

新エネルギー技術評価手法の体系化

——経済性評価手法の開発と石炭新発電方式への試算例——

キーワード：新エネルギー技術評価，石炭新発電技術

発電コスト，感度解析

内山 洋司 齊藤 雄志

〔要旨〕

本研究では、将来電気事業が導入する可能性のある5種類のベース負荷用石炭新発電方式の経済性を、開発された評価手法によって解析し評価している。評価手法は、将来を予測する上での不確実性を考慮し、建設費について個々の技術の確率分布をとり、他のパラメータに関しては、ある確率での推定値を求めている。さらに、建設費の確率分布を基に発電コストの確率分布を算定し、その差を表わす確率密度関数から、基準技術（微粉炭火力）に比べた新発電技術の経済的な開発利益と開発リスクを算定している。評価の結果から、次のようなことがわかった。

- ① 発電コストの値は、燃料価格の上昇率に大きく依存している。
- ② 新技術の経済的開発価値は、まず燃料価格に、次にそれぞれの発電効率に大きく依存している。
- ③ 新技術の発電コストで表わされる経済性は、かなり競合した関係にある。
- ④ 新技術の開発利益は、現在の燃料価格上昇の予測と技術予測からは2000年まで、期待できる可能性は小さい。それが現われるのは、2000年以降のことであり、特に石炭ガス化複合発電と新鋭微粉炭火力に期待できる。
- ⑤ 金利の上昇は、新技術の開発価値を下げることになり、建設費の高い技術ほどその影響は大きくなっている。

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1. はじめに | 件 |
| 2. 評価対象技術 | 3.6.1 燃料価格の上昇率 |
| 3. 評価方法 | 3.6.2 卸売価格の上昇率 |
| 3.1 発電効率の推定 | 3.6.3 金利と割引率 |
| 3.2 建設費の推定 | 3.6.4 発電効率 |
| 3.3 発電コストの算定 | 3.6.5 環境対策費 |
| 3.3.1 年間発電費用 | 4. 評価結果 |
| 3.3.2 発電コスト | 4.1 発電効率と建設費の結果 |
| 3.4 経済的開発利益と開発リスクの算定 | 4.2 発電コストと感度解析の結果 |
| 3.5 感度解析 | 4.2.1 発電コスト |
| 3.6 発電コストおよび感度解析計算の前提条 | 4.2.2 感度解析 |

1. はじめに

石油危機以後、様々な新エネルギー技術が開発あるいは検討されつつあるが、それらの技術のうちどれが重要であり、どれがそうでないのかは、まだ十分に明らかにされておらず、また社会的評価も一定していない。今後の新エネルギー技術開発を効率的に進めていくためには、各技術の技術環境特性、経済性、商用化時期、寄与量、開発の難易度等を統合的かつ総合的に評価、分析した上で各技術の開発の優先順位を明らかにする必要がある。

本研究の目的は、将来電気事業が導入する可能性のある新発電方式の経済性を中心に解析し評価することにある。評価手順は最初に各技術の発電効率と建設費を基準技術（在来型重油火力、微粉炭火力）を基にして、推定している。次に、それらの値から各技術の発電コストを算定し、それによって計算できる新技術の経済的開発利益と開発リスクを算定している。評価では、各技術に共通した技術的、経済的前提条件を統一しており、各技術の各種データの整合性をとっている。対象とした新技術は、ベース負荷用の石炭発電方式である。

将来を展望するどのような技術評価においても生じることであるが、将来を予測する値には、本質的に不確実な要因が含まれている。本研究での不確実性に関する評価の仕方は、建設費については、個々の技術の確率分布をとり、他のパラメータに関しては、ある確率での推定値を求めている。特に、燃料コスト、発電効率、金利、環境対策費に関しては、将来の動向を低ケース（確率25%）、中間ケース（50%）、高ケース（25%）の場合に分けて値を推定し、最終的に得られる経済的な開発利益と開発リス

クを感度解析によって求めている。

2. 評価対象技術

評価の対象となっている発電技術は、次に示す5つの石炭新発電技術であり、総電気出力が2,000 MWeのベース負荷用のものである。また、評価対象となっている各種発電方式の技術特性を示すと、表1のようになる。

(基準技術)	(使用燃料)
重油火力	重油
微粉炭火力	石炭
(新技術)	
新鋭微粉炭火力	石炭
常圧流動床発電	石炭
加圧流動床複合発電	石炭
MHD複合発電	石炭
ガス化複合発電	石炭

3. 評価方法

評価は、基準技術（重油火力、微粉炭火力）の熱効率と建設費を基に各種技術の発電効率と建設費を推定し、その値から、各技術の発電コストを求めている。また、基準技術と新技術の発電コスト分布の差から、新技術導入における経済的開発利益と開発リスクを算定している。発電効率と建設費とから得られる新技術の潜在的な利益算定の手順は、図1のように表わされる。

次に、各技術の発電効率、建設費、発電コスト、経済的開発価値および感度解析の方法を簡単に説明する。

3.1. 発電効率の推定

計算方法は、各発電技術をできる限り要素技術に分解して、それぞれの主要機器に対する熱

表 1 各種発電方式の技術特性

項目	技術名	重油火力 (1)	微粉炭火力 (2)	新鋭微粉炭火力	常圧流動床蒸気	加圧流動床複合発電	石炭ガス化複合発電	MHD複合発電
発電機出力	蒸気発電 1,000 MW×2	蒸気発電 1,000 MW×2	蒸気発電 1,000 MW×2	蒸気発電 超臨界圧タービン 1,000 MW×2	蒸気発電 常圧流動床ボイラ 500 MW×4	ガスタービン 蒸気タービン O. T. 139 MW×4 S. T. 361 MW×4	ガスタービン 蒸気タービン O. T. 583 MW×2 S. T. 407 MW×2	MHD 発電 蒸気タービン MHD 544 MW×2 S. T. 456 MW×2 計 1,000 MW×2
蒸気条件 (温度・圧力条件)	246 kg/cal 538/566°C	246 kg/cal 538/566°C	246 kg/cal 538/566°C	第1目標 320kg/cal 620/595 /595°C 第2目標 350kg/cal 620/595 /595°C	246 kg/cal 538/538°C	タービン入口 15.5 kg/cal 183 kg/cal 538/538°C	タービン入口温度 1,300°C 160 kg/cal 538/538°C	MHD 出口温度 2,014°C 246 kg/cal 538/538°C
燃料受入	シーバース式 パイプ揚げ	アンロード 受入コンベア スタッカー	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ
貯蔵	タンク貯蔵	屋内貯蔵	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ
供給	パイプ式流送	払出コンベア 微粉炭機	(2)に同じ	払出コンベア 粗粉砕	払出コンベア 粗粉砕	水平式二段加圧流動 床	噴流床ガス化炉 Texaco, 酸葉プラ ント	(2)に同じ
燃焼系統	貫流形(分割炉)	貫流形	(2)に同じ	(2)に同じ	四段流動床ボイラ	水平式二段加圧流動 床	主燃焼器, SCC 高温空気が熱器	(2)に同じ
通風系統	押込通風機 ガス再循環通風機 再循環ガス混合通風 機	(1)に同じ	(1)に同じ	平衝通風方式	平衝通風方式	(1)に同じ	(1)に同じ	(1)に同じ
給水・蒸気・復水・冷却系統	ポンプ圧送式	ポンプ圧送式	ポンプ圧送式	ポンプ圧送式	石炭石再生方式 集じん機, 排水処理	石炭石再生方式 集じん機, 排水処理	排熱回収サイクル方 式	ディーゼルボイラ 中間ボイラ 排熱回収ボイラ 直交変換器
電気系統	主変圧器 (送油風冷) 所内・起動変圧器 (油入風冷)	主変圧器 (送油風冷) 所内・起動変圧器 (油入風冷)	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ	(2)に同じ
灰処理・排煙処理	脱硫, 脱硝, ばいじ ん処理, 排水処理	脱硫, 脱硝, ばいじ ん処理, 排水処理	(2)に同じ	脱硫, 脱硝, ばいじ ん処理, 排水処理	脱硫, 脱硝, ばいじ ん処理, 排水処理	脱硫, 脱硝, ばいじ ん処理, 排水処理	ガス洗浄装置	シード回収再生方式 スラッグ処理装置
備考							酸葉製造のガス化設 備用動力として 102 MW×2 を使用 される	空気の圧縮機用動力と して 190 MW×2 の エネルギーが消費さ れる

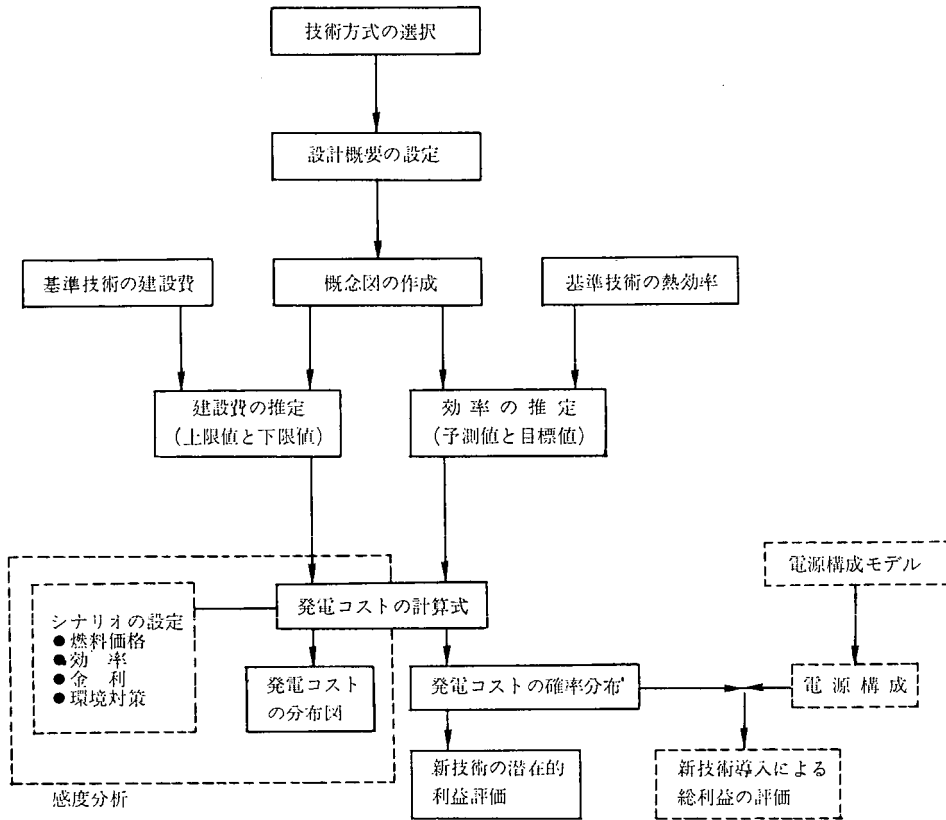


図 1 経済性を中心とし評価手法の構成

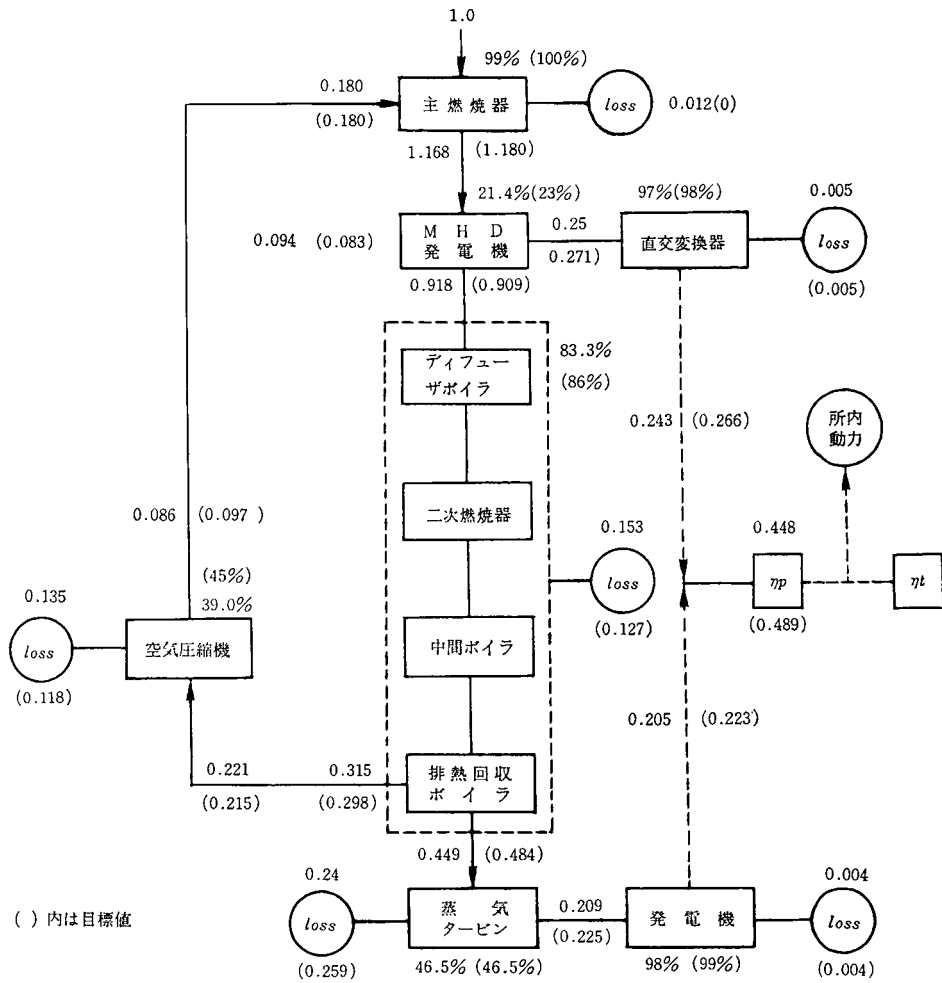
効率を推定した。推定に際しては、在来型火力（重油火力、微粉炭火力）の各プロセスにおける熱効率を基に新技術のエネルギーフローを作成し、その発電端効率と送電端効率とを求めている。新発電技術の熱効率の推定例として、開放型 MHD 複合発電のエネルギーフローとそれによって得られた発電効率を図 2 に示す。

3.2. 建設費の推定

発電所の建設費を計算する場合、それは主に、土木建設関係、機械・電気設備関係、環境設備関係及び給係費用に分けることができる。この分類方法は、本研究で調査されているベース負荷の新発電方式にも適用できる。対象とな

っている新技術の発電方式は、蒸気サイクル、ガスサイクル、直接発電方式のいずれか一つ、あるいは、それらの複合方式であり、新発電方式といえども、建設費の内訳には、基準技術の設備と共通なものが数多くある。

基準技術の建設費は、発電所の立地、発電規模等によって同一発電方式と言えども、その値は一定になるとは限らない。本研究では、基準技術の建設費の各詳細な項目に関して文献資料を調査し、各設備の費用に関する上限値と下限値を設定して、次のように巾でもって建設費を求めた。



	実現可能予測値	目標値
主燃焼器効率	99.0%	100%
MHD発電機効率	21.4	23
直交変換器効率	97	98
ボイラー効率	83.3	86
蒸気タービン効率	46.5	46.5
発電機効率	98	99
空気圧縮機効率	39	45
定格発電端効率	44.8	48.9
年平均発電端効率	43.7	47.7
所内比率	2.5	2.5
年平均送電端効率	42.5	46.4

図 2 新発電技術の熱効率の推定例 (MHD 複合発電)

(建設費の細目)	(推定価格：1980年価格)		〔開発段階〕	〔偶発因子〕
	〔下限値〕	〔上限値〕		
土地	a_1	～ b_1	A 基礎概念	50%
建物	a_2	～ b_2	B プロセス研究	25%
構築物	a_3	～ b_3	C パイロット研究	15%
⋮	⋮		D 実証研究	10%
総係費	a_n	～ b_n	E 商用化段階	5%
			O 既設設備で適用可能	0%
合計	$\sum_{i=1}^n a_i \sim \sum_{i=1}^n b_i$			

これから、基準技術の建設費 (A) とその偏差 (ΔA) は次のようになる。

$$A \pm \Delta A = \sum_i^n \frac{2}{a_i + b_i} \pm \sum_i^n \frac{2}{b_i - a_i}$$

新発電技術の建設費のうち、基準技術の建設項目から利用できる設備に関しては、次式により異なる発電出力を考慮して求めた。

$$(\text{各設備費用}) = \text{基準技術の設備費用} \left(\frac{\text{新技術の発電出力}}{\text{基準技術の発電出力}} \right)^\alpha$$

α : 設備によって変わるパラメータ

$$(\alpha = 0.5 \sim 0.75)$$

新技術の設備の中には、既設設備の利用可能なもの以外に、既存設備を改良したり、新たに開発しなければならないものがある。そういった費用の見積りには、かなりの不確実性があり、その不確実性は、設備の開発段階によって大きく影響を受ける。そこで、新技術の建設費の推定にあたっては、各設備の開発段階に応じて、下記に示す偶発因子 (Contingency Factor) を考慮し、文献等から得られた下限値にその値を乗して加算し、その費用の上限値としている。

上記推定法を使った新発電方式の建設費の一例として開発型 MHD 複合発電の建設費を表 2 に示す。

表 2 において、注目すべきことは、新発電方式の建設費全体に対して、実際に建設する上で予期せぬ設備費用あるいはリスクによる増分費用を考慮していることである。こういった費用の不確実さは発電プラントが現在の程度の開発段階にあるかで異なることが考えられる。

これに関しても要素技術で定めた開発段階による偶発因子を使い、その値を新技術の建設費の下限値に乗して、上限値を求めている。その結果、下限値が建設費推定の上での最も楽観的な値に対して、上限値は、最悪のケースにおける建設費と判断できる。このことから、一般に新発電方式の建設費は開発段階に応じてその分布が異なり、基礎研究の段階にある技術ほど、その分布幅が大きくなる。

3.3. 発電コストの算定

各発電方式の発電コストは、それぞれの年間発電費用を以下の項目に従って算定し、その値から、初年度発電コストおよび耐用年間発電コストを求めている。

表 2 MHD 複合発電の建設費の推定

1980年価格 (単位: 億円)

I. 土木建設関係: 微粉炭火力に同じ

土木建設関係費総額	922 ~ 1,054
-----------	-------------

II. 機械電気設備関係

項 目	基 準 技 術 (微粉炭火力)	MHD 複合発電 (MHD: 544 MWe×2, S. T.: 456 MWe×2)			
		開発段階	開 発 装 置 名	下限値	推定価格
燃料転換処理装置 ・揚運炭装置 ・貯炭場(屋内)	127~136	O	—	—	127~136
		O	—	—	56~ 60
	56~ 60	B	前処理供給系	198	198~248
		A	燃焼器・加速ノズル	81	81~122
		E	二次燃焼器	10	10~ 11
直接発電装置	—	A	発電チャネル	66	66~ 99
		B	超電導磁石(冷凍機舎)	403	403~503
		B	空気加熱システム	728	728~911
		B	シード回収・再生・供給設備	256	256~320
		E	空気圧縮機	50	50~ 53
蒸気発生装置 ・ボイラ本体	340~360	B	ディフューザ・ボイラ	53	53~ 66
		C	中間ボイラ	36	36~ 41
		D	排熱回収ボイラ	60	60~ 66
		D	排ガス冷却器	51	51~ 56
	210~240	O	(通風装置は必要ない)	—	56~ 69
タービン発電機装置 ・タービン発電機ユニット ・タービン補機, 付属設備	240~250	O	(蒸気タービン)	—	133~130
	60~ 80	O	(")	—	33~ 49
復水器, 給水器装置	158~180	O	—	—	290~330
電 気 装 置	290~330	O	—	—	387~427
		D	直交変換器	387	
雑・予 備	—	—	—	—	32~ 38

機械電気関係費総額	3,197 ~ 3,905
-----------	---------------

III. 環境関係設備

項 目	基 準 技 術 (微粉炭火力)	MHD 複 合 発 電			
		開発段階	開 発 装 置 名	下限値	推定価格
脱 硫 装 置	400~430	O	—	—	50~ 60
脱 硝 装 置	80~100	O	—	—	—
電気集塵装置	60~ 65	O	—	—	40~ 60
灰・ダスト処理装置	30~ 35	O	—	—	30~ 35
水・化学処理装置	40~ 55	O	—	—	40~ 55

環境設備関係費総額	160 ~ 210
-----------	-----------

IV. 総係費・その他

総係費・その他費用	468 ~ 577
-----------	-----------

不 確 実 性 費 用	1,312	(開発段階: プロセス研究)
-------------	-------	----------------

建 設 費 総 額	4,747 ~ 7,058
-----------	---------------

3.3.1 年間発電費用

[資本費]

- ・ 減価償却費（定額法，定率法，減債基金法の3種類について計算）
- ・ 金利
- ・ 固定資産税；1.4%
- ・ 諸費；0.8%

[直接費]

- ・ 給料手当；0.3%
- ・ 修繕費
- ・ 諸費；1%

[関連費]

- ・ 業務分担費；直接費×0.08
- ・ 事業税；(資本費+直接費+業務分担費+燃料費)× $\frac{0.015}{1-0.015}$

[燃料費]

$$\frac{8,760 \times \text{設備利用率} \times 0.86}{\text{発電端効率}} \times \text{燃料価格} \times \text{電気出力}$$

但し，燃料価格 [円/kcal]

$$= \frac{\text{燃料費}[\text{円/kg, 円/l}]}{\text{燃料発熱量}[\text{kcal/kg, kcal/l}]}$$

重油：9,750 kcal/l，石炭：6,200 kcal/kg

[環境対策費]

- ・ 灰捨て費；1,000 円/t
- ・ 灰処理，化学物質費用

3.3.2 発電コスト

$$\text{初年度発電コスト} = \frac{\text{初年度発電経費}[\text{円}]}{\text{発生電力量}[\text{kWh}]}$$

但し，発生電力量=8,760×設備利用率

$$\times \left(1 - \frac{\text{所内率}}{100}\right) \times \text{電気出力}$$

耐用年間発電コスト

$$= \frac{\sum_{t=1}^n (\text{各年の発電コスト})_t / (1 + \text{割引率})^{t-1}}{\sum_{t=1}^n 1 / (1 + \text{割引率})^{t-1}}$$

3.4 経済的開発利益と開発リスクの算定

発電コストの計算で，建設費の値がある確率分布による幅で与えられているとすると，他のデータが一定の場合，発電コストの値も，建設費と同様な確率分布で与えられることになる。

今，建設費の確率分布を下限値，上限値が95%の正規分布で与えられているとすると，基準技術と新技術の確率密度関数は次式でそれぞれ表わされる。

$$\phi_r(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}C_r} \exp\left(-\frac{(x-x_r)^2}{2C_r^2}\right) \dots(1)$$

$$\phi_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}C_n} \exp\left(-\frac{(x-x_n)^2}{2C_n^2}\right) \dots(2)$$

上式から，新技術と基準技術の発電コスト差(δ)を表す確率密度分布は，図3のようになり，それは(3)式のように定式化される。

$$\phi(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}C} \exp\left(-\frac{(\delta-\Delta x)^2}{2C^2}\right) \dots\dots(3)$$

$$C = \sqrt{C_r^2 + C_n^2} \quad (-\infty < \delta < \infty)$$

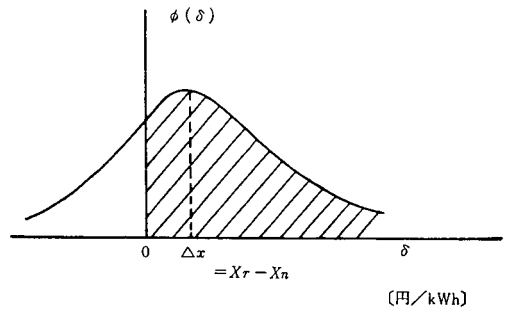


図3

図3で正の部分の面積を示す斜線部分は，新技術が基準技術に比べその発電コストがどの程度安くなるかを示す，期待できる確率で，その値は，(4)式で表わされる。

$$P_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}C} \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{(-\Delta x)^2}{2C^2}\right) d\delta \dots\dots(4)$$

期待できる確率を，さらに開発の利益で表わ

すと(4)式は(5)式のように書き表わされる。

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi} C} \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{(-\Delta x)^2}{2C^2}\right) \delta d\delta \quad \dots\dots(5)$$

一方、逆に、開発によるリスクは、図3の確率分布図で負の部分に相当するから、開発リスクを表わす式は(6)式のようになる。

$$P_2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi} C} \int_{-\infty}^0 \exp\left(-\frac{(-\Delta x)^2}{2C^2}\right) \delta d\delta \quad \dots\dots(6)$$

もし、新技術の将来における電源設備全体に占める設備容量がわかっている場合、その発電所が運開されて経済的寿命が終るまでの開発利益は、運開年の現在価値で表わすと(7)式のようになる。

$$P = \frac{\sum_{t=1}^n P_1 \cdot F \cdot G / (1 + \text{割引率})^{t-1}}{\sum_{t=1}^n 1 / (1 + \text{割引率})^{t-1}} \quad \dots\dots(7)$$

F : 設備利用率

G : 設備容量 [kW]

n : 耐用年数

3.5. 感度解析

発電コストの計算で、最も大きな影響を与えるのは、燃料価格である。さらに、建設費、効率、環境対策費といった他の要因も、技術の比較評価を行なう上で、重要な問題となる。本研究では、建設費について確率分布を考慮し、他のパラメータを一定にして発電コストの確率分布を求めている。しかし、建設費以外のパラメータの将来の値も本質的に不確実なものであり、その不確実性を評価する必要がある。

感度解析の研究は、そういったパラメータの影響により将来の各技術の発電コストと経済的な開発利益と開発リスクがどのように変わるかを分析したものである。感度解析の方法は、発電コスト計算に大きな影響を与える燃料価格、金利、各技術の発電効率、環境対策費を分析要因として選び、低ケース(確率25%)、中間ケース(50%)、高ケース(25%)における各値を推定して行なった。それによって得られる新技術の開発利益と開発リスクは、次のような関係図から得られる。

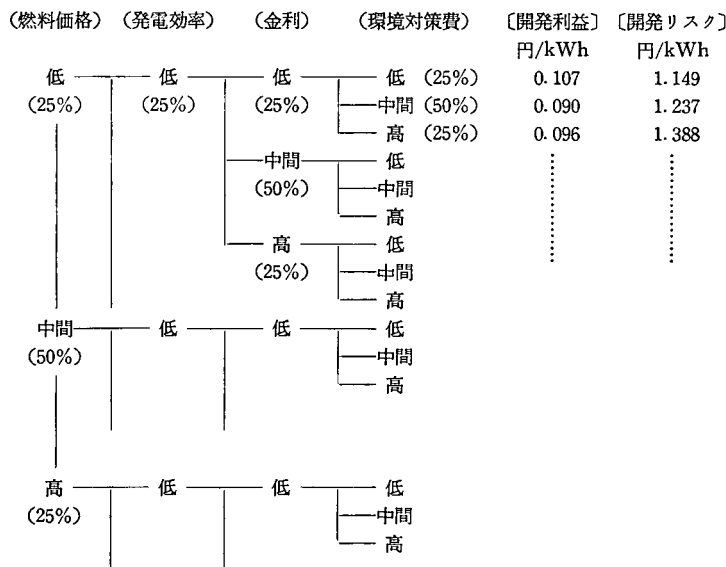


図4 感度解析のケース図

感度解析によって得られる経済的な開発利益と開発リスクは、図の各ケースの確率をそれぞれの開発利益と開発リスクにかけ合わせて、その和をとって得られる。

3.6. 発電コストおよび感度解析計算の前提条件

発電コストを求めるには、その計算に必要なとなる経済的パラメータを設定する必要がある。本研究で使われた各種パラメータの値は、次のようなものである。

3.6.1 燃料価格の上昇率

将来の燃料価格を推定する方法として、いくつかの石油価格モデルやエネルギーモデルがあるが、どの方法を用いたとしても、長期的に将来の燃料価格をなんらかの合理的基準のもとで解くことは難しいことである。

本研究では、次に示す3ケースの実質上昇率による価格シナリオを設定している。

表 3 燃料の実質価格上昇率

	1980 1985	1985 1990	1990 2000	2000 2010	2010 2020	2020 2030	2030
低ケース (確率25%)	% -3	% 0	% 0	% 2	% 2	% 2	% 2
中間ケース (確率50%)	-2	1	2.5	2	1	0	0
高ケース (確率25%)	0	2	3	3	2	1	1

上の価格上昇率は、石油、石炭の両方に適用しており、その値から、名目の価格上昇率を次式を使って求めた。

$$P_E = P \times \bar{P}_E / 100$$

- P_E : 名目燃料価格
- \bar{P}_E : 実質燃料価格
- P : 卸売物価指数

表 4 燃料の名目価格上昇率

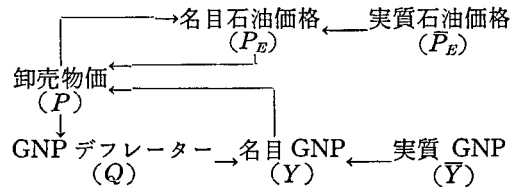
	1980 1985	1985 1990	1990 2000	2000 2010	2010 2020	2020 2030	2030
低ケース	% -3.2	% 0.8	% 0.7	% 3.3	% 3.1	% 2	% 2
中間ケース	-1.8	2.2	4.2	3.3	1.8	2.4	2.4
高ケース	1.0	3.6	4.9	4.7	3.1	1.6	1.6

重油価格：47,394円/k_l

石炭価格；16,640円/t (1980年価格)

3.6.2 卸売価格の上昇率

建設費や燃料の将来の名目価格を求めるためには、卸売物価の上昇率を決める必要がある。本研究では、卸売物価を、石油価格と GNP 成長との独立変数によって説明できると仮定し、次のように定めた。



卸売物価指数 P を (8) 式で仮定し、1965 年から 1980 年までの間について計測してみると、(9) 式のような比較的誤差の小さい結果が得られた。

$$P = \alpha P_E^\beta Y^\gamma \quad \dots\dots(8)$$

P : 1975 年 = 100 とした卸売物価指数

P_E : 1975 年 = 100 とした輸入原油価格指数 (CIF)

Y : 名目 GNP

$$P = 16.62 P_E^{0.233} Y^{0.149} \quad \dots\dots(9)$$

($R^2=0.99$, $DW=2.3$, β , γ の t 値は 16.5, 7.8)

(9) 式を算定するうえで必要となった他の関係式を表わすと (10) 式のようになる。

$$Q = -8.72 + 1.101 \times P$$

$$(R^2 = 0.95, DW = 1.0)$$

$$\left. \begin{aligned} P_E &= P \cdot \bar{P}_E / 100 \\ Y &= \bar{Y} \cdot Q / 104.4 \end{aligned} \right\} \dots\dots (10)$$

GNP の成長は、電研のエネルギーモデル計算で設定された標準シナリオのケース2を用いており、次のような値である。

	1980年 総額(兆円)	実質GNP伸び率 (\bar{Y})							
		1980 1985	1985 1990	1990 1995	1995 2000	2000 2010	2010 2020	2020 2030	2030
GNP	185.8	4.2	3.5	3.2	2.8	2.0	2.0	1.0	1.0

名目 GNP の値と燃料価格の各ケースの値を基に、卸売物価指数の上昇率を計算すると、下表のような結果が得られた。

表 5 卸売物価指数の上昇率

	1980	1985	1990	2000	2010	2020	2030
	1985	1990	2000	2010	2020	2030	
低ケース	0.2	0.8	0.73	1.2	1.1	1.0	1.0
中間ケース	0.2	1.2	1.67	1.3	0.7	0.2	0.2
高ケース	1.0	1.6	1.87	1.6	1.1	0.6	0.6

3.6.3 金利と割引き率

表 6

	金 利	割引き率
低ケース (確率25%)	6%	6%
中間ケース(確率50%)	8	8
高ケース (確率25%)	10	10

3.6.4 発電効率

各種発電方式の発電効率の値は、発電効率の推定から得られた予測値と目標値をそれぞれ低ケース (確率 25%)、高ケース (確率 25%) の値と決め、その平均値を中間ケース (確率 50%) の値と設定した。各ケースにおいて使われ

た年平均送電端効率を次に示す。

表 7 各種発電方式の送電端効率

	低ケース	中間ケース	高ケース
(基準技術)			
微粉炭火力	36.1	36.9	37.6
重油火力	36.7	37.3	37.8
(新技術)			
新鋭微粉炭火力	37.1	38.5	39.8
常圧流動床発電	36.1	36.6	37.0
加圧流動床発電	37.3	38.4	39.5
MHD複合発電	42.6	44.5	46.5
石炭ガス化複合発電 (所内比率 9.6%)	39.5	42.8	46.1
(所内比率12.6%)	38.2	41.4	44.6

3.6.5 環境対策費

環境基準が厳しくなった場合の追加費用として、各シナリオに対し次のような値を決定した。

・設備増加分 (万円/kW)

	低 ケース	中間 ケース	高 ケース
(基準技術)			
微粉炭火力	0	0	0.70
重油火力	0	0	0.55
(新技術)			
新鋭微粉炭火力	0	0	0.70
常圧流動床蒸気発電	0	0	0.35
加圧流動床複合発電	0	0	0.20
石炭ガス化複合発電	0	0	0.09
開放型MHD複合発電	0	0	0.50

・運転保守費分 (万円/kWh)

	低 ケース	中間 ケース	高 ケース
(基準技術)			
微粉炭火力	0	0	0.08
重油火力	0	0	0.02
(新技術)			
新鋭微粉炭火力	0	0	0.08
常圧流動床蒸気発電	0	0	0.10

加圧流動床複合発電	0	0	0.10
石炭ガス化複合発電	0	0	0.20
開放型MHD複合発電	0	0	0.20

4. 評価結果

4.1. 発電効率と建設費の結果

基準技術の熱効率を基に各新技術のエネルギーフローを作成し、それによって求められた発電効率を表8に示す。表から、複合システムによる発電技術ほど発電効率が高く、ほとんどが40%以上を越えていることがわかる。

尚、この表で示されている予測値と目標値は感度解析の計算で必要となった発電効率の低ケースと高ケースにそれぞれ対応している。

次に、不確実性を考慮して推計された各技術の建設費の内訳と総額を表9に示す。価格は、1980年価格で推計されており、基礎的な研究段階にある技術ほど建設費の分布幅が大きいことがわかる。図5は、各技術の建設費を棒グラフで表わしたものである。これによると、MHD複合発電、燃料電池複合発電の機械電気設備費が他に比べて大きいことがわかる。図6は、得られた各発電方式の建設費と送電端効率をプロットしたもので、それぞれの技術における発電

効率と建設費の最大値と最小値をとって、その間の分布を葉形で表わしたものである。これから葉形の面積は、建設費と発電効率に関し、各技術がもつ不確実性の度合いを表わすことになる。

4.2. 発電コストと感度解析の結果

4.2.1 発電コスト

各技術の均等化発電コストを各運開年において誤差範囲を含めて得られた結果を表10に示す。表は中間ケースのときの値で、表には、定額法、定率法、減債基金法の償却方法が変わったとき、それぞれの発電コストがどのような値となるかを示してある。それによると、均等化発電コストに関しては、償却法によってほとんど変化が生じていない。

図7と図8は、中間ケースの2000年と2030年における各発電方式の均等化された年間発電費用を設備利用率に対しプロットしたものである。図で比較すべき利用率は、ベース負荷の70%付近であり、それによると、ガス化複合発電（所内比率9.6%の場合）と新鋭微粉炭火力が比較的良好なことがわかる。

図9と図10は各発電方式の2000年におい

表8 各技術の熱効率

技術名	定格発電端効率		年平均発電端効率		年平均送電端効率	
	予測値	目標値	予測値	目標値	予測値	目標値
微粉炭火力	40.0	41.6	39.0	40.6	36.1	37.6
重油火力	40.1	41.8	39.1	40.8	36.7	37.8
新鋭微粉炭火力	41.1	44.1	40.6	43.0	37.1	39.8
常圧流動床発電	40.0	41.1	39.0	40.0	36.1	37.0
加圧流動床複合	40.9	43.4	39.9	42.3	37.3	39.5
MHD複合発電	44.8	48.9	43.7	47.7	42.6	46.5
ガス化複合 (所内比率 9.6%)	44.8	52.3	43.7	51.0	39.5	46.1
(" 12.6%)	44.8	52.3	43.7	51.0	38.2	44.6

表 9 各種発電方式の建設費の内訳

技術名 建設費項目	重油火力(基準)	微粉炭火力(基準)	新鋭微粉炭火力	常圧流動床発電	加圧流動床発電	石炭ガス化複合発電	MHD複合発電	
	1,000 MW×2	1,000 MW×2	1,000 MW×2	500 MW×4	G. T. 139 MW×4 S. T. 361 MW×4	G. T. 593 MW×2 S. T. 407 MW×2	MHD 544 MW×2 S. T. 456 MW×2	
土木建設	地物構築物	86~109 174~191 659~754	922~1,054	922~1,054	922~1,054	922~1,054	922~1,054	
	燃料転換処理 直接発電装置 蒸気発生装置 タービン発電機 復水・給水装置 電気装置設備 雑・予備	160~175 — 510~560 300~330 158~180 260~295 14~15	333~358 — 550~600 300~330 158~180 290~330 16~18	333~358 — 650~718 330~377 158~180 290~330 18~20	363~394 — 535~614 356~392 195~222 290~330 17~20	433~552 — 620~737 491~581 155~176 290~330 20~24	1,733~1,978 — 207~237 450~542 84~96 290~330 28~32	472~577 1,503~1,886 256~298 166~183 91~104 677~757 32~38
環境設備	脱硫装置 脱硝装置 電気集塵装置 その他	360~390 70~90 55~60 20~30	400~430 80~100 60~65 70~90	610~685	137~147 80~100 60~65 70~90	347~392	— — 60~65 46~51	50~60 40~60 70~90
	総係費・その他	299~352	358~416	372~434	342~402	368~445	422~499	468~577
費用の不確実性	—	—	393	538	992	456	1,312	
建設費総額	2,888~3,272	3,537~3,971	3,696~4,562	3,367~4,358	3,646~5,283	4,242~5,340	4,747~7,058	
建設単価(万円/kW)	14.4~16.4	17.7~19.9	18.5~22.8	16.8~21.8	18.2~26.4	21.2~26.7	23.7~35.5	

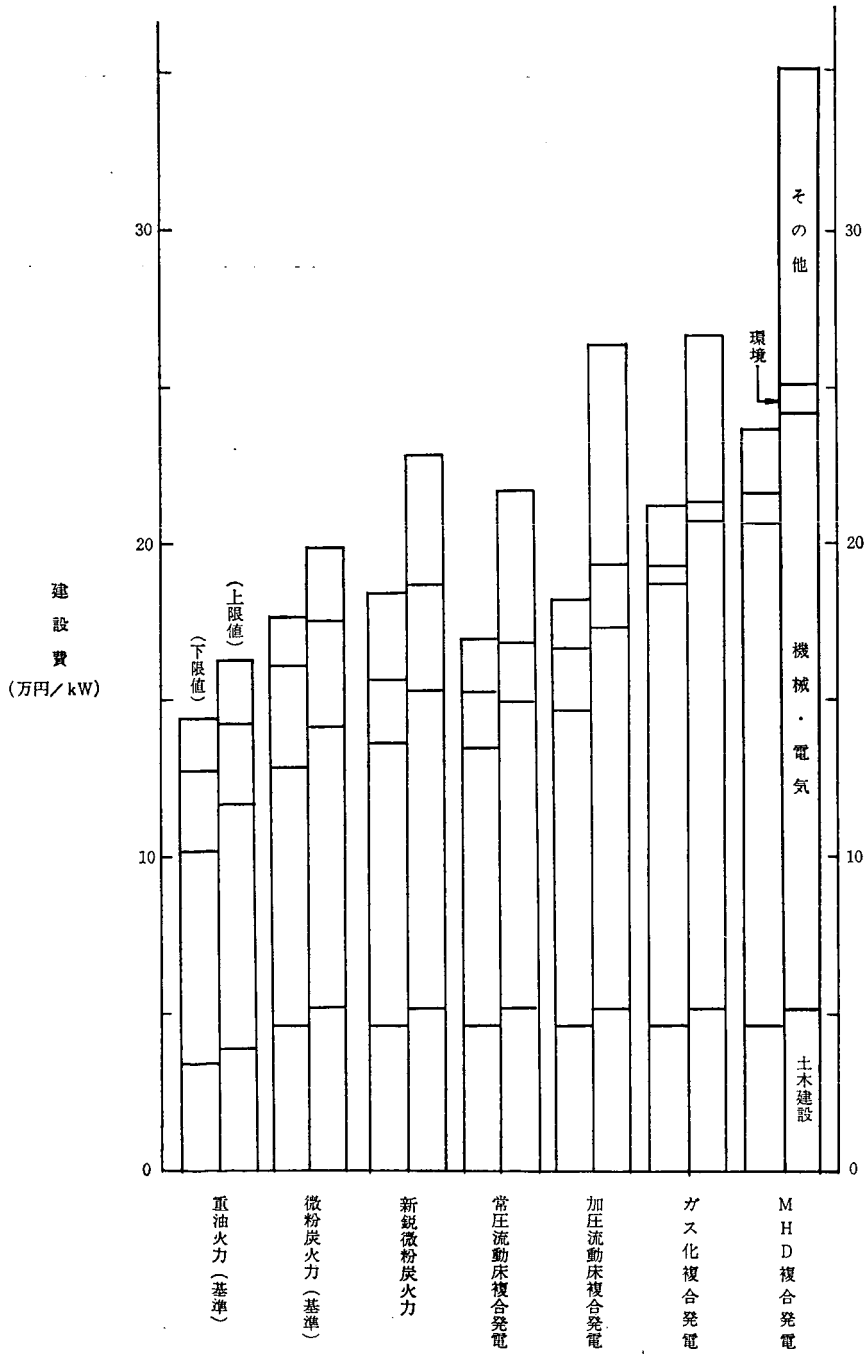


図5 建設費の内訳

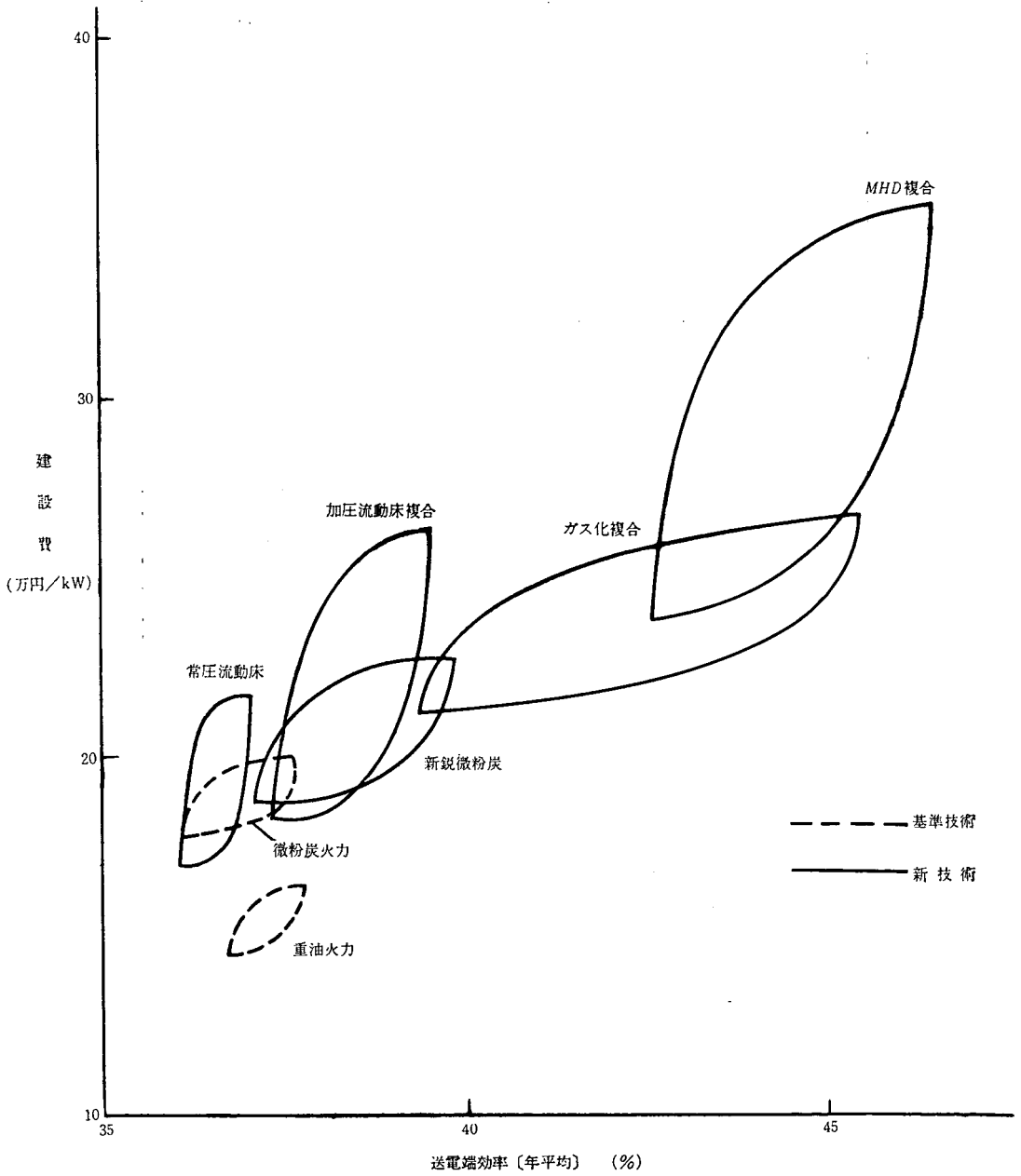


図 6 建設費と送電端効率との関係

表 10 各種発電方式の均等化発電コスト

(定額法)

(運開年名目価格：円/kWh)

技 術 名	運 開 年			
	1990	2000	2030	
在来型技術 {	重油火力	22.12±0.28	29.00±0.33	49.97±0.39
	微粉炭火力	15.32±0.33	19.54±0.37	31.48±0.45
新鋭微粉炭火力	15.46±0.65	19.62±0.75	31.24±0.90	
常圧流動床発電技術	15.55±0.74	19.81±0.85	31.88±1.03	
加圧流動床発電技術	15.91±1.21	20.15±1.40	31.90±1.68	
M H D 複合発電	16.96±1.75	21.10±2.03	31.92±2.41	
石炭ガス化複合発電 {	所内比率 9.6%	15.53±0.83	19.55±0.95	30.39±1.15
	所内比率 12.6%	16.07±0.85	20.23±0.98	31.44±1.18

(定率法)

(名目価格：円/kWh)

技 術 名	運 開 年			
	1990	2000	2030	
在来型技術 {	重油火力	22.08±0.28	28.95±0.33	49.91±0.39
	微粉炭火力	15.28±0.32	19.48±0.37	31.41±0.45
新鋭微粉炭火力	15.41±0.64	19.56±0.74	31.17±0.88	
常圧流動床発電技術	15.49±0.74	19.75±0.85	31.80±1.02	
加圧流動床発電技術	15.85±1.20	20.08±1.39	31.81±1.66	
M H D 複合発電	16.90±1.74	21.03±2.01	31.83±2.40	
ガス化複合発電	15.46±0.81	19.46±0.94	30.28±1.13	

(減償基金法)

(名目価格：円/kWh)

技 術 名	運 開 年			
	1990	2000	2030	
在来型技術 {	重油火力	22.14±0.30	29.03±0.33	50.00±0.40
	微粉炭火力	15.35±0.33	19.57±0.38	31.52±0.45
新鋭微粉炭火力	15.49±0.65	19.66±0.75	31.29±0.90	
常圧流動床発電技術	15.58±0.74	19.85±0.86	31.93±1.03	
加圧流動床発電技術	15.94±1.22	20.19±1.41	31.95±1.69	
M H D 複合発電	17.00±1.76	21.15±2.04	31.98±2.42	
ガス化複合発電	15.57±0.83	19.59±0.96	30.45±1.15	

て運開したプラントの発電コストの構成を初年度と運開 15 年後について表わしたものである。これらの構成図によると、2000 年運開における重油火力の場合燃料費の占める割合が 70% であり、石炭火力の場合で 35~55% の割合となっている。さらに、運開してから 15 年後の燃料費の割合は、重油火力で 90%、石炭

火力で 55~65% とかなり高くなることがわかる。

次に、中間ケースにおける各新発電技術の経済的な開発利益と開発リスクについて、1990 年、2000 年、2030 年のそれぞれで運開されたときの計算結果を図 11 に示す。図から、将来の経済的な開発利益に関しては、新鋭微粉炭火

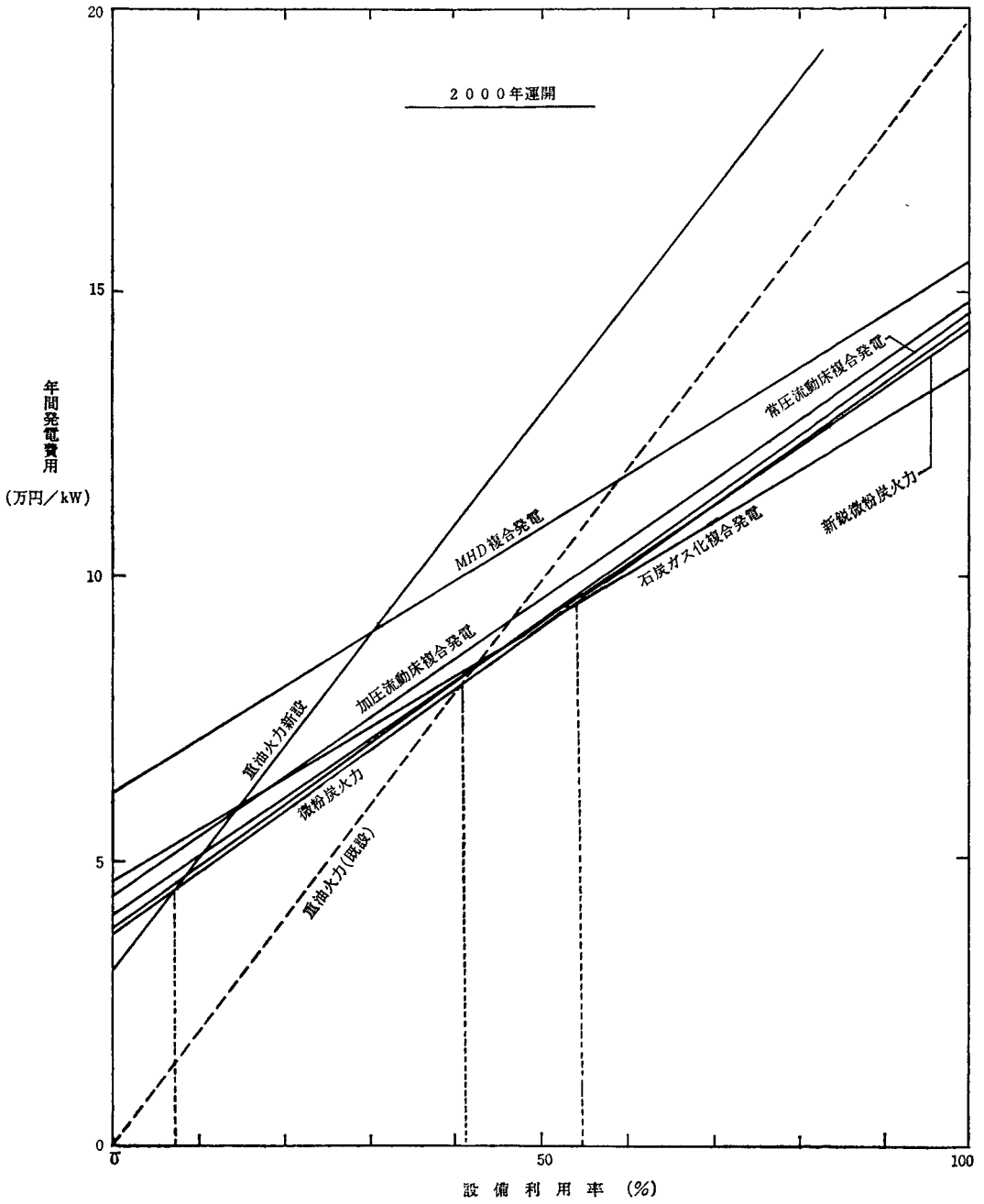


図 7 設備利用率に対する年間発電費用 (中間ケース)

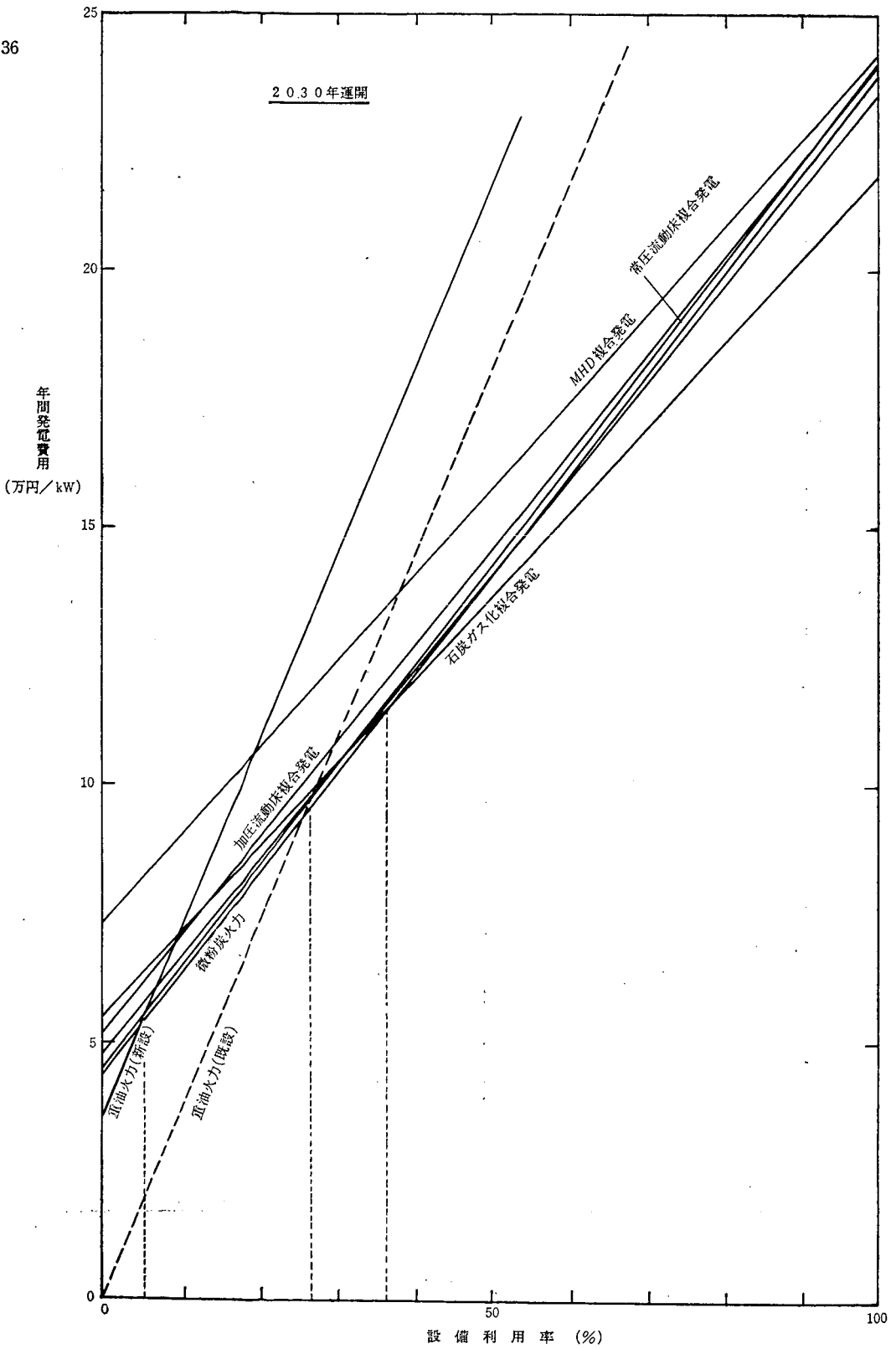


図8 設備利用率に対する年間発電費用 (中間ケース)

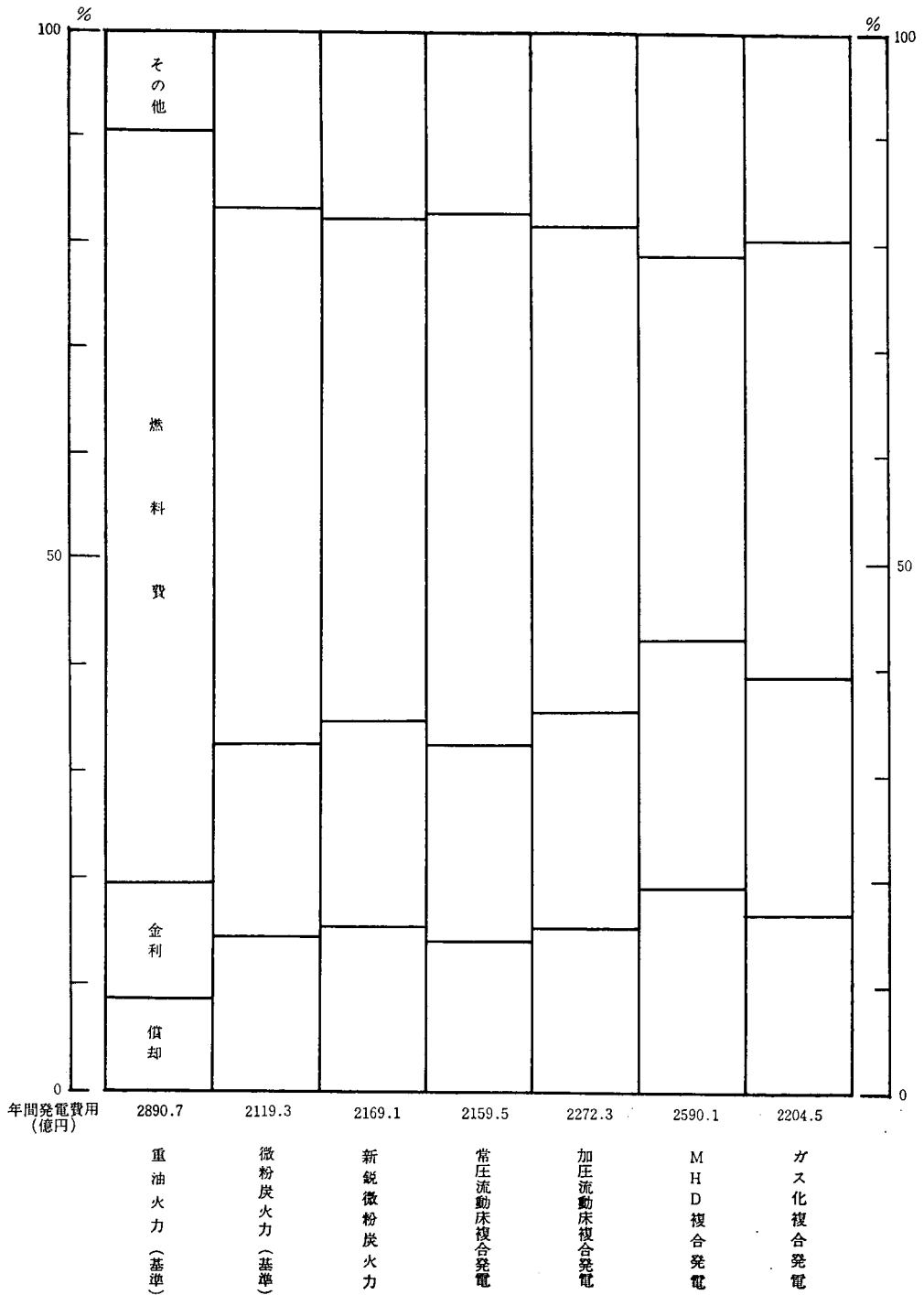


図 9 初年度発電コストの構成 (2000 年運開)

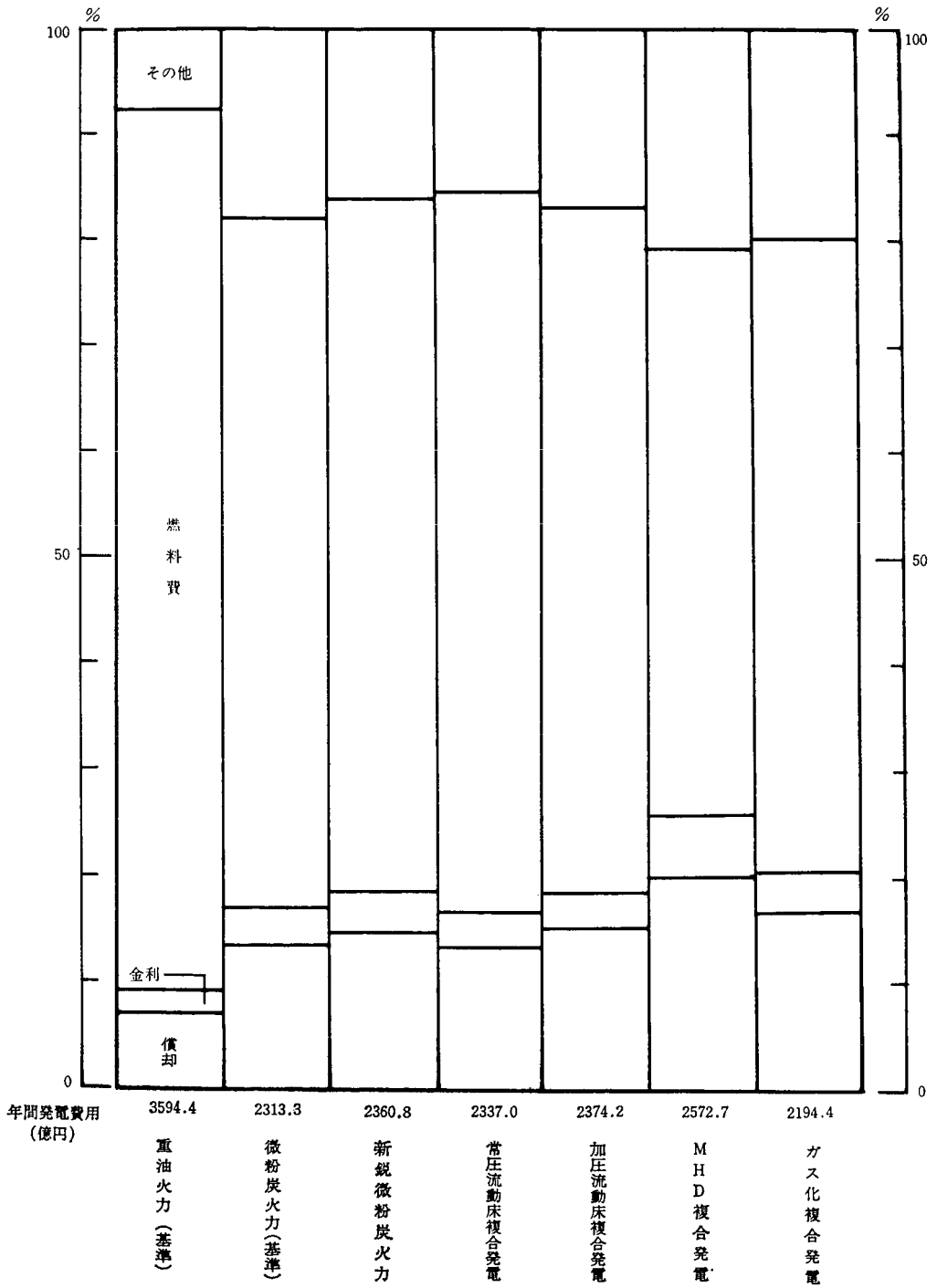


図 10 運開 15 年後の発電コストの構成 (2000 年運開)

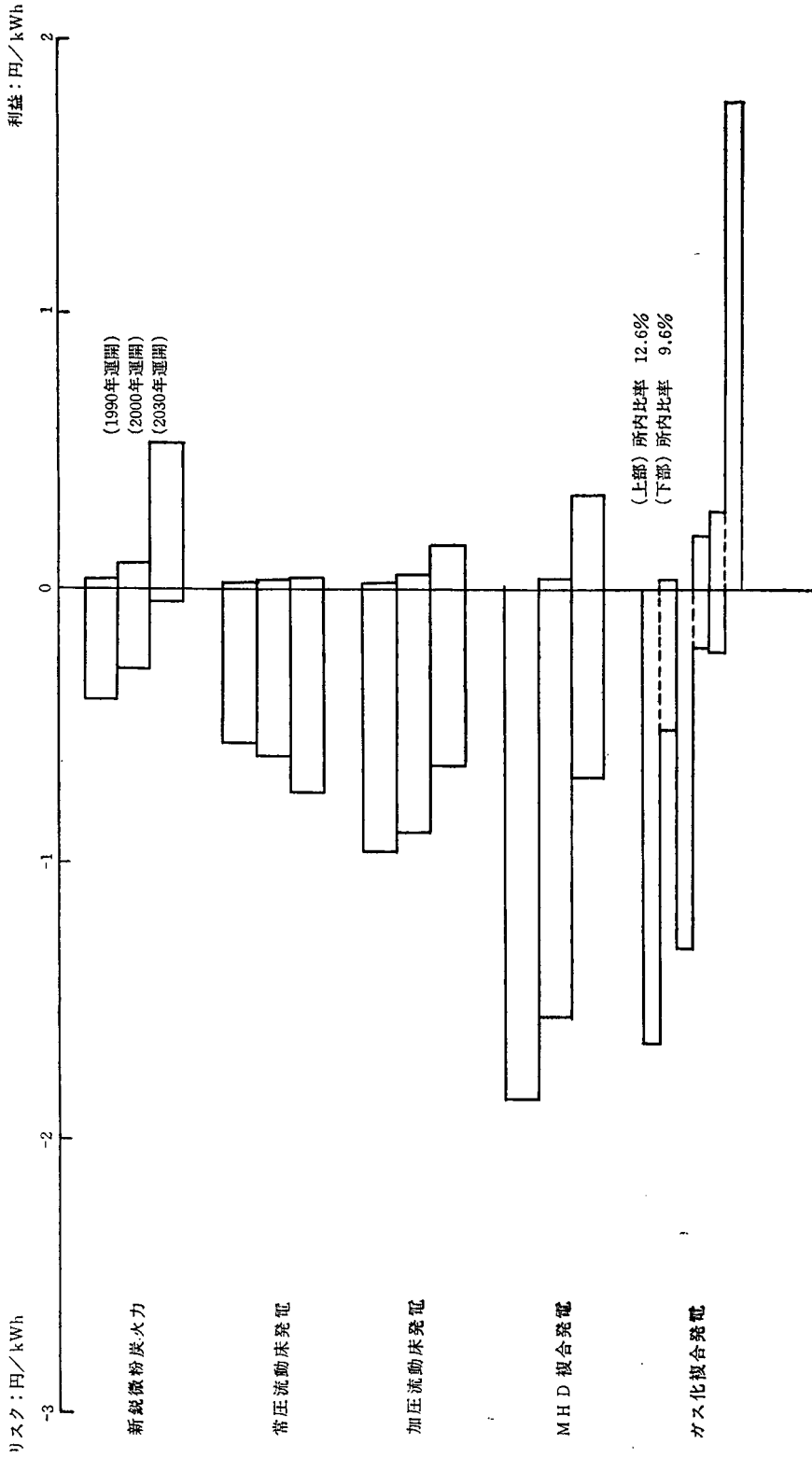


図 11 新発電技術の経済的開発価値 (中間ケース)

力とガス化複合発電が比較的那の値が大きくなる有望であることがわかる。流動床発電に関し本研究で得られた開発利益は、比較的小さい。これは、燃料炭として他の石炭技術と同一の炭種を用いているためである。しかし、流動床発電は、低品位炭が使用できるメリットを持っていることから、低価格の燃料を使った場合、その開発利益は、図 11 の結果より大きくなることが期待される。

4.2.2 感度解析

燃料価格、発電効率、金利、環境対策に対する将来の値を、高ケース、中間ケース、低ケースに分けて予測し、それぞれに対し、新技術の開発利益と開発リスクを求めた。図 12 と図 13 は、新技術にとって最も良い条件が整ったケースと、逆に最も悪い条件になった場合について、その開発利益と開発リスクを算定したものである。図からも明らかのように、最も良い条件（確率 0.4%）になったとき、新技術の開発利益は、将来非常に大きくなる。しかし、一方で図からわかるように最も悪い条件（確率 0.4%）になった場合、新技術の開発利益は、ほとんどなく、リスクの値が大きくなってしまふ。この結果の変化に最も大きな影響を与えているのは、将来の燃料価格であり、燃料価格が将来どのように変わるかで、新技術の評価が決まってしまうことがわかる。

燃料価格、発電効率、金利、環境対策費が、低ケースと高ケースで変化したとき、2000年に運開した場合の各新発電技術の均等化発電コスト、開発価値、経済的開発価値がどのように変化するかを表わしたものを付録の図 15 から図

19 までに示す。これらの図からは、次のようなことがわかる。

- ① 発電コストの値は、燃料価格の上昇率に大きく依存する。
- ② 開発価値は、まず燃料価格に、次に効率に依存している。

燃料が低価格ケースにおける新技術の開発価値は、ほとんどが在来型技術に比べて劣っている。

- ③ 金利は、高くなると開発価値を下げることになり、その影響は建設コストの高い技術ほど大きくなっている。

図 20 は、発生確率を考慮して 81 の組合せに対し感度解析を行い各新発電技術の開発利益と開発リスクを計算し、表わしたものである。図から 2000 年までの運開では、新技術の開発利益は、リスクに比べすべて小さいが、2030 年になると新鋭微粉炭火力とガス化複合に関してその開発価値が大きくなっていくことがわかる。その期待できる利益は、2,000 MW の発電所を利用率 70% で運転した場合、次のようになる。

	年間利益[億円] (2030年 年運開プ ラント)	耐用年間総利益[億円]	
		2030年価格	1983年価格 (割引率:8%)
新鋭微粉分炭 火力	58	461	12.4
石炭ガス化複 合発電 (所内比率 9.6%の場合)	204	1,621	43.5

(うちやま ようじ
さいとう たけし
経済部
エネルギー研究室)

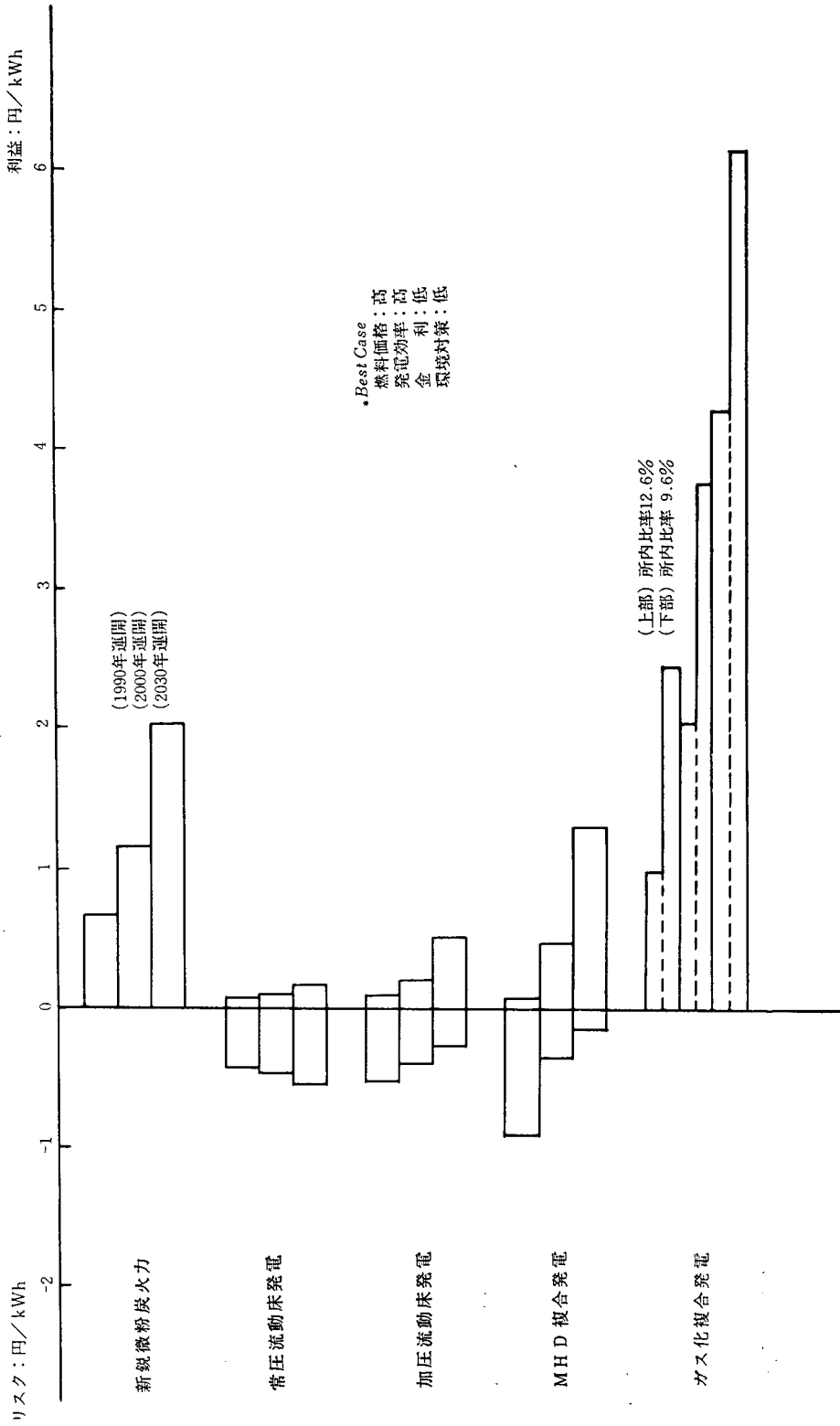


図 12 新発電技術の経済的開発価値 (Best Case*)

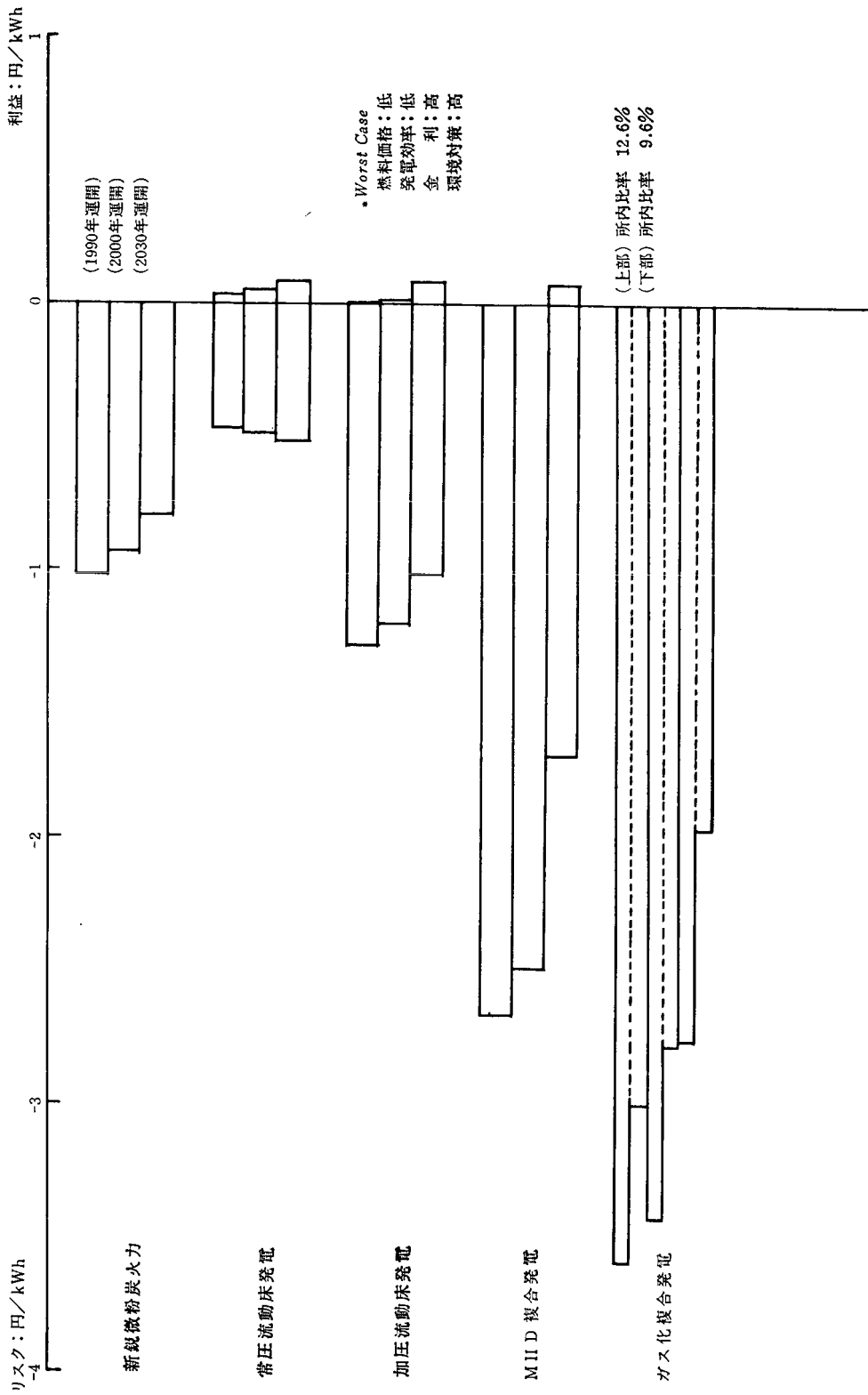


図 13 新発電技術の経済的開発価値 (Worst Case*)

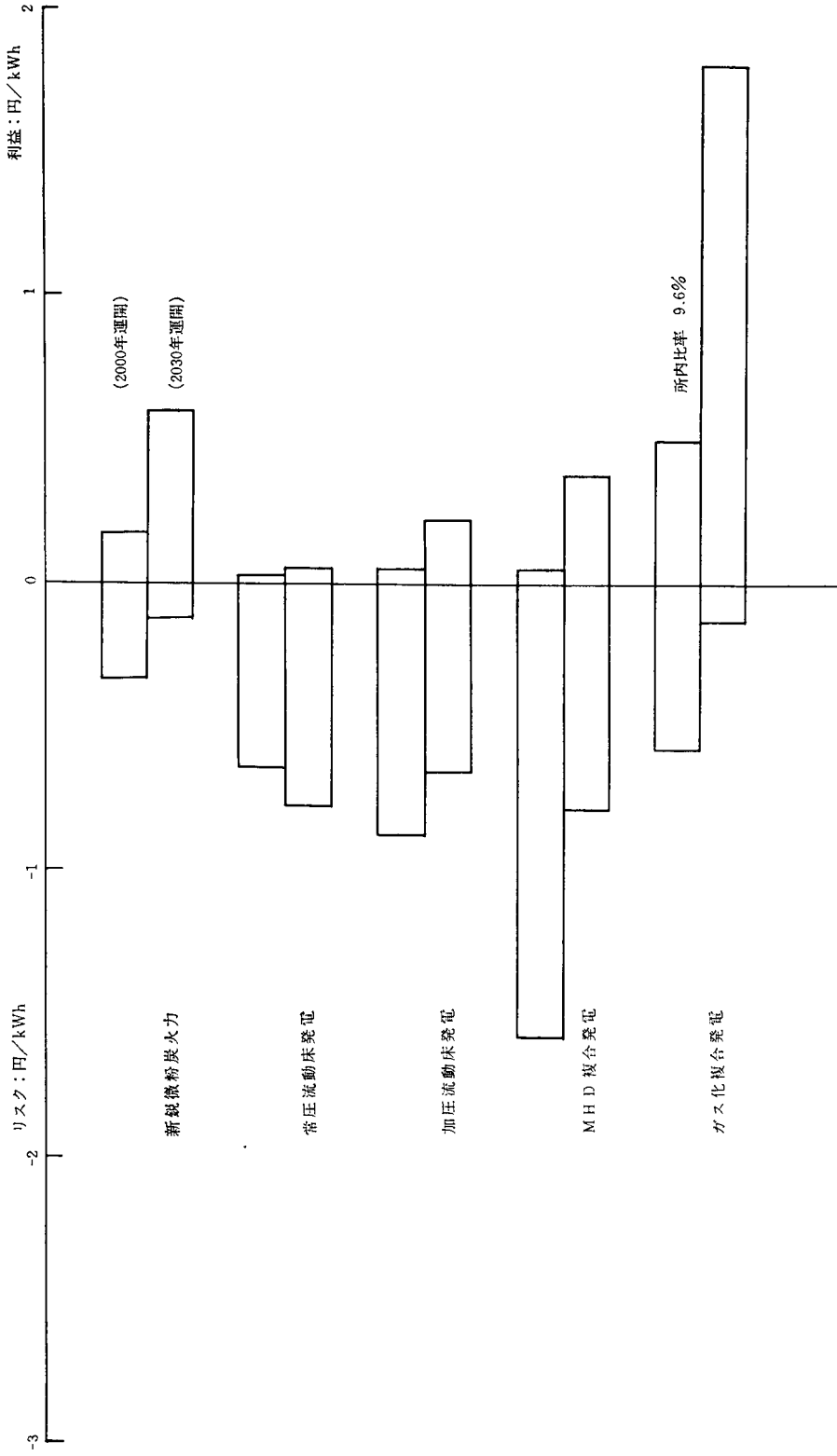


図 14 新発電技術の感度解析の結果

付録 各種新発電方式の感度解析

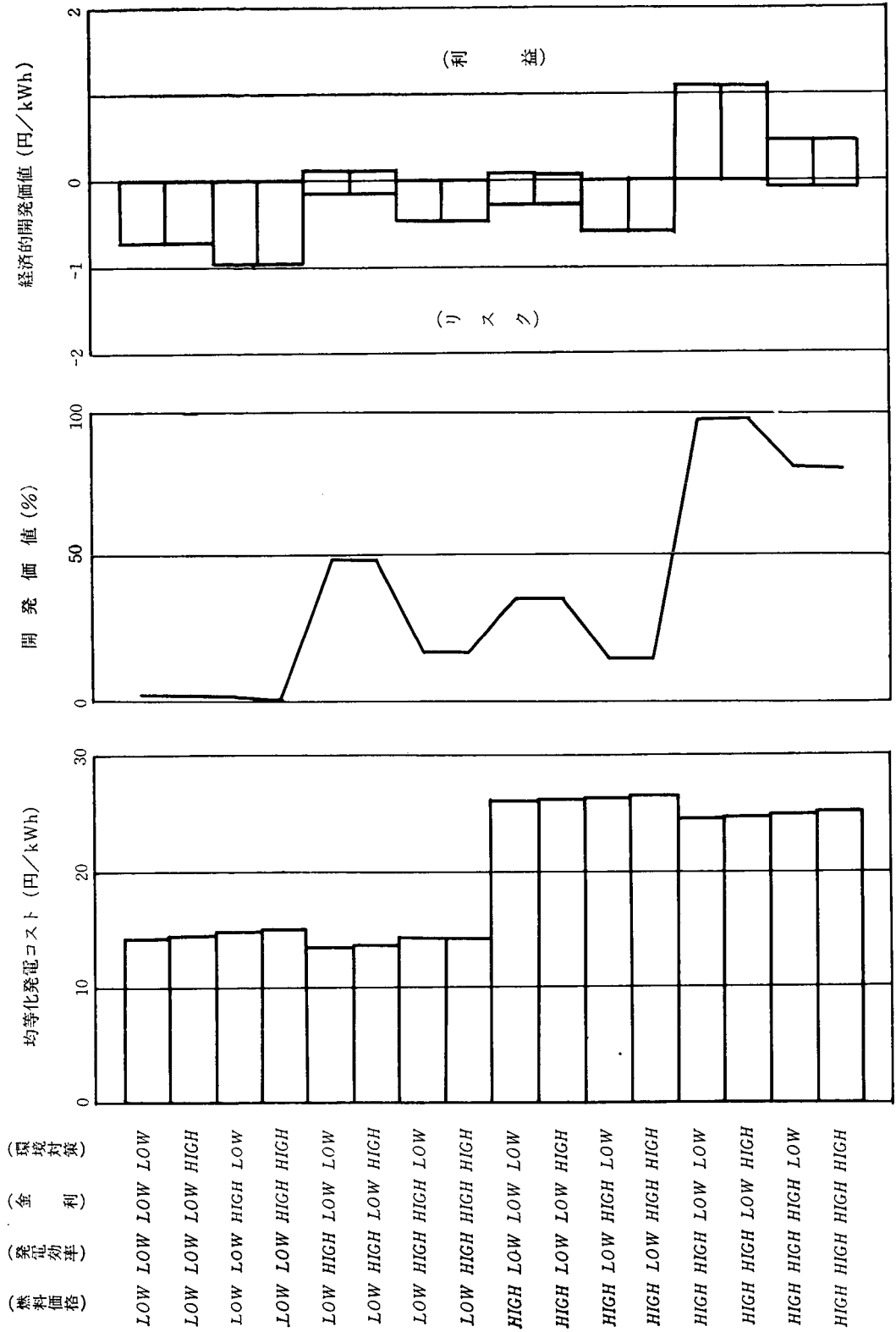


図 15 新鋭微粉炭火力の感度解析 (2000 年運用)

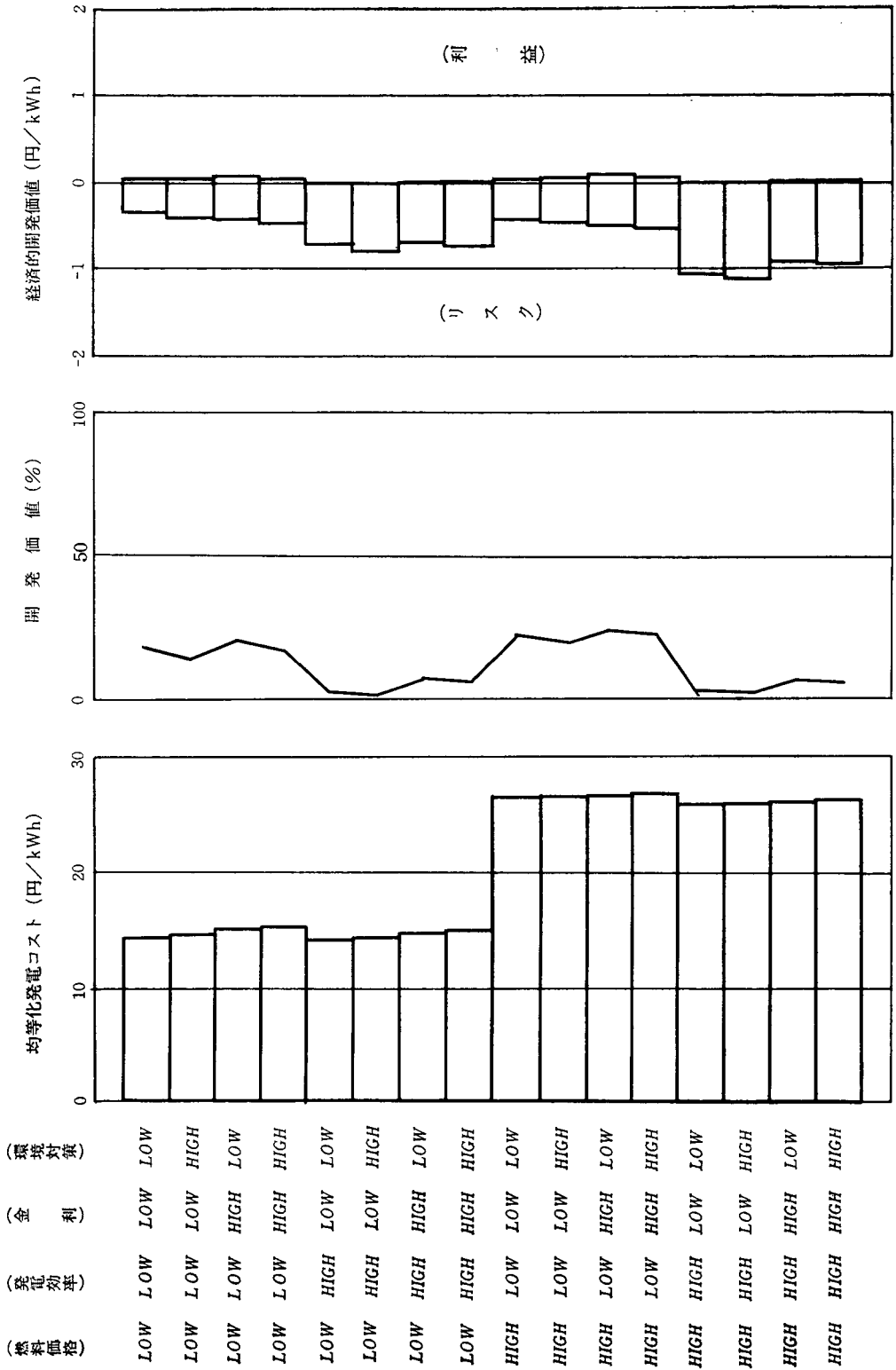


図 16 常圧流動床発電技術の感度解析 (2000 年運用)

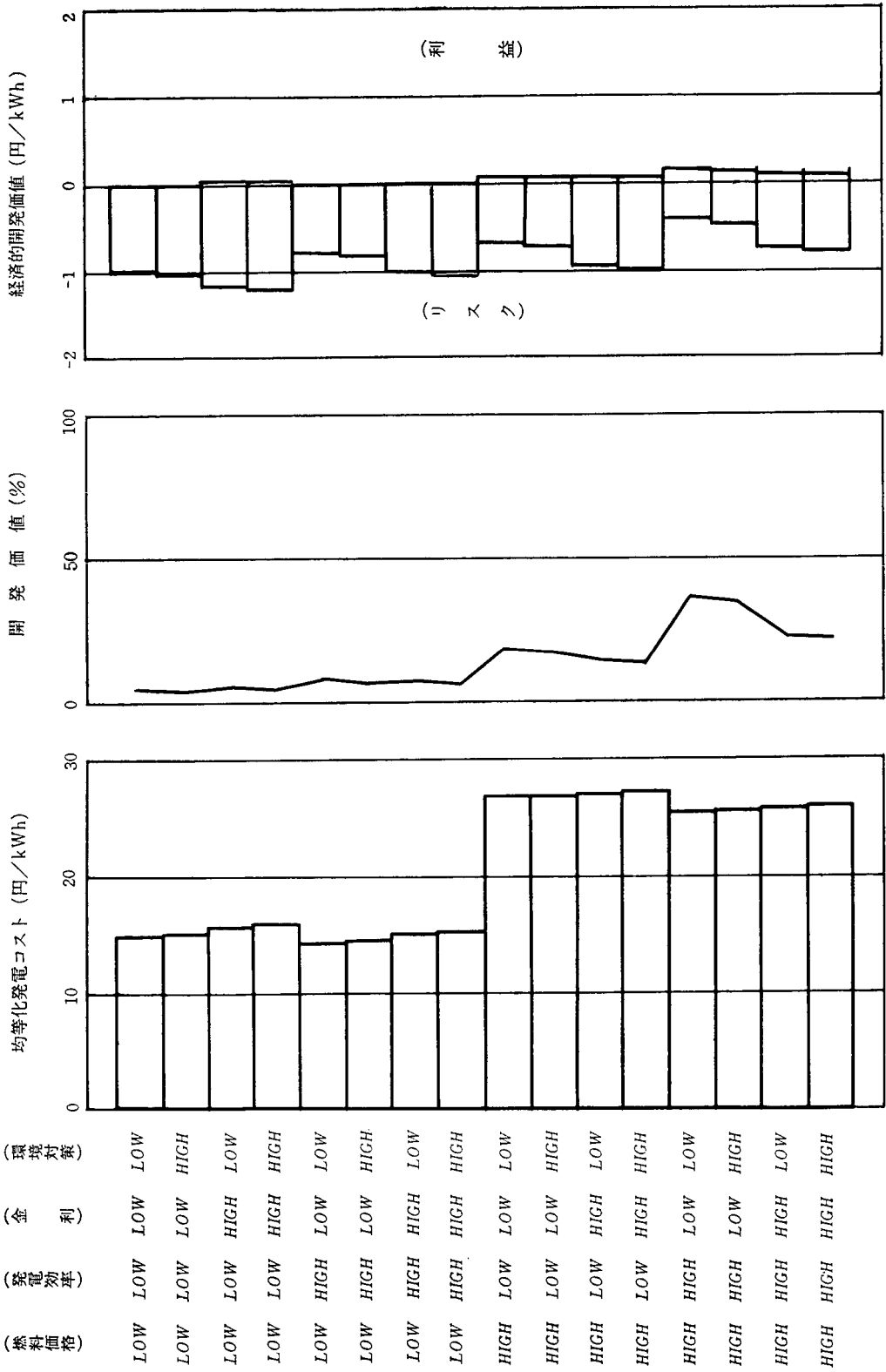


図 17 加圧流動床発電技術の感度解析 (2000 年運用)

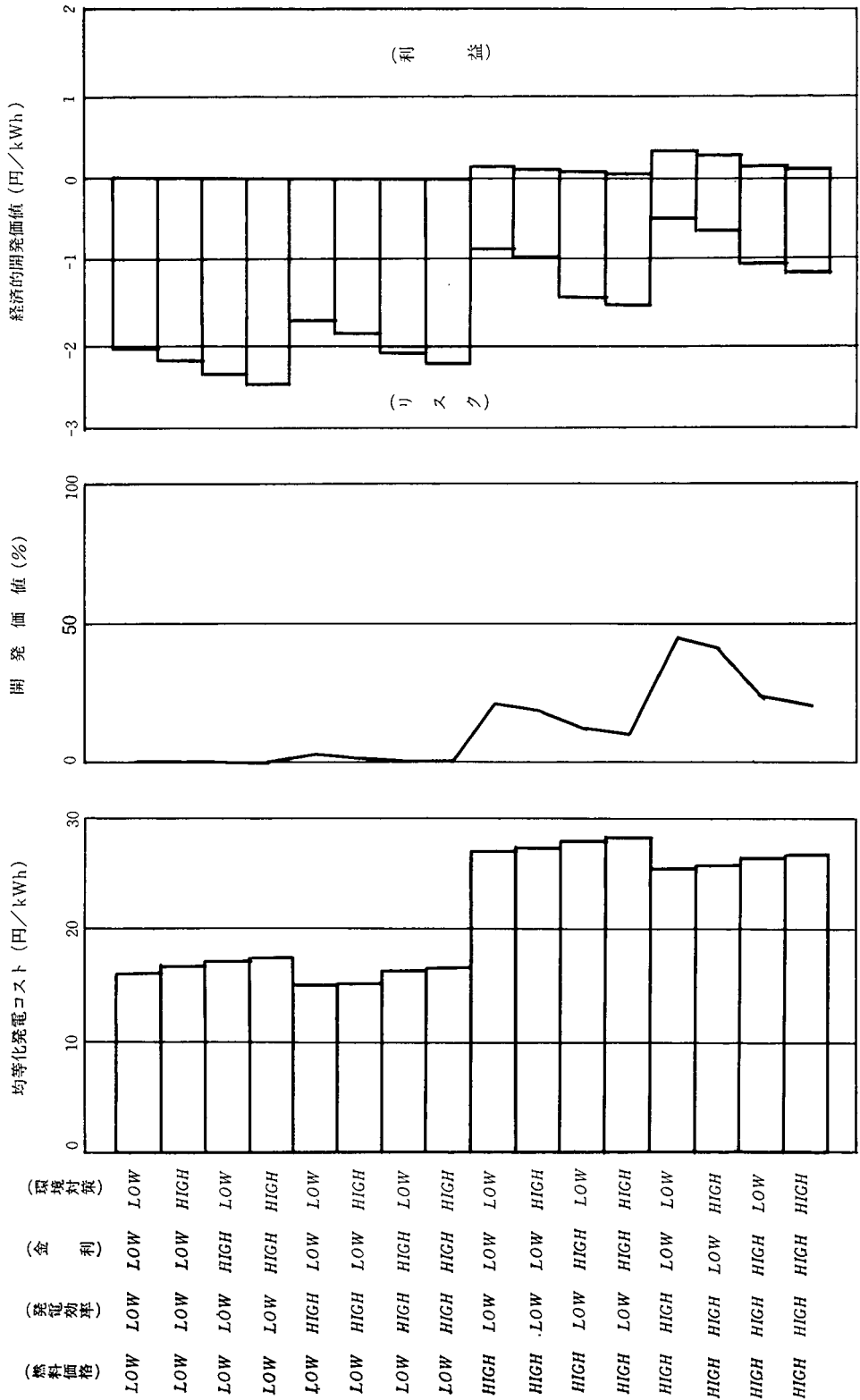


図 18 MHD 複合発電の感度解析 (2000 年運開)

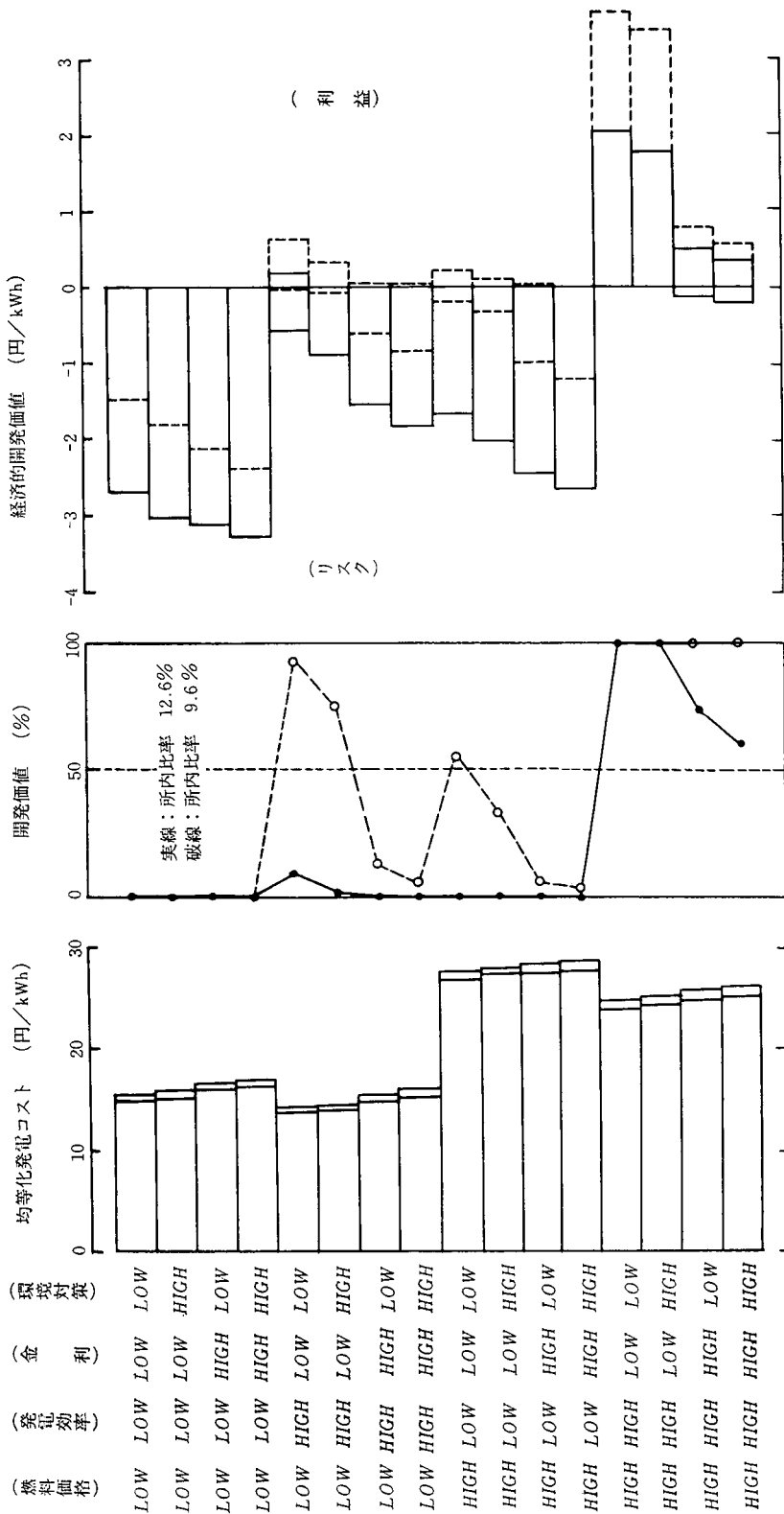


図 19 ガス化複合発電の感度解析 (2000 年運用)