



目標達成度評価システムの機能拡張

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

(研究報告)

2002年2月



株式会社三菱総合研究所

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。

〒319-1194 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, Ibaragi 319-1194, Japan

(C) 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2002

目標達成度評価システムの機能拡張 (核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

芝剛史*、実島哲也*、鈴木敦士*

要 旨

本研究では、昨年度までに構築してきた FBR 目標達成度評価システムに対し、次の 2 側面からの機能拡張を行った。①他エネルギー・システムの評価を可能とする、②社会的受容性の観点からの評価を可能とする。

他エネルギー・システムとの比較に関しては、大規模（100 万 kW 級発電所 50～100 基分を想定）および中小規模（50～200MW を想定）で競合するエネルギー・システムを設定した上で、それらに求められる性能や特徴を調査した。中小規模については、その用途について検討し、今年度は①僻地・離島での利用、②地域電源としての利用、③工場での大規模産業用自家発利用の 3 用途を想定することとした。性能・特徴調査の結果より、新たな評価指標として、エネルギー収支やエネルギー安全保障、簡便性、電力品質などを加える可能性を検討し、それぞれの評価構造例を提示した。

社会的受容性の観点については、PA 等に関する文献調査を中心として社会的受容性に関わる因子の抽出を行った。特に、安心や信頼といった指標について、社会心理学的に構造分析した研究事例を調査し、リスク認知等に関わる指標構造案を提示した。

以上に提示した評価構造は、大規模電源と中小規模電源（今年度対象とした用途のみ）の評価は同一構造で評価し得るものと考えられるが、他の用途を対象とする際には、新たな視点について検討する必要があることを指摘した。

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究の成果である。

機構担当部課室：

大洗工学センター システム技術開発部 FBR サイクル解析 Gr

* 株式会社三菱総合研究所

JNC TJ9400 2002-003
February, 2002

Functional Expansion of Achievement Analysis System

Tsuyoshi Shiba*, Tetsuya Mishima*, Atsushi Suzuki*

Abstract

In this study, the FBR achievement analysis system developed last year was improved so that we could perform analysis on other power generation systems and assessment with a view of public acceptance.

In order to establish the assessment structure for other systems, competitive energy systems with large power outputs (50-100 plants of 1GW power generation system) and small power outputs (50-200MW) were fixed, and investigated their performances and special features. The usage of systems with small power outputs were intended as; ①use in isolated islands or remote places, ②use as district power supply, ③use as industry owned power plants. From the results, energy balance, energy security, easiness and simplicity, and quality of electric outputs were discussed as new indices, and samples of their assessment structures were shown.

Concerning public acceptance, relating factors were extracted from existing research on it. Especially, about sense of safety and trustworthiness, research on social psychological analysis on them were investigated, so that we showed the assessment structure of risk perception.

The assessment structures shown in this study would be able to be applied to assessments of both large power generation systems and small ones, as far as the usages were restricted to the three cases mentioned above. Considerations to extract other indices would be necessary in order to expand the intended usage.

Work performed by Mitsubishi Research Institute, Inc., under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute

JNC Liaison: FBR Cycle Analysis Group, System Engineering Technology Division,
O-Arai Engineering Center

* Mitsubishi Research Institute, Inc

目 次

1.はじめに.....	1
1.1 目的	1
1.2 本研究の範囲及び内容	1
2.競合エネルギー・システムの性能と特徴.....	3
2.1 競合エネルギー・システムの設定	3
2.1.1 大規模：50～100GW	3
2.1.2 中小規模：50～200MW	6
2.2 エネルギー・システムの特徴・性能調査	16
2.2.1 各視点に関する特徴	16
2.2.2 中小規模電源に特有の特徴	30
2.3 評価構造の構築	32
2.3.1 評価視点	32
2.3.2 経済性	33
2.3.3 資源供給性	36
2.3.4 環境影響低減性	38
2.3.5 エネルギー安全保障	43
2.3.6 安全性	44
2.3.7 エネルギー収支	45
2.3.8 簡便性	47
2.3.9 電力品質	48
2.3.10 導入限界量	48
3.社会的受容性及び技術的実現性に関する評価構造の構築.....	51
3.1 エネルギー・システムの社会的受容性に関する現状調査	51
3.1.1 地域共生	51
3.1.2 PA活動の現状.....	56
3.1.3 リスク・イメージ	57
3.1.4 信頼感と安心感	66
3.2 社会的受容性に関わる因子の抽出	72
3.2.1 社会的受容性の評価因子の抽出	72
3.2.2 社会的受容性の取り込み方	75
3.2.3 社会的受容性に関するその他の評価方法	77
3.3 技術的実現性に関する検討	81

3.4 発電システムに関心を持つ立場	82
4. 評価構造の拡張、統合に関する検討.....	84
5. 目標達成度評価システムの改良.....	86
6. まとめ.....	87
参考文献.....	89

図目次

図 2-1 各種燃料電池の適用分野	11
図 2-2 一般水力発電所の出力規模分布	14
図 2-3 原子力施設に対する PSA 手法	23
図 2-4 各種エネルギー・システムによる 1000MW年あたりの職業人と公衆の死亡数	24
図 2-5 世界の需給バランスから見たリスクの比較	28
図 2-6 燃料価格上昇幅の概念説明図	35
図 2-7 経済性の指標構造案	36
図 2-8 資源性の評価構造案	38
図 2-9 環境影響低減性の評価構造案	41
図 2-10 環境影響物質の発生と放出について	41
図 2-11 東京都における硫黄酸化物排出基準（K値規制）の考え方	42
図 2-12 エネルギー安全保障の評価構造案（資源性の下位指標とする）	44
図 2-13 安全性の評価構造案	45
図 2-14 簡便性の評価構造案	47
図 2-15 電力品質の評価構造案	48
図 2-16 導入限界量の評価構造案	49
図 2-17 導入限界量評価を資源性に含める構造案	50
図 3-1 地域共生方策からの社会的受容性評価指標抽出イメージ	52
図 3-2 リスク—利得関係	59
図 3-3 アメリカ人のリスク認知マップ（スロヴィック、1986 年）	61
図 3-4 日米同一尺度によるリスク認知地図（上：アメリカ、下：日本）	62
図 3-5 致死現象の死者数とその予測値の関係（自動車事故死者数を基準として知らせた場合）	63
図 3-6 能力と意図に対する期待	67
図 3-7 安心と信頼	68
図 3-8 不確実性と安心感の関係	68
図 3-9 一般的信頼と情報依存的信頼	69
図 3-10 情報依存的信頼の分類	70
図 3-11 信頼と安心の整理	71
図 3-12 平成 12 年度の社会的受容性の取り込み案（第 2 案）	76
図 3-13 社会的受容性取り込み方法	77
図 3-14 受益／リスク比による社会的受容性評価手法	78

- 図 3-15 技術的実現性の評価構造案 81
図 3-16 ペーパーディスプレイおよび高臨場感ディスプレイのロードマップ . 82

表目次

表 2-1 大規模基幹電源としての競合システム設定	3
表 2-2 火力発電所設備基数と容量（平成12年3月末現在）	4
表 2-3 LNG火力発電所一覧（平成元年以降運転、平成12年3月末現在）	5
表 2-4 PFBC発電所一覧	5
表 2-5 原子力発電所建設状況（平成12年3月末現在）	6
表 2-6 中小規模電源の用途設定検討	7
表 2-7 自家用発電機種別の出力および発電機設置台数(1985～1995年設置分を対象)	8
表 2-8 沖縄電力の火力発電所例	8
表 2-9 発電目的別・発電所出力別 風力発電設置地点数（2000年12月）	9
表 2-10 北海道苦前町に導入された風力発電	10
表 2-11 各種燃料電池の発電出力・用途等	10
表 2-12 東京電力、東京ガスの燃料電池実証試験事例	12
表 2-13 燃料電池導入事例	12
表 2-14 PEFC応用例	13
表 2-15 電力会社およびフィールドテストによる太陽光発電システムの出力規模	13
表 2-16 廃棄物発電導入量の推移	15
表 2-17 一般廃棄物発電導入計画例	15
表 2-18 50～200MW級の競合発電システムの設定	16
表 2-19 総合エネルギー調査会原子力部会による各種発電方式の発電原価	17
表 2-20 原子力発電所1号機のリードタイム実績	18
表 2-21 LNGコンバインドサイクルの熱効率	19
表 2-22 高燃焼度化のステップ（東京電力）	19
表 2-23 火力・原子力発電に関わる環境影響評価標準項目	21
表 2-24 放射性気体・液体廃棄物の放出状況（1998年、単位：ベクレル） ...	22
表 2-25 石炭火力発電システムのリスク（1MWあたり）	25
表 2-26 ExternalEによる外部コスト試算結果	26
表 2-27 エリア別の政治経済リスク指標	29
表 2-28 我が国のエリア別輸入依存度から見たリスクの比較（石油を1とする）	29
表 2-29 発電システムのエネルギー収支比	29
表 2-30 風力発電の風況調査実施年と運転開始年	30
表 2-31 風力発電導入限界量（NEDO試算）	31

表 2-32 総合エネルギー調査会新エネルギー部会による風力発電導入目標値 ..	31
表 2-33 廃棄物発電導入限界量試算例（一般廃棄物）	32
表 2-34 評価視点の妥当性検証	32
表 2-35 環境影響評価項目結合手順と問題点	39
表 2-36 エネルギー安全保障の評価構造における位置付け	43
表 2-37 発電システムのエネルギー収支比	45
表 2-38 エネルギー収支の階層構造	46
表 2-39 各指標に対する方法 2 の適用可否	46
表 3-1 地域共生に活用可能な発電所資源	53
表 3-2 発電に伴う生成資源の活用例	53
表 3-3 発電施設・空間資源の活用例	54
表 3-4 ソフト資源の活用例	55
表 3-5 一般の人がリスクを認知し評価する際に影響する因子	57
表 3-6 スターの死亡率と利得の算出例 (Starr, 1969)	58
表 3-7 対象科学技術と尺度項目	65
表 3-8 各科学技術、各尺度ごとの標準偏回帰係数	66
表 3-9 発電所資源活用性に関わる因子	72
表 3-10 リスク認知に関わる因子	73
表 3-11 推進主体の信頼性に関する評価因子	73
表 3-12 社会的受容性として新たに加え得る指標構造案（発電所資源）	74
表 3-13 社会的受容性として新たに加え得る指標構造案（心理的バイアス低減性）	75
表 3-14 平成 12 年度に検討した社会的受容性の取り込み方法案	76
表 3-15 社会的受容性取り込み方法のメリットとデメリット	80
表 3-16 立場ごとに異なる関心の例（仮想定）	83
表 4-1 他用途を視野に入れる際の要検討事項	84
表 5-1 目標達成度評価システムに対する入力項目整理	86

1. はじめに

1.1 目的

核燃料サイクル開発機構（以下機構）が行う核燃料サイクル実用化戦略調査研究において、FBR実用化サイクルの評価視点（安全性、経済性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、環境負荷低減性、技術的実現性）に対する目標達成度を定量的、かつ客観的に比較評価するためのシステムの開発を平成11年度、12年度に実施し、FBRサイクルシステムを対象とした目標達成度評価システムを作成した。

本調査研究は、同システムを社会的受容性および技術的実現性評価や他エネルギーシステムについても対象となるように機能を拡張するものである。

1.2 本研究の範囲及び内容

本研究の範囲および内容は以下のとおりである。

(1) 競合エネルギーシステムの設定および求められる性能・特徴の調査

様々な用途におけるエネルギーシステムのうち、発電システムとして用いられるものについて導入事例を調査する。主として文献調査により、システムの用途、期待される性能・特徴をとりまとめることとする。

事例調査結果をもとにして、電源の規模、用途を設定し、その条件下で用いられる発電システムを設定する。

(2) 社会的受容性及び技術的実現性に関する評価構造の構築

前年度までに、FBRの社会的受容性を検討するにあたって原子力全般の受容性の現状を概観した。今年度は、上記で設定した発電システムについても、PAに関する文献調査により社会的受容性の現状を概観する。

その調査結果を受けて、各発電システムについて受容性に関わる因子を抽出する。その際、発電システムの立地に対して関心を持つ視点について、それぞれの立場を考慮することとする。（前年度はFBRの受容性に関わる因子を、立地住民・国民・電力会社・政府という4つの立場から整理した。）

抽出された因子を整理し、社会的受容性の評価構造を構築する。

(3) 評価構造の拡張、統合に関する検討

電源システム同士を比較できる評価構造を検討する。規模や用途によらない一般化された構造を導くことが目標であるが、それが困難である場合には、上で設定した発電システムの規模・用途ごとに評価する構造を導くこととする。

構築した評価構造ごとに、必要な入力データ項目を列挙・整理する。

(4) 目標達成度評価システムの改良

構築した評価構造に対し、必要な入力データ項目を列挙・整理する。また、それらを入力可能とすべく前年度までに作成した目標達成度評価システムの改良を行う。

2. 競合エネルギー・システムの性能と特徴

2.1 競合エネルギー・システムの設定

目標達成度評価システムを他電源に適用すべく拡張するために、評価対象とする競合エネルギー・システムを設定する。

電源の規模は以下のとおりとし、それぞれの条件下で用いられる競合エネルギー・システムを設定する。エネルギー・システムには、発電だけでなく熱供給なども含まれるが、ここでは発電システムに限定し、以下の規模を対象として検討することとする。

競合発電システムの規模

- (1) 大規模：50～100GW（100万kW級発電所50～100基を想定）
- (2) 小中規模：50～200MW（現在開発対象としている小型炉を想定）

2.1.1 大規模：50～100GW

100万kW級の大規模基幹電源として用いられる発電システムとしては火力および原子力（軽水炉）が考えられる。それらのうち、本研究にて上記（1）に該当する競合電源種として、LNG火力、石炭火力、軽水炉の3つを設定することとする。具体的な想定システムはそれぞれ表2-1に示したとおりであり、現在導入が計画されているシステム、または開発対象の中心となっているシステムを取り上げることとする。ただし、各電源に対する今後の研究開発の進捗によっては想定システムを見直すことを考慮して評価構造を構築する必要がある。火力発電および原子力発電の近年の発電設備の現状と開発の動向を下に述べる。

表2-1 大規模基幹電源としての競合システム設定

競合電源種	主たる想定システム
1. LNG火力	ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)
2. 石炭火力	石炭ガス化複合発電(IGCC)
3. 軽水炉	ABWR、APWRとするが、次世代型炉型も視野に入れる

(1) 火力発電

我が国の火力発電は、昭和30年代以降、ユニットの大容量化、高効率化が進み、燃料面でも、石油からLNGまたは石炭へのシフトが進んでいる。

平成12年3月現在の火力発電所設備の基数と容量および着工準備中を含んだそれら数値

を表 2-2に示す。LNG と石炭は今後利用が拡大される方向にある一方で、石油は着工準備中 プラントではなく、利用を縮小する方向にあると言える。

表 2-2 火力発電所設備基数と容量（平成 12 年 3 月末現在）

燃料種類	運転中基数 (着工準備中基数)	運転中設備容量 (着工準備中設備容量)
LNG 火力	117 (7)	約 60GW (約 7.2GW)
石炭火力	60 (17)	約 25GW (約 4.3GW)
石油火力	173	約 53GW

出所) 参考文献[17]より作成

現在の火力発電の熱効率は、最新鋭で約 40%であり、現状ではこれ以上の飛躍的な改善を望むことは難しいとされている。そこで、ガスタービン・蒸気タービン複合発電方式（ガスタービンコンバインドサイクル：GTCC）が導入され、50%を超える高い熱効率を実現している¹。LNG 火力発電電力量は、1998 年には全発電量の 1/4 程度に達している。このうち LNG 火力発電に占めるコンバインドサイクル発電の出力比率は既に約 3 割を超えている。各電力会社は稼働中の LNG 火力発電を順次コンバインド方式に切り替えており（表 2-3）、今後、LNG 火力設備の主力はコンバインドサイクルになると見られる。

石炭火力発電の高効率技術としては、超々臨界圧発電（USC：Ultra Super Critical）、加圧流動床複合発電（PFBC：Pressurized Fluidized Bed Combustion）、石炭ガス化複合発電（IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle）がある。USC については、既に稼働しているプラントがあり、熱効率 42%程度（送電端）を達成している。PFBC についても、我が国で 3 基の商用機導入実績があり（表 2-4）、熱効率は 44%程度の達成が可能となっている。また、IGCC は石炭を一旦ガス化し、LNG 火力で開発が進んでいるコンバインドサイクルに適用する技術であり、将来的に 1,500°C 級のガスタービンが適用できれば熱効率 50%程度を達成し得ると考えられている。我が国では、9 電力会社および電源開発²により、250MW 級実証機計画を開始した段階である。

本調査研究で大規模発電システムの競合電源として、今後利用が拡大すると考えられる LNG 火力と石炭火力を取り上げることとする。なお、現在開発が進められている IGCC なども視野に入れることとする。

¹ 東北電力は 99 年、東新潟火力発電所で世界で初めて、1450°C のコンバインドサイクル発電設備の運転を開始、50.6% の熱効率を達成。

² 2001 年 6 月に株式会社クリーンコールパワー研究所を設立。

表 2-3 LNG 火力発電所一覧（平成元年以降運開、平成 12 年 3 月末現在）

(平成12年3月末現在)						
事業者名	発電所名	所在地	号機	認可出力 (kW)	運開年月	専・混焼の別
東北電力	東新潟	新潟	4号機	805	平11-7	専焼
東京電力	千葉	千葉	1号機	1,080	平10-12	専焼
東京電力	千葉	千葉	2号機	1,080	平11-2	専焼
東京電力	東扇島	神奈川	2	1,000	平3-3	専焼
東京電力	広野	福島	3	1,000	平元-6	混焼(1)
東京電力	広野	福島	4	1,000	平5-1	混焼(1)
東京電力	袖ヶ浦	千葉	G/T1	127	平5-3	専焼
東京電力	五井ガスタービン	千葉	6	126	平6-7	専焼
東京電力	横浜	神奈川	7号機	1,400	平10-1	専焼
東京電力	横浜	神奈川	8号機	1,400	平10-1	専焼
中部電力	知多ガスタービン	愛知	1	154	平8-8	専焼
中部電力	知多ガスタービン	愛知	2	154	平7-8	専焼
中部電力	知多ガスタービン	愛知	5	154	平7-6	専焼
中部電力	知多ガスタービン	愛知	6	154	平6-9	専焼
中部電力	知多第二ガスタービン	愛知	1	154	平6-9	専焼
中部電力	知多第二ガスタービン	愛知	2	154	平8-7	専焼
中部電力	四日市LNG冷熱	愛知	1	7	平元-12	-
中部電力	川越	三重	1	700	平元-6	専焼
中部電力	川越	三重	2	700	平2-6	専焼
中部電力	川越	三重	3号機	1,650	平8-12	専焼
中部電力	川越	三重	4号機	1,650	平9-11	専焼
中部電力	新名古屋	愛知	7号機	1,458	平10-12	専焼
関西電力	姫路第一	兵庫	5号機	670	平7-4	専焼
関西電力	姫路第一	兵庫	6号機	670	平8-5	専焼
関西電力	南港	大阪	1	600	平2-11	専焼
関西電力	南港	大阪	2	600	平3-2	専焼
関西電力	南港	大阪	3	600	平3-10	専焼
関西電力	関西国際空港エネルギー	大阪	1	20	平5-11	混焼(2)
関西電力	関西国際空港エネルギー	大阪	2	20	平5-11	混焼(2)
中国電力	柳井	山口	1号機	700	平4-12	専焼
中国電力	柳井	山口	2号機	700	平8-1	専焼
九州電力	新大分	大分	1号機	690	平3-6	専焼
九州電力	新大分	大分	2号機	870	平7-2	専焼
九州電力	新大分	大分	3-1号機	735	平10-7	専焼

注：1. 混焼(1)は天然ガス、重油、原油、専混焼並びに天然ガス、重油、原油、混焼
混焼(2)は都市ガス、軽油、混焼

注：2. 専、混焼の区別は設備の設計ベースによる

注：3. コはコンバインドサイクル（複合発電設備）

出所)参考文献[17]

表 2-4 PFBC 発電所一覧

事業者名	発電所名	所在地	号機	プラント出力	ガスタービン出力	蒸気タービン出力	運開年月
北海道電力	苫東厚真	北海道	3	85	11	74	平10-3
中国電力	大崎	広島	1	250×2	44×2	215×2	平12-11
九州電力	苅田	福岡		360	75	290	平13-7

出所)参考文献[3]

(2) 原子力

平成12年8月現在、日本における商業用原子力発電所は51基、出力規模は約45GWが運転中であった。近年、大容量化が図られるとともに、信頼性・安全性、運転・保守性および経済性の向上を目指して、ABWRが既に実用化され、APWRが実用化の段階にある。1996～1997年にかけて運開した東京電力柏崎刈羽6、7号機を始めとし、現在建設中の原子力発電所6基のうち3基がABWRであり、1基あたりの出力は135万kWを超える規模である。

表 2-5 原子力発電所建設状況（平成12年3月末現在）

	設置者名	発電所名	炉型	認可出力（万 kW）	運開予定年月
建設中	東北電力	女川原子力（3号）	BWR	82.5	2002.1
		東通原子力（1号）	BWR	110.0	2005.7
	中部電力	浜岡原子力（5号）	ABWR	138.0	2005.1
	北陸電力	志賀原子力（2号）	ABWR	135.8	2006.3
建設準備中	東北電力	巻原子力（1号）	BWR	82.5	2012
	電源開発	大間原子力	ABWR	138.3	2007

出所) 参考文献[1]

さらに、ABWR、APWRの次世代型の開発が開始されている。次世代型BWRとしては、ABWRの基本技術に即したJSBWRの開発が検討され、その発展形としてABWR-IIの開発が進められている。また、次世代型PWRとしては、APWRをベースとしたAPWR+の開発が着手されている。

本調査研究で対象とする大規模競合電源としては、これら原子力発電を軽水炉として括って取り扱うこととし、次世代型PWR、次世代型BWRも視野に入れることとする。

2.1.2 中小規模：50～200MW

(1) 用途の設定

中小規模で使用される競合発電システムを設定するに先立って、分散電源等、同規模で使用されると思われる各電源の用途について検討する。前年度の調査[28]において、小型炉利用の可能性が考えられる用途をいくつか挙げ、次の観点から用途を絞込んだ結果、僻地・離島での利用および発展途上国への導入の2用途が設定された。

- ・特殊と思われる性能（真空中利用可能など）が求められるものは除外する
- ・小規模なもの（数1000kW程度、業務用ビル1棟単独で使用するなど）は除外する
- ・電源以外の用途は除外する

今年度は、導入場所を国内に絞ることとしたうえで、表 2-6に示すような検討を行って、次の3用途、①離島・僻地での利用、②地域電源としての利用、③工場等自家発利用、を設定した。以下、これら用途を念頭におきながら、各種中小規模電源の概要をまとめた上で競合電源の設定を行うこととする。しかし、発展途上国への導入や、海水の淡水化など、小型炉の用途として重要になる可能性をもつ項目も表 2-6には含まれており、今後、評価構造を一般化していく際には対象とすることを検討すべきである。

表 2-6 中小規模電源の用途設定検討

用途	特殊な性能が求められる(×)	電源以外の用途(×)	規模が異なる(×)
①僻地・離島での利用			
②地域熱源、または地域電源として利用*			
③工場等での大規模産業用自家発利用*			
発展途上国への導入	× (国内を対象とする)		
ビル、病院、ホテル等での自家発利用			× (ビル等単独での利用の場合)
特殊環境下での利用	× (真空中など特殊環境)		
海底・海中・洋上での利用	× (水圧下、塩水雰囲気下)		
人工衛星、宇宙ステーション、宇宙船、月面、火星等での利用	× (無重力下、真空中)		
非常用電源としての利用			× (ビル等単独での利用の場合)
工場など産業用熱源		×	
海水の淡水化プラント	×	×	
中性子利用炉	×	×	
モジュール炉			× (モジュール化により大型炉並の規模となる)

*前年度は挙げられていない事項

(2) 火力発電（自家発または離島・僻地用 GT・ST³）

自家発電用目的で発電機が設置（1985～1995年）された発電所の出力別および発電機種別の出力および設置台数をみると（表2-7）、10MW～100MWの発電所出力を持つ時は発電設備が出力ベースでは最も多く、1000MWを超える設備はない。発電機種別で見ると、ガスエンジンは比較的小規模な導入事例が多く、ガスタービン、蒸気タービンは10MW以上が主流である。

表2-7 自家用発電機種別の出力および発電機設置台数(1985～1995年設置分を対象)

発電所出力規模	ガスエンジン 出力 (設置台数)	ガスタービン 出力 (設置台数)	蒸気タービン 出力 (設置台数)
～0.1MW	30MW(533)	0MW(1)	0MW(0)
0.1～1MW	357MW(896)	8MW(13)	1MW(4)
1～10MW	2,020MW(953)	839MW(282)	724MW(210)
10～100MW	497MW(48)	2,577MW(111)	4,356MW(278)
100～1,000MW	2MW(1)	787MW(7)	4,167MW(99)
1,000MW～	0MW(0)	0MW(0)	0MW(0)

出所) 参考文献[5]

次に離島や僻地への導入事例を見る。小規模なガスエンジンなどが導入されている事例が多いが、ここでは、対象とする50～200MW級の例を挙げることとする。「離島・僻地」と呼ぶかどうかの議論はあるが、沖縄電力が導入している火力発電設備は、当該規模のものがほとんどを占めている（表2-8）。

表2-8 沖縄電力の火力発電所例

種別	発電所名	種別	認可出力
石油	牧港	石油	85MW×4 125MW×1
	石川	石油	125MW×2
	牧港ガスタービン	石油	60MW×1 103MW×1
	石川ガスタービン	石油	103MW×1
石炭	具志川	石炭	156MW×2

³ GE：ガスエンジン、GT：ガスタービン、ST：蒸気タービン

(3) 風力発電

我が国における風力発電導入量は、2001年9月において約160MWであり、最大規模の発電所では総出力は30MW程度に達している。導入の目的（用途）としては、売電事業用、試験研究用、その他（公園所内電力用など）に大別される。表2-9に、用途別・発電所出力規模別の風力発電設置地点数を示す。発電所出力としては1MW以下がほとんどであるが、近年、売電事業用として10MWを超える規模の風力発電所が増加しつつある。日本風力開発（本社東京）は2003、2004、2005年と段階的に30MW、30MW、20MWの導入を計画し、計80MWを目指している。また、1基あたりの出力も近年増加しており、1500kWを超える規模の風力発電機導入も始まっていることから、大規模導入は今後も増えるものと考えられる。

表2-9 発電目的別・発電所出力別 風力発電設置地点数（2000年12月）

発電所出力(MW)	売電事業用	試験研究用	その他
0.01～0.1	1	8	8
0.1～1	24	42	13
1～10	10	3	0
10～100	2	0	0

出所) NEDOホームページ、その他報道資料よりMRI作成

1) 導入事例1 ~離島への導入~

離島への電力供給コストの低減などを目的に、風力発電を離島に導入する検討事例がある[28]。例えば、沖縄県の離島に導入が検討されている風力発電ハイブリッドシステム（衆力280kW）がある。これは、風力発電をディーゼル発電機や太陽光発電機とハイブリッド化し、自動で風力エネルギーを優先的に利用してディーゼル燃料の節約を図り、風力発電特有の急な出力変動も蓄電池などで制御し、良質な電力を供給するシステムである。

また、宮古島では、やはり離島用風力発電システムの実証試験を行っており、合計1,700kWを設置している。

2) 導入事例2 ~地域的に大規模導入~

北海道など風況が良好な地点が多い地域では、市や町に複数の風力発電が導入され、地域全体では数10MW程度になるという例がある。表2-10は北海道苫前町に設置されている風力発電一覧であるが、合計出力は50MW以上となっている。このように、それぞれの風力発電所を対象とするのではなく、ある地域全体での風力発電が対象であると考えれば、小型炉の有力な競合になり得るものと考えられる。

表 2-10 北海道苦前町に導入された風力発電

稼働年月	設置者	定格出力(kW)	台数	総出力(kW)
1998年12月	北海道苦前町	600	1	600
1999年10月	(株)ト-メンパワ-苦前	1,000	20	20,000
1999年11月	北海道苦前町	600	1	600
2000年10月	(株)ドリームアップ 苦前	1,650	14	23,100
2000年10月	(株)ドリームアップ 苦前	1,500	5	7,500
2000年12月	北海道苦前町	1,000	1	1,000
合計				52,800

(4) 燃料電池

燃料電池には表 2-11に示す 4 種類がある。これらのうち商用化されているのは PAFC であるが、その発電出力規模は 0.05~0.2MW 程度の小規模が主流である。一般に、高温で動作する SOFC や MCFC は、1~100MW 級の大規模な分散電源や火力代替電源への適用が考えられており、比較的低温で動作する PAFC は 200kW 程度を中心とした中小規模の分散型電源としての導入が図られつつある。さらに低温で動作する PEFC は、数百 W~数百 kW 程度までの既存の内燃機関や蓄電池の代替としての応用が期待されている。各種燃料電池について想定されている適用分野を図 2-1に示す。規模および用途から考えて、中小規模での競合電源としては MCFC または SOFC に可能性があると言える。

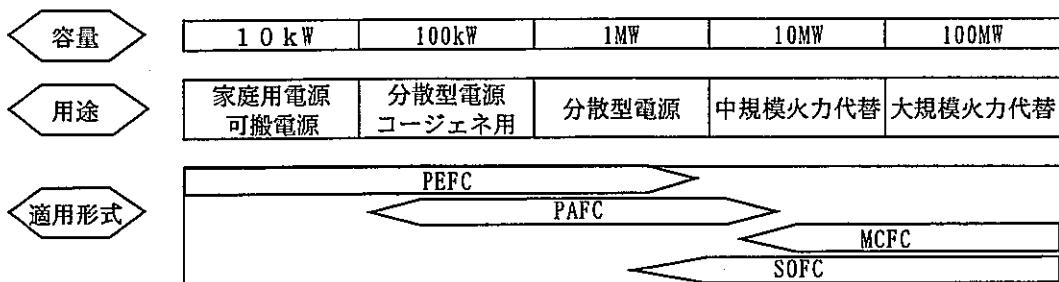
なお、ここでは原燃料を天然ガスやメタノールとしているが、水素ステーションにより水素供給を行う可能性も検討されている。例えば、WE-NET 計画（水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術計画）は、通産省工業技術院のニューサンシャイン計画の一環として、1993 年度にスタートした。水力、風力などの再生可能エネルギーを使った水素の大規模な製造方法の確立と、それを輸送、貯蔵、利用する国際エネルギーネットワークの構築を最終目標としている。

表 2-11 各種燃料電池の発電出力・用途等

燃料電池 種類	固体電解質型 (SOFC)	溶融炭酸塩型 (MCFC)	リン酸型 (PAFC)	固体高分子型 (PEFC)
動作温度	約 1000°C	約 650°C	約 200°C	約 85°C
電解質	安定化ジルコニア	溶融炭酸塩	リン酸	イオン交換膜
原燃料	天然ガス、石炭ガス化ガス	天然ガス、石炭ガス化ガス	天然ガス	メタノール、天然ガス、ガソリン
発電出力	0.01~0.1MW	1MW	~1MW	~0.1MW
用途	工業用・ 分散電源用	工業用・ 分散電源用	業務用・ 工業用	家庭用・小型業務用・ 自動車用・携帯用
開発段階	試験研究段階	実証段階	導入普及段階	実用化開発段階

出所) 日本コーチェネレーション協会ホームページ、および参考文献[6] [12]より MRI 作成

図 2-1 各種燃料電池の適用分野



出所) 参考文献[7]

1) 固体電解質型 (Solid Oxide Fuel Cell : SOFC)

SOFC は最も動作温度が高く、単独で 50% 以上、GT や ST と組み合わせることにより 65% 以上の発電効率が期待されている。SOFC の主たる構成材料はセラミックスであり、電池の寿命に関しては実証が進んでいるが、システムの大型化が課題とされている [6]。開発は、米国のシーメンス・ウェスチングハウス社が先行しており、25kW 級コーチェネシステムで 13,000 時間の運転実績を持つ。現在 100kW 級コーチェネシステムの運転を行っている。我が国においては、10kW 級の発電試験が行われている段階であり、平成 12 年に中部電力が世界最高出力 15 kW を達成したと発表した [12]。

2) 溶融炭酸塩型 (Molten Carbonate Fuel Cell : MCFC)

MCFC は、ニューサンシャイン計画のもとに開発が推進されている。1981 年から開発が開始され、現在は 1MW 級発電プラント開発が進められている。1MW 級発電プラントの開発は中部電力川越発電所構内で実施されており、1999 年 8 月より発電試験が行われている。

将来的には、MW 級プラントにより火力代替になり得るとの見方もある [12]。また、5MW 級の MCFC をマイクロガスタービンと複合し、地方都市の変電所等へ分散型電源として導入する計画を持っているメーカーもある [13]。

3) リン酸型 (Phosphoric Acid Fuel Cell : PAFC)

PAFC は、最も早くから開発が行われてきた燃料電池であり、現在においても、電力会社やガス会社により実証試験が行われている。また、コーチェネレーションシステムとしての導入事例も見られる。これら事例に見られる出力規模は東京電力五井発電所の 11MW を除き、数 100kW である。比較的大規模な導入事例としては、NEDO と PAFC 研究組合によって都市型エネルギーセンター用 5MW の開発がなされており、約 6,400 時間の運転を達成している。いずれにしても、本調査研究で対象としている 50~200MW と比較すると小規模である。

表 2-12 東京電力、東京ガスの燃料電池実証試験事例

<東京電力：2000年10月末現在>

設置場所	電気出力	運転期間	運転時間(h)
五井火力発電所	11MW	1991.3～1997.3	23,140
芝浦4丁目	0.2MW	1989.3～1997.3	45,333
TEPCO新エネパーク	0.05MW	1993.6～	32,921
京橋2丁目	0.2MW	1994.2～	6,183
技術開発センター	0.2MW	1994.9～	44,011

<東京ガス：1999年2月末現在>

設置場所	電気出力	運転期間	運転時間(h)
田町地区	0.2MW	1992.7～	40,608
袖ヶ浦工場	0.2MW	1993.6	37,100
千住営業センター	0.2MW	1994.3～	38,602
NTT中央研修センタ	0.2MW	1998.6～	5,535
環境エネルギー館	0.2MW	1998.7～	38,602

出所) 東京電力ホームページ、および参考文献[6]

表 2-13 燃料電池導入事例

設置場所	電気出力	運転開始時期	運転時間(h)
大阪赤十字病院	0.2MW	1994.9	26,974 (1998.10月現在)
名古屋ワシントン ホテルプラザ	0.1MW	1999.3～	4,186 (1999年8月現在)

出所) 参考文献[8][9]

4) 固体高分子型(Polymer Electrolyte Fuel Cell : PEFC)

電解質に高イオン導電性のイオン交換膜を用いるPEFCは出力密度も高く、動作温度も低いため、自動車用や小規模定置型を中心開発が進められている。PEFCの開発ではパラード社(カナダ)が先行しており、国内では、NEDOのPEFC開発プロジェクトで2～3kW級、10kW級、30kW級をそれぞれ、三洋電機、三菱電機、東芝が担当し、研究開発を進めている。

表 2-14 PEFC 応用例

応用例	出力規模	開発企業
燃料電池自動車	40～60kW	バラード、ホンダ、三菱電機、等
PEFC 自販機	1kW	東芝
家庭用発電システム	2～3kW	三洋電機
可搬型電源	10kW	三菱電機
PEFC コージェネシステム	250kW	バラード（荏原製作所と提携）

(5) 太陽光発電

各電力会社によるこれまでの太陽光発電システム導入量、およびNEDOによるフィールドテスト事業の実績を見ても（表 2-15）、出力規模は大きくとも 0.1MW 程度であり、50～200MW での競合としては小さい。ただし、離島用電源確保を目的としてディーゼル発電や風力発電と組み合わせたマルチハイブリッドシステムとして、1 MW程度での実証試験が行われている。

表 2-15 電力会社およびフィールドテストによる太陽光発電システムの出力規模

電力会社		導入量 (kW)	導入件数	平均出力規模 (kW)
	北海道電力	124	13	9.5
	東北電力	85	12	7.1
	東京電力	480	42	11.4
	中部電力	348	29	12.0
	北陸電力	104	11	9.5
	関西電力	460	47	9.8
	中国電力	198	29	6.8
	四国電力	356	6	59.3
	九州電力	230	15	15.3
	沖縄電力	254	2	127.0
	電源開発	20	1	20.0
	NEDO フィールドテスト	3030	113	26.8

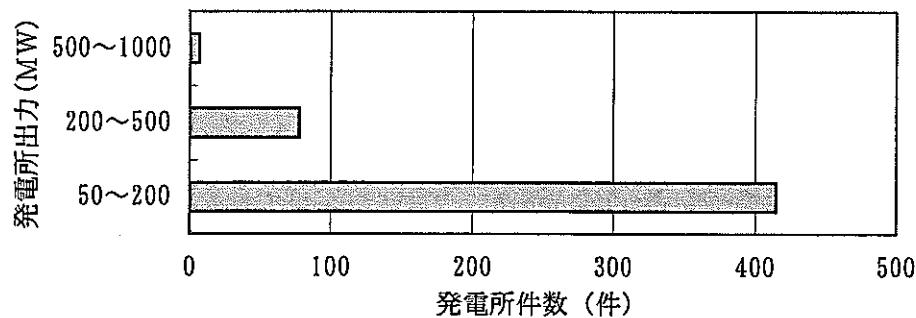
出所) 参考文献[35]より作成

(6) 水力発電

2000 年 3 月末時点における一般電気事業用水力発電設備の出力は全国合計で約 44,000MW となっており、そのうち一般水力が約 20,000MW、揚水式水力が約 24,000MW となっている。発電所出力規模の分布を図 2-2 に示す。旧通産省では、平成 12 年 3 月現在の包蔵水力調査

を行っている。その結果、我が国における水力の未開発地点は 2,700 地点以上に上るが、開発地点の奥地化・小規模化が進んできており、電源立地は難しくなる傾向にあるとしている[11]。

図 2-2 一般水力発電所の出力規模分布



出所) 参考文献[1]より MRI 作成

(7) 廃棄物発電

廃棄物発電、特に一般廃棄物発電の導入は近年増加傾向にあり、平成 12 年度末には一般・産業合計で 1100MW を超えている(表 2-16)。発電所あたりの導入規模を導入計画例で見ると(表 2-17)、30MW 程度から、大きなものでは 150MW 程度まで達している。

一般廃棄物発電が導入される地域は、ごみ排出量が比較的多い人口密集地に集中しており(東京、神奈川、愛知、大阪、福岡の 5 都府県の一般廃棄物発電出力は全体の 60% 以上)、都市部への電力供給を主たる用途として利用することも可能である。

表 2-16 廃棄物発電導入量の推移

廃棄物発電出力の推移						単位：MW
	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度
一般廃棄物	558	658	708	786	845	979
産業廃棄物	91	102	107	147	136	128
合計	649	760	815	933	981	1107

廃棄物発電電力量の推移						単位：億kWh
	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度
一般廃棄物	30.0	33.2	37.7	41.6	44.9	47.3
産業廃棄物	3.3	4.1	4.0	5.4	4.7	4.5
合計	33.3	37.3	41.7	47.0	49.6	51.8

廃棄物発電設備数の推移						単位：個所
	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度
一般廃棄物	146	161	171	180	190	201
産業廃棄物	43	46	44	58	58	54
合計	189	207	215	238	248	255

出所) 資源エネルギー庁

表 2-17 一般廃棄物発電導入計画例

施設者名	発電所名	都道府県名	新設発電所出力(MW)	完成年月日
札幌市	(仮称)第5清掃工場	北海道	32.8	14.7
千葉市	新港新清掃工場	千葉	21.2	14.10
横浜市	(仮称) 環境事業局金沢工場	神奈川	35.0	13.2
ガスアンドパワー	西島エネルギーセンター	大阪	149.9	14.2
大阪市	環境事業局平野工場	大阪	27.4	15.3
大阪市	環境事業局舞洲工場	大阪	32.0	13.3
大牟田リサイクル発電	大牟田リサイクル	福岡	20.6	15.1
福岡市	臨海工場	福岡	28.0	13.3

注) 比較的規模の大きいものを抽出している

出所) 参考文献[14]

(8) 競合電源システムの設定

以上、中小規模の競合発電システム候補としていくつか取り上げ概要をまとめた。これらのうち、今回は以下の4つを競合として設定し、評価指標構造を設定することとする。太陽光発電は規模の面から、また、水力発電は今後の立地見通しが明るくないことから、競合電源としては含めないこととする。

表 2-18 50~200MW 級の競合発電システムの設定

競合電源システム	燃料	用途
ガスタービン発電機	天然ガスまたは重油	離島・僻地への導入 産業用自家発利用
風力発電	—	地域電源供給用 離島・僻地への導入
燃料電池	天然ガス	産業用自家発利用
廃棄物発電	廃棄物	地域電源供給用

2.2 エネルギーシステムの特徴・性能調査

平成 12 年度「FBR サイクルの多面的評価手法の改良」において、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性、安全性、技術的実現性の 6 視点（社会的受容性を含めれば 7 視点）を評価視点とした。ここでは、各電源システムについて、その特徴や性能などの現状を取りまとめることにより、上記 6 視点に関わる新たな評価指標および 6 視点以外に追加すべき視点があるかどうか検討する。

2.2.1 各視点に関する特徴

(1) 経済性

表 2-19は、旧通産省による各種発電方式の発電原価試算結果である。それについて運転年数を 40 年間、この間の平均設備利用率を 80% 等として試算された平均原価は、原子力は 5.9 円/kWh、LNG 火力は 6.4 円/kWh となっている。本調査研究において経済性の評価は発電原価により行うことを基本としているが、多様な電源を評価対象とする際には、燃料費の変動による原価変動の可能性やその大きさについても、評価指標として含めることができられる。さらに、電力会社など事業主体の設備投資行動に影響を与える因子も考慮する必要があると思われる。新電源システムを開発しても、それを事業主体が買ってくれなければ意味がないからである。

・燃料費割合の扱い

発電原価が同じであっても、そこに占める燃料費の割合が異なる場合には評価結果は異なる可能性もある。

燃料費の発電原価に占める割合⁴：約 60%（石油火力）、約 50%（LNG 火力）、
約 30%（石炭火力）、約 20%（原子力）

⁴ 資源エネルギー庁資料より

表 2-19 総合エネルギー調査会原子力部会による各種発電方式の発電原価

	原子力	水力	石油火力	LNG 火力	石炭火力
発電原価 (A) (運転年数：40 年)	5.9	13.6	10.2	6.4	6.5
発電原価 (B) (運転年数：各法定耐用年数)	7.7	13.6	10.6	7.0	8.2
利用率	80%	45%	80%	80%	80%
モデルプラント出力規模(MW)	1,300	15	400	1,500	900

注：初年度燃料費は、石油 13.13 ドル/バレル、LNG18,902 円/トン、石炭 38.8 ドル/トンとした。

出所）参考文献[15]

・燃料費高騰リスクの扱い

オイルショックのような価格高騰が起こった場合の発電原価高騰リスクを評価指標の 1 つとして加え得るものと考えられる。この評価指標は、資源有効利用性の下位指標とすることも考えられるが、エネルギーショックの結果として発電原価に反映される部分は経済性に含めるべきであると思われる。

・設備投資行動へ影響する因子の扱い

発電設備、特に大規模発電所に対する設備投資は、①投資回収に長期を要する、②投資の絶対額が大きい、といった特徴があるといえる。これら特徴を強く有するシステムに対する投資は、特に民間の事業主体にとって受容しにくいものとなる。さらに、発電所の立地計画から運転開始までのいわゆるリードタイムが長期に及ぶことも、原子力発電所などに代表される大規模電源の特徴であると言える（表 2-20は原子力発電所のリードタイム実績）。リードタイムが大きいということは、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。その意味において、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。

なお、一般にリードタイムは、発電所立地計画公表から運転開始までを言うが、このうち、計画公表から電調審または着工までの期間は、経済性を評価する指標と言うよりもむしろ、社会的受容性を反映した量であると捉えることもできる。この観点からも、リードタイムを経済性に含めることについては議論が残るため、さらなる検討が必要である。

表 2-20 原子力発電所 1号機のリードタイム実績

発電所名	炉型	電気出力 (千kW)	地点公表	電調審	着工	運開
東海	GCR	166	1956	1959	1961	1966
敦賀	BWR	357	1962	1965	1967	1970
福島第一原子力	"	460	1965	1966	1967	1971
美浜	PWR	340	1965	1966	1967	1970
浜岡原子力	BWR	540	1967	1969	1971	1976
高浜	PWR	826	1968	1969	1970	1974
島根原子力	BWR	460	1966	1969	1970	1974
玄海原子力	PWR	559	1968	1970	1971	1975
女川原子力	BWR	524	1967	1970	1971	1984
大飯	PWR	1,175	1970	1970	1972	1979
伊方	"	566	1970	1972	1973	1977
福島第二原子力	BWR	1,100	1968	1972	1975	1982
柏崎・刈羽原子力	"	1,100	1970	1974	1978	1985
川内原子力	PWR	890	1970	1976	1979	1984
巻原子力	BWR	825	1971	1981	2006	2012
泊	PWR	579	1978	1982	1984	1989

出所) 原子力ポケットブック 2001 年度版

(2) 資源有効利用性

資源有効利用性の観点からは、単位発電量あたりの必要資源量が重要な評価指標になると考えられるが、“有効利用”の観点からは、排熱の利用可能性なども評価指標になり得るものと考えられる。ただし、他電源との比較においていくつかの資源について評価を行うという意味においては、必ずしも“有効利用”のみが重要な観点になるとは限らない。例えば、その資源が発電のみに使用されるか、他の用途にも有用であるのか(他用途性)などについても考慮する必要があると思われる。

1) 必要資源量

① 熱効率

火力発電所の熱効率は最新鋭でも 40%程度であり、これを大幅に改善することは困難であるとされてきた。ところが、LNG コンバインドサイクルが開発されたことにより、40%を超える高い熱効率が達成されており(表 2-21)、近い将来には 50%を超え、将来的には 60%を超えるとの想定もある。

また、石炭火力に関しては、IGCC の開発により熱効率の向上が目指されており、1,500°C 級ガスタービンとの組み合わせで送電端効率 50%が実現可能とされている[4]。現在計画されている IGCC 実証機(出力 250MW)では、1,200°C ガスタービンと組み合わせて送電端効率 42% (発電端効率 48%) を目標としている。

一方、原子力(軽水炉)の熱効率は、現状では 33~35%程度であるが、超臨界圧炉の研

究が進められており、この実現によって40%以上の熱効率が期待される。

表 2-21 LNGコンバインドサイクルの熱効率

事業者名	発電所名	所在地	認可出力 (千kW)	運転年月	発電端熱効率
関西電力	姫路第一	兵庫	670×2	平7-4	47.3%
東京電力	横浜	神奈川	1400×2	平10-1	46.6%
中部電力	川越	三重	1650×2	平8-12	45.9%
東京電力	千葉	千葉	1080×2	平10-12	44.9%
中国電力	柳井	山口	700×2	平4-12	44.8%
九州電力	新大分	大分	690, 870, 735	平3-6	44.6%
東北電力	東新潟	新潟	805	平11-7	40.2%

出所) 参考文献[16]より抜粋

② 燃焼度

原子燃料の高燃焼度化は、ウラン資源有効利用だけでなく、使用済み燃料発生量、燃料サイクル費低減も目的としている。東京電力では段階的に高燃焼度化を進めている(表2-22)。

表 2-22 高燃焼度化のステップ(東京電力)

高燃焼度化ステップ	ステップⅠ	ステップⅡ	ステップⅢ
使用開始年	1987	1991	1999
平均濃縮度(Wt%)	3.0	3.4	3.7
取り出し平均燃焼度(GWd/t)	33	39.5	45
全装荷に占める割合(1999年度末)	2%	93%	5%

出所) 参考文献[15]

③ 低減速スペクトル炉による核燃料有効利用

核燃料資源有効利用に資する炉形として、低減速スペクトル炉の研究が行われている。低減速スペクトル炉とは、減速材の割合を減らして中性子エネルギーの高い領域で運転し、U-238からPu-239への転換比を得ようとするものである。すなわち、軽水炉においてFBRを同様の特性を持たせようとするものであり、ウラン資源の有効利用に資するものの一つと位置付けられる。

2) 排熱等の利用

発電に伴って、温排水や蒸気が生成するが、これらを有効に利用している事例がある。例えば、九州電力玄海原子力発電所では、温室へ温風を送り観葉植物などの育成に使用している。また、東京電力福島第一原子力発電所では、温排水によりあわび、サザエなどの養殖支援を行っている。他にも内外に多数の事例がある。

このような利用例は、資源を有効に使っていることにはなるが、本調査においては、“発

電システム”に限定しているため、資源有効利用は発電に資する部分のみを対象とすることが妥当だと考えられる。上記のような利用は、社会的受容性の評価因子を検討する際に議論することとする。

3) 他用途性

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、発電以外にも下記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。

＜天然ガスの発電用途以外の利用例＞

エネルギー利用：都市ガス、CNG自動車の燃料、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、DME、等

4) 埋蔵量

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、この値は技術革新などにより変化し得るものであるため、究極埋蔵量⁶なども指標に含めるべきであるか検討すべきである。

5) 備蓄性

経済性の指標を議論する中で、エネルギーショック発生に関わるリスクについて言及した。同リスクが同程度に大きい資源であった場合、備蓄が容易であればリスクは軽減される。よって、資源の備蓄性という指標を何らかの形で取り入れることが妥当であると考えられる。備蓄性についても、備蓄コストとして経済性に含めるべきかという議論もあるが、ここではその資源の性質として捉え、資源有効利用性の下位指標に含めることとする。

(3) 環境負荷低減性

全ての原子力発電所、また、150MW以上の火力発電所の設置にあたっては、環境影響評価を必ず実施することとなっている（環境影響評価法、電気事業法）。表2-23に、環境影響評価標準項目を示す。大気や水質の汚染物質以外にも、景観や生態系に及ぶまで網羅的に評価することとなっている。

なお、表 2-23には放射性廃棄物に関する項目がないが、原子力発電所の環境負荷低減性を評価する際には、放射性物質の発生量や放出量を評価指標に加える必要がある。(参考までに、東京電力によれば、原子力発電所からの放射性気体および液体廃棄物の放出状況は表 2-24のとおりである。)

表 2-23 火力・原子力発電に関する環境影響評価標準項目

環境要素		発電所稼動時*	建設工事中**
大気環境	硫黄酸化物	○	×
	窒素酸化物	○	○
	浮遊粒子状物質	○	×
	石炭粉塵	○	○
	粉塵等	○	○
	一酸化炭素	×	×
	光化学オキシダント	×	×
	炭化水素	×	×
	有害物質等	×	×
	騒音	○	○
水環境	振動	○	○
	悪臭	×	×
	低周波空気振動	×	×
	水の汚れ	○	×
	富栄養化	○	×
	水の済り	×	○
	水温	○	×
	水素イオン濃度	×	×
	溶存酸素量	×	×
	大腸菌群数	×	×
その他環境	p-ヘキサン抽出物質	×	×
	健康項目、要監視項目、特殊項目、塩分、塩素イオン濃度	×	×
	有害物質等	×	○
	化学的酸素要求量、全硫化物質、強熱源量、粒度分布、有害物質	×	×
	地下水	×	×
	流向・流速	○	○
	河川・湖沼	×	×
	重要な地形及び地質	○	×
	地盤沈下	×	×
	土壤汚染	×	×
動物	日照阻害	×	×
	重要生息地	○	×
植物	海域に生育する動物	○	×
	重要生息地	○	×
生態系	海域に生育する植物	○	×
	地域を特徴付ける生態系	○	×
景観	主要な眺望点および景観資源ならびに主要な眺望景観	○	×
	産業廃棄物	○	×
廃棄物等	残土	×	○
	二酸化炭素	○	×
主要な人と自然とのふれあいの活動の場		○	×

* 発電所稼動時： 発電所の存在、稼動、資材搬入を含む

** 建設工事中： 建設機械の稼動、工事用資材の搬入時、造成時

出所) 参考文献[20]

⁵ もっとも、究極埋蔵量も様々な見解があり、必ずしも今後変化が無いとはいえないものである。

表 2-24 放射性気体・液体廃棄物の放出状況（1998年、単位：ベクレル）

廃棄物		発電所	放出管理目標値	放出量	
ガス廃棄物	希ガス	福島第一	8.8×10^{15}	N.D.	
		福島第二	5.5×10^{15}	N.D.	
		柏崎刈羽	6.7×10^{15}	N.D.	
	よう素	福島第一	4.8×10^{11}	2.28×10^6	
		福島第二	2.3×10^{11}	N.D.	
		柏崎刈羽	2.3×10^{11}	N.D.	
液体廃棄物 (トリチウムを除く)		福島第一	2.2×10^{11}	N.D.	
		福島第二	1.4×10^{11}	N.D.	
		柏崎刈羽	2.5×10^{11}	N.D.	

出所) 参考文献[21]

(4) 安全性

原子力発電では、従来型 BWR と比較して ABWR は、インターナルポンプの採用によって従来の外部再循環系ループが不要となったことにより再循環系配管の破断を想定する必要がなくなったこと、また、原子炉格納容器がコンパクトになり耐震設計上も有利となったことなど、安全性が向上したとされる[15]。

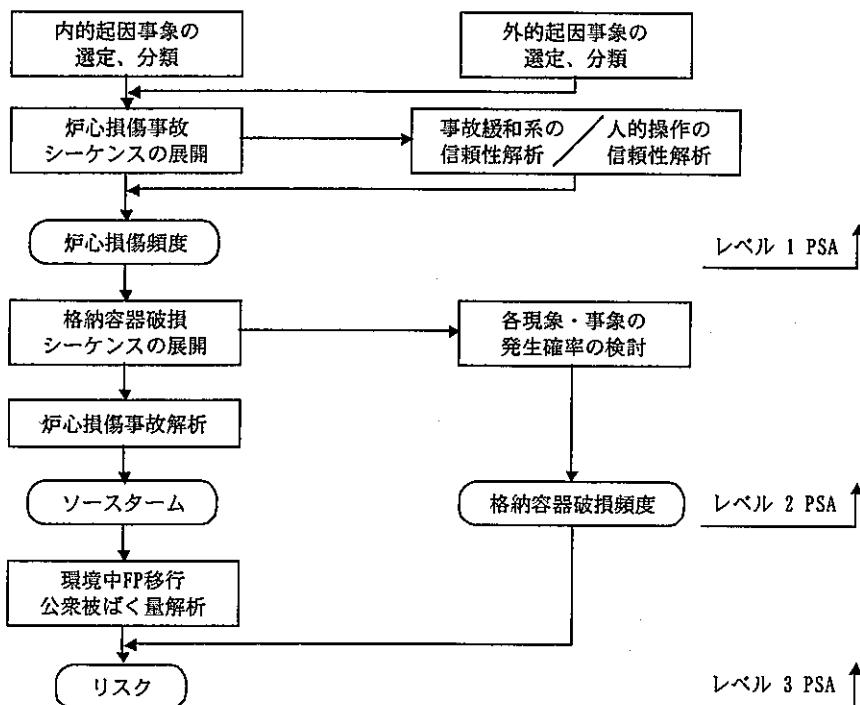
このような改善がどの程度の安全性向上をもたらしたのかを把握するには、実例をもとに事故数等を統計的に解析するのが最も分かりやすい方法である。しかし、そのアプローチをとるには、原子力をはじめとする電源システムの事故事例は少なすぎる。従って、安全性評価は、確率論的安全評価手法 (PSA) などに頼らざるを得ないのが現状である。原子力については、以下に述べるように PSA に関する多くの研究事例がある(例えば[24][25])。また、各種エネルギーシステムについての総括的なりスク評価の研究事例についても述べる。

1) 確率論的安全評価 (PSA)

原子力の PSA は、図 2-3に示すように、原子力発電所を構成する系統・機器の信頼性を分析し、炉心損傷事故の発生頻度までを評価するレベル 1 PSA、多量の放射性物質が施設外へ放出される事故の発生頻度とソースターム(放射性物質の種類、放出量、放出時期など)までを評価するレベル 2 PSA、さらに公衆のリスクまでを評価するレベル 3 PSA の 3 段階に分けられる。PSA の特徴は、イベントツリーやフォルトツリーの活用にある。まず評価の対象とする原子炉の設備、特性を調査、つぎに炉心損傷に至る可能性のある事故シーケンスの引き金となる起因事象(初期事象)を選定する。そのおのおのに対して事象の拡大防止

や影響緩和のための原子炉停止や炉心冷却などを行うシステムが成功または失敗する組合せを示したイベントツリー、また、ある事故・異常の原因を探るべくブレイクダウンしたフォルトツリーを用いて、炉心損傷に至る連鎖関係を検討するという手順である。

図 2-3 原子力施設に対する PSA 手法



出所) 参考文献[25]

火力発電に対しても PSA を適用した報告事例がある⁶。火力発電設備を対象とした場合には、評価すべき事故形態が放射性物質の漏洩ではなく、火災や爆発など多岐にわたるため、初期事象数が膨大となりイベントツリーを用いることは適当ではない。そこで、各設備の異常・故障から考えられる事故を抽出した後、現場担当者の意見に基づいて各事故の重大性を評価する。そして、重大事故であると判断された事故について、フォルトツリーにより原因を展開するという手順が取られている。しかしながら、同報告においては、事故確率評価を目的としておらず、危険度の高い事故への対策案の議論が目的であったため、確率値などの定量的評価結果は示されていない。

2) Inhaber による各種エネルギーシステムの総括的リスク評価

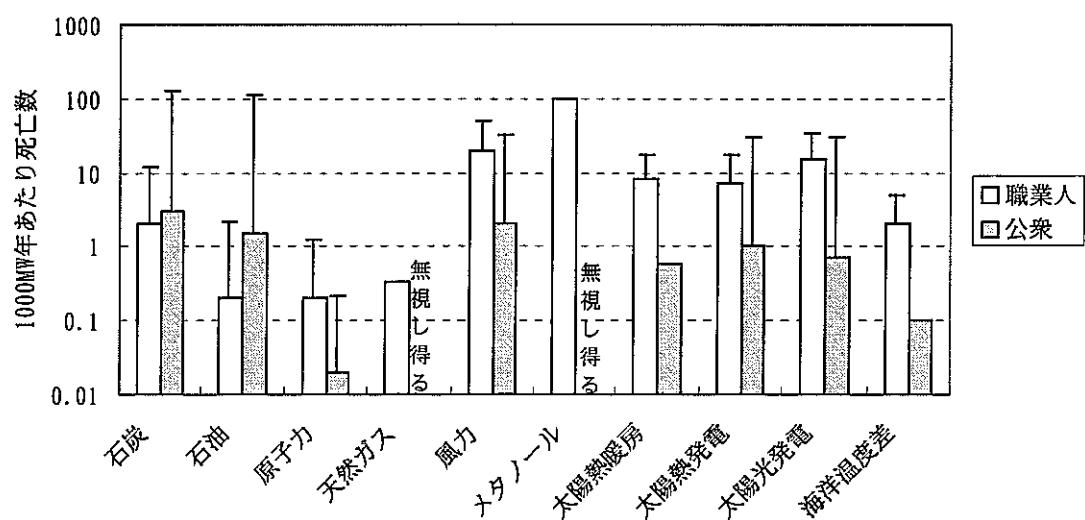
平成 12 年度「投資対効果評価システムの開発」報告書[27]に紹介した Inhaber の研究では、石炭、石油、天然ガス、原子力、太陽光、風力、水力などについて、それらのエネル

⁶ 三菱総合研究所の受託研究より

ギー供給施設の運転がもたらすリスクのみならず、原料や燃料を採取・輸送・加工する過程も含めてリスク評価を行っている（図 2-4）。この報告は、各種電源システムについて総括的にリスク評価を行っている点で非常に有用である。しかしながら、報告年が 1970 年代と古いため、現在の評価さらには将来の評価を行うにあたってこの結果をそのまま用いることはできない。

そこで、図 2-4 を導くのに用いた原データをアップデートすることで利用し得るかどうかを検討する。表 2-25 は、石炭火力発電システムのリスクを求めるために使用したデータである。燃料採取、輸送、電力生産の各過程における事故リスク、病気のリスクを様々な文献から収集しており、全ての発電システムに対しての引用資料総数は 200 近くにも及ぶ。これらを近年のデータに更新することは、多くの時間を必要とするものである。

図 2-4 各種エネルギー系統による 1000MW 年あたりの職業人と公衆の死亡数



出所) 参考文献[27]より再掲

表 2-25 石炭火力発電システムのリスク (1MWあたり)

			燃料の採取・取扱	輸送	電力生産	合計
職業人	事故	死亡 負傷	1.50E-03 7.00E-02	5.00E-03 4.80E-02	9.00E-05 8.50E-03	6.59E-03 1.27E-01
	病気	死亡 不能	3.50E-03 8.20E-04			3.50E-03 8.20E-04
公衆	事故	死亡 負傷		1.90E-03 1.60E-03		1.90E-03 1.60E-03
	病気	死亡 不能	1.40E-02		1.40E-01 216	1.54E-01 2.16E+02

注) 下記文献等よりデータを収集している

- C.L. Comar and L.A. Sagan, "Health Effects of Energy Production and Conversion", Annual Reviews of Energy, 1, 581-599(1976).
- "A Study of Social Costs for Alternative Means of Electrical Power Generation for 1980 and 1990", Argonne National Lab., (1972)
- L.D. Hamilton, ed., "The Health and Environmental Effects of Electricity Generation - A Preliminary Report", Brookhaven National Lab., 1974.
- "Energy and the Environment: Electrical Power", Council on Environmental Quality, Washington, D.C. 1973.
- L.A. Sagan, "Health Costs Associated with the Mining, Transport and Combustion of Coal in the Stream Electric Industry", Nature, 250, 107-111v(19974).
- "Mineral Resources and the Environment", National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1975

3) ExternE プロジェクトによる発電システムの外部コスト試算

ExternE プロジェクトとは、1991 年より EC 委員会が米国DOE と協力して行っているエネルギー・システムの外部性評価プロジェクトである。同プロジェクトでは、EU 各国における具体的な発電所サイトにおける外部コストを燃料採掘からのライフサイクルにわたって算出し、それを積み上げる“ボトムアップ”方式の評価を試みている。

最近の報告は 1997 年になされており、石炭、石油、天然ガス、原子力、風力、水力、太陽光などの発電システムについて、人体影響に関わる外部コスト、地球温暖化に関わる外部コストを算出している。例として、石炭、LNG、風力についての報告内容を表 2-26 に示す。

同プロジェクトの特徴は、実存する発電所を具体的に想定して試算していることがある。従って、本調査研究で競合エネルギー・システムを想定した際に、そのシステムに類似した発電所に対する試算結果を用いることが可能になると思われる。なお、貨幣換算には、VSL (Values of Statistical Life: 統計的生命の価値) が用いられている。

表 2-26 ExternE による外部コスト試算結果

(石炭火力発電)

国名	サイト、出力規模	発電プロセス			その他(燃料採掘輸送等)			単位: mECU(1995年)/kWh
		人体	地球温暖化	その他	人体	地球温暖化	その他	
ベルギー	Genk, 274 MW	17.7	4-128	0.6	0.4	0.3-11	0.3	
ベルギー	Genk, 274 MW	101.2	3-127	3.8	0.4	0.3-11	0.2	
ドイツ	Lauffen, 600 MW	11.9	3-111	0.15	0.19	0.4-14	1.3	
スペイン	Valdecaballeros, 1050 MW	25.3	4-141	0.88	2.41	0.04-1.5	0.7	
フィンランド	Meri-Pori, 560 MW	2.5	3-108	0.23	1.2	0.3-12	0.5	
フランス	Cordemais, 600 MW	48.4	4.1-151	0.84	-	-	-	
オランダ	Amsterdam, 600 MW	8.1	3-126	0.6	2	0.3-11	0.1	
スペイン	Vasteras, 520 MW CHP	0.7	3-102	0.01	0.4	0.5-17	1.4	
イギリス	West Burton, 1800 MW	23.4	3-118	1.6	0.9	0.2-7	0.02	

出所)ExternE プロジェクト HP より抜粋

(天然ガス発電)

国名	サイト、出力規模	発電プロセス			その他(燃料採掘輸送等)			単位: mECU(1995年)/kWh
		人体	地球温暖化	その他	地球温暖化	その他	その他	
オーストリア	Linz, 116 MW CHP	1.6	1.5-56	0.05	0.4-15	0.06		
ベルギー	Drogenbos, 460 MW	3	1.5-54	0.12	0.1-3.1	0.07		
ドイツ	Lauffen, 780 MW	2.8	1.3-49	0.03	0.2-7	1.6		
デンマーク	Hillerod, 77 MW CHP	3.4	1.8-64	0.16	0.3-11	1.2		
スペイン	Valdecaballeros, 624MW	3.4	1.5-56	0.14	0.02-0.9	1.70E-02		
フランス	Cordemais, 250 MW	11.3	1.5-56	0.27	0.1-4.5	-		
ギリシャ	Lavrio, 550 MW	2.5	0.8-28	0.85	4e-3-0.16	0.06		
イタリア	Trino Vercellese, 640 MW	6.5	1.7-60	0.16	0.12-1.5	0.13		
イギリス	West Burton, 652 MW	3.3	1.5-55	0.2	0.04-1.6	0.1		

出所)ExternE プロジェクト HP より抜粋

(風力発電)

国名	サイト、出力規模	発電プロセス			その他(燃料採掘輸送等)			単位: mECU(1995年)/kWh
		騒音	景観	その他	人体	その他	その他	
ドイツ	Nordfriesland, 11.25 MW	0.064	0.06	ng	0.31	0.03-1		
デンマーク	Tuno Knob, 5 MW	0.004	ng	0.009	0.5	0.1-3		
デンマーク	Fjaldene, 9 MW	0.020	0.2	0.020	0.3	0.1-2		
スペイン	Cabo Villano, 3 MW	0.008	ng	0.950	0.8	0.02-0.7		
ギリシャ	Andros, 1.6 MW	1.120	ng	0.140	0.9	0.03-1.14		
ノルウェイ	Vikna, 2.2 MW	ng	ng	0.003	0.4	0.06-2.1		
イギリス	Penrhuddlan, 31 MW	0.070	ng	0.200	0.8	0.03-1.3		

(5) 核拡散抵抗性

核拡散問題は核燃料を使用する電源に限られる問題であるが、この問題と類似したエネルギーに関わる政治上の問題として、エネルギー安全保障を考慮する必要があると考えられる。

国際エネルギー機関（IEA）の予測では、世界の原油生産に占めるOPECのシェアは、以下の理由から今後も伸びるとしている[34]。

- ・中東湾岸産油国には世界の確認可採埋蔵量の約6割が存在するが、その年間生産量は世界の3割に満たない。
- ・その可採年数は100年を超えるが、非OPECのそれは20年程度である。
- ・中東湾岸諸国の石油開発、生産コストは世界で最も低いレベルである。

このような状況のなかで、石油を中心とするエネルギー安全保障について、次の2つの異なった見方がある。下記bの立場から考えれば、石油依存度を減少させる、または、自給性の高い電源ほど高い評価が与えられる指標として、エネルギー安全保障に関わる評価指標を設定する必要があると思われる。

- a. 近年は産油国と消費国の協調のもとに、石油は市場連動型の取引が主として行われており、市場の透明度を高めることにより安定供給の確保は可能である
- b. 不安定な地域からの石油輸入依存度の増大は、経済上または安全保障上のリスクを高めるものとして将来の石油供給中断に対する脆弱性への対応政策が必要である。（主としてIEA加盟諸国の立場）

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において、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。指標として二つ（世界の需給バランスに関する、輸入相手国に関するリスク）を設定している。以下、その概要を示す。

1) 世界の需給バランスから見たリスク

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”的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①のばらつき（標準偏差）をもって、リスクの程度を比較している（図2-5）。石油の場合が標準偏差が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、原子力については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であろう。

①世界の需給バランスから見たリスク

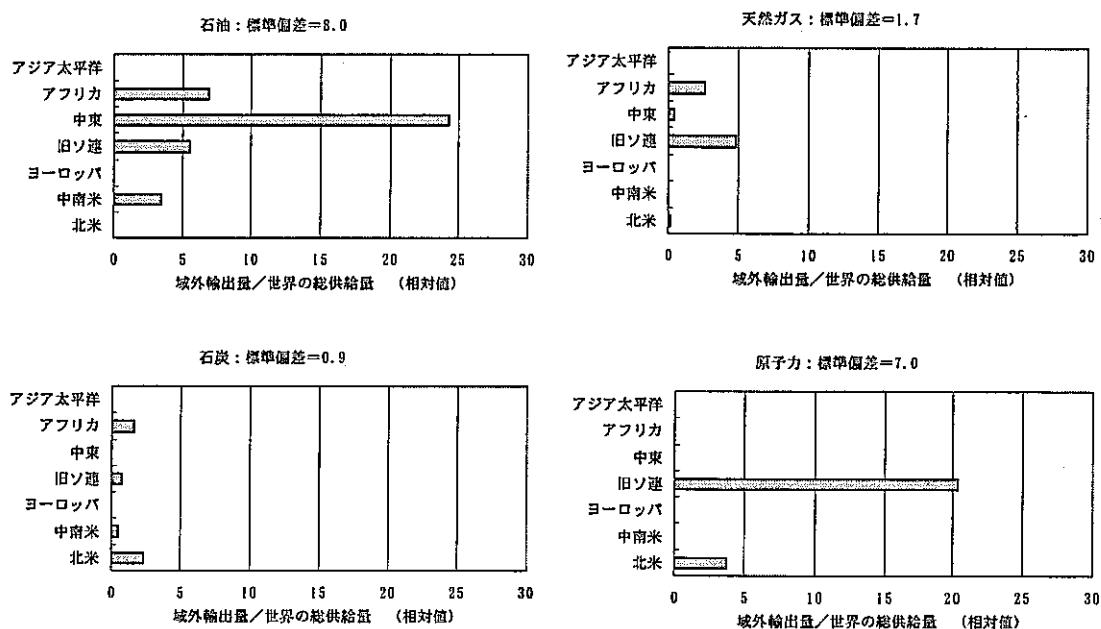
$$= \text{②エリア間の取引度要因} \times \text{③特定エリアの輸出集中要因}$$

②エリア間の取引度要因

$$= \text{世界の域外輸出量} / \text{世界の総供給量}$$

③特定エリアへの輸出集中要因 = 特定エリアの域外輸出量／世界の域外輸出量

図 2-5 世界の需給バランスから見たリスクの比較



出所)参考文献[19]

2) 我が国の輸入相手エリアに関するリスク

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)したものを用いている(表 2-27)。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。結果を見ると(表 2-28)、天然ガスは石油の 2 倍程度のリスクを持つ一方、石炭、原子力はリスクが小さくなっている。

表 2-27 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

出所)参考文献[19]

注) 同文献において、Euromoney誌"Country Risk"より作成。国別の指標を輸入量をウェイトに加重平均。大きいほどリスクが大きいことを示す。

表 2-28 我が国のエリア別輸入依存度から見たリスクの比較（石油を1とする）

石油	天然ガス	石炭	原子力
1.0	1.94	0.32	0.03

(6) その他

これまでに挙げた視点以外に、発電システムどうしの比較に用いられる指標として、エネルギー収支がある。これは、発電所の建設・運用などに投入するエネルギーと産出する電気エネルギーとを比較したものであり、投入エネルギーに燃料の熱量を含めるか否かにより定義が異なってくる。また、産出エネルギーと投入エネルギーの比較には、両者の比をとるエネルギー収支比と、両者の差をとる正味エネルギー収支がある。

電力中央研究所では各発電システムのエネルギー収支比を求めており、適宜データを更新しエネルギー収支比を改訂している([30]～[31])。なお、ここでは投入エネルギーに発電用燃料の熱量を含めていない。大規模発電システムを対象とした検討結果を表 2-29に示す。ここに挙げた以外に、水力、風力、太陽光などのシステムに関しても分析を行っている。

表 2-29 発電システムのエネルギー収支比

システム	発電出力[MW]	設備利用率[%]	エネルギー収支比	検討プロセス
原子力	1,000	75	24	採掘、精錬、濃縮、転換、加工、発電、SF貯蔵、廃炉
石油火力	1,000	75	21	採掘、輸送、精製、発電
LNG火力	1,000	75	17	採掘／液化、輸送、発電
石炭火力	1,000	75	6	採掘、輸送、発電、灰捨て

出所) 参考文献[31]

2.2.2 中小規模電源に特有の特徴

ここでは、中小規模電源の特徴として前節に挙げた以外の事項について検討する。前年度報告において小型炉の評価視点に追加すべき事項として、電力品質と簡便性を挙げており、まずこれらについて特徴を整理することとする。さらに、特に自然エネルギーに対しては、その導入限界量も議論すべきであると考えられる。

(1) 簡便性

前年度に提案した指標構造においては、設置、運用、廃棄の簡便性を評価することとなっていた。今回はこれら3点以外に「予備調査の簡便性」を追加することを検討する。

自然エネルギーを利用するもの、特に風力発電では、実際の建設前に風況精査を長期に亘って行うことが必要とされる。一般に、風況精査を始めてから2年後にシステム設計を行って設備導入される（表2-30）。

また、廃棄物発電についても、ごみ排出量の状況に発電設備導入計画が影響を受ける。廃棄物処理行政においては、処理計画に関する施策を定めた廃棄物処理基本構想および廃棄物処理基本計画を受けて、施設建設用地の選定がなされ、廃棄物処理焼却施設整備計画が策定される。この廃棄物焼却施設整備計画において、廃棄物発電・焼却熱利用設備に係わる基本計画が検討されることとなる。

表2-30 風力発電の風況調査実施年と運転開始年

設置者	設置場所	風況精査実施年度	システム設計	運転開始時期
(株)稚内風力発電研究所	北海道 稚内市	1995	1997	1998
北海道室蘭市	北海道 室蘭市	1995		1998
NEDO/静岡県大東町	静岡県 大東町	1995	1997	1998
NEDO/長崎県小長井町	長崎県 小長井町	1995	1997	1998
(株)秋田ウインドパワー研究所	秋田県 秋田市	1997		2000
(株)ドリームアップ 苫前	北海道 苫前町	1996		2000

*空欄はNEDOフィールドテスト事業一覧に公表されていない。

(2) 電力品質

風力発電など自然エネルギーによる発電では、出力の変動が自然現象に依存し、急激な出力変動が系統全体に影響を及ぼす可能性がある。例えば北海道電力においては、系統安定性を考慮して管内の風力発電導入量（系統に接続するもののみ）の上限を15万kWと設定しており、急激な出力変動への対策としている。

一方、系統に連係せず、地域で閉じた利用形態をとる場合を想定すれば、系統への影響はないものの、その地域の需要カーブに追従した電力供給を行う必要が生じる。すなわち、負荷追従性、制御容易性などの指標が重要なものと考えられる。

(3) 導入限界量

電源種によっては、その導入量に限界があるものがある。ここで対象としているものは、風力発電と廃棄物発電がそれにあたる。

1) 風力発電の導入限界量

風力発電の導入限界量は NEDO により試算されている[18]。平均風速 5m/s 以上の風力発電施設建設が可能な地域の全てに導入することを仮定すると、500kW 級発電機が約 7 万機、すなわち 3,500 万 kW の導入が可能となる。これに対して、実際的な潜在量は、自然公園内は対象としないなど一定の条件のもとに算出され、約 500 万 kWとの結果となっている。さらに、景観等も考慮することで、その半分程度（250 万 kW）になるとの考え方もある。

なお、我が国の政策目標としての導入目標値は、表 2-32に示すような考え方により、300 万 kW とされている

表 2-31 風力発電導入限界量 (NEDO 試算)

潜在量の考え方	試算結果	備考
潜在導入可能量	3,500 万 kW	平均風速 5m/s 以上の地域全てに導入
実際的潜在量	500 万 kW	国定公園などには導入しない
景観等も考慮した場合	250 万 kW	実際的潜在量の半分程度と仮定

表 2-32 総合エネルギー調査会新エネルギー部会による風力発電導入目標値

設置可能面積	197 平方 km	年平均風速 6m/s 以上、自然公園を除く 風車 1 基の所用面積 = 61,500m ²
設置面積（2010 年度）	上記の 80%	
風車容量	1300kW	
導入目標値	300 万 kW	

出所) 新エネルギー部会資料、平成 13 年 2 月

2) 廃棄物発電の導入限界量

廃棄物発電の限界量は、その燃料となる廃棄物の発生量より試算することが可能である。平成12年度のごみ焼却量実績値（一般廃棄物）をもとに、ごみ発熱量を平均2,000kcal/kgとして試算すると、表2-33のようになる。

表2-33 廃棄物発電導入限界量試算例（一般廃棄物）

平成12年度 ごみ発生量(t)	熱量(Gcal)	発電効率	発電電力量 (億kWh)	発電容量 (万kW)
40,748,716	81,497,433	15.0%	142.15	325

注1) 発熱量は2,000kcal/kgとし、設備利用率を50%とした。

2.3 評価構造の構築

2.3.1 評価視点

本調査研究で検討すべき7視点（①経済性、②資源有効利用性、③環境負荷低減性、④核拡散抵抗性、⑤安全性、⑥技術的実現性、および、⑦社会的受容性）のうち、ここでは、①～⑤について、前節までに議論した内容を踏まえて評価構造案を提示する。

まず、評価視点そのものについて、その妥当性を検討し、評価視点の名称を変更する必要があるものについては改訂評価視点案を記した（表2-34）。

表2-34 評価視点の妥当性検証

現行評価視点	妥当性	改訂評価視点
経済性	ここで具体的に扱うパラメータは発電原価であり、現行で妥当。	経済性
資源有効利用性	新たな指標として挙がったもののうち、“備蓄性”以外はいずれも“有効利用”に関するものであると言え、現行で妥当とする考え方もある。しかし、“備蓄性”など、各資源が持つ他の性質を含めるとすれば、“資源供給性”や“資源利用性”などとして一般化することも考えられる。	資源供給性

環境負荷低減性	景観などの新たな指標を加えるのであれば、“環境負荷”よりはむしろ“環境影響”とするほうが分かりやすいのではないかと考えられる。また、必ずしも低減性のみを評価するのではないと考えれば、“環境影響性”とする考え方もあり得る。	環境影響（低減）性
核拡散抵抗性	核燃料以外に関しては、エネルギー安全保障についての指標を追加する必要がある。これらは、国際紛争やテロリズムをもたらす可能性に結びつく指標である。指標を統合するか否かは下で検討する。	エネルギー安全保障を付加
安全性	現行のままで妥当であると考えられるが、扱う範囲を客観的見地からのリスクに限定し、後述する安心感や信頼感とは区別する必要がある。	安全性
—	エネルギー収支を新たな指標として加えるべきと考えられる。ただし、1つの視点や指標として扱うか、他の指標を計算する際に投入エネルギーを差し引くなどの方法で組み込むか、下で議論する。	エネルギー収支
—	特に、中小規模電源を対象としたときに重要な視点になると思われる	簡便性
—		電力品質
—		導入限界量

2.3.2 経済性

経済性に関して新たに含めるべき評価指標として、燃料費の割合と燃料費高騰リスク、さらに、投資回収期間や投資額の大きさなど設備投資決定への影響因子が前節で挙がった。ここでは、経済性として評価すべき指標として、発電原価、発電原価変動可能性（←燃料費割合、燃料費高騰リスク）、設備投資回収性（投資回収期間、投資絶対額）と3つに整理する。

1) 発電原価

発電原価については、従来どおりの指標として単位電力量あたり単価を用いることとする。

2) 発電原価変動可能性

発電原価変動可能性は、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。すなわち、

$$\text{発電原価変動幅} = \frac{\partial \text{発電原価}}{\partial \text{燃料原料単価}} \times \text{燃料原料単価変動幅}$$

で評価するものとする。発電原価に占める設備費、燃料費、OM費の比率をそれぞれ α 、 β 、 γ とすれば、

$$\text{発電原価} = \alpha \text{設備費} + \beta \text{燃料費} + \gamma \text{OM費}$$

$$\frac{\partial \text{発電原価}}{\partial \text{燃料原料単価}} = \beta \frac{\partial \text{燃料費}}{\partial \text{燃料原料単価}}$$

と表される。

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）での変動を対象とする（図2-6）。

エネルギーショック時の燃料価格上昇は、平成11年度委託研究[27]において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。すなわち、

$$\text{エネルギーショック時燃料原料単価変動幅} = \text{エネルギーショック発生確率} \times \text{発生時の燃料原料価格上昇率}$$

と表すこととする。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。

$$\text{供給安定時燃料原料単価変動幅} = \text{各年の価格変動幅平均値}$$

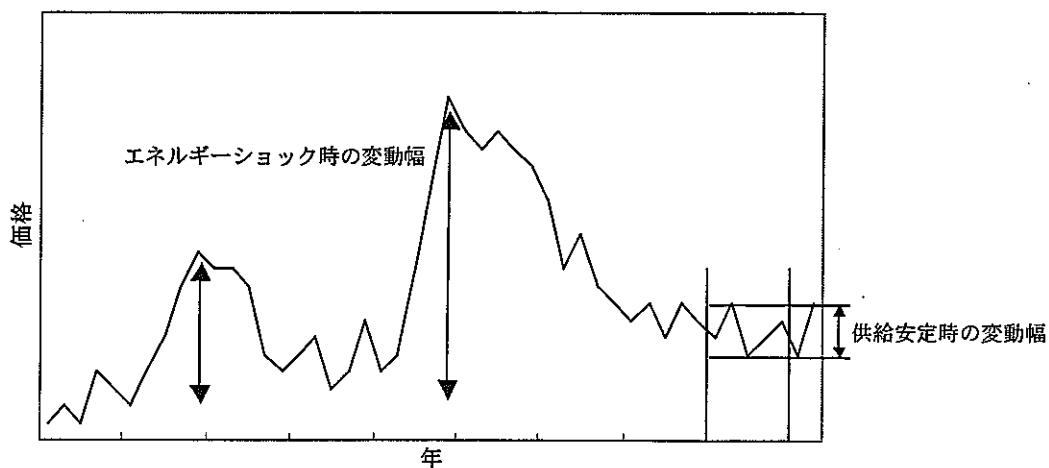
しかしながら、ここで述べた定量化手法は必ずしも価格変動幅を十分に表しているとは言えない。なぜなら、長期と短期と概念を分けてはいるものの、長期変動因子はエネルギーショックのみでの評価であり需給による長期変動因子は含まれていないからである。評価を運用する上でこの定量化手法が妥当でないと判断される場合には、燃料種ごとに一对比較を行うこととなる。

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。①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観点とし

たほうが、一対比較が容易であると思われる。②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、結果の解釈がしにくくなる畏れが考えられる。

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ものである。よって、これら項目は資源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、経済性の一部に含めることとする⁷。

図 2-6 燃料価格上昇幅の概念説明図



注) 概念説明のための図であり、曲線は特別の意味を持たない。

3) 設備投資回収性

投資の回収期間は、設備投資の採算性を評価する際にしばしば用いられる指標であり、次式で示される。

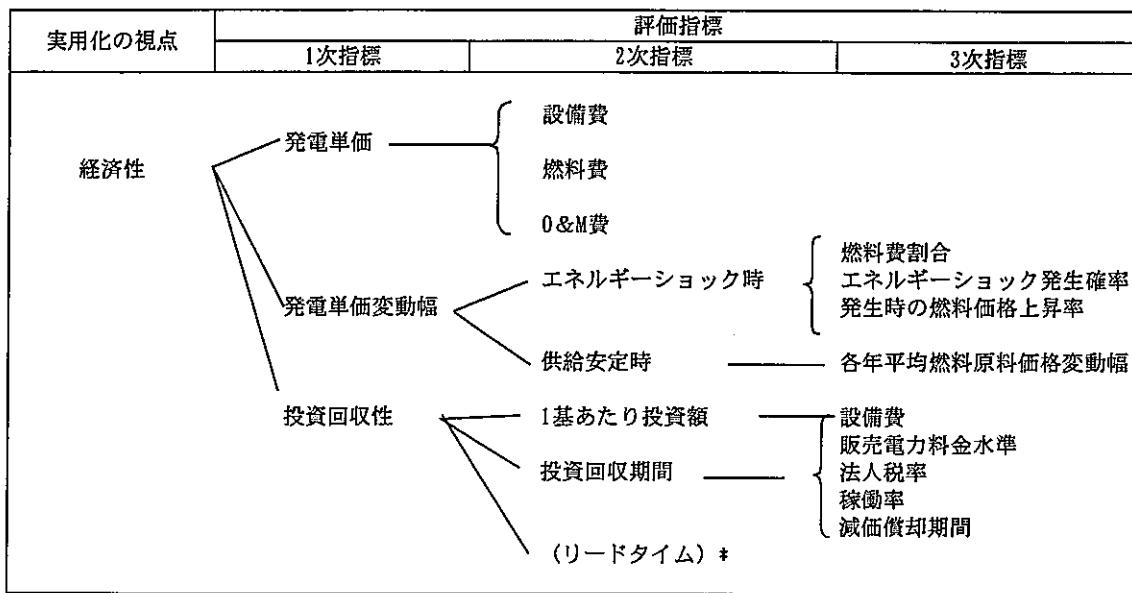
$$\text{回収期間} = \frac{\text{設備投資額}}{\text{予想キャッシュフロー (年平均)}}$$

ここで、キャッシュフローとは税引き後利益⁸と減価償却費の合計をさす。税引き後利益の予想には、事業主体が電力を販売する際の料金、税率、稼働率等を設定する必要がある。また、減価償却費の算定にあたっては耐用年数を設定することが必要である（図 2-7）。発電設備投資の特徴の 1 つとしてその総額が大きいことがあると上で述べたが、投資回収期

⁷ 例えば極端な例として、経済性のみで判断する（他の重みはゼロとする）評価者にとっては、資源の価格変動が発電原価に及ぼす影響は関心事であると考えられる。

間のみではそれを陽に評価因子とすることはできない。従って、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こととする（図2-7）。さらに、前節で述べたように、リードタイム（地点公表から運転開始までの期間）についても、この指標に取り込む可能性として挙げておくこととする。

図2-7 経済性の指標構造案



*社会的受容性を反映した指標とも考えられる。

2.3.3 資源供給性

現行の資源有効利用性評価指標構造は、核燃料のみを対象としているため、ここでは資源一般に拡張する必要がある。平成12年度の検討では、小型炉評価指標検討の中で資源有効利用性の拡張案として2通りを示している。1つは1次指標に資源の種類を置く方法であり、もう1つは資源有効利用性をさらに「資源供給性」と拡張し、備蓄性や他用途性など資源そのものが持つ性質を評価指標構造に含める形であった。ここでは、「資源供給性」として拡張して考えることとする（後者の形）。

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）、増殖比（FBR）等のパラメータが必要となる。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、石油）で比較するため、単位を統一する必要がある⁸。

KWhあたり資源量が同程度であったとしても、そのシステムの規模や運転期間によりシス

⁸ 回収期間算定が目的であるため、投資回収に実際に充当できる利益として税引き後利益を用いる。

⁹ toe（石油換算トン）、kcal、などが考えられる。

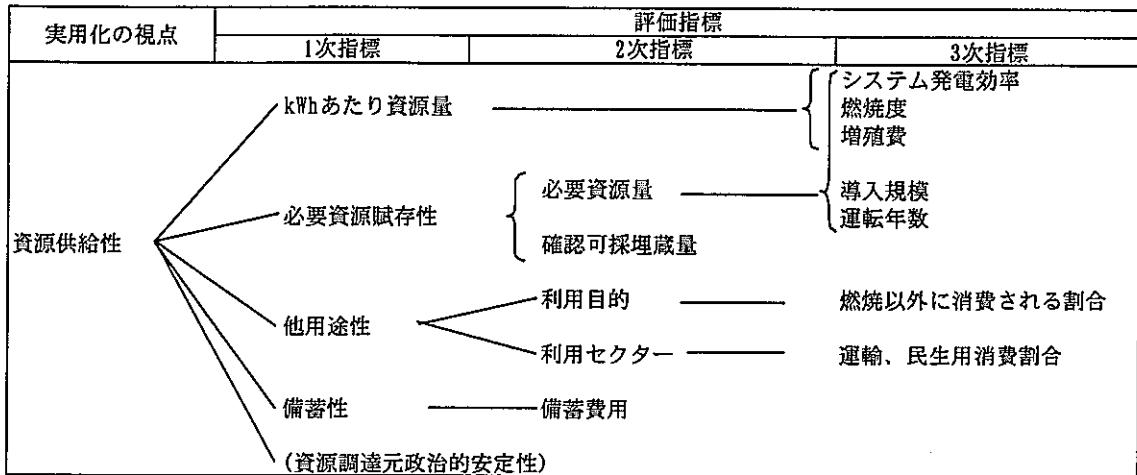
テム導入に必要となる資源量（必要資源量）は異なる。また、必要資源量に対する評価は、その資源の埋蔵量の多少によって異なるべきであろう。よって、ここでは、埋蔵量と必要資源量の比で評価することとする（必要資源賦存性）。埋蔵量を示す指標には、確認可採埋蔵量や究極埋蔵量がある。これらのうち、可採年数は“その年の生産量”を定める必要があり将来にわたるパラメータ設定が困難であり、究極埋蔵量については様々な見解が存在するために、やはり設定が困難になることが予想される。従って、ここでは確認可採埋蔵量で評価することが妥当であると考えられる。ここで、本評価における必要資源量とは我が国における導入量のみを対象としているため、海外での導入動向因子は含まれていない。そのような状況下で埋蔵量/必要資源量の比を評価することは妥当ではないという考え方もある。しかし、必要資源賦存性は資源の可採年数などを正確に予測することが目的ではなく、“どのくらい豊富にある資源をどの程度使用ことに相当するのか”という、当該電源システムの性質、ならびにその燃料となる資源の性質を評価することが目的である。よって、ここで埋蔵量/必要資源量の比として評価することは妥当であると考えることができる。

埋蔵量の評価にあたっては、必要資源量と結びつけて“必要資源量／埋蔵量”といった指標を作成することも可能である。必要資源量（発電効率などから算出されるため、資源ごとの差は数%～数10%であると考えられる）に対して埋蔵量（場合によっては数倍以上の差がある）の評価が大きく影響してしまうことになりかねない。ここでは、重み付けによって両者の影響度を定めるのが望ましいと考え、別々に一次指標として設定した。

また、前節で述べたように、他の用途（化学製品原料など）にも利用できる資源をより節約するほうが望ましい。よって、他用途性を1次指標に加えている。他用途性の2次指標として、燃焼を目的とするか否か（利用目的）、また、移動体や小規模事業・個人による利用が簡易か否か（利用セクター）の2指標が挙げられる。前者は消費量に占める“原料用”割合、後者は消費量に占める“運輸用”“民生用”的割合により評価することが可能である。ただし、本評価システムの評価対象期間はFBR導入開始後（例えば2030年以降）であるため、当該期間における利用目的や利用セクターのシナリオを想定することとなり、評価結果がそのシナリオに大きく影響されることに留意する必要がある。

さらに、前節では備蓄性を指標に加えることを検討すべきと述べている。同節では、エネルギー安全保障に関わる各資源のリスク評価試算について述べたが、そこでは、輸入先やそれら各国の安定性評価などが指標であり、資源そのものの性質に対する評価とは異なるものとして区別し得ると考えられる。それに対して、備蓄性（備蓄の容易性）は、その資源の性質が反映される指標であるため、資源性の下位指標として含めることが妥当であると思われる。エネルギー安全保障を、“資源調達元政治的安定性”といった指標で資源性の1次指標に加える可能性も考えられ、後において検討する。

図 2-8 資源性の評価構造案



2.3.4 環境影響低減性

(1) 評価構造について

表 2-23に示した環境影響項目は、排出物質による影響のみならず、景観や悪臭、騒音・振動といった項目まで網羅しているが、放射性物質に関わる項目がない。ここでは、表 2-23をもとにして、これに放射性物質を加え、環境影響項目となるべく網羅的に取り込み得る構造案とした（図 2-9）。

このような構造によって評価を行う際、各項目を互いに結びつける手順を定めておく必要がある。すなわち、放射性物質による影響、その他放出物（窒素酸化物、二酸化炭素等）による影響、騒音に関わる影響などが個別に定量評価できたとし、それらを総合する手続きを検討する必要がある。手続きとしていくつか考えられるが、それぞれ課題を含んでいく（表 2-35）。

同表の a. に記した“制限値で除す手法”は、納得性、説得性と言う点では優れていると思われるが、実際には、制限値としてどの値を採用するか、定量化できない項目にはどのような仮定を置くか、といった判断が必要となる。その意味では、b. に記した効用関数を用いる手法についても、運用の仕方によっては同様のロジックとすることができる（効用関数の満足値設定において排出制限値を採用し、関数形を直線とする）。なお、評価には足切り法を含めることも重要であり（平成 11 年度検討より）、c. に記した“不可”項目が 1 つでもあれば得点をゼロとする可能性も考えられる。

以上より、環境影響評価項目結合手順としては、表 2-35の 3 手法を組み合わせた以下の手順が妥当であると考えられる。

- ・定量化可能な項目は効用関数により得点化。

- ⇒ 効用関数設定には、種々の制限値を参考にする。
- ・定量化不可能な項目については一対比較により評価。
 - ・各項目とも、足切り値を設定する。

表 2-35 環境影響評価項目結合手順と問題点

手続き		問題点
a.	各項目の値を、それぞれの制限値で除して統一化	<ul style="list-style-type: none"> ・制限値の値は自治体によって異なるなど、様々である。 ・定量化できない項目がある。
b.	定量化可能な項目は効用関数により得点化。 定量化不可能な項目は一対比較。	<ul style="list-style-type: none"> ・多数候補の比較に際して一対比較は煩雑である。 ・効用関数の設定が結果へ影響する。
c.	可（○）または不可（×）で評価。	<ul style="list-style-type: none"> ・“不可”との評価になるシステムはそもそも候補にならないと考えられるため、無意味である。足切りには使用できる。

なお、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（下記図参照）。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。規制基準の例として、東京都におけるばい煙発生施設に係る硫黄酸化物排出基準の考え方を図 2-11に示した。

図 2-9の右側には、各項目について、基準値により評価可能なもの、効用関数設定が必要となるもの、一対比較が必要となるものの分類を示している。

（2）発生と放出

図 2-9に示した指標のうち、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。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に含めることとする（図 2-10）。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が考えられ、今後の検討課題として挙げておくこととする。

また、発生量については、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できる。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つとしても捉えることができる。

環境基準、規制基準関連法令

<環境基準等>

- ・大気汚染：「環境基本法」（H 5年法律第 91 号）に基づく
 - ・「大気の汚染に係る環境基準について」（S 48 年環境庁告示第 25 号）
 - ・「二酸化窒素に係る環境基準について」（S 53 年環境庁告示第 38 号）
 - ・「ベンゼン、トリクロロエチレン及びテトラクロロエチレンによる大気の汚染に係る環境基準について」（H 9 年環境庁告示第 4 号）による大気汚染に係る環境基準
- ・騒音：「環境基本法」に基づく
 - ・「騒音に係る基準について」（H 10 年環境庁告示第 64 号）による騒音に係る環境基準
- ・水質汚濁：「環境基本法」に基づく
 - ・「水質汚濁に係る環境基準について」（S 46 年環境庁告示第 59 号）による公共用水域の環境基準
- ・土壤汚染：「環境基本法」に基づく
 - ・「土壤の汚染に係る環境基準について」（H 3 年環境庁告示第 46 号）による環境基準

<規制基準等>

- ・大気：「大気汚染防止法」（S 43 年法律第 97 号）に基づく
 - ・排出基準（排出濃度）
 - ・各自治体（都道府県、市町村）「公害防止条例」「環境保全条例」
→SOx・NOx・浮遊粒子状物質の排出基準総量、使用燃料の硫黄含有量 など
- ・騒音：「騒音規制法」（S 43 年法律第 98 条）に基づく
 - ・都道府県の「騒音規制法の規定に基づく地域指定及び規制基準の設定等」条例
 - ・都道府県の「公害防止条例」→特定工場において発生する騒音の許容限度など
 - ・「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」などの条例のある都道府県もあり
- ・振動：「振動規制法」（S 52 年法律第 64 号）に基づく
 - ・都道府県の「振動規制法の規定に基づく地域指定及び規制基準の設定等」条例
 - ・都道府県の「振動規制法施行規則別表第 1 の付表第 1 号に規制する知事が指定する区域」条例
- ・悪臭：「悪臭防止法」（S 46 年法律第 91 号）に基づく
 - ・都道府県「悪臭防止法の規定に基づく地域指定及び規制基準」条例
- ・水質：「水質汚濁防止法」（S 45 年法律第 91 号）に基づく
 - ・排出基準
 - ・都道府県「水質汚濁防止法第 3 条第 3 項の規定に基づく排水基準を定める条例」
 - ・都道府県の「公害防止条例」
- ・土壤汚染：「農用地の土壤汚染防止等に関する法律」に基づく都道府県条例
- ・地盤沈下：「工業用水法」（S 31 年法律第 146 号）に基づく都道府県条例

図 2-9 環境影響低減性の評価構造案

実用化の視点	評価指標		環境基準値等が存在 (基準値を効用値に適用可)	効用関数設定が必要 (定量化できるが環境基準等が無い)	一対比較が必要 (定量化できない)
	1次指標	2次指標			
放射性廃棄物	高レベル 高βγ TRU 低レベル			○	
大気汚染物質	硫黄酸化物 窒素酸化物 浮遊粒子状物質 石炭粉塵 粉塵等 二酸化炭素 光化学オキシダント 炭化水素 有害物質等		○ ○ ○	○ ○	
環境影響低減性	騒音 振動 悪臭 低周波空気振動			○	
水環境	水質 底質 地下水		○	○	
生態系	動物 植物 その他生態系				○ ○ ○
地球温暖化物質	CO ₂ 等			○	
その他環境	重要な地形及び地質 地盤沈下 土壤汚染 日照阻害 景観			○ ○ ○	○

図 2-10 環境影響物質の発生と放出について

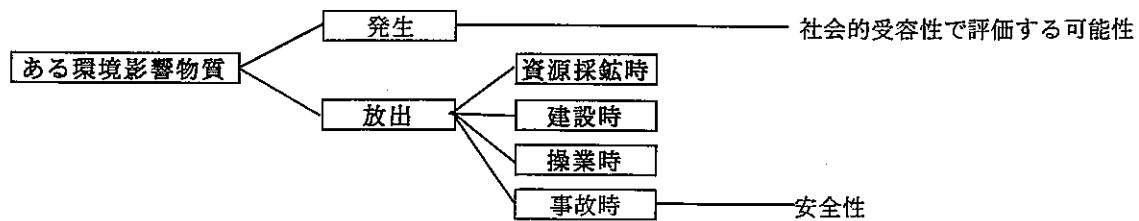


図 2-11 東京都における硫黄酸化物排出基準（K値規制）の考え方

$$q = K \times 10^{-3} H e^z$$

q : 排出が許容される硫黄酸化物の量（単位 m³N／時）
 K : 表 2-1に掲げる設置地域、設置年月日ごとの同表右欄の値
 He : 補正排出口高さ（単位 m）

$$He = Ho + 0.65 (Hm + Ht)$$

$$Hm = \frac{0.795 \sqrt{Q \cdot V}}{1 + \frac{2.58}{V}}$$

$$Ht = 2.01 \times 10^{-3} Q \cdot (T - 288) \cdot (2.30 \log J + \frac{1}{J} - 1)$$

$$J = \frac{1}{\sqrt{Q \cdot V}} \left(1460 - 296 \times \frac{V}{T - 288} \right) + 1$$

Ho : 煙突の実高さ (単位 m)
 Q : 溫度 15°Cにおける排出ガス量 (単位 m³/秒)
 V : 排出ガスの排出速度 (湿り) (単位 m/秒)
 T : 排出ガスの温度 (単位 絶対温度)

K値

設置地域	設置年月日	K 値
特別区及び武藏野市、三鷹市、 調布市、保谷市、狛江市	昭和47年1月4日以前	3
	昭和47年1月5日～昭和49年3月31日	2.92
	昭和49年4月1日以後	1.17
八王子市など22市と瑞穂町	全て	6.42
あきる野市(旧五日市町の地域)、 日の出町、奥多摩町、檜原村、 島しょ	全て	17.5

出所) 東京都ホームページ

2.3.5 エネルギー安全保障

核燃料以外について、核拡散と同様のデメリットとしてエネルギー安全保障上の問題があると上で指摘した。前節で記した例に基づいて、世界需給バランス上安定性、我が国輸入先としての安定性、の2指標によってエネルギー安全保障を評価するとすれば図2-12のようになる。また、資源を安定的に我が国へ持ち込めるかどうかという観点から見れば、輸送ルートにおける安全性や政治的安定性も指標の1つに加えるべきとの考え方もある(図2-12カッコ内)。輸送ルートを評価する指標の抽出は今後の課題とするが、当評価システムでは一对比較による評価も可能である。

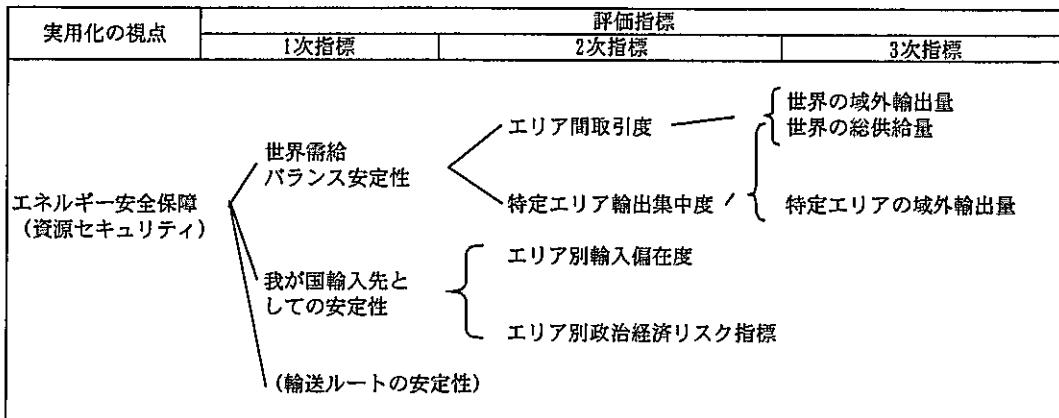
次に、エネルギー安全保障という視点を、全評価構造のどこに位置付けるかを検討する。そもそも、核拡散抵抗性と同様のデメリットとして抽出した視点であるため、例えば「テロリズム・国際紛争回避性」などとしてこれらを同レベルに並べる考え方もあるが、表2-36に記した理由により、その置き方は妥当でないと考えられる。同表の検討結果より、この視点は資源供給性の下位指標に含めることが妥当であると思われる。

なお、核拡散抵抗性の評価構造は、前年度までと同様であるとする。

表2-36 エネルギー安全保障の評価構造における位置付け

評価構造における位置付け案		妥当性	理由、課題等
1	「国際紛争・テロリズム回避性」などとして、その一次指標として核拡散抵抗性と同レベルに置く。	×	核拡散抵抗性(主として電源システムの性格)とエネルギー安全保障(燃料使用にまつわる政治上の性格)の2者を並列にして1つの視点にすることに無理がある(現に、“国際紛争”と“テロリズム”と分けている)。
2	実用化の視点の1つとする。	△	1案に無理があれば分離して1つの視点とすることが考えられる。しかし、他の視点との関係を要検討(3案参照)。
3	「資源供給性」の評価視点の1つとする。	○	エネルギー安全保障は各資源にまつわる性質であるため、資源性の下位指標とする考え方は可能である。

図 2-12 エネルギー安全保障の評価構造案（資源性の下位指標とする）



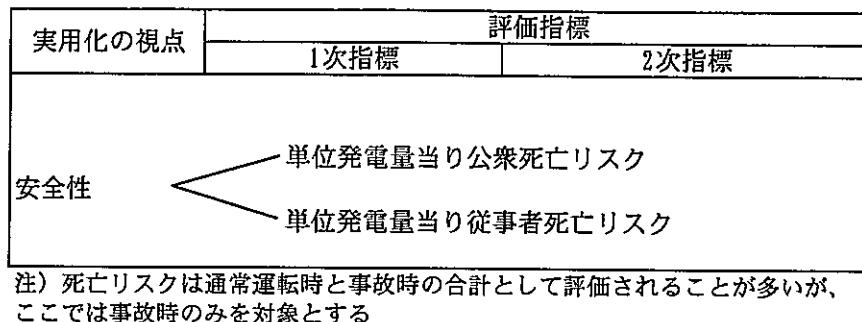
2.3.6 安全性

安全性の評価構造としては、例えば単位発電量あたりの死亡リスクなどの定量値で評価する方法と、「許容できる」か「許容できない」かという 1 か 0 かを適用する方法とが考えられる。前者では、各電源についての定量的データを入することが困難であるというデメリットがある一方で、後者についても境界線をどこに決めるかという問題がある。本調査研究では、安全性（技術的な側面）に対して、いわば“安全感”ともいるべき指標（リスクを認知する際のバイアス効果）を取り扱うため、ここではより定量的な指標とすることが望ましいと思われる。よって、安全性指標構造案としては、上記前者をもとにして図 2-13 のようにする。

ここで、安全性の下位指標である「単位発電量あたり死亡リスク」が対象とする範囲について注意が必要である。死亡リスクは、通常運転時の環境影響によるリスクと事故時のリスクとに分けられるが、ここでは事故時のみを対象とする必要である。通常運転時については、環境負荷低減性において既にカウントされているためである。

なお、環境影響低減性の頁で述べたように、事故時放出物質量の観点から整理しなおすことで安全性と環境影響低減性を統合し得る可能性がある。

図 2-13 安全性の評価構造案



2.3.7 エネルギー収支

前節において、発電システムを比較する 1 つの指標としてエネルギー収支があること、また、その検討報告事例を紹介した。この指標を本調査研究の評価構造にどのように取り込むかについて、次の 2 通りの方法が考えられる。

ここでは、下記の理由により前者を採用しているが、この取り込み方の妥当性についてはさらに議論を要する。

- ・他視点のうち、kWh で評価される因子を含む視点に関するものの、必ずしもそれら他視点の“下位”指標であるとは言えない。
- ・核融合開発の例に見られるように、投入エネルギーと産出エネルギーの関係は新しいエネルギーシステムを開発において重視される因子である。

(1) 方法 1：評価視点のひとつとする方法

他の視点と同様に、評価視点の 1 つとして組み込む方法が考えられる。エネルギー収支を算出するためには、表 2-38 の 2 次指標にあるデータを収集する必要があるが、エネルギー収支の算出結果そのものが、電力中央研究所等により発表されている [31] ため、そこで用いたデータを参照することも可能である。

表 2-37 発電システムのエネルギー収支比

電源種	原子力	石油火力	石炭火力	LNG 火力	風力
エネルギー収支比	24	21	17	6	6

出所) 参考文献 [31] より

表 2-38 エネルギー収支の階層構造

実用化の視点	評価指標	
	1次指標	2次指標
エネルギー収支	エネルギー投入量 エネルギー産出量	発電所建設にかかるエネルギー 燃料採掘にかかるエネルギー 燃料輸送にかかるエネルギー 燃料加工等にかかるエネルギー 発電所運用に係るエネルギー 廃炉等に係るエネルギー 積働率 耐用年数 発電所出力

(2) 方法2：他の評価指標を算出する際にエネルギー投入量を差し引く方法

他の評価指標のうち、発電電力量あたりの値として示されるものには以下がある。

発電原価、必要資源量、環境影響物質放出量、死亡リスク

これらの算出は、“各量／発電電力量”との式によるため、分母の発電電力量から表 2-38 で算出されるエネルギー投入量を差し引いて計算する方法である。ただし、上にあげた各指標のうち、発電原価と環境影響物質放出量の一部は、エネルギー投入量の概念が既に取り込まれていると考えられる。この組み込み方法は、発電プロセスについてのみ考慮されている指標に関して適用すべきである（表 2-39）。

表 2-39 各指標に対する方法2の適用可否

指標	投入エネルギー取り込みの有無	方法2の適用可否
発電原価	投入エネルギーにかかるコストとして、既に組み込まれていると考えるべきである。	適用すべきでない
必要資源量	発電プロセスについてのみ考慮されており、組み込まれていない。	適用すべき
環境影響物質放出量	CO ₂ 排出量など、ライフサイクルで評価されている量については既に組み込み済みであり、発電プロセスについてのみ評価される量(SO _x , NO _x)などはそのケースが多くなると思われる)については組み込まれていない。	項目による
死亡リスク	死者数はライフサイクルで算出されるが、それを発電電力量で除する際にはエネルギー投入量は組み込まれていない。	適用すべき

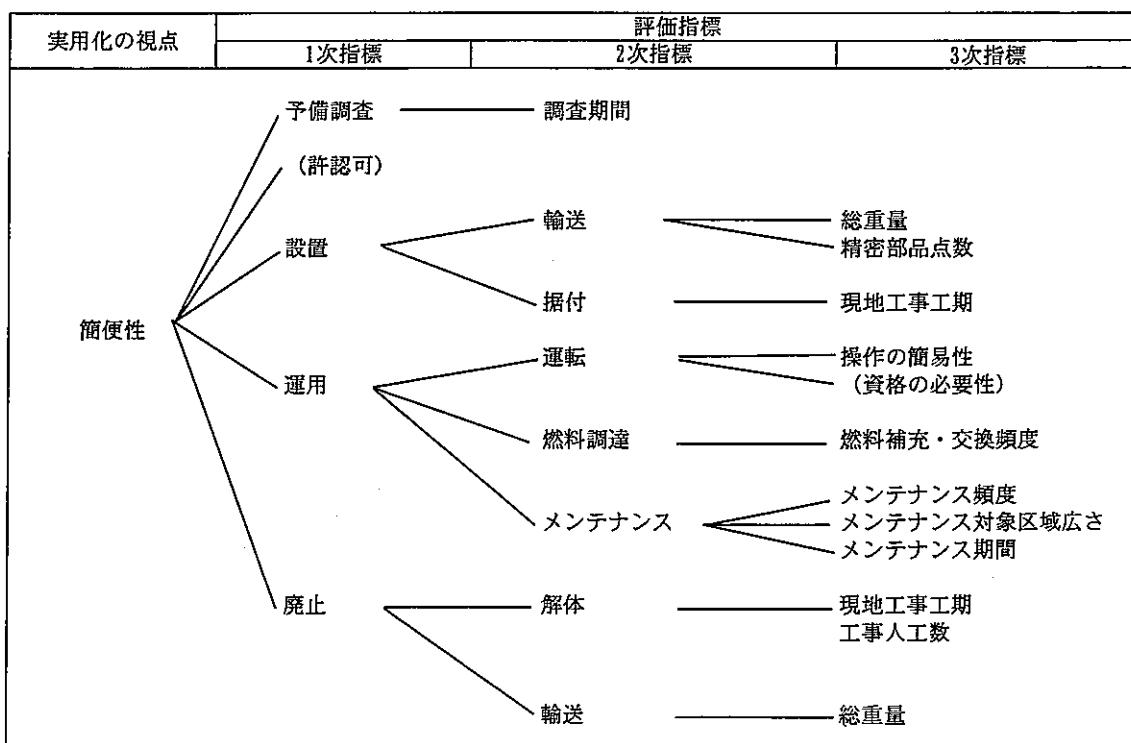
2.3.8 簡便性

簡便性を評価する指標は、電源を導入して使用するプロセスごとに分けて考えることとする。すなわち、図2-14に示したように、予備調査、設置、運用、廃止の4段階に分けることとする。さらに、設置と廃棄は、工事そのものと輸送とに分類した上で、工事についてはその期間と人工数、輸送については重量と部品点数を指標としている。運用は、運転とメンテナンスに分け、簡易性やメンテナンス期間などを指標とした。メンテナンスの下位指標のひとつに対象区域広さを置いているが、これは、風力や太陽光など再生可能エネルギーにおいては広い区域に発電設備が建設されており、保安にあたっても移動距離が大きいことなどを勘案し得るようとしたものである。

なお、ここでは当該発電システムの技術的性質から見た簡便性を中心としているが、制度面から見た導入や運転の簡易性を考えれば、許認可に関する簡易性や、運転員の資格必要性なども指標として取り込むべきであると考えられる（図中にカッコで記載）。

図2-14では、第3次指標までの構造としているが、工期や重量が必ずしも簡便性という観点に結びつかない場合もある。長期にわたる工事であっても、技術的に単純な工程のみのケースなどである。よって、評価構造を2次指標までとして一対比較評価を行うこともあり得るものと考えられる。

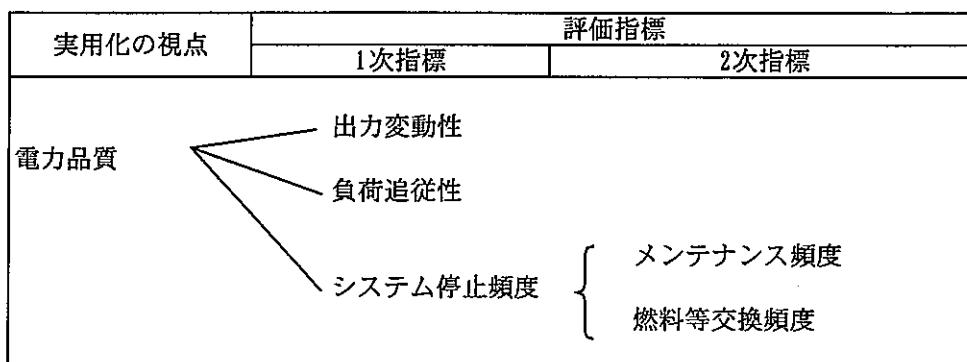
図2-14 簡便性の評価構造案



2.3.9 電力品質

発電出力変動の大きさ¹⁰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図2-15のように評価する構造を考える。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、品質に関わる指標であるとして取り上げている。

図 2-15 電力品質の評価構造案



2.3.10 導入限界量

新エネルギーなどの導入限界量の評価方法には、1つの視点として取り上げる考え方と、資源性を拡張してそこに含める考え方がある。以下、これら2通りについて検討する。

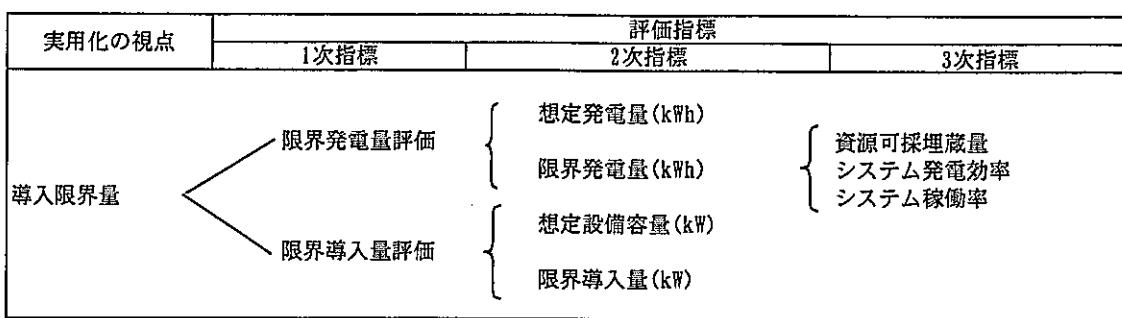
(1) 1つの視点とする

ここでは、導入限界量を、設備容量から見た導入限界量(kW)と発電量から見た限界発電量(kWh)に分類して評価する(図2-16)。

導入限界量という視点は、想定する導入量によってその評価が異なってくる。すなわち、例えば限界量が1GWと1,000GWの電源を比較する場合、想定する導入量が10MWであるのか10GWであるのかで、それぞれの評価は大きく異なる。従って、指標としては想定導入量と導入限界量との比で評価することが適当であろう。なお、この値が1を上回る場合には想定導入量を貯えないこととなるため、足切り法を適用することも必要である。

¹⁰ 自然条件に依存する風力発電や、燃料の熱量が一様でない廃棄物発電などでは、出力を一定として運転

図 2-16 導入限界量の評価構造案



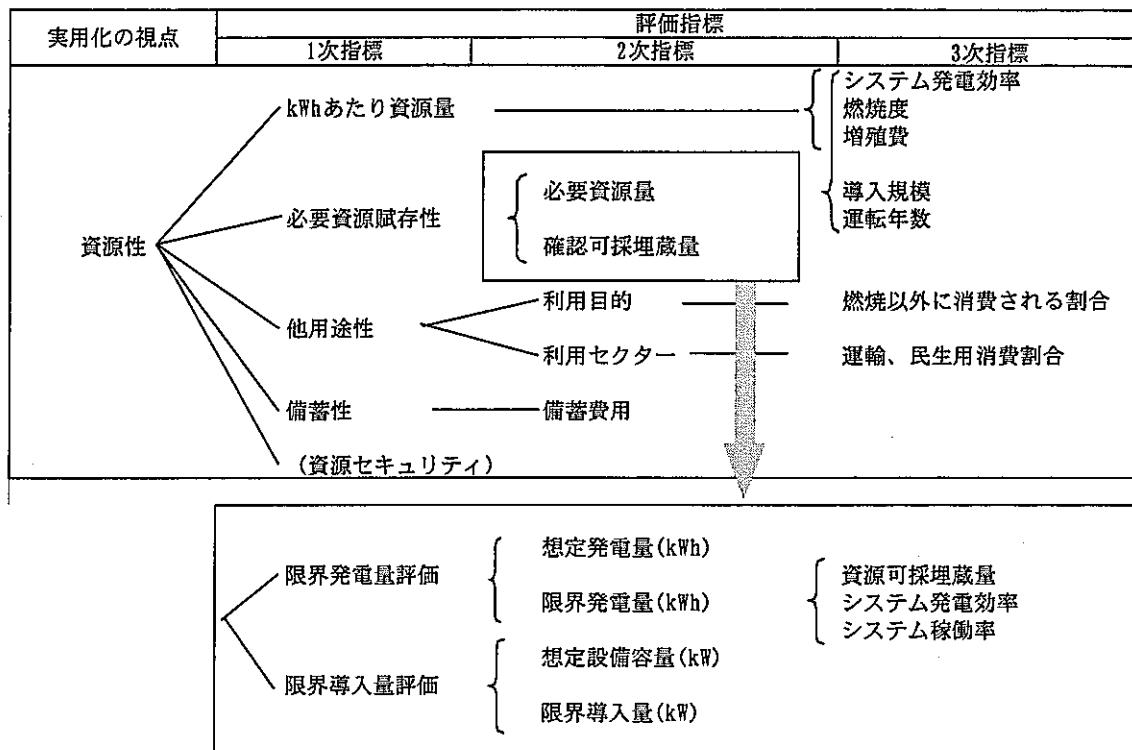
(2) 資源性を拡張する

図 2-16の構造には、資源埋蔵量といった視点も含まれており、資源性において評価する指標とダブルカウントの可能性がある。また、想定される発電量と可能な発電総量の比較を行うロジックも、資源性において議論した“必要資源賦存性”と類似している。そこで、図 2-16の構造を資源性に含めた構造を考えることとする。

“資源”が示す範囲を、熱量をもって燃料として使用できるもののみから、風や太陽光、また、それらが得られる土地などにも拡張すれば、導入限界量を資源の範疇として扱うことが可能である。図 2-17は、資源性の評価構造案に含まれる“必要資源賦存性”を、導入限界量の概念も含むように改訂したものである。なお、ここでも、限界発電量評価および限界導入量評価のそれぞれについては、想定量と賦存量との比をとり、それが 1 を超えるときには足切り法を適用すべきと考えられる。

することも困難である。

図 2-17 導入限界量評価を資源性に含める構造案



3. 社会的受容性及び技術的実現性に関する評価構造の構築

3.1 エネルギーシステムの社会的受容性に関する現状調査

特に原子力発電所の立地を地元地域に受容されるための手段として、電源三法による金銭面からの支援や、地元地域活性化へ向けての努力がなされてくるとともに、原子力のリスクをなるべく正確に理解してもらおうとする活動がなされてきた。本調査研究では、このような従来の PA 活動について概観しながら社会的受容性の評価因子抽出について検討し、さらに、一般公衆によるリスク認知や安心感・信頼感の構造を社会心理学的アプローチによる既存研究事例を調査することとする。

3.1.1 地域共生

近年、電源三法交付金による金銭的支援のみではなく、発電所を活用することで地域全体を活性化に資すると言う地域共生の考え方による方策がなされてきている[37]。

平成 4 年度電気事業審議会 電力基本問題検討小委員会において、発電所そのものが持つ性質を地域振興に役立てるべく議論がなされた。そこで提案されたのが、「地域共生型発電所」であり、その概念は「地域産業の振興および生活環境の充実に今まで十分に活用されていなかった発電所の有する諸資源を積極的に活用していくもの」であると記されている。

具体的な方策案として、

- ・蒸気を活用した大規模植物栽培や熱帶動植物園
- ・港湾施設、護岸、掘削残土を活用した、海釣り公園、養殖場
- ・観光資源となる魅力ある発電所デザインや PR 施設
- ・地元雇用・調達の質的、量的拡大
- ・技能研修による人づくり支援

などが例示された。

その後、電力中央研究所により、地域共生のコンセプトが「地域の自立的発展のため地域と共に考え行動する」と定義づけられ、その内容を、

- ・パートナーシップ（地域への貢献）
- ・ソシアルイン（開かれた発電所）
- ・ハーモニー（地域環境との調和）

の 3 つの視点で整理されている[38]。

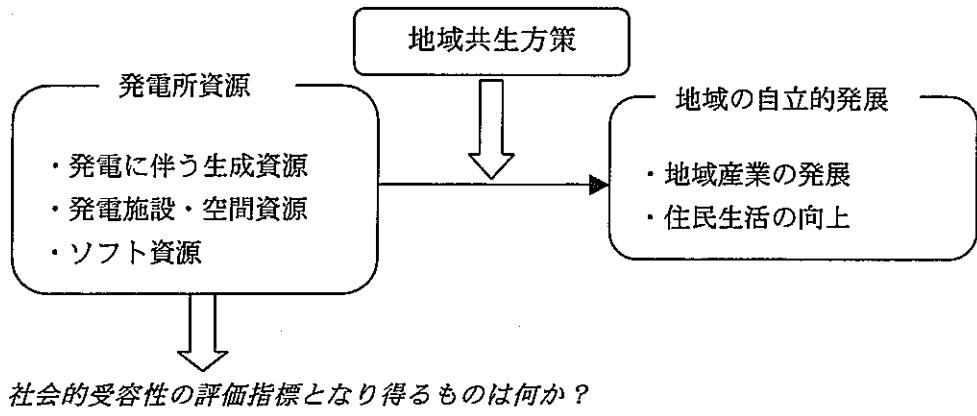
発電所そのものが持つ資源には、上で記した具体的方策案にも見られるように、蒸気や温排水、港湾施設など様々である。(財) 電源地域振興センターではこれらを網羅的に列挙し、

- ・発電に伴う生成資源

・発電施設・空間資源
・ソフト資源
の3区分に整理している[39]。

本節では、社会的受容性に関わる因子を抽出すべく、地域共生型発電所による地元地域振興策の事例を見ることとする。

図 3-1 地域共生方策からの社会的受容性評価指標抽出イメージ



大規模発電所がもつ資源のうち、地域共生に活用可能と考えられるものが表 3-1のように整理されている[37]。これらの具体的な事例を以下に記す。

表 3-1 地域共生に活用可能な発電所資源

区分	各種資源
発電に伴う生成資源	蒸気、温排水、石膏、石灰灰、LNG 冷熱
発電施設・空間資源	基盤施設、港湾・護岸、掘削残土、交流施設、施設景観、敷地空間、保健医療施設、福利厚生施設
ソフト資源	地域調整機能、防災機能、企業ノウハウ、関連産業育成、雇用、技術・技能、組織、地域交流、人材、広報機能

出所) 参考文献[37]

(1) 発電に伴う生成資源

発電に伴う生成資源としては、蒸気、温排水、石膏、石灰灰などがある。表 3-2に、これらの活用事例をまとめた（他にも多数の事例がある）。

発電所から発生する蒸気は地域冷暖房に活用されている事例が多い。また、温排水利用は、温水養魚の形態で昭和 30 年代末より検討され、国内外で漁業分野において活用されている。フランスにおいては、下表の他にも「ワニの飼育」や「タバコの乾燥」に温排水を活用することが検討されている。石膏は、火力発電所の排煙脱硫装置から得られ、セメント混和材としてなどの活用が行われている。また、石灰灰の活用は我が国においては研究段階であるが、海外では活用事例がある。

これらの資源のうち、蒸気や温排水は、発電所稼動時に利用可能であり、発電所停止時には利用できない点に留意した活用法が求められる（バックアップをどうするか、など）。フランスでの温排水利用は、水温や水量に関してフランス電力公社（EDF）は保証せず、停止時のバックアップもしないとしている。

表 3-2 発電に伴う生成資源の活用例

	発電所	活用内容
蒸気	海南火力発電所 (関西電力、和歌山県)	隣接地域（和歌山マリーナシティ）への暖房・給湯用蒸気、冷房用冷水供給。
	ネッカーリー原子力発電所 (ドイツ)	冷却塔からの蒸気により直射日光がさえぎられ、植物の生長が促されると農家から理解。
	アルトバッハ石炭火力発電所 (ドイツ)	地元大学のバイオ研究所用温室へ熱供給。
温排水	福島第一原子力発電所 (東京電力、福島県) 他、多数	ヒラメ、サザエ、あわび、うなぎ、車えび等の養殖の支援

	玄海原子力発電所 (九州電力、佐賀県)	温室への温風（観葉植物、果菜、葉菜、根菜類の発芽育成）
	クリュアス原子力発電所 (フランス)	・トマト栽培 ・市役所や教会の暖房用熱源
石膏	港火力発電所 (九州電力、福岡県)	道路路盤材、セメント混和材への利用事業への協力
	能代火力発電所 (東北電力、秋田県)	焼石膏製造会社の設立。
石炭廃	ドラックス石炭火力発電所 (イギリス)	隣接の兵器工場跡地に農地造成用として利用。 セメント材、道路補修材としても販売。
	ティルブリー石炭火力発電所 (イギリス)	石炭灰を利用した加工工場、セメント工場が発電所周辺に進出。

(2) 発電施設・空間資源

発電所に関する施設や空間も地域共生に活用されており、その例が表 3-3である。基盤施設の利用としては、発電所の建設に使用した専用鉄道を建設後、地域の利用に供するなどの取り組みがなされている。また、発電所の有する緑地や広場をスポーツ用に利用するなども積極的に行われている。これらは、発電所そのものが持つ性質や、建設・運転過程での“副産物”的なものを利用してはいるが、“主産物”が発電所である必要はなく、発電所そのものの受容性を評価し得るものとはならないと思われる。

表 3-3 発電施設・空間資源の活用例

	発電所	活用内容
基盤施設	女川原子力発電所（東北電力、宮城県）	上下水道整備への協力
	井川水力発電所（中部電力、静岡県）	大井川鉄道井川線の貸し付け
港湾・護岸	広野火力発電所（東京電力、福島県） 他多数	魚釣り場として開放
掘削残土	泊原子力発電所（北海道電力、北海道）	小学校敷地造成
交流施設	各種 PR 館、運動公園など	
景観施設	発電所外観デザイン、集合煙突の採用、ライトアップなど	
敷地空間	浜岡原子力発電所（中部電力、静岡県）	海水浴場など公共施設へ土地開放
	敦賀原子力発電所（日本原電、福井県）	構内グランド開放
保健医療施設	大飯原子力発電所（関西電力、福井県）等で病院や診療所を設立	
福利厚生施設	スポーツ施設、体育館等の地域開放	

(3) ソフト資源

発電所によるソフト資源の活用例を表 3-4に示す。立地地域では、発電所と共に技術者も受け入れることになるため、下表の技術・技能や人材の事例に見られる活用方法からもたらされる効果は、発電所建設によるマイナスを補う効果というよりも、発電所建設による純粋なプラスの効果であると言うことができるのではないか。

表 3-4 ソフト資源の活用例

資源	発電所	活用内容
地域調整機能	姉崎火力発電所（東京電力）	地区町会、企業協議会への参画
	鹿島火力発電所（東京電力）	地域町づくり団体への参画
防災機能	袖ヶ浦火力発電所（東京電力）	消防出動要請に対する消防車出動
	広野火力発電所（東京電力）	町との防災活動支援協定の締結
起業ノウハウ	柏崎刈羽原子力発電所（東京電力）	市の海洋開発事業実施会社への出資
	浜岡原子力発電所（中部電力）	地域企業誘致活動への協力
関連産業育成	資材の地元発注など	
雇用	建設・運用人員、PR館職員の地元採用	
技術・技能	伊方原子力発電所（四国電力）	コンピュータ技術者養成
	宮古火力発電所（沖縄電力）	教育機関の発電所見学実施
地域交流	盆踊り等各種イベント開催	
人材	新小倉火力発電所（九州電力）	大学等への講師派遣

3.1.2 PA活動の現状

本節では、PAの現状を整理し、社会的受容性の評価因子となり得る電源の性質を挙げることを目的とする。

電源地域振興センターによれば、特に原子力PAについて、その定義を次のようにしている[39]。PA活動の議論は、その方法論に関するものがほとんどである。本節では、PAの現状について電源の受容性評価指標に結びつきそうな観点からのみ言及するにとどめる。

原子力PAの定義（電源地域振興センター）

①②を前提に、③～⑤の3水準が全て満たされた状態を作り出していくこと、または、それを意図した活動全般。

- ①原子力をはじめとするエネルギー問題に興味をもつ。
- ②氾濫する情報から必要にして十分なものを選び取る判断力、絶対的な解が無い選択肢から現実的で妥当な解を見出す思考力とともに、エネルギー問題に関する基礎的素養を獲得する。
- ③原子力発電の継続・拡大、原子力発電所の増設・新設に関するメリット・デメリットを個々人が十分に理解し、総合的見地から肯定的な判断を得る。
- ④機会あれば、そうした個々人が、自らの肯定的な判断を社会に表明し得る。
- ⑤個々人における肯定的な判断の表明を集約し、社会的（制度的）な合意を構築する。

これまで、原子力PA活動としては、主として各種メディア広報や施設見学会、シンポジウム等が実施されてきている。しかしながら、PA活動そのものの目的が、“正しい理解を促す”ことよりも、むしろ“電力会社を好きになってもらう”ことに偏りがちであったこと、原子力に対する“賛否”のみに注目し、“関心”を重視してこなかったことなどが課題として挙げられている[39]。電源地域振興センターでは、これからPA活動の基軸として、以下の①～⑤を設定している[39]。これら基軸によってPA活動を進めるにあたり、電源の特性としては見学容易性やそのインパクトなどが重要となってこようが、それ以前に、情報を提供する側（推進主体）が信頼されているかどうかが問題となる。信頼性に関しては次々節で議論することとする。

- ①知ってもらう（各種広報）
- ②集ってもらう（講演会、シンポジウム、イベント、見学会）
- ③学んでもらう（エネルギー教育、講師派遣）
- ④活かしてもらう（地域振興支援）
- ⑤解ってもらう（報道対応、情報公開、風評対策）

また、リスク・コミュニケーションの重要性も指摘され[40]、一般の人がリスクを認識し評価する際に影響すると思われる因子としては、表 3-5のようなものが挙げられている。PA の観点からは、リスクを正しく伝達することが重要であるため、表 3-5のような因子が正しいリスク認知を妨げる可能性がある場合には、その対策を講じることとなる。しかし、本調査研究においては、これら因子によって受容されにくくなる電源があれば、その受容されにくさを評価することが目的であるため、次節において、これら因子によるイメージ形成について検討することとする。

表 3-5 一般の人がリスクを認知し評価する際に影響する因子

因子	一般的関心が高まる条件
大災害の可能性	死傷が同時的、同一地域で起きる場合
周知度	普段なじみがないとか、なじみが少ない場合
理解度	仕組みやプロセスがよく分からない場合
個人による制御の可能性	個人的に制御可能で自分自身ではどうにもならない場合
暴露への任意性	自由意志によるものでない場合
子供への影響	子供に特にリスクがある場合
影響発現	影響が遅れて現れる場合
後世代への影響	子孫に影響が及ぶ場合
被害者の身元	犠牲者が地域限定されているなど、属性が分かりやすい
恐怖	恐ろしいと感じる場合
公共機関への信頼度	この活動に責任を有する組織が信頼されていない場合
報道機関への注目度	報道機関が盛んに取り上げる場合
事故歴	これまでに大事故があり、時々小規模な事故がある場合
公平さ	リスクを受ける人と便益を受ける人がかなりずれている場合
便益	便益が不明瞭な場合
可逆性	影響が出た場合に取り返しがつかない場合
原因	人間の行為や失敗によるもの

出所)参考文献[40]

3.1.3 リスク・イメージ

上で見た PA（特に原子力 PA）活動は、発電所の必要性や安全性をいかに“正しく”認識してもらうか、という観点から議論がなされてきている。しかしながら、必要性や安全性が理屈や数字によって示されていても、立地住民から受容されない事例が（特に原子力発電所立地に関して）多いのが現状である。このことは、理屈や数字による技術面からのリスクや安全性の理解の他に、受容性に影響する因子～イメージに関わる因子～があること

を示唆している。ここでは、科学技術のリスクをイメージに基づいて受容するメカニズムを、社会心理学的研究事例をもとに検討する。

(1) 受動的リスクと能動的リスク～スターの研究～

参考文献[46]では、スターの研究事例（1969年）を紹介している。過去のリスク受容に関して、そのリスクを受容することにより得られる利得の金銭価値と、そのリスクの危険度（死亡者数）の関係を調べたものである（例えば表3-6）。これらを平面上にプロットすることにより、リスク—利得関係のパターンが抽出されている（図3-2）。

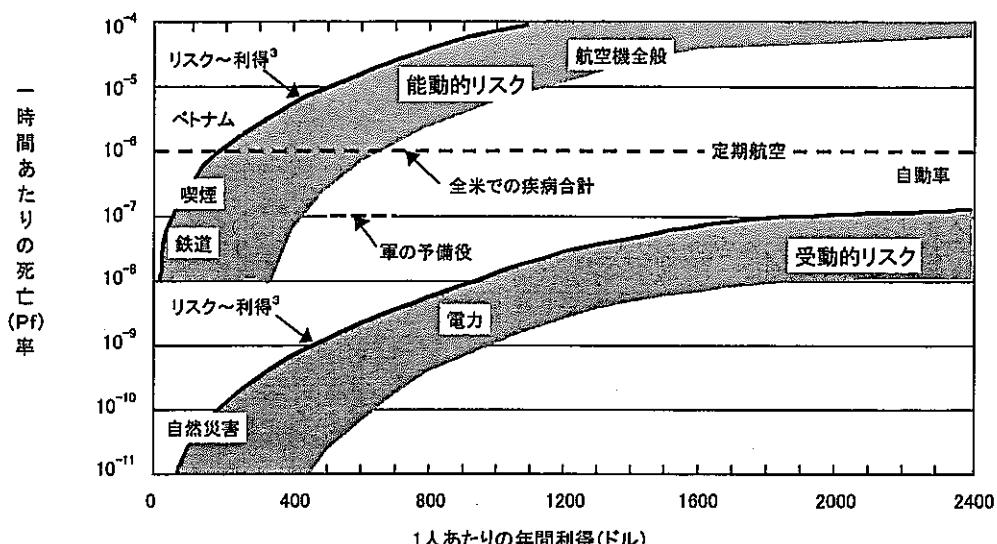
プロット結果を見ると、リスク—利得関係として2つのパターンがあることが示されており、それらのリスク受容は1,000倍程度異なっている。受容性が高いリスク群は、喫煙や乗り物など能動的に受容してきたリスクであると言え、受容性が低いもう一方は、自然災害など受動的なリスクであるとすることができる。電力は、立地などを国民が能動的に決定していない点で「受動的」にカテゴライズされ、ベトナム戦争は、戦費を支払う主体と戦争を進める主体が同一である点で「能動的」にカテゴライズされる。電源システムにおいても、自らの意思で能動的に導入する場合には、受容レベルが高くなると考えることができる。

表3-6 スターの死亡率と利得の算出例（Starr, 1969）

リスク	1時間あたりの死亡率算出方法	利得（ドル/人・年）の算出方法
低航空路飛行	年間旅客死亡者数と年間の乗客数×時間を用いた。	旅客・飛行マイルあたりの平均飛行運賃と、飛行によって節約された時間をドルに換算したものの合計。
鉄道	年間旅客死亡者数と、平均時速50マイルとした場合の旅客・マイル数より計算。	毎日利用する旅客は1日20マイル、不定期の旅客は年間1,000マイル乗車するとの仮定のもとで算出。
喫煙	非喫煙者をベースラインとする喫煙者の死亡率、心臓疾患と癌による死亡率より算出。	アメリカ癌協会の喫煙者率予想（30%）、年間のタバコ購買量から、タバコ1本1.5セントの利得があると仮定。
ベトナム戦争	死の危険にさらされた人が年間500,000人、死亡者数が年間10,000人とのデータより算出。	ベトナムの戦費など、アメリカ全体で年間300億ドルとして算出。
電力	感電死、電力による火災の死者、炭坑死亡者の電力による炭坑需要に相当する人数、石油資源による大気汚染の死亡者の電力需要相当分の統計より算出。	全米のエネルギーの35%が電力産出に使用されており、さらに、一人当たりのGNPとエネルギー使用量が相関しているとの仮定のもとに算出。

出所) 参考文献[46]

図 3-2 リスクー利得関係



出所) 参考文献[46]

(2) リスク・イメージの因子 ~スロヴィックの研究~

表 3-6の例のように算出されたリスクの大きさは、人間がイメージとして感じるリスクの大きさと異なる場合がしばしばある。例えば、事故統計によって算出されるリスクは自動車より飛行機のほうが小さいが、直感的には飛行機のほうがより危険だと感じる人が多いであろう。このようなリスクに対するイメージについて、スロヴィックが因子分析的手法により研究した。研究手法の概要は以下のとおりである。

まず、いろいろな人がリスクのイメージに用いるイメージ語をいくつか抽出し、それらイメージ語を対にして、イメージ尺度を作成する。例えば、

(イメージ尺度の例) 制御不可能 —————— 制御可能

というような形である。このような尺度をいくつも作り、多くのリスク事例に対してそのイメージを被験者に記入させる。このようなデータを集計し、尺度間の相関が高いものどうしをまとめて、リスク・イメージの因子を抽出する。

18のイメージ尺度を用いて、81のリスクについてイメージ評価させたデータの因子分析結果によれば、一般にリスク・イメージは次の3つの因子で表現されることが明らかになった。

第1因子：恐ろしさ因子

第2因子：未知性因子

第3因子：災害規模因子

この中で、特に第1因子（恐ろしさ因子）と第2因子（未知性因子）は、多くの研究で、どのようなリスクの組み合わせでも安定して抽出されることがわかっている。これら2因子を構成するイメージ尺度は、それぞれ以下のとおりである。

第1因子（恐ろしさ因子）を構成するイメージ尺度

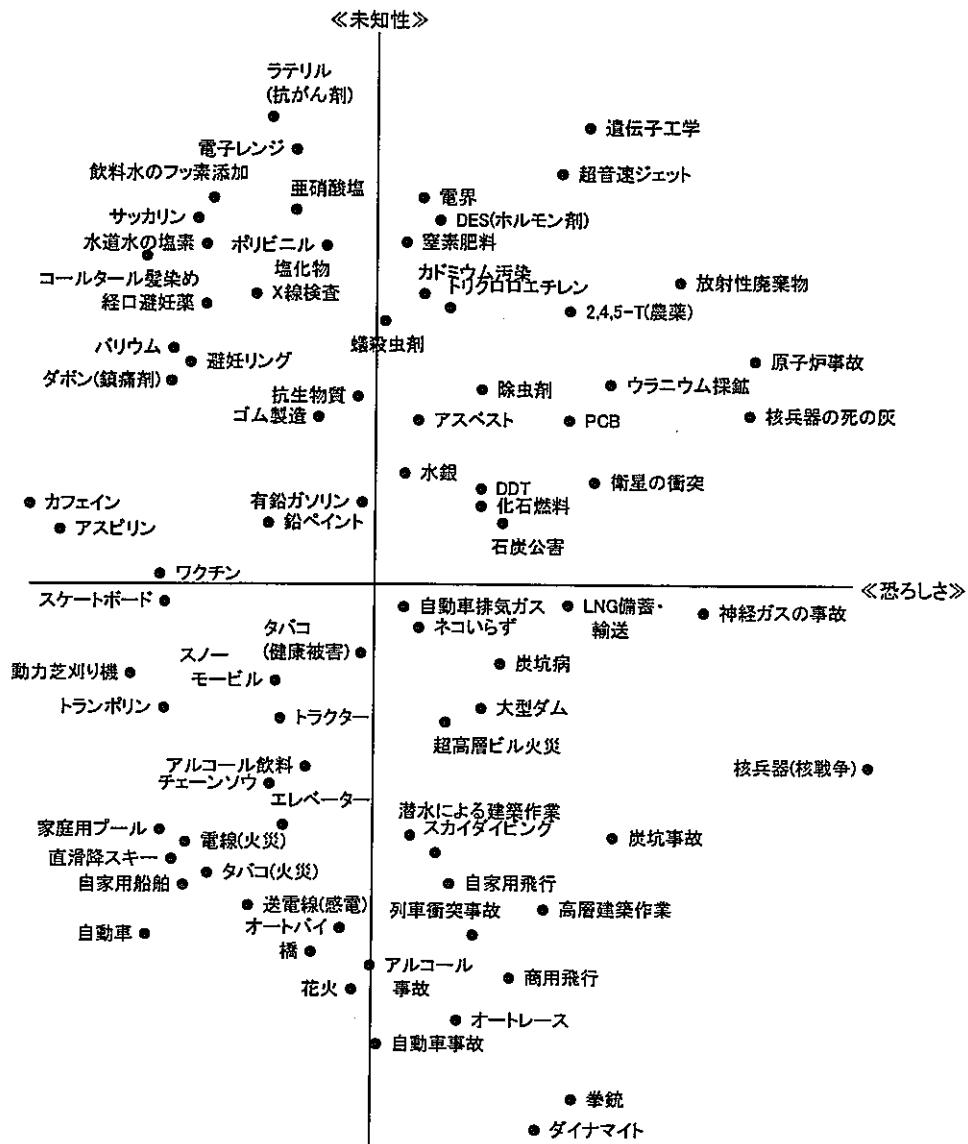
制御不可能	—	制御可能
恐ろしい	—	恐ろしくない
世界的にカタストロフィックだ	—	世界的にカタストロフィックでない
結末が致命的	—	結末が致命的でない
不公平	—	公平
カタストロフィック	—	個人的
将来の人類にとってリスクが大きい	—	将来の人類にとってリスクが小さい
リスクの軽減が容易でない	—	リスクの軽減が容易
リスク増大傾向	—	リスク減少傾向
受動的	—	能動的

第2因子（未知性因子）を構成するイメージ尺度

観察可能	—	観察不可能
接触している人が知っている	—	接触している人が知らない
影響が遅延的	—	影響が速効的
新しい	—	古い
科学的に不明	—	科学的に解明されている

「スロヴィックの2因子」とも呼ばれるこれら2因子を軸として、リスク認知マップを作成することができる。図3-3に示したものは、アメリカ人のリスク認知マップ（1986年）である。

図 3-3 アメリカ人のリスク認知マップ（スロヴィック、1986 年）



出所) 参考文献[46]

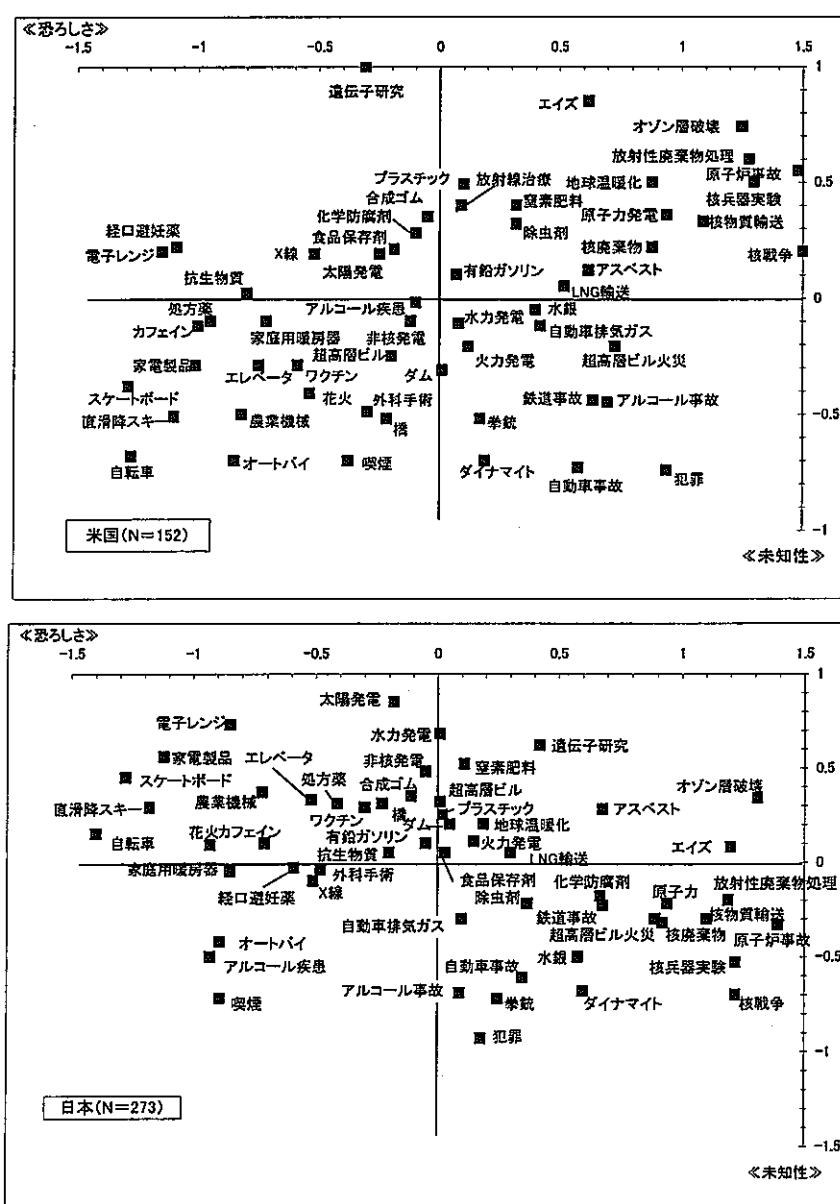
(3) 日本人のリスク認知

スロヴィックの 2 因子を軸としてリスク認知マップを描くことは、一般的に適用可能である場合が多いとされているが、リスク・イメージに対する「恐ろしさ」と「未知性」の重要度は、国によって差があることが報告されている。

図 3-4 は、同一尺度を用いたアメリカ人と日本人のリスク認知マップである。図中の■印は、「それぞれのリスクに対して将来規制して欲しいと願う程度」を表しており、■の大

きさが、規制を願う程度の強さに対応している。アメリカ人の結果を見ると、■の大きさは右上が大きく、左下が小さいという傾向が概ね該当しており、「恐ろしさ」と「未知性」が共に高いリスクが、心理的に大きく影響していることを表している。一方、日本人の結果を見ると、上下方向（未知性）には■の大きさに顕著な傾向は見られておらず、左右方向（恐ろしさ）にのみ傾向が見られる。このことは、日本人の場合には「未知性」という要素が、リスクに対する心理的反応に強く影響しないことを示していると思われる。

図 3-4 日米同一尺度によるリスク認知地図（上：アメリカ、下：日本）



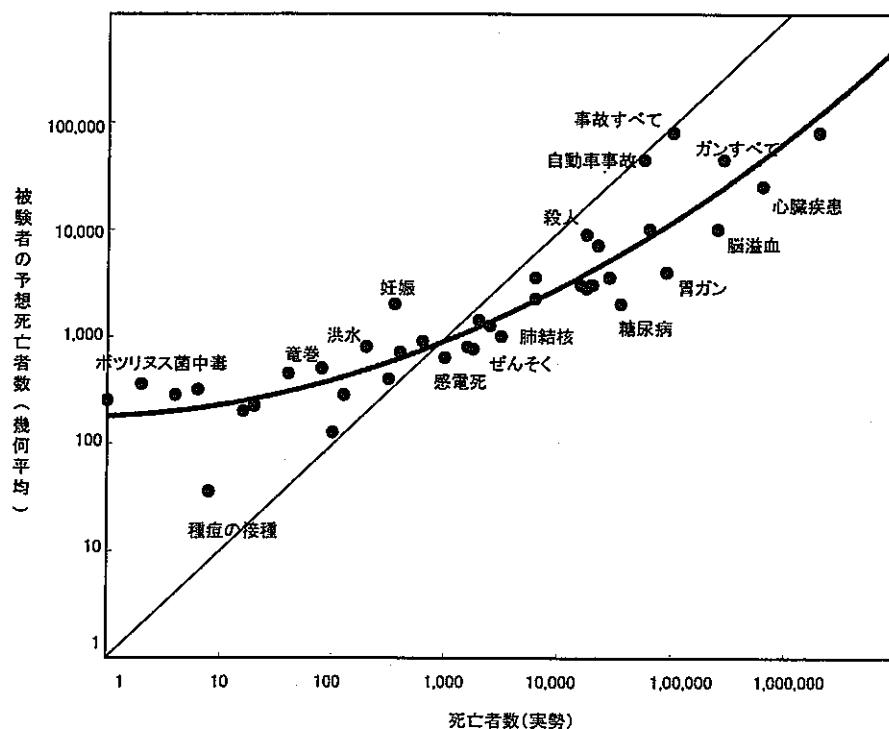
出所) 参考文献[46]

(4) リスク認知のバイアス

自動車と飛行機のリスク認知の例に見られるような、客観的リスクとイメージによるリスクに差があることからも、リスクのもとになる事象に関する確率認知にバイアスがあることが予想できる。このことをデータによって示す研究事例を紹介する。

リヒテンスタインらは、致死現象の確率認知を被験者に行わせた実験結果を示している。被験者には、あらかじめ、自動車事故の年間死亡者数を目安として教えておき、火災や竜巻、洪水などの年間死亡者数を推測させた実験である。その結果を、実勢年間死亡者数に対してプロットしたものが図 3-5である。両者の関係は、2次曲線によってよく説明され得るものであり、実際の死亡者数が小さいものほど、死亡者数が多いと予想する傾向があつた（1次的バイアス）。また、個々の事象について見ると、自動車事故、妊娠、洪水などは死亡者数が過大に予測されている一方で、種痘の接種糖尿病などは過小予測されており、各論的なバイアス（2次的バイアス）があることがわかる。

図 3-5 致死現象の死亡者数とその予測値の関係（自動車事故死亡者数を基準として知らせた場合）



出所) 参考文献[46]

1) 1次的バイアス

図中の回帰曲線と直線とのズレに相当するバイアスである。確率の小さな事象の生起確率を実際より高く感じ、確率の高い事象の生起確率を実際より低く感じる傾向である。確率認知の一般的な傾向であるとされている。

2) 2次的バイアス

1次的バイアスでは説明できない、ある特定の事象が過大視または過小視される各論的なバイアスを2次的バイアスと呼ぶ。その要因として考えられるものには、以下がある。

・情報接触

マスコミによる情報への接触機会、または、自分の知人がそれぞれの致死事象に遭遇したかどうかなどが、致死現象のイメージ形成に大きく影響するものと思われる。特に、マスコミによる致死現象の報道は、それぞれの統計的頻度を正しく反映しているとは限らない上、読者は広範にわたっており、社会一般に対して2次的バイアスを生み出す原因になっている可能性が高い。

・衝撃的イメージ

災害規模が同じである場合には、その内容が衝撃的・劇的であるほうが、被害規模が大きいと考えられやすい傾向があるという指摘がある[46]。例えば、糖尿病と乳癌を比べると、統計的な死亡者数は糖尿病のほうが大きいが、予想される死亡者数は逆になっている。糖尿病は闘病生活が地味であるが、乳癌はドラマチックな印象があるためとされている。このように、衝撃的イメージが強いほうが、リスクを過大評価される傾向がある可能性が考えられる。

・条件確率の錯覚

ある致死現象による死亡確率は、一般的に次のように解釈することができる。

$$\text{死亡確率} = \text{その事象が起こる確率} \times \underline{\text{その事象が起こったら死亡する確率}} \\ \rightarrow \text{条件確率}$$

上式に下線で示したいわゆる条件確率が大きいときに、死亡確率が大きいというイメージが強くなる傾向があると思われる。上の乳癌の例を見ると、糖尿病と比較して乳癌のほうが条件確率（かかったら死亡する確率）が高いため、乳癌にかかる確率が小さいことを見落として高リスクのイメージが形成される可能性が考えられる。

(5) リスク認知に関わる他の研究事例

1) 「原子力発電所立地におけるリスク認知とベネフィット認知」 [41]

これは、1997 年に、田中らを中心として茨城県内でアンケート調査を行い、その結果を分析したものである。原子力発電所のリスク認知の内容を分析した結果、

- ・重大事故の可能性
- ・放射線の健康に対する悪影響度
- ・原子力発電技術の確立度
- ・放射線の環境に対する悪影響度
- ・人工放射線の自然放射線に対する有害度

の 5 因子が、リスク認知に大きく影響しているという結果となった。また、ベネフィット感の認知について分析した結果によると、公共の利益（公共施設や社会資本整備、公共サービス向上）よりも、個人的な利益（電気代半額、など）をもたらす条件のほうがより大きなベネフィット感を感じるという結論が導かれている。

2) 「科学技術の社会的受容を決定する要因」 [43]

上記事例と同じく、田中らによる研究成果である。ここでは、表 3-7に挙げた 14 の対象科学技術について、5 つの尺度からの質問をアンケート形式によって尋ね、各尺度ごとの標準偏回帰係数を求めている。その結果が表 3-8であり、必要性、地球環境への有益性、事業主体への信頼性の 3 尺度による回帰式の説明力が比較的高いといい結論付けられている。

表 3-7 対象科学技術と尺度項目

対象科学技術	尺度項目
太陽光発電所、自動車、農薬、レントゲン撮影、石油火力発電所、核兵器、食品添加物、飛行機、遺伝子組み替え、家電製品、拳銃、原子力発電所、臓器移植、科学技術全般	①必要性、②安心感、③地球環境に対する有益性、④マスコミ報道の好意度、⑤事業主体の信頼性

表 3-8 各科学技術、各尺度ごとの標準偏回帰係数

	必要性	地球環境への 有益性	事業主体への 信頼性	重決定係数 (R ²)	F値(自由度)
太陽光発電所	0.31	0.57	0.10	0.60	44.05 *** (3, 89)
自動車	0.43	0.19	0.27	0.45	24.48 *** (3, 90)
農薬	0.44	0.33	0.20	0.62	48.67 *** (3, 88)
レントゲン撮影	0.13	0.39	0.18	0.33	14.78 *** (3, 90)
石油火力発電所	0.42	0.26	0.25	0.54	34.41 *** (3, 89)
核兵器	0.35	0.41	0.12	0.51	30.43 *** (3, 89)
食品添加物	0.41	0.30	0.28	0.57	38.56 *** (3, 87)
飛行機	0.40	0.11	0.23	0.31	12.82 *** (3, 85)
遺伝子組み替え	0.45	0.41	0.11	0.70	69.35 *** (3, 88)
家電製品	0.46	0.13	0.20	0.35	15.86 *** (3, 89)
拳銃	0.51	0.38	0.11	0.66	58.59 *** (3, 89)
原子力発電所	0.47	0.27	0.26	0.58	41.95 *** (3, 90)
臓器移植	0.44	0.44	0.05	0.54	33.53 *** (3, 86)
科学技術全般	0.40	0.27	0.20	0.45	24.56 *** (3, 90)

***p<.001

3.1.4 信頼感と安心感

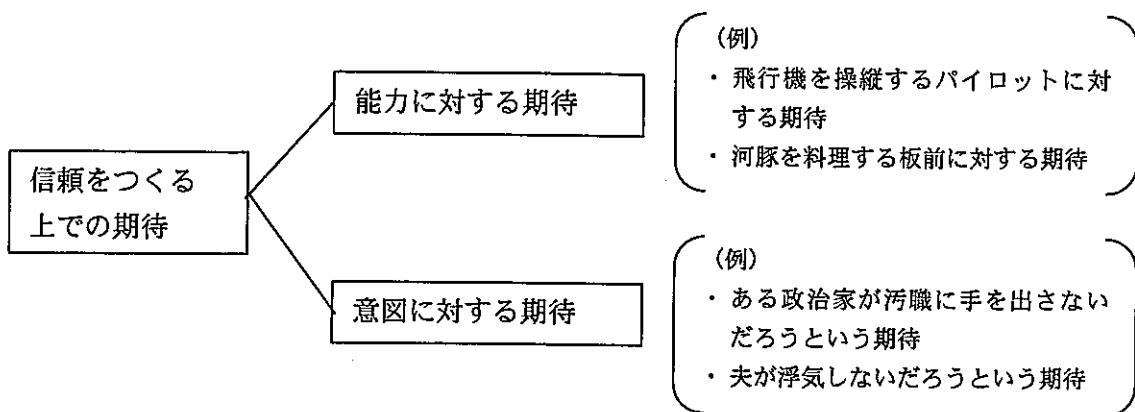
技術的なデータ以外にも、社会的受容性に関する因子としてイメージに関係するものがあることを前節で見た。そこでは、電源システムそのもののリスク・イメージを対象としたが、その電源システムを推進または運営する事業主体に対するイメージも、社会的受容性に関する因子として検討すべきであると思われる。ここでは、事業主体に対する信頼感や安心感とは何かを検討すべく、安心感・信頼感の構造を分析した研究事例を見ながら、受容性評価指標抽出へとつなげる。

山岸らは、過去の研究事例や自身らで行った実験結果などをもとに、安心と信頼の概念を整理している[47]。

(1) 能力に対する期待と意図に対する信頼

上に述べたように、電力会社や政府によって原子力発電所の必要性や安全性が説得されたとしても、立地住民が持つ不安が取り除かれない場合がある。“信頼”に関する研究結果[47]によれば、これは、能力に対する期待と意図に対する期待との違いから生じる混乱であるとしている（図 3-6）。立地住民は、原子力発電所の「能力」に不安を持っているのではなく、電力会社や政府が本当のことを住民に知らせていないのでないかといった「意図」に対する不安をもっているために受容されないとする考え方である。このような区分けをした場合、能力に対する期待としての信頼は前節 PA に関わるものであり、意図に対する期待としての信頼は、本節で取り扱う信頼感・安心感に関わるものと対応付けることができる。

図 3-6 能力と意図に対する期待



(2) 信頼感と安心感の区分け

山岸らの研究においては、上記「意図に対する期待としての信頼」を、さらに 2 つの異なった内容に分類している。例えば、次の 2 つの事例で使われている“信頼”という言葉の意味を考える。

例 1) 中古車店でセールスマンの言うことを信頼して自動車を購入した。

例 2) 三蔵法師は、孫悟空が自分を裏切ることはないと信頼している。

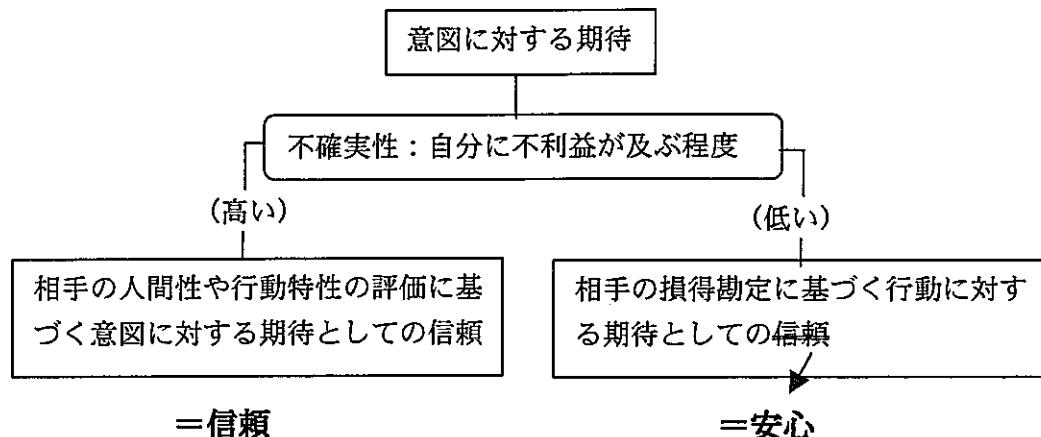
例 1 は、ジョージ・アカロフによるレモンマーケット理論で有名な事例である。レモン（隠された故障のある中古車：米俗語）市場においては、売り手と買い手の間に情報の非対象性があり、売り手には故障のある車だと分かっていても、買い手には故障の有無を見分けることは難しい。買い手にとっては、その車が故障なく買い得な車であるかどうかはわからず、購入を決心する（その中古車購入を受容する）にはセールスマンの言葉を信頼する必要がある。このように、相手（ここではセールスマン）が利己的に振舞ったりいい加減であったりした場合に自分に不利益が及ぶ状況を、“不確実性”が存在する状況と呼ぶことにする。不確実性の大きな状況下では、物事を受容するに際して、相手の人格や人間性などから判断した信頼が必要になるという事例である。

一方、例 2 では、三蔵法師は孫悟空の頭に輪を巻き、それを縮める方法を知っているため、孫悟空の人格や人間性を判断せずとも、孫悟空が自分を裏切らないであろうことに確信をもつことができる。ここでは、不確実性（＝孫悟空の裏切り）を頭の輪によって低減させているため、例 1 のような信頼を必要としない。

以上のように、同じ信頼という言葉を用いていても、相手の人間性や行動特性の評価に基づく意図に対する期待としての信頼と、相手の損得勘定に基づく行動に対する期待としての信頼とは区別することができる。ここでは、後者に対して信頼ではなく「安心」という言葉を用いることとする。すなわち、不確実性が存在しない（または非常に小さい）状

況下で物事を受容する際の認知が「安心」である。

図 3-7 安心と信頼

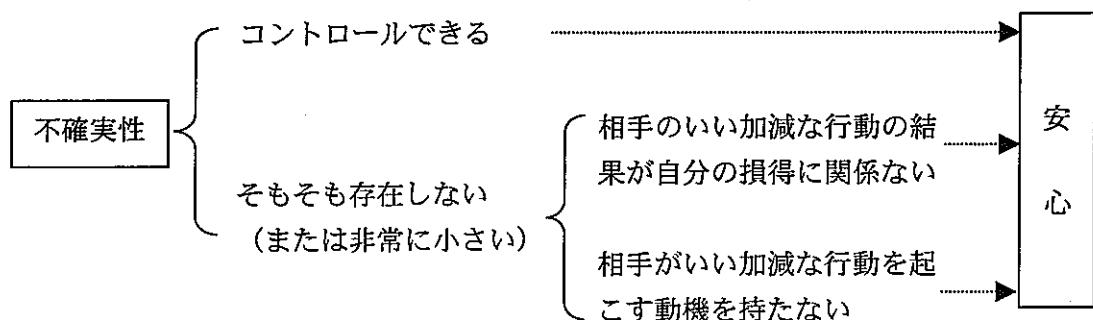


(3) 不確実性と安心感

安心と信頼を区別する際に、不確実性の大きさが重要であると上で述べた。不確実性が低減されている例として三蔵法師と孫悟空の関係を挙げたが、これは、不確実性をコントロールできる例である。これに対し、相手との関係においてそもそも不確実性が非常に小さいか存在しない場合も、安心を得られる状況である。

不確実性が非常に小さい場合は、相手のいい加減な行動の結果、自分が被る損害がほとんど無いと考えられる状況（例えば、友人が試験前に全く勉強をしない、など）である。また、相手がいい加減な行動を起こす動機を持たない場合もあり得る。例えば、相手が家族である場合などは、自分に対して不利益となる行動を意図して行う可能性は一般的に小さい傾向があると考えることができる。

図 3-8 不確実性と安心感の関係

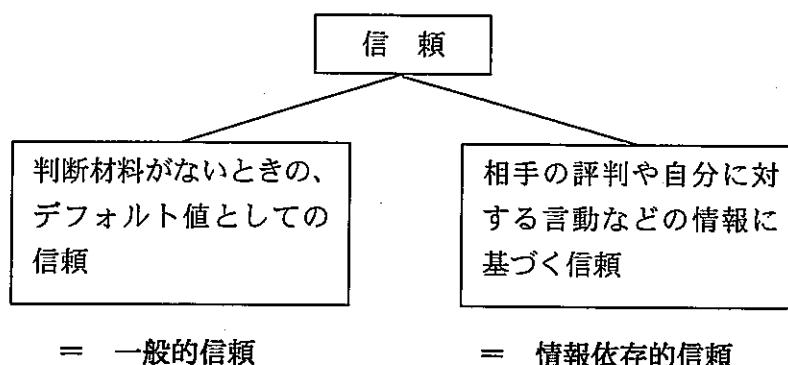


(4) 一般的信頼と情報依存的信頼

安心と区別される信頼は、さらに一般的信頼と情報依存的信頼に区別される。前者は、例えば初対面の人を信頼するかどうか、といった、判断材料がないときの信頼を表す。こ

れに対し後者は、相手の評判や自分に対する言動などの情報に基づく信頼である。科学技術に対する態度形成は、その技術に対する情報（報道内容、事業主体のPRなど）に基づいてなされていくことを考えると、FBRを含めた電源システムに対する信頼においては後者（＝情報依存的信頼）が重要である。

図 3-9 一般的信頼と情報依存的信頼



特定の相手や主体に対する情報依存的信頼のもととなる情報には、大きく分けて、

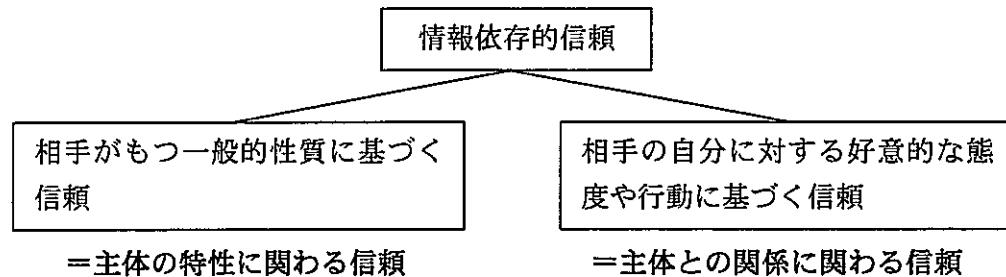
- ①相手の一般的な性質
- ②相手が自分に対して持っている態度

の2種類が考えられる。ただし、これらのはかにも、「相手にとっての誘引構造」が考えられるが、これは、信頼と安心を区別する際の「不確実性を低減する要素」のことであり既に議論済みであるためここでは含めないこととする。

相手の一般的な性質（①）に関する情報としてよく使われるものは、社会的評判や政治的情報、また、それらに基づく偏見やステレオタイプである。例えば、革新系政党を支持する人にとって、ある施策を進めているのが保守系政党であるという情報は、その施策を信頼する要因とはならない場合が多い。大企業の電力会社が言うことだから信頼できる、または逆に大企業だから信頼できない、と考えられるケースもあるだろう。このような、その主体がもつ一般的な性質に基づく信頼を「主体の特性に関する信頼」と呼ぶこととする。

一方、相手の社会的評判が芳しくなくとも、自分たちに対してはひどいことはしないであろうと考える場合もある。このような期待は、相手の特性や人格そのものではなく、相手の自分に対する好意的な態度や行動に基づくものである。このような期待としての信頼を、「主体との関係に関する信頼」と呼ぶこととする。

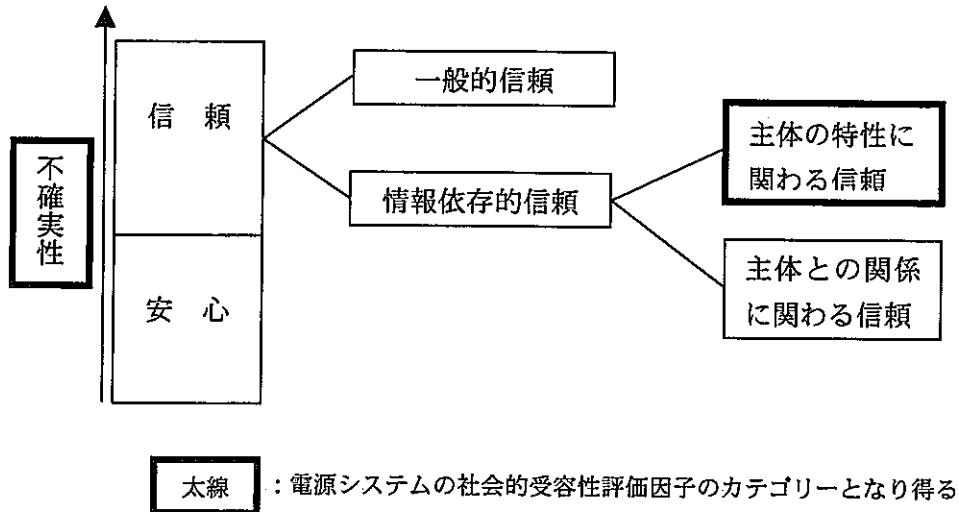
図 3-10 情報依存的信頼の分類



(5) 電源システムと安心感・信頼感

以上の議論をまとめると、信頼と安心は図 3-11のようにまとめることができる。この中で、太線枠で示した項目は、電源システムの社会的受容性評価因子を安心・信頼の観点から抽出する上で特に重要であると思われるカテゴリーであり、項目ごとに電源システムに対してどのように適用し得るかを検討した。なお、ここでは、「能力に対する期待」ではなく「意図に対する期待」としての信頼・安心を議論するため、電源の技術的仕様ではなく、むしろ事業主体の意図に関わる事柄を取り上げる。なお、具体的な因子の抽出は次節で行うこととする。

図 3-11 信頼と安心の整理



1) 不確実性

不確実性とは、“相手が利己的に振舞ったりいい加減であったりした場合に自分に不利益が及ぶ程度”であった。電源システムを運営する主体にとっては、利己的またはいい加減な振舞いとは、例えばずさんな安全管理などが挙げられる。その結果、社会（ここでは仮に立地住民を考える）が被る可能性がある不利益は事故による被害（人身損害、物損、風評など）だということになる。他にも、事業主体が十分な情報開示を行わないことも、利己的またはいい加減な振る舞いと考えることができる。

本節では、安心が得られるのは「不確実性が非常に小さいとき」、または、「不確実性をコントロールし得るとき」であると述べた。電源システムにおいて不確実性が小さい状況とは、ずさんな安全管理の結果として事故が起こったとしてもその規模が大きくない場合、または、その事故の影響が自らの居住地域まで及ばない場合、などが考えられる。一方、不確実性をコントロールし得る状況は、監督官庁や立地地域の自治体では達成し得るかも知れないが、立地住民や国民一般にとっては達成しがたい状況である。

2) 主体の特性に関わる信頼

これは、相手の一般的性質に関する情報に基づく信頼という定義であった。電源システムの事業主体の一般的性質には、次のようなものが考えられる。

その主体の活動拠点位置（地元から起業した事業者である、など）

政治的カテゴリー（保守系政党が推進している、環境派団体が絶賛している、など）

社会的評判：メディアでの報道内容に現れる評判など

その他ステレオタイプ（大企業だから大丈夫、大企業は本音を言わないだろう、など）

これらの中には、同じ立地住民の中でも評価が分かれるものもあり、一般的な指標とすることは難しいものもある。

3.2 社会的受容性に関わる因子の抽出

3.2.1 社会的受容性の評価因子の抽出

前節の議論より、社会的受容性の評価因子となり得る項目を抽出する。

(1) 発電所資源に関わる項目

前節で、電源三法、地域共生活動、PA活動について概観したが、これらのうち、発電所固有の評価因子となり得るものとして、地域共生活動事例に見られた発電所資源の活用が考えられた（他は、受容性を得るために手法に関するものであった）。発電所資源は表3-9のように3つに区分できるが、そのうち、空間資源、ソフト資源には、発電施設が存在すれば資源として伴っているもの（港湾や掘削残土など）と、発電所が存在しても新設などの行為が必要なもの（交流施設、福利厚生施設など）がある。ここでは、電源システムに固有の因子を抽出するという観点から、後者は除いて考えることとする。表3-9に、表3-1に記した項目のうち、上記の観点から評価因子となり得るものを選択した結果を記した（太枠内）。

これら項目のうち、定量化が容易なものは蒸気や温排水（温度など物理量で比較可能）、敷地空間（広さ）くらいであり、非常に少ない。定量化困難な項目については、○×法などによる評価方法も検討すべきである。

表3-9 発電所資源活用性に関わる因子

区分	発電所にそもそも伴う資源	新たに設置するなど必要とする資源
発電による生成資源	蒸気、温排水、石膏、石炭灰、LNG冷熱	（蒸気や温排水を利用するため配管等の新設が必要となるが、ここではそれら資源そのものの性質により左に分類）
発電施設や空間資源	建設用鉄道、港湾、掘削残土、敷地空間	交流施設、景観施設、保健医療施設、福利厚生施設
ソフト資源	雇用、関連産業育成、技術や技能、人材活用	地域調整機能、防災機能、起業ノウハウ、地域交流

(2) リスク認知に関する項目

前節では、リスクそのものの大きさではなくリスクを評価する際に影響する因子として表3-5のように列挙した。社会的受容性の評価因子のうちリスク認知に関する項目として、これらを用いることが可能であると考えられる。なお、前節ではこれら因子を恐ろしさ因子、未知性因子などカテゴリー化した結果や、さらに、これら因子がリスク認知の際にバイアスとして働く場合があることなどの研究事例を紹介した。ここでは、それら事例を考として、社会的受容性の評価因子のうち、リスク認知に関する項目を以下のように整理する。ここで取り上げた項目は、評価視点の1つである“安全性”において議論した死亡リスク等に対する認知のバイアスとして捉えることもできる。

なお、技術や製品の名称（ネーミング）も、リスク認知に影響する可能性が考えられる。例えば、固有安全性を持つ小型炉とそうでない小型炉について、技術的なリスクは同じであっても、前者のほうがより安全であると捉えられる可能性などである。

表3-10 リスク認知に関する因子

区分	因子
恐怖性	大災害の可能性、個人による制御可能性、暴露任意性、子供・子孫への影響、事故歴、公平さ、可逆性
未知性	周知度、理解度、影響発現遅延性、被害者身元判明可否
その他	報道機関の注目度、便益の明瞭性、ネーミング

(3) 推進主体の信頼性に関する項目

前節ではさらに信頼や安心の構造についても議論し、その結果、信頼性を程度に影響する因子として、不確実性（相手の落ち度により自分に不利益が及ぶ程度）の大きさと、政治的カテゴリーなど事業主体の特性の2つが重要であるとした。整理すると以下のようになる。なお、これらもリスク認知のバイアスとして考えることが可能である。

表3-11 推進主体の信頼性に関する評価因子

区分	因子
不確実性	不確実性の大きさ
	不確実性の制御可能性
事業主体の特性	政治的カテゴリー
	メディアでの評判
	活動拠点位置

(4) 新たに加える評価指標構造案

以上に、社会的受容性に関わる新たな評価因子として、発電所資源の活用性に関わるもの（表 3-9）、リスク認知の際にバイアスとして働くもの（表 3-10、表 3-11）が挙がった。これら二つを視点として、新たに加え得る因子の評価構造案を表 3-12、表 3-13に示した。なお、電源システムの各視点に関する得点が、その視点から見て優れているものほど高得点となるような評価構造にするという観点から、リスク認知バイアスは「心理的バイアス低減性」と呼ぶこととした。

また、表 3-12および表 3-13に列挙した各因子には定量化可能なものと定量化困難なものが含まれている。定量化可能な因子については他の視点（経済性や資源性など）に含まれる指標と同様に下位指標を設定した評価構造をとることが可能であるが、定量化困難である因子については、定性的な観点から一对比較による評価とせざるを得ないと考えられる。

表 3-12 社会的受容性として新たに加え得る指標構造案（発電所資源）

指標1	指標2	指標3	さらに下位指標（一对比較の際の観点）
発電所資源	発電による生成資源	蒸気	利用温度、利用可能時間
		温排水	利用温度、利用可能時間
		石膏	生成量
		石炭灰	生成量
		LNG冷熱	利用温度、利用可能時間
		放射線	線量、利用可能時間
	発電施設や空間資源	建設用鉄道	(有無)
		港湾	(有無)
		掘削残土	生成量
		敷地空間	面積
	ソフト資源	雇用	地元雇用者数
		関連産業育成	地元経済波及効果
		技術や技能	(評価者にとって有益な技術や技能であるか)
		人材活用	(評価者にとって有効に活用し得るかどうか)

表 3-13 社会的受容性として新たに加え得る指標構造案（心理的バイアス低減性）

指標1	指標2	指標3	さらに下位指標（一对比較の際の観点）
心理的 バイアス 低減性	恐怖性	大災害の可能性	1事故あたりの最大死傷者数 1事故あたりの最大被害面積
		個人による制御可能性	リスクに対する個人の意思の影響力 リスクに対する個人の能力の影響力
		暴露任意性	同一便益を得る代替手段の有無 リスクテイク拒否可能性の有無
		子供・子孫への影響	遺伝的影響の有無 廃棄物等管理期間 事故時処理期間
		事故歴	評価時点までの事故数 事故頻度
		公平さ	受益者とリスクテイク者が同一か否か
	未知性	可逆性	影響が出た場合に取り返しがつくか否か
		周知度	同一原理の民生用製品の有無
		理解度	仕組みやプロセスが理解容易か否か
		影響発現遅延性	影響がすぐに現れるか遅れて現れるか
	その他事項	被害者身元判明可否	被害者が特定地域に限定されているか否か
		報道機関の注目度	報道機関が取り上げる頻度・量
		便益の直接性	個人的便益か、公共の便益か
	不利益性	便益の明瞭性	便益が定量化可能か 量の単位の周知度・理解度
		大きさ	事故や不祥事により被る不利益の程度
	事業主体の特性	制御可能性	事業主体に対する影響力有無
		政治的カテゴリー	評価者と同一か否か
		メディアでの評判	評価者が支持するメディアでの評判の良し悪し
		活動拠点位置	評価者と同一か否か

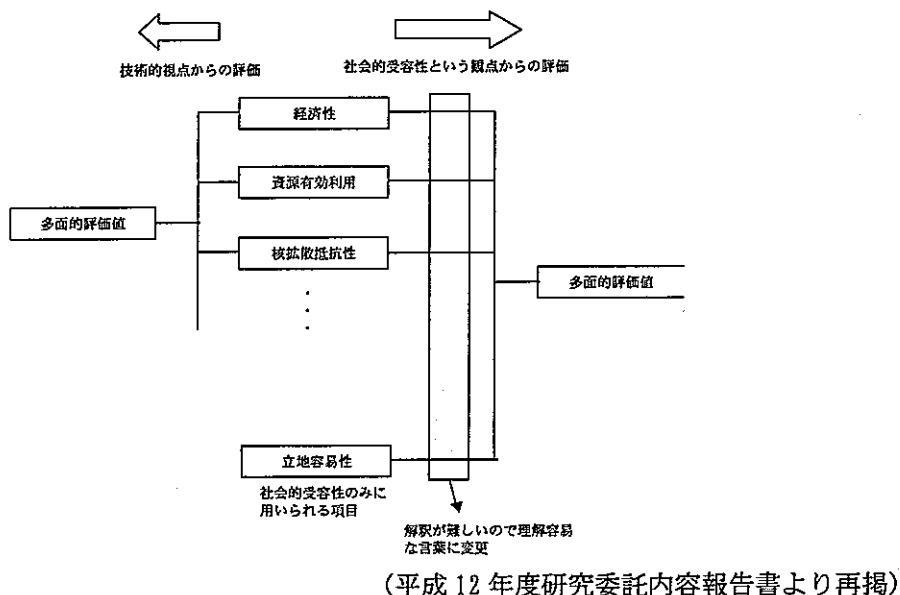
3.2.2 社会的受容性の取り込み方

平成12年度での検討において、社会的受容性の評価構造への取り込み方として以下の3つを検討し、そのうち第2案が望ましいとした。すなわち、社会的受容性が最高次の指標となり、技術的な評価視点もこれに含まれるという考え方である。ここではまず、社会的受容性の取り込み方として前年度検討した内容を確認した上で定式化を行う。

表 3-14 平成 12 年度に検討した社会的受容性の取り込み方法案

方法案		内容
第 1 案	社会的受容性を評価運用上の手法として取り込む方法	視点の重み付けに立地住民の意見を反映させるなど、社会的受容性を高めるべく評価体系を運用する。
第 2 案	既存の視点を社会的受容性の一部とする方法	既存の視点に、「立地容易性」など社会的受容性に関わる視点を追加する。（下図）
第 3 案	社会的受容性を通常の評価視点と同じレベルに取り込む方法	既存の視点と同レベルに「社会的受容性」を置き、他視点とともに重みをつける。

図 3-12 平成 12 年度の社会的受容性の取り込み案（第 2 案）



昨年度第 2 案は、技術的観点からの既存視点に、社会的受容性の観点から考えられる視点を新たに追加し、各視点に重みをつけてその一次結合で評価する方法である。

新たな視点として抽出されたものは表 3-12 に示した「発電所資源活用性」と「リスク認知バイアス低減性」であり、これら追加すると図 3-13 のような構造となる。視点 i の得点を X_i 、重みを α_i とすれば、

$$\text{総合評価値} = \sum_i \alpha_i \cdot X_i \quad (\text{昨年度案})$$

と定式化される。得点や重みは立場によって異なるものである。

この定式化のメリットとしては、昨年度までに構築した総合評価手法の拡張であり理解

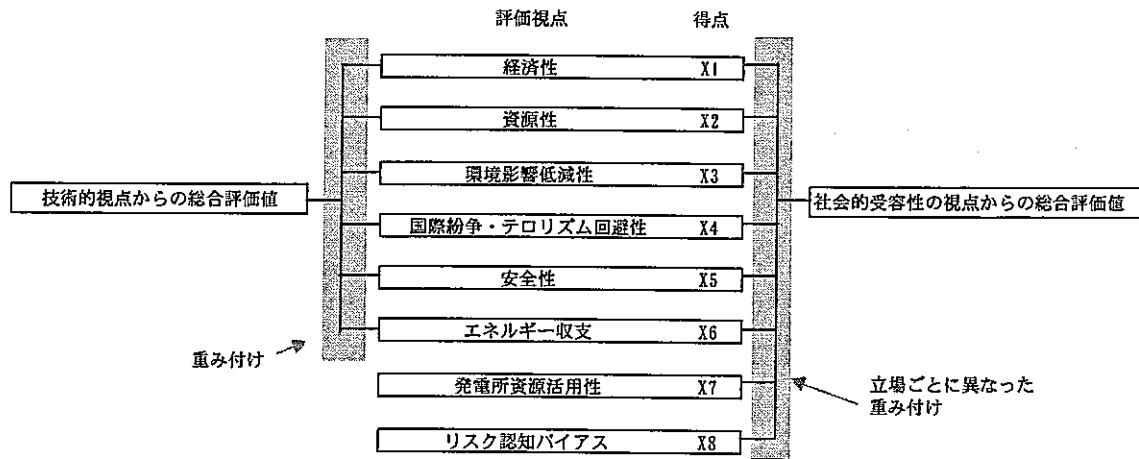
しやすい点が挙げられるが、問題点として、視点の重み付けの意味が明確にならないとの議論もありうる。すなわち、「リスク認知バイアス低減性」と「安全性」との一対比較を行うことが意味を持つのかどうかを検討する必要がある。リスク認知のバイアスとは、ある立場の評価者が「安全性」を評価する際にリスクを過大評価するか否かという指標であるため、安全性にバイアスを乗じたものが、その立場の人にとっての「安全性」に他ならないと考えれば、評価の定式化は上式では妥当と言えず、以下のような定式かも考えられる。

$$\text{総合評価値} = \sum_{i=1}^{5,8 \text{を除く}} (\alpha_i \cdot X_i) + \alpha_5 \cdot X_5 \cdot X_8 \quad (\text{昨年度案の改良型})$$

しかしながら、バイアスを乗じる際にも、その範囲をどのように解釈するのかという別の問題が浮上する。図3-5にも見られたように、死者数ベースでのリスク認知に対するバイアスは2~3桁にも及ぶものである。その効果を、他の視点に対する重み付けと整合性をとりながら設定することは非常に困難である。上の式では、X8を1~0の範囲にある値としている（バイアスが全くかからないケースが1、バイアスが最大限と評価されるケースが0）が、この範囲の設定に根拠はない上、範囲を変化させれば評価結果が逆転することがありうる。

ここでは、定式化として、昨年度に結論付けた手法（前者）を用いることとする。ただし、上で挙げた二つ目の定式化や、後述する他の手法など、これ以外にも評価の定式化は存在する。

図 3-13 社会的受容性取り込み方法



3.2.3 社会的受容性に関するその他の評価方法

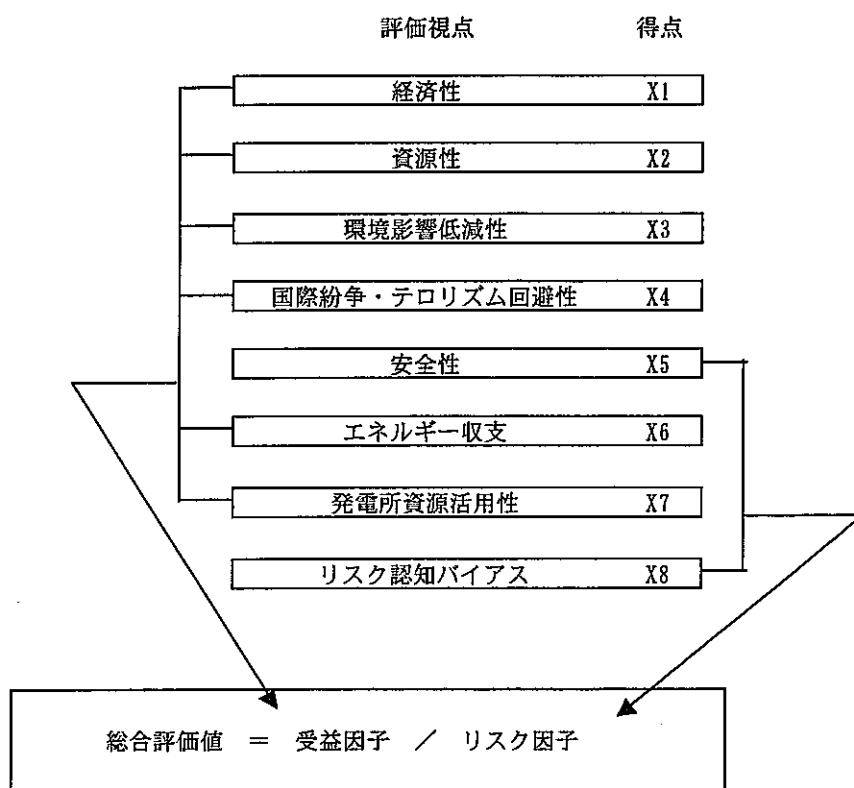
上で行った定式化のほかに、社会的受容性を評価する方法がいくつか考えられる。ここ

では、それら他手法の考え方について述べる。

(1) 受益／リスク比で評価する方法

一つ目の方法として、評価視点を受益とリスクとに分類し、それらの比で総合評価を行う方法を検討する（図 3-14）。

図 3-14 受益／リスク比による社会的受容性評価手法



この手法をとるにあたって、まず 8 つの評価視点を受益因子とリスク因子に分類することが必要である。経済性を考えても、現状より安くなることを前提とした評価であれば受益としてカウントできるが、現状より高くなることがあり得るのであればそれはリスクであると考えることができる。しかし、ここでは、バイアスの範囲設定が結果に影響しないような評価を可能にするというこの方法の特徴を生かすために、安全性とリスク認知バイアス低減性をリスク因子として扱う方法を考えることとする。各視点の得点は効用関数をもとに算出されるものであり、最低満足値（例えば現状）よりも改善される場合にのみ得点が与えられる仕組みになっているため、受益としてのみ扱うことも可能であると考えられる。

次に、分母（リスク因子）の定式化を行う。安全性、リスク認知バイアス低減性とともに、

改善されるほど高得点（最大が1）となる因子である。これらのリスク因子としての定式化には、

$$(1 - X_5)(1 - X_8) : X_8 \text{ が } 1 \rightarrow 0, X_8 \text{ が } 0 \rightarrow (1 - X_5)$$

$$1/(X_5 \cdot X_8) : X_8 \text{ が } 1 \rightarrow 1/X_5, X_8 \text{ が } 0 \rightarrow \infty$$

などが考えられる。ここでは、バイアス低減性が最大得点の時にバイアスが1となる後者が望ましいと考える。

以上の考え方によると定式化は次のようにになる。ここで、リスク因子（安全性）の得点は改善されるほど高くなるため、1からその得点を差し引いた値を用いている。なお、重み付けは安全性とリスク認知バイアス低減性を除いて行うこととなる。

$$\text{総合評価値} = \frac{\sum_{i=1}^{5,8\text{以外}} c_i \cdot X_i}{1/(X_5 \cdot X_8)}$$

(2) ベネフィット／コスト比で評価する方法

上に述べた（2）案では、安全性とリスク認知バイアス低減性を分母にとり、他の項目は全て受益としてカウントして分子に置いた。ここでは、各視点をコスト因子とベネフィット因子に分類し、それらの比をとる方法を検討する。このようないわゆる費用便益分析的な手法は、多分野における研究開発においても用いられており（参考文献[26]）、一般性が高いという点で納得性が高いと考えられる。また、FBR研究開発の投資対効果についての評価方法（参考文献[27]など）とも整合しており、比較検討しやすい点も大きなメリットであると言える。

この方法でまず課題となるのが、コスト因子とベネフィット因子（(2)の手法と区別するため、ここでは受益と呼ばずベネフィットと呼ぶこととする）の分類である。各視点とも、現状より改善されればベネフィットと解釈することもでき、その一方で、環境影響などは改善されてもコスト（ここでは環境影響を広義のコストに含めると考える）が小さくなっただけであり、ベネフィットとは呼べないと解釈することもできる。さらに、電源システム同士を比較する場合には、一方の電源ではある視点がベネフィットとなるが他方ではコストに含めるべき、といった局面も現れる可能性がある。

FBR研究開発の投資対効果の評価手法検討（参考文献[27]など）においては、経済性や資源性に関連する項目は全て効果とし（比較対象より劣る場合は負の効果として算入）、その効果と研究開発にかかる投資総額とを比較している。そこで、ここでも各視点は全てベネフィットであると解釈して分子に置き、コストとしては研究開発に関わるコスト因子、すなわち、技術的実現性に関わる評価得点を分母に置くことを考える。技術的実現性の評価値を X_9 とすれば、分母の定式化には $(1 - X_9)$ と $1/X_9$ の2通りが考えられ、ここでは技術的実現性が最低得点時に分母が ∞ （総合評価値がゼロ）となる後者を採用することとする。

$$\text{総合評価値} = \frac{\sum_i \alpha_i \cdot X_i}{\left(\frac{1}{X_5} + \frac{1}{X_8} + \frac{1}{X_9} \right)}$$

(3) 二つの手法の統合型

以上に挙がった取り込み方法をまとめると表 3-15 のようになり、どの方法もデメリットを抱えているため、これらの組み合わせを考えることとする。受益／リスク比の式と、ベネフィット／リスク比の式を組み合わせれば、前者のデメリット「リスク・受益区別の分かりにくさ」は残るもの、後者のデメリット「バイアス範囲問題」は解消される。定式化は以下のようになる。

$$\text{総合評価値} = \frac{\sum_{i=5,8\text{以外}}^9 \alpha_i \cdot X_i}{\left(\frac{1}{X_5} + \frac{1}{X_8} + \frac{1}{X_9} \right)}$$

この式は、(2)案で述べた受益とリスクの比をもって、研究開発コストに対するベネフィットと解釈し、そのベネフィットと研究開発コストの比をもって総合評価値と捉えるものである。一対比較は、下式の技術的視点からの評価値に関わる視点（経済性、資源性、等）にのみ行い、安全性や技術的実現性については行わなずとも評価が可能である。また、技術的実現性を考慮しない場合（既に実現している技術同士を比較する場合）には、下式の分子のみの値で比較することも可能である。

$$\text{総合評価値} = \frac{(\text{技術的視点からの評価値}) / (\text{心理的要因も含めたリスク評価値})}{(\text{技術的実現性にかかるコスト因子})}$$

表 3-15 社会的受容性取り込み方法のメリットとデメリット

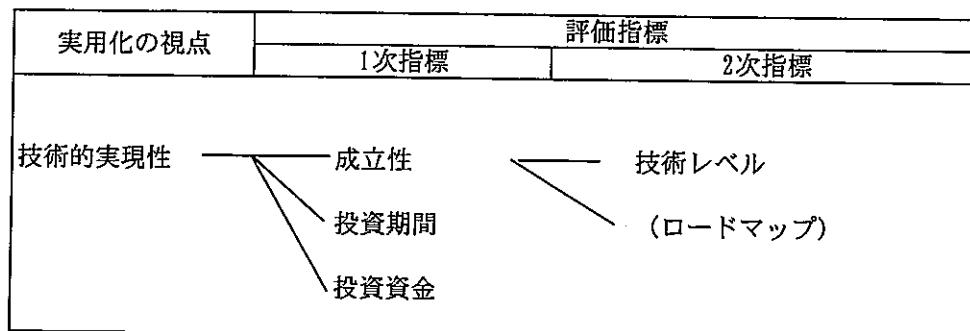
取り込み方法（定式化）	メリット	デメリット
昨年度案（改良型）	各視点の評価方法を自然に延長しており分かりやすい。	「バイアス」の範囲が不明確であり、設定によっては評価が逆転することもありうる。
受益／リスク比	「バイアス」範囲問題は解消。	受益とリスクの区別が分かりにくい。
ベネフィット／コスト比	他分野などでも使われている方法であり一般性が高い。 投資対効果評価の自然な拡張である。	「バイアス」の範囲に関する問題が残る。

3.3 技術的実現性に関する検討

上で行った総合評価値の定式化には、技術的実現性という視点が加わっている。この視点は、平成11年度、平成12年度の検討においても評価構造案が示されている。平成11年度では、同視点を開発期間（年）と投資資金（円／年）で評価する構造であり、それに対して成功確率といったファクターを付加すべきとの議論がなされた。平成12年度では、成功確率に対応する指標として、成立性（技術レベル）を導入し、これを開発投資（円）と並列させた評価構造とした。開発投資は、平成11年度の開発期間×投資資金に相当するものであり、そこでは時間の概念を陽に含めないこととしている。

様々な立場に対する受容性という観点から評価する場合、開発投資の絶対額だけではなく、いつ実現するのかという時間の因子が評価に影響することもありうると考えられる。例えば事業主体の立場から、長期的な事業計画に照らし合わせて受容性を評価する際、実現時期は重要な因子となろう。よって、ここでは図3-15に示すように、投資期間も含めた評価構造案を設定することとする。

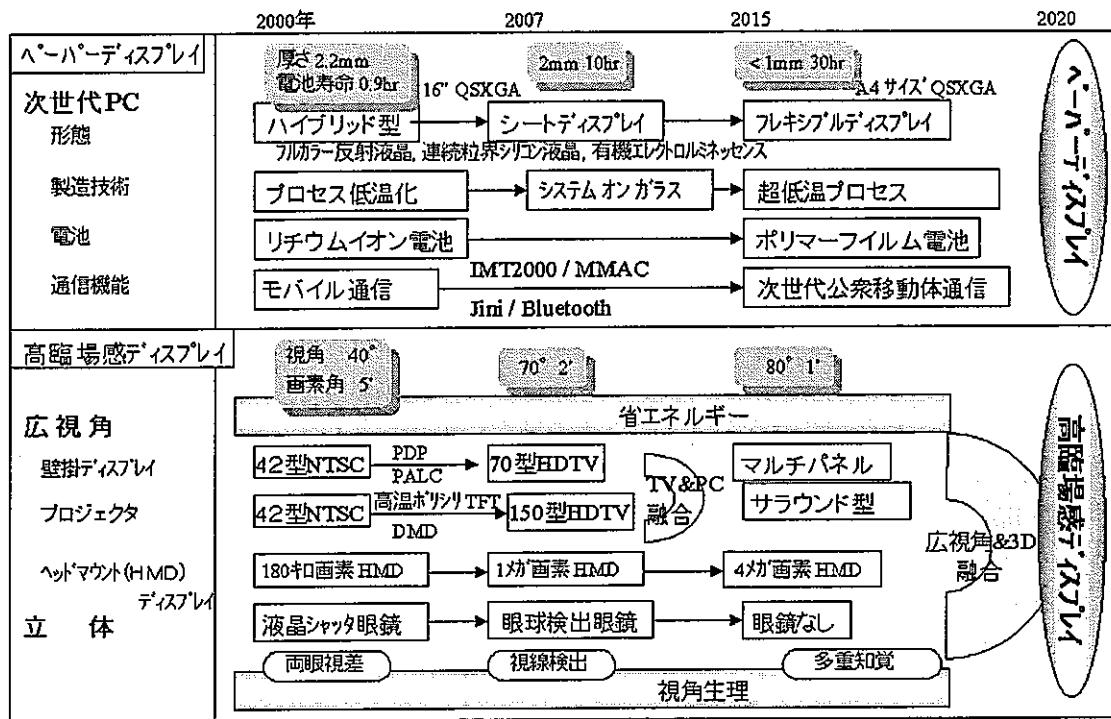
図 3-15 技術的実現性の評価構造案



また、技術的実現性を評価するに当たって、ロードマップを活用することが考えられる。ロードマップは、通常、特定の技術分野や特定のプログラムに即して作られる。また、時間軸に沿って表現され、いくつかの指標等によって各段階の特徴づけを行う形で作られることが多い。例として、光産業技術開発協会（OITDA）が作成したディスプレイ技術に関するロードマップを図3-16に示す。

ロードマップを取り込む手法としては、ロードマップ中に現れる評価指標を構造に加える方法と、ロードマップそのものを一対比較によって評価する方法が考えられる。

図 3-16 ペーパーディスプレイおよび高臨場感ディスプレイのロードマップ



出所) 光産業技術開発協会 (OITDA)

3.4 発電システムに関心を持つ立場

平成 12 年度においても検討したように、社会的受容性とは、「誰にとっての」受容性であるのかを明らかにした上で評価する必要がある。平成 12 年度は、立場として、立地住民、国民、電力会社（事業主体）、政府、と 4 つを想定し、それぞれにとって関心のある事項をピックアップした。ここでは、国民全体としての関心、立地地域近隣の者（立地住民）としての関心、立地地域以外の一般企業などにとっての関心を仮に想定した（表 3-16）。ここでは、あくまで仮の想定であるが、本評価システムを運用するにあたっての重み付けは、このように立場によって異なってくると考えられる。重み付け作業の手法確立は、評価構造構築後の課題として重要となる。

表 3-16 立場ごとに異なる関心の例（仮想定）

評価因子	国民	立地地域近隣		立地地域以外 （営利法人 (事業主体を除く)
		立地住民	事業主体	
経済性	発電単価	●	●	●
	発電単価変動幅	●	●	●
	投資回収性		●	
資源性	必要資源量	●	●	●
	埋蔵量	●	●	●
	他用途性	●	●	●
	儲蓄性	●	●	●
環境影響低減性	放射性廃棄物	●	●	●
	大気汚染物質	●	●	●
	大気等他の影響	●	●	●
	水環境	●	●	●
	生態系	●	●	●
	地球温暖化物質	●	●	●
	その他環境	●	●	●
	核拡散抵抗性	●	●	●
	国際紛争・テロリズム回避性	●	●	●
安全性	世界需給バランス安定性	●	●	●
	我が国輸入先としての安定性	●	●	●
	エネルギー収支		●	
発電所資源	発電による生成資源		●	
	発電施設や空間資源		●	
	ソフト資源		●	
リスク認知バイアス低減性	恐怖性	大災害の可能性	●	●
		個人による制御可能性	●	●
		暴虐任意性	●	●
		子供・子孫への影響	●	●
		事故歴	●	●
		公平さ	●	●
		可逆性	●	●
	未知性	周知度	●	●
		理解度	●	●
		影響発現遅延性	●	●
		被害者身元判明可否	●	●
	その他事項	報道機関の注目度	●	●
		便益の明瞭性	●	●
	不確実性	大きさ	●	●
		制御可能性	●	●
	事業主体の特性	政治的カテゴリー	●	●
		メディアでの評判	●	●
		活動拠点位置	●	●

4. 評価構造の拡張、統合に関する検討

ここでは、大規模電源と中小規模電源について、これまでに提示してきた同一の評価構造案によって評価することが可能であるかどうかを検討する。また、中小規模電源に関しては、様々な用途を設定したとしても同一評価構造で良いか否かを検討する。

(1) 大規模と中小規模

ここまで検討は、大規模電源に対する評価視点として、経済性、資源性、環境影響低減性、核拡散抵抗性、安全性、技術的実現性があり、中小規模電源に対する評価視点としては、これらに対して簡便性と電力品質を加えるという考え方である。よって、大規模電源に対しては、簡便性と電力品質に重み付けをしないことで、同一構造を用いた評価が可能となるものと考えられる。

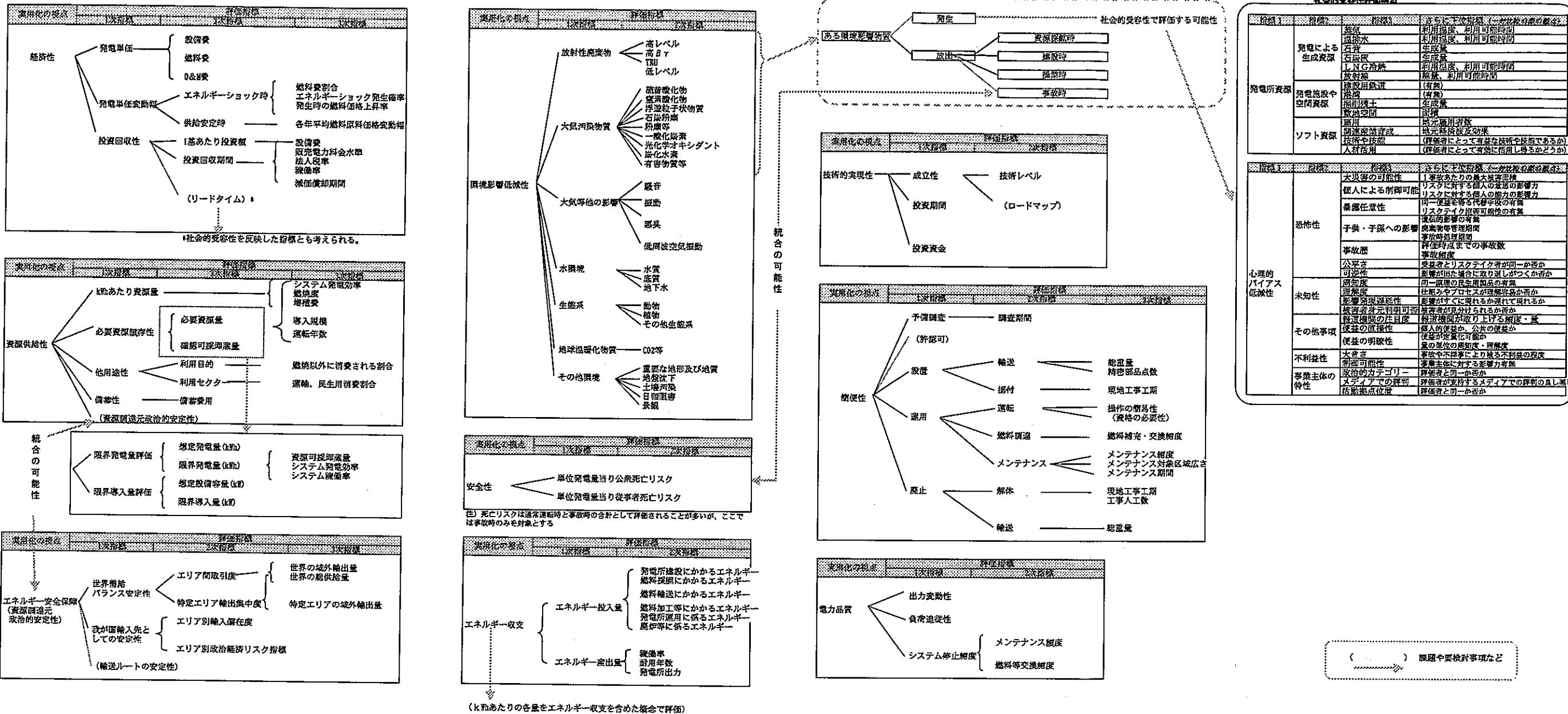
(2) 様々な用途に対して

しかしながら、中小規模の用途としては、①僻地・離島での利用、②地域電源としての利用、③工場での大規模産業用自家発利用の3つを想定して評価指標の洗い出しを行っており、その他の用途（発展途上国での利用、海水の淡水化利用など）は、ここでは視野に入れていない。本年度には検討しなかった他の用途を視野に入れる場合、表4-1に示すように別途検討が必要となる事項もあり、本年度に構築した指標構造と同一構造では必ずしも評価し得ないものと考えられる。ここでは、今後の検討課題という意味合いにおいて、要検討事項を示すものとする（表4-1）。

表4-1 他用途を視野に入れる際の要検討事項

用途	要検討事項
発展途上国への導入	導入想定国に特有の事象を、重み付けによってのみ反映させるのか、新たな視点が必要となるのかの検討。
海水の淡水化プラント	塩水雰囲気耐性、水圧耐性などを評価し得る視点の検討。
熱源としての利用	熱の品質（温度、廃熱回収性など）を評価する視点の検討。
その他	宇宙や海底など、特殊環境下での利用まで視野に入れるのであれば、真空中や高水圧下といった使用条件を考慮して評価視点の抽出を検討する必要がある。

本調査研究で構築した評価構造案を次頁に示す。



5. 目標達成度評価システムの改良

昨年度までに、FBR 目標達成度評価システムを Microsoft ACCESS を用いて運用可能となるように改良を加えた。その結果、評価項目の値の変更や評価構造の任意設定を可能とした。今年度は、評価構造の拡張を検討した結果、新たに付け加えるべき評価項目が多数挙がっている。表 5-1に、今年度までに挙がった、評価に必要な項目（必要となる可能性のある項目も含む）を列挙する。

表 5-1 目標達成度評価システムに対する入力項目整理

視点	項目	視点	項目
経済性	設備費	環境負荷 低減性	高レベル排出量
	燃料費		高 β ャ排出量
	O&M費		TRU排出量
	燃料費割合		低レベル排出量
	エネルギーショック発生確率		硫酸化物排出量
	発生時の燃料価格上昇率		窒素酸化物排出量
	各年平均燃料原料価格変動幅		浮遊粒子状物質排出量
	販売電力料金水準		石炭粉塵排出量
	法人税率		粉塵等排出量
	稼働率		一酸化炭素排出量
	減価償却期間		光化学オキシダント排出量
	リードタイム		炭化水素排出量
	システム発電効率		有害物質等排出量
	燃焼度		騒音レベル
資源性	増殖費		振動レベル
	導入規模		悪臭レベル
	運転年数		低周波空気振動レベル
	燃焼以外に消費される割合		水質
	運輸、民生用消費割合		底質
	資源可採埋蔵量		地下水
	世界の域外輸出量		動物
	世界の総供給量		植物
	特定エリアの域外輸出量		その他生態系
	エリア別輸入偏在度		CO ₂ 等
	エリア別政治経済リスク指標		重要な地形及び地質
	核兵器転用性		地盤沈下
	核物質防護		土壤汚染
	保障措置		日照阻害
工エネルギー収支	調査期間		景観
	総重量	電力品質	出力変動性
	精密部品点数		負荷追従性
	現地工事工期		メンテナンス頻度
	操作の簡易性 (資格の必要性)		燃料等交換頻度
	メンテナンスの容易性		
	メンテナンス期間		
	現地工事工期		
	工事人工数		

6. まとめ

本調査研究は、FBR サイクルシステムを対象とした目標達成度評価システムに対し、社会的受容性および技術的実現性の評価や、他エネルギー・システムを対象とした評価を行うべく、その機能を拡張することを目的として実施された。以下に、本調査研究で得られた成果をまとめる。

(1) 競合エネルギー・システムの設定および求められる性能・特徴の調査

競合発電システムとして、大規模（50～100GW）および中小規模（50～200MW）を対象として、それぞれ以下のように競合を設定した。

1) 大規模（50～100GW）

100万kW級発電所50～100基に相当する規模であり、ここでは、LNG火力、石炭火力、および軽水炉を競合電源種として取り上げた。

2) 中小規模（50～200MW）

競合設定に先立って、中小規模電源の用途を検討し、本調査研究では①僻地・離島、②地域電源、③工場等での大規模自家発を対象にすることとした。その上で、ガスタービン発電機、風力発電、燃料電池、廃棄物発電を中心とする競合として取り上げた。なお、太陽光発電や水力発電等についても、その現状について触れた。

以上の競合電源システムに関して、平成12年度までに構築した評価システムにおける各評価視点（経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、安全性、核拡散抵抗性）から見た特徴を整理し、評価構造へ追加すべき指標の抽出を行った。さらに、中小規模電源に関して、上記評価視点以外にも、簡便性や電力品質といった評価視点を加え得ることを議論した。

検討した内容をもとに、既存視点（経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、安全性、核拡散抵抗性）および新しく加えるべき視点（簡便性、導入限界量等）について、それらの評価構造案を具体的に検討・提示した。

(2) 社会的受容性および技術的実現性に関する評価構造の構築

ここでは、従来の大規模電源立地における地元地域共生策やこれまでのPA活動について概観した上で、技術のリスク・イメージや、安心・信頼について社会心理学的に研究した事例を取り上げ、社会的受容性を評価する因子抽出について検討した。

リスク・イメージに関しては、能動的リスクと受動的リスクの受容性の違いに関する研究例や、リスク・イメージの因子分析研究事例などを調査した。また、安心・信頼に関しては、

被る不利益の程度（不確実性）を軸としてその構造を考察した。

以上のような調査の結果、社会的受容性の評価因子として、大きく、発電所資源に関わるものと心理的バイアス低減性に関わるもの二つに整理しうるとし、それらの評価構造案を提示した。

技術的実現性についても、開発投資の絶対額などに加えて、いつ実現するのかという時間的要素を取り込むべきとの考え方を踏まえて、具体的に評価構造案を提示した。

（3）評価構造の拡張・統合に関する検討

（1）および（2）で提示した評価構造案により、大規模電源と中小規模電源を同一構造で評価し得るか、また、様々な用途についても同一構造の使用が可能であるか否かについて検討した。大規模電源と中小規模電源については、視点に対する重み付けを変化させることにより、同一構造による評価が可能であるが、他用途については別途構造を設ける必要がある可能性を指摘した。

（4）目標達成度評価システムの改良

平成12年度までに構築したMicrosoft ACCESSを用いた目標達成度評価システムに対し、今年度検討により拡張された評価視点やその下位構造に関する入力項目を整理した。

以上

参考文献

- [1] 経済産業省、「電源開発の概要 平成 11, 12 年版」
- [2] 山田、他、「超々臨界圧発電システム」、火力原子力発電、Vol.52, No.10, 2001
- [3] 三島、他、「流動層発電システム」、火力原子力発電、Vol.52, No.10, 2001
- [4] 石橋、他、「ガス化複合サイクル発電」、火力原子力発電、Vol.52, No.10, 2001
- [5] 今村、他、「自家用発電設備の設置動向調査」、電力中央研究所報告、平成 10 年
- [6] 佐々木、「実用化近づく燃料電池」、日本エネルギー学会誌 Vol.78, No. 871, 1999 年
- [7] 高塚、「PEFC の開発状況」、火力原子力発電、Vol.51, No.11, 2000 年
- [8] 石福（監修）、「ガスコーチェネレーション導入事例集（ホテル編）」、日本工業出版、平成 10 年
- [9] 石福（監修）、「ガスコーチェネレーション導入事例集（病院編）」、日本工業出版、平成 10 年
- [10] NEDO、「燃料電池導入ガイドブック」、平成 12 年
- [11] 資源エネルギー庁編、「エネルギー2002」、エネルギーフォーラム、2001 年
- [12] 中部電力プレスリリース（平成 12 年 9 月 11 日付け）
- [13] 駒橋、「燃料電池革命」、日刊鉱業新聞社、2000 年
- [14] 「許認可済み火力発電設備一覧表」、火力原子力発電、平成 13 年 5 月
- [15] 東京電力、「原子力発電の現状 2000 年度版」
- [16] 資源エネルギー庁公益事業部会、「電力需給の概要(1999)」
- [17] （社）日本電気協会、「電気事業の現状 平成 12 年版」、オーム社
- [18] NEDO、「平成 5 年度 大型風力発電システム開発」、1994 年
- [19] 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
- [20] 資源エネルギー庁編、「発電所に係る環境影響評価の手引き」、電力新報社、平成 11 年
- [21] 東京電力、「環境行動レポート」、1999 年
- [22] 核燃料サイクル開発機構、「FBR 研究開発の投資対効果評価システムの詳細検討（株）三菱総合研究所受託研究報告書」JNC TJ9400 2000-011、2000 年
- [23] 平田、「リスクアセスメント」、日刊工業新聞社、1995 年
- [24] 高津、「原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出」、電力中央研究所報告 P95001、1995 年
- [25] 平野、「原子力発電所の確率論的安全評価（P S A）」、消防科学と情報、Vol.61、2000 年
- [26] 核燃料サイクル開発機構、「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（株）三菱総合研究所受託研究報告書」JNC TJ9400 99-006、1999 年
- [27] 核燃料サイクル開発機構、「投資対効果システムの開発（株）三菱総合研究所受託研究報告書」JNC TJ9400 2001-018、2001 年

- [28] 核燃料サイクル開発機構、「FBR サイクルの多面的評価手法の改良(株)三菱総合研究所受託研究報告書) JNC TJ9400 2001-013」、2001 年
- [29] インハイバー、「各種エネルギー源のリスク評価」、原子力資料 No.102,日本原子力産業会議、1978 年
- [30] 斎藤、「エネルギー収支分析の有効性」、電力中央研究所報告 581011、1982 年
- [31] 内山、「発電システムのライフサイクル分析」、電力中央研究所報告 Y94009、平成 7 年
- [32] 電力中央研究所プレスリリース、1996 年
- [33] 近藤、「エネルギー・システムのリスク評価」、エネルギー・資源、Vol.10,No.3, 1989 年
- [34] エネルギー資源学会編、「エネルギー・資源ハンドブック」、オーム社、1996 年
- [35] 通商産業省編、「エネルギー97」
- [36] 通産省資源エネルギー庁、「電源立地の概要」、平成 11 年
- [37] (財) 電源地域振興センター、「地域共生型発電所に関する調査研究」、平成 10 年
- [38] 山中、他、「電源地域の課題と振興策」、電力中央研究所報告 Y01、1996 年
- [39] (財) 電源地域振興センター、平成 10 年度地域振興マニュアル(原子力 PA マニュアル策定調査) 報告書、平成 11 年
- [40] 資源エネルギー庁、「原子力コミュニケーション」、エネルギーフォーラム、平成 12 年
- [41] 田中、「原子力発電所立地におけるリスク認知とベネフィット認知」、日本リスク研究会誌、第 9 卷、第 1 号、1997 年
- [42] 田中、「原子力発電の社会的受容に及ぼすコミュニケーションの効果」、電力中央研究所報告 Y98005、1999 年
- [43] 田中、「科学技術の社会的受容を決定する要因」、実験社会心理学研究、第 35 卷,第 1 号、1995 年
- [44] 林、他、「国民性とコミュニケーション」、INSS JOURNAL、1994 年
- [45] 渡辺、他、「原子力発電の安全性に対する信頼の構造」、INSS JOURNAL、1994 年
- [46] 岡本、「リスク心理学入門」、サイエンス社、1992 年
- [47] 山岸、「信頼の構造」、東京大学出版会、平成 10 年