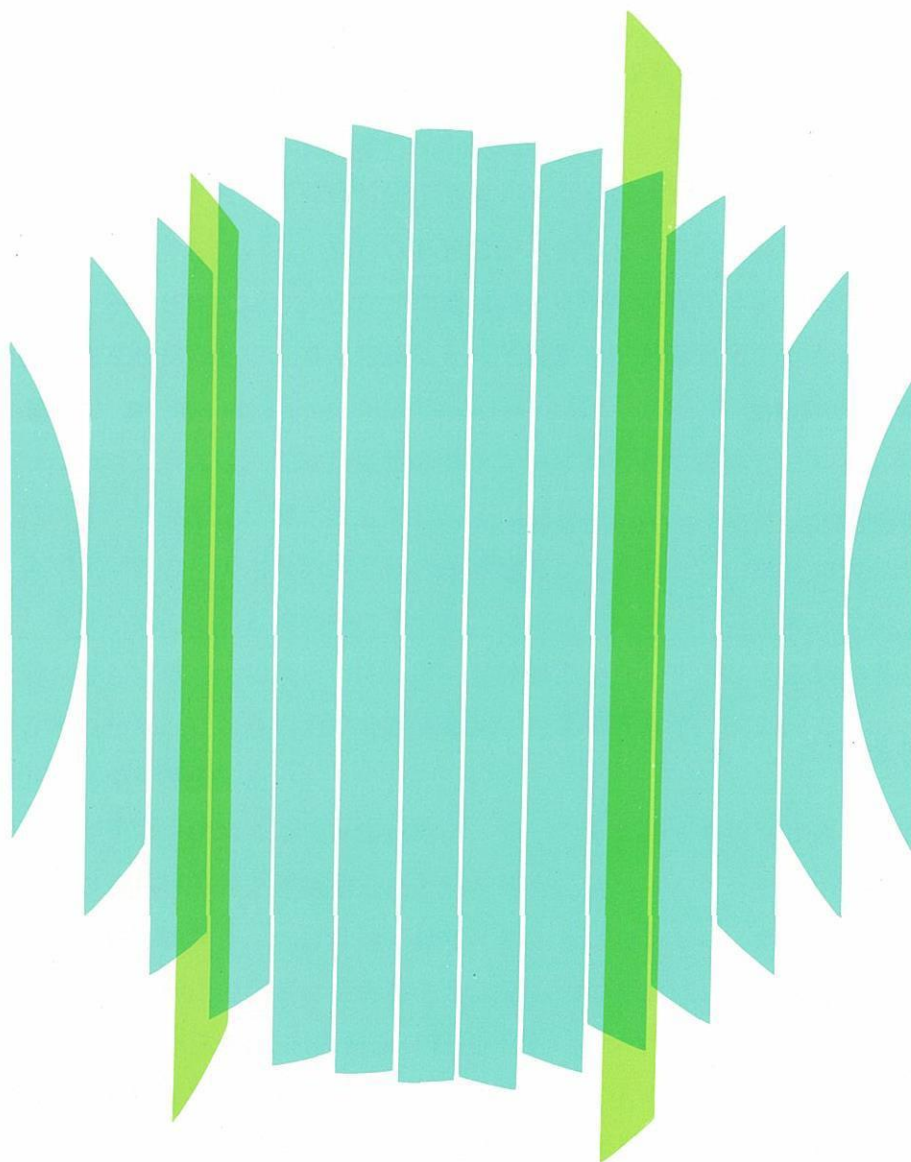


季報 エネルギー総合工学

Vol. 8 No.4

1986. 1.



財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

目 次

石油代替エネルギーの研究開発	工業技術院院長 等々力 達.....	1
原子炉廃止措置の最近の動向	三井英彦.....	2
レーザー法を中心としたウラン濃縮のうごき	西川 毅.....	14
高速増殖炉の経済性	伊藤正彦.....	27
新たな国際問題に直面するわが国の経済社会	谷 弘 一.....	42
研究所のうごき		61
第8巻通巻目次		63

石油代替エネルギーの研究開発

工業技術院院長 等々力 達

1980年代も後半に入ろうとする昨年末に流れた、石油問題に関連した二つのニュースの今後の展開に注目したい。その一つは「OPECが経済開発のための収入を保持するため、シェアを確保し防衛することを決定した」、第76回OPEC通常総会の発表である。かつて自由世界の石油生産量の65%を占めたOPECのシェアは、最近では40%まで下っている。もしOPECが本気でシェアの確保に乗り出すならば、需給のゆるむ今春以降に、かなりの原油の値下がりも有りうる。また、これによる物価の値下がりなどで、日本経済にとって好ましい影響が出てくるとの予想が多い。

もう一つのニュースは、工業技術院のサンシャイン計画で実施している、豪州ビクトリア州での褐炭液化に関するものである。11月下旬から、1日当たり処理量50トンの実験プラントの一次水素添加系統の連続運転がスタートし、重質油の抽出が始まった。現下のゆるんだ石油需給の下では、目立たないニュースであったが、膨大な埋蔵量を誇る同地点の褐炭（エネルギー量換算でサウジアラビアの原油埋蔵量に匹敵するといわれる）の液化の研究が本格化したという点で、画期的なものにとらえ、順調な進展を期待したい。

わが国のように一次エネルギー自給率が、原子力を含めても17%に過ぎないという状態では石油需給が目さき緩和したといっても、新エネルギーを含めた石油代替エネルギーの研究開発を、ねばり強く続けてゆかねばならない。前述のOPECの今後の動きが、わが国の経済に好影響を与えるものであれば、国全体としては余力が出てくるわけであるから、この機会に石油代替エネルギーの研究開発費を充実し、わが国の経済安全保障の基盤を固めるべきであろう。もちろん、研究の進展と研究投資の節目ごとに、十分な評価を行なう必要があることは言うまでもない。（とどろき いたる）

原子炉廃止措置の最近の動向

三 井 英 彦

1. はじめに

わが国で運転中の原子力発電所は、昭和60年11月末現在で32基、24,521MWの設備容量を有し、昭和59年度には全発電電力量の約23%を原子力発電が占めるに至っている。このように近年わが国のエネルギー供給における原子力発電の担う役割はますますその重要性を増しつつあるが、一方、原子力発電所がその寿命を全うした後の管理及び処理・処分(いわゆる廃止措置)を安全かつ円滑に実施できるよう長期的視点に立って調査研究を進めておくことは、重要なことである。このような観点から当エネルギー総合工学研究所は通商産業省資源エネルギー庁の委託を受け、昭和54年度以降原子炉廃止措置に関する調査研究を実施している。

最近、原子炉廃止措置に関するいくつかの動きがあり、原子炉廃止措置に対する一般の関心が高まってきた。そこでまず原子炉廃止措置に関する国内の最近の動向を概観し、その後で総合エネルギー調査会原子力部会がまとめた報告書をもとにして、わが国の商業用原子力発電施設の廃止措置について述べ、最後に技術開発の一端に触れることにしたい。

2. 最近の主な動き

わが国の場合、商業用原子力発電施設の廃止措置が現実の問題となるのはまだ先のことはあるが、その廃止措置にそなえて種々検討が行われている。たとえば次のようなものがある。

- (1) 既に述べたように、通商産業省資源エネルギー庁から委託を受けて、当研究所は昭和54年度から廃止措置に関する調査研究を実施している。
- (2) 同様に、通商産業省資源エネルギー庁から委託を受けて、(財)原子力工学試験センターは昭和57年度から7年計画で原子炉の解体撤去に必要な技術の確証試験を実施している。
- (3) 日本原子力研究所は、動力試験炉(JPDR)の解体について、昭和56年度以来解体技術の開発を含む解体計画を推進しており、昭和61年度には本格的な解体に着手する段階にきている。解体技術開発及びJPDR解体スケジュールを⁽¹⁾図1に示す。開発テーマは次の8項目であり、その成果は日本原子力学会等で発表されている。⁽¹⁾

年度		56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
段階		原子炉解体技術開発									
第 1 段階											
第 2 段階	J P D R の 解 体	準備工事 									
		炉内構造物、原子炉圧力容器などの撤去 									
		原子炉格納容器の撤去 									
		タービン系などの設備・機器・建屋の撤去 									
		跡地の整理 									

図1 原子炉解体技術開発及びJ P D R
解体スケジュール

開発項目：

- ①解体システムエンジニアリング
 - ②放射能インベントリ評価技術
 - ③配管系内部放射能汚染非破壊測定技術
 - ④解体工法、解体機器
 - ⑤解体関連除染技術
 - ⑥解体廃棄物の処理、保管及び処分技術
 - ⑦解体に係る放射線管理技術
 - ⑧解体遠隔操作技術
- (4) 総合エネルギー調査会原子力部会は原子炉廃止措置対策小委員会を設置し、昭和59年3月以降商業用原子力発電施設の廃止措置のあり方について、わが国の実情に合った合理的な工程(標準工程)、費用対策、廃棄物の処分及び技術開発等に関する検討を行い、その結果を報告書にまとめて昭和60年7月15日に発表した。
- (5) 原子力安全委員会のもとに昭和59年12月に設置された原子炉施設解体安全専門部会は、原子炉施設の解体に係る安全確保の基本的な考え方について検討し、その結果を報告書にまとめて昭和60年12月12日原子力安全委員会に報告した^{*)}。具体的には、日本原子力研究所が、既に述べたように、昭和61年度からJ P D Rの解

体に着手するので、これに先立ちJ P D Rを対象とした解体の安全確保に関する基本的な考え方をまとめたものである。同報告書には、解体の安全確保の立場から、①原子炉の機能停止、②解体中の原子炉施設の維持管理、③解体撤去作業における安全確保、④放射性廃棄物の取扱い、⑤解体完了の確認のあり方、について基本的な考え方が述べられている。

- (6) J P D R解体計画はO E C D / N E A 「原子力施設デコミッショニング・プロジェクトに関する科学技術情報交換協力計画」の協力対象プロジェクトの一つに取上げられており、その一環として、日本原子力研究所主催、O E D C / N E A 後援「原子炉施設解体に関するワークショップ」がわが国において去る昭和60年11月25～29日に開催された。

O E C D / N E A の同協力計画への参加国はわが国をはじめ、米国、英国、西独、カナダ、フランス他が予定されており、対象プロジェクトもJ P D Rをはじめとして、 SHIPPING PORT (米国)、W A G R (英国)、ニードーアイヒバッハ(西独)他が予定されている。

以上のように、最近いくつかの動きがみられるが、ここでは総合エネルギー調査会原子力部会がまとめた報告書に基づいて、商業用原子力発電施設の標準的な廃止措置について述べた後、技術開発について若干触れることにする。

(注)・) 原子力安全委員会は、昭和60年12月19日、同報告書を同委員会決定とした。

3. 商業用原子力発電施設の廃止措置について——総合エネルギー調査会原子力部会の報告書をもとにして——

3.1 廃止措置の基本的な考え方

原子力発電施設の廃止措置については、原子力委員会の「原子力開発長期利用計画」（1982年6月）で示された線に沿い、安全の確保を前提に、地域社会との協調をはかりながら進めるべきであり、敷地を原子力発電所用地として引続き有効に利用すること、運転を終了した原子力発電施設は最終的には解体撤去することを基本方針としている。

3.2 廃止措置方式

原子力発電施設の廃止措置方式には、

(1) 密閉管理方式

使用済燃料等の搬出、系統除染の後原子力発電施設全体を閉鎖して適切な管理下

に置く方式

(2) 遮蔽隔離方式

使用済燃料等の搬出、系統除染の後、原子炉建屋内の放射能の高い部分を遮蔽隔離（開口部はコンクリート等を充填し封鎖する）して適切な管理下に置き、他の部分は解体撤去する方式

(3) 解体撤去方式

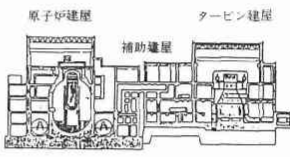
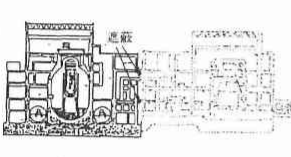
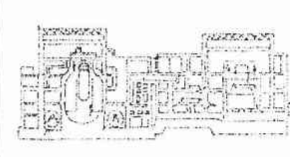
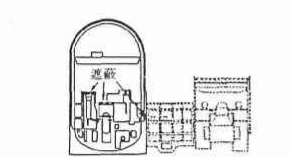
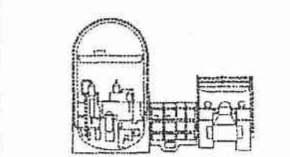
使用済燃料等の搬出、系統除染の後、原子力発電施設のすべてを解体撤去する方式

(4) これらの組合せ方式

がある。これらの方式を図2に示す。

わが国の場合、既に述べたように、最終的には原子力発電施設を解体撤去することを基本方針としていることから、方式(1)及び(2)はこの基本方針に沿っておらず、方式(3)及び(4)が検討の対象となる。

密閉管理あるいは遮蔽隔離後解体撤去する安全貯蔵—解体撤去方式は解体撤去方式に比

方式 内容		密閉管理方式	遮蔽隔離方式	解体撤去方式
概要	B W R			
	P W R			
概要		使用済燃料等の搬出、系統除染の後、原子力発電施設全体を閉鎖して適切な管理下に置く方式。	使用済燃料等の搬出、系統除染の後、原子炉建屋内の放射能の高い部分を遮蔽隔離（開口部はコンクリート等を充填し封鎖する。）して適切な管理下に置き、他の部分は解体撤去する方式。	使用済燃料等の搬出、系統除染の後、原子力発電施設のすべてを解体撤去する方式。

(注) [] は、解体撤去する範囲を示す。

図2 廃止措置方式の概要

べ、安全貯蔵期間があるため、敷地の有効利用の点で不利ではあるが、安全貯蔵期間中に放射能が減衰するため、作業者の受ける線量を大きく低減できる等の利点があることから、より望ましい方式であるということができる。

安全貯蔵—解体撤去方式の中では、密閉管理—解体撤去方式のほうが遮蔽隔離—解体撤去方式に比べ、安全貯蔵前に放射能の減衰の少ない時点で行う解体撤去及び遮蔽隔離作業がない分だけ作業者の受ける線量が少ない等の利点がある。さらに廃止措置費用についても密閉管理—解体撤去方式のほうが少ない傾向にある。

安全貯蔵期間については、上述の利点欠点を考慮しつつ、解体撤去作業期間中に作業者の受ける線量が、年間当りでみて、原子力発電施設運転中の運転管理、保守点検作業等によって作業者の受ける線量と同程度ないしはそれ以下になる5～10年程度が適当である。

以上のことから、廃止措置方式は密閉管理—解体撤去方式とし、密閉管理期間は5～10年程度とするのが適当であるとの結論を得ている。

3.3 廃止措置の対象範囲

廃止措置の標準工程策定上対象とした設備範囲及び作業範囲は以下のとおりである。

(1) 対象設備範囲

対象設備範囲は、原子力発電施設の廃止措置に当って、安全確保、費用対策または放射性廃棄物の処分等の面で、特別な措置を必要とするものに限定する。具体的には、原子炉建屋、補助建屋、廃棄物処理建屋、タービン建屋及びこれらの建屋内の機器設備並びに建

屋外にあっても放射能が付着しているタンク及び機器類である（固体廃棄物貯蔵庫は共用施設として使用されるので除外。また原子炉建屋のベースマットも除外）。放射能に汚染されていない設備、たとえば事務棟、港湾設備、送变电設備等は対象設備範囲から除外している。

(2) 対象作業範囲

対象作業範囲は、解体作業時あるいは安全貯蔵期間中に作業者が受ける線量を低減させるために行う系統除染、安全貯蔵のための作業、機器・建屋の解体、放射性廃棄物の処理及び放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物の処分であり、使用済燃料の取出し、冷却及び搬出並びに運転中に発生した放射性廃棄物の処理処分、解体による放射性廃棄物の処分、敷地再利用のための作業は対象外としている。

3.4 廃止措置の手順・工程、解体技術

3.4.1 手順と工程

最終的に運転を終了した原子力発電施設は、使用済燃料を取出し、冷却、搬出等を行った後、運転中に系統内に蓄積したクラッド放射能を除去するため、いわゆる系統除染が実施される。系統除染は、前述のように、その後に行われる安全貯蔵及び解体撤去作業において、作業者の受ける線量を低減するために行われるもので、原子炉一次冷却系を化学除染を中心として行うものである。

放射能にはクラッド放射能のほかに、運転中の中性子照射により構造物が放射化するることによって生ずる放射化放射能がある。ステンレス鋼等の金属の放射化により発生するコバルト-60等がその例である。これら放射化放射能は大部分が炉心付近の機器構造物に存

在する。

安全貯蔵はこれら残留放射能を減衰させ、その後に行われる解体撤去作業時の作業者の受ける線量を低減することを目的としてとられる措置であり、この期間中原子力発電施設は次のように管理される。

- ① 各建屋の出入口は施錠し、管理する。
- ② 機器、配管等の弁や蓋等は閉止状態とし、管理する。

- ③ 侵入監視装置、放射線監視装置及び火災報知器等により監視状態に置き管理する。

安全貯蔵期間が経過した後、原子力発電施設は解体撤去の段階に入る。

原子力発電施設の主要建屋の断面図を図3に示す。解体撤去の対象設備範囲及び対象作業範囲は既に述べた通りである。原子力発電施設の機器には残留放射能があるため、その

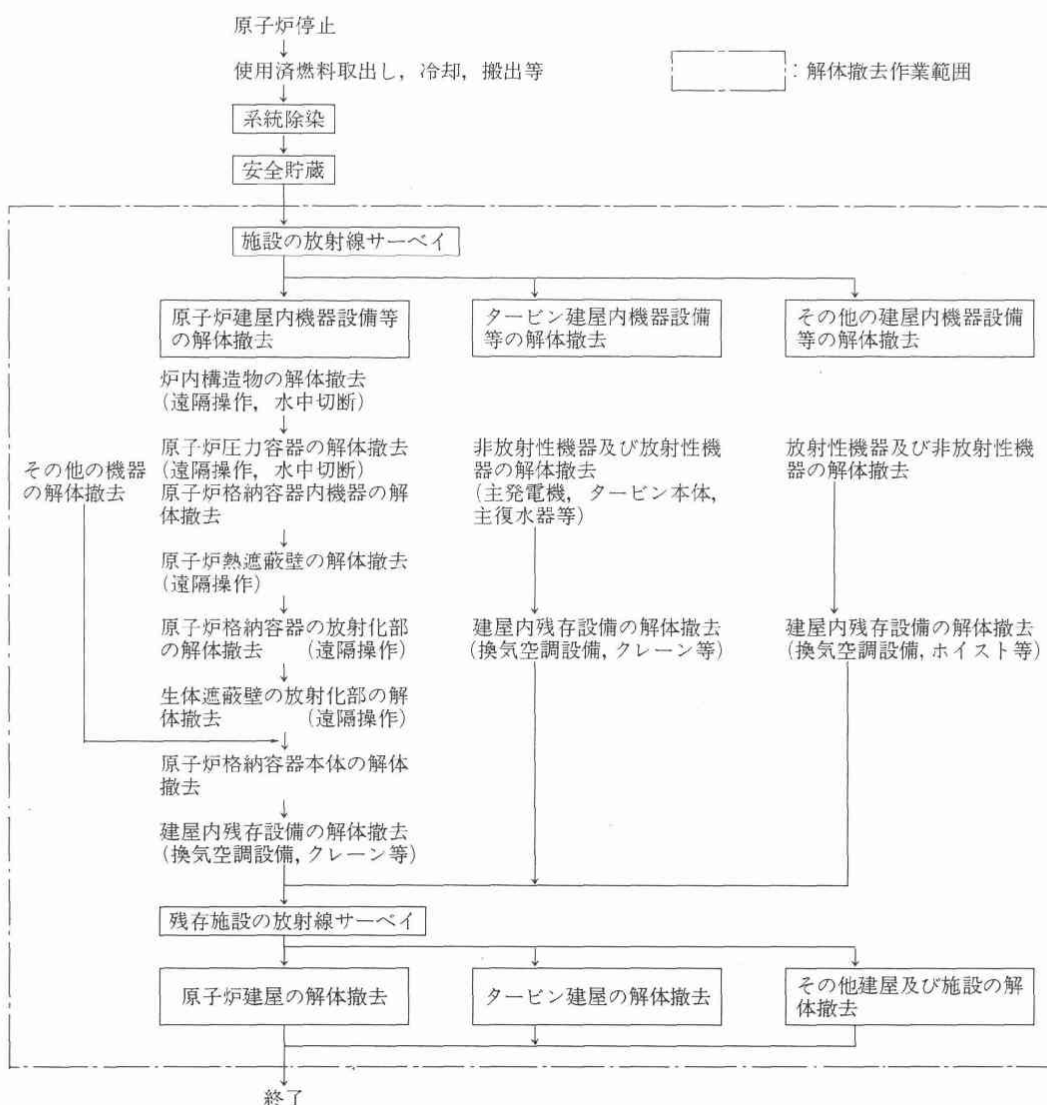
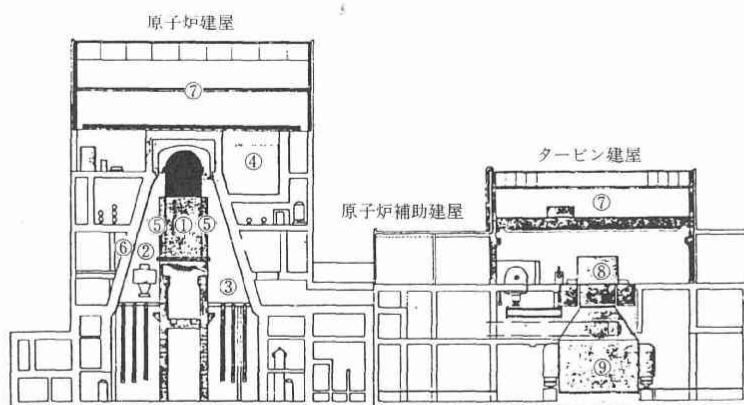


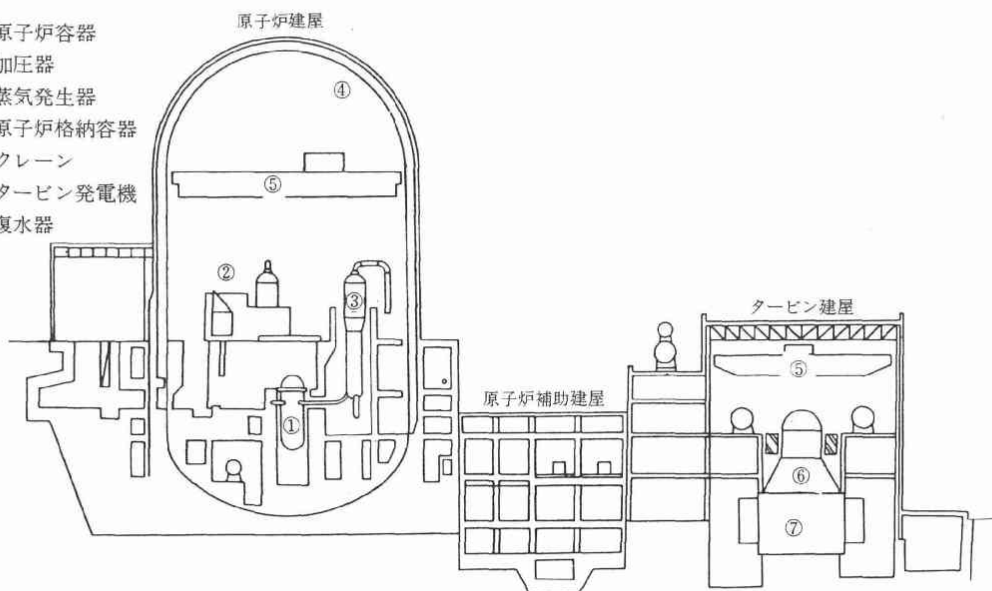
図4 解体撤去作業手順 (BWR)

- ① 原子炉圧力容器
- ② 再循環ポンプ
- ③ 原子炉格納容器
- ④ 燃料貯蔵プール
- ⑤ 原子炉熱遮蔽壁
- ⑥ 生体遮蔽壁
- ⑦ クレーン
- ⑧ タービン発電機
- ⑨ 復水器



BWR原子力発電施設

- ① 原子炉容器
- ② 加圧器
- ③ 蒸気発生器
- ④ 原子炉格納容器
- ⑤ クレーン
- ⑥ タービン発電機
- ⑦ 復水器



PWR原子力発電施設

図3 主要建屋断面図

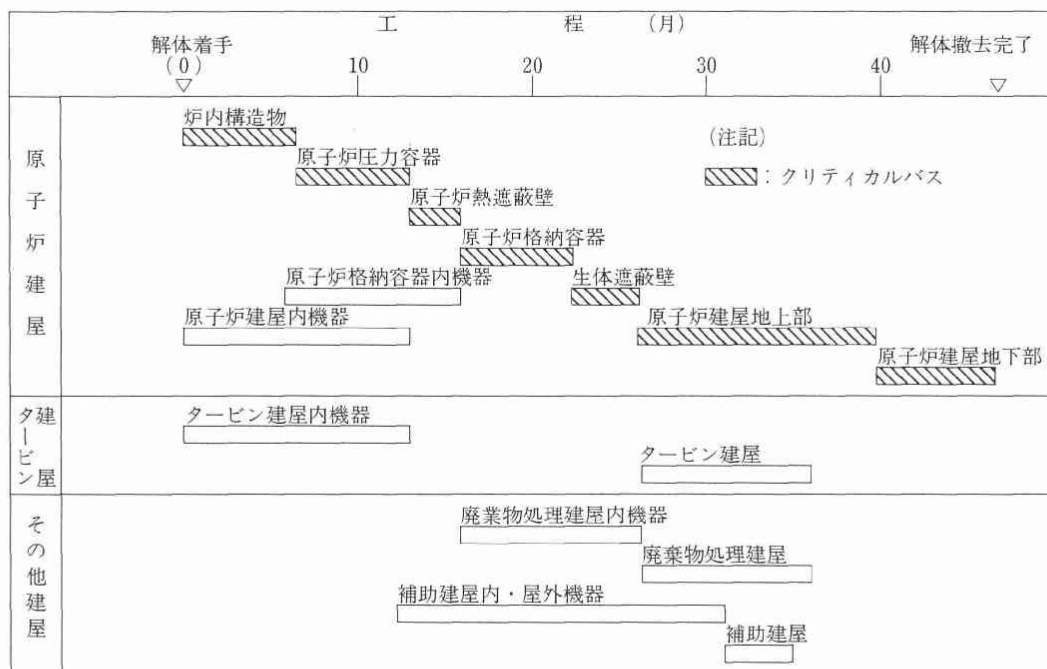


図5 大規模原子力発電プラント（BWR）の標準的な解体撤去工程

解体撤去は放射線管理区域内作業として管理される。このため作業員の受ける線量の低減の観点から、まず放射能を含む機器類を解体撤去し、次に放射能を帯びた建屋の部分を撤去し、管理区域を解除した後に建屋を解体撤去する。原子炉炉心近くにある機器ほど放射能を多量に含んでいるため、この部分の機器を早期に撤去することが周辺機器の解体撤去を容易にする。この意味で炉心部分の機器から解体撤去を開始し、順次周辺機器を解体撤去する手順をとることになる。一方、放射能にあまり関係のない機器類の解体撤去は解体工程、解体作業の効率化を考慮しつつ、炉心部分の解体撤去と並行して行う。解体撤去手順及び工程をそれぞれ図4及び図5に示す。解体撤去中に利用可能な機器設備、たとえば、放射性廃棄物処理設備、放射線モニター、換気空調設備、クレーン等是有効に利用し、可能

な限り後段で解体撤去する。

3.4.2 解体技術

原子炉炉心部分の高放射性機器の解体撤去作業には、作業員の受ける線量を低減する観点から遠隔操作技術を広く適用するとともに、遮蔽効果を有効に利用することが必要である。

機器解体技術としては、アークソー、アークカウジング、ガス切断等の工法が適用される。原子炉炉心部以外の、たとえばタービン発電機、各種ポンプといった機器あるいは配管の解体撤去にはガス切断、アークソーあるいは機械的カッター等を用いて切断することができる。

放射能を帯びたコンクリートの剥離にはダイヤモンドソーと鉄筋カッターにくさびを組合せた工法が、原子炉建屋、タービン建屋等の解体撤去には管理爆破、ジャイアントブレ

ーカー等の工法が適用できる。

3.5 解体廃棄物

原子力発電施設の解体による廃棄物は主として金属及びコンクリートである。

金属廃棄物の発生量は、たとえば110万kW級のBWR及びPWR原子力発電施設の場合約4～5万トン程度であるが、このうち放射性金属廃棄物は約1万トン程度である。この放射性廃棄物は運転中の原子力発電施設で発生する低レベル放射性廃棄物と同様に取扱える程度の放射能レベルであり、細断、圧縮等の処理をした後専用の容器に収納し、運転中の原子力発電施設で発生する低レベル放射性廃棄物と同様最終貯蔵される。また、極低レベル放射性廃棄物は安全を確認して処分することが考えられている。放射性廃棄物として取扱う必要のない金属廃棄物はスクラップ等と

して再利用に供される。

コンクリート廃棄物は、同じく110万kW級BWR及びPWR原子力発電施設の場合、約50万トン程度発生するが、このうち放射性コンクリート廃棄物は1千トン弱である。放射性コンクリート廃棄物は放射性金属廃棄物と同様に処理処分される。放射性廃棄物として取扱う必要のないコンクリート廃棄物は埋立用、建設用骨材、路盤材等として再利用が可能である。

3.6 廃止措置に要する費用

既に述べた廃止措置の標準工程に基づいて算出された廃止措置に要する費用は、110万kW級原子力発電施設の密閉管理—解体撤去の場合、約300億円（昭和59年度価格）で、建設費の約10%である。この算定結果は諸外国の試算例と比較しても大差ないことがわかった。

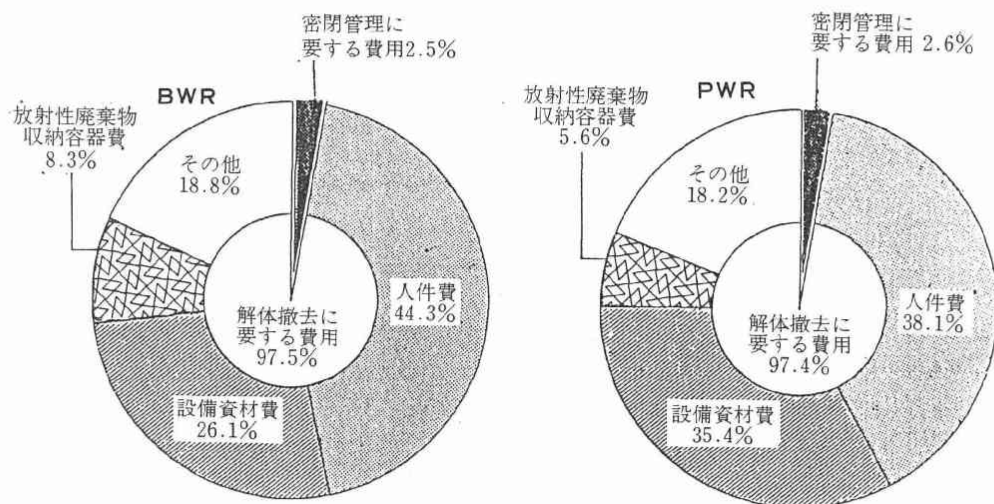


図6 110万kW級原子力発電施設の密閉管理(5年)—解体撤去の廃止措置費用内訳

この費用は、

- ① 密閉管理に要する費用
- ② 解体撤去に要する費用

から成っており、図 6 にその内訳を示す。

なお、米国、西独、仏国、英国等においては、既に廃止措置に要する費用を引当金方式等により手当する制度が確立されている。わが国においては、電気事業審議会料金制度部会中間報告（1981年12月）において「廃炉に係る費用についても原子力発電を行うことに伴う費用であり、将来発生することは確実であるため、理論上は発電を行っている時点における費用とすべきであると考えられる」との方針が出されている。原子力部会において今回廃止措置に関する方針が承認されたことにより、今後廃止措置費用についての電気料金、企業会計及び税制面での具体的な対策の検討が期待されている。

4. 技術開発

原子力発電施設の廃止措置については、現時点においても既存技術又はその改良により十分対応できるが、作業者の受ける線量の低減、作業の効率化、放射性廃棄物量の低減等をはかるためには一層の技術開発が必要である。

総合エネルギー調査会原子力部会の報告書には以下のような技術開発課題が挙げられている。

- ① 解体前除染技術： 除染効果が大きく、二次廃棄物の処理の容易な除染技術の開発
- ② 放射性機器・設備の解体技術： 材質及び肉厚に関係なく遠隔で切断可能な技

術の開発

- ③ 堅牢な構造物・建屋の解体技術： 堅牢な構造物・建屋を一般建屋並みに効率よく解体可能な技術の開発
- ④ 放射性金属廃棄物の再利用のための除染技術： 形状が複雑な大型機器等の放射性金属廃棄物に対しても高い除染効果が得られる除染技術及び放射性金属廃棄物を除染と同時に再利用に適するように加工をすることができる除染技術の開発
- ⑤ 廃止措置を考慮した設計： 廃止措置時の除染、解体作業の容易さ、廃棄物量の低減等廃止措置をあらかじめ考慮した原子力発電施設の設計の検討。

技術開発については、日本原子力研究所において、JPDRを対象として、将来活用し得る解体技術の開発が行われているほか、(財)原子力工学試験センターにおいて原子炉圧力容器切断技術等の確証試験が実施されている。

日本原子力研究所の技術開発については学会等⁽¹⁾で発表されているので、ここでは(財)原子力工学試験センターにおける確証試験について要約することにしたい。

(財)原子力工学試験センターで実施している確証試験は次の2つである。

- ① 原子炉圧力容器切断技術
- ② 生体遮蔽壁表層剝離技術

これらの試験は110万kW級の軽水炉を対象として行われており、基本試験、予備試験、確証試験の3段階で構成されている。それぞれの試験概要を表1及び表2に示す。昭和59年度にはいずれも基本試験を終了し、現在は予備試験を実施している段階である。

表1 原子炉圧力容器切断試験試験概要

	基 本 試 験	予 備 試 験	確 証 試 験
試 験 方 針	○ 基本的切断性能の把握 ○ 二次廃棄物発生量、性状の把握	○ 実炉を模擬した円弧状試験体の遠隔水中切断性能の把握	○ 実炉を模擬した容器状試験体の水中切断による R P V 遠隔切断技術の実機への適用性の確認
試 験 体	ガス切断性能用：くさび形 ガウジング性能用：平板状 クラッド鋼模擬試験用：直方体状	円弧状	容器状
試 験 内 容	○ 基本的切断性能の把握 ガス切断条件の把握 ガウジング条件の把握 クラッド鋼模擬試験体の切断 ○ 二次発生物の発生量、発生状況調査	○ 円弧状試験体の遠隔切断性能の把握 円弧状(フランジ部、胴部模擬)試験体の切断 円弧状(下鏡部模擬)試験体の切断 二次生成物の発生量、発生状況調査	○ 実炉を模擬した容器状試験体の遠隔切断性能の把握 容器状試験体の切断
試験雰囲気	水 中 (一部気中)	水 中	水 中

表2 生体遮蔽壁表層剥離試験試験概要

	基 本 試 験	予 備 試 験	確 証 試 験
試 験 方 針	切断剥離装置の基本的性能の把握	切断剥離装置の遠隔操作への対応性の把握	遠隔操作設備と組合せた切断剥離装置の実機への適用性の確認
試 験 体	実機の各構成材を単独で配置した試験体	実機の各構成材を、実機を或る程度模擬して組立てた試験体	実機を模擬して組立てられた円筒状の実大試験体
試 験 内 容	ディスクカッタによる鋼板ライナの切断、コンクリートの溝切り 鉄筋カッタによる太径鉄筋の切断 機械的くさび(静的圧入、動的圧入)、化学的くさびによるコンクリートの層状剥離 二次生成物の発生量、発生状況調査	改良されたディスクカッタによる鋼板ライナおよび I 型鋼の遠隔切断、コンクリートの遠隔溝切り 改良された鉄筋カッタ(剪断式またはディスク式)による太径鉄筋つなぎ筋の遠隔切断 選定されたくさびによる配筋されたコンクリートの遠隔層状剥離 二次生成物補集装置の基本性能把握	改良されたディスクカッタ、鉄筋カッタ(剪断式またはディスク式)くさびおよび必要に応じ、ライナ剥離装置を遠隔操作設備に取付けた遠隔切断剥離設備を用いて実機を模擬した実大試験体を、剥離解体手順にしたがって剥離解体し、実機への適用性を確認する。 二次生成物補集装置の遠隔補集

4.1 原子炉压力容器切断技術

確証試験の段階では図7に示したように、内面に厚さ約10mmのステンレス鋼を内張りした低合金鋼の容器(上部は420mm厚で、PWR原子炉容器のフランジ部相当、下鏡部は170mm厚で、BWR压力容器の下鏡部相当)を、内側からマニピュレータに取付けた切断装置により、水槽内で水中切断しようとするものである。切断には、図8に示すように、内張りされたステンレス鋼をアークガウジング工法で削り取り、低合金鋼部分をガス切断する、いわゆるアークガウジング・ガス切断工法を適用する。既に終了した基本試験において、アークガウジング工法により、ステンレス鋼の厚さ10mm程度の試験体を水中で15～25cm/分

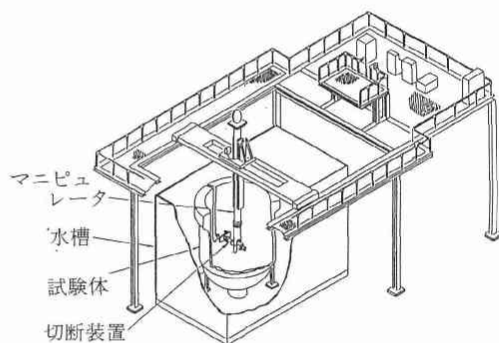


図7 原子炉压力容器切断技術確証試験概念図

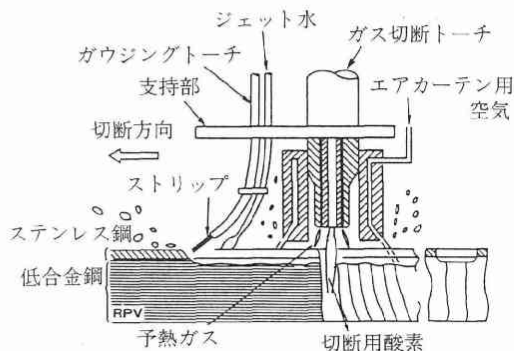


図8 アークガウジング・ガス切断組合せ装置による試験概念図

の速度で削り取ることができること、ガス切断工法により、厚さ400mm程度の低合金鋼試験体を水中で8cm/分程度の速度で、また厚さ200mm程度の試験体では25cm/分程度の速度で切断することができることが確認されている。さらにステンレス鋼と低合金鋼が一体となった厚さ約400mmの試験体の切断試験で、4cm/分程度の速度で切断できることが確認されている。

4.2 生体遮蔽壁表層剝離技術

確証試験の段階では図9に示したように、PWRの生体遮蔽壁を模擬した鉄筋コンクリート製の円筒壁(内側表面に厚さ10mm程度のステンレス鋼板と炭素鋼板を張り、その内部

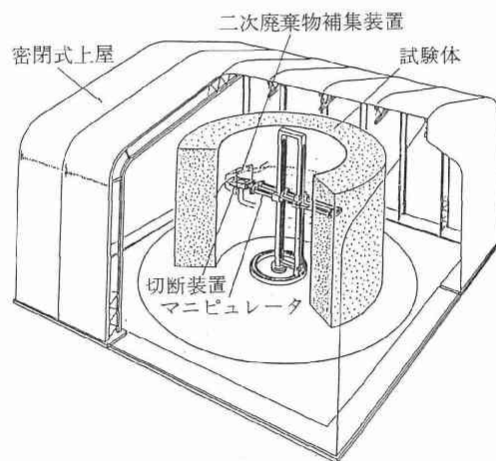


図9 生体遮蔽壁表層剝離技術確証試験概念図

20cm深さの部分に直径51mmの太径鉄筋が縦横20cm間隔で2重に組込まれた鉄筋コンクリート壁)をマニピュレータに取付けた装置により、①表面の鋼板を切断して取除き、②太径鉄筋を切断し、③その内部の放射化されたコンクリート部分を剝離しようとするものであ

る。既に終了した基本試験において以下のよう
な結果を得ている。

(1) 内張り鋼板の切断試験

ディスクカッタ(直径511mmのレジノイドブ
レード及び直径762mmのダイヤモンドブレード)による切断試験で、ステンレス鋼板及び
炭素鋼板とも20~50cm²/分程度の速度で切断
できることが確認された。

(2) コンクリート切削試験

コンクリート剥離のための溝を切る切削試
験では、上述のディスクカッタの移動速度が
50cm²/分で切削できること、レジノイドブ
レードの場合、冷却水の使用によりブレードの
摩耗及び粉塵の濃度を抑制できることが確認
された。

(3) 太径鉄筋切断試験

鋼板切断用のディスクカッタによる切断方
式でスムーズに切断することができ、切断性
能に問題はないことが確認された。

(4) くさびによるコンクリート剥離試験

放射化されたコンクリートを剥離するため
のくさびに関する試験は、コンクリートの表
面に溝の深さ150mm、巾(溝間隔)150~300mm
の溝を切削し、その溝の一方にくさびを挿入
してブロック状に剥離しようとするものであ
る。基本試験の結果、鋼製くさびを油圧によ
り動的に圧入する試験、同じく静的に圧入す
る試験、化学的くさび(膨張剤)を挿入する
試験のいずれによっても剥離性能上有意差は
認められず、溝間隔/溝深さの値が最大約2
の範囲まではブロック状に剥離できることが
確認された。

5. む す び

原子力発電施設の廃止措置に関する国内の
最近の主な動きと総合エネルギー調査会原子
力部会の報告書に基づく商業用原子力発電施
設の廃止措置及び国内における解体技術の一
端について述べた。商業用原子力発電施設の
廃止措置が現実の問題となるにはまだ時間か
あるとはいえ、いずれは確実に現実の問題と
なるものであり、政府機関をはじめ電力会社、
原子炉メーカー、建設会社等関係者は目下こ
の問題に真剣に取り組んでいるところである。
昨今この問題に対する関心が高まりつつある
折でもあり、最近の動向を概観し、その一部
の内容に触れた次第である。何らかのご参考
になれば幸である。なお、一般向けのわかり
易い参考資料をいくつか挙げておきたい。⁽²⁾⁽³⁾

(みつい ひでひこ 副主席研究員)

参 考 文 献

- (1) 江頭他、原研における原子炉解体技術開
発の着眼点(第2報)他、日本原子力学
会昭和60年秋の分科会予稿集、P.115~
P.129(昭和60年10月)
- (2) 江頭他、原研における原子炉解体技術開
発計画他、原子力工業、第29巻第6号、
P.17~P.44(昭和58年6月発行)
- (3) 上村雅一、わが国商業用原子力発電所の
廃止措置のあり方他、エネルギーレビュ
ー、第5巻第9号、P.2~P.31(昭和60
年8月20日発行)

レーザー法を中心としたウラン濃縮の動き

西 川 毅

はじめに

米国エネルギー省（DOE）は1985年6月5日に新濃縮技術の開発対象として、レーザー法を採用する旨発表した。我が国では、ウラン濃縮に遠心分離法を採用し、事業化へのスタートを切った直後だけに、レーザー法に対する関心は急激に高まった。現在、自由主義諸国における稼働中の濃縮法は米国DOE及びユーロディフのガス拡散法並びにウレンコの遠心分離法であるが、一般の関心はそれまでこれら既存の濃縮技術と、開発中の遠心分離技術に向いており、レーザー濃縮法は一部の関係者に注目される程度であった。

このような状況下において、DOEが採用を決定したレーザー法は、人によっては、降って湧いたような感があってもやむを得ないことであった。

しかし、実際は、レーザー法、特に原子法レーザー濃縮技術が採用されるまでには、何年にも互る原子法レーザー濃縮推進者の努力があり、遠心分離法推進グループとの間に熾烈な開発競争があったことも事実である。

ここでは、米国における遠心分離法とレー

ザー濃縮法の開発経緯及び今後の計画を紹介するとともに、米国DOEの発表に対する各国の反響及び我が国の濃縮技術開発現状について取り纏めてみた。

1. 米国DOEの新濃縮技術開発の経緯と動向

1.1 新濃縮技術開発の背景

1) 想定需要量に対する対応

1973年の石油ショック前後における世界のエネルギー需要想定量は、現在の想定量をはるかに超えていた。1974年当時に米国原子力委員会（AEC）が予測したウラン濃縮需要量について2000年を例にとってみると、発電量1,500ギガワットに対応する15万トンSWUにも達している。（図1参照）

DOEの前身であるエネルギー研究開発庁（ERDA）が有していた当時の供給能力は1万7千トンSWU/年であったが、契約量は既に拡張計画目標の2万7千300トンSWU/年を達成しており、ERDAは追加契約の受け付けを打切った程である。

米国の濃縮は、オークリッジ、パデューカ、ポーツマス（ポーツマス）のガス拡散工場で行われるが、AECは将来の濃縮需要の伸びに対処するた

表1 ガス拡散濃縮計画及びCIP/CUP

	オークリッジ 工場	パデューカ 工場	ポーツマス 工場	合 計
場 所	テネシー州	ケンタッキー州	オハイオ州	—
建 設 期 間	1943-1954 年	1951-1954 年	1953-1956 年	1943-1956 年
当初能力(トンSWU/年)	4,700	7,300	5,200	17,200
CIP/CUPによる増強	3,000	4,000	3,100	10,100
CIP/CUP 期 間	1971-1981 年	1971-1981 年	1971-1983 年	1971-1983 年
現在能力(トンSWU/年)	7,700	11,300	8,300	27,300
所 要 電 力 量 (MWe)	2,110	3,040	2,260	7,410

め、これら3工場に対し、1971年から10年計画でカスケード改良計画(CIP^{注1)})及びカスケード出力増強計画(CUP^{注2)})を実施し、生産能力を合計2万7千300トンSWU/年に高めた。両計画に要した費用は約15億ドルである。(表1)

その後、需要の低迷と、電力料金上昇に伴うDOEの濃縮コスト割高とが原因で、DOEとの長期契約をキャンセルするケースが発

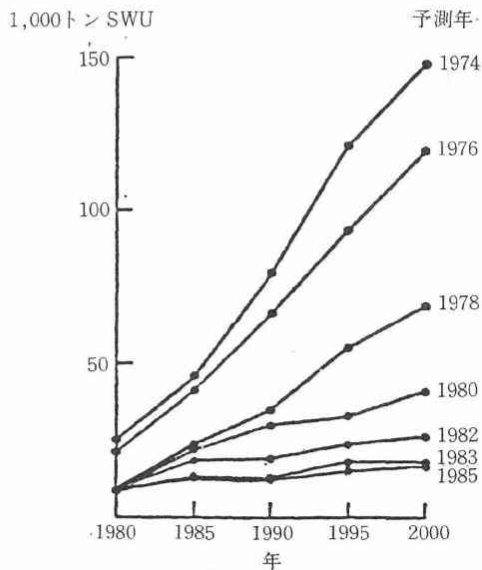


図1 米国供給の民間向SWU需要予測の変化

注1) Cascade Improvement Program

注2) Cascade Upgrading Program

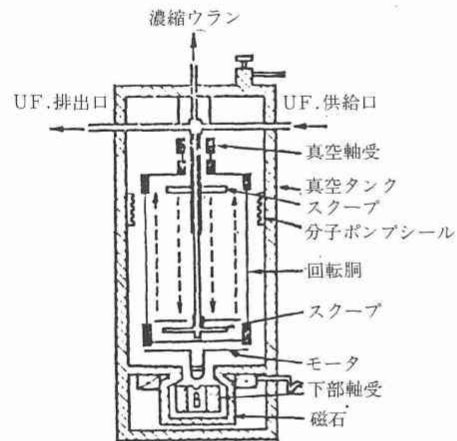


図2 Zippe型遠心分離機

出典：原子力用語辞典(日刊工業新聞社)

生するようになり、濃縮在庫の増加と第二市場の出現を見るに至るようになるとは、当時の状況からは想像出来にくいことであった。ちなみに、1984年の段階で、自由世界の全需要量(20,800tSWU/y)は供給能力の約1/2にも落ち込み、今後10年程は在庫過剰状態が続くと予測されている。

米国DOEは、後になって他の濃縮事業者に対抗する上でも競争力のある新濃縮技術の開発に拍車をかけることになるのである。

2) 遠心分離法の開発

米国がウランガスの遠心分離に成功したのは第二次大戦中であり、同国の遠心分離技術

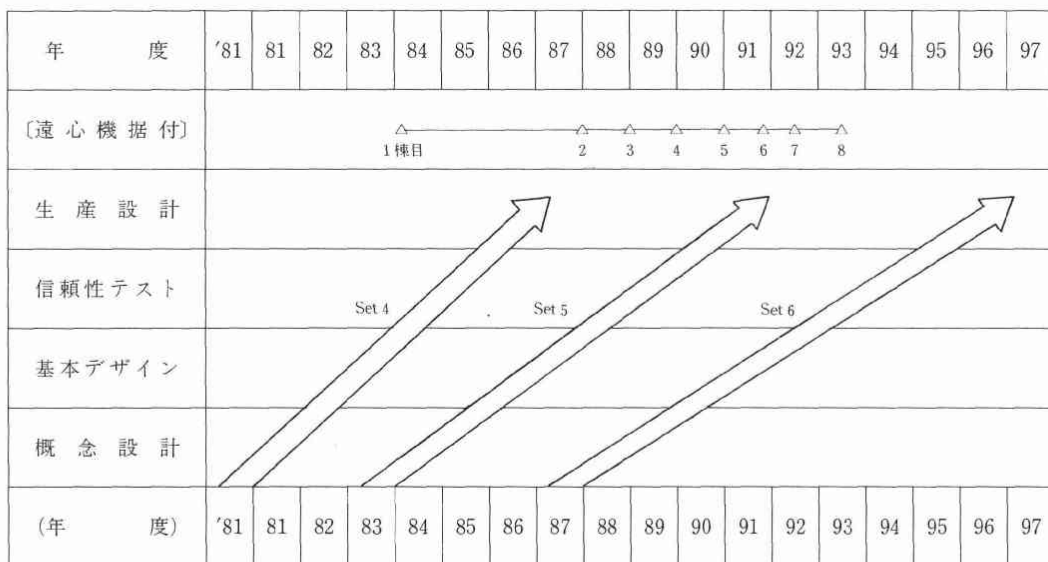


図3 遠心分離機開発スケジュール（当初案）

表2 当初のSet VI～Set VI目標

	性 能	信頼性試験 開始時期	実用化時期
Set III 型機	100%		
Set IV 型機	150%	1985年	1988年
Set V 型機	175%	1990年	1993年
Set VI 型機	200%	1995年	1998年

開発の歴史は相当古いと言える。その後、ガス拡散法がマンハッタン計画により軍事用に採用されたため、遠心分離法は1950年代中頃まで大学中心に細々と研究された。

その後、AECは1955年にバージニア大学に対し遠心分離機開発の予算措置を行ったが、それを契機に実用化のための研究開発を外部に委託した。その結果、1968年迄に高性能遠心分離機の信頼性試験施設を設計するのに十分なデータを得ることが出来た。遠心分離機が実用化の舞台に登場出来るようになった大きな要因として、回転円筒を一つの接触点で支える Zippe の遠心分離機が挙げられる。(図2)

1972年以降になると、多数の民間企業が濃縮技術の民間移転に関心を示すようになった。中には試験用遠心分離機の製造まで行う会社が出現したほどである。しかし、1976年に民間濃縮体制の誘導、育成を目指した「核燃料保証法案」が議会で廃案となり、民間自身による濃縮計画は消え去ることとなった。

1977年にDOEによる遠心分離工場建設(Add-on計画=GCEP計画^{注3)})が決定されると、同計画への参加を巡って民間企業間で競争が展開された。その結果、1979年に選ばれたのがBoeing, Garrett 及びGoodyearの3社である。GCEP計画は、当初8棟を建設する計画(ポーツマス^{注3)}のガス拡散工場に隣接)で、1994年に全棟が完成すると供給能力が8,800トンSWU/年になる予定であった。当初の遠心分離機開発スケジュールを図3に、また開発機器の目標を表2に示す。

その後GCEP計画は、DOE内部での再検討や、会計検査院(GAO)、議会予算局(C

注3) Gas Centrifuge Enrichment Program

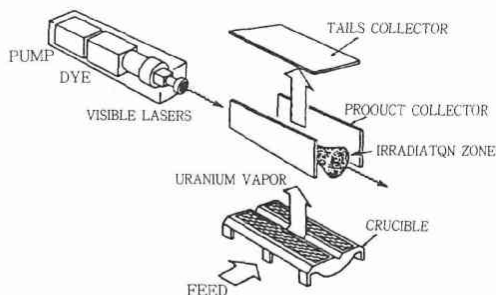


図4 原子蒸気レーザー同位体分離(AVLIS)法

BO)等の批判が基となって、1984年に変更修正が加えられた。変更点のうち注目すべき点は、Set IVが無くなり、Set IIIからSet Vへスキップした点である。Set VIIはSet Vへ吸収された形になっている。分離能力は、Set IIIが200kg SWU/年、Set Vがその3倍の600 kg SWU/年と言われており、後者をAGC^{注4)}と称している。

1.2 先端的同位体分離(AIS)計画に対する初期の評価と開発方針

1) AIS技術の概要

DOEは、ガス拡散工場の運転及び遠心分離工場(GCEP)の建設を進める一方、より経済効率の良い濃縮技術を求めて、先端的同位体分離(AIS^{注5)})計画に取り組んだ。レーザー法(LIS^{注6)})及びプラズマ分離法(PS^{注7)})がそれである。レーザー法には原子法レーザーウラン濃縮(AVLIS^{注8)})と分子法レーザーウラン濃縮(MLIS^{注9)})の二方法がある。

AVLISは、金属ウランを蒸発し、レーザー照射によって選択的に²³⁵Uをイオン化

し、電磁界によって収集する方法である(図4参照)。1970年にAVCO社が、また、1974年にローレンスリバモア国立研究所(LLNL)がそれぞれ原理実証を行った後、急速に進展した。1975年にAVCO社とEXXON Nuclear社がJNAI社を設立し、大規模開発に着手したが、1980年にエネルギー研究諮問委員会(ERAB)がLLNLのAVLISを採用し、JNAI社が政府の助成資金獲得に失敗したため、同社はAVLISから撤退した。

MLISは、UF₆ガスに赤外レーザーを照射し、選択的に励起された²³⁵UのUF₆に紫外レーザーを照射してFを解離し、固型化したUF₆に弗素を添加して濃縮UF₆を回収する方法である。ロスアラモス国立研究所(LANL)やEXXON社で研究開発が行われ、1976年にはLANLが1mgの低濃縮ウ

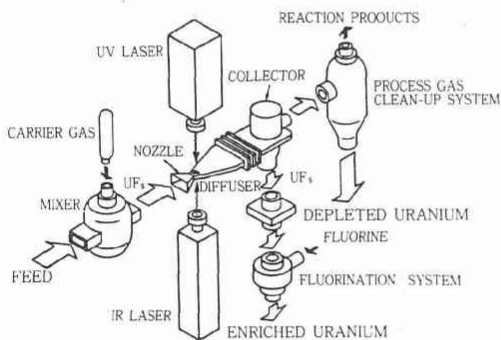


図5 分子レーザー同位体分離(MLIS)法

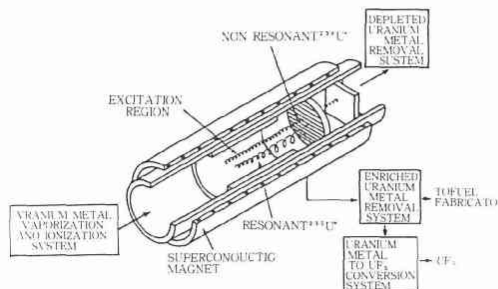


図6 プラズマ分離(PSP)法

注4) Advanced Gas Centrifuge

注5) Advanced Isotope Separation

注6) Laser Isotope Separation

注7) Plasma Separation Process

注8) Atomic Vapor Laser Isotope Separation

注9) Molecular Laser Isotope Separation

表3 9,000トンSWUプラントのコスト比較

FORM OF URANIUM	CONT. RACTOR	CAPITAL COST ESTIMATE	SWU COST ESTIMATE (\$/SWU)
MOLECULAR	LASL	\$935M	28
ATOMIC	LLL	\$670M	21
PLASMA	TRW	\$880M	30

ランを回収したと報告されている。(図5)

PSPは、1974年よりTRW社で開発されてきた技術で、図6に示すように蒸発、イオン化したウランプラズマを ^{235}U のサイクロトロン周波数に共鳴する高周波の磁場に入れ、 ^{235}U のみにエネルギーを付与して、その半径軌道を螺旋状に大きくし、隙間を有するグリッドを介して ^{235}U イオンを回収する方法である。(図6)

2) 各技術に対する初期の評価

上記3方法に対する初期の評価にERABのAISパネル報告書がある。この報告書は、当時のDOEの最高技術諮問グループであったERABの特別AISパネルによって1980年11月にDOEに提出されたもので、AGCも含む濃縮技術開発に関する総合的な報告となっている。要点は次のとおりである。

イ。AIS3方式はいずれも技術的には大規模濃縮が可能。SWUコストの見通しは20～40ドルである。

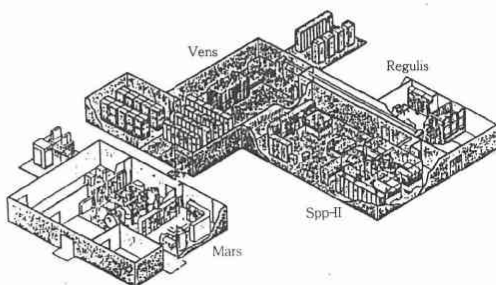


図7 AVLIS総合濃縮施設概念図

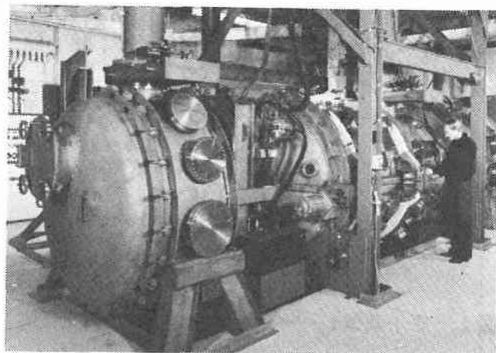


図8 Mars

ロ。適切な評価を行うには情報不足であり、現在、AIS方式を一つに絞る技術的な根拠は何もない。

ハ。3方式の技術上の不確定性を82会計年度半ばまでに解決する見込みは極めて薄い。したがって、選択するための技術的根拠が固まる見込みは何もない。

DOEの原子炉プログラム担当次官補代理、Dr. Thomas Dillanは、1981年3月の議会でAISの経済性は表3のとおりであり、他の濃縮法に比べると優位であると証言した。

1.3 AVLIS及びAGCを新濃縮技術の開発対象に選ぶまでの経緯と背景

1) AIS技術からのAVLISの採用

1984年4月、DOEは、AVLISをAIS技術のうち、最も低コストの見通しが得られる技術として、AGCとともに開発対象に選んだ(DOEニュース)。

さらに、既存のガス拡散工場の代替及び濃縮容量の増大化のために、AGC、AVLISのいずれかを1990年迄に選択する方針であることを明らかにし、注目された。AIS技術のうち、残り2方式は軍事プログラムに組み込まれて研究・開発が続行している模様であ

表4 AVLIS法の開発経緯まとめ

	レーザ発振器	分離機
1974年 1976年	(AVLISの原理の実証 (ローレンスリバモア)) (主要各部の設計・試作: SPP-II (Selective Photoionization Pulsed Test-Bed Facility, ローレンスリバモア, 別添図参照))	
	○ブレ・プロトタイプのレーザ試作 ○銅蒸気レーザ 8 台, 染料レーザ 4 台 試作	○気化装置の試作 ○分離機の基礎データの収集
1978年		○電子ビームを用いた気化装置Regulia を試作 (ローレンスリバモア)
1980年	○SPP-IIのレーザ光線増強: Venus (出力10~15Wの銅蒸気レーザ32台から構成され, SPP-IIのレーザと結合し, 300W以上の平均出力を得た。ローレンスリバモア)	
1981年		○1/2スケールの大型電子ビーム気化装置: Mars完成 (ローレンスリバモア)
1983年	○HPLF (高出力レーザ施設, 最終目標: 1,000W, ローレンスリバモア) 操業開始	
1984年		○MHDM (プロトタイプ分離機) 稼動 (オークリッジ, マーチン・マリエッタ)
1985年 (予定)	○1/2サイズの実験プラント 運転開始 (ローレンスリバモア) ○フルスケール実証プラント (1,000tswu/年) 完成予定 (ローレンスリバモア)	

る。

2) AVLIS法の開発努力

表4は, LLNLにおけるAVLIS法の開発経緯をまとめたものである。研究開発は主としてAVLIS総合濃縮施設(カリフォルニア州リバモア所在)で実施された。この施設はSPP-II, Venus及びMarsと呼ばれる設備から構成されている。(図7)

SPP-IIでプロセス・レーザ光線を作り, Venusでこれを増強した後 Regulisの小型分離装置か, Marsの大型分離装置に送る。

(図8)

AVLISのSWUコストは, 1975年以降毎年LLNLで予測しているが, それによると, 1977年以降ほぼ一定して\$25/SWU内外

(1983年ドル価値) になっている。図9は, SWUコスト予測の推移を表わしたものである。1975年~1977年にかけて急激な低下をきたしているが, これはレーザや他の技術の進歩・改良によることはもちろん, ウラン蒸発に効率の良い電子ビーム加熱法を用いるよ

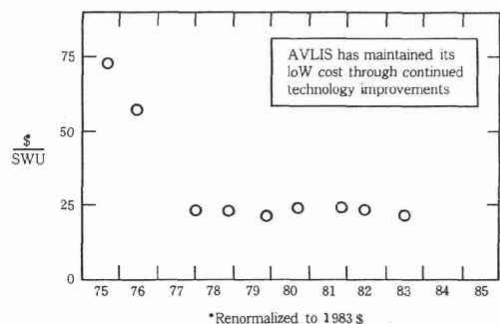


図9 AVLIS法によるSWUコスト予測の移り変り

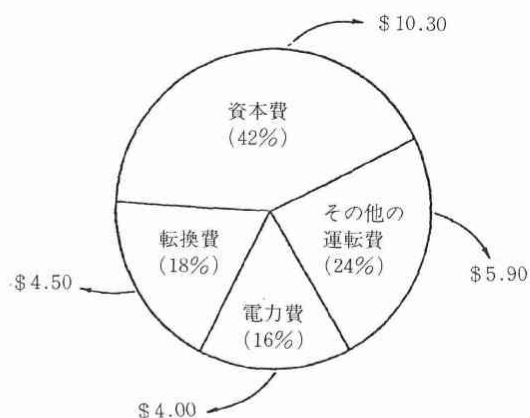


図10 AVLIS法によるコスト内訳

うになった結果である。それまでは、抵抗加熱器を使用していたため、エネルギー費の割合が大きかった。DOEによると、1984年7月時点でのコスト内訳は図10のとおりである。

AGCのコストが\$40～\$60/SWUと言われていただけに、この値は相当に低い。

3) DOEの濃縮計画に対する批判

図1で示したように、濃縮需要見通しは1970年代後半から大幅な減少をきたすようになったが、それまでDOEの濃縮政策は需要構造の変化への対応を考えず、供給中心に強引に進めていた感があり、議会筋より鋭く批判を受けるようになった。

例えば、GAOは1982年5月の報告で、DOEのGCEP建設に経済的観点から消極的意見を述べている。また、1983年10月のCBO報告と同年のGAO再報告でも、GCEP建設は不経済であるとし、両報告ともAGC導入が最も経済的であると評価した。

このような批判に先立ち、DOEは1983年2月に濃縮生産、価格及び販売戦略を検討するタスクフォースを設置した。同メンバーの

主な意見は次のとおりであり、AVLIS開発に積極的である。

Manson Benedict氏：AVLISは、開発に成功すればSWU価格がAGCより安くなるが、技術開発においてはAGCが先行している。

John Simpson氏：AVLISとAGCのコスト比較をすれば次のとおりであり、開発を米国でなく外国が行った場合、濃縮の競争力を米国は失うことになる。

AVLIS \$25.22(高くとも\$40)

AGC(Set V) \$60.00

4) DOEの新濃縮戦略(1984年)

DOEは、GAOやCBOの批判及び独自の濃縮政策再検討結果を基に、競争力強化のための戦略立て直しを図り、1984年初めから積極的活動を開始した。以下は新濃縮戦略の主要点である。

イ、既存のガス拡散工場(GDP)の効率的運転を図ることでTVAからの高い電力費を制限し、SWU需要量の見通しが明らかになった段階で、GDPの閉鎖計画を策定する。

ロ、新濃縮技術に対する研究開発及び新規増設に対する支出を収入に合わせて調整する。DOEは当面、AGCとAVLISの両方について研究開発を続けるが、いずれの技術を実証・実用化段階まで進めるかについては1985年中頃迄に決定出来るようになる。GCEP 1/2棟の建設とSet III遠心分離機の調達に継続するが、1/2棟から先の建設は新契約に基づく約定量と技術選択の結果次第による。

5) 議会によるDOE濃縮政策の監視(1984年)

DOEの濃縮政策を管轄する米国下院の

3つの委員会（科学・技術委員会、内務委員会及びエネルギー産業委員会）は、DOEの濃縮事業を独自に検討する「ウラン濃縮諮問パネル」を作り、1984年9月に報告書を受けた。同報告書は、AVLIS又はAGCいずれかの選択が1985年5月に行われる迄、不必要な支出は差控えるべきであるとし、GCEP Set III型機の購入を最低限に抑えるように提言した。

1.4 プロセス評価委員会によるAGCとAVLISの比較作業に係る動き

EURODIF、URENCOといった欧州濃縮事業者の台頭及びウラン濃縮需給関係の緩みからくる第2市場の出現に対抗し、DOEは将来にわたり競争力を維持してゆくために、次の方策を採った。

イ、GCEP計画は、とりあえず第1棟の半分にSet III型機を設置するだけとする。

ロ、次期濃縮技術の選択を当初予定の1987年から1985年5月に早める。

ハ、GCEP計画は上記ロの選択結果を待って進める。

DOEはこのような戦略に基づき、1984年6月29日に、AGC及びAVLISの技術的、経済的比較評価を行う「プロセス評価委員会」（PEB^{注10)}）を設置すると発表した。DOEの評価作業補助役には独立の評価機関であるMITRE Corp. が選ばれた。

評価は、「AGC、AVLISそれぞれを担当する2チームで行い、一方の審査チームが相手方技術チームのエキスパートとなって両技術の長所・短所を明らかにする」いわゆる比較検討手法（Peer Review Technology）

注10) Process Evaluation Board

を採用して行われた。（ウラン濃縮担当次官補代理 Mr. Longnecker 談）Mr. Longneckerは、また、1984年12月の段階では「両技術の水準は非常に接近しているが、いずれが採用されるにしてもガス拡散工場の経済性を上回るものでなければならず、新濃縮技術が実証されるまでは実用化の計画はない」と発言した。一方、DOEはAGC関係者から要請のあったSet Vによる大規模生産のための機器発注を拒否し、新濃縮技術開発に対する客観的態度を見せた。

1.5 PEBの答申とDOE長官の最終決定

以上のような経緯のもとに、初めに述べた1985年6月5日のAVLIS採用決定の発表になるわけであるが、この発表に先立ち、PEBは同年5月15日に評価結果をDOE長官に提出した。以下はPEB評価結果の主要点と6月5日のDOE長官記者会見要旨である。

イ、プロセス評価委員会による評価結果の主要点

○いずれの先端技術も、大規模に展開出来るところまでは、開発が進んでいない。

・AGC：提案されている先端の機器の技術は、多分に現在の技術をベースに推定したものであり、標準的設計値についての実証も成功裏には終わっていない。

・AVLIS：成功裏に展開出来るだけの規模の実証が得られていない。展開に先立ちフルスケールでの統合的実証が必要であろう。

○種々の比較を行った結果、AVLISは将来低コストで信頼性をもって生産出来る可能性が高い。即ち、

・資本費がより少ない。したがって工場建設に先立つ投資金額が大幅に少なくて済む。

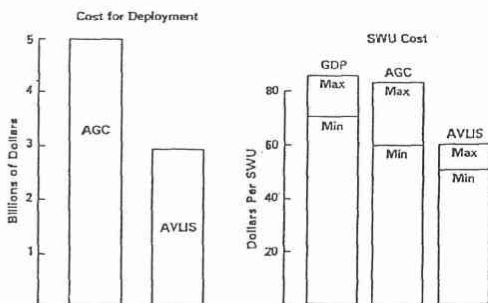


図11 AGC/AVLISのコスト比較

- ・ 予想 SWU コストがより低く、技術改良によってコスト削減を図れる可能性がより高い。
- ・ 濃縮事業の将来需要に応じ、少しずつ能力の拡大を図りやすい。
- AVLIS 法は、米国ウラン濃縮事業の期待出来る収入範囲内で推進できるが、AGC はその展開について予算措置、あるいは外部からの資金導入を必要とする。

ロ. 1985年6月5日のDOE長官記者会見内容要旨

- ① 新濃縮技術として AVLIS を採用した。今後の開発費見込み額は、AGC の50億ドルに対し、AVLIS は30億ドルである。
- ② AVLIS を採用したとは言え、研究・開発、実証の継続を意味することであり、商業規模工場の建設まで決定したのではない。
- ③ 1988~1989年には、AVLIS 実用化の見通しが可能となろう。
- ④ 実用化の見通しが立てば、年間10,000トン SWU 規模の濃縮工場が1995年に運開されることになる。
- ⑤ 米国政府は、遠心分離法の開発に対す

る支出を停止する。

- ⑥ オークリッジ工場は直ちにスタンバイ状態に置く。
- ⑦ 濃縮コストは、AVLIS の上限が AGC の下限に等しい。(図11)^{注11)}

1.6 AVLIS 技術の現状と将来計画

AVLIS の現状と実証計画については、Nuclear Fuel 誌85年7月29日付での前記 Longnecker 氏等との会見記事で概要をうかがい知ることが出来る。以下は同記事の主要点である。

- LLNL は、1988年末までに1,000トン SWU/年生産のモジュールによる実証計画を完了する計画である。
- 商業用プラントは LLNL には建設しない。
- 商業用プラントの設置場所選定作業は1年以内に開始し、約1年後に最終決定を行う。
- 第1商業プラント(規模未定。例えば10,000トン SWU/年)の運開時期は1990年代の初期から中期となる可能性が高く、第2商業プラント(同10,000トン SWU/年)は、第1プラントの運開後1~1.5年後の開始が考えられる。
- 上記2プラントが稼動すれば、2000年までにガス拡散工場を完全に閉鎖することが可能となる。
- 1985年度の AVLIS 予算は102百万ドル(80%が LLNL, 20%がオークリッジ)で、1985年度末までの累積投資額は385百万ドルである。1986年度予算は85百万ドルと予定されている。1986年から実証モジュールの完成までに必要とされる資金は約584百万ドルと予想される。

注11) この図のSWUコストは図9に示す1984年以前(1978年以降)の試算より高いが、ベクトルナショナル社の説明によると、テイル濃度を無理に AGC (0.2) に合わせるなど、控え目に計算したためとのことである。

表5 欧米のレーザー法ウラン濃縮技術調査結果概要

訪問先	Bechtel National, Inc. (米)	Cooper Laser Sonics, Inc. (米)		Spectra Physics (米)	Burleigh Instrument, Inc. (米)
		Plasma Kinetics, Ind.	Molelectron, Corp.		
会社概要	所在地 カリフォルニア州 サンフランシスコ	カリフォルニア州 プレザントン	カリフォルニア州 サンタクララ	カリフォルニア州 マンウテンビュー	ニューヨーク州 フィッシャーズ
	所有技術 世界最大のプラントエンジニアリング	銅蒸気レーザー	色素レーザー エキシマレーザー	色素レーザー レンズ	波長選択器 波長測定器
訪問先見解及び実績	一般	1. AVLISの技術開発は基本的に終了しており実用規模での実証段階。 2. GCEP(SETV)は高度の技術開発を必要とする。	1. AVLISの成功に確信。 2. DOEの決定により計測用レーザー等の周辺技術の受注を期待するが基本的にはレーザー開発はLLNLが直接行っており当面民需が主体。	1. DOEの決定は当社に直接の影響はない。	1. 自社の製品がAVLISに使用されているか不明。
	技術等	1. DOEのコスト計算は劣化ウラン濃度を0.2%に固定するなどAVLISに不利な条件と考えている。 2. AVLISで高濃縮ウランを得るためにはそれ専用のデザインが必要であり遠心分離法より特に核拡散のリスクが大きいとは考えていない。 3. AVLISで回収ウランの濃縮を行うことはメンテナンス上あまり得策とは考えていない。 4. AVLISはプラントエンジニアリングの段階である。 5. 分子法についてロスアラモス研で研究が継続。	1. 40Wまでの銅蒸気レーザーを市販。 2. 仏にレーザーを輸出した実績があり輸出が可能。 3. 輸出については ① export Licence ② 10 CFR 810 Approval が必要である。 4. 関連会社であるGNB, Co. では真空チェンバー、電子銃を製作しており同じく仏へ輸出した実績がある。 5. エキシマレーザーは今後の技術開発次第ではAVLIS用レーザーとなる可能性はあるが当面は銅蒸気レーザーが使用される。	1. レンズコーティング技術に優れたものがありLLNLに納入した実績がある。	1. AVLISに使用される製品として波長選択器等があるか輸出可能。 2. 仏に輸出した実績がある。

訪問先	CEA : SACLAY (仏)	MAX-PLANK-INSTITUT FÜR QUANTENOPTIK. (西 独)	LAMBDA PHYSIK GMBH (西 独)	CILAS ALCAEL (仏)	URENCO (英)
会社概要	所在地 ジフスリベ (パリ郊外)	ミュンヘン	ゲッテンゲン	マルクーシ (パリ郊外)	マーロー (ロンドン郊外)
	所有技術 AVLIS, MLIS, PSP,	レーザー技術一般	色素レーザー エキシマレーザー	銅蒸気レーザー	遠心分離濃縮工場
訪問先見解及び実績	一般	化学法の工業化を含めて遠心分離、レーザー、プラズマ等、巾広い研究開発をして来たが、今後AVLISを重点化して行く。	核融合レーザーシステムを中心にレーザー技術を持っている。公開の研究所であり機微な技術は取り扱わない。	日本に駐在員を置いて、レーザーの販売をしている。日本のレーザー濃縮開発に大きな関心を持ち、又、米、仏、英への輸出も多い。	CEAの依頼により銅蒸気レーザーの開発を実施している10W、40Wに続いて、現在100W出力の開発を行っているが、内容は一切機密。
	技術等	1. EXCIMER-DYEシステムでAVLISの原理を検証 2. YAG-DYEシステムを新に完成、スペクトラム研究に使用する。 3. サックレー内に別にシステム検討用の建屋を整備中との事。 4. 分離セル3台により基礎試験(微量ウラン分離、ウラン蒸発等)を実施中	1. 西独では、ウラニット社がCO ₂ ラマンレーザーシステムで分離系数10を達成した。 2. 1年後にAVLIS, MLISの比較評価を行う。 3. MLIS法についてKWUウラニットが協力し年間予算6MDMで開発を進める。	1. 大出力のエキシマレーザー(150W500Hz)を商品化して居り、複数個のシンクロ発振によるAVLISの可能性を強調している。 2. DYEレーザーも商品として最大級のものを持っている。 3. DYEは世界のレーザー用として、その80%はLAMBDAが供給している。	CEAの依頼により銅蒸気レーザーの開発を実施している10W、40Wに続いて、現在100W出力の開発を行っているが、内容は一切機密。
				1. CGEグループの中のレーザー専門会社で700人の従業員、主製品はレーザー応用の軍事機器である。 2. 40W CVLは、本年度完成しCEAに納入した模様。	ウレンコの遠心分離工場は順調に稼働している。本年中に1,500ton SWU/年の容量になる。投資も終って居り経済的に有利。
				1. 少なくとも2000年迄は、ウレンコが一番経済的である。 2. 今後も工場の改善により、更に経済的な運用が期待出来る。 3. AVLISの開発にウレンコ関連3国(英、独、オランダ)が投じている費用は小さい。研究室規模で実施して居り、ウレンコは関与していない。	

○10,000トンSWU/年のプラント建設資金は12～16億ドルと予測されている。

○本年5月に終了したPEBの評価では、AVLISの実証のためにLLNLにおけるフルスケール（未完成）のレーザー実証ユニット（所要資金60万ドル）、LLNLにおける $\frac{1}{2}$ 規模のMARSユニット（13万ドル）及びオークリッジにおけるフルスケールの物質取扱い実証ユニット（25万ドル）の3施設を用いた。今後の実証試験と開発には、更に現在LLNLで製作中のフルケース分離機ユニットが使用される予定である。

2. DOEのAVLIS採用に対する各国の反響とレーザー技術の現状

DOEのAVLIS採用に対する各国の反響とレーザー技術の現状について、当研究所内に設置されたウラン濃縮事業化調査委員会が海外調査を行った。表5は調査結果の概要である。同調査では、レーザー法に対しパワフルなスタートを切ったフランスの姿勢が印象的であった。

3. 我が国の現状

3.1 遠心分離法

我が国は原子力委員会の「原子力開発利用

長期計画」（昭和57年6月）に示されたウラン濃縮国産化の基本方針に従い、1,500トンSWU/年の商業用遠心分離濃縮工場を青森県六ヶ所村（下北半島）に建設する。

事業会社は9電力会社を中心に、昭和60年3月に設立された「日本原燃産業(株)」である。当面1991年の部分運開を目指しており、さらに、1,500トンSWU/年の濃縮工場追加も計画されている。機器の製造は、「ウラン濃縮機器(株)」が受け持つ。同社は、遠心分離機の量産効果によるコスト低減化を図る目的で、昭和59年12月に日立製作所、東芝、三菱重工業の3社共同によって設立され、現在、官民協力のもとに動力炉・核燃料開発事業団が開発した原型プラントの製造準備にかかっている。

原型プラントは、年間生産能力を200トンSWUとし、1987年に部分運開を、1988年に全面運開を目指している。

開発の面では、原型プラント第二期工事分及び下北半島の商業プラントのための集合型高性能遠心機の試験装置が昭和60年5月に完成され、また、超高性能遠心機の開発も進められている。^{注12)}

3.2 化学交換法

化学交換法によるウラン濃縮を手掛けているのは、フランスの原子力庁（CEA）と我が国の旭化成工業(株)のみである。

いずれも同位体交換によるものであるが、前者が3価のウランの塩酸溶液と4価のウラン溶解液（有機溶剤）を接触向流させる方法に対し、後者は、吸着剤に吸着される6価のウランと塩酸溶液中の4価のウランをウラン吸着帯の移動によって同位体交換する方法で

注12) 我が国の遠心分離機は、米国のジャンボ機（高さ約12m、直径約80cm）と違い、小型（寸法等詳細については公表されていない）であり、米国の寿命中保修を考慮した設計に対し、ノーメンテナンス設計を採用するなど、設計思想に相異がある。回転胴材料には、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の採用が検討されている。CFRPは、比強度、比弾性率が他の材料に比べて格段に大きいだけでなく、他の物理特性（例えば、疲労強さ、振動減衰特性、熱伝導率、線膨張係数等）も優れている。

表6 レーザー法ウラン濃縮関係予算（昭和60年度9月，科学技術庁）

（単位：千円）

事 項	前年度予算額	昭和61年度 概算要求額	内 容
1. 一般会計 ①理化学研究所 赤外レーザーによるウラン 同位体分離濃縮研究	75,000	175,400	ウラン濃縮新技術として有望視されているレーザー法のうち分子レーザー法について60年度から3ヶ年計画によって原理実証（3%以上の濃縮を確認）を行う。
②動燃事業団 レーザー法濃縮特有核燃料 サイクル技術開発	0	146,195	分子レーザー法については，UF ₆ ガス取り扱い技術の蓄積を生かして，原理実証試験のうちUF ₆ ガス供給回収システムの開発を担当する。原子レーザー法については，金属ウラン取り扱い技術の蓄積を生かして，ウラン合金の物性研究を行う。また，レーザー法に関する技術調査を行う。
〔ウラン濃縮新技術調査〕	(3,659)	(0)	〔レーザー法を含むウラン濃縮新技術の調査を行う。〕
③原子力局内局 レーザー法ウラン濃縮対 策	0	1,276	レーザー法ウラン濃縮技術開発を円滑に推進するため，原子力委員会の下に，レーザー法ウラン濃縮検討会を開催する。
2. 特別会計 ○電源多様化勘定原子力局内 局分 （日本原子力研究所に委託） レーザー法ウラン濃縮技 術開発委託費	339,681	704,701	ウラン濃縮新技術として有望視されているレーザー法のうち，原子レーザー法について，59年度から6ヶ年計画によって工学試験（～数kg SWU/年規模のシステム試験）を行い，原子レーザー法の工学的評価を行う。
合 計	414,681	1,027,572	

出典：原子力情報センター資料

ある。

旭化成が化学交換法に着手したのは昭和47年であるが，その後56年度末に小型ベンチ（濃縮塔直径20mmφ）により，また59年度初めに中型ベンチ（濃縮塔直径100mmφ）によってそれぞれ約3%の濃縮ウランを実証サンプルとして取得することに成功した。その後，これらベンチプラントや，工学試験用濃縮塔（直径30cmφ及び70cmφ）の試験結果を基に，1mφの濃縮塔を有するモデルプラントを設計し，60年4月に完工した。運転結果が待たれるところである。

3.3 レーザー法ウラン濃縮

科学技術庁は，昭和60年9月10日に，レーザー法の開発戦略策定を目指して，新たに原

子力委員会の中に「レーザー法ウラン濃縮研究開発推進委員会」（仮称）を設ける方針を明らかにした（昭和60年9月11日電気新聞）と言われる。この委員会は，従来の各懇談会，専門部会のような形にせず，総合調整機能を重視したものであって，産・学・官一体となった開発体制を目指すものである。そこには従来方式の国・特殊法人による技術開発成果を民間へ引き継ぐ場合の「技術移転」に係わる弊害をなくそうとする意図があり，積極的な開発姿勢が伺われる。

我が国でのレーザー法濃縮の研究については，日本原子力研究所（原研）が原子法を，理化学研究所（理研）が分子法を手掛けている。実験室規模ではあるが，原研が57年度に3%程度の低濃縮ウラン88μgの回収に成功

し、理研が昭和60年8月にウランを0.72%から0.74%に濃縮出来たと発表した。

今後の開発計画を表6に示す。

以上のように、我が国の濃縮政策にもレーザー法の潮流が色濃く見られ、次に見る最近の新聞記事には大きなうねりさえ感じられるようになってきた。

「ウラン濃縮法、レーザーに転換、10年内実用化めざす—政府方針」

年度内に電力各社、重電機メーカー、原研、理研等で「技術研究組合」を設立、研究・開発体制を一本化して、10年以内の実用化を目指す。(昭和60年10月7日、読売)

「レーザー法、独自に開発。官民合同で研究組合設立。10年間1千億かけ」

9電力社長会で通産省が明らかにしたもので、財源は、電源開発促進特別会計から充当する考えである。(同10月18日、毎日)

「米のレーザー法濃縮工場建設に対する資金協力検討のための作業部会に電力参加」

DOEは、1万～1万2千トンSWU/年規模のレーザー濃縮工場を三年後に着工、10年後に運開予定。総建設費は最大20億ドルと言われている。我が国への資金協力を通産省幹部にDOEが求めたものであり、9電力社長会は資金参加問題を検討するためのワーキンググループへ電力が参加することを了承した。(60年10月18日、朝日、日刊工業、電気新

聞等)

おわりに

米国は早くからレーザー濃縮に取り組み、工業化への開発も世界に先がけて本腰を入れてきた。LLNLのレーザー技術副ディレクター John Emmett 氏は次のように語っている。「日本は過去1年半AVLISに関心を寄せてきたが、特にここ数ヶ月間は極めて大きな関心を示している。付加価値の高められた多数の小部品よりなるAVLISほど日本の技術に合ったものはない。我々が日本人より極めて優位に立っているのは、彼等が何事においても最初に自ら手掛けようとしないことによる。しかし、日本人が道具を手にして動き出したら、非常に厳しい競争となるだろう。」陳腐化された日本批評の一つに聞こえるが、他国が本気で開発しなかったレーザー法に本格的に取り組んだ当事者の言であってみれば、氏の言葉が活きてくる。

我が国は、レーザー法に遅れをとっているが、遠心分離法は自主技術が確立し、化学交換法も独自の開発努力が実ろうとしている。今後は、各濃縮技術の解決課題と経済性をタイムスケジュールに置いた総合的な開発計画が求められてゆくものと思われる。

(にしかわ たけし 主管研究員)

高 速 増 殖 炉 の 経 済 性

伊 藤 正 彦

1. は じ め に

高速増殖炉（FBR）開発の分野においては、近年、経済性の向上が最重要課題であると強調され国際的共通認識となっている。この背景には、原子力発電規模予測の下方修正に伴いウラン需給がかなり長期にわたり安定すると期待できるようになり、FBRの実用化による資源有効利用の意義は不変として⁽¹⁾も、その緊急性はやや薄らいだ事がある。一方、原型炉や実証炉の設計・建設経験の蓄積により、従来の設計を延長した場合には過去の予想よりも建設費が高くなりそうだという事が分ってきて、実証炉や初期実用炉の建設には大きな資金を要する事もあって、経済性について以前よりも厳しい見方がされるようになってきている。

この為、FBRを早期に実用化する為には、経済性を高め、既存の軽水炉と競合できるレベルに近づける事が重要であると考えられ、コスト低減に結びつく様々な考え方を採り入れたプラントの設計を研究し、開発することに各国の努力が向けられている状況にある。最近では1984年11月の東京及び1985年7月の⁽²⁾リヨンで行われた国際シンポジウムで各国の⁽³⁾方針や成果が発表されている。

本稿では各国の実証炉及びそれ以後のFBR経済性⁽⁴⁾の見通しについてまとめ、経済性向上に関わる技術的動向の現状についても要約する。

2. 各国の経済性評価および目標

FBRの経済性の尺度は、第一に発電コストであり、また発電コストに最も大きなインパクトを与えるものが建設費である。以下に各国の見通しや目標についてまとめるが、国による計算条件の違いがあるので、絶対値によるよりも、軽水炉との相対値で論じるのが適切であり、一般的でもある。

2.1 フランス

1985年9月初臨界に達した実証炉スーパーフェニックス（Super Phenix、出力120万kWe、以下SPX1）は今の所世界で唯一つの大型炉である。又、SPX1の運開後1年間を経て次の大型炉スーパーフェニックス2（出力150万kWe、以下、SPX2）の建設決定をすべく設計を進めているなど、フランスのFBR開発は世界的に最も実績があり、その経済性評価も大いに参考にすべきだと思われる。

図1はFBR発電コストをPWRと対比し

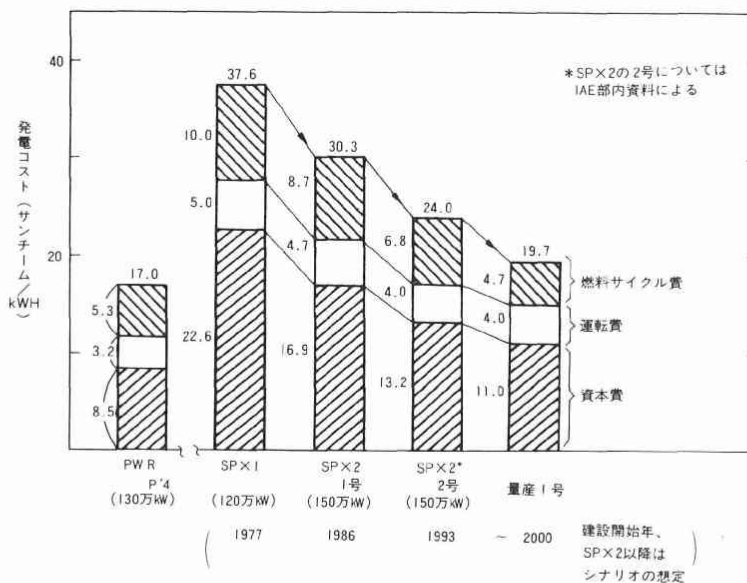


図1 フランスのFBR発電コスト評価 (1982.1 価格)

て示したものである⁽⁴⁾。軽水炉との相対関係を見ると、SPX 1の発電コストはPWRの2.2倍であるが、将来の量産段階では、1.15倍に低下すると予測している。このコスト超過分については増殖炉によって得られるエネルギー自立の利点を考慮すれば許容できるとしている。フランスのPWR発電コストの約1割が天然ウランコストであるとされており、天然ウラン価格が約2.5倍になると量産機とPWRのコストが等しくなることになる。

この図の出典である Lorino の論文では SPX 2以降の開発について、SPX 2の建設開始1986年、SPX 2の2号機同1993年、量産1号機同今世紀末、というシナリオについて発電プラントと燃料サイクル施設への投資・回収を評価し、1990年以降の天然ウラン価格上昇が年率5%の場合は2010年に回収されるとしている。(SPX 2の建設も欧州国際協力プロジェクトによる計画となっているが、SNR 2を先行させたいとする西独との間で調整中である。)

又、発電コストの内訳においては特に資本費の部分について大きな削減が段階的に達成されるとしており、建設の経験を積みつつ設計改良を行う事で建設費の低減ができると考えている。例えば、建設の習熟については、SPX 2の1号機までは86ヵ月の建設工期と予測しているが、量産段階では、PWRと同等の70ヵ月になるとされている。燃料サイクルコストについては、FBR燃料の再処理についての実績が乏しいので不確定要素が大きいとしながらも、将来的にはスケールメリットにより低減できると見ており、これはFBRの導入速度や規模と関係して再処理施設の容量の選択に左右されるものと考えている。また、運転費についてはその80%はメンテナンス費であり、この部分は資本費に関係するとして評価している(フランスでの経験則から、PWRのメンテナンス費との比は $(1+x)/2$ 、 x はPWRとの資本費比、になるとしてSPX 2以降の炉を評価)。

2.2 米 国

米国のFBR開発は1983年に原型炉クリンチリバーが建設中止となって以来具体的な建設計画を持っていない。しかし、実証炉LSPBの設計研究は継続され、最近では“innovative”な設計提案からGE社のPRISM及びロックウェル社のSAFRの2つの中小型液体金属冷却炉の概念がDOEによって選定されるという新しい動向がある。

PRISM及びLSPBについては、UE&C社から建設コスト評価が発表されており、これをPWRとの比で示すと図2のようになる。経験をベースにしたPWRの建設費の中間的な値に対し、PRISMの実用段階のものは64%、LSPBの2号機は80%(実用段階ではこれよりも1割程度低減するとされ

ている)となり、これらは十分経済有利性を持ち得るとされている。

試算の内訳では、原子炉施設についてはPRISM、LSPBともkWe当りでPWRより大きい、2倍以下であり、更に直接費全体で約1.1倍と評価されている。また間接費(建中利子は含まれていない)は、PWRの中間的なコストのものと最良のものとの間に差の生じる最大の要素であるが、LSPBについてはPWRの最良のものと同程度、PRISMはそれよりもかなり低く評価されており、建設工事の標準化、QA・QCの要求や手法の改良及び工場生産部分の割合の増大等が寄与すると考えられている。

その他の概念については、中小型炉SAFRについてロックウェル社は発電コストの評

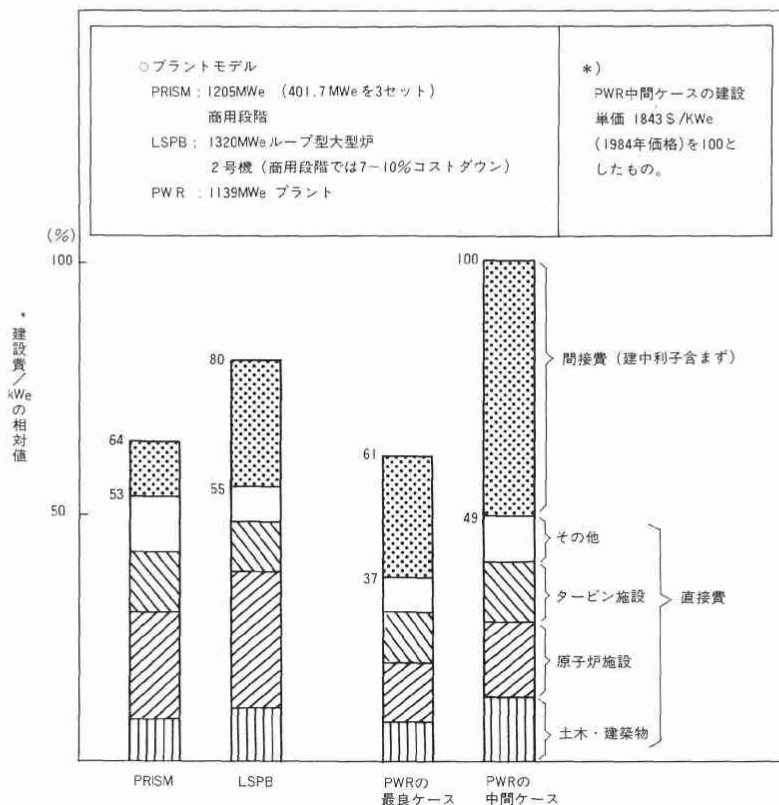


図2 PRISM、LSPBの発電電力当り建設費評価(UE&C社発表をベースに作成)

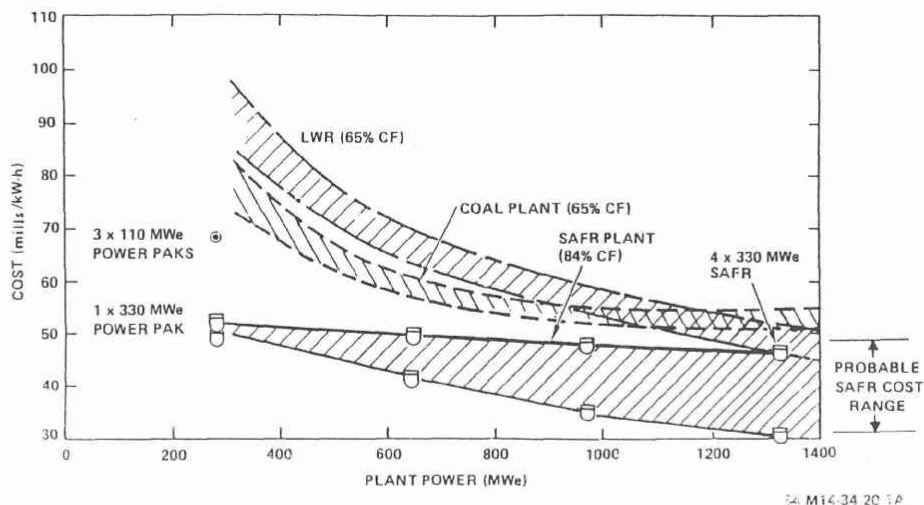


図3 SAFRの発電コスト評価（ロックウェル社）

価を発電所の発電容量との関係で示して⁽⁶⁾（図3），経済的有利性を主張しており，またWH社は130万kWeのタンク型炉の経済的な概念（LCP）が軽水炉とほぼ同等の発電コストになるとしている。⁽⁷⁾

これらの米国における評価については，概念研究の段階での予測である事と，プラント概念に対応した規制・規準類の改良とエンジニアリング及び品質保証の要求・手法の改善が実現されるという前提を置いている事にも留意する必要がある。

2.3 西ドイツ

原型炉SNR300は建設工事をほぼ完了し，1986年4月臨界の予定となっている。実証炉SNR2は1990年頃着工の計画で設計を進めており，SPX1の建設・運転経験を活用できるタンク型（150万kWe）を選択し，欧州内国際協力の調和を図ることになった。

SNR2の建設費は軽水炉並みを目標にコスト低減を行うとされており，原子炉施設以外の部分について軽水炉比30%の低減を行う⁽⁸⁾

（原子炉施設は軽水炉の少くとも2倍になると予想している。又，西独の軽水炉では建設費の25%又はそれ以下ぐらいが原子炉施設分）という方策を示して，積極的に設計改良を行っている。

2.4 英国

英国では原型炉PFRが1974年に臨界を達成し，実証炉CDFRの設計研究を進めている。しかし，英国の原子力政策は現在PWR導入に重点が置かれ，FBRの実用化時期は，遅く2010年以降と考えており，当面は大型炉の設計・建設の国際協力を行ってCDFR（建設は1996年以降と言われる）の性能向上に役立てる方針である。

経済性については，1984年11月の東京シンポジウムで発電コストのパラメトリックな評価が発表されている⁽⁹⁾。図4ではFBR/LWRの燃料サイクル費比，建設費比，天然ウラン価格及び年経費率／設備利用率をパラメータとしている。このうち燃料サイクル費比については天然ウラン価格50ドル/lbU₃O₈において，

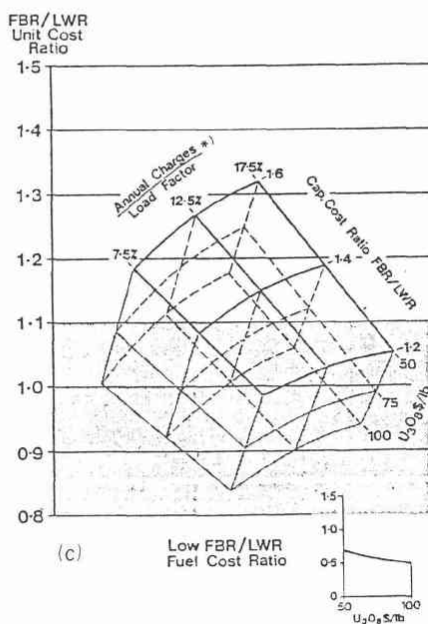
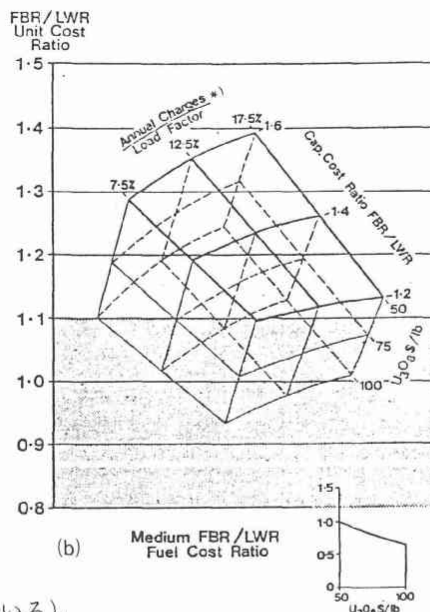
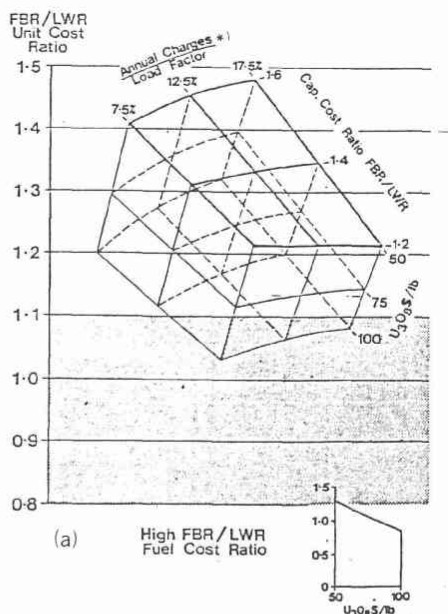


図4 FBRとLWRの発電コスト比(NNC)

1.3, 1.0及び0.7の3ケースについて各々(a), (b), (c)として示されている(この比の天然ウラン価格への依存を各図の右下の小図で示

ている)。

結論としては、建設費が1.2倍で燃料サイクル費が0.7倍ならば、発電コスト1.1倍という目標は全てのケースで達成され、燃料サイクル費が1.0倍ならばウラン価格等に左右されるとしている。また、この発表から次のような認識が読みとれる。

- (1) FBRの経済性目標については、資源戦略的意義を考慮すると、発電コストが軽水炉の10%増しでも社会的に受容されうる。
- (2) FBR建設費は現状の技術水準から見通すと軽水炉の1.2倍程度が達成可能なレベルと考えられる。
- (3) 燃料サイクル費は天然ウラン価格を50ドル/lbに固定して考えた場合、ごく近い将来では1.3倍(再処理価格が高い故)、楽観的に見ると2010年頃では0.7倍(燃料の燃焼度上昇を見込んで)程度と予想される。(但し、比較対象は軽水炉ワンス・スルー)

これらは先のフランスの評価とも近いレベ

^(*) (年経費/設備利用率)/資本費(%)の値で示される。(軽水炉と同じ償却方法を行なう。)

ルにあり、欧州での大方の見解がどの程度のものかを示していると言えるであろう。

2.5 日 本

1985年10月、原型炉もんじゅの本工事が着手され、もんじゅに続く実証炉については100万kWeプラントの設計研究が、ループ型及びタンク型の両炉型について、電力を主体に進められている。

1981年から3ヵ年で行われた「高速実証炉概念設計研究」(Phase III)では、技術的成立性の確認を主目的として概念設計が行われたが、両炉型とも経済性に課題が残るとされた。例えば、ループ型炉の概念設計では、その設備規模は軽水炉の2倍程度の物量と言われている⁽¹⁰⁾、これは従来技術を基礎に開発見通しの確実な技術に重点を置いた保守的な設計を行った事の結果である。また、タンク型についても、将来における軽水炉との経済的競合という観点に立つと、技術的・経済的な詰めが不十分であるとして、両炉型とも合理化設計を追求する必要があるとされている。

1984年度からスタートした合理化設計研究では、軽水炉なみの安全性を確保した上で建設費を軽水炉の1.5倍以下とするように目標が定められた⁽²⁾。この目標設定では、実用段階での軽水炉との経済的競合を目指しており、天然ウラン価格を100ドル/lb程度に想定すると、建設費が1.1倍以下であれば発電コストで競合できるという評価をもとに定められている。

この目標達成の為に種々の合理化概念を盛り込んだ設計研究を行っており、現在は中間的段階ではあるが、物量を軽水炉なみにできる方策を見出すなどの成果が得られており、両

炉型共、目標達成にある程度の見通しを得ている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

3. コストの各要素について

3.1 建設費

FBRの建設費は、従来考えられていた設計では軽水炉よりかなり高く、発電コストを軽水炉に近いレベルにするには建設費低減が第一の課題である。例えば、SPX1の発電コストが2.2倍となっている最大の原因は資本費が2.7倍であること(図1)にあり、建設費を下げないと経済性向上が望めない事は明らかである。

建設費の高くなる要因は表1に示されるようなものであるが、これらは冷却材としてナトリウムを使用する事と高温運転条件とに関係している。一方、FBRの有利な点は、低圧運転故に機器・配管の薄肉化が可能、蒸気温度が高く高熱効率となる事などがあり、更に最近のコスト低減の研究では、種々の固有の特徴を経済性向上に結びつける努力が行われている。

建設費の内訳については、表2に示したSPX1の例からもわかるように、原子炉施設の建設費が大きい事が特徴である。フランスのPWRの直接費中の原子炉施設分は約40%^(注)とされており、これから見てSPX1の原子炉施設はPWRの約3倍又はそれ以上と推定され、この部分を合理化してゆくことはコスト低減に大きく寄与する。

ただし、表1に示した要因のインパクトを軽減することには限界もあるので、実用段階

(注) 原子炉施設とその他の部分との区分の仕方は、国によって若干異っているようである。

表1 設備面から見たFBR建設コストが高くなる要因

1 原子炉施設(NSSS)	
(1)	2次Na系(中間冷却系)の存在
(2)	高温条件、熱衝撃等の点で厳しい設計条件
(3)	NaバウンダリとしてのSUS鋼の使用
(4)	ガードベッセル設置
(5)	ブランケット燃料、反射体設置により炉心径大きくなる
(6)	Na冷却を用いる炉外燃料貯蔵設備の存在
(7)	熱膨張大の為、配管引回しが複雑化、長大化
(8)	Na/水の共存する蒸気発生器の設計製作基準厳しく、Na-水反応対策設備も設置される
(9)	不活性カバーガス設備
2 その他の施設	
(1)	配管の長大化に伴う、格納容器・建物の大型化
(2)	高温運転の為、熱放散量大しく、空調設備容量大
(3)	電源・計装用ケーブル量が多くなる

表2 SPX1の建設費内訳

原子炉プラント	86億4,000万フラン
在来プラント	49億7,600万
エンジニアリング・試運転	18億2,400万
予備費	3億400万
合 計	157億4,400万
使用済燃料貯蔵施設	8億1,200万
炉心燃料(2炉心分)	23億3,600万
総 計	188億9,200万
○1983年10月の推定値	

でも軽水炉原子炉施設よりは高くなると見るのが妥当なようである。例えば、やや以前に発表されたフランスの評価では、実用初期のFBR原子炉施設はPWR比で2倍、その他の部分は0.9倍、合計で1.3倍の建設費になるとされている⁽¹³⁾。前章の西ドイツの目標と米国LSPBの評価では、それぞれ実証又は初期実用段階のものについて、原子炉施設に関し

ては上記に近い見方をしている。

また、原子炉施設自体の建設費が上記のようだとすると、建設費全体がそれ程下らないというわけでは無い。それは高熱効率という有利さがプラント全体に効く事と、原子炉施設以外の部分でも建物、電気設備など原子炉施設の設計に左右される部分がかなりあるので、設計の仕方でもコストを下げる事ができるということで、これを端的に示したのがSNR2の建設目標に関する西ドイツの説明であると言えるであろう。

なお、SPX1では原子炉施設全体のうち、原子炉設備は約30%、冷却系設備は50%以上、燃料取扱設備その他約18%と言われており、原子炉構造がループ型より大きくなるタンク型においても冷却系設備の比重が最も大きい。

3.2 燃料サイクル費

FBRの燃料サイクルでは、燃料中のウランには劣化ウランが使えるので、軽水炉に較べると濃縮費用が不要で天然ウラン価格にもほとんど影響されないというコスト面での特徴があり、また燃料の燃焼度が高く熱効率も高いので発電電力量当りの燃料処理量も $\frac{1}{3}$ 以下にできるなどの有利な点がある。一方、燃料中のプルトニウムの割合が高いため、臨界管理や遮へい等の対策強化のために成型加工費と再処理費は割高になるとみられている。

現状ではFBR燃料サイクル費の評価には大きな不確定要素が含まれている。その原因の一つは、加工及び再処理費の評価の信頼度により、特にサイクル費全体の約半分とも言われる再処理費についての実績が乏しい事である。更に燃焼度の増大をどこまで見込むか

という事が直接に影響し、例えば、もんじゅの平均8万 MWd/T に対し、西ドイツで目標と考えている14万 MWd/T にもなれば、発電電力量当りの処理量が60%以下にもなるからである。

燃料サイクルコストに関する評価の例を表3に示したが、上記の点に注意して参考にするべきであろう。なお再処理コストについては特にスケール効果が大きいとされており、図5に英国での評価を例示する。

FBRの燃料サイクル費は、FBR導入初期の燃料処理量が少い段階では、かなり高いものになるかも知れないが、実用段階では十分低減できると期待できる。軽水炉との比較でどの程度になるかというのはやや難しいが、各種の評価を参考にすると天然ウラン価格を現在の水準に固定して考えた場合、実用段階のFBR燃料サイクル費は軽水炉より多少安くなるか同等程度であると大雑把には言えそうであり、天然ウラン価格の上昇によってFBRの有利性は相対的に増大する。

なお、発電コストへの影響という観点では、

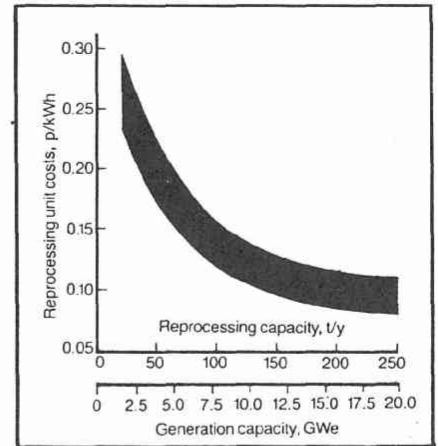


図5 再処理コストのスケールメリット

建設費に較べるとその比重は小さく、発電コスト中の約20%以下程度と思われ、高燃焼度化によって更に低下する可能性も大きい。

4. コスト低減方策について

4.1 コスト低減の方向

FBRの建設費を上昇させる要因について先に述べたが、このような条件下でコストを

表3 FBR燃料サイクルコストの評価例

		開発銀行試算 ⁽³⁾	英 国(実用段階) ⁽⁴⁾	フランス(量産1号) ⁽⁴⁾
成型加工費	燃料重量当り	390千円/kg HM (炉心)		8,000フラン/kg HM
	発電電力当り	0.62円/kWh	0.20ペンス/kWh	
再処理費	燃料重量当り	560千円/kg HM (炉心)		26,000フラン/kg HM
	発電電力当り	0.85円/kWh	0.12ペンス/kWh	約3サンチーム/kWh
燃料サイクル費	F B R	2.03円/kWh	0.32ペンス/kWh	4.7サンチーム/kWh
	L W R	2.37円/kWh	* 0.67ペンス/kWh	5.3サンチーム/kWh
	F B R/L W R	0.86	* 0.48 (0.7)	0.89

(注) * U_3O_8 価格を101ドル/lb (2025年頃)と想定したコスト。()内は33ドル/lb ベースの比。

低減する方策については、FBR固有の特徴を積極的に活用する事が重要であると言われている。軽水炉と較べた特徴には例えば次のようなものがある。

- (1) 冷却材として用いるナトリウムの沸点が高く(約880℃),故に運転圧力が低い。
- (2) 通常運転状態(原子炉出口温度500～550℃)から沸騰までに大きな温度余裕がある。
- (3) ナトリウムは核分裂生成物をトラップする能力が極めて高い。
- (4) 構造材として用いられるステンレス鋼は靱性が大で、ナトリウムとの共存性に秀れ、耐食性が大きい。
- (5) ナトリウムは自然循環でも非常に大きな熱移送能力を有する。
- (6) 過熱蒸気サイクルの採用で熱効率が高い。

これらの特徴は、例えば安全設計をより合理的なものとしてゆくなどの方向で活用する事が研究されている。

現在、各国に共通したコスト低減のテーマは以下のようなものである。

- (1) システム・機器・構造の簡素化。
- (2) 重大事故発生防止のため、信頼性の高い安全系を設けることに重点を置き、仮想的な事故に対する対策は軽減できるようにする。
- (3) 仮想的な重大事故に対しては、より現実的に対応する。
- (4) 安全グレード機器の量を減らすことのできる設計を行う。
- (5) 固有の安全性、パッシブな安全システムを最大限に活用する。
- (6) 配管引き回しを削減する。

- (7) 機器・プラント配置のコンパクト化、これに伴う建屋小型化及び物量削減。
- (8) 建設容易性。

4.2 コスト低減策の具体例

1) 大型炉について

コスト低減を積極的に行なっているプラントの中で、最も設計作業の進んでいるSPX2のコスト低減策を具体例として要約する。

○ SPX2におけるコスト低減⁽²⁾の柱は、

- (1) 電気出力の増大(スケールメリット)
- (2) プラント全体の小型化
- (3) 系統の簡素化
- (4) 機器の小型化

による建設費低減と言われている。また、燃焼度もSPX1に較べればかなり高くなっており、燃料サイクル費の低減と燃料交換間隔の長期化による経済効果がある。

主要な設計成果をSPX1との比較で示すと、

- (1) 角型原子炉建屋採用に伴う機器配置のコンパクト化などにより、原子炉施設建屋の投影面積及び体積が大巾に削減されている。(図6)
- (2) 電気出力が150万kWとSPX1より20%も増加したが、原子炉容器の直径は逆に1m減少し、重量も大巾削減された。これには1次系ポンプのコンパクト化や燃料交換機の改良が寄与している。(図7)
- (3) 2次ナトリウム系は冷却系機器配置のコンパクト化や補助ナトリウム系の合理化などにより配管長がSPX1の60%以下になっている。(図8)
- (4) 使用済燃料は炉内貯蔵することにし、大型の炉外燃料貯蔵タンクは小型の中継

ピットに置換えられて大巾に簡素化された。(図9)

(5) 1次及び2次ナトリウム系のポンプ、中間熱交換器、蒸気発生器などの機器

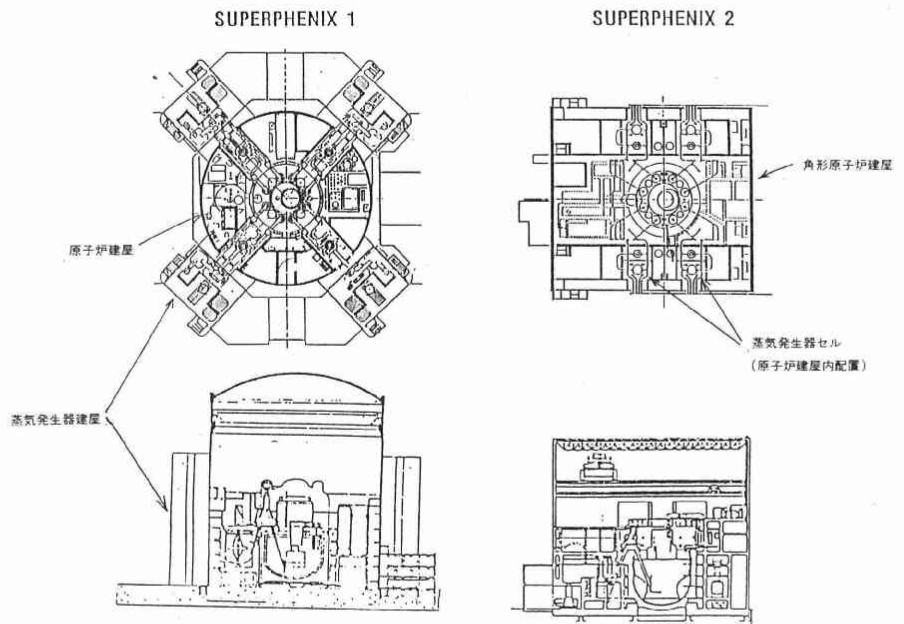


図6 SPX1及びSPX2の原子炉及び蒸気発生器建屋

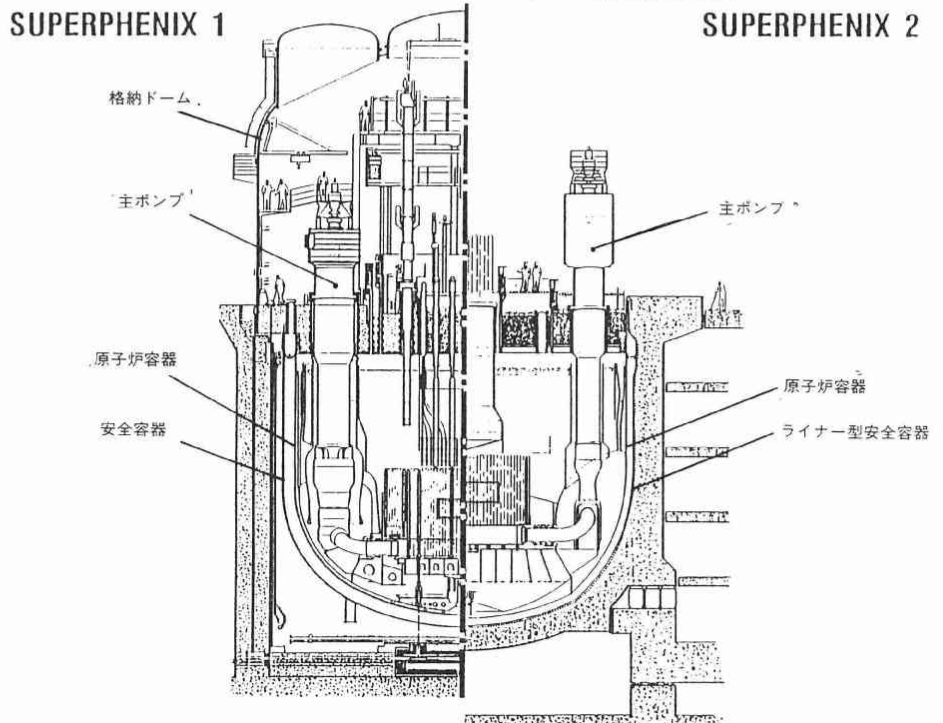


図7 SPX1とSPX2の原子炉ブロック比較

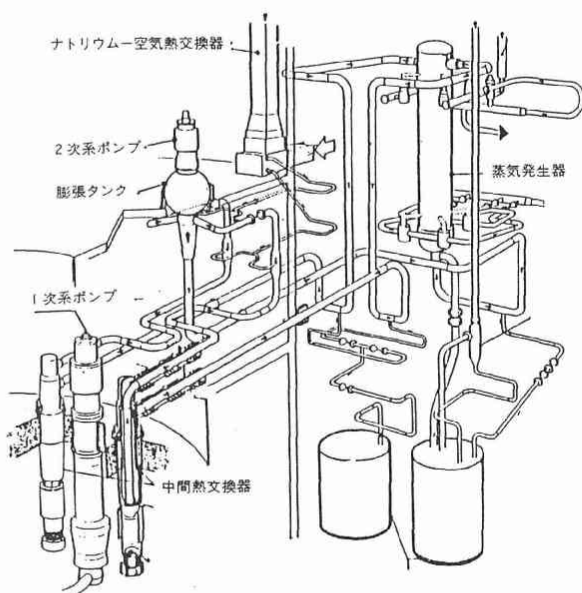
については構造設計を合理的に行い、様々の設計工夫を施すことによってコンパクト化を図っている。

など多くの点で積極的な改良を達成しており、その他にも、燃料設計・遮へい設計・炉心設

計の改良による炉心のコンパクト化や燃焼度の改善、免震構造の採用による立地への配慮など見るべき点が多々ある。SPX1との物量等の比較数値を表4に示す。

フランスの説明によればSPX2は建設決

SUPERPHENIX 1



SUPERPHENIX 2

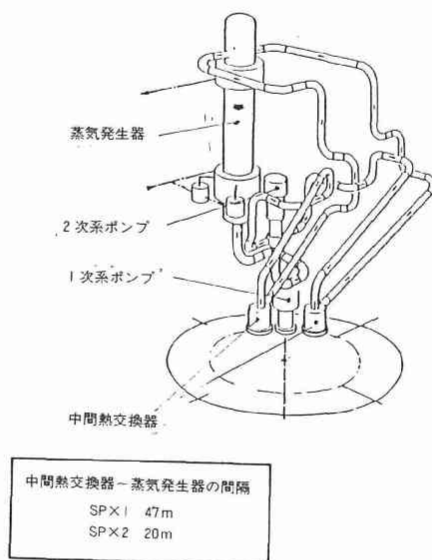
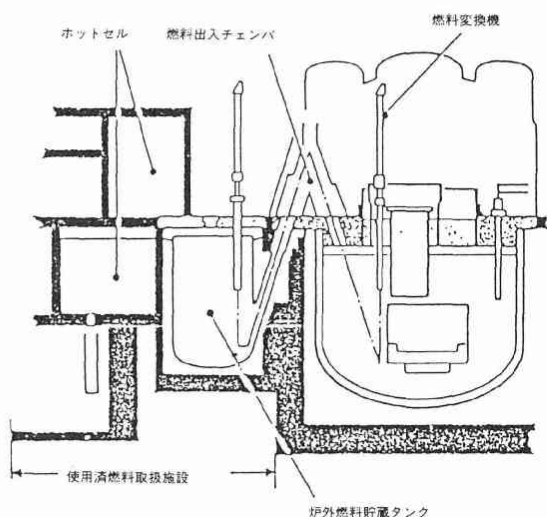


図8 SPX1とSPX2の中間冷却系比較

Superphenix 1



Superphenix 2

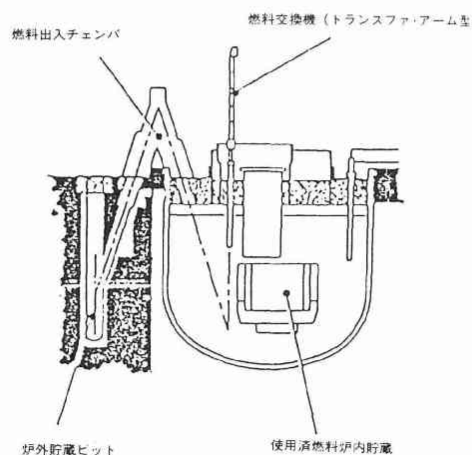


図9 燃料取扱及び貯蔵系の比較

表4 SPX1と比較したSPX2の物量削減

原子炉・蒸気発生器建屋	面積	0.65
原子炉・蒸気発生器建屋	容積	0.6
原子炉・蒸気発生器建屋	コンクリート量	0.5
原子炉施設の鋼材量		0.7
原子炉ブロック	重量	0.52
燃料交換系・貯蔵系	"	0.21
中間冷却系・補助系	"	0.55
主ナトリウムポンプ (1次及び2次系)	"	0.44
中間熱交換器及び蒸 気発生器	"	0.80

(注) (1) SPX2, 1984年時点の設計による。

(2) 各数値は発電電力量当りの量のSPX1との比を示す。

定を1986年に行う事を目標に設計が進められてきており、技術の実証のための期間を考慮して設計選択を行ったため、SPX1に比べて完全に新しい設計のものは採用されておらず、基本的な技術は同一であるとされている。SPX1の設計時点では、R&Dからの情報が限られていたために、非常に保守的な設計をせざるを得なかったが、現在ではR&D経験の蓄積によって得られた知見が安全設計や構造設計の保守性を削減することを可能とし、この立場でプラントシステムを見直すことにより、全体的により合理的な設計ができるようになったものと言える。以上の事がSPX2におけるコスト低減の基礎であり、R&Dデータの寄与が重要である事を示している。

○日本や西独、英国での設計研究においても、考え方や設計選択にSPX2と共通のものかなりあるが、それぞれの国で特徴がある。例えば、日本では耐震条件が厳しい環境にあることから、埋込方式による床応答の低減方策や軸方向非均質炉心による地震時の反応度変化の低減が研究されている。また炉型概念についてもループ型では合理化設計研究

でノズルレス方式という新しい概念による大巾な配管短縮と全体のコンパクト化が提案されている。タンク型ではタンク型実証炉の合理化設計概念とは別に二重タンク型という新しい概念も提案され、より長期的に将来の炉型の可能性の一つとして検討されている⁽²⁾。

2) 中小型炉について

米国において中小型炉が提案されている背景は以下のようなものである。(1)米国では電力会社の多くが小規模であり、しかも電力需要の伸びが低下しているので、30万kW程度の小容量プラントを需要に合わせて増設した方が利用率を損なわない。(2)また金利が高いので、初期投資が大きく建設期間の長い大型炉よりも中小型炉の方が有利な点があり、投資リスクも軽減できる。

しかし、原子力発電プラントは一般にスケール効果により大容量の方が経済的に有利であり、上述のメリットだけでは必ずしも十分でない。最近の中小型炉の提案では、中小型炉独自の特徴を活かした設計により経済性を高めることが研究されている。

例えば、GE社の提案しているPRISM (Power Reactor Inherently Safe Module) における考え方は、

- (1) プラントの出力は小型炉固有の特質を失わない最大の値とし、この特質を安全系の量と複雑さの低減に活用する。
- (2) モジュール化によって工場生産部分を増大し、現場の建設とQA/QC作業を最小限にする。
- (3) 設計を標準化してフルスケールでの安全テストによって安全性を実証し、開発コストを最小限にする。

と説明されている。図10に概念図を示すが、

固有の特質として、崩壊熱除去は格納容器回りの空気の自然対流だけで可能である等の点があり、直接炉心冷却系などの大型炉に用いられる安全系のいくつかは簡単な構造で置換えられるとされる。また格納容器内の原子炉構造は工場で製作し、現地へは鉄道、道路等で輸送して据付ければ良く、大巾な建設期間短縮が可能であると言われる。

図11は累積コストに関する説明であり、大容量発電所を建設する場合、原子炉3基とタービン発電設備1基で1つのセットを構成し(図12)、1セットが完成した時点から資本回収が可能なので金利負担が大巾に低減されるものとしている。

社会・経済環境の異なる日本では中小型炉に

関する経済性の主張がそのまま通用しない面があると思われるが、今後の動向は興味深いものがある。

4. 結 び

FBRの経済性についての見通しとこれに関わるFBRの特徴及び開発の動向についてのあらましをまとめた。紙面の都合もあって設計の具体的な説明を省略せざるを得なかったが、文末文献を参照して頂きたいと思う。

エネルギー自立の観点からFBR開発の意義が失われる事はないが、早期の実用化については経済性の向上が大きな意味を持っている。開発各国はそれぞれにコスト低減のため

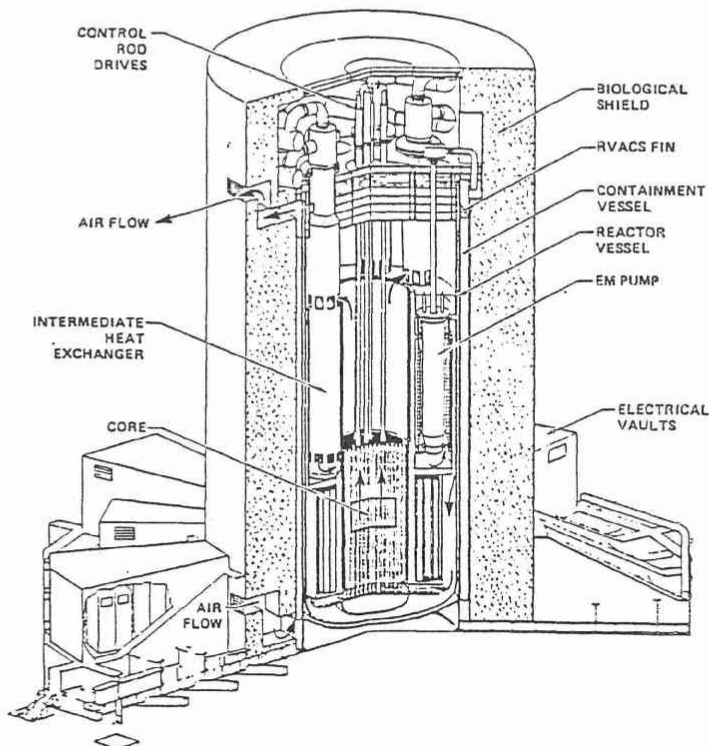


図10 PRISMの原子炉モジュール

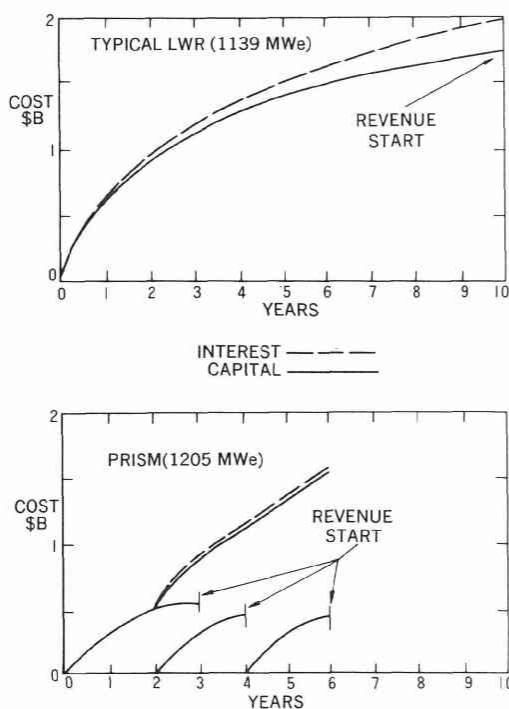


図11 PRISMとLWRの発電所建設費累積比較

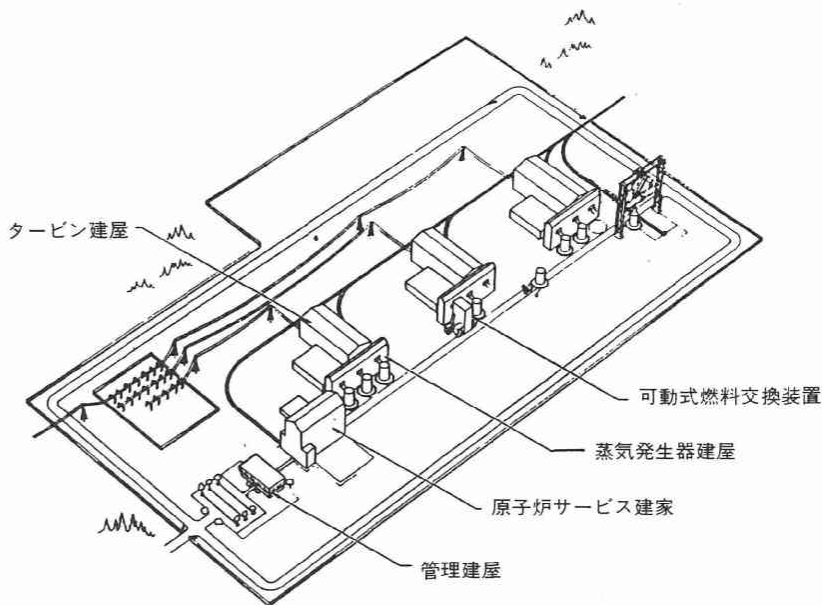


図12 PRISM発電所の概念図 (120万 kW)

の意欲的な研究を行っており、かなりの見通しも得られているという事ができる。しかし、これを確実なものとする為には、着実な努力

と経験の積重ねが今後とも必要である。またコスト低減の方向には各国に共通したものが多く、種々の面で国際協力が期待されるところである。(いとう まさひこ 主任研究員)

引用文献

- (1) Nuclear Power and Fuel Cycle Data NEA/OECD, Brown Book '85
- (2) Proceedings of the IAE International Symposium on LMFBR Development Nov.6~9, 1984
- (3) International Symposium on Fast Breeder Reactors-Experience and Future Trend, July 22-26, 1985, IAEA
- (4) D'après Philippe Lorino, Surgénéral; le point de vue économique, Annales de Mines, 1984. 1
- (5) J.H. Crowley et al., Main Directions of

Decreasing the Capital Costs of LMFBRs, 一上記(3)の会議ペーパー

- (6) G.W. Meyers et al., Design Modifica-

- tions That Reduce Cost for Liquid Metal Pool Power Plants—上に同じ
- (7) W. H. Arnold, et al., a Low Cost Approach to Liquid Metal Reactor (LMR) Plant Design—上に同じ
- (8) M.Köler et al., Design Approach and R&D Contribution for the SNR2—上に同じ
- (9) R.D. Vaughn, Viewpoints of European Manufacturers on Cost Reduction—Commercial Objectives of the Fast Reactor—上記(2)の会議ペーパー
- (10) 火力原子力発電, Vol.36 No.4, 電気事業連合会高速増殖炉開発準備室
- 「高速増殖実証炉 (ループ型) 概念設計」
- (11) H.Nakagawa et al., Design of an Economical New-Concept Loop Type 1000MWe FBR—上記(3)の会議ペーパー
- (12) H.Nakagawa et al., Design Features of Economical LMFBR Pool Plant by Utilities' Study in Japan—上に同じ
- (13) Baumier et al., Revue de l'Energie, 1981, 7/8
- (14) R.H. Allardise, Britain confident on FBR fuel cycle costs, Nuclear Engineering Int. NOV. 1984
- (15) 日本開発銀行, 調査, 77号, 昭和59年11月

新たな国際問題に直面する わが国の経済社会

谷 弘 一

本稿は、昭和60年11月5日開催の当研究所第6回評議員会での講演速記をもとに著者に加筆、訂正をお願いしたものです。なお、文中の見出しは、著者のご了解をえて、編集担当がつけました。

はじめに

ただ今ご紹介にあずかりました経済企画庁総合計画局の谷と申します。今日は、「新たな国際問題に直面するわが国の経済社会」という、大変大きなテーマでお話することになっております。この問題はいろいろ多岐にわたる問題でございますので、私のお話できることは、多分、大きな問題の中の一部になるのではないかと考えております。われわれ経済企画庁で経済計画を作っております者が、国際化という問題についてどういうことを考えているか、ということをお話させていただければと思っております。

貿易摩擦の意味

現在、国際問題あるいは国際化というような問題の切り口として、一般にすぐ頭に浮んできますのは、日本の国際収支が非常に大きな黒字を作っておるということでございま

す。59年度、昨年度の実績でいうと、日本の貿易収支、物の取引でございますけれども、これの収支の黒字が456億ドルということで、GNPの3.7%、ほぼ4%ぐらいをこれで稼いでいる。これが大変な通商摩擦の問題になっているということで、国際収支の不均衡という問題が、日本の国際化への入口を騒然とさせているわけです。

国際収支の不均衡ということなのですから、皆さんご存じのように国際収支というのは全部の収支尻合せをしますと、バランスするようになっているわけです。それが、何故不均衡と評価しなければならないのか、がまず考えられなければならない点です。これは、単純化して言えば、対米不均衡ということでありまして、アメリカとの関係において日本のバランスがよくない。この問題の解決をアメリカから強く要請されているということでございます。そういう意味で、エネルギー危機、あるいはその前の高度成長の時代と比べますと、世界と日本の関係が急に変ってきています。日本のやっていることが、世界にどんなインパクトがあるかということがかなり問題になるという時代に、どうも入りかけているのではないかというふうに感じられ

ます。

長期的視点からみた国際収支構造

日本の貿易黒字がなぜ出てしまうのか、黒字が出ると、なぜ世界、とくに現在の場合アメリカがそれを大きな問題として取り上げるのかというようなことが問題の出発点になるわけでございます。

表1と2にアメリカとイギリスの長期的な国際収支の構造というのが出ております。

まずアメリカ(表1)について1790年からつい最近の1980年ぐらいまでのほぼ200年ぐらゐの国際収支の実績を並べてあります。Balance on Goods and Services, いわゆる貿易と貿易外を一緒にしたものです、これを見ると、1900年頃を境に、今世紀以前はマイ

表1 アメリカの海外取引

(百万ドル)

Year	Balance on Goods and Services	Balance on Services Trade	Net Income on Foreign Investments	Net Unilateral Transfers	Balance on Current account	Private Direct Long-Term Capital Flows
1790	-1	2	-4	—	-1	—
95	-12	13	-4	-1	-13	—
1800	-2	17	-5	—	-2	—
5	-10	21	-4	—	-10	—
10	7	30	-6	—	7	—
15	-15	15	-4	—	-15	—
20	1	6	-5	1	2	—
25	6	2	-5	1	7	—
30	6	3	-5	2	8	—
35	-33	-2	-7	3	-30	—
40	26	2	-12	4	30	—
45	-2	3	-9	6	4	—
50	-44	-12	-12	16	-28	—
55	-22	-29	-22	8	-14	—
60	-1	-26	-25	8	7	—
65	-64	-69	-45	5	-59	—
70	-101	-99	-80	-6	-100	—
75	-99	-133	-99	-14	-113	—
80	114	-121	-79	-4	110	—
85	12	-145	-86	-27	-15	—
90	-150	-205	-125	-45	-195	—
95	-127	-208	-126	-55	-182	—
1900	507	-247	-99	-95	412	-56
5	298	-238	-69	-133	165	-46
10	46	-340	-64	-204	-158	-124
15	1,748	-125	64	-150	1,596	—
20	3,523	426	476	-679	2,844	-154
25	1,087	367	742	-403	684	-268
30	1,032	207	745	-342	690	-294
35	128	186	366	-182	-54	34
40	1,719	293	354	-210	1,509	32
45	6,041	-1,187	358	-7,113	-1,072	-100
50	1,892	770	1,460	-4,017	-2,125	-621
55	2,153	-744	2,297	-2,490	-345	-823
60	4,107	-799	2,841	-2,292	1,815	-1,674
65	7,098	2,156	5,295	-2,836	4,262	-3,468
70	5,625	3,022	6,231	-3,294	2,331	-6,126
75	22,729	13,826	12,787	-4,613	18,116	-11,641
80	8,975	34,487	30,443	-7,077	1,898	-2,330

表2 イギリスの海外取引

(百万ポンド)

Year	Merchandise Trade	Overseas Investment Earnings	Invisible Trade	Current Balance
1820	-7.4	2.6	13.4	8.4
25	-26.5	5.7	17.8	-3.0
30	-12.0	3.9	12.2	4.1
35	-11.4	7.8	15.5	11.9
40	-29.8	7.1	19.5	-3.2
45	-19.0	9.7	19.6	10.3
50	-19.6	9.4	21.8	11.6
55	-25.9	12.9	34.7	21.7
60	-45.5	18.7	48.0	21.2
65	-51.2	24.1	68.4	41.3
70	-57.5	35.3	76.8	54.6
75	-90.5	57.8	89.6	56.9
80	-121.1	57.7	96.4	33.0
85	-98.5	70.3	90.7	62.5
90	-86.3	94.0	99.6	107.3
95	-126.5	93.6	87.8	54.9
1900	-167.0	103.6	109.1	45.7
5	-155.9	123.5	120.1	87.7
10	-142.7	170.0	146.7	174.0
15	-367.9	—	—	—
20	-386.0	200.0	395.0	209.0
25	-393.0	250.0	199.0	-14.0
30	-386.0	220.0	194.0	28.0
35	-275.0	185.0	108.0	18.0
40	-714.9	—	—	—
45	-1,032.3	—	—	—
50	-136.0	159.0	274.0	297.0
55	-356.0	77.0	206.0	-73.0
60	-401.0	233.0	-60.0	-228.0
65	-260.0	435.0	-205.0	-30.0
70	-34.0	554.0	303.0	823.0
75	-3,333.0	763.0	1,047.0	-1,523.0
80	1,513.0	-161.0	2,277.0	3,629.0

ナスであったものが、今世紀に入ってからアメリカは大きな貿易と貿易外の収支の黒字を記録し始める。この黒字をなにに使っていたかというようなことを見ますと、そこに Net Unilateral Transfers, 要するに経済協力なんかを含めた移転支出があって黒字をそちらの方に使っていたという格好になっています。

次に、イギリスの海外取引を見ると(表2)、1820年からですが、当時からイギリスというのは物の取引、貿易収支ではほぼずっとマイ

ナスであった。これをなんでカバーしていたかということ、一つは海外へ投資した分の上がり、Overseas Investment Earnings, これでプラスになる。そのほかに Invisible Trade というのがありまして、運賃、保険収入でありますとか、そんなものでプラスを稼いで、Current のバランスではかなりのプラスを出す。1800年あるいは1900年代の前半、第2次世界大戦直後ぐらいまでについていえば、基本的に、貿易収支でマイナスを出しながら、海外への投資からの収入とか、運賃とか、保険とか、金融とか、そういったもので相当の収入を上げて、経常の黒字を作ってきたということです。

同じ黒字でも、イギリスの出し方とアメリカの出し方が違っていて、アメリカの場合には、貿易と貿易外で黒字を出しながら、これを transfer, 経済協力とか、戦後のマーシャル・プランとか経済協力とか、そういう面の支出に振り向ける形になっている。考えてみますと、これだけ黒字があって、イギリスなりアメリカなり、これを原資に世界経済をやってきたわけです。なんといっても、アメリカは、今世紀最初からそういう経験をもっている。イギリスは200年近い経常収支の黒字、要するに稼いだものの使い方について、いろんな使い方の蓄積をしてきている。

日本は、高度成長期に入って、1965年ぐらいから経常収支黒字の時代に入ったということです。そういう意味では、アメリカに対してどうしても70年ぐらい遅れているし、イギリスに対しては150~60年ぐらい遅れているというようなことです。そういう日本になったということですが、これまでのアメリカ型をそのまま踏襲していくのか、あるいはイギ

リス型を踏襲するようになるのかということについて、なかなかこれまでの知恵が参考に

ならなくなっているのではないかと思います。そういう意味では、刻一刻、日本だけで

5

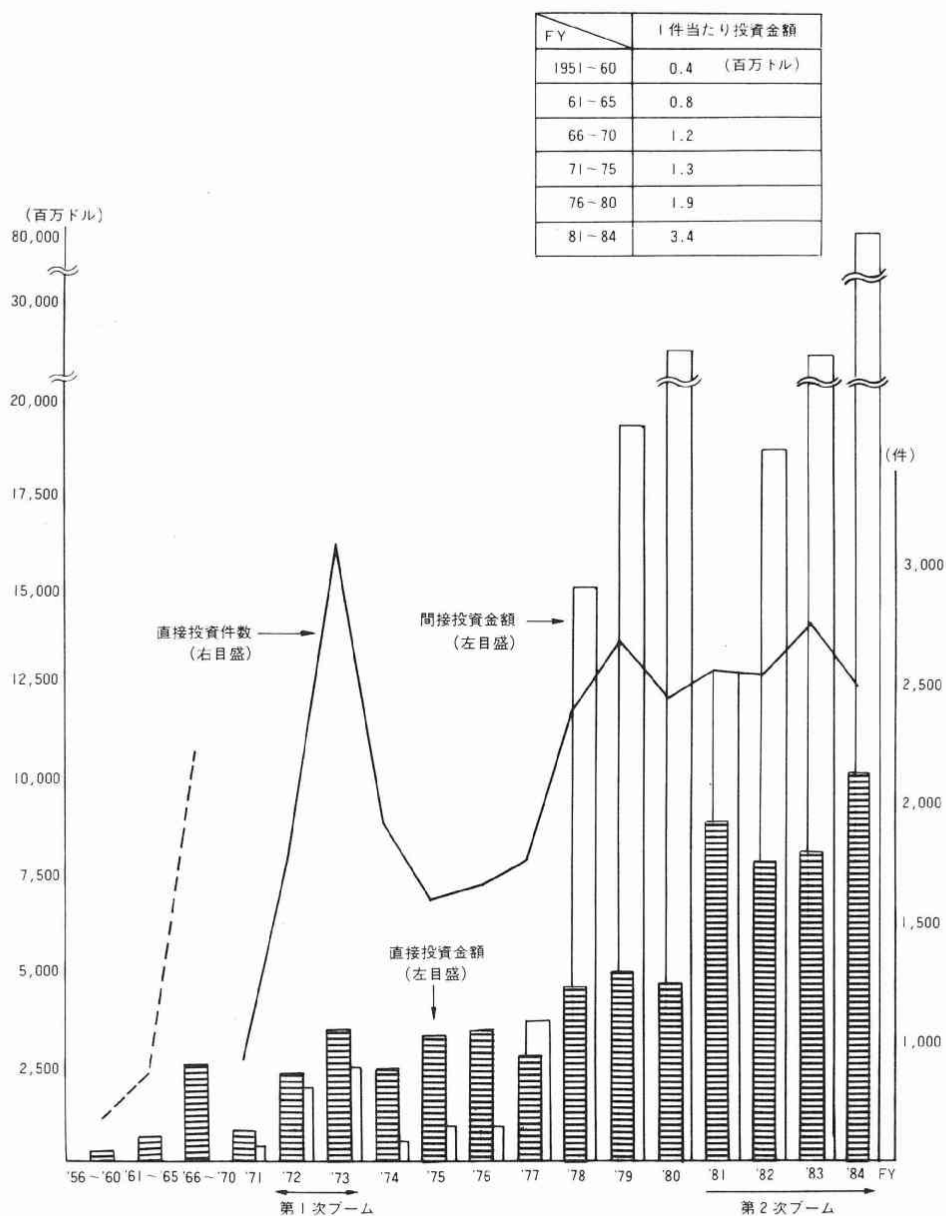


図1 我が国の海外投資の推移

(注) 間接投資については、外為法が改正された1980年12月以降政府短期証券、円建外貨債の国内募集分が、除かれている。

出所：大蔵省「財政金融統計月報」

なくて世界全体が新しい時代に入ってきている。

国際化—受け手から出し手へ

一般に、国際化ということを書いておりまして、どういう意味かむずかしいのですが、「国際的に化ける」という意味があるかと思っています。明治の初めの時から、あるいは鎖国も含めて、あるいはもっとさかのぼると奈良時代、あるいは古墳の時代から、ある意味でずっと海外との関係というのはそれなりに持ってきているので、そういう意味で国際化してない時代というのはないというふうにも考えられます。

明治以降あるいは戦後というような時期で考えますと、日本の国際化の局面は、1970年代を境に大きく変化しているという見方もできるのではないかと思います。外国から進ん

だ製品、技術あるいは資本を貰うという、海外から多面的な transfer を受ける、日本としては受身の transfer の時代が、明治から高度成長の終わりの1970年代まで続いていた。現在、そういった受身の国際化の時代から、日本の輸出が海外で大きな摩擦まで起こし、貿易取引だけでなく資本の輸出あるいは技術の輸出を行い、日本が「出し手」という格好での国際化の時代に入っていこうとしています。

皆さんも十分ご存じのことでしょうが、図1は「我が国の海外投資の推移」です。左側にあります横縞の部分の直接投資、白い部分が金融債を買うとか、銀行に預けるとか、そういう海外への間接投資活動、そういう二つの流れが急拡大してきています。直接投資と大きな間接投資の組合せができてきています。貿易の面では通商摩擦問題が大きく

表3 主要国の技術貿易の推移

(単位: 億円)

国名 年	日 本			米 国			イ ギ リ ス			フ ラ ン ス			西 ド イ ツ		
	輸 出	輸 入	収支比	輸 出	輸 入	収支比	輸 出	輸 入	収支比	輸 出	輸 入	収支比	輸 出	輸 入	収支比
1970	197.0	1,479.0	0.133	7,642	806	9.48	978	912.8	1.07	242.9	717	0.339	426.2	1,095.9	0.389
1971	213.1	1,638.2	0.130	8,296	842	9.85	1,001.8	938	1.07	237	796.1	0.298	518.4	1,312.9	0.395
1972	212.2	1,655.5	0.128	7,780	891	8.73	1,026.3	929.9	1.1	256.6	857.6	0.299	609.5	1,314	0.464
1973	230.9	1,850.3	0.125	8,208	1,046	7.85	1,113.4	950.8	1.17	375.8	1,074.2	0.35	585.6	1,461.9	0.401
1974	324.2	2,152.8	0.151	10,469	1,011	10.36	1,357.5	1,207.2	1.12	449.9	1,170.7	0.384	766.4	1,703.2	0.45
1975	421.5	2,068.7	0.204	11,896	1,404	8.47	1,462.5	1,436.8	1.02	580.2	1,526	0.38	913.2	2,162.9	0.422
1976	519.1	2,372.8	0.219	12,113	1,430	8.47	1,782.5	1,415.6	1.26	608	1,730.3	0.351	857.4	2,056.3	0.417
1977	547.7	2,647.4	0.207	12,091	1,165	10.38	1,697.6	1,389.7	1.22	761.3	1,465.7	0.519	899.6	2,191.2	0.411
1978	591.2	2,459.6	0.240	11,176	1,283	8.71	1,565.1	1,315.1	1.19	729.8	1,426.9	0.511	905.2	2,029.4	0.446
1979	703.3	2,791.3	0.252	12,592	1,674	7.52	1,897.3	1,472.8	1.29	935.9	1,763.7	0.531	1,077.2	2,333.8	0.462
1980	802.5	3,010.6	0.267	15,001	1,727	8.68	2,318.4	1,866.3	1.24	1,125	2,327.9	0.483	1,261.1	2,593.3	0.486
1981	1,062.5	3,794.8	0.280	15,252	1,528	9.98	2,250.3	1,775.8	1.27	1,086.7	2,083.8	0.522	1,088.5	2,091.1	0.511
1982	1,392.5	4,369.2	0.319	17,783	839	21.18				938.2	2,249.9	0.417			
1983	1,351.4	4,707.3	0.287	18,195	1,313	13.85									

注) 1. 邦貨への換算は IMF 「International Financial Statistics」の年平均相場による。

2. 米国の1982及び1983年は、輸出額に映画フィルムの貸出料を含む。

資料: 日 本 日本銀行「国際収支統計月報」

米 国 Department of Commerce 「Survey of Current Business」 NBS 「Science Indicators-1982」

イギリス Department of Industry 「Business Monitor-Overseas Transactions」

西ドイツ Bundes Bank 「Monatsbericht des Deutsche Bundesbank」

フランス Ministère de l' Economie, des Finances et du Budget 「Statistiques le Etudes Financières」

(出典) 科学技術庁「外国技術導入年次報告」

表4 現地から見た日本技術の比重（件数・累積ベース）

	韓 国	台 湾	香 港 ⁽¹⁾	シンガポール ⁽²⁾	タ イ	マレーシア ⁽³⁾	イ ン ド
期 間	1962～83	1952～83	1970～82	～1983	～1981	1976～83	1957～83
日 本	1,486 件 (56.3%)	1,226 件 (65.5)	(13.0)	135 件 (25.0)	141 件 (36.4)	227 件 (31.3)	671 件 (8.5)
ア メ リ カ	609 (23.1)	401 (21.4)	(32.1)	132 (24.4)	73 (18.8)	75 (10.3)	1,550 (19.7)
イ ギ リ ス	97 (3.7)		(15.7)	51 (9.4)	30 (7.7)	96 (13.2)	1,759 (22.3)
西 ド イ ツ	127 (4.8)	206 (11.0)	(2.7)	32 (5.9)		54 (7.4)	1,411 (17.9)
フ ラ ン ス	73 (2.8)		(0.7)	5 (0.9)	144 (37.1)	18 (2.5)	386 (4.9)
そ の 他	249 (9.4)	38 (2.0)	(35.8)	186 (34.4)		255 (35.2)	2,107 (26.7)
合 計	2,641	1,871		541	388	725	7,884

(注) (1) 各国別投資金額の累計を100分比になおしたもの。

(2) 製造業に対する投資件数の累計。

(3) 技術供与契約のほか、マネジメント、合併、サービス、商標、特許、ベーシックエンジニアリング契約等を含む。

(出典) アジア経済研究所（経済企画庁委託）「日本と発展途上国との間の技術摩擦・貿易摩擦問題と今後の国際分業のあり方についての調査」60年3月

なっておりますけれども、その裏でかなり大きな海外への投資が動き始めている。貿易以外にも、資本面のおつき合い国際化、あるいは出し手としての役割の多角化が急速に進んできているわけです。

技術貿易の動き

貿易、物の取引以外に、そういう技術や資本の取引のウェイトが大きくなっているということなのですが、それらが一体どんな格好で行なわれるのかというようなことです。表3に主要国の技術貿易の推移というのがありまして、一番左端に日本があるわけですが、比率をとると技術輸出の伸びが高くなっていることが分ります。アメリカはもちろん収支比が1以上の大きな数字を示しておりますが、イギリスについても輸出の方が大きいわけです。それからフランス、西ドイツについてみると輸入の方が大きいということで、世

界構造としてはイギリスとアメリカが技術の出し手で、あとはみな受け手になっている。その中でフランスとか西ドイツ等、日本も含めまして技術の輸出の上昇のテンポが輸入より大きいというような格好になっております。

日本からの技術がどこで使われているのか、あるいはどこが導入しているのかというようなことを表4に示しました。東南アジア諸国において高いウェイトで導入されているということでもあります。

直接投資の動き

日本の対外投資が高くなっているわけですが、日本の直接投資というのは、基本的には先進国寄りに流れるという傾向がある。その中で北米、欧州、大洋州、それぞれにかなりな伸びを示しています。（表5-1）

発展途上国についてみますと、発展途上国

表 5-1 対外資本形成：わが国の地域別海外直接投資〈届出ベース〉

(単位：百万ドル，%)

年 度 地 域	1951～64累計	1965～69累計	1970～74累計	1975～79累計	1980～84累計	1951～84累計
先 進 国 合 計	225 (28.5)	959 (50.9)	4,762 (47.7)	8,229 (43.0)	20,087 (50.7)	34,259 (48.0)
北 米	197 (24.9)	524 (27.8)	2,291 (22.9)	5,191 (27.1)	13,268 (33.5)	21,469 (30.1)
欧 州	21 (2.7)	284 (15.1)	1,880 (18.8)	1,708 (8.9)	5,179 (13.1)	9,072 (12.7)
大 洋 州	7 (0.9)	151 (8.0)	591 (5.9)	1,330 (6.9)	1,641 (4.1)	3,718 (5.2)
発展途上国 合 計	565 (71.5)	923 (49.0)	5,228 (52.3)	10,915 (57.0)	19,540 (49.3)	37,172 (52.0)
中 南 米	219 (27.7)	301 (16.0)	1,989 (19.9)	3,071 (16.0)	7,440 (18.8)	13,020 (18.2)
ア ジ ア	153 (19.4)	431 (22.9)	2,535 (25.4)	5,526 (28.9)	9,383 (23.7)	18,027 (25.2)
中 近 東	184 (23.3)	122 (6.5)	474 (4.7)	1,321 (6.9)	826 (2.1)	2,927 (4.1)
ア フ リ カ	9 (1.1)	69 (3.7)	230 (2.3)	997 (5.2)	1,891 (4.8)	3,198 (4.5)
合 計	790 (100.0)	1,883 (100.0)	9,989 (100.0)	19,141 (100.0)	39,627 (100.0)	71,431 (100.0)

(注) () 内は構成比である。

(出所) 大蔵省資料

表 5-2 対外資本形成：わが国の業種別海外直接投資〈届出ベース〉

(単位：百万ドル，%)

年 度 地 域	1951～64累計	1965～69累計	1970～74累計	1975～79累計	1980～84累計	1951～84累計
製 造 業	292 (37.0)	401 (21.3)	3,421 (34.2)	6,754 (35.3)	11,180 (28.2)	22,048 (30.9)
鉱 業	88 (11.1)	508 (27.0)	2,559 (25.6)	3,349 (17.5)	4,650 (11.7)	11,158 (15.6)
商 業	68 (8.6)	267 (14.2)	1,204 (12.1)	3,073 (16.1)	6,516 (16.4)	11,128 (15.6)
金 融・保 険 業	40 (5.1)	191 (10.1)	760 (7.6)	1,057 (5.5)	5,008 (12.6)	7,054 (9.9)
そ の 他	302 (38.2)	516 (27.4)	2,045 (20.5)	4,908 (25.6)	12,273 (31.0)	20,043 (28.1)
合 計	790 (100.0)	1,883 (100.0)	9,989 (100.0)	19,141 (100.0)	39,627 (100.0)	71,431 (100.0)

(注) () 内は構成比である。

(出所) 大蔵省資料

への直接投資は、51年からの累積ですが、71.5%という数字だったのが、最近の累積でとると、49.3%に落ちている。そのなかでは対アジア向けというのはかなり堅調な動きを示しているようです。日本の技術貿易につきましては東南アジアに向かっている、一方の直接

投資については先進国に向かうという格好がどうも出ているということでもあります。

次の表 5-2 にその直接投資の業種別のウェイトというのがございまして、これを見ると、意外に日本の直接投資というのが、商業でありますとか、あるいは金融面・保険とい

表6 世界のGNPに占める各国のシェアの推移

(単位: %)

国	年	1955	1960	1970	1978	1980
日本		2.2	2.9	6.0	10.0	9.0
アメリカ		36.3	33.7	30.2	21.8	21.5
EC		17.5	17.5	19.3	20.2	22.4
ソ連		13.9	15.2	15.9	13.0	11.6
中国		4.4	4.7	4.9	4.6	4.7
世界計 (十億ドル)		100.0 (1,100)	100.0 (1,500)	100.0 (3,250)	100.0 (9,660)	100.0 (12,215)

(備考) 1955～1970年は、アメリカ政府「大統領国際経済報告」(1977年)、1978年以降はアメリカ政府「大統領経済報告」(1980年、1982年)による。

うようなどちらかというところ、ロジスティックと申しますか、生産以外の面に直接投資が集中するというような傾向があるということでもあります。この商業とか金融・保険に直接投資のかなりのウェイトがかかるというのは、考えてみるとある意味で、イギリス型の感じもしないことはない。

新しい時代への移行—対応の模索

要するに、国際的に日本がいろんなものを出していく。物として出ていくという面と同様に資本あるいは技術も世界に相当出ていく。もちろんその裏には世界の需要があるわけですが、そういう時代に日本が入ってきている。入って行こうとして最初に皮肉なことにアメリカへ輸出がたくさん出るといふ摩擦問題という格好で問題が出ちゃったというわけです。考えなきゃならないのは、先ほど申しましたように、日本のやっていること、あるいは日本が出し手となったときに相手はどう受け取るかということが、日本の経済運営にとって非常に大きな問題になっていくというような時点にきております。

かつて高度成長の時代に、日本のその時代の国際化を象徴するできごとが、皆さんのエ

ネルギー関係で起っています。昭和30年代、日本では国内炭から石油の輸入に切り替えるという大事業が行なわれました。政策的な大転換の結果として、粗い数字ですが、30万人の炭鉱労働者がたしか10年間に10万人ぐらいに減った。そういった大英断と申しますか、大きな政策の転換が、その時代の国際化の一つの対応の仕方だったのだと思います。今我々の対応の仕方というのがどういふものなのか、アメリカとの摩擦という問題の中で手探りで、今、探しているというような状況ではないかと思えます。

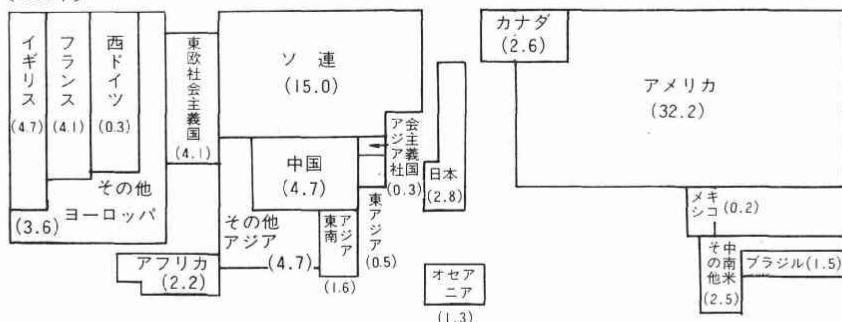
日米の認識のギャップ

表6は非常に象徴的な表であります。1955年の世界のGNPに占める各国のシェアがでておりますが、日本が2.2%、アメリカが36.3%というように並んでおります。これは割ってみれば、日本とアメリカというのは1対18ぐらゐの差があったということです。昭和30年鳩山内閣ができた当時だと思いますが、当時の日本から見るとアメリカは18倍の大きさを持っていた。それが1980年、5年前には日本が9.0でアメリカが21.5ということですから、1対2ということで、アメリカは日本の

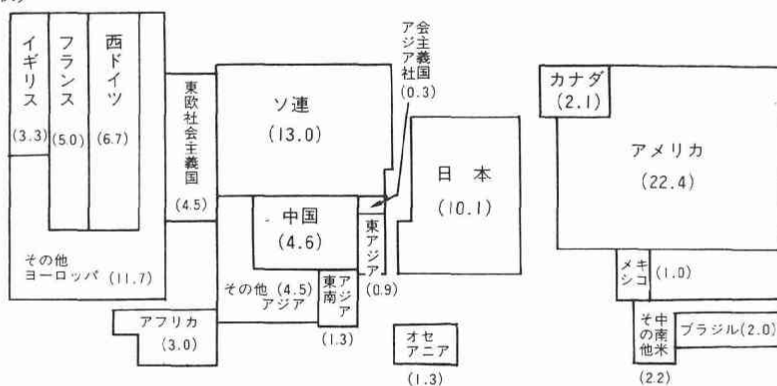
2倍ぐらいにしか過ぎない。アメリカからみると1/18だったものが1/2になった。時間

としてはただか25年しか経っていないといふことです。要するに日本からみるとアメリ

〔1960年〕



〔現状〕



〔2000年〕

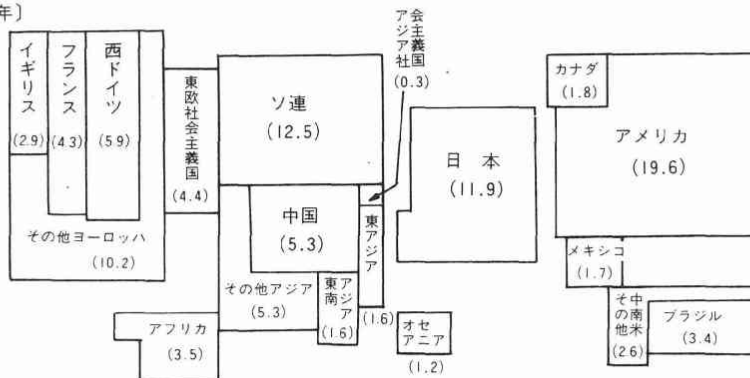


図2 世界経済地図 (単位: %)

- (備考) 1. 2000年における各国のGNPシェアについては、第2-1-5表による。
 2. グループ別のGNP成長率と、グループ内に属する個々の国の成長率とを同一のものとみなして示したものである。したがって、単純に国毎の比較を行うことは適当でない。
 3. () 内は世界全体のGNPに占めるシェアを示す。

カが昔より非常に小さく見えるようになった。逆にアメリカからみると、ちっぽけな日本が非常に大きく見えるようになった。日米の事実の変化に対する認識の遅れ、あるいは日米間の認識のギャップというのが相当に大きなものになっているのではないか、というようなことになると思います。

従って、国際経済摩擦、大き過ぎる対米輸出ということで、日本はその対応を一生懸命やっておるわけですが、アメリカの方でもアメリカなりになんとか対応しなきゃならないということで、両側で歩み寄りが始まる。しかし、そういう認識ギャップを埋めるのは非常に難しいと思います。認識より先に現実の方がどんどん先へいってしまう。認識と現実とのギャップが摩擦という形で現れる。これからの時代というのは多分そういう時代に入ったのではないかという感じがいたします。

そういう世界のGNPに占める各国のシェアの大きさを地図の面積で、図2に示してあります。我々はこうして両者を比較してみますが、実際には、日本からアメリカをみる、アメリカから日本をみるというようなことであるわけで、そのへんの見方の差がどういうふうにこれから落ちてくのかという

ところに大きな問題があるのではないかと思います。

相互依存の深化

表7は、世界の貿易額の規模の推移です。実質ベースというふうに断わってありますが、ここで世界のGNP、要するに世界の経済活動を足したものと世界の輸出のウェイトが書いてあるわけです。1960年、昭和35年世界のGNPに対しまして世界の貿易というのが7.4%という数字でありましたのが、1980年、ちょうど20年しか経っておりませんが、11.5%になっています。世界のGNP自身が年々拡大するわけですが、貿易はそれを超えて拡大します。これに金融取引ですとか、資本の取引を含めると過去の輸出と同じような格好で、絶対額は違うと思いますが、伸びは相対的に大きくなっています。

これを一般には相互依存関係の深化と呼んでいます。アメリカがなぜ輸出を一生懸命にやらないのかという理由に、一つはアメリカの国内市場が非常に大きいから、アメリカの企業は輸出に興味を持たないということをおっしゃいます。もう一つは、アメリカの貿易の決済というのは外貨でやなくてドルでやっていたらよろしいわけですから、外貨の間

表7 世界貿易規模の推移（実質ベース）

（単位：1970年ドル価格10億ドル）

年	1960	1965	1970	1975	1980
(A) 世界 G N P	1,975	2,543	3,250	3,929	4,679
(B) 世界 輸出 (F O B ベース)	146	205	314	404	536
世界輸出の世界GNP に対する比率 (B)／(A)	7.4%	8.1%	9.7%	10.3%	11.5%

（備考）世界GNP（実質ベース）は、アメリカ政府「変革期のソビエト経済」（1979年10月）及び「大統領経済報告」により、世界輸出（実質ベース）は、国連「国際貿易・開発統計便覧」（1979年）及び「月例統計報告」により経済企画庁総合計画局が作成した。

題がないということで、そういう意味でも赤字がたまってあまり危機感を持たないのだというような説明もあります。日本とアメリカでは、貿易の取引一つとってもその認識の仕方が違うというようなことでありまして、これは馬鹿とか利口とかいう問題ではなくて、経済の条件がそういうふうになって、そこからそういう認識が生れるということであります。

そういう一つの例として、農産物の貿易があります。農産物について言えば、日本はアメリカにとって最大のお客さんである。アメリカの農業にとりましては中国もお客さんであるし、ソ連もお客さんであるということです。ソ連がアメリカから農産物を買わないということになると、アメリカの農業が困るというような状況であります。逆に言うと、ソ連の食糧というのはアメリカに依存しているというような状況です。実際に、貿易の緊張と申しますか、貿易の相互依存関係というものが、すでに世界経済の中に built in されている。日本の経済は、世界経済にますます深く巻込まれていく、あるいは積極的に経済が動く結果、より多く相互依存関係の中に入っていく。誰もそこから逃げることはもうできないということではないかと思えます。

国際分業の変化

そういうことで、過去の国際分業の有為転変を見ようとしたのが、図3、4のグラフです。国際分業は、要するに、物が世界的に取引されることが世界経済の発展になる。あるいは技術の取引、あるいは資本の取引、あるいは物の取引が行なわれることが、世界の経済的な発展につながる。このことは、現在ほ

ひとつの自明の理になっておるわけです。その取引の仕方、あるいは国際取引の背後にある産業構造というものが、国によって時代によりずい分違うということです。図3には、イギリスとアメリカの例がでております。イギリスの織物と鉄鋼の輸出入の推移が示されています。そこでは輸出が輸入をかなり最初からオーバーするという格好になっています。アメリカをみてみますと、最初は織物についていうと、輸入が多くて輸出がそれを下回っているわけですが、1910年ぐらいのところからその織物で、アメリカは輸出が輸入をオーバーするという格好になっている。

鉄についても1900年ぐらいまで、あるいは1910年ぐらいまでみますと、点線の輸入の部分が輸出を上回っているわけですが、それ以後は織物と同じようにアメリカの場合は輸出が輸入をオーバーするということです。ところが第二次大戦後になって、輸入が増加し輸出入の比が再び逆転する。これは有名な雁行形態論というものでありますが、最初の産業革命をやったイギリスの場合には最初から輸出型の産業というものが育ってきている。後発国であります米国の場合には、最初に輸入が進んでそれを代替するという格好で国内産業の生産が進みまして、それから輸出が出てくるという格好になって、それがしばらく経つと、輸入がまた輸出を上回って、産業構造の転換が始まるという、アメリカの産業の場合典型的に三つの局面があるわけです。

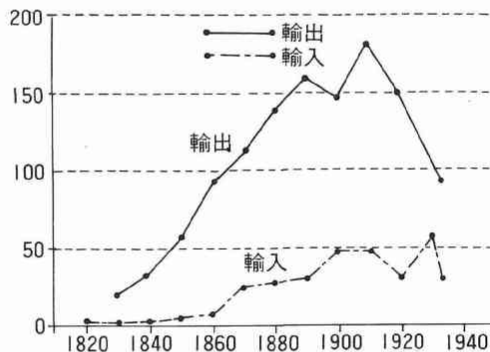
次の図4に移ると、日本のケースが出ております。綿製品については、早い時期に輸出産業に転換して、そしてしばらくしてから輸入が多くなってくる。綿製品の場合には1890年頃すでに輸出が輸入を上回る。それまでに

ついで言う、輸入がかなり大きなウェートを占めて国内市場を席巻していたというわけです。それから毛製品について言うと、1930年を過ぎてからはかなり輸出が輸入をオーバーするということですし、化繊の場合には新しい技術が入ってきて、急速に輸出産業へと転換して、生産は急傾斜のトレンドを示しているわけです。(図4-1)

そういうような動きが同じような化学品について見たのが図4-2で、マッチ等、これは急速に輸出商品になっております。あとは

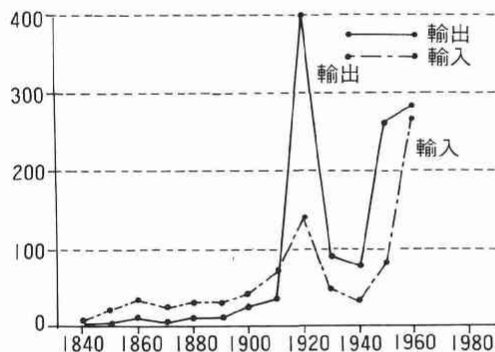
洋紙でありますとか、合成肥料でありますとか、硫酸というようなものについては、どうも戦前までは輸入のほうが輸出をオーバーしていたということで、それが戦後急速に輸出産業に転換する。それから新しい産業あるいは技術であります合成ゴムとかポリエチレンといった石油化学製品についていうと、先ほど戦前にありました化学繊維と同じように急速に立ち上がって輸出産業に転換していくというような動きがある。同じように金属・機械とかについて少し細かく見ておりますが

(1) 織物 (英国)



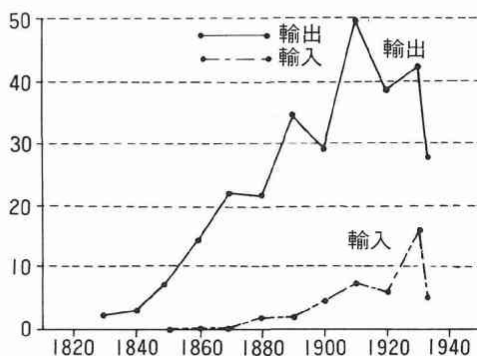
(資料) Werner Schlote, "British Overseas Trade From 1700 to the 1930 s" (1952)

(2) 織物 (米国)



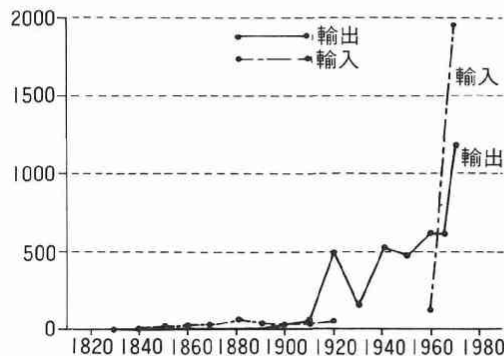
(資料) U. S. Department of Commerce, "Historical Statistics of the United States" (1975)

(3) 鉄鋼 (英国)



(資料) Werner Schlote, "British Overseas Trade From 1700 to the 1930 s" (1952)

(4) 鉄鋼 (米国)



(資料) U. S. Department of Commerce, "Historical statistics of the United States" (1975)

図3 国際分業と先進国産業の移行

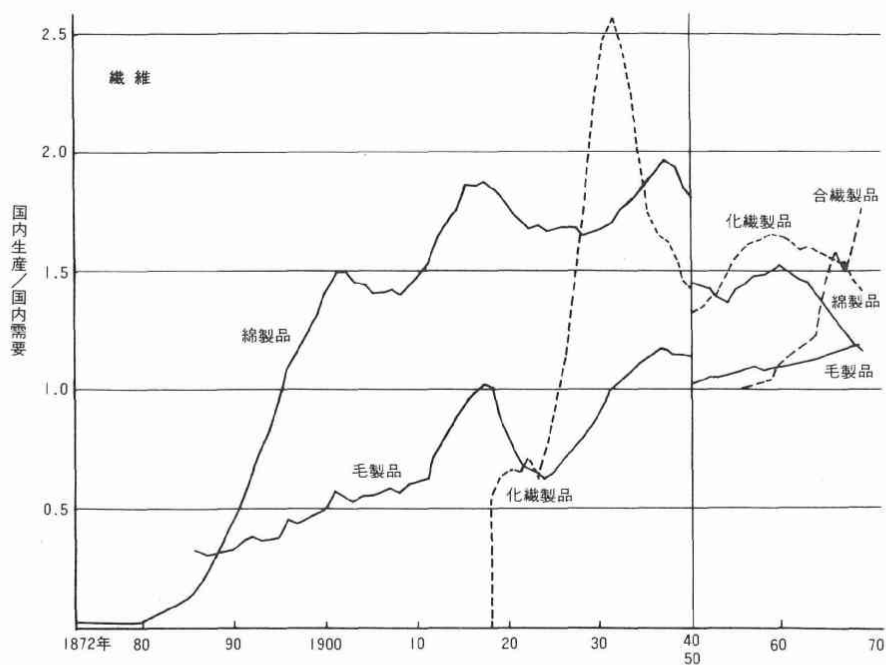


図 4-1 日本の産業の雁行形態的發展(1)

(出典) 山澤逸平「雁行形態的發展の産業間比較」

(世界経済研究協会編, 日本貿易の構造と發展, 昭47)

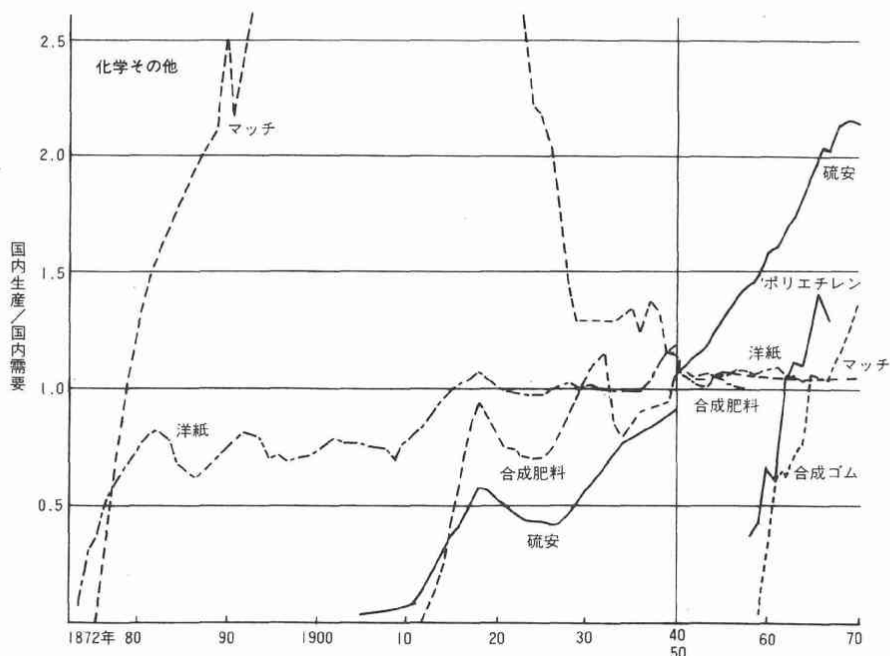


図 4-2 日本の産業の雁行形態的發展(2)

(注) マッチの1900~1910年は4~5

(出典) 山澤逸平「雁行形態的發展の産業間比較」

(世界経済研究協会編, 日本貿易の構造と發展, 昭47)

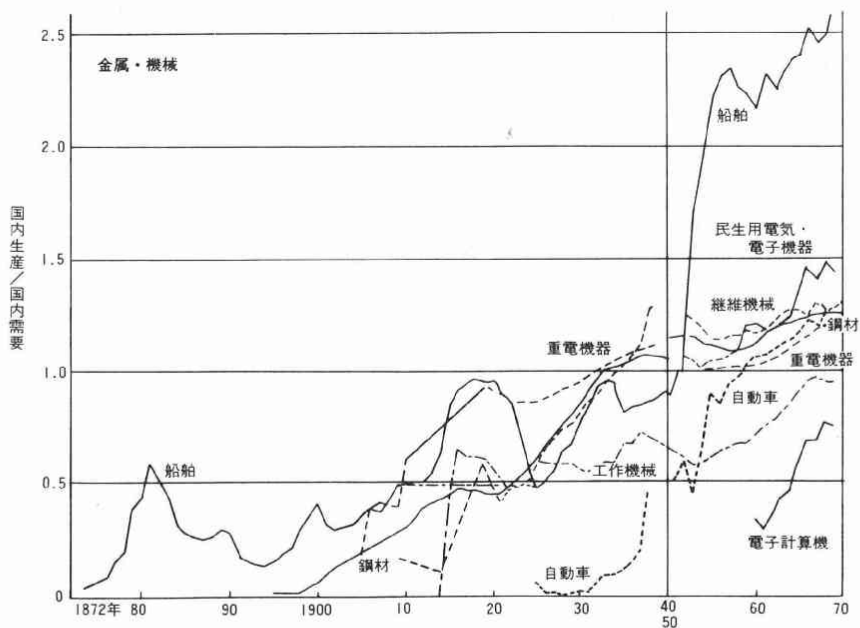


図 4-3 日本の産業の雁行形態的發展(3)

(出典) 山澤逸平「雁行形態的發展の産業間比較」

(世界經濟研究協會編, 日本貿易の構造と發展, 昭47)

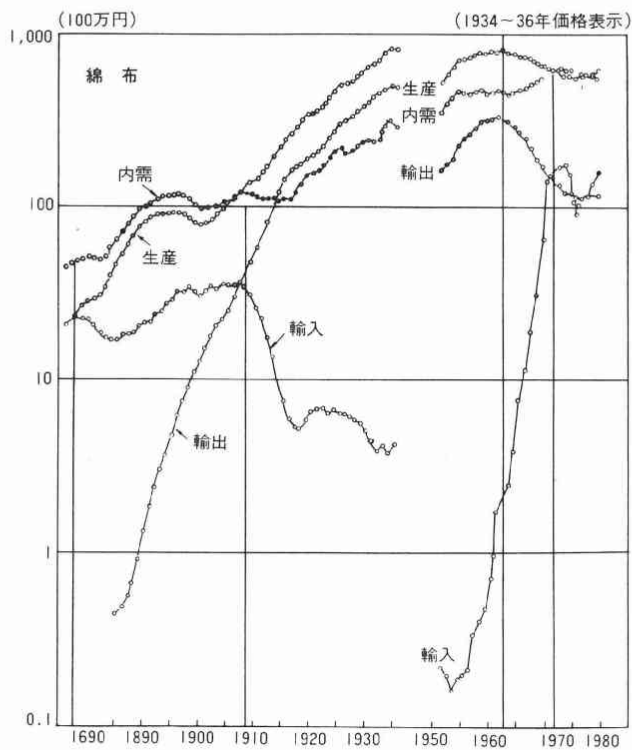
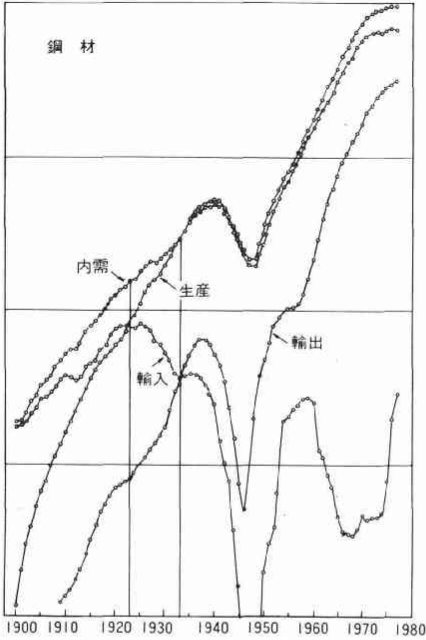


図 4-4 日本の産業の雁行形態的發展(4)

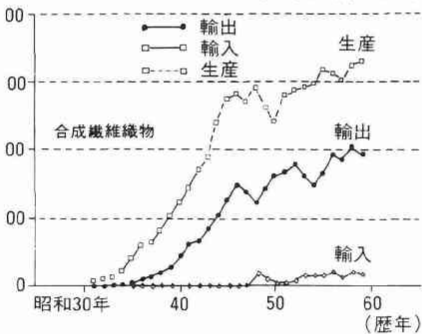
(出典) 山澤逸平「日本の經濟發展と國際分業」(東洋經濟, 昭59)

(万トン)



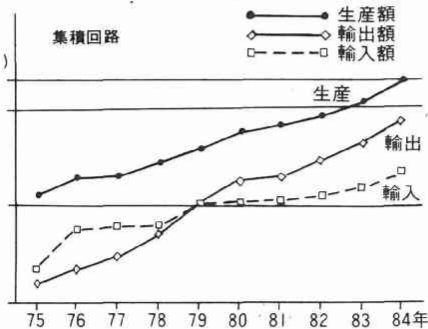
— 5 日本産業の雁行形態の発展(5)

山澤逸平「日本の経済発展と国際分業」
(東洋経済, 昭59)



— 6 日本産業の雁行形態の発展(6)

通産省「繊維統計年報」



— 7 日本産業の雁行形態の発展(7)

大蔵省「貿易統計」, 通産省「機械統計」

(図4-3), このへんを見ても大体戦前について言うと、まだ日本の生産能力というのは輸入依存型であったということです。戦後になっていろいろな産業が急速に(もちろん電子計算機等も一時は輸入産業であったわけです)輸出へと転じていくという形をとっておりまして、この勢いが現在の貿易黒字の大きな背景になっておるわけです。そういうようなひとつの流れの中にあるということであり

ます。
図4-5, これは鋼材だけを見ておりますけれども、トン数のスケールで、内需というのと生産というのと輸入というのと輸出というのが示されています。

これをご覧いただきますと、内需に対して生産が追いつくのが1933年ぐらい、第2次大戦(太平洋戦争)の少し前にやっと国内生産が国内需要を満足するところへきて、その段階で初めて輸出がかなり出ていく。落ち込みは戦争中のごさいます。戦後もその勢いが続いてかなりの輸出が続いておるとい

ような状況であります。
図4-6は合成繊維織物についてでありますけれども、この場合には、あまり助走期間の輸入というのがなくて、技術導入で急速に輸出産業へと伸びていくということであり

ます。この場合には、産業革命からでたイギリス産業に近い格好の局面展開になっていま

と、日本のこれからの時代になります。日本は、その技術と資本を世界に出していくという格好の時代に入っていこうとしているというようなことであるわけです。

日本経済の受け手、ASEAN、NICS 諸国の現状とポテンシャル

そういうことで、これからの日本経済にとって受け手であるASEAN諸国、NICSの現状とポテンシャルが問題になってきます。表8-1には、GNPとか、人口密度とか、人口増加率、1人当りのGNP、平均のインフレ率、出生時の平均余命、乳児死亡率、普通出生率といった基礎指標が示されております。

日本を基準にしてみますと、まず普通出生

率というのは日本13に対しまして、インド等は34というかなり高い数字で、香港でありますとか、シンガポールというようなところは大体アメリカと同じところで、家族の作り方というような面ではかなり都市化して先進国に追いついているというようなことですが、その他の国についてはかなり高い出生率を示している。

また乳幼児死亡率、子どもが1歳になるまでに死ぬ率でありますけれども、これが日本の7に対しまして一番高いインドネシアあたりですとその15倍弱です。寿命でございますけれども、これも大体50歳台、韓国あたりで67、そしてあと香港、シンガポール、日本、アメリカというのは大体75歳前後というところ。香港とかシンガポールというような

表8-1 アセアン諸国及びNICSの現状とポテンシャル(1)

基礎指標

	人口 (百万) 1983年央	面積 (1000km ²)	人口密度 (人/km ²)	人口 年平均 増加率 (%) 1965-83	GNP 年平均 増加率 (%) 1965-83	1人当りGNP		年平均インフレ率 (%)		出生時 平均余命 (年) 1983	乳 児 死亡率 (人) 1983	普 通 出生率 (人) 1983
						ドル 1983	年平均 増加率 (%) 1965-83	1965 -73	1973 -83			
イ ン ド	733.2	3,288	223	2.3	3.8	260	1.5	6.3	7.7	55	93	34
インドネシア	155.7	1,919	81	2.2	7.3	560	5.0	63.0	18.0	54	101	34
フィリピン	52.1	300	174	2.8	5.8	760	2.9	8.8	11.7	64	49	31
マレーシア	14.9	330	45	2.5	7.1	1,860	4.5	1.2	6.5	67	29	29
大 韓 民 国	40.0	98	408	1.9	8.7	2,010	6.7	15.5	19.0	67	29	23
香 港	5.3	1	5,300	2.3	8.6	6,000	6.2	6.4	9.9	76	10	17
シンガポール	2.5	1	4,310	1.5	9.4	6,620	7.8	3.1	4.5	73	11	17
日 本	119.3	372	321	1.0	6.0	10,120	4.8	6.0	4.7	77	7	13
アメリカ合衆国	234.5	9,363	25	1.0	2.8	14,110	1.7	4.7	7.5	75	11	16

(注) 1. 「乳児死亡率」は、ある年の出生児1,000人のうち満1歳未満で死亡する乳児数である。
 2. 「普通出生率」は、人口1,000人当たりの出生率である。
 3. 「GNP年平均増加率」は、日本、アメリカ合衆国は公式統計によるが、その他の国は「人口年平均増加率」と「1人当りGNP年平均増加率」を乗じて求めたものである。

(資料) The World Bank "World Development Report 1984, 1985"

小さい国の方がテイク・オフし易いというようなことがあるのかも知れないというような感じもいたします。

次の表8-2は同じ国々につきまして、農、工、サービス業のウェートをとっておりますけれども、ここでもそういうNIC Sの国々あるいはASEANの国々というのはとくにサービスの場合かなり大きなウェートを持っている国もあるということで、マレーシアでありますとか、フィリピンの場合ですと、よく言われております急速な都市化が進み、サービス業がかなり大きく出ているのかも知れません。

一方で、貿易依存度というのが日本の場合11.8、アメリカの場合が8.2というので小さいわけですが、インドを除きましてほか

の国の貿易依存度というのは非常に高い、もちろんシンガポールの場合には中継貿易もございますから非常に大きいわけですが、韓国なんかの場合でも34%、それからマレーシアに至っては45%というようなことで、日本が通ってきた道とはだいぶ違う格好で、その経済発展が行われているらしいというようなことが分るわけであります。

もう少し下のほうを掘っていきますと、教育という問題があるわけですが、表8-3このなかの数字を横に比べるとというのはむずかしいわけでありまして、小学校ぐらいについて言えば、インドを除きまして就学者数というのは比率が非常に上がってきている。インドネシアの場合に120という数字が出てしまうのでなかなか理解がむずかしいので

表8-2 アセアン諸国及びNIC Sの現状とポテンシャル(2)

生産・貿易

	GDP (百万ドル)		生産の産業部門別シェア (%)								貿易依存度 (%) (1983年)	
	1965	1983	農 業		工 業		(製 造 業)		サービス業		輸 出 GDP	輸 入 GDP
			1965	1983	1965	1983	1965	1983	1965	1983		
イ ン ド	46,260	168,170	47	36	22	26	15	15	31	38	5.8	8.1
インドネシア	3,630	78,320	59	26	12	39	8	13	29	35	27.0	20.9
フィリピン	6,010	34,640	26	22	28	36	20	25	46	42	14.2	23.0
マレーシア	3,000	29,280	30	21	24	35	10	19	45	44	48.3	45.2
大韓民国	3,000	76,640	38	14	25	39	18	27	37	47	31.9	34.2
香 港	2,150	27,500	2	1	40	30	24	22	58	69	79.8	87.3
シンガポール	970	16,640	3	1	24	37	15	24	73	62	131.2	169.2
日 本	90,970	1,062,870	9	4	43	42	32	30	48	55	13.8	11.8
アメリカ合衆国	688,600	3,275,701	3	2	38	32	29	21	59	66	6.1	8.2

(注) 1. 「農業部門」には、農業、林業、狩猟、漁業が含まれる。

「工業部門」には、鉱業、製造業、建設業、電気、水道、ガス事業が含まれる。

その他の経済活動はすべてサービス業として分類した。

2. 輸出入には、サービス貿易は含まれない。

(資料) The World Bank "World Development Report 1984, 1985"

すけれども、統計としてはそう出ているという
ことで、要するに小学校まではインドを除
いてほぼ就学するという格好になっている。
中学校ぐらいになりますと、かなり差が出ま
して、日本とかアメリカ、このへんが90以上
あるわけですが、韓国もほぼ90に近い。
香港、シンガポール、フィリピンが60台とい
うことで、フィリピンの場合かなりこれが高
く出てきております。そのほかへいきますと、
マレーシアで半分ぐらい、インドネシアで1/
3ぐらいというような中等程度の就学率で
す。それからもっと高い高等教育になります
と、このへんは統計がなかなかむずかしいの
ですが、それで見るとフィリピンというのは
非常に高い率で出てきているということは、
逆に言うと、非常に貧富の差があるのかなと

いう感じもいたしますが、そういう統計にな
っているということで、インドとかインドネ
シア、マレーシアあたりになるとそのへんが
一握りのエリートがいるというような格好に
なっているということでもあります。

おわりに

こういうことで、今までは、外に高い技術
があり、あるいは余ったお金があればこれを
導入するという格好の国際化を、明治以来あ
るいは戦後急速にやってきたわけです。今、
日本は、出し手としての国際化の時代に入っ
ていこうとしているということで、相手の反
対と申しますか、相手の日本に対する反応と
いうのが大きな問題になるというような時代

表 8-3 アセアン諸国及びNIC Sの現状とポテンシャル(3)

教 育

	小学校年齢層に占める 就学者数の比率 (%)		中等学校年齢層に占め る就学者数の比率 (%)		20～24歳層に占める高 等教育就学者の比率 (%)	
	1960年	1982年	1960年	1982年	1960年	1982年
インド	61	79	20	30	3	9
インドネシア	71	120	6	33	1	4
フィリピン	95	106	26	64	13	27
マレーシア	96	92	19	49	1	5
大韓民国	94	100	27	89	5	24
香港	87	105	20	67	4	11
シンガポール	111	108	32	66	6	11
日本	103	100	74	92	10	30
アメリカ合衆国	118	100	86	97	32	58

(注) 1. 小学校の就学年齢は6～11歳, 中等学校の就学年齢は12～17歳と考えられている。

2. 就学率が100%を超えるのは、公式学齢を上下する生徒がいるためである。

(資料) The World Bank "World Development Report 1984, 1985"

にやっと入ったということで、それがたまたまアメリカにだけ今集中して現われているということで、問題はこれから小さくなることはないだろう。そういう経済的な相互依存関係というものは、一生懸命働けば働くほど、あるいは企業の戦略が正しければ正しいほど、どんどん大きくなっていくのかも知れま

せん。文化的な差と申しますか、あるいは認識の差と申しますか、そういったものを埋めていくシステム作りが、経済関係の深まりとうまくあっていくのか、そういう問題が大きくなっていくのではないかという感じがいたしております。(たに こういち 経済企画庁総合計画局計画官)

研究所のうごき

(昭和60年10月1日～12月31日)

◇ 理事会開催

第20回(臨時)理事会

日 時：12月2日(月) 11:30～13:00

場 所：経団連会館 901号室

議 題：

- (1) 賛助会費の値上げについて

◇ 評議員会開催

第6回評議員会

日 時：11月5日(火) 15:00～17:30

場 所：経団連会館(9F)クリスタル・ルーム

議 題：

- (1) 議長挨拶
- (2) 〔報告〕
昭和59年度事業報告及び収支決算
昭和60年度事業計画及び収支予算
- (3) 〔講演〕
新たな国際問題に直面するわが国の経済社会
(経済企画庁総合計画局計画官 谷 弘一氏)
- (4) 懇 談

◇ 月例研究会開催

第28回月例研究会

日 時：10月25日(金) 14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F) 1303会議室

議 題：

- (1) 最近のエネルギー情勢について(資源エネルギー庁官房企画調査課 岸田房江氏)
- (2) ウラン濃縮の最近の動向(主管研究員 西川 毅)

第29回月例研究会

日 時：11月29日(金) 14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F) 1303会議室

議 題：

- (1) 宇宙開発とSPS(衛星発電システム)
(宇宙科学研究所教授 長友信人氏)
- (2) 高速増殖炉の経済性について(主任研究

員 伊藤正彦)

第30回月例研究会

日 時：12月20日(金) 14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F) 1303会議室

議 題：

- (1) 原子力開発利用の当面の課題(東京大学教授 近藤駿介氏)
- (2) 石油トータルエネルギーシステムの調査結果(日本鉱業(株) 佐藤泰彦氏)

◇ 主なできごと

10月1日(火) 「原子力プラント運転の信頼性研究会」開催(第43回)

「社会的安全目標検討」第3回委員会開催

8日(火) 「メタノール環境安全性検討」第3回委員会開催

14日(月) 「パッシブ総合評価」第1回委員会開催

16日(水) 「実用発電用原子炉廃炉技術調査」第2回委員会開催
「次世代型軽水炉構想」委員会開催

25日(金) 第28回月例研究会開催

29日(火) 「分散型新発電技術実用化実証研究に関する調査」第1回委員会開催
「新シーズ(エネルギー変換利用技術)」第3回委員会開催

11月5日(火) 「プルサーマル」第3回委員会開催
第6回評議員会開催

7日(水) 「メタノール環境安全性検討」第4回委員会開催

14日(火) 「SPS(新シーズ)」第2回委員会開催

28日(木) 「プルトニウム利用方策開発調査」第1回委員会開催

29日(金) 「原子力長期構想」第6回懇談会開催

第29回月例研究会開催

12月2日(月) 第20回理事会開催

3日(火) 「石油製品高度利用技術調査」第2回委員会開催

5日(木) 「国際電池技術総合シンポジウム

実行委員会」第3回委員会開催
 12月6日(金) 「パッシブ総合評価」第2回委員会開催
 「燃料電池導入ビジョン調査」第1回委員会開催
 9日(月) 「社会的な安全目標検討」第4回委員会開催
 10日(火) 「エネルギーフロンティア計画調査」第3回委員会開催
 「石油T E Sエンジン調査」第2回委員会開催
 「プルサーマル」第4回委員会開催
 「原子力プラント運転の信頼性研究会」開催(第44回)
 13日(金) 「火山発電調査」第1回委員会開催
 20日(金) 「実用発電用原子炉廃炉技術調査」

第3回委員会開催
 第30回月例研究会開催
 24日(火) 「プルトニウム利用方策開発調査」第2回委員会開催
 「新シーズ(エネルギー変換利用技術)」第4回委員会開催
 26日(木) 「メタノール環境安全性検討」第5回委員会開催

◇ そ の 他

外国出張

- (1) 深田昭彦主任研究員は、「I A E A主催の“軽水炉の新しいコンセプトに関するAdvisory Group Meeting”への出席及び西欧各国の原子力事情調査」のため、12月6日から同月21日の間、オーストリア、西独、仏並びに英国に出張した。

第 8 卷 通 卷 目 次

VOL. 8, No. 1 (1985. 4)

エネルギー創出産業に変身した

鉄鋼業……………理事・(社)日本鉄鋼連盟副会長 奥 村 虎 雄………… 1

昭和60年度における資源エネルギー

関連技術開発の重点事項について……………吉 田 盛 厚………… 2

原子力発電プラントへの先端技術の応用可能性について……………竹 内 光…………15

昭和60年度の省エネルギー技術開発について……………辰 田 昌 功…………32

ローカルエネルギー開発利用の現状……………福 井 文 彦…………45

研究所のうごき……………55

VOL. 8, No. 2 (1985. 7)

工学と社会、微分と積分……………理事・東京大学工学部教授 関 根 泰 次………… 1

石炭の利用技術開発特集

石炭利用技術開発に望むもの……………古 沢 健 彦………… 3

石炭利用技術開発の現状……………佐 竹 信 一………… 8

石炭液化プロセス開発の技術的課題……………西 田 直 矩・千 葉 忠 俊…………18

石炭ガス化技術開発の技術的課題……………平 戸 瑞 穂…………25

石炭流動層燃焼の技術的課題……………堀 尾 正 靱…………36

テキサコ法による石炭のガス化とその化学的利用……………安 原 敬 明…………48

鉄鋼業における石炭の利用……………森 孝…………58

“国際電池技術総合シンポジウム”開催のお知らせ……………66

研究所のうごき……………67

VOL. 8, No. 3 (1985. 10)

第5回 エネルギー総合工学シンポジウム (特集)

燃料メタノール導入への展望と課題

〈新液体燃料への期待〉

開会のあいさつ	所 長 山 本 寛.....	1
〔基調講演-1〕メタノール燃料の特徴と世界の利用動向.....	研究顧問 武 田 康.....	3
〔期調講演-2〕メタノール燃料のエネルギー政策上の意義と問題点.....	通商産業省資源エネルギー庁石油部精製課技術班長 井 田 久 雄.....	15
〔報告-1〕メタノール燃料の供給見通し.....	(株)野村総合研究所社会システム研究部 資源エネルギー研究室副主任研究員 石 黒 正 康.....	28
〔報告-2〕メタノールの製造技術とコスト低減の可能性.....	主任研究員 原 谷 裕 三.....	43
〔報告-3〕メタノールの自動車用燃料への利用.....	(財)日本自動車研究所研究主管 金 栄 吉.....	56
〔報告-4〕メタノールの発電用燃料への利用	研究員 蓮 池 宏.....	73
閉会のあいさつ	常務理事 柴 田 誠.....	83
“国際電池技術総合シンポジウム”の開催について(ご案内)		84
研究所のうごき		87

VOL. 8, No. 4 (1986. 1)

石油代替エネルギーの研究開発	工業技術院院長 等々力 達.....	1
原子炉廃止措置の最近の動行.....	三 井 英 彦.....	2
レーザー法を中心としたウラン濃縮のうごき.....	西 川 毅.....	14
高速増殖炉の経済性.....	伊 藤 正 彦.....	2

新たな国際問題に直面するわが国の経済社会.....	谷 弘 一.....	42
研究所のうごき.....		61
第8巻通巻目次.....		63

季報エネルギー総合工学 第8巻第4号

昭和61年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区新橋1-1-13

東新ビル(7F)

電話 (03) 508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社