	0.47	0.56	0.31	0.44	0.74	0.57

注) 各設問とも、結果の最大値が1、最低値が0となるように変換したもの

付図 3.1.10 各クラスター別「回答者プロフィール」、「将来社会像」回答結果平均値

付表 3.1.10 5評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数: 6)

クラスタNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性	回答者数
1	43.788%	17.661%	14.054%	12.938%	11.559%	212
2	13.452%	24.435%	34.979%	15.094%	12.040%	203
3	9.237%	46.722%	14.262%	18.946%	10.832%	511
4	8.351%	23.952%	10.877%	45.480%	11.339%	410
5	8.749%	16.374%	10.881%	20.938%	43.058%	290
7	16.396%	25.523%	15.992%	23.085%	19.003%	571

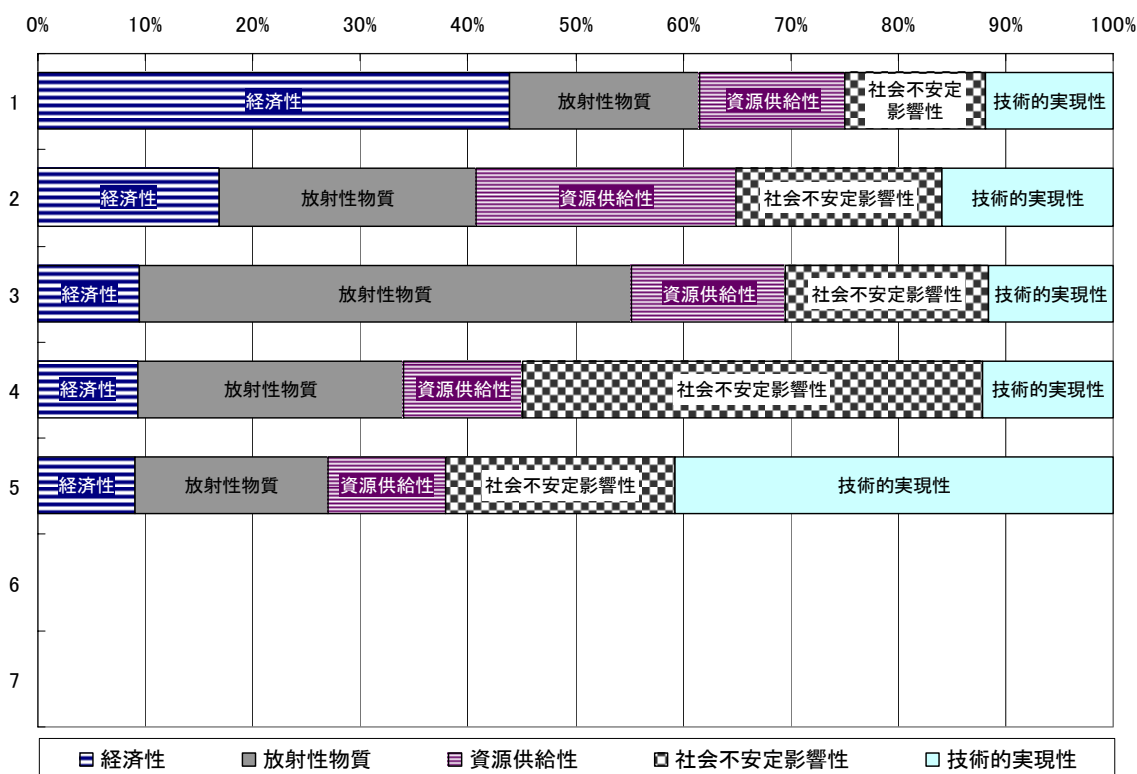


付図 3.1.11 5 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 6)

付表 3.1.11 5 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 5)

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	回答者数
1	43.818%	17.768%	13.506%	13.040%	11.868%	211
2	16.858%	23.954%	24.166%	19.134%	15.888%	578
3	9.387%	45.825%	14.315%	18.916%	11.557%	554
4	9.347%	24.619%	11.049%	42.833%	12.152%	507
5	9.015%	18.037%	10.850%	21.276%	40.822%	347

標準偏差	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
1	13.267%	5.768%	4.595%	4.515%	4.122%
2	8.250%	11.057%	11.777%	9.048%	7.764%
3	5.051%	20.268%	7.053%	9.117%	5.944%
4	5.009%	11.287%	5.318%	18.584%	6.131%
5	4.062%	7.221%	4.576%	8.452%	15.334%

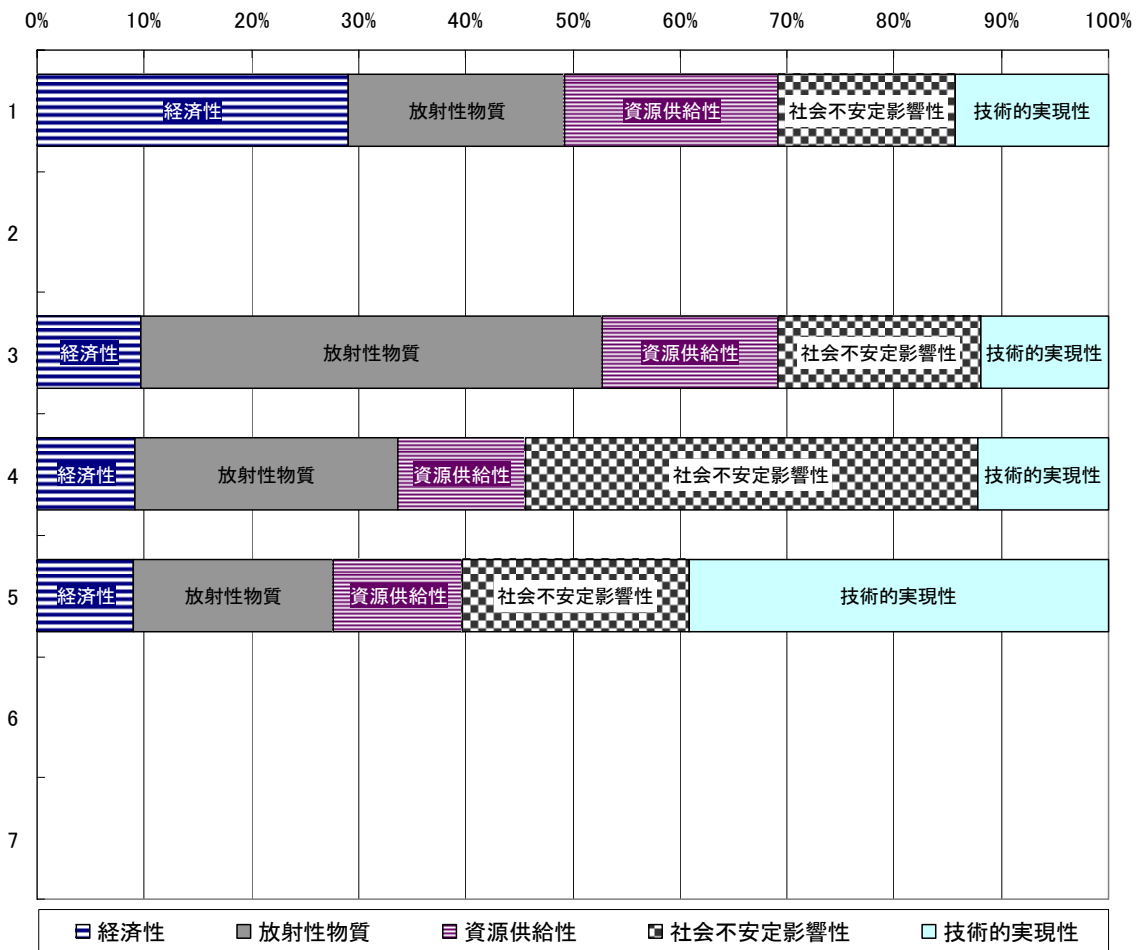


付図 3.1.12 5 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 5)

付表 3.1.12 5 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 4)

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	回答者数
1	29.042%	20.137%	19.926%	16.626%	14.268%	590
3	9.657%	43.021%	16.453%	18.908%	11.961%	687
4	9.072%	24.564%	11.903%	42.235%	12.227%	528
5	8.925%	18.664%	12.170%	21.147%	39.094%	392

標準偏差	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
1	14.581%	9.601%	10.425%	8.273%	7.237%
3	5.498%	20.574%	8.969%	9.747%	6.585%
4	4.847%	11.399%	5.965%	18.640%	6.214%
5	4.156%	7.798%	5.536%	8.819%	15.547%

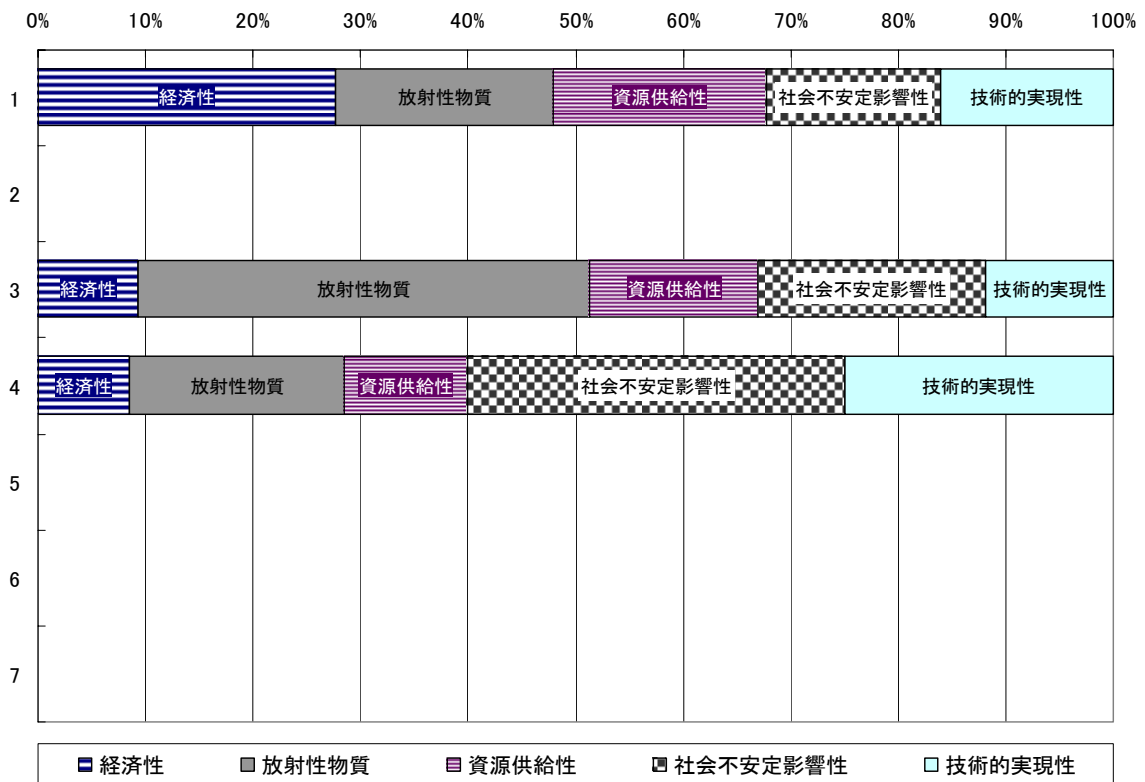


付図 3.1.13 5 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数: 4)

付表 3.1.13 5 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数: 3)

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	回答者数
1	27.669%	20.301%	19.832%	16.141%	16.057%	662
3	9.318%	41.919%	15.656%	21.204%	11.903%	804
4	8.548%	19.946%	11.489%	35.097%	24.920%	731

標準偏差	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
1	14.638%	10.066%	10.814%	8.471%	9.023%
3	5.580%	20.894%	8.954%	11.691%	7.091%
4	5.118%	10.378%	6.565%	18.224%	14.805%



付図 3.1.14 5 評価視点重みのクラスター分析結果（クラスター数：3）

付表 3.1.14 クラスター生成数が異なる場合における初期クラスターの分割・統合

		6分類クラスター						合計	結合度	
		1	2	3	4	5	7			
初期 クラ スタ	1	164	0	0	0	0	—	0	164	100.0%
	2	1	181	0	0	0	—	2	184	98.4%
	3	0	3	337	0	0	—	1	341	98.8%
	4	1	0	0	260	0	—	0	261	99.6%
	5	0	0	0	0	283	—	27	310	91.3%
	6	0	4	174	147	0	—	154	479	36.3%
	7	46	15	0	3	7	—	387	458	84.5%
合計		212	203	511	410	290	0	571	2197	
初期クラスタ 占有率		77.4%	89.2%	65.9%	63.4%	97.6%		67.8%		

		5分類クラスター					合計	結合度	
		1	2	3	4	5			
初期 クラ スタ	1	164	0	0	0	0	—	164	100.0%
	2	1	178	5	0	0	—	184	96.7%
	3	0	2	339	0	0	—	341	99.4%
	4	1	0	0	260	0	—	261	99.6%
	5	0	2	0	1	307	—	310	99.0%
	6	0	50	199	212	18	—	479	44.3%
	7	45	346	11	34	22	—	458	75.5%
合計		211	578	554	507	347	0	2197	
初期クラスタ 占有率		77.7%	30.8%	61.2%	51.3%	88.5%			

		4分類クラスター					合計	結合度	
		1	2	3	4	5			
初期 クラ スタ	1	164	—	0	0	0	—	164	100.0%
	2	95	—	64	11	14	—	184	51.6%
	3	0	—	341	0	0	—	341	100.0%
	4	1	—	0	260	0	—	261	99.6%
	5	0	—	0	1	309	—	310	99.7%
	6	0	—	238	221	20	—	479	49.7%
	7	330	—	44	35	49	—	458	72.1%
合計		590	0	687	528	392	0	2197	
初期クラスタ 占有率		27.8%		49.6%	49.2%	78.8%			

		3分類クラスター				合計	結合度
		1	3	4			
初期 クラ スタ	1	164	—	0	—	164	100.0%
	2	108	—	62	14	184	58.7%
	3	1	—	340	0	341	99.7%
	4	2	—	0	259	261	99.2%
	5	35	—	10	265	310	85.5%
	6	1	—	349	129	479	72.9%
	7	351	—	43	64	458	76.6%
合計		662	0	804	731	2197	
初期クラスタ 占有率		24.8%		42.3%	35.4%		

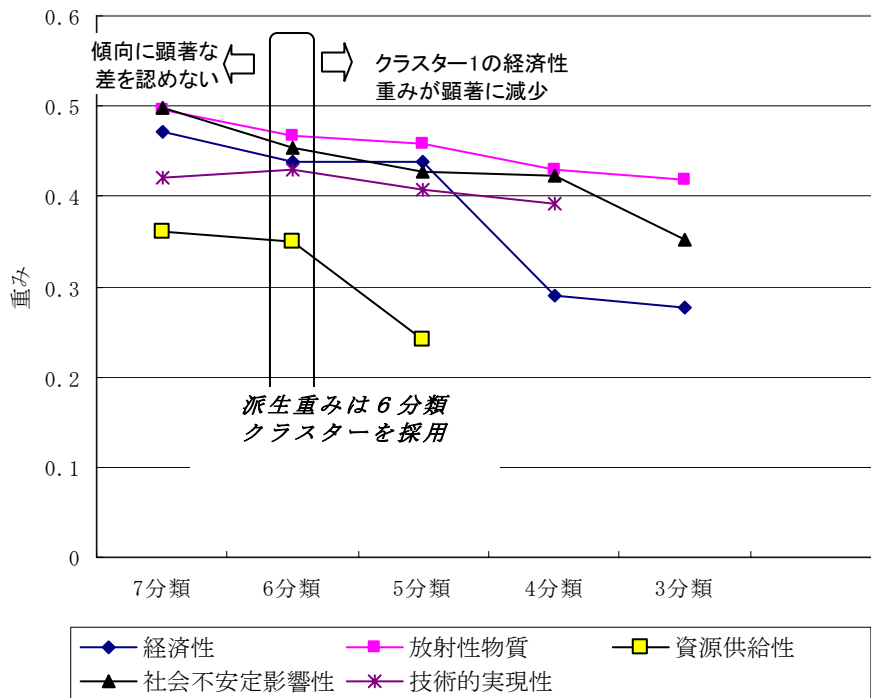
初期クラスタ*i*のうち、新クラスター*j*に含まれる度数を*a_{ij}*としたとき、
 初期クラスタ*i*の結合度： $\text{MAX}(a_{ij} : j) / \sum(a_{ij} : j)$
 新クラスター*j*における初期クラスタ*i*の占有率： $a_{ij} / \sum(a_{ij}, i)$

付表 3.1.15 初期（7分類）クラスターの結合性と独立性

	初期クラスター							指標の内容と評価式 (評価値はいずれも0~1に規格化)
	1	2	3	4	5	6	7	
結合性	1.00	0.76	0.99	1.00	0.94	0.51	0.77	”分割され難さ” 「結合度」の和/理論最大値 (=400%)
独立性	0.52	0.30	0.55	0.50	0.66		0.17	”他クラスターの統合し難さ” 「初期クラスター占有率」の和/理論最大値 (=400%)

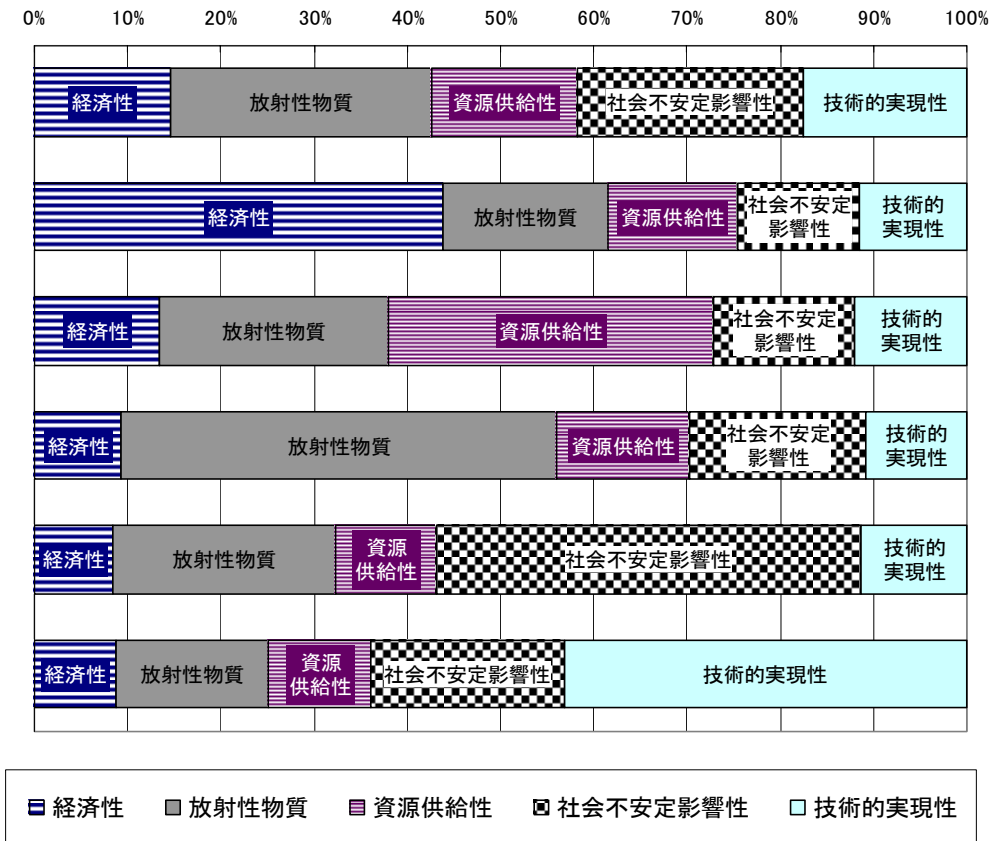
付表 3.1.16 各クラスターが重視する評価視点

7 分類	経済性重視、資源有効利用性（資源供給性）重視、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、単純平均と類似（環境影響低減性と核拡散抵抗性をやや重視）、ほぼ均等に重視
6 分類	経済性重視、資源有効利用性（資源供給性）重視、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、ほぼ均等に重視
5 分類	経済性重視、資源有効利用性（資源供給性）重視（重み小）、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視
4 分類	経済性重視（重み小）、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視
3 分類	経済性重視（重み小）、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視（重み小）



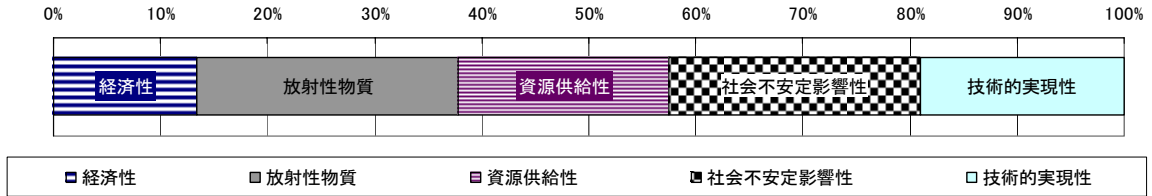
付図 3.1.15 各クラスターにおける最大の重みとクラスター生成数との関係

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現性
主重み付け	14.591%	28.094%	15.528%	24.301%	17.486%
派生重み付け1	43.788%	17.661%	14.054%	12.938%	11.559%
派生重み付け2	13.452%	24.435%	34.979%	15.094%	12.040%
派生重み付け3	9.237%	46.722%	14.262%	18.946%	10.832%
派生重み付け4	8.351%	23.952%	10.877%	45.480%	11.339%
派生重み付け5	8.749%	16.374%	10.881%	20.938%	43.058%



付図 3.1.16 5 評価視点の重み付け結果

視点	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性
重み平均	13.433%	24.347%	19.654%	23.557%	19.009%
標準偏差	11.889%	12.987%	12.603%	13.834%	14.917%



付図 3.1.17 エネルギー関連業種に勤務する 112 名の重み付け結果平均

付表 3.1.17 各クラスターに含まれるエネルギー関連業種に勤務する回答者の割合

クラスター	回答者数 (全数) ①	うちエネルギー関係業種		112名に 対する割合
		人数②	②/①	
1	164	9	5.5%	8.0%
2	184	23	12.5%	20.5%
3	341	14	4.1%	12.5%
4	261	17	6.5%	15.2%
5	310	21	6.8%	18.8%
6	479	12	2.5%	10.7%
7	458	16	3.5%	14.3%
合計	2,197	112		100%

付表 3.1.18 「矛盾を含む回答」等が重み付けに及ぼす影響

<除外前>

クラスタNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性	回答者数
1	47.141%	17.031%	13.970%	11.268%	10.590%	164
2	13.028%	23.685%	35.998%	15.059%	12.231%	184
3	9.946%	49.642%	14.788%	14.414%	11.210%	341
4	8.688%	18.666%	10.846%	49.729%	12.072%	261
5	8.345%	17.189%	11.007%	21.325%	42.133%	310
6	8.114%	35.242%	13.081%	30.710%	12.854%	479
7	21.390%	23.061%	16.701%	20.863%	17.986%	458

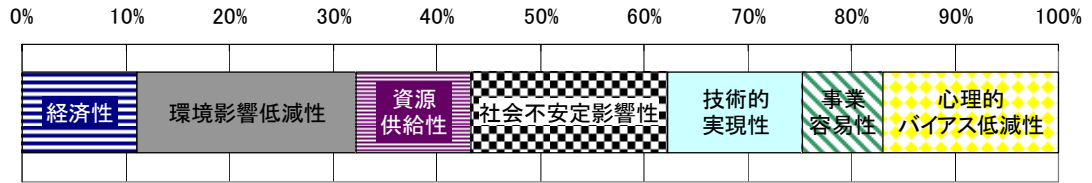
標準偏差	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性
1	12.611%	4.954%	4.224%	3.476%	3.312%
2	4.213%	6.989%	10.229%	4.698%	3.969%
3	4.394%	18.175%	6.009%	5.725%	4.769%
4	3.552%	6.586%	4.090%	16.281%	4.707%
5	3.508%	6.535%	4.430%	8.075%	15.042%
6	3.893%	14.816%	5.997%	13.001%	6.187%
7	9.124%	9.760%	7.260%	8.922%	7.864%

<除外後>

クラスタNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性	回答者数	全体に占める割合
1	46.872%	17.245%	14.660%	11.415%	9.809%	94	57.3%
2	12.480%	23.069%	36.245%	16.333%	11.716%	102	55.4%
3	9.982%	48.203%	15.101%	16.181%	10.559%	227	66.6%
4	8.531%	19.581%	10.694%	49.431%	11.763%	160	61.3%
5	8.013%	17.732%	10.228%	21.701%	42.259%	224	72.3%
6	7.504%	34.991%	12.890%	31.406%	13.191%	335	69.9%
7	20.414%	23.890%	16.738%	21.590%	17.383%	290	63.3%

標準偏差	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性
1	11.797%	0.720%	4.094%	3.208%	2.890%
2	3.776%	6.310%	9.560%	4.684%	3.562%
3	4.440%	17.817%	6.122%	6.408%	4.505%
4	3.446%	6.682%	3.938%	15.756%	4.416%
5	3.647%	7.024%	4.247%	8.515%	15.740%
6	3.663%	15.058%	6.067%	13.614%	6.468%
7	8.699%	9.951%	7.176%	9.017%	7.525%

	経済性	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	11.135%	21.067%	11.067%	19.032%	12.964%	7.742%	16.993%
標準偏差	8.766%	9.927%	6.058%	10.134%	7.739%	5.225%	12.041%



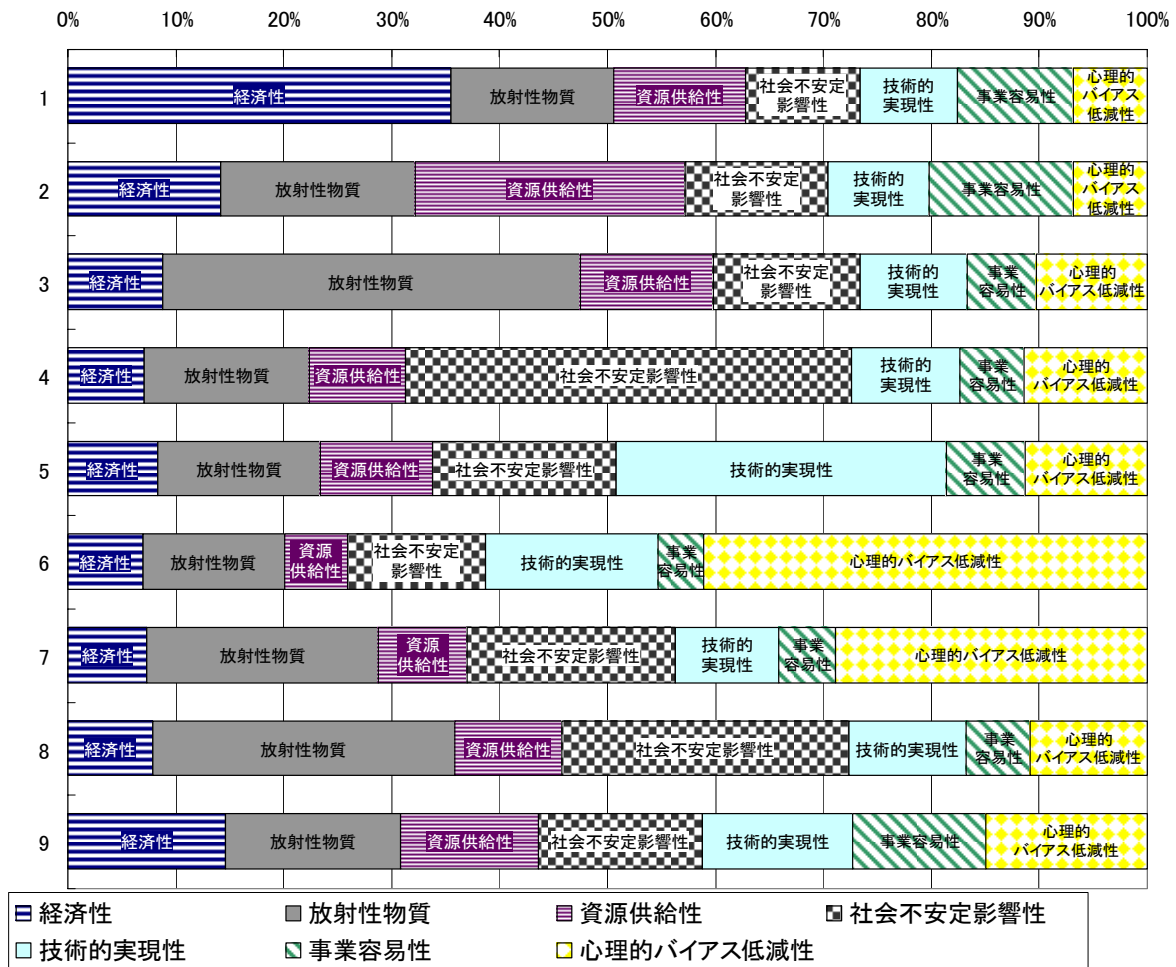
■ 経済性 ■ 環境影響低減性 ■ 資源供給性 ■ 社会不安定影響性 ■ 技術的実現性 ■ 事業容易性 ■ 心理的バイアス低減性

付図 3.1.18 単純平均から求めた評価視点の重み（7 評価視点）

付表 3.1.19 評価視点間の重みによる回答者の初期クラスター分析結果

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	35.486%	15.137%	12.181%	10.586%	9.035%	10.741%	6.835%	142
2	14.212%	17.960%	24.976%	13.262%	9.386%	13.338%	6.866%	139
3	8.735%	38.783%	12.253%	13.622%	9.897%	6.483%	10.227%	275
4	7.075%	15.350%	8.908%	41.277%	9.993%	5.954%	11.442%	196
5	8.306%	15.153%	10.303%	17.072%	30.585%	7.337%	11.245%	178
6	6.924%	13.138%	5.876%	12.758%	15.964%	4.265%	41.074%	236
7	7.354%	21.429%	8.253%	19.190%	9.678%	5.245%	28.849%	327
8	7.903%	27.993%	9.832%	26.624%	10.812%	6.046%	10.790%	318
9	14.585%	16.210%	12.825%	15.126%	13.991%	12.253%	15.011%	386

標準偏差	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
1	8.951%	4.116%	3.277%	3.073%	2.559%	3.179%	2.019%
2	3.796%	4.693%	6.255%	3.568%	2.506%	3.744%	1.958%
3	3.432%	13.033%	4.491%	4.893%	3.671%	2.522%	3.980%
4	2.508%	4.739%	2.919%	11.936%	3.310%	2.117%	3.964%
5	2.653%	4.462%	3.104%	5.039%	8.548%	2.288%	3.634%
6	2.718%	4.398%	2.020%	4.296%	5.548%	1.493%	12.907%
7	3.068%	7.964%	3.241%	7.320%	3.952%	2.099%	10.464%
8	3.306%	10.056%	3.816%	9.574%	4.233%	2.445%	4.226%
9	5.982%	6.446%	5.105%	5.990%	5.542%	5.074%	6.003%

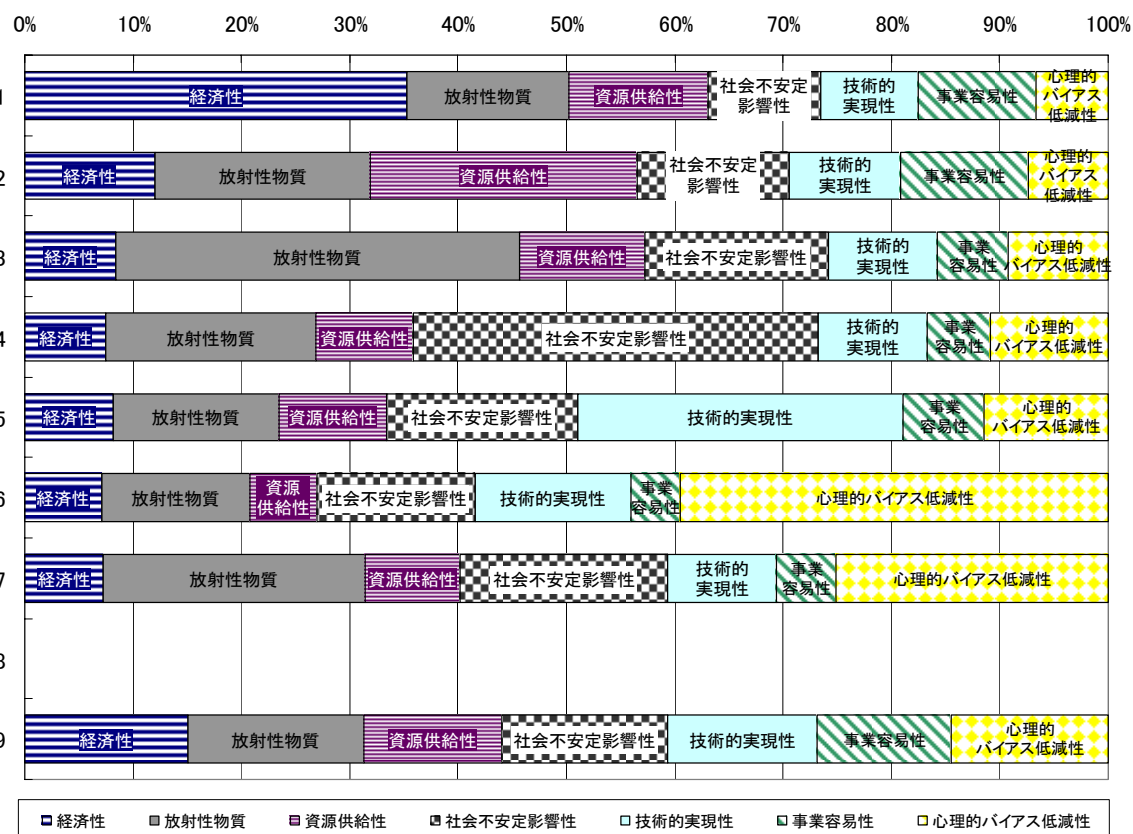


付図 3.1.19 各クラスターの重み中心 (クラスター中心 : 7 評価視点)

付表 3.1.20 7 評価視点重みのクラスター分析結果（クラスター数：8）

< 8 クラスター >

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定 影響性	技術的実現 性	事業容易性	心理的バイア ス低減性	回答者数
1	35.254%	14.969%	12.849%	10.466%	8.891%	10.863%	6.707%	147
2	11.993%	19.947%	24.581%	14.095%	10.279%	11.757%	7.348%	150
3	8.354%	37.349%	11.539%	16.985%	10.013%	6.507%	9.252%	361
4	7.511%	19.334%	8.964%	37.462%	10.071%	5.828%	10.830%	316
5	8.230%	15.264%	9.938%	17.601%	30.087%	7.400%	11.480%	186
6	7.103%	13.727%	6.207%	14.580%	14.396%	4.475%	39.512%	311
7	7.209%	24.165%	8.814%	19.133%	10.055%	5.461%	25.163%	331
9	15.108%	16.182%	12.767%	15.314%	13.761%	12.359%	14.510%	395

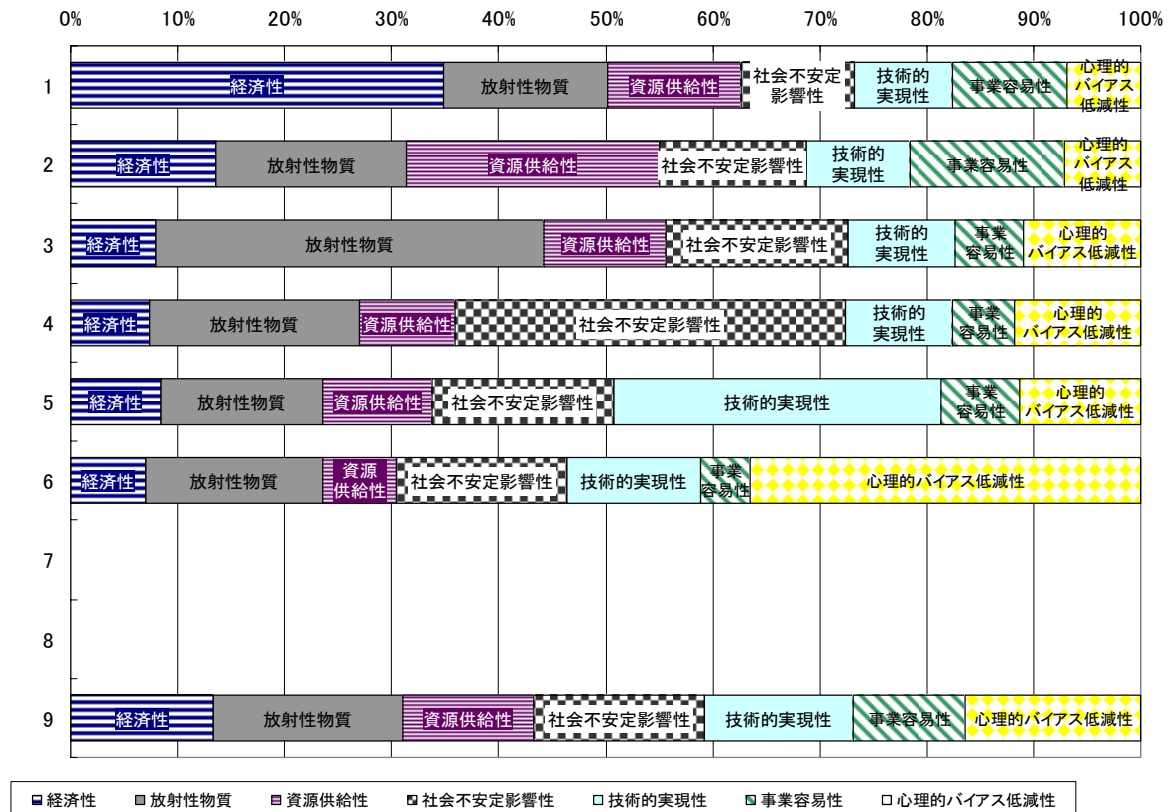


付図 3.1.20 7 評価視点重みのクラスター分析結果（クラスター数：8）

付表 3.1.21 7 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 7)

< 7 クラスター >

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	34.792%	15.413%	12.466%	10.587%	9.128%	10.760%	6.854%	153
2	13.556%	17.810%	23.711%	13.694%	9.667%	14.373%	7.190%	155
3	8.015%	36.221%	11.434%	17.014%	9.999%	6.325%	10.993%	433
4	7.365%	19.685%	8.876%	36.525%	9.914%	5.805%	11.830%	353
5	8.398%	15.121%	10.223%	17.011%	30.535%	7.466%	11.245%	183
6	7.026%	16.562%	6.797%	15.937%	12.571%	4.552%	36.556%	452
9	13.369%	17.692%	12.188%	16.012%	13.866%	10.520%	16.354%	468

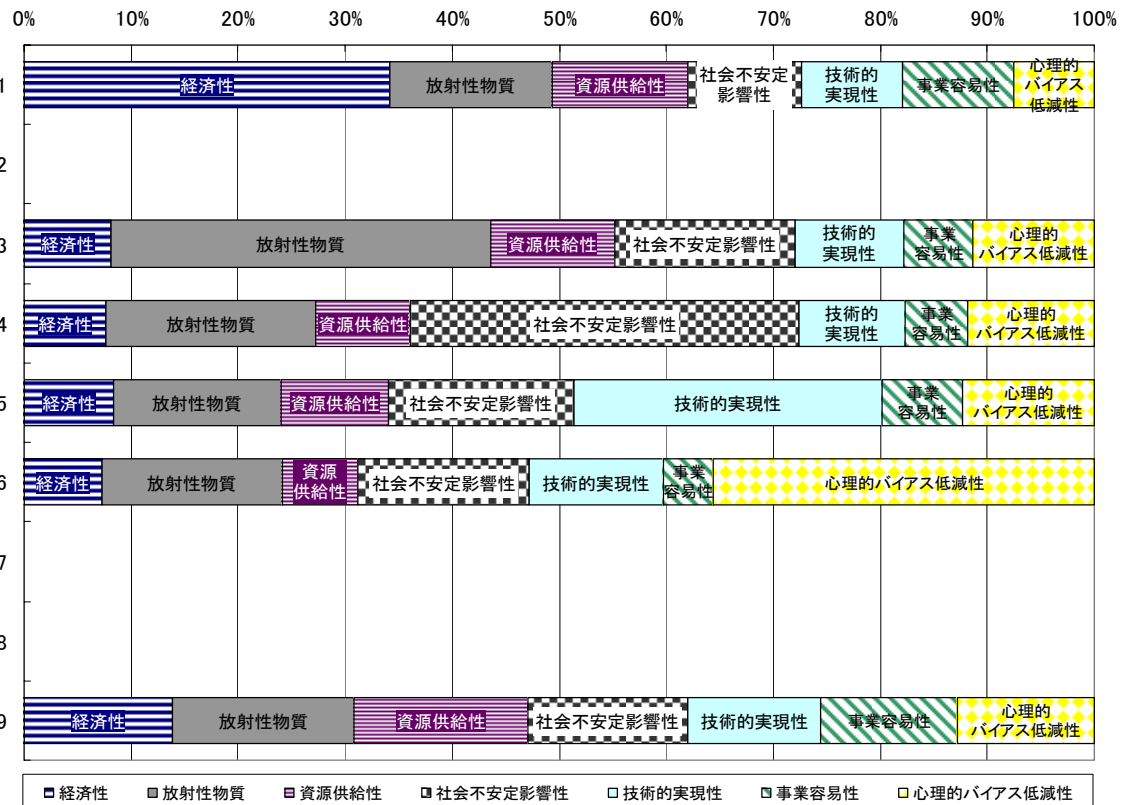


付図 3.1.21 7 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 7)

付表 3.1.22 7 評価視点重みのクラスター分析結果（クラスター数：6）

< 6 クラスター >

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	34.145%	15.146%	12.774%	10.618%	9.349%	10.485%	7.483%	166
3	8.174%	35.440%	11.542%	16.942%	10.140%	6.369%	11.392%	473
4	7.616%	19.648%	8.859%	36.297%	9.924%	5.792%	11.865%	360
5	8.415%	15.579%	9.998%	17.376%	28.824%	7.473%	12.336%	220
6	7.341%	16.774%	7.051%	16.066%	12.499%	4.723%	35.547%	493
9	13.9%	17.0%	16.2%	14.9%	12.5%	12.8%	12.8%	485

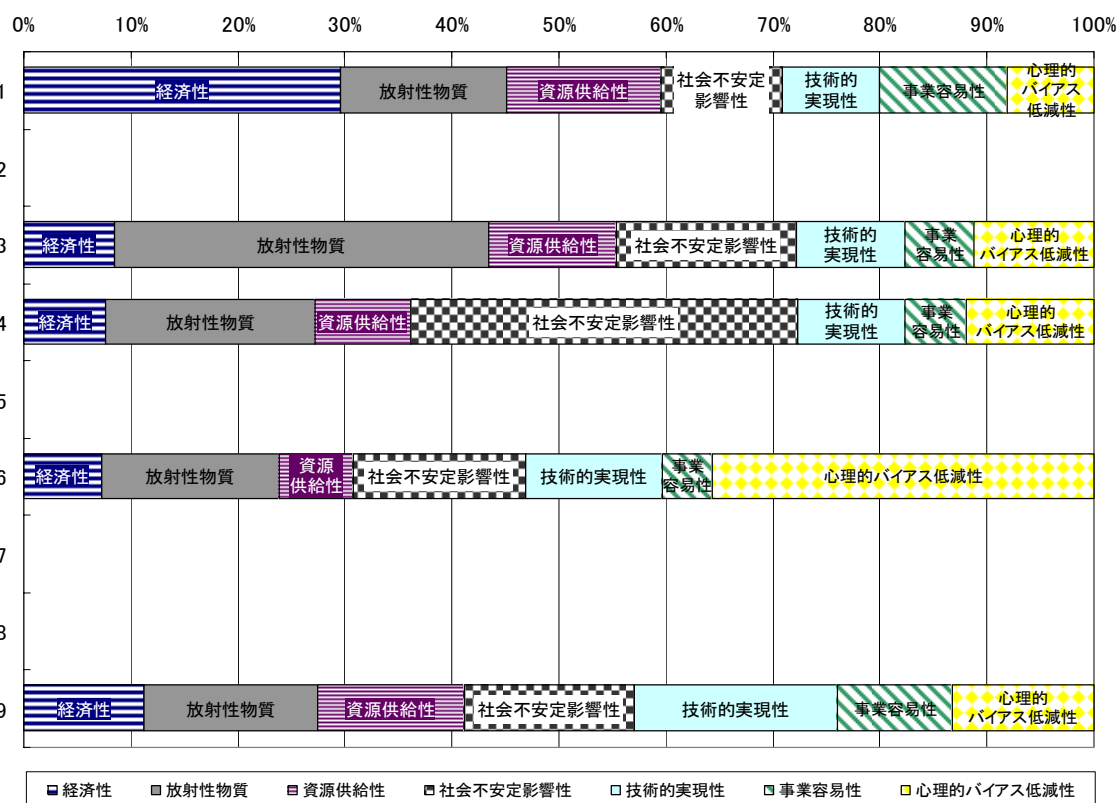


付図 3.1.22 7 評価視点重みのクラスター分析結果（クラスター数：6）

付表 3.1.23 7 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 5)

< 5 クラスター >

クラスターNo.	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	29.640%	15.448%	14.423%	11.347%	9.142%	11.861%	8.140%	245
3	8.421%	34.963%	11.985%	16.816%	10.098%	6.522%	11.195%	500
4	7.612%	19.580%	8.921%	36.187%	10.042%	5.758%	11.900%	367
6	7.228%	16.599%	6.985%	16.030%	12.811%	4.700%	35.646%	492
9	11.199%	16.299%	13.620%	15.948%	18.897%	10.820%	13.217%	593



付図 3.1.23 7 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 5)

付表 3.1.24 初期クラスターの分割・統合（7 評価視点）（1/2）

		8分類クラスター									合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
初期 クラ スタ	1	138	0	0	0	0	0	0	0	4	142	97.2%
	2	8	120	0	0	0	0	0	0	11	139	86.3%
	3	0	7	252	0	0	0	16	0	0	275	91.6%
	4	0	0	0	193	2	1	0	0	0	196	98.5%
	5	0	4	0	0	174	0	0	0	0	178	97.8%
	6	0	0	0	0	0	236	0	0	0	236	100.0%
	7	0	0	0	1	1	73	252	0	0	327	77.1%
	8	1	12	109	121	7	0	54	0	14	318	38.1%
	9	0	7	0	1	2	1	9	0	366	386	94.8%
合計		147	150	361	316	186	311	331	0	395	2197	
初期クラスター 占有率		93.9%	80.0%	69.8%	61.1%	93.5%	75.9%	76.1%		92.7%		

		7分類クラスター									合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
初期 クラ スタ	1	142	0	0	0	0	0	0	0	0	142	100.0%
	2	4	133	0	0	0	0	0	0	2	139	95.7%
	3	1	1	272	0	0	0	0	0	1	275	98.9%
	4	0	0	0	195	0	1	0	0	0	196	99.5%
	5	0	0	0	0	174	0	0	0	4	178	97.8%
	6	0	0	0	0	3	233	0	0	0	236	98.7%
	7	0	0	25	19	0	217	0	0	66	327	66.4%
	8	1	2	136	137	3	0	0	0	39	318	43.1%
	9	5	19	0	2	3	1	0	0	356	386	92.2%
合計		153	155	433	353	183	452	0	0	468	2197	
初期クラスター 占有率		92.8%	85.8%	62.8%	55.2%	95.1%	51.5%			76.1%		

		6分類クラスター									合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
初期 クラ スタ	1	141	0	0	0	0	0	0	0	1	142	99.3%
	2	10	0	7	0	0	0	0	0	122	139	87.8%
	3	1	0	273	0	0	0	0	0	1	275	99.3%
	4	0	0	0	193	2	1	0	0	0	196	98.5%
	5	0	0	0	0	178	0	0	0	0	178	100.0%
	6	0	0	0	0	4	232	0	0	0	236	98.3%
	7	0	0	39	21	7	253	0	0	7	327	77.4%
	8	1	0	150	141	11	0	0	0	15	318	47.2%
	9	13	0	4	5	18	7	0	0	339	386	87.8%
合計		166	0	473	360	220	493			485	2197	
初期クラスター 占有率		84.9%		57.7%	53.6%	80.9%	47.1%			69.9%		

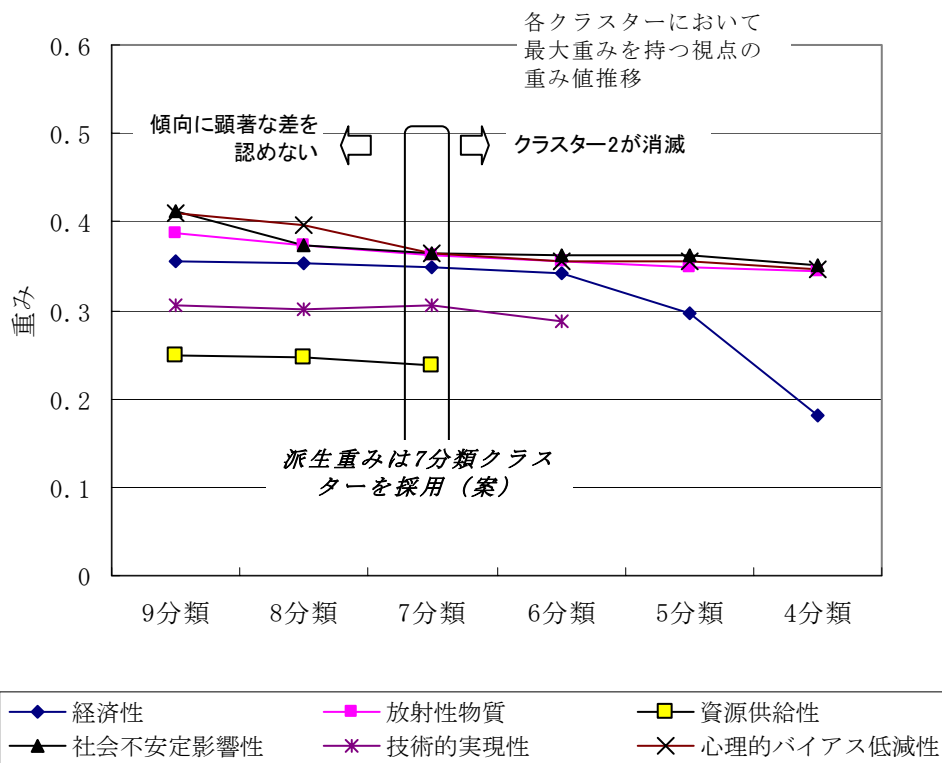
		5分類クラスター									合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
初期 クラ スタ	1	142	0	0	0	0	0	0	0	0	142	100.0%
	2	50	0	24	2	0	0	0	0	63	139	45.3%
	3	1	0	274	0	0	0	0	0	0	275	99.6%
	4	0	0	0	193	0	1	0	0	2	196	98.5%
	5	0	0	2	5	0	9	0	0	162	178	91.0%
	6	0	0	0	0	0	236	0	0	0	236	100.0%
	7	0	0	39	22	0	243	0	0	23	327	74.3%
	8	2	0	151	142	0	0	0	0	23	318	47.5%
	9	50	0	10	3	0	3	0	0	320	386	82.9%
合計		245	0	500	367	0	492			593	2197	
初期クラスター 占有率		58.0%		54.8%	52.6%		48.0%			54.0%		

付表 3.1.25 初期クラスターの分割・統合（7 評価視点）（2/2）

		4分類クラスター									合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
初期 クラ スタ	1	141	0	1	0	0	0	0	0	0	142	99.3%
	2	119	0	17	3	0	0	0	0	0	139	85.6%
	3	1	0	274	0	0	0	0	0	0	275	99.6%
	4	0	0	0	195	0	1	0	0	0	196	99.5%
	5	119	0	11	25	0	23	0	0	0	178	66.9%
	6	0	0	0	0	0	236	0	0	0	236	100.0%
	7	2	0	43	24	0	258	0	0	0	327	78.9%
	8	3	0	160	155	0	0	0	0	0	318	50.3%
	9	344	0	19	10	0	13	0	0	0	386	89.1%
合計		729	0	525	412	0	531			0	2197	
初期クラスター 占有率		19.3%		52.2%	47.3%		44.4%					
		3分類クラスター									合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
初期 クラ スタ	1	142	0	0	0	0	0	0	0	0	142	100.0%
	2	129	0	10	0	0	0	0	0	0	139	92.8%
	3	23	0	252	0	0	0	0	0	0	275	91.6%
	4	7	0	174	0	0	15	0	0	0	196	88.8%
	5	121	0	25	0	0	32	0	0	0	178	68.0%
	6	0	0	0	0	0	236	0	0	0	236	100.0%
	7	2	0	71	0	0	254	0	0	0	327	77.7%
	8	3	0	315	0	0	0	0	0	0	318	99.1%
	9	349	0	20	0	0	17	0	0	0	386	90.4%
合計		776	0	867	0	0	554			0	2197	
初期クラスター 占有率		18.3%		29.1%			42.6%					

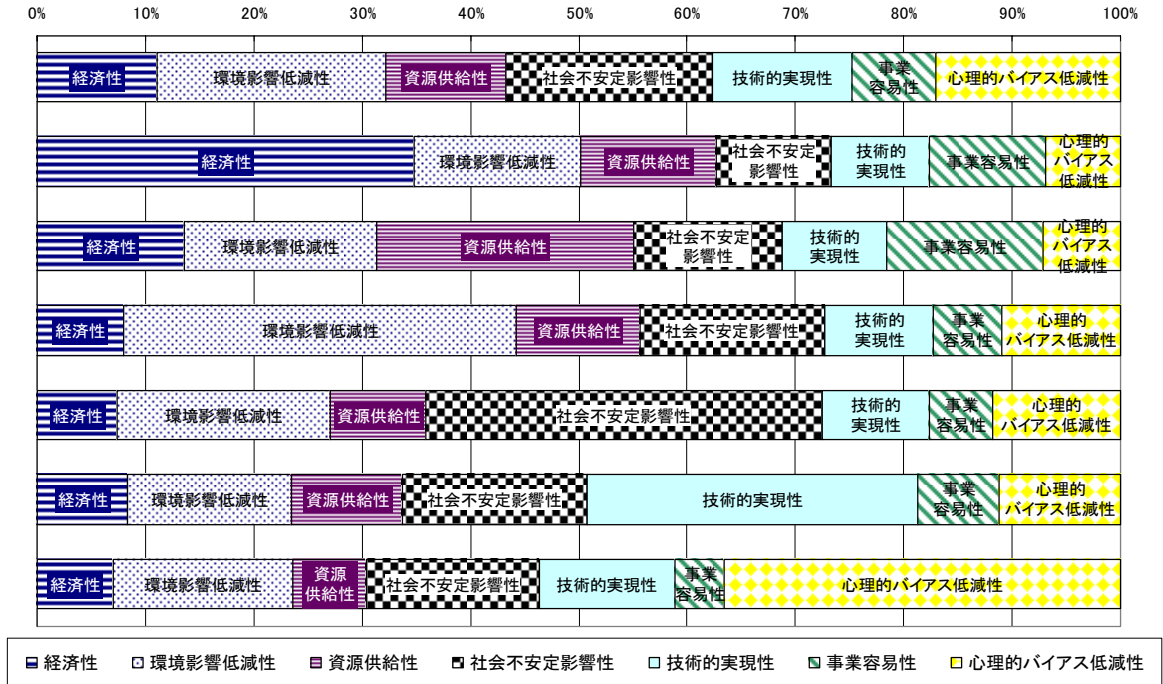
付表 3.1.26 各クラスターが重視する評価視点（7 評価視点）

9 分類	経済性重視、資源有効利用性（資源供給性）重視、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、社会的受容性重視、単純平均と類似（環境負荷低減性と核拡散抵抗性をやや重視）、単純平均と類似（環境負荷低減性、核拡散抵抗性、社会的受容性をやや重視）、ほぼ均等に重視
8 分類	経済性重視、資源有効利用性（資源供給性）重視、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、社会的受容性重視、単純平均と類似（環境負荷低減性、核拡散抵抗性、社会的受容性をやや重視）、ほぼ均等に重視
7 分類	経済性重視、資源有効利用性（資源供給性）重視、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、社会的受容性重視、ほぼ均等に重視
6 分類	経済性重視、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、社会的受容性重視、ほぼ均等に重視
5 分類	経済性重視（重み小）、環境負荷低減性（放射性廃棄物）重視、核拡散抵抗性重視、社会的受容性重視、ほぼ均等に重視



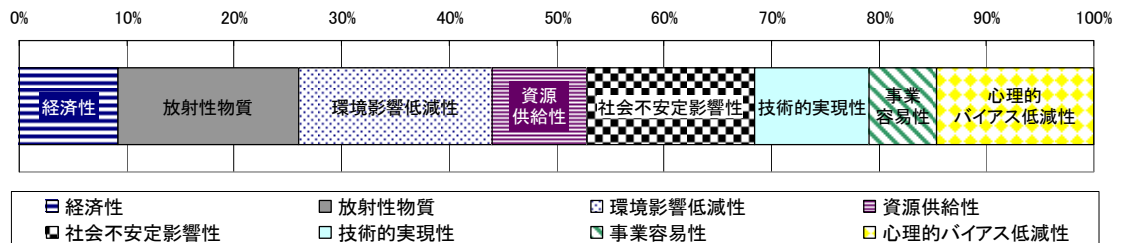
付図 3.1.24 各クラスターにおける最大の重みとクラスター生成数との関係 (7 評価視点)

	経済性	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
主重み付け	11.135%	21.067%	11.067%	19.032%	12.964%	7.742%	16.993%
派生重み付け1	34.792%	15.413%	12.466%	10.587%	9.128%	10.760%	6.854%
派生重み付け2	13.556%	17.810%	23.711%	13.694%	9.667%	14.373%	7.190%
派生重み付け3	8.015%	36.221%	11.434%	17.014%	9.999%	6.325%	10.993%
派生重み付け4	7.365%	19.685%	8.876%	36.525%	9.914%	5.805%	11.830%
派生重み付け5	8.398%	15.121%	10.223%	17.011%	30.535%	7.466%	11.245%
派生重み付け6	7.026%	16.562%	6.797%	15.937%	12.571%	4.552%	36.556%



付図 3.1.25 7 評価視点の重み付け結果

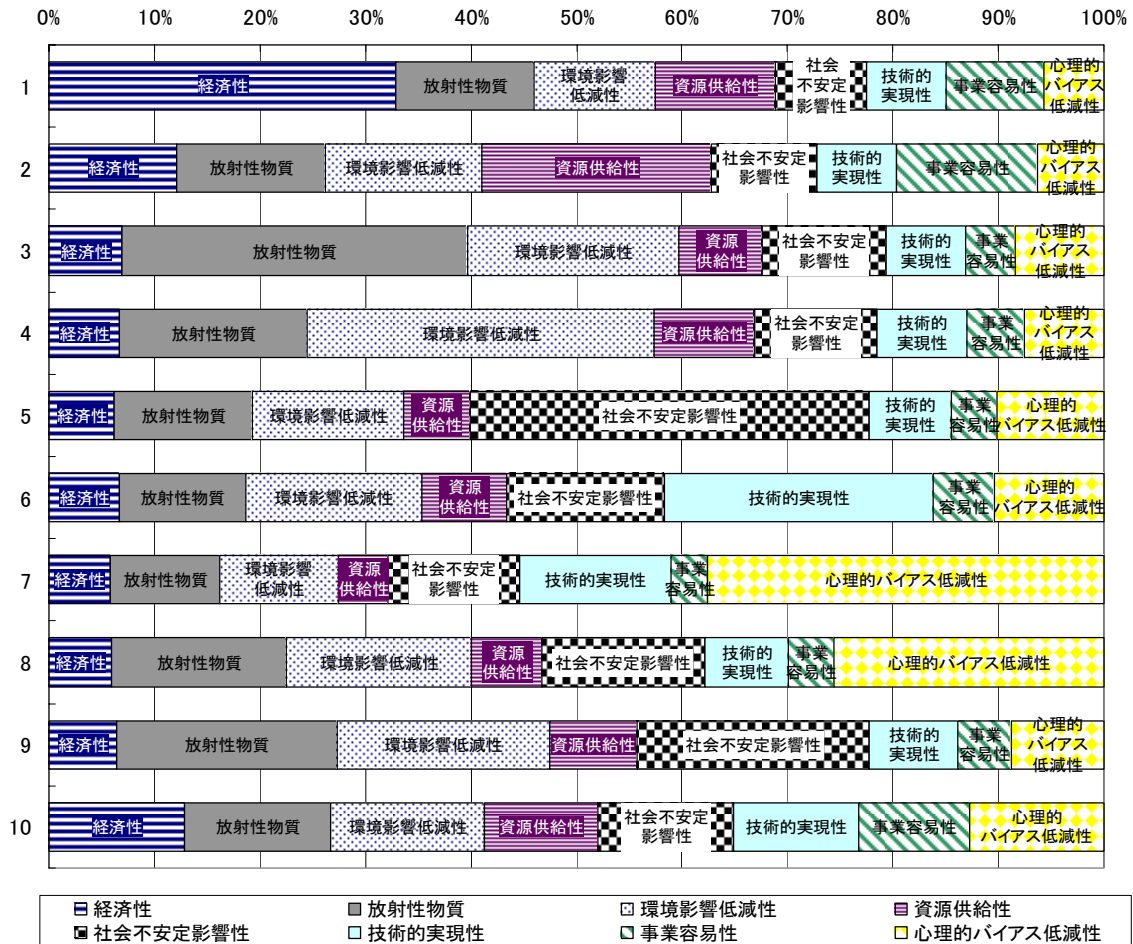
	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	9.2%	16.8%	18.0%	8.9%	15.6%	10.7%	6.3%	14.6%
標準偏差	7.8%	7.8%	7.9%	5.0%	8.6%	6.7%	4.6%	11.0%



付図 3.1.26 単純平均から求めた評価視点の重み (8 評価視点)

付表 3.1.27 8 評価視点間の重みによる回答者のクラスター分析結果

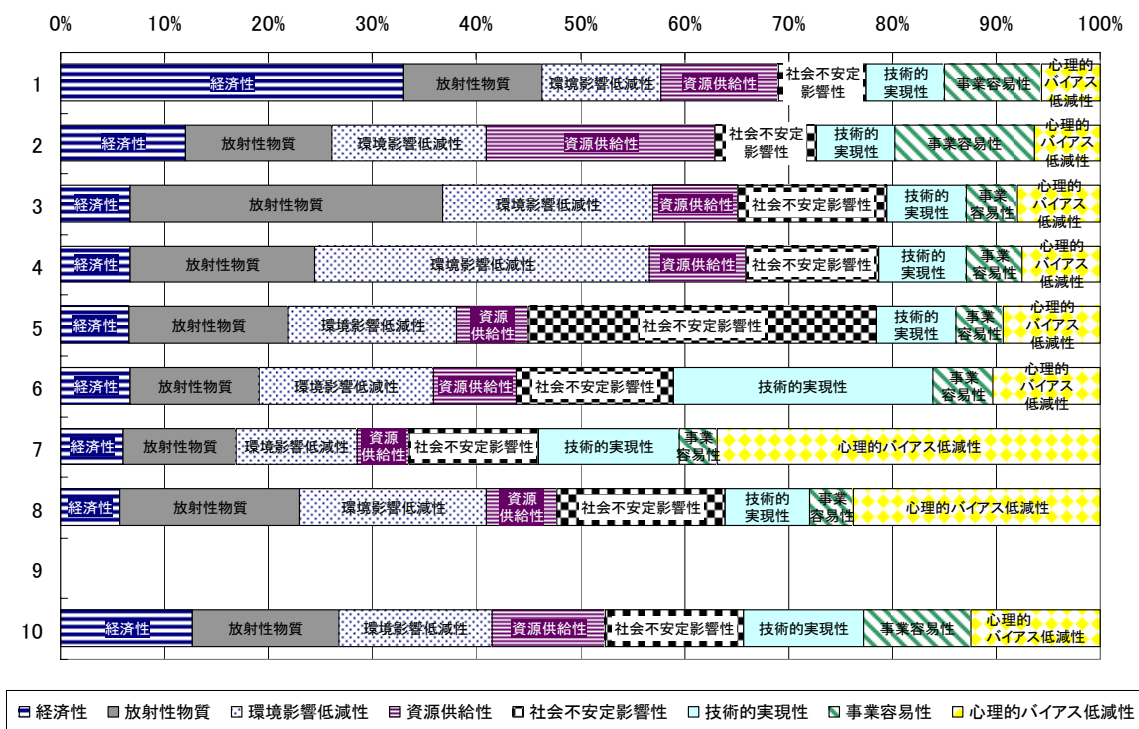
クラスターNo.	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	32.897%	13.121%	11.495%	11.280%	8.663%	7.627%	9.200%	5.717%	119
2	12.063%	14.099%	14.925%	21.764%	9.946%	7.563%	13.391%	6.247%	104
3	6.899%	32.783%	20.066%	7.927%	11.632%	7.537%	4.741%	8.417%	197
4	6.645%	17.843%	32.909%	9.527%	11.513%	8.608%	5.445%	7.509%	249
5	6.178%	13.073%	14.337%	6.346%	37.806%	7.760%	4.336%	10.165%	145
6	6.628%	12.072%	16.670%	8.008%	14.916%	25.549%	5.718%	10.438%	171
7	5.808%	10.442%	11.140%	4.718%	12.521%	14.300%	3.515%	37.555%	225
8	5.960%	16.538%	17.574%	6.617%	15.450%	8.002%	4.245%	25.615%	312
9	6.470%	20.812%	20.244%	8.171%	22.037%	8.387%	5.066%	8.813%	303
10	12.824%	13.912%	14.496%	10.862%	12.858%	11.780%	10.484%	12.783%	372



付図 3.1.27 各クラスターの重み中心 (クラスター中心 : 8 評価視点)

付表 3.1.28 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 9)

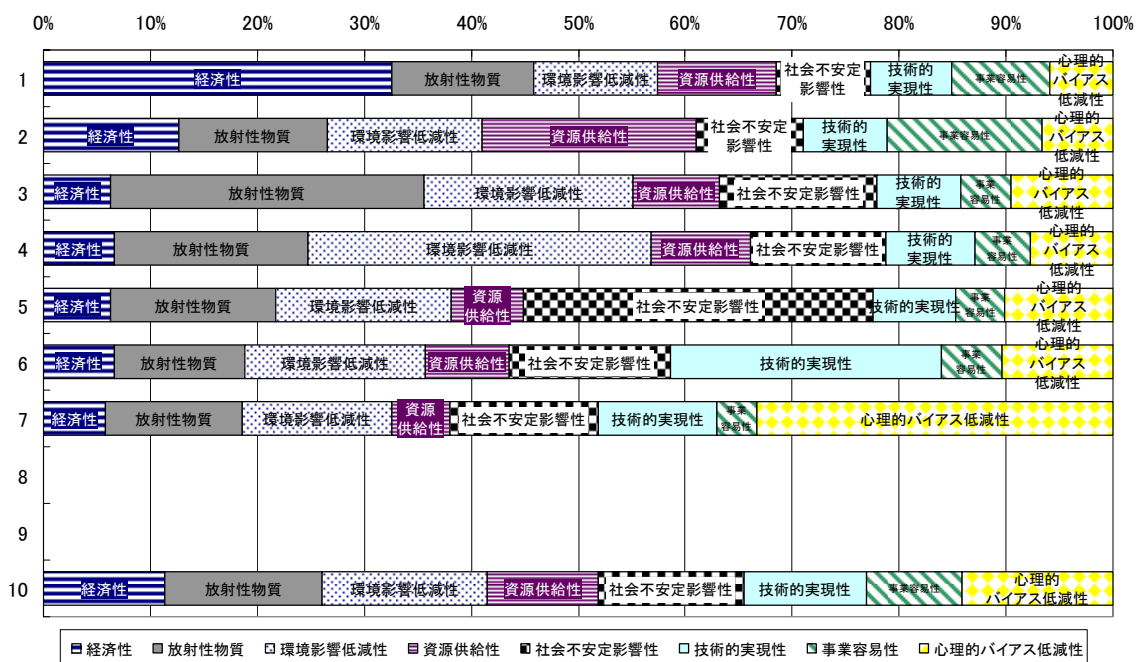
クラスターNo.	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	32.966%	13.342%	11.453%	11.297%	8.383%	7.608%	9.252%	5.700%	118
2	12.027%	14.063%	14.910%	21.914%	9.801%	7.561%	13.424%	6.300%	102
3	6.614%	30.163%	20.165%	8.259%	14.224%	7.715%	4.864%	7.995%	296
4	6.662%	17.809%	32.128%	9.348%	12.745%	8.429%	5.351%	7.528%	283
5	6.534%	15.363%	16.207%	6.823%	33.488%	7.692%	4.606%	9.287%	241
6	6.675%	12.440%	16.767%	7.920%	15.155%	24.907%	5.793%	10.344%	186
7	6.021%	10.840%	11.671%	4.932%	12.531%	13.530%	3.623%	36.851%	258
8	5.695%	17.302%	17.985%	6.687%	16.226%	8.113%	4.253%	23.738%	320
									0
10	12.614%	14.129%	14.729%	10.899%	13.316%	11.558%	10.270%	12.484%	393



付図 3.1.28 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 9)

付表 3.1.29 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 8)

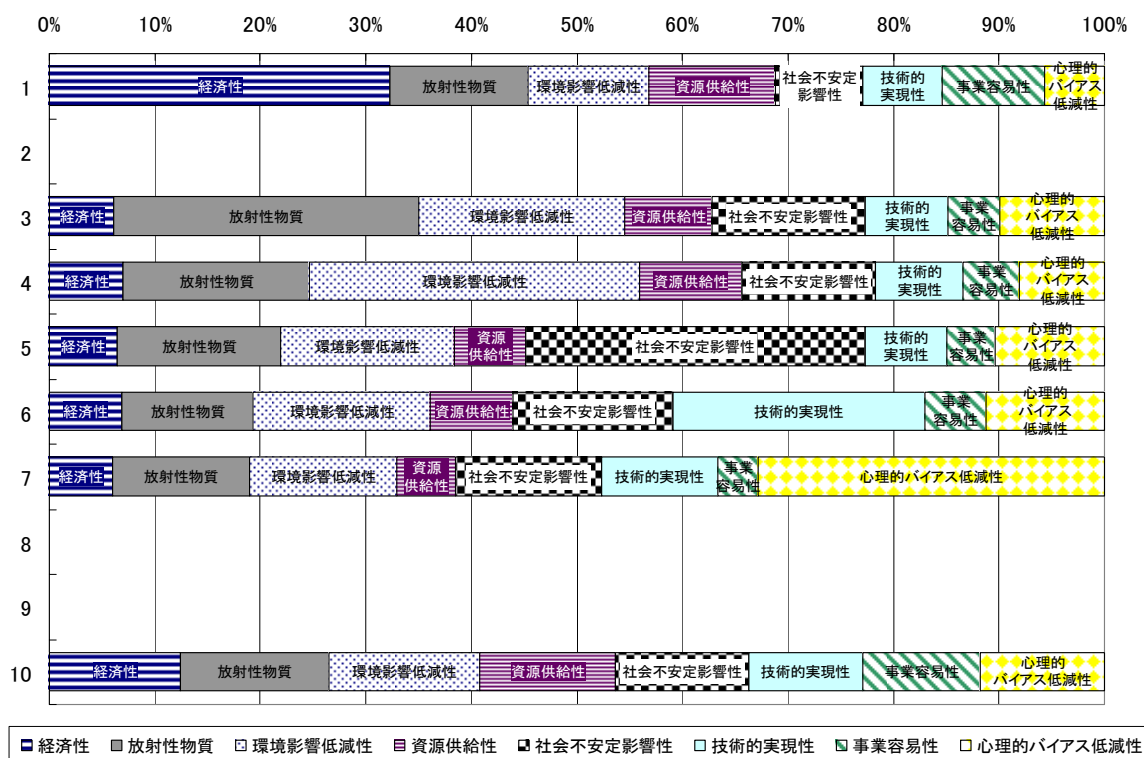
クラスターNo.	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	32.589%	13.264%	11.544%	11.141%	8.808%	7.636%	9.060%	5.958%	123
2	12.615%	13.968%	14.488%	19.964%	9.981%	7.896%	14.490%	6.596%	124
3	6.241%	29.296%	19.592%	8.020%	14.721%	7.867%	4.733%	9.529%	340
4	6.669%	18.049%	32.128%	9.276%	12.640%	8.318%	5.237%	7.682%	291
5	6.246%	15.412%	16.449%	6.733%	32.781%	7.681%	4.543%	10.154%	261
6	6.630%	12.142%	16.877%	7.897%	15.117%	25.264%	5.717%	10.355%	178
7	5.827%	12.804%	13.990%	5.409%	13.824%	11.096%	3.763%	33.287%	420
10	11.339%	14.656%	15.462%	10.357%	13.689%	11.474%	8.927%	14.096%	460



付図 3.1.29 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 8)

付表 3.1.30 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 7)

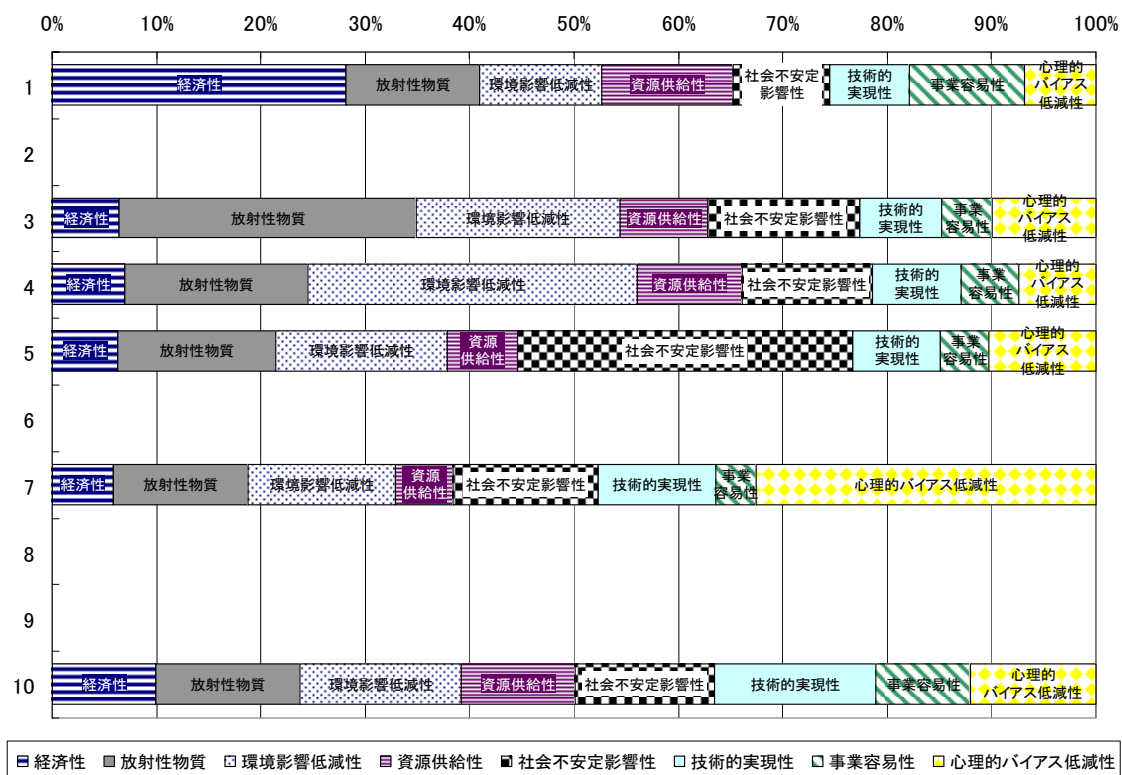
クラスターNo.	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	32.282%	13.124%	11.443%	11.946%	8.345%	7.501%	9.709%	5.651%	127
									0
3	6.151%	28.909%	19.473%	8.234%	14.559%	7.889%	4.811%	9.976%	361
4	7.002%	17.698%	31.236%	9.760%	12.577%	8.334%	5.353%	8.041%	327
5	6.485%	15.406%	16.507%	6.703%	32.222%	7.751%	4.532%	10.395%	276
6	6.817%	12.499%	16.829%	7.834%	15.079%	23.956%	5.775%	11.211%	211
7	5.953%	12.995%	14.025%	5.542%	13.848%	11.030%	3.818%	32.788%	440
									0
									0
10	12.421%	14.027%	14.369%	12.855%	12.655%	10.728%	11.132%	11.813%	455



付図 3.1.30 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 7)

付表 3.1.31 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 6)

クラスターNo.	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性	回答者数
1	28.192%	12.723%	11.724%	12.642%	9.200%	7.603%	11.112%	6.803%	185
									0
3	6.452%	28.413%	19.537%	8.433%	14.549%	7.780%	4.931%	9.906%	388
4	6.972%	17.484%	31.574%	10.032%	12.537%	8.433%	5.573%	7.395%	312
5	6.302%	15.160%	16.419%	6.688%	32.195%	8.389%	4.573%	10.275%	283
									0
7	5.903%	12.899%	14.096%	5.497%	13.942%	11.264%	3.821%	32.579%	451
									0
									0
10	10.0%	13.7%	15.4%	11.0%	13.3%	15.5%	9.0%	12.1%	578



付図 3.1.31 8 評価視点重みのクラスター分析結果 (クラスター数 : 6)

付表 3.1.32 初期クラスターの分割・統合（8 評価視点）（1/2）

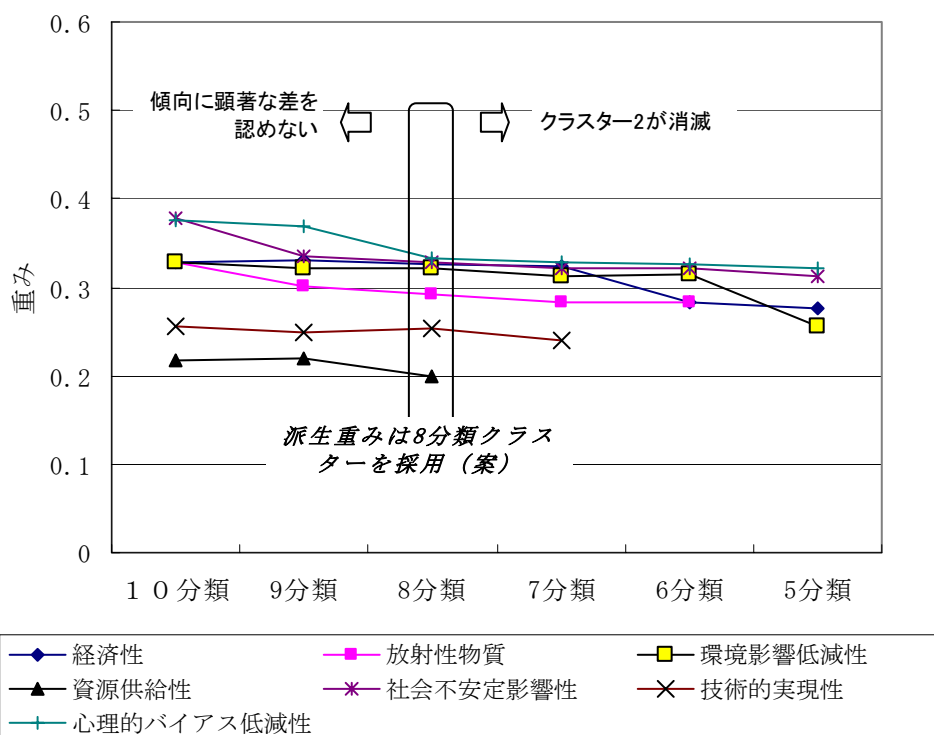
		9分類クラスター										合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
初期 クラス タ	1	117	0	0	0	1	0	0	0	0	1	119	98.3%
	2	0	102	0	0	0	0	0	0	0	2	104	98.1%
	3	1	0	193	0	0	0	0	3	0	0	197	98.0%
	4	0	0	3	245	0	0	0	0	0	1	249	98.4%
	5	0	0	0	0	145	0	0	0	0	0	145	100.0%
	6	0	0	0	0	0	171	0	0	0	0	171	100.0%
	7	0	0	0	0	0	0	225	0	0	0	225	100.0%
	8	0	0	0	0	0	0	32	280	0	0	312	89.7%
	9	0	0	97	38	95	12	0	36	0	25	303	32.0%
	10	0	0	3	0	0	3	1	1	0	364	372	97.8%
合計		118	102	296	283	241	186	258	320		393		2197
初期クラス タ占有率		99.2%	100.0%	65.2%	86.6%	60.2%	91.9%	87.2%	87.5%		92.6%		
		8分類クラスター										合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
初期 クラス タ	1	117	2	0	0	0	0	0	0	0	0	119	98.3%
	2	0	100	1	1	0	0	0	0	0	2	104	96.2%
	3	1	0	193	3	0	0	0	0	0	0	197	98.0%
	4	0	1	0	244	0	0	0	0	0	4	249	98.0%
	5	0	0	0	0	145	0	0	0	0	0	145	100.0%
	6	0	0	0	0	0	166	0	0	0	5	171	97.1%
	7	0	0	0	0	0	1	224	0	0	0	225	99.6%
	8	0	0	23	8	15	2	195	0	0	69	312	62.5%
	9	0	2	119	35	101	8	0	0	0	38	303	39.3%
	10	5	19	4	0	0	1	1	0	0	342	372	91.9%
合計		123	124	340	291	261	178	420			460		2197
初期クラス タ占有率		95.1%	80.6%	56.8%	83.8%	55.6%	93.3%	53.3%			74.3%		
		7分類クラスター										合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
初期 クラス タ	1	117	0	0	0	1	0	0	0	0	1	119	98.3%
	2	8	0	6	11	0	0	0	0	0	79	104	76.0%
	3	1	0	192	4	0	0	0	0	0	0	197	97.5%
	4	0	0	0	249	0	0	0	0	0	0	249	100.0%
	5	0	0	0	0	145	0	0	0	0	0	145	100.0%
	6	0	0	0	0	0	171	0	0	0	0	171	100.0%
	7	0	0	0	0	0	2	223	0	0	0	225	99.1%
	8	0	0	34	14	20	7	216	0	0	21	312	69.2%
	9	0	0	125	40	109	12	0	0	0	17	303	41.3%
	10	1	0	4	9	1	19	1	0	0	337	372	90.6%
合計		127		361	327	276	211	440			455		2197
初期クラス タ占有率		92.1%		53.2%	76.1%	52.5%	81.0%	50.7%			74.1%		
		6分類クラスター										合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
初期 クラス タ	1	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	100.0%
	2	34	0	11	16	1	0	0	0	0	42	104	40.4%
	3	1	0	193	3	0	0	0	0	0	0	197	98.0%
	4	0	0	3	242	0	0	0	0	0	4	249	97.2%
	5	0	0	0	0	145	0	0	0	0	0	145	100.0%
	6	0	0	0	5	11	0	8	0	0	147	171	86.0%
	7	0	0	0	0	0	0	225	0	0	0	225	100.0%
	8	0	0	36	7	17	0	217	0	0	35	312	69.6%
	9	0	0	136	32	109	0	0	0	0	26	303	44.9%
	10	31	0	9	7	0	0	1	0	0	324	372	87.1%
合計		185		388	312	283		451			578		2197
初期クラス タ占有率		64.3%		49.7%	77.6%	51.2%		49.9%			56.1%		

付表 3.1.33 初期クラスターの分割・統合（8 評価視点）（2/2）

		5分類クラスター									合計	結合度
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
初期 クラ スタ	1	119	0	0	0	0	0	0	0	0	119	100.0%
	2	36	0	0	19	1	0	0	0	48	104	46.2%
	3	6	0	0	186	1	0	1	0	3	197	94.4%
	4	1	0	0	227	3	0	0	0	0	249	91.2%
	5	0	0	0	0	145	0	0	0	0	145	100.0%
	6	0	0	0	0	12	0	8	0	0	171	88.3%
	7	0	0	0	0	0	0	225	0	0	225	100.0%
	8	0	0	0	28	19	0	233	0	0	312	74.7%
	9	1	0	0	139	136	0	0	0	0	303	45.9%
	10	34	0	0	14	0	0	2	0	0	372	86.6%
合計		197			613	317		469		601	2197	
初期クラスタ 占有率		60.4%			37.0%	45.7%		48.0%		53.6%		

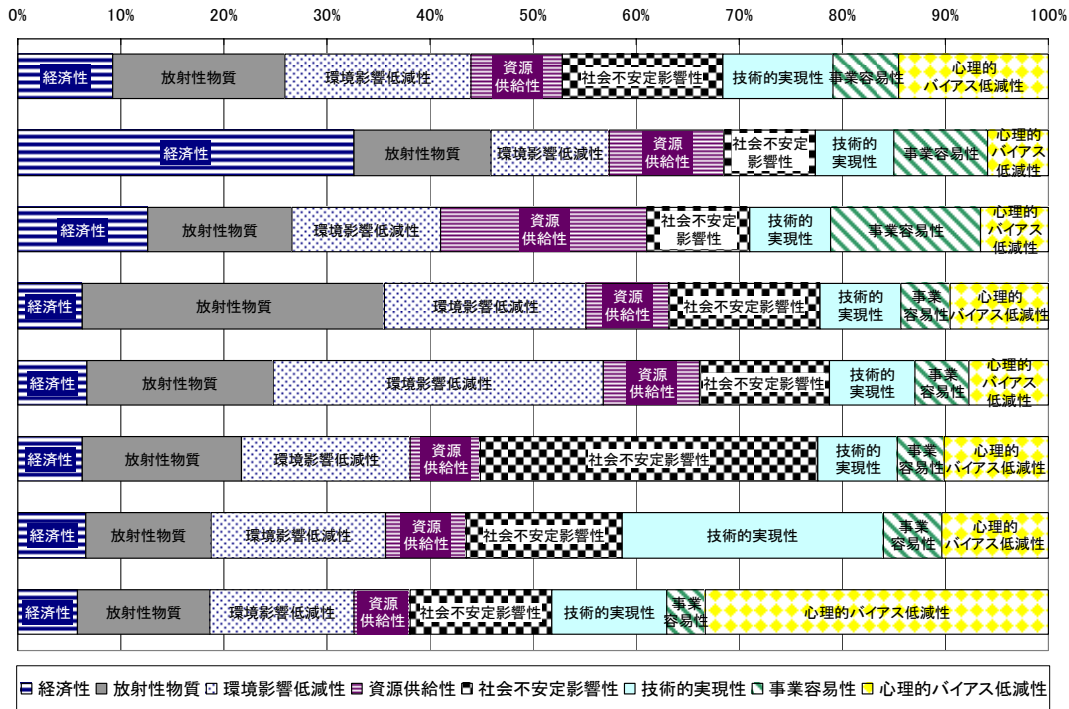
付表 3.1.34 各クラスターが重視する評価視点（8 評価視点）

10 分類	経済性重視、資源供給性（資源有効利用性）重視、放射性廃棄物重視、環境影響低減性（放射性廃棄物以外）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、心理的バイアス低減性重視、単純平均と類似（環境影響低減性と核拡散抵抗性をやや重視）、単純平均と類似（環境影響低減性、核拡散抵抗性、心理的バイアス低減性をやや重視）、ほぼ均等に重視
9 分類	経済性重視、資源供給性（資源有効利用性）重視、放射性廃棄物重視、環境影響低減性（放射性廃棄物以外）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、心理的バイアス低減性重視、単純平均と類似（環境影響低減性、核拡散抵抗性、心理的バイアス低減性をやや重視）、ほぼ均等に重視
8 分類	経済性重視、資源供給性（資源有効利用性）重視、放射性廃棄物重視、環境影響低減性（放射性廃棄物以外）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、心理的バイアス低減性重視、ほぼ均等に重視
7 分類	経済性重視、放射性廃棄物重視、環境影響低減性（放射性廃棄物以外）重視、核拡散抵抗性重視、技術的実現性重視、心理的バイアス低減性重視、ほぼ均等に重視
6 分類	経済性重視（重み小）、放射性廃棄物重視、環境影響低減性（放射性廃棄物以外）重視、核拡散抵抗性重視、心理的バイアス低減性重視、ほぼ均等に重視



付図 3.1.32 各クラスターにおける最大の重みとクラスター生成数との関係 (8 評価視点)

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術の実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
主重み付け	9.153%	16.786%	17.985%	8.863%	15.637%	10.675%	6.342%	14.558%
派生重み付け1	32.589%	13.264%	11.544%	11.141%	8.808%	7.636%	9.060%	5.958%
派生重み付け2	12.615%	13.968%	14.488%	19.964%	9.981%	7.896%	14.490%	6.596%
派生重み付け3	6.241%	29.296%	19.592%	8.020%	14.721%	7.867%	4.733%	9.529%
派生重み付け4	6.669%	18.049%	32.128%	9.276%	12.640%	8.318%	5.237%	7.682%
派生重み付け5	6.246%	15.412%	16.449%	6.733%	32.781%	7.681%	4.543%	10.154%
派生重み付け6	6.630%	12.142%	16.877%	7.897%	15.117%	25.264%	5.717%	10.355%
派生重み付け7	5.827%	12.804%	13.990%	5.409%	13.824%	11.096%	3.763%	33.287%



付図 3.1.33 8 評価視点の重み付け結果

付録3.2 電気事業者の重み付け

付録3.2.1 電気事業者へのアンケートの概要

(1) アンケート実施概要と基本構成

電気事業者を重み付け主体とした場合の視点間重み付けは、電力会社に勤務する人を対象に、普通の市民を対象として実施したものと同様の質問票を用いてアンケートを実施し、その結果の単純集計により算出する。電力会社勤務者アンケートの実施概要は以下のとおり。

電気事業者へのアンケートから算出する重みについては、普通の市民へのアンケートから算出した重みとの違いを把握・検討することを目的とする。また、評価視点のうち、経済性と事業容易性については下位指標の重み設定の参考とするため、新たなアンケートの設問を設けた。これら下位指標の重みを設定するための設問では、電力経営や事業に関するかなり細かい観点について、それらの相対的な重要度を質問するので、普通の市民を対象に尋ねることとはしなかった。

< アンケート実施概要 >

- 調査方法 : 調査票手渡し 郵送回収 (一部、メールにて回収)
- 実施期間 : 2005年8月1日～8月31日
- 回収数 : 35

< アンケート票の基本構成 >

- 問1 : 将来社会に関する設問
- 問2 : 視点間一対比較に関する設問
- 問3 : 経済性、事業容易性の下位指標重み付け

(2) アンケートへの回答者属性概要

アンケートへの回答者の属性の概要は以下のとおり。

< 回答者属性概要 >

- 技術系 (原子力、火力、燃料、研究、他) : 13名
- 事務系 (営業、立地、等) : 6名
- 原子力機構派遣者 : 8名
- FBR 関係者 : 8名

付録3.2.2 電気事業者へのアンケートによる重み付け結果

普通の市民のときと同様の重み付け手法により算出した5評価視点、7評価視点、8評価視点の重み付け結果については、付図 3.2.1 から付図 3.2.3 に示す。

図中には、普通の市民のアンケート結果と平均値を比較し、その差の検定 (2 標本検定) を行うため、各視点の重みについて t 値を算出して併せて示している。t 値を用いた仮説検定の概略は以下のとおりである。まず、二つのサンプル集団に対する t 値は、サンプル集団 i の平均、標準

偏差、サンプル数をそれぞれ、 X_i 、 s_i 、 n_i としたとき、

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

で表され、自由度 v の t 分布に従う。

$$v = \frac{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}{\sqrt{\frac{(s_1^2/n_1)}{n_1-1} + \frac{(s_2^2/n_2)}{n_2-1}}}$$

ここで、帰無仮説 H_0 を、

H_0 : (ある視点の)電気事業者平均値 = 普通の市民平均値

としたとき、 t 値(絶対値) $> t_{0.25}(v)$ であれば有意水準 5%で H_0 は棄却される(すなわち、95%の確率で電気事業者平均値と普通の市民平均値に差があると言える)。この値は視点によって異なるが、ここでは近似的に 35 であるとすれば、 $t_{0.25}(35) = 2.030$ である。

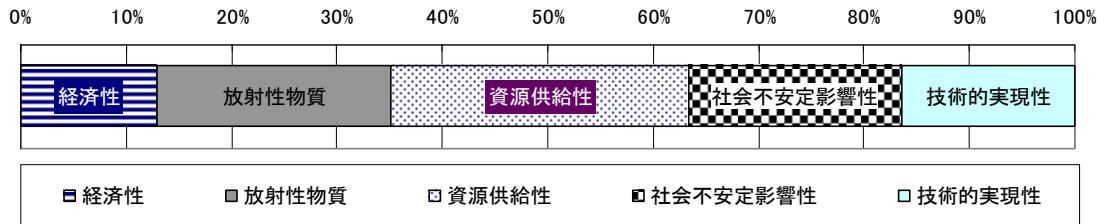
今回電気事業者へのアンケート結果の場合、上記より、 t 値 = 約 2 を基準とすると、以下の評価視点の重みについて、電気事業者と普通の市民との間に差があると考えられる(有意水準: 約 5%)。

- 「資源供給性」、「環境影響低減性」、「事業容易性」: 電気事業者の重みが普通の市民よりも大きい
- 「心理的バイアス」、「核拡散抵抗性」、「放射性廃棄物」: 電気事業者の重みが普通の市民よりも小さい

付録3.2.3 電気事業者へのアンケートによる将来社会像の回答結果

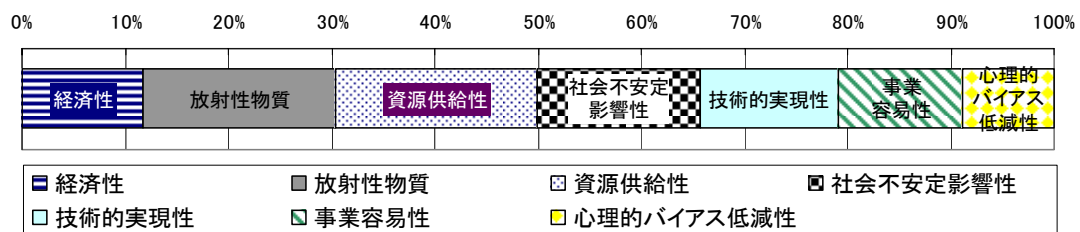
将来社会に関する設問への回答結果を付図 3.2.4 にまとめた。重み付けの場合と同じく、普通の市民へのアンケート結果と比較するために t 値を算出した。 t 値が約 2 以上となる設問は、図 3.4.37 に太字で示した 7 項目であり、それらについては電気事業者と普通の市民との間で将来像が異なる(有意水準 5%)と考えられる。

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
平均	12.939%	22.137%	28.303%	20.156%	16.464%
標準偏差	12.636%	10.562%	14.793%	12.451%	13.818%
一般平均	14.591%	15.528%	28.094%	24.301%	17.486%
標準偏差	12.160%	9.064%	13.149%	13.042%	12.497%
t値	0.768	3.680	0.083	1.952	0.434
ν	35.0	34.8	34.9	35.2	34.9



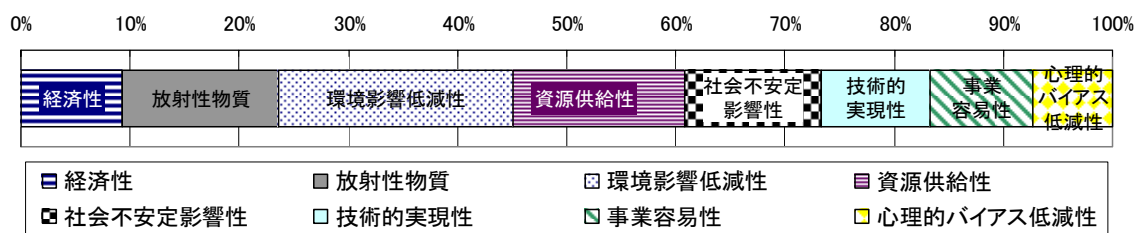
付図 3.2.1 5 評価視点の重み（電気事業者）

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	11.661%	18.744%	19.538%	15.835%	13.283%	12.096%	8.844%
標準偏差	10.095%	8.559%	9.011%	10.429%	10.113%	9.134%	9.335%
一般平均	11.135%	11.067%	21.067%	19.032%	12.964%	16.993%	7.742%
標準偏差	8.766%	6.058%	9.927%	10.134%	7.739%	12.041%	5.225%
t値	0.306	5.210	0.980	1.775	0.183	3.085	0.687
ν	34.8	34.5	35.3	35.0	34.6	35.9	34.3

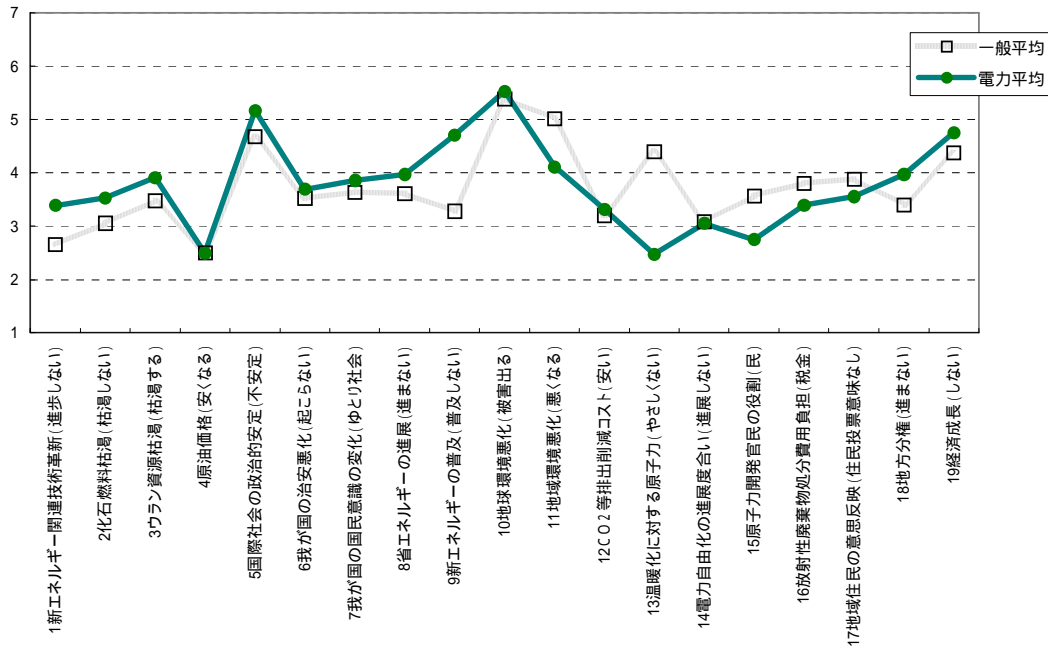


付図 3.2.2 7 評価視点の重み（電気事業者）

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
電力平均	9.259%	14.329%	21.552%	15.642%	12.560%	9.974%	9.363%	7.321%
標準偏差	8.030%	7.363%	7.379%	7.458%	8.297%	7.895%	7.659%	8.379%
一般平均	9.153%	8.863%	16.786%	17.985%	15.637%	10.675%	14.558%	6.342%
標準偏差	7.753%	5.031%	7.762%	7.912%	8.638%	6.700%	10.975%	4.605%
t値	0.078	4.376	3.787	1.842	2.175	0.523	3.949	0.689
ν	35.0	34.5	35.2	35.2	35.2	34.8	36.3	34.3



付図 3.2.3 8 評価視点の重み（電気事業者）



設問 (値の大きさが示す意味)	一般国民		電気事業者		t 値	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差		
13温暖化に対する原子力 (やさしくない)	4.40	1.48	2.47	1.18	9.537	34.8
9新エネルギーの普及 (普及しない)	3.28	1.32	4.71	1.67	-5.040	34.3
11地域環境悪化 (悪くなる)	5.02	1.36	4.11	1.47	3.621	34.5
15原子力開発官民の役割 (民)	3.57	1.42	2.75	1.36	3.537	34.6
5国際社会の政治的安定 (不安定)	4.68	1.34	5.17	1.08	-2.638	34.8
1新エネルギー関連技術革新 (進歩しない)	2.66	1.24	3.39	1.69	-2.549	34.3
18地方分権 (進まない)	3.40	1.44	3.97	1.65	-2.039	34.4
2化石燃料枯渇 (枯渇しない)	3.06	1.52	3.53	1.65	-1.673	34.5
19経済成長 (しない)	4.38	1.32	4.75	1.30	-1.665	34.6
3ウラン資源枯渇 (枯渇する)	3.48	1.36	3.92	1.68	-1.531	34.3
16放射性廃棄物処分費用負担 (税金)	3.80	1.52	3.40	1.59	1.481	34.5
17地域住民の意思反映 (住民投票意味なし)	3.88	1.48	3.56	1.63	1.178	34.4
8省エネルギーの進展 (進まない)	3.62	1.50	3.97	1.78	-1.177	34.4
7我が国の国民意識の変化 (ゆとり社会)	3.64	1.43	3.86	1.44	-0.896	34.5
10地球環境悪化 (被害出る)	5.39	1.27	5.53	1.06	-0.776	34.8
6我が国の治安悪化 (起こらない)	3.53	1.31	3.69	1.45	-0.669	34.4
12CO2等排出削減コスト (安い)	3.21	1.25	3.31	1.16	-0.550	34.6
14電力自由化の進展度合い (進展しない)	3.08	1.48	3.06	1.67	0.096	34.4
4原油価格 (安くなる)	2.50	1.23	2.50	1.36	0.007	34.4

付図 3.2.4 電気事業者の将来社会像に関する回答結果

付録3.3 有識者の重み付け

付録3.3.1 有識者へのアンケートに基づく重み付け結果

普通の市民のときと同様の重み付け手法により算出した 5 評価視点、7 評価視点、8 評価視点の重み付け結果については、付図 3.3.1 から付図 3.3.3 に示す。

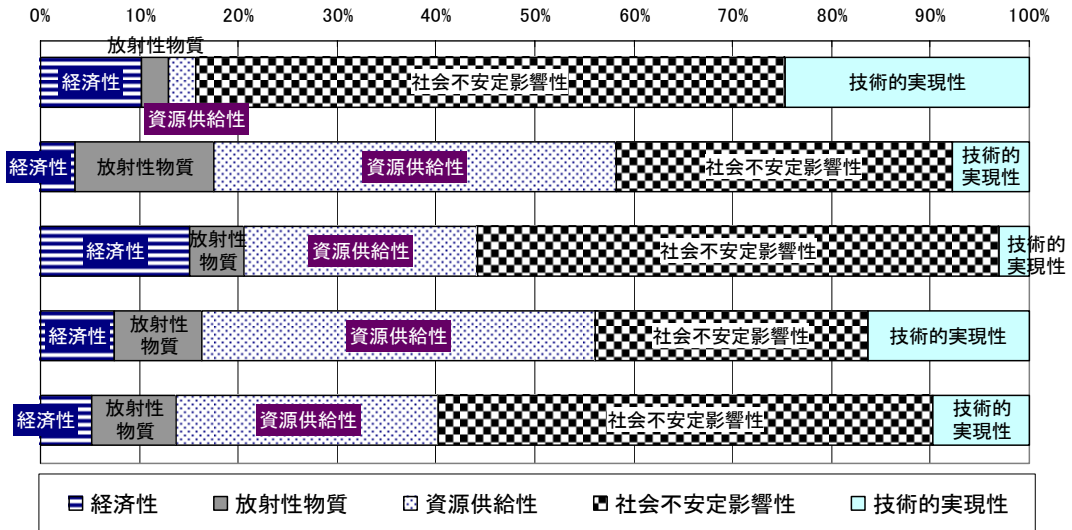
回答数が少ないために、統計的な有意性はないものの、回答を頂いた有識者の方の重みの傾向を普通の市民と比較すると、以下の点があげられる。

- 「資源供給性」、「環境影響低減性」、「核拡散抵抗性」：有識者の重みが普通の市民よりも大きい
- 「放射性物質」、「心理的バイアス低減性」：有識者の重みが普通の市民よりも小さい

付録3.3.2 有識者へのアンケートに基づく重み付け結果

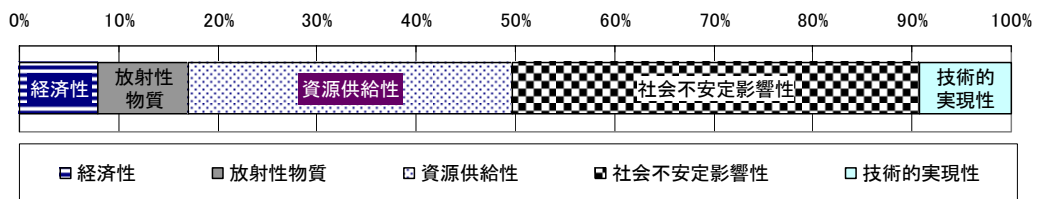
有識者による将来社会想定に関する設問への回答結果は付図 3.3.4 のとおりである。全体としては、有識者は普通の市民と比較して、新エネルギーについて悲観的であり、地域環境については楽観的、温暖化ガス削減コストについては高騰すると予想し、温暖化対策として原子力は環境に優しいと考えており、地方分権は進まないと回答した。なお、有識者からの回答には、有識者それぞれの見識に基づき、付表 3.3.1 のように多様なメッセージが含まれているものと解釈される。

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
E1	10.264%	2.746%	2.746%	59.526%	24.718%
E2	3.562%	13.981%	40.698%	34.008%	7.750%
E3	15.023%	5.592%	23.547%	52.857%	2.981%
E4	7.511%	8.731%	39.838%	27.541%	16.378%
E5	5.228%	8.437%	26.611%	49.916%	9.807%



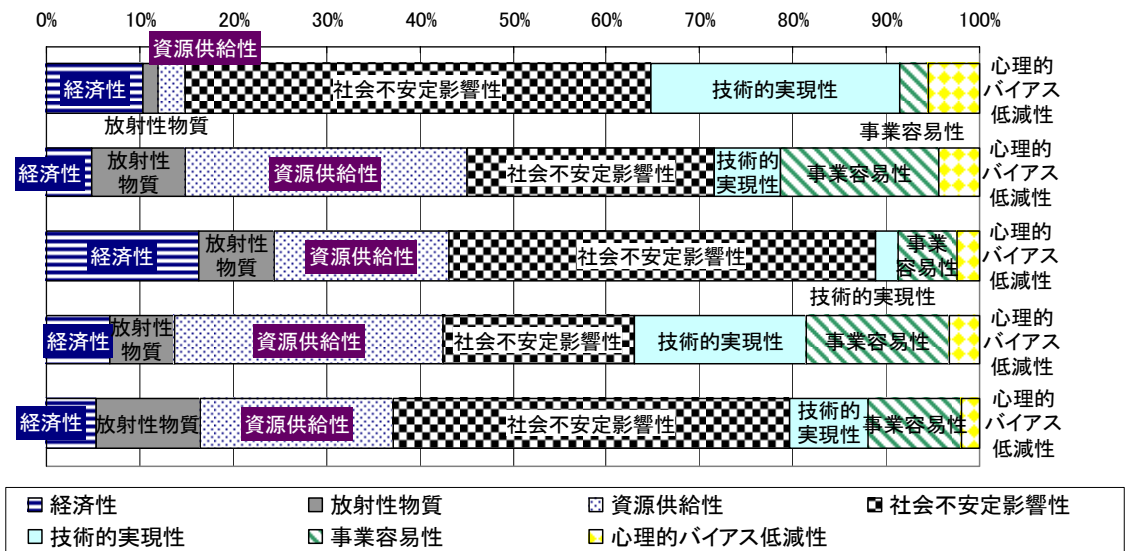
<平均（上記5名）>

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性
平均	7.831%	9.185%	32.674%	41.081%	9.229%



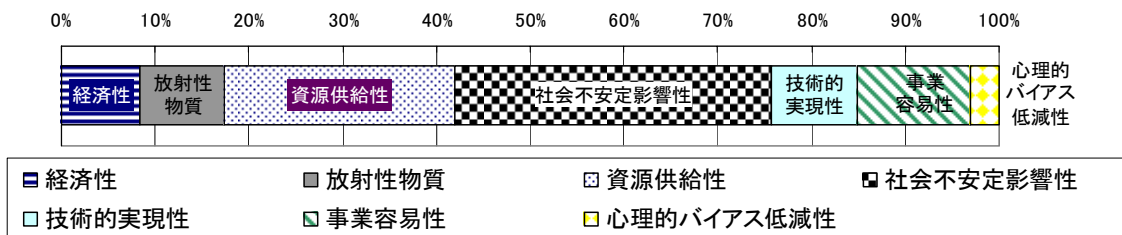
付図 3.3.1 5 評価視点の重み（各有識者および平均）

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
E1	10.391%	1.580%	2.961%	49.917%	26.645%	2.961%	5.546%
E2	4.897%	9.991%	30.164%	26.532%	7.088%	16.930%	4.398%
E3	16.353%	8.073%	18.724%	45.662%	2.401%	6.332%	2.456%
E4	6.730%	6.931%	28.848%	20.497%	18.407%	15.289%	3.299%
E5	5.401%	11.019%	20.792%	42.418%	8.465%	9.912%	1.992%



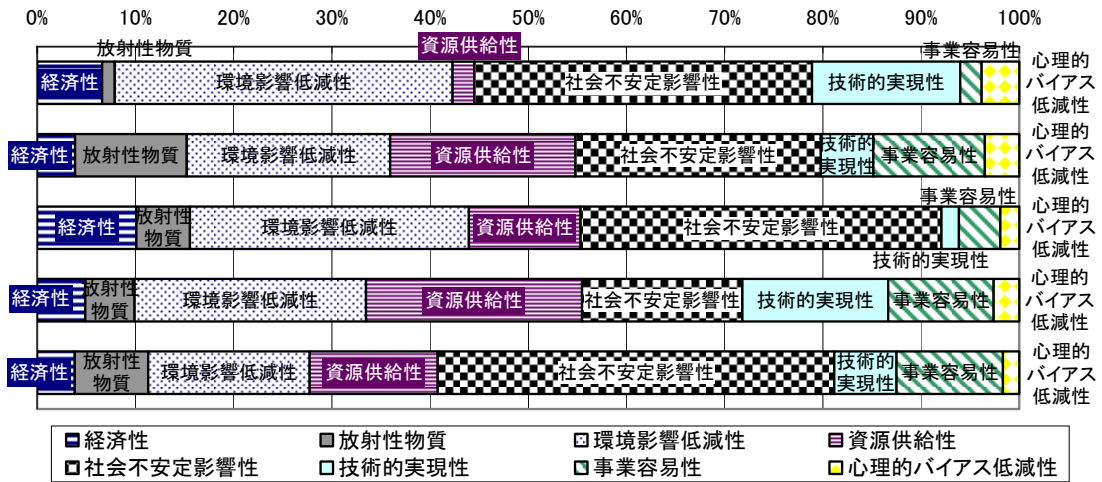
<平均（上記5名）>

	経済性	放射性物質	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	8.345%	9.004%	24.632%	33.777%	9.090%	12.115%	3.036%



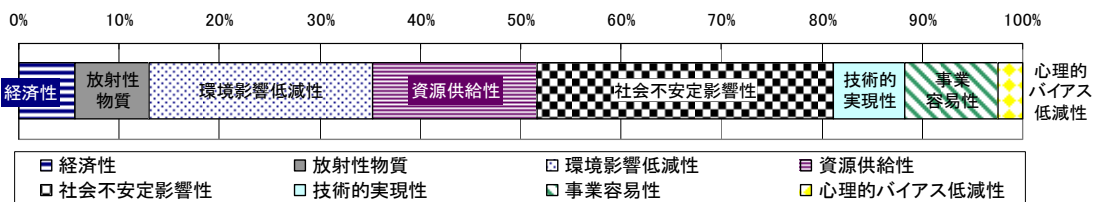
付図 3.3.2 7 評価視点の重み（各有識者および平均）

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
E1	6.619%	1.274%	34.393%	2.206%	34.393%	15.088%	2.206%	3.821%
E2	3.846%	11.385%	20.705%	18.872%	24.992%	5.314%	11.385%	3.500%
E3	10.095%	5.444%	28.424%	11.365%	36.735%	1.803%	4.212%	1.921%
E4	4.890%	5.017%	23.562%	22.006%	16.318%	14.853%	10.734%	2.620%
E5	3.838%	7.484%	16.428%	13.043%	40.348%	6.362%	10.821%	1.676%

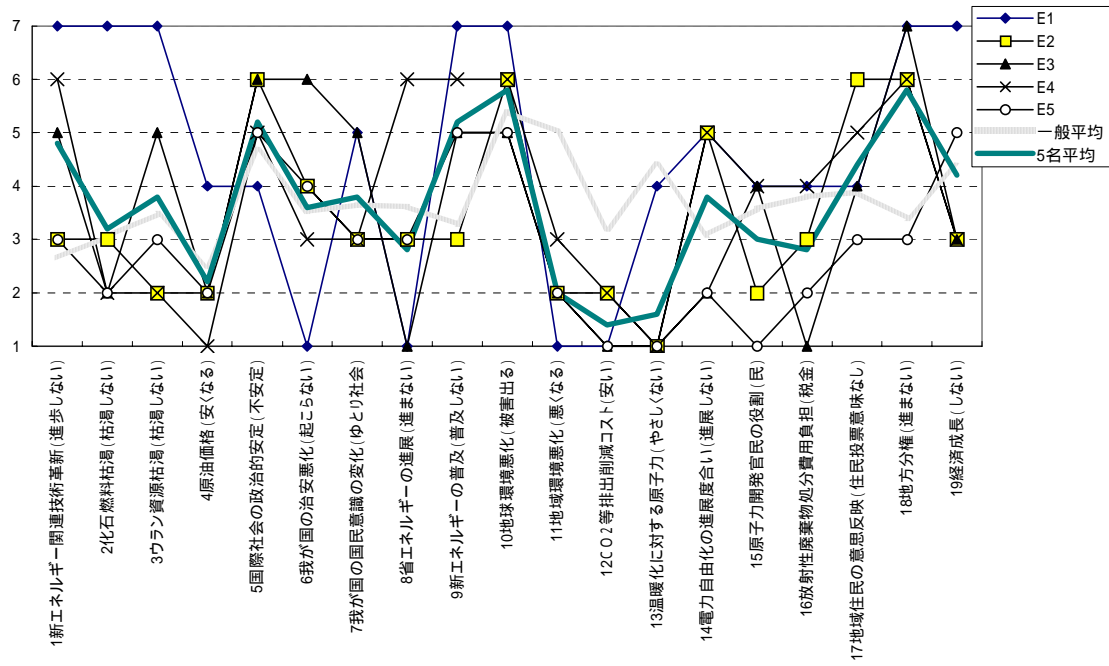


<平均（上記5名）>

	経済性	放射性物質	環境影響低減性	資源供給性	社会不安定影響性	技術的実現性	事業容易性	心理的バイアス低減性
平均	5.667%	7.332%	22.280%	16.322%	29.598%	7.083%	9.288%	2.429%



付図 3.3.3 8 評価視点の重み（各有識者および平均）



付図 3.3.4 有識者の将来社会像に関する回答結果

付表 3.3.1 有識者アンケート結果に見るメッセージ

有識者	メッセージ
E1	資源の枯渇は心配ないものの、地球環境は悪化し、新エネルギーの普及も難しい。原子力を適切に運用するためには、技術の実現性に配慮しつつ、環境や核不拡散性を重視すべきである。
E2	資源枯渇、環境悪化、国際秩序不安定化などの懸念を考えれば、新エネルギーの開発・普及は一定の役割を果たすものの、資源、環境、核拡散にバランスよく配慮すべきである。
E3	国際社会の秩序悪化や地球規模での環境悪化が懸念される中で、世界の中の日本として成長と繁栄を享受するには、核不拡散性と地球環境に十分に配慮したエネルギー選択が必要である。
E4	資源問題、環境問題がある中で、新エネルギーや省エネルギーの普及には限界がある。そうした技術の実現性にも目を向けた上で、資源、環境、核拡散にバランスよく配慮すべきである。
E5	地球環境悪化が懸念される中、原子力の位置づけは重要だ。日本としては国として原子力を推進することには変わりはないと思われる。国際社会における不確実性が大きい核不拡散性への配慮は特に重要となるであろう。

[参考文献]

- 1) 西澤一友：“整合性の評価とその改善”，木下栄蔵編著，AHP の理論と実際，日科技連出版，pp.105-116（2000）