

<文献資料紹介>

エネルギーと環境

——電力を中心として——

“Energy and the Environment—Electric Power”,
Council on Environmental Quality, August 1973

大 島 英 雄

環境破壊は、エネルギーが消費される際においてのみでなく、その採掘、処理、輸送、エネルギー転換、および消費者への供給の各過程においても生じ、しかも、エネルギー消費の増大に伴い環境へのインパクトもますます深刻の度を加えつつある。かくして、エネルギー消費と環境保全との間にはおのずから重大な相剋を生ずるが、これはエネルギー需要に影響を与える諸要因の把握と環境破壊を最小限に抑えるエネルギー・システムの開発とによって解決せねばならぬ。

米国の Council on Environmental Quality (環境問題諮問委員会) はかかる問題意識のもとに、エネルギー需要の絶えざる増大をもたらす要因について、また、この需要を充たすための各様のエネルギー・システムについて、とくに電力に焦点を絞りつつ環境への影響、汚染防除コストおよびエネルギー保全について綿密な考察を行ない、これを掲題の報告書にとりまとめ 1973 年 8 月に刊行した。

本報告書は、下記の 4 章から成り、エネルギー資源の採掘から最終段階たる電気の消費に至るまでのすべての過程を一つのシステムとして総合的に把え、システム全体としてのエネルギーの利用効率と環境への影響を考慮したユニー

クな文献である。また、この報告書には付属資料として、分析に用いた各種の電力システムに関する詳細なデータが掲げているが、これらデータ自体も本文に展開された方法論と並んで十分に利用価値を持つものである。

第 1 章 エネルギー需給の展望

第 2 章 電力と環境の質

第 3 章 エネルギー保全、エネルギー・システムの効率、および環境の質

第 4 章 代替的なエネルギー政策の評価

以下に章を追ってその概要を紹介する。

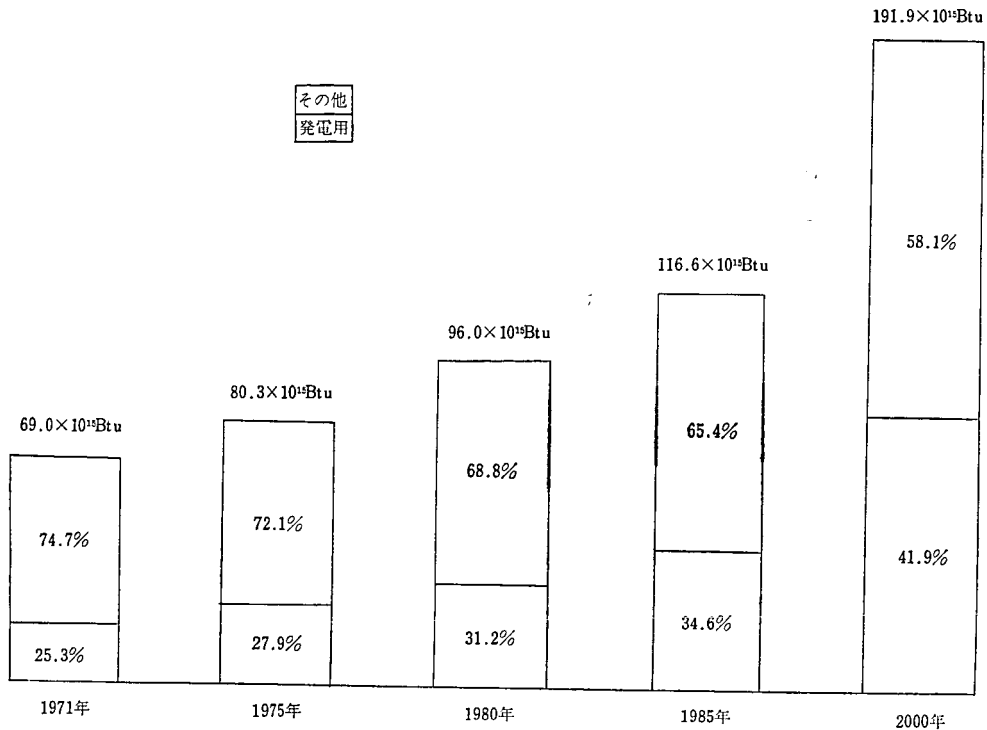
第 1 章では、米国におけるエネルギー需要の趨勢ならびに需要に応じる供給システムについて展望を試みている。

エネルギー需要の趨勢

エネルギー需要にみられる重要な傾向として電力消費の著増が挙げられる。過去 10 年間に電力消費は、他のすべてのエネルギー消費の伸び率の約 2 倍に当たる年率 7% の割合で増大しており、図 1 に示すように 2000 年には全エネルギーの 40% 以上が発電用に使われるものと推定される。

生活水準の向上に伴い、住宅用や業務用の電力消費は急増する勢いにあり、エネルギー多消費型の電気機器の使用が増えると同時にこれら

図 1. 米国の総エネルギー需要と発電用エネルギー (1971~2000年)



機器のサイズや容量も大型化する傾向にある。

輸送用エネルギーも堅実な伸びを示しているが、これは輸送距離や旅客数の増大に加えて、輸送手段がエネルギーを多量に消費する高速度かつ便利性の高いものに移行しつつあることに起因している。

工業部門は、今日米国の総エネルギー消費量の40%を占めているが、この比率は今後も持続すると推定される。図2は米国の1950~2000年における各部門別のエネルギー消費の増加傾向を示したものである。

エネルギーの供給システム

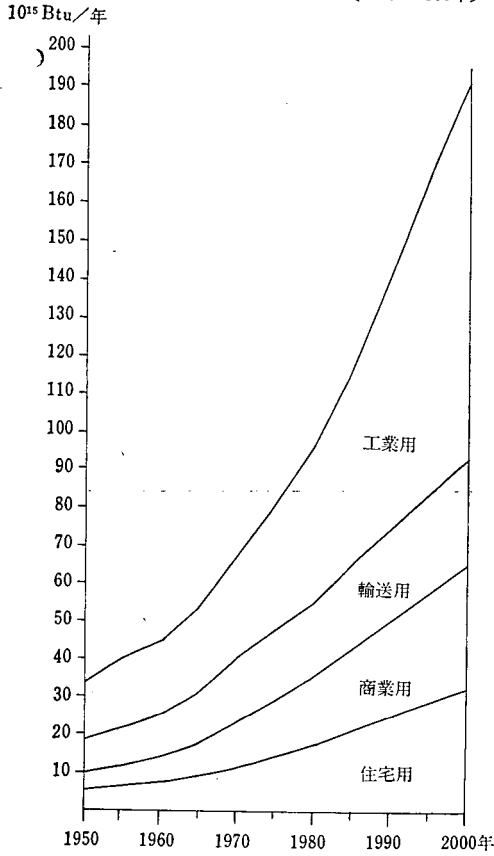
現在、化石燃料は米国のエネルギー需要の95%以上を充足しているが、2000年の時点でも70%以上をまかなうものと推定される。化石燃料に次ぐ主要なエネルギー源は水力および原子力である。現在、水力はエネルギー需要の

4%、原子力は1%弱を充たしているにすぎないが、2000年には水力は3%以下に減り、原子力は26%を超えることになるであろう(図3参照)。

石炭は、1985年以降も米国の重要なエネルギー源としての地位を保つであろう。しかし、石炭の国内消費量は現在全エネルギー需要の18%を充たしているにすぎず、このシェアは今後も増大する見通しはない。ただし、その絶対量は1985年には現在よりも70%以上も増大するものとみられる。

石油は、現在米国における全エネルギー需要の44%を占めており、この比率は1985年にも変わらないが、絶対量では65%以上の増加を示すであろう。そして20世紀末に至るまで米国における最大のエネルギー源としての地位を保つであろう。

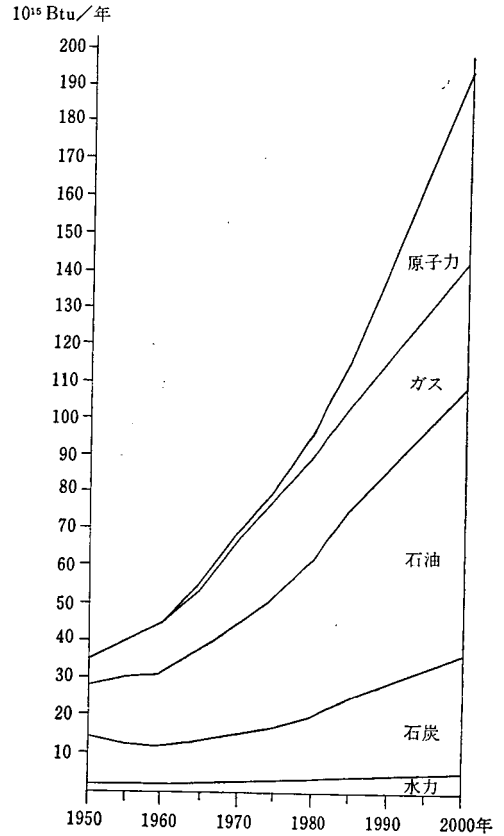
図 2. 米国の部門別エネルギー消費量
(1950~2000年)



天然ガスは、現在米国エネルギー需要の33%を充たしているが、国内の産出量が限られているのみでなく輸入価格が高いことは将来における消費を著しく制約する。1985年には、米国におけるガスの総供給量は現在に比し34%増加するが、これは全エネルギー需要の25%弱を充たすにすぎない。しかもこの供給増は、LNGの輸入増や合成天然ガスの生産増によるものである。

核エネルギーは、現在のところ米国の総エネルギー生産量の1%弱を占めるにすぎないが、1985年には総エネルギー需要の10%、また2000年には総エネルギー需要の26%、電力需要の60%を充たすことになるであろう。

図 3. 米国の資源別エネルギー消費量
(1950~2000年)



水力は、発電設備の適地が経済的、環境的に制約されるため、今後も伸びる余地は少なく、総エネルギーに占める割合は現在の4%から1985年には3.7%、2000年には3.0%と漸減するであろう。しかし絶対量では水力発電は今後30年間に2倍以上に増大することが予想される。

第2章では、電力と環境問題とくに現在使用に供されている化石燃料焚焼火力および原子力発電システムによりもたらされる環境への影響について詳細に分析するほか、これらシステムに対する環境上の各種汚染防除に要する費用ならびにその効果について検討し、さらに環境破壊の軽減に有望と目される新しい発電システム

表 1. 汚染防除が低レベルの場合の電力システム（出力 100 万 kW，年利用率 75%）に関連する環境上の影響比較

システム		大気排出物			水汚染排出物			固形廃棄物			土地利用		産業災害		予測される大災害
		トン(×10 ³)	キユリ(×10 ³)	度	トン(×10 ³)	キユリ(×10 ³)	BTU(×10 ¹²)	度	トン(×10 ³)	キユリ(×10 ³)	度	面積(×10 ³)	度	死	
石炭	坑内掘り	38.3		5	7.33	3.05	5	602				329.4	34.00	8.77	市街地における不意の陥没，炭鉱事故
	露天掘り	38.3		5	40.5	3.05	5	3,267				534.3	52.64	3.09	地すべり
石油	陸上採掘	158.4		3	5.99	3.05	3	不詳			120.7	20.35	3.61	噴出ないパイプライン破裂による土地への大量の油漏出	
	海洋採掘	158.4		3	6.07	3.05	4	不詳			117.8	10.35	3.61	噴出ないパイプライン破裂による海への大量の油漏出	
	輸入分	70.6		2	2.52	3.05	4	不詳			117.4	10.06	0.69	タンカー事故による大量の油漏出	
天然ガス		24.1		1	0.81	3.05	2				020.8	20.20	1.99	パイプ・ラインの破裂	
原子力			489	1	21.32	685.29	3	2,620	1.4	4	19.1	20.15	0.27	炉心の融解，放射能による人身事故	

汚染度：5=極めて大 4=大 3=中 2=小 1=極めて小 0=なし

——地熱エネルギーやオイル・シェールの活用，石炭のガス化，数種の改良型原子力発電など——についても考察を加えている。

各種の電力システムが燃料の採掘から送配電に至る全過程を通じて環境に及ぼす影響につき各システム毎に比較検討を行なっているが，ここに言う環境の影響とは，システム全般に亘るものを指し，大気への排出物，排水，固形廃棄物，土地使用，産業災害，安全性等に関するもので，地勢的，人口のおよび気象上の要因などによる地域差は考慮されていない。

分析の対象は，既存の電力システム，すなわち①坑内掘り石炭，②露天掘り石炭，③陸上採掘石油，④海洋採掘石油，⑤輸入石油，⑥天然ガスを燃料とする各発電システム，ならびに⑦軽水炉型原子炉による電力システムに限定し，また，排出物防除レベルを現在一般に施されている最小限度の防除（低レベル防除）と現在採用し得る最有効もしくは法律で要求される最高の防除（高レベル防除）に区分し，それぞれのケースについて考察している。

表 1 は低レベル防除のもとでの各種電力システムの環境への影響を比較した定量的データと環境への影響の激しさについての定性的な評価とを併せ掲げたものである。

一部の汚染物質，例えば NO_x などは現段階ではその防除は経済的に不可能と考えられており，また汚染物質によっては適切な規制基準が確立されていないため，可能な汚染防除のすべてについて，その費用と効果を明確に評価することはできないが，汚染防除を低レベルから高レベルに強化した場合に，環境への影響およびコストがどのように変化するかを分析することは可能である。表 2 はこれらの変化を示したものである。

この表にみられるように，石炭焚焼発電システムは著しい改善が可能であるが，発電コストは約 30% 増大する。このコスト増の大部分は発電所の SO₂ の排出を 85% 削減するために生じたものである。石油焚焼発電システムによる環境破壊も相当程度まで防止可能であるが，これは 36% の発電コストの増嵩を伴う。この

表 2. 汚染防除を低レベルから高レベルにした場合の電力システム（出力 100 万 kW，年利用率 75%）
に關連する環境上の影響とコストの変化（単位：%）

システム	大 気		水①		土 地		固形廃棄物②	増分コスト 合 計④	
	排 出 量 の 変 化	増分コスト	排 出 量 の 変 化	増分コスト	被 害 面 積 の 変 化③	増分コスト	排 出 量 の 変 化		
石炭	坑内掘り	-81.3	23	-96.2	4	+1	0	+159	28
	露天掘り	-81.3	23	-92.4	4	-37	4	+29	31
石油	陸上採掘	-73.0	31	-38.8	5	0	0	0	36
	海洋採掘	-73.0	31	-38.3	5	0	0	0	36
	輸 入	-43.8	28	-77.2	5	0	0	0	34
天 然 ガ ス	0	0	-93.2	5	0	0	0	0	5
原 子 力	-29.3	1	-3.6	4	0	0	0	0	5

- ① 冷却塔の建設費，運転費は水汚染防止費用に算入。
- ② 固形廃棄物の処理費は大気および水汚染防止費用に算入。
- ③ 土地への影響は，修復によって減少するが固形廃棄物の排出によって増大する。
- ④ 増分コストの合計は，端数処理の関係から各項ごとの合計とは必ずしも一致しない。

システムにおける最大の汚染防除費用は低硫黄重油（硫黄分 0.6%，0.68 ドル/100 万 Btu）の使用によるものであり，燃料費を 50% 以上も増大させる。天然ガスおよび原子力発電システムは，汚染防除の強化によるコスト増はそれぞれ 5% であり，これによっても明らかなように，他のシステムに比して防除措置を追加する必要が殆どない。

第 3 章では，発電によって生じる環境破壊を減少させる方策のひとつとしてエネルギー保全をとりあげ，エネルギー・システムの効率向上と適切なシステムの選択とがこの目的を達成するための有効な手段となることを指摘している。

エネルギーの使用に關連して発生する環境破壊は，その多くがエネルギーの供給システムにおいて生じるので，個々のエネルギー消費の効率化を図るとともに，このシステムを効率的に機能させることが肝要である。例えば，発電所の熱効率を 38% から 50% に高めると汚染物質の排出量は減少し，これは熱効率 38% の発電所で汚染物質の除去率を 24% 高めると同

じ結果になる。このように発電設備の熱効率を改善することによって燃料は節減され，それに伴って燃料の採掘から輸送までの各プロセスにおいて汚染減少がもたらされる。

一般にエネルギーの生産および消費システムは，その大部分が効率的でない。表 3 は各電力システムの効率を推定したもので，システム全

表 3. 電力システムの効率（単位：%）

システム	サブシステム					合計	
	採掘	処理	輸送	エネルギー - 転換	送配電		
石炭	坑内掘り	56	92	98	38	91	18
	露天掘り	79	92	98	38	91	25
石油	陸 上	30	88	98	38	91	9
	海 洋	40	88	98	38	91	12
天 然 ガ ス	73	97	95	38	91	24	
原 子 力	95	57	100	31	91	16	

体の効率は僅か 9% から 25% の範囲にとどまっている。とくにエネルギー転換すなわち発電部門がこのシステムの非効率性の主因を成しているが，MHD 発電や複合サイクル発電など効率向上に有望な技術の導入や，また，コンビナート化による廃熱の活用などエネルギーの利用

効率の改善を図る必要がある。

また、エネルギー保全是、特定の用途に対し適切なエネルギーシステムを選択することにより達成される。例えば、天然ガスと電力は大部分の住宅需要に代替的に使用できるが、表4第1欄にみるように、各用途とも電気機器の方がガス器具よりも直接的にはエネルギーの消費率が少ない。

表 4. 住宅用需要におけるガスと電気の効率比較

用 途	所要電力量①	
	需要端	システム全体
空間暖房	0.79	2.2
温 水	.70	2.0
調 理	.49	1.4
衣 類 乾 燥	.82	2.4
セントラル・エアコンディショニング	.60	1.8

① ガスを1とした場合の電気のエネルギー消費率

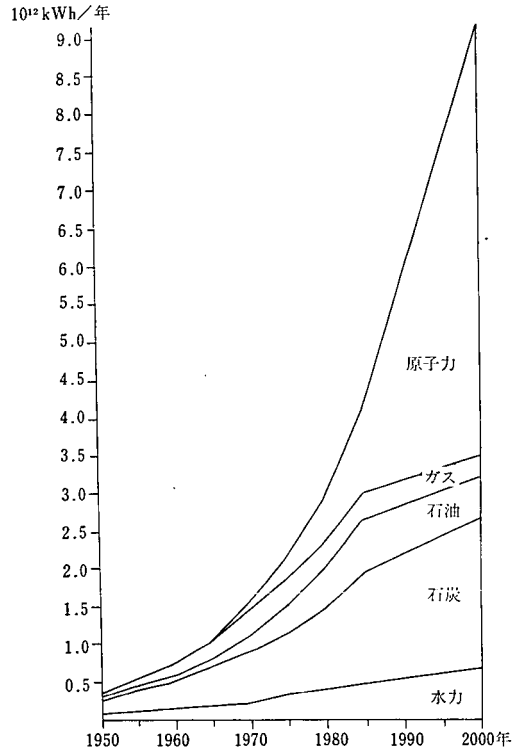
しかし、これは一連の広範なエネルギーシステムの最終段階のみを扱った考察にすぎず、システム全体を考えれば、表4第2欄に示すように、ガス器具は総べて電気機器よりも効率的である。このように電気がガスに比し効率が劣るのは発電設備の熱効率が低いことおよび送電ロスの大いことに起因している。

第4章では、将来需要とこれに対応する各電力システムの組み合わせが環境全体に対しどのような影響を及ぼすかを推定する際に必要な手法と考え方を検討している。

発電に関連して生じる総べての環境上の影響について、前掲表1のデータおよび図4の一次エネルギー組合せを基に想定しているが、この場合、石炭の1/2は露天掘り、また、重油の80%は輸入に依るものと仮定している。

この組合せによって2000年までの外挿想定をすると、低レベル防除の場合の電力システム

図 4. 米国の一次エネルギー別発電電力量 (1950~2000年)



による環境影響は図5に示すように増大する。一方、高レベル防除(1975年以降設置、但し既設発電所については1980年までに設置)の場合には、大気と水の汚染排出量は著しく減少するが、固形廃棄物は増し、その処理のためにさらに土地が必要となる。一方、露天掘りによる荒廃土地が修復により減少する分も大きい。これによっても明らかなように、防除措置の強化により、例えば大気と水の汚染による環境破壊は緩和されても、環境問題はある媒体ないし場所から他のものにシフトするので、こうした二次的影響を避ける必要があることを認識しなければならない。

次に2つの選択的政策すなわちより有効な汚染防除方法を導入した場合とより効率の高い発電システムを採用した場合の環境に与える影響

図 5. 電力システムによる環境上の影響——低レベル防除をシステム全体に施した場合と高レベル防除をシステム全体に施した場合 (1975~80 年間に設置)

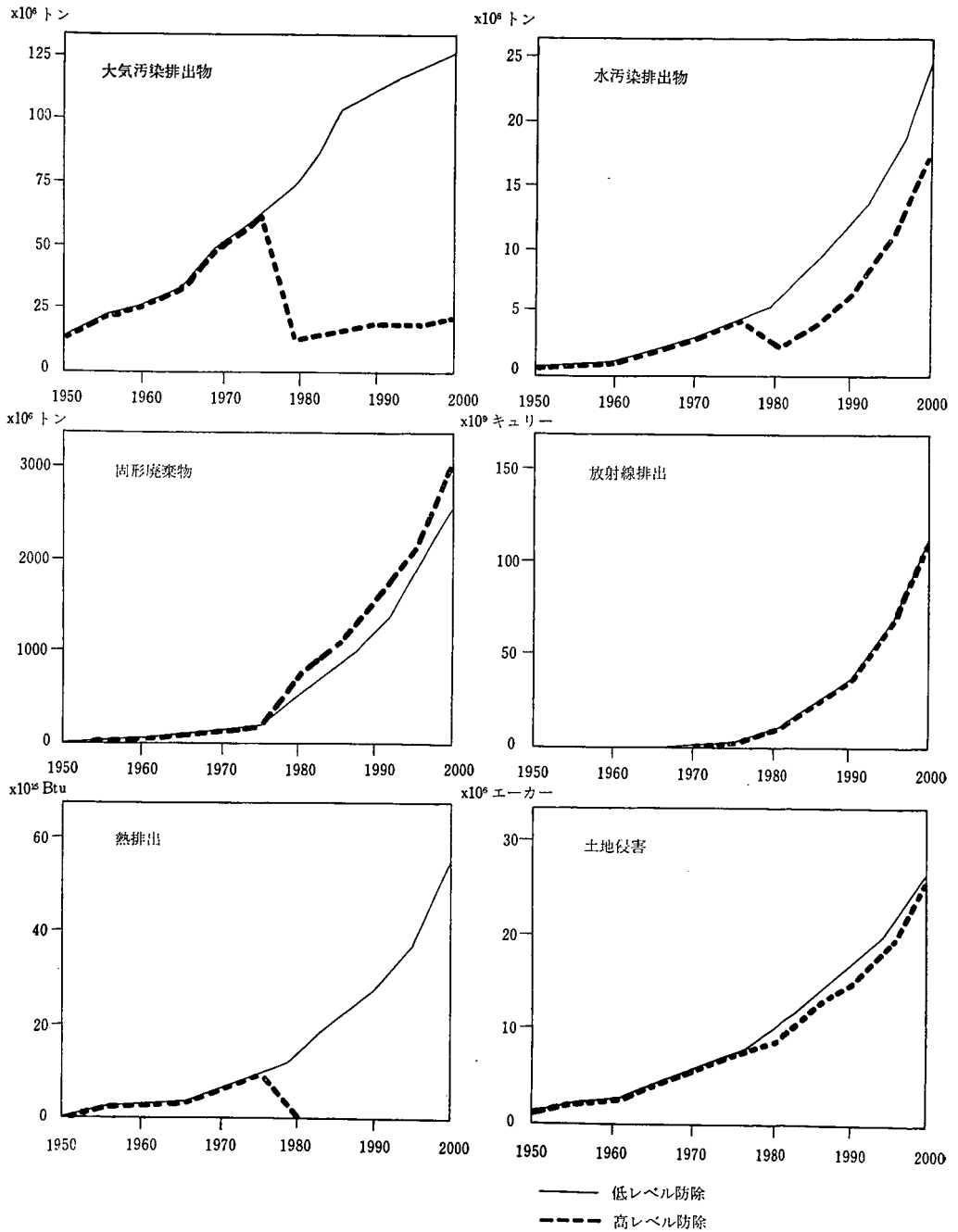
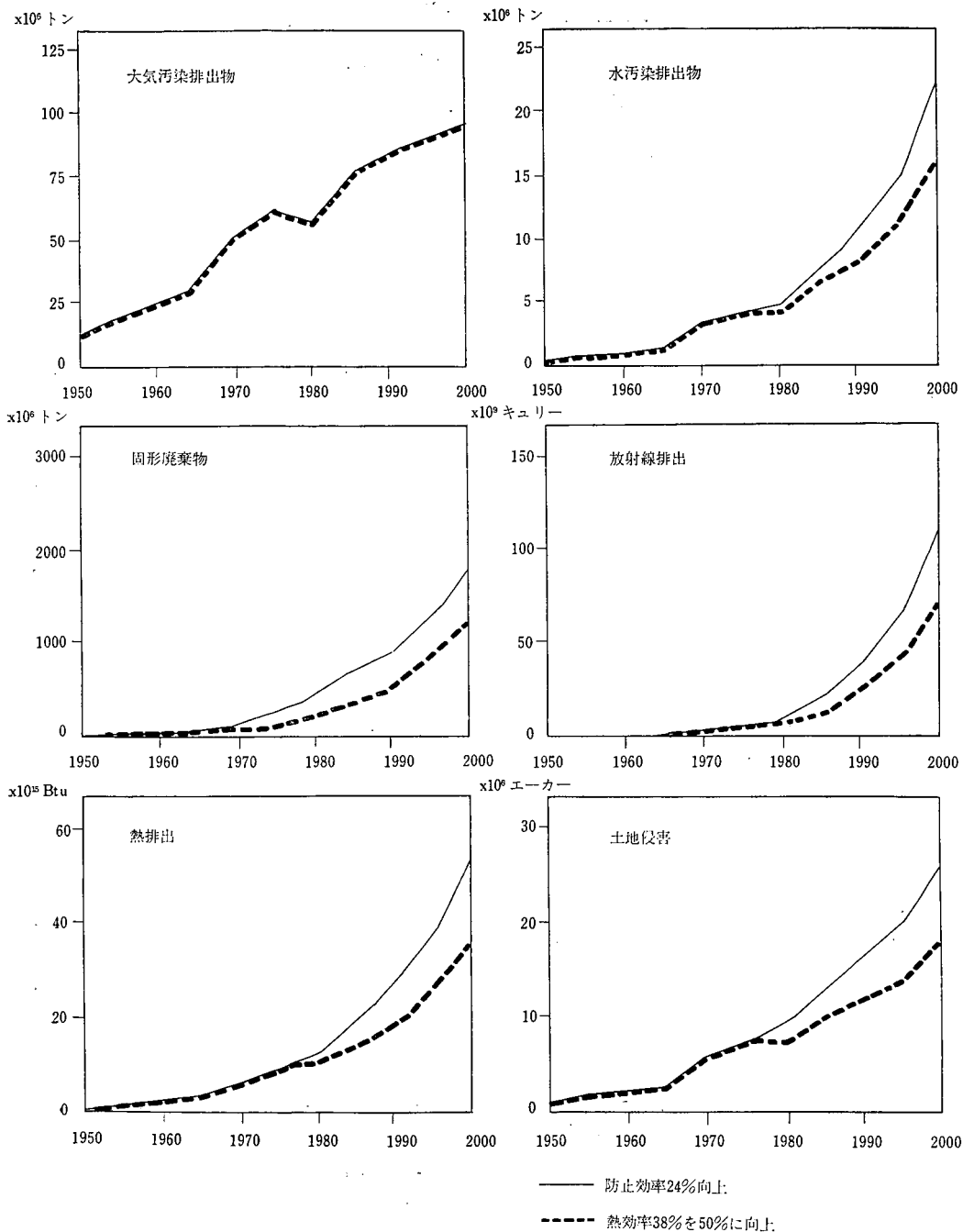


図 6. 電力システムによる環境上の影響——大気と水汚染の防止効率を 24% 向上させた場合と発電所の熱効率を 38% から 50% に向上させた場合 (1975~80 年の間に向上)



の比較を行なっている。図6は、大気と水の汚染防除の能率を24%高めた場合の環境全体に対する影響と発電所の熱効率を38%から50%に高めた場合の影響とを対比したものである。この両者いずれを実施してもその効果は大きい。環境の質全体に対するそれぞれの影響は異っている。すなわち、汚染防除施設の能率が高まれば発電所における大気と水の汚染は減るが固形廃棄物は増加する。一方、熱効率の向上は発電過程での大気と水の汚染を減少させ、しかも固形廃棄物の増加を来ささない。そのうえ、燃料所要量が減るため、燃料の採掘、処理および輸送に関連する一切の環境上の影響が減少することになる。

以上に試みた推定によっても、環境政策の策定に当っては広くシステム全般に亘る諸データを駆使し、最大の効果を得るためには一次のみならず二次の影響までも十分に考慮に入れねば

ならぬことが理解される。また、より厳しい汚染防止方法の導入により汚染は減少するが、発電システムの効率が低減し、システム効率と相対コストの変化によりエネルギー・システムの組み合わせに変化を来し、ひいては総エネルギー需要にも変化が生じ、これがさらに環境問題に関連を持つことになる。このように、環境汚染の防除、各種エネルギーの組み合わせ、およびエネルギー需要の間には重要な相互関連性があるので、エネルギーに関する政策評価を的確に行なうには、これら諸変数およびエネルギー・システムが与える環境上の影響も考慮し、システム全体に亘る包括的な分析が不可欠である。

(おおしま ひでお・資料室)

本報告書については、その抄訳が当所内部資料 No. 90 に掲げてある。