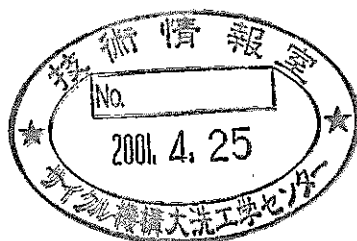


世界における原子力エネルギー最大供給可能量の検討

(研究報告)

2000年12月



核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan.

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2000

世界における原子力エネルギー最大供給可能量の検討 (研究報告)

小野清¹⁾、大滝明¹⁾、平尾和則¹⁾

久保田貞衣²⁾、辺田正則²⁾

要 旨

本研究では、世界全体を対象に、将来のエネルギー供給において原子力にどこまで期待できるのかを探るため、天然ウラン資源を可能な限り利用するという観点から原子力の最大導入可能量を試算した。

試算にあたり、立地問題、財政問題等の社会的な条件は、今回の試算では無視し、純粹にサイクル諸量上の観点から原子力の可能性を捉えることに専念した。原子力の導入シナリオとして以下の3つを想定した。

- ① 軽水炉ワンススルー体系
- ② 軽水炉とプルサーマル体系
- ③ 軽水炉とFBR体系

試算の結果、以下の成果が得られた。

軽水炉ワンススルー体系あるいは軽水炉とプルサーマル体系では、IIASA/WECのエネルギー供給見通し(基準Bケース)が達成できないばかりでなく、原子力発電設備容量は21世紀中葉頃から徐々に減少し、22世紀初頭には天然ウラン資源を消費し尽くしフェーズアウトしてしまう。

一方、FBRによるプルトニウム利用を積極的に進めた場合、原子力発電設備容量はFBRの導入開始時期や増殖性能により異なるものの、原子力が来世紀以降も持続可能な重要なエネルギー・オプションの一つとなる。

本報告書の内容には、原子力システム(株)が核燃料サイクル開発機構(機構担当部課室:システム技術開発部、FBRサイクル解析グループ)との契約により実施した業務成果に関するものを含み、核燃料サイクル開発機構が取りまとめたものである。

なお、本成果は「実用化戦略調査研究」の一環(平成12年度WBS番号III-1-C1)として取りまとめたものである。

1) 大洗工学センター システム技術開発部 FBRサイクル解析グループ

2) 原子力システム株式会社

Scenario Study on the Global Nuclear Energy

Kiyoshi Ono ¹⁾, Akira Otaki ¹⁾, Kazunori Hirao ¹⁾
Sadae Kubota ²⁾, Masanori Heta ²⁾

Abstract

This scenario study on the global nuclear energy was performed from the viewpoints of the maximum utilization of natural uranium resources, in order to clarify the role of nuclear energy in the future global primary energy supply. Social conditions, such as site issue and financial issue, aren't taken into consideration.

Main three scenarios set up in this study are as follows,

- LWR once-through
- LWR with plutonium recycling
- LWR + FBR

From preliminary estimation, the following results were obtained.

In the LWR once-through scenario and the LWR with plutonium recycling scenario, the nuclear energy can't support energy supply in the reference case B estimated by IASA/WEC in the Global Energy Perspectives 1998. The nuclear energy decreases gradually after the middle of 21st century and exhausts uranium resource to phase out till the beginning of 22nd century.

On the other hand, if the FBR cycle is introduced in the future for plutonium utilization, the nuclear energy is expected to be one of the most important sustainable energy options beyond the next century.

This study was carried out in a part of JNC's feasibility study on commercialized FBR cycle system.

1) FBR Cycle Analysis Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center

2) Nuclear Energy System Inc.

目 次

1. 目 的	1
2. 前提条件	2
2.1 解析の基本的考え方	2
2.2 解析ケースの設定	2
2.3 原子炉関連の前提条件	3
2.4 燃料サイクル関連の前提条件	3
2.5 計算開始以前の諸量データ	4
2.6 その他の前提条件	5
3. 解析手順	9
3.1 ワンスルーケース	9
3.2 プルサーマルケース	9
3.3 FBR 導入ケース	9
4. 解析結果	12
4.1 ワンスルーケース	12
4.2 プルサーマルケース	12
4.3 FBR2030 年導入ケース	12
4.4 FBR2050 年導入ケース	13
4.5 各ケースの比較	14
5. まとめ	41
6. 謝 辞	42
7. 参考文献	43

目 次

図 3.1-1	原子力発電設備容量の設定のイメージ図 (ワンススルーのケース) …	11
図 3.3-1	FBR 新設容量の連続化 (FBR2030-1.2) ……………	11
図 4.1-1	発電設備容量 [ワンススルーケース] ……………	15
図 4.1-2	ウラン累積需要量 [ワンススルーケース] ……………	15
図 4.1-3	燃料加工量 [ワンススルーケース] ……………	16
図 4.1-4	使用済燃料貯蔵量 [ワンススルーケース] ……………	16
図 4.1-5	プルトニウム貯蔵量 [ワンススルーケース] ……………	17
図 4.1-6	発電設備容量 [ワンススルー(強制廃止)ケース] ……………	18
図 4.1-7	ウラン累積需要量 [ワンススルー(強制廃止)ケース] ……………	18
図 4.1-8	燃料加工量 [ワンススルー(強制廃止)ケース] ……………	19
図 4.1-9	使用済燃料貯蔵量 [ワンススルー(強制廃止)ケース] ……………	19
図 4.1-10	プルトニウム貯蔵量 [ワンススルー(強制廃止)ケース] ……………	20
図 4.2-1	発電設備容量 [プルサーマルケース] ……………	21
図 4.2-2	ウラン累積需要量 [プルサーマルケース] ……………	21
図 4.2-3	燃料加工量 [プルサーマルケース] ……………	22
図 4.2-4	再処理量 [プルサーマルケース] ……………	22
図 4.2-5	プルトニウム貯蔵量 [プルサーマルケース] ……………	23
図 4.3-1	発電設備容量 [FBR2030-1.2 ケース] ……………	24
図 4.3-2	ウラン累積需要量 [FBR2030-1.2 ケース] ……………	24
図 4.3-3	燃料加工量 [FBR2030-1.2 ケース] ……………	25
図 4.3-4	再処理量 [FBR2030-1.2 ケース] ……………	25
図 4.3-5	プルトニウム貯蔵量 [FBR2030-1.2 ケース] ……………	26
図 4.3-6	発電設備容量 [FBR2030-1.3 ケース] ……………	27
図 4.3-7	ウラン累積需要量 [FBR2030-1.3 ケース] ……………	27
図 4.3-8	燃料加工量 [FBR2030-1.3 ケース] ……………	28
図 4.3-9	再処理量 [FBR2030-1.3 ケース] ……………	28
図 4.3-10	プルトニウム貯蔵量 [FBR2030-1.3 ケース] ……………	29
図 4.3-11	プルトニウム・バランスのみに応じて FBR を導入した場合の発電 設備容量 (FBR2030-1.2) ……………	30
図 4.3-12	プルトニウム・バランスのみに応じて FBR を導入した場合の発電 設備容量 (FBR2030-1.3) ……………	30
図 4.4-1	発電設備容量 [FBR2050-1.2 ケース] ……………	31
図 4.4-2	ウラン累積需要量 [FBR2050-1.2 ケース] ……………	31
図 4.4-3	燃料加工量 [FBR2050-1.2 ケース] ……………	32

図 4.4-4	再処理量 [FBR2050-1.2 ケース]	32
図 4.4-5	プルトニウム貯蔵量 [FBR2050-1.2 ケース]	33
図 4.4-6	発電設備容量 [FBR2050-1.3 ケース]	34
図 4.4-7	ウラン累積需要量 [FBR2050-1.3 ケース]	34
図 4.4-8	燃料加工量 [FBR2050-1.3 ケース]	35
図 4.4-9	再処理量 [FBR2050-1.3 ケース]	35
図 4.4-10	プルトニウム貯蔵量 [FBR2050-1.3 ケース]	36
図 4.4-11	プルトニウム・バランスのみに応じて FBR を導入した場合の発電 設備容量 (FBR2050-1.2)	37
図 4.4-12	プルトニウム・バランスのみに応じて FBR を導入した場合の発電 設備容量 (FBR2050-1.3)	37
図 4.5-1	世界における原子力エネルギー最大供給可能量	38

表 目 次

表 2.2-1	解析ケース一覧表	7
表 2.3-1	炉特性データ一覧表	8
表 4.5-1	世界における原子力エネルギー最大供給可能量	39
表 4.5-2(1)	一次エネルギー消費量 (原子力分) (各炉型の原子炉稼働率を想定)	39
表 4.5-2(2)	一次エネルギー消費量 (原子力分) (原子炉稼働率一律 70%を想定)	40

1. 目 的

本研究では、世界全体を対象に、将来のエネルギー供給において原子力にどこまで期待できるのかを探るため、天然ウラン資源を可能な限り利用するという観点から原子力の最大導入可能量を試算した。

原子力の導入シナリオとして以下の3つを想定した。

- ①軽水炉（LWR）のみのワンスルー体系
- ②LWR+プルサーマル体系
- ③LWR+高速増殖炉（FBR）体系

試算においては、原子力技術およびウラン資源の前提条件設定の際、できる限り希望的あるいは悲観的な観測や仮定を排除した定量評価に心掛けた。但し、立地問題、財政問題等の社会的な条件は、今回の試算では無視し、純粋にサイクル諸量上の観点から原子力の可能性を捉えることに専念した。

今後、この原子力の最大導入可能量の結果を基に、電力供給以外の可能性、即ち水素製造シナリオの検討に資すると共に、「FBR 実用化戦略調査研究」の一環として進めている FBR 実用化シナリオ構築の際の参考として、本研究成果を活用していく。

2. 前提条件

2.1 解析の基本的考え方

本解析では、天然ウラン資源を可能な限り利用するという観点から原子力の最大導入可能量を試算するため、LWR 体系から FBR 体系への移行シナリオを中心に解析を行う。比較のために LWR 体系のみのシナリオも評価する。

FBR 体系については、現在、技術的に可能と考えられている増殖性能を幅広く取り上げパラメータ解析を実施する。FBR の導入開始時期は 2030 年または 2050 年とし、プルトニウム・バランスを取りながら積極的に導入するとした。従って、再処理については、プルトニウムの積極的な利用を目的に、燃料取出冷却後、即時全量再処理を想定した。

ウラン資源については陸上ウランのみを対象とし、海水ウランについては今回の評価対象からは外した。但し、核兵器解体核物質（高濃縮ウランおよびプルトニウム）は考慮する。

詳細な前提条件を 2.3～2.6 節にまとめる。

2.2 解析ケースの設定

前節の解析の基本的考え方に沿って、解析ケースは以下の 6 ケースを想定する。詳細については表 2.2-1 に示す。

FBR 導入のケースについては、2030 年導入と 2050 年導入の 2 つを想定する。FBR の導入量に影響を与える FBR サイクルの増殖性能として、増殖比と炉外サイクル時間に着目し、標準的な増殖性能の組み合わせ（酸化物燃料サイクルを想定した増殖比 1.2、炉外サイクル時間 5 年）および最も増殖性能の高い組み合わせ（金属燃料サイクルを想定した増殖比 1.3、炉外サイクル時間 3 年）の 2 ケースを設定した。

- ① ワンススルー
- ② プルサーマル
- ③ FBR2030 年導入開始（増殖比 1.2、炉外サイクル時間 5 年）；以下「FBR2030-1.2」と略す
- ④ FBR2030 年導入開始（増殖比 1.3、炉外サイクル時間 3 年）；以下「FBR2030-1.3」と略す
- ⑤ FBR2050 年導入開始（増殖比 1.2、炉外サイクル時間 5 年）；以下「FBR2050-1.2」と略す
- ⑥ FBR2050 年導入開始（増殖比 1.3、炉外サイクル時間 3 年）；以下「FBR2050-1.3」と略す

2.3 原子炉関連の前提条件

(1) 対象炉型

BWR、BWR(プルサーマル)、A-BWR、A-BWR(プルサーマル)、PWR、PWR(プルサーマル)、A-PWR、A-PWR(プルサーマル)、HWR(重水炉)、FBR(酸化物燃料、増殖比1.2)、FBR(金属燃料、増殖比1.3)の11炉型とした。各炉型の炉特性データを表2.3-1に示す。

(2) 原子炉耐用年数(炉寿命)

原子炉の高経年化対策等が図られ、長寿命化すると仮定し、炉型に関係なく一律60年とした。

(3) 原子炉投入時期

LWRについては、西暦2019年までに運開するLWRは現行LWRとし、BWRでは取出平均燃焼度45,000MWd/t、PWRでは取出平均燃焼度49,000MWd/tを想定する。一方、西暦2020年以降に運開するLWRはA-LWRとし、A-BWR、A-PWRとも取出平均燃焼度60,000MWd/tを想定する。

FBRについては、西暦2030年および2050年以降導入の2つの導入時期を設定した。

(4) 原子炉稼働率

世界における原子炉稼働率を見ると、BWR及びPWRでは、ここ数年間約80%近くの稼働率で運転されている。しかし、炉寿命中平均稼働率は約70%程度となっている。この実績を参考に西暦2019年までに運開する現行LWRでは稼働率75%とした。また、西暦2020年以降に運開するA-LWRでは、高燃焼度化による長期運転のため若干稼働率が高くなると予想されるため、稼働率を80%と仮定した。

HWRでは、ここ数年間の年間稼働率は約60%程度、炉寿命中平均稼働率は約70%程度となっているが、本評価で用いる炉特性はOECD/NEA^[1]の西暦2000年運開の炉を対象としているため稼働率75%とした。

FBRでは、西暦2020年以降に運開する高燃焼度のLWRと同等の稼働率80%と仮定した。

2.4 燃料サイクル関連の前提条件

(1) 炉外サイクル時間

LWR系サイクルおよびHWR系サイクルでは、燃料加工1年、取出燃料の冷却4年、再処理1年の合計6年とした。

FBR系サイクルでは、現状のLWR系サイクル技術とほぼ同じと想定して取出燃料の冷却4年、再処理と燃料加工を合わせて1年の合計5年と、将来の

FBR サイクル技術開発の高い目標として取出燃料の冷却 2 年、再処理 + 燃料加工 1 年の合計 3 年の 2 ケースとした。本解析では、FBR の総合的な増殖性能の観点から FBR 導入の幅広い可能性を検討するため、増殖性能の低いケースとして炉外サイクル時間 5 年と増殖比 1.2、増殖性能の高いケースとして炉外サイクル時間 3 年と増殖比 1.3 の組み合わせを設定した。前者の組み合わせは代表的な酸化物燃料のサイクルを想定しており、後者は金属燃料サイクルを想定したものである。

(2) テイルウラン濃度

計算期間を通じて 0.3% とし、FBR 用の MOX 燃料の母材に利用するとした。

(3) ロス率

LWR 系サイクルについての数値であるが、OECD/NEA 刊行物^[1]より引用し、濃縮 0.0%、転換 0.5%、燃料加工 1.0%、再処理 2.0% とした。

(4) 再処理施設

原子力を最大限に導入するという解析の目的から、ワンスルーケースを除く全ての計算ケースにおいて、炉型 (LWR、HWR、FBR) に関係なく、燃料取出冷却後、即時全量再処理とした。

(5) その他のサイクル処理施設

同じく原子力の最大限導入という解析の目的から、転換施設、濃縮施設、燃料加工施設などのその他のサイクル処理施設については、処理能力に制限を設けないこととした。

(6) 貯蔵施設

その他のサイクル処理施設と同様に、貯蔵能力に制限を設けないこととした。

2.5 計算開始以前の諸量データ

(1) 使用済燃料量

SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute) による過去に原子炉から取り出された使用済燃料量、および西暦 2000 年末までに予想される使用済燃料発生量^[2]を基に 189,794 トン HM とした。

具体的には、計算ツールにおける計算開始年 (1998 年) の入力値の関係上、1990 年末までの 114,740 トン HM に加えて、1991~2000 年末までの予測発生量 107,220 トン HM から 1997 年末の値を内挿して求めた 75,054 トン HM との合計値、189,794 トン HM とした。各炉型毎 (BWR : PWR : HWR) の量は、現

状の発電構成を考慮した 2 : 7 : 1 の比率とし、37,959 トン HM : 132,856 トン HM : 18,979 トン HM とした。

(2)核兵器解体プルトニウム量

核兵器解体プルトニウム量は、余剰と声明された軍事核物質量（1997年7月現在の処分予定^[3]）であり、計算開始年以前に当該量が存在する訳ではないが、計算の都合上、計算開始年以前のプルトニウム貯蔵量として取り扱うこととした。

ロシア 50 トン、米国約 50 トンの合計約 100 トンとした。プルトニウムフィッサイル量への換算は、フィッサイル率 95% と仮定し、95 トンフィッサイルとした。

(3)核兵器解体高濃縮ウラン量 (HEU)

核兵器解体高濃縮ウラン量は、計算開始年以前に当該量が存在する訳ではないが、計算の都合上、天然ウラン資源量として取り扱うことにした。

ロシア 500 トン（兵器級）、米国 174 トン（兵器級換算で 100 トン）の合計 674 トンとした。天然ウラン量への換算は、西暦 2010 年までは米国原子力情報サービス (IEA OF JAPAN) の「米ロの余剰軍事核物質 (Pu を除く) の市場への流入予測 (標準ケース)」^[4]を用いた。更に西暦 2013 年までは、前述の予測の中の「ロシアの HEU 供給」が続くという見通しを含め、総量で約 17 万トン U と仮定した。

(4)劣化（濃縮テイル）ウラン量

ウラン協会 (The Uranium Institute) が見積もっている 1997 年末現在の世界の劣化ウラン在庫量^[5]、約 135 万トン U とした。

2.6 その他の前提条件

(1)天然ウラン資源制約

OECD/NEA/IAEA の評価^[6]より、確認資源 (RAR : Reasonably Assured Resources) 322 万トン U、推定追加資源-I (EAR : Estimated Additional Resources) 108 万トン U、未確認資源 (EAR-II : Estimated Additional Resources-II) 227 万トン U および期待資源 (Speculative Resources) 971 万トン U の合計である究極資源約 1,630 万トン U を資源制約の上限とした。一般にウラン資源は、この究極資源の定義に対して、確度の高い既知資源 (確認資源 + 推定追加資源-I) の範疇もあるが、今回の解析の目的が原子力の最大限導入という点であるため、究極資源を採用した。

更に、前述の「(3) 核兵器解体高濃縮ウラン量」で示した天然ウラン換算量約 17 万トン U を加えて、天然ウラン資源制約を約 1,650 万トン U とした。

(2) プルトニウム・バランス制約

計算の全期間を通じて、プルトニウム量に不足が生じない、つまり、プルトニウム・バランスが負にならないという制約を設けた。一方、上限値については特に制限を設けなかった。現実的には、核不拡散上の観点から目的のない余剰プルトニウムを貯めることは大きな課題であるが、今回の解析の中ではこの問題については無視した。

(3) 劣化（濃縮テイル）ウラン制約

FBR 導入ケースの場合、炉心燃料の母材およびブランケット燃料となる劣化（濃縮テイル）ウラン量が、計算の全期間を通じて、不足を生じないという制約を設けた。

(4) 新設導入割合

BWR (A-BWR)、PWR (A-PWR)、HWR の新設導入割合は、現状の発電構成を基に 2 : 7 : 1 とした。

(5) 計算期間

西暦 1998 年～西暦 2120 年とした。

(6) プルサーマル

プルサーマルは 1/3MOX 炉心とし、FBR の導入ケースではプルサーマルは行わないものとした。

(7) 回収ウラン利用

LWR 系サイクルにおいて、ワンススルーケースを除く他のケースの場合、再処理施設から回収されるウランが天然ウラン濃度以上の時、再濃縮して利用することとした。

表2.2-1 解析ケース一覧表

ケース名	シナリオ	FBR導入 開始	プルサーマル 導入	炉寿命	再処理計画				炉外時間		FBR 増殖比
					LWR再処理 (UO2)	LWR再処理 (MOX)	HWR再処理	FBR再処理	LWR,HWR系	FBR系	
ワンスルー	ワンスルー	—	—	60年	—	—	—	—	6年	—	—
プルサーマル	プルサーマル	—	有	↑	即時全量	即時全量	即時全量	—	↑	—	—
FBR2030-1.2	FBR導入	2030年	—	↑	↑	—	↑	即時全量	↑	5年	1.2
FBR2030-1.3		2030年	—	↑	↑	—	↑	↑	↑	3年	1.3
FBR2050-1.2		2050年	—	↑	↑	↑	—	↑	↑	5年	1.2
FBR2050-1.3		2050年	—	↑	↑	↑	—	↑	↑	3年	1.3

表2.3-1 炉特性データ一覧表

炉型	BWR	PWR	BWR プルサーマル		高燃焼度 BWR		高燃焼度 PWR		HWR (NU)	FBR 燃焼度約15万MWD/t, BR1.19			FBR 燃焼度約9万MWD/t, BR1.33			
			(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(3)		(1)	(3)	(4)	(5)		(5)	
データ出典	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(3)	(1)	(3)	(4)	炉心	軸ブラ	径ブラ	炉心	軸ブラ	径ブラ	
電気出力 (MWe)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000			
熱効率 (%)	34.5	34.4	34.5	34.4	34.5	34.4	34.5	34.4	-	-	-	-	-	-	-	
比出力 (MW/t)	25.9	37.7	26.1	37.7	25.9	37.7	26.1	37.7	-	-	-	-	-	-	-	
燃焼度 (MWD/t)	45,000	49,000	45,000	49,000	60,000	60,000	60,000	60,000	8,330	146,000			88,000			
燃料炉内滞在時間 (年)	8.37	4.74	-	-	7.93	5.45	-	-	1.31	6.78			3.75			
増殖比/転換比	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.19			1.33			
バッチ数	4.39	3	4.35	3	4.23	3	4.19	3	-	5	3		3	4		
原子炉耐用年数 (年)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60			60			
設備利用率 (%)	75	75	75	75	80	80	80	80	75	80			80			
初期炉心取替遅れ (月)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12			12			
初装荷燃料																
重金屬 ^{*2} (t)	111.9	77.1	-	-	111.9	77.1	-	-	126.8	29.962	24.348	12.378	28.460	24.286	14.925	
ウラン (t)	111.9	77.1	-	-	111.9	77.1	-	-	126.8	24.469	24.348	12.378	24.308	24.286	14.925	
プルトニウム (t)	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.00	5.492	0.000	0.000	4.154	0.000	0.000	
分裂性プルトニウム (t)	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.00	3.570	0.000	0.000	2.991	0.000	0.000	
ウラン濃縮度 (%)	3.4	3.2	-	-	4.5	3.8	-	-	0.711	0.3	0.3	0.3	0.30	0.30	0.30	
MA (t)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
平衡装荷燃料																
重金屬 ^{*2} (t/年)	17.5	16.2	5.849	5.402	14.094	14.2	4.898	4.723	97.4	4.419	3.590	3.043	7.590	6.476	2.985	
ウラン (t/年)	17.5	16.2	5.467	5.086	14.094	14.2	4.305	4.383	97.4	3.809	3.590	3.043	6.482	6.476	2.985	
プルトニウム (t/年)	0.0	0.0	0.381	0.318	0.000	0.0	0.393	0.340	0.00	0.810	0.000	0.000	1.108	0.000	0.000	
分裂性プルトニウム (t/年)	0.0	0.0	0.233	0.201	0.000	0.0	0.240	0.230	0.00	0.626	0.000	0.000	0.798	0.000	0.000	
ウラン濃縮度 (%)	3.8	4.6	1.30	0.20	4.90	5.3	1.30	0.20	0.711	0.3	0.3	0.3	0.30	0.30	0.29	
MA (t/年)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
初期取出し燃料																
重金屬 ^{*2} (t/年)	20.0	15.7	-	-	16.222	13.6	-	-	96.57	4.124	3.576	3.039	7.339	6.466	2.981	
ウラン (t/年)	19.8	15.5	-	-	16.060	13.4	-	-	96.20	3.352	3.496	3.008	6.255	6.381	2.951	
プルトニウム (t/年)	0.177	0.16	-	-	0.162	0.136	-	-	0.371	0.772	0.079	0.030	1.084	0.085	0.030	
分裂性プルトニウム (t/年)	0.111	0.11	-	-	0.098	0.097	-	-	0.252	0.487	0.075	0.029	0.768	0.083	0.030	
ウラン濃縮度 (%)	0.67	0.94	-	-	0.80	0.916	-	-	0.20	0.2	0.24	0.28	0.23	0.26	0.27	
MA (t/年)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
平衡取出し燃料																
重金屬 ^{*2} (t/年)	16.8	15.4	5.571	5.138	13.192	13.3	4.401	4.430	96.57	3.718	3.528	3.031	6.877	6.416	2.956	
ウラン (t/年)	16.6	15.3	5.298	4.914	13.045	13.1	4.130	4.291	96.20	2.994	3.340	2.965	5.827	6.180	2.956	
プルトニウム (t/年)	0.162	0.17	0.273	0.224	0.147	0.151	0.271	0.139	0.371	0.724	0.188	0.066	1.050	0.236	0.100	
分裂性プルトニウム (t/年)	0.098	0.12	0.124	0.129	0.085	0.103	0.119	0.064	0.252	0.439	0.171	0.064	0.726	0.225	0.095	
ウラン濃縮度 (%)	0.62	1.05	0.60	0.09	0.61	0.865	0.54	0.07	0.20	0.09	0.19	0.25	0.15	0.21	0.22	
MA (t/年)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
廃止措置時取出し燃料																
重金屬 ^{*2} (t)	108.9	74.4	35.875	24.687	107.9	74.0	35.553	24.633	126.22	27.032	24.143	12.348	26.681	24.153	14.847	
ウラン (t)	108.2	73.7	33.874	23.787	107.1	73.4	33.014	23.567	125.89	21.905	23.347	12.167	22.655	23.539	14.522	
プルトニウム (t)	0.725	0.74	2.001	0.900	0.841	0.841	2.539	1.067	0.329	5.127	0.796	0.182	4.006	0.614	0.325	
分裂性プルトニウム (t)	0.518	0.57	1.020	0.500	0.589	0.471	1.276	0.603	0.267	3.190	0.742	0.176	2.806	0.592	0.313	
ウラン濃縮度 (%)	1.7	2.1	0.90	0.09	2.0	2.12	0.80	0.12	0.36	0.16	0.22	0.27	0.19	0.24	0.24	
MA (t)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
備考			1/3MOX ^{*1}	1/3MOX ^{*1}			1/3MOX ^{*1}	1/3MOX ^{*1}							金屬燃料	

* 各データは設備利用率を考慮したものである。

(1) JNC TJ9440 2000-007 「Pu利用技術に関する調査(5)」 日本ニウクリア・フュエル株式会社

(2) JNC TJ 9440 99-014 「プルトニウム利用技術に関する調査検討(3)」 新型炉技術開発株式会社

(3) JNC TJ 9440 2000-008 「プルトニウム利用技術に関する調査検討(4)」 新型炉技術開発株式会社

(4) THE ECONOMICS OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE OECD/NEA 1994

(5) JNC資料

*1 ALWR-MOX炉心の炉特性データ(平衡装荷、平衡取出、廃止措置時取出)を1/3倍して、1/3MOXとした。

*2 ここでの「重金屬」とは、ウランとプルトニウムの和を意味する。

3. 解析手順

原子力エネルギーの最大供給可能量を物質収支の見地より把握するため、原子力発電設備容量を次節の3.1～3.3に示す計算手順にて設定した。また、ウラン需要量やプルトニウム貯蔵量などの物質収支計算には、Excel版FAMILY (FAMILY-EX)のバージョン4.5^[7]を使用した。

3.1 ワンスルーケース

IIASA/WECのBケース^(注1)の発電設備容量を参考にしてLWRとHWRの導入規模を順次拡大していく。しかし、その導入規模はウラン資源の制限によって拡大し続けることはできない。そのため、炉寿命の60年間を考慮してウランの累積需要量が制限条件の約1,650万tUを超えないよう、LWRとHWRの新設終了年を求める。イメージを図3.1-1に示す。

3.2 プルサーマルケース

ワンスルーケースと同様に、IIASA/WECのBケースを参考にしてLWRとHWRの導入規模を順次拡大していく。本ケースでは、LWRとHWRの使用済燃料の再処理によって得られるプルトニウムを1年の燃料加工を経て全て利用可能という条件の下、プルサーマル最大導入割合を各年毎に求める。なお、プルサーマルは1/3MOX炉心とする。さらに、ウラン残存量に応じて新設を控え、ウラン累積需要量が制限(約1,650万tU)に達した時点で全ての炉が寿命廃止になるものとし、これを満たす新設終了年を求める。

3.3 FBR導入ケース

2030年導入ケースについては、LWRとHWRの導入規模は計算開始からFBR導入直前の2029年まではIIASA/WECのBケースを参考にした新設容量とし、2030年以降についてはウラン累積需要量が制限条件の約1,650万tUに達するまではIIASA/WECのBケースの新設容量の50%と仮定した。

一方、2050年導入ケースでは、FBR導入直前の2049年までIIASA/WECのBケースを参考にした新設容量とすることはウラン資源の制限により不可能であるため(ワンスルーの結果より2046年以降新設できない)、2030年導入ケースと同様2030年以降のLWRとHWR導入規模はIIASA/WECのBケースの新設容量の50%と仮定した。

FBRの導入規模は、はじめにIIASA/WECのBケースとは切り離してプルトニウム・バランスに着目した新設容量を、以下に示す2つのステップで求める。

IIASA/WECのBケース^(注1)：「Global Energy Perspectives」^[8]に掲載されているScenario Bの発電電力量(TWh)の数値を原子炉稼働率77.5% (現状LWRと高燃焼度LWRの平均)として発電設備容量(GWe)に換算した。換算式：発電設備容量(GWe) = 発電電力量(TWh) * 10¹² / (365日 * 24時間 * 稼働率0.775 * 10⁹)

(ステップ1) プルトニウム・バランスに応じた FBR 新設容量の算出

ある容量の FBR を新設した結果、その年の発電設備容量が 2200 年まで継続すると仮定した場合、全期間を通じてプルトニウムが不足しないこと、すなわち 2200 年まで最低でもリプレースが持続可能であり、発電設備容量が減少しないことを制約条件に、これを満たす範囲で最大の new 設容量を各年毎に算出する。この new 設容量を採用すると、FBR 導入開始までに LWR と HWR の使用済燃料から回収、蓄積されたプルトニウムが、FBR 導入開始時点に全てリサイクルされることになり、その結果として FBR の new 設容量が急激に立ち上がり発電設備容量に不連続が生じる。これを解消するため次の②に示す方法で、FBR の導入規模に一時的な制限を加え、発電設備容量をプルトニウム・バランスを考慮しながら、全期間を通じて連続性のある導入規模を設定する。

(ステップ2) 連続性のある発電設備容量を実現する FBR 新設容量の算出

ステップ1で算出されたプルトニウム・バランスに応じた発電設備容量のうち20年間隔(2030年導入ケース)または30年間隔(2050年導入ケース)のデータを抽出して、その線形内挿値を求める。これを各年の発電設備容量として、当該年度の FBR new 設容量を設定する。FBR new 設量をプルトニウム・バランスから一義的に決めた場合の発電設備容量、ならびに線形内挿値に基づいた発電設備容量の両カーブを図 3.3-1 に示す。

また、2030年導入ケースに比べ2050年導入ケースのデータ抽出間隔を大きくした理由は、2050年導入ケースではFBR導入時までLWRとHWRの使用済燃料から回収されるプルトニウムが2030年導入ケースに比べ多いため、FBR導入開始にともなって発電設備容量が急激に増加することから、データ抽出間隔を大きくして発電設備容量の傾きを抑えている。

なお、線形内挿値を基に発電設備容量並びにFBR new 設容量を設定した場合、導入初期のFBR new 設容量がステップ1の方法で求めた場合よりも低く抑えられるため、ステップ2による連続化はFBR導入開始から10~25年程度を対象とし、その後はステップ1と同様にプルトニウム・バランスのみに着目してnew 設容量を設定していく。

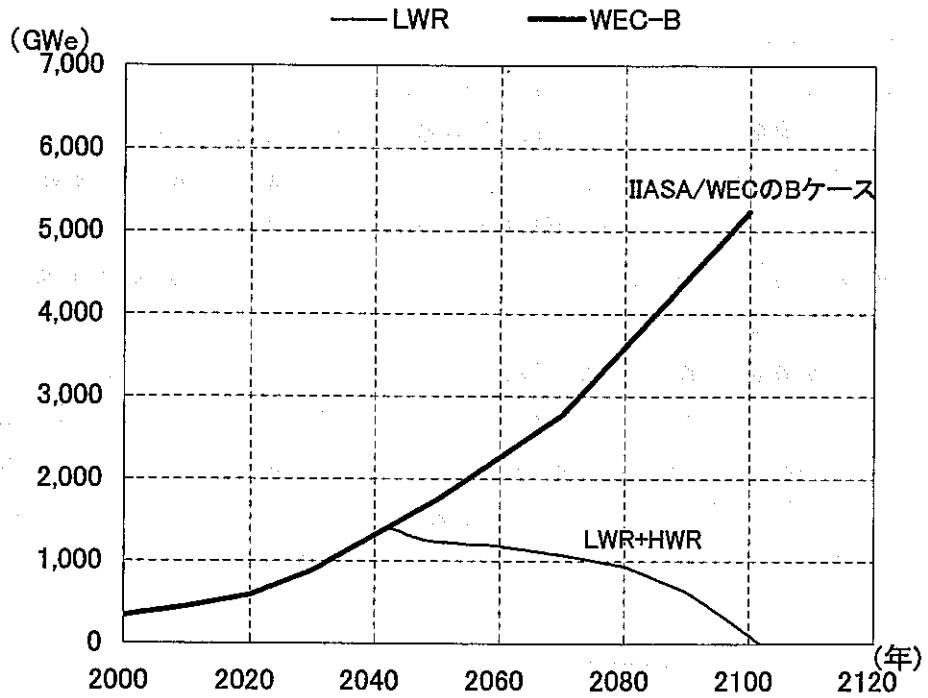


図3.1-1 原子力発電設備容量の設定のイメージ図
[ワンスルーのケース]

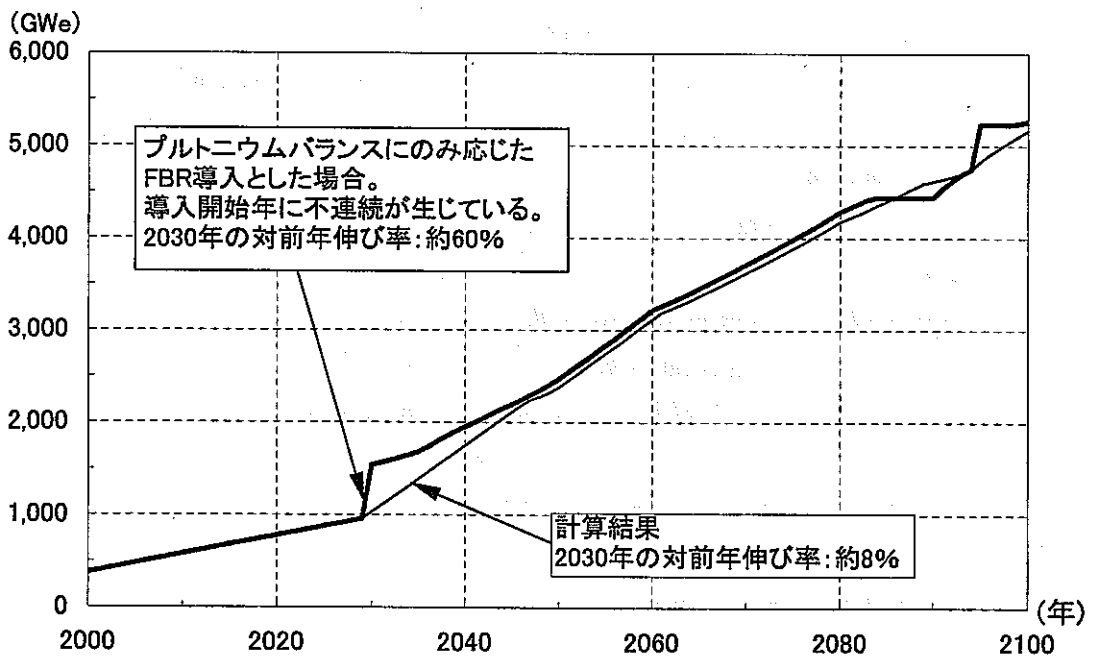


図3.3-1 FBR新設容量の連続化 (FBR2030-1.2)

4. 解析結果

4.1 ワンスルーケース

IIASA/WEC の B ケースの発電設備容量 (IIASA/WEC のデータである発電電力量 kWh を、稼働率 77.5% で GWe に換算したもの) を参考にして LWR と HWR を導入し、2043 年以降の新設を控えるとウラン累積需要量が制限条件の約 1,650 万 tU に抑えられる。発電設備容量は 2043 年以降減少し、2102 年には全ての炉が寿命に達し 0 GWe となる。なお、2100 年時点の発電設備容量は約 100 GWe である (図 4.1-1)。

ウラン累積需要量は、燃料装荷までのリードタイムを差し引いた 2100 年に制限条件の約 1,650 万 tU に達する (図 4.1-2)。また、使用済燃料貯蔵量は 2100 年時点で LWR が約 150 万 tHM、HWR が約 100 万 tHM と見積もられた (図 4.1-4)。

また参考として、ウラン累積需要量が制限に達するまで IIASA/WEC の B ケースを参考にした設備計画で推移し、ウラン需要量が制限条件の約 1,650 万 tU に到達した時点で全てのウラン炉を強制的に廃止する場合についても計算を行った。その結果、強制廃止年は 2068 年となった (図 4.1-6～図 4.1-10)。

4.2 プルサーマルケース

ワンスルーケースと同様に、IIASA/WEC の B ケースを参考にして LWR と HWR を導入し、LWR と HWR の使用済燃料から回収されたプルトニウムをプルサーマルとして最大限リサイクルした場合、2055 年以降の新設を控えるとウラン累積需要量が制限条件の約 1,650 万 tU に抑えられる。発電設備容量は 2055 年以降減少し、全ての炉が寿命に達する 2114 年に 0 GWe となる。なお、2100 年時点の発電設備容量は約 950 GWe である。

プルサーマルの実施により、原子力発電の持続期間はワンスルー時に比べ 12 年程度延長される。また、発電規模は約 1.5 倍となる (ワンスルーケースの 2000 年以降の累積発電設備容量 : 95,800 GWe・年、プルサーマルケースの 2000 年以降の累積発電設備容量 : 145,100 GWe・年)。

また、プルサーマルの容量 (1/3 MOX) は概ね 800～1,300 GWe であり、LWR の約 70% でプルサーマルを採用する結果となった。なお、2034 年以前および 2097 年以降は、発電設備容量が小さいため全ての LWR でプルサーマルを実施している (図 4.2-1)。

ウラン累積需要量は、燃料装荷までのリードタイムを差し引いた 2112 年に制限条件の約 1,650 万 tU に達する (図 4.2-2)。

4.3 FBR2030 年導入ケース

FBR2030-1.2 ケースは、発電設備容量が 2100 年時点で約 5,200 GWe となった。一方、FBR2030-1.3 ケースは、発電設備容量が 2100 年時点で約 13,200 GWe となった。2100 年時点の発電設備容量は、IIASA/WEC の B ケース (約 5,200 GWe)

と比較しFBR2030-1.2 ケースでは同等、FBR2030-1.3 ケースでは約 2.5 倍に拡大した (図 4.3-1、図 4.3-6)。

ウラン累積需要量は、両ケースとも 2120 年に制限条件の約 1,650 万 tU に達した (図 4.3-2、図 4.3-7)。

また、プルトニウム貯蔵量は、両ケースとも FBR 導入を開始した 2030 年以降減少し、2045 年以後は概ね 0 で維持される (図 4.3-5、図 4.3-10)。FBR 導入後 15 年程度は多少余剰プルトニウムが存在するのは、発電設備容量に連続性を持たせる形で FBR を導入しているためである。これを導入開始時にプルトニウム貯蔵量が 0 近傍となるように FBR を導入すると、2030 年の発電設備容量の対前年伸び率が約 60~70% となり不連続となる。参考として、貯蔵プルトニウムにより FBR を最大導入した場合の発電設備容量を図 4.3-11、図 4.3-12 に示す。FBR 導入以前に蓄積するプルトニウムは、軽水炉再処理能力を無限大としプルサーマルを導入しないことが原因である。今回の解析の目的が原子力の最大限導入という点であるため、敢えてプルトニウムの蓄積を容認したが、核不拡散の観点からは大きな課題として認識しておく必要がある。

FBR 燃料加工量については、炉心燃料とブランケット燃料の合計量は、2100 年時点で FBR2030-1.2 ケースが約 6 万 tHM、同じく FBR2030-1.3 ケースが約 24 万 tHM となった (図 4.3-3、図 4.3-8)。

また、FBR 再処理量は 2100 年時点で FBR2030-1.2 ケースが約 4 万 tHM、同じく FBR2030-1.3 ケースが約 19 万 tHM となった (図 4.3-4、図 4.3-9)。

4.4 FBR2050 年導入ケース

FBR2050-1.2 ケースは、発電設備容量が 2100 年時点で約 4,400 GWe となった。一方、FBR2050-1.3 ケースは、発電設備容量が 2100 年時点で約 9,000 GWe となった。2100 年時点の発電設備容量は、IIASA/WEC の B ケース (約 5,200 GWe) と比較し FBR2050-1.2 ケースでは 2 割程度下回り、FBR2050-1.3 ケースでは約 1.7 倍に拡大した (図 4.4-1、図 4.4-6)。

ウラン累積需要量は、両ケースとも 2030 年導入ケースと同様 2120 年に制限条件の約 1,650 万 tU に達する (図 4.4-2、図 4.4-7)。

また、プルトニウム貯蔵量は、両ケースとも FBR 導入を開始した 2050 年以降減少し、2070 年以後は概ね 0 近傍で維持される (図 4.4-5、図 4.4-10)。

2030 年導入ケースと同様に、FBR 導入後 20 年程度は多少余剰プルトニウムが存在するのは、発電設備容量に連続性を持たせる形で FBR を導入しているためである。これを導入開始時にプルトニウム貯蔵量が 0 近傍となるように FBR を導入すると、2050 年の発電設備容量の対前年伸び率が約 80~90% となり不連続となる。プルトニウム・バランスにのみ応じ FBR を導入したため発電設備容量が不連続となった結果を図 4.4-11、図 4.4-12 に示す。

FBR 燃料加工量については、炉心燃料とブランケット燃料の合計量は、2100

年時点で FBR2050-1.2 ケースが約 5 万 tHM、同じく FBR2050-1.3 ケースが約 16 万 tHM となった (図 4.4-3、図 4.4-8)。

また、FBR 再処理量は、2100 年時点で FBR2050-1.2 ケースが約 3 万 tHM、同じく FBR2050-1.3 ケースが約 12 万 tHM となった (図 4.4-4、図 4.4-9)。

4.5 各ケースの比較

図 4.5-1 と表 4.5-1 に、今回解析した 6 ケースと IIASA/WEC の B ケースの原子力発電設備容量をまとめて示す。

ワンスルーケースでは 2040 年以降、プルサーマルケースでは 2050 年以降、IIASA/WEC の B ケースで想定される原子力発電設備容量を満たすことができなくなり、共に 2100 年以降原子力発電はフェーズ・アウトする結果となった。

標準的な増殖性能 (増殖比 1.2、炉外サイクル時間 5 年) の FBR を想定した場合、2030 年から導入したケース (FBR2030-1.2 ケース) では IIASA/WEC の B ケースをほぼ達成できるが、2050 年から導入したケース (FBR2050-1.2 ケース) では 2100 年時点で約 2 割程度下回った。

高い増殖性能 (増殖比 1.3、炉外サイクル時間 3 年) を有する FBR を想定した場合、2030 年および 2050 年から導入したケース (各々、FBR2030-1.3 ケースおよび FBR2050-1.3 ケース) 共に、IIASA/WEC の B ケースを大きく上回り、2100 年時点で各々約 2.5、約 1.7 倍にも達する。

表 4.5-2(1) に原子力分の一次エネルギー消費量を示す。IIASA/WEC の B ケースでは、一次エネルギー消費量に占める原子力のシェアは年々拡大すると分析されており、2000 年で約 5%、2050 年には約 14%、2100 年には約 24% に達すると想定されている。この他に WEC のシナリオ分析では、原子力のフェーズ・アウトからシェアが 30% 程度まで拡大する可能性を示しており、原子力には少なくともシナリオ分析で期待されるシェアを満たすエネルギー供給能力が求められる。そのためには天然ウラン資源を最大限活用し得る FBR の導入が最も効果的な対応策と言える。

参考までに、現在の軽水炉の原子炉稼働率の実績に近い 70% で一律的に換算した一次エネルギー消費量を表 4.5-2(2) に示す。表 4.5-2(1) の結果に比べて各数値は全体的に小さくなっている。

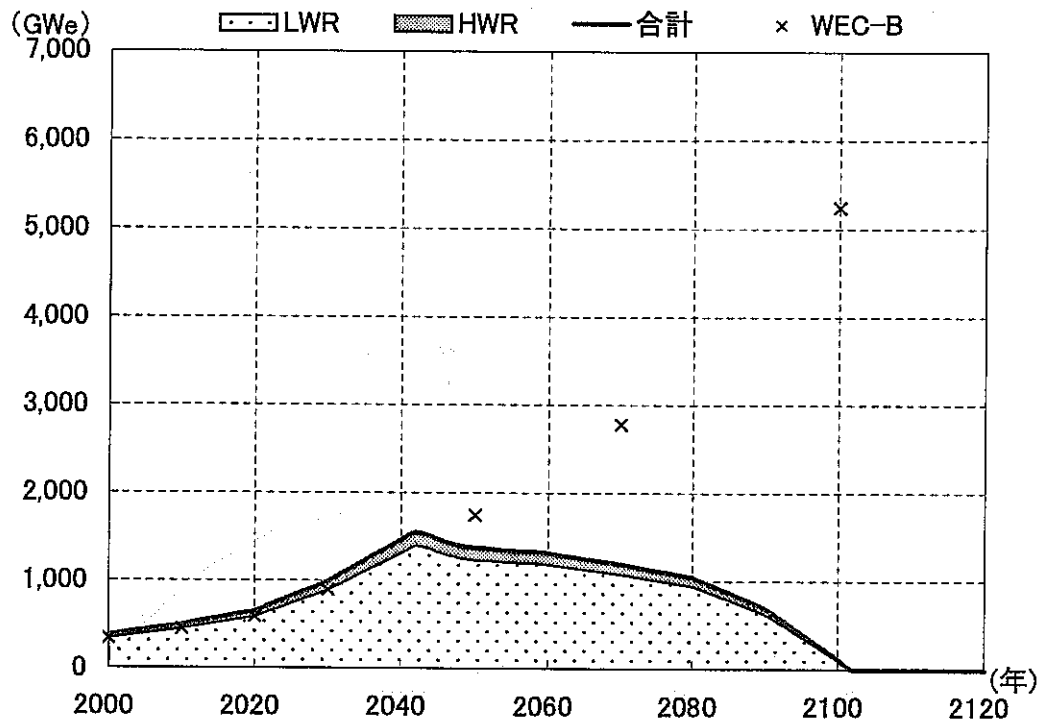


図4.1-1 発電設備容量 [ワンスルーケース]

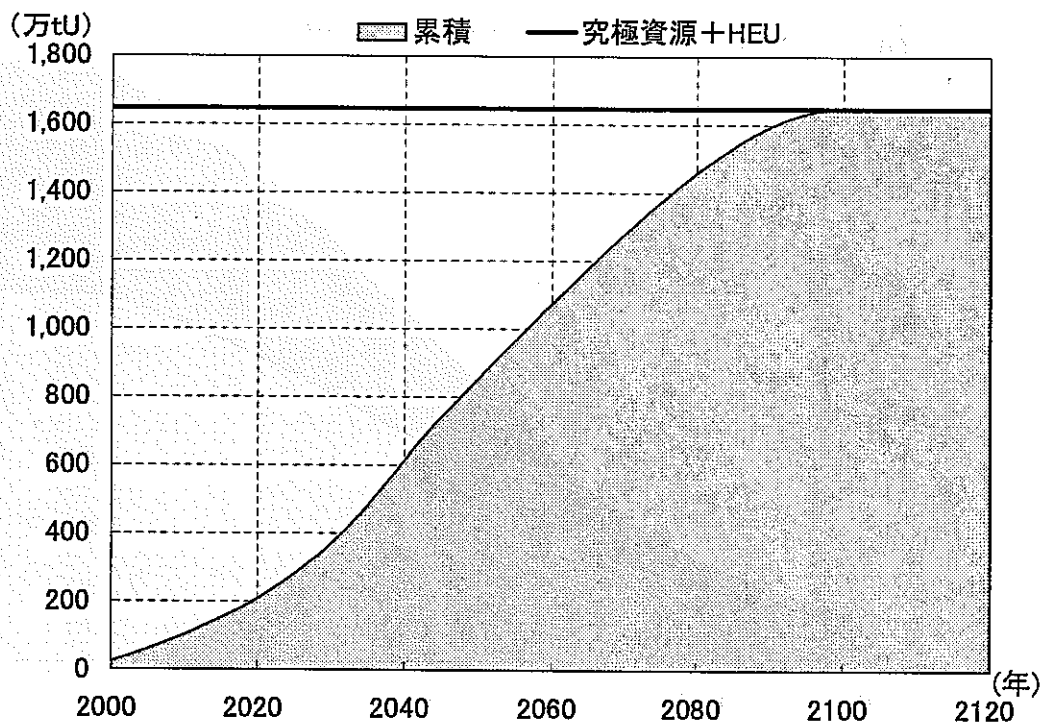


図4.1-2 ウラン累積需要量 [ワンスルーケース]

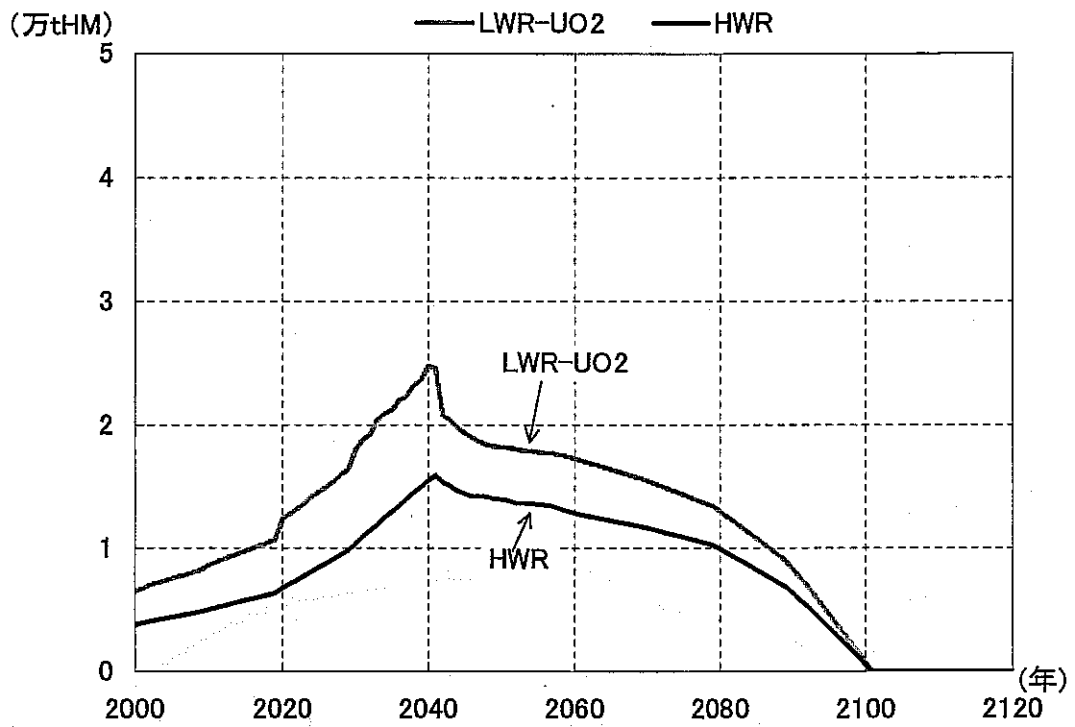


図4.1-3 燃料加工量 [ワンスルーケース]

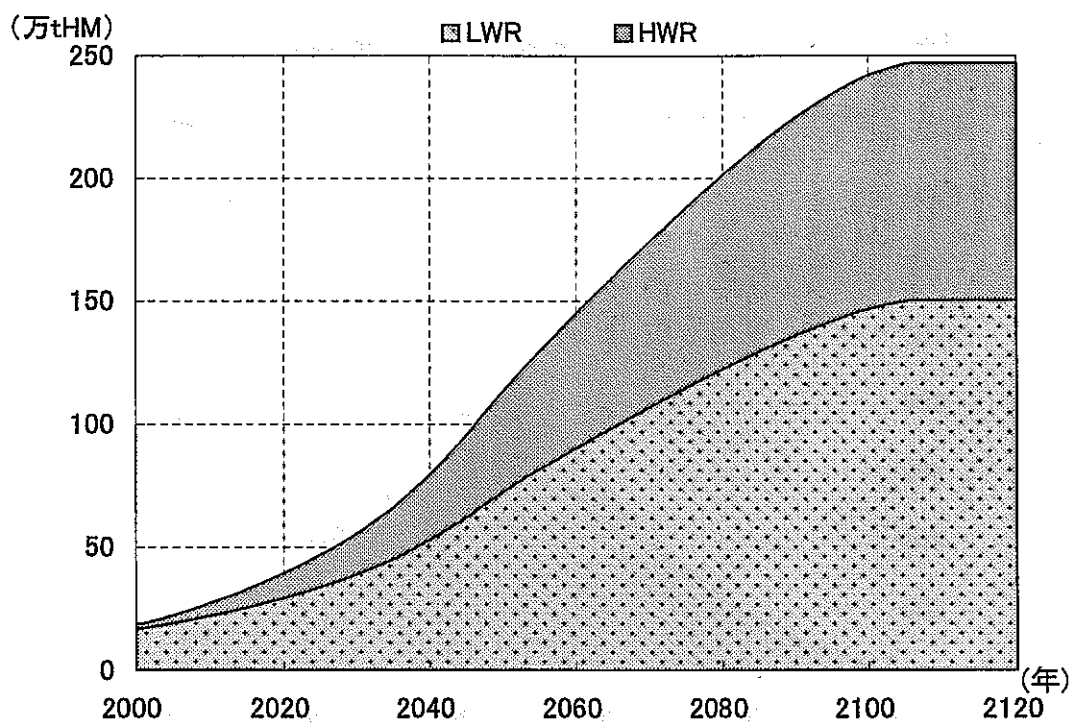


図4.1-4 使用済燃料貯蔵量 [ワンスルーケース]

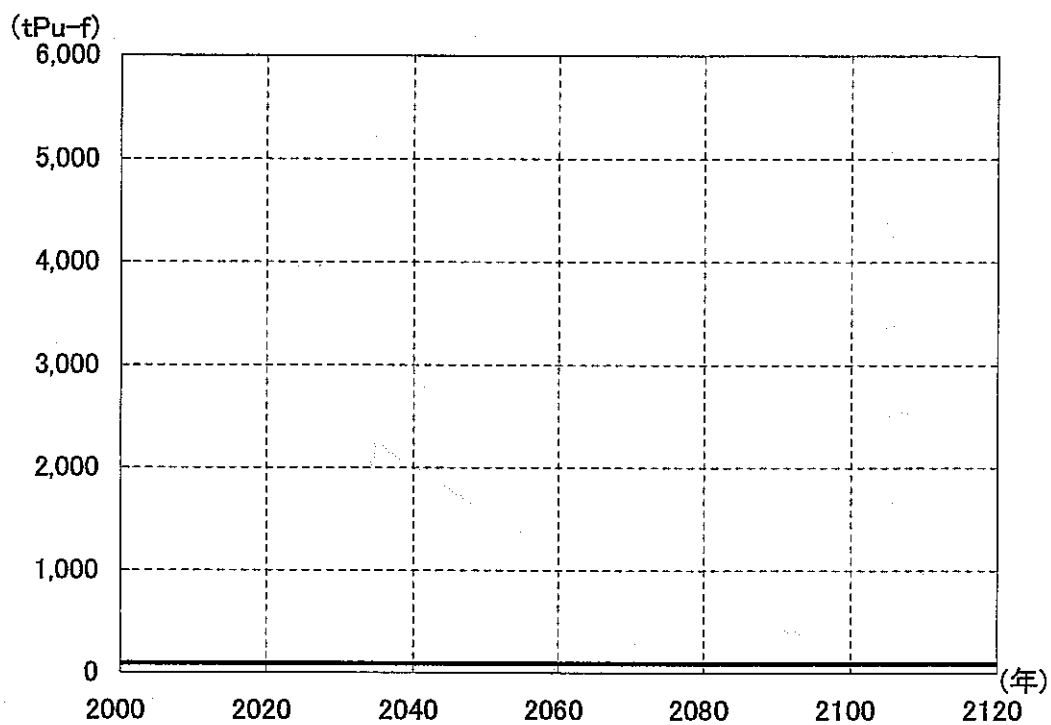


図4.1-5 プルトニウム貯蔵量 [ワンスルーケース]

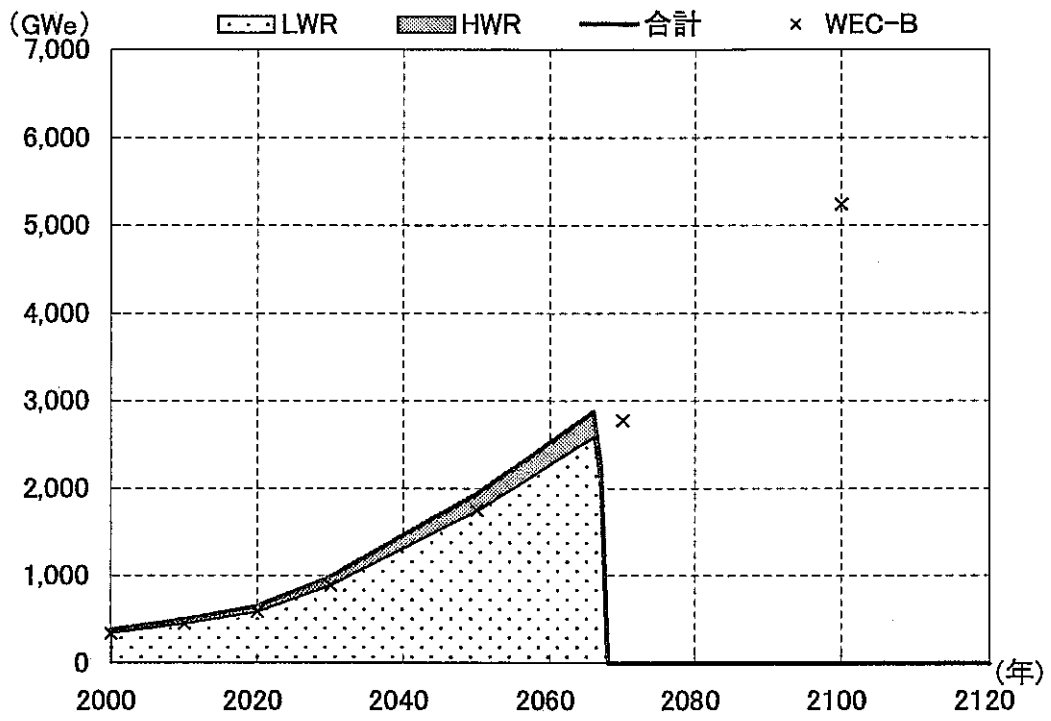


図4.1-6 発電設備容量 [ワンスルー(強制廃止)ケース]

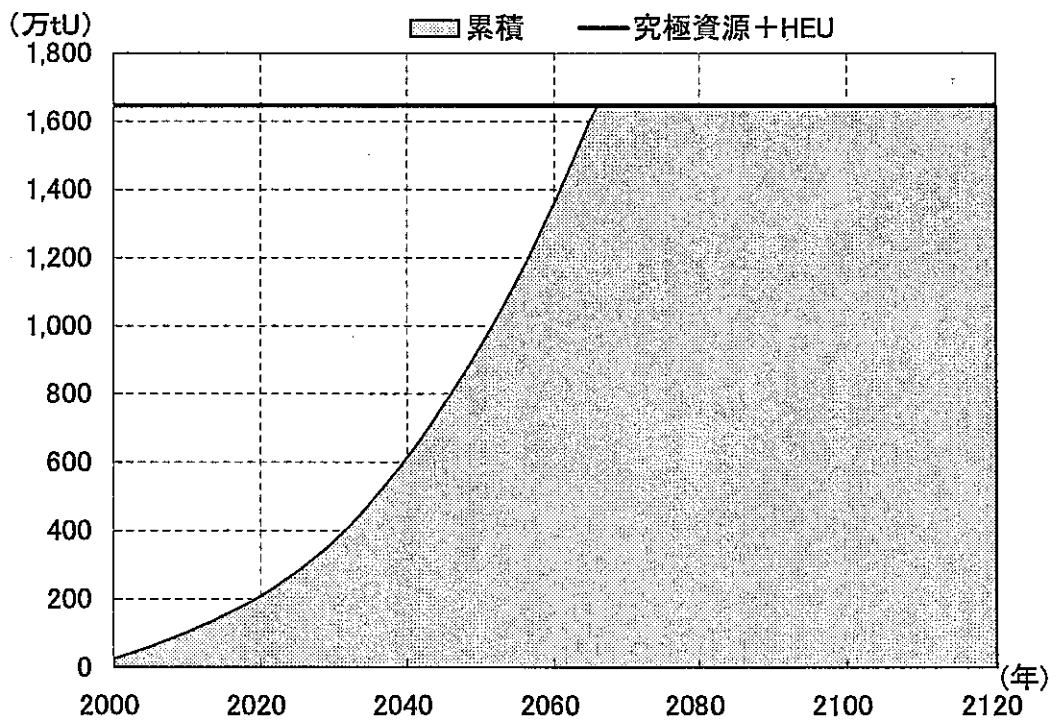


図4.1-7 ウラン累積需要量 [ワンスルー(強制廃止)ケース]

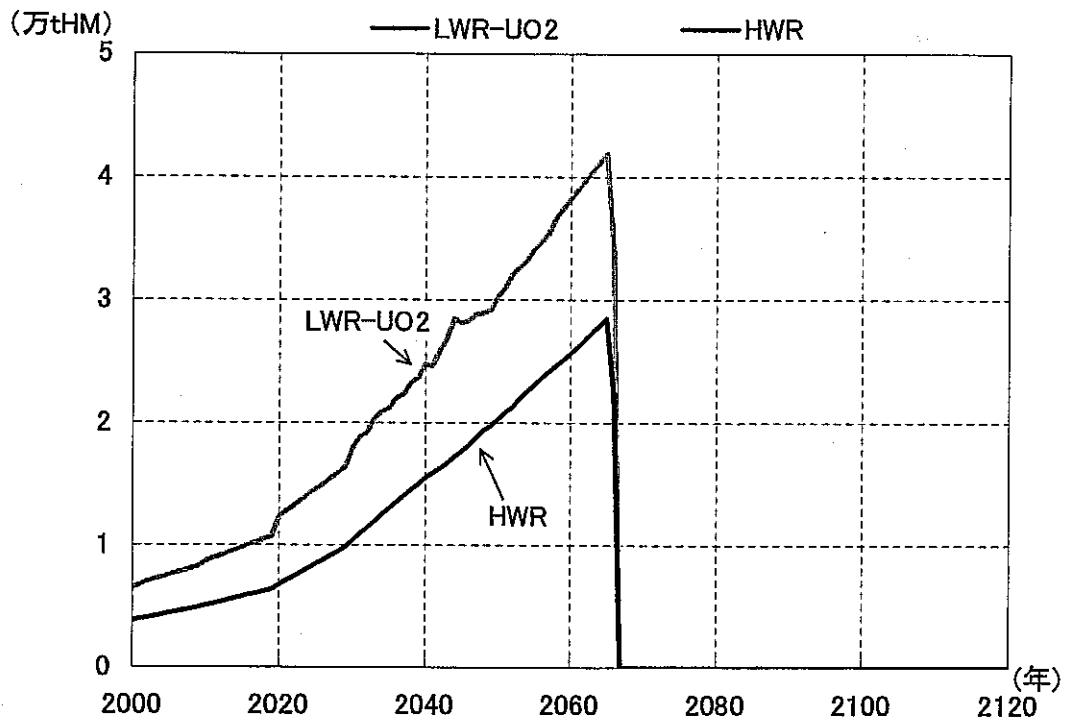


図4.1-8 燃料加工量 [ワンスルー(強制廃止)ケース]

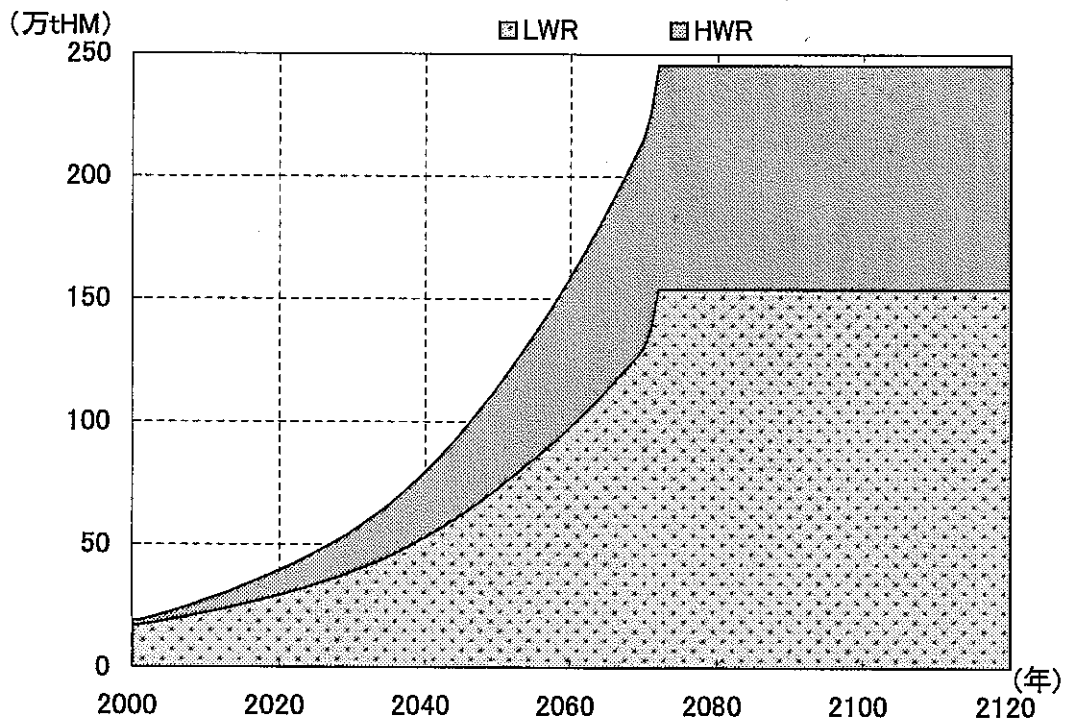


図4.1-9 使用済燃料貯蔵量 [ワンスルー(強制廃止)ケース]

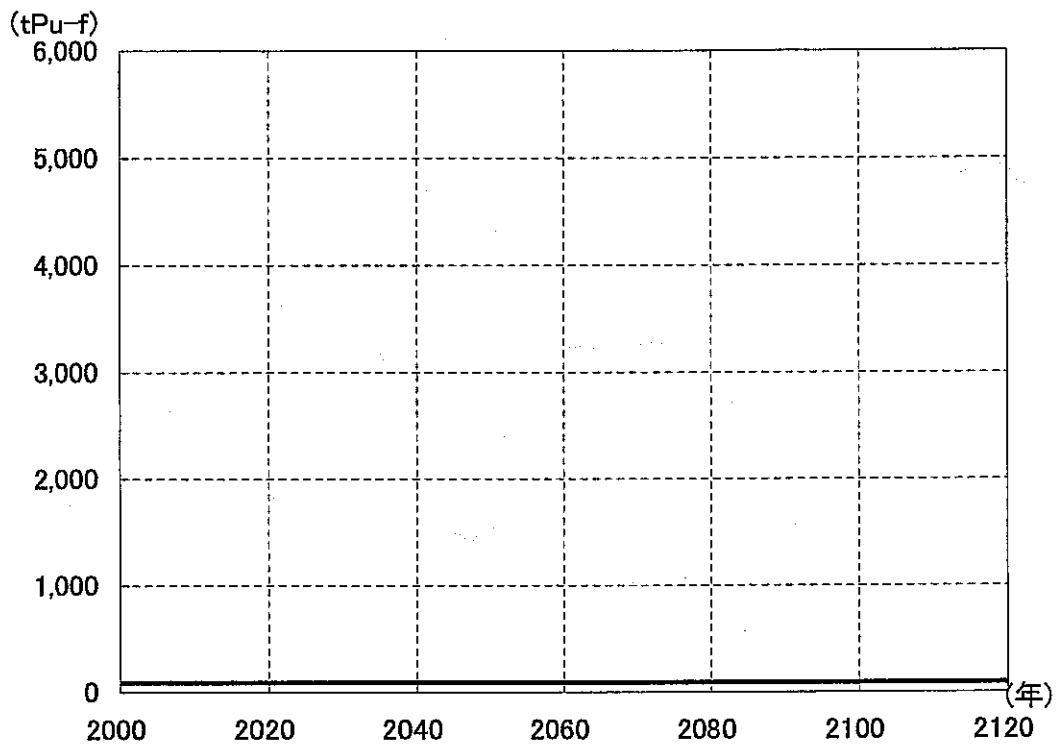
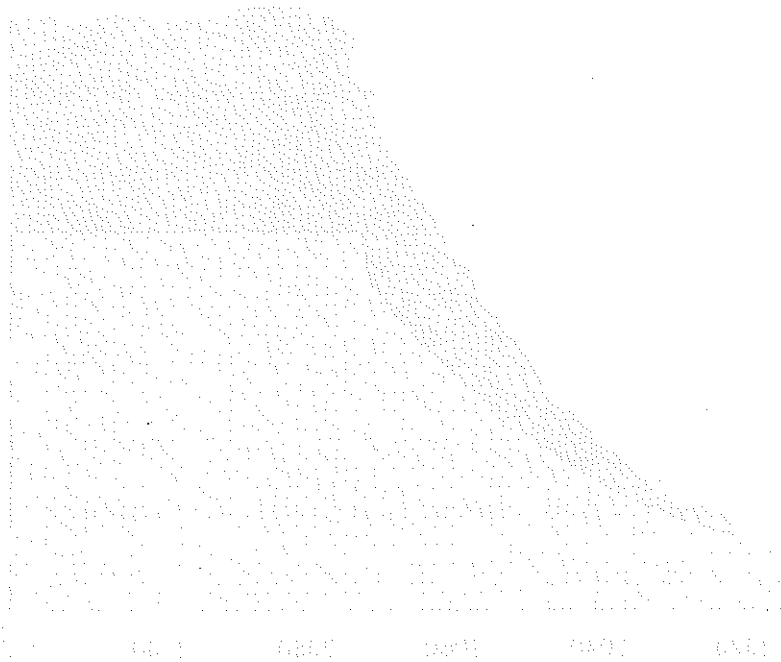


図4.1-10 プルトニウム貯蔵量 [ワンスルー(強制廃止)ケース]



資料提供：原子力委員会、原子力規制庁、原子力発電所、原子力燃料サイクル推進機構

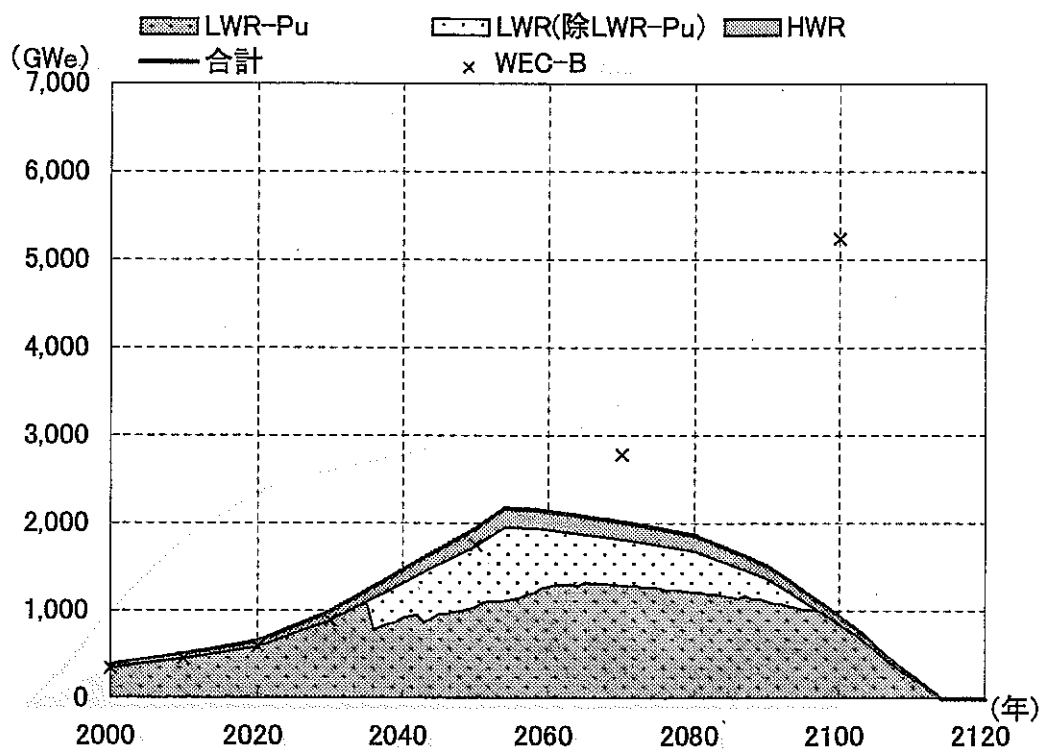


図4.2-1 発電設備容量 [プルサーマルケース]

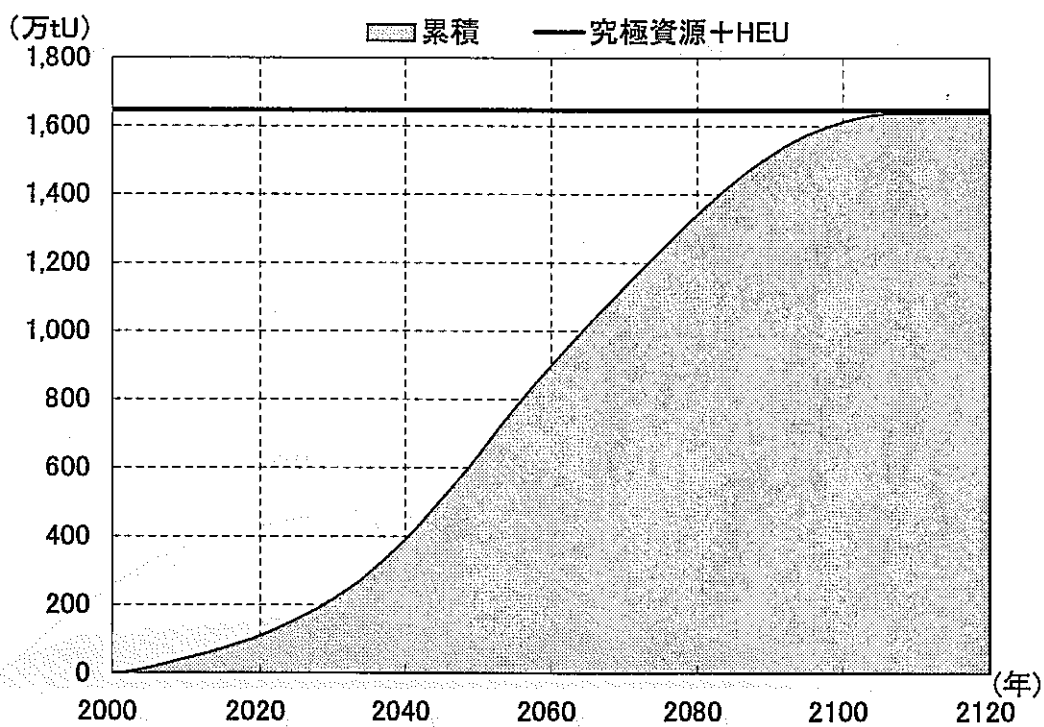


図4.2-2 ウラン累積需要量 [プルサーマルケース]

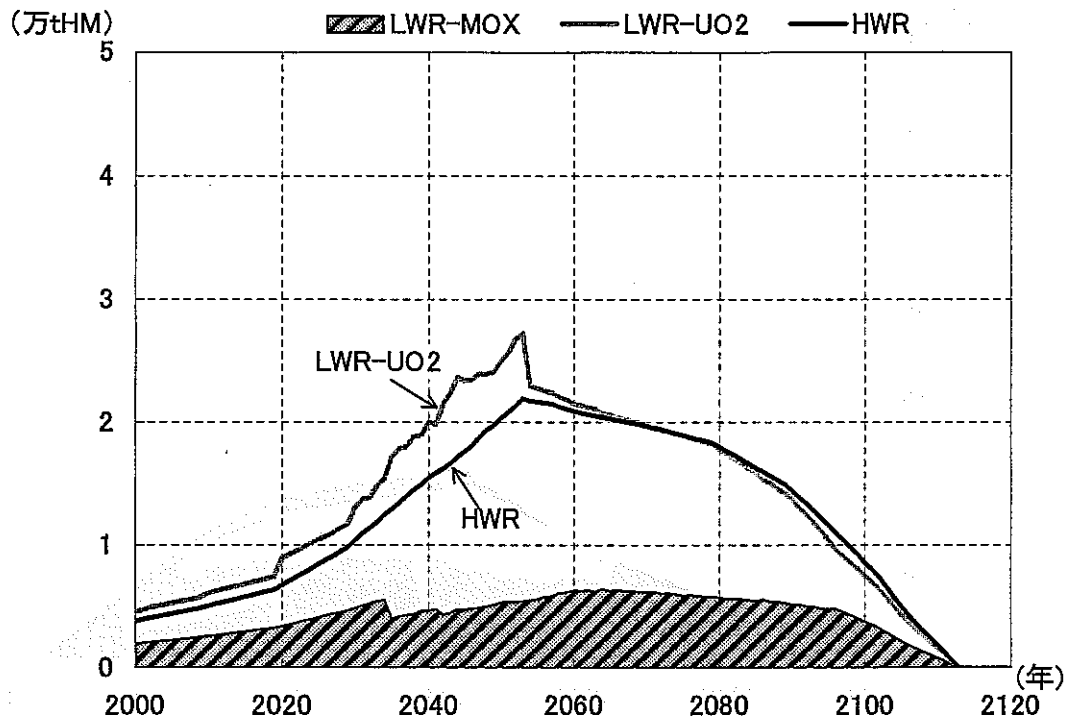


図4.2-3 燃料加工量 [プルサーマルケース]

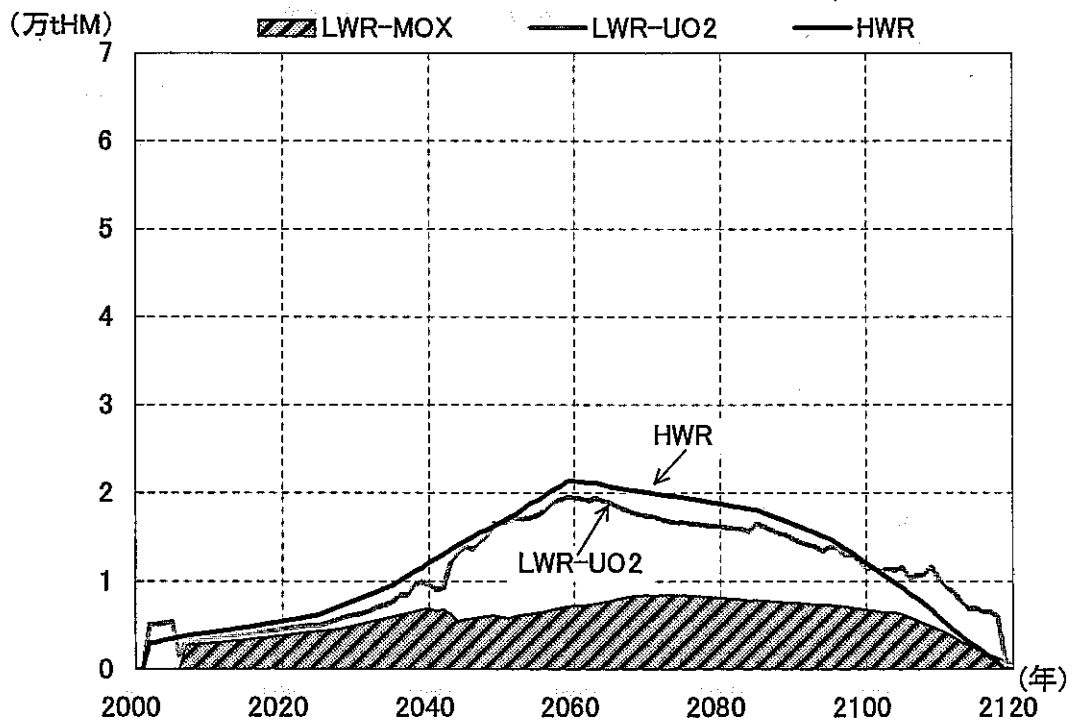


図4.2-4 再処理量 [プルサーマルケース]

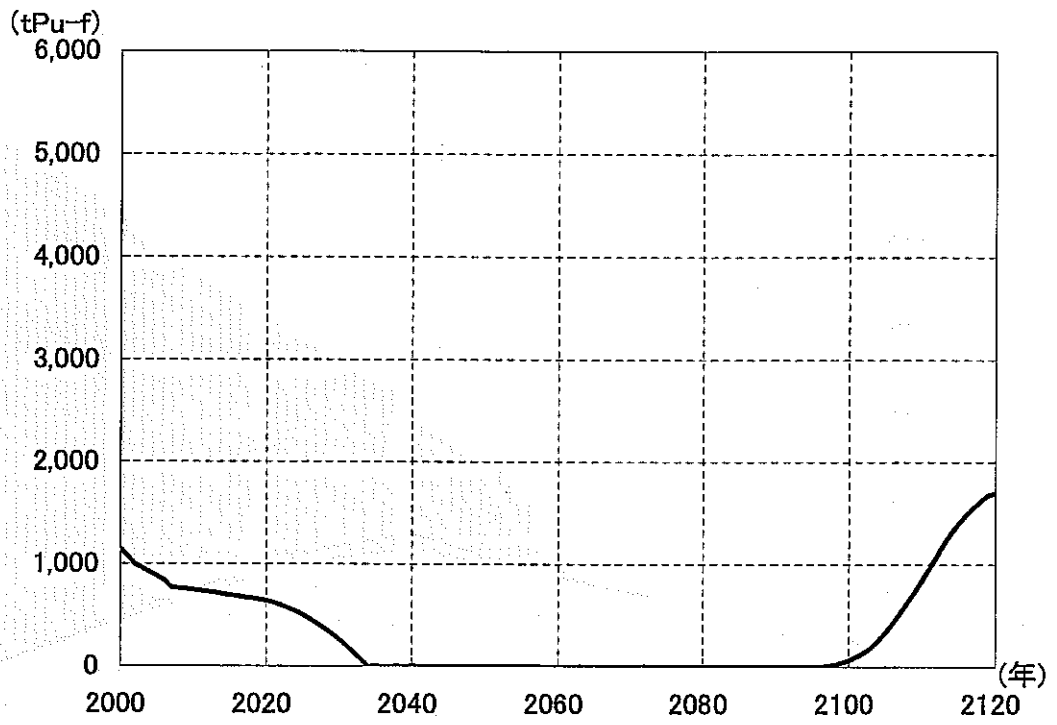


図4.2-5 プルトニウム貯蔵量 [プルサーマルケース]

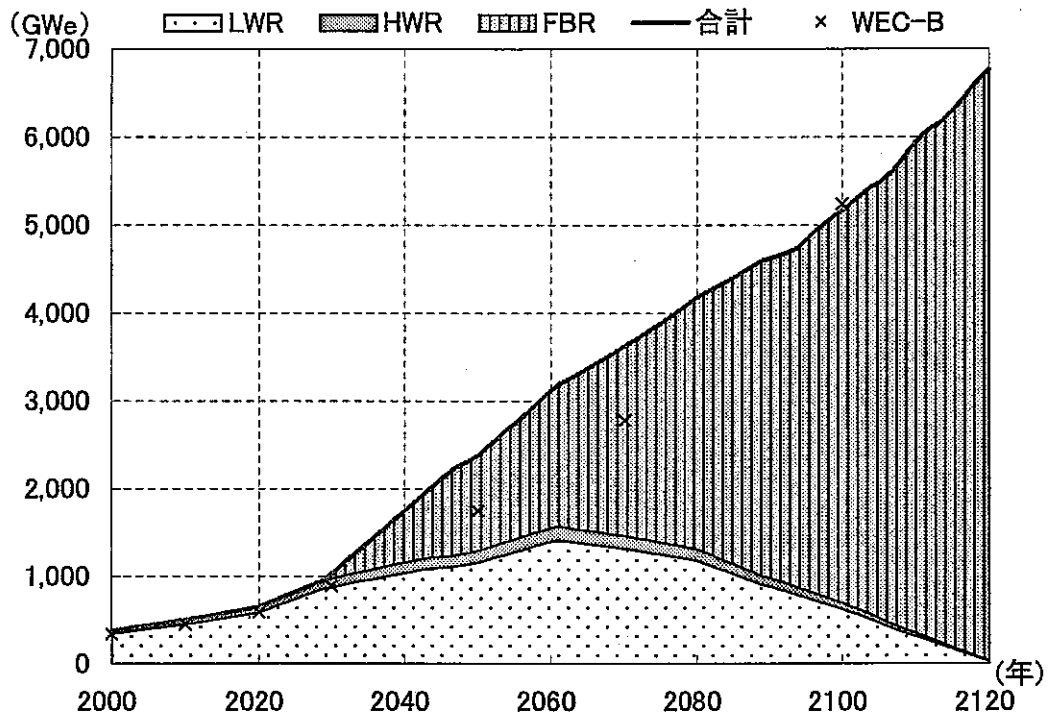


図4.3-1 発電設備容量 [FBR2030-1.2ケース]

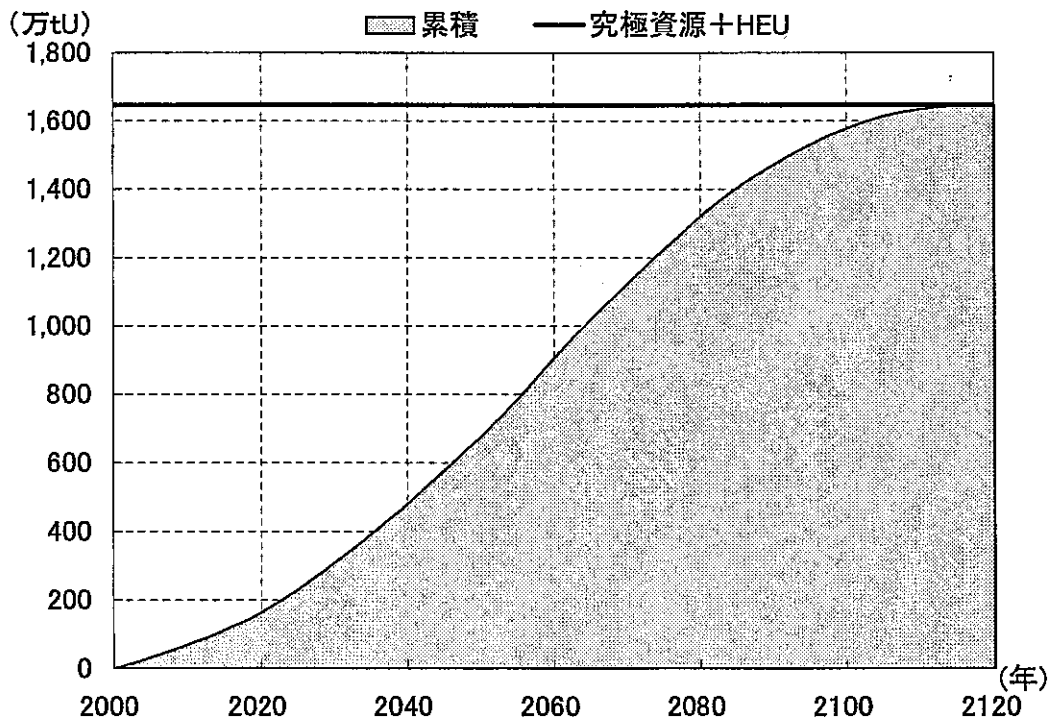


図4.3-2 ウラン累積需要量 [FBR2030-1.2ケース]

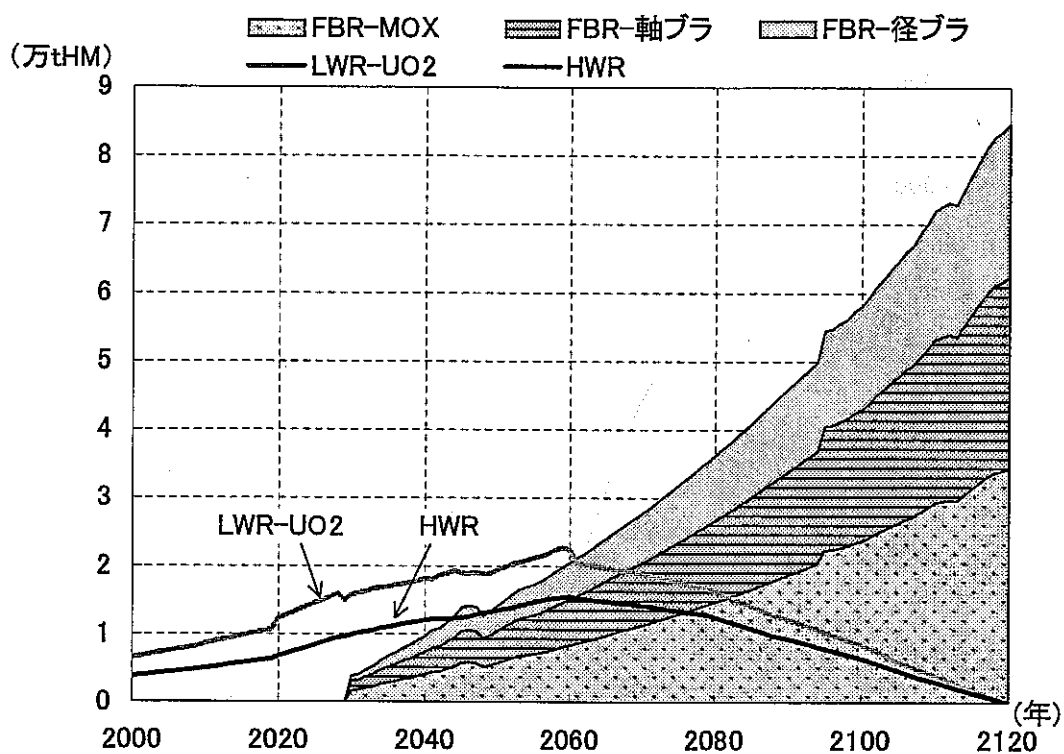


図4.3-3 燃料加工量 [FBR2030-1.2ケース]

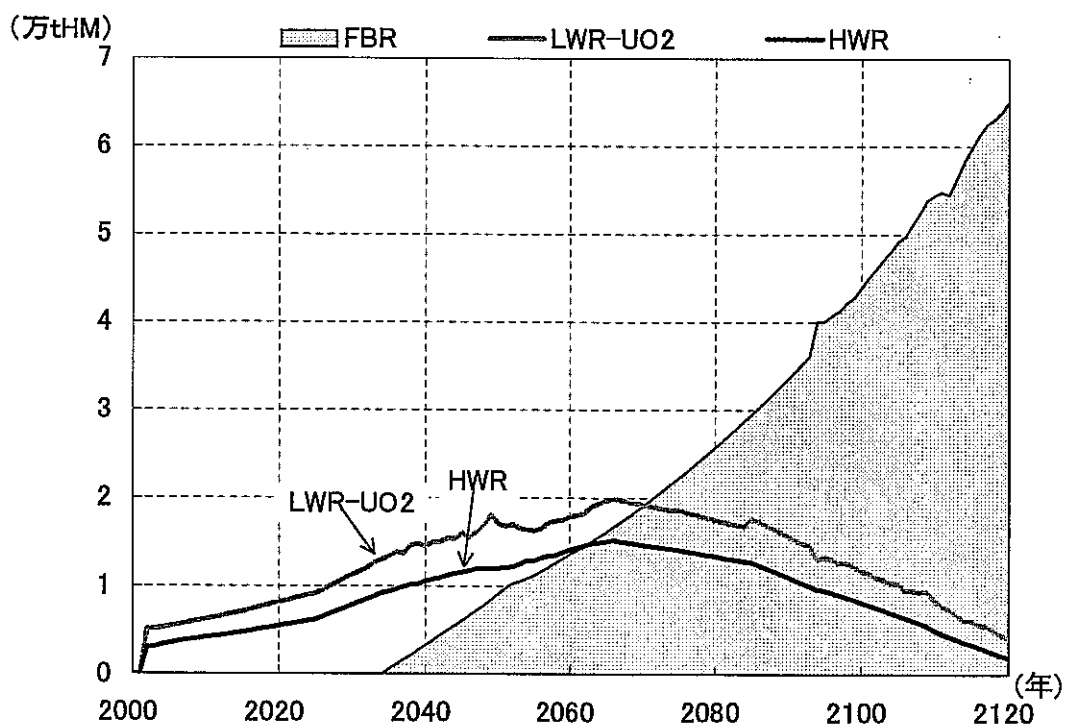


図4.3-4 再処理量 [FBR2030-1.2ケース]

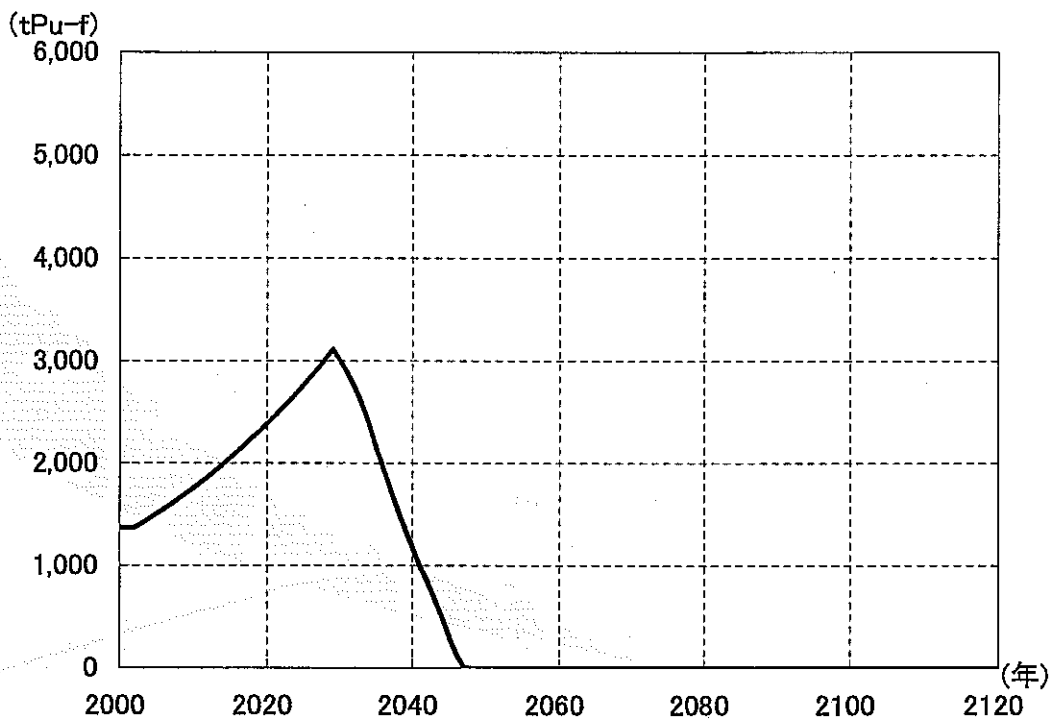


図4.3-5 プルトニウム貯蔵量 [FBR2030-1.2ケース]

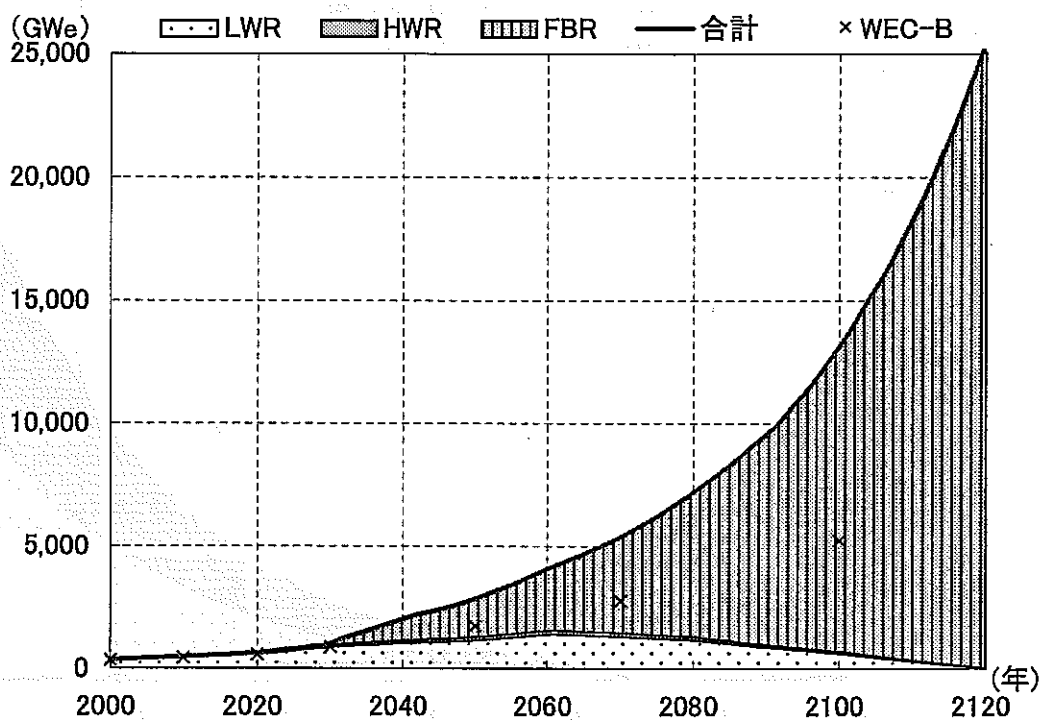


図4.3-6 発電設備容量 [FBR2030-1.3ケース]

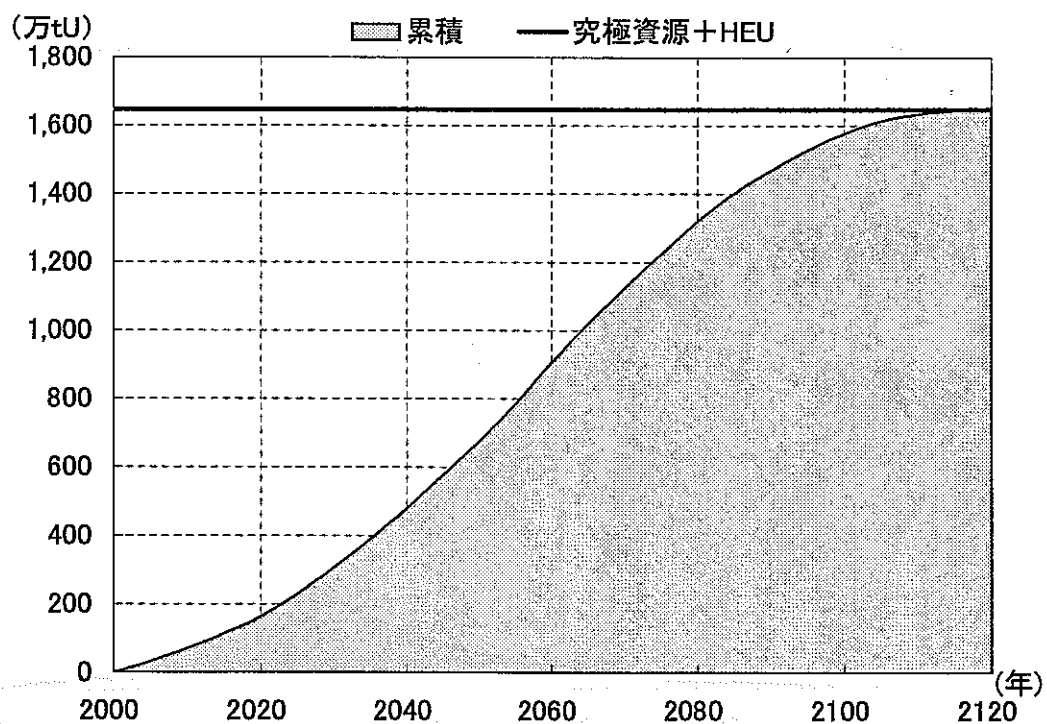


図4.3-7 ウラン累積需要量 [FBR2030-1.3ケース]

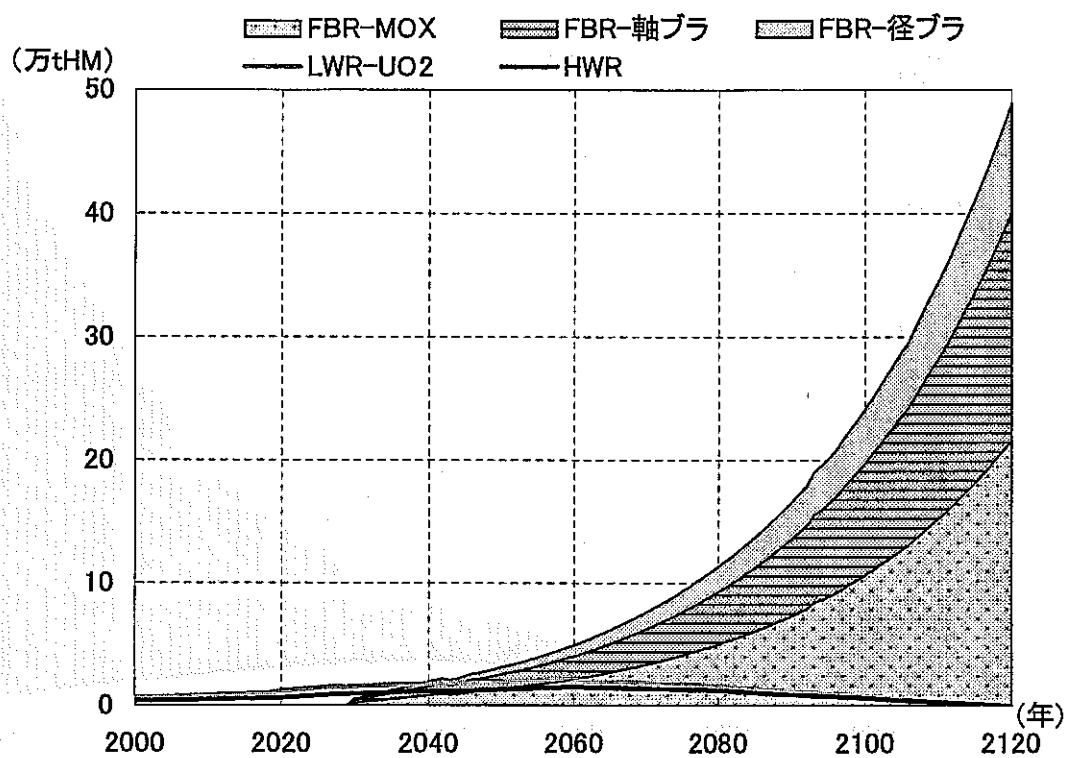


図4.3-8 燃料加工量 [FBR2030-1.3ケース]

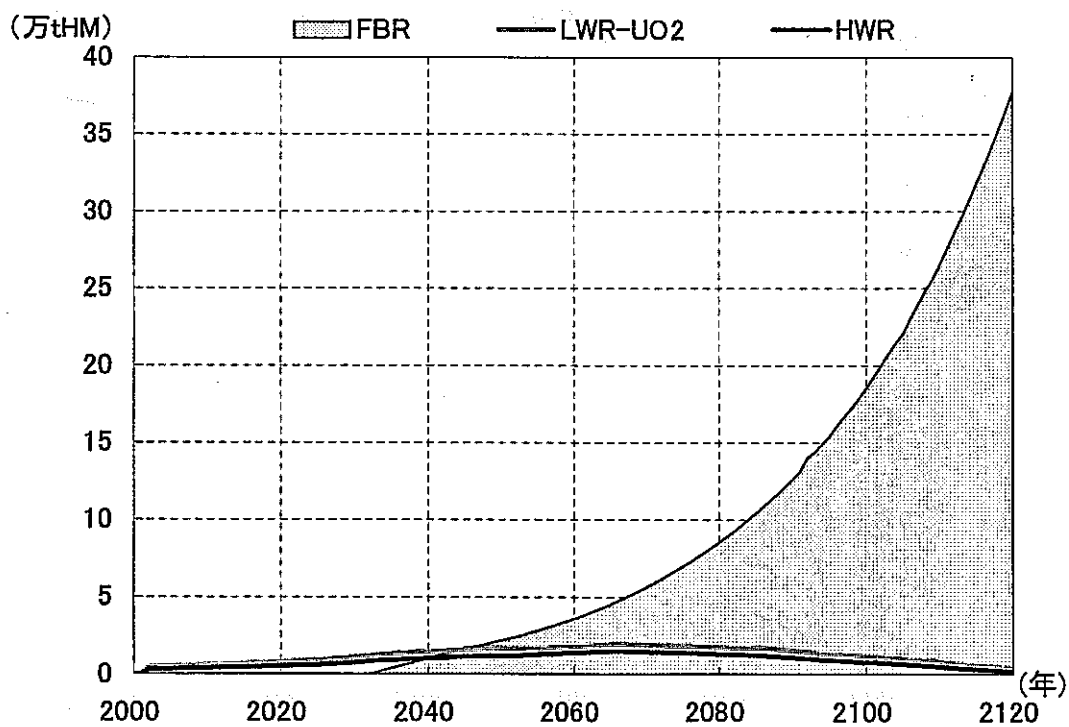


図4.3-9 再処理量 [FBR2030-1.3ケース]

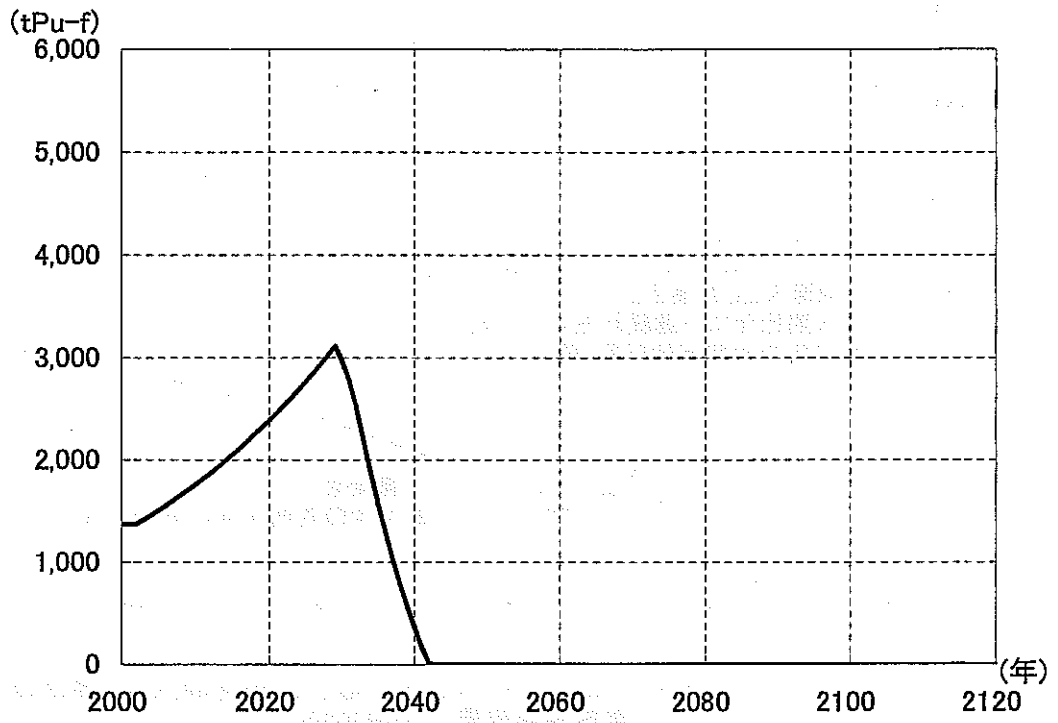


図4.3-10 プルトニウム貯蔵量 [FBR2030-1.3ケース]

図4.3-10 プルトニウム貯蔵量 [FBR2030-1.3ケース]

単位: tPu-f

資料: 原子力委員会報告書「原子力発電所の廃止とプルトニウム貯蔵量」

資料: 原子力委員会報告書「原子力発電所の廃止とプルトニウム貯蔵量」

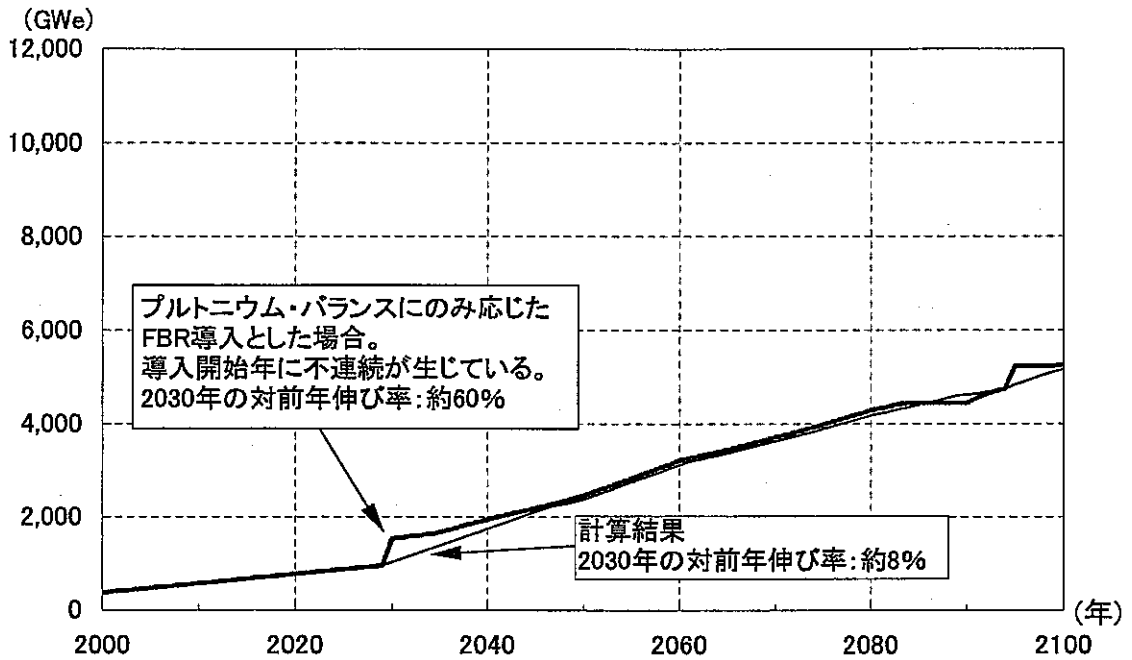


図4.3-11 プルトニウム・バランスのみに応じてFBRを導入した場合の
発電設備容量 (FBR2030-1.2)

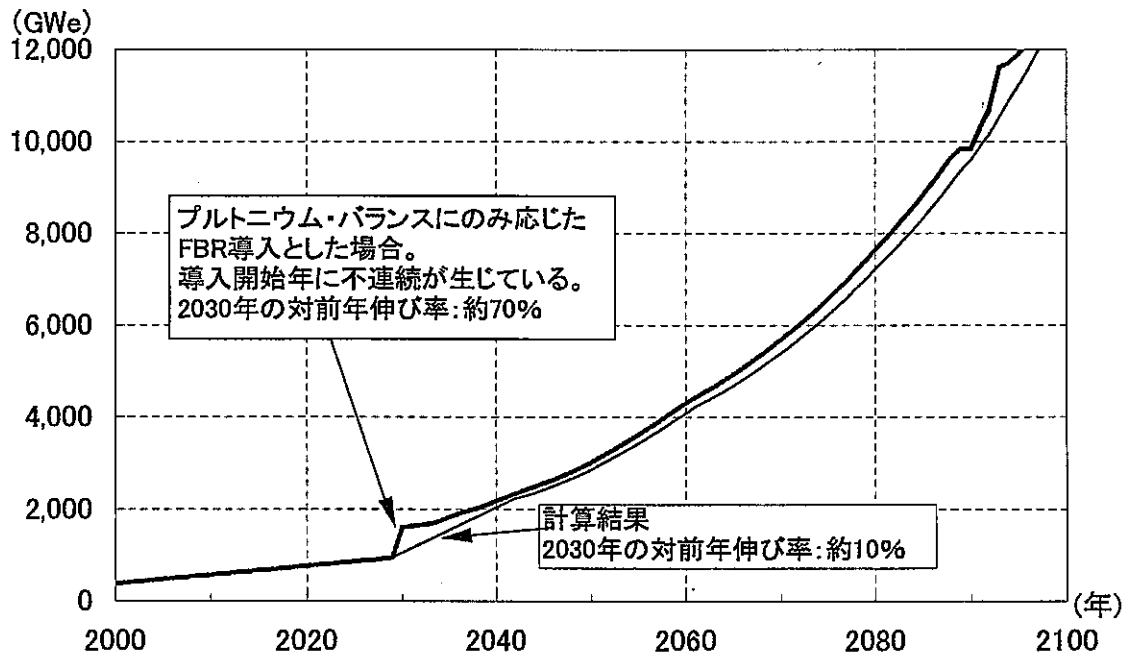


図4.3-12 プルトニウム・バランスのみに応じてFBRを導入した場合の
発電設備容量 (FBR2030-1.3)

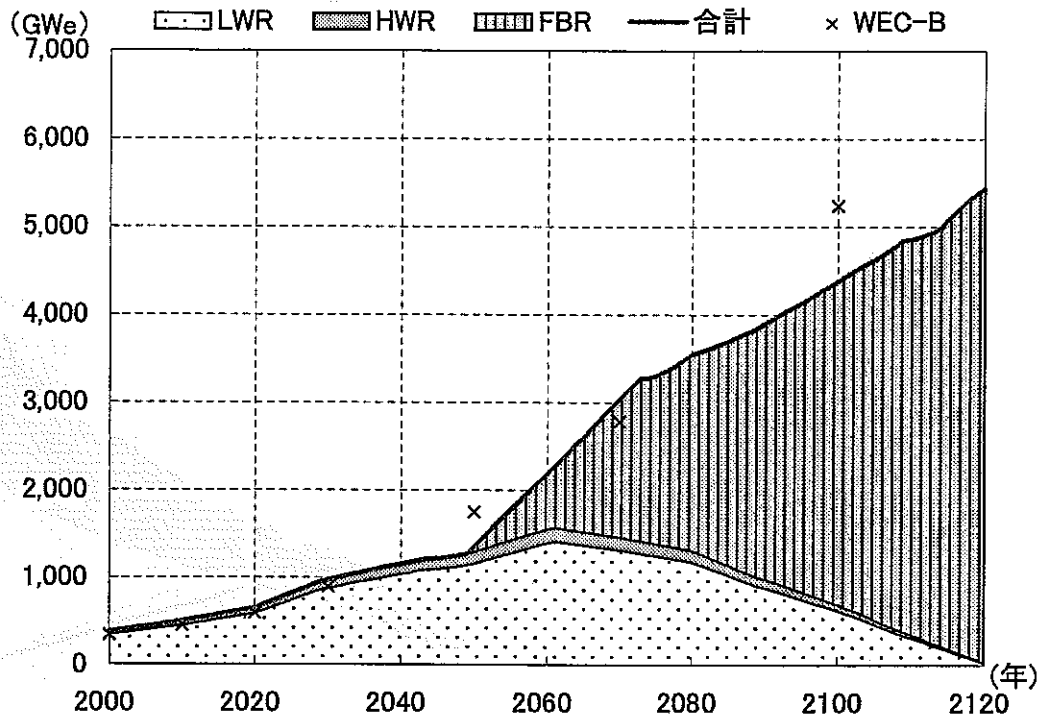


図4.4-1 発電設備容量 [FBR2050-1.2ケース]

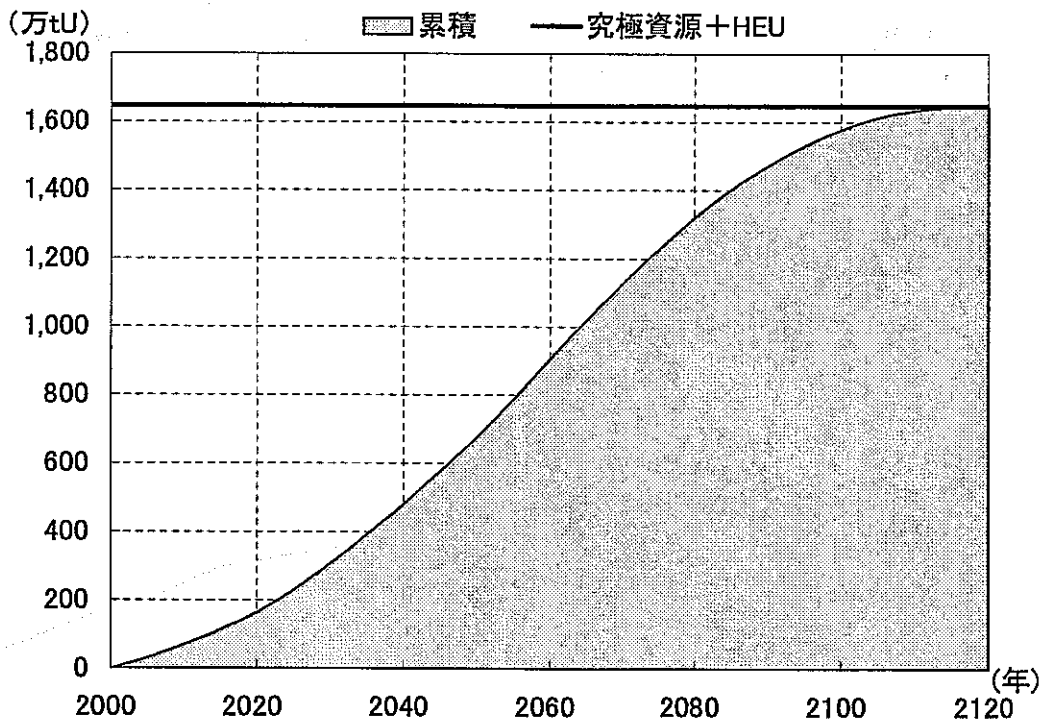


図4.4-2 ウラン累積需要量 [FBR2050-1.2ケース]

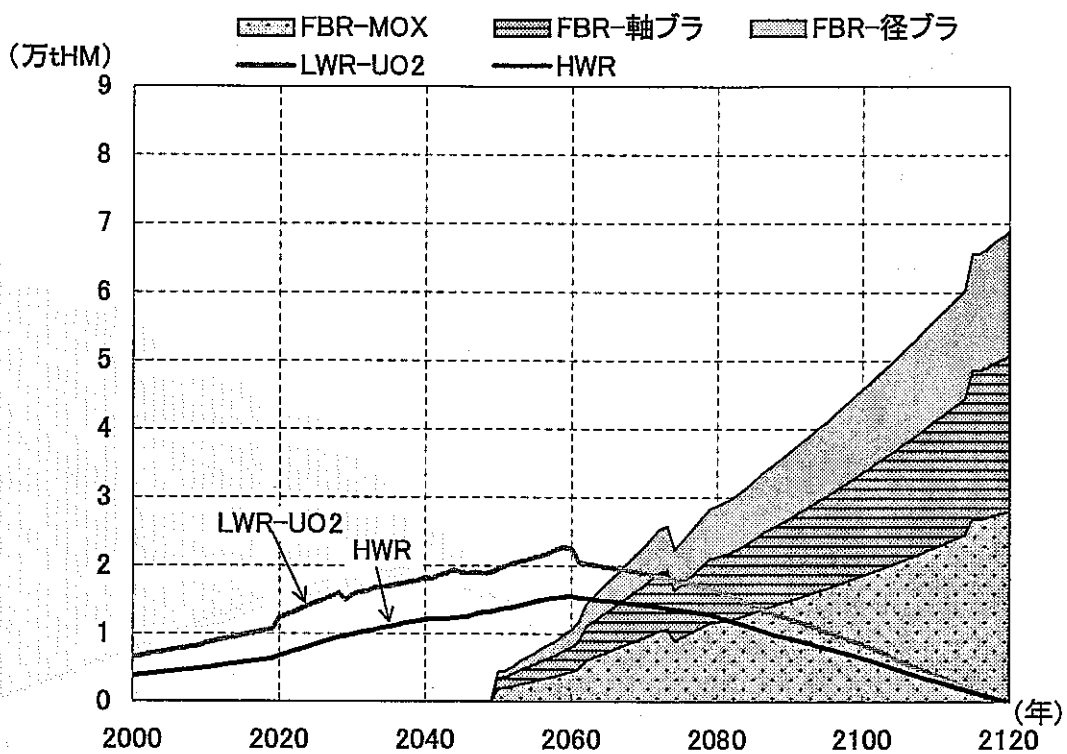


図4.4-3 燃料加工量 [FBR2050-1.2ケース]

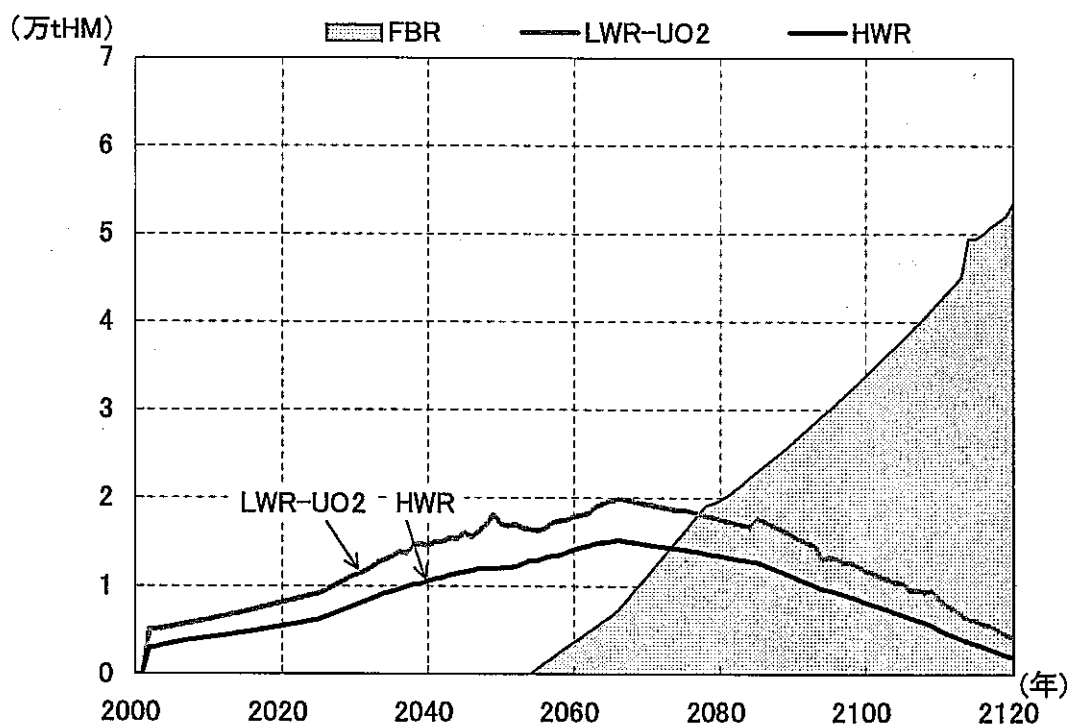


図4.4-4 再処理量 [FBR2050-1.2ケース]

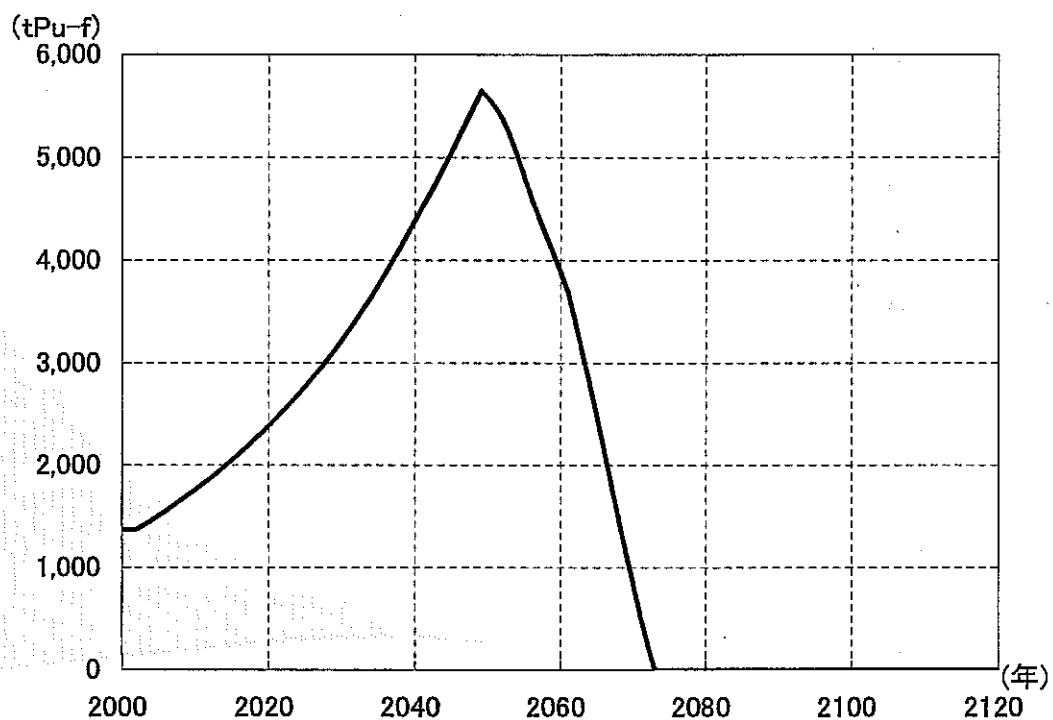


図4.4-5 プルトニウム貯蔵量 [FBR2050-1.2ケース]

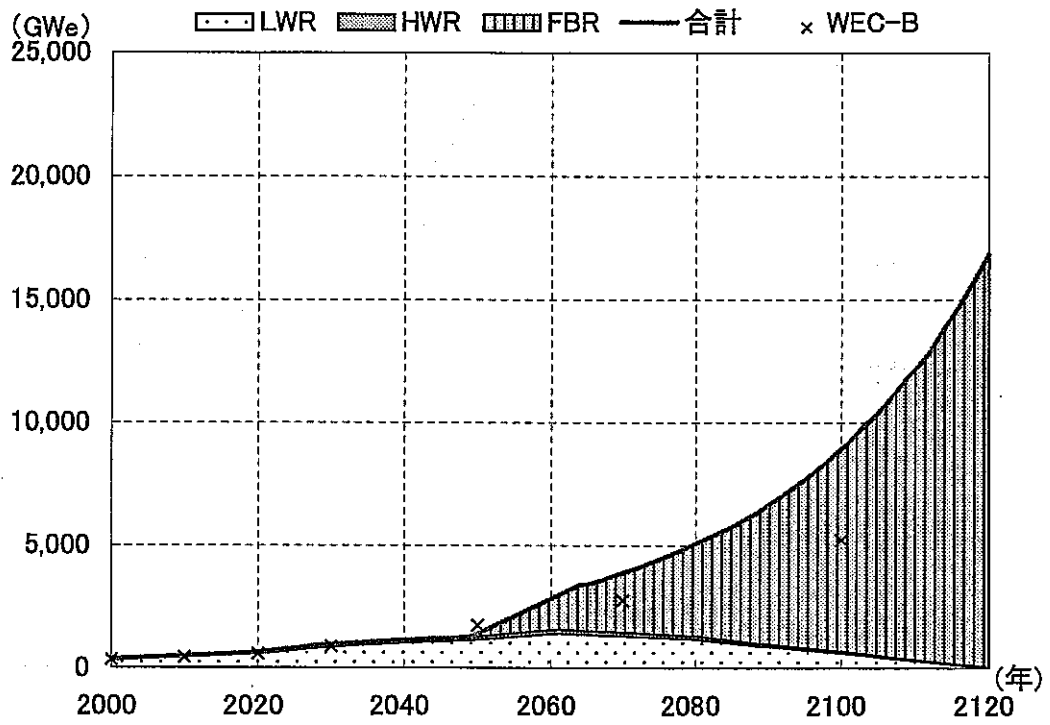


図4.4-6 発電設備容量 [FBR2050-1.3ケース]

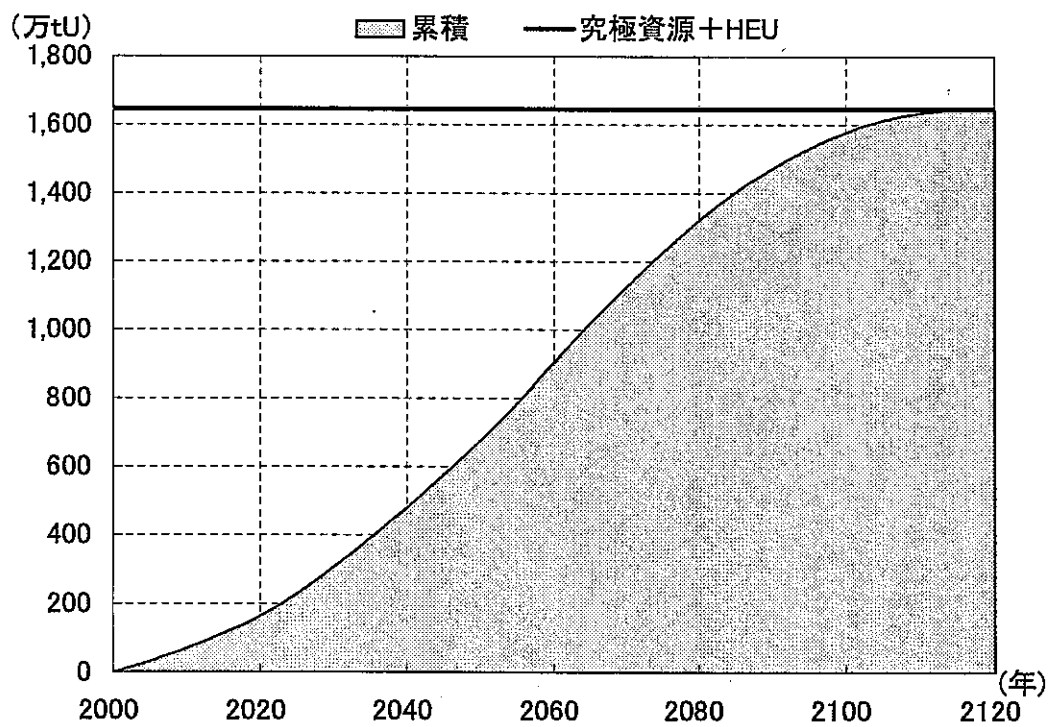


図4.4-7 ウラン累積需要量 [FBR2050-1.3ケース]

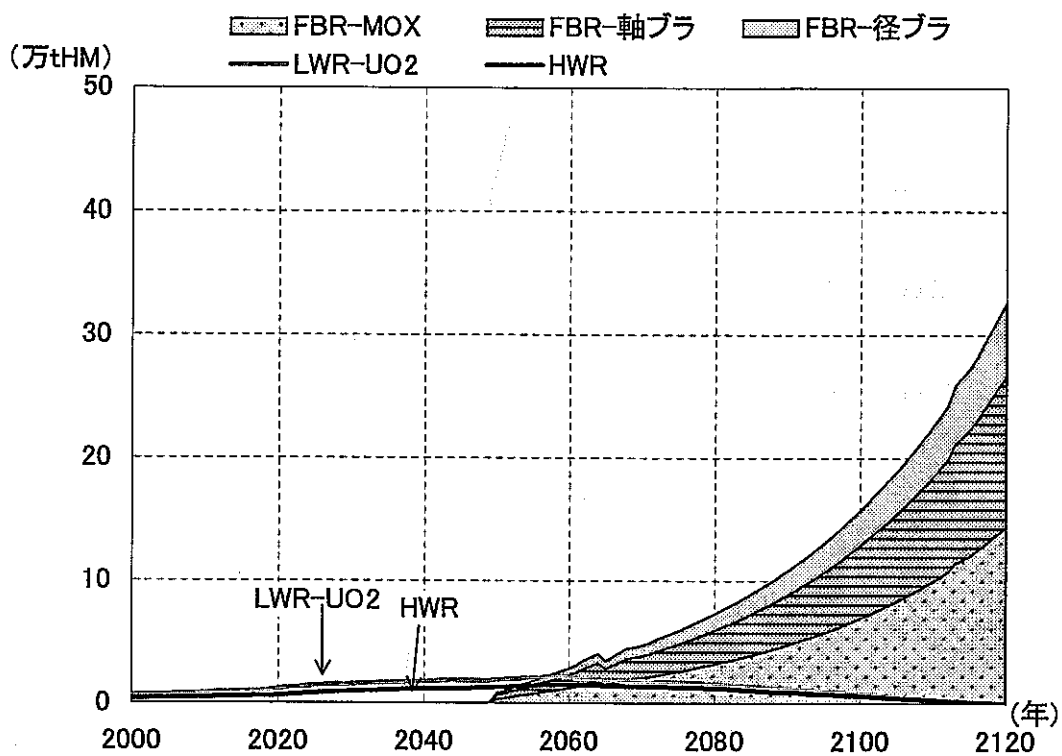


図4.4-8 燃料加工量 [FBR2050-1.3ケース]

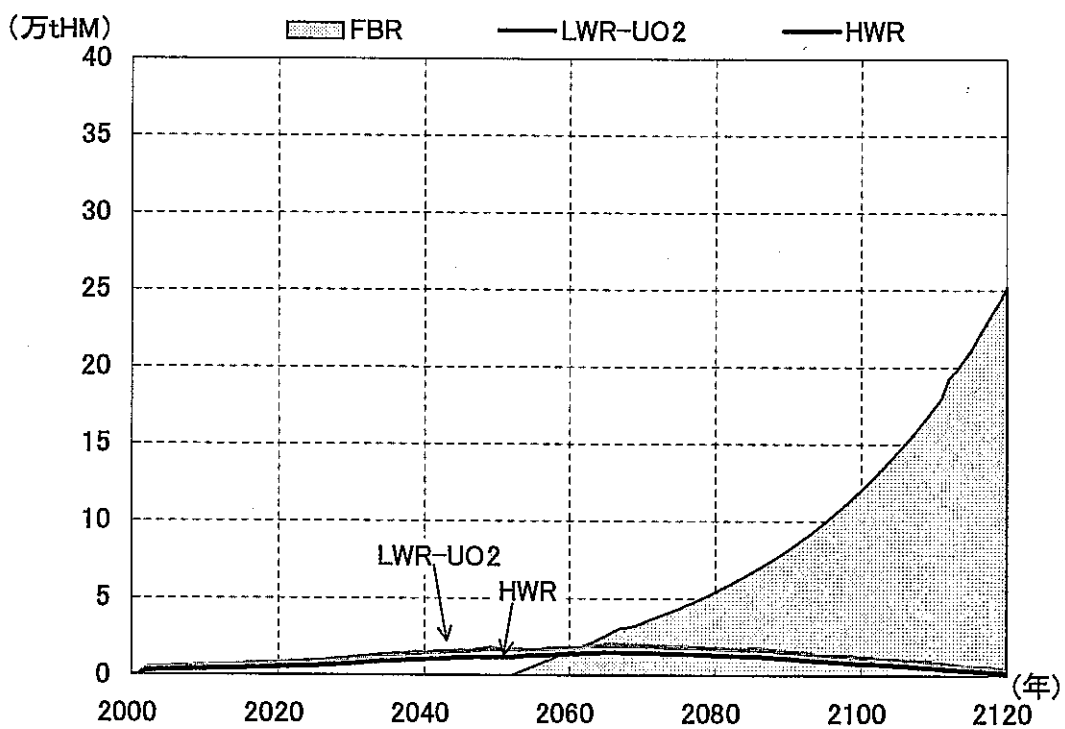


図4.4-9 再処理量 [FBR2050-1.3ケース]

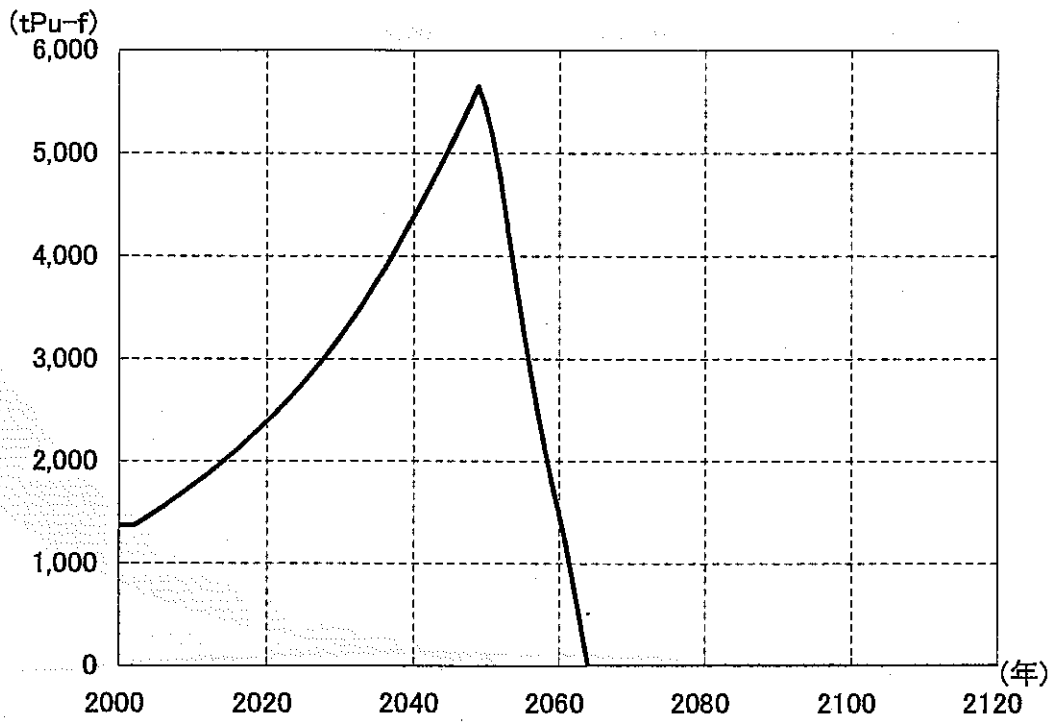


図4.4-10 プルトニウム貯蔵量 [FBR2050-1.3ケース]

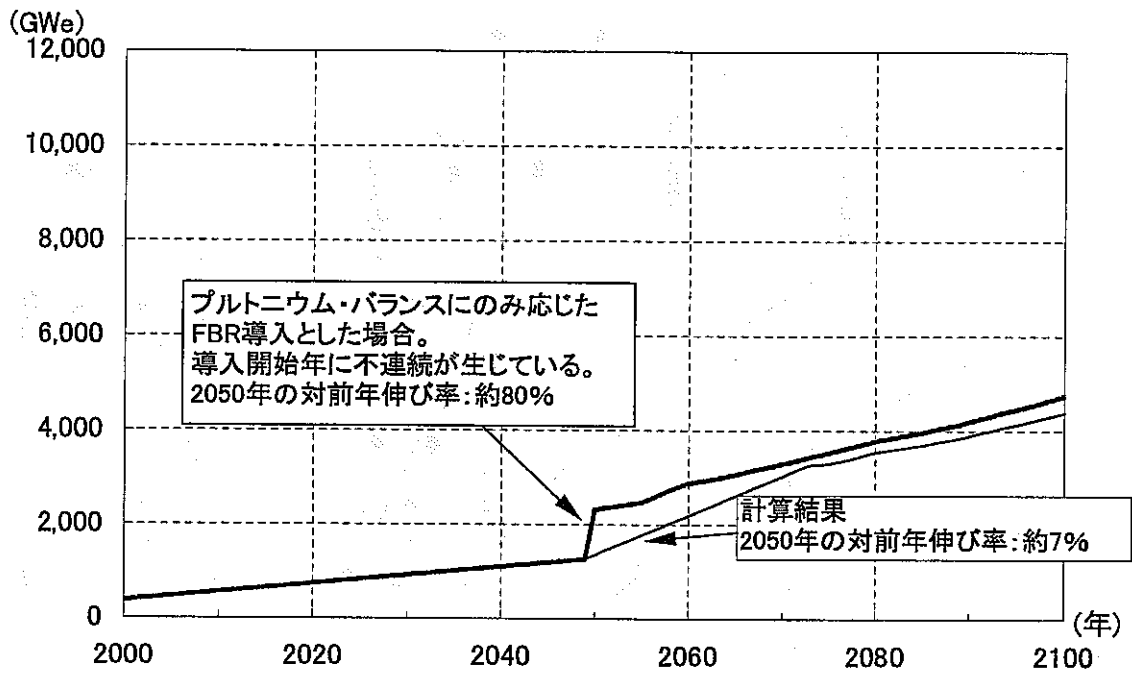


図4.4-11 プルトニウム・バランスのみに応じてFBRを導入した場合の
発電設備容量 (FBR2050-1.2)

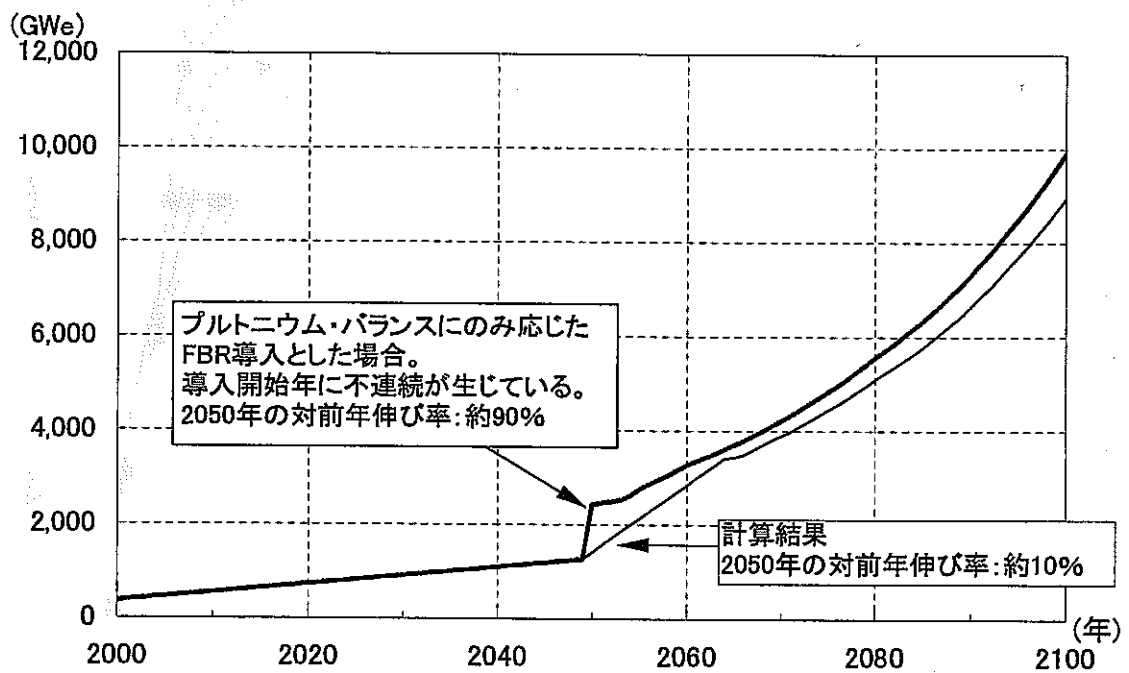


図4.4-12 プルトニウム・バランスのみに応じてFBRを導入した場合の
発電設備容量 (FBR2050-1.3)

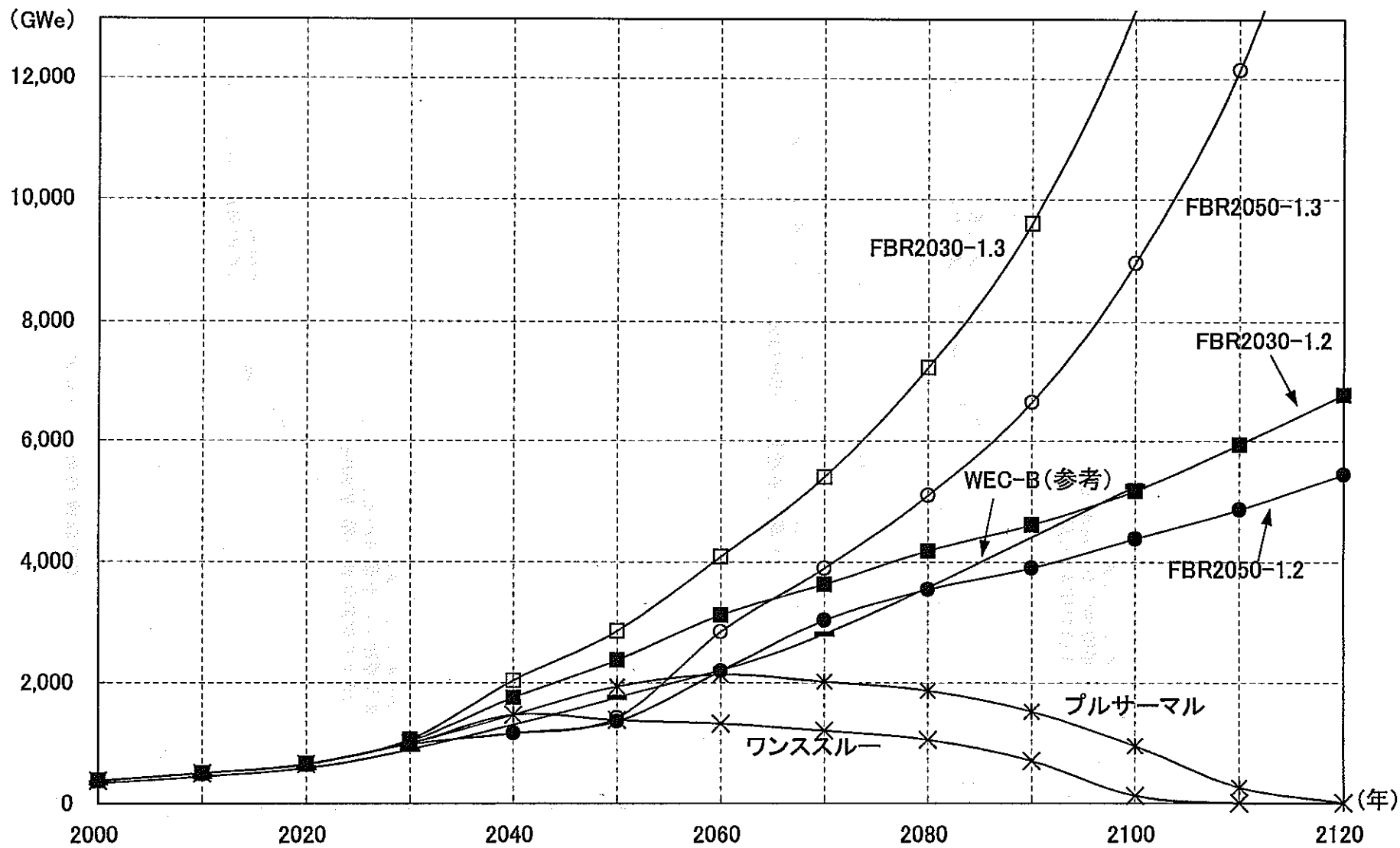


図4.5-1 世界における原子力エネルギー最大供給可能量

表4.5-1 世界における原子力エネルギーの最大供給可能量

西暦	ワンスルー		プルサーマル		FBR2030-1.2		FBR2030-1.3		FBR2050-1.2		FBR2050-1.3		(参考:WEC-B ^{*1})
	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)	年平均伸び率 ^{*2} (%)		
2000	380	-	380	-	380	-	380	-	380	-	380	-	340
2010	500	2.8	500	2.8	500	2.8	500	2.8	500	2.8	500	2.8	450
2020	650	2.7	650	2.7	650	2.7	650	2.7	650	2.7	650	2.7	590
2030	990	4.3	990	4.3	1,028	4.7	1,054	5.0	972	4.1	972	4.1	890
2040	1,465	4.0	1,465	4.0	1,751	5.5	2,039	6.8	1,159	1.8	1,159	1.8	-
2050	1,378	-0.6	1,940	2.8	2,382	3.1	2,861	3.4	1,356	1.6	1,415	2.1	1,750
2060	1,317	-0.4	2,138	1.0	3,121	2.7	4,083	3.6	2,196	4.9	2,844	7.2	-
2070	1,197	-1.0	2,018	-0.6	3,628	1.5	5,397	2.8	3,035	3.3	3,896	3.2	2,810
2080	1,047	-1.3	1,868	-0.8	4,181	1.4	7,224	3.0	3,548	1.6	5,093	2.7	-
2090	699	-4.0	1,520	-2.0	4,619	1.0	9,605	2.9	3,901	1.0	6,643	2.7	-
2100	123	-15.6	944	-4.6	5,170	1.1	13,152	3.2	4,384	1.2	8,957	3.0	5,240
2110	0	-77.3	259	-12.1	5,940	1.4	18,234	3.3	4,861	1.0	12,151	3.1	-
2120	0	-	0	-51.8	6,764	1.3	25,474	3.4	5,435	1.1	16,854	3.3	-

*1:「IIASA/WEC Global Energy Perspectives, 1998」(<http://iiasa.ac.at>)に掲載されているシナリオBの発電電力量(TWh)の数値を原子炉稼働率77.5%として発電設備容量(GWe)に換算した。(換算式:発電設備容量(GWe)=発電電力量(TWh)*10E12/365日/24時間/稼働率0.775/10E9)

*2:前10年間の対前年伸び率の平均値。

表4.5-2(1) 一次エネルギー消費量(原子力分)(各炉型の原子炉稼働率を想定)

西暦	ワンスルー ^{*2}		プルサーマル ^{*2}		FBR2030-1.2 ^{*2}		FBR2030-1.3 ^{*2}		FBR2050-1.2 ^{*2}		FBR2050-1.3 ^{*2}		(参考:WEC-B ^{*1})	
	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)	WEC-B 一次エネルギー比(%)			
2000	537	5.3	537	5.3	537	5.3	537	5.3	537	5.3	537	5.3	522	5.2
2010	706	6.0	706	6.0	706	6.0	706	6.0	706	6.0	706	6.0	687	5.8
2020	919	6.8	919	6.8	919	6.8	919	6.8	919	6.8	919	6.8	904	6.7
2030	1,429	9.2	1,429	9.2	1,487	9.6	1,526	9.8	1,402	9.0	1,402	9.0	1,381	8.9
2040	2,149	12.1	2,149	12.1	2,582	14.6	3,017	17.1	1,690	9.6	1,690	9.6	2,060	11.6
2050	2,036	10.3	2,878	14.5	3,549	17.9	4,272	21.5	2,004	10.1	2,093	10.6	2,738	13.8
2060	1,951	8.7	3,180	14.2	4,666	20.8	6,116	27.2	3,272	14.6	4,250	18.9	3,584	16.0
2070	1,781	7.1	3,010	12.0	5,442	21.7	8,106	32.3	4,548	18.1	5,845	23.3	4,430	17.7
2080	1,567	5.5	2,797	9.9	6,287	22.2	10,872	38.4	5,333	18.8	7,661	27.1	5,712	20.2
2090	1,047	3.3	2,276	7.2	6,951	22.1	14,463	45.9	5,868	18.6	10,000	31.8	6,995	22.2
2100	184	0.5	1,414	4.1	7,783	22.4	19,810	57.1	6,599	19.0	13,489	38.9	8,277	23.9
2110	0	-	387	-	8,947	-	27,470	-	7,321	-	18,305	-	-	-
2120	0	-	0	-	10,191	-	38,383	-	8,188	-	25,394	-	-	-

*1:「IIASA/WEC Global Energy Perspectives, 1998」(<http://iiasa.ac.at>)に掲載されているシナリオBの一次エネルギー消費量(原子力分)(Mtoe)の数値を引用した。

*2:表4.5-1の発電設備容量(GWe)を一次エネルギー消費量(原子力分)(Mtoe)に換算した。(換算式:一次エネルギー消費量(原子力分)(Mtoe)= $\sum_{\text{炉型}i}$ [炉型iの発電設備容量(GWe)]*10E9*24時間*365日*(炉型iの稼働率)/10E12/(熱効率0.4)*(TWh→Mtoe換算係数0.086)])

表4.5-2(2) 一次エネルギー消費量(原子力分)(原子炉稼働率一律70%を想定)

西暦	ワンスルー ^{*2}		プルサーマル ^{*2}		FBR2030-1.2 ^{*2}		FBR2030-1.3 ^{*2}		FBR2050-1.2 ^{*2}		FBR2050-1.3 ^{*2}		(参考:WEC-B ^{*1})	
		WEC-B 一次エネルギー ギ一比(%)		WEC-B 一次エネルギー ギ一比(%)		WEC-B 一次エネルギー ギ一比(%)		WEC-B 一次エネルギー ギ一比(%)		WEC-B 一次エネルギー ギ一比(%)		WEC-B 一次エネルギー ギ一比(%)		WEC-B 一次エネルギー ギ一比(%)
2000	522	5.2	522	5.2	522	5.2	522	5.2	522	5.2	522	5.2	522	5.2
2010	687	5.8	687	5.8	687	5.8	687	5.8	687	5.8	687	5.8	687	5.8
2020	904	6.7	904	6.7	904	6.7	904	6.7	904	6.7	904	6.7	904	6.7
2030	1,305	8.4	1,305	8.4	1,356	8.7	1,390	8.9	1,281	8.2	1,281	8.2	1,381	8.9
2040	1,931	10.9	1,931	10.9	2,308	13.0	2,688	15.2	1,528	8.6	1,528	8.6	2,060	11.6
2050	1,816	9.2	2,558	12.9	3,140	15.8	3,772	19.0	1,788	9.0	1,865	9.4	2,738	13.8
2060	1,737	7.7	2,819	12.6	4,114	18.3	5,384	24.0	2,895	12.9	3,750	16.7	3,584	16.0
2070	1,578	6.3	2,661	10.6	4,784	19.1	7,115	28.4	4,002	15.9	5,136	20.5	4,430	17.7
2080	1,380	4.9	2,462	8.7	5,512	19.5	9,524	33.7	4,677	16.5	6,714	23.7	5,712	20.2
2090	922	2.9	2,004	6.4	6,090	19.3	12,663	40.2	5,143	16.3	8,758	27.8	6,995	22.2
2100	162	0.5	1,245	3.6	6,816	19.6	17,339	50.0	5,779	16.7	11,808	34.0	8,277	23.9
2110	0	-	341	-	7,831	-	24,039	-	6,408	-	16,020	-	下線は線形近似値	
2120	0	-	0	-	8,917	-	33,585	-	7,165	-	22,220	-		

*1: IJAS/A/WE C Global Energy Perspectives, 1998J (<http://ijas.ac.at>)に掲載されているシナリオBの一次エネルギー消費量(原子力分)(Mtoe)の数値を引用した。

*2: 表4.5-1の発電設備容量(GWe)を原子炉稼働率を一律70%として一次エネルギー消費量(原子力分)(Mtoe)に換算した。(換算式: 一次エネルギー消費量(原子力分)(Mtoe)=発電設備容量(GWe)*10E9*24時間*365日*(稼働率0.7)*1/10E12/(熱効率0.4)*(TWh→Mtoe換算係数0.086)

5. まとめ

本研究では、原子力による将来のエネルギー供給の可能性を探求する試みとして、天然ウラン資源を可能な限り利用する前提条件の下で、世界全体における原子力の最大導入可能量を試算した。

試算にあたり、原子力の炉型構成は、①LWR ワンスルー体系、②LWR とプルサーマル体系、③LWR と FBR 体系の 3 つを想定した。また、世界のエネルギー供給見通しについては、IIASA/WEC が 1998 年に発表した B ケース（最も現実的なシナリオ）を基本とした。試算結果の概要ならびに考察は次の通り。

(1)LWR ワンスルー体系あるいは LWR とプルサーマル体系では、IIASA/WEC のエネルギー供給見通しが達成できないばかりでなく、原子力発電設備容量は天然ウラン資源の希少化によって 21 世紀中葉頃から徐々に減少し、22 世紀初頭には天然ウラン資源を消費し尽くしてしまい途絶える。

(2)一方、FBR によるプルトニウム利用を積極的に進めた場合、原子力発電設備容量は FBR の導入開始時期や増殖性能により異なるものの、原子力が来世紀以降も持続可能な重要なエネルギー・オプションの一つとなる。

今回の試算では天然ウラン資源の観点から原子力の可能性を解析・評価した。今後は、「FBR 実用化戦略調査研究」の一環として進めている FBR 実用化シナリオの構築に向けて、本研究成果を活用していく予定である。

6. 謝 辞

本解析評価の実施にあたり、原子力システム研究懇話会の堀雅夫殿から数多くの貴重な提案および助言を頂くと共に議論に参加して頂いたこと、東京理科大の森俊介教授からは有益な情報を頂いたことを、ここに感謝致します。

7. 参考文献

- [1] The Economics of the Nuclear Fuel Cycle, OECD/NEA, 1994
- [2] D. Albright, F. Berkout, W. Walker, World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium, SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute:ストックホルム国際平和研究所) , 1992
- [3] D. Albright, K. O' Neil, The Challenge of Fissile Material Control, ISIS (科学・国際安全保障問題研究所) , 1999
- [4] Commercial Nuclear Fuel From U.S. and Russian Surplus Defense Inventories : Materials, Policies, and Market Effects, DOE/EIA-0619, May 1998
- [5] The Global Nuclear Fuel Market : Supply and Demand 1998-2020, The Uranium Institute, September 1998
- [6] Uranium 1997 -Resources, Production and Demand-, OECD/NEA/IAEA, 1997
- [7] 大滝明, 小野清, 篠田佳彦他, 核燃料サイクルにおける物質収支解析手法の機能拡張 (技術報告), JNC TN9410 2000-006, 2000年4月
- [8] Global Energy Perspectives, IIASA/WEC, 1998, (<http://iiasa.ac.at>)