



# FBRサイクル研究開発に関する 投資対効果評価手法の開発

塩谷 洋樹 安松 直人\* 篠田 佳彦 小野 清

大洗工学センター システム技術開発部  
\*原子力システム株式会社

Development of the Cost-Benefit Analysis Methodology for FR Cycle Research and Development

Hiroki SHIOTANI Naoto YASUMATSU Yoshihiko SHINODA Kiyoshi ONO

System Engineering Technology Development Division, Oarai Engineering Center  
\* Nuclear Energy System Inc.

発電コスト削減効果に加え、環境負荷低減効果、生命リスク低減効果、エネルギーセキュリティ向上効果、資源枯渇抑制効果、燃料輸入減少といった効果を考慮し、投資額と比較してFBRサイクル研究開発の投資対効果を評価するシステムを開発してきた。

上記システムを用いてFBRサイクル研究開発の投資対効果に関する感度解析を行なった。さらに、「高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究フェーズ」における6つの核燃料サイクル概念について、候補概念の特性の違いによる投資対効果の差を検討した。将来社会に関する条件（電力需要、CO<sub>2</sub>排出量削減価値等）は不確実性を有するものの、研究開発投資に対して数倍以上の効果が得られることを示した。

*A cost benefit analysis system for Fast Reactor (FR) cycle research and development (R&D) has been developed. The benefits derived from FR cycle research and development, which are compared with the cost for the FR cycle R&D in the system, are environmental burden reduction, risk reduction, contribution to energy security and resource import reduction, as well as power generation cost reduction. Cost benefit analyses for a typical FR cycle R&D and the sensitivity analyses for some parameters have confirmed the validity of the system and the effects of the parameters. Different cost benefit ratios were obtained from the analyses on the R&Ds for six FR cycle concepts in the first phase of the Feasibility Studies on commercialized FR cycle system. Those analyses showed that several fold benefit will be derived from FR cycle R&D investment but there remains uncertainty of the parameters on future society.*

## キーワード

投資対効果（費用対効果）、FBRサイクル、研究開発、実用化戦略調査研究、実用化候補概念、特殊法人改革、高速増殖炉懇談会、外部性、経済性

*Cost Benefit Analysis, FR Cycle System, Research and Development, Feasibility Studies on Commercialized FR Cycle System, FR Cycle Candidate Concepts for Commercialization, Special Public Institutions Reform, Advisory Committee for Fast Breeder Reactors, Externality, Economics*

## 1. はじめに

本研究は、FBRサイクルの研究開発に関する投資対効果（費用対効果）を評価するために実施し

たものである<sup>1)~3)</sup>。

民間企業においては、事業の遂行に要する投資（あるいは費用）とその効果の予想、分析が経営上



塩谷 洋樹

FBRサイクル解析グループ所属  
副主任技術員  
FBRサイクルの導入シナリオ構築に従事  
核燃料取扱主任者  
第一種放射線取扱主任者



安松 直人

FBRサイクル解析グループ所属  
核燃料サイクル解析に係る作業に従事



篠田 佳彦

FBRサイクル解析グループ所属  
副主任研究員  
FBRサイクルの特性評価に従事  
第一種放射線取扱主任者



小野 清

FBRサイクル解析グループ所属  
研究主幹  
FBRサイクルの導入シナリオ構築に従事  
核燃料取扱主任者  
第一種放射線取扱主任者

の重要な関心事項であり、その中で研究開発の投資対効果をどのように判断するかという点は、これまで困難な課題とされてきた。

国の科学技術関連事業においても、近年この観点が重要視されている。原子力委員会高速増殖炉懇談会（西澤潤一座長）報告書（1997年12月）<sup>9</sup>には、我が国の財政事情がひっ迫しているため、原子力開発を含めた大型プロジェクト自体の研究開発投資とその効果を定期的に評価して、研究開発計画を見直す必要がある旨が述べられている。さらに2001年以降の特殊法人改革において、研究開発を含めた事業の費用対効果が注目され、その評価手法を確立することが求められている。

本報告では、上記背景の下で開発されたFBRサイクル研究開発の投資対効果評価手法の考え方とその試評価結果、並びに、FBRサイクル実用化戦略調査研究<sup>5)</sup>で検討されたFBRサイクル候補概念間の特性の差による効果の違い等について紹介する。

## 2. 投資対効果評価手法

### 2.1 事業実施の判断

ある事業を実施すべきか否かをどのように判断すべきであろうか。この問いは企業経営の根本的な問題である。公的機関にとっても（政策に基づく）事業を実施すべきか否かを判断することは、同様に極めて重要な問題である。

事業を実施しても投資に見合う効果を得られるとの見込みがなければ実施すべきではない。すなわち、事業の実施の是非を判断するためには、その事業を実施した場合と実施しない場合の効果を比較評価する必要がある。

### 2.2 費用便益分析<sup>6)-11)</sup>

「ある経済的変化を生じさせることが正当なものか」、「ある公共事業を実施すべきか」といった命題を検討するための手法として費用便益分析がある。費用便益分析は、ある事業を実施するために必要な費用とその変化から得られる便益とを比較することに特徴がある。

ここで、事業の収益性を主たる関心とする民間企業について考えてみる。その民間企業の事業採否の決定は、簡単に言えば以下のとおりであろう。まず、事業計画を設定し、計画を実施したときの状況（結果）を推定する。次に事業に必要な経営

資源に要する価格（費用）と事業から得られる財の価格（便益）を推定する。そして、費用と便益のすべてを合計し、両者を比較して事業計画の採否を決定する。

このとき、異なる時点の費用と便益を比較することが必要となる。通常、将来の100万円は現在の100万円よりもいくらか価値（効用、満足度）が低いと考えられている。

この理由は、いろいろ挙げられているが、一般に、民間企業や個人が100万円を受け取ったとき、1年物の安全な資産に投資しておけば、1年後には100万円以上（仮に102万円としよう）を入手できる。そこで、その民間企業は、将来得られる102万円はすぐに得られる100万円と同じくらいの価値を持つと考えることとなる。

このように、将来得られる金銭の現在価値を求めることを「割引」と呼び、1年当たりの割引割合（上の例では2%）を「割引率」と呼ぶ。「割引」によって、異なる時点の金銭の価値を比較することができる。

### 2.3 サイクル機構における研究開発の投資対効果

サイクル機構のような公的機関においても、支出した費用に対する便益を追求することは当然である。しかし、国民全体が費用を負担し、その便益も国民全体が受け取る点が民間企業と異なると考えられる。したがって、サイクル機構の事業について投資対効果を評価する場合には、国民全体への影響に着目することになる。さらに、公的機関の場合には、金銭的利益（狭義の便益）だけでなく、広い範囲の効果を計測する必要がある。

FBRサイクルの研究開発について投資対効果を評価する場合においても、他の電源に対して発電コストを低減させる発電コスト削減効果だけではなく、他の効果を考慮する必要がある。例えば、生命へのリスクを低減する効果、ウラン資源枯渇を抑制する効果、二酸化炭素等の環境影響物質の排出を抑制する効果なども考えられる。投資対効果を評価するときには、こうした効果をどのように評価するかについて検討する必要がある。

現在のところ、金銭的利益以外の広い範囲の効果を定量的に評価するために最も有力な方法は、これを金銭価値に換算して広義の便益に含めて費用便益分析を行うことである。しかし、この方法

は、金銭価値への換算にあたって市場価値を利用できない場合も多く、一般には簡単ではない。そこで次章では、FBR サイクル研究開発から得られる効果を金銭価値に換算する手法について述べる。

### 3 . FBR サイクル研究開発の投資対効果評価システム

#### 3.1 投資対効果評価システムの概要

投資対効果評価システムは、汎用のデータベースソフトにてプログラミングされている。

本システムでは、FBR サイクルの研究開発を実施し、FBR を導入して電力を供給する場合と、研究開発を行わず、FBR 以外の電源構成によって電力を供給する場合とを比較し、その便益の差を求めることによりFBR サイクル研究開発の投資対効果を評価する。本システムにおける評価で用いる代替電源構成と利益指数（費用対効果比と同義）の算出法について、図 1 及び図 2 に示す。

具体的には、まず研究開発成果としてFBR サイクルが導入された場合の電源構成（図 1 中の電源

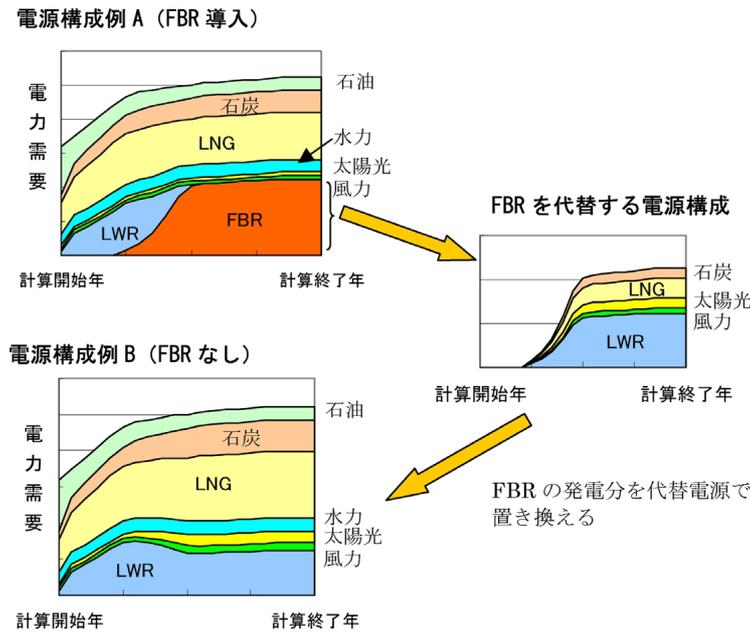


図 1 FBR を代替する電源構成のイメージ

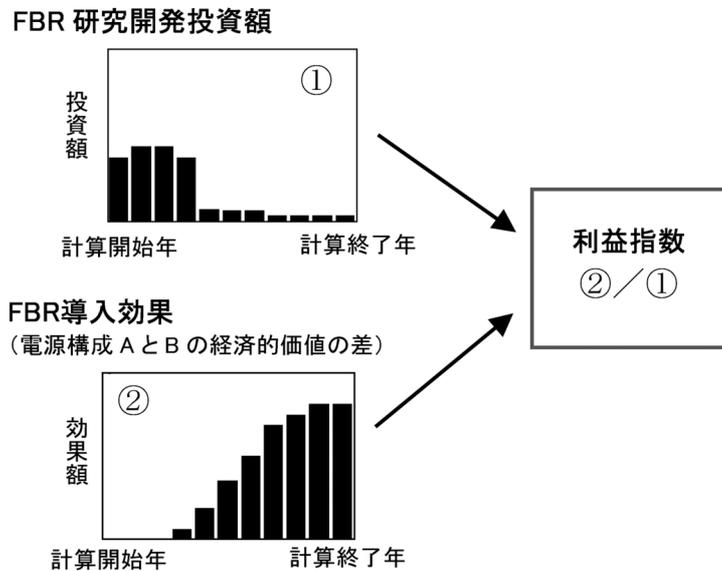


図 2 利益指数算出のイメージ

構成例A)を想定する。更にFBRサイクルが導入されなかった場合として、FBR発電量を他の電源で発電した場合の電源構成(図1中の電源構成例B)を想定する。

次に、FBRサイクルの研究開発投資額について割引率を考慮して累積額(投資総額:図2中の①)を算出する。また、電源構成AとBにおける国民全体への便益の差を現在価値換算したものの累積額(効果総額:図2中の②)を算出する。

最後に、累積投資総額に対する累積効果総額(通常、投資が行われた後に享受される効果の合計)の比である利益指数を算出する(図2中の右側)。

なお、FBRサイクルから得られる効果について、投資対効果評価システムでは、複数の将来シナリオを作成し、それぞれのシナリオの発生確率を設定することによって効果額の期待値を算出することも可能となっている。

### 3.2 研究開発投資額の算出

研究開発投資額としては、FBRサイクル実用化までに必要な研究開発費と実用化後の改良等の研究開発費が考えられるが、今回の解析では、前者のみを想定することとした。

### 3.3 FBRサイクル研究開発の効果

FBRサイクル導入の効果として、以下の(1)~(6)を考慮することとした。これらの効果はいずれも一定の精度で数量的評価が可能と考えられる直接的な効果であり、波及効果や不安感といったような数量的に評価できない効果は対象としていない。

なお、内外の研究の進展に応じて、本システムに新たな効果を取り込むことも可能である。

#### (1) 発電コスト削減効果

FBRの発電コストとFBRの代替として導入される他電源(代替電源)の発電コストの差を計上する。発電コスト削減効果は、

$$\{(代替電源の発電コスト) - (FBRの発電コスト)\} \times (FBRによる発電量)$$

と表される。

発電コストは、別途計算して直接入力することも、建設費、運転費、燃料費、諸金利等を入力して本システム内で計算することもできる。特にFBRと軽水炉の発電コストに関しては、燃料費を燃料サイクルの構成要素に分けて、詳しく設定で

きるようになっている。

#### (2) 環境負荷低減効果

環境に負荷を与える効果については、環境に影響を与える物質の排出を考慮した。環境影響物質として、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>を対象とした。代替電源とFBRサイクルからの発生量の差に削減価値を乗じて求める。これらの削減価値は、税あるいは排出権取引額等を参考として設定する。環境負荷低減効果は、

$$\{(代替電源の環境影響物質発生量) - (FBRサイクルの環境影響物質発生量)\} \times (環境影響物質削減価値) \times (FBRによる発電量)$$

と表される。

各環境影響物質の削減価値は、トン当たりの金額として入力する。別途年次データとして入力する各電源の単位発電量当たりの排出原単位と、発電規模や設備利用率を基に算出する発電量をこの削減価値に乗じて総排出量に対応する価値を算出する。

#### (3) 生命リスク低減効果

安全面に関しては、生命リスクを低減する効果について考慮した。この効果は、代替電源とFBRによる職業人及び公衆の死亡リスクの差に(そのリスクを低減するために支払う金額に関するアンケート結果や生命保険等を参考にした)統計的生命の価値を乗じて求める。生命リスク低減効果は、

$$\{(代替電源による死亡リスク) - (FBRサイクルによる死亡リスク)\} \times (統計的生命の価値) \times (FBRによる発電量)$$

と表される。

各種電源の死亡リスクは、単位発電量当たり、あるいは100万kWの発電所1基を1年運転したときの死亡者数を基に算出する。

#### (4) エネルギーセキュリティ向上効果

エネルギーショックが発生して燃料価格が上昇した場合、FBRサイクルの導入により燃料輸入量を削減した結果、エネルギーショックによる影響を回避できる効果、さらに石油火力が代替電源に含まれるとき(注:今回の解析では、石油火力は代替電源に含まれていない)には、FBR導入分だけ石油備蓄量を低減させることができる効果を計上する。

$$(エネルギーショック発生確率) \times (エネルギーショック発生時の燃料価格上昇) \times$$

$$\{(FBR \text{ サイクルを導入しない時の燃料輸入量}) - (FBR \text{ サイクル導入時の燃料輸入量})\} + \{(FBR \text{ サイクルを導入しない時の石油備蓄量}) - (FBR \text{ サイクル導入時の石油備蓄量})\} \times (\text{石油備蓄に要する費用})$$

と表される。

エネルギーショック発生時の潜在的な燃料価格上昇は、過去の実績などを基に設定した。

#### (5) 資源枯渇抑制効果

FBR サイクル導入によりLNG、ウランをはじめとした輸入燃料の需給が緩和され、燃料価格を下げる効果を計上する。資源枯渇抑制効果は、

$$\{(FBR \text{ サイクルを導入しない時の燃料価格}) - (FBR \text{ サイクル導入時の燃料価格})\} \times (FBR \text{ サイクルを導入しない時の燃料輸入量})$$

と表される。

燃料価格を下げる効果は、エネルギー価格に対するエネルギー需要の弾性値の逆数（エネルギー需要が一単位増加したときに上昇するエネルギー価格に相当）を基に算出する。

#### (6) 燃料輸入削減効果

FBR サイクル導入に伴い、輸入燃料に依存しない発電が行われることにより、国民経済的な観点から、輸入を減少させる分だけGDP（消費 + 投資 + 政府支出 + 輸出 - 輸入）を引き上げる効果があると考え、これを燃料輸入削減効果として計上する。燃料輸入削減効果は、

$$\{(FBR \text{ サイクルを導入しない時の燃料輸入量}) - (FBR \text{ サイクル導入時の燃料輸入量})\} \times (FBR \text{ サイクル導入時の燃料価格})$$

と表される。

### 4. FBR サイクル研究開発の投資対効果評価

FBR サイクルの研究開発に関し、投資対効果評価システムを用いて評価した結果について以下で紹介する。

#### 4.1 前提条件の設定

##### (1) FBR 導入開始年及び導入規模の設定

原子力発電設備容量については、2120年頃までは上昇し、それ以降は70GWで一定として設定した。これは、近年の長期的な低成長を反映して将来の電力需要がそれほど増加しない概念に相当する。

FBRの導入開始年については、リファレンス

ケースとして2030年、ほかに感度解析として2040年と2050年を想定した。また、FBR導入のペースについてはLWRの建替え分及び増加容量分は、FBR用の燃料が確保できる限りFBRとした。原子力発電設備容量70GWケースにおいて、FBRを2030年、2040年、2050年に導入開始した場合の発電量を図3に示す。

なお、電力需要が更に増大する可能性を考慮して2030年にFBRが導入されるケースに関しては、120GWまで上昇するケースも想定して感度解析を実施した。70GW及び120GWのケースについて、FBR導入規模の推移を図4に示す。

#### (2) 代替電源導入割合の設定

3.1で説明したように本システムにおける代替電源とは、FBR サイクルを導入しない場合、FBRで発電するはずの電力を代わりに発電するために導入する他電源のことである。投資対効果システムでは、代替電源として、LWR、LNG火力、石炭火力、石油火力、太陽光、風力、燃料電池を選定

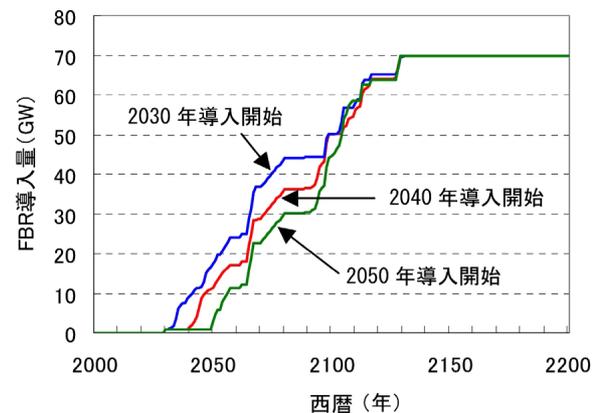


図3 FBR導入開始年による導入量の違い

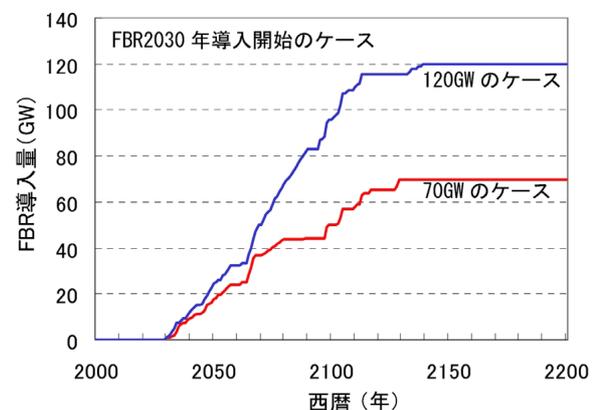


図4 原子力発電設備容量によるFBR導入量の違い

することが可能である。

代替電源は、将来シナリオに応じて様々な割合で導入されると考えられる。今回の解析におけるリファレンスケースでは、代替電源として、LWR、LNG火力、石炭火力の三つを選定し、LWR、LNG火力、石炭火力の導入割合は、7:2:1と仮定した。感度解析では、新エネルギーも代替電源に含めたケースも評価した。その場合の代替電源の導入割合は、LWR:LNG火力:石炭火力:太陽光:風力=5.5:2:1:1:0.5を想定した。なお、太陽光と風力については、一定の限界導入量まで導入するものと設定した。

### (3) 解析期間の設定

解析対象期間として、2001年～2200年とした。2001年からFBR導入開始（2030年、2040年、2050年）までは研究開発投資が計上され、FBR導入開始から解析終了年までは、FBR導入による効果が計上される。本来、FBR導入の効果が得られる全期間について解析を行うべきであるが、非常に遠い将来の状況にかかわる入力データの信頼性やシステム上の制約等を勘案して、今回はすべてのFBR導入が終了する22世紀末までとした。リファレンスケースの場合は図3の通り2150年前に導入が完了するためには22世紀末まで要するFBRサイクルシステムもある。

### (4) FBRサイクル研究開発費

今回の試算では、従来の実績等から500億円/年（解析開始時点に価値換算した金額であり、実際金額としては上昇していく。以下研究開発費については、特記なければ同様）と設定し、2001年以降の研究開発費のみを計上した。また、感度解析では300億円/年の場合も解析を行った。なお、FBR導入開始以降も研究開発は継続されることも予想されるが、その研究開発によっていったん実用化されたFBRサイクルの性能がどの程度向上するのかについて推測できないため、導入開始後の研究開発投資とその投資による効果については考慮していない。

### (5) 燃料価格条件の設定<sup>12)</sup>

LNG、天然ウランをはじめとした輸入燃料の価格は将来の資源事情の逼迫により、徐々に上昇すると考えられている。

化石燃料のうち、石油とLNGの価格に関しては、現状の燃料価格<sup>13)</sup>のうち、輸入価格部分は一定の年率で上昇すると仮定し、その燃料価格上昇

率は、残存資源量と生産コスト<sup>14)</sup>から推定した。なお、LNGの現状価格は、輸入価格に石油税及び再気化費などの諸経費<sup>15)</sup>を加えて算出している。また、石炭の現状価格については、LNGと同様に輸入価格に揚炭費用及び諸経費を加えている。石炭の価格上昇率は、石油に対しておよそ1/2で推移するものと仮定した。

天然ウランの価格上昇率については、OECD/NEA及びIAEAにより報告されている天然ウラン資源量とコストレンジの関係<sup>16)</sup>と世界エネルギー会議<sup>17)</sup>における将来の原子力導入予測（Bケース）において、すべて軽水炉ワンズスルーにて消費した場合の天然ウラン消費量により推定した値を用いた。

なお、これらの輸入燃料価格については、実際には2200年までの超長期にわたって予測することは困難であることも考慮して、将来の燃料価格上昇率を0%と設定したケースについて感度解析を実施した。

### (6) 発電コストの設定

今回の試算では、別途算出した各種電源の発電コストを直接入力した。FBR導入以降の火力発電コストは、電力会社のプレス発表による現状最新鋭プラントの建設費実績のうち、最も安いプラントのデータを用いて算出した。また、新エネルギーについては、総合エネルギー調査会新エネルギー部会に提出された将来の新エネルギーによる発電コスト<sup>18)</sup>とした。LWR及びFBRの発電コストは実用化戦略調査研究フェーズにおける将来目標値とした<sup>5),19)</sup>。なお、FBRの代替として将来導入される化石燃料及びLWRプラントの設備利用率は一律90%とし、新エネルギーである太陽光発電及び風力発電の設備利用率はそれぞれ20%及び30%と設定した。

### (7) その他の諸設定

#### 1) 割引率

長期的な低成長・低インフレが継続すると予測し、原子力発電設備容量も低位の伸びにとどまると設定したことに整合させるため、割引率として2%を基準とした。ただし、計算期間が超長期にわたるため、割引率が試算結果に大きな影響を与えることが予測されることから、2%に加えて1%及び総合エネルギー調査会原子力部会による発電コスト試算<sup>19)</sup>時に使用された3%のケースも試算した。

## 2) エネルギーショック

過去数十年間の実績を基に、発生確率を1回/10年とし、エネルギーショック発生時の燃料価格上昇率を過去のエネルギーショック時の燃料価格上昇率から143% (2.43倍に上昇) と仮定した。

## 3) 統計的生命価値

統計的な生命価値は、評価例によって大きな差がある。今回の試算では、欧州委員会が各種発電の外部コストを評価したExtern E プロジェクト<sup>20)</sup>において統計的生命価値として採用した値である310万ECU (EURO) を基にして、3億1千万円と設定した。また、各電源の死亡リスクは、石炭：4.76人/GW年、LNG：0.60人/GW年、LWR及びFBR：0.33人/GW年とした<sup>21)</sup>。

## 4) CO<sub>2</sub>削減価値

既往研究<sup>2),10)</sup>を参考として、2,400円/t Cと設定した。ただし、炭素税導入実績や各種評価値には、国情や排出権取引形態、価値観などにより数ドルから数百ドルまで大きな幅があり、将来の技術進歩や価値観により変化することが予想されるの

で、適宜新たなデータを収集する必要がある。また、各種電源のCO<sub>2</sub>排出原単位は電力中央研究所による研究例<sup>22)</sup>より引用した。

## 5) SO<sub>x</sub>及びNO<sub>x</sub>削減価値

SO<sub>x</sub>及びNO<sub>x</sub>の削減価値についても、既往研究<sup>2),10),23)</sup>を参考としてそれぞれ19.2万円/t SO<sub>x</sub>及び60万円/t NO<sub>x</sub>と設定した。ただし、削減価値の評価は、CO<sub>2</sub>削減価値と同様に将来の技術進歩や価値観などにより変化しうるので、今後も新たなデータを入手することが肝要である。

## 6) 主要なパラメータの設定

以上に述べた点を踏まえて、設定した主要なパラメータを表1に示す。解析期間は2200年までという超長期にわたるため、入力条件の中には、不確実性が大きい項目もある。

## 4.2 リファレンスケース評価結果

前述した条件により試算した結果を表2、表3及び図5に示す。

リファレンスケース (2030年FBR導入、研究開

表1 前提条件

| 項目   | 設定値  | 備考   |                                     |
|--|--|--|-------------------------------------|
| 解析期間   | 2001年～2200年  |  |                                     |
| 社会的割引率   | 2 ( 1 , 3 ) %  |  |                                     |
| 研究開発投資開始時期<br>FBR導入開始時期<br>FBR導入規模<br>FBR研究開発費 | 2001年<br>2030 ( 2040 , 2050 ) 年<br>低位ケース<br>70GW<br>中位ケース<br>120GW<br>500 ( 300 ) 億円/年 | 導入量が70GWに達した後は一定<br>導入量が120GWに達した後は一定<br>割引後一定 FBR導入後なし              |                                     |
| 代替電源シナリオ                                       | 石炭<br>LNG<br>LWR<br>太陽光<br>風力  | 10 ( 10 ) %<br>20 ( 20 ) %<br>70 ( 55 ) %<br>0 ( 10 ) %<br>0 ( 5 ) % | 太陽光と風力は限界導入量まで導入されると設定              |
| 設備利用率  | FBR<br>石炭火力<br>LNG火力<br>軽水炉<br>太陽光<br>風力   | 92.7%<br>90%<br>90%<br>90%<br>20%<br>30%                             |                                     |
| エネルギーショック                                      | 発生確率<br>燃料価格上昇率  | 0.1回/年<br>143%   | 10年に1回<br>燃料価格が平常時の2.43倍            |
| 燃料価格   | 石炭<br>LNG<br>ウラン   | 5.44円/kg<br>23.6円/kg<br>5,500円/kgU                                   | 年間0.30%上昇<br>年間0.61%上昇<br>年間1.85%上昇 |
| CO <sub>2</sub> 削減価値                           |  | 0.0024円/gC   |                                     |
| SO <sub>x</sub> 削減価値                           |  | 0.192円/gSO <sub>x</sub>  |                                     |
| NO <sub>x</sub> 削減価値                           |  | 0.6円/gNO <sub>x</sub>  |                                     |
| 統計的人命価値  |  | 31,000万円/人   |                                     |

( )内は感度解析の条件

表2 リファレンスケースの解析結果（効果金額）

| ケース    | 投資<br>(億円) | 効果合計<br>(億円) | 効果の内訳(億円) |        |         |                 |       |       |
|--------|------------|--------------|-----------|--------|---------|-----------------|-------|-------|
|        |            |              | コスト       | 環境     | 輸入      | エネルギー<br>セキュリティ | 安全    | 資源    |
| リファレンス | 14,500     | 292,404      | 152,145   | 13,343 | 105,810 | 15,131          | 1,205 | 4,770 |

表3 リファレンスケースの解析結果（利益指数）

| ケース    | 利益指数  | 利益指数の内訳 |      |      |                 |      |      |
|--------|-------|---------|------|------|-----------------|------|------|
|        |       | コスト     | 環境   | 輸入   | エネルギー<br>セキュリティ | 安全   | 資源   |
| リファレンス | 20.17 | 10.49   | 0.92 | 7.30 | 1.04            | 0.08 | 0.33 |

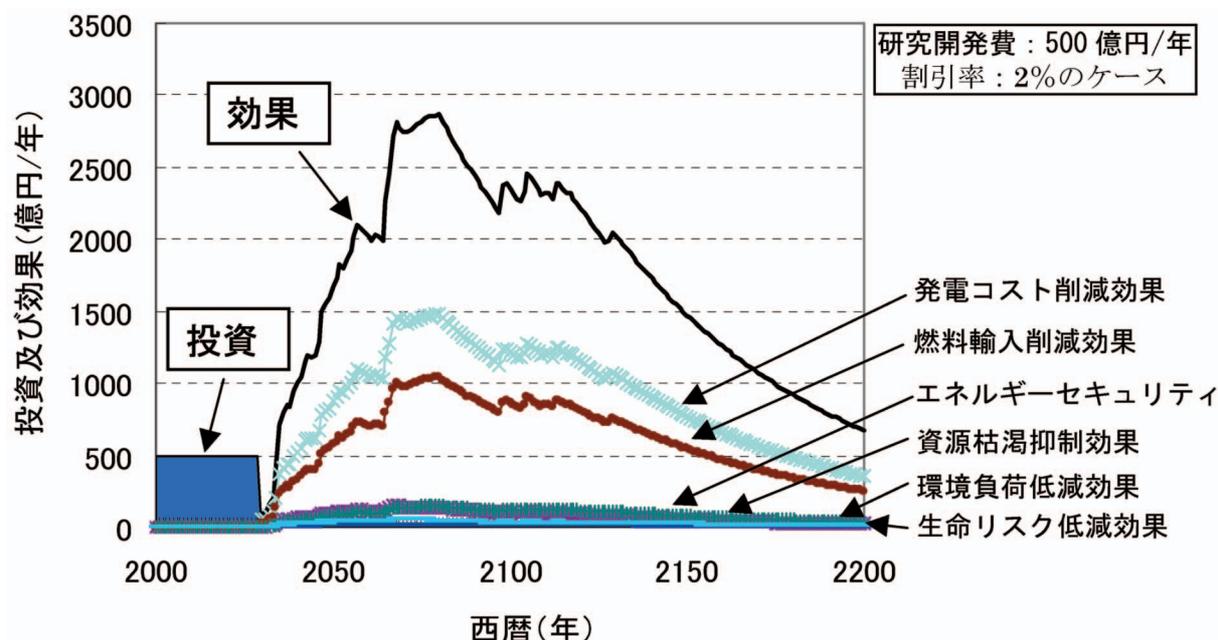


図5 リファレンスケースの投資対効果（各年）

発費500億円/年、割引率2%)の利益指数の内訳を表3に示した。効果の内訳では、発電コスト削減効果や輸入削減効果が大きく、資源枯渇抑制効果や生命リスク低減効果は非常に小さい。資源枯渇抑制効果は、日本のみのFBR導入により削減された資源量が全世界の資源量に与える影響を表しているため、その効果は小さい。また、生命リスク低減効果は、各電源における1GW年当たりの死亡リスクに統計的人命の価値を乗じて求めるため、絶対額が小さく効果としてもほとんど計上されていない。

これらの試算結果から、輸入燃料に頼らない電源の導入、すなわちエネルギーの海外依存度の低下や、FBRサイクルの経済性目標達成（発電コス

ト削減)の重要性が大きいことが示唆される。

#### 4.3 感度解析結果

投資対効果の試算は2200年までの長期間にわたるため、入力値には大きな不確実性がある。したがって、算出された利益指数の絶対値よりも、どのパラメータの影響度が大きく、入力値の変動が結果にどの程度の影響を与えるかを把握することが重要であり、いくつかの入力値に対して感度解析を行うことが望ましい。そこで、リファレンスケースに対して表1に括弧で示した値を用いて感度解析を実施した。

感度解析の結果を図6に示す。各パラメータが試算結果に及ぼす影響は次のように考えることが

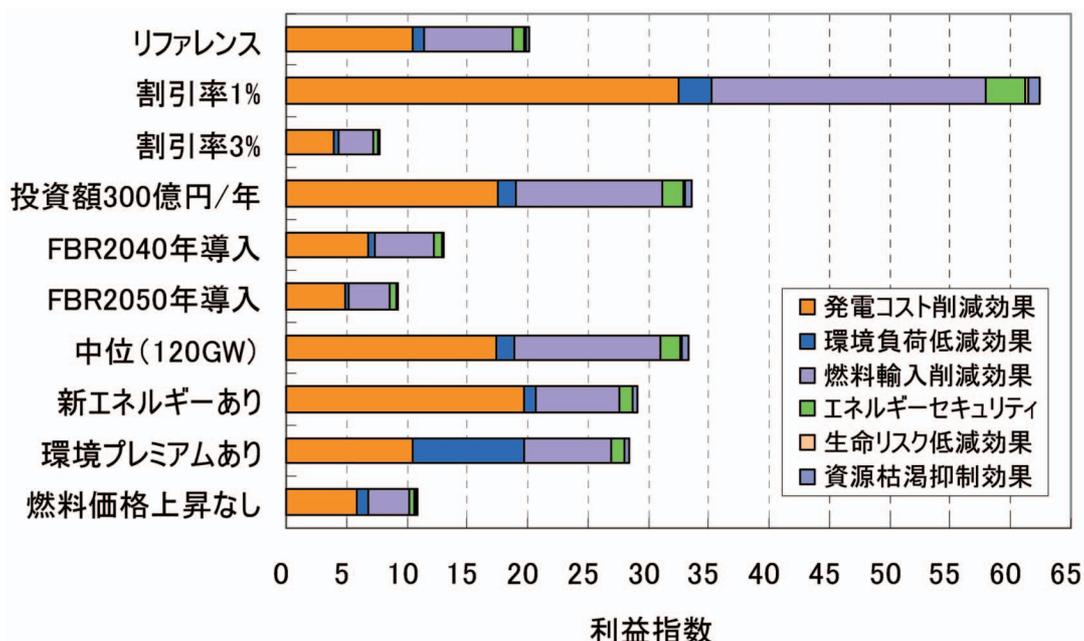


図6 感度解析結果

できる。

#### (1) 割引率

割引率が3%になると利益指数は著しく小さくなる。その一方、1%になると利益指数は著しく大きくなる。今回の解析期間が超長期であるため、割引率の影響が極めて大きいことが分かる。

#### (2) 研究開発投資

研究開発投資300億円/年でFBRの実用化ができる場合は、利益指数が1.7倍程度大きくなる。

#### (3) FBR 導入開始年

FBR 導入開始が遅れた場合、年間研究開発投資を500億円一定としたため、効果の絶対額減少に加えて研究開発費総額が増大するため、利益指数が大きく減少する。逆に言えば、FBRサイクルシステムを早期に導入できれば、利益指数は大きく増加する。

#### (4) 新エネルギーの導入

新エネルギーが代替電源に含まれる場合、FBRを導入することによる発電コスト削減効果が大きくなる。これは、新エネルギーの発電コストが高いことが主な原因である。

#### (5) 環境プレミアム（将来の環境負荷低減価値の増大）の考慮

2%の環境プレミアム（将来、環境負荷を低減することの価値が増大し、その結果として将来の

環境負荷低減も現在の環境負荷低減と全く同様の重要性を持つと考えられる場合）がある場合、環境負荷低減効果が上昇するという当然の結果が得られる。今回の条件においては、環境負荷低減効果が発電コスト削減効果や燃料輸入削減効果と同程度の大きさにまで増加した。

#### (6) 燃料価格上昇なし

燃料価格上昇がない場合には、発電コスト削減効果と輸入削減効果が小さくなる。特に輸入削減効果の減少が著しい。

#### 4.4 実用化戦略調査研究の各候補概念を対象とした試算

現在サイクル機構が中心となって取り組んでいるFBRサイクルに関する実用化戦略調査研究のフェーズの各候補概念（6概念）の研究開発について投資対効果を評価した。以下に候補概念、設定条件及び評価結果について述べる。

##### (1) 実用化戦略調査研究各候補概念（評価概念）

今回の解析では、6つのFBRサイクル候補概念に対して、2040年にFBRを導入するとして評価を実施した。表4にこれら6つのFBRサイクル概念を原子炉、再処理法、燃料製造法の組み合わせで示す。また、A-1概念は、4.1で行った解析で用いたFBRサイクル概念と同一である（導入時期等の計算条件は異なる）。

1) 各概念に対応した前提条件の設定

実用化戦略調査研究の候補概念は、原子炉の仕様、再処理方法、燃料製造方法の違いによって異なる特徴を持つことになる。投資対効果評価に反映される項目では、各候補概念の導入ペース（発電量）と発電コストが異なっており、以下で解析の前提条件について説明する。

2) 各概念におけるFBR導入規模の設定

原子力発電設備容量については、70GWのケースを想定した。また、FBRはプルトニウムの物質収支が許す限り最大限に導入した。

今回解析した実用化戦略調査研究における核燃料サイクル候補概念は、炉を運転するために必要なプルトニウム量が異なり、さらに増殖比や炉外時間の差からシステム倍増時間に相違が生じるため、FBRの導入ペースがそれぞれ異なる。各概念のFBR導入量の推移を図7に示す。

投資対効果評価システムでは、導入されたFBRによる発電電力量が、FBRを導入しないときには他の電源によって代替されることを想定しており、FBRによる発電電力量を想定することが解析の前提として必要である。FBRによる発電電力量(kWh)は、FBR発電電力量(kWh) = FBR導入

量(kW) × 24 × 365 × 設備利用率 × (1 - 所内率)の式で求められるので、設備利用率と所内率が結果に影響を及ぼす。各概念による設備利用率及び所内率を表5に、各概念によるFBR発電電力量の推移を図8に示す。

3) 各FBRサイクルによる発電コスト

今回解析したFBRサイクルシステムは、原子炉仕様、再処理方法、燃料製造方法が異なり、発電コストも異なる。今回の解析で用いた発電コストを相対値で図9に示す。

(2) 実用化戦略調査研究の候補概念の投資対効果評価結果

今回の解析結果を図10に示す。投資対効果評価システムを用いて解析を行うと、各概念によって結果にかなり大きな差が生じる可能性があることが分かった。

また、発電コスト削減効果については、A - 1概念の利益指数はF - 1概念の約2.5倍高くなっている。これは、上述のとおり、導入ペースについてA - 1概念の方が早く、2200年までの総発電量が1.5倍程度多くなることに加えて、A - 1概念の発電コストもF - 1概念に比べて約1.5円安いことによるものである。

表4 実用化戦略調査研究フェーズの候補概念

| ケース名  | 炉心               | 再処理    | 燃料製造        |
|-------|------------------|--------|-------------|
| A - 1 | Na冷却大型MOX        | 先進湿式法  | 低除染簡素化ペレット法 |
| D - 1 | Na冷却大型MOX (MA装荷) | 酸化物電解法 | 振動充てん法      |
| E - 3 | Na冷却中型金属         | 金属電解法  | 射出成型法       |
| F - 1 | 鉛ピスマス冷却中型窒化物     | 先進湿式法  | 低除染簡素化ペレット法 |
| G - 1 | 炭酸ガス冷却大型MOX      | 先進湿式法  | 低除染簡素化ペレット法 |
| H - 1 | ヘリウム冷却大型窒化物      | 先進湿式法  | 低除染簡素化ペレット法 |

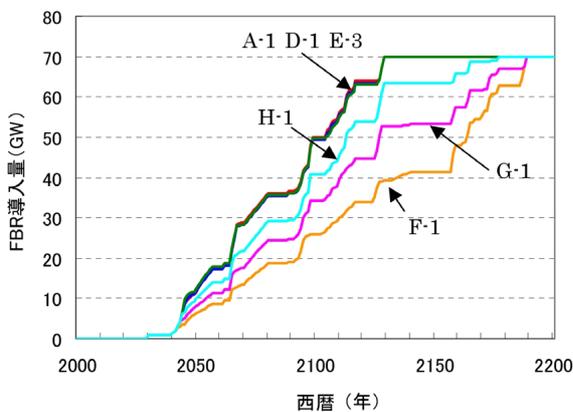


図7 実用化戦略調査研究解析ケースのFBR導入量

表5 設備利用率と所内率

| ケース   | 設備利用率 | 所内率   |
|-------|-------|-------|
| A - 1 | 92.7% | 4.1%  |
| D - 1 | 92.7% | 4.1%  |
| E - 3 | 92.5% | 4.5%  |
| F - 1 | 91.2% | 2.8%  |
| G - 1 | 94.1% | 13.8% |
| H - 1 | 94.3% | 2.8%  |

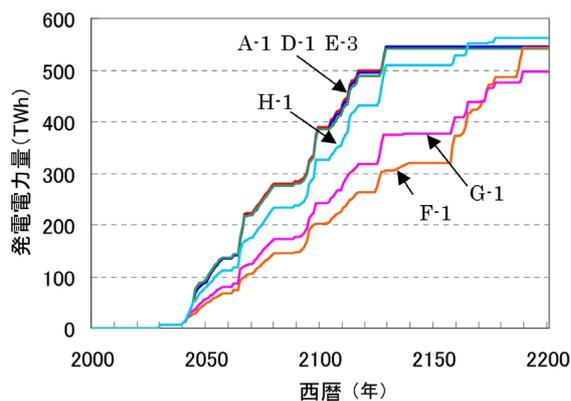


図8 設備利用率及び所内率を考慮したFBR発電電力量

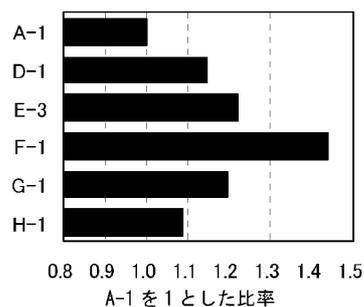


図9 実用化戦略調査研究解析ケースの発電コスト(A-1を基準)

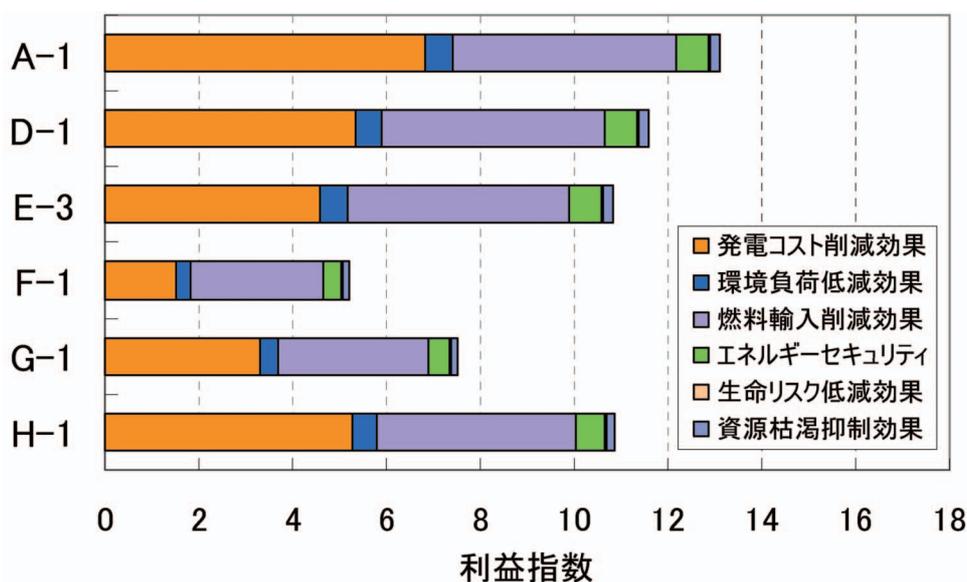


図10 実用化戦略調査研究フェーズ 候補概念の解析結果

発電コスト削減効果以外の効果について、特に一番利益指数の高いA-1概念に比べて利益指数の最も低いF-1概念の利益指数は、ほぼ半分強となっている。これは、F-1概念に設定されている鉛ビスマス冷却炉のインベントリが大きいいため、導入ペースが遅くなっていることが主な原因である。前提条件から予想できるとおり、発電コスト削減効果以外の効果に影響する要素については、概念共通の値を入力したため、各概念の導入量（設備利用率、所内率を考慮した発電電力量）の違いがそのまま各効果に比例して現れる結果となっている。

今回の解析において（注：割引率等の前提条件によって結果が大きく変化するので、一般論ではない）は、導入量が一定で割引率を2%とすると、

発電コストを1円削減すると効果は6兆円程度（利益指数3程度）上昇する結果となった。

## 5. 結論

今回、投資対効果評価システムを用いた解析において設定した条件は、多くの部分が将来予測値であったため不確実性を有するものの、解析結果は、FBRサイクルの研究開発投資から数倍以上の効果を得られることを示した。FBRサイクル研究開発から得られる効果のうち、発電コスト削減効果と輸入削減効果が大きな割合を占める。

また、入力パラメータの変更による影響も妥当なものと考えられる。超長期の解析であるために割引率の影響は非常に大きく、FBR導入開始年の影響も大きかった。なお、将来の環境プレミアム

を考慮する場合には、環境負荷低減効果も大きく  
なることが予測できる。

また、実用化戦略調査研究のFBRサイクル候補  
概念について投資対効果を評価した結果、特性の  
違いが投資対効果に反映されることも確認でき  
た。しかし、現時点では、環境負荷や生命リスク  
について、各FBRサイクル概念間の有意な違いを  
示すデータがなく、発電コスト、導入ペース及び  
所内率に関する各FBRサイクル概念間の違いが投  
資対効果評価の結果に強く影響を及ぼしている。

## 6. 今後の課題

今後の投資対効果評価に関する改良の方向性  
については、以下の点が挙げられる。まず、より多  
様な効果について金銭価値換算法を用いて投資  
対効果評価システムへ取り込むことが挙げられ  
る。それに加えて、現在投資対効果評価システム  
で計算している効果を検討し、入力データ及び評  
価手法について改良することも課題である。特に  
エネルギーセキュリティー向上効果や環境負荷低  
減効果については、現在様々な研究が行われてい  
るところなので、それらの成果を取り込むことが  
可能か検討したい。また、研究開発投資について  
は、個別の概念に対する必要な投資額及び必要  
な研究開発期間を推定することにより、実用化戦  
略調査研究の候補概念について投資対効果を高い  
確度で評価できる。

投資対効果評価の入力となる代替電源構成の恣  
意性を減少させるため、投資対効果評価システム  
と将来の電源構成を予測するツールであるエネル  
ギー経済モデルを連携することも今後の課題であ  
る。

また、実用化戦略調査研究における多面的評価  
手法等の他の評価手法との関連については、それ  
ぞれの得意な部分を活かして有効に利用すべき  
であると考えられる。

なお、FBRサイクルの研究開発だけでなく、他  
の事業の投資対効果を評価する場合にも、投資  
対効果評価システムの基本的な考え方は適用可能  
である。しかし、事業への投資や効果の金銭価値  
換算法、さらに投資対効果に影響を及ぼす将来  
の事業環境については、事業別に十分検討する  
必要がある。

## 参考文献

- 1) 芝剛史他, FBR 研究開発に関する投資対効果評価シ  
ステム概念の構築, 三菱総合研究所, JNC TJ9400  
99 006, 1999年3月
- 2) 芝剛史他, FBR 研究開発の投資対効果評価システ  
ムの詳細検討, 三菱総合研究所, JNC TJ9440 2000  
011, 2000年3月
- 3) 芝剛史他, 投資対効果評価システムの開発, 三菱  
総合研究所, JNC TJ9400 2001 018, 2001年3月
- 4) 原子力委員会 高速増殖炉懇談会, 高速増殖炉研究開  
発の在り方, 1997年12月
- 5) 篠田佳彦他, 総合評価技術検討書 - 実用化戦略調査  
研究(フェーズ ) 成果報告 -, JNC TN9400 2001  
061, 2001年3月
- 6) 岡敏弘, 厚生経済学と環境政策, 岩波書店, 1997年  
4月
- 7) N・グレゴリー・マンキュー, マンキュー経済学ミ  
クロ編, 東洋経済新報社, 2000年4月
- 8) J・E・スティグリッツ, スティグリッツ公共経済学  
(上), 東洋経済新報社, 1996年8月
- 9) 大野栄治他, 環境経済評価の実務, 勁草書房, 1992  
年3月
- 10) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編, 道路  
投資の評価に関する指針(案)第2版, 1999年12月
- 11) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編, 道路  
投資の評価に関する指針(案)第2編 総合評価, 2000  
年1月
- 12) 小野清他, FBR 導入シナリオの検討, JNC TN9400  
2001 - 036, 2000年12月
- 13) エネルギー・経済統計要覧, 日本エネルギー経済研  
究所, 1999年
- 14) 伊東慶四郎, 21世紀のエネルギー需給見通し, エネ  
ルギーフォーラム, 1996年7月
- 15) 小松崎均, わが国電気事業のコスト構造分析と今後  
の課題, 第311回定例研究報告会, 1995年
- 16) Uranium, OECD/NEA IAEA, 1999年
- 17) Global Energy Perspective, WEC/IIASA, 1998年
- 18) 総合エネルギー調査会 新エネルギー部会, 第2回,  
資料2, 2000年1月
- 19) 原子力発電の経済性について, 総合エネルギー調査  
会原子力部会, 第70回, 資料3, 1999年12月
- 20) 欧州委員会, Extension of the Accounting Frame  
work Final Report, 1997年12月
- 21) ウィリアム・D・ノードハウス, 原子力と環境の経済  
学, 1998年
- 22) 大河原透他, 「地球温暖化の解明と抑制」第4章「今  
後の温暖化抑制対策に向けて」, 電中研レビュー第45  
号, 2001年
- 23) Electricity Generation and Environmental Externali  
ties: Case Studies, Energy Information Administra  
tion, 1995年