

第 1 回
原 産 年 次 大 会 議 事 録

1968年2月

日 本 原 子 力 産 業 会 議

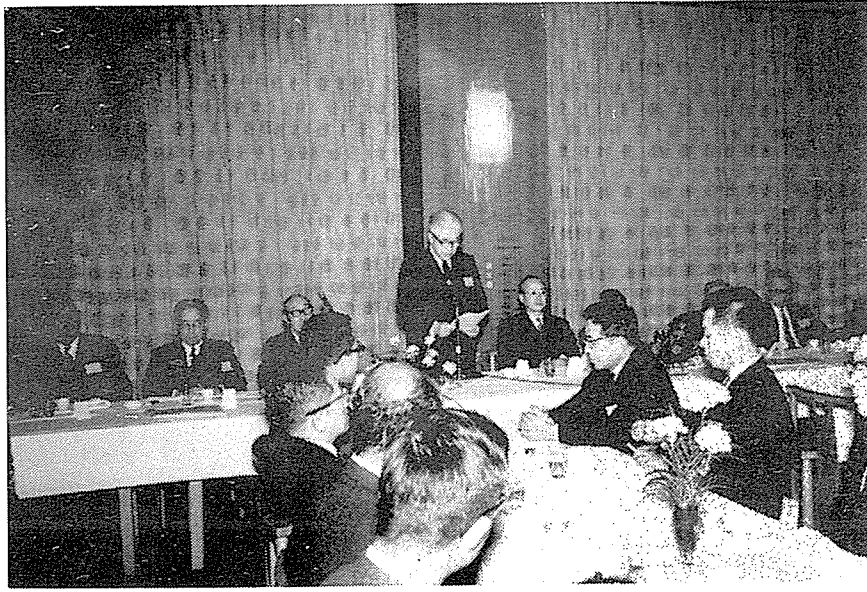
第 1 回
原 産 年 次 大 会 議 事 録

1968年2月

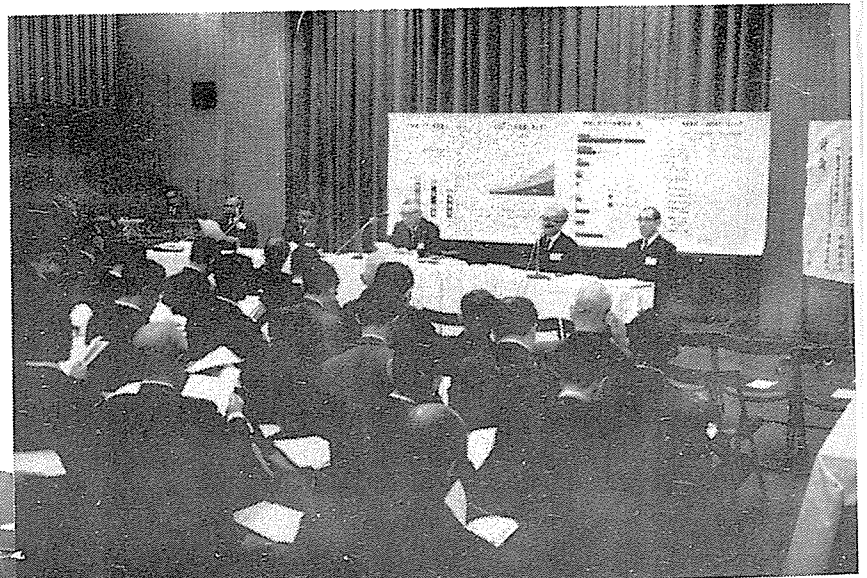
日 本 原 子 力 産 業 会 議



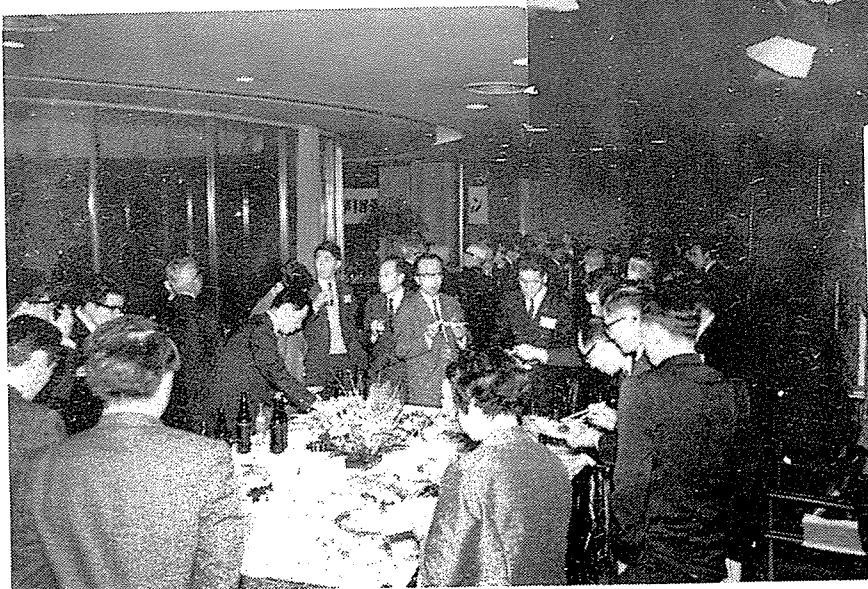
第3セッション シンポジウム



午餐会で講演する宇佐美日銀総裁



第5セッション パネル討論会



参加者全員によるレセプション

目 次

第1 セッション

会長挨拶	日本原子力産業会議会長	菅 禮之助……	1
祝 辞	科学技術庁長官	鍋 島 直 紹……	2
祝 辞	通商産業大臣	椎 名 悦三郎……	3
第1回原産年次大会準備経過報告	原産年次大会準備委員長	一本松 珠 璣……	4
所 感	原子力委員長代理	有 沢 広 已……	5
原産報告「原子力産業の現状」	日本原子力産業会議代表常任理事	橋 本 清之助……	7
○特別講演 議長	電源開発総裁	藤 波 収	
Ⅰ 将来の産業構造と原子力開発	経済審議会会長	木川田 一 隆……	11
Ⅱ 動力炉開発計画	動力炉・核燃料開発事業団理事長	井 上 五 郎……	21
Ⅲ 原子力開発と放射能安全	東京教育大学教授	三 宅 泰 雄……	25
○午餐会における特別講演			
最近の経済、金融情勢について	日本銀行総裁	宇佐美 洵……	29

第2 セッション

○海外特別講演 議長	日本原子力発電社長	一本松 珠 璣	
Ⅰ 海外に対するアメリカの濃縮 ウラン供給	アメリカ原子力委員会事務総長代理	E. J. ブロック……	35
Ⅱ イギリスにおける核燃料サイ クル・サービス	イギリス原子力公社生産部次長	N. L. フランクリン ……	43
Ⅲ フランスにおける高速炉開発 計画	フランス原子力物理研究部長	G. バンドリエ……	50

第3 セッション

○シンポジウム＝プルトニウムの熱中性子炉へのリサイクル			
〔講演の部〕 議長	関西電力副社長	加 藤 博 見	
Ⅰ わが国におけるプルトニウム の熱中性子炉へのリサイクル の考え方	原子力委員会委員	山 田 太三郎……	65
Ⅱ プルトニウム燃料の加工の現 状と問題点	動力炉・核燃料開発事業団理事	鎌 田 稔……	71
Ⅲ 熱中性子動力炉におけるプ ルトニウムの利用	日本原子力発電常務取締役	吉 岡 俊 男……	83

〔 討論の部 〕

プルトニウムのリサイクルと加工について	科学技術庁原子力局核燃料課長	萩野谷 徹……	92
BWRにおけるPu 利用	東京電力原子力部原子力計画課長	鈴木 範 雄……	93
PWRへのPu リサイクルの現状と問題点	関西電力原子力部調査課長	藤 井 哲 博……	95
Pu 燃料の軽水炉利用	日本原子力発電技術部核燃料課長	今 井 隆 吉……	99
プルトニウムの熱中性子炉利用における研究開発上の問題点	動力炉・核燃料開発事業団プルトニウム燃料部長	中 村 康 治……	103
PWR用Pu 燃料について	三菱原子力工業原子燃料部計画課長	関 義 辰……	123
BWR用Pu 燃料の問題	日本ニュークリア・フュエル	岡 島 安二郎……	126
プルトニウムの熱中性子炉リサイクル	日本エネルギー経済研究所	武 井 満 男……	131
<討 論> 議長	日本原子力発電常務取締役	吉 岡 俊 男……	136

第4セッション

○招待講演 議長	日本鉱業協会会長	新 井 友 蔵	
Ⅰ 核燃料産業の現状と将来	動力炉・核燃料開発事業団副理事長	今 井 美 材……	159
Ⅱ 動力炉の建設経験	日本原子力発電取締役建設部長	鈴木 小兵衛……	169
Ⅲ 原子力施設の安全性	東京大学教授	向 坊 隆……	181

第5セッション

○パネル討論会 議長	日本原子力産業会議副会長	松 根 宗 一……	
長期エネルギー計画と原子力発電			
Ⅰ 電力長期計画と原子力発電開発	中央電力協議会専務理事	山 崎 久 一……	189
Ⅱ 発電用燃料問題の将来	日本エネルギー経済研究所所長	向 坂 正 男……	197
Ⅲ 原子力発電の開発と石油産業	丸善石油常務取締役	脇 坂 泰 彦……	200
Ⅳ 発電用核燃料の確保について	東京電力常務取締役	田 中 直次郎……	205
○原産特別委員会報告 議長	日本原子力産業会議副会長	大 屋 敦	
Ⅰ 核拡散防止問題特別委員会報告	動力炉・核燃料開発事業団副理事長	清 成 迪……	216
Ⅱ 材料試験炉利用懇談会報告	住友原子力工業社長	平 塚 正 俊……	219
Ⅲ 原子力用鋼材標準化懇談会報告	八幡製鉄副社長	湯 川 正 夫……	222
Ⅳ アイソトープ・放射線利用に関する化学、繊維工業懇談会報告	昭和電工専務取締役	斉 藤 辰 雄……	226
○大会成果のとりまとめ	原産年次大会準備委員長	一本松 珠 璣……	235

第 1 セ ッ シ ョ ン

- ・ 開会総会
- ・ 特別講演
- ・ 午餐会における特別講演

〔開会総会〕

会 長 挨拶

日本原子力産業会議

会長 菅 禮之助

昨日までの原子力総合シンポジウムに引続いて、今明両日、関係者が一堂に会して、原子力産業の全般に亘る政策、経営などの諸問題を論じ、その見解を広く内外に闡明し、国民の理解と開発意欲を高める目的をもつて第1回の原産年次大会を開催致しましたところ、鍋島国務、椎名通商産業両大臣ご臨席のもとに斯界の権威者、専門家のご意見の発表が行なわれ、米、英、仏の諸先進国よりもご参加を得ましたことは、私の深く感謝致すところであります。

わが国の原子力開発は昭和31年に着手されて以来、政府を始め学界、産業界等のご尽力と米、英、仏等原子力諸先進国のご協力によりまして著しい進歩を遂げ、実用期を迎えるに至りましたことは、その一端を担ってまいりました私として洵に喜びに堪えないところであります。

わが国の総合エネルギー長期計画を見ますのに、その原子力発電に対する依存度は極めて高いのであります。この時に当つて新日英日米原子力協定が締結され、米国より濃縮核燃料161トンの供給を受ける運びとなりましたことはご同慶の至りであります。わが国と致しましては、さらに一步を進めて核燃料の安定供給とその多様化を図る方途を、原子炉の自主開発と平行して推進する必要が痛感されるのであります。今回の大会が核燃料問題を基調としている所以もここにあるのであります。

本大会は当会議として初めてのことであり、期間も短く、準備も完璧とは申せませんが、事情の許す限り意見の交換と意志の疎通を図られまして、所期の目的を達せられますことをご願ひ申し上げてご挨拶と致します。

祝

辞

科学技術庁長官

原子力委員会委員長 鍋島直紹

本日、日本原子力産業会議第1回年次大会の開催にあたりまして、原子力関係各界の皆様にごあいさつを申し述べる機会を得ましたことは、私の深く喜びとするところであります。ご存知のように、わが国の原子力開発は非核三原則の下で推進されてまいりました。

以来十余年を経過した今日、原子力発電においても、またアイソトープの利用においても、すでに研究の段階を経て、実用の段階に入ったと言い得るのであります。このような進展にかんがみ、原子力委員会におきましては、昨年春、原子力開発長期利用計画を改訂いたしました。これに基づき、政府は、新しい動力炉開発の中核機関として動力炉・核燃料開発事業団を設立したこと、原子力第一船の建造に踏みだしたこと、日英、日米の両原子力協定を改訂し、将来における核燃料を確保するとともに、核燃料の民有化の体制を固めたことなど新たな発展に備えて力強い前進を図りつつあります。

このような原子力開発の新段階に入った記念すべき時に、日本原子力産業会議の第1回の年次大会が開催され、かつ、その中心テーマを今後の重要課題たる核燃料問題におかれましてことは、まことに時宜を得たものと考え、敬意を表する次第であります。

願りみますと、日本原子力産業会議は、昭和31年創立以来、原子力知識の普及、国際協力などの事業を活発に実施され、とくに重要な問題については、政府に建議されるなどわが国原子力平和利用の進展に努められ、終始、わが国原子力産業界の総意を代表して、重要な役割を果たしてこられました。

貴産業会議が、この大会を一つの契機として、さらに一層発展されますことを、原子力の開発利用を推し進める責務を負っているもの一人として、期待いたしますとともに、政府といたしましても、今後とも原子力の平和利用を強力に推進いたす所存でございますので今後共皆様のより一層のご協力をお願いいたしましてごあいさつといたします。

祝

辞

通商産業大臣 椎 名 悦三郎

原子力産業会議の第1回年次大会に当り一言ご挨拶を申し上げます。

原子力開発の進展は、海外諸国において近年、著しいものがありますが、わが国においても、大容量の商業用原子力発電所の建設が相次いでおり、原子力発電は本格的な実用化の時期を迎えております。総合エネルギー調査会の第1次答申によると、昭和60年度における原子力発電の開発規模は3千万ないし4千万キロワットと見込まれ、電力供給の3割が原子力発電によって賄われるようになると予想されておりますが、最近の見通しではこの開発テンポはさらに早まる傾向にあります。

エネルギー資源に乏しいわが国としては、エネルギーの安定的かつ低廉な供給の確保が極めて重要なことでありますが、原子力発電は、燃料の輸送および備蓄が容易であること、石油火力に比べ外貨負担が少なく、経済性も近い将来、石油火力と同程度にまで向上する見込みがあることなどの理由から、準国内エネルギー源として、将来のわが国におけるエネルギー供給の有力な担い手になると考えられます。更に、原子力機器、核燃料等の原子力産業は、分野の広い産業であり、わが国産業全体の技術水準の向上と産業構造の高度化に対しても極めて大きな波及効果を有するものと考えられます。

このように、原子力開発の重要性は極めて高いものと考えられますが、今後の課題は従来の先進諸国に対する依存から脱却して如何にして自主的な開発を進めるかにあると考えられます。

政府は、このような観点に立つて核燃料利用効率の優れた新型動力炉の自主開発を図るため昨年10月動力炉・核燃料開発事業団を発足させましたが、今後はさらに原子力の本格的実用化の段階に対応した原子力産業の育成に重点をおき、財政、税制上の優遇措置等の諸般の施策を講ずることとしており、また将来需要が急増すると予想されるウラン資源の確保等の面でも施策の強化、充実を図つてまいりたいと考えております。

このような施策を強力に進めていくためには、民間関係業界の積極的な活動と協力にまつところが大きいことは申すまでもありません。日本原子力産業会議は、これまでもわが国、民間における原子力産業発展の推進母体として重要な役割を果たしてこられました。原子力開発の新時代を迎えてさらに積極的な役割を果たすことが期待されております。

そのような意味でこの度、原子力産業会議の第1回年次大会が開催されましたことの意義は大きく、この大会から得られた成果を今後の原子力産業の発展のために役立てていただくことを期待致しましてご挨拶とさせていただきます。

第1回原産年次大会準備経過報告

原産年次大会準備委員会

委員長 一本松 珠 璣

第1回原産年次大会準備委員長といたしましては本大会開催までの経過をご報告申し上げます。

本大会につきましては、日本原子力産業会議の昭和42年度事業計画に示されております通り、年次大会の構想として原子力産業全般の政策、経営問題等を中心とした意見発表と討論を行ない産業界の見解を広く内外に宣明して意欲をたかめ、原子力開発に対する国民の理解を深めるため、原子力関連学協会等と連絡して年次大会を開催することといたしております。その構想を具体化するために昨年8月、産業界ならびに学識経験者からなる準備委員会が設置されたのであります。

準備委員会は大会の開催方式、テーマ、内外の諸会議との関連など基本的な考え方を討議いたし、この年次大会が行く行くは、わが国全体の原子力年次大会といえるものに発展することを期待いたしまして、その方向で構想を固め内容の計画をすすめてまいりました。したがって従来より毎年2月、日本原子力学会が中心となり関連学協会との共催の下に原子力総合シンポジウムが開催されておりますが、本年次大会の企画に当りましてはこのことを十分考慮し、内容についての調整を図りました。その結果、原子力総合シンポジウムは、より学術的専門分野に専念されるとともに原産年次大会は産業的性格を強調した内容のものとし、相補つて原子力開発に資することといたしました。このため開催期日についても参加者の便宜を考慮し学会のシンポジウムに引き続いて開催することといたしましたのであります。

本年次大会全体を通じての基調となるテーマは今年が核燃料の年ともいえることから「核燃料問題」といたし、アメリカ、イギリス、フランスなど海外よりの特別講演を含めて財界の権威者、専門家の方々に所見のご発表を願うことといたしましたのであります。ここに改めて内外の講演者の方々に対しまして厚く御礼申し上げる次第であります。

また準備委員をはじめ各セッションの議長ならびに、本大会関係者各位のなみなみならぬご協力に対し厚く御礼申し上げますとともに、本大会が円滑に運営され、本大会開催の意義が一層高まりますよう参加者各位の格段のご協力をお願い申し上げます経過報告といたします。

所

感

原子力委員会委員長代理 有 沢 広 巳

議長ならびにご参列の各位。

日本原子力産業会議がここに第1回年次大会を開催され、その主要テーマとして「核燃料問題」をとりあげられたことは、昨年十月「動力炉・核燃料開発事業団」の発足をみたわが国にとつてまことに意義深いものがあると考えられます。

核エネルギーは新しいエネルギー源であります。それは人類に対して洋々たる将来を約束するものであるが、とくにエネルギーの国内資源の乏しい国にとつては明日をひらく希望の火であります。かつてイタリア原子力委員会は核エネルギーの平和的利用を、イタリアにとつて「天佑」であると申しました。私も国会における報告において、それを「天恵」であるとのべたことがあります。

エネルギー政策の基本が「低廉」の原則と「安定供給」の原則という2つの原則の調和にあるということは、1961年以来、しだいに、先進工業国の共通の認識となつた。しかしその調和が、従来、むつかしい問題点であつたのであります。新しいエネルギー源としての核燃料は、その性質上、いわばこの調和の具現体であると、私は考えます。それというのも、第1に核燃料の場合には、その低廉の問題にしても、安定供給の問題にしても、資源の賦存そのものよりもそれを利用する技術に依存することが極めて大きいからであり、そして第2に、核燃料は国内リサイクル体系を打ち立てることができるエネルギー源であるからであります。このことは、われわれが理化学的、工学的、ならびに産業的努力を傾注すれば、われわれのエネルギー問題を解きうる大きな可能性があることを示している。そしてこういう努力は、われわれの決意と方策次第で、われわれのなしうる範囲内にあることであります。こうしてわれわれは人類の福祉の向上に貢献するというばかりでなく、明かにわが国益を高める結果をもたらすことができるのであります。

それにしましても、われわれの努力が個々バラバラであつては、この目的を達成することはできません。努力は組織化され、計画化されねばなりません。「動力炉・核燃料開発事業団」はその中核体として創設されたのであります。組織化されたわれわれの努力は今やスタートを切つたのであります。私はその努力が技術的に進歩した最終生産物、新型転換炉と高速増殖炉とを作り出すとともに、それらをふくめたわが国における核燃料リサイクルの体系の基盤が準備されることを期待しているものであります。

しかしこの面におけるわれわれ原子力委員会の仕事は、これで終つたわけではありません。生れいつる新型転換炉と高速増殖炉と、そしてますます大型化し技術的にもなお進歩する軽水炉

とを、発電体系としてどう組み合わせることが、わが国として核燃料の最少の所要量と最低の発電コストとをともに満足するオプティマムを実現することになるか、われわれは時間的経過をとり入れてそのヴィジョンを将来設計として描かねばならない。不確定要素の多いこの将来設計を描ぐことは、困難な仕事にちがいないのであるが、今日の計量モデル計算をすゝめることによつてそれに接近していくことは可能であると私は考えております。

原子力平和利用の時代にふさわしく、われわれは原子力発電体系の壮大な建築設計をはじめようとしている。それは壮大な建築であるでありましょう。しかし建築そのものがわれわれの目的であるではありません。われわれが真の目的とするところは日本のエネルギー問題を解決することであるのであります。

核燃料問題を主題とする本大会における報告と討論が種々の面において、われわれの打ち立てようとする壮大な建築設計に対する助言となり、忠告となり、われわれの真の目的を達成するのに大きく寄与するであろうことを私は期待します。

こゝに本大会を開催された日本原子力産業会議と、大会参加者の各位に深く敬意を表する次第であります。

原子力産業の現状

日本原子力産業会議

代表常任理事 橋本清之助

ただいまからわが国の原子力産業の現状に関するご報告を申し上げます。

わが国の原子力開発は今年で満12年を経過いたしました。アメリカ、イギリス、フランス、などの先進諸国に比べますと、着手において10年から15年の遅れがあるのでございますが、同じような時期に同じ状態を出発した他の国々に比較いたしますと、可なり進歩のあとを見せてると感じられます。

民間産業界はこれまで、原子力開発に対する一貫した方針として、研究開発的内容のものは国が中心となつてこれを行ない、民間は実用化を担当する、というのが極めて時宜に適つた開発方式だと信じています。

しかるに事業としての原子力産業開発の規模は、他に例を見ないほど総合的で且つ関連の広い性格を持つておりますので、民間自らの研究開発の部分が可なり多いのであります。従つてリターンを期待されなすなわち自弁しなければならなかつた支出は莫大なものになつております。お手許の資料、調査時報の「新局面を迎えた原子力産業」、これは、原子力産業会議が毎年実施しております民間企業における原子力関係の支出、売上、並びに人員の状況に關しましての実態調査であります。昭和41年度分のとりまとめの結果とこれに、昨年度分までの調査結果を加えまして申し上げますと、

- ☆ 昭和31年から41年までの11年間に、民間企業が原子力関係に支出いたしました額は、合計1,200億円に達します。
- ☆ 同じ期間に、政府が原子力予算として支出いたしましたものの総額は、約4,000億円となつております。
- ☆ この同じ期間に、民間鉦工業が原子力関係として得た売上額は、約800億円でありました。なお将来に対しましては極めて積極的な姿勢をもち、今後5年間に年率5割の支出増を見込んでいます。

原子力産業はゼロからスタートした新しい産業でありまして、他の産業ではみられない10年という長い準備期間を通じて、売上額を5割もうわまわる、そして政府の関係予算を2割もうわまわる支出を行なつてきたのでございます。これは、まづたく諸外国にも類例を見ないところでありまして、支出の一部には設備投資もございまして、従つて将来のための先行投資的な意味を持つものであります。全体的に見まして、需要の明確でない——従つて売上の伴わない支出を、このように長期間に亘つて続けてこななければならなかつたのであります。

このことは、原子力産業界にとりまして、大きな試練でありました。資金面のみでなく、人員面でも一時は4割もの減員を余儀なくされましたが、昭和40年を転機に完全に立直り、今日では約7,000名の技術者が原子力の分野で働いております。産業界は、原子力開発がわが国の将来を左右する大きな意義を持ち、今後予想されます酷しい国際的な経済環境の下では、現在多少の犠牲を払つても、他国に遅れないように、あるいは少しでも他国の前に一歩先んずるために、開発の実力を培つておかねばならないからであります。民間産業界が原子力開発のためにいかに大きな期待と意欲を持つているかということが分ると思いますと共に今後もなおさらにイニシアチブをとり続けるであろう、と確信いたします。

ここで最近のわが国における商業用原子力発電のめざましい発展の見通しであります。かつて8年前に、原子力産業会議は「原子力産業開発の長期構想」について検討いたしました。その中で、原子力発電について昭和45年までに合計100万KWの開発を「経済性において若干問題があつても」これを行なうことの必要性を指摘いたしました。そしてさらに十年後の55年には約1,000万KW程度の開発を見通したのであります。

その後、1昨年に至りまして、長期計画の改訂作業が政府でも又産業会議でも行なわれたのであります。その中でこれらの見通しは、前向きな修正こそ必要であれ、決して非現実的なものでないことが裏づけられたのであります。明日午後のセッションで詳しくお話がある予定ですが、先月末発表されました「中央電力協議会」の電力長期計画によりますと、昭和45年すなわちあと2年で運転開始となる原子力発電所は、日本原子力発電会社のすでに営業運転に入っております1号炉、また2号炉のほか、関西電力と東京電力のそれぞれの1号炉の合計4基で、出力130万KW見当となりますほかに、昭和50年度には、東北電力の1号炉、東京電力の2号、3号炉、中部電力の1号、2号炉、関西電力の2号、3号炉、中国電力の1号炉、九州電力の1号炉と計9基が加わりまして、合計出力は約670万KWに達します。さらに、これと併行してその時点で着工され建設中のものが17基、1,500万KWに達する見込みであります。これらは昭和55年度には完成いたしますから、8年前に1,000万KW弱と想定されていたものは、50%増と大巾に修正されることとなります。これに伴つて、必要な投資も直接設備のみで昭和55年までには約1兆円をうわまわると推定されますが、これを維持するための関連国内産業は、核燃料サイクル産業を中心としてなお巨大な規模に達すると思われま

このように、わが国の原子力産業はもはやわが国の経済全体の中で、重要な要素となり、その比重がさらに加わると予想することは必ずしも誇張した観測ではないと思ひます。

原子力開発特に原子力発電所の建設は、先程申し上げたような見通しで急速に進展してまいります。このことは、アメリカで過去30カ月足らずの間に、約60基、5,000万KWの発注

がなされたという事実、あるいは他の国々の同様な積極的態度の影響を受けたことは確かであります。世界が挙げて如斯原子力の急速な開発を進めていつた後の、国際経済のあり方を考えますと、そこに色々な問題点が起ることを予想しなければなりません。この点海外とくにアメリカの原子力発電の動向は真剣な検討に値します。アメリカでは1昨年および昨年の新設火力発電のうち、それぞれ51%と55%、すなわち半分以上が原子力でありました。経済性の数値、国内製造工業の内容等、わが国との差は大きなものがあり、アメリカの現象がそのままわが国に起るわけではございませんが、このような状態は必らず、関連する産業構造に根本的な変革がおきていることと思われまますので、その結果が経済全体の仕組みの中で、世界に向つて反映されるにちがいありません。従いまして、わが国内の製造工業のありかたについても今後如何にあるべきかを検討するに際しまして、これは重要な今後の課題であると思われまます。資源の少いわが国において核燃料の問題は原子力開発のため極めて重要であります。まずウラン資源についてみますと、世界の需要の見通しが明確になつていくにつれ、市場の形成が予想されます一方、商品として極度の特殊性を有することから、その確保については在来の原料とは異なつた配慮を必要とします。

とくに濃縮ウランの問題。ちょうど一週間前、日米協定の改訂交渉が終りワシントンで仮調印が行なわれたばかりであります。この新協定によりまして、わが国で建設される濃縮ウラン型発電炉用の燃料は、濃縮サービス確保という方式で保証されるわけであります。今日、後刻アメリカAECのブロック事務総長代理から詳しいお話を承る予定になつておりますが、現在のところ濃縮ウランの供給をアメリカのみに依存しなければならぬだけに、一面、供給を受ける側としての種々の問題点があると思ひます。

このほかに、再処理事業の将来やプルトニウムの利用問題等、核燃料の問題は健全な原子力発電を維持するための重要な分野である「核燃料サイクル産業」とも称すべき新分野を抱えております。原子力産業会議が今年度を核燃料問題展開の年として、鋭意諸般の活動に反映させておりますのもこの認識に立つからであり、原子力発電の進展とにらみ合せて是非ともその対策確立が急務であるからに外なりません。

次に申し上げたいことは原子力船の問題であります。世界的に原子力船の開発が急速に進みますと、国際的経済の変化の中における原子力船の地位は非常に大きなものになると思われまます。わが国においては第1船は政府、民間の努力によつて漸く本年から建造に着手することになりました。原子力船は発電と比較して考えましても技術としての実現可能性は十分あると思われまます、それを経済的に商業用のものとして利用するにはまだまだ多くの問題点が残されております。

わが国の海運に占める世界的な優位を今後共、推進するためには、第1船開発成果の有効な利

用のみならず、将来、わが国独自の船用炉の開発に積極的な施策をのぞまれております。

わが国は、原子力開発において時期の立遅れがあるばかりでなく軍事利用を持たない国としての原子力開発には多くのハンディキャップがあります。かかる困難な条件のもとに開発するわが国の原子力平和利用の前途にはなおきびしい現実に向かいなければなりません。しかし産業界は過去10年、あらゆる犠牲を忍んで、わが国の原子力開発のために戦ってまいりましたし、今後もこのたび発足した動力炉・核燃料開発事業団の使命となつております将来型動力炉の開発を中心として、充実した総力を傾けることは申すまでもありません。政府もまたその育成のための国産化対策や核燃料政策を、適切に立案し、強力にこれを実施することが強く民間産業界において要望されている次第であります。

以上、私の報告を終りたいと思います。

〔特別講演〕

I 将来の産業構造の原子力開発

経済審議会会長 木川田 一 隆

電源開発の藤波です。本特別講演の議長を務めさせていただきます。それではただ今より特別講演を開会いたします。

まず最初に「将来の産業構造と原子力開発」と題しまして経済審議会会長木川田一隆氏の講演をお願いします。木川田さんは東電社長であり、電気事業連合会の会長でもあり、経済同友会の代表幹事その他たくさんの要職をもつておられますが、本日は経済審議会の会長としてお願いをする次第でございます。木川田さんどうぞ。

ただ今ご紹介を頂いた木川田でございます。

「将来の産業構造と原子力開発」についてお話を申し上げます。ここでいう原子力開発とは平和利用における開発であることはもちろんのことでございます。この問題をどのように論理的にとらえるかについて苦勞したわけでございますが、まず1つの柱として、昭和40年代の日本経済とくに日本の産業がめざましい発展段階にきており、その発展条件が変化しつつあること、そしてその変化に即応してどのような構造改革をすべきであるかという問題を第1にとらえてみます。

それから第2番目に、構造改革の時代相互的な考え方をすると最もその軸をなすものは何かという問題点にふれたいと思いますが、要するに自主技術の確立による技術立国に基づいた構造改革でなければならないという考え方を申し上げたいと思います。

日本経済の今後は、日本の産業が構造改革の新しい時代の新しい発展条件に即応するような線に沿って進まねばならないという前提をもち、その結果技術革新というものを自主的な意味合いにおいて真剣に取り上げねばならないという観点に立ちますれば、あらゆる技術の総合的な最高水準を集めまする原子力開発こそ、当然日本の技術立国の軸にならねばならないものであり、これからの日本産業の発展をリードしていくべき性格のものとする次第です。このようにして、わが国産業の構造改革が初めて、国際的な価値判断の基準を適用しても通用するはつきりした立場ができ、いわゆる戦後の新しい自由経済社会の中で各国がそれぞれ自分の特徴を發揮し協力して、自由世界の経済の発展を進めるべきであるとするいわゆる「パートナー」の役割も果しますと共に、もう一つの理念として登場してくるいわゆる「特徴を生かす」そ

れぞれの国が個性（パーソナリティー）を発揮する"ことによる役割をも果たすことができ、日本経済の有機的な立場を国際経済の中に主張しうると考える次第でございます。

それでは、まず第1番目にわが国産業の将来における産業構造が如何ような姿で運ばれねばならないか、という問題にふれたいと思います。ご承知のように、日本の経済は戦後の復興から各国が驚異をもつてみるほどの異常な成長率で発展してまいりました。すなわち1967年の国民総生産は1,140億ドルに達し、いわゆる一千億ドル経済がここに確立したわけでございます。これはアメリカ、西ドイツに次ぐ規模の経済でございまして、今後これがどのような発展を示すかは非常に興味のある問題であります。過去をふり返つてみますとこの10年間に国民総生産は、約8倍に増大しております。鉱工業生産は3.5倍、輸出が3.8倍、輸入が2.2倍となつており、これらの数字に異常な発展ぶりがよく表わされております。このような日本経済の発展の要因についてはいろいろと解釈ができますが、要するに日本経済が日本国民のもつエネルギーを土台として、イノベーションに対する意欲と能力を十分にもつておりそれが発揮された、ということがいえると思います。日本経済が生産性の向上、近代化、それから国際競争力の培養といった一連の課題を克服しえたことによつて、かような国際的な驚異の発展を示したわけでございます。

このような経済の発展を土台にして、今後10年間どのような成長をとげるであろうかという予測が、各方面で行なわれております。これによりますと、現在の約一千億ドル経済は10年後にはほぼ三千億ドル経済になる。そうすると国民一人当りの所得は人口を1億としますと3,000ドルという経済になり、これは現在のアメリカと西欧の中間に位するほどの高さになるわけでございます。もちろんこの予測というものは、むずかしいものであつて、進歩した計量経済学の手法が用いられるのですが、そのさい予測の前提条件としてはすくなくとも過去の発展条件の上に立つての予測を行なうのが通常であるから、この発展条件が変化しますと結果としての予測は必ずしも妥当なものにはなりえない、ということになります。

ちようど経済審議会が、長期計画におきまして、経済社会発展計画を作成しましたときに、今後の40年代の経済発展の条件はどのように変わるであろうかという問題を中心にとらえたのでありますが、その中で主として我々がとり上げましたものは、第1にご承知のように国際性の問題でございます。第2は労働力不足の時代が到来するという問題であり、第3は都市化の問題、これら3つの事項を前提にいたしました。そして、そういう発展条件に相応する効率的な国民経済全体の運営に対する対策がでてまいつたわけであります。このうち、労働力不足の問題あるいは都市化の問題につきましては、大体ご理解のことと思いますので、簡単にふれるにとどめます。

まず今後の労働力不足の問題についてですが、マクロ的にみますと、ドイツやアメリカと比較すると、日本の一人当りの生産性は非常に低いところにありまして、ドイツの $\frac{1}{2}$ 、アメリカに比べますとその $\frac{1}{3}$ という風に非常に低くなっております。しかし、この労働装備の面におけるギャップの存在の他面では、少なくとも低生産性部門である農業や商業等の部門では過剰労働力がなお存在しているということがいえると思います。従いまして、今後こうした低生産性部門の近代化、再編成によりまして労働力を捻出し、これを高生産性部門に流用するという転換政策をとらねばならないということになるわけでございます。ただし、これは雇傭政策一本で必ずしもかたづくものとはもちろん思っておりません。農業政策なり産業政策なり流通政策なりが加味されて初めて可能となる問題だと存じます。従いまして、今後どの様にして労働力の絶対的不足に対応するか、またその生産的価値をあげるか、ということが大きな問題になるかと存じます。

次に都市化の問題です。これは毎日我々が労働力の組織化の問題でもゆきづまりを感じ苦勞しているわけですが、都市化現象というものは、言葉を変えますと産業開発の進行と（そして又一部には立地条件による社会的コストの上昇といった制約条件もあるが、少なくとも産業開発の進行）人間生活の大きな高まりともいべき現象が相乗して作用しつつ生じるものであります。すなわち、産業的需要が新しい姿であらわれてくる、あるいはその拡大が飛躍的に要望されてくる。たとえば住宅建設の問題にしる、道路の問題にしる、電気・ガス・水道というような施設産業にしる、新しい拡大あるいは需要が産業需要として大きく発展するものだといえると思います。これによつて、日本経済全体の中で都市化という現象は、一つの産業構造の新しい転換を意味する要因となることを見逃してはならないと思います。

以上労働力不足の問題と都市化の問題を簡単に申し上げたのでありますが、これらわが国経済の今後の発展条件の中で最も重要な因子である国際化の問題をとりあげ、詳しくお話してみたいと思います。

国際化というテーマはいろいろな意味合いを持つてありましようが、私はここでは、日本経済が国際化によつて国際経済という一つのシステムの中に入る、という風に単純化して考えることとします。言葉をかえますと、国際的に通用する価値尺度ないし物の考え方——国民経済政策にしる企業経営にしる、国際的な場での先進国に通用する物の考え方をしなければなりません。そしてそういう物の考え方に立つて政策論がでてくるわけですが、当然それも国際的な先進国に通用する質のものでなければなりません、ということでもあります。わが国の経済は今まで、ある封鎖の中において国際経済の非常な良い部分の影響を資本なり技術なりの面からもつてくることができた一果実を摘んできたわけですが、今後は日本経済の発展とともに国際的

地位が高まってきたため、国際的なリングの中において影響を受けるばかりでなく、国際経済の発展とともに自由経済の発展が規定する一つの大きな力にならなければならない、すなわちいわゆるパートナーシップとしての役割を發揮することが国際的に要請され、また日本経済の発展の道としてもその方向をとらねばならない、かように考えるわけであります。

もともと、今までの日本経済がかような飛躍的發展をしたという要因としては、先進国が管理した果実としての技術を導入しそれを軸として技術革新を遂行し産業の近代化と構造改革を行なってきたことがあるのでございますが、その中でとくに日本の産業と国民経済の発展に大きな影響と効果を与えたのは、これが輸入の防圧として働いたことであると思います。製品の輸入をしなくて済ませることが、この技術導入によつて可能になつたわけでございますが、その実績をみますと、29年には約50%の輸入防圧力しかなかつたものが、35年すなわち例の高度成長の時期ではこれが80%に高まつております。換言すると、同種の製品においては8割以上が技術導入によつて国内の需要をまかなつていたことになりまして。このように技術導入による経済効果は、いわゆる輸入防圧の値においてはつきりと見定めることができます上に、さらに内需を満たしつつ製品を再輸出して外貨を獲得するという面もあつたわけでございます。

しかしながらその反面、技術輸入がきわめて簡単にできましたことから、各社が相競つて同じものを輸入することにもなり、国内の産業が非常に乱立して新しい近代秩序をつくる上で大きな障害になつている、いわゆる過当競争の現象がくるといふ事情にもあります。ヨーロッパでは、ある発明をしますとその創業の利潤はある一定の期間これを守つてやろうという一つの経済秩序がございまして、日本は逆でございまして。自主技術がなかつたために輸入技術に頼ることになつた一つの結果だと思つておりますが、そうしたことによつて、小規模の企業が乱立し過当競争を行なうという現象が発生したのであります。このように、日本経済が近代的であるための大きな条件に欠けているという弱点を持つことを、見逃してはならないと思つております。

この技術導入、いわゆる日本経済の高度成長をささえてきた大きな原動力であつた技術導入も、現在ではいわゆる国際化現象によりましてある峠をこしているという事実があらわれてきております。すなわち最近の技術輸入を見ますと、大型輸入が非常に減つてきまして、だんだんと小型のものの輸入が増加しております。たとえば全技術導入における大型新技術のシェアを調べてみますと、36年には70%であつたものが40年には43%に下りさらに41年には33%と非常なおち方をしております。このように大型新技術が減少して二番煎じの技術が増えますとともに、一方においてはロイヤルティが非常に高くなるとか、資本参加の要求が強

くなりあるいは経営参加の要求が技術導入の条件として入ってくるか、あるいは製品の海外輸出の際マーケットに制限条件をつける、というふうにして、先進国ことにアメリカにおける日本に対する競争相手としてのライバル意識は非常に高くなつてきております。

こういうことになりますと、資本自由化を契機として今までのような自由な技術導入はだんだんと不可能になつてくるという事態が生まれるわけでございます。そしてわが国産業の構造改革と近代化の軸となつていた技術導入というものが、1つの大きな限界期に立ち至つたということになります。40年代の発展条件が、このように従来の日本経済の発展条件と大きく異なつてくるのでありますが、それでも日本経済は、初めに申しあげましたように、10年後には3,000億ドルという大きな規模の経済に発展する可能性を持つているのでありますから、我々としても大きな反省と覚悟とそれに対処する意識を持つて真剣にとりくまなければならないと思います。かように40年代以降のわが国産業の構造的改革は、経済発展の条件が検討されてそれに即応するような近代化を進めねばならないわけではあります、このことを更に視点をひろげて考えてみますと、日本の国民経済における先進国との比較上の弱点は、農業や中小企業といった生産性の低い部門にあるといえると思います。これとともにいわゆる社会資本の充実が民間資本のそれに比較して遅れている、言葉を変えると日本経済全体が均整のとれた条件において発展してはおらない、非常にジグザグの形でアンバランスな姿で動いている、重化学工業の分野は非常に進んでいるが低生産性部門と流通機構は不備である、という不均質の経済になつていっているという点を指摘できます。これは、先進国にはみられない日本の特徴的な弱点でありまして、この均質的な経済の実現こそ、国民経済全体の解決すべき一つの大きな問題点であります。これは一朝一夕に改善できるものではありませんが、最も重要な課題であります。そういう上につつて、日本経済における産業の構造改革については、発展条件の変更に即応して、真剣に対策をたて断行しなければならないと存じます。とくにその軸になつていっている技術導入というものが、だんだん狭ばまつて窮屈になり、困難になる、ということは、言葉を換えますと、自主技術の問題が新しくわれわれ国民の前に大きな課題として投げかけられてくるのであると存じます。

第2に技術立国、いわゆる自主技術の開発がこの産業構造改革の対策にどのように大きな役割を果し得るかという問題に移りたいと思います。

大体戦後の自由経済社会は、先程申しあげましたように一つの経済発展の理念として、いわゆる従来の植民地政策を放棄し資源の相互活用という考え方を土台として、各国が協調すべきは協調ししかもなお国際自由競争の原理に基づいて、自己の特徴を生かす、いわゆる国家相互の秩序というものを一つの理念としております。パートナーシップとパーソナリティ、協力と

個性の発揮とでも申しましょうか、そうした2つの理念を指導理念として進んでおるわけでございます。その中で、具体的にどのようにして産業構造の改革が進んでいるかと申しますと、特に日本において必要なのは、第1に国際競争に耐えうるだけの企業規模における規模の利益、規模の拡大の問題、第2には、経済発展の条件に従って労働集約型の産業からいわゆる資本集約型の産業への転換の問題、第3には、さきほどから再々触れたように、国際的に見て企業の大小にかかわらず個性と特徴のある産業をどのようにして生かすか、という国家の理念の問題であります。この点は、国際分業の問題にも関連して、大企業にも影響するわけでございますが、中小企業といえども特性のある、特徴のある産業の育成培養という問題があるかと思えます。

かような方向性を産業構造の改革の方向と認めますと、この達成の時期の問題と共通するのは、日本の自主技術の開発が必要だということになるかと存じます。例えば、電子工業や自動車工業といった花形産業ないし戦略産業というべきものにつきましても、国際的にみると、なお技術的には劣っておりますし、世界の王座を占める造船についてさえその内燃機関や内装関係では、なお輸入に頼っている部分が少なくないように聞いております。かように自主技術の開発が国際的にみて非常に劣つておることは申し上げるまでもないわけでございますが、一方では先進国は日本に対して、先に申し上げましたように競争相手としてのライバル意識を高めております。このことは、日本経済が外国からみると非常に成長率が高いということから、国際的経済負担をさらにふやしてほしいと要請する裏付になつておるわけでございます。

昨年、私はアメリカの工業、重工業、農業をみてまわり、ワシントンで政府要人と懇談を重ねてまいりましたが、ワシントン政府の声は、期せずして異口同音に日本経済はその大いなる発展の中で今後自由世界経済の発展のための役割を大きく持つて欲しいとの要望でございました。E E Cや、イギリスを含めたヨーロッパ経済、あるいは英連邦というような一つのリングが今では次第に構造的にくずれてきて、カナダや濠洲など大太平洋に目をむける情勢になつてきております。その中で、戦後の自由世界経済の推進力となつておつたアメリカの地位が相対的に落ちてきております。そして、E E Cや日本というような経済の充実した国が向上してきているわけでございます。

国際経済を構造的にみましても、E E Cや日本やアメリカという複数国の力強い軸が新しくできて、今までは、アメリカが自由世界の発展の指導力を持つておつたのでございますが、それが多党化し多党化の中においてそれぞれ役割を果しつつ自由世界を発展させていくというような構造的な変化が出てきているわけでございます。その中でアメリカは、特に日本を高く評価しその責任の分担を要求する声が非常に高かつたのでございます。

私は、わが国の表面的な高度成長の現象は一つの光であつて、その影の部分には中小企業など低生産性部門の問題の近代化の遅れ、あるいは流通部門の不備というような問題について質的に多くの改革を必要とする部分が隠されていることを指摘しておいたのであります。

こういう日本経済の特殊な中進的性格、言葉を換えますと、発展段階が先進国と違うというこの特徴を十二分に理解した上で、アメリカは協力体制に関する、もしくは日本経済に対する要請をすることが将来の自由世界発展の軸になるはずであつて、急速にアメリカ的なものの考え方から"光"のみをみて"影"の部分である日本経済の質的な構造上の弱点というものを見落すと、そこに大きな矛盾ないし衝突を生ずる恐れがある、とのべて彼らの主張に対し反論したのであります。アメリカのみならず、欧米あげて日本経済の発展の光の面に着目して国際経済発展における日本の大きな役割を要請する声が非常に強まつてきておりますが、それは言葉を換えますと、資本自由化を契機として、日本に対する巨大な資本力のチャレンジが強まる意味にもなるかと思ひます。同時に、今まで日本経済の発展の本当の推進力になつておつた導入技術に対する反省をわれわれに条件づけてくることにもなると考えられます。

このように先進国が非常にライバル意識を発揮しておると同時に、いわゆる発展途上国による中小企業的分野での競合関係を今後覚悟せねばならぬということにもなりますと、わが国の中小企業の中においても、効率的な構造を選択することが非常に急がれることになり、これが日本の中進性の一つの表われでもあると存じますが、このような状態の中にあつて発展条件の変化に即応する体制で日本経済の構造改革を進めねばならないわけでございます。

しからは、今後のこの技術開発の主軸をどこに向けるかといいますと、これは非常に常識的な問題でございましょうが、いわゆる Big Science, Big Technology といいますか大型技術に主軸をおいて、それを中心とする自主技術開発の方向になるであろうと存じます。さらに、もう一つ忘れてはならないのは、高度のこの技術を組織化することでありまして。日本人は比較的個別の発展は巧みであるという特徴がございまして、総合的な効率をあげるということに対しては必ずしも特異性をもつ国民ではないように思ひます。今後の技術開発、特に自主技術の開発には、各方面の高度の技術を総合組織化するということが一つの大きな宿題であろうと存じます。

大型化と技術の総合的組織化、例えば一つの例としまして原子力船を引き合いに出しますと、造船技術は勿論でございまして、どうしても鉄鋼や機械、電気機械あるいは原子炉というようなトップレベルの技術が総合化されて、はじめてそれが完成されるわけでございまして。石油や石油化学あるいはそれに付随する産業というようなものも、同じことがいえるだろうと思ひます。素材から加工や組み立てについて、すべて総合的な新しい秩序を考えねばならないという

ことが、一つの自主技術開発の方向性だと思っております。

この技術的な要請が日本経済の上でどの方面で求められるかということになりますと、やはり第1は近代産業社会の一つの軸になつてゐる重化学工業を基盤として、その上に立脚する新産業を作り出す技術開発、それから第2は生産プロセスの進歩をもたらすような技術開発で、これは先に述べた労働力不足とかコストダウン、国際競争力の培養という観点からますますその必要性が強まると思われます。それから第3点は都市開発、国土開発、環境衛生あるいは公害防止、安全性等のいわゆる日本の過密度からくる特有の社会的な問題点を解決する自主技術の開発で、これは大きな社会的要請であるばかりでなく、経済的な要請が地方開発との関係において生じております。従つて、かようなる3つの問題をとらえたいと思つております。

もちろんこの方法論としては、基礎研究や応用研究、それから工業化の試験や企業化というようない連の研究開発の方法がスムーズかつ永続的に行なわれねばならないことは申すまでもないことであります。この一連の関連において、資本なりマンパワーなりを合理的に配分する、あるいは研究管理の体制あるいは研究評価体制ということの成立する地点が勿論あるわけでございましょう。ここに、日本の自主技術の開発が、いわゆる近代的に変化する40年代の日本産業の発展条件に即応するために、構造改革の軸として新たにとり上げねばならぬという大きな課題となるわけでございます。

以上は日本経済の発展の道として、構造改革を技術立国の視点から申し上げたのでございますが、しからは、これと原子力平和利用の開発は、どのような意味合いをもつてであろうという問題であります。これは申し上げるまでもなく、経済の高度成長の結果といたしまして、日本のエネルギーバランスが非常に變つてまいつたわけでございますが、特に注目すべき問題は、国民所得の伸び以上にこのエネルギー消費の伸びが高いという一つの問題点、それからもう一つは、このエネルギー源の輸入依存率が非常に高いということであります。これは常識的なことですが、国際収支に影響のある問題でございまして、現在わが国では総輸入額の18.8%（昭和40年度通関統計実績）をこのエネルギー資源が占めております。また、総エネルギー供給の中に占める輸入エネルギーへの依存率が年々非常に早さで高まつております。例えば、40年が66%を占めておりますが5年後の45年には76%、それから5年後の50年が82%、60年が実に90%という見込みになつてございまして、こういうふうに輸入エネルギーへの依存率が非常に急速に高まつているという事実は、言葉を換えるとエネルギー利用の効率化が非常に必要であること、国民経済発展の中でもエネルギー問題は極めて重要であることを示唆するものであると考へます。

従いまして、この問題の解決のカギとして、日本は原子力開発に待たねばならない、という

結論を私は申し上げたいと存じます。それは、アメリカをはじめ経済性の追求が極めて急ピッチに改善されつつある、いわゆるコストがだんだん早いテンポで安くなつておるといふことにもよりますし、それからもう一つは多目的の原子炉が次第に発展する可能性がある、例えば海水を脱塩して真水を製造し、これを都市や産業、工業等に供給することも可能になりましょうし、肥料としてのアンモニアの合成にも利用できるであろうと考えると、低廉しかも多目的に活用ができるという点が原子力開発の一つの大きな特徴であり、エネルギーの問題の解決のカギがここにあると思います。

同時に、原子力には非常にトップレベルの総合された技術がこれに組織的に集まつてくるのでございまして、いわゆる日本の自主技術開発の拠点ともいふべきものは、原子力開発であろうと考えます時、日本経済の発展の新しい路線に沿うためには、原子力開発にこそその主軸を置かねばならぬという論理が私の頭の中に浮んでまいる次第でございまして。このような特徴をもっている原子力開発は、おそらく輸出産業としても非常に高度の意味合いを将来持つだろうと期待されます。発展途上国は、現在、先進国との間に発展上の大きな落差がございまして、それをうめるための手段として高度化した原子力開発を採用し、軽工業から高度の工業化へ進むという道をとることにならうかと考えます。

ちょうど大正末期から昭和の初めに、低廉豊富な水力が北陸地方に大きな化学工業を興したと同じように、特徴のある原子力開発が高度化されることによつて、日本の国土開発にも産業構造にも大きな影響を及ぼすであろうと考えるのでございまして。これをいかようにして開発するかにつきましては、諸先生はじめ、関係の方々が官民共に非常に努力していらつしやるところで、常に感謝する次第でございまして。

私はいつも考えるのでございまして、先程も申し上げましたように日本人の特徴として一つの個人的なエネルギーの發揮には非常に優れているが、総合的にこれを効率化して發揮するという総合力、組織力の点では劣つていゝと思うのであります。今まで輸入技術に頼つておりました関係上、民間産業の各社はどこでもパテント取得による技術を導入できるわけでございましてから、各社の横の協調体制或いは再編成という問題が自然に進んで来ていると感ぜられます。従来歴史的諸条件から見ましても、この国民性に裏づけされた総合的、組織的な効率化の立ち遅れという弱点が、原子力開発において非常に大きな問題を投げかけているのではなからうかという気がいたします。

第1番目に私は、こういう近代産業社会の軸としての創意工夫というものは、この場合自主的、技術革新がその軸になるわけでありまして、現在自由企業体制の中で個々バラバラに動いてゐる日本の原子力開発を自主的にどういふ体制でその能力を發揮させ効率化させるか、と

という問題を十二分に考えねばならないと思います。創造力の発揮という事は、自主体制の中で最もその条件を具備しているわけでありますが、単に形式的観念的な体制の中にはめ込んで、ここで創意工夫を発揮させるようなことになると、これは非常に基本的条件と矛盾しているのではなからうかと思えます。自由企業体制の中で、官民協力してそれぞれの立場においてどのようにして創造性を集中発揮し、立ち遅れをとりもどすかを考えることが重要であります。

それから第2番目には、この自主技術の領域を発電炉の型やその他の分野に、どのように効率的にしかも集約的に進めるか、要するに立ち遅れた分に早くおいつきおこすためには、どのように集約的、効率的な炉型その他の分野で集中的に効果をあげる方策をとるか、という問題であります。

第3点としては、燃料サイクルや原子力機器開発というような一連の関係作業について、バランスのとれた組織的な育成をどのようにして進めるか、という問題であります。最後に第4点としては、この急速な技術開発についてももちろん技術要員の養成は進められているわけですが、多数の高度の技能者をいかに計画的に養成するかでございます。

これにつきまして、私は以上4つばかり問題点を拾って見たのであります。これらの他にも、政府と企業のそれぞれの補完的な或いは自主的な役割のいつた問題や、資本をどのようにして巨大化するか、資本をどのように調達するのか、貨幣資本の不足をどのようにして補なうかという国民経済上の大きな1つの問題点にも触れたいと思えます。

その他いろいろ問題はございましょうが以上の様な4つの問題点を集約いたしますと、調和のある新しい秩序をどのようにして作り出して、そして原子力開発の新しい自主的發展を進めるか、ということが非常に大きな課題として我々の上に存在しているということを申し上げたわけでありまして、日本経済が昭和40年代にいかにか新しい発展条件に即応して構造改革を断行すべきか、その断行の軸は自主技術を中心とする軸にしなければならない。また、その自主技術の軸はトップレベルの総合的効率的な集約化による原子力開発に待たねばならない、ということを上記した次第でありまして、そうした意味あいにおいて、今回の日本原子力産業会議主催の第1回年次大会が成功裡に終ることを期待して、私の話を終りたいと思えます。ご静聴を感謝いたします。

Ⅱ 動力炉開発計画

動力炉・核燃料開発事業団

理事長 井上五郎

1. 本日は「動力炉開発計画」について述べるようにとのご指示を受けたので、動燃事業団としての今一つの仕事である核燃料の開発に関しては、時間の関係上一切省略する。

そこで動燃事業団発足以来の四カ月余について動力炉開発についていかなる方針をとつてきたかに問題を集約したい。

一口に言えば動燃事業団は法律に基づく基の方針をいかにして実現するかを焦点をしぼつて準備を整えその実現への第一歩を踏み出した許りである。(但し厳密にはその基本方針は未だ確定を見ていない。)

2. 原子力委員会の動力炉開発懇談会は39年10月発足した。一年度の審議によつて大綱を決定し、その答申によつて原子力委員会は41年5月基本方針を決定した。

原子力委員会はこれに基く法律の制定を準備すると共に動力炉開発臨時推進本部を設置し、これは42年9月答申を出し、又動燃事業団は同10月発足した。

3. この方針に基いて事業団は転換炉および増殖炉開発を同時に進めるのである。かつ増殖炉は先づ実験炉から進めるが、その完成と多少ラップして原型炉に取かからねばならない。

これは限られた人々の中で予定期間内に推進することはきわめて忙しい。同時にその基本方針そのものにも決定の段階において幾多の論議があり、その中の一部は今日もいまだ若干の問題点を残している。しかしそれらは十分の審議の後に決定したことであり、今日は審議当時にくらべてそれをうれえる程の新事態は起つておらない。かつて法の制定にも論議されたように中途の段階で check and review することは必要であるが今日はこれを既定方針として進めて行きたいと考えている。

4. そこで事業団はこの目的達成のために編成以来次の点に重点を置いて構成並に運営されるよう配慮した。

(1) 国の総力を結集し得ること。

ナショナル・プロジェクトである以上一部門を代表する者だけで出来ないことは当然である。

官民；学界と産業界

研究機関と製作機関

電力ユーザーとメーカー

これは幸にして各方面より絶大の協力を得られたがまだまだ量的には甚だ不足である。

(2) 今後人員は増加するが、しかしそれには限度がある。事業団は基本計画概念設計と共にプロジェクトの実施には十分の責任体制をとるが中間段階においては出来るだけ既設の機関を利用したい。これについては国会審議の過程においてしばしば論議された。ただし参謀本部的という表現は必ずしも妥当とは思わない。責任体制は明確にしたい。事業団は研究機関ではなく又、立案機関でもない、事業団は物を作るのが目的である。事業団の成否功罪は出来上った炉によつて判断される。

モデルをとるとすればアメリカのNASAが一例かと思う。

ここで大切なことはその管理方式である。日本ではかつてこれだけ大きな研究開発プロジェクトが実施されたことはない。NASAで採用されたMICS (Project Management Information of Control System) 具体例としてはPERT・COST II といった方式を研究したいと考えている。

余談になるが、これは事業を合理的に進める上にぜひ必要であつて、かりに資金の裏付けがあつても開発は出来ない。人の問題はもつとも重要であるが、いかなるタレントがいかなる時期に必要なかによほど計画的に進めなければならない、金と物と人との適確な整備が合理的かつタイムリーな開発に必要である。

早い話が予算査定がその時々々の財務事情で左右されるようではこうした長期大計画は達成がおぼつかない。

(3) 国際協力が必要である、自主的であると同時に遅れた日本は今までに開発された外国技術は十分取り入れねばならない、遅れたことがある意味では利点でもあるようにしなければならない。S G H W R の情報交換契約は2月22日にロンドンで調印される。

5. 以上の基本構想に基いて動燃事業団の動力炉開発部は清成副理事長の下で三部門に分れて仕事を進めている、一つは計画管理部であり、他の二部はそれぞれ新型転換炉および高速増殖炉開発本部である、時間の関係上内部機構の問題等は一切省略しそれぞれの炉型についての進捗状況を述べる。

(1) 転換炉

第1次概念設計を昨年12月に完成した。各メーカーにその仕様を内示し設計方を依頼したが日立が幹事会社となつて各分担が決定した。この炉型式が将来実用化される場合にこの条件が最適であるか否かを予断することは非常にむずかしい。可変数が非常に多い。しかしこの方針によれば、いかなる燃料サイクルに対しても対応性が広い。目標としては50万KW程度の実用炉として軽水型とコストの上で競争しうる。ただし15,000MWDの燃焼率が得られるという条件で材料を含めて国産に適する。従つて増殖炉が完成の上でも中産量としての存在の価値が

あり、またこれは輸出用にもなりうると考える。

以上の観点から第一次設計は20万KWの原型炉を採ることとした。これは上記の燃料のサイクルを実証する上で16万KW以下では不十分であるのでこれを20万KWとして、計画を進めることとしたものである。

そこで第二次概念設計が終つた時点で以上の目的に合致し得るか否かは check and review されるものとする。

(2) 増殖炉

増殖炉が原子炉の本命であることはいうまでもないが、各国ともこの開発に努力しているので日本は既に10年の遅れがある。英・米・ソ・西独・仏の五カ国のうち西ドイツを除く各国は既に実験炉を完成した。なかでもイギリスとソ連とは最も早く、1960年以前に実験炉が完成したと伝えられる。出遅れたわが国としていかなる開発方針をとるかこれまた多くの審議がなされ、メーカー側第一次設計は6月頃回答が提出される見込である。これとSGHWRより知られるデータに基づいて第二次概念設計が進められる、これは安全審査の基準に対するものであり同時に製作設計と直結するものであり一つのきまりと考えている。

又特に燃料については二相機即ち重水と軽水とによる燃料の性能試験を住友原子力工業に依頼している。かくしてATRは原型炉を44年度から具体化して49年度に臨界に達する計画である。

そこで設計の基本方針について一言する。

○ 転換炉の基本概念

転換炉はいかなる目的で作られるのか、又作る必要があるのか、作るとしてもそれは高速炉が出来るまでの中間的用途にすぎないのか、本問題は数々論議されたところであるから時間の関係上くり返さない。

ここでは事業団が今日決定した第一次概念設計について述べる。

その第一目標は天然ウランによる燃料の自給自足である。プルトニウムのセルフサスティングという表現で表わされている。この点はカナダ型ともイギリス型とも異なる。濃縮ウランをアメリカ一辺倒で供給されることが不安で、天然ウランのみたよるというのではない。しかし炉の設計上最適である条件まで濃縮度を高めるといふのもない、いふなれば英、加の中間である。

実験炉を必要と考える理由。

1. 世界各国とも原型炉が1970年の前半に完成し、それから実用炉にとりかかるとしても1980年になるであろうしその容量はいずれも100万KWと考えられる。

2. 実験炉は将来の照射用として利用可能である。

結論は極めてオーソドックスな方法でまず実験炉を作り、原型炉を作りその上で実用炉に進むという方向をとり、かつ今日としてはその実験炉のために基礎データを知るための諸準備に入ったというのが実情である。

具体的にはナトリウム工業研究のためのナトリウム・ループの建設、高速炉物理研究のための臨界実験（FCA）、高速炉用の燃料開発（ウランおよびプルトニウム混合酸化物）、 α -r ケープによる照射済燃料の研究、以上のような試験を行ないながら実験炉の概念設計を進め、43年度中には製作設計を作りたいと考えている。これは47年ないし48年に完成する。

一方原型炉は諸外国の進捗とかんがみ併せて40年後半には着工の要がある、概念設計は既に進めつつあるが、実験炉よりのデータがえられる前に製作設計を完了することは開発計画中の最も困難な点の一つである。このためには今後は国際協力等を更に進める必要があるものと考えらる。

Ⅲ 原子力開発と放射能安全

東京教育大学教授 三宅 泰雄

1 はじめに

私が放射化学を専攻しようとしたのは、大学の1～2年のころ、すなわち、いまから40年ほどまえの1928～9年ごろのことである。Curie, Rutherford, Hahn, Meitner たち大科学者の名前は、私にとっては、もつとも神聖なものであり、私は、彼らによつて開かれた自然の真理は、人類のもつとも尊い精神的な遺産であると、かたく信じている。かれらが一生をささげて、そのために努力し、有名、無名の多くの科学者たちが、国境をこえて、相たずさえてついに到達した原子力の解放は、ギリシア神話におけるプロメシウスの行ないにひとしく、人間の精神の高貴さをしめしたものにほかならぬ。プロメシウスは、太陽の火をたいまつにうつし、人間にその火を与えた。プロメシウスから火をあたえられた人間は、それを用いて食事をつくり、土地を開き、道具をつくり、すまいをあたため、「無邪気と幸福の黄金時代」をつくり上げた。しかし、あまりにも、彼が人間の幸福と進歩をねがったことに、怒りをおぼえたジュピターは、プロメシウスをコーカサスの山頂の岩にくさりでつなぎ、彼の肝を禿鷹にくわせた。しかし、あくまで、剛毅なプロメシウスは、ついに屈することがなかつた。

放射能や原子力の研究にたずさわつて来た多くの科学者は、あたかも、プロメシウスが禿鷹に肝をくわれたように、放射線によつて、その尊い生命をうばわれた。M. Curie はいうにおよばず、Fermi, Leo Szilard, Oppenheimer, Lawrence をはじめ日本の村地にいたる、人類の先駆者というべき人々が、放射線によつて生命を失つた。

これらの貴い行為の結実ともいふべき原子力が、科学者の手をはなれるや否や、おそるべき核兵器として投下されたことは、われわれ科学者にとっては、全くゆるしがたいことである。

原子力を用いる人は、第2のプロメシウスたちの高貴な精神にたちもどり、彼らとその生命をかけて、人間の幸福のためにささげたこの貴重なおくりものを、それに値するようを用うることと専念しなければならぬ。

2 原子力放射能の実態

現在の原子力の基礎をなす核分裂は、巨大なエネルギーの解放とともに、多量の放射性物質の生成をともなう。核エネルギーの利用の有効性については、ここで論ずるまでもない。しかし、それにとらず重要なのは、原子力にもなつて発生する放射性物質と放射線（これらを、原子力放射能とよぶ）の制禦である。

日本の国民は、原子力放射能のおそろしさを、いやというほど知らされた。もしわれわれが、

生命をたれた科学者たちの献身をしのび、原水爆の犠牲者をとむらい、被爆者に同情の念を禁じ得ないならば、われわれは、ふたたび、日本の国民、ひいては、全人類に、原子力放射能による、いささかの被害をも与えないことを決意すべきである。

1985年(昭和60年)ごろのわが国では、3,000万ないし4,000万キロワットの原子力発電が期待されている。これにともなつて発生する放射性物質は ^{90}Sr を例にとれば、年間約70MCiに達する。これは、放射能雨で、日本全土に降つた ^{90}Sr の量の、約3,000倍である。年間に発生する放射性物質の全量は、1年間冷却したのちでさえ、約650MCi($6.5 \times 10^8 \text{Ci}$)の巨大な量に達する。

わが国で、1年間に用いられているRIの量が、せいぜい、1,000Curieのオーダーであることを考えれば、 $6.5 \times 10^8 \text{Curie}$ の放射性物質は、大変大きな量である。

これらの放射性物質の大部分は、炉の中にとじこめられている。また、使用済み核燃料の99.99%以上も、同様にとじこめられるであろう。しかし、ごく一部ではあつても、環境に処分されるものもある。

とじこめるにしても、その容量には、おのずから限度があり、深海への投棄、地中への埋没による窮極的な処分を考えなければならぬであろう。

このようにして、原子力の発展とともに原子力放射能が人間環境に影響を及ぼすことは必然のことである。いかに、原子力が国民経済にとって重要であるとはいえ、原子力施設ではたらく人々、施設の周辺と産業、ひろくは国民全体を、原子力放射能から十分に守ることこそ、原子力利用の前提条件でなければならない。

原子力放射能の源と種類は、多様で、しかも、それらと人間の間には、複雑で、未知の要素が介在している。これらを原理的に解明しなければ、原子力放射能の人に対する影響を評価し、防止の対策をたてることはできない。

日本の場合、土地がせまく、人口が密で、しかも、海産物に多くの食品を依存している国では、他国に比して、とくに、原子力放射能に対する安全対策に慎重を期する必要がある。人に対する原子力放射能の潜在的な影響度は、日本においては、広大な国におけるより、格段高いことが予想されている。

3 原子力放射能からの安全保障

原子力放射能に対する安全対策については、すでに、原子力委員会の「原子力開発利用計画」の中で基本的な考え方がのべられている。ここでは、それを補足する意味で私の考えをのべたい。

原子力放射能の安全対策には、二つの大きい側面がある。その一つは、自然科学技術の面で

の対策であり、他は社会科学的な面での対策である。

前者については、原子力施設そのものの工学的な安全性、原子力施設内における、いわゆる線源のまわりの安全性が保たれなければならないことはいうまでもないことである。

複雑な問題をかかえているのは、放射性物質の処分(waste disposal)あるいは漏洩によつて、環境が汚染される場合の影響の評価と、予防ないしは防止である。これには、とうぜん、原子力施設の立地、あるいは、放射性物質の運搬などの問題も関連している。

しかし、これらの問題は、基礎的な研究と、その応用により、技術的には解決が困難なことではない。問題は、むしろ、技術的に可能な原子力放射能対策を、いかに実行あらしめるか、という社会科学的な条件の備えである。

基準に対する法体系の整備、行政機関の職務分担、原子力施設の設置における社会経済的な評価、原子力への理解をふかめるための教育と正しいPR、各産業との共存、共栄の方策など、掘り下げて考えるべき多くの問題がある。なかんずく、原子力放射能からの安全保障についての、公正な監視機構の確立がいそがれている。

これらの自然科学的、社会科学的な対策の強化とともに、とくに強調されなければならないのは、基礎的研究の重視である。

自然科学的な面においては、すでに、わが国には、日本原子力研究所、動力炉・核燃料開発事業団、放射線医学総合研究所等がある。しかし、これらの研究機関だけでは、将来のわが国の原子力放射能安全対策には、きわめて不十分である。

このことにかんがみ、日本学術会議では、「原子力放射能安全研究所」と「放射線障害基礎研究所」の2つの新しい共同研究所の新設を立案している。このほかに、安全工学のための共同的研究組織をつくることも必要であろう。これについて、日本学術会議では、「原子力開発基礎研究所」の案を練っているが、まだ、十分な結論にはいたっていない。

大学に足場をもつ、これらの、新しい共同研究所が設立され、既存の研究所とともに、密接に協力すれば、国民を原子力放射能から守るための研究体制が一応ととのうことになるであろう。

これらにとらず重要なのは、社会科学的な問題の基礎と開発の研究である。このためには、私は少なくとも、2つの研究所の設立が必要であると考えている。その1つは、原子力委員会に直属する「原子力政策研究所」である。ここでは、原子力をいかにして、国民のものとし、国民の福祉に役立てることができるか、という政策の基本的な研究が行なわれる。もちろん、原子力放射能の安全対策の研究は、その重要な仕事の一環でなければならない。他の1つは「原子力問題研究所」であつて、ここでは、原子力と今後の世界および日本の社会との相互関係

(核兵器問題との関連もふくめて)が長期的な展望のもとに研究される。この研究所は大学を足場とする共同研究所であることがのぞましい。

原子力の人類史的な意義と、国民経済における重要性をかんがえるならば、これくらいの数の研究所をもつことは、むしろ当然のことといわねばならない。

さらに、のこされている重要な問題は、今後年間100~200人を必要とする放射能安全のための科学技術者の養成である。現在わが国には、これに関連してわずか十数講座がもうけられているにすぎない。これに対し、原子力工学の技術者はすでに、年間500人ずつが世におくり出されている。

大学における原子力放射能のための研究施設、学科、講座などの飛躍的な増加を至急に考えなければ、原子力の今後の現実に対応することはむづかしいであろう。

4 む す び

わが国の識者の多くは、原子力利用の重要性については、ほぼ一致して積極的な意見をもっている。しかし、それは、もつばら、核エネルギーの利用の面であつて、それと、相補関係にある原子力放射能についての認識は、かならずしも十分とはいえない。原子力のもつ、この両側面に、バランスのとれた配慮を払いつつ、それぞれの開発と対策とが平行におこなわれなければならない。

最後に、私がのぞみたいのは、原子力放射能問題にかぎらず、わが国の原子力全般の発展のために、原子力委員会と、日本学術会議(原子力特別委員会)との間の関係を密にすべきことである。原子力特別委員会には、原子力問題、放射線影響、原子力開発基礎研究、核融合の四つの部会があり、多くの専門家がそれぞれの問題と常時、真剣にとりくんでいる。原子力が国民の英知の結集によつて、はじめて発展が可能であるとすれば、原子力委員会と日本学術会議との提携の必要性は論ずるまでもないことであろう。

最近の経済・金融情勢について

日本銀行総裁 宇佐美 洵

ただ今、ご紹介いただきました日本銀行の宇佐美でございます。日本原子力産業会議の第1回年次大会にお招きをうけ、皆様にお話し申し上げる機会を得ましたことを、まことによろこばしいことと存じております。私は近代科学、ことに原子力のことにつきましては、何の知識もございませんが、先程うかがいましたところでは、日本は原子力の学問では国際的にも非常にレベルが高く、世界的に有名な方々が大勢いらつしやるということでありまして、こういう立派な方々を前に私が最近の経済金融情勢につきお話申し上げることを大変光栄に思っている次第でございます。

さて、昨年~~の~~日本経済は、すでに皆様ご承知かと思いますが、私どもが当初予想した以上に高い成長をとげたのでございます。昭和42年度の経済成長率を当初、政府は、実質7.8%と予想いたしておりました。また、ただ今私のとなりに坐つていらつしやる木川田さんが会長をしておられます経済審議会が作成した「経済社会発展計画」でも42年度の適正な実質成長率は、8.2%ということになつていたのでありますが、最近政府が発表したところによりますと、42年度の実質成長率は実に11.6%に達する見込みとなつております。

私が予想以上と申し上げましたのは、こういう事情にもとづくのでありますが、一方、世界各国の情勢はどうであつたかと申しますと、OECDの発表したところでは、42年中の成長率は西ドイツは-1%、アメリカは2.5%、イギリスは1.5%というようにいずれも低い成長にとどまつておりますし、西ヨーロッパにおいて最も高い成長をとげましたイタリアでさえも5.5%と、日本の半分以下の成長率にすぎなかつたのであります。このように世界的にみましても、昨年~~の~~日本経済はまことに目覚ましい拡大をとげたのでありますが、半面、国際収支は大幅に悪化したのであります。どのように悪化したかと申しますと、年間の総合収支の赤字は42年中で5億7千万ドルにのぼり、前年は3億3千万ドルの黒字でありましたから、差引きこの1年間に実に9億ドルの大幅悪化を示したのであります。このような国際収支悪化の最大の原因は、貿易収支の悪化でありまして、一昨年が22億の黒字であつたのに対して、昨年は11億ドルの黒字と実に黒字幅は半分に減り、この結果、国際収支の他の赤字項目を貿易収支の黒字をもつてカバー出来なくなつたのであります。このような貿易収支の悪化は、一方において輸入が

前年に比して23%増と大幅にふえたのに対して、輸出は、わずかに6%の増加にとどまつたという輸出入両面の事情によるものであります。それでは、なぜ輸入がこのように大幅にふえたかと申しますと、これはなんといいましても、国内の需要の増大から生産活動が急テンポで拡大したということによるものであります。42年中の鉱工業生産は前年に比して、実に19.4%もの増加を示したのであります。私どもの計算によりますと、景気上昇期におきましては、生産が1ポイントふえますと輸入はそれよりも幾分高い伸びを示すという関係にありますため、輸入は生産の伸びを上まわつて、実に23%もの大幅増加となつたのであります。次に輸出がなぜわずか6%しか増加しなかつたかと申しますと、やはり第1には海外の景気が芳しくなかつたということであり、昨年初めには、海外の景気は年の前半は低迷するとしても、後半には尻上りに良くなるだろうと一般に予想されていたのであります。実際には期待されたようにはまいりませんでした。このため、41年には世界全体の貿易は9%あまりふえたのであります。42年にはその半分以下の4%弱の伸びにすぎなかつたと推計されているのであります。さらに、昨年中、日本の輸出が伸び悩んだ理由といたしましては、先程申しましたように国内の景気が非常によかつたため、国内で製品を販売した方が海外に輸出するよりも、収益上もうかる、あるいは国内で販売する方が楽だというような点もございましたし、たとえ海外から引合いがありましても、それに応ずるだけの商品が不足でこれに応じられないという現象もみられたのであります。そこで、このような国際収支の状態を改善し、一刻も早く均衡を回復する必要があるというところから、昨年9月財政、金融両方面において引締め措置の実施にふみ切つたわけであり、その後、日本銀行といたしましては、公定歩合を2度にわたつて上げましたほか、銀行の企業に対する貸出増加額を規制する措置を実施いたしました。引締めの影響はまず、金融面にかなり現われてきておりましたし、だんだんコール、レートなどの金利も上つてまいりましたし、公社債市況も軟化をたどつてきております。さらに、各企業はこれまで相当手許の資金を持つておりましたが、これもだんだんとりくずされ、しかも銀行が貸出をしづつてきておりますため、企業の手許はしだいに苦しくなつてきております。今までは企業が銀行に金を借りに行きますと、割合に簡単に借りられたのでございますが、この頃はなかなかそのようにはまいらず、それだけに企業としても先行きにそなえて早目に資金手当をするため借り急ぐという状況になつてきているところかと思つております。このように金融面ではかなり引締りつつありますけれども、一方、実体経済面の方はどうかと申しますと、なお現在においても、設備投資、個人消費など最終需要の堅調に支えられ、生産はかなり高い水準で推移しているように思つております。しかし、それもこれから次第に引締りが浸透し、企業金融面での圧迫がさらに強まつてまいりますと、これも今までのようにはまいりませんまい。

企業としても次第に生産計画、あるいは、設備計画の変更を行なわざるをえなくなり、これに伴って生産の伸びも鈍つてまいりましょうし、また、国内での商品の売行きが悪くなつてくれば、再び輸出の方に力を入れざるをえまいというようになることを期待しているわけであり、このように、丁度現在は金融面から始まりました引締めの影響が今後産業界にだんだん浸透していく時期に、さしかかっているという状態にあるわけでございます。

次に海外の情勢であります、先程も申し上げましたように、後半になれば、欧米諸国の景気は良くなるのではないかという期待も持たれていたのでありますが、11月に英国はポンドの平価切下げを実施し、これとともに公定歩合の大幅引上げを含む一連の緊縮措置を実施したわけであり、そしてこれをきっかけとして、各国の金利は著しく上昇いたしました。また、英国のポンド切下げを契機として起つてまいりましたドル不安も、最近非常に大きな問題となつてきております。アメリカの国際収支は長い間、貿易収支こそ一貫して黒字でございましたけれども、海外投資ならびに、最近では、ベトナム戦費などの関係で、国際収支全体としましては、毎年大幅の赤字を続けてきました。その結果、一時は世界の音を持つていた金も次第に減つてまいりまして、現在では $\frac{1}{3}$ も怪しいという状態になつております。このようにアメリカのドルの信用の裏付けと申しまししょうか、基礎であります金保有量が減つてまいりますと、ドルの価値に対する不安が起つてくるのは、当然かと思うのであります。しかし、私は通貨の価値というものは、金だけで決定されるものだとは思つておりません。ドルについても同様でありまして、なんと申しましてもドルの価値の一番大きな裏付けになつておりますものは、アメリカの経済力であると思うのであります。この世界において抜群の経済力を持つてゐることは、アメリカの最大の強みであると思うのでありますけれども、一方国際決済通貨としてのドルという面からみまますと、やはり、アメリカの保有している金が減つてくるとなると、各国としては自分の保有するドルの価値が果して維持されるかどうか不安に思ふのも無理はないと思うのであります。これに対し本年の元旦早々にジョンソン大統領は一連の強力なドル防衛計画を発表いたしまして、アメリカはベトナム戦争をあくまで遂行するが、同時にドルの防衛も同じような強さであくまでも行なうのだということを内外に声明し、目下、アメリカとしては必死になつてドル防衛に努力しているのであります。現在の国際通貨制度は、なんと申しましても、ドルがその中核であります。日本の外貨準備をみましても、金は僅かしか持つておらず、それ以外の外貨準備のほとんどはドルになつております。ドルの力が弱くなるということは、日本としても困るわけでありまして、このようなドルとの関係は国により程度の違いは勿論ありますけれども、現在世界各国ほとんど同様であります。したがつて、今回のアメリカのドル防衛計画に対しましても、各国とも反対はいたしておりません。ただ恐れております

ことは、今回のようなドル防衛のきびしい措置の効果が実際に現れてきた場合、自分の国に一体どういう影響があるのだろうかということでありまして、この点が心配の種になつているわけでありまして。ドルの価値が維持されることを望みながら、そのためのアメリカの対策に一体どう対処したらいいか、各国それぞれに今思い悩んでいるところでございます。一般的に申し上げますと、やはり国際収支をここで本格的に改善しようというアメリカの努力に対しましては、各国とも、例えばこれまでとかくアメリカに対して、たてついておりましたフランスでさえも賛意を表しております。しかしながら、アメリカがいきますように、これからアメリカだけで国際収支を年率30億ドル改善する、また、イギリスも先程申し上げましたような緊縮措置により約4億ポンド、これをドルになおしますと約10億ドル近くなると思ひますが、両方あわせて約40億ドルの国際収支改善を図ろうということは、アメリカ、イギリス以外の国はどこかで黒字がそれだけ減るということになるわけでありまして、これをどのような形で処置するか、世界経済はこれでどうなるかということが大きな問題になつていましてあります。しかしながら、この問題はただそういうようにプラス、マイナスということだけではなくて、世界経済全体を大きくすることのなかで、ある程度解決できるのではないかという考えも起つてきているのであります。現に西ドイツ、あるいはフランスなどのヨーロッパ諸国は、今まで自分の国の国際収支は黒字だが、国内の景気は芳しくない国でありまして、こういつた国がこれから景気振興に努め、一方においてアメリカのドル防衛に協力すると同時に、自分の国の景気を良くし、ひいては世界経済全体の拡大を図つていこうという空気が、出てきているのでございます。これは大変良いことだと思ひますが、そういうように努めました結果、現実に自分の国の国際収支が悪化してきた場合には、やはりいろいろ心配が出て来るし、また対抗策が出てくるのではないかと思ひます。

私は第2次世界大戦後の世界には2つの大きな潮流があるのではないかと思つております。まず、一方では国際的な協調ということがいわれております。国連もその一例でございましょうし、また、金融の面でいえば、国際通貨基金（IMF）というような国際機関もできましたし、いわゆる世界銀行（国際復興開発銀行、IBRD）というものも出来ておりました。いろいろ各国に共通の問題を国際的な協調によつて解決しようという方向が出てきております。また、EECのように何か国の国がグループをつくり、お互いの繁栄を図ろうという動きも出てきております。こういうように世界全体が力を合せ、あるいは、地域的に、数カ国で力を合せ問題解決を図ろうという傾向が盛んになつてきたということは、たしかによろこばしいことといえましょう。しかしながら、世界全体で力を合せるという動きと同時に、一方、各国のナショナルインタレストを重視する動きも、次第に強くなつてきているように思ひます。英国

は昨秋ポンド平価を切り下げまして、経済の建直しに努力していますが、なぜそういうような状態にイギリスが追い込まれたかと申しますと、第2次大戦後はイギリスの国際競争力も次第に弱まってきたのにもかかわらず、自分の力で体質改善を図る努力を怠り、国際収支が悪化した場合には、その都度外国からの借金に安易に依存して切り抜けるというようなことを繰り返してきたためであり、やはり、自分の力で努力し、自分の力に相応した政策を採らなかつたことが結局、このような事態を招いたのだというようにいわれているのであります。ポンド平価切下げののち、本年に入つてイギリスは、さらに今まで世界に誇つてきたスエズ以東の軍隊を引上げ、また労働党政権としては最もつらい社会保障費を一時的ではごさいます。引込めるといふように、思いきつた政策を採つたのでありまして、これをみておりますと、やはり自分の問題は結局は自分の力でやらなければいけないのだということを、イギリス人も認識してきたのだらうと思つているのであります。日本といたしましても、これからは、世界各国が協調して助け合うということだけに頼つては、いけないのではないか、世界各国との協調には、もちろん出来る限り努める一方、日本自体としてもやはり、自ら努めるという努力において欠けるところがあつてはならないと思つているのであります。

学問、ことに近代科学のことにつきましては、私は一向に存じませんけれども、やはり事情は同様ではなからうかと思つているのであります。私の専門であります日本の経済あるいは金融につきましても、これからは一万において各国との協調を保ちながら、やはり日本は自分の力でひとつ立派にやつていくという努力をしなければならぬと思つていふ次第でございます。これからは、なかなかむづかしい情勢のように思つております。世界的にもいろいろ変化がおこりそうであります。日本に近い国々につきましてもベトナムを中心に、なかなかむづかしい問題が出てまいりましょう。どういふ問題が何時どういふ形で出てくるかということはずねに考えていなければなりません、それがどういふことになりましても、つねにこれに対処する最後の力は、結局自分自身の力だということをつくづく考えていふ次第であります。

皆様方のような立派な方々を前にしてはなはだつまらないお話しをとりとめもなく申し上げましたが、まあ、このような覚悟で日常私どもはやつていふつもりであります。最後になりましたが、原子力の学問ならびに産業の面でも、今後大いにご発展になりますように、そして本大会が本当に有意義な成果をおさめられますように心からお祈りして、私のお話をお終りたいと存じます。

第 2 セ ッ シ ョ ン

- ・ 海外特別講演

I 海外に対するアメリカの濃縮ウラン供給

アメリカ原子力委員会

事務総長代理 E. J. ブロツク

一本松議長　ご臨席の皆様、日本原子力産業会議の皆様、私は日本原子力産業会議の年次大会に出席して、濃縮ウランの供給とアメリカの実際の政策につきましてお話しのできることを最も喜びとするところでございます。今回の会議の主題として、核燃料問題をとりあげられましたことは、まことに時宜を得たものと考え、日本原子力産業会議に対して敬意を表する次第であります。原子力発電所の発注がますます増大している世界各地におきまして、これこそ最も関心のある問題と思います。

1976年の中頃に開かれましたカナダ原子力協会の会議におきまして、アメリカ原子力委員会のシーボーク委員長が述べましたように、原子力委員会の最新の予想によりますと、アメリカの原子力発電設備容量は1980年までに、アメリカ国内において、1億5千万KWになると予想されております。今年の2月1日現在ですでに6300万KWを上回る合計91基の原子炉の発注がすでに公表されております。

私の理解するところでは、日本の傾向もほぼこれと似ておりまして、新規計画の中に占める原子力発電の割合が非常に大きく伸びているということをおぼろげに承知しております。日本の原子力産業は活発に、ただ単に成長しているのみならず、きわめて創造力に富んだ産業であるといえましょう。そしてまた、原子力エネルギーのすばらしい将来を広く一般大衆に知らしめるといふ重要な役割も効果的に果たしつつあるものと私は考えております。たとえば1970年の万国博覧会での原子力発電の役割を考える時に、特にそういう感じが深いのであります。

ウランの濃縮サービス料金を単位分離作業量あたり30ドルから26ドルに引下げるといふ昨週の発表以来、アメリカ原子力委員会の政策を日本で説明するのはこれがはじめてでありますので、今日、ここに発言の機会を与えられましたことは、私として非常に感謝しております。この料金の引下げは、ウラン濃縮料金が最初に公表された1960年以来、3度目の引下げでありますけれども、米国内と国外で何の差別をすることなく、できるだけ合理的かつ安定したコストで濃縮ウランを供給しようというアメリカの原子力委員会の決意をこの発表があらためて証明しているものであるといえましょう。

この原則は長期供給の原則と相まつて、海外の友好諸国に対するわれわれの濃縮ウラン供給政策

の基調をなすものであります。この政策に関する最も重要な声明の一つは、今は故人となつたロバート・ウイルソン原子力委員が1961年東京で開かれた原子力産業会議の会議で行なつたもので、当時ウイルソン氏がその概略を述べた政策は、その後の民有化とか、貧濃縮などその後の新しい進展を考慮して、しかるべく修正を加える必要があつたけれども、依然としてわれわれの核燃料供給政策に関する重要なとりきめであるといえます。これらの政策が濃縮ウランの長期安定供給を求める原子炉運転者の必要に応えるものであると私たちは固く信じております。現在、海外で運転中、建設中、あるいは発注済の発電炉で、その燃料がアメリカの濃縮ウランに依存してあるものが、実に24基に達しているという事実によつてもうらづけられるものと思います。

原子力発電を行なつている電力会社が最も関心をもつ問題の一つに、今回の新しい貧濃縮制度の下で濃縮のためにAECに引渡す天然ウランのフィード物質の供給を十分に確保できるかどうかという点が、皆様が非常に関心をもたれる点だと思ひます。貧濃縮についての法規と基準を採用した当初から、ウラン濃縮サービスの海外の需要者については、天然ウランのフィード物質の購入について、そのときどきで最も有利な価格と最も有利な市場条件を利用して、世界中どこなところから買入れてきてもかまわないという理解が当初からあつたわけでございます。しかしそれと同時に原子力委員会はアメリカ国内での健全なウラン鉱業の発展を確保すべく、一連の施策を行なつてきたのであります。アメリカは天然ウランの一大産出国として、天然ウランの国内での生産の増大を助長することにより、世界中の使用可能なウラン供給量を増加することができるという考えからこの施策を行なつたものであります。

これらの施策のおかげでアメリカにおけるウラン探鉱活動が急速に活発化して、1967年には探鉱および試推が史上初めての記録に達し、実に1,076万フィートのドリリングが行なわれたのであります。それまでの試推記録は1957年、すなわち今から10年前に記録された920万フィートでした。昨年1年の経験は1965年に比べますと、その実績において約5倍、1966年の2.5倍に達しました。更に1967年は年間のウラン生産量を引いた上でなおウラン埋蔵量が实际的に増加した年で、これは1959年以来初めてのことであります。精練施設に U_3O_8 で1万700トンに相当する鉱石を送り出した後に、なお U_3O_8 換算して7,000トン分の鉱石が实际的に残つたわけでありす。

このように活発な活動は安定した核燃料市場の発達に不可欠なものであります。もし現在、進められている探鉱活動がこれまでと同様の成果を上げるものと期待できれば、当然大鉱床の発見が期待できます。何年か先までの需要を満たすに足るだけの供給源を発見し開発しようという民間業界の努力は、現在のところ極めて有望なものであります。

ここ数年の間に入念かつ組織的な計画を立てて、友好国あるいは友好国のグループにかなりの量の濃縮ウランを提供してきたことは、アメリカとして非常に誇りとしているところでございます。このような供給者の立場にあるものの責任を十分に認識して、原子力委員会は現実的な条件で公正かつ安定したコストで、濃縮ウランの長期供給を保証すべく、あらゆる可能な手段をとつてきたわけであります。

アメリカから濃縮ウランの長期供給の保証を受けて、あるいはその種の物質の購入をするためには、基本的には次の2つの手続が必要です。まず、第1にアメリカと相手国政府、またはその政府が加盟している国際機構との間に協力協定が発効していることが必要であります。この協定は相手国の特定の原子力発電計画について、燃料の必要量の概略を定めるものであり、この政府間協定においては、相手国およびその国の電力会社がここ数年間のうちに建設予定の1つまたはそれ以上の原子力発電所建設計画に要する燃料を、最大限30年間にわたつて保証するものであり、この30年間という期間は予想されている原子炉の耐用年数をカバーすると考えられるものであります。皆様の多くがすでにご承知かと思いますが、日米両国は新しい協力協定締結を交渉中であり、これによつて日本の特定の発電計画に対して濃縮ウランの長期供給を保証するという一点が、この新しい協定の中にふくまれております。両国政府とも新協定をなるべく今年の早い時期に発効させることを目標にして努力を重ねております。

協力協定は一定期間効力をもち、最大限30年ではありますが、これによつて発電所に対する長期燃料供給契約を与えることができるわけであります。この協定では協定に基づいてアメリカから相手国に移しうる濃縮ウランの最大量をきめております。この限度は相手国がこの先5年ぐらいの間に着工を予定している発電炉について、協定発効期間中の、濃縮ウランの必要量をもとにして決められるものであります。この中には研究目的のために必要となる濃縮ウランも含めております。換言すれば、最終的に決定した一つの枠に限るというのではなくて、実に5年先までのものを含めた原子力発電計画を含めて、それに対する濃縮ウランの供給を確保しその確保した上であらためて相手国は確固たる計画を推進することができるという有利な条件になつているわけです。発電所計画を現実的に確固とした立場から立案する場合に、大体建設開始前5年間という予備期間が普通であると思ひます。協力協定は定期的に改正し、新規計画あるいはそれに伴う新しい燃料の長期供給を組み入れるために、協定の有効期間を延長することもできます。

この協力協定ができますと、原子力委員会は協定によるU-235の必要量を満たすに必要な拡散工場の生産能力を確保するわけです。しかしながら、協定に示された濃縮ウラン必要量のもととなつた原子力発電所の建設スケジュールが遅れたりして、それにかかる契約が履行されな

かつた場合はこの拡散工場の能力の予約量はしかるべく削減されます。これによつて拡散工場の施設を十分に活用することができ、これは供給者側および需要者側両方にとつて利益となるものでございます。

しかるべき協力協定が結ばれましたら、次の段階といたしまして確定契約を結びます。これは基本的にはアメリカ政府と相手国政府または原子力担当官庁との間にとりかわされる商業的な取決めでありまして、現実に実現した1つまたはそれ以上の計画に対する核燃料計画をカバーするものであります。両国間の民間会社どうしの供給体制を立てることも今や可能となりました。この新しいシステムについては後で述べることにいたします。

アメリカ原子力法の1964年の改正によつて、貧濃縮サービスの開始が約束され、また需要者側に対する濃縮ウランの供給の途が大きく広げられました。この法律ができた背景で大きな力となつておりましたものは、他の国々が貧濃縮の採用に非常に関心を示されたという事情があります。海外での需要者にとつて貧濃縮の利用が有利なことはあきらかであり、利用できる天然ウラン資源が自分の国にあればそれを利用できますし、あるいはA E Cのフィード物質価格、これは1973年中頃まではアメリカで1ポンドあたり8ドルということですが、その料金よりも安い天然ウランが入手できたら、それを利用することもできます。さらに国際収支上もよい影響があると考えられます。

1964年のこの法律は貧濃縮基準は、原子力上下両院合同委員会の審議の後にA E Cが作るものと定めており、この作業は約1年前に完了しましたが、それに際しては産業界、あるいは国内国外の反応、原子力合同委員会における聴聞会の意見などが広く採用されたわけでありす。

原子力委員会の貧濃縮契約の主要点はこの基準に定めてあります。この基準に定めたとおり、原子力委員会の意図するところは、海外の需要者向けの貧濃縮契約は、国内向けの貧濃縮契約と全く同一のものであることです。原子力委員会が海外の需要者のために準備した契約書の見本を見た方もこの中にはおられるかと思ひますけれども、これらの契約書と国内の需要者向けのそれとの違いは実質的なものでございませぬ。主として契約による取引を両国間の協力協定の枠内におさめるように修正されたものにすぎないのであります。

アメリカから貧濃縮サービスを受けるには主として2つの契約方式がございませぬ。第1の方式は確定量方式であり、一定の量を一定の濃縮度で一定の期間にわたつて供給する濃縮サービスの量を定めるものであります。この方式は希望する濃縮度のはつきりしてその量が決まつている場合で、その供給を短期間に必要とする需要者に対して好都合な方式であるといえます。

第2の方式は、この方式は海外需要者の場合多く使われると思ひますけれども、必要量方式

の契約であり、この契約によればアメリカは特定の1つまたはそれ以上の原子炉が必要とする濃縮ウランを供給するだけに必要な濃縮サービスを、最大限30年間まで提供しようというものであります。この契約期間中に濃縮サービスによる一定量を需要者がどうしても購入しなければならぬという義務は、需要者の側にはございません。この方法によれば、原子炉運転者が原子力委員会から実際の必要量以上に濃縮ウランを買取る義務から解放されるわけです。

賃濃縮の料金については原子力委員会は、国内、国外で差別をしないという当初からの原則を現在でも固く維持しております。すでに公表されました賃濃縮基準表により、単位分離作業量キロあたり30ドルの最大料金が確立されています。この上限値の値上げは、人件費あるいは電気料金の値上げという場合に限られており、賃濃縮契約の中にこの上限値の改正に関する取決めも含まれているわけでありまして。上限値が改正の取決めによる以外は、契約の有効期間中完全に保証されるものであります。濃縮基準を将来新規の契約に適用しようとする場合にも、まずアメリカの議会の審議を必要とするように定められております。

原子力委員会の賃濃縮サービスの現行料金は、慎重な準備の後に昨年9月に公表されたものであり、これは先に述べたように、単位分離作業量キロあたり26ドルであり、これはそれまでの上限値であつた30ドルからみれば、大幅な値下げであります。同時に原子力委員会は廃棄濃度(Tails)をU-235の0.2%に定めております。濃縮サービスの新料金と新しい廃棄濃度をもとにして、濃縮サービス基準表が作られております。これは昨年11月に米国の官報に発表され、1968年1月1日に発効いたしました。

単位分離作業量あたり26ドルというこの料金は、1966年から1975年6月30日までのアメリカ原子力委員会の拡散工場のコストの平均をもとに算出されたものであり、運転費の他に種々のリスクや不確定要素にかかわる費用をも考慮に入れた上で決めたものであります。したがつて、われわれはこの新しい料金を長年にわたつて維持することができることを期待しております。

廃棄濃度は濃縮ウランの予定価格を最適化するために、いろいろな方式を検討した結果、0.2%に定めたものであります。

濃縮サービス料金表により、希望する濃縮度で希望する量だけをうるためには、必要なフィード物質と分離作業量がどれくらいになるかを計算することができるわけでありまして。したがつて分離作業量の単位料金と濃縮サービス基準表を照らしあわせることにより、需要者は自分が必要とする濃縮ウランを得るために、濃縮サービス料金を総計でどのくらい払わねばならないかということを計算することができるわけでありまして。

賃濃縮契約にもとづいて原子力委員会が供給する濃縮ウランは、原子力委員会の仕様に適合する六フッ化ウランの形で原子力委員会に持ち込まれ、同様にこれらの契約にもとづいて原子

力委員会から引渡されるものであります。フイード物質をどのような方法で六フッ化ウランに変えるかということは、需要者の自由であります。

単位分離作業量あたりの料金、濃縮サービスの基準表、六フッ化ウランの使用の変更、などを原子力委員会が行なう場合には、少なくとも180日前に予告することが義務づけられております。

この賃濃縮取決めにみられる原子力委員会の政策の新しい点は、濃縮の結果生じた劣化ウランの受けとりについて、需要者が選択権を行使することができる点と定めている点です。この選択権の行使はフイード物質を渡す際に明らかにすべきものであり、劣化ウランが欲しいという場合には、普通の場合では濃縮ウランの引渡しと同時に引渡しが行なわれるように決められております。

劣化ウランU-235の濃度は、原子力委員会が定めることになっております。このような劣化ウランの濃度は作業当時の濃縮サービススケジュールの基礎となつていゝる廃棄濃度に見合うことが期待されておりますが、必ずしもそれに合致するといふことはAECの保証する限りではございません。

ウランのフイード物質は普通の場合、濃縮ウランの引渡しの90日前に原子力委員会に渡さなければなりません。しかし、この条件は1969年当初の120日の間は必ずしも満されなくてもよいことになっております。したがつて、賃濃縮契約に基づく濃縮ウランの引割しは1969年の始めから、可能になるわけであります。

賃濃縮契約に基づいてフイード物質を前もつて原子力委員会に引渡さなかつた場合、濃縮ウランの供給はどうなるのかと心配する方があるかもしれません。需要者の側でどうしても濃縮ウランの受取りをおくらせることができない場合には、アメリカ原子力委員会は需要者の要請にしたがい、原子力委員会自身の判断に従つて次のような2つの処置をとることができます。

その第1は賃濃縮契約の下で個別的な取決めとして必要なフイード物質を満たすにたゞだけの燃料物質を供給することがあります。あるいは他の場合には売渡しという形をとつて、必要量の濃縮ウランを供給し、その後、賃濃縮契約をしかるべく修正するといふことです。いづれの場合においてもこのような取決めをなすうるのは、濃縮ウランの引渡しが必要とされる時期よりも、その前に一定期間に限つて可能な取決めであり、さらに需要者の側で他の方策によつて天然ウランを濃縮すべくあらゆる手段を尽した後、それでも駄目だつたといふ場合に限つて適用されるものであります。

この契約は需要者が部分または全体にわたつて、その契約を解約する場合についての取決めを規定しております。原子力委員会が3年6カ月の事前予告を受けた場合には、需要者は解約

の結果としていかなる経済的な責務をも負わないことになっております。この取決めによりましてアメリカの濃縮ウランの需要者は燃料サイクルの運営に柔軟性をもたせることができるわけで、もし解約予告の期間が十分なくて契約が終了した場合には、契約の解除によつて原子力委員会が負担した費用に相当する料金を請求されることがあります。しかし、これが契約に規定された上限値を上回るとは決してありません。解約通告をする前に需要者側の要請があれば、AECは賠償額がどの程度のものであるかということを知り通知する用意があります。

この契約は、もし、原子力委員会との契約にもとづく上限値以内で、差別なく濃縮サービスを提供する民間企業がアメリカに成長した場合には、原子力委員会の側から解約することがあります。解約の残存期間は民間業者のサービスの方に移すことがあるわけです。原子力委員会と海外の需要者との契約は、政府間の協力協定にもとづくものであるから、その協定が発効している限りにおいて、その需要者とAECとの契約は有効であることはいうまでもございません。

おそらくご承知かと思いますが、原子力委員会はすでに拡散工場の民有化の可能性ないしは妥当性について検討を進めております。この問題は非常に複雑な問題であり、単に経済性のみならず、国家の安全保障とか、産業技術の機密保持であるとか、国家経済および財政の問題であるとか、さらには民間の濃縮企業の健全な競争を育成するというようなさまざまな問題を含んでおります。

アメリカの濃縮ウランの海外需要者にとつて重要なことは、この複雑な問題がどういうふうに着がつこうとも、無差別で合理的な費用の下で、濃縮ウランを供給するというアメリカの義務を全うする。その全うするのをいかなる意味でも危うくするような着の仕方は、決してしないであろうということをご保証しておきたいと思っております。拡散工場の運営につきましては、いかなる変化を考える場合においても、原子力委員会が国内および国外の電気事業者に対して約束したことを、合理的な経済条件で完全に果すことができないような政策の変更をアメリカ政府が承認することは、将来とも絶対にありえないことであつて、この点もあらためて保証することができるのであります。

原子力委員会は将来の需要者のために、国家の安全保障が害されない限り、できるだけ多くの情報を提供するのが望ましいということをご十分に認識しております。その目的のために私たちは1967年7月に現在あるガス拡散工場の生産能力に関する情報をごある程度公表しております。さらに1967年9月には単位分離作業量当り26ドルという新料金の発表と合せて、私たちはこれらの拡散工場の生産コストに関するデータを一部公表しました。私は、ここに、これらの工場に関するさらに詳しい報告書を発表いたします。この報告書は「アメリカ原子力委員会の

ガス拡散工場の運営”という題で、アメリカの拡散工場施設の物理的特徴とか、運転に必要な条件とか、経済性、改良の余地あるいは生産能力等について、かなり詳しいデータを含んでおります。この報告は皆様にとつて興味があるものと思いますので、後ほど、日本原子力産業会議の手で、皆様に分けていただくことになっております。この報告は、皆様がわが国の拡散工場の現在と将来に関する経済性、あるいはその他についての評価をされる際の大きな助けになると思います。たとえば、この報告書は今進められている研究開発が実れば、現在の施設においても実質的に経済性の面で50%の能力増大が可能であるというような指摘も行なわれております。現在のコストおよび将来の推定コストに関するデータもつており、質濃縮サービスの長期安定性を裏づけるデータもこの報告書の中に出ております。

アメリカにおける民有化の実現により、今やアメリカの民間業者、あるいは民間の個人がアメリカ原子力委員会の質濃縮サービスを確保して、その結果得られた濃縮ウランを原子力委員会のライセンスを受けた上で、海外に輸出するという可能性も出てきております。アメリカの民間グループが外国の政府またはその政府の承認を受けた民間グループと契約をとりかわして、濃縮ウランを取引することもできるわけです。この結果、民間企業を相手にするか、あるいは民間企業どうしにおけるいろいろな燃料サイクルの新しい取決めが可能となるわけで、輸出ライセンスを与える手続の中に米国と相手国の政府とそれにもとづく取引が、協力協定の枠内におさまるよう定まっていなければならないという一項が、協力協定の中に含まれております。

この講演を通じまして、私は質濃縮に関する取決めの中で、特に目立つた特徴を論じてきたわけですが、これらの多くはすでに濃縮ウランの長期販売契約に、これまで用いられてきたところであり、皆様にはなじみが深いかと思えます。原子力委員会の長期質濃縮契約の第1号の協定は昨年結ばれ、非常に興味深いことは、この契約の第1号の相手が米国内の会社ではなくて、海外の電力会社であつたことです。われわれは1969年1月1日の実施を目標として、この種の契約を結ぶ用意ができております。これにより、質濃縮体制に円滑かつ効果的に移行したいと希望しております。

Ⅱ イギリスにおける核燃料サイクル・サービス

イギリス原子力公社

生産部次長 N.L. フランクリン

英国に現在存在している核燃料サイクル・サービスをここで例挙するというのが今日の私の意図ではありません。私は政策の問題に皆様の関心をひきたいと思います。この政策の問題は英国において核燃料サービスを確立するにあたって私の気付いている点であり、また同様のことが英国と同程度の規模と内容をもつ原子力発電計画を有している国々にもあてはまるものではないかと思えます。最大限の柔軟性を残しておきたいという願望と、大規模の容量のプラントに必要な資本投下を基礎づけるしつかりした計画の決定の必要性には基本的な矛盾が存在するという点を明らかにいたしたいと思えます。

私は、講演を3部分に分けたいと思えます。まず第1に英国における核燃料産業の確立の歴史を述べ次に現状の検討を行ないたい。最後に原子炉系の選択に関連して、不確定要素および政策問題および各種の決定、なかでも燃料サイクル契約者が直面する開発業務ないしはプラントに対する投資の決定について触れたいと思えます。

1950年代の初期に核兵器用の物質生産のための軍事計画が英国で設定されることが決定された時には、原子炉の安全性および敷地の問題に関する知識は今ほどには進んでいませんでした。特に人里はなれ、近づきたいところを選ばない限り、英国では建設する原子炉型を比較的低い燃料比出力のものに限らなければならないであろうということが考えられていました。最初、われわれはウラン金属をアルミニウムで被覆したものを使う空気冷却炉を選択し、この原子炉のための核燃料サイクル・サービスを用意するため、ウランの精製および還元の化学プロセスおよび初歩的な燃料要素の成型加工ラインとしてバッチ・タイプのもので建設した。

また、われわれは一つの化学再処理工場を建設したが、ここではラインを重複させ、コルダーホールおよびチャペルクロスの原子炉からの軍事計画のものを全部を取扱えるまで規模をひろげてゆくのにこの重複した要量を使うことができました。コルダーホールおよびチャペルクロス原子炉は閉サイクル中の冷却材として圧力下で炭酸ガスの使用が可能かどうか検討された後に設計されたものであります。

これらの原子炉は比出力 1.5 MW であり割に簡単なマグネシウム合金被覆と熱伝達表面を有したウラン金属棒を使用することができました。このタイプの原子炉は合計8基建設され、現在は熱出力 25 万 KW で運転されているが、当初の設計目標は 18 万 KW でした。これらの原子炉が核兵器級の物質を有するプルトニウムの生産に使われていた時には、燃料の年間量は

約 1,000 トンでした。8 基の原子炉がすべて運転に入ったころ、英国政府によつて英国の第 1 次原子力発電計画が決定され、マグノックス燃料の年間必要量は 2,500 トンにもなるであろうことが明らかとなりました。

このような理由から天然ウラン金属燃料要素の生産のための当初のプラントはスクラップにされ、われわれが新たに開発したものによつておきかえられました。ここでは金属生産の段階までは連続プロセスをベースにしており、金属棒の生産、被覆、検査にはさらに高度の流れ作業が採用されました。民間用の燃料は 4～5 年間に亘つて照射されることが意図されており、後日これに相当する使用済燃料再処理能力の需要増加が出て来たわけであるが、1960 年代に入つても古い化学再処理工場の運転を続けることができました。

1957 年以降の期間においては、開発の仕事はかなりやり、その結果異なった化学および異なった機器を使つて異なつたフロー・シートを有する新たな化学工場を採用することができました。また、われわれは測定機器の集中化を行ない、労賃を最低にするために他の化学工場で良い慣行となつている特徴をこの工場の運転方法に採用しました。

このように 1964 年までにマグノックス燃料の生産および再処理を行なうための比較的近代化された工場を利用できるようになつた。部分的にはこれらの工場は英国の原子力発電計画からの必要性に対処するために建設されたわけであり、したがつてそれに相当する建設コストおよび運転コストについては原子力発電計画によつて結果的に負担されるべきものでありました。

1950 年代初期の話にもどりますが、兵器の目的のために高濃縮ウランの生産が必要であること、また拡散工場が建設されるべきことが決定されました。この工場は 1956 年には完全濃縮度カスケードとして運転を開始し、また容量はその直後さらに大きな段を加えることによつて拡張されました。最大容量においても米国の 3 つの拡散工場のいづれに較べてもこの工場はちいさな工場であり、さらには建設当時において効率ということよりも最少限の資本投下ということが追求されたため、この工場の単位生産コストは高いものとなつています。

1960 年代の初期において拡散工場に対する核兵器用の濃縮ウラン需要は終りを告げました。そこでわれわれには少容量でかつ単位分離作業量に要する電力という点で効率の悪い設計の " 第 1 代目 " というべき拡散工場が残されたのです。その当時、英国原子力公社は酸化物燃料、濃縮ウランを使用する原子炉を開発していたがこの型の原子炉は英国の中央発電庁によつて採用されるに至つておらず、この拡散工場に対する確立した需要というものはありませんでした。プラントはほとんど閉鎖されており、この工場の一部が、" 技術の保存 "、および " 熟練スタッフの維持 "、" 研究開発用の少量の低濃縮ウランの生産 " にあてられていたのみでした。

われわれとしては将来英国が濃縮ウラン炉を採用すると信じていたために、この間研究開発

を行ない、拡散工場のカスケードの大規模段の改良によつて生産量および使用電力効率の増加を図りました。その結果どのような原子炉が採用されるにしろ、英国の原子力発電計画が濃縮ウラン炉を採用することが明らかになつた 1964 年には、カーペンハースト拡散工場の改良資金として政府融資を獲得することができました。この改良は原子力発電計画のためのものとして現在行なわれており、そのコストは生産物の売価によつて回収されると思われまゝ。

1965 年の状況を述べると、英国は民間原子力発電計画のためにマグノックス燃料の生産および再処理工場をそれぞれ約 1,500 万ポンドのコストで用意し、カーペンハースト工場の改良のために更に 1,500 万ポンドの支出を行なつている途中であつた。これらの投資と国内の原子力発電計画の関係を考慮してみることは興味深いこととあります。英国におけるマグノックス炉の平均建設単価は KW 当り 100 ポンドを考慮することができ、したがつて現在ほぼ完成に近い 500 万 KW のマグノックス炉による第 1 次原子力発電計画には約 5 億ポンドを要したことになる。マグノックス燃料サイクルに要した資本投下は約 3,000 万ポンドで、この他プロセスの開発に数百万ポンド、天然ウラン物質として 1,000~1,500 万ポンドを要しました。

マグノックス燃料要素の詳細設計は各炉毎に違つたものになつたことは事実であり、またこれらの相違にもなつて発生した開発費が高かつたことも事実である。しかしながら他の側面においてはこの燃料はきわめて標準化されたものでした。これらの燃料は共通の一つの化学工場で生産することができ、燃料要素の組立も大部分共通の機器によつて行なうことができた。また、共通の再処理工場で被覆をとり、溶解し、処理することができた。この標準化というものが、英国において石炭火力とやつと競争可能な原子炉の燃料であつたとはいえ、経済性の高い燃料サイクルをもたらしたのであります。

1960 年代の初期において英国原子力公社は熱中性子炉の将来は濃縮ウランの使用にあると確信していたが、われわれは単一の原子炉型に基づくさらに大きな原子力発電計画が将来あるものと想定していました。われわれはこれを AGR だと考えていた。マグノックス燃料の各種の異なつたタイプの開発コストという過去の経験からして、AGR 炉の燃料設計の標準化に取組んだわけでありまゝ。また、これらの原子炉の初装荷分の燃料必要量を予測することもでき、ステンレス鋼被覆および他の部品の製造の必要性、必要な拡散工場の容量、この拡張の方法、またステンレス鋼被覆・濃縮ウラン酸化燃料を取扱えるよう現在運転中の再処理工場を改良することがいつの時点で正当化されるか；以上の点についてわれわれは予測を行なうことができたのであります。

事実 6~7 年前にマグノックス計画のときに行なつたと同様のタイプ計画演習を再度行ないはじめたわけであり、必要に応じて資本を投下して行くべきだと考えていた。規模の経済から

いつて燃料要素ラインにおいてさえも、酸化物燃料の成型加工業者を一家以上もつことは正当化できないことが明白でした。事実この点にはわれわれの顧客である中央発電庁、民間原子力産業の個別の意見がだされたが、いずれもわれわれの結論に合致していました。同様の結論が拡散工場およびウインズケール再処理工場についてはつきりとあてはまりました。

ここで英国の原子力計画に要する生産レベルのおよその量的側面を検討してみよう。この問題はかなりの規模のスケールで原子力を導入しようとしているほとんどの先進国に共通の問題であると一般的にいうことは妥当であろう。しかし、この結論は電気事業の規模が違い、したがって燃料サイクルの必要生産量も大きい米国にはあてはまらないものであろう。英国の第2次原子力発電計画は6年間に800万KWを運転開始する予定であります。平均の燃料比出力は5MWeであり、6年間に生産されるべき初装荷分の濃縮酸化物燃料は1,600トンです。これに取替燃料として約1,200トンが加えられるべきであり、年間生産量はこの6年間に年250トンから500~600トンに増加することになります。われわれの調査および開発の結果では年間容量250トンの酸化物燃料生産ラインは柔軟性と低生産コストの適正な組合せをあらわすものであり、酸化物燃料に基づく発電計画のすべての燃料必要量を単一の燃料要素ラインでまかなつてゆくことができ、また、増大分は計画期間中2ラインにすることにまかなつてゆくことができます。

すなわち、このことはいくつかの企業に燃料生産が分散することを正当化しないということの証しであります。拡散工場は、1970年に年間200トンの分離作業量を行ない、1975年には600トンに増加してゆく。この数字は米国の1拡散工場当りの伝えられるところによる年間6,000トンというものと比較されるべきであります。分離作業量年間数百トンの規模で、また高い電力を使い、米国の価格スケールにほぼ比較しうるような価格で分離作業の生産を行なうよう拡散工場を運転してゆくことはきわめて技術的に難しい仕事なのである。拡散工場が拡張されるとともに増える追加容量の単位増分コストを米国の価格スケールと比較し得るものにするにはより簡単であることは事実であります。この場合でも、電力コストの面での不利、また純粋に商業用に建設されたプラントの会計処理方法よりくる不利さはきわめて大きいものです。

英国の原子力計画のAGRの使用済酸化物燃料は、再処理のために漸時あらわれてきます。1975年の再処理量は約400トンです。この再処理量は十分単一の化学再処理工場の容量の範囲内にあります。事実われわれの既存のプラントに対する研究開発の結果、choppingおよび溶解の後には既存の工場のスペアの容量を使つてすべての酸化物燃料を随時処理することができると期待している。輸送距離が最大限数百マイルの英国においては再処理工場を分散

化することの正当性はわれわれには考えられません。

この段階では会場の皆様は、私が非常に固い原子力発電計画、一つの原子炉型の採用、その長期に亘る設置、燃料サイクルの諸施設のコントロールの集中化等の確固たる支持者であるというふうに考えるに至つたと思います。しかしながら状況は変化しております。米国以外の国においてその国の濃縮ウランの必要量を経済的に単一のプラントより生産することは難しいということの真実性は今も変わりなく、濃縮工場をいくつか建設するという考えなどはまつたくばかげたものであります。

しかし他の面においてはいくつかの進む道がありましよう。英国においては、例えば、大型ナトリウム冷却高速炉の第1号炉の建設はきわめて進んでおり、これに平行してウインズケールにおいて200万ポンドでプルトニウム含有の高速炉燃料製造施設を建設中であります。われわれは1970年代の後半の原子力発電計画においてはナトリウム冷却高速炉を採用することが可能と信じており、第1番目の炉は1975～1976年に発電を開始するでありましよう。もしこのようになつたとすると、高速炉発電計画において十分なる経済性を得るためには燃料サイクルの密接なる一貫化ということが不可欠であることは容易に示すことができます。

事実この問題の検討の結果では、もし年間100万KWの高速炉が建設されるにしても、この種の炉型のもつ固有の低燃料サイクル・コストが達成される段階までに高速炉燃料サイクル施設の十分な利用ができるところまでゆくには5～6年の年月を要するとされています。一方、英国では未だ、現在のAGRがヘリウム冷却固形燃料(coated particle fuel)炉あるいはシリコン・カーバイド・炭酸ガス冷却炉に進展してゆく可能性をもみているわけです。

英国原子力公社のSGHWRのプロトタイプは今週フィリップ公によつて除幕式が行なわれる予定ですが、このSGHWRは十分満足なものであることが実証され、将来のわれわれの原子力発電計画において重要な役割を担うことになるかもしれない。勿論、炉型間の競争は単一の勝利者しかないというレースではない。高速炉はその位置を占めることになるであろうが、一つあるいは二つの型の熱中性子炉が英国で将来採用されることになるかもしれない。もしそのような結果がきわめて高い可能性をもつものであるとすれば、確固たる長期計画に基づいて生産容量の大設備が設置しうるものだという仮定は必然的に疑問視されることとなります。新型炉のコスト予想では、各炉型は初装荷燃料を含めた燃料サイクル・コストにおいてほとんどの違いがでて来ることが示されています。大型炉においては、各種炉型の建設コストの占める重要性は段々とうすらいできます。この点を理解するのは難しくない。すなわち、電気出力20万KWの原子力発電所の核燃料を除く総建設費は耐用年数中にその発電所の使用する燃料サイクルの総コストを現在価値換算した数字の半分にもあたりません。したがって、一国において採

用する各種の炉型を意味ある比較検討をするにあたって、その国におけるある炉型を採用した結果としての核燃料産業の経済が十分詳細に亘つて検討されねばならない。

この詳細の検討は、年毎の開発投資、固定資本投下、運転資本投下、系全体としての結果的な燃料サイクル・コストに亘らねばなりません。したがって英国の大きさ程度の国々で資源がなく、かつ新たな電力需要が起つてくるところでは、ある特定の原子炉型の燃料サイクルの要求をいかに収容してゆくかということを検討し、これに関連するコスト・経済性を吟味することの方が、各種炉型の相対的な建設費を比較検討することよりもさらに重要であるという結論に達します。

英国ぐらいのサイズの国、あるいはフランス、日本、というものは核燃料サイクル・サービスの供給を基礎づける意味ある経済単位ではないかもしれないということが同じ論理をもつてしていえるのではないか。純粋に商業的観点から考えると、例えば西ヨーロッパ諸国で核燃料サイクル・サービスを合理化するような取決めが可能であれば、より低廉になることは確かであろう。しかしながら商業的な立場からだけではものを考えられない政治的困難性があることはよく知られていることです。このことは国際的にもあるいはある特定の国においても核兵器計画が過去においてなかつたという点で、英国の核燃料サイクルの確立の歴史とは違う場合にあってはまることであろう。

私は生産設備およびその運転における規模の経済という点を強調してきました。この話を研究開発の問題を含めて議論することによつて終りたいと思います。これは設備投資決定の問題と大きな違いはないが、より大きな不確定要素とリスクを含んでいます。一般際にいつてプラントの運開される3～5年前に、工程の開発の仕事を開始する必要があります。この推定の必要時間は化学再処理工場、および拡散技術の基礎があつても拡散工場の新しい段数などについてあてはまることです。拡散工場の場合もし新たな段数が必要になつたとすると、既存の段の一番大きなものの2～3倍のサイズおよび電力消費量のユニットの開発が必要となります。例えば新しい大型ガス・タービンの時と同じような性質の設計開発、実証というものを必要とするわけで、より大きな資本が投下されている原子力発電計画がこれに依存しているため、生産量という点で満足な運転の保証の度合も高くなければなりません。

燃料成型加工のプロセスの開発の問題は同じ程度きびしいものであります。というのは、新商業炉で一般的に採用される前に production type の燃料のテストが多くの場合必要であるからです。このことはプロトタイプ炉がすでに建設されていること、実際には燃料の開発およびプロトタイプ燃料生産プラントの開発が主民間生産設備の必要となる7～8年前に行なわれていなければならないことを意味しているからです。例えば英国においては、プルトニウム

含有の高速炉燃料生産工程の開発は完成しており、25万KWのプロトタイプ炉に対する供給のためのプラントの建設はここ1年中に終る予定であります。しかし英国の商業高速炉用の燃料はすくなくとも今後6～7年は必要ないのであります。事実この場合、プロトタイプ炉用の燃料生産プラントのコストが高く、発電計画の今後の必要性というものにプラントを何らかの方法で役立せることをしなければこのようなプロトタイププラントに正当性を付与することはできないかもしれません。

したがって電気事業者が新しい炉型を採用することを決定する数年前に、燃料サイクル契約者は開発に対する投資に関して決定を行なわねばならない。それがナトリウム高速炉であれ、高温ガス炉であれ、あるいは必要な開発費が莫大であるとしてもです。1970年における英国の核燃料産業の規模はウランを含めて総売上げが3,000万ポンドぐらいであり、これが1980年には4倍になるであろう。比較するためにあげると、ナトリウム冷却高速炉用燃料の生産工程開発費は完成した時点で累計400～500万ポンドであろうと思われま

す。燃料設計の開発および実証はこの数倍となるでしょう。このようなレベルの研究開発支出は、核燃料産業が現在もつ仕事量からいつて、燃料サイクル契約者のよく負担するところではありません。もし将来この投資が回収されるものだとすれば、契約者はその投資に対して完全であるという保証を求めることとなりましょう。それは政府がリスクを負うべきだとするか、あるいは電気事業者によつて開発努力が払われたものが採用されるということを政府が保証すべきことを要求することでありましょう。

個々の国における市場の規模は経済性あるいは競争力のある開発コストを支えてゆくために不十分なものであり、柔軟性に対する希望と固い計画の間に存する基本的矛盾に逢着することになることを強調したいと思ひます。

Ⅲ フランスにおける高速炉開発計画

フランス原子力庁

物理研究部長 G. バンドリエ

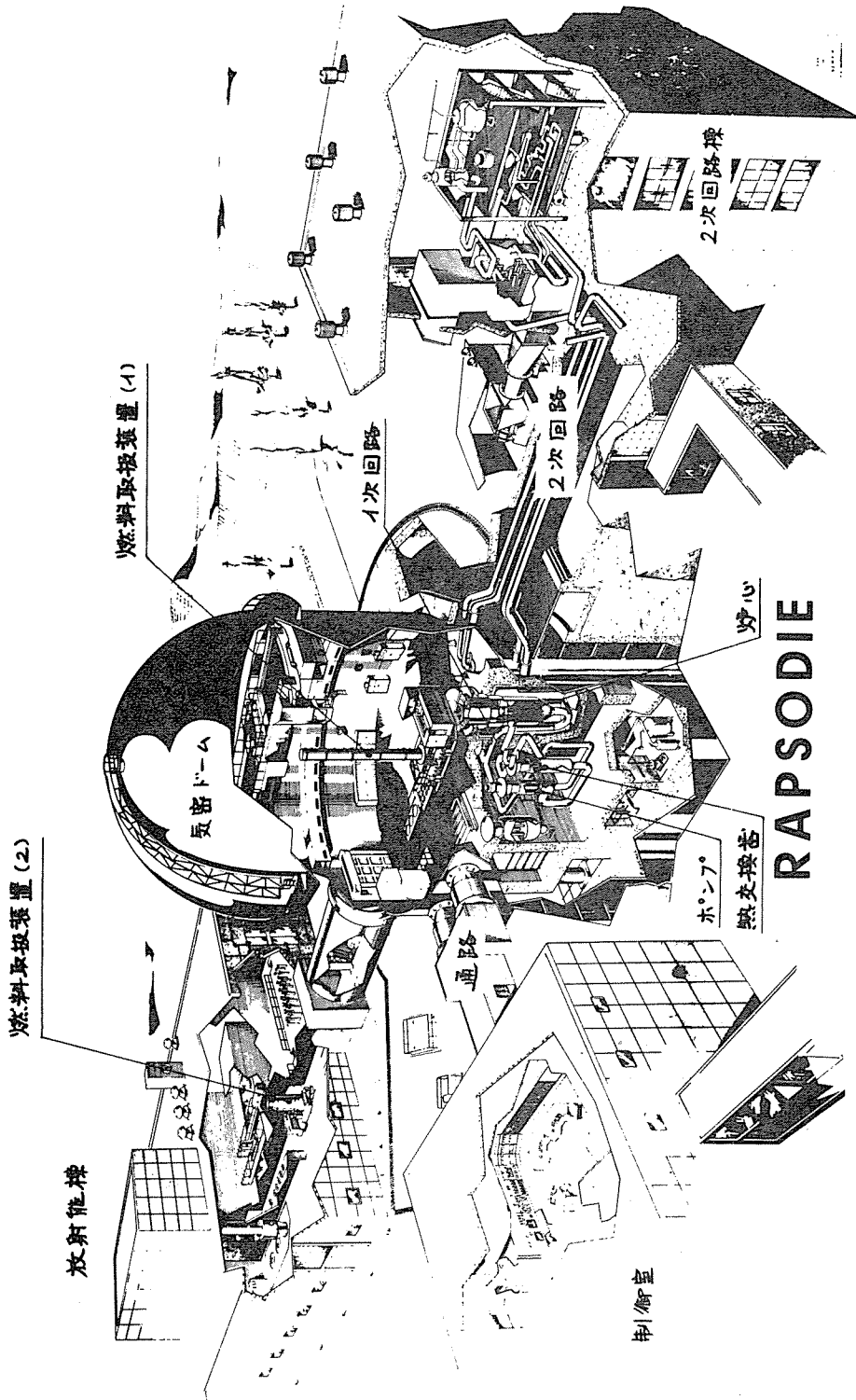
議長ならびにご列席の皆様、まず第1に日本原子力産業会議の第1回年次大会に私をご招待下さいまして、発言の機会を与えられましたことは私の大へん名誉とするところであり、心からお礼申し上げます。この会場の都市センターホールは、私がかつて1962年の11月にも講演をしたことのあるなつかしい場所であります。

フランスの高速炉計画についてのべるようにとのご要望でございますけれども、フランスの開発方式が、皆様のお手本になるものだというような申し上げ方をするつもりは毛頭ございません。しかしながら、このわれわれの計画の基本方針とその主たる成果を皆様にお伝えすることができますれば、ちょうど日本のようにこの種の原子力の開発に国家的な努力をはらつてゐる国にとつてはきつとお役に立てるものではないかと思ひ、今日はその高速炉計画についてのお話をしたいと考えております。

われわれフランスでの目標は極めて明確であり、これはまた、日仏両国に共通のものであると考えます。すなわち、私たちはできる限り核分裂物質の資源を利用して、国家のエネルギー上の独立を確保せんと試みるものであります。そしてエネルギーの独立に加えて、このエネルギーを最も経済的に作り出そうとするものであります。高速増殖炉は低廉な燃料サイクルと高い効率を持つております。この二つの理由から、この点で断然有利な形式の炉であるということについては皆様も疑いが無いことと思ひます。

私たちが高速中性子炉にはじめて関心を示したのは、約10年前のことです。当初の計画では試験炉を建設して、次の2つの目標を達成することを心がけました。その第1は、将来の代表的な発電炉を念頭に置いた上で、その発電炉が運転されるであろう状況の下で、ナトリウムのコンポーネントの技術経験を積むことです。それから第2は、燃料の試験台として利用することにより、照射下における燃料の性能を調べることであります。この照射下における燃料の性能ということは、現在もなお高速炉開発における重要問題であると私は考えております。この試験炉は例のラプソディであり、その建設は1966年に完成してあります。ラプソディが最初に臨界したのは1967年1月28日で、同じく3月17日に公称熱出力2万KWに達しました。そしてこのラプソディの第1回目の経常運転は同じ年の8月31日に開始されました。

このラプソディの光景を第1図でお見せしたいと思ひます。この第1図でラプソディにかか



わる建物、それから施設の類がご覧頂けると思います。私は、日本語がわかりませんので、日本語の説明をつけておきましたが、正しいところに説明がついているように望みます。炉心と放射性ナトリウム・ループの主体を含む容器は耐圧性の建物の中にはいつており、この中にはこの他にもナトリウムないしはアルゴンの補助サーキットがいつており、このアルゴンの方はカバーガスとして使われます。炉の上部の遮蔽は二つの回転ブラグによつてできており、燃料サブアセンブリーの出し入れについてはキャスク・カーが使われます。主ループがパラレルになつて二つあり、それぞれが一本の機械ポンプと中間熱交換器を持つており、二つのナトリウムループが"サーマルビル"とよんでいる建物につながつております。この熱は空気に伝えられ送風機で回されて大気中に放出されます。制御室は別の建物にはいつており、これが炉のシエル建物とエアロックで連繫されております。最後にもう一つわれわれが放射能ビルとよんでいる建物があり、これは幾つかの目的をはたすものであります。たとえば、新しいあるいは既に照射済の分裂性物質あるいは特別のサブアセンブリーを貯蔵したり、ポンプ、熱交換器、その他の機器を蒸気洗浄したりする——これは検査や修理をする前に必ず放射性のナトリウムを洗い出さなければならぬので行なう作業であります——ことに使われます。最後にサブアセンブリーをホットセルの中で解体する作業が行なわれ、また最終的に再処理施設にもつていつて破壊試験をする前に、一応予備的にそれぞれの燃料ピンを非破壊テストするのもこの建物の中で行なわれます。

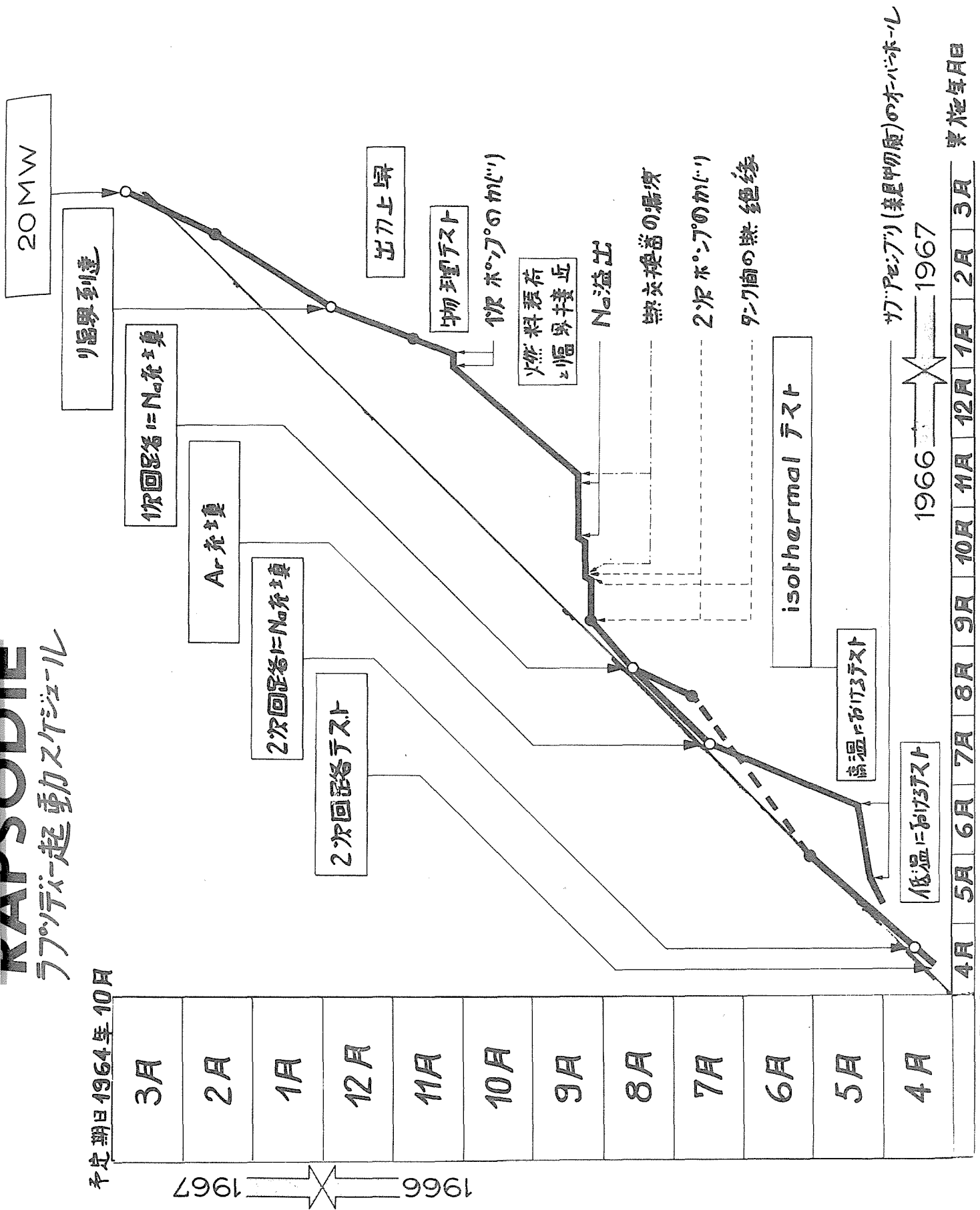
ラブソディを約半年運転してみました結果、当初の目的を達したものと私達はいえるでありましょうか。この点につきましては、一点の疑いもなく答は"イエス"であります。技術経緯に関する限り、ラブソディのおかげでフランスの原子力庁とまたフランスの産業界はナトリウム冷却の高速中性子発電炉の構成部品の設計と製造にかかわる諸問題について、常に十分にコントロールする能力を備えたといふことができるといつてよいと思います。

今、フランスの産業界ということを示しましたが、別に宣伝をするつもりではありませんが、このラブソディの主要部品の開発にあつた幾つかの会社の名を挙げてみたいと思います。G.A.A.A（大西洋原子力アルサスグループ）という会社はプラント系全体のエンジニアリングを担当し、S.F.A.Cは圧力容器と炉心の内部構造を担当し、ギナール社とイスパノ・スイザ社がナトリウムポンプの機械部分を担当し、スタイン・アンド・ルーベックス社は中間熱交換機をとり扱い、シャンティエル・ド・アトランティック社が制御棒のメカニズム、それからイスパノ・スイザ社が燃料取扱装置などを作つてまいりました。

もちろん、ラブソディの運転開始当初の数カ月の試験期間に全然困難な問題に逢着しなかつたというわけではありません。ここでは主なものだけ申し上げたいと思いますが、摂氏500度

KARSOIDIE

ラジター起動スケジュール



以上ではナトリウムポンプがつまつてしまつたり、あるいは回転プラグが固着してしまつたり、あるいは温度ポンプの不均衡によつて原子炉容器の装置がずれてしまつたり、あるいは制御棒駆動装置と、燃料装荷系統のデリケートな調整が必要になつたり、また2度に亘つてナトリウムの重大な洩れがおこつたこともありました。

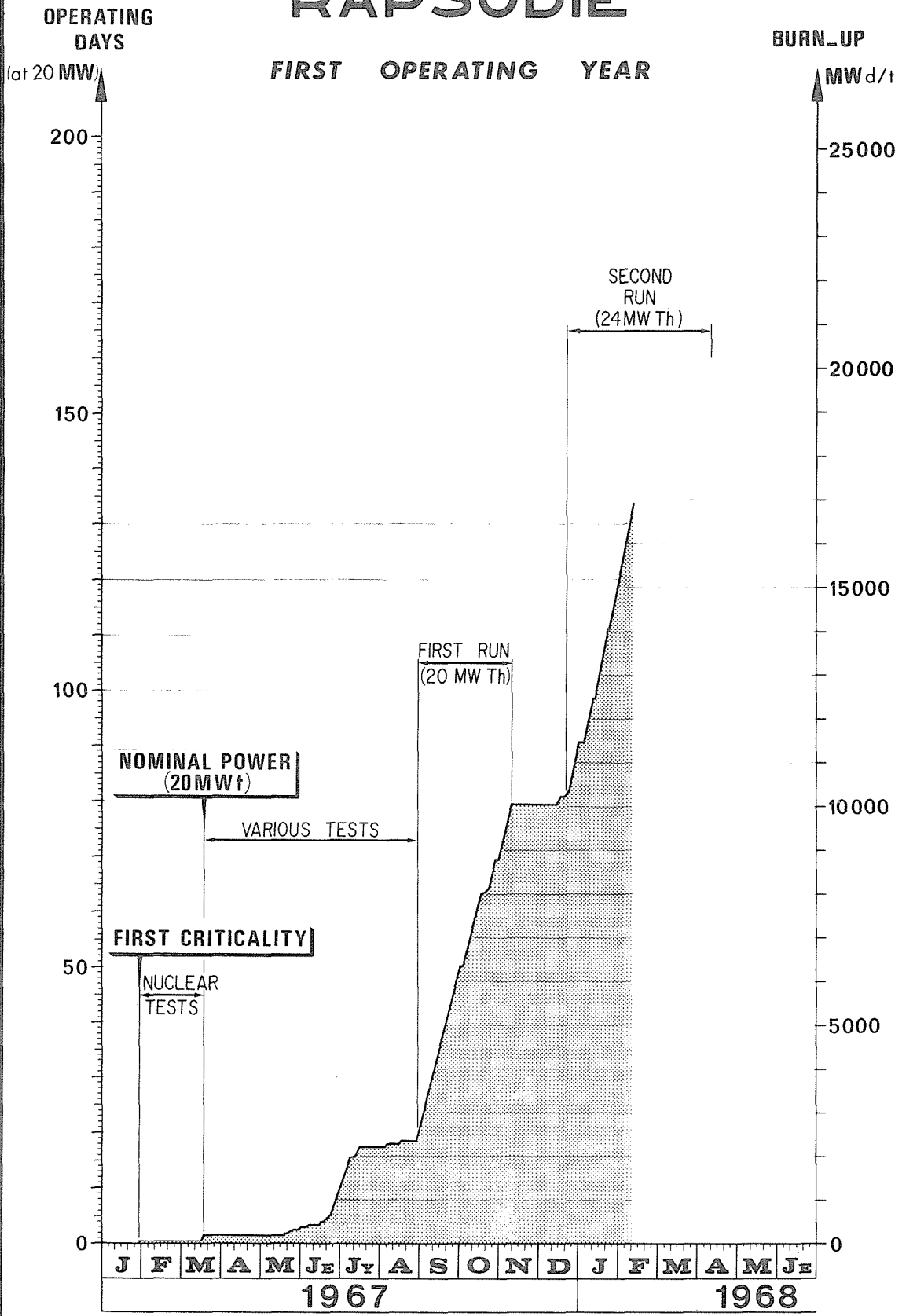
しかしながら、これらの困難な問題のために炉の運開が遅れたということはなく、運開の時までには極めて満足すべき条件が整い、部品の大部分が発注されていた1964年当時のスケジュールどおりに運開がおこなわれたのであります。その決定がおこなわれた時には、すでに部品の大部分は納入されていたのであります。

この第2図に出ているのはラブソディの建設の進行具合を示すもので、これと1964年当初の予定との比較を示すものであります。各段階はそれぞれ点で表わしており、横軸にあたる部分が予定完成日であり、縦軸の日付が実際に完成した日であります。もし、万事が計画どおりに進行していたとすれば、私たちの点の連続が一番目の二等分線にしたがつて分布するはずだつたわけでありまして、1966年の春と夏は、私たちの作業は、ほとんど予定どおりに進んでおりました。例えば4月の終りには副次ループをナトリウムで満たす作業が進んでおりましたし、6月にはホット・アルゴンの下で一時サーキットのテストをすませています。8月中旬には主ループをナトリウムで満たす作業も進んでおりました。ところが1966年の秋になり、全施設の統合試験を実施している間に、私たちはホットナトリウムを用いたわけですが、すでに申し上げたような困難な問題にぶつかりました。そして11月の終りにはほぼ2カ月の遅れでありました。しかし、現場の人々の努力によつて、特に原子力庁や産業界の人々の努力によつて、それらはすべて時間内に解決致しました。それによつて臨界は、わずか1カ月の遅れで済み、その後必要とされる低出力テストを繰り返した後、公称出力は予定日の三日前に達成され、これに至るまでに約一週間かかり、計画どおりに出力を順次上げていつたのであります。

問題の多くは、短時間のうちに解決されましたけれども、これは1960年以来カダラッシュで圧力容器とか、プラグ、あるいはナトリウムループの実物模型を使い数多くのテストをくり返してきたおかげであるということがいえると思います。これらのテストをくり返していなかつたら、問題は解決していなかつたかも知れません。これらのテストは、技術上の問題を解く上できわめて有益であつたばかりでなく、それに劣らぬ重要な成果として、事故に際して機敏な処置がとれるというエンジニアや技術者のチームの訓練に大いに役立つたという重要な利益があつたのであります。

ラブソディの運転から得た経験をお伝えする一助として数字を少し挙げてみたいと思います。1967年8月31日から、1968年1月31日までの間に、このラブソディは2470時間運転され

RAPSODIE



ております。この期間に生じたエネルギーの総量は 208 万 KW で、公称熱出力 2 万 KW で運転した場合の 104 日分に相当します。構成部分の性能を示す例として少し数字を挙げてみますと、摂氏 400 度から 500 度の間のポンプの運転期間は、当初の修正を加えられて以来、ほぼ 1 万時間に達し、最初にラプソディが臨界に達してからこれまでの燃料の取替はすべて予定どおりに行なわれ、140 回行なわれています。

燃料照射の結果も満足すべきものでありました。照射開始後の炉の性能が非常に満足すべきものであったので、それに力をえて、私たちは 1967 年の 12 月 24 日に始まる 2 度目の経常運転を行ない、熱出力を 24,000 KW まで上げ、目下そのレベルで運転中でありました。この新しい運転条件の下で最大中性子束は 1 cm^2 あたり 2×10^{15} 個の中性子で、比出力は $590 \text{ KW}/\ell$ であります。炉心では $18,000 \text{ MWD}/\text{t}$ を越える燃焼率を現在示しており、まだこれから長い道のりがあるわけですが、私たちは今のところ、1 週間の運転で $1,000 \text{ MWD}/\text{t}$ をやや上廻るものと $10^{21} \text{ n}/\text{cm}^2$ の中性子を蓄積しております。

次の図の説明に入ります。この図に出ています曲線はラプソディの運転が最初の臨界に達してから今までのものを示すもので、左側にあるのは、公称熱出力の 2 万 KW でこれまでに作られた熱出量の累計です。右側は炉の中心部にあるサブアセンブリーで達成されたバーンアップを示しております。すなわち中心部でありますから、これが最高最大のバーンアップになるわけであります。これを見ておわかりになると思いますが、第 1 の段階ではだいたい、'67 年の夏頃までであります。この段階ではいろいろな出力レベルでのテストが繰り返えされまして、それから熱出力 2 万 KW で第 1 回の経常運転が行なわれ、その後、それによつて $10,000 \text{ MWD}/\text{t}$ が達成された後、一応計画どおり炉を停止しました。その部分が第 1 回の経常運転の開始時であり、第 2 回目の経常運転は $24,000 \text{ KWt}$ で行なわれ、これは現在、進行中でありました。これで $20,000 \text{ MWD}/\text{t}$ が達成された後で第 2 回目の経常運転を止める予定で、これは現在のところ 3 月の半ばごろになると思います。

今、炉の中心には 63 個の燃料のサブアセンブリーがはいつており、それぞれの特性を持つた $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ の燃料ピンが全部で 2,300 個はいつております。これらの特性の違いは主として平均燃料濃度とか燃料と被覆管の初期の間隔であるとか、あるいは被覆材の鋼材の組成にあります。燃料アセンブリーは定期的に取り出しまして破壊テストをおこない、ピンの性能が照射の程度に応じてどう変るかということ調べております。われわれの現在の目標はラプソディを円滑にかつ全力運転して燃料の被覆材の知識をなるべく早く吸収するということでありました。

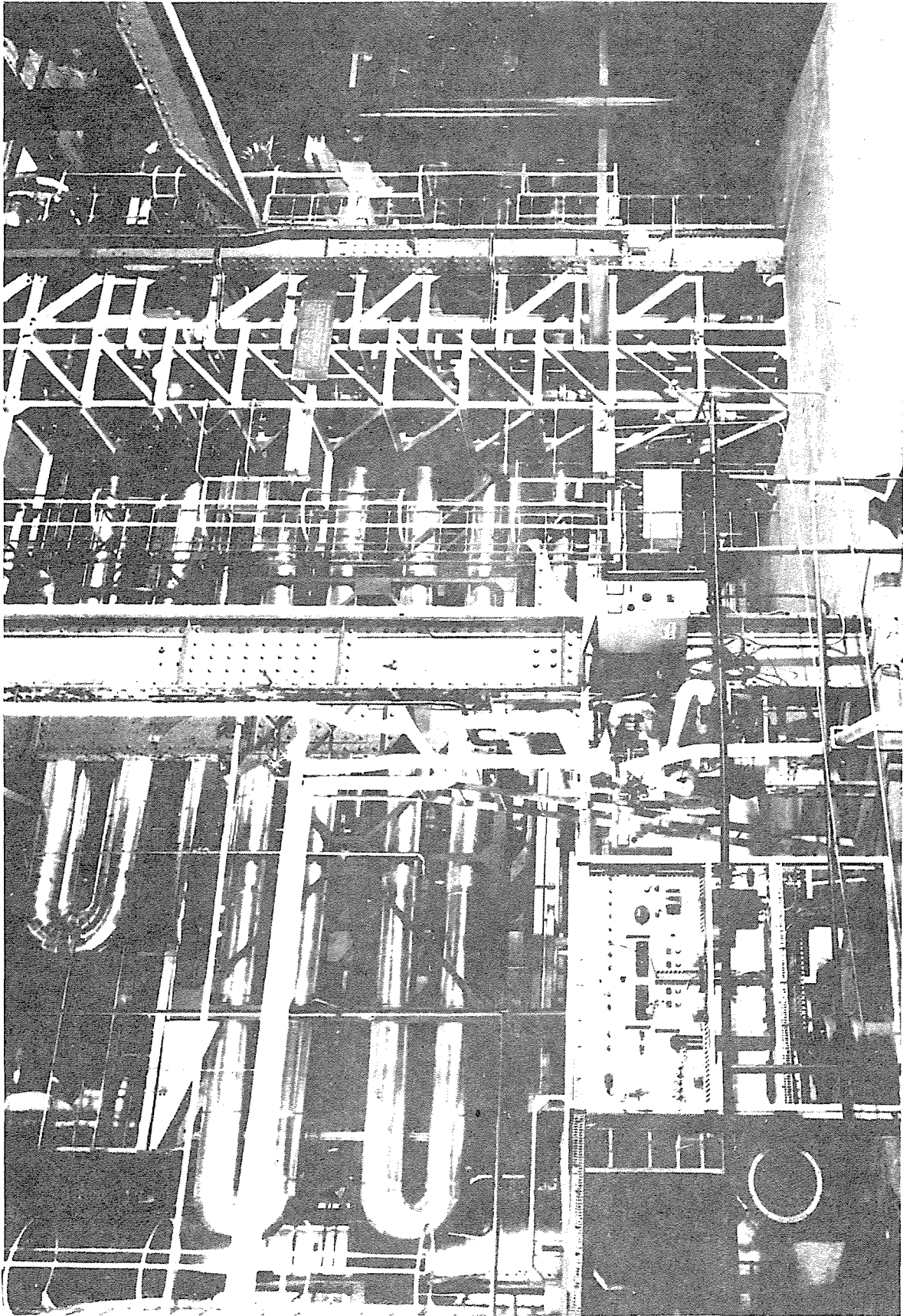
もしこの計画が今後数年に亘つて重大な遅滞なく進められるということになればまさに驚異

的となるであります。しかし、この種の新しい試みには予期しなかつた事故が起りうるということを全く忘れることはできません。しかし、また逆にもつと計画の遂行を早めるという可能性も全く無いわけではありません。最近ごく限られた修正を施すだけで中性子束と比出力をさらに増加することを目的とした研究が進行中であります。ラブソディの炉心でわれわれが得ようと試みている中性子束は年間 $4 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ であり、この目標をほんの少しでも上まわるものが実現できれば、 10^{23} n にもつていく日もそれだけ近づくわけであり、将来の発電炉に使われる被覆材は、この 10^{23} n 程度の中性子束を念頭においた上で製造しなければならないものであります。

高速中性子炉の開発を、もし10年前でなくて今は始めることになつたら、はたしてラブソディと同じものを建設するであろうか、それが賢明な方法であろうか、という問題が残ります。計画の第1歩としては、やはり私たちはラブソディと同じ目的を持つた試験炉を建設することになるであります。それが10年前も今日も変わらない必要であります。そして炉の一般設計について大きな改変を加えることなく、われわれは専ら経験から得た簡素化をねらうことになりましょう。たとえば、燃料の取扱いの面で、簡素化を図るべきでしょう。同様に安全性といつたことについても、今までは当然のこととして受入れてしまつていたいろいろな設計上の制限を、現実的に考えれば、とりはずすことも可能であると思ひます。それによつて設計上の複雑性が解決されることも考えられます。また運転当初の出力を増加して、より高い中性子束をえ、また照射の手段としての炉の能力を高めることが考えられます。この出力増加を考えて、今なら炉に蒸気発生器を加えるであります。われわれはラブソディの場合は蒸気発生器をつけないということを予め決めておいたため、蒸気発生器に関する重要な技術を全く別途に開発しなければならなかつたという事情がございます。

現在、われわれは、この方面に多大な努力を重ねており、すでに私たちは1964年頃からグラント・ケビリーにある熱出力15,000KWのループを使い、スタイン・ルーベ社が作り出した蒸気発生器の運転実験を続けております。これが蒸気発生器のモデルとしては第1号のものであります。この蒸気発生器は二重に遮蔽され、全体が austenitic 鋼でできたものであります。この蒸気発生器は7,000時間以上に亘つて、127バールで摂氏545度の蒸気を何の故障も無く送り出しました。その後、遮蔽を二重から一重にしたものを2台開発しましたが、そのうちの1台は、スタイン・ルーベ社、もう1台は、バブコック・アトランティック社が開発したものであります。

次の図に出てくる第1のものは、昨年来運転しており、167バールで摂氏540度の蒸気を作り出しております。最近のことではありますが、フランス原子力庁の協力のもとに熱出力5万KW



の蒸気発生器の建設に私たちは着手しました。この施設は来年の末までに完成の予定であります。

以上のような試験施設に加えて、高速中性子炉については、次のようなものがあります。まず高速中性子炉については、大容量プルトニウム炉用のマズルカ臨界実験装置、それから特に遮蔽の問題に使われている高速中性子線源炉ハーモニー等があること、それからプルトニウム燃料の分野においては、フォンテネ・オ・ローズにあります専用試験所とカダラシュの燃料製造施設のあることを申し上げたいと思います。これらの施設はすべて公共の資金で作られたものであり、カダラシュの原子力センターの中に作られています。しかし、これらの建設にあつたのはいまでもなく民間会社であり、産業界は原子力庁とともに、これらの施設についてのノウハウを分けあつております。

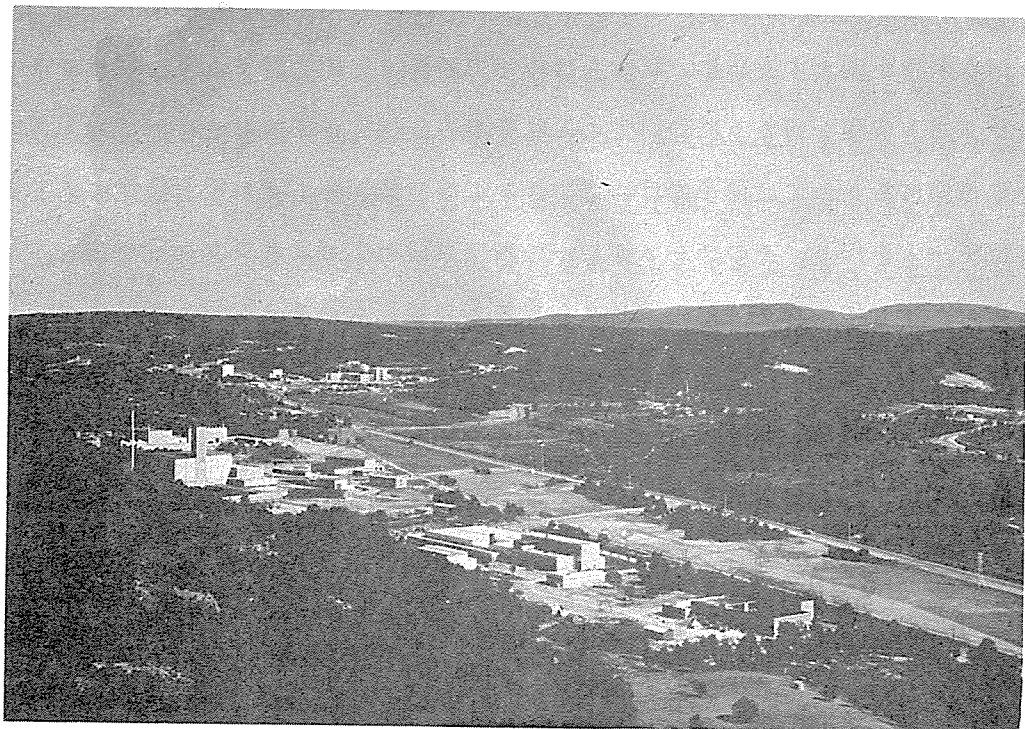
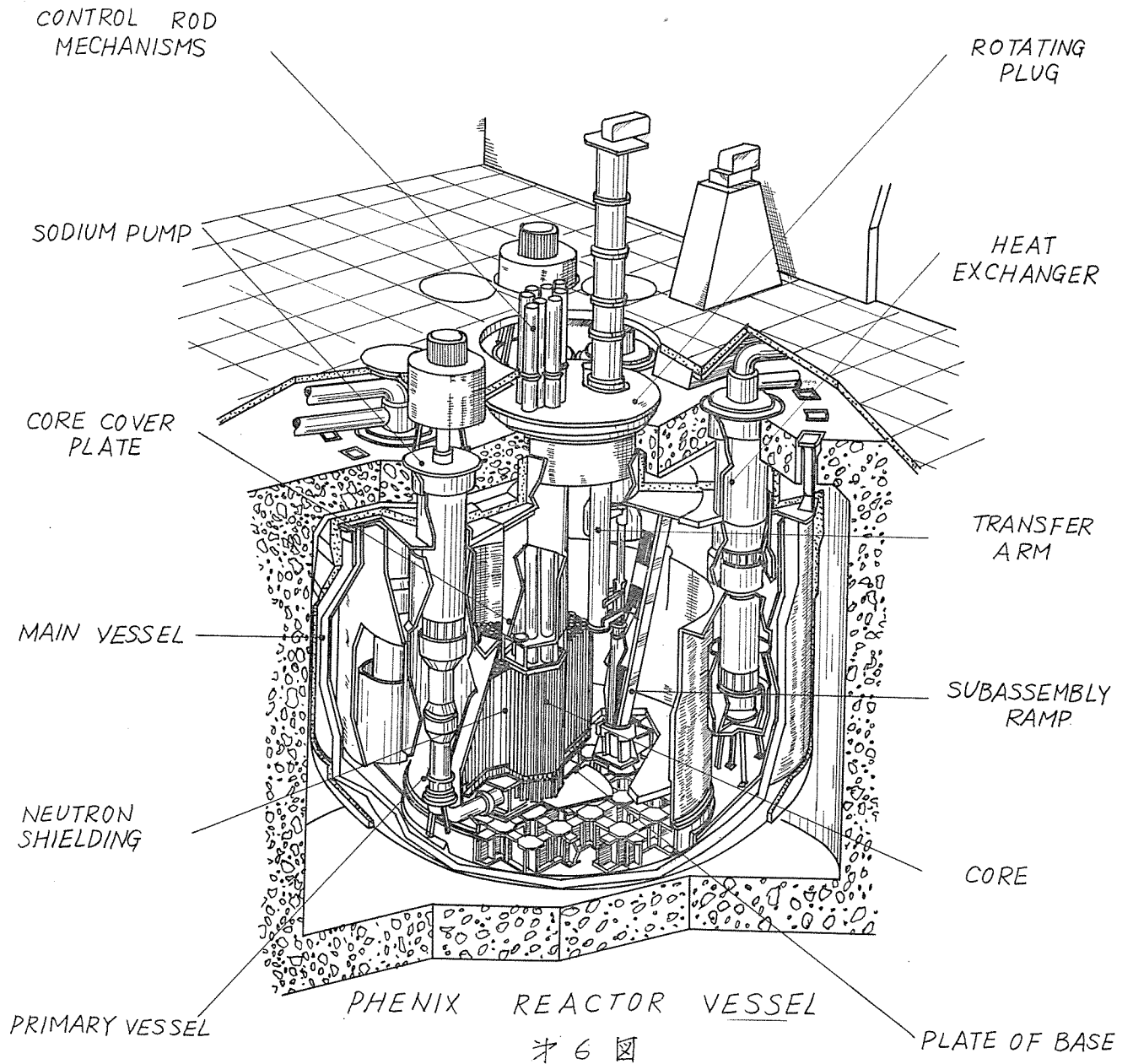
私たちは今やわれわれの計画の第2段階、すなわちフェニックスに進む十分な確信を持っております。フェニックス炉建設についてのわれわれの基本的目標は次のとおりです。第1に、企業上あるいは技術上、重大な困難に直面することなく大出力の高速中性子炉が建設、運転できることを証明することです。第2に、これによつて在来電力に匹敵し得るコストで原子力発電ができることまではいえないとしても、少なくとも建設・運転の経験を通じ、将来の発電炉の正しい経済性の評価を可能ならしめるデータを集めることができるということでもあります。フェニックス炉の出力は電気出力25万KWに定められており、これはフランスの在来発電所で現に使われているタービン発電機の規模にほぼ匹敵するものです。ラプソディにくらべて出力増の比は20対1以上になつております。しかしながら、技術的に重要な点でラプソディとフェニックス炉は非常に似ている点が多くあります。ラプソディとフェニックスの炉心の特性の比較が、次の表によくあらわれておりますので、これで両炉の特性を比較していただきたいと思つています。この表に出ている数字は二つの炉が全く無関係の炉ではなく、継続したものであるということを示しています。たとえば、出力密度、ナトリウムの温度、燃料の密度と化学組成、さらに燃料ペレットと被覆材の寸法、あるいはピンの単位長さに対する出力、などにつき、ラプソディ炉とフェニックス炉は全く同一であるとはいえないまでも、それほどちがつてはいません。これとは対照的にフェニックスの一般設計の方面でラプソディとちがつているところも決して少なくはありません。これはラプソディをもとにして、ラプソディの経験を拡大して考えることが容易な部分について特にいえるのです。

次の図でそれらの例を簡単に説明致します。これはフェニックス用のポンプ系をここで示しております。シリンダー状の主要タンクは直径および高さが約6mであります。二領域炉心を含んでおり、他にブランケットそれから中性子遮蔽、それから照射済の燃料サブアセンブリ

第 5 圖

COMPARED CORE CHARACTERISTICS OF
RAPSODIE AND PHENIX

	RAPSODIE	PHENIX
Thermal power (MW)	24	532
Maximum power density (KW/liter)	590	670
Core height (cm)	34	85
Core diameter (cm)	44.6	136.5
Sodium temperature(inlet-outlet) (°C)	405-495	400-560
Core composition (vol.%)		
UO ₂ - PuO ₂	40	37
Na	33.5	35
Ratio $\frac{\text{Pu}(\%)}{\text{U} + \text{Pu}}$	26	internal zone:19.8 external zone:27.4
Average specific power (MW/kg of fissile material)	0.24	0.75
Neutron flux (core center)(n/cm ² .sec)	2.10 ¹⁵	7.10 ¹⁵
Number of subassemblies	64	97
Number of fuel pins per subassembly	37	217
Diameter of oxide pellets (mm)	5.57	5.5
Smear density of oxide (% of theoretical density)	88	80
Clad wall thickness (mm)	0.45	0.45
Maximum linear specific power (W/cm)	400	430
Burn-up (minimum expected)(MWD/t)	30,000	50,000



等も取り出される前に、この中に貯蔵されます。3つの主要ポンプともつの中間熱交換器が主要タンク上部に通じております。主要タンクはメインベッセルとよんでいる大きなシリンダー状のタンクに開きます。これは高さが12m、幅も12m程あります。そして炉心をとおつて上の方へ流れていくナトリウムは中間熱交換器にはいり、それから主要タンクと主要容器の間の空間を満して、ポンプにはいり、炉心の底部にあるプレーナムに回されるわけです。

炉の停止期間中に行なわれる燃料の取扱いについては、2つの段階を踏むこととなります。まず第1にナトリウムの存在下において照射済のサブアセンブリーが周辺位置に移され、この際には、回転プラグと回転運動を行なうアームを使つて周辺位置に移しかえます。その後2、3カ月間の冷却期間をおき、使用済のサブアセンブリーは引出しポットの中に入れ、それから傾斜ランプを使つた装置で原子炉の中からとり出されます。またプラグの一番頂上を見ますと、8本の制御棒のメカニズムが収納されているのがわかると思います。これは重力を利用して挿入されたものであり、炉の停止中はとりはずされません。

フェニックスはマルクール・センターのそばのローヌ川のほとりに建設されるはずであります。整地作業はこの秋からはじまり、建設そのものの開始は1969年のはじめになる予定であります。私たちは作業の能率を高めるために努力が統一されねばならないということを深く認識し、この点でも組織面でも細心の注意を払つて努力の重複をふせいであります。この目的のために原子力庁と電力庁はフェニックス炉建設の全期間を通じて、この建設事業を両庁のジョイント・ベンチャーとすることに昨年同意しております。資金はすべて公共の資金でまかなわれ、原子力庁が全体にわたつて発注の任にあたります。また将来の条件を考え、できるだけフランスの産業界の体制を整えるためにもこのフェニックスの建設事業に産業界が積極的に参加できるように体制を整えております。

こういう要請を満たすために、私たちは極めて漸新な組織方針をとり上げております。建設を進めプラント実験を行なうらについての入札資料の仕様書を準備しなければならないわけですが、その準備にあつては原子力庁、電力庁および産業界からそれぞれ技能に応じた人材を集めて混成チームを作り、そのチームが単一の指揮系統の下で入札資料の仕様書を準備するという仕事をはたす責任を与えました。これら異なる組織からなるメンバーが一人の単一の指揮系統の下で肩を並べてその作業にあたるわけでありませう。

フェニックスの建設が始まると、次には、その燃料の再処理についての決定を下さねばならないわけです。この再処理の分野においては、ラプソディの照射済燃料の湿式処理のために、特にラ・ハークに建てたプラントの実際の運転経験をわれわれはもつております。それに関するデータがまもなく整理されてわれわれの手にはいることになつております。

最後に、高速中性子炉開発にあてられている財源とその計画の幾つかの基本方針についての概要を申し上げたいと思います。原子力庁におきまして、高速増殖炉の専従者は約750人であり、その内 $\frac{1}{3}$ 以上が大学卒であります。電力庁における担当スタッフは約70人であり、原子力庁の人員の約 $\frac{1}{5}$ にあたります。さらに大切なことは、これは最後に申しあげますが、フランスの産業界の各社において、この分野における有資格者のエンジニアの約100人を含む多くのチームが、いろいろなかたちで、すでに特別研修を受けているということでもあります。

資金の面で申し上げますと1968年度の原子力庁および電力庁の高速中性子炉研究予算は、ラプソディの運転とフェニックスの建設にかかわるものを除いて約2億フランに達します。これは円に換算しますと約150億円になります。この中には先ほど申しましたように、ラプソディの運転とフェニックスの建設にかかわるものはいつていません。また1962年から1967年までの間で、フランスの高速中性子炉計画に関する建設と研究の大部分はフランス原子力庁とユーラトムの協力で行なわれてきたということも申し上げたいと思います。総額は約8億5千万フラン(約600億円)に達し、その内約 $\frac{2}{3}$ をフランス原子力庁が、残りの $\frac{1}{3}$ をユーラトムが負担しております。しかし、これらの財源的裏付けが非常に重要なことはいまでもありませんが、私たちがとり組んでいる課題の大きさに鑑みまして、これらの財源を最も有効に利用しようとするに私たちが常に腐心しているということも忘れていただきたくないと思います。もし、これを怠つていたら、はたしてこれだけの財源をもつてしても今日の様な満足すべき成果が達成されていたかどうかは、はなはだ疑わしいと申し上げねばなりません。特に私たちが心をくだいた点は私たちの研究施設の大部分をカダラシュの原子力センターに集中するという点にあつたのでありまして、施設も研究もここに集めるということに力を注いだのであります。次の図7でわかりますように、比較的小さなカダラシュ・センターの敷地の中に、私たちはラプソディを建設しました。そこにはナトリウム研究のための特別施設をもつた研究施設、マズルカ臨界実験装置がありますし、高速中性子線源炉ハーモニーもここにあります。この写真の背景にあるのはプルトニウム試験場で、それから加工工場、前の方にあるのはカブリです。カブリは試験炉で、特に安全問題研究のために建設されたものであります。これは近い将来にはナトリウムの流れの中断にともなう諸々の現象を研究することになつております。私たちは、このような事故は起る可能性のある事故であるということを心得ております。それに加えて、われわれの努力が分散しないように特に留意してきました。

一体、あることをするかしないかという時に、何かをしないと決定する方が、何かをすると決意するより重要であり、またその方が決定するのが難しいということがあると思います。何を優先するかというプライオリティを常に明らかにし、そのとおりに実証をすすめていく努力

は、当然のことながら、それ以外の方面での犠牲を伴うものであります。たとえば私たちは冷却材としてナトリウムに専心しており、他を顧みていないというのもその例であります。また、燃料の研究でも酸化物に重点をおき、炭化物についてはわれわれの持てる力の1割ぐらいしか向けておらず、金属系のアロイについては全く関心を示していないというのも、私の申し上げました優先性のなせるわざでございます。このような選択をなしたことを後悔しているわけではありません。それどころか将来に対して確固たる自信を持つているものであります。

フランスで生産され、民間に供給し得るプルトニウムの量は近い将来急速に増加するでありましょう。1980年の累計は約15トンになると思います。われわれは、高速中性子炉は十分にこのスケジュールに間に合つて実用化されるという確信をもっており、フランスにおける核エネルギーの生産に対して大きな貢献をなすことを疑うものではありません。

第 3 セ ッ シ ョ ン

- ・ シンポジウム
「プルトリウムの熱中性子炉
へのリサイクル」

【シンポジウム】

『プルトニウムの熱中性子炉へのリサイクル』

【講演の部】

I わが国におけるプルトニウムの熱
中性子炉へのリサイクルの考え方

原子力委員会

委員 山 田 太三郎

原子力産業会議の第1回年次大会に当り、プルトニウムの熱中性子炉へのリサイクルというテーマの下でパネル討論を企画されたことはまことに時宜を得た催しだと思えます。

原子力発電の増加に従いましてプルトニウムの生成量も増えてまいりますので、その処置をどうするかが大変大きな問題となつてきます。すなわち高速増殖炉が実用化されるまでは研究用に使用する以外は貯蔵しておくとか、そうではなくて軽水炉でどんどん燃やしてしまえとかいろいろな議論があると思えます。何れにせよ皆で大いに議論し、国としてまた企業として最もよい道を選ばなければなりません。本日は各方面のエキスパートが集つてこのプルトニウムの利用の考え方、特に熱中性子炉へのリサイクルについて討論されるそうでありますが、前に申し上げたような理由から甚だ意義深いことと存じます。

原子力委員会でも昨年6月より核燃料懇談会を数回開催し、核燃料政策のあり方につきユーザー、メーカーまた学界、言論界等各界の有力者のご意見を承つてまいりました。特にプルトニウムの利用につきましては同懇談会のなかにプルトニウム分科会を設けまして専門家にお集り願ひ昨年7月から11月にかけて数回に亘つて討論を重ねてまいりまして、去る12月にはその分科会の報告がまとまりました。プルトニウム分科会の座長を私がつとめました関係もあり、その分科会の報告についてご説明致したいと思います。

それに先立ち、昨年原子力委員会が決定致しました新長期計画ではプルトニウムについてどんなことを考えていたかをその長期計画のなかから引用してみたいと思えます。すなわちプルトニウム利用の考え方は次のとおり書かれております。

「わが国で生成するプルトニウムは、高速増殖炉用燃料として使用することが最も望ましいが、高速増殖炉が実用化されるまで相当の期間が必要であるので、核燃料の有効利用の観点から、この間、熱中性子炉用燃料として利用することが考えられる。従つて、高速増殖炉用プルトニウム燃料の研究開発をすすめるとともに、プルトニウムの熱中性子炉での利用に関する研究開発を行なう必要がある。」

以上のとおりであります。プルトリウム分科会ではその主旨に沿って討議しましたわけで、以下その模様につきましてご説明致したいと思ひます。

まず熱中性子炉へのリサイクルと申しましても、以下は主として軽水炉へのリサイクルについて述べる事と致します。

最初にプルトリウム需給の見通しであります。これは便宜上昭和40年代、昭和50年代そして昭和60年代と3つに分けて考えてみました。

昭和40年代におけるプルトリウム需給表

(i) プルトリウム生成量 (kg)

炉型 \ 年度	42	43	44	45	46	47	48	49	50
ガス冷却炉	22	85	100	88	88	87	88	88	88
軽水炉						240	480	640	940
合計	22	85	100	88	88	330	565	730	1,030
累計	22	107	207	295	383	710	1,275	2,000	3,000

(ii) プルトリウム所要量(研究開発用) (kg)

炉型 \ 年度	42	43	44	45	46	47	48	49	50
高速増殖炉	3.0	103	150	0	530	200	190	760	630
新型転換炉		0.3	5.0	6.0	30	30	220	220	190
軽水炉	0.4	2.2	2.2	384	92	0	0	8.0	252
その他	1.7	0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	4.0
合計	5.0	105	160	47	654	232	415	990	1,080
累計	5.0	110	270	320	970	1,203	1,620	2,600	3,700

昭和50年代におけるプルトリウム需給表

(i) プルトリウム生成量試算 (t)

ケース \ 年度	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
(1) 生成量	1.3	1.8	2.5	3.0	3.3	4.5	5.6	6.5	7.5	8.5
昭和40年からの累計	4.0	6.0	9.0	12.0	15.0	20.0	25.5	32.0	40.2	48.7
(2) 生成量	1.4	1.9	2.4	3.0	3.6	4.4	5.2	6.1	7.1	8.0
昭和40年からの累計	4.0	6.0	9.0	12.0	15.0	20.0	25.0	31.0	38.0	42.0

- (注) 1. ケース(1)は軽水炉のみの場合
2. ケース(2)は軽水炉と新型転換炉の場合

炉型 \ 年度	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
高速増殖炉	0.3	0.9	0.9	0.5	—	—	2.0	2.0	1.0	—
新型転換炉	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—
合 計	0.5	1.0	1.4	1.0	0.5	0.5	2.5	2.5	1.0	—
累 計	0.5	1.5	3.0	4.0	4.5	5.0	7.7	10.2	11.2	11.2
昭和40年 からの累計 (50年までの 累計3.7t)	4.0	5.0	7.0	8.0	8.0	9.0	12.0	14.0	15.0	15.0

(注)：本試算は、軽水炉での利用が行なわれなかった場合である。

お手元に配布されました表を見て頂きたいと思いますが、昭和40年代にわが国で生成されるプルトニウムの量は累計で約3トンと考えられます。これに対しましてこの年代には、高速炉、新型転換炉、軽水炉などへの利用のための研究開発用のプルトニウムの需要が多く累計で約4トンであります。原子炉で生成されたプルトニウムは再処理工場で回収しなければ使えないわけですから、実際にはもつと不足することとなりましょう。そしてその不足分は輸入によつてまかなうこととなるわけでありまして、次に昭和50年代であります、大分さきのことで需給の予測は困難であります、原子力発電計画からみますと昭和50年代には生成するプルトニウムの量は累計約45トンとなります。これに対して需要の方は、高速炉も新型炉も研究開発から実用化への移行の段階なのでその需要は約15トンで大量の需要は望めず、軽水炉でのプルトニウム・リサイクルが行なわれないとすれば、約30トンの生成プルトニウムが余剰になると考えられます。次に昭和60年代の需給見通しであります、この年代には高速増殖炉が実用化される見通しでありますので生成されたプルトニウムはすべて高速増殖炉の燃料として使用されることとなりましょう。特に昭和60年代の後半には多くの高速増殖炉が建設され本格的な運転を開始することとなりましょうから、プルトニウムの需給は逼迫するのではないかと考えられます。

次に、ただ今申し上げたような需給予想の下でどのようにプルトニウムが利用されるか、その形態について考えてみますと次の2つに大別できると思います。1つの考え方は、さきに申し上げた昭和50年代の余剰の生成プルトニウムはそのまま貯蔵しておき高速増殖炉が実用化した際に利用することでありまして、高速増殖炉の実用化は昭和60年代と考えられますから相

当長期間に亘つてプルトニウムを貯蔵しておく必要があり、高価なプルトニウムをねかしておくのは経済的に大きな負担がかかることと思います。もう1つの考え方は、生成されたプルトニウムを軽水炉や新型転換炉すなわち熱中性子炉に積極的に利用するという考え方であります。この場合には生成プルトニウムはどんどん使われるので貯蔵の問題はないわけですが、将来高速増殖炉が実用化した際にそれに供給するべきプルトニウム燃料が足りないという事態が起りかねないのであります。実際にこれらの形態のどちらになるかは、今後の高速増殖炉の開発のテンポや、軽水炉からの使用済燃料の排出量、そして排出された使用済燃料中に含まれるウランやプルトニウムの量など今後の軽水炉の性能の向上の程度によつて定められると思いますが、エネルギー源としてプルトニウムを考えますときには、プルトニウムの利用方法を巾広く開発しておく必要があると思います。高速増殖炉や新型転換炉の燃料としてプルトニウムを利用する技術の研究開発は動力炉開発のナショナルプロジェクトの一環と致しましてすでに計画化されております。一方軽水炉へのプルトニウムの利用の技術の研究については以前から種々と論議されてきましたが、まだ計画化されておられません。しかしながら、米国などではこの研究が以前から推進されており、現在では実用化の見通しがほぼ得られようとしております。わが国でも核燃料サイクルの早期確立、核燃料の有効利用のためにも軽水炉への利用の技術の研究開発をすすめておかなければならないと思います。こうしておけば、必要に応じてはプルトニウムの有効な利用法となり、またこの利用技術はプルトニウムを将来高速増殖炉や新型転換炉に利用する技術にもつながるのでありますから、この研究をなるべく早く行つておく必要があると考えるわけであります。

さて冒頭に述べた軽水炉リサイクルか貯蔵かという問題に決着を与えずに、軽水炉リサイクルを行うというのでは迫力に乏しいという批判があると思いますが、この問題が不確定の因子を数多く含んでいる性質上止むを得ないのではないかと思います。

最大の不確定因子は何時商業的高速炉が具体化するかという問題です。元来軽水炉リサイクルによつて得られる利益は高速炉開発に成功するといつた決定的なものでないし、又高速炉が成功すれば軽水炉リサイクルは消える運命にあるという時間的にも限定されたものであるので、高速炉の具体化の時期に対する予測の強弱で、軽水炉リサイクル是か非かという様な結論が産れます。英国はこの見地からプルトニウム貯蔵論であると考えられます。

第二の問題点は軽水炉リサイクルは経済的に引き合うかという問題です。プルトニウムの熱中性子炉に於ける“燃料価値”は10\$/g前後といわれていますが、これに対しプルトニウムの生産費(使用済燃料の輸送費及び再処理費)とプルトニウム燃料の加工費(所謂 fabrication penalty)等が見合うかという問題があります。プルトニウム燃料の加工の問題はリサイ

カル研究の枠内の重要な項目ですが、プルトニウム生産費はリサイクル研究の枠外の不確定項目です。特に最近の軽水炉の使用済燃料中の U^{235} 含有率低下の傾向は生産費に影響を与える項目です。

その他プルトニウム価格の多重性、プルトニウムの燃料価値が炉型毎に変ると考えられる事なども問題を複雑にしております。更に広くは原子力発電の発展の動向およびそれに伴うウランの需給なども関係して来るわけで、これ等の不確定な問題に逐一解答を与えた上でないと明確な答は得られないと思われまます。

経済問題とは別に単に資源的立場から見ても問題は簡単でなく、軽水炉リサイクルは短期的には資源的に有利であるが、高速炉開発量を制限する点から長期的又は超長期的に見ると不利になるので、何れの観点重視するかで見解が分れる事になります。

以上の事情から軽水炉リサイクル是か非かの問題に明かな結着を付けていないが、「長期計画」にも述べられている通り、商業用高速炉実現に対しては英国ほど楽観的ではないので、条件が許せば軽水炉リサイクルの実現を期待しているわけでありまます。

但し上述の通り軽水炉リサイクルによる利益は決定的に大きいものではないので、その研究開発に膨大な経費を要するのでは問題にならないわけでありまます。現在の予想では新しい炉型を開発するのと違って比較的少い研究資金で研究開発をやつて行けるのではないかと思ひまます。もつともこれにはこの分野における海外の研究開発の成果も十分に参考にする必要がありまます。

さてリサイクルの研究開発をどのようにすすめて行くかでありまます。前にも述べましたように、生成されたプルトニウムが昭和50年頃から余りだすと予想されまますので、その頃までに研究を完成し、実用化できるようにしておくことを目標にしたらよいと考へられまます。この研究達成には、プルトニウム燃料の取扱や製造の技術、プルトニウム燃料炉の核熱問題など広い範囲に互る科学技術が必要でありまますので、ユーザー、メーカー、学界、動燃事業団、原研等が打つて一丸となり協力し合つて総合的に研究開発を推進しなければならぬと思ひまます。そのためには国が中心となつて例えば特定総合研究に採り上げるなどの方法により、国が責任を以て計画を作成し、動燃事業団と原研が中心となつて研究を推進して行かねばならぬと思ひまます。また諸外国でのこの種の研究に積極的に協力し、資料や情報の交換を行なうことも考へすべきと思ひまます。

研究すべき内容としましてはいろいろあると思ひまます。その中でも特に重要な項目としては、プルトニウム燃料の加工技術、試作した燃料の照射試験、プルトニウム燃料の核特性や所謂 fuel management などがあると思ひまます。また研究の最終段階ではJPDR（動力試験

炉)での性能試験を経て実用炉での実際的な試験を行つてみる必要があると思います。これらの研究のタイムスケジュールはお手元にお配りしたプリントにありますのでご覧下さいと思います。

以上核燃料懇談会のプルトニウム分科会の報告の概要とそれに関連する若干の問題点につきお話し申し上げましたが、これが本パネル討論の種になれば幸であります。そしてわれわれ原子力委員会と致しましても本パネル討論の結果も参考に致しまして、プルトニウムのサーマルリサイクルの研究開発に対して最終的な結論を近いうちに下したいと思つている次第であります。

研究開発スケジュール

事項 \ 年度	43	44	45	46	47	48	49	50	51
燃料製造技術			取扱、加工、組立						
照射試験		Halden							
		JRR-2	JMTR						
			照射	後試験					
臨界実験		T	C	A					
JPDRでの性能試験									
実用炉での試験 (教ASS)									
所要経費見込額 (百万円)	65	44.3	71.6	49.5	46.8	75.8	85.7	9.9	1.3

合計 3,914 百万円

Ⅱ プルトニウム燃料の加工の現状と問題点

動力炉・核燃料開発事業団

理事 鎌田 稔

まえがき

1. プルトニウムは高速炉燃料として使用するべきである、しかし山田原子力委員もご指摘のように、中間期において熱中性子炉、ことに既存の軽水炉へリサイクル使用することの必要性が各国においても認識されつつある。^{1, 2, 3}

熱中性子炉へのプルトニウムのリサイクルについてはUSAECが1959年以来開発をつづけてきた、⁴さらに米国内でも電力界中心のEEI計画⁵が現在すすめられている。プルトニウム燃料の加工についてはAECの計画の下で旧ハンフォード(現在のBNWL)にPFPP(Plutonium Fabrication Pilot Plant)を設置して、広汎な加工技術の開発をすすめてきた。

2. プルトニウム燃料としては軽水炉利用の場合 UO_2-PuO_2 のいわゆる混合酸化物が用いられ、高速炉でも近い将来にはこの形式の燃料が用いられる。高速炉燃料でも軽水炉燃料でも基本的な製造技術は共通しているので、初期の開発段階では同一施設で開発研究がおこなわれている。混合炭化物や窒化物はごく研究的な施設でおこなわれているだけである。

3. したがって熱中性子炉用プルトニウム燃料の加工施設と呼称する施設はまだ世界中にはないが、現在熱中性子炉用燃料の試験的な開発製造をおこなっている機関はつぎのごとくで、

BNWL……PRT燃料、EBWR燃料(混合酸化物として、1,400 kgを10ヶ月で製造した)、Saxton燃料の大部分を製作した。

NUMEC … Saxton燃料の一部を製作した。

GE ……照射試料の作製、EEI計画Phase Iで4セグメント、1燃料棒を製作してDresdenで照射中である。

Windscale …スウェーデンのAgesta、ベルギーのBR-3のテストアセンブリーを製作した。

Belgonucléaire …BR-3テストピンを製作した。

改装中、建設中または計画中的のものとしてB&W、ALKEM、Westinghouseがある。

これらの大部分は高速炉燃料の開発研究をもち、現在のところ高速炉燃料の製造開発のみを

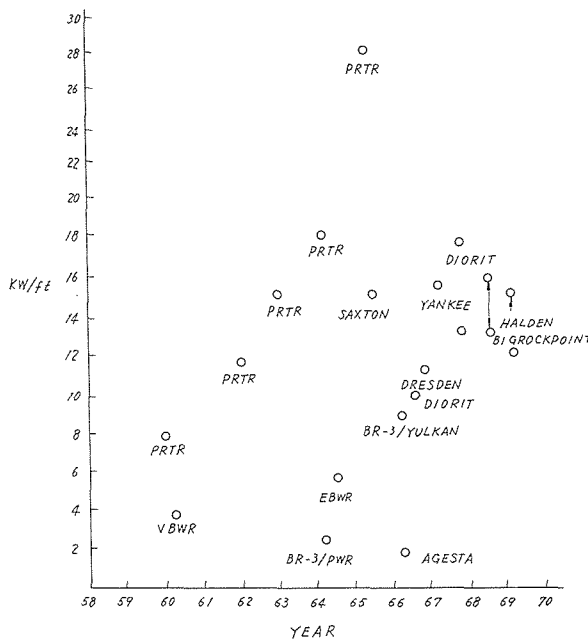
標榜している Cadarache, Harwel, Fontenay-aux-Rose, A.I., ANL がある。またごく最近にスウェーデン、オランダ、イタリアにも施設ができる。

4. 事業団東海事業所のプルトニウム燃料開発室は昭和37年から計画をはじめ、39年春着工、40年秋に完成したもので、それ以来順調に操業をつづけてきた。施設の規模とこの時期にこれだけの作業ができるということは関係各位のご援助とご協力のあつたおかげではあるが、世界的視野でも、かなりの存在である。旧原子燃料公社時代からの重要業務である再処理の問題から、抽出さるべきプルトニウムの使用開発という意味で、計画頭初からプルトニウムの軽水炉リサイクルと高速炉開発に伴う燃料の開発を採りあげてきた。昭和37～38年の建設計画の確定すべき時点ではまだ高速炉計画が樹立されておらず、高速炉燃料としてもまだ合金か、サーメットか、セラミックかと世界的に模索されている段階であつたから、設備内容の計画には軽水炉用混合酸化物燃料の製造開発に重点をおいた。しかし、情勢がすすんで混合酸化物が高速炉燃料として使われること、わが国の動力炉開発計画がナショナルプロジェクトとして発足し、当面の高速実験炉も混合酸化物ナトリウム冷却系と確定されるにしたがつて、部内の開発研究の努力比重をこれに向けてきて今日にいたつている。

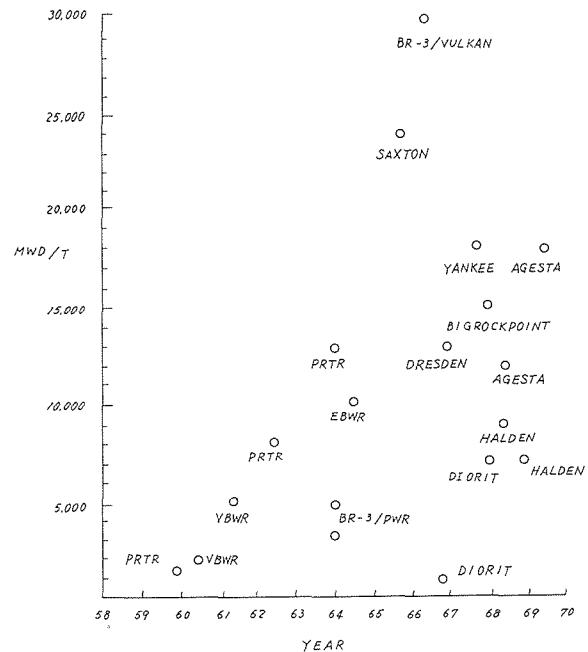
軽水炉リサイクル用プルトニウム燃料に何が要求されるか？

5. 燃料物質の開発という立場であれば、製造試験を経て小型のカプセルで照射試験をおこない、燃料中心温度に關与する燃料棒単位長出力 (W/cm とか KW/ft) と燃焼率 (MWD/t) の2軸にわたつての燃料の挙動を調査すればそれでよいわけであるが、原子炉燃料としての使用になると、その原子炉条件に対し、定常的な過渡特性や安全操業に必要な過渡特性までを確認する必要がある。プルトニウム燃料の利用の場合、全炉心を一挙にプルトニウムに取換えるとか、プルトニウム専焼炉を作るということは實際上あり得ないので、その場合それまでに使用されているウラン燃料の燃焼特性や燃料交換方式に合せて、核的にも熱的にも、水力学的にも既存燃料と不整合を起さないことが肝要である。
6. プルトニウムはウランに比べて断面積が大きく、特徴的な共鳴反応があるから、その場所における中性子スペクトルの状態に敏感で、結果として局部における熱発生も敏感に変つてくる。このためにプルトニウム燃料の設計はかなりむづかしい技術で、しかも燃料の燃焼に伴つて組織上冶金的变化があるので、その変化を核熱的に評価し織りこんだ燃料を製作するのは高度の技術知識を要する。つまり単にペレットを製作するばかりがプルトニウム燃料の開発ではなく、どんな燃料を、どんな作り方で作るべきかを決定するまでの段階が重要である。

7. プルトニウムは危険な物質で、後述するようにその取扱いには個有の施設と十分な安全管理体制が必要である。このため本質的には低濃縮 UO_2 と変らない燃料加工法であるが、コストは割高になる。したがってプルトニウム、リサイクルの商業的実現のためにこのコスト増をいかにして少なくするか、あるいはグローブボックス作業に適したプロセスの燃料をいかに燃料設計の中に織り込むかの問題が大きい。
8. 燃料集合体の中の局部最大燃料棒出力と燃焼率をその計画の実施年度を軸として表わすと第1および2図のようになる。PRTRにおける高出力燃料計画(HPD)以外では、およそ $16 \sim 18 \text{ KW/ft}$, $20,000$ から $25,000 \text{ MWD/t-Fuel}$ が目標でよいようである。これは軽水炉リサイクルとしても、第1世代の軽水炉から、漸次第2代へと実行が移されてゆくと考えるからで、進歩した最新鋭の軽水炉を最初から必ずしも考えなくてよいからであろう。



第1図



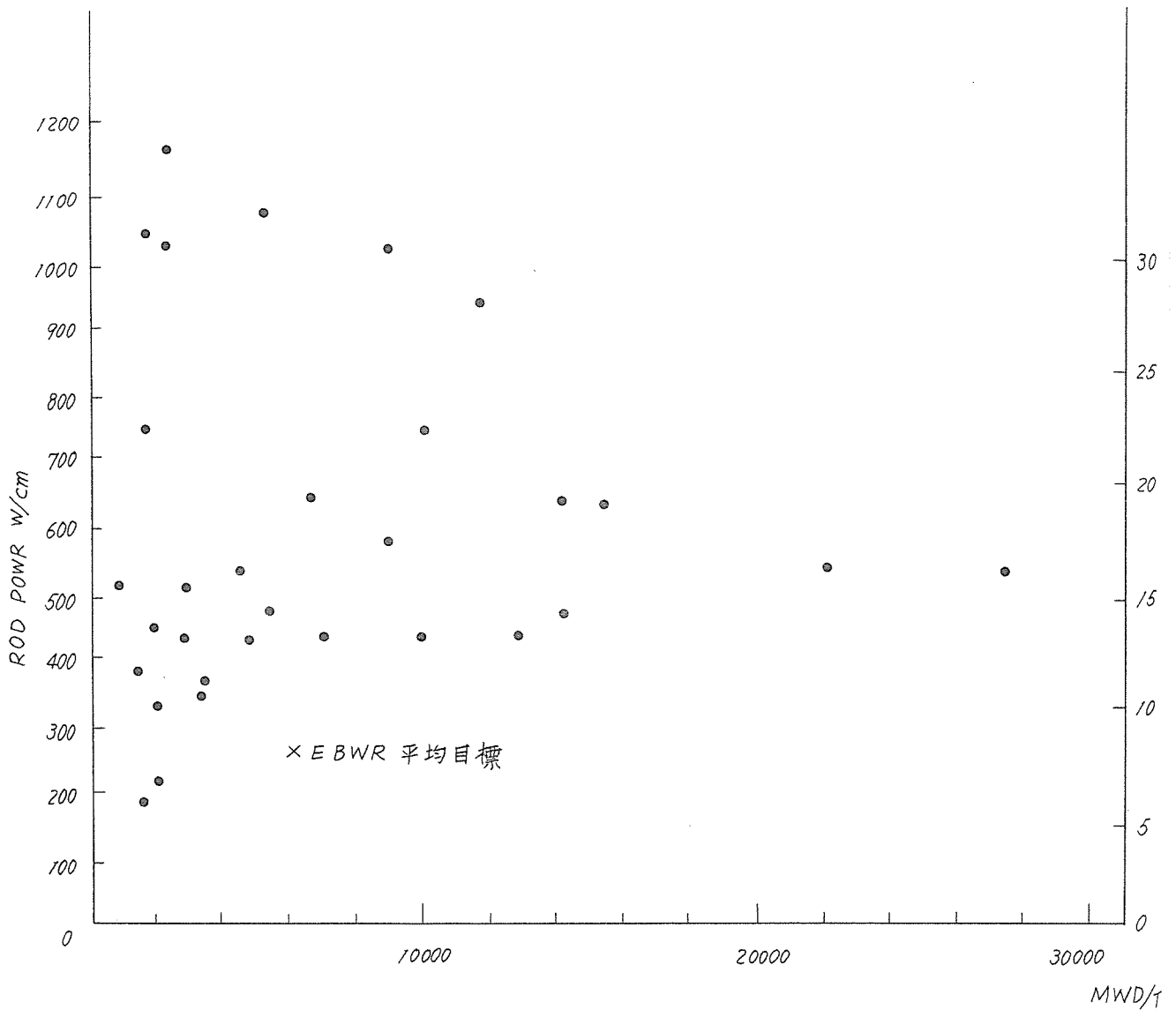
第2図

9. しかしカプセル照射として、たとえばEBWRの計画が $1.5\%PuO_2$ -Dep. UO_2 と決定されたあと、この炉内条件はむしろ炉物理実験的性格であつたのであまり高くはなかつたのだが、ETRで第3図に示すような広汎な照射試験をおこなつた。一般論として特定の炉の燃料装
- 第1代、Dresden, Yankee, Big Rock
 - 第2代、Jersy Central, そのほか、敦賀炉、福島炉
 - 第3代、TVA計画など

荷計画の決定するたびにこのような経験が必要であると誤解されては困るのであるが、AEC

のプログラムとしてはこれ程の開発試験であると了解されたい。これらのデータおよび従来のAEC試験の結果はわれわれにも利用可能で、組成、寸法、製法の異なるプルトニウム燃料の場合これらのデータに対し、内挿的に比較してわれわれの実験結果を評価できるはずである。これに対し高速炉燃料の場合従来の照射データが試料、照射条件の点で、むしろ外挿的判断を必要とするのと対比的である。

10. しかし前に述べた炉内焼結や燃焼の進行に伴う冶金的变化はカプセル照射試験でおこなえるとしても、核および熱的变化、したがって炉心の部分ごとの過渡的变化はやはりテストアセンブリーの炉内照射が必要であつて、この場合6項で述べたように、核熱的变化が中性子スペクトルに敏感であるという事情から、将来使用さるべきスペクトル、温度条件とあまりちがう状態での試験ではあまり有効でない。結局プルトニウムの部分炉心を作り、または全炉心での試験が必要になつてくるわけである。



第 3 図

プルトニウム燃料加工コストの考え方

11. 軽水炉用プルトニウム燃料は低濃縮ウランと殆んど同じ工程で加工される。燃料要素加工コストについての米国での研究によつても、ウラン燃料の場合ジルカロイ被覆管などの金具

第1-(1)表 燃料要素加工コスト (Y-1368)

	GCR-2	GCR-2	Yankee	Dresden
	EUO ₂	UO ₂ -PuO ₂	EUO ₂	EUO ₂
	%	%	%	%
UO ₂ 粉 末	6.9	6.0	3.3	3.1
U 回 収	1.5	0.9	0.7	0.7
PuO ₂ 粉 末	—	5.6	—	—
U-Pu 回 収	—	3.0	—	—
UO ₂ -PuO ₂ ブレンド	—	4.6	—	—
分 析	1.4	5.7	0.6	0.6
金 具 検 査	1.7	1.6	0.5	0.8
ペレット製造	6.7	8.4	11.3	5.1
ペレット検査	1.5	1.5	2.4	1.3
組 立	11.2	10.1	28.3	6.8
集 合 体 検 査	7.1	6.5	10.4	5.8
ロ ス , 使 用 料	24.4	12.3	11.5	10.9
金 具	37.6	33.8	31.0	64.9
計	100.0	100.0	100.0	100.0
計 \$ / kg	32.06	35.60	68.51	71.53

第1-(2)表 燃料要素加工コスト (BNWL-273)

	振 動 充 填 法			ペレット法		
	U ²³⁵ 富化	Pu富化	高次化 Pu富化	U ²³⁵ 富化	Pu富化	高次化 Pu富化
建 物 設 備 費	1,264	1,448	1,490	2,009	2,165	2,229
直 接 労 務 費	2,112	2,597	2,664	2,373	2,619	2,719
再 加 工 労 務 費	93	115	115	64	75	79
直 接 材 料 費	10,697	13,848	14,415	10,697	13,848	14,415
間 接 製 造 経 費	3,030	3,524	3,625	2,742	3,335	3,349
核 物 質 ロ ス	1,165	1,170	1,170	1,273	1,240	1,240
通 常 ロ ス	105	144	152	37	37	47
運 転 資 本 費	254	324	336	250	318	329
使 用 料	804	822	822	802	833	834
製 造 固 定 経 費	733	770	772	840	845	849
製 造 流 動 経 費	368	368	368	368	368	368
計 (\$ / 要素)	20,627	25,129	25,929	21,454	25,682	26,458
計 (\$ / kgU+Pu)	41.69	50.79	52.40	43.36	51.90	53.47
U ²³⁵ コストへの比率	1.00	1.22	1.26	1.00	1.20	1.23
振動充填法のペレット法の比	96.3	98.0	98.0	100	100	100

費が50%かそれ以上を占め、また集合体組立、検査費もかなりかかる(第1表)。これらはプルトニウム燃料でも全く同じであるから、ウラン燃料の加工費における約30%の分がプルトニウム作業のために増分になるわけである。しかもそのかなりの部分は Nuclear Use Charge と Loss 費で、加工の立場からいえば仕方のない範囲に入る。結局十数%の分がどれだけ高くなるかというわけである。

12. グローブボックス作業はたしかにわれわれの経験でも厄介で、安全管理および廃棄物処理にもコストがかかる。環境問題のきびしいわが国ではアメリカにおけるコスト計算の算定根拠に比べて多い比率をみておかなければならないかも知れない。

だがユニットの作業コストのかかるだけに量産の場合のコスト低下率が著しいわけで、今日の作業の状態で商業利用の時期における1トン毎日またはそれ以上の作業のコストを判断することはできない。軽水型プルトニウム燃料についてわれわれの試算した結果では第4図のごとき関係になつている。

13. 上記のコスト試算では標準のペレット法を採用したが、グローブボックス作業に適した加工法をとるならば、さらに安くなる可能性がある。たとえば振動充填法はこの意味でも魅力があるうえ、低充填率燃料ではウラン燃料と同一形状の燃料の燃料集合体設計を採用しても、実質的に格子の水対燃料比をあげることになつて、プルトニウムの高い断面積の立場から最適化の方向に向うという利点があり、結局炉心内の核分裂性物質のインベントリーが少なくなるという効果も現われる。

14. さらに均一なプルトニウム分布のある高密度の粗粒(ハンフォードのNUPAC、われわれのゾルゲル)の充填であるVIPAC法に対して、粗大粒を溶融 UO_2 破砕粒とし、グローブボックス作業を要する UO_2 - PuO_2 部分の微粒を混合して充填する、いわゆる石垣状充填体(Physically Mixture)がGE、Belgonucléaireで研究されているし、BNWLでは焼結しないグリーンペレットの燃料小型アセンブリーをETRで照射中である。

15. しかしこれらの新しい型式の燃料についてはさきに述べた過渡期の性状とその影響を確かめなければ容意に実用しにくいし、もしその照射開発試験コストを技術開発完成後の製品コストに課せられるとすると、その間の時間的要求と並べてどう考えるべきか、また一つの問題である。

プルトニウム燃料加工の安全問題

16. プルトニウムの取扱いで最も避けなければならないのは臨界事故である。Pu-239や241はウラン-235よりはるかに臨界量が小さい(第2表)。軽水炉用ウラン燃料の場合、

U-235 濃度は製造工程で減ることはあつても上ることはない。しかしプルトニウム燃料の加工では再処理工場から硝酸プルトニウムとして受入れ、以降の加工に適したような処理をおこない、また製造工程で不可避免的に発生するスクラップや不良の処理において、工程の必要上プルトニウムだけを分離してくりかえし使用することがある。つまり低濃縮ウラン工場では考えられない Fully Enrich された状態のものを扱うことになる。

均一な水溶液で理想状態になると、わずか 560 グラムの Pu-239 で臨界に達するので、取扱量制限は 220 グラムに限定される。このような小さなバッチ取扱いでは製品品質の管理が極度にむつかしくなるし、高コストになる。大量処理の場合、たとえば再処理工程でウランとプルトニウムの分離をおこなわず、水溶液状態で Fissile Make up をおこなつて、ペレットなり、その他の形なりの素材として適した状態に Characterisation をおこなつて、加工工程に入るなど、燃料サイクル全般的考慮の下で、材料の flow の中で幾何学的安全配列で処理する構想などが考えられなければならない。

第 2 表 臨 界 質 量 (T I D - 7 0 1 6)

	235U		233U		239Pu		
	安 全 管理量	最 小 臨 界 量	安 全 管理量	最 小 臨 界 量	安 全 管理量	最 小 臨 界 量	
質 量 (kg)							
溶 液	0.35	0.82	0.25	0.59	0.22	0.51	
金 属	10.0	22.8	3.2	7.5	2.6	5.6	(α 相)
					3.5	7.6	(δ 相)
無 限 円 柱 直 径 (cm)							
溶 液	12.7	13.7	9.3	11.1	10.6	12.4	
金 属	6.8	7.8	4.3	4.8	3.5	4.3	(α 相)
					4.5	5.3	(δ 相)
無 限 平 板 の 厚 さ (cm)							
溶 液	3.8	4.3	2.0	3.0	2.3	2.3	
金 属	1.2	1.5	0.5	0.7	0.4	0.6	(α 相)
					0.5	0.7	(δ 相)
溶 液 体 積 (ℓ)	4.8	6.3	2.3	3.3	3.4	4.5	
水 溶 液 の 化 学 濃 度 (g/ℓ)	10.8	12.1	10.0	11.2	6.9	7.8	

17. プルトニウム自体のもつアルファ放射は人体に極めて危険であり、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu などの高次同位元素はガンマ線やベータ線、自発核分裂による中性子線の放射がある。このため比放射能が高く、人体許容量も極めて小さいので、空気中および水中の最大許容濃度も極めて低いところに制限されている（第3表）。
18. われわれの取扱経験ではこれらの制限は極めて困難ではあるが、逆説的に、施設さえ十分管理されたものであるならば、測定器に検出されやすい放射能をもっていることが、むしろ安全である—ともいうことができることを体験した。
19. とはいってもその日常の安全管理には設備上のものばかりでなく、教育訓練および演習のほかに、万一の事態に備える後備の体制の整備が極めて重要である。また一方これらの安全体制に依存する度合のなるべく少ない自動化、集中管理化も将来に対してどうしても考えなければならぬ課題である。とくにリサイクルを経た高次化プルトニウムの取扱いには、第3表にみられるように比放射能が高まってくるので、部分遮蔽や遠隔処理が必要になつてくるとも考えられる。軽水炉リサイクルにしても、無限にくりかえさるべきか、高速炉炉心燃料に振り向けられるか、またブランケットで生成される高次同位元素含有量の少ないプルトニウムの用途を、これらの核的性質と放射能問題—したがって経済的立場から、軽水炉とか高速炉とか、単独の系だけで考えるべきか、相互関係で考えるべきか、まだ残された問題である。
20. 現在われわれの使用しているプルトニウムは $\$43/\text{g-Pu Fissile}$ である。これを現在の政府からの借料とした場合、1グラム1日当たり3円である。将来プルトニウム価格が10ドルになつたとしても、加工途中におけるインベントリーコストはかなりのものになる。ロス勘定とともにこのインベントリーコストの管理と、上述の安全管理、品質管理の観点からも、プルトニウム加工施設における計量管理の重要性は改めて指摘するまでもない。とくにプルトニウムの場合国際安全保障の立場からも施設内の計量管理には十分の責任をもつことが要求される。この意味でわれわれはリアルタイム方式の電子計算機管理を試験的に適用しつつあるが、将来に亘つて有効適切な形が何であるべきか、これまた一つの問題である。
21. 取扱施設から発生する廃棄物はすべて施設内で処理している。しかし 100dpm/cc という廃液中の最大許容濃度、空気中の許容濃度 $10^{-12}\mu\text{Ci/cc}$ というのは確実に処理しうる範囲ではあるが、処理したための管理廃棄すべき廃棄物の量を増大させる。これらの不燃性の廃棄物を安全に、しかも多量にわたるものを、保管維持することも将来の問題である。

第3表 プルトニウムの放射能と
最大許容水準 (ICRP)

プルトニウム 同位体	放射線 種類	同割合 %	エネルギー MeV	半減期 年	比放射能 Ci/g	自発核分裂 中性子 n/sec
238Pu	α	100	5.49	86	17.4	3,420
	γ	4.7×10^{-2}	0.044~0.15			
	L-X	13	0.017			
239Pu	α	100	5.14	2.4×10^4	0.062	0.03
	γ	1.4×10^{-2}	0.038~0.38			
	L-X	3.8	0.0136~0.0205			
240Pu	α	100	5.162~5.118	6.5×10^4	0.23	1,380
	γ	10^{-2}	0.044			
	L-X	10	0.017			
241Pu	α	3×10^{-2}	4.9	13.3	111.5	-
	β	99,997	0.02			
	γ	1.2×10^{-3}	0.1~0.145			
242Pu	α	100	4.86~4.89	3.8×10^5	0.004	2,300
	γ	10^{-2}	0.045			
	L-X	10	0.017			

プルトニウム 同位体	溶解性	対象器管	最大許容 身体負荷量 μCi	最大許容濃度			
				週48時間		週168時間	
				(MPC)water	(MPC)air	(MPC)water	(MPC)air
238Pu	可溶	骨 全身	0.04	10^{-4}	2×10^{-12}	5×10^{-5}	7×10^{-13}
			0.3	10^{-3}	10^{-11}	4×10^{-4}	5×10^{-12}
239Pu	不溶	肺	0.04	10^{-4}	2×10^{-12}	5×10^{-5}	6×10^{-13}
			0.4	10^{-3}	10^{-11}	3×10^{-4}	5×10^{-12}
240Pu	可溶	骨 全身	0.04	10^{-4}	2×10^{-12}	5×10^{-5}	6×10^{-13}
			0.4	10^{-3}	10^{-11}	3×10^{-4}	5×10^{-12}
241Pu	不溶	肺	0.9	7×10^{-3}	9×10^{-11}	2×10^{-3}	3×10^{-11}
			9	6×10^{-2}	8×10^{-10}	2×10^{-2}	3×10^{-10}
242Pu	可溶	骨 全身	0.05	10^{-4}	2×10^{-12}	5×10^{-5}	6×10^{-12}
			0.4	10^{-3}	10^{-11}	4×10^{-4}	5×10^{-12}
					4×10^{-11}		10^{-11}

動力炉・核燃料開発事業団プルトニウム燃料開発室の経験と今後の計画

22. 事業団東海事業所のプルトニウム燃料開発室は昭和40年11月落成、41年1月17日から試験操業を開始し、今日まで重大な事故もなく操業をつづけてきた。現在約6キログラムのプルトニウムと、90%濃縮ウラン2.5キログラム、20%濃縮ウラン5キログラムをもつて、製造技術の開発と各種照射試験試料の製作ならびにその評価研究をおこなっている。照射試験としては高速炉のためのエンリコフェルミ炉照射用試料が製作途中で、やがてドンレイ炉用試料も計画されている。

熱中性子炉用として、製造技術の評価として、2種類のペレット、および2種類のゾルゲル-振動充填燃料棒が現在GETRで照射中である。またノールエーのハルデン重水炉を使つてのテストアセンブリーの照射が計画され、IFA159は2.5w/o PuO₂-net UO₂のペレットで3×3の小型アセンブリーで、IFA160はゾルゲル-VIPAC型である。現在IFA159の燃料棒の製作を殆んど完成し、近く原研との共同研究として、TCA Trap Zoneを用いて、アセンブリーの各種反応度および出力分布を測定したのち、出荷する。これは今年8月から44年12月まで照射され、予測燃焼率9,600MWD/Tで、後の試料は44年1月から12月までに約6,000MWD/Tの照射になる。これらは単に燃料物質試験でなく、集合体設計の核熱的試験でもある。今のところ確定していないが照射後試料の核的反応の測定が望ましいと考えている。

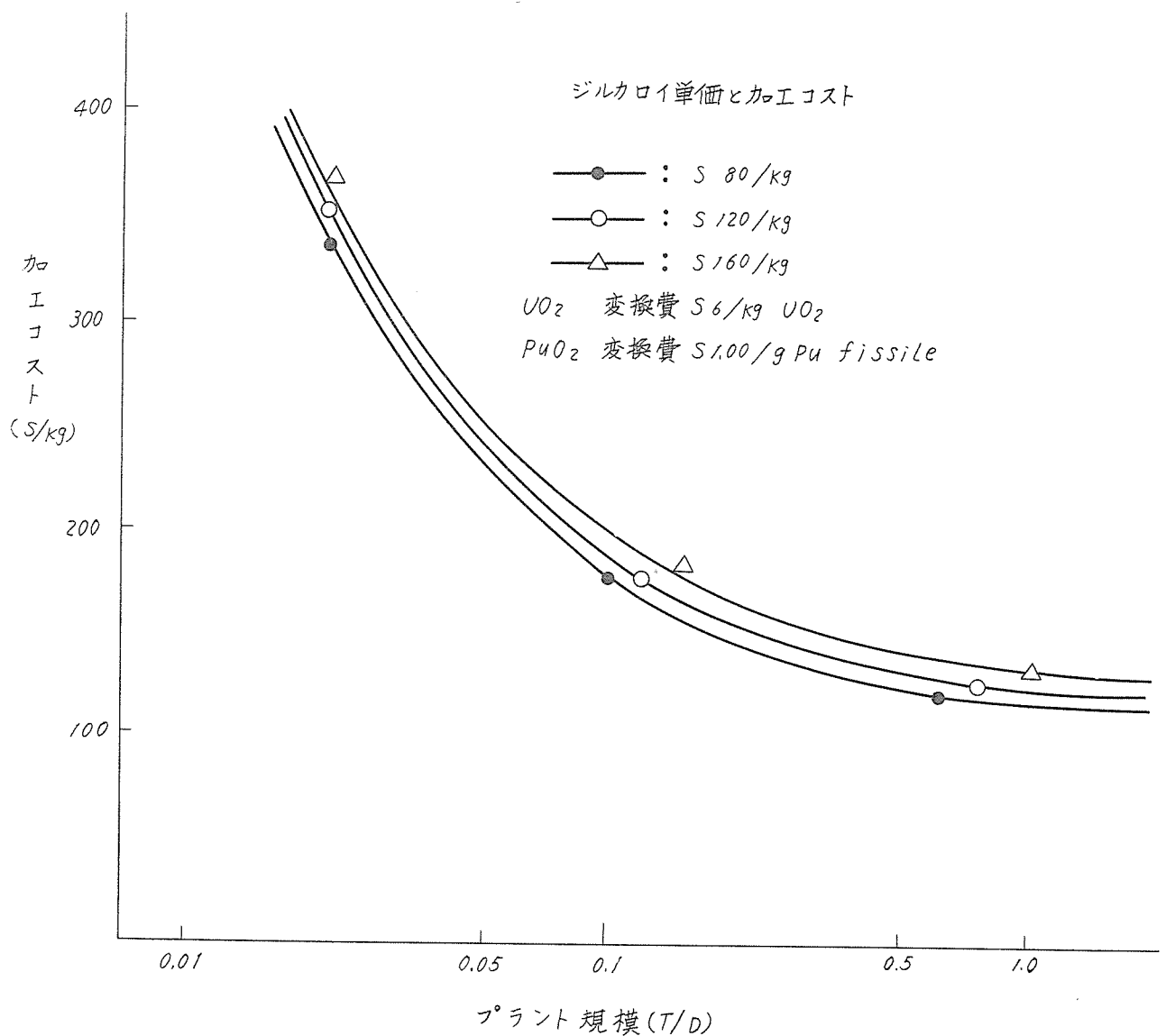
TCAにおける実験として昨年10月以来、3種のプルトニウム富化率、3種の燃料棒直径について、燃料棒内および近傍の中性子束分布を3種のデテクターワイヤで測定する実験をおこなつた。これは一昨年おこなつたUO₂燃料棒の実験の延長で、燃料設計の基本計算法の確立と、さきに述べた燃焼に伴なう治金的、化学的变化の炉物処理的影響の調査の一部をなすものである。これにつづいて近く50本の燃料棒を製作し、水ギャップの効果、制御棒近傍のピーキングに対する富化率調整の影響をTCA既有の低濃縮ウラン燃料棒と組合わせて実験する。

23. 操業の安全を確保するため、保安期定の制定につづき、臨界管理基準、計量管理基準および各種作業の詳細部にわたつて安全作業基準を設定し、個々のボックスごとに作業者指定制をとつている。安全作業基準には事故時対策の基準、緊急時対策をも含み、また後備の体制として防護隊組織をもつている。一般的にいつて災害度の低い小事故の確率が高く、大事故は確率が低い。そこでプルトニウム燃料開発室では現場グループごとに小事故演習をしばしばおこない、防護隊の班別演習、総合演習もやつてきた。また緊急医療処置の問題についても原研の協力を得ており、放医研による基礎的研究からの援助もある。

いままで幸いに重大な事故を全く経験しなかつたが、今後の取扱量の増大に備えてさらに安全体制を確立してゆくことが緊要と考えている。

24. 今後の計画として、高速実験炉初期装荷燃料の製造、新型転換炉の臨界実験用燃料さらに将来のプルトニウム燃料装荷の計画と並んで軽水炉リサイクル計画によるJ P D Rへのテストアセンブリの照射や部分炉心の計画もすすめられているので、これら所要混合酸化物燃料の製造をおこなうため43年度予算から、1日15キログラム混合酸化物の完成燃料を製作しうるだけの施設に拡張する予定になっている。45年初秋に完成することを目標にしている。

完成後上述の各計画の要求がバッチワイズで現われるので、その総合調整が問題だが、その運営も問題である。その面での民間の協力を期待している。



1. EEI Plutonium Survey 1963, 1964, 1965.
2. IAEA, Symposium on the Use of Plutonium as a reactor fuel, Brussels, 13-17 March 1967.
 - SM-88/11 E. Evans, Plutonium utilization in boiling water power reactors.
 - SM-88/9 R. Allio, Plutonium recycle in pressurized water reactors.
 - SM-88/7 D. De Halas, Fabrication and irradiation factors influencing plutonium recycle economics
 - SM-88/22 E. Vanden Bemden, Economic effects of plutonium recycling in thermal reactors.
 - SM-88/23 R. Kehoe, The commercial aspects of the recycling of plutonium.
 - SM-88/36 Y. Imai, Plutonium fuel development in Japan.
 - SM-88/31 M. Ronteix, Towards a plutonium market.
 - SM-88/10 D. Boyer, Civilian uses and production of plutonium in the United States.
 - SM-88/47 A. Ariemma, Assessment and experimental investigation of plutonium potential in ENEL water reactors.
 - SM-88/14 H. Bairiot, Irradiation of fuel elements in the Belgian BR-3 reactor
3. 1967 Nuclear Metallurgy Symposium, Plutonium Fuels Technology, Phoenix, Oct. 4-6, 1967.
 - B-1, M. D. Freshley, Operating Experience with Plutonium Fuels in PRTR.
 - B-2, C. H. Bean, The EBWR Plutonium Recycle Demonstration Experiment.
 - B-3, R. S. Miller, Operating Experience with the Saxton Reactor Partial Plutonium Core II.
 - B-4, H. Bairiot, Irradiation of Plutonium Fuels in the BR-3.

Ⅲ 熱中性子動力炉におけるプルトニウム利用

日本原子力発電株式会社

常務取締役 吉岡俊男

1. はじめに

最近の日本でも翻訳の出された「マンハッタン計画」という本を見ると1944年頃に原爆のためのプルトニウムを数キログラム作るに当つてエンリコ・フェルミを初めとするシカゴ大学のグループやハンフォードで原子炉の建設に従事した技術者たちがどんなに苦勞を重ねたかがくわしく描写されている。天然には存在せず、それまでは研究室で何マイクログラムのオーダーで作られたに過ぎない超ウラン元素を短時日に工業的なスケールで多量生産しようとしたのであるから、並大抵の努力ではなかつたことが理解できるであろう。

それから25年経つた今日、時代がすっかり變つてPuは何トンというオーダーで、それも原子力発電の副産物として、世界中で生産される見通しとなつて来た。良く知られているように、アメリカを中心としてヨーロッパ諸国、イギリス、ソ連、日本、インドなどで計画されている原子力発電所はこの数年先には5,000万kWとも8,000万kWとも言われるようになっていく。これら発電所の運転の結果生じるプルトニウムは、例えば日本だけでも昭和50年の累計約3トン、アメリカでは同じ年に約17トンと予想されている。現在ではまだ原子力発電所が稼動を始めて居ないため現実のプルトニウム生産は研究開発の需要に間に合わぬ程度であるが、10年後にはこのようなPu過剰生産の時代が迫つているものと考えられている。Puの需給予想についてはE E Iなどを初め幾つかの文献がある⁽¹⁾。

このように大量のプルトニウムが生産されるようになると、考えねばならない問題が幾つも生まれてくる。以下それらを簡単に指摘する。

- (a) Puは原爆の材料である。このため原子力平和利用の軍事転用を防止することは非常に重大な問題となる。今日ジュネーブで採上げられている核拡散防止条約や、ウィーンの間際原子力機関による査察など、技術的な問題としてはいずれも、このような副産物としてのPuの処置に関する事柄が中心である。
- (b) Puの利用としては高速増殖炉の燃料とするのが最も優れていることは良く知られている。他の分野はさて置き、エネルギー資源の有効利用ということだけに着目しても、ウラン1gが石炭3トンに相当するといわれ、潜在エネルギーとして石油、天然ガスの数万倍に当る⁽²⁾ものを実用化して21世紀の人類のエネルギー需要を充足するには高速増殖炉の

開発に期待するところが大きい。

- (c) Pu は熱中性子炉の燃料として使うことも出来る。実際に原子炉燃料の燃焼度が進むと、その中でPu 部分の貢献は大きな割合を占めている。一方熱中性子炉による原子力発電の経済性を確保するためには副産物であるPu が燃料としての価値を早急に実現してくれることが大切である⁽³⁾。
- (d) 高速増殖炉が商業目的に広く使えるようになる為にはまだ相当の技術開発が必要と考えられているのに対して、熱中性子利用の方は経済的な最適条件を見付けることが中心であり、実現性は早いと思われている。またPu に関する研究開発として両者に共通の基盤が存在する。

このように考えるとPu を熱中性子炉に利用する技術を開発することはわが国にとつても大切なことである。最終的には高速炉の技術、高速炉でのPu 利用につながり得るものであつて、しかも今直ぐ手をつけることが可能である。熱中性子炉の技術を確立するに当つての貢献も大きいし、また高速炉が大規模に実用化される時期が先に延びた場合、その間のPu 利用の道を確保することが出来る。熱中性子炉への利用の技術を確立するためには矢張り7年から8年の日時を要するので、今から直ちに着手することが必要とされている。

2 諸外国の動向

このようにPu の熱中性子利用については技術の feasibility を確立して置くということに重点があり、高速炉の技術開発と並行して世界の主要国で着々と仕事が進められている。米国 Pu 関係の仕事は燃料サイクルの一部として次第に民間に主体を移し、A E C はこれを援助するという形となつてきている⁽⁴⁾。特に燃料面での自由競争を刺激する意味での使用者たる電力会社の強い関心が期待され⁽⁵⁾、A E C によるPu 買上げ保証政策が終了する1970年12月31日以降、高速炉燃料としての市場が出来るまでは再循環が主要な役割りを占めると考えられている。

A E C は当初ハンフォードのP R T R を中心に開発を進め、この結果を土台にして、E B W R、Saxton, Yankee, Dresden 等の軽水炉でPu 燃料の性能を実証する段階に達している。特にE E I 計画はG E、ウエスチング、両社が参加してB W R、P W R におけるPu 燃料の性能計算も行い、この計画に必要なPu は1971年前半までに770kgと予想されている。A E C との委託濃縮契約でもPu を再循環する技術はこの時期までに確立され、1972年頃から企業ベースに進むことが予想されている(Toll Enrichment Contract の draft ではPu Recycle をするか否かの決定が1972年までゆう余される)。メーカーの側でも各社が夫々

研究開発を行つているほか、A I , G E , W H , N F S , N U M E C 等がPu 燃料のための加工施設等を所有している。

P R T R はハンフォードのバツテル・ノースウエスト研究所 (P N W) にある重水圧力管型で、Pu-Al 合金、(Pu-U)O₂の混合酸化物燃料が使われ、V I P A C 法による加工が中心で、10,000MWD/Te 以上の照射の結果、混合酸化物燃料はUO₂燃料の性能、特性上重大な相違の無いことが確められている⁽⁶⁾。5,300本の燃料が照射されそのうち破損は38本と報告されている。E B W R⁽⁷⁾, Saxtonでの照射は少数の燃料アセンブリを対象とするものであるが、後者では1967年1月で平均12,210MWD/Te, peak rod では15,960MWD/Te で、さらに peak pellet が31,800MWD/Te に達するまで照射を続ける予定である。1967年初めに若干の燃料棒を炉外に取出して検査したところではUO₂燃料と変らぬ予想通りの性能であつたと報告されている⁽⁸⁾。Yankee 炉への混合酸化物燃料 (Pu約400kg)の挿入は1970~71年と計画されており⁽⁹⁾、一方Dresden 炉では使用済燃料からのPuを使つた4本の混合酸化物燃料が昨年より照射されている。1970~71年にはさらに300kgのPuがE E I計画の一環としてDresden 炉に入れられることが計画されている。わが国も電力中央研究所を通じてこのE E I計画には関連を持つている。

英国 英国はマグノックス炉から大量のPuが作られ、一時はA G RをPu燃料で運転するつもりで開発を進めていたが、現在ではPuは高速炉の急速な開発のために使用し、A G Rに対してはカーベンハーストの濃縮施設を拡充する政策がとられている。しかし重水系、黒鉛系、軽水系それぞれに対する炉物理実験は早くからウインフリス研究所で進められ、またウインズケールにはPu燃料のパイロットプラントがある。ウインフリスの炉物理測定には1.5~3トンの混合酸化物を使用、またイタリーのS E N N、ドイツのKahl 炉のための混合酸化物燃料の製造も行つた⁽¹⁰⁾。

ユーラトム等⁽¹¹⁾ ユーラトムの計画はU S A E C と協力して進められているが、主として成型加工技術の確立 (Belgonuclaire 社) とS E N A (PWR)およびS E N N (BWR)での照射から成立つている。特にイタリーではLatinaのPuを英国A E Aを通じて入手、今年春には12アセンブリをS E N Nに挿入するが、これが成功すれば全炉心を(Pu-U)O₂にすることも考えている。その他B R - 3 (ベルギー)での照射試験、スエーデンのAgesta, ノルウェーのハルデンでも照射試験がおこなわれている。ドイツのKahl 炉での照射については英国の項で述べた通りである。

3 わが国の計画

わが国でPuの熱中性子炉利用計画をどのように進めたら良いかということはここ2年来各方面で論議され、現在は一応次のような形の計画が考えられている。これは原子力委員会の核燃料懇談会を中心に、技術上の具体的な詳細については原子力研究所、以前の原子燃料公社、原子力発電会社なども参加して検討をしてきたものである。基本的な考え方としては出来るだけ既存の施設と、入手可能な技術を組み合わせることによつて、無理のない速度で約8年のうちにPu利用技術のfeasibilityを確立しようとするにある。その時点において高速炉開発の動向と併せ考えながら、実際の動力炉に大規模に利用してゆくかどうかを決めても良いとの考え方である。

(Pu-U)O₂の混合酸化物であつても、熱中性子炉の場合はPu含有率は高速炉の場合よりもはるかに小さい。このような酸化燃料のピンを作つて国内(JMTRなど)または国外(GETR, Halden, 等)で照射を試みるのが最初のステップである。これには成型加工法の開発が当然関連しており、この点については動燃事業団ブルトニウム研究室を中心に仕事が進められている。照射後のホットケープにおける試験では混合酸化物の各種の性質、例えば熱伝導度などの測定をおこなつて照射の影響、温度の影響、FPガスの放出など、UO₂燃料の場合と比較しながら、諸外国のデータとの対比をおこなつて設計の基本データを得ることが大切である。

燃料アセンブリーを設計し、作り上げる技術は基本的にUO₂燃料の場合と同じである。ジルコイ合金の被覆管を用い、スペーサーを使用し、現在の軽水炉燃料と外見上は同じような燃料体を作ることになると考えられる。このためには軽水炉燃料の成型加工技術として導入されたものを具体的に活用するチャンスが与えられると思われる。

それよりも大切なのは(Pu-U)O₂燃料の物理特性の測定およびデータの入手である。このために考えられているのはまず原子力研究所の臨界実験装置TCAを使つた測定であり、次いでJPDR炉に少数の燃料体を挿入、更にJPDRの炉心の一部または全部を混合酸化物燃料で置きかえることが考えられる。このようにしてPu燃料のBWRにおける経験を十分に積み、経済的に設計条件を最適化するためのデータが十分集まつたならば、更に一歩進んで少数のPu燃料体を例えば原電敦賀炉のような実際の動力炉に挿入して運転してみるというステップをとることが考えられる⁽¹²⁾。

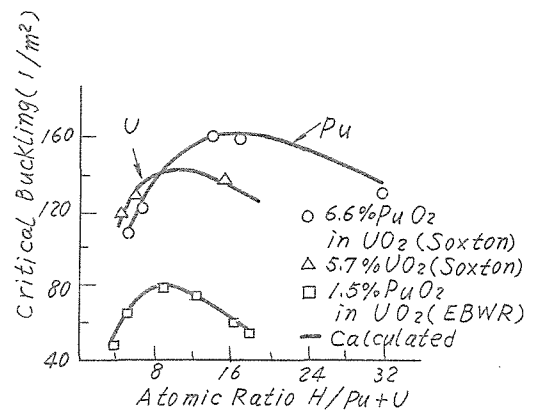
このように照射試験、臨界実験、JPDR、実用炉という段階を踏みながらPuの熱中性子炉利用の技術を積上げてゆくには7~8年の日時を要する。これだけ考えても、このような計画を早急に着手し、進み方に従つて再検討をしながらやつてゆくのが大切であつて、現在の時

点でPu 利用の一番優れた条件を議論によつて決めようとして時間を費し、そのために技術の開発が遅れるような事態になつてはならないと思う。またこのような技術開発には当然国際的な協力が必要であり、前に述べたように世界各国で進められている開発と力を合わせる事が重要である。国際協力を有効に進めるためにも、わが国の計画が自主的な姿で確立されているべきことは言うまでも無い。またPu 利用という面からも、軽水炉技術を進めるという面からも、Pu 燃料の技術開発という面からも、わが国の原子炉メーカーがこの計画に十分関心を持たれるだろうことも疑の無いことと思われる。

4. Pu - 軽水炉の技術的問題点

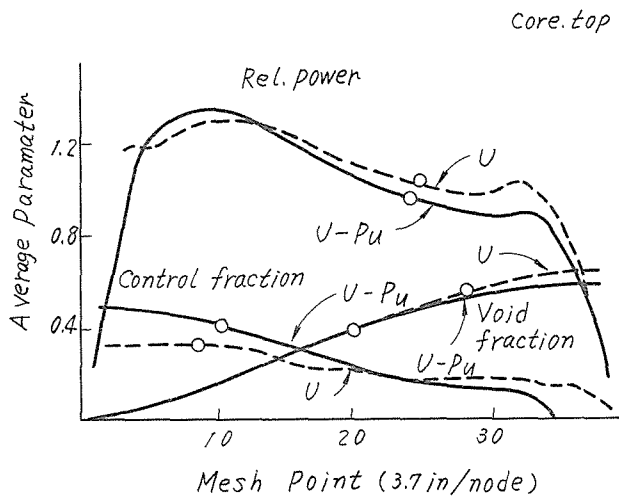
軽水炉について考えると、U燃料であつても燃料サイクル全体で熱出力の約20%はPuの分裂により生じているのであるから、Pu燃料になつても多くの部分はU燃料の技術の延長と考えてよいであろう。その意味でPu燃料を使つてみることは導入された軽水炉技術を実際に自主的に使つてみるチャンスであることは前にも述べた。しかし、それに加えて幾つかの点ではPu燃料として特に考えなければならぬことがある。混合酸化物自体については先にもちよつと蝕れたので、ここでは熱的、核的特性について考え、今後わが国でとり上げて行かねばならない開発上の問題点を考えてみる。

- Pu原子核はU-235に比し分裂、吸収とも断面積が大きい分裂/吸収の比が低いので中性子経済は悪くなる。Pu-240, 242が大いの一層この傾向が大きく、従つて燃料インベントリはPuの方が大である。
- Puは熱中性子領域外に大きな共鳴吸収を持ち(Pu-239, 241で0.5 eV, Pu-240, 242で1 eV)このため軽水炉のように中性子スペクトルが比較的堅い炉では実効断面積評価に影響が大きく、中性子スペクトルのより精確な計算が要求される。
- 核反応断面積が異なるため、最適な格子常数はU燃料の場合と変り、一般には水/燃料比の高いところが好ましくなる⁽¹³⁾。このためには格子間隔は動かさずに燃料棒の直径を細くしたり、密度を下げたりすることが考えられる。またPuの吸収断面積が大きいため拡散距離が短くなり、制御の効き目が悪くなり、場合によつては制御棒数の増加を来す。
- BWRの場合には既存のU-炉心の中にPu燃料を挿入してゆくため、成型加工費の増加とPu

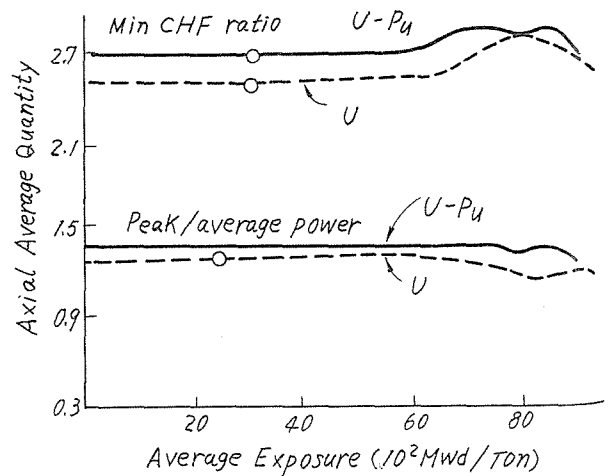


のための核的な最適設計を対比させて燃料の設計を決めてゆくことになるが、この点アメリカとヨーロッパでは多少ニュアンスの異なる方法がとられている。

- 燃料体内部での出力分布の様相も U 炉心と Pu 炉心では異り、BWR ではその上ボイド、制御棒、ポイズンカーテン等の効果が加わるので計算による予測には困難が多い。計算方法を変えると局所ピーキングの値に 10% 以上の開きが出るといわれている。また燃料体内部で最初に異なる濃縮度の燃料棒を分布させるに当つても U の濃縮度と Pu 濃縮度と 2 つの可変パラメーターがあるため問題は一層複雑になる。燃焼特性、経済性、成型加工時の難易等を考えてこの分布を決定しなくてはならない。
- Pu240 は burnable poison としての積極的な役割りを持つ。同時に Pu の共鳴吸収のためボイド係数、ドップラー係数は増大する。また Pu は遅発中性子の割合 (β) が小さいためこれも出力安定性のマージン減少に寄与する。また制御棒の効果の減少とボイド効果の増大のため軸方向の出力ピークが下方に押下げられる結果となり、限界熱流束比 (MCHFR) は増大するが同時に軸方向のピーキングも大きくなる⁽¹⁴⁾。



Greater initial power peaking and control-rod effectiveness toward bottom of U-Pu core results from more negative void coefficient (BWR)



Time-dependence of minimum critical heat flux and axial power in all-U cores little difference from U-Pu (BWR)

以上のような熱核的問題の解決のためには臨界実験装置によつて実際の水ギャップを含み、異つた濃縮度の領域を持つた非均一の系に対する測定を行つて理論計算との対比をおこない、更に実際の動力炉内において燃焼を進めながら、水力学的あるいはゼノン振動の不安定性、外乱による過渡特性などの炉心性能、安全評価の基礎資料などをとることが必要である。この意味での試験は諸外国からも従来ほとんど公表されていない。わが国の Pu 計画の中でもこれらの諸点は重要なポイントと考えられている。

5. 原子力発電施設者としての問題点

原子力発電施設者が、自分の発電所に Pu 燃料を実際に利用することを決定する場合、考慮に入れねばならない問題点を検討する。

- 。 先づ、現在の軽水炉の開発状況と Pu の生産状況から見て、最初から Pu 燃料専用の原子炉が建設される訳ではなく、既存のウラン使用の軽水炉に、その燃料取替時に、取替燃料の一部又は全量を Pu 燃料に置き替えることとなるであろうから、Pu 燃料は、この既存の原子炉に、その性能を損うことなく、又、設備の大きな変更を伴うことなく、ウラン燃料と併用出来るものでなければならない。これらは、Pu 燃料の成型加工上の問題として、又、原子炉の技術上の問題として、他の講演者又は本文の前項において論ぜられている通り、今後の研究開発により実証されなければならない。
- 。 次に Pu 燃料を軽水炉に利用する場合、それが、発電経済上、施設者として有利であるかどうかという問題がある。この場合、Pu を他よりの供給に仰ぐ場合と、自分の原子炉より生成される Pu を利用する場合とで、考慮すべき観点が異つて来る。

Pu を他よりの供給に仰ぐ場合には、Pu 燃料を使用した場合と従来通りウランを使用した場合とで、原子炉性能が変わらないよう設計されたものとして、加工費を含めた Pu 燃料とウラン燃料の価格と、それぞれの年間消費量が判れば、おおよそ、経済性の比較を見出すことが出来る。Pu 燃料の成型加工費は、別の演者によつて述べられているように、ウラン燃料のそれとくらべて、かなり高いと言われている。又、炉内における両者の核的価値にかなりの相違があることも、前項 4 に述べてある。いずれも、おおむね、定量的に明らかにされねばならない。

- 。 自分の原子炉から生成される Pu を自分の原子炉に利用する場合は、前記の場合より問題が複雑である。まず、生成される Pu の価格を、どのように評価するか。これは、原子力発電所の発電原価を算定する際、まず評価されるが、軽水炉の場合、従来は、アメリカの A E C が現在、定めている保証買上げ価格として、核分裂性 Pu 1 グラム当り 9.28 ドル（昨年迄は 10 ドル）を一応、採用しているが、使用済燃料の再処理費（輸送費等を含め）が、これから回収される減損ウランの価値と、この Pu 評価額の合計を超えるときは、実際上の Pu の原価は、上記評価額を上廻ることとなる。従つて、自分の軽水炉に挿入する濃縮ウラン燃料の価格が、この Pu 燃料の等価価格にくらべて、低廉であるときは、純経済的に考えて、施設者は、濃縮ウラン燃料を購入し、生成 Pu を、より有利な用途（例えば、研究開発用、海外販路等）にあてるか、将来の高速炉用に貯蔵するか又は、使用済燃料を再処理せず、そのまま貯蔵することを考慮せざるを得なくなるだろう。しかし、何れ

の場合も、それぞれ問題点があり、施設者として困難に遭遇するであろう。従つて、再処理費は、このような事態に至らしめないよう十分低廉になることが望まれる。減損ウランの価値が、天然ウランのそれに近くなつているBWRでは、特に、このことが強調される。

- 生成Puを軽水炉に利用することとなれば、所要濃縮ウランおよびこれに必要な U_3O_8 の購入が軽減出来る(2~3%濃縮ウラン1トンには U_3O_8 5~7トンが必要)。又、軽水炉に生成Puを再使用する方式を採れば、補給燃料に必要な U_3O_8 量は、最大30%程度、低減出来るといわれている⁽¹⁵⁾。即ち、これらPuの利用により、外貨およびウラン資源が節減出来、国の政策上、重要なことである。

6. 結 び

Pu燃料が軽水炉の中で使えるということ自体は既に諸外国の実績からわかつていることである。混合酸化物が最も有望な燃料の形態だということも今まで言われており、そのための成型加工技術の開発も行われてきた。今後必要なことは一方には(Pu-U) O_2 燃料体のスエリングとか熱伝達特性等を確認して使用限界を明らかにし、他方核熱特性を明らかにして最適使用条件を実証することである。そのような条件が明らかになつて、技術が確立されていれば何年か後にPuが多量に生産されてきた時になつて電気事業者はPu処分の方法についてより多くの選択を持つことが出来る。

原子力発電所が沢山作られてPuが副産物として多量に生産されるといつてもその様相は必ずしも単一のものではないかも知れない。再処理のバッチに応じて、同位元素組成も異なるPuがいろいろな形で出てくることになるであろう。現在Puの価格は研究用に設定されているUSAEC(43\$/gr)の数字と、90%濃縮ウランの価格に基いて熱中性子炉内における等価性から導かれた数字(9.28\$/gr)の両方が存在するが、将来Puが多量にあつてしかもその利用技術が確立されていない期間がもし生じると、逆に貯蔵費用だけネガティブの価値になる時点も考えられないこともない。Puの価値、或いは熱中性子炉におけるPu利用の経済性などはこのように原子力産業全体の系の中で考えられなければならないであろう。

現在の時点でPuの将来に対する決定が下せないとしたならば、近い将来の事態に備えて選択の可能性をできるだけ増やすような技術開発を進めることは極めて重要である。しかもその技術開発がわが国における軽水炉技術の確立に大きく寄与し、また高速炉のそれにもつながるとしたら尚一層のことである。わが国の電気事業者、原子炉メーカーがこの点について今後一層緊密な協力体制を固めて原子力委員会(核燃料懇談会)が明らかにした計画を進めることになると思ふものである。

【注 索引】

- (1) Forecasts of USA Nuclear Power
Capability by EEI Fast Breeder Reactor Study Group
IAEA Brussel Conference on Pu Fuel, March 1967
△ Civilian Use and Production in USA SM-88/10
△ プルトニウム市場の方向
CEA, France
AIME Symposium on Pu Fuel Tech, Oct. 1967, Phoenix, Arizona
△ Central Station FBR Pu Fuel Requirement-US Experience
原子力局 (わが国の Pu 需給予想)
Nuclear Industry-1967 (AEC) pp. 53-54
- (2) Energy R&D and National Progress, 1966, U.S. Interdepartmental Study
- (3) 最近の軽水炉において総発電コストの中で Pu が占める割合は約 5%、燃料サイクル費の中では約 15% である。
- (4) Nuclear Industry in 1967 and its Future Prospect, E.B. Tremmel, USAEC, AIF annual Conference (Chicago), 1967.
- (5) Positive Approach to Competition in Nuclear Industry. J.T. Ramey. 全上.
- (6) Operating Experience with Pu Fuels in PRTR, AIME 1967 Nuclear Metallurgy Symposium, Oct. 1967, Phoenix, Ariz.
- (7) EBWR Pu Recycle Demonstration Experiment. (全上)
- (8) Pu Recycle in US Thermal Reactors. (EEI) (全上)
- (9) Civilian Use and Production of Pu in USA, D.G. Boyer, USAEC, IAEA Symposium on Pu (Bursseles) 1967.
- (10) Some Aspects of Recycle of Pu, R.B. Kehoe, IAEA Brussels Conference 1967.
- (11) Euratom Program on Pu Recycle Fuels in Thermal Reactors, P. Kruys, AIME Phoenix Conference 1967.
- (12) 核燃料懇談会 Pu 分科会報告書, 昭和 42 年 12 月 5 日, 頁 9 (Time Table)
- (13) H.W. Grows Jr., Plutonium Utilization in PWR.
- (14) Prospects for Pu Recycle, Nucleonics May 1966.
- (15) S.M. Stoller, Nuclear Engineering, January 1966. pp32

プルトニウムのリサイクルと加工について

科学技術庁原子力局

核燃料課長 荻野谷 徹

核燃料に対するわが国の基本的な考え方は、新長期計画によれば次のとおりである。

「原子力発電の進展ほともない、わが国における核燃料の需要量は急速に増加するが、今後国内資源の把握につとめるとしても、この需要を充足することはできず、供給の大部分は海外に依存せざるをえない。

したがって、核燃料の低廉かつ安定な供給の確保とその有効利用をはかることがとくに重要である。

このため、濃縮ウランの入手等のための国際協定の改訂、さらに積極的に海外ウラン資源の確保等の措置を講じ、また、核燃料の加工、使用済燃料の再処理、プルトニウムの利用等を国内で行なうことにより、わが国に適した核燃料サイクルの確立につとめるものとする。」

この考え方のうちの核燃料の有効利用とはどのようなことかというのが問題である。有効利用と経済的な発電とは合致することもあるし、しないこともあるが、合致することが望ましいのはいうまでもない。特殊核物質は近く民有化されるわけであるが、民有化されれば、生成プルトニウムは民間のものであり、原則としてはそのプルトニウムの処分は民間に任されることとなる。米国においても、質濃縮によつて民間が取得した濃縮ウラン中に生成されたプルトニウムについては米国原子力委員会の買上げは行なわれぬ。日本でも民有化後には生成プルトニウムの国による買上げは行なわれぬと考えるのが至当であろう。

プルトニウムが本格的に高速炉に使用されるのは10年ないし15年の将来のことであろうが、それまでにプルトニウムを何等かの形で燃料として使用し、その物理的、冶金的性質に習熟しておくと共に、プルトニウム燃料の製造技術についても経験を得ておくことが重要であると考える。わが国の科学技術者でプルトニウム燃料を取扱つた人はまことに僅かである。またわが国にはプルトニウムは数キログラムしか現在はない。そのうちの大部分は動燃事業団と原研にあるのであつて民間には全くないといつて過言ではない。将来のプルトニウム燃料の成型加工の担い手は民間であつて、動燃事業団や原研は研究開発はするとしても加工の事業は民間の行なうべきことであろう。そうとすれば民間がなるべく早くからプルトニウムの取扱いをはじめているのがよいと思う。そうして動力炉開発の本命である高速炉の燃料も国産でまかなえるようにしておきたいものである。然し乍ら現在ただちに高速炉燃料の製造研究をはじめむわけにも行くまいから、その手始めとして軽水炉に使用するプルトニウム燃料を研究しておくならばより近い将来に実用化されるものでもあるし、実際的な価値もあるものと考えられる。

BWR における Pu 利用

東京電力株式会社

原子力部原子力計画課長 鈴木 範 雄

電気事業者がプルトニウム燃料と既存の原子炉に使用する際の問題点は、それがハードウェアとして信頼性のあるものであるかどうかということ、および、その核的特性に起因する原子炉の挙動が充分予測されるものであり、運転の円滑が保たれるものであるかどうかという2つに大別出来よう。

この2点について、それぞれ、世界各国で研究が進められていることは講演において述べられた通りである。

BWR についていうと、最近の技術進歩により、高出力密度、高燃焼度の設計がつきつぎと採用されつつあり、当社の2号機においても、TVA 等と同じいわゆる67年型設計の出力密度約50KW/l、平衡炉心の平均燃焼度27,500MWt/Wtのものを採用することとしている。このような改良型BWR についての技術評価を行なった経験からみた場合、BWR におけるプルトニウム・リサイクルについて気をついた点をあげてみたい。

まず、ハードウェアについては、改良型のBWR では燃料の挙動のうち、スエリングの評価と、燃焼進行に伴う燃料溶融点の低下が燃料棒のインテグリティにとって可成り重要になっているように見受けられる。従って、いわゆるプルトニウム燃料にとっても、この点に充分関心を払うべきではなからうか。

次に、ソフトウェアについては、炉内の出力分布および炉心の核的寿命が必要な精度をもって予測しうるかであるが、出力分布の計算については、現在各方面の努力により相当の精度を得ているといわれているが、プルトニウム使用の場合には、その中性子スペクトルに対する敏感さから、現用の方法では不十分であることが考えられ、この改良をいかにして行なうかが重要となろう。核的寿命の予測については、現在までに運転中の実用原子炉からは、最近の燃焼度を上げた場合のデータが少いので、必ずしも十分な精度保証を期待しがたいと思われる。プルトニウム燃料の使用に際しては、プルトニウムの高同位元素の割合が増加することになるので、計算の精度に対する要求は一層きびしいものとなろう。

プルトニウムの使用による制御棒価値低下については、適切な設計により対処しうるものと考えられるが、バーナブルポイズンの使用などを考える場合には、燃料設計が複雑となり、その挙動把握に相当の努力が必要と思われる。

見方を変えて、軽水炉の導入によって、原子力発電の建設をすすめつつある電気事業者の立

場からすれば、40年代のおわりから出てくる使用済燃料の処理をどのようにするかが可成り重要な課題のひとつである。というのは、その時点における再処理コストとプルトニウム価格との差、つまり再処理メリットの達成に必ずしも楽観的な見通しをもち難いと感じるからであって、その背景にあるものは再処理工場のコスト、稼働率、残存ウランの濃度、プルトニウム利用技術の定着度といった事項の見通しである。

特に、将来の電力需要増に対して、多額の設備投資と現行料金の水準のもとで行なつてゆかねばならない電気事業にとつて、例えば、いま支払う再処理コストの回収が、5年後、あるいは10年後にならねば出来ないというような事態に対処することはかなり困難である。このような、素朴な考え方から、再処理コストの逡減とプルトニウム価格の現実的な確立が同時併行的に達成されることが望ましく、プルトニウム価値の現実化に最も近い位置をしめる軽水炉への利用の技術開発を、プルトニウムの余剰発生のおしまいで完了させようということは極めて望ましいことである。

しかし、余剰発生のお時期と目される昭和50年代のはじめまでには、いわゆるウラン燃料の技術進歩も相当進み、成形加工部門のコストダウン、実証技術の積み上げに基く信頼度向上などが、大巾に前進するものと考えられるので、これに対抗できる力と魅力を有するプルトニウム燃料の開発を成就させることは容易なことではないと思われる。特に我が国の場合、炉心設計技術のおくれを取り戻すことと、いわゆる加工技術の開発のソフト、ハードの両方を並行的に進めてゆかなければならないとすると、その能率的な進め方には格段のくふうが必要である。

BWRはPWRに比し、初期濃縮度が低く、燃焼度も低いので、使用済燃料中のプルトニウム含有率も低く、一般には残存ウラン率も小さい。したがつて、トン当たり定額といつた再処理コストで考えれば、PWRの使用済燃料よりも、いわゆる限界処理費は低くでてくる筈であり、プルトニウム供給源としては一步を譲ると考えられるが、残存ウランの濃縮率のひらきは狭ばまりつゝある傾向にあり、高次プルトニウムの存在率、再処理速度その他の因子を考えれば、供給源としての優劣に決定的な差はなくなつてゆくのではないかと思われる。

PWRへのPuリサイクルの現状と問題点

関西電力株式会社

原子力部調査課長 藤井 哲博

1 米国におけるPWRへのPuリサイクル計画

(1) ESADAの計画

Pu又はPu, U混合炉心の核特性を確認するための一つの大きな問題は、適当な計算方法および核データの選定である。計算法や核データのもつとも有効な試験方法は、臨界実験結果との照合である。

かゝる意味で米国ではWH社とESADAの協力のもとに、格子ピッチ、Puの同位元素構成比、Pu棒とU棒の各種組合せなどの効果を調べるため、Puの富化率を2%として、Pu-240の組成を7.65% (Pu生産炉から得られるPu)と23.5% (reactor gradeのPu)に変えて臨界実験を行い、Puリサイクルのための基礎データを得た。

(2) Saxtonの計画

一方PWR技術改良のために使われたSaxton炉を利用し、PuO₂-UO₂燃料の部分炉心の実証と大型PWR用のPu燃料の選択と設計のための基礎データの蒐集を兼ねて、デモンストレーション運転を実施中である。

この計画では、全炉心21アセンブリーの中9アセンブリーのPuO₂-UO₂燃料を部分炉心を構成するように炉の中央部に装荷している。中央アセンブリーには3×3(9本)の着脱可能なサブアセンブリーが設けられており、その中の4本の燃料棒は、炉心寿命に到るまで適当な照射時間間隔をもつて取出しが可能なようになっている。この9本の中、7本はペレット式(燃料密度9.4±2%)のものであり、2本は振動充填式(燃料密度8.7±1%)のものである。

両者共天然ウランUO₂を6.6%のPuO₂で富化してある。始めのPuの同位元素構成比はPu²³⁹/Pu²⁴⁰/Pu²⁴¹/Pu²⁴² = 90.5% : 8.6% : 0.9% : 0.1%であつた。被覆材は、大部分のものはZircaloy-4であるが、比較のために少数のものにはType-304の不銹鋼が使つてある。

この部分炉心は、約2年半の照射を予定して、1965年10月に装荷され、1966年1月から全出力運転を開始した。

(a) 才1回取出し(1966年4月)の結果

この時における燃焼度は、Pu領域平均で4500MWD/MTM、Puアセンブリーのピークで6100MWD/MTMであつた。ペレット式燃料2本振動充填式燃料2本が取出され、非破壊検

査を行ったが、外見上全く異常なかつたと伝えられる。

(b) 才2回取出し(1967年1月)の結果

この時の燃焼度は、炉心全体の平均で7,390 MWD/MTM、Pu領域平均で12,210 MWD/MTM、Puペレットのピークで21,550 MWD/MTMであり、9本の燃料棒を取出し、外観検査を行い異常のないことを確めた上で、4本が炉内に戻された。

(c) 最終回取出し(1968年1月)の予想

この時の予想燃焼度は、炉心全体の平均で11,000 MWD/MTM、Pu領域の平均で16,600 MWD/MTM、ピークPuアセンブリーの平均で23,000 MWD/MTM、Puペレットのピークで31,800 MWD/MTMとなっている。この時には15本の燃料棒が取出され、破壊、非破壊検査が行われることになっている。

炉心寿命の始めおよび途中において、炉特性の変化を知るための種々の測定が行われたが、今までの実験の示すところによると、炉特性は大體予想通りであつて、部分炉心としての挙動はPuC₂-UO₂炉心とUO₂のみの炉心とで、そう目立つた相違は認められず、また運転上特別の問題も発生しなかつたと伝えられる。

(3) EEI-WHの計画

更に、EEIとWH社は共同して、1966年6月以来、Saxton計画より厳しい条件をもつたPWR(1970~1980年代運転の大型PWR)にPuをリサイクルする場合の、技術的経済的可能性を追求しつつある。この計画は、最終的には、ヤンキー炉をPuO₂-UO₂燃料(一領域部分炉心、Pu約400kg)で運転することを目指している。また、最近の情報では、Hadam neck炉がSan Onofre炉を、最初はPuO₂-UO₂数アセンブリで、2回目には一領域部分炉心で運転する予定とも伝えられる。時期は1970~71年となる模様である。米国におけるこれら一連のPWRへのPuリサイクル計画は、1973年に予定される特殊核物質完全民有の時期までにPuリサイクルの目途を得ることを目指していることは明らかである。

2 ヨーロッパにおけるPWRへのPuリサイクル計画

Puリサイクルの問題は、ユーラトム設立以来、EECの軽水炉開発計画でも重要課題の一つであり、ユーラトムは、USAECと共同して、Puリサイクルの開発作業を行つているが、特にPWRとBWRでのリサイクルに重点をおいている。そのため、Puに関する炉物理、燃料サイクルの評価、燃料技術開発を平行的に実施中であるが、特にPWRに関してはSENAの計画がある。

この計画は、PWRで広く用いられている三領域炉心でPuをリサイクルする上での、技術的・経済的特質を把握しようとするものである。

現在の燃料設計では、一般にPWRでは、使用済燃料に U^{235} がかなり残っている。この減損UをPuで富化して使用しようとするものである。この際の PuO_2 -dep. UO_2 の組成比はVINUSでの臨界実験で決められることになっているが、この臨界実験は、今年春には終了するものと予想されている。

3 わが国の現状と問題点

ひるがえって、わが国のPuリサイクルの開発態勢を見るに、BWRの方は、動燃事業団、原研、原電の協力のもとに、原研のTCAを利用する PuO_2 - UO_2 燃料の物理測定に始まり、JPDRでのテストアセンブリーの試験照射（将来部分炉心または全炉心でのデモンストレーション運転に発展するかも知れない）、敦賀炉へのテストアセンブリーの挿入へと進む一連の開発路線がひかれている。

しかるに、PWRの方には、現在のところ、BWRの場合程はつきりした開発路線がない。それは、BWRにおけるJPDRのような適当な試験ないしデモンストレーション用の設備のないことが一つの大きな原因となっている。この面では海外協力を依存せざるを得ないことは明白であるから、早く適当な試験照射、試験運転の施設を選定し、それで行われる計画に参加の途を拓くことが必要なのではなからうか。

いきなり実用炉による試験照射、試験運転を考える向もあるかも知れないが、実用炉には電力の安定供給の責任が課せられているから、ある程度実証された燃料でなければ、挿入は困難であろう。しかし電力会社としてのこの開発への寄与は、殆んど炉の利用を許すという一点に限られるのであるから、実情の許す限り出来るだけの便宜を供与すべきであろう。このためには、挿入混合燃料の設計は、原子炉の現有性能を減殺せず、炉内炉外を含めて設備の大きな変更を伴わず、併存ウラン燃料と大きな不整合を起さぬようなものでなければならぬ。

いずれにしても、PWRの場合には、動燃事業団、原研、燃料メーカー、電気事業者の話し合いによつて、海外協力をも含めた、PWR用混合燃料に関する

- 1) 臨界実験装置での一般基礎データ、計算方法等の確認実験
- 2) 臨界実験装置での特定燃料の設計、基礎をうるための実験
- 3) 燃料工場での設計、加工
- 4) 試験炉でのデモンストレーション運転
- 5) 実用炉へのアセンブリー挿入

6) 実用炉への部分炉心装荷

7) 実用炉への全炉心装荷

というような一連の総合スケジュールを1975年頃に目鼻のつくことを目途として、早急にたてることが先決問題であると考えられる。

またPuを熱中性子炉へリサイクルすべきか、高速増殖炉のために備蓄すべきかの問題については、軽水炉に共通する一般論の他に、特にPWRの場合には、BWRに比し減損ウランの U^{235} 濃縮度が高く、Pu生成量もやゝ多いので、減損ウランのリサイクルのためだけでも使用済燃料を再処理せざるを得ず、BWRのように未処理のまま備蓄するというようなことは考えられない。従つて、PWRでの備蓄に伴う金利負担は、再処理費分だけ余分にかゝることになるので、BWRに比しより強いリサイクルへの誘因があるといえよう。

Pu燃料の軽水炉利用

日本原子力発電株式会社

技術部核燃料課長 今井隆吉

1. 軽水型発電所の運転を行う立場からPu利用を考えると、第1に問題になるのは発電所としての経済性である。問題になり方は当然2種類ある。第1にはウラン燃料サイクルにおいてプルトニウムにどれだけの価値があるかであり、第2にはPu燃料を使用することで燃料サイクル費にどれだけの違いが出てくるかという点である。

Puの価値については以前からFissile 1grについて43ドル(研究用PuとしてのAEC価格)、30ドル(1963年以前AECが実施していた買上価格)、9.28ドル(1970年までのAEC買上価格、軽水炉に使用した場合にウランと燃料で等価に置いた場合)などがある。これらはいずれも生産費や理論値を代表するが、需要と供給によつて決められた市場価格ではない。軽水炉発電所の経済性はプルトニウム価格が最終的にどこに落ち着くかに左右されるところが大きい。むしろPuの価値いかんによつては原子炉の設計自体が左右され、出来るだけ多くPuを生産する炉が有利になることもあれば、逆のこともある。天然ウラン金属炉と軽水炉の関係はこの一つの例であることは良く知られている。

〔典型的ウラン燃料サイクルにおけるコストコンポーネント〕 (ニュークレオニクス誌1967年3月号による)
100万KW, 平衡サイクル, 80%負荷率

	ミル/KWH	%
ウラン燃焼費	0.800	53
イエローケーキ購入費	0.356	24
転換費	0.044	3
濃縮費	0.400	26
加工費	0.380	25
インベントリー(11%)	0.350	23
使用済燃料輸送費	0.035	2
再処理費	0.150	10
プルトニウム	-0.215	-13
計	1.500	100

Pu を軽水炉の中で燃料として再循環するとして、自分のPuをいつまでも使っている場合すなわち一つの原子炉の燃料サイクルに外からPuを加えたり、Puを外に取去つたりしない場合には単に次の2つのことが問題になる。

- (1) Puの成形加工費がウランに比べてどのくらい高いか。この場合、燃料の燃焼度の限界が、その機械設計と材料設計によつて限定される度合が小さければ、成型加工費の増大に対しては燃焼度の増加によつて新たな経済的最適燃焼度を求めることができる。従つてこれは炉心設計の変更をもたらすことになる。
- (2) 再循環を続けると、Puのアイソトープ組成が変化するので、それらを全部使おうとすると、最適化するためには炉心の設計条件が大幅に変つて来る。上記(1)と併せ考えると、これは炉心取替毎に燃料設計が変わることになり甚だ厄介であるし、Pu-242が増加すると問題が多い。

成型加工の問題点と、核熱設計の問題点はそれぞれ別のペーパーで扱われているのでここでは立入らないが、いずれにしても同一の原子炉のサイクルの中でいつまでもPuを循環させるというのは理論上の仮定としては成立ち得ても、現実性はあまりない。いずれにしても或時期には高速増殖炉が成立つて、Puはその燃料として使うのが一番有利になると考えて良いからである。従つてPuを燃料として使うことの経済性は、一つの軽水炉発電所だけに着目して考えるのは無理であつて、結局少なくとも一つの国の原子力発電の系全体の中で考える必要がある。Pu燃料の成形加工と核熱設計の経済的影響はこの問題の考慮を不可能にする程の規模ではないことがわかつている。

2. 原子力発電の系全体の中で考えるに当つての一つのアプローチは数学的なモデルを作ることである。建設される軽水型発電所の数とその性能のパラメーター、他の形式の転換炉、高速増殖炉などについて、同様なことを時間の関数として設定し、それに成形加工費やPu使用の方法を導入して計算すれば、Puに価値を特に付与しなくともPuをどのように使用すれば（或いは使用せずに貯蔵しておけば）経済的に最適であるかを導き出すことは可能である。またPuの価値自体もウラン価格を仮定すれば、その代替価値から算出することができるであろう。

このような試みは現に方々でおこなわれており、Pu政策の方向を決めるために有用な貢献をしている例がある。ただこの場合重要なのは各炉型式についての性能の進歩を時間の関数として自分で決められなくてはならない点である。単にBWR一つを例にとつても、最近のPu断面積その他の変更、ドレスデン発電所の燃焼の検証だけで以下の如き変化があり、この技術はわが国が直接コントロールしているものではない。ましてやATR、FBRについて自分で

開発を行っていないわが国にとっては、他人のデータを借用することしか出来ず、従つてこの種の計算をおこなうだけの資格がないことになる。ただアメリカとイギリスがPu政策につい

敦賀のパラメーターの変化(濃縮度変更による)	
初期濃縮度	2.17 % → 2.00 %
取出濃縮度	0.943% → 0.820%
取出Pu濃度	0.452% → 0.441%

て、一方は熱中性子利用を真剣に考え、他方は高速炉燃料としての使用を主に考えていることからして、仮定のたて方次第で可成り結果が異なるだろうという推測が可能なのである。もち論両国の違いには原子力産業の体制による差違もかなり影響しているものと思われる。丁度わが国では輸入核燃料の有効利用や濃縮ウラン依存に対する考慮がPu再循環の有効な理由になり得ると同様である。

3. このように系全体としてPuの利用方法を最適化しようとしても、わが国には自国の事情を考え合せて、計算するだけのデータも不足だし、モデル自体についてもどのような形式の原子力発電所をいつ、何基建設するかを一義的に決めるような産業形態にもなっていない。従つてPuをどう使用するのが経済的に最適かを今から予め決定するだけの手段を有していないことになる。

また熱中性子炉におけるPu利用を、閉じた系の問題と考える必要も必しも無い。Puを高速炉に使えるようになつたら、直ちにそちらに振向けて、軽水炉はもとのようにウラン運転をすれば良いであろうし、実際問題としてPuを何代にもわたつて軽水炉で使おうと思うと、核熱設計上の問題が大きくなり過ぎて大変であろう。現在考慮の対象とすべきは、軽水型の発電所が相当数建設されることを前提として、一方それらの炉や東海マグノツクス炉からのPuが相当の量産出されることを頭に置いて、この問題について何をしておいたら一番有益かという判断である。

この場合の結論は比較的簡単のように思われる。すなわち何が一番経済的に有利かという判断を先に延ばすことである。そうして延ばしている間に、技術開発を進めることであろう。本日の目的から言うと、以下の3点を指摘すれば足りる。

- (1) 技術開発の内容としては、成形加工の実績を作りこれを照射後試験と結びつけることによつて検証しつつ、或程度の規模で産業としての生産をおこなう際の問題点を煮つめておくこと。核熱設計をおこない、Pu燃料を軽水炉中でウラン燃料の代替として使う場合の最適使用条件を確立できる程度にまで計算手続の精度を実証しておくこと、の2大項目がある。Pu燃料といつても天然ウランの軽濃縮に使う程度であり、ウラン燃料サイクルで

も実際の出力率程度は P u の貢献によつていのであるから現在の技術の延長として出来ることは多いであろう。

(2) 以上の 2 項目はウラン燃料についてもわが国では実現されていない事柄であり、その実施の過程においては導入された技術と併せて軽水炉全体の技術水準の向上にも資するところが大きい。また濃縮度は異つても、P u を扱う技術を習得することは高速炉計画への貢献にもなるであろう。

(3) 以上の程度の技術開発で、7～8年の年月を要するものであるとしたら、重要な技術開発の一環として国が主導権を持ち、メーカーが関心を集めて早急に実施に移されるべきものであろう。その成果は発電所の運転者にとつても直接、間接の利益をもたらすものと考えられる。最後にわが国全体として P u の使い方の最適条件を決められる立場になつた時、もしその技術の確立についての仕事が全然なされていなかつたとしたら困つた結果になるかも知れない。

4. 最後に、この技術開発は自力で進めるべきか、外国での成功を待つて技術導入すべきかの判断の問題がある。技術開発のあらゆる分野にわたつて、わが国にとつてはこれは重要な判断であることは疑もない。しかし問題を自主開発対技術導入という、相反する二元問題として捉える必要は必しもない。これは他の分野についても同じであつて、技術導入するに当つてもその消化に役立つだけのグラウンドは必要であるし、自主開発というのは鎖国と同義語では無いであらう。

軽水炉での P u 利用は a) 新しい施設を作らずとも着手できる b) 従つて比較的安価な project である c) 軽水炉技術全体の向上に資するところが多い d) P u 技術着手の第一歩である e) 大型実用炉への適用も可能である f) もし将来性がないとわかつたら比較的容易に打切ることができる g) 外国との協力も容易であり、既に道もついている。等の理由により、やはり、わが国としての考えに基いて技術開発にとりかかるべきテーマの一つであると考えられる。

プルトニウムの熱中性子炉利用における研究開発上の問題点

動力炉・核燃料開発事業団

プルトニウム燃料部長 中村 康治

1 熱中性子炉用プルトニウム燃料加工はむづかしいか？

- 工程としてはFig.1のUO₂燃料と、Fig.2の共沈法ペレットと殆んど同じである。

— Decontaminateの工程までがグローブボックス作業Puの水溶液取扱いにおける臨
界量制限

UO₂ではU-235濃度一定だが、混合酸化物では液-液混合後のNH₄OH沈殿で所定
濃度の粉末を得るためのプロセスコントロール

- 共沈ペレット法に対し、機械混合法(Fig.3)の利点と不利点

— ボックス作業対象量の低下

混合均一性の作りやすさと作りにくさ

焼結ペレット内のPu均一性(固溶体化) Fig.4

- VIPAC法の利点と欠点

— 被覆管寸法、ペレット寸法公差と工程の問題

燃料棒充填率の差と熱的、核的特性

- VIPAC用充填率の調製

— ペレット破砕(Fig.5) Sinter & Crush

グリーンペレット破砕 Crush & Sinter (Fig.6)

NUPAC法 (Fig.7)

FUSION法

SOL-GEL法 (Fig.8)

- 小バッチ処理のQC

— 臨界量制限による小バッチ

測定、分析の厄介さ

- スクラップ回収問題

— 計量、コスト、安全の管理

2. 熱中性子炉用プルトニウム燃料加工は高コストなのか？

○ 燃料要素製造コストの内訳 (鎌田講演)

全コスト中に非核材料、同取扱費、密封燃料棒の取扱費は UO_2 で 78.3%(Dresden型) である。ロス、使用料、 UF_6 引出費計で 10.9% である。 UO_2 と UO_2-PuO_2 のコスト差を招く部分は 19.8% にすぎない。

○ 施設費が多い

大量処理で 115% と算定される。

部分部分で臨界量制限のため設備の大きさに制限がつく。

ボックス作業の低能率のために Throughput Rate が低くなる。

大量処理では機械化が可能だが、少、中量では相対的に高がつく。

○ 労務費が多い。

ボックス作業の低能率

外部被曝線量率に対する考慮から超過勤務の制限、高次化 Pu の場合作業時間制限。

○ 安全管理設備と経費が多い。

取扱量の少ないほど相対的にかかる。(Fig. 9)

厳重な計量管理制度 (Fig. 10)

廃液処理のコスト、廃棄物処理 (Fig. 11)

多量処理と半自動化

排換気コスト、グローブ、フィルターのコスト (Fig. 12)

○ 工程選択と Pu 取扱コスト

鎌田論文第 1-(2)表

コストと均一性の妥協

SOL-GEL 法の有利性

○ 燃料 SPECIFICATION の設定

開発初期におけるきびしい仕様 (Fig. 13)

材料照射試験の要求(鎌田論文 Fig. 4)

3. 熱中性子炉用プルトニウム燃料加工は困難なのか？

○ 臨界量制限

プルトニウムのみ取扱、とくに湿式工程における管理；絶対安全質量と絶対安全幾何学的配置

低富化率混合酸化物状態における臨界性

再処理工程と組合わせた Feed 調製の可能性～CP法のMB法比較の再検討

回収(Cold reprocessing)の集中処理

○ アルファ遮蔽

Containmentの維持、破損の対策

プルトニウムを閉じこめるか、作業者をかこう形式を考えるか

内部被曝可能性の排除

○ ガンマ遮蔽

いわゆる原子炉級プルトニウムの比放射能と、リサイクルプルトニウムの問題 (Fig. 14)

Self-shielding またはウランによる吸収、つまり質量と形状の問題 (Fig. 15)

グローブボックスの局部遮蔽と半遠隔加工の必要性、およびそれと関連する加工法

○ 中性子遮蔽

自発核分裂による中性子放射 (鎌田論文第2表)

多量取扱いの場合の中性子遮蔽

○ 最大許容濃度

MPCの由来と累積蓄積の防止

施設内空気の処理(A.A α disintegration/ $m^3 \cdot sec$)

施設排水の処理(50dpm/cc)

4. 熱中性子炉用プルトニウム燃料の設計がむづかしいのか

○ 高い断面積と著しい共鳴吸収 (Fig. 16)

同位元素構成比の変化と核的反応性の変化

中性子スペクトルへの依存性の大きいこと

温度、減速材状態(ボイド率)の変化が系の反応度に与える変化

温度変化における共鳴反応のドブラー効果

○ UO_2-H_2O 格子に対する $UO_2-PuO_2-H_2O$ 格子

減速材比の大きいことの望ましさ (Fig. 17, 18)

燃料棒直径を下げるか、燃料密度を下げるか、

前者の場合水力学的 Mismatching をどう防ぐか、

後者の場合炉内焼結や反応度異常のため燃料温度の異常上昇時の Fuel Relocation

にどう対処するか。

○ 燃料体内の中性子束分布降下 (Perturbation)

実験的測定 (TQA 実験)

各中性子エネルギーごとの分布率の変化

中性子束分布の燃料密度、温度と焼結による変化に起因する変化～有効反応度の過渡的変化 (Fig. 19)

核的に低密度で冷金的に高密度な燃料の期待

Hot Skin FuelやHot Core Fuelの概念 (Fig. 20)

○ アセンブリー設計

コーナーピーキング防止のための富化率調整 (Fig. 21, 22)

Heterogeneous Enriching, Spike Enrichingの核的効果とグローブボックス作業量減少によるアセンブリーコストの減少と相対的 Plutonium Valueの変化 Zoned

Core の概念

軽水炉系より重水炉系の減速距離の大きいことによるHeterogeneous Enriching適用の可能性と相対的 Plutonium Value の増大の可能性

軸方向ピーキング防止のための富化率調整

5. 照射確性試験

○ 材料照射

実証型に近い燃料型式の海外データ利用

類似型に対して海外データへの比較内挿法

新型燃料に対する照射試験

○ 炉物理的照射

燃料棒有効反応度の過渡期および燃焼進行に伴う変化の追跡～計装燃料と照射後試料の炉物理的取扱

炉内計装燃料集合体照射により、減速材温度、ボイド変化に伴う出力変化の測定

○ 炉工学的照射

試験炉におけるウラン炉心燃料交換方式に応じたテストアセンブリー照射における Matchingの研究；臨界実験装置による実験と対比、計算評価法の確立

試験炉における部分炉心構成により、Pu 炉心スペクトルにおける燃料集合体の核熱的挙動の解析

6. 再処理と抽出したプルトニウム

○ 再処理法に有意な差はないであろう

核組成についての計算

再処理工場における Turnaround の必要性

燃料サイクルを考慮した再処理の工程—— U と Pu 分離工程を省き、液体 Makeup を考えることの有利性の判断

○ 高次化プルトニウムの問題

核的価値の検討

放射能問題と再々加工コストのペナルティ

総合的な Plutonium Value

○ 新再処理法と遠隔加工の問題

必要性があるか？ RFPP の成行

7. 結 論

(1) 基本的技術は炉燃料としての使用、燃料加工ともに樹立されている。

(2) 経済的実用のための燃料設計に多くの課題がある。

標準ペレット型燃料としても、設計変動がありうる。

燃焼進行中のウラン炉心燃料との Matching 解析

(3) 加工コスト低下のための燃料加工法の開発とそれに応じた燃料設計が問題である。

(4) プルトニウム燃料加工の問題は狭義の技術問題ではない。

安全管理と計量管理、コスト管理のシステムの確立の問題である。

(5) 安全管理は施設、設備によるばかりでなく、勤務体制、日常安全管理体制の確立、作業者の教育訓練というシステムを確立することが肝要である。

(6) 加工コストの点でプルトニウム取扱部分の関与するのは 20% 以下である。しかしこの部分のコスト増分は処理量の多寡に著しく支配される。

大量生産システムになればかなりコスト増分は小さくなる。

中間期における高コストと圧迫の緩和

実用化時代に集中的大容量施設の望ましさ

(7) 再処理で再抽出される高次化プルトニウムの経済的価値の推定、実証が、プルトニウム系の燃料サイクルコストの確定に必要である。

(8) 照射試験は材料試験に関するよりも、炉物理的および炉工学的照射の必要性が高い。

(9) したがって総合的な立場での開発研究が絶対的に必要である。

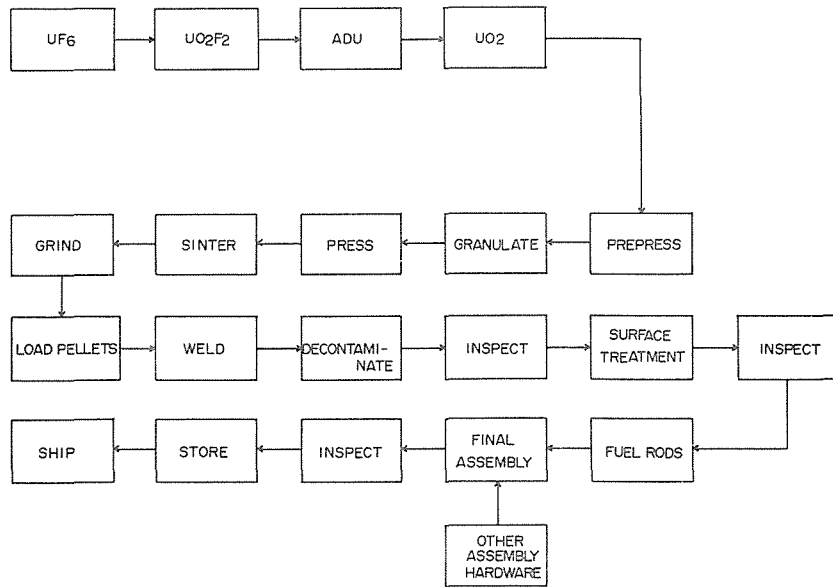


FIGURE 1 REFERENCE UO_2 PELLET FUEL

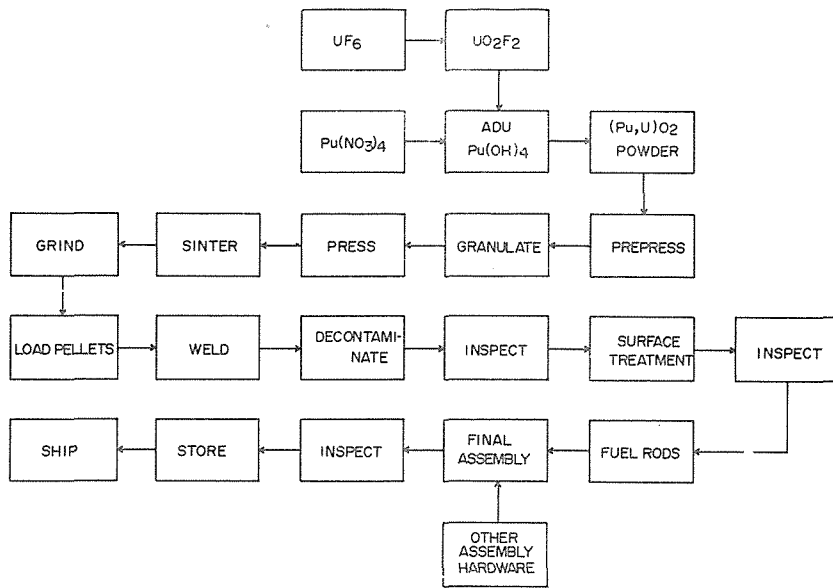


FIGURE 2 COPRECIPITATION PuO_2-UO_2 PELLET FUEL

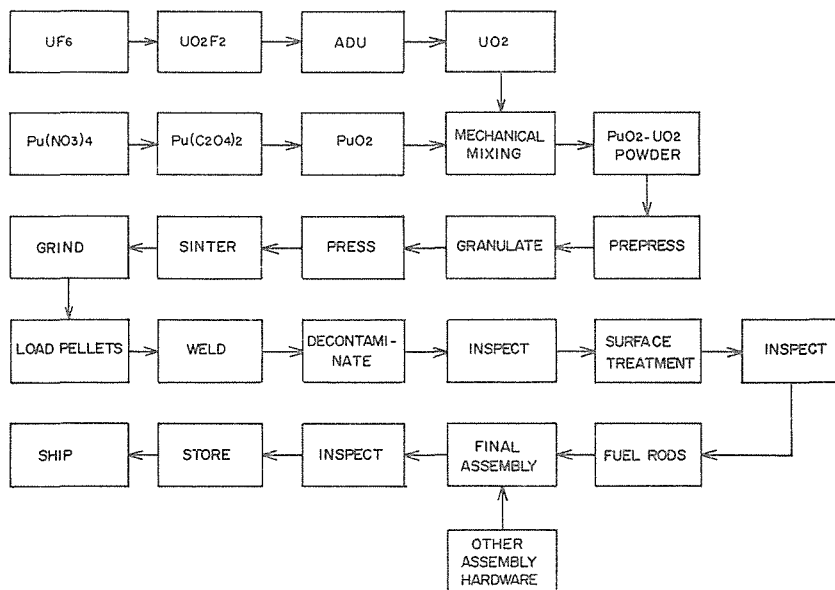


FIGURE 3 MECHANICAL MIXING PuO_2-UO_2 PELLET FUEL

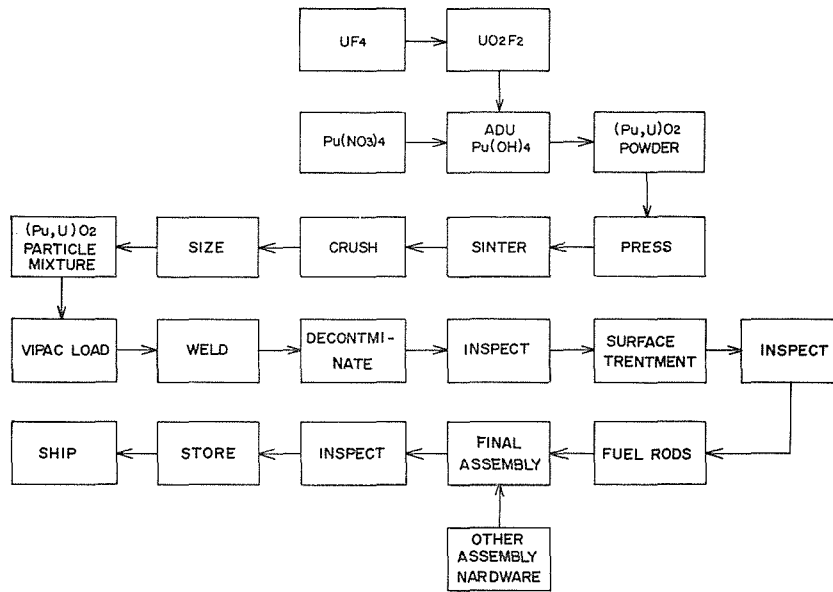


FIGURE 4 COPRECIPITATION PuO₂ - UO₂ VIPAC FUEL

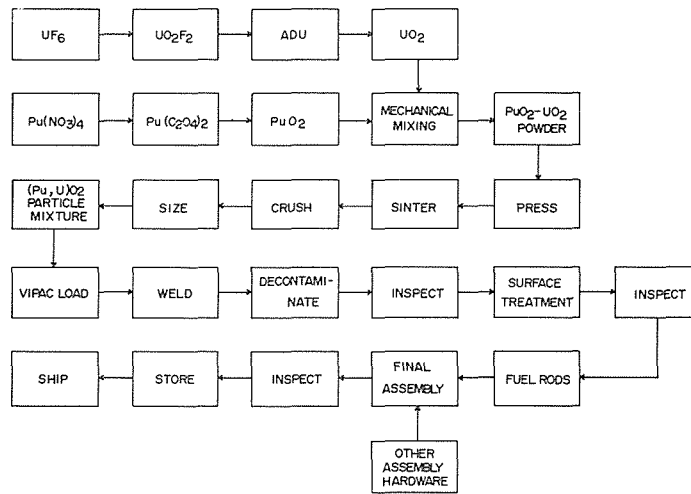


FIGURE 5 MECHANICAL MIXING PuO₂-UO₂ VIPAC FUEL
FEED PREPARATION FOR VIPAC

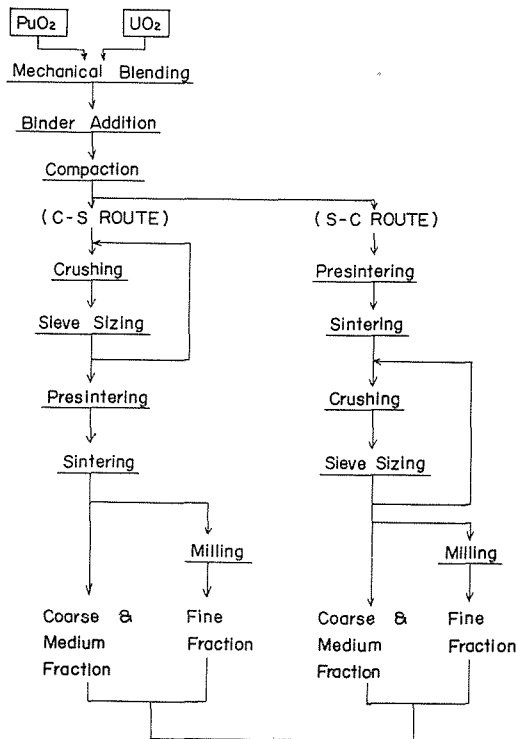
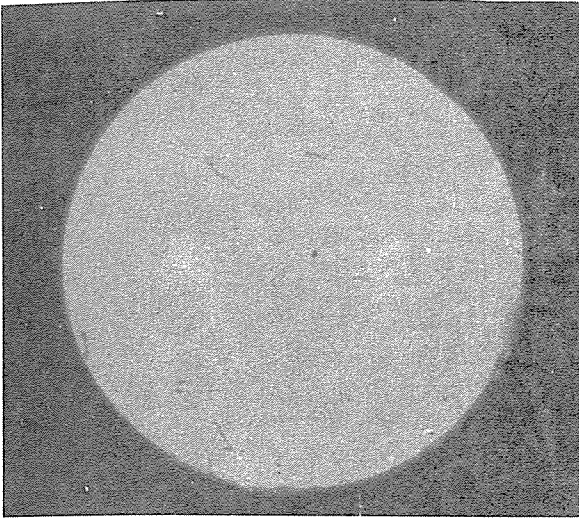
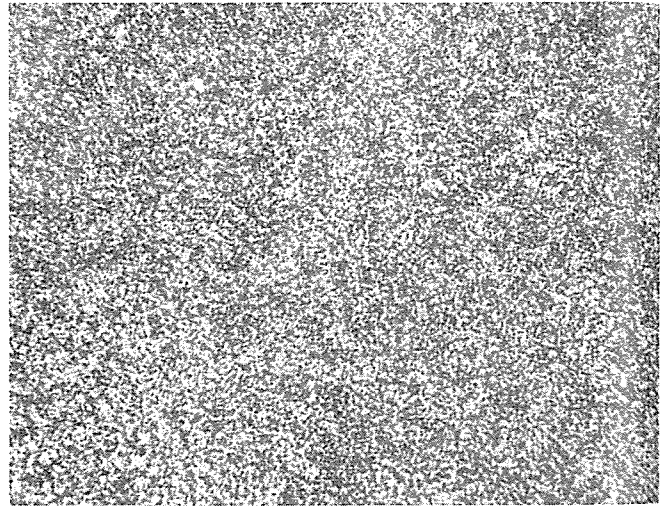
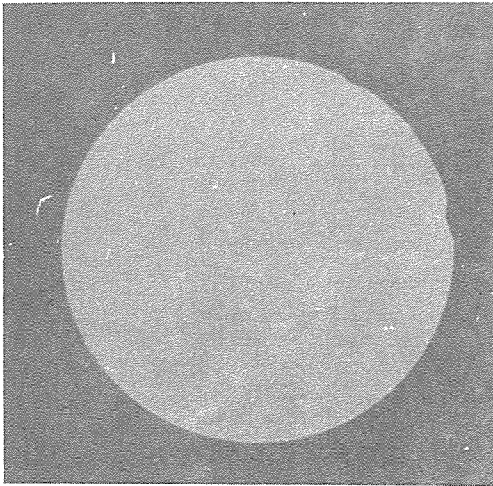


Fig. 6

Coprecipitation $\times 10$



2.5% $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ (M . B .) $\times 5$



2.5% $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ (M . B .) $\times 5$

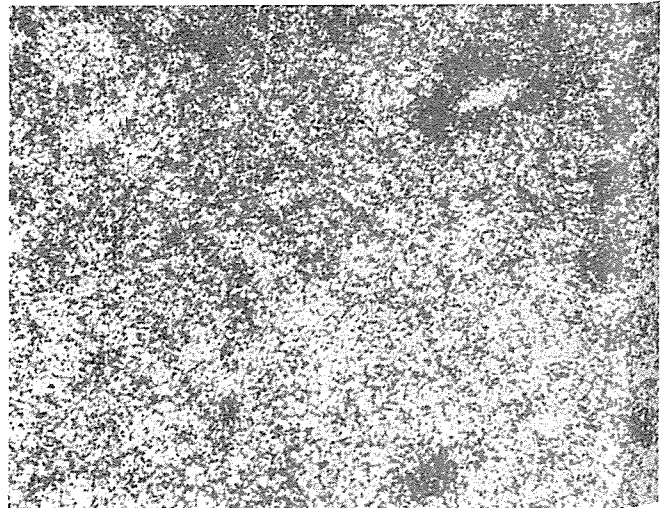
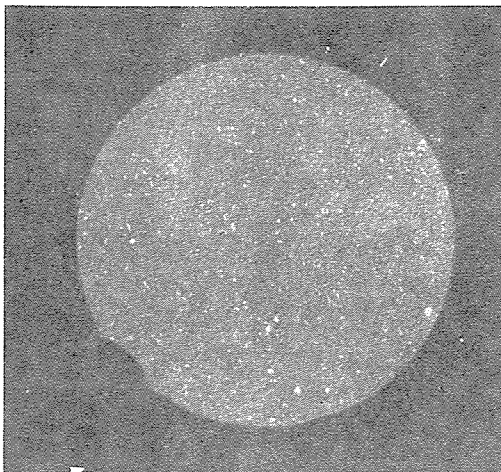
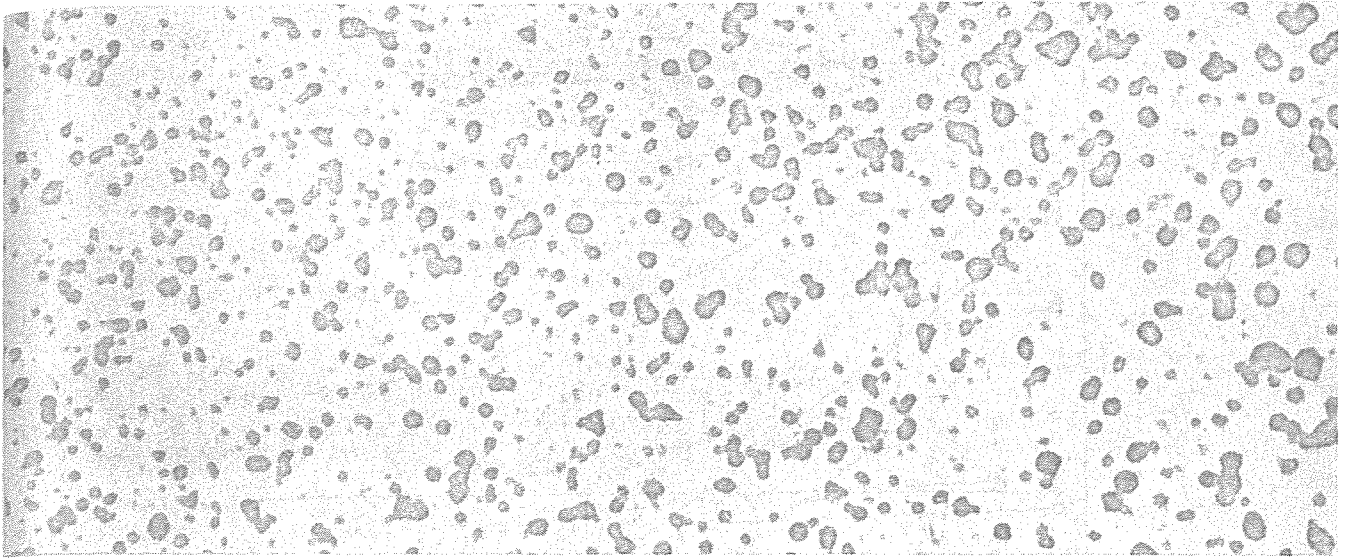


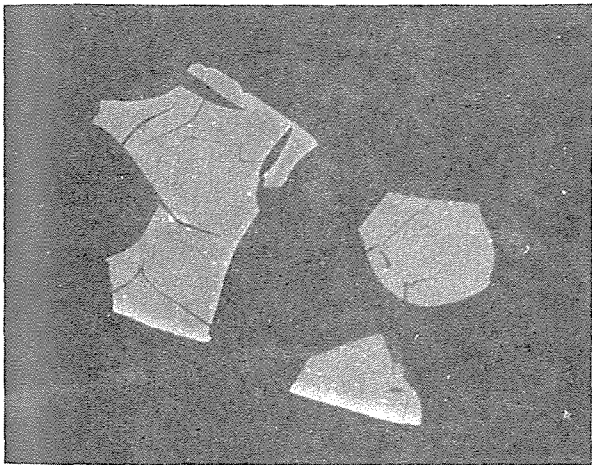
Fig . 7 CP vs MB

50 μ

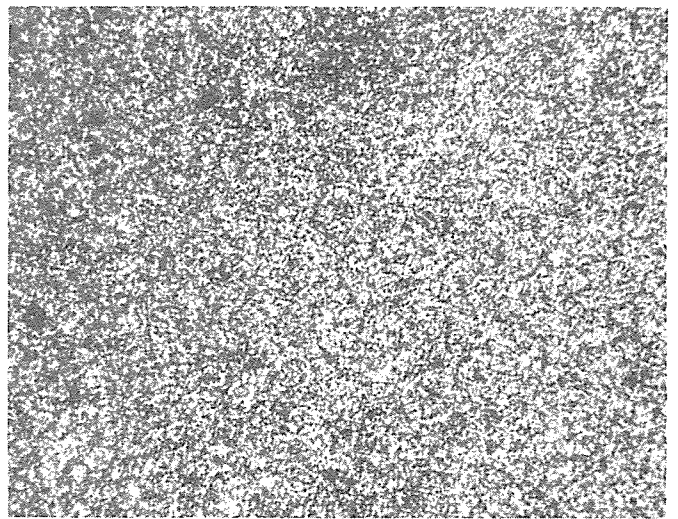
HW 20%PuO₂-UO₂ NUPAC 65mesh ×30



Sol-Gel 20%PuO₂-UO₂ (G-G) × 5



× 80



Sol-Gel 20%PuO₂-UO₂ (G-P) × 5

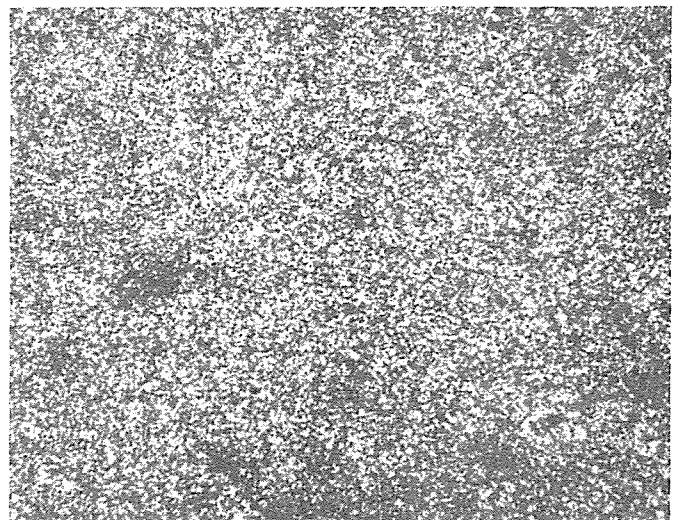
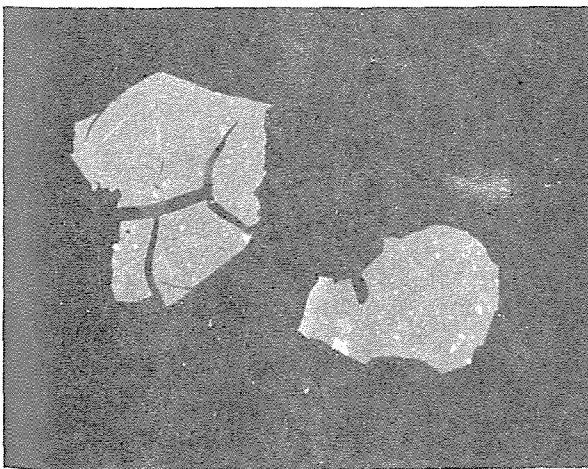


Fig . 8 Auto Radiograph of NUPAC SOL-GEL Particle

50μ

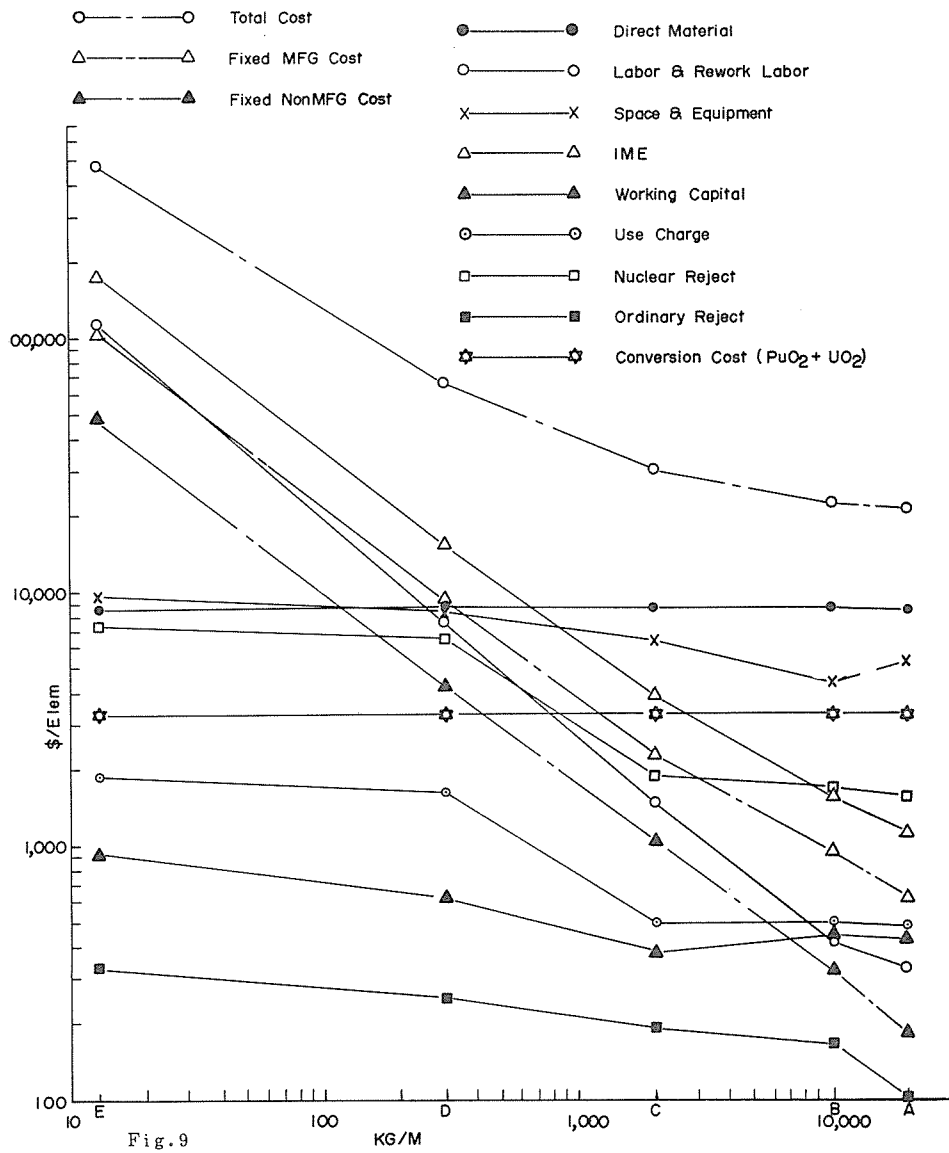
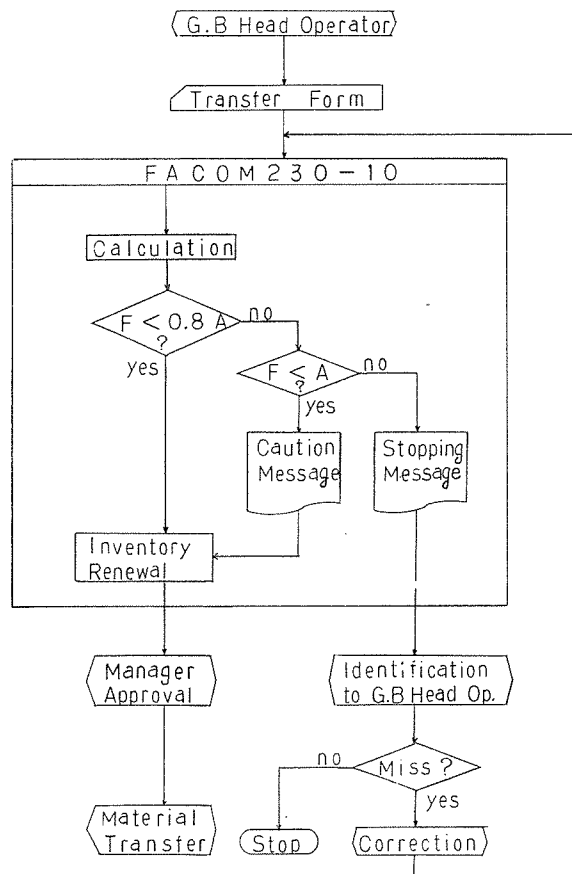


Fig. 10 Inventory and Criticality Control



F : Fissile
A : Allowable Inventory

WASTE SOLUTION TREATMENT IN THE Pu FUELS LAB.

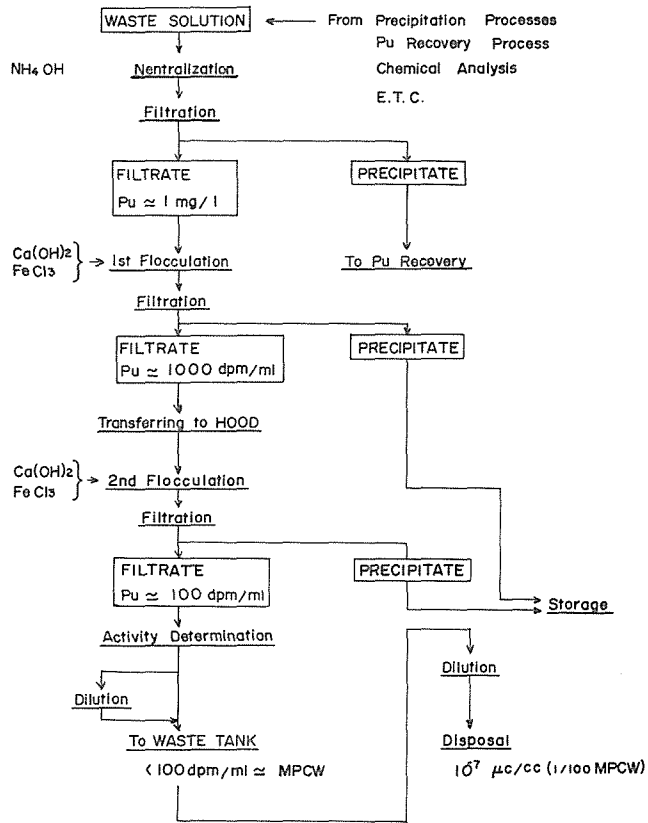


Fig.11

Fig.12 OPERATION COST FOR SAFETY CONTROL

(April 1, 1967-Jan. 31, 1968)

		(¥)
Power cost for		
Ventilation Operating		5,418,000
inlet	432,000kw	2,160,000
outlet	651,600kw	3,258,000
Absolute filter		8,741,000
size F	110 pcs.	
size O	100 pcs.	
size B	50 pcs.	
Neoprene Glove	240 pcs.	1,879,000
Miscellaneous		12,692,527
Total		28,730,527

Fig. 13 PLUTONIUM FUEL SPECIFICATION

(1) SAXTON

PuO ₂ -UO ₂	PELLETS (VIPAC Powder)	
Al	300.0 ppm (500.0)	Pb 20.0 ppm (20.0)
B	1.5 ppm (1.5)	Si 500.0 ppm (500.0)
Bi	2.0 ppm (2.0)	Sn 5.0 ppm (5.0)
Ca	100.0 ppm (100.0)	Ti 40.0 ppm
Cd	1.0 ppm (1.0)	V 1.0 ppm (1.0)
Co	6.0 ppm (6.0)	W 50.0 ppm
Cr	500.0 ppm (500.0)	Zn 20.0 ppm (20.0)
Cu	50.0 ppm (50.0)	C 100.0 ppm (150.0)
Fe	500.0 ppm (1000.0)	F 10.0 ppm (10.0)
In	3.0 ppm (3.0)	N 75.0 ppm (100.0)
Mg	50.0 ppm (50.0)	Cl 10.0 ppm (20.0)
Mn	10.0 ppm (10.0)	Total RE 0.6 ppm
Mo	150.0 ppm (150.0)	
Ni	300.0 ppm (300.0)	H ₂ 15 ppm (20)
	Total Moisture	30 ppm (100)

O/M; 1.97~2.02 (UO₂ 2.0±0.02, PuO₂ 2.0±0.10)

Pu/U; 0.071±0.001 (0.071±0.002)

Total Gas Release ; <0.05cc/gr PuO₂-UO₂ (0.06cc/gr)

Density ; 94±2% T.D. (98.7% T.D.)

Dimension; .3384~.3364" Diameter

.396 ~.336" Height

Chipped area ; not more than 10 % area

Inspection ; Visual 100%

Diameter and density 125 / 6000

Dish and squareness 1 / 8

Chemical sample 3 pellets / 30kg

FUEL ROD INSPECTION (PELLET TYPE)

Plutonium loading ; ±1.5% of spec. weight

Weld ; 10 dummy samples

no x-ray radiograph

weld diameter check

dye penetration check

He leak

Contamination ; wipe test ≤ 10c/min.

weld ≤ 50c/min.

Corrosion test; 1000pst. 400±5c. 18hrs.

1~2mils.

(VIPAC TYPE)

Average density ; 87.0±1.0% T.D.

Pu loading ; ±2.0%

Weld, Contamination, Corrosion same as pellet fuel

Fig. 13-(2) SPECIFICATIONS AND RESULTS ON UO₂-PuO₂ FUEL PELLETS FOR HALDEN IFA 159 (PNC)

PuO₂-UO₂ PELLETS

Chemical impurities

	SPEC.	RESULTS	GROSS AV.
B	1.5	0.2 ~ 0.9 (10 lot)	0.43
Ca	100	1 ~ 6	3.9
Cd	1.0	0.2 ~ 0.3	0.22
Cr	500	5 ~ 40	17
Fe	500	50 ~ 300	126
Mg	50	1 ~ 5	2.6
Ni	300	4 ~ 20	11
Cu	50	0.5 ~ 1	0.6
C	100	20 ~ 80	49
N	75	25 ~ 60	42.5
Cl	10	2 ~ 10, 23, 70 (17 lot)	11.3
F	10	3 ~ 9, 11, 14 (10 lot)	5.5

Total impurities
3000

<300

Total gas 0.2 cc/g 0.02 ~ 0.2^{0.35} (10 lot)

0.095

O/M 2.00 ^{+0.01}/_{-0.02} 1.991 ~ 2.010 (10 lot)

2.000

Enrichment 2.5 ± 0.1 w/o PuO₂ 2.36 ~ 2.58 (17 lot)

2.517

Pellet Density
93.5 ± 1.5% T.D. (see Fig. 13-(3))

Pellet Diameter
10.0 ± 0.05

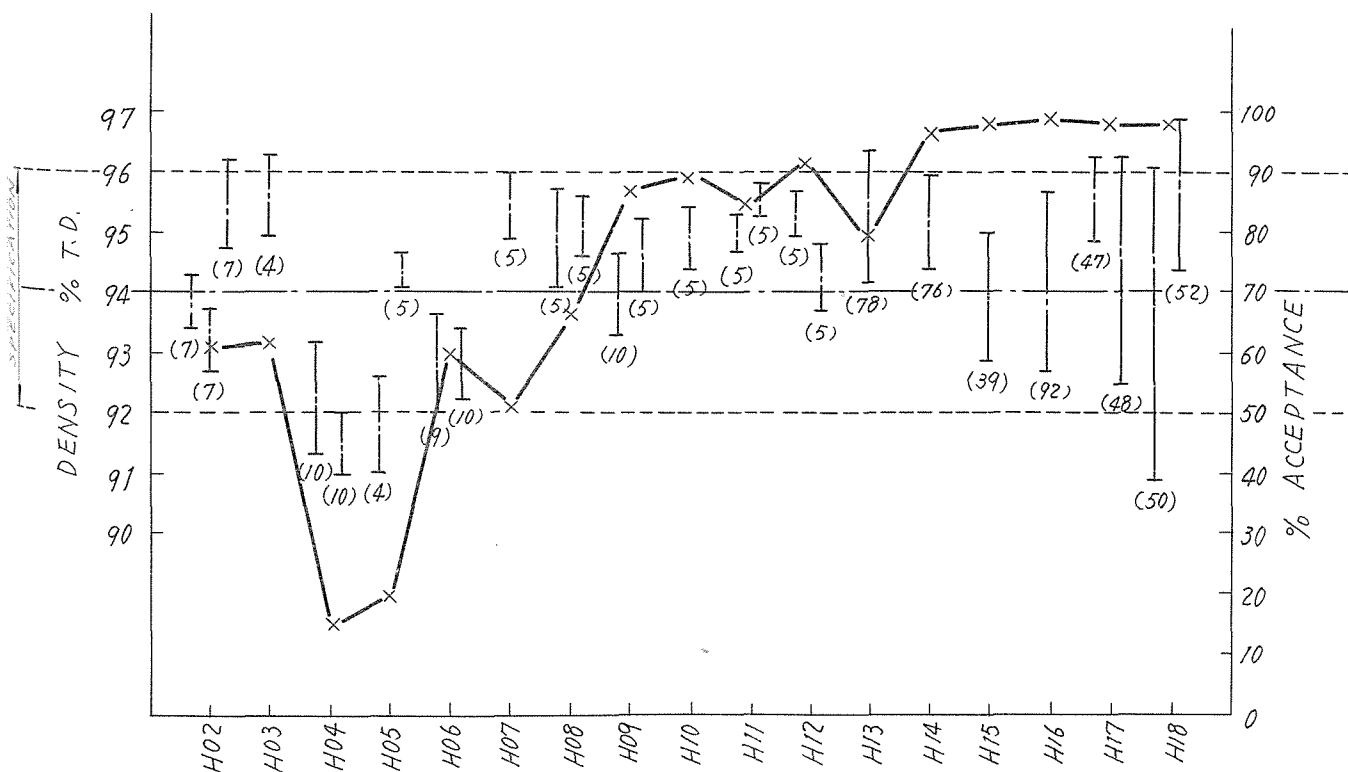


Fig. 13-(3)

Fig. 13-(4) RESULTS ON FUEL RODS FOR HALDEN IFA 159

	1 0 4 4	1 0 4 2	1 0 1 9	1 0 3 0	1 0 2 5	1 0 2 2	1 0 0 2	1 0 3 6	1 0 2 9
Sheath I. D. Av. mm	10.232	10.222	10.213	10.205	10.200	10.224	10.220	10.217	10.223
Range mm	.240 .225	.225 .220	.220 .210	.215 .200	.215 .190	.235 .220	.230 .215	.235 .205	.230 .220
Gap Control	YES	YES	YES	STEP	STEP	STEP	RANDOM	RANDOM	YES
Av. μ	230	185	240	210	210	220	270	280	195
Range μ	240 220	175 290	225 250	180→240	180→240	190→250	255 285	265 295	190 200
Linear Plutonium Control	YES	YES	YES	LESS	LESS	LESS	LESS	LESS	LESS
Pu Content mg/cm	1.840~1.760	1.840~1.760	1.840~1.760	>1.841	<1.759	<1.759	RANDOM	RANDOM	1.840~1.760
PuO ₂ w/o/cm Av.	2.49	2.46	2.50	2.58	2.37	2.52	2.55	2.56	2.57
Max	+0.08	+0.07	+0.07	+0.04	+0.22	+0.08	+0.05	+0.04	+0.07
Min	-0.04	-0.01	-0.04	-0.12	-0.01	-0.18	-0.19	-0.20	-0.08
Pellet Diameter Av. mm	10.01	10.04	9.98	9.99	10.00	10.00	9.95	9.94	9.90
Max	+0.02	+0.01	+0.02	+0.05	+0.04	+0.05	+0.02	+0.02	+0.06
Min	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.06	-0.01	-0.02	-0.08
Pellet Stack Length mm	1399.4	1400.1	1401.3	1398.3	1397.9	1397.7	1398.5	1399.1	1400.4
Pellet Total Weight g.	1139.9	1153.8	1140.0	1140.1	1141.5	1137.9	1136.0	1134.4	1114.8
First End Plug Weld									
Bead Width mm	3.9 4.4	4.3-4.8	3.9-4.6	3.8-4.4	4.1-4.8	4.0-4.6	4.2-5.0	4.0-4.6	4.0-4.5
Outer Diameter mm	11.74-11.77	.77-.81	.77-.81	.78-.80	.81-.85	79-.81	.75-.79	.81-.83	.78-.81
Porosity >0.5mm ϕ	NO	"	"	"	"	"	"	"	"
Inclusion >0.5mm ϕ	NO	"	"	"	"	"	"	"	"
Penetration	OK	"	"	"	"	"	"	"	"
Plug Inclination as weld	18'	17'	8'	26'	18'	8'	31'	12'	23'

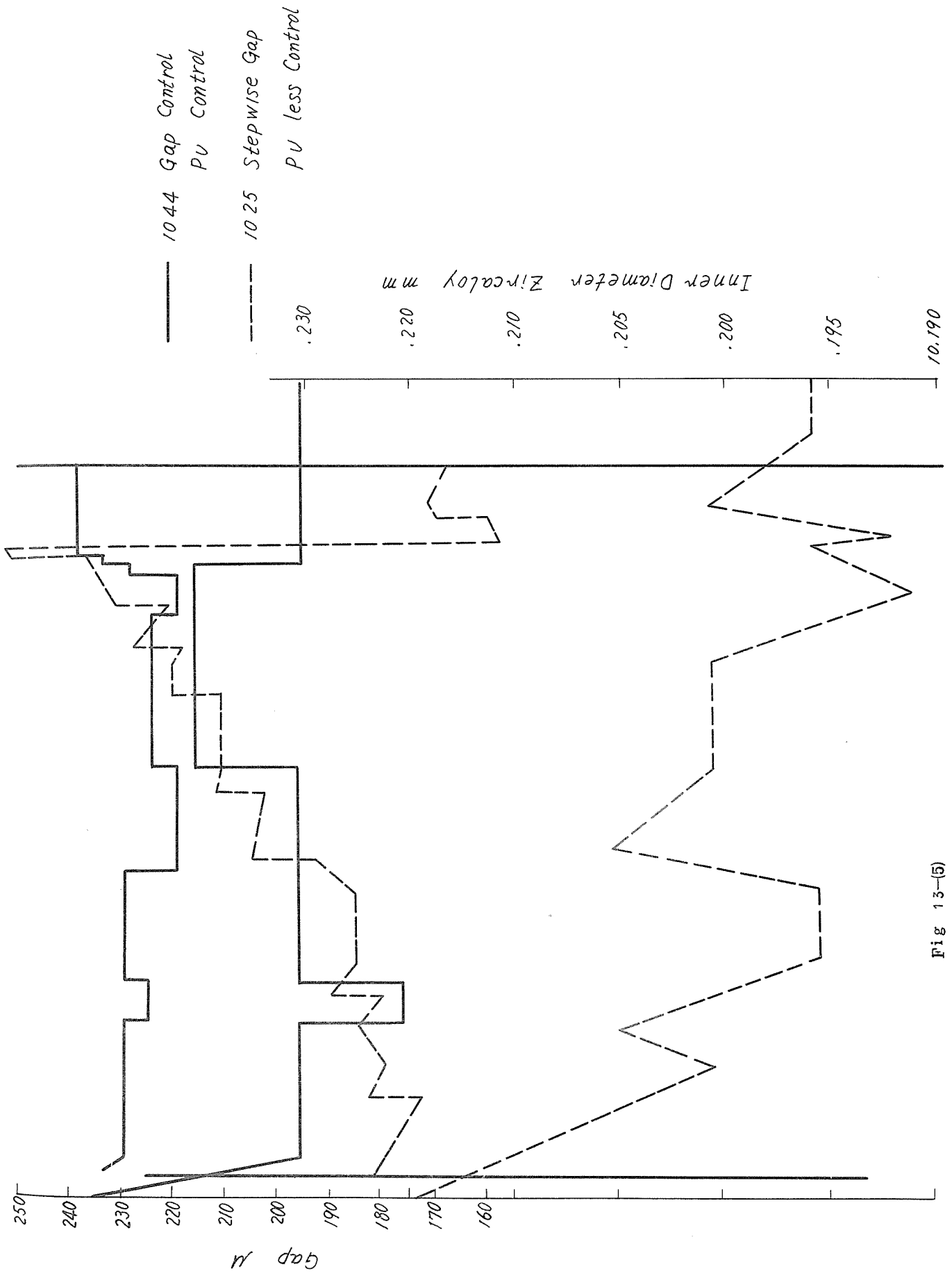


Fig 13-(5)

Fig. 14

SPECIFIC ACTIVITY OF PLUTONIUM

	Standard Pu	Magnox Pu	BWR Pu	Recycled Pu
Pu239	90~91	80	69	56
Pu240	8~9	16	19	28
Pu241	0.7~1.0	3	10	12
Pu242	0.04~0.06	0.4	2	4
Gross Specific Activity Ci/g	1.19	3.43	11.23	13.48
Gross Neutron Emission n/sec./g	125	230	308	478

Fig. 15/EXTERNAL RADIATION DOSE OF PLUTONIUM FUEL AND FUEL PIN (PNC)

Measurement of Radiation Level Emitted from Fast Fuel Pin for
the Irradiation in the Enrico Fermi Fast Breeder Reactor

Enrichment; PuO₂-UO₂

(4.0±1%)(6.0±1%)

Isotopic content of plutonium;

239/240/241/242=9.130/7.884/0.780/0.035

Isotopic content of uranium;

235/238/236/234=19.91/80/<0.5/<0.3

Pellet Density; 9.0±1% T.D.

Pellet; 5.50±0.01mm Dia, 9.00±1.00mm H.

Clad; AISI 316. 6.4mm OD. 5.6mm LD.

Pellet Number	5		10		15		30		50		87	
	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N
Distance cm	mR/hr		n/cm ² .sec									
0	0.8	10	0.9() (1.1)()	10	2.4 (4.0)	10	3.2 (4.7)	10	3.4 (5.0)	20	3.4 (5.0)	20
10	0.4	10	0.45 (0.5)	10	1.0 (1.4)	10	1.4 (2.0)	10	1.8 (2.2)	10	2.0 (2.6)	10
30	0.1	0	0.15 (0.19)	0	0.26 (0.30)	0	0.41 (0.48)	0	0.55 (0.78)	0	0.7 (1.0)	0
50	0.07	0	0.12 (0.14)	0	0.18 (0.19)	0	0.22 (0.24)	0	0.28 (0.31)	0	0.4 (0.5)	0
70	0.05	0	0.07 (0.12)	0	0.12 (0.14)	0	0.18 (0.19)	0	0.22 (0.22)	0	0.29 (0.31)	0
100	0.05	0	0.06 (0.10)	0	0.10 (0.12)	0	0.13 (0.14)	0	0.14 (0.17)	0	0.19 (0.22)	0

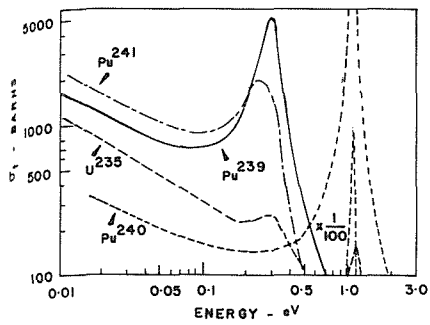


Fig. 16 MICROSCOPIC CROSS SECTION COMPARISON U²³⁵ AND PLUTONIUM ISOTOPES

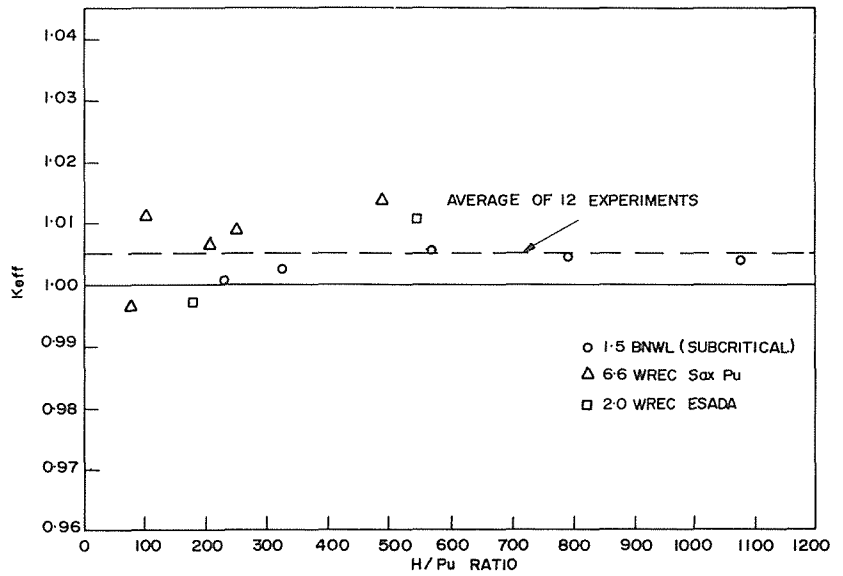


Fig. 18 A COMPARISON OF LASER CALCULATIONS WITH EXPERIMENT FOR THREE LOW Pu-240 FUELS

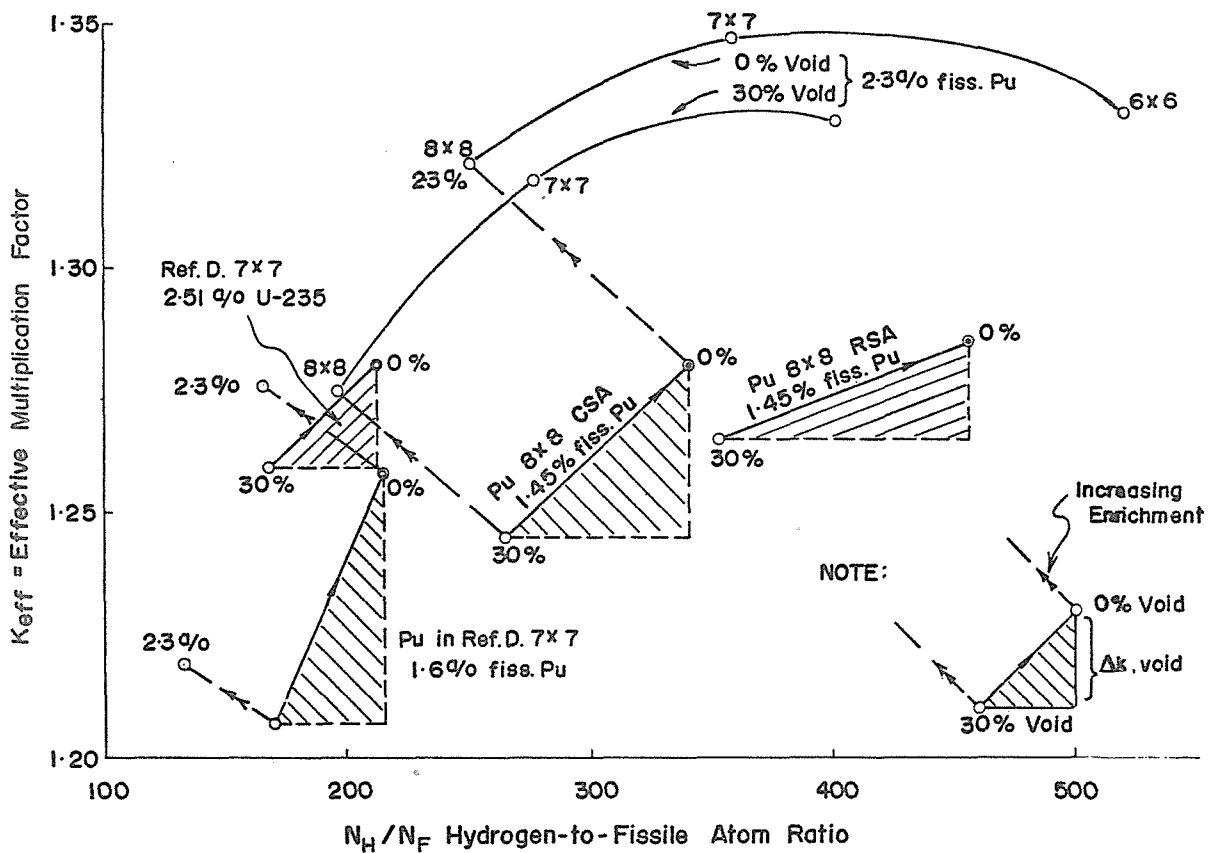
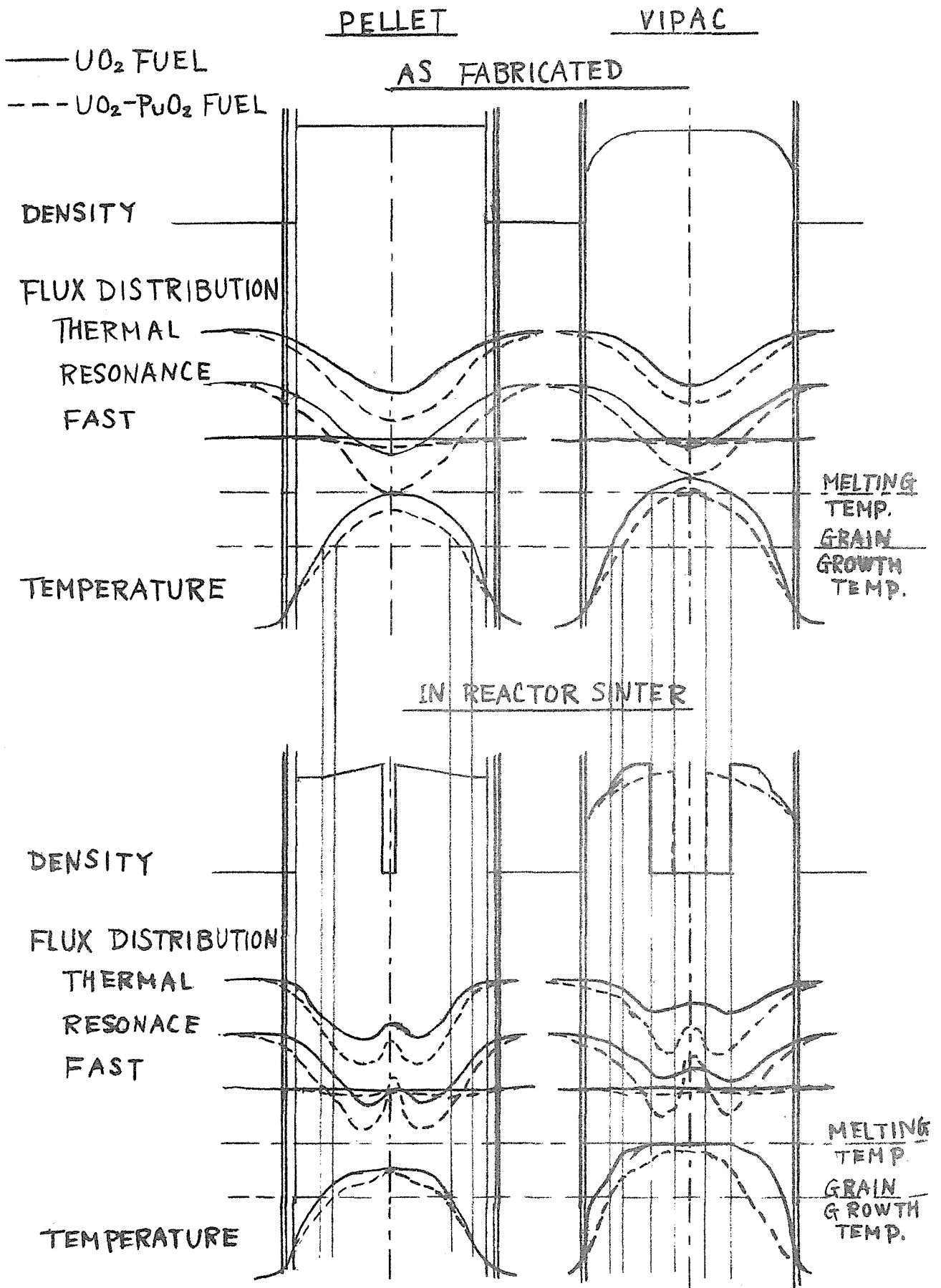


Fig. 17 Keff vs. Degree of Moderator (AFCPU-REPORT-05, 1966.10)

Fig. 19 Schematic Diagram of Temperature Distribution in Fuel:
Comparison of Pellet vs VIPAC and UO_2 vs UO_2-PuO_2



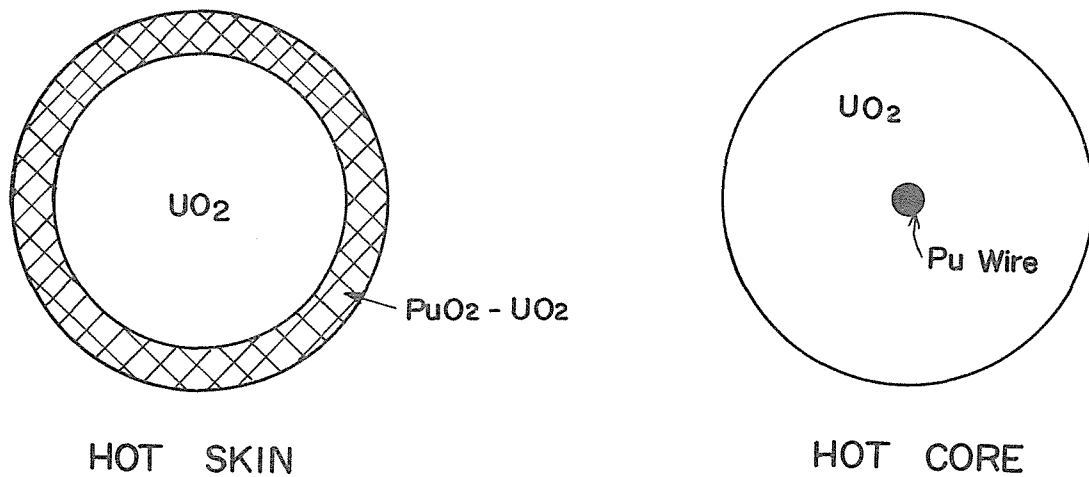


Fig 2 0

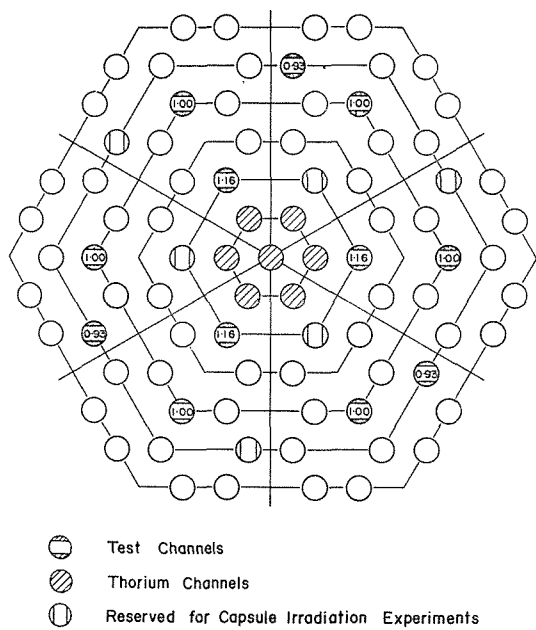


Fig21-1 Typical Arrangement of Test Fuel Assembly in HBWR Core

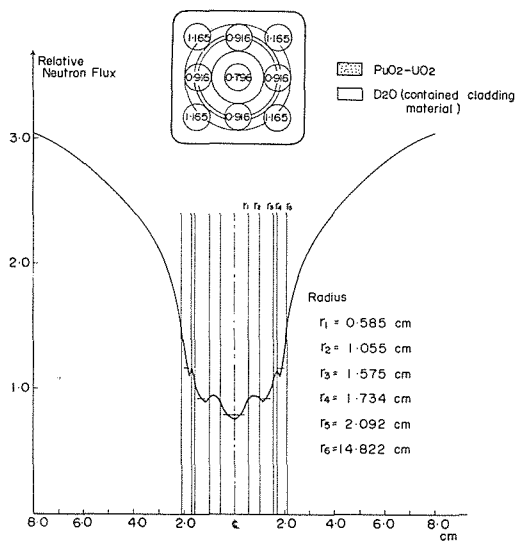


Fig21-2 Thermal Neutron Flux Distribution in PuO₂-UO₂ Fuel Assembly

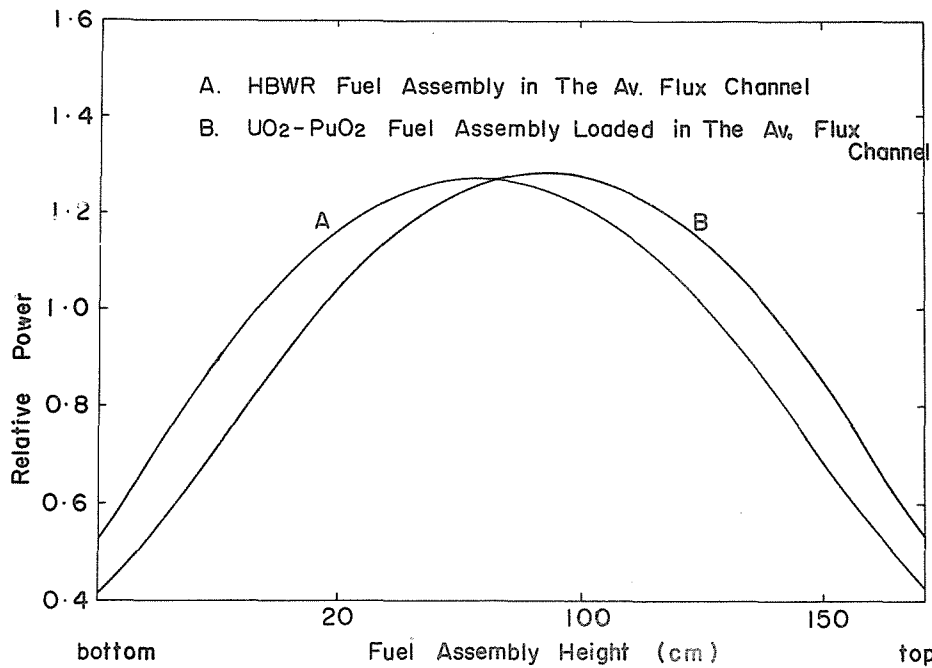


Fig 21-3 Axial Power Distribution in The Average Flux Channel of HBWR Core

1.224	0.967	0.884	0.875	0.923	0.916	1.080
1.274	0.933	0.845	0.852	0.857	0.910	0.916
1.269	0.941	0.843	0.845	0.848	0.857	0.923
1.247	0.973	0.880	0.860	0.845	0.852	0.875
1.276	0.971	0.860	0.880	0.843	0.845	0.884
1.227	1.016	0.971	0.973	0.941	0.933	0.967
1.401	1.227	1.276	1.269	1.247	1.274	1.224

Fig. 22 Power Distribution in the 7x7 Assembly of JPDR.

PWR用Pu燃料について

三菱原子力工業株式会社

原子燃料部計画課長 関 義 辰

1. Puの熱中性子炉利用の見通し

Puが軽水炉の使用済燃料から大量に再処理されてきて、その処置方法について問題が起るのは、米国においては1970～72年であり、日本においても1975年(昭和50年)頃からと予想されている。

もしPWRから生成されたPuを再びPWRに用いるのが最もよい解決とすれば、そのための技術的検討ないし準備はこの1～2年のうちに開始しても決して早すぎることはなく、むしろウラン燃料の場合より技術的・経済的な困難が多いとすればできるだけ早く動向を見極め、開発計画を開始する必要がある。

しかるにPuに関しては未だ知識として不十分なことが多くあり、簡単にthermal利用が最もよい解決だといえきれない点がある。もしthermal利用が最もよい解決策としてもその必要となる時期の推定が軽水炉導入計画以外の要因に左右されることが大きい。

現時点で考えられる問題点をあげると次のようなものがある。

- a. Puの国際市場の動向。自由市場ができるとすれば何年頃で、どの位の価格で、どの位の規模となり、その市場に加わるものはどんなものか。
- b. Puの国家または国際機関による監理。核拡散防止の立場から経済的な負担を負う価値あるか。
- c. Puの国家エネルギー政策への寄与。国内で生成したPuはできるだけ蓄積して、国内エネルギー源として確保する有利性があるか。
- d. 日本における高速炉開発計画、導入計画。現在の高速炉開発計画はPu pressureをどの位軽減できるか。この計画はかなりスケジュールが早いもので、この実現性はどの程度か。
- e. 再処理プラントの建設・運転計画。特に第2再処理プラントの運転開始はどうか。そのプラントの経済性の評価はどうか。
- f. 米国のPu thermal利用計画。米国においても高速炉の開発計画ならびに軽水炉拡充計画とかみあわせて考えられるだろうが、日本の場合への影響はどうか。
- g. 日本におけるATR開発計画。Pu pressureの解消にどの位寄与するか。

2 Pu の PWR への利用についての米国の計画

Pu を PWR へ利用する見通しについては前記のような問題点があるにかかわらず、米国においては核燃料民有化の実施に伴って、Pu pressure の実現が、軽水炉の進展に重大な障害となることが明らかにされてきているので user である電力会社とメーカーとの共同によつて、AEO の大きな援助の下に大々的に Pu thermal 利用の開発が行なわれている。現在では基礎的段階をほぼ終了して、次の初歩的な工学的試験に移行しつつある。この段階以降では特にメーカーのみの努力では開発不可能と考えられ、電力会社との強い協力が前提となつている。

現在の目標はかなり大きな商業発電炉に Pu の入った燃料を装荷することが考えられており 1973 年（昭和 48 年）迄には開発終了が予定されている。この時点は完全民有化が実施される時点であり、また Pu pressure が大きくなると予想される時点である。世界中で Pu pressure が予想される国は米国につづいて日本であると考えられているが、米国側が非公式に日本の協力を求めてくることはあり得ることであろう。

3 日本における Pu の PWR への利用開発

上記の米国の Pu 利用計画終了時点は、丁度日本の燃料国産が本格化される時点で、また米国が完成した Pu 燃料技術をもつて日本へ燃料を売りこんでくることが予想される時点である。したがつて日本の原子炉・核燃料メーカーとしては、この時点迄には Pu 燃料を考慮した炉設計と燃料加工技術を確立しておく必要がある。しかし日本で独立にプルトニウム・サーマル利用技術を開発するには、軽水炉そのものの技術レベルの差があまりにもありすぎるので、どこか海外の開発に参加してその一端を分担し、研究協調を行なうのが望ましい。このような研究協調によつて米国の Pu 燃料技術の導入がスムーズに行なわれ、その時点以降の軽水炉拡充に伴う核燃料国産を順調に進展させることができる。

Pu 燃料技術としてあげられる開発必要技術項目は次の通りである。

- a. Pu 炉心設計
- b. Pu 炉心臨界実験
- c. Pu 燃料成型加工
- d. Pu 燃料化学
- e. Pu 燃料放射線管理

これらの項目はすでに動燃事業団で開発を手掛けているが、今後米国内の商業用開発が急テンポで進むと考えられるので、何等かの形で米国と協同した開発体制をもつことが、結局は能率よいことと思う。

殊にPWRの場合、国内で確性試験を受け入れられる原子炉を欠いており、Pu炉心の実証試験は海外の原子炉による結果にたよらざるを得ない。こゝに米国との共同研究が必然的に考られることとなる。

すなわち今後国内でPWRにいかによればPu炉心を導入できるかが、PWRの原子炉・核燃料メーカーの宿題ということであり、政府・電力会社の絶大な協力がまたれるものである。たとえば現在計画されている特定総合研究にPWRもBWRも合わせて、最後の実証をどうするかということも含めて計画が進められることが望まれる。

BWR用プルトニウム燃料の問題

日本ニュークリア・フュエル株式会社

岡 島 安二郎

1. 諸 言

BWRにおけるプルトニウムの生成量はおよそ $0.2\text{kg-Pu/MW}\cdot\text{Y}^1)$ とされ、したがって1年間に、BWRの電気出力100万キロワット当り、約200kgのプルトニウムができてくる勘定になる。原子力発電所の発注から運転開始までに4~5年、燃焼した燃料を取出すまでに2~3年かゝるとすると、プルトニウムをリサイクル燃料としてBWRに使用する時期は、原子炉発注後早くも6~8年後になるものと考えられる。

これまでの講演に述べられたとおり、わが国におけるプルトニウムの累積量は、昭和50年(1975)に約3トンと考えられるが、すでに大量の軽水型動力炉が発注されたアメリカでは、プルトニウムの生成累積量は、1972年に約10トン、1975年に約30トン以上と予想されている。¹⁾1971年以降にはUSAECのプルトニウム買上保証がなくなるが、高速炉開発計画による需要は数トン程度で、高速炉が実用化されるまでは多量のプルトニウムが余剰になる。この間におけるプルトニウム利用の経済性は、熱中性子炉燃料としてのプルトニウム価格如何にかゝるが、GE社では、1970年代初期には軽水炉へのプルトニウムの利用がはじまるものと予想し、AEC、EEI等と共同して、BWR用プルトニウム燃料の開発研究を行なっている。以下最近のGEの報告^{1)~3)}を紹介し、BWR用プルトニウムリサイクル燃料についてのべることにする。

1) ANS 1967 Winter Meeting: PLUTONIUM RECYCLE IN THERMAL POWER REACTORS

"Economic Considerations of Plutonium Utilization in Boiling-Water Reactors" W.V. Macnabb

2) ibid "Plutonium Utilization in Boiling-Water Reactors—A Review of

EEI-GE Joint Program" E.A. Evans, D.L. Fisher, D. Gourneles, W.V. Macnabb

3) IAEA SYMPOSIUM ON THE USE OF PLUTONIUM AS A REACTOR FUEL, 13-17

March 1967 SM-88/11 "Plutonium Utilization in Boiling Water Power Reactors" E.A. Evans, D.L. Fischer, W.V. Macnabb

2 リサイクル用プルトニウム燃料の設計

現在の典型的なBWR用燃料要素は、低濃縮 UO_2 ジルカロイ被覆燃料棒49本を7列7行の正方形アレイ(一辺約15cm)に配列し、ジルカロイチャンネルでつんだものである。燃料要素内の局所的な出力分布を改善するため、2~3種類の異なる $U-235$ 濃縮度をもつ燃料棒を要素内に組込んである。BWRにプルトニウムリサイクル燃料を使用する場合には、 UO_2 燃料要素炉心の一部を、 $PuO_2 \sim UO_2$ 燃料要素で置換していくことになるので、既存の原子炉の性能をそこなわず、また設備に変更を加えずにすむような、核熱水力学の特性を備えた燃料であることが必要となる。現在、2~3%程度の PuO_2 を天然 UO_2 と混合した、いわゆる混合酸化物燃料が考えられている。1)3)

プルトニウムの同位体では、熱中性子領域外に大きな共鳴吸収が存在するので、熱中性子スペクトルについてはウラン系燃料の場合よりも複雑で詳細な計算が必要になるが、一般的にはウラン系燃料の設計に利用される核データや計算法がリサイクル燃料の設計にも適用可能とされ、今後減速材の分布や燃料組成の異なる非均一系について臨界実験を行なつて設計法を改良し、確認する必要があると考えられている。

プルトニウムは使用済燃料から化学的に分離されるので、ウランとの混合にあたりプルトニウム富化率を変えることは比較的容易であり、燃料棒によりプルトニウムの富化率を変えて燃料要素内の出力分布を平坦化することが考えられる。

プルトニウム燃料ではウラン燃料よりも限界熱流束比が増すが、同時にピーク熱流束も若干増加する。燃料内の熱流束および温度には、燃料の加工プロセスおよび燃料の密度が著しい影響をおよぼすが、BWR用リサイクル燃料における PuO_2 の割合は2~3%程度で、 PuO_2 の添加により熱伝導率が著しく変化するとは予想されず、現在の UO_2 燃料の熱水力学の挙動からほぼ予想できるものと考えられる。なお、プルトニウムの核断面積が大きいことから、水/燃料比の高め方が望ましくなるので、 UO_2 の場合より低密度のペレット型や粉末充填型燃料となる可能性も考えられ、この場合熱伝導率は低下する。燃料中心温度が UO_2 燃料の場合より高くなるような設計になると、燃料の挙動を実際に確かめる必要がある。さらに今後、過渡状態における挙動特性を明らかにしておく必要があると考えられている。

表12)は最近報告されたBWR用リサイクル燃料と UO_2 燃料の設計仕様の比較結果である。この設計の特長は、制御能および燃焼に伴う反応度の変化が減少すること、負の温度およびボイド係数の増加、ならびに核分裂物質のインベントリーの増加にあるとされている。

リサイクル燃料の設計ではプルトニウムとU-235の分布を変えた何種類もの設計が考えられるので、プルトニウムを最も有効に利用するにはどの設計が最も適しているかを知るための、設計最適化の研究が必要と考えられている。また利用されるプルトニウムの同位体組成は必ずしも一定ではなく、かつこの組成内容は燃料加工のまじかにならないと判明しない可能性もあるので、プルトニウムの同位体組成が広く変つた場合には使用できるような設計であることが望ましい。このような点をつきとめるために、種々な設計のプルトニウム燃料をBWR中で高燃焼させ、各段階における出力分布や同位体組成の変化、反応度、燃料の挙動等について詳細な評価を行なう必要があると考えられている。

3. リサイクル用プルトニウム燃料の加工

BWR用プルトニウムリサイクル燃料の加工で重要なことは、現在かなり高い加工コストを引下げ、設計性能を保証しうる燃料を供給する方法を確立することである。

まず問題となるのは出発原料のえらび方であつて、均一なプルトニウムの分布をもつPuO₂~UO₂を作る共沈法およびSol-Gel法と、PuO₂とUO₂とを物理的に混合する方法がある。BWRリサイクル燃料の場合、UO₂は混合酸化物のほとんど大部分の97~98%程度を占める。この点から、すでに確立された大規模のUO₂製造プロセスから出発原料の大部分を得ることによりコストが最小となり、また品質の保証も容易になるとの考えで、GEでは粉末調製プロセスの後半にUO₂とPuO₂を物理的に混合する方法を推している。

次にこれらの出発原料を加工してジルカロイ被覆管に装填するプロセスがあるが、ここでも種々の方法がある。

まず現在のBWR用UO₂燃料の加工法であるペレット法は粉末の冷間圧縮・焼結・研削プロセスを伴うが、プルトニウム燃料の場合グローブボックス作業を伴う以外はUO₂燃料加工技術の延長である。GEではこの他にホットプレス法が研究されており、冷間圧縮法よりも歩留がよく、スクラップ、ロスが少ないと報告されている。

第二の加工法は、出発物質として高密度の酸化物粒子を、物理的に混合したPuO₂~UO₂粉末を冷間圧縮・造粒・焼結して得るか、高エネルギー衝撃により緻密化させるか、熔融して得たのち、これらの方法で得た高密度粒子をジルカロイ被覆管中に振動充填する。

第三は、高密度のUO₂粗粒と、微粉碎したPuO₂、または微粉碎したPuO₂~UO₂とを被覆管に振動充填する方法であり、これは従来の方法に比し最も外挿的であるが、反面最も経済的な加工法となる可能性があるとして研究されている。

これら被覆材は UO_2 燃料の場合と同様ジルカロイであり、装填技術は UO_2 の場合と同じであるが、高密度の UO_2 と微粉碎した PuO_2 の物理的混合物を充填するときには、Segregationを防ぐ注意が必要である。

以上の加工法のうち、高密度の $PuO_2 \sim UO_2$ 混合物または高密度の UO_2 に PuO_2 を混合したものを被覆管に振動充填する方法は、ペレット加工のプロセスを省略した最も簡単な加工概念であり、魅力的な方法であるが、GEではなお次の2つの疑問、すなわち

- i) 濃縮度の均一性はどの程度まで必要か
- ii) 動力炉の運転条件で燃料を高燃焼させるとき、全体的な不均一性はスエリングその他の燃料の照射挙動にどのような影響を与えるのか

に対する解答が未確定であるとして、粉末充填型プルトニウム燃料に本格的に着手する前に、BWR粉末充填型 UO_2 燃料について大規模な加工・照射開発試験を続けるつもりである。

被覆管に燃料を装填したのちの除染は、ペレット型の場合 UO_2 の場合と同じであるが、粉末充填型の場合は若干手間がかかる。

被覆管の端栓溶接、燃料集合体の組立は現在の UO_2 燃料加工技術と本質的に同じである。

燃料の非破壊検査技術の大部分は UO_2 の場合と同じであるが、 $PuO_2 \sim UO_2$ の物理的混合物を振動充填した燃料では、プルトニウムの分離をチェックするためガンマスキャン等の検査が必要である。また、物理的混合粉末から作った燃料であれば、ペレット型、粉末充填型をとわず均一性に關する検査が望ましく、このため、 α 線飛跡利用オートラジオグラフィー、ペレット表面の電気伝導度スキャンニング、中性子ラジオグラフィー等が研究されている。

この他プルトニウムの毒性、臨界防護等安全に關する諸問題は燃料加工コストにもひびくきわめて重要な問題であり、保健物理的にも最も経済的なプルトニウム加工プロセスを確立することが肝要である。

この他BWR用プルトニウムリサイクル燃料に對ける重点は次の2つの分野になる。

- 1) UO_2 燃料製造技術を比較的小規模で改良すること。
- ii) 燃料の挙動を損なうことなく加工コストを引下げするためには、プルトニウム富化率の不均一性がどの程度まで許容されるかということ。

これらの諸点を調べるために、カプセル、燃料棒の照射試験がGETR、PRTR、ドレスデン1号炉等において実施され、多数の燃料要素の加工・照射試験が計画されている。

表 1. BWR用 UO_2 燃料要素と $PuO_2 \sim UO_2$ 燃料要素²⁾

	Standard U Bundle	Pu Bundle
Number of rods per bundle	49	49
Initial fissile enrichment wt% (bundle av)	2.56	3.48
Exposure $\frac{MWD}{ST(U+P_u)}$	25000	25000
(Kas) initial	1.23	1.15
Hot control strength ($\Delta K_{\infty}/K_{\infty}$)	0.25	0.16
Fissile atom depletion per $1000 \frac{MWD}{ST(U+P_u)}$	0.00049	0.00051
Exposure slope $\frac{\% \Delta K_{\infty}}{1000 \frac{MWD}{ST(U+P_u)}}$	1.23	0.72
Delayed-neutron fraction, $\beta_{eff} \frac{MWD}{ST(U+P_u)}$	0.0056	0.0042
Local Power peaking factor	1.2	1.2
Void response $\frac{K_{\infty}^{60} - K_{\infty}^{40}}{K_{\infty}^{40}} / \frac{voids^{60} - voids^{40}}$	-0.09	-0.15

4 結 言

以上の BWR 用プルトニウム燃料についての見解を要約すると次のとおりである。

- 1) 燃料加工技術は現在の BWR用 UO_2 燃料加工技術の大部分を利用することができる。
- 2) 今後加工技術として工業的に確立すべき点は次のとおりである。
 - i) 量産に最も適した加工処理条件を確立すること。
 - ii) 保健物理的に最も経済的なプルトニウム処理法を確立すること。
 - iii) 要求されるプルトニウムの均一性の程度を決定すること。
- 3) プルトニウムサイクル燃料の設計と加工概念は将来さらに開発され、最適の設計と製造プロセスにより加工コストを減少させ、燃料の挙動を改善していくものと予想される。
- 4) 実用動力炉で大規模な高燃焼照射試験を行なつて、リサイクル燃料が満足な挙動を示すことを確める必要がある。

わが国における軽水炉へのプルトニウムリサイクルの研究開発は今後本格的に行なわれるであろうが、プルトニウム燃料加工施設は UO_2 燃料加工施設とは別個のものになり、その建設には多額の費用が必要である。したがつて燃料メーカーの立場よりすれば、今後わが国における軽水炉動力炉でのプルトニウムリサイクルがどの程度の規模で、いつから、どれ位の期間行なわれるであろうかが重要な問題であり、この点に関してできるだけ早い機会に見通しがつけられることが望ましい。

プルトニウムの熱中性子炉リサイクル

日本エネルギー経済研究所

武井満男

Puの熱中性子炉リサイクルは、とくに最近の意欲的な軽水炉建設計画を背景として、原子力発電の将来規模が一段と大きくなるという予測の下で、改めて検討課題とされている。今日の報告者の方々も、Puを高速炉利用にあてるのがもつとも望ましい有利な方法であるとしても、高速炉の実用化の時期がなお不確定であり、かつそれまで大量のPuの累積生成量を維持してゆくには経済負担が過重となるから、おそらくこの中間の時期にPuの熱中性子炉リサイクル一端的には軽水炉利用一が実現する公算が大きいこと、わが国の場合、その時期は、1975年以降であるという予想にしたがつて、Puの熱中性子炉利用技術の開発をすすめることは有意義であろうとみる点で、一致した見解に立つておられる。したがつてわたくしに課せられたコメントをおおよその見解に添いながら、i) Puはどこで余るのだろうか、ii) 軽水炉リサイクル利用における経済的条件、iii) Pu利用技術の開発の3点について行ないたいと考える。

I. いまわれわれが入手できるデータは、イ) 原子力発電の将来規模の予測値から計算によつて得られるPuの年々の生成量と累積量、ロ) Puの価値つまり、Puをその炉の燃料に用いた場合、 U^{235} と同一の燃料サイクル・コストを達成できるために、Puに与えられるべき価格、ハ) 上記ロ)のPuの価格を実証するための若干の技術的データにすぎない。また予見できることは、イ) 当初のPuの実需は、研究開発用需要で、その中は、むしろ商業炉での生成量を上回わり、したがつて価格も上記ロ)の価値を越えて設定される。ろ) Puの熱中性子炉リサイクルは、この研究用需要が充足されたあとで、Puの余剰があらわになつた時期にとりあげられる可能性がある。しかし、ハ) 余剰のPuを累積しておいて高速炉の初期装荷燃料にあてる方が有利であるから、ロ)をとるかハ)をとるかは結局マクロの核燃料サイクルの選択にかかわることである。また、ニ) Puは潜在的な軍事用核物質と見做されるから、その貯蔵、流通、利用には軍事転用を防止するという立場から国際的な管理、規制が課されることなどである。

そこで一つの問題は、プルトニウムの流通と価格の機構、つまりPuマーケットはどのような形で成立するのかということである。いま上記のイ)~ロ)を通じて、Puの大きな供給源

は、軍事生産の歴史や発電炉の建設量にうかがわれるようにアメリカとイギリスにあるが、このうち、イギリスは国内でPuのclosed cycle systemをとり、外部市場へ介入することを制限する方向を固めているから、結局、もしPuの国際的なマーケットが形成されるような条件があるとなれば、それはアメリカの供給力を背景とした機構をとるだろう。一方でイギリス、フランスを含めて、Puが各々の原子力発電の系の内部で生成され、さらにそれが高速炉利用を通じて発電体系の自立化を促すことができるという意味で、とくにヨーロッパ各国では少なくともPuの系外への流出を抑えたいという方向がつよい。原子力発電の規模や建設のテンポが違っているから、そのかぎりで過渡期にはPuの地域的偏在がおこりうるだろうが、それにしてもPuはすべてのウラン燃料炉の運転によつて生成されるのであるから、これも中間的な事象に止まる。

さらに、民有制の下にあつては、Puは、一般に発電炉の所有、運転者である電力業者の手に属しているのであるが、しかし現在の燃料供給方式を前提とすると、その一部はintegral supplyを通じて2、3の有力な燃料加工業者の手に残されていると考えてよい。いま主としてアメリカですすめられているPuの軽水炉利用技術の開発は、この両者、つまりPuの将来の所有者が合作して、予め理論的に設定したPu価格を実用試験を通じて検証しようとしているのである。現実的なPu価格の設定が軽水炉の採算性のために不可欠であり、また今後の軽水炉市場の確保のための必須の手段であることはいうまでもない。他の有力な要因である国際管理の問題も加えて考えると、Puの国際市場の成立には少なからず留保条件があり、とくにそれがPuの熱中性子炉利用を軸として形成に向かうとするのは速断にすぎることがあるようにみられる。もしこの局面でPuの国際市場の成立を導くものがあるとなれば、それは、有力な燃料加工業者が同時に炉製作者である軽水炉とその燃料の市場確保のために採る企業政策によるものが多いとみられる。

II. いま一つの問題は、これまでのご発言の方々も触れられたようにPuの熱中性子炉リサイクルは、マクロの立場からいつても、またミクロの立場からみても、燃料サイクルの一つの選択課題であるということである。

マクロの核燃料サイクルからみて、Puの熱中性子炉リサイクルから得られるウラン燃料の節減の効果は、取替え燃料所要量のおおよそ30%以下で、とくに成長期における原子力発電の体系にとつては、インベントリ-所要量が基本的であるから、その効果はさして大きくない。とくにいまわれわれが入手している国内のデータは、a燃料再処理の規模やその経済性の傾向、b燃料サイクルにおける炉外期間の変動、c軽水炉の燃焼率の向上のすう勢

などをおり込んだものではなく、発電炉の建設、運転量から直接的に試算されたPu生成とその累積量であるから、これを用いてマクロの試算を行なうにも、計算の誤差ではなく、将来の事実からくる誤差を十分勘案することが必要である。Puの熱中性子炉利用の実現性と可能性はもつばらこの量的側面からのみ語られているくらいがあるように思われるからである。したがってa) 研究用需要の充足と継続、b) Pu所有と所在の分散を見越して、いつどのような形でPuの余剰が生じ、それが過重な圧迫を形成するかを予め読みとることは困難である。もつとも最近では、アメリカやヨーロッパの一部で1975-95年にいたる間、Puの熱中性子炉利用が高速炉利用と併用してすすめられるという見方がある。

Ⅲ. 軽水炉の経済性についての簡単な試算では、1975年前後にわが国に輸入される80-100万KWの炉で、核燃料費の主要なパラメーターの変動がおよぼす効果は、相互に次のようである。

			(Variance)
ウラン価格	1ドル/Lb	2.9 銭	2.8 銭
加工費	10ドル/kg	2.4	2.8
再処理費	10ドル/kg	1.8	2.2
Pu価格	2ドル/gr	1.7	

Puリサイクルの経済性を考える上で、再処理費とPu価格の相関が大切なように思われる。いま附図において、60万KWと100万KWの軽水炉(BWRとPWRの特性の平均値をとる)で、上記の四つのパラメーターうち、ウラン価格を7ドル/Lbとし、加工費を100ドル、90ドル、70ドル、50ドルと変動させた上で、再処理費が40ドル、32ドル、20ドルである時、Pu価格の4ドル、8ドル、10ドルについて両者の関係を見ると、40ドル/kgという再処理費はほとんどのPu価格についても禁止的、つまり再処理しない方が有利であるのがわかるが、逆にPuが4ドルにしか評価されない時は再処理費が20ドルを下回らないかぎり、やはり不利である。最近の改良型軽水炉では燃料の入口濃縮度が引下げられ、燃焼率が向上しているから、再処理後のクレジットは抽出されるPuの価格に依存する。

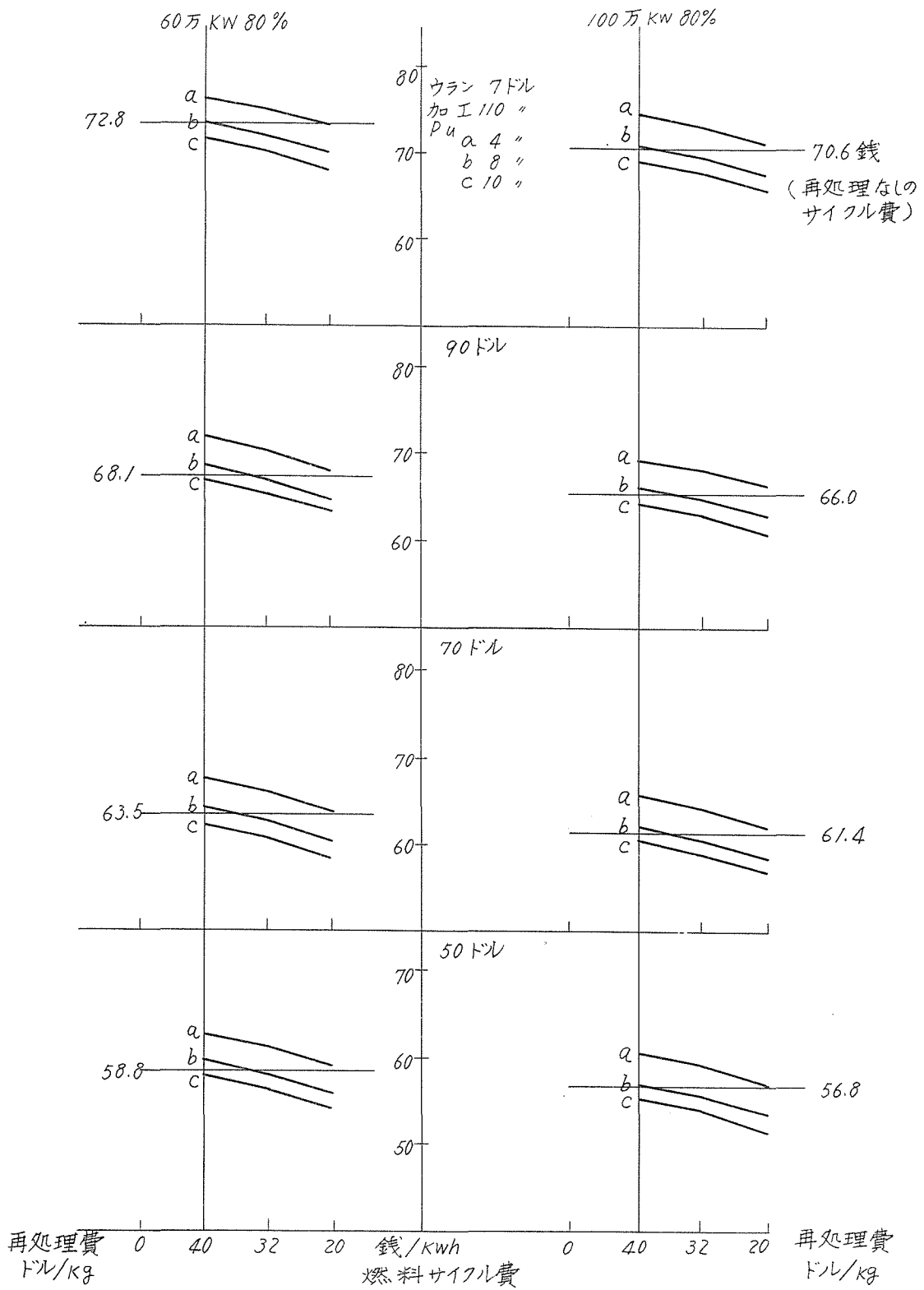
Ⅳ. 一方、1975-85年のわが国は文字どおり軽水炉を中心とする原子力発電の成長期にあり、国内における燃料サイクルの確立期にあたる。その中で例えば国産ウラン燃料の加工費なども著るしい逓減をみせるに違いない。仮りにウラン燃料が加工規模の拡大によつて加工費を半減させた時、Pu燃料の加工ペナルティも同一の比率で低下することができるだろうか。ウラン利用に最適化された発展期の燃料サイクル産業のなかで、小さな支流にすぎないPu技術の経済的改善には自から限度があり、したがってPuに課される経済的ペナルティは予想以上に苛酷なものがある。乱暴な表現であるが8~10ドルの価格が半減した時には、

マクロの核燃料サイクルにとって事情は大きく変化する。

- V. Pu の熱中性子炉利用技術の開発は、国の開発計画にとって7～8年間に数十億円程度であり、さして負担とはならない。またその技術は高速炉燃料技術にもつながるものであるから是非着手すべきだというのが、きよりの大方のご意見である。

しかしわが国にとって必要な研究開発計画は、ほかにも新型転換炉（重水炉）におけるPuの利用、高速炉燃料の開発があり、それは時間としてシリーズにつながるのではなく、むしろ併立する形の計画として示されている。技術開発の上で、Pu燃料の加工技術には重複するものや、シリーズにつながる分野も大きいのだろうが、本来の燃料開発計画のなかでは加工部門はあくまで一つの部門に止まり、照射試験から再処理技術にいたる全体の技術体系は明かに別個のものである。つまりわが国では予想されるPu燃料技術のすべての体系に着手しようというのであるから、そこに若干のオーバーラップがあるとはいえ、人的物的制約につきあたるように思われるのである。

- VI. Puの軽水炉リサイクルの必要性は、しばしば高速炉の実用化の時期が不確定であるという予想と関連して強調されている。しかし考えてみると、1964年から爆発的なブームをみせた軽水炉の大量発注に先立つ時期、その前後の1963年に、アメリカ国内で実働していた軽水炉は20万KWオーダーの2基にすぎなかつた。いま1970年代のおわり、あるいは1980年代の初めの段階で、高速原型炉（20～30万KW）が少なくとも数基、100万KW炉が1基程度実働に入っていると考えるのは決して不当ではないだろう。軽水炉における先例から推して、この段階での高速炉の経済性が見通しはかなり明かにされているとみてよいのではないか。つまり、いま試論の前提としている高速炉の不確定性というのは、技術進歩の見通しに照らして、次第に根拠を失っているのではないか。



< 討 論 >

議 長 吉 岡 俊 男（日本原子力発電株式会社常務取締役）

萩野谷 徹（科学技術庁原子力局） 鈴木 範 雄（東京電力株式会社）
藤 井 哲 博（関西電力株式会社） 今 井 降 吉（日本原子力発電株式会社）
中 村 康 治（動力炉・核燃料開発事業団） 関 義 辰（三菱原子力工業株式会社）
岡 島 安二郎（日本ニュークリア・フュエル） 武 井 満 男（日本エネルギー経済研究所）
平 田 穰（日本原子力研究所）

議長（吉岡） それでは、これから、プルトニウムの熱中性子炉へのリサイクルに関する討論に入りたいと思います。

ごらんのようにメンバーとしては、官庁、電気事業者、燃料加工業者、研究機関等から、それぞれの専門の方々がご参加になつておりますので、活発な意見や討論が出るものと期待しております。この討論の進め方としましては、最初に、各メンバーの方々からお1人あたり、非常に短いのですが、5分間ぐらいずつ討論の要旨を述べていただきまして、ついで時間の許す限り、メンバー間の自由討論をやつていただきたいと思いますと考えております。

時間の関係上、詳細にわたる説明は各講師ともできないと思いますので、お手元の予稿をリファアしながらお聞きくだされば幸いと存じます。発言の順序は、都合によりまして予稿の順序を若干組みかえさせていただきまして最初に、研究者の立場からのご意見を伺うことにします。

まず、第1番バッターとしましては、原研の平田さんからお願いしたいと思います。

平 田 このパネルに先立つて行なわれた3つのご講演では炉の実施時期を考へて、プルトニウムをどのようにして使うべきかという考え方があるとおつしやいましたが、いま計画されている何百万キロワットという軽水炉がどんどんプルトニウムをつくり出していくということは、99%確実な事実であります。一方、今後、1900年代のいつの時点かに、高速炉がそれをどんどん食べ始めるというのは予想でございます。したがつて、事実に基づいたものに用意をするということが、まず第1に必要なことだと思います。

どなたかもおつしやいましたように、実際に、いまの軽水炉にこの燃料を取り出して、プルトニウムを混ぜた燃料を入れるというところに行くためには、一朝一夕にいかないのでありま

す。原子力委員会のご予定によりまして、7～8年の時日が必要であるとされております。これも99%確実なことでございます。したがって、私は、こういうことをやるときめた以上は、1日も早くこういうことをやらなければならないと思います。吉岡講師のおつしやいましたように、まず燃料を設計することをやる。照射燃料をつくつてみる。臨界実験装置に入れる、実験炉に入れ、実証炉に入れて、仕事が確実に終わるといふ1つの流れと、鎌田講師のおつしやつた粉をまぜる、練り固める、さやに入れて照射実験をして、実用炉のフルテストに備える、こういう2つの流れがあることは事実でございます。

ところが、こういう新しい仕事をやりますときにいつでも起こるのは、めずらしい、かわつた点ばかりに気がついてしまつて、一般的なことが忘れられる傾向でございます。人はパンのみによつて生きる者にあらずといふ諺がありますが、私などはややともすると、念仏さえ唱えていれば、まことに極楽往生してしまつて生きることができない。ですから、その点は、吉岡先生がおつしやつたように、いまありますウラン型の燃料のリアクターでも、あとのほうに行きますと、プルトニウムの発熱が相当ある。こういうことをおつしやつたわけでございます。それから、鎌田先生も、プルトニウムの製造に当つて、非常に安全管理がたいへんであると強調されております。ところが、いまのウランの燃料でございますと、U-235を薄めた粉をお使いになつているので、臨界の心配がないのであつて、それをプルトニウムの試作の場合と同じように、100%のプルトニウムをお買いになつて、それを薄めて燃料をつくつていくとすれば、同じように臨界事故の心配があるわけでございます。

したがって、先ほどもご指摘のように、再処理工場のほうでペレット用に薄めた粉をつくつていらつしやれば、そういう臨界実験の心配はない。ですから、どこがプルトニウムの燃料をつくるために特別なことであるのかといふところをはつきりして、そこにもちろん力を入れなければならないのでございますが、何はともあれ、特異点は何かといふことをはつきりすることが、仕事を進める非常に早い手だてではないかと思ひます。

こう申しますと、非常に乱暴なことでございますが、運転をやる立場からいいますと、ウランの燃料であつても、プルトニウムの燃料であつても、ちゃんとできた燃料でありさえすれば、それを炉に入れることも何もちつともかわるところはないわけでございます。また、炉を使つて燃料のテストをする立場から申しますと、これは、発電炉と違ひまして、いつでもおかしくなつたらとめて、これはどうなつたといふデータを提供するのが役目でございますので、もしか、そういうある程度の、いまありますデータによつて、皆さまの自信のある燃料ができたなら、1日も早く実証炉に入れてみて、そのかわりおかしくしてしまえば、これは世の中に申しわけがございませんので、十分な注意をして、万一のことが、とにかく起こる手前までのぎりぎり

のテストをして、1日も早く、これから余つてくるものではなくて、必ずたくさんできるといふ、わが国ではほかの方法によつては、いまのところ確実につくることのできない核分裂物質を有効に使えるお仕事に協力したいと思います。私の意見は、これで一応終らせていただきます。

議長 どうもありがとうございました。それでは、次は、日本エネルギー経済研究所の武井さんをお願いしたいと思います。

武井 私、きょうここへ出てまいりましたのは、この席では、皆様のご意見にさからつて、多少とも反対論をやれというご指名でございまして、私が一応反対論を出しましたあとに、ここに並んでおります諸先生方が、これをさんざんにたたくという演出のようでございます。したがって、聴衆の皆さんに、非常に同情のある聞き方をさせていただくほかはないわけでございますので、そういう意味で、非常に不十分な予稿でございますけれども、どうぞご同情をもつてお聞き願いたいと思います。

第1番に私が申し上げたいと思ひましたのは、プルトニウムはどこで余るだろうかという問題でございます。これは、プルトニウムのマーケットが、どういう形で形成されて、そこで、どういうプルトニウムの価格が決定されるかということについて、非常に情勢がまだ不安定であるということを述べているだけのことでございます。

2番目に申し上げたいのは、軽水炉リサイクルの場合の経済的条件のうちで、幾つか考えておかなければならない問題がございますけれども、その中で、私の重要だと思ひものを1、2申し上げるということでございます。

タイトルは、熱中性子炉リサイクルということになつておりますけれども、実際にプルトニウムのリサイクル利用が行なわれるのは軽水炉でございます。前にお話しいただきました3人の先生方の内容にもございましたように、プルトニウムの価格というものを考えるときに、軽水炉の立場からいたしますと、再処理費との関連というのが非常に重要になつてまいります。

私の簡単な計算でございますけれども、日本で80万から100万キロぐらいの軽水炉を運転した場合に、1975年ぐらいの時点では、おそらく再処理費が、キログラム当たり10ドル動くのに応じて、キロワットアワー当たりで1.8銭動く、プルトニウム価格が、グラム当たり2ドル動くのに応じて、キロワットアワー当たりで1.7銭動く、非常にこまかいお金のようにありますけれども、この数字は、プルトニウムの価格が2ドル上下すると、再処理費における10ドルというコスト改善がふいになるということでございます。

予稿に、その具体的な線表を若干つけておきましたので、ごらん願いたいと思ひますけれども、先ほどお話のように、PWRでもBWRでも、出口の濃縮度が非常に低くなりまして、実際に再

処理済みの物質から得られるクレジットはプルトニウムだけになりますから再処理費が40ドル、あるいは、30ドルの場合でも、再処理なしのほうがかえって有利になる。それから、もしもプルトニウム価格が4ドルというような、非常に低い価格に設定されるような場合には、かりに再処理コストが、キログラム・ウラン当たり20ドルというような低い線であつても、再処理しないほうが有利になる。再処理費とプルトニウム価格というのは、そういうかなり深刻な相関がございます。

もう1つの問題は、きょうの諸先生方のお話で、日本における軽水炉のプルトニウムリサイクルの実現の時期というのを、一応1975年以降と考えておられるわけですが、1975年以降のわが国における原子力発電というのは、文字どおり成長期でございます、そこでは、ウラン燃料に最適化された核燃料サイクルが確立され、ウラン燃料の産業が確立される時期でございます。したがって、ウラン燃料については、十分加工費や、再処理費が下がつていつたり、あるいは電力会社のフューエル・マネージメントが非常に一般化することとは、十分予想されるわけでございますけれども、その中のきわめて1支流にすぎないプルトニウムのサーマル利用という部門が、1975年の時点で、ウランに比べて経済的に成立するほど成熟しているかどうかということは多分に疑問であります。というのは、プルトニウムのサーマル・リサイクルというのは、常にウラン燃料の産業が示すいろいろな経済的条件によつて左右されるものでありますから、そちらのほうは、ウラン燃料の産業のほう成熟して、そちらの経済性が高まるにつれて、プルトニウムのほうは不利になるわけです。

たとえば、加工ペナルティーということを考えましても、15%とか、30%とかいう数字がいわれておりますけれども、ウランの加工費が、キログラム当たり100ドルのときに30%というペナルティーは30ドルでございますけれども、ウランの加工費が50ドルに下がったときは、ペナルティーは15ドルでございます。ですから、非常に規模の小さなプルトニウム・リサイクル産業というものは、ウランと同じ速度で加工ペナルティーを半減し、採算性を改善して、経済性を50%高めるといふようなことが可能かどうか、繰り返しますように、プルトニウムのリサイクルというのは、常にウラン産業の経済性との相対的な問題であるということに、十分注意を払わなければいけないだろうと思います。

第3点は、きょうも、諸先生方もおつしやいましたし、これからも、皆さんおつしやるかと思つたのですが、プルトニウムの軽水炉リサイクルの技術開発は、わが国においてやるべきであるというご議論でございます、山田先生がお示しになりました線表によりますと、加工技術から実用炉における照射試験まで含みまして、7～8年間の研究開発計画というものをテーゼにしておられる。では、わが国が考えております研究開発計画は、一体、プルトニウム

の軽水炉リサイクルのフィジビリティを実証するためのものであるのか、あるいはわが国において、プルトニウム・リサイクルを産業的に成立させようとするものであるのか、あるいは電力会社が、実際にプルトニウム・リサイクルをおやりになる経済的諸元を明らかにしようとするものであるのか、そういう点をまずはつきりすべきだと思います。

と申しますのは、まだ計画がはつきりきまつておらないかもしれませんが、新型転換炉においても、プルトニウムのセルフサステイニング利用ということを考えております。高速炉では、もちろんわが国の高速炉計画は、プルトニウム燃料による計画を考えておる。いいかえますと、原子炉においてプルトニウムを利用するあらゆる可能な利用形態を、わが国は手をつけようというわけなのです。軽水炉、重水炉、高速炉という、しかも、皆さんがおつしやるのは、それらの計画はシリーズに並ぶのだとおつしやるのですけれども、1つの計画が7～8年かかるのですから、7～8年の間に新型転換炉のほうは、原型炉をつくる計画があり、高速炉のほうは、実験炉をつくる計画があるわけです。それぞれ、プルトニウム燃料を使うということを考えますと、これは、研究開発計画というのは、シリーズに並ぶのではなくて、並列しているわけでございます。

よく、技術が重複している部分が多いのだといわれますけれども、技術が重複している部分は、中村さんがおやりになつている加工部門だけでありまして、加工した燃料を、照射の試験をしたり、どういう照射ベッドを用意するかというようなことは、なかり、それぞれ試験開発の体系が違う問題でございます。したがって、よほど3つのプルトニウム利用の研究開発の間に、はつきりした前後関係と重点をつくらなければ、物的なロスが非常に多いだろうということでございます。

議長 どうもありがとうございました。それでは、今度は、電気事業者の立場からのご意見を承るとして、まず、東京電力の鈴木さんからお願いいたします。

鈴木 特にかわつたご意見を申し上げるわけではないのですが、電気事業者の立場として、特に、BWRをやつている立場から、2つばかり申し上げたい。

1つは、私どものほうの1号炉というのが、41年の12月から建設に入つてありまして、2号炉は、約1年半ぐらいおくれまして、この3月にとりかかることにしているわけですが、このわずか1年半の間で、設計が相当変わつてきております。予稿にもありますように、出力密度が40KW/eから、2割5分ほど上がりまして、50KW/eになつている。

プルトニウムに関連するファクターとしましては、平衡炉心の燃焼度が、1号のときには2万2,000MWD/MTであつたものが、2万7,500MWD/MTと、2割5分ほど上がつております。これにより新燃料のエンリッチメントも若干変わつておりますが、取り出しの残存ウランのエ

ンリッチが1号のときには、0.9であつたものが0.77と、ほぼ天然ウランに近いところまで下がつてきております。

このことは、プルトニウムの利用という立場からいいますと、先ほどもお話がありましたように、再処理によつて回収されるもののうちに占める、残存ウランの割合が減つてきて、プルトニウムの価値に依存する割合が非常に多くなつたということでもあります。

ですから、1つに、再処理メリットというものがあつて、再処理のコストがどのように回収されていくかというようなことを考えた場合に、そのかぎを握っているものが、プルトニウムの価値だということになるわけでありませう。

もう1つ申し上げたいのは、要するに、確かにプルトニウムが出てまいりますと、その処置と申しますか、それが、現実の問題になつてくるわけでありませう。非常に素朴な考え方ではありますけれども、5年後、10年後で何ドル、たとえば、10ドルなら10ドルという価格が想定されておりましたも、現在、たとえば7ドル半の価値が認められるということになりますと、これは、経済的な点からだけいえば、当然そのほうがよろしいということになります。金利を考えますと、そういうことになる。

したがいまして、たとえば、再処理を前提にしますと、電力会社の立場からいえば、再処理コストは安く、しかも、プルトニウムの価値がなるべく早急に出てくるということが望ましいので、その現実化に一番近い位置にあるといわれております軽水炉への利用をプルトニウムの余剰の発生の時期に合わせて研究開発をしようということは、きわめて望ましいことだと考えられるわけですね。ただ、いままでのお話にもありましたように、そのころには、ウラン燃料というものの技術進歩が非常に進んでいるだろう。加工部門においてもコストダウンがなされておりますし、炉心寿命、その他の実証技術も、比較できるようになつていっている。そういうものに対抗して、プルトニウムの燃料を魅力のある形にまでもつていくということは非常にたいへんなことで、内外の協力によつて問題を解決していかなければいけないという状況なのではないでしょうか。

議長 どうもありがとうございました。それでは、次は、関西電力の藤井さんから、PWRのプルトニウム・リサイクルについてのご意見を伺いたいと思います。

藤井 PWRを使用します立場から、プルトニウム・リサイクルの問題を考えてみたいと思います。プルトニウム燃料をPWRにリサイクルしました場合に、現在では、プルトニウムとウランの混合燃料の形で行なわれるわけでございますけれども、 UO_2 だけの炉心に比べまして、先ほどいろいろの講師の方からご説明がございましたように、核的及び熱的な性質が違つているわけでございます。そのおもなものは、最適の水対燃料比ですとか、コントロールのケミカ

ル・シムのワースですとか、遅発中性子の割合、出力係数、ドップラー係数、減速材の温度係数、あるいはローカルのピーキングというような点で、様子が違っております。また、この2種の燃料の境界には、かなりのパワーヒーティングを生ずるともいわれております。一般に、このように新しく開発される燃料が、コマーシャル・プラントに使われるに至りますまでには、典型的に申しますと、次のような段階が含まれているようでございます。

それは、まず第1番目に、臨界実験によりまして、核的データと計算方式の適当性のチェックが行なわれます。その次に、今度は、特定燃料の設計、基礎を得るための臨界実験が行なわれます。このような臨界実験をもとにしまして、設計、製作されました燃料は、次に試験炉に入れられまして試験照射、デモンストレーション運転が行なわれるわけでございます。このような過程を組みまして、確実にだいじょうぶであるとわかつたものが、いよいよコマーシャル・プラントに入れられるのでありますけれども、その場合にも、通常次のように3つの段階がとられているようでございます。

まず、1ないし数アセンブリーを試験的に挿入しまして、次に、部分炉心の装荷、たとえば、1リージョンの装荷、そうしまして、最後に、全炉心の装荷ということになるわけでございます。このように慎重な過程が踏まれますのは、コマーシャル・プラントには、申すまでもなく、電力の安定、供給という社会的な責任が課せられておりまして、最近のように、原子力プラントのユニット容量が50万ですとか、75万KWというように大きくなつてまいりますと、1つのプラントの系統内における比重が著しく重くなりまして、軽々しく炉をとめるということが許されないからでございます。

米国のRWRへのリサイクル用のプルトニウム燃料の開発に例をとつてみますと、まず、先ほどからご説明のごさいましたように、臨界実験はESADAの計画として行なわれておりますし、デモンストレーション運転はSaxtonの炉を利用しております。そして、これは、現在、最終のステージでございます。ついで、EEIとウエスチングハウスの共同計画によりまして、1970年か71年ごろにはヤンキー炉を、まず数アセンブリーで、次には一領域部分炉心で運転をするという予定になつておりますが、最近の情報では、この対象となります商業炉としまして、ハダムネット、サンオノフレなどの名前もあがつているということでございます。この一連の計画が、アメリカで1973年に予定されておりますところの特殊核物質の完全民有化の時期までに、プルトニウム・リサイクルのメドを得たいという気持ちで進められているということは明らかでございます。

一方、わが国のプルトニウム・リサイクルの開発体制を見てみますと、BWRのほうは、動燃事業団、原研、原電の協力のもとに、まず、原研のTCAを利用する、プルトニウムーウラン混

合炉心の臨界実験に始まりまして、JPDR でテスト・アセンブリーの照射が行なわれます。これは、将来、部分炉心または全炉心でのデモンストレーション運転に発展する可能性を含んでおります。

最後に、先ほど吉岡講師のほうからお話のございましたように、敦賀炉でテスト・アセンブリーの挿入試験を行なうという一連の開発路線がひかれております。しかるに、ある意味では、いわゆるプルトニウム・プレッシャーがより高いといわれておりますところのPWRについては、現在のところ、BWRほどのはつきりした開発路線がございません。これは、BWRにおけるJPDRのような適当な試験照射ないしデモンストレーション施設がないということが、1つの大きな原因となつていられると考えられます。そこで、その面ではどうしても海外協力に依存せざるを得ないということが明白でございますので、適当な試験照射、試験運転の施設を選定いたしまして、それで行なわれる計画に参加する道を開くということが必要なのではないかと考えられます。また電気事業者としましてこの開発への寄与できる点はほとんど炉の使用を許すということくらいしかないわけでございますから、先ほど申し上げましたような、コマーシャル・プラントとしての制約に触れない限度内で、できるだけ便宜を供与すべきではないかと考えられます。

いずれにしても、PWRの場合には、まず動燃事業団、原研、燃料メーカー、電気事業者などがよく話し合いをしまして、もしPWRで生じたプルトニウムは同じPWRに返したほうがよいということになりますれば、わが国のプルトニウムのプレッシャーが上がつてくると予想されます。1970年代の中ごろに一応のメドがつけられるように、海外協力をも含めまして、無理のない、最も金のかからないような開発スケジュールと、そのスケジュールの中におけるおのおのの役割りを考えるということが先決問題ではなからうかと考えます。以上が私の意見でございます。

議長 それでは、次は原子力発電の今井さんからお願いいたします。

今井 先ほど武井さんからお話があつたことなのでございますけれども、これは、考えてみると、武井さんのいつておられるのは、やるのだつたらよく考えて、よく注意してやつたらいいだらうというご意見のように承りますので、私が申し上げようと思つてゐることは、ある意味でいうと、非常に常識的なことなのでございますけれども、どういふことを考えてみたらいいかということになると思ひます。

プルトニウム・リサイクルということを経水炉に対する1つの燃料サイクルのモードとして取り上げるかどうかということを考えるときには、当然リアクターのオペレーターのほうからしますと、その経済性がどうなるかということになると思ひます。経済性を考えますときの1つの大きなファクターは、当然先ほどから何度もお話の出ておりますファブ리케이션・コスト

の問題、ファブリケーション・ペナルティといわれておりますけれども、これが多量生産の場合、あるいは量の少ない場合、それぞれに対してどういう種類のことが起きるのかということが1つ問題になるわけです。

もう1つの問題は、ことに従来でいいますと、BWRの場合に大きな問題だといわれておりましたように、プルトニウム・コアを入れたときに、これは当然ウランのコアの中にだんだんにまぜていくわけでございますけれども、その際に、プルトニウムの状況により、かつコアの1つ1つの燃料サイクルのバーン・アップのライフに対して、核熱的な意味で、どういう使い方をしたら一番オプチマムになるのかということが経済性にすぐつながる問題になるのだと思います。

この2つにつきましては、けさからいろいろな講師の方からお話もございましたし、かつ世界的にいろいろなところで研究が進められていることであつて、いまのところ当然なのでございますけれども、これは研究中のことであつて結論はまだないのだということのように思います。

経済性を考えますときに、3番目の問題というのは、これも何度もお話が出ておりますプルトニウムのバリューは何なのだ。1つはリサイクルとして燃やす場合のプルトニウムがどういうバリューをもつかということと、軽水炉の通常のウランサイクルの場合の燃料コストをきめるためのプルトニウムのバリューは何かということと、両方になるわけでございます。よく、ご承知のように、現在のところプルトニウムの値段は、いろいろな、生産コストであるとか、理論的なウランとのイクォール・バランスをきめた値段であるとかいうものはあるけれども、マーケットバリューというものはほとんどないのだと思います。このバリューを一体どう考えたらいいかというのが、いろいろお話の出ていますように、再処理コストとの対比をどう考えるとか、リサイクルといつても一体何べん回すのかという種類のことがあると思います。これもお話をうかがつておりますとわかりますように、現在のところ、別にこの面から、つまり1つのリアクターを取り上げて考えてその燃料サイクルの経済性の比較という形からは現在結論を出すことはできないのだ。それで、しかたがございませんものですから、幾つかの国でもやられておりますし、わが国でも最近になつて行なわれておりますのは、リアクターのシステムを全体として考えてみる。つまり軽水炉がどういう時点で、どういう性能の軽水炉がどのようにつくられて、それがどういうプルトニウムをどういう時期に出してくるか、それに対して改良転換炉のようなものがどういう時点で入ってくるか。それから高速炉の、これも初めは単なる高速炉からブリーディング・ゲインのだんだんよくなつてくる高速炉が、どういう時点でどのように入ってくるかという1つのモデルを考えまして、その中でプルトニウムに

特に値段を与えないで、パラメーターにして、どういう使い方をしたら一番オプティマムになるかという計算が行なわれているわけです。このモデルをやる場合には、逆に申しますと、1つの国の原子力の発電所のシステムをクローズド・サイクルにしているものでございますから、その中へプルトニウムなり、ウランを出し入れしてやることで、プルトニウムの値段が幾らになるかということを一応きめることができる。これをやろうと思いますと、非常に困りますことは、先ほども鈴木さんのほうからお話ございましたように、たとえば BWR 1 つをとつても、1年半から2年の間に出力密度も、バーンアップも、いろいろなことがどんどん変わってしまう。つまり、技術の進歩というのが非常にあるわけです。

したがって、それをさらに高速炉の場合に対して、どの時点でどういう技術の進歩があつて、だから何年何月にどういう高速炉が幾つできるかということを決算するというのは非常にむずかしいことになりまして、かつ非常に困りますことは、これを行なっているほかの国の場合には、それぞれ自分自身の研究開発計画をもつていて、研究開発の仕事をやつていて、その成果がいつあがるからというので、過程を立てるのでございますけれども、わが国の場合には、現在のところ、非常に残念なことに、軽水炉についても、改良転換炉についても、高速炉についても、自信をもつてどの時期にはどういう性能のリアクターが入るといふことの仮定の立てようがないわけです。したがって、これはシングル・リアクターで考えてみても、こういうシステムで考えてみても、どうもプルトニウムのバリューといふのをいまきめ、それから、それに従つてどういう使い方をするのが一番いいといふことをきめるといふことは、どうもできないように思われます。

そういうことから結論として出てまいりますことは、そうすると、いまプルトニウムをどう使つたらいいかということを決めてしまうといふことはできないのであつて、むしろこの技術開発をやることで、どういう別の便宜といふか、利益があるかということにしかどうもならなそうだと思います。

その1つが、最初に申し上げたファブリケーションのペナルティの話とか、ファブリケーション・コストの研究、あるいはファブリケーション自体の研究、それから核熱的にオプティマムな使い方をするにはどうしたらいいかという研究、これは実はプルトニウム・リサイクルの研究といふのでございますけれども、当然軽水炉全部の研究になることであるし、かつこれを実施してみるということ、いわゆる軽水炉の燃料の国産化ということを非常に促進することになるのではないかという気がします。

最後に経済性のことで申しますと、技術開発だと思つて考えれば、開発費が幾らかかるのだといふことは、1つの技術を使うかどうかということを考えるための、非常に大きな経済的な

考慮にあると思いますけれども、開発費のほうは、いろいろの計画をして、あるいは考慮を試みる中から申しますと、ほかの大きなプロジェクトに比べて1けた以上低いわけです。かつ現在ある施設とか、これはリアクターのほうも、加工施設その他のほうもそうなのだと思いますし、現在ある施設を使つて、先ほどから何度も出ましたように、軽水炉ではすでにプルトニウムを燃やしているという実績の上に役立つの仕事のことである。そう思いますと、やはり先にいつて、プルトニウムをどう使うのがよくわかつてきたときに、事実上の選択がよけいあるということ、それから現在の時点で、これをやつていくことは、軽水炉燃料の国産化のために、かなり資するところが大きいのであるという感じがしますので、私の意見としましては、現在の時点から早急に、技術のフィジビリティを確立する。技術のフィジビリティを確立するというのは、当然経済的にどういうメドがつくかということを考えに入れてということだと思いますけれども、それに着手するべきなのではないかと考えるわけです。

議長 それでは今度は燃料加工者の立場からのご意見を承るとして、まず三菱原子力工業の関さんから、PWRに関係してお話し願いたいと思います。

関 いままで、すでに多くの講師の方のお話がありまして、プルトニウムをサーマルに使うのがいゝのか悪いのかという議論は、一応アイテムとしては出しつくされております。たゞし、その結論というのは、到底この席上で出るものでもないでしょうし、まだかなりの時間をかけて検討される事が多いだろうと思います。しかし、そういう状態でありましても、プルトニウムをPWRに入れて使えるという事は殆ど疑う余地のない程度にまで実証されてきているのではないかとわれわれは思っております。あと残っておりますのは、米国の情勢を見ますと、やゝ工学的な試験、つまりもう少し大きなリアクターに入れて試験を進めていくという事があります。その技術開発が非常なテンポでこの数年間に進むであろうと予想されております。米国でPWRについてプルトニウム利用の技術が非常な勢で進んでいくという状態である場合に日本で、PWRのリアクターを建設し、その燃料を作ろうというメーカーが日本のPWRにプルトニウムを使えるか使えないかわからないといつて逡巡するわけにはいかないのでございます。

その一番大きな理由は、計算上だけからいえば、先程から何度も話が出ておりますように、日本では昭和50年を越えてきますと、プルトニウム・プレッシャーといつてプルトニウムが何らかの形で原子力産業に圧迫になることは明らかでございますが、そのプルトニウムをPWRに使えるという技術はその時までには完成される事は、ほぼ間違いないと予想されていることでございます。

それで、もしわれわれが今こゝでぼんやりしておりますと、米国の計画は大體昭和47年ぐらいが終点でございます。その時期が核燃料の完全民有化という時でございますので、商業用

のプルトニウムというのは、自由に処分をされるようになります。むしろ民間で処分をしなくてはならなくなるわけでございます。そういう時点を目ざして米国の技術は完成されると予想しております。そうしますと、米国は自分のところで完成した技術を、やはり海外に売り出したPWRへも売ってくることは間違いのないわけでありまして。たとえば米国のメーカーは、日本にPWRを売った時に、その燃料を米国メーカーから買っていたとすればプルトニウムの買い戻しを提案します。あるいはプルトニウムはこうやつて使うと非常によろしいですよという、それまでの研究結果を売り込んでくると予想されます。われわれ国内のメーカーは、それまで一生懸命ウランの燃料国産化ということで非常に努力をし、労力を費し、プルトニウムについては、米国がきたらその時に受け入れればいゝという状態であれば、その時点で米国の売り込みをわれわれとして受けとめる事ができないのではないかという心配をしております。

という事は、ウラン燃料の場合がそういう状態であつたわけで、そこで再びPu燃料で5年の差をつけられるという事は、やつとウランの燃料の国産化が軌道に乗り始めると予想しておる昭和47～48年に、またプルトニウムの燃料で頭を押えられてしまうということが、われわれ核燃料製造を志しておりますメーカーにとりまして残念な事でありまして。こゝで頭を押えられて次へ進められないという事態を非常に心配しているわけでございます。

それでは、その心配をなくするにはどうするかといゝますと、どうしても米国でそういう技術が完成される時迄にそれと必ずしも同時でなくてもいゝわけでございますが、昭和51年以降ぐらいに実際にプルトニウムプレッシャーが考えられますから、それ迄にプルトニウム利用の技術を完成することが望まれます。つまり、米国がやつておる技術開発に、日本の技術開発の歩調を合わせておくことがよいと思います。こゝで歩調を合わせるという意味は、全然独立にやるということではなくて、部分的な協調をするということでありまして。つまり独立に開発するということになるといろいろ問題が出てくるわけで、日本だけでプルトニウムのサーマル利用技術を確立するということは、あまりにも日本の軽水炉についてのレベルそのものが米国と差がありすぎると考えられます。そうしますとやはりどこか海外の研究開発に参加して、その一端を分担するというような形で研究協調するのがよいと思います。そうして先方の技術が完成するとほとんど同時に日本でもその技術が完成されていることができると思います。

しかし、そのような技術が完成しましても、これを日本へ商業ベースで導入しますには、先程藤井さんからもお話がありましたように、日本での実証では困るわけでありまして。PWRの場合がことに特殊な事情かもしれませんが、日本にPWRの試験設備がないことが非常に困るわけで、どこか海外に実証を依頼せざるを得ないわけでありまして。日本で全然実証を行わないで、米国でできたものをそのまま日本のコマーシャル炉へほうり込むわけにはいかないとはいけません。

こういうことになりますとやはり日本にPWRを設置していたとております電力会社の方に、絶大のご協力をお願いすることになります。すなわち電力会社の方が成程面白そうだから使ってみようという気持ちをもつて頂く必要があるわけです。しかしいきなりはじめからそういう気持ちをもつて頂くのは無理だと思いますので、国の全体のプロジェクトの1つとして、こういう考え方をとり上げて頂くのがよいかと思えます。

先程お話がありました特定総合研究というのは話が進みつゝあるそうでございますが、BWRもPWRも合わせて最後の実証をどうするかという所まで含めた形でお考えいただく必要があるのではないかと考えております。

議長 では、燃料関係の、次は日本ニュクリア・フュエル社の岡島さんから、今度はBWRの立場からお願いしたいと思います。

岡島 先ほどからお話がありましたように、わが国では、昭和50年以降にプルトニウムが余つてくるという問題が出てくるであろうと予想されております。一方、すでに非常に大量の軽水型の動力炉が発注されましたアメリカでは、これよりも早くこういった事態が起こってくるであろうと、これもほとんど確実に予想されておまして、そういう意味から、GEでは1970年代の初めに、BWRへのプルトニウムのリサイクルが始まるであろうという予想のもとに、研究開発を急いでおります。今後このアメリカにおけるプルトニウム・リサイクルの問題が、どのように進んでくるかということは、好むと好まざるにかかわらず、わが国にもかなり影響するところが大きくなつてくると考えられるわけでございます。現在、BWRへのプルトニウムのリサイクル燃料は、2～3%程度の酸化プルトニウムを、天然の二酸化ウランと混合しました燃料が考えられておりますが、その場合に、プルトニウムとU-235の分布を変えました何種類もの設計が考えられるのでございまして、この点でプルトニウムを最も有効に利用するため、どのような設計が最も適切かという研究が必要であると考えられております。またもちろん、これと同時に、先ほどからお話のございましたプルトニウム燃料の加工のコストを引き下げる。そして設計性能を保証し得るような燃料加工技術を確立することがもちろん必要でございますが、これらはいずれも将来さらに開発されていきまして、実現されていくであろうという予想がされているわけでございます。

このリサイクル用のプルトニウム燃料の加工技術は、現在のBWRに用いておりますUO₂燃料の加工技術の大部分を利用することができるのでございまして、今後工業的に確立していくべき点と申しますと、これを非常に大ざっぱないい方でございまして、大体3つぐらいに要約されるかと思えます。

その第1番目は、量産に最も適した加工処理条件を確立することございまして、これによ

つて大幅なコスト引き下げをねらおうというものでございます。

2番目には、プルトニウムの保健物理的な管理が重要なこととありますが、これは加工コストにもかなり著しく影響するものでございます。こういう点で保健物理的にも最も経済的なプルトニウムの処理法というものを確立する必要がある。

3番目には、これはプルトニウムの性能と加工の関係がからんでまいりますが、要求されているプルトニウムの均一性というものが、どの程度まであればいいのかということを決定的なことでありたいと思われたい。

このようにしまして、BWRへのプルトニウムのリサイクルは、やがては安全に行なえるようになるであろうと予想されているのでございますが、実際のディテールについては、今後研究開発をやつて明確にしていくべき点がかなりあるとされておりまして、何よりも実用の動力炉で大規模の高燃焼の照射試験を行ないまして、運転経験データを得るといふことが特に必要であるといふことが強調されているわけでございます。

このような状況に対して、わが国での軽水炉へのプルトニウム・リサイクルの研究開発が、ただいまのお話でございますように、今後本格的に行なわれるであろうと思ひますが、この研究開発といふものは、決して技術鎖国的なものではなくて、海外のすぐれた技術といふものもどんどん取り入れていくことがもちろん望ましいと考へるわけでございます。

この点とはちよつと観点が違ひますが、プルトニウムの燃料をいざ加工するといふことになりますと、この場合の加工施設は UO_2 燃料の加工施設とは別個のものになるのでございまして、この建設には多額の費用が必要とございます。したがひまして、私ども燃料メーカーの立場から申しますと、今後わが国でも軽水炉へのプルトニウムのリサイクルといふものが、どの程度のスケールで、いつから、どれぐらいの期間行なわれるであろうかといふことが重要な問題になつてまいります。したがひまして、こういう点に関しまして、できるだけ早い機会に見通しがつけられることが望ましいと考へております。

議長 次は動燃事業団の中村さんから、いままでもプルトニウム燃料の研究開発をやつておられますので、その経験などをもとにしてお話し願ひたいと思ひます。

中村 どうも、あとからしやべるのは、だんだんたねがなくなつてまいりますし、時間はなくなりまますし、たいへん損でございます。しかし、私自身、もう議論におつき合ひするといふ気持ちは、大体なくなつてまいりました。きようは少しくこの大会の皆さんの趣旨から反するかもわかりませんが、最近プルトニウムを實際扱つてきたといふ経験をもつていふ立場から、体験しつつある問題の幾つかをご紹介して、それを皆さん方で考へていただく、この

ようにしたいと思います。

先ほどの鎌田さんのお話でもございましたように、2年とちよつとばかり作業を続けてまいりました。その前の幹部技術者の海外機関での実習期間を加えますと、かれこれ5年の体験をもっているわけです。その間、特に重大な事故もございませんでしたし、何がしかの仕事をさせていただいているように思います。現に、いまGEの材料試験炉では、われわれのサンプルが4個いま燃えている最中でございます。また原研のご協力によりまして、昨年10月からほんのささやかな臨界実験ではございますけれども、この国でプルトニウムを使つて、一応臨界にもつていつたということもやつております。

このようにして何がしかはやつてまいりましたけれども、いまの気持ちをそのまま述べるならば、軽水炉リサイクル用のプルトニウム燃料の開発といつても、これはなかなかたいへんだという気持ちと、実際やつてみると、初めは非常に神秘的なもののような、非常にむずかしいもののような気持ちをもつておつたわけだけれども、やつてみれば別に何ということはないではないかという、両方相反する気持ちをこもごもともっているわけです。

平田さんも言われたように、一体どこが違うのかというと、これは違つたところはほとんどございません。プルトニウムを燃やすというのはそんなにむずかしいのか。これも吉岡さんもおつしやいましたように、現にウラン燃料でも最後になつたらプルトニウムが燃えている。ですから基本的な問題はない。ただ、それを実用化という段階にもつていくとなると、これは問題がある。少なくとも原子炉所有者の皆さん方にご満足のいただける燃料をつくらなければならない。こういうことになりますと、まず第1に安心して使えるものでなければならない。それから、うんと高くつくるのでは話になりません。ウラン燃料の加工費と比べてべらぼうに高くつくのでは使い気も起こらないでしょう。

それから、先ほど皆さん方のお話が出ましたように、燃料の設計として、ウランとプルトニウムは核的性質がかなり違います。そうすると完全に最適化ということは不可能であるにしてもなるべくプルトニウムのもっている潜在価値を高めたような状態で使うようにする。そういうことを考えなければいけませんし、それからプルトニウム燃料といえども、それが単に使われたということでおしまいになるのではなくて、照射したあとの再処理が必要でございましょうし、さらに再抽出されるプルトニウムをどう経済的に位置づけるか。こういう技術上の問題、つまり1つのサイクルという立場で考えなければならない。これは高速炉燃料でも、もちろんそうでもございまして、単につくられた燃料がそのプラントで使えた。それで完成ということではもちろんございません。発電プラントをめぐるこの燃料サイクルと、それをいかに経済的に位置づけるかというのが動力炉の開発であり、燃料の開発でなければならないと考えておりま

す。

このように考えますと、藤井さんなり、鈴木さんがご注文なさいましたように、いわゆる実用化の段階に入るためには、正味時間がかかります。いくらじたばたしてみても、照射試験、先ほど鎌田さんも言いましたように、かなりの時間がかかります。

そのほかのこと、申し上げたいこといろいろございますが、時間がありませんので、私の予稿集にはかなりのデータを書きおいたつもりでございます。これは大部分私たち自身のデータでございますから、あとでゆつくりお読みいただいて、ご判断いただきたいと思っております。さしあたって、技術的なむずかしさということで、具体的な例として、あと2～3分いただきます。

ハルデンの照射試験のことについてちよつとご説明しますと、ハルデンの159というのは、ペレット型の燃料で、 3×3 の集合体の状態で、この8月から、来年12月までもつていくことになっております。すでに製造もあらかた終了しているという段階ではあります。これで、何が一番むずかしかったか、それは、ウランの場合には、ハルデンでもかなり経験がございます。ですから、どの場所へ入れた場合に何ワットパーグラムの発熱があるか、あるいはピーキングをどのぐらいとればいいのかというのは、一応バックデータがそのまま適用できる。ところがプルトニウムについては、ハルデンの連中といえども、これは初めての経験であります。したがって、有効断面積といいたし、クロスセクションが明らかでない。ピーキングが大きいということは当然わかりますけれども、それをただ無目的に燃えた、燃えたでは意味がない。将来、軽水炉、さしあたって次の段階として考えているJPDRに入れる場合に、その要求される最大ローカル・ヒート・フラックスを、ハルデンの照射試験のこの集合体の中で実現してみたいと考えたわけでありまして。そうすると、その設計をどうやって評価していくか、これは、率直にいつてたいへんむずかしいのでございます。ペレットの製造とか、燃料棒の製造自身は、13図に幾つかのデータの実績が書いてございます。

初めにSAXTONのスペックに比べて、それ以上、ややシビアな態度にスペックをきめてやってみました。まあまあ何とかやれたように思いますが、それも、この表に、まことにお恥ずかしい、初めのうちはみじめな合格率でございましたが、それは、繰り返していくうちに何とかなつたという歴史過程を書いてございます。ですから、何とかつくるということはそれでいいかもわかりません。ところで、この次には、VIPAC型の燃料にしたいと考える。これは、グローブボックス作業のコストペナルティを下げるという意味に効果があるのと、それから、プルトニウムの断面積が大きいのでございまして、非常にパーターベーション(Perturbation)が大きい。それを、むしろ避けてうまく使うという意味からいいますと、低密度の燃料棒であ

るほうが、実質的に水対燃料 ratio を上げるということになる。そういう意味で、このVIPAC というのが非常に望ましいと考えているわけですが、これも炉の中で燃えていく変化を織り込んだ設計をどうしていくか、また、それをどうしてつくっていくかというのが、いまの私の問題でございます。

しかし、いままで運転操業をやつてまいりまして一番気を使つたのは安全管理でございます。この安全管理というのは、単に設備とか、安全要員、保健物理の要員を置いておくということだけではございません。結局、全従業員を含めて、環境の整備といいたし、いわゆる精神衛生上のめんどうまで十分考えた上で、つまり総合されたシステムを確立するということにあります。ところが、この第9図というのは、加工コストを生産規模との関係で、コスト要因を一応解析してみた、ごくラクな解析でございますが、その結果ですが、その図でござらんになりますように処理量が小さい間は、こういう間接経費が非常に大きな比率を占める。大量取り扱いはなれば、それはかなり吸収されると計算されておりますけれども、それでは、そういう大量に処理をするという時代が、いつ、どうやってくるか、それがどう考えるかというのも1つの問題のように思います。少しく時間を超過しましたが、以上でございます。

議長 どうもありがとうございました。それでは、最後に、科学技術庁の萩野谷さんから、お役所の立場から、以上とりまとめて、プルトニウム・リサイクル全般について、お話し願えれば幸いです。

萩野谷 さすが、パネル・メンバーに選ばれた皆さんだけあつて、非常におしやべりで、私の時間が全然なくなつてしまつたのですけれども、1～2分しやべらせていただきたいと思えます。

まず、リサイクルの意義ということは、何といつても、核燃料の有効利用ということの一言に尽きると思うのですけれども、それについても、先般から民有という話がございまして、皆さんご存じのとおり、7月1日から完全に民有ということで、もちろんこの陰には、日米協定、日英協定が、多分そのころに、大体署名も近くすみそうですし、国会の批准を得て、7月までに発効するという見通しもほぼつきましたし、7月1日から民有、民有というのは、この場合、日本への到着ベースと私どもはいつておりますけれども、7月1日以降着くものについては民有、こういうことで、これに関連する契約は、いまからどんどん民間でおやりになつてけつこうだという考え方になると思うのです。そういう背景で、有効利用リサイクルというのを考えていくべきではないかと考えているわけです。

といいますのは、民有の意義というのは、前々から方々でご議論がありますように、業界の自主性、そして、創意くふうを生かす最もいい道だということにつながる。

もう1つは、原子力発電所の燃料を政府の金で買っていたのでは、政府の予算のほうがかんくしてしまいますから、そういう意味からも、予算の節約という、それは消極的な意味だと思いますけれども、そんな意義からでございますので、また今後出てくるプルトニウムは当然民有でございます。そのプルトニウムをいかにうまく使うかということは、一義的には産業界の皆さまの考えで、昔は、できたプルトニウムは国が買い上げろとか、いろいろなそういう措置がございましたけれども、あれは、国有化のときの考え方であつて、民有化になれば、当然、そういう考え方は変わつてこなければならぬのではないかと思います。現に、アメリカでも、質濃縮して購入した濃縮ウラン中に生成されたプルトニウムというのは、買い上げはやらないのだということを前々からいつておりますが、同じような政策が、当然日本でもとられるのではないかという気がしております。そういう意味合いで、多分、いままで皆さんが、プルトニウム・プレッシャーということを盛んにおつしやつていたのではないかと思います。そういうことから考えますと、そのプレッシャーを解決する道をいろいろ開いておかなければならない。これは、山田委員が一番最初にご説明申し上げたと思いますけれども、どのように使われていくか、それは、最終的な高速炉に使つて、それが一番有効利用だと思いますけれども、その間に、経済的な意味を含めて有効利用するためにはいろいろな道があるのであつて、その1つの大きな道が軽水炉へのリサイクル、そうすれば、そのリサイクルができるような技術的な基礎をつくつておくということがたいへんだいじなのではないかと考えているわけでございます。

それで、この予稿集にもちよつと書きましたけれども、いま、そういうための研究開発が行なわれたのはほんの一部でございまして、早くこういう研究開発に、産業界でもお入りになつていつでもそういうプルトニウム・プレッシャーが解決されるような場をつくつておくということが大切なのではないかと思います。それで、特に、いままでの日本の歩み方を考えてみますと、燃料が非常な原子炉のかなめだということは、よく認識され、いわれながらも、かなめなるがゆえに、その燃料だけが慎重に輸入という例が多かつたと思います。こういう例をあげていかどうか知りませんが、JMTR にしましても、炉体は国産でも燃料は輸入ということで、1次、2次燃料は輸入ということになつております。しかし、今後の日本の原子力開発、発電の長期計画については、そういうことではなくて、やはりかなめから自主技術を使つてやつていかなければいけないのではないかと考えているわけです。

議長 どうもありがとうございました。以上で、各メンバーの一とおりのご発言が終わつたわけでございますが、時間もだいぶたちましたけれども、2、3発言していただきたいと思つた先ほど、武井さんから、わざわざ異を唱えていただいたということでございますので、武井さんのご意見について、各メンバーから、いろいろ反論もあろうと思つたのですが、どなたか

発言願えませんか。平田さん、どうですか。

平田 武井さんのおつしやること、あまり手を広げてしまつて、どうしようもないようになるとおつしやることはよくわかるのですが、ざつと考えて、1つの点は、何千万キロにも達する軽水炉が、その寿命の間動かさなければならぬ。これは事実だろうと思うのです。そうしますと、いまU-235の量にして、100万キロ当たり約5トン、U-235が要る。そうすると、3,000万キロの軽水炉を保有するためには、大体、年々60トン近いU-235を使わなければならないというのも事実だと思ふのです。それから、原子力発電をやるということは、国の最も大切なエネルギーに対する安定な確保だということも事実だと思ふのです。そうしますと、60トンというU-235を全部アメリカにたよりきるといふことは、原子力によつてエネルギーを分散して確保するというフィロソフィーとは非常にはずれた行為だと思ふます。

もう1つ、非常に早く高速炉ができたとしても、高速炉が、わが国のエネルギー・デマンドにちょうど追いつくだけのダブリングタイムを実現することができるというのも、非常に見込みが薄いと思ふのです。だから、きのうの午饗会の宇佐美日銀総裁のお話を、私、いま思い出されるのですが、とにかく方々の国が仲よくするということは非常に大事なことのだけれども、あてになるのは、やはり自分だといふことをおつしやつたので、幾ら先に高速炉ができるから、それをもつていけばうまくいくということになつても、とうてい足りないものであれば、必ず旧式なものといえども、もたなければならない。軽水炉に対して、いま、1MWに0.2キロですか、あれの計算でいくと、吉岡さんのおつしやつた東海炉の場合ですと、1MW当たり0.6キロぐらいでして、非常に大きいのですが、100万キロに対して0.2トンのプルトニウムが生産される。そうすると、大体半分ぐらいです。これは、一番最初の簡単なものへ出てきたら、熱中性子炉では増殖ができないという、本の一番最初に書いてある話と、たまたま同じになるのですけれども、約半分ぐらいのものは自分の手でまかなえる。そういうことに対しては、いささか勇ましいのだけれども、議論なくやることに、私自身は何の憂いもないのですが、武井さんは、あまり手を広げるから、それをやめろとおつしやいますか。

武井 平田さんのおつしやつたことは、確定的な問題と、不確定的な問題と、すつかり読み違えておられるのです。非常に失礼ない方ですけれども、わかりやすく申し上げますと、いま、プルトニウム量を計算されるときには、いま平田さんのおつしやつたように、キロワット当たり1年間動くとこれだけのプルトニウムができる、何年ではどれだけの運転がされているから、これだけのプルトニウムができるというふうな計算をしているのですけれども、先ほど、こちらの講師の方々から述べられたように、再処理の日程からいつても、将来の軽水炉の燃料の燃焼技術からいつても、再処理コストからいつても、電力会社のそのとき、そのときの

ビヘービアからいっても、プルトニウムがどういう形で現実に余ってくるかということは、計算しているよりもはるかに少ない量、おそらく+0、-50%ぐらいのカーブであろうと思うのです。したがって、何年には何キログラムというプルトニウムの量を確定することは、一番不確定なことを確定していることになるということが第1点。

第2点は、確かに結果論として、そういうかっこうで出てきたプルトニウムを、ウランにかわって使った場合に、ウランの消費の節約ができますし、外貨の削減というのは、もちろんできるわけでございますけれども、考えてみますと、1975年から80年というような、これから10年後ぐらいの原子力発電というのは成長期であります。成長期というのは、いいかえますと、ウランのインベントリ需要が非常に大きい時期であるわけです。したがって、日本の基本的な需要というのはウランであり、その中のインベントリ用のウランなわけです。プルトニウムが代替できるのは、取りかえ燃料のうちのごく一部である。結果論として、出てきたプルトニウムを全部取りかえ燃料に取りかえたときに、理論的に30%代替できるというだけであつて、年々、あるいは5年なり、10年なりの期間をとつたときに、取りかえ燃料の何十パーセントが、プルトニウムによつて置きかえ可能かということは、きわめて限定された問題になるだろう。

第3点は、高速炉の実現される時期が非常に不確定であるということが、こういうお話の1つの前提になつておるわけでありましてけれども、1964年の末に、アメリカで軽水炉の非常に爆発的な建設が起こつた時点をお考えになりますと、そのときまでにアメリカでは、20万キロオーダーの軽水炉が2基しか動いておらなかつたわけです。1958年から63~64年までの非常に原子力発電の沈滞期の中で、メーカーがやりました技術開発が芽をふいて、年間1,300万とか2,000万とかという建設が続いているわけです。なおかつ、それだけ大きな建設が続いている過程で、経済性も向上しているし、燃料の性能も向上しているわけです。これから10年なり、15年なりたつたあと、1980年の初めとか、1970年の終わりとかで、各国において、高速炉の原型炉が、3基なり、4基なり動いて、それらの運転経験が3~4年たったとき、また、非常に先進的な国で、1980年を待たずして100万キロの高速炉が動かされたような時期というものを考えたときに、一体、1963年ぐらいに予想していた軽水炉における経済性の不安定と、これから10年ぐらいたつたあとの1970年末における高速炉の経済的な不安定性と、どちらが不安定だとおつしやるかというわけであります。

日本は、不幸にしてそういう情勢の中で、情勢の決定的な支配権をもてないかもしれませんが、もてるように、いまからプロジェクトをお立てになるわけですからけれども、もてないかもしれませんが、しかし、技術なり、原子力発電なりが現実に成熟し、現実に、そういう体系ができ上が

っていくという過程を、少しマクロにごらんになれば、軽水炉における経験からも、いちがいに高速炉は不安定であるという前提を、いつまでも引っぱっておく必要はないのではないかと考えます。

したがって、もしも高速炉の実用時期が具体的に確定したり、あるいはプルトニウムの価格が、10ドルとか、9ドルとかというのではなくて、不幸にして6ドルとか4ドルとかいうことに設定されたときは、われわれが、いまやつておる議論というのは全部違ってしまうわけです。そういう可能性がないということは絶対にいえないということでございます。

議長 山田委員もいっておられたように、将来、原子力に対するプルトニウム・リサイクルを採用するということを、いま、この段階できめるというのではない。ただ、そのことに備えての研究をやるということをおつておられたわけですね。

それから、将来のプルトニウムの利用としては、高速増殖炉あるいはいまの熱中性子炉への利用、あるいは先ほど武井さんもいっておられたように、ATRの利用、いろいろな問題があるわけでしょうけれども、今度、軽水炉へのプルトニウム利用を研究することが、これらと非常に矛盾するか、あるいは先ほど、技術者の問題、あるいは金の問題などいっておられますけれども、これは、お互いに関連があるように思うのです。その点、中村さん、どうですか。

中村 私が、燃料設計の問題、あるいは臨界実験あたりの問題ということをおし上げましたが、これは、 UO_2 燃料の国産化を努力してやつていらつしやる人たちが、そのままの状態で行われるはずですが、ですから、そのために直接要求されるメンバーがふえるとはそう思わない。それから、製造加工の問題ですが、これは、先ほど私が申し上げましたように、1つの施設をもって動かしていくというのは、相当たいへんなことでございます。将来、もし商業的なリサイクルということが成立する時期になれば、これはもちろん、いわゆる民間の資金で運営されるべきだと思います。

それにしても、プラントのキャパシティー・ファクターというのでしょうか。規模の大きさと、そのコストの関係が、かなり大きくさいてまいます。そういう意味からいうと、いま私たちが、たまたま先駆的な役割りということで歩いておりますけれども、結局、われわれを一緒に使っていただいて、われわれの仕事を一緒にやっていく過程で、その次に、ある時期になったら、民間としては一挙に大きなものに飛びつく。このような考え方で組み合わされていくなれば、そう重複ということもないのではないかと思います。

昨日も武井さんがいっていた、照射試験の場云々という話が出ましたが、これも全く同じようなことでございまして、高速炉用燃料の試験という、これは全く場所が違う。それから、つくろうとする心がまえも違いましょう。しかし、軽水炉リサイクルのプルトニウム燃料だと、

これは、 UO_2 についての試験をするところと全く同じでございます。そのほかにATRがあるではないか。お話のとおりでございますが、ATRでいま設計されているのでは、プルトニウムの含有量がきわめて低いわけです。それから、燃料の専門の立場で申し上げますと、ロードパワー、 KW/ft といいたし、 W/cm といいたし、それと、バーンナップ、 MWD/T のこの2つが、われわれのバロメーターになりますが、その意味からいうと、確かに集合体の形が違ってみても、中身の燃料棒1本、1本の立場からいうならば、軽水炉燃料をやってあげば、むしろそれを下回っているのがATRの燃料だということもできましょう。少し長くなりましたけれども、重複するところもあり、ないところもあり、いかげんなど返事で申しわけありません。

議長 この問題は、議論すればまだいろいろあると思えますけれども、おりあしく時間も過ぎましたので、本日はこの程度で片づけたいと思えます。

本日、朝から、各講師からのご講演。

今回の討論を通じまして、ほぼ明らかになったと思えますことは、高速増殖炉が開発されるまで熱中性子炉から回収される多量のプルトニウムを有効に利用するためには、プルトニウムの軽水炉へのリサイクルに関する研究開発を進める必要がある。しかも、この技術開発は、わが国の軽水炉技術の確立にも大きく寄与する。また、高速炉燃料の開発技術にもつながるもので、重要な意義があるだろう。また、この研究開発を円滑に進めるためには、政府、それから研究機関、各燃料製造業者、電気事業者等の緊密かつ積極的な協力が必要であり、また、場合によつては、諸外国との研究協力も必要であろう。その中でも、特に政府が早く基本方針を確立して、政府が積極的に財政的な協力をする必要があるのではないかというようなことが明らかにされたのではなからうかと思えます。

われわれとしましては、政府におかれて、本日の討論の趣旨を取り入れられまして、早急にプルトニウムの熱中性子炉へのリサイクルに関する基本方針をきめていただいて、これを強力に推進するようにはしていただきたいと思えます。

長時間討論に参加されましたメンバーの方々および聴衆各位に、厚くお礼申し上げます。これで終わります。

第 4 セ ッ シ ョ ン

- ・ 招待講演

[招待講演]

I 核燃料産業の現状と将来

動力炉・核燃料開発事業団

副理事長 今井美材

核燃料産業というものがすでにわが国に実在するという仮定はほんとうの意味ではおかしいかもしれない。ましてやその将来を述べるというのは矛盾であろう。しかし一方では国産動力炉の推進は計画に乗り、その進路を定めてあるのは燃料政策に基づいてなされている以上、燃料産業の確立ということは既定の目標でなければならない。そういう意味では核燃料産業の現在から将来への映像が無くてはならないのであって、その焦点がハッキリしないのならば、世界の核燃料産業の動向の中からかくあるであろう。またかくあるべきものを絞ってゆく、という過程は必要だといえるのであろう。果してそれが虚像でなくて実像であるかどうか問題の性質上、そうであってもお許しを願いたい。

ウラン資源とその入手について

ウラン埋蔵量に関する過不足の予測の如きはもはや新味に乏しい問題となった。年々幾分の修正はあるが、大勢を動かすようなウラン事情の変化はまだ見られない。全般論としてはエネルギー資源として、必ずしも長期にわたり安定でかつ低廉であるとはいえず、既知の埋蔵量ではその危機を迎えるかも知れぬ。1980年頃までには、高速増殖炉の開発に成功することによりプルトニウム燃料が大幅にU-235にとり替るであろうという期待の下に資源の安心観に統一されているといってよい。しかしこのような大局観をはなれ当面の入手を如何にするかということを見る方が現実には大切である。現在のウラン市場の中心といえはなんといっても米国であり、それは需要の中心だからである。カナダと南ア連邦とは大産地であるけれども米国がとりつつある外国産ウランの委託濃縮拒否政策のためまだウランブームがそこまでは伸びて行かないのである。

米国における一昨年にはじまる原子炉建設の大繁忙時代を反映して、ウラン探鉱の活動は過去の1950年代の最盛期を凌ぐ状況で、1967年中のボーリング作業の総延長は1,100万フィートに達する見込みであり、1967年より1970年にいたる4年間のボーリングの為の投資だけでも7,700万ドル(277億)に達する見通しである。そしてここ数年間喰い込みに終始してきた米国のウラン埋蔵量が増勢に転じたことが注目に値する。一方ウラン鉱業界に石油系大資本の進

出が跡をつぎ (Kerr McGee Gulf Oil, Continental Oil, Getty Oil, Humble Oil, Cities Service, Atlautic Richfield の各社)、製煉所の拡張、さらには Kerr McGee 社の転換部門への進出等、ウラン産業界には再編成の機運が極めて目覚しいので、今後における国内燃料加工事業との関連において注目を怠ってはなるまい。

米国市場における需要見通しに関しては現有のウラン製錬所の能力に 25% の余力があるという見方から、1970 年までの国内需要量を充すには十分であるという計算もあるが、国外からの需要を考えると不足するはずである。その不足分に対しては A E C の手持を放出することにより調整されることが考えられるので全体としてのバランスは保たれようがウラン需要者の立場から個々の鉱山業者の手持量と実際の受注量とのバランスを見ると、長期の契約などもあるから必ずしも実態は計算通りではないし、全体の手持埋蔵量の余力がかなり窮屈になっていることは争われぬものと思われる。

かくして今や米国外需要者 (日本およびヨーロッパ) にとってはカナダ、南ア等、米国外埋蔵量への依存が強まらざるを得ない情勢である。このような事態の中でわが電力業界がカナダのデニソンマインズ社およびリオ・アルゴム・マインズ社と各 100,500 トンおよび 5,000 トンの十カ年分割購入の契約を結ばれたことは、国際ウラン市場から見ても特筆すべき出来事であった。かくして電力界は昭和 48 年までに所要の全量と昭和 55 年ごろまでの所要量のほぼ三分の一を長期購入方式によって確保せられたこととなった。

国内のウラン埋蔵量は東濃地区の探鉱結果としては量的に倍加したが、事業化の見通しに役立つ精査を行なうよりは大まかな量的把握に重点をおいていることでもあり、目下のところなお国産化の見通しは立て難い。かくして昭和 50 年以降の本格的なウラン需要 (昭和 60 年までに合計 9 万トン) に対しては、長期の購入契約にスポット的購入を配する外、積極的な海外資源の開発に乗出すことが必要であることがエネルギー調査会でも指摘されている。

海外資源の調査としては動燃事業団は今日まで南米、濠州およびカナダに対して五回の調査班派遣を行なったし、米国に対しては通産省が産業界の調査団を組織して予備調査を行なった。また米国カーマギー社の共同開発提案に関しては産業界から調査団も派遣せられ、その結果に基づいて検討が行なわれてきたが、折衝はなお継続中といわれる。

この種の開発輸入方式にあっては、仮りに計画が順調に進んでも、実際の製品が得られるまでには着手より数年を必要とすることが前提であることと、事業の危険度合に対し適切な政府の援助が必要であることが考慮されねばならない。ウランは今や完全に国際商品になろうとしている。世界のどこかにだけ多いウランが残っているというわけにはゆかない。そしてなお供給余力のあるカナダ、南アも含めて売手市場に転じたことは、もはや疑をいれなくなった。そ

の際においてウラン価格が今後如何に推移するかということについては、海外の業界に多くの予測が行なわれている。

多くの意見の一致するところは目下米国ウラン市場の採鉱再開の実績の出はじめるまでの若干期間は一応の値上りは避けられず、その後安定するか、または多少の値戻りがあるかという傾向についてである。値上りの天井がどの辺だとか安定値はどの辺かというような推測にふれることはあまり適当と思わないので、問題は興味があるけれども一応割愛したいと思う。

濃縮ウランの供給について

わが国の実用炉が軽水炉であるためウラン資源は一度米国の濃縮工場を通らねば役に立たないということは資源問題を二重に困難にするのである。

米国の委託濃縮制度に関しては海外鉱石への適用とか、民営への移行ということが新たな問題の重点となっている。前者は国内ウラン鉱山への影響を見守っているだけのことで、もはや近く制限は解除されようとするのが一般の見通しである。民営移行については米国原子力産業会議(A I F)の中にも委員会が組織されて鋭意検討をすすめているが、まだ結論までには問題が多いといわれる。その際に他方で濃縮コストの引下げが行われたことは、民営移行を困難にするのではないかと見る人もあるが、それよりも濃縮ウラン供給の独占体制の整備に狙いがあるのでなかろうか。廃棄濃度の切下げはイエローケーキの値上りに見合う採算点の移動に過ぎず、現に濃縮原料としては従来濃縮作業で蓄積されたテーリングが用いられているということである。

ウラン濃縮でアメリカ依存を脱するにはどうするかという点でヨーロッパでも真剣な検討が行なわれている。すでに英国はケーブンハーストを増設して輸出A G Rへの濃縮ウラン供給を保証する政策を決めたといわれるが、余力があるとしてもユーラトムがその傘下にはいるかどうかはむずかしい政治問題である。ユーラトムが単独の濃縮工場を新設するという考え方は実現性に乏しいとされているが、さりとて英仏いずれかと一緒になって共同供給が可能かといえれば、これまた困難が多い。しかし、ピエールラットとの結び付きの方が可能性は大きかろうという観測は行なわれているようである。わが国の場合はこのような共同供給というような可能性はなく、独力で途を開く他に方法がない。目下原子力委員会の核燃料懇談会において慎重に技術開発方針の検討が進められているのは周知のことと思う。また一方日米原子力協定の枠を更新する交渉も昨年来進められてきた。かくして当分の間は米国の濃縮ウラン供給の傘下で安心しておられようが、1970年代の後半が年間8,000トンといわれる供給能力の限度に達する時期である。昨年来A E Cは施設の拡張は政府の手で行なうこと、その際に値上げはしないこと、さらにまた常に予備量を供給(協定の枠内)して時期的な供給不安を与えない等の方針を

明らかにして、軽水炉市場の安定感を与えたいとはかってきた。成程以上の条件がいずれも充されるならば一応は問題はないとしても、さればとって、いつまでも安心しておられまい。そこでどうあろうとも長期の燃料政策としては自給の準備に努める要請が再認識せられつつあるのである。委託濃縮制度の下での新たな濃縮ウラン供給体制が米国でも今生れようとしている。というのは従来濃縮原料たる UF_6 をイエローケーキから生産する段階は(1)Weldon Spring, Missouriのプラントで溶媒抽出法で精製し、次いでFernald, Ohioプラントで UO_3 または UF_4 にする、(2)次に UO_3 の場合は Oak Ridge, Tennessee かまたは Paducah, Kentucky で UF_6 にする、(3)また UF_4 の場合は Portomouch, Ohio で UF_6 にするという順序で行なわれる。

民間の施設としてはMetropolis, IllinoisのAllied Chemical社のプラントが唯一のもので年間の $U_3O_8 \rightarrow UF_6$ 能力は5,000トンであった(現在休止中)。ところが新しい動きとしては(1)Allied Chemical社はこれに\$1,000万を投じて拡張工事を行ない、1968年初めから7,000トンに1969年には10,000トンに増強する計画である。(2)またKerr McGee社もまた1970年操業を目途に\$2,500万で年間5,000~10,000トンの転換工場を計画中であるが、この方向は従来鉱山業と製錬所とのKerr McGee社が新たに転換プロセスに進出することを意味し、ウラン産業における縦断的統合の一つの例としても重要である。

かゝる米国内におけるウラン産業界の新動向は、今まさに進出期にあるわが国の燃料加工事業に対して原料供給事情を通して影響するところが少なくない。

国内の燃料加工事業

国内における加工施設の計画はすでに五社からの申請がなされており、これらが完成すれば微濃縮ウランからの転換を含めて沸騰水型および加圧水型の取替燃料の供給が確保される他、マグノックス燃料AGR用燃料および研究炉用板状燃料の製造も可能となるはずである。その一部の建設は既に着手せられたものもあり、昭和45年頃から実生産が開始せられようという状況にある。関係五社の中転換専門の一家を除き、今日までの加工技術に関する実績は相当の年月にわたる各般の蓄積もあることであって、需要者側の不安というような問題はもはや解消し、ようやく加工業の国産化ということが軌道に乗りつつあるということができよう。その間の準備態勢が長かっただけに、着手後の健全な成長には不安がないのではなかろうか。一方において取替燃料の需要増というものは、相当のテンポで進行するのであるから、事業の経営が正常化するのには遠くあるまい。そうすると今先進アメリカの核燃料産業が当面している種々の問題が案外早くわが方にも波及してこようかと想像される。ましてやわが国は原料たる濃縮ウ

ウランの供給が完全にアメリカの傘下にあつて、不可分の関係が強いのであるからなおさらである。

濃縮ウランの手当はわが国では主として需要者の手に委ねられるのでないかというのは過般の電力界の大口のイエローケーキ買付があつたからである。しかし、イエローケーキの転換を米国内で民間会社に依頼し、さらに得られたUF₆を政府の委託濃縮にかけるという如き実際業務は色々のやり方があることであり、その間の責任を需要者と燃料加工業者とのどちらがとるかというだけの問題とならう。少なくとも初期装荷燃料については米国内でも炉メーカーでなされる燃料保証に依存するのが普通である。そして取替燃料に関しても同じ手で行くことは、需要者が好むならば炉メーカーでも同調するのは当然のことと思われるのである。

これは炉メーカーの燃料総合供給の意図の表われで、詳しくいえばウランの供給からウラン燃料の加工。さらに再処理を経てプルトニウム燃料の加工にいたる一切を供給しようという考え方である。しかしながらそのような考え方を実現するには、たとえば所要の資金調達だけでも大変なことで決して誰にもできることではなく。大原子炉メーカーだけに許されることであらう。今は明かにされている限りではGE社が再処理事業を手掛けるのはその一例である。またWH社は探鉱会社を子会社としてつくったことも知れている。

果してこれが将来の燃料総合供給に連なるものとすれば核燃料産業を左右する重大な出来事と見なさざるを得ないであらう。ところが、まことに複雑なのは米国産業界の実情であつて、かゝる縦断的統合が企画されつつある一方において、全くこれとは反対の傾向である燃料専門業者が出現し、両者の対立が目立って来たことであるが、それに付てはいずれ後に詳述したい。

ともかく日本では転換濃縮はどうしても当面米国で行わねばならない差当り一部の加工材料の輸入も受けねばならず、その上加工業の規模からみても発展期は一応安定しても、将来国際競争の時期は必至だから、経済的に優位に立つことは容易なこととは思われず、一概に前途を楽観すべきものではないことはいうまでもなからう。核燃料工業の将来には、なお再処理とプルトニウムを一環とするホットリサイクルの半面が残されており、この面で自立をはかろうとするには、さらに問題は複雑である。しかしホットリサイクルの民間事業という点では米国といえどもまだ確立にいたらぬ揺籃期であるので、これを取りあげるのは時機尚早というべく、当面はその動向を見守ることであらう。

燃料保証

再びコールドサイクル、すなわち鉱石から一次燃料までの問題に立帰り、燃料保証の問題をとり上げよう。燃料保証は燃料供給のキーポイントともいえるのであるがここに述べようとい

うのは保証方式の今後の傾向についてであって、国内燃料加工業に問題があるかどうかという意味ではない。むしろそのような問題はないという前提の下でこれからはどうなるかという点で、再びアメリカ市場の実情から取上げて見ようというのである。燃料と炉とは不可分のものである限り炉の性能は燃料によって左右される。だから炉の性能との関連においてその性能が保証されないような燃料を買うことは考えられない。そういう処から燃料保証は出発する。燃料の仕様が標準化し、定格化するまでには至らずとも、段々一般化してくれば、炉メーカーでなくともある炉に適合する燃料が設計製作でき、さらには需要者もまた適否を判定し得るという状況になってくる。そうなると燃料保証というのは、単なる信頼感ではなく、反応度の保証とか燃焼率の保証とかいうように具体化細分化せられ、そこまでゆけば例の燃料専門者の進出が肯定され、燃料加工業がより広い競争市場になってくる。アメリカは独占排除の国柄からも燃料専門者の出てくることをAECが支持した関係もあり、ユナイテッド・ニュークリア社がドレスデン炉№2炉心の受注に成功するという先例を開いたが、それ以来燃料発注方式がいろいろ検討せられるようになった。本来需要者の立場からすれば当面は燃料の保証というようなことは原子炉メーカーに一任しておきたい傾向にあるが、次第に経験を重ねるにしたがい、自主的な判断に基づき、自由な競争市場から有利に購入の選択払を持つことに関心が移動するのは当然のことであろう。果してどちらの方式が有利であるか、今後真剣な検討が行なわれるのは遠い先のこととは思われず、将来の燃料工業の大きな課題となるであろう。これに関するNUS社のS. Sandhans氏およびN. B. McLeod氏の発表はNucleonics誌に出ており、その訳文が原子力資料(1967-№6)にも出ているから参照せられたい。加工事業の関連においてなお補足するならば、まず付帯技術とその産業化とを取上げるべきであるが、それぞれ専門家がおられることであるから、被覆管その他の材料供給等の問題があることに言及するに止めておきたい。

新型動力炉開発の分野では、幾多の論議を経て、ナトリウム冷却高速増殖炉と、沸騰水冷却重水減速転換炉とが取上げられることとなった。この関係における技術開発の問題をとりあげれば圧力管の国産化等もあるけれども、最も大きいのはブルトニウム燃料に関する広汎な技術開発であることに異論はない。高速増殖炉用燃料はわが国としては当面ウラン-ブルトニウム混合酸化物を以てスタートするであろう。ブルトニウム燃料の開発のためには動燃事業団が昭和40年末に完成した施設がありすでに一年にわたって鋭意生産的技術の開発に努めて来たので、さしあたり実験炉燃料の供給のタイムスケジュールに間に合う予定である。その詳細は第3セッションで討論されているのでこれ以上深入りすることは避けたい。

核燃料産業と燃料サイクル

燃料サイクルというと何か統制的な臭いを感じしめた時期もあったと思うが、今や核燃料の民有制を前提としての燃料サイクルという意味が明かである以上核燃料産業とのつながりにおいて考えるべき第1の問題はサイクル燃料の市場流通を如何に合理化するかという問題であると思われる。それには先ず、市場流通調整のメカニズムが必要であるが、かかる例は産業界のどこにもあることである。したがってこれらの仕事は流通の円滑化に役立つことを重点に計画しかつ運営される必要がある。

燃料サイクル構成の要素は、適正規模と適正配置に留意することや、プルトニウムの一元的共同管理等がこの目的のために重要な問題といえよう。統制的でない自由経済の原則に従った流通を通して、しかも国の意図する燃料政策(サイクル)を実現することは、制約されたものとならざるを得ないが、これを調整できるのは技術の発展をもってするのが本筋である。流通を好ましい方向に向わせるために、強制するのではなく、有利な方向に一致させることが必要で、これを可能にするのは技術に依るべきことが認識されねばならない。

燃料サイクルの技術問題

核燃料産業と燃料サイクルとの関係で技術的解決を要する問題といえば主としてプルトニウム燃料の加工とプルトニウムの回収すなわち、再処理とに帰するであろう。プルトニウム燃料の加工に関しては高速増殖炉用の高プルトニウム配合率のものと、熱中性子炉用の低プルトニウム配合率のものとの二つの用途が今や同時解決を迫られている。そのうち軽水炉へのプルトニウム循環は昭和50年代の要請であること、また軽水炉燃料の代替物という性格からも、民間産業がより早期に手を染めて、実用化に備えるべきだが、その際事業が企業的規模に達するまでの間プルトニウム施設に投資を急ぐことなく、まず組立作業等より着手する等の方式は考慮に値するのではなかろうか。その間政府機関の施設は民間産業に対して精々各種便益の供与の方式を講ずべきである。このような産業化への順序は後の高速炉時代に移行する準備としては適切と思われる。恐らくは将来の実用的なプルトニウム加工施設は、現在のグローブボックス方式から脱皮するのであろう。まして実用化時代の燃料は、混合酸化物から混合炭化物に変わっているかもしれず製造技術もさることながら、施設的にもさらに大きな変更を必要とすることもあり得るのであって、これらの意味から企業的投資にはなお不安が少なくない。今一つの問題である再処理に関しては、民間企業の進出が昭和50年ごろに期待されている。第一プラントは動燃事業団が着手するがその処理能力は一日0.7トンという最小規模のもので、規模の点から不利である上に、設計上は耐震とか高度の安全とかの要請を充たす必要がある為、にわか

に経済性に期待を持たれることは困難である。第二プラントをどうするかということがすでに民間で検討が開始せられているが、その際にまず規模を大きくすることが最も重要なコストダウンの因子として考慮されねばならないが、規模が大きければ大きいほど、初期の稼働率が低下することが不利となるので、段階的拡張の方式が検討されよう。

一方アメリカの最初の民間再処理工場は規模1トン/日で、初期稼働率の不足を政府から供給される等かなりの援助を受けてスタートしたのであるが、操業開始後再三の修理改造相継ぎ、完成時の建設費3,400万ドルに対しさらに追加支出数100万ドルを余儀なくされたということであるから、計画当初の2,500万ドルから見ると50%以上の値上りとなる。民間処理事業の実態はこの通りで企業性そのものにはなお疑問を残しつつも、米国における民間処理の計画はその後も続出しているが、このことは燃料サイクル事業という立場でプルトニウム燃料を掌握しようという将来への布石と見るべきであろう。燃料サイクルの運営はもっと将来の問題であるが、プルトニウムの真に有効な利用というような面から、広域運営の考え方が問題として提起されるものと思われる。

核燃料産業機構の将来

以上核燃料産業全般について一巡の観察をしたが、その中でわが国で産業としての形態を整えつつあるのは実はウラン燃料加工の事業だけである。ウラン鉱山(製煉)事業は興らず、民間再処理事業にはなお数年の間があり、プルトニウム燃料の再加工にいたっては先行する原子炉開発こそ先決問題だという事情にある。この辺の事情は大変違うのではあるが、民有制限の完全移行を前にして米国内の核燃料産業機構そのものも急速な再編成に見舞われていることも事実である。

昨年末の米国原子力産業会議年次総会においてAECのJ.T. Ramay氏が「原子力産業界における競争への積極的取組」と題して講演しているが、これは米国核燃料産業の形成を競争の基盤へ誘導しようという政府の努力と見られないこともない。自由競争という基本的なルールが通用するということではわが国もまったく同じだとしても、国情によってその理解や進め方が違ってくることは当然である。事実米国の核燃料事業は今日までのところでは、むしろ寡占体制であってAECが競争の支持という点ではGE、WH等大業者の縦断的統合を抑えてより小規模な「独立燃料供給業者」や再処理専門業者を支持する態度に出ていることはよく知られている。独立燃料供給業者というのはGE、WH等の原子炉製造業者ではない。燃料のみの専門業者をいう。ところが最近Gulf Oil社がGeneral Dynamics社と一緒になったGGAというような別の大企業が出現するというような異変を生じたことなどもあって、核燃料産業界はし

ばらく浮動的状況を呈するのであろう。その再編成期にあたって何かの手引きを与えたいというのが Ramay 演説の目的である。Ramay 氏は競争を積極的に支持するのに政府機関としては若干の予防薬的影響を行使することは可能であるとしているが、日本でも同様政府機関は購置者あるいは研究開発の委託者として多少の調整的役割はあり得よう。

しかしその際競争的立場を過度に尊重するならば、無為と同じことになってしまうことに留意すべきであろう。もとより日米の産業基盤は決して接近したものと理解できず、Ramay 発言も示唆するところは少くないが、ただちにあてはまるものではないことはいうまでもない。その中に Vertical integration という言葉があり、例えば「転換と再転換」の一体化とか、「酸化物の製造とスクラップ回収の一体化」とか、というような日本としてもついてゆける、あるいはついてゆくべき考え方もある。再加工におけるブレンドの例も Vertical integration の中にとりいれられているが、自分が先に収上げておいたプルトニウムの一元的共同管理というふうに拡大解釈すれば、それは単にいろいろのバッチのプルトニウム（同位体組成が違う）を用途に応じてブレンド（配合調合）するだけに止まらず、生産計画（再処理）と需要予想（再加工）との一元的共同管理を加えて実施することを意味することになり流通調整上からも極めて重要な問題となってくる。すでにユーロケミックにもその考え方は出ていているが、こうなれば Vertical というより lateral なつながりに重点が移るから、lateral integration といった方がよかろうかと思う。海外の産業機構の動きはそのままの形ではないとしても、やはりそこには共通の要因があることを見極めながら、国情に応じた対処を怠らないことが極めて必要である。

核燃料産業と燃料政策

かくして技術的かつ経済的要因に基づいて産業機構が固定化して行ったとした際に、果してその中で核燃料政策は歪なく達成できるであろうかということは素朴な疑問として出現する。

原子力発電の技術と経済とが開放的であって、核燃料の流通が特異の操作で妨げられない限り、増殖炉の成功はプルトニウム燃料を中心とする燃料サイクルの成立を可能にするであろう。

いわゆる燃料政策なるものはその中核がこの燃料サイクルであるといつてよく、またこの燃料サイクルを有利とする経済的刺激によって誘導されるという道以外には達成の方法はあり得ない。その他過渡的には若干の国の助成措置はあるとしても、それは究極期待してはならないものであって、本質的には燃料政策の遂行はこのような経済的刺激を強め、流通の勾配を高めることを通してのみ行なわれるといつてよいであろう。

具体的手段として何をなすべきかということになると現状で燃料生産事業の立場から見てな

すべきことは少なくない。その一つにやはりプルトニウム生産のための再処理事業があげられるが、これに関しては、需要との見合いにおいて民間第1号プラントが数年以内に生れるものと期待される。経済的に見ると再処理よりもより大きな問題はプルトニウム燃料加工の事業にあるといわねばなるまい。

プルトニウム燃料の加工は今日世界各国ともまだ工業化の域には達しておらないが、プルトニウム取扱いに係る、さまざまな制約のため予想される工費の割高をどこまで抑えられるかは、今後の燃料政策達成のための最大の経済的刺激であるといつてよかろう。幸にわが国もプルトニウム燃料の開発に関しては、かなりの施設を持っており、解決の機会は与えられているのである。この際、門戸を広く開放して、産業界の協力の下に速かに目的を達成したいと念願するものである。

Ⅱ 動力炉の建設経験

日本原子力発電株式会社

取締役建設部長 鈴木 小兵衛

Ⅰ 緒 言

当社は、ガス冷却型の東海発電所に次いで、軽水冷却型の敦賀発電所を建設中であります。

今回この建設の経験を話せとのことですが、現地工事がこれから最盛期に入るところでありまして、経験といっても中途半端なものでありますことを予めご了承願います。

a. 計画設定の経緯

昭和36年2月8日、原子力委員会より発表された「原子力開発長期計画」では、「昭和45年以降は、新規開発電源の相当部分を原子力が分担する必要がある、それ迄の10年間は、開発態勢の整備、技術者の養成を図るため、実用規模の原子力発電所100万kW程度を開発する必要がある。」としています。

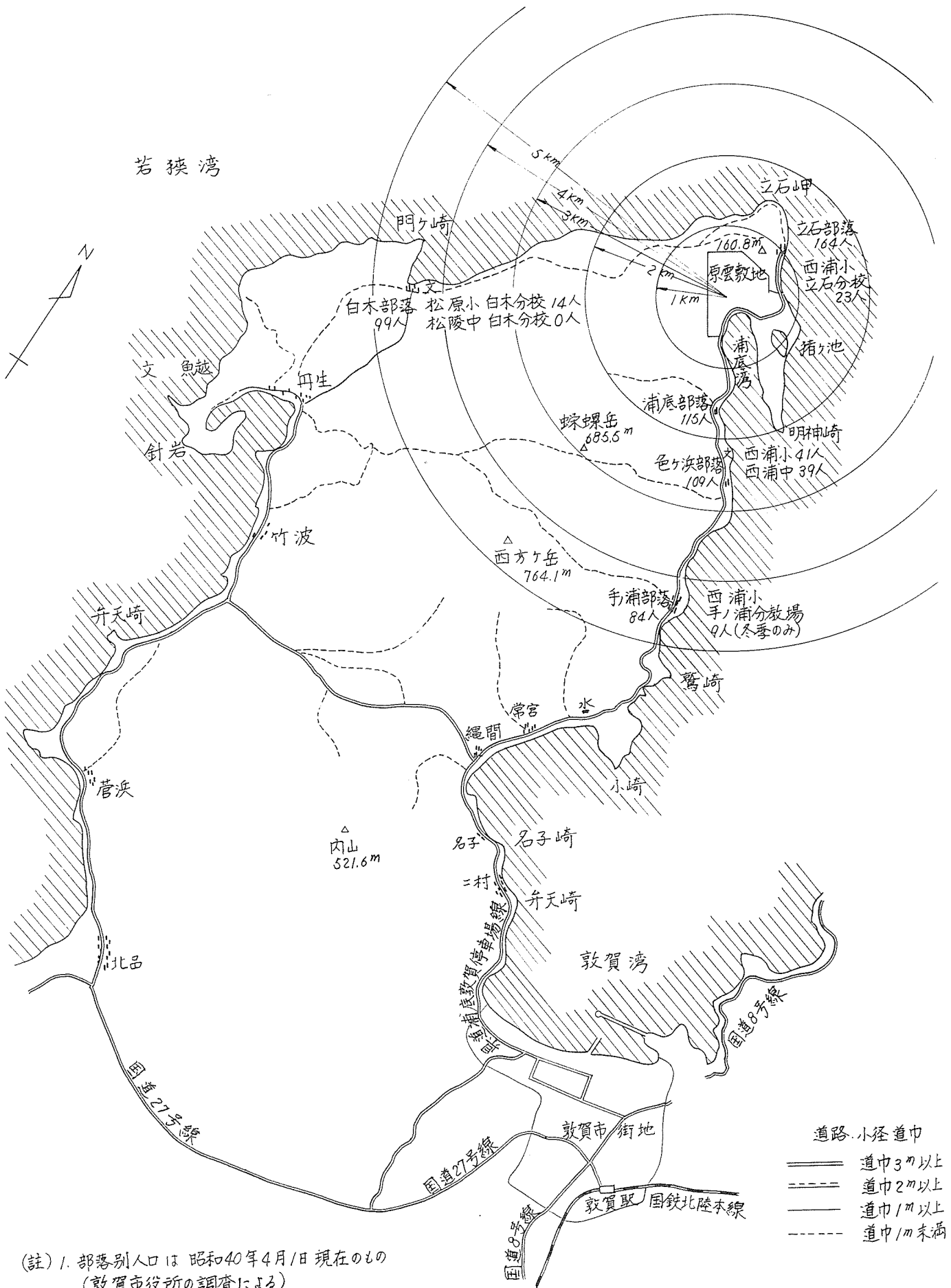
この考えにそい、当社は、天然ウランを燃料とするコールドホール改良型の東海発電所に次ぐ第2発電所としては、低濃縮ウランを燃料とする軽水冷却型が適当であると判断し、またこれに対し、電力界にあっても、当社設立の主旨にかんがみ、この第2発電所の建設を当社に担当させることが適当であるとの意向でありましたので、36年2月このことがきまったのであります。

b. 地点の選定

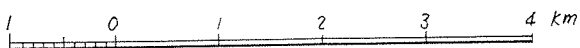
建設地点は、本州西部の60サイクル地域に重点をおいて選定することとなり、この地域にある電力会社より、それぞれの供給区域内にある候補地点について、資料、情報などの提供を受け、電力会社の協力のもとに、各候補地点の立地条件の検討を行ないました。

たまたま福井県内で、原子力発電所誘致の運動があり、県当局も強くこれを支援し、県開発公社をしてあっせんに当たらせる旨の申出がありました。そこで、まず、地質を主体とする現地調査を行ない、ついで、地震歴、気象、用水、輸送、周辺の社会的環境など、諸立地条件について調査し、検討の結果、昭和37年11月現地点に決定したのであります。

現地点は、敦賀市の北北西約1.2kmの敦賀半島先端部東側に位置し、敷地周辺は山林で、海岸沿には緩傾斜地が点在し、僅かな人家と農地があります。敷地に最も近いのは、立石部落で、標高約100mの東側山地を隔て、約800m離れ、人口は160人です。また浦底湾沿いには浦底部落があり、敷地との巨離1.5km、人口120人である。半径5km、8kmの円内にある人口は、それぞれ570人、3,800人で、1.5km以内では54,800人です。



(註) 1. 部落別人口は 昭和40年4月1日現在のもの
(敦賀市役所の調査による)
2. 学校別人口は 昭和40年5月1日現在のもの
(福井県統計文書課の調査による)



e. 炉型選定および官庁手続関係

敷地の調査と併行して、発電所の基本計画について検討を進めていましたが、昭和38年5月、容量規模、建設時期、所要資金、発電原価などを含む事業計画が決定しました。

この計画に基づいて、アメリカのGE社の沸騰水型発電炉およびWH社の加圧水型発電炉を対象として、①両社との討議、②コンサルタントを用いての調査、③当社自身による海外の実情調査、および④関係方面、専門家の意見聴取を行ない、この結果に基づいて、昭和40年1月末両者に対し見積徴収書を提示し、同年5月、両社より見積書が提出されました。これを慎重審査検討の結果、いずれもわが国の発電炉として導入するに十分適当なものであることが判明しましたが、結局、GE社の沸騰水型発電炉を第一順位として具体的交渉を開始することとなり、昭和40年10月末このことをGE社に内示（Letter of Intent）しました。

これに先立ち、敦賀発電所の建設計画は、昭和40年5月の第38回電源開発調整審議会で承認されており、炉型選定に引続き昭和40年10月、原子炉設置許可申請書および電気工作物ならびに供給関係の変更許可申請書を主務官庁に提出し、昭和41年3月、原子力委員会および通産省の合同審査会から、安全である旨の報告が行なわれ、昭和41年4月22日づけを以て、許可が下り、同日正式に着工することとなりました。

なお、GE社とは細目について交渉を重ねていましたが、翌5月本契約に調印したのであります。

d. 発電所の規模

発電所の容量は、32.2万kWと決まりましたが、運転開始後比較的早い時期に炉心改善に伴い約10%の出力増——いわゆるストレッチを期待して、タービン発電機設備は35.7万kWに対応する設計となっています。

設備の要目は第2図に示します。

第 2 図 発 電 所 設 備 概 要

出熱消費率 および	発 電 端 電 気 出 力 正味電気出力 正味熱消費率	32.2 万 kW 30.7 万 kW 2,716 kcal/kWh	再循環 ループ	ループ数 再循環ポンプ 主配管	3回路 形式 立て形渦巻き式 容量 5,900t/h ステンレス鋼 内径 約600mm
原子炉	形 式 熱 出 力 運 転 圧 力 運 転 温 度	濃縮ウラン直接サイクル強制循環 軽水減速軽水冷却沸騰水形 97万 kW 70kg/cm ² G 286℃	主蒸気系	主蒸気管本数 安全弁形式 逃し弁形式	2本 内径 約460mm パネ式 全容量 約2,800t/h シリンダ式 全容量 約590t/h
炉	等 価 直 径 有 効 長 尺 燃 料 体	約3m 約3.7m 燃料材：二酸化ウラン焼結研磨ペ レット 被覆材：ジルカロイ-2 集合体：燃料棒7×7配列308本 ウラン重量：約60t 濃縮度：初期 約2.2w/o 平衡時 約2.5w/o	給水系	系 統 数 給 水 ポンプ	2 台数 3台 容量 約1,000t/h/台
心	制 御 棒	形 式：十字形—ステンレス鋼管 充 填 B 4 C 本 数：73本	タービン 発 電 機	タービン形式 発 電 機	くし形複流排気式 出力 32.2万 kW (設備容量 35.7万 kW) 回転数 1,800rpm 定格 42万 kVA(力率0.85, 短 絡比0.58, 水素圧3.2kg/cm ² G) 電圧 22,000V
原子炉 容器	形 式 材 料 寸 法	立て形円筒形 母材：低合金鋼 内張：ステンレス鋼 内径：約4.3m 外高：約1.8m	格納施設	形 式 設 計 圧 力 設 計 漏 え い 率	圧力抑制形 約4.4kg/cm ² G 0.5%/日

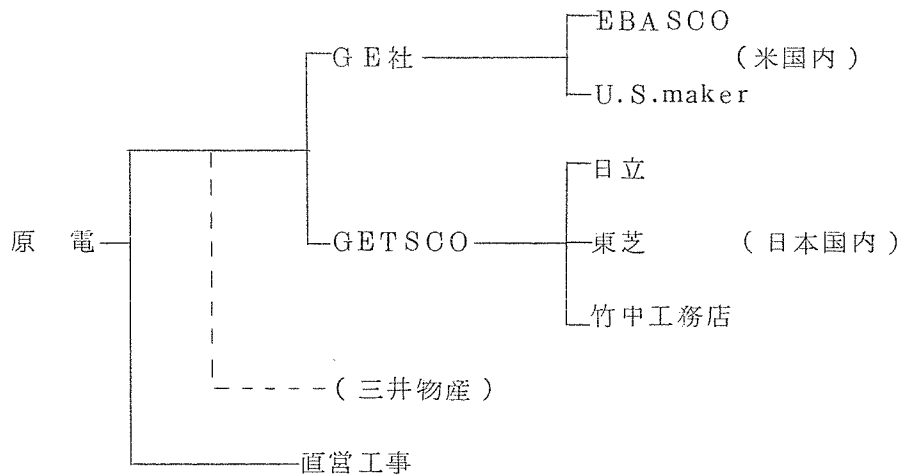
II GEとの契約の要点

a. 契約方式

GE と GETSCO とに連帯責任を持たせる姉妹契約とし、ターンキー方式を採用しました。

(詳細については省略。なお、GE 側の協力者乃至下請の体系は第 3 図の通り)

第 3 図



b. 供給範囲

敷地造成、岩壁、冷却水施設、用水施設等の土木工事、直接発電に関連しない建物、通信設備、主要変圧器およびそれより外の変電設備、等は直営工事とし、これ等以外の施設一切は、GE (GETSCO を含む。以下同じ) 供給としました。

c. 契約工期

契約発効日より45カ月、すなわち昭和44年12月運転開始となっています。なお燃料装荷は44年9月で、3カ月の試運転期間をとっていますが、その後GEの申出により、試運転期間を6カ月とるため燃料装荷を3カ月繰り上げることを目標として工事を進めています。

Ⅲ 敷地の概要と設備の配置計画

a. 敷地の概要

敷地は、南側が浦底湾に臨む南北に細長い平地(巾200m、奥行500m)とこれを囲む山地とよりなり、総面積約140万㎡であります。東側山地は、最も高い処で160m、南に次第に高度を減じ、南端は明神崎となって敦賀湾に突出しています。北側は標高およそ65mの峠を越え日本海を望む断崖となっています。西側は、いくつかの扇状傾斜地をもち、敦賀半島背梁山地に連っています。

敷地の地質は、大別して沖積層と黒雲母花崗岩とにわけられ、中央平地に接する西側山地は比較的浅い所に微粒結晶の岩盤があり、東部山地は粗粒結晶の岩盤でやゝ深く南半分は風化が相当進んでいます。中央平地は厚い沖積層に蔽われ、基盤は東より西に向かって、45°程度のかなり急な勾配で下っており、浦底湾にかけて南北に走る地溝の存在が想定されます。湾の水深は湾奥で15m、湾口で約25mとなっています。

b. 設備の配置

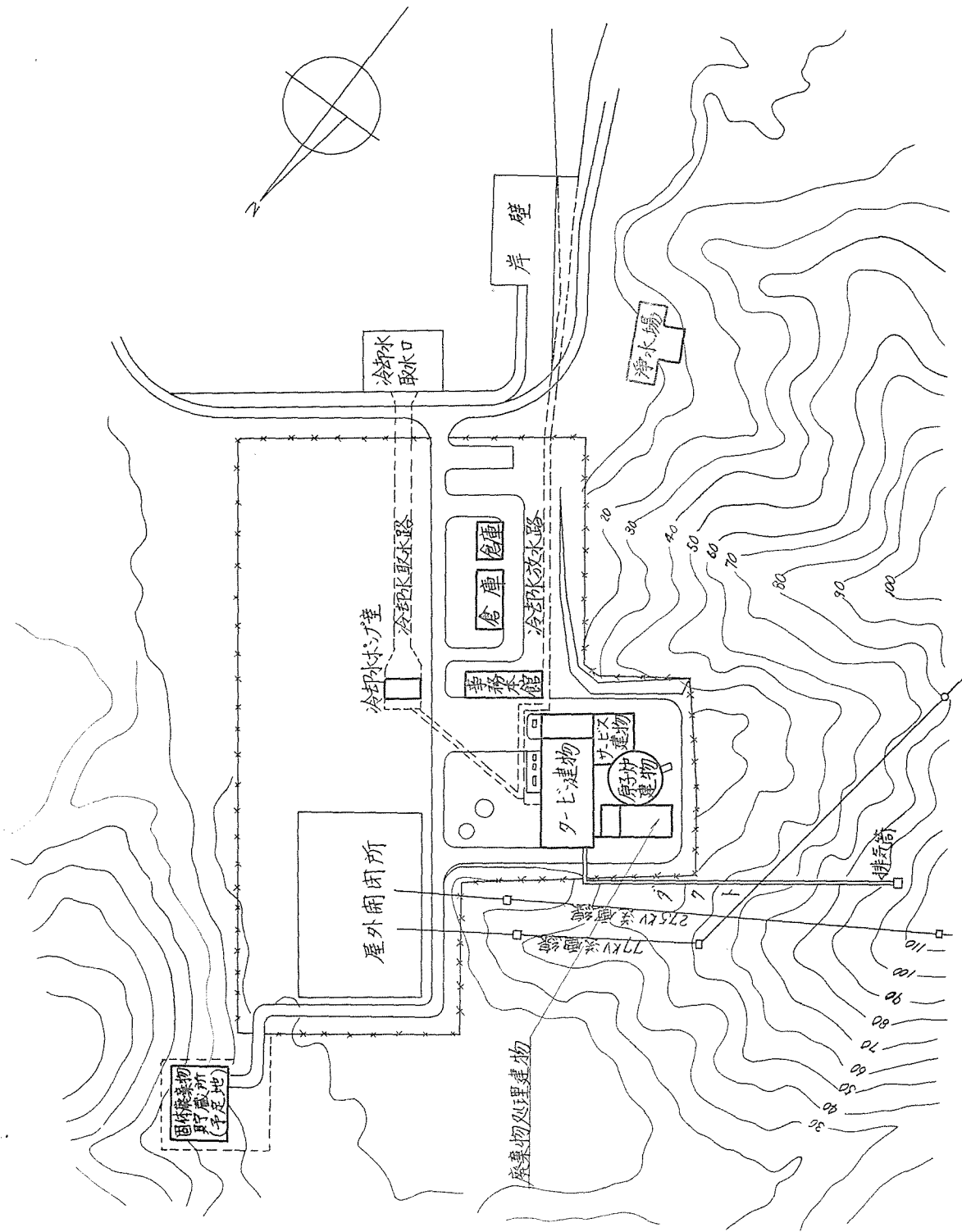
先ず次の基本方針が与えられました。

- ①一基のみとし、増設のことは今回は考えない。
- ②切取土量は出来るだけ少なくする。
- ③原子炉、サービスビル、廃棄物処理建物は岩盤上に直接乗せる。

この基本方針のもとに調査の結果、良質な岩盤のある現在の場所を選びさらに冷却水の引込み、送電線の引出し、機器の搬入等を考慮し、いろいろの配置について比較検討の結果、第4図に示す通りの現在配置が決定されました。

c. 冷却水の取排水方法

資源科学研究所に委託しての、1カ年にわたる調査の結果、浦底湾内での同時取排水の可能



発電所構内配置図



性がとり上げられ、昭和39年夏、現地における実測データを収集後、同年秋、電力中央研究所に湾内における同時取排水の可能性、設計上の基本条件等の検討を委託し、その実現についての確認を得たので、昭和41年春この方式の採用を決定しました。

因みに、当時、躍層に関する水理研究は緒についたばかりで、電力中央研究所は、躍層利用の技術開発研究に着手せんとしていた矢先でありました。

この方式は、躍層利用の深層取水——表層放流方式であります。

取水量は毎秒約21m³で、カーテンウォール(スキミングウォールの方が正しい)は、湾のほぼ中央やや西寄に岸より約40m沖の水深13mの地点にH型杭を打ち込み、上部はプレキャスト・コンクリートおよび鋼矢板をもって仕切り、下部開口は高さ5m、平均流速0.14m/secとしました。放水口は湾の西岸に沿いやや上層に向かって放流します。出口流速は平均0.3m/sec以下です。

夏季におけるフル運転時の放水口における海水温度は、3℃程度の上昇に止まることになっています。

なお、くらげ対策については一応の対策を考えていますが、普通の水くらげの発生に加えて、これとは別に直径約1～2mという大形の越萌くらげが、約20年を周期で来襲するという報告をうけています。

このくらげは、東支那海方面から、対島暖流に乗ってくるらしいので、長崎の水産試験場に依頼し、発見したら、「敵艦見ゆ」の電報を打ってもらうことになっています。

到着までには凡そ3～4週間はかゝるので、太い綱で作った綱を張って待ちうけることを一応考えているが、さらに研究を要する問題と考えています。

良い対策がありましたらお教え願いたい。

IV 建設工事の現況

a. 設計製作関係

① 輸入品 = 配管類、制御計測、電気関係の一部を除き機器関係の設計はほとんど終了し、ストライキの影響をうけたタービン関係も機械加工を始めており、再循環ポンプ、同配管はすでに現地に入荷、その他のものも、製作を終わり試験中のもの、試験を終わったものがあり、今後次々と入荷の予定です。

② 国産品 = 格納容器は次に述べる通り現地据付済です。圧力容器は今年7月据付を目途として、工場製作中で、おおむね工程通り進歩しています。復水器はすでに工場製作を終わり、目下現地にて組立中であり、給水加熱器、給水ポンプ台もほぼ製作を終わり、給水ポンプは近く工場試運転に入る予定です。

なお、当社直営工事としての、主要変圧器、配電盤開閉装置、循環ポンプ除塵装置等も、工

場製作中である。

V 現 地 工 事

現地では、昭和40年暮より工事の準備を進めていたのですが、翌41年4月、官庁許可が下りましたので、ただちに正式着工することとなり、まず敷地造成工事を始めました。

5月半ば、多量の降雨があり、切取工事中の裏山に亀裂を発見した。亀裂は、破砕帯に併行している斜面に生じており、ただちに学識経験者の意見を徴して対策をたてました。

原子炉設置の場所はちょうど沢筋に当っており、水が集ってくる所であることに特に注目し亀裂発生部を除去の上、安定性を改善するために斜面の勾配を犬走りを含め1:1であったのを1:1.2とするとともに、水抜を十分に施工しました。

その後監視を続けているが、何等の変化なく、まったく解決されたものと思います。

擁壁および、斜面の保護工がほぼ、できたころの7月末、GE社が現地に乘込み、原子炉、タービン建物等の基礎工事に着手しました。

ちょうどこのころ、原子炉建物の耐震設計を行ないたのでありますが、この結果、基礎の設計に大幅な変更があり、基礎工事増量のため、約2カ月予定より遅れて、昭和42年2月末より格納容器の現地据付に着手しました。

この工事は着工のおくれを取戻すべく、始めから非常な努力を傾注しました。しかし実際やってみると、なかなか思うようにはいきませんでした。この場所は三方が山に囲まれ、一方はタービン建家の基礎工事中であり、一方はタービン建家の基礎工事中であり、周囲は手狭で、地上溶接をすることも、大規模な荷役設備を設けることも困難であり、据付位置での溶接を行なわざるを得ませんでした。また構造が予想外に複雑で、重量もあるため、特に苦労したのは、ドーナツ形のサブプレッション・チェンバー心出し開先合せベントパイプの据付でした。ベントパイプは狭い場所である上に3点合せとなっており開先合せに一番苦労しました。

また、原子炉建物は、鉄筋コンクリート造りで、格納容器完成後建家を施工することになっているため、格納容器は露天工事でした。この年は雨が少なく、この点では非常に幸いしましたが、夏季に入ってから、炎暑に悩まされ、能率維持に非常な苦心を払いました。

9月に入ってようやく完工し、官庁検査ならびに、予備的にリークレートテストを目的に行ない、着工以来満7カ月で完了した。着工当初の2カ月のおくれ取戻しの目標は完遂されなかったけれども、この記録は、米国の先例よりは、約1カ月短かいと聞いています。

10月からは、建築にバトンが渡され、雪中で目下努力中であります。ドライウエルより50mmのair gapを設けて打設するshield concreteは、鉄筋の交錯した狭い処での工

事であり、極めて難工事でありました。

総じて、このあたりの設計は、もっと改善し、工事のし易さについて、もっと配慮する必要があります。

タービン建家の方は、基礎工事を昭和42年3月終了し、引続き上部工事に着手しました。これも鉄筋コンクリート造りであり、かつ、基礎マットが一階床となっているため、床下に埋込む管類や補機基礎の設計まちということがしばしばあり、焦燥にかられたことが幾度かありました。しかし現在ではタービン基礎はすでに完了、コンデンサーは昨年暮より組立に着手しており、運転床コンクリートは一部打設済みで、クレーン柱を目下施工中です。その他、廃棄処理建物、サービスビルも施工中であります。

一方直営工事は順調に進み、岩壁、護岸、放水路はすでに完了し、目下取水施設の工事中であります。

VI 本工事の特徴

1. 建設方式

ターンキー方式を採ったことは、本工事の大きな特徴であります。この理由として、

①原子力施設は、我が国で経験が乏しいのみでなく、世界的にも実績が少い。

②技術的に、未だ発展途上にあり、その進歩のテンポは極めて急速である。

③未知のことが多く、不確定、不明確で、予測し難い要素を多分に含んでいる。

④目分達でControl出来ない、政府の決定、国際関係等がある。

⑤仕様書で、具体的に厳密に規定出来ない。したがって、発注には、相手の信用にたよることが大きい。

⑥原子力では、発電原価のうち、固定費の占める割合が大きいので、工期の厳守が肝要であり、それには、各設備のバランスの取れた組合せを円滑に行うことが望まれる。

以上の観点から、当社は、工事の円滑、かつ、確実な推進を図るとともに、責任の分散を避けるために、集中一括発注、いわゆるターキー方式を採用した。

しかしながら、契約上はともあれ、工事の最終の責任、すなわち、株主の委任にこたえ、また国民の期待にそうための最終の責任は当社自身にあるわけであって、手放して業者に委ねるわけにはいきません。しからばどこまで設計ないしは品質管理に立入るべきかは、一歩過ぎれば、業者の責任回避や、値増の要求とも関連する問題で、極めて微妙にして、慎重を要する重要な課題であります。

現地工事工程表

項目	年度(昭和)												45																				
	40			41			42			43			44			45																	
	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2									
着工後の月数				1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59
主要工程	△着工																																
仮設備	△燃料加工開始																																
仮建設物その他	△275kW受電																																
原子炉	△燃料装荷																																
原子炉容器	△竣工																																
原子炉格納容器	コンクリート打																																
原子炉冷却系統施設	ドライウェル・トラス																																
原子炉その他	基礎																																
発電機	基礎																																
発電所	基礎																																
発電所その他	基礎																																
土建工事	水																																
整地岸壁護岸	基礎																																
原子炉建物	基礎																																
タービン建物	基礎																																
復水器冷却施設	水路																																
ポンプ	ポンプ据付																																
総合試験																																	

2. 当社として、GE側に求めた設計の基本的方針

基本的方針

「原子力は、未知の分野が多いので、能う限り既往の経験を活用し、奇を求めることは厳に戒めることが肝要である。」との観点から、炉心性能、燃料設計、制御等は、実証済のものを採用のこと。使用機器は、標準設計ものとし、出来れば、実証済みの市場員を採用すること、を方針として、強く要望しました。

なお、安全設計については、先行している、米国のオイスタークリーク、およびナインマイルポイント両発電所の運転許可を得るに必要な条件を、GEの負担において、具備することを契約に規定しました。

3. 耐震設計について

耐震設計は、原子力においては特に重要になってきた分野で、これはその性質上、個々の場所により、一々計算されることが特徴であり、その計算量はまた莫大で、工事の進捗に合わせるためには、非常な努力が必要であります。また設計の実例が少ないので、実際に行なってみると、当初想定したものとは、とほうもなく異なった結果の出るということが起こります。

敦賀に対する計算に使用する地震波としては、日本に適当なものがないので、レスポンススペクトラムより見て最も厳しいと思われる米国のエルセントロおよび、ゴールデンゲートの地震波を採用した。

敦賀発電所の原子炉建物は、正確にいうと、第2次格納施設であって、5 psiの内圧に耐えることになっていました。したがって、鉄筋コンクリート造りではあるが、構造的には円筒形の内圧容器であります。

耐震の解析計算を行なった結果、当初設計のままでは、ドライウエル支持点付近で、約7mmの偏位が算出され、建物が逆にドライウエルにのしかかりこれを変形させることになりました。対策として中心にあるシールドコンクリート部、あるいは外周の壁を厚くすれば、一応剛になるようには見えるので、計算して見ると同時に重さも増加するので期待は外れる結果となり、種々検討の結果、地下部のコンクリートを約15,000m³打ち足すことにより解決出来ました。このため前述のように、基礎工事が約2カ月おくれました。

また配管の耐震設計については、予想外の日時を要しました。元来、配管は機器の設計が先ず決まり、それからルートを決め、熱応力等を含めての強度計算が一応すんでから耐震計算を行ない、修正するという方式をとらざるを得ないため、設計に非常に手間がかかり、官庁への工事計画申請に支障を生じ、幾度か米国に人をやり督促をよぎなくされました。

4. 基準規格について

敦賀発電所の設計に対しては、技術規準に適合すべきことは勿論ですが、原子力圧力容器については、ASME sec. III の応力解析、材料規格、非破壊検査等を適用しましたが、規格計算としては採用していません。

しかしながら、実際に圧力容器、格納容器の製作に当たってみると、主として溶接関係で数件のものが、ASME sec. III による必要に迫られ、関係方面の特別の配慮をお願いして、ようやく工事を進めてきた次第であります。

結 び

これで、私の報告はおわりといたしますが、冒頭に申し上げました通り、未だ工事は半ばで、結論的なことを申し上げるのは早すぎますが、日本とアメリカでは事情も違うので、今後日本自から工事を行なう場合には、これを計画に、設計に反映させることが必要であると思います。

以上、工事をやってみて、困難であったこと、反省すべきこと、など、あからさまに申し上げたつもりでございます。ご参考になれば誠に幸いです。

Ⅲ 原子力施設の安全性

東京大学教授

原子炉安全専門審査会会長 向坊 隆

私の申し上げますことは、皆様よくご承知のことばかりかと思いますが、原子力施設の安全性ということは、皆様の関心の深い問題でありますだけに、最近の問題点をまとめてお話しすることは、あるいは興味のあることではないかと考えた次第でございます。ご承知のように原子力界におきましては、アメリカ、イギリスを始めとしてわが国におきましても大型の原子力発電所の建設が次々と始まっておりますし、また、急速に今後の発展が期待されております。さらに、わが国におきましては、大型の発電所ばかりではなく、再処理施設とか、あるいは、高速増殖炉の実験施設とか今までになかった新しい原子力施設の建設が始まろうとしています。こういう時期におきまして、安全性評価という問題を従来通りでやっていってよいのかどうか、反省してみるのには意義深いことではないかと思われまます。

原子力委員会は、近く安全性の懇談会をスタートさせ、今後の重要問題を検討されると承っておりますが、まことに時宜を得たものと思えます。また、原子力学会誌にも最近号に2回にわたって、動力炉の安全性の問題が掲載されましたが、これもこの機会にこの問題を一応整理するという意味で非常に意義深いものと思われまます。

アメリカ原子力委員会は新しい原子力施設の増加ということに備えて、原子力発電所建設許可のための一般設計基準というものの検討を始めまして、65年の11月に27項目の暫定基準というものを発表致しましたが、その後、更にこれに検討を加えまして、67年の7月に70項目に充実して設計基準の案を発表したわけでございます。この基準につきましましては、わが国でも、たとえば電気協会等各方面で専門家によりまして、詳細に検討されているところでございます。今後の安全性評価にその結果が参考にされると思うのでございますが、このアメリカの評価基準は、技術の進歩や経験を反映して、基準を整理しようという努力であり、安全性の評価についての従来の考え方そのものを、大幅にかえようとするものではない、というふうに了解しております。これに対して、イギリスの原子力公社の安全部長で日本にも来られて皆様よくご承知のファーナー氏が、原子力施設の立地基準について1967年の4月、ウィーンのIAEAのシンポジウムにおきまして、かなり思い切った考え方を発表したのでございます。その論文によりますと、最近の原子力開発の発展にともないまして、人口密度の高い諸国に多数の施設の建設が始められようとしている、そういった条件のなかで、できるだけ安全性が高く、かつ経済性のいい施設を作るということが要求される。この要求を満たすためには、どう

しても安全性評価というものを一層従来より定量的にする必要がある。安全性評価を定量的なものにすることによって、技術的にそれを解決する具体的手段も発達するし、立地もはっきり定められるのではないか、こういう考え方でございます。しかし、この定量的ということにはいろいろの問題があると思うのですが、ファーマーさんの論文では、事故を想定するだけでなく、要するに、事故の起る確率を計算して、これを評価にとり入れようとする考え方でございます。彼の考え方によりますと、クレジブル・アクシデント、インクレジブル・アクシデントというような、起ると思われる事故と、起りそうもない事故の区別は元来ないのであって、あらゆる型の事故について、その起る確率というものを計算すべきである。その確率とそれが起った場合に、どういう放射性物質の放出があるかということ、その2つから事故の大きさというものを評価するという提案でございます。ファーマーさんの論文にはそれについて具体的に述べておられるのですが、最も簡単にその考え方を例で示しますと、100万年に1回起る事故で、1,000キュリーの放射性物質の放出があるという計算が出た場合には、その事故は1年に 10^{-3} キュリーの事故であるというふうに評価するわけでありまして。1年 10^{-3} キュリーと評価してこれを基にして、そういうことが起ると周辺の人達にどのくらいのパーセントで放射線障害が起るだろうか、たとえば、甲状腺ガンとが、白血病とかいうようなものがどの様な率で起るだろうか、という数字を出して、それが、そういう放射性物質の放出のない自然の発生率に比較して大きいか小さいかで、これは大きな事故である。小さな事故であるという評価をしようとする考え方でございます。このような考え方は、事故の発生する確率というものを、正確に評価できるものなら、これは非常に定量化にいい方法だと思うのですが、現在の段階で、事故の発生する確率というものがどの程度正確に評価できるか、ということが問題なわけがあります。したがって、これはあくまで、すぐ採用できる考え方というよりは、将来の方向を示唆したものと言うべきではないかと思うのでございます。しかし原子炉の安全性に関する研究はどんどん進んでいるのでございます。したがってできるだけ安全な施設をできるだけ経済的に建設するという立場からいって、そういう安全性の技術の向上を安全性評価に反映させるということは、どうしても必要となってくると思うのであります。したがって、ファーマーさんの考え方まで行かないにしても安全性の定量化への努力というものは、これからは是非すすめるなければならないと感ずる次第でございます。

さてわが国でも安全性についてはいろいろ検討されているわけですが、わが国の問題点を指摘いたします前に、今までのわが国における努力というものを一応簡単にお話ししたいと思っております。最初に安全性についての研究結果が発表されましたのは、昭和38年3月に原子力学会の安全性専門委員会が約2年間にわたる研究結果をまとめた報告書であると思

ます。この報告書は、この時点における問題点を非常によくまとめ整理してありまして感心するのでございます。安全性を考える場合に、これはいつでもスターティング・ポイントになる資料といえるかと思えます。その後の安全性の研究の発表もでございますけれども、原子力学会誌の昨年の9月号、それから12月号本年の1月号に、最近の原子力施設の安全性について、外国の研究の結果とか、問題点とが、そういうものがよくまとめられております。それから日本学術会議が中心になり多くの学会が共同されまして、放射線障害の防止という立場から安全性の問題をいろいろ検討しております。またシンポジウム等も行なわれております。それから第3にあげたいのが、原子力安全研究協会の活動でございます。その活動につきましては、予稿集にどのような委員会を作って活動しているかということを一応御紹介しておきましたが、これらの委員会がとり上げている事柄をみますと、わが国での関心の深い問題を一応示していることにもなるかと思うのでございます。この活動の結果につきましては、4月に原子力安全研究協会の発表会が予定されておりますので、そこでよくお聞きいただきたいと思えます。それから、いくつかの小委員会はすでに詳細な報告書を発表しておりますので、その報告書を参照していただきたいと思えます。

そこで、今後の問題点を少し考えてみたいと思うのでございます。

第1の点は、なんと申しましてもこれからいろいろ新型転換炉とが高速増殖炉とか、そういった新しい原子力施設ができてくるということに対処する問題でございます。こういうものの研究開発については、日本独自の技術を開発するということが大きな目標になっておりますので、したがって外国の経験を直接参考にできないという場合も当然に起ってくるかと思うのでございます。先ほど鈴木さん（原電取締役建設部長）から原子力発電所を立てる場合には安全性が大切なので、なるべくブルーprintsのものを使って行きたいというお考えを述べられました。それはまあ実用炉を建設される上からは当然のお考えかと思えますけれども、上にのべたような新しいものを開発して行くときには、必ずしもそういう考え方を採って行けるかどうかはわからない。むしろ外国でも経験のない事柄がいろいろ出てくるわけでございます。そこで安全性について現在の考え方や現在の体制というか進め方というようなもので、評価していいよろしいかどうかということが、一つの大きな問題でございます。たとえば現在ですと原子炉をお作りになろうとする機関が、設置許可申請書というものをお出しになって、それが安全審査会に諮問されまして審査会で調査検討の上、申請された施設は安全であると認めるという答申をするわけです。ところが、新しい施設については、審査会で安全であると認めることができるかどうか、そういう自信が持てるかどうか、非常に疑問でございます。ですからそうなりますと当然の結果として、こういう点がわからないから今後検討の上、また、もう一度みて

みたいということが必ず起ってくるわけです。ですからどういう方式がいいかわかりませんが、一時点でこれはよろしいというような入学試験のようなことはおそらく不適當になってくる。それならそれをどうしたらよいかということになります。

それから、現在設計許可申請のところまでは、原子力局が責任をもっておられまして、それから後建設に関係するところからは一切通産省が責任をもたれるわけでありましてけれども、新しいタイプの施設について、ここまで科学技術庁の管轄で、ここから通産省の管轄ですとはっきりクリヤーカットに受け渡せるものであるかどうか。途中でまた研究して付け加えて行くということが起るとするとそのところをどう扱ったらいいか、安全性を確保するという見地から十分検討しなくてはならないと思うのでございます。

次の問題は、放射性廃棄物の処分の問題であります。それには2つあるわけございまして、一つは低レベルの廃液を放出して行く場合のもの、もう一つは、固体廃棄物の処分の問題であります。中程度以上の放射性レベルの液体の中の放射性物質はイオン交換樹脂の中に固定したり、あるいは、蒸留によって濃縮してからセメントなどで固める。そういう結果出てまいります固体の廃棄物をやはり定常的な作業として処分しなければならない。

前者の低レベル廃液の大量放出については、これから建設されようとする再処理施設において、大きな問題になりますし、固体廃棄物処理につきましては、大型の原子力発電所において問題となってくるのでございます。どちらも現段階で、現在建設にかかっているもの、あるいは、建設が計画されているものの範囲では、そう大きな問題ではないと思っておりますけれども、これから急速に原子力の開発が進みまして大量になってくると、とてもいい加減なことでは済まなくなってくるだろう。現段階において、これを詳細に検討しておかねばいけないと思われるのでございます。廃液の放出につきましては、現在御承知のように、放射線障害防止法によりまして、飲料水に対する基準というものがあつたわけございまして、しかし工業的な施設から廃出される液体が、出口のところで飲用に供せられるということは考えにくいことですし、その必要もないでしょう。廃液が何らかの形で速やかにうすめられまして、そして結局人体に対して障害を与えないようなことがはっきり解ればよいわけです。それにはどういう検討を加えて、どういう押え方をすればよいかということについて、まだわが国でははっきりした考え方が出ていないのでございます。急速にこの考え方をはっきりさせないと、技術の問題としてそれを取りあげることができないわけございまして、この考え方が一日も早く、出口で押えられないにしても、最終的に人間障害を与えないということを前提にして廃棄物を放出してから人間に来るまでの過程をどういうふうに考え、どういうふうに計算して行けばよろしいか、ということの考え方は決めなければいけないと思うのです。それでもまだ問題は解決されるとはい

えない。生物学を含めて、現在動員できるあらゆる知識を動員し、そしてやれるだけの研究調査をやったといたしまして、その結果は当然施設から出てくる廃棄物の基準に反映されるわけですが、それだけでもまだ、安全体制が十分とはいえません。最終的に人間を保護するというのが目的でありますから、処分の方法を補充するものとして、モニタリングシステム（放射能監視制度）が、十分整えられなければいけない。システムが整えられただけではいけないので、そのシステムを管理運営し、また、そのモニタリングの結果がどう処理されるのか、もしモニタリングの結果、何か異常が現われた時に、誰が責任をもってそれを何処へ伝えて、施設はどのような処置をとるか、というような責任体制、そういったものまで整備する必要があると思われるのでございます。それから固体の廃棄物につきましては、現在の安全審査の段階ではこれを政府の指示に従って捨てるならば安全であると認められます。そういう審査の仕方になっております。換言すれば、政府がこういう仕方で捨てなさいということを、十分検討のうえで決めてありますならば、それに従えばよろしい、という形になっております。ところが、その政府の考え方がまだ決まっていなわけでありまして、一日も早くどう捨てる方をしなさいという指示がなされることが望ましいわけです。原子力安全研究協会の本年度の研究委員会にも固体廃棄物処理処分専門委員会というものができまして、この問題が本格的に学問的・技術的に検討されるわけですが、政府の側で、一日も早くはっきりしたことを決めていただかないと、施設の建設にこまるのではないかと問題があるのでございます。

次の問題は安全評価の定量化の問題でございまして。先ほども申し上げましたように、今後の状況を考えますと、どうしても安全評価の定量化へ向っての努力というものが必要だと思われるのでございます。原子力安全研究協会の宣伝をするわけではございませんけれども、その研究委員会の中に原子力発電所の安全施設の信頼度小委員会というのがございまして。これはどうしているかといいますと、原子力施設にはいろいろな安全施設がついておりますから、これで安全だというわけですが、その安全施設というものが、信頼度の低いものであったら何もならないわけで、その信頼度が高いほどよろしいのですけれども、高いほどよろしいというものでは技術の問題にならないわけです。技術の問題に反映させるには、その信頼度がやはり定量的な数字で出てこなければいけないわけです。安全施設の信頼度が定量的な数字で出てくれば、これが安全評価の定量化へ向っての大きな前進になるのでございます。この小委員会はもう2年位になりますか、いろいろ検討してくださっていますが、検討された結果は、信頼度を評価する方法論のようなものがかなり進んできていますけれども、その方法論を適用するデータがあまりないので困っております。データがなければ計算ができない、たと

例えば、故障の回数というものは、モーターを買ってきてから必要なときまでの保守の仕方で変わってくる。また、安全装置の中には、長い間放っておいて必要な時に急に動かす必要のあるものが多いわけですが、必要なときに間違いなく動くという確率がどの位か、そういうものは、相当データが集積しませんが安心して評価ができないのであります。こういったデータの集積から始まりまして評価の体系をつくり上げるまでにはかなり長期にわたるいろいろな広範囲の努力が必要と思うのでございます。これについては原子力施設の建設の段階から、そういうデータをとって行く体制というようなものが望ましいわけでございます。これは研究者ばかりでなく、実際の施設を建設される現場の側からも、大きな協力が必要であります。

安全性の問題は非常に広範囲にわたっておりますので、いちいち拾っておればきりがありませんが、結論としてもう少し申し上げてみたいと思うのであります。原子力施設の安全性そのものだけでは、いくらその安全性が高くてもそれだけでは十分でない。やはり、人間が動かすのでございますから、施設の安全管理体制といったものの整備というものの検討、それから、そこに働いている人の訓練の問題、そういったものも補充的にぜひ必要である。第3には、先ほど廃液処分のことで申し上げましたように、その施設の安全性に対する補充、まわりの人間をまもるための補充としてのモニタリングシステムが責任体制まで含めて整備されることが大切である。これらが相まって安全性の向上に役立ってくれると思うのでございます。これに関連して、もう一つ付け加えたいことは、事故と故障に関してでございます。

外国におきましての非常に大きな事故、ウィンズケールの事故とかFL-1の事故等につきまして、詳細なレポートが出ておることは御承知のことでございますが、こういった事故についての詳細な検討が行なわれ公表されているという例は、他の産業ではあまり見られないことです。こういう点では、原子力施設を扱っている人達は優等生なわけでありませうけれども、一面それだけ問題が重大であることを示しているわけです。わが国においては幸いにして、こういった大きな事故はないのでありますけれども、小さな故障とか小さな事故とかは、ないわけではございません。そういう場合のどんな小さな事故につきましても、それを詳細に徹底的に検討いたしまして、その結果が、堂々と公表されることが安全性の向上のために非常に大事なことではないかと思うのでございます。わが国では、アメリカのアイダホで行なわれておりますような、安全研究のための暴走実験なんてものはその容易にやられるわけではない。経済的にも、場所の点からしても、そう容易にやれないわけでございます。しかし、どんな些細な事故でも見逃さないで、それを詳細に検討して安全性の向上に役立てて行くということは、やればやれることでありますし、安全性の向上に対する貢献度というものは、暴走実験に負けない位、大きいと思うのでございます。

以上を要するに、原子力施設の安全性につきましては、設計の段階から施工運転まで、他の産業に比べると全く比較できないほど模範的な体制がとられていると、今でも思っておるわけですが、問題の重要性を考えますと、今後ますます研究努力を重ねる必要があると思う次第であります。

第 5 セ ッ シ ョ ン

- ・ パネル討論会
「長期エネルギー計画と
原子力発電」
- ・ 原産特別委員会報告
- ・ 閉会総会

【パネル討論会】

長期エネルギー計画と原子力発電

I 電力長期計画と原子力発電開発

中央電力協議会

専務理事 山崎久一

1 今回長期計画の概要とその特長

9電力会社と電源開発会社を以て構成する中央電力協議会では42年度から51年度に至る10ヶ年間の電力長期計画を先般とりまとめました。

この計画は将来に亘り増加を続ける電力需要を賄うに当り、必要な供給施設を出来るだけ経済的に而も供給の安定を確保するよう各社の計画を更に広い地域に立つて調整を行つて策定するものであります。今回の計画の全貌は別紙に示す通りのものであります。基本的には将来の需要動向、エネルギー構成、技術革新、供給信頼度向上などを勘案して計画いたしましたものであります。その特長とするところを申し上げます。

- ① 需要を想定するに当りまして、最近あらわれはじめた夏季 peak の顕著な増大傾向を重視し、これに対応するための供給電源の施設及び運用などを考慮したものととなっております。
- ② 将来の需要形態への適合性とか原子力開発の促進される実情に対応して、peak 供給力を必要としますので、大規模揚水式水力を主体とする水力開発を考えております。
- ③ 火力、原子力の大容量化の見通しが内外の情勢から明るくなつて来ておりますので、この計画には積極的にこれを取り入れております。すなわち、75万KW 級および100万KW 級のユニットが新たに採用されております。
- ④ これは後刻まとめて申し上げますが、将来のエネルギー需給ならびに経済性向上の面から原子力開発が促進されております。
- ⑤ 公害がだんだんきびしくなる傾向にかんがみ、またこれを防除するための社会的要請がますます強くなつて来ておりますが、電気事業ではすでに先見的にその対策を進めて来ておりましたが、今回の計画にも対策を積極的におりこんでおります。
- ⑥ 需要家サービスの向上をめざし、送変配電系統全般にわたり供給信頼度をあげるよう、またとくに重大事故発生にそなえた対策に力点をおいております。
- ⑦ 電源の広域的開発や設備の有効利用の方式を進めてまいりますと、これに附随して会社

間或は地域間に電力の流れが計上されることとなりますが、その各種の電力融通がますます増大する傾向にあることを附表に示してあります。これは広域運営の推進をはかっている結果とみることができます。

工事資金を第九表に示してありますが、近年の傾向としては電源に比し流通部門の資金額が大きくなっていることが分ります。今回の計画では41年度実績に比し電源の比率も大きくなっておりますが、これはKW 当り建設費の高い原子力が増加したことなどが一因であります。又流通部門の比率も上っておりますが、これは超高圧以上の大きな幹線が計画されたことや、大都市過密化対策の費用増大などが大きな原因となっております。

2 原子力開発計画

原子力開発計画は技術開発の世界的進展の傾向を察知し、前年度計画に比し大巾に増大しております。着工ベースにおいて昨年度計画が25地点12,013MW（第九表参照）であつたのに対し、32地点21,465MWとなり地点数において7、出力において9,452MWを増加しております。単機容量においてもまた昨年度の700MWから今年は1,000MW級が本州中央部に相当計画されております。電源開発計画に占める割合からみましても前期は普通火力対原子力が62：26であつたものが後期においては42：41となり、ここ10年たらずで毎年の着工規模が普通火力を超越することとなつております。（第四表参照）

供給力構成からみると前期47年度末には全体に対し普通火力65%に対し原子力3%であるが、後期51年度末には普通火力61%に対し原子力11%となると見込まれております。（第五表）

電力需給バランスを41年、47年および51年について示すと第六表にみる如く供給力中に占める原子力の比率は最大電力の場合、それぞれの年度において0.3%—3%—12.1%、また電力量バランスの場合0.3%—3.8%—13.8%となつております。

51年度時点における石炭2,500万トンとすれば重油所要量は4,480万トンと推算され、原子力を重油換算すれば1,086万トンとなります。

この場合51年度までの原子力用天然ウラン累積所要量は概算3万トンとなります。

建設費単価について推定するところを見ますと容量500MW級でKW 当り6万円～7万円と想定され1,000MW 級のもので5万円～6.5万円と見込まれその経済性についても、容量増大の関係もあり漸次高く評価されております。

第一表 電力需要想定（地域別及び全国）

年度 月		41(実)	42	43	44	45	46	47	51	複利増加率%		
		MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	47/46	51/47	51/42
12月 最大 電力	北	1,088	1,212	1,299	1,349	1,444	1,579	1,630	2,101	7.0	6.6	6.8
	東	11,881	13,337	14,569	15,998	17,479	19,022	20,661	28,270	9.7	8.2	9.1
	中	11,609	13,039	14,213	15,754	17,240	18,769	20,394	28,044	9.8	8.2	9.2
	西	5,067	5,717	6,115	6,618	7,140	7,770	8,294	10,859	8.6	7.0	7.9
	計	27,645	33,305	36,196	39,719	43,303	47,140	50,979	69,274	9.5	8.0	8.9
8月 最大 電力	北	1,026	1,139	1,229	1,273	1,344	1,462	1,538	1,993			
	東	11,193	12,651	13,728	15,158	16,752	18,407	20,099	29,797			
	中	11,528	12,976	14,170	15,702	17,293	18,869	20,549	28,561			
	西	4,817	5,683	6,054	6,636	7,243	7,841	8,294	11,177			
	計	28,564	32,449	35,181	38,769	42,632	46,579	50,667	69,533			

○ アンダーラインした部分は8月の値が12月の値を超過するのを示す。

第二表 12月全国最大電力需給対照表

年度	41(実)	42	43	44	45	46	47	51
供給力 MW	33,080	35,481	39,273	42,593	46,988	51,051	55,093	75,153
需要 MW	29,645	33,305	36,196	39,719	43,303	47,140	50,979	69,274
供給予備力 MW	3,435	2,176	3,077	2,874	3,685	3,911	4,114	5,879
同上率 %	11.6	6.5	8.5	7.2	8.5	8.3	8.1	8.5

第三表 地域別水力着工出力と揚水発電

(9電力+電発)

年度	42~47 MW	48~51 MW	42~51 MW
地域別			
北	215	169	384
東	1,357	1,479	2,836
中	2,351	2,396	4,747
西	428	552	980
計	4,351	4,596	8,947
内揚水型	2,593	3,716	6,309
%	60	82	70

第四表 着工出力(全国)

項目	年度	42~47		48~51		計(42~51)	
		10 ³ KW	%	10 ³ KW	%	10 ³ KW	%
水力		4,398	12.3	4,596	17.1	8,994	14.4
火力		22,271	62.1	11,218	41.9	33,489	53.4
原子力		9,202	25.6	11,000	41.0	20,202	32.2
計		35,871	100.0	26,814	100.0	62,685	100.0

○ 公営、共同火力、原電などの受電分を含む。

第五表 増加出力および年度末設備(全国)

項目	年度	41末設備		42~47		47末設備		48~51		51末設備	
		10 ³ KW	%	11 ³ KW	%	10 ³ KW	%	10 ³ KW	%	10 ³ KW	%
水力		15,671	40.1	4,224	17.2	19,895	31.3	4,745	20.0	24,640	28.2
火力		23,311	59.6	18,341	74.7	41,652	65.4	11,375	48.0	53,027	60.7
原子力		125	0.3	1,988	8.1	2,113	3.3	7,602	32.0	9,715	11.1
計		39,107	100	24,553	100	63,660	100	23,722	100	87,382	100

○ 公営、共同火力、原電などの受電分を含む。

第六表 需給バランス

(1) 1,2月最大電力バランス(全国)

項目	年度別	41		47		51	
		10 ³ KW	%	10 ³ KW	%	10 ³ KW	%
供給力	水力	12,243	37.3	13,636	30.2	20,934	27.9
	火力	20,567	62.2	36,706	66.6	45,017	59.9
	原子力	95	0.3	1,668	3.0	9,119	12.1
	その他	75	0.2	83	0.2	83	0.1
	計	33,080	100	45,093	100	75,153	100
最大需要電力		29,345		50,979		69,274	
供給予備力		3,435		4,114		5,879	
%		11.6		8.1		8.5	

○ 公営、共同火力、原電などの受電分を含む。

(2) 年間電力量バランス(全国)

項 目		年 度 別		4 1		4 7		5 1	
		10 ⁶ kWh	%	10 ⁶ kWh	%	10 ⁶ kWh	%		
供 給 力	水 力	71,943	4.10	75,028	25.6	80,234	20.2		
	火 力	102,339	58.4	208,623	71.2	265,637	67.0		
	原 子 力	517	0.3	1,1270	3.8	54,808	13.8		
	そ の 他	845	0.5	880	0.3	880	0.2		
	揚 水 用	△ 419	△ 0.2	△ 2,735	△ 0.9	△ 4,935	△ 1.2		
	計	175,225	100	293,066	100	396,624	100		
年 間 電 力 量		175,225		293,066		396,624			

○ 公営、共同火力、原電などの受電分を含む。

第七表 融通電力一覧

項 目		年 度		4 2		4 7		5 1	
		最大電力	電力量	最大電力	電力量	最大電力	電力量		
一 融	地 域 内	713	3,724	715	3,234	1,006	7,484		
	地 域 間	167	842	191	1,234	85	517		
	計	880	4,566	906	4,468	1,091	8,001		
般 通	地 域 内	1,738	9,115	2,914	16,620	2,778	15,874		
	地 域 間	170	862	170	956	170	956		
	計	1,908	9,977	3,084	17,576	2,948	16,830		

第八表 超高圧ならびに超々高圧送変電
設備増強計画

項 目		期 間		前期6か月	後期4か月	10か年間	10か年	比 較
		(42~47年度)	(48~51年度)	(42~51年度)	(41~50年度)			
送 電 設 備 量 (km)	加 空 線 巨 長	超々高圧	1,044	1,141	2,185	1,454	⊕ 731	
		超 高 圧	1,867	1,910	3,777	3,296	⊕ 481	
	地 中 線 回 線 延 長	超 高 圧	162	144	306	163	⊕ 143	
変 電 容 量 設 置 量 (MVA)	超々高圧	600	1,7200	17,800	13,500	⊕ 4,300		
	超 高 圧	2,4587	1,9332	43,919	32,936	⊕ 10,983		

第九表 設備別工事資金（電力+電発） 億円

項目	年度	41(突)		42~47		42~47		48~51		42~51		42~51		参考		
		工事費	率%	工事費	率%	工事費	率%	工事費	率%	工事費	率%	前年計画	構成比率			
拡充工事	水力	490		3,533		2,259				5,792				9	5,505	10
		1,062		7,739		3,965				11,704				18	11,512	22
	火力	44		3,690		6,046				9,736				15	6,199	12
		1,596	39	14,962	43	1,2270	3067	41	2,7232	2,723	42	2,3216	44			
送変電その他	1,831	46	16,144	46	1,4463	3,616	48	30,607	3,061	47	23,808	45				
	3,427	85	31,106	89	26,733	6,683	69	57,839	5,784	89	47,024	89				
改良その他	567	15	4,059	11	3,239	810	11	7,298	730	11	5,964	11				
	3,994	100	35,165	100	29,972	7,493	100	65,137	6,514	100	52,988	100				
合計																

第十表 原子力発電計画

単位：10³KW

地点	42年度長期計画			41年度長期計画		
	出力	着工	運開	出力	着工	運開
北海道 1	350	48年度	52年度	250	48年度	52年度
東北 1	500	46年度	50年度	600	48年度	52年度
東京(福島1)	400	41/12	45/10	400	41/12	45/10
" (" 2)	784	43/ 3	48/ 5	600	43/12	47/10
" 3	784	45年度	50年度	600	45年度	49年度
" 4	784	47年度	51年度	600	47年度	51年度
" 5	1,100	48年度	52年度	600	48年度	52年度
" 6	1,100	49年度	54年度	600	49年度	52年度
" 7	1,100	50年度	54年度	600	50年度	53年度
" 8	1,100	52年度	56年度			
中部 1	350	44年度	48年度	350	43年度	47年度
" 2	500	46年度	49年度	500	46年度	49年度
" 3	750	48年度	51年度	500	47年度	
" 4	750	49年度	—	500	49年度	
" 5	1,000	51年度	—			
北陸 1	500	47年度	51年度	350	48	
関西(美浜1)	340	41/12	45/10	340	41/12	45/10
" (" 2)	500	43/ 2	47/ 6	450	43/12	47/12
" 3	750	45年度	49年度	700	45年度	49年度
" 4	750	47年度	51年度	700	47年度	
" 5	750	48年度	—	700	49年度	
" 6	750	49年度	—			
" 7	1,000	50年度	—			
" 8	1,000	51年度	—			
中国 1	500	45年度	49年度	350	45年度	49年度
" 2	750	49年度	53年度			
四国 1	500	47年度	51年度	350	47年度	51年度
" 2	500	51年度	55年度			
九州 1	500	46年度	50年度	350	46年度	50年度
" 2	500	50年度	54年度	500	49年度	53年度
原電東海	(¹²⁵ 165)	35/12	41/ 7	125 166	35/12	41/ 7
" 敦賀	(³²² 357)	41/ 4	44/12	322 357	41/ 4	44/12
計	32地点 21,465			25地点 12,013		

第十一表 原子力着工・運開出力および年度末設備比較表

単位：10³KW

年度	40まで	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	計
	着工出力	42年度計画 166	1,097	1,284	350	—	2,534	1,500	3,534	1,450	3,350	2,600	3,600
	41年度計画 166	1,097	—	1,400	—	2,150	350	2,150	1,200	2,900	600		12,013
差	—	—	⊕1,284	△1,050	—	⊕384	⊕1,150	⊕1,384	⊕250	⊕450	⊕2,000		
運開出力	42年度計画 —	125	41	—	322	740	—	885	784	1,750	2,284	2,784	9,175
	41年度計画 —	125	41	—	322	740	350	1,085	—	2,150	950		5,763
差	—	—	—	—	—	—	△350	△200	⊕784	△400	⊕1,334		
年度末設備	42年度計画 —	125	166	166	488	1,228	1,228	2,113	2,897	4,647	6,931	9,175	
	41年度計画 —	125	166	166	488	1,228	1,228	2,663	2,663	4,813	5,763		
差	—	—	—	—	—	—	△350	△550	⊕234	△166	⊕1,168		

Ⅱ 発電用燃料問題の将来

日本エネルギー経済研究所

所長 向坂正男

近年、原子力発電に関する技術進歩はいちじるしく、とくにアメリカにおいては濃縮ウラン軽水炉型の発電設備は経済性を高め、原子力発電設備の発注ブームがおこっている。わが国においては、「原子力開発利用長期計画」において、昭和50年度600万KW、60年度3,000万~4,000万KWの発電規模を見込んでいるが、電力業界には、最近の技術進歩にもとずいて、原子力発電の導入テンポを上記計画よりいつそう速めようという考え方が抬頭してきた。そこで今後、動力炉ないし核燃料に関して長足の技術進歩があり、国産化体制も進んで、原子力発電の経済性の画期的向上が実現されたとして、昭和60年には5,400万KWの原子力発電による供給能力をもつという仮定をおいてみた。これは60年以降、年々必要とする電力開発量のうち、7割を原子力、2割を揚水発電、1割を中規模火力によつて占められるという前提の上で計算された。

電力業は発電用燃料として重油の供給をうけることを通じて石油産業と密接な関係をもっている。原子力発電が重油火力にとつて代り、電力供給上に占める地位を高めるにしたがつて、電力業における重油消費量の増大テンポは鈍くなる。総合エネルギー調査会のエネルギー需要見通しをベースにして試算すると、昭和60年において、原子力発電が全くないとした場合の国全体の重油需要は250百万Kℓをこえるが、原子力発電が3,500万KWの規模になつた場合は約200百万Kℓとなり、もし上記のように原子力発電が5,400万KWになつたとした場合は、170百万Kℓに減少することになる。

これは石油業における製品需要構成を変化させるであろう。試算によると、60年に3,500KWの原子力発電規模の場合には、その時点における重油の比率は55%程度となり、5,400万KWとすると、51%程度となる。現在61%程度であるから、これにくらべて重油の比率はかなり低下する。そうして60年以降はさらに低下をつづけるであろう。なおこの試算では、重油輸入量を漸次減少し、また原油生だきは現在の傾向で増加して60年には20百万Kℓと見込んだ。

原子力発電の導入は、石油業における製品構成に変化を与えるだけでなく、原子力発電コストの低下にともなつて重油価格を押し下げる要因として作用するだろう。試算によると、原子力発電コストがKWh当り250円の場合、それに匹敵する火力発電コストにするためには、重油

価格が約 6,900 円でよいが 2,000 円の場合は約 4,800 円となり、1,500 円の場合は約 2,700 円となる。100 万 KW 規模の原子力発電のコストが KWh 当り 2,000 円を切ることは容易に予測できるところである。価格は需給関係によつて決まるから、電力用重油価格が原子力発電コストに匹敵しうる価格まで下がるかどうかは、石油業側の精製方式にかかっているが、少なくとも、原子力発電コストの低下が重油価格の低下要因として作用することは十分に考えられることである。その時期は 50 年代、とくに後半であろう。

将来に予想されるこのような事態にどう対応するかは、石油業の長期戦略を立てる上で重要である。石油業としては、重油需要の相対的減少を原油の軽質化によるか、または分解装置の増強によるか、軽質原油価格と精製コストの増加とを比較しながら決定することとなる。そうして原油の軽質化による重油得率の引下げには限度があるので、軽質原油の価格いかにかわらず、分解装置の増強をせざるをえない時期が来る。われわれの試算によると、55～60 年にはその時期が到達する見込みである。

原子力発電の導入がひきおこす上述の事態は、石油業にとつて、一方において、二つの利益がある。第一に、手取価格の低い重油の得率が減ることによつて、平均手取価格は上る。第二に、精製規定の拡大率が鈍化するために、精製設備、貯油施設、タンカーなど投資額の増加率も小さくなり、それだけ資本費負担の増加が少なくてすむ。しかし他方において二つの不利が生ずる。第一は重油の価格の低下であり、第二は価格の高い軽質原油の増加による原油コストの増大と分解工程の増加による精製コストの増大である。石油業としては、これらの事情を考慮しつつ、ガソリン・ナフサ得率を上げる精製方式に変更していくこととなる。同時に状況いかによつては、石油業としては製品価格体系を変更して、重油以外の製品価格を上げる必要が生じるかも知れない。

原油生だきも、電力業と石油業との関係において、原子力発電と似た性質の問題である。重油と原油との間に、使用上のメリット差以上の価格差があり、また公害対策の上からも原油の方が重油より利点がある以上、電力業から原油生だきを増やす要求が強まることは当然予想される。もつとも低硫黄原油の需給引締りから上記の利点を打消すほどの価格の上昇がおこれば、原油生だきの増加を制約することになる。他方において石油業においても、重油価格が原油価格に引き寄せられて採算がわるくなる傾向がすすむとすれば、かえつて重油得率を引下げる方が採算上有利となる状況も考えられる。

以上のように原子力発電の導入早期化の展望に立つと、原油生だき問題に対する石油業の対応の仕方も、これまでと考え方をえていくことが現実性をおびてくる。いまや石油業にとつて総合的な観点から重油をベースとした販売戦略をつづけるか、ガソリン・ナフサ・ベースに

漸次切りかえていくかは、長期戦略上の重要なポイントになつてきていることは否めない。

（上記「試算」とは、原子力発電の導入と石油産業についての研究会——松根宗一氏を中心とし原子力産業会議事務局、電力および石油会社、エネルギー経済研究所から参加した——においておこなわれた作業の結果を借用したものである。）

Ⅲ 原子力発電の開発と石油産業

丸善石油株式会社

常務取締役 脇坂 泰彦

石油産業の将来の姿に、もつとも重要であり、かつまたこれに構造的な影響を及ぼす要因の一つが、核エネルギーの利用、特に原子力発電の動向であることは、こゝに改めて指適する必要はないと思います。

競合するエネルギーとして、いわば受身の立場にたつ可能性が非常に強い石油産業、またそうなたとしてもなお当分の間エネルギー総需要の過半を負担しなければならない石油産業、その視点から両産業の関係と原子力発電が、石油産業にあたえる影響、それから発生する石油産業内部の問題点、これらを提起することが本日私に命ぜられた課題であろうかと考えますので、簡単に私見をご披露して、私の責めを果たしたいと思います。

最初に結論的なものに先づ触れさせていただきます。それは“エネルギー政策遂行上の当面の基本的な態度”についてであります。

本来自由経済体制のもとにあつて消費者の自由選択、供給側の自由競争などの原則はエネルギー部門においても、尊重されてしかるべきものと思いますが、エネルギー産業が基礎産業であり一部公益事業でもあり、又全体として公益的な性格が強い一方、その供給にあつては巨額の資本を必要とする上に需給の弾力性に乏しいなどの諸点から見ましても、エネルギー産業は

長期的な安定性と低廉性の確保

国際収支と安全保障

公害、あるいは海上交通の輻輳対策

など多くの観点にたつて総合的に又長期的に政策的な調整と位置づけが必要であろうかと存じます。核エネルギーの開発においては、技術革新のテンポが早く、またそれ自体が国防とも直結している今日の情勢から見て、原子力発電は総合的なエネルギー政策の立場から見ても、今後のエネルギー供給源の重要な一つの柱であると考えられますので、石油産業はこれをその姿で受けとめ、この情勢の変化にしたがつてこれに適合した体制に逐次移行してゆくべきであろうと思います。

ただし、原子力発電が今後急速な発展を行なうとしても、なお先に申し上げました通り、石油産業は当分の間、全エネルギーの過半を供給する責任があり、また石油化学原料など多種多

様な製品の供給者であるという、現実の需給の長期的な展望から考えて、石油産業がその役割りを円満に、また妥当な形で果し得るような経過と体制をとりながら、その編成がえを行なわなければならないと考えます。

卒直に申し上げて、石油産業は、これまで原子力発電の課題を、石油産業のサイドの問題として真剣にとり組んではおりませんでした。大型原子炉の開発など今日の情勢から判断して、これを石油側のもつとも重要な課題の一つとして、真正面から検討すべき段階にたちいたつていると考えます。

さて、次に石油産業として原子力発電をどう受けとめるかその考え方であります。

今日まで世界は、石炭と石油ならびに天然ガスによつて二度の大きなエネルギー革命に遭遇いたしました。特に後者石油と天然ガスの場合には、価格面の優越性もさることながら、品質と使用上の便利さから、在来燃料よりも優れているという点も見のがすことのできないところでもあります。さらに重要なことは、この新しく登場した燃料が以前には不可能であつたエネルギーの新しい利用分野を開拓したことにあると思います。核エネルギーが今日の急激な技術的進歩に支えられて、将来、徹底的な開発が行なわれ、石油産業からみればさらに深刻な事態が起りうる可能性はあろうかとも存じますが、今日の段階においては、核エネルギーが発電用の燃料としての分野におけるその経済的な優位性に当面最も大きなファクターがあろうかと考えます。

勿論資源的な観点からの問題のとりあげ方、その他先見性の問題を軽視するわけにはまいりません。あるいは石油における大気汚染の問題等もとりあげる要因の一つともなるかと思いますが、石油側における脱硫技術の進歩、一方には原子力発電に伴うサーマル・ポリユージョンの処置などもあり、いずれにしても概括的に見れば、当面発電用燃料としての経済的な優位性という前提にたつて原子力発電を受けとめてよいのではないかと考えております。

この場合冒頭に申し述べましたとおり、総合的なエネルギー政策の立場にたつて充分検討を願いたいと存じます。

さてこのような前提にたつて、原子力発電が石油産業に及ぼす影響についてその問題点を摘出するために、その手掛りとして、先般発表されました総合エネルギー調査会の答申にしたがつて、私の考えを進めてみたいと思います。

すなわち、昭和45,50,60年度の各時点におけるわが国の石油の総需要量とその中に占める電力用重油の比率、ならびに製品重油の要輸入量との関係を先ず採り上げたいと思います。

年 度	昭和45年	50年	60年 (単位100万Kℓ)
総 需 要 量	170	259	474
(燃 料 油)	(152)	(234)	(426)
(重 油)	(97)	(146)	(253)
電 力 用 重 油	25	46	85
重 油 の 輸 入 量	18	19	9
(原 油 処 理 量)	(144)	(231)	(449)

これらの予測数値には、原子力発電によつて発電される昭和50年度で約500万KW、昭和60年度においては、約3,500万KWに相当する重油は含まれておりません。

この見通しによれば、電力用重油は絶対量において可成りの速度で増加をつゞけ、製品重油の輸入もまた相当に必要であるという姿を示しております。といつても、原子力発電の今後の動向によつては、この姿も再検討を行う必要があるといふことはいふまでもありません。又おむね20年後の需要の推定でありますので、多かれ少かれ、相応の誤差も生ずることかとも思います。しかし概括的に見て、昭和50年度までを区切つた場合、重油の要輸入量である1,900万Kℓは概ね1,300万KWの原子力発電能力に匹敵いたしますので、約500万KWの発電量に加えて、1,300万KW合計1,800万KW以上の原子力発電が稼動するであろうと想定することは当面必要がないようであります。

したがつて、これが石油産業に投げかける影響は、この面からは、石油産業の構造的な問題として、採り上げるには、尚時間的な余裕を持つていると考えられますので、この期間は石油サイドでは研究と準備の段階に当らうかと思ひます。ただし、昭和60年度における900万Kℓの要輸入量は約600万KWの原子力発電能力に相当すると計算されます。

したがつて、石油産業における構造的なものへの影響を当然予測されますので、昭和60年代はそれに対応する体制とその処方箋が実行に移される段階であると考えます。

このような考え方によつて原子力発電の開発がもたらす石油産業の側での課題は何か。これを概観いたしたいと思ひますが、本日はその問題点を思ひつくままに提起するという範囲に留めたいと存じます。

1) 先づ第一に需要構造の変化にともなう供給体制の問題であります。

消費地精製方式が低廉特に安定確保を柱として、国益につながる限り、仮りに大きな需要構造の変化があるとすれば、それと供給体制とをどう調整してゆくか。

特に石油化学用原料としてのナフサそれは

昭和45年度	15,600万Kℓ (総需要の約 9%)
50年度	25,600万Kℓ (" 約10%)
60年度	51,400万Kℓ (" 約11%)

のように急激に増加いたします。

石油の需要構造の変化の度合にもよりますが、少くとも現時点においては、常識的には原油の軽質化だけではなく、分解技術の大巾な採用をもたらず結果ともなるものと考えられます。また、この措置によつて物量的には混乱を避けつつ対処できるものであります。ただこの場合、原子力発電の開発をふくめたエネルギーの動向を世界的にさらに深く検討する必要があり、また原油の過剰傾向も含めた交互作用をも研究しなければならないと思います。

2) 第2に発電用燃料と関係の深い重油の低サルファー化の対策に触れてみたいと思います。

石油産業においては、これまで低サルファー原油への転換と低サルファー重油の輸入によつて、重油の硫黄分の低下を図つてまいりましたが、既にその限界に達しましたので、昭和44、45年度、消費量のおおむね50%の重油を平均1.7%の硫黄含有率に低下させることを目標とし、年間約2,500万Kℓの能力を持つ直接、間接脱硫装置の建設を急いでおります。そのため投資額は恐らく、1,000億円に達するものと予想されます。

もともこの追加工程は、重油の直接的な使用価値を高めるものではなく、大気の汚染対策が目的であり、しかも、原料中のサルファー1%を低減するために、1Kℓ当り、当面の計算値では500円のコストが荷重されるという性質のものであります。

しかも、脱硫技術は現在なお開発の途上にあるものであつて、将来恐らく長足の進歩を見るものと期待いたしておりますが、一方高煙突あるいは将来開発されるであろう排煙脱硫なども併せて、国民経済的な視点から、その個々の優劣と方向が検討されなければならない多くの問題を残しております。

しかし、いづれにしても過密地帯において、低硫黄化重油の選択以外には、根本的な解決に限界のある大衆消費者への対策をさらに押し進める必要があろうと思います。

この経済的には価値を造出しない追加工程によつて生ずる原価高の問題は、原子力発電を検討する際の一つの課題であらうと思います。

3) 公害対策とも関連し、また将来の原子力発電の開発にともなう石油の需要構造の変化を設定した上で、原油生だきを一つの対策案と指摘される向もあります。価格差の問題は欧州などと異なる税制に問題があり、サルファー対策としては、将来は原油そのものの、規格が目標値を満足させ得ない、また満足しうるような原油の入手が問題とならうという点で、当面総合エネルギー調査会の『原油の生だきは特殊のC重油を除く、C重油輸入予定量の範囲内とする』

という方針が妥当な方向であると考えております。

4) その他、原子力発電と一見直接的には関連がないように見られますが、石油産業においては、将来重要な課題となるものとして、海外原油の開発とつながるいわゆるアップ・ストリームとダウン・ストリームとの関係、あるいは、市場構造の在り方など多くの基本問題があると存じますが、これ等については割愛いたします。

さて、石油製品の多くは、ほとんど同一の装置によつて必ずしも、工程別原価とは結びつかないで多種多様の製品が生産され、その使用価値が異なっております。

また、公害対策、安全保障上の備蓄対策などが直接生産そのものの中に多分に入りこんでおります。以上のような実体も多分にあつて、すでに指摘いたしました需給構造の変化といい、脱硫問題といい、原油生だきといい、石油から生産される製品の価格の体系とこれに伴う税制の在り方、そしてそれが妥当な形で、維持されるメカニズムが、さらに高次元の国民経済的な立場にたつて、又原子力発電の姿もにらみ合わせて、体系化される必要がありそのことが逆に原子力発電の将来における開発の方向に影響を及ぼす大きな要素ともなるものと考えます。

石油の価格体系と税制の問題、これが本年度の総合エネルギー調査会でとりあげられる重要な課題の一つであるときいておりますので、ご協力いただきたいと思います。

そして私としては第3の火である原子力発電開発のすみやかに軌道に乗つてますます進展し、そのことが国民経済にプラスとなることを期待もし、又祈念もいたしております。

VI 発電用核燃料の確保について

東京電力株式会社

常務取締役 田中直治郎

私は与えられた命題として、発電用核燃料の確保について私見をまじえ、述べさせていただきます。

さきに、山崎さんからもお話しがありましたように、わが国の原子力開発はいよいよ急速に進展することが予想されるにいたりました。先般、中央電力協議会が作成しました昭和42年度電力長期計画によりますと、昭和51年度までの10年間において原子力発電設備は全国で18基、その総出力は971万5,000KWとなり、この時点での発電設備の構成は水・火力89%、原子力11%という割合になります。さらに、原子力委員会の昭和42年4月の「原子力開発利用長期計画」によりますと、昭和60年度の原子力発電所は3,000万KWないし、4,000万KWと予想され、その時点では全発電設備の19ないし25%となります。しかし、上述の規模でも技術革新による効率化すなわち経済性の向上、建設技術の確立、運用の安定化によつてこの規模はさらに拡大されることも考えられます。それまでの核燃料の累積所要量は U_3O_8 で約10万ショート・トンとなるものと算定されております。これに対し、動力炉・核燃料開発事業団、原子燃料公社の調査によりますと、わが国の賦存量は約5,000ショート・トンといわれておりますので、国内ではとうてい需要をみたすことはできません。

一方、世界の自由諸国におけるウラン資源量はどうかと申しますと、昭和42年12月に発表された欧州原子力機関(ENEA)の想定によりますと、ポンド当り10ドル以下のいわゆる経済ベースにのる U_3O_8 の確認埋蔵量は約83万ショート・トンほどであります。このうち約36%は米国とくにニューメキシコ、ワイオミング、コロラド附近に、約24%はカナダ、特にエリオット・レーク地区に、約24%は南アフリカに、また残余はヨーロッパ、オーストラリアなどに散在しております。この数値は今後の探鉱・技術の進歩に伴ない、かなり増えるものと思われま

す。他方、米国原子力委員会が昭和42年5月に発表した昭和55年の自由世界の原子力発電設備は2億8,000万KWと推定し、これに必要な天然ウランの累積需要量は約50万ショート・トンに達するものとされてい

ます。また、近年度の需要のすう勢は原子力発電所の建設が予想以上に急速な伸びを示しておりますので、新規の探鉱・開発が進むまでの間、すなわち昭和45年から3~4年の間にウランの

需給が一時きゆうくつになる時期があるかもしれないと考えられています。

したがって、米国はじめ各国とも天然ウランの採鉱開発を積極的に進めんとする機運となり、鉱山業界は活発な動きを示めすにいたりました。したがって、今後においても天然ウランの生産は相当に増大することが期待されていますが、なお需給を円滑にする努力を必要とするものと思われまます。

また、一方ウランの所要量を大巾に減少させる目的で、各国が競つて研究開発をしている高速増殖炉・新型転換炉の実用化、プルトニウムの有効利用の具体化などの努力が早期に必要であります。

いずれにしても、わが国自体はウラン資源に恵まれず、その所要量のほとんどを海外へ依存せざるをえないので、電気事業者にとって原子力発電開発計画を支障なく実施していくためには、採算ベースにのるウランをいかにして長期にわたり、安定して確保するかが、重要な課題となつております。

このような見地から、電気事業連合会は、昨年3月核燃料調査団を欧米諸国に派遣し、ウラン需給に対する各国政府、電気事業者、鉱山業者の動静を調査する一方、引続いて原子力開発対策会議に核燃料部会を設置し、採鉱開発、長期購入契約を主軸とし、これにスポット購入契約を配合するなどの燃料確保対策の具体化の検討を重ねてまいりました。

その結果、当面の所要量を確保する方策として、まず早急に長期購入契約を結ぶのが最善であるとの結論にいたりました。この方針にそつて、電気事業者7社および日本原子力発電会社は世界の有数のウラン業者であるカナダのデニソン・マインズ社および、リオ・アルゴム・マインズ社との間に、昭和44年から10年間にわたり、 U_3O_8 で総量15,500ショート・トンのウラン精鉱の長期購入契約を昨年末および今年当初にわたつて締結いたしました次第であります。

10年という長期にわたり、しかも多量のウラン精鉱を購入する契約は世界的にみても民間取引としては初めてのものであり、核燃料確保の対策の一つとして画期的な意義をもつものといえましよう。

今回の長期契約によつて8社の総量として昭和53年までに必要とする当面の量の4割以上を確保したことになり、さらにこのほかに、すでに建設中発電所の第1炉心分および東電のエルドラド社よりのスポット購入分などを含めますと、ほぼ半量は手配したことになります。

また、前述のようにわが国としてはウランの長期確保対策として海外の採鉱開発を推進する必要があるが、すでに三菱金属鉱業と、リオ・アルゴムとの共同採鉱開発契約の成立をみております。さらにカー・マギー社などから共同採鉱開発の申入れがなされております。また、電力会社等とデニソン・マインズ社との長期契約におきましては、共同採鉱開発についても協

議し得ることがうたわれております。電気事業者が自ら使用する核燃料については相当長期間にわたって長期購入契約とともに海外の採鉱開発を推進せしめる必要のあることを私は痛感しております。

他面において、わが国の原子力発電計画によりますと、前述のように、当分の間燃料は主として低濃縮ウランを使用するものと考えられますので、ウラン精鉱の確保とともに完成燃料にいたるまでの転換、濃縮ならびに成型加工に対する対策が必要であります。米国においてはすでに特殊核物質の民有化が決定され、わが国においても日米原子力協定の改訂を契機として民有化の第一歩が踏み出されることとなります。また、米国政府はわが国に対する発電用濃縮ウラン供給を保証しておりますので、当面の所用燃料について電気事業者としては直接海外の業者に転換を委託するとともに、米国原子力委員会に委託濃縮の契約を締結するよう目下準備を取り進めております。

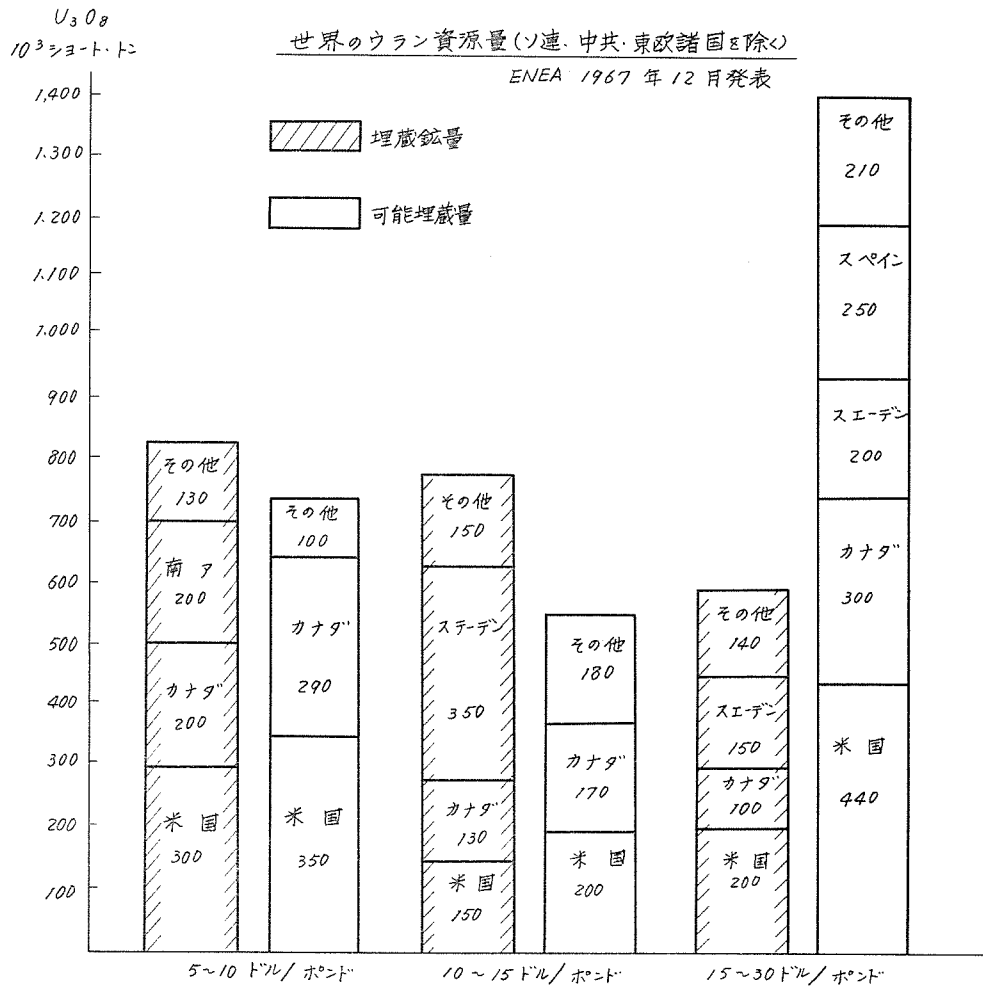
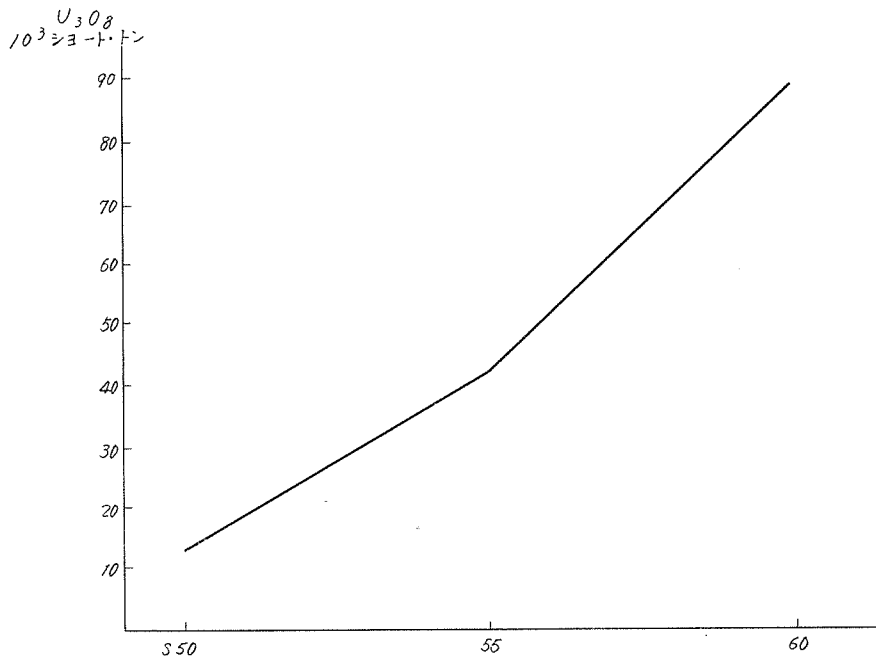
また他方、原子力発電機器につきましては、当初は先進国において開発された実証性のある機器導入に頼らざるをえないとしましても、将来におきましては国内メーカーがこれらの経験を通じて自主技術の開発をはかり、原子力発電機器の完全国産化によつて国内市場のみならず海外市場におきましても、各国に伍して十分競争する日がくることを期待しております。

このような段階に到れば核燃料分野においても、わが国が転換、濃縮、成型加工の全分野を自ら手がけ、日本独自の技術にもとづく核燃料産業が確立されることと思ひます。濃縮等これらの技術につきましても、研究開発がかなり進められつゝあるといえます。

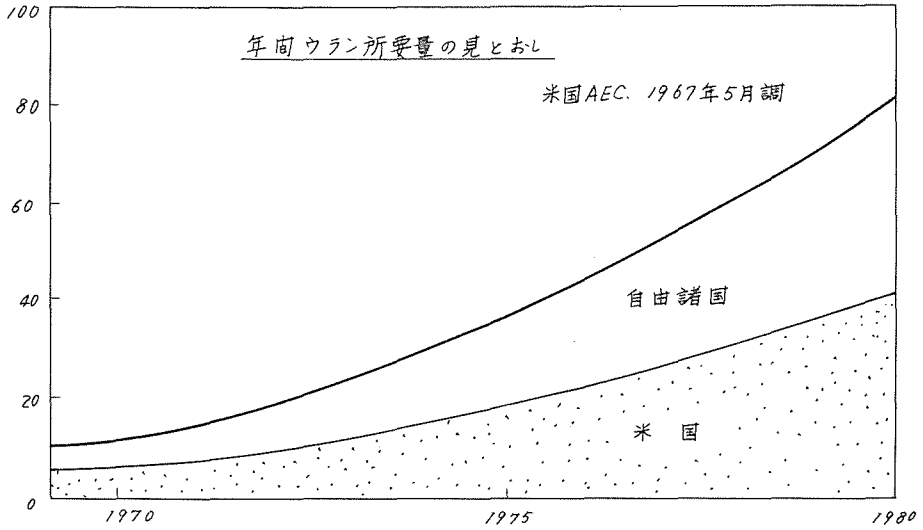
すなわち、超長期展望に立てば、先に触れました海外ウラン資源の探究開発は、経済を有する国内鉱業界が主体となつて行ない、一方電気事業者は、メーカー核燃料産業などにより完成燃料を購入してゆくのが本来の姿ではないかと考えます。

これがためには、民間企業が多額の投資を必要とするので、核燃料民有化の方針が決定している経緯に鑑み、主体は民間企業が中心となるとしても、国もエネルギー政策の一環として政府サイドで民間活動を円滑かつ容易にしうよう、資金・税制・法規等の各面につき、具体的には民間の海外採鉱開発ならびに民間核燃料産業に側面から特段の配慮を加えられることを望むものであります。

わが国のウラン累積所要量



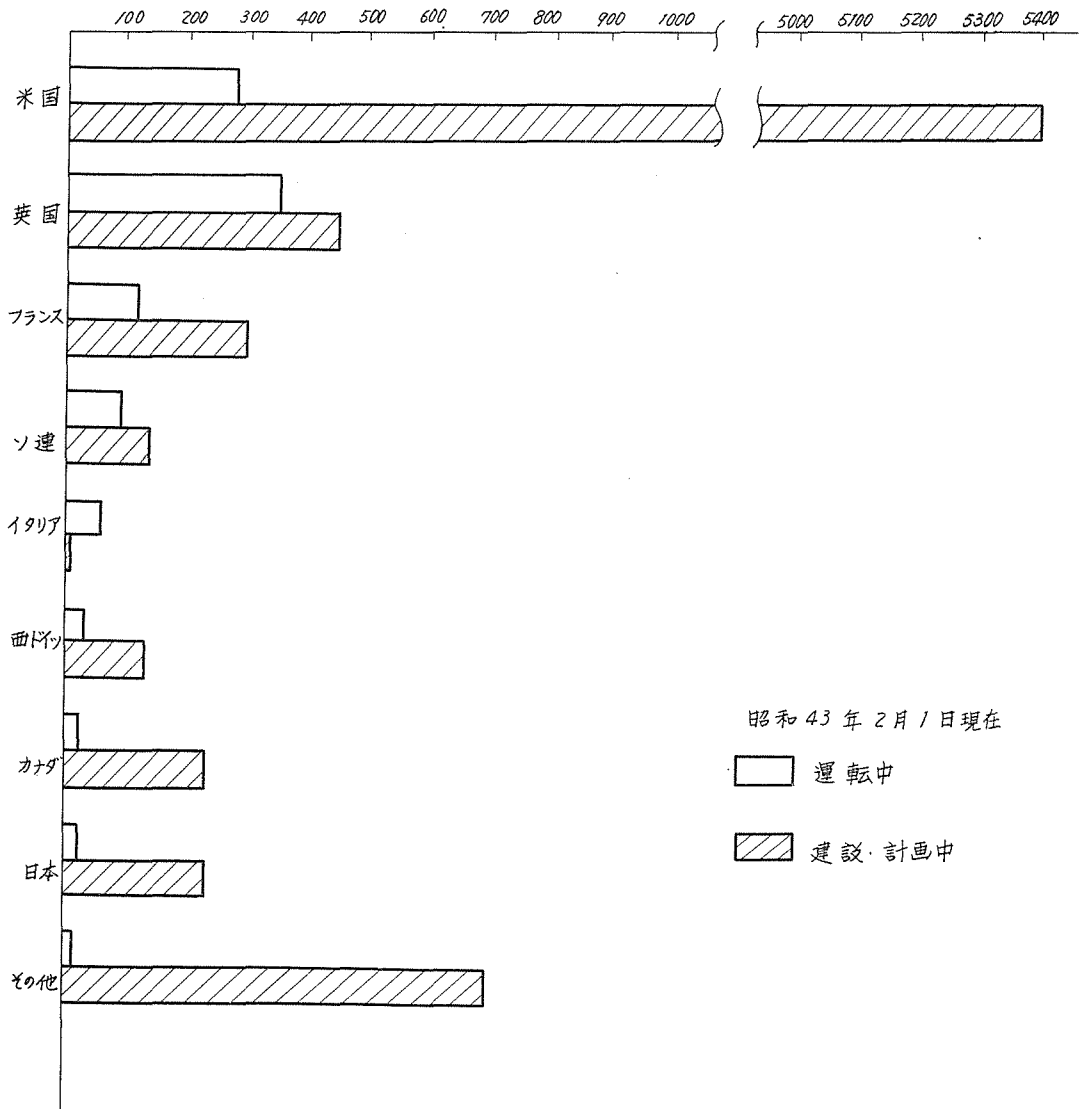
U₃O₈ 10³ショート・トン



- 1) Pu リサイクルは1970年中頃と仮定。
- 2) ソ連, 東欧諸国, 中共を除く
- 3) Pu リサイクルがないががない場合は, 1980年所要量は10%増。

世界の原子力発電設備一覧

(単位 10⁴ KW)



米国における供給業者による核燃料サイクル・ステップ

	原子炉供給業者						燃料サイクル供給業者						
	インターナショナル・アトミックス	B & W	GE	GD	GE	WH	アラバマ・ケミカル	カー・マギー	ナショナル・ナリッド	NFS	NUMEC	ユニオン・トリブナル	AEC
<u>炉心の成型加工</u>													
深鉱・採掘・精練								×				×	
UF ₆ への転換							×	○					×
濃縮													×
Zrインゴット製造						○							×
Zrチューブ製造					○	○						○	
UO ₂ への転換					×	○		×	×	×	×	×	×
UO ₂ のペレット化	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×
燃料要素の成型加工	×	×	×	×	×	×			×	×	×	×	
燃料保証		×	×	×	×	×			○	○	○	×	
<u>原子炉の燃料取扱</u>													
燃料取扱装置の設計		×	×	×	×	×			×		×	×	
<u>使用済炉心の回収</u>													
使用済燃料の輸送					×	×			×	×			×
再処理および廃棄物処理					○		○		○	×	○		×
再濃縮用UF ₆ への転換					○		○						×
PuO ₂ への転換	×				×				○	×	×	×	×
Pu燃料の成型加工	×				×				○	×	×	×	×
使用済燃料中のアイソトープ回収	×				○		○		○	○			×

× 現在実施可能

○ 計画中

【討論の部】

議

長

松 根 宗 一 （日本原子力産業会議副会長）

議長（松根） いま4人のパネリストからのキーノートのご発表があつたのですが、お気付きのように、実は時間があまり残っておりません。3時45分まで延長させて頂くことにして、一応それまでの間に、おもな質疑討論をやり、同時に最後のとりまとめをやりたいと存じます。時間が足りなかつたために、講師の方にとつてもご自分の説明を必らずしも十分だと思われなかつた方があるでしょうが、これは問題の内容が非常に複雑であるということと、この問題一主として石油と原子力の調和、競合の問題一は、いままでだれも試みなかつた新しい問題であるということから、時間がかかつたと思うのです。

また4人の講師のお話の中では、多少基礎となる数値のとり方のちがひもございました。私にはその辺の事情はよくわかつておるのでありますが、いずれにいたしましても、十分な時間がございませんので、まずパネリストの方から相互にご質問がありますれば、時間の許す限りお願いしたいと思います。

それでは私から皮切りをやらせて頂きます。これは田中さんにお伺いしたいと思うのですが、大体、いま石油との競合に一番問題となつております原子力の発電原価、これはなかなかむずかしい問題だと思つておるのですが、大体昭和60年ぐらいの時点で、高速増殖炉は別として、いまの軽水炉系のもので、どれぐらいの原価になるだろうかということが1つ。

もう1つ伺いたいのは、今後、長期購入契約をされたウランのことです。これは民間としては世界的にもまことに、めずらしい注目すべき取引ですが、イエローケーキで15,500 ショート・トンというのは、石油に換算しますと、大体どれぐらいの量の油に相当しますか。原油でも重油でもけつこうでございます。この辺のことをひとつお話願えたらと思います。

田 中 正確なことは申し上げられないと思いますが。

まず第1の発電原価ですが、現在のことを先に申し上げたほうがよいと思います。アメリカの軽水炉の状況ですが1964年に、オイスタークリークという発電所の建設計画が発表されたのですが、そのときは、平均的発電コストとして4ミル（1.44円）という数字が発表され、非常にセンセーションを起こし、アメリカの石炭業界が非常にショックを受けたという話がご

ございました。その後どうかといいますと、たまたまこの発電所は、いま建設の最終段階を迎えています。一部機器の製作不良問題などに遇っています。

しかしこのクラスの他の50万ないし60万KWのもので、KWh 当り1円80銭ぐらい、その上の70万KWないしは80万KWで、1KWh 当り大体1円50銭ぐらい、そんなところではないか。100万KW級になりますと、非常に安いコストになります。特にTVAで110万KW 2基を発注しましたが、これは政府の機関ですからコストの算出根拠がよくわかりませんが、86銭といわれています。

日本へもつてきたらどうか。いまやつております30万KWから40万KWぐらいのところでは、大体3円を少し切るところから3円10銭ぐらいのところではないか。将来の出力増加(ストレッチ)を考えると、2円80銭ぐらいにいくのではないかとというのが実情でございます。

そこで、将来の発電コストということになりますと、ちよつとつかみにくいですが、アメリカの場合、GE、ウエスティングハウスが、去年の3月タービン工場の新規の建設を発表しました。これにより、60サイクル系では大体200万KWのユニットができるであろう。そうしますとおそらく1円に近い……1円とか、1円30銭ぐらいのところはアメリカではできるのではないか。日本ではどうしても金利の関係その他で、アメリカと同じユニットでつくっても高くなりますけれども、将来、これが国産化され、工場設備も完備し、大量生産になりますと、まずアメリカ並みにいくのではないかとというのが1つの考え方だつたと思います。したがって昭和60年の段階では、1円20銭ぐらいにいくのではないかと思います。

次に、核燃料によるエネルギーがどのぐらいの石油量に相当するかということですが、これもちよつと当たっているかどうかわかりませんが、同じKWh を出すのに核燃料が1トンで、油にしますと6000トンぐらい要るのでしょうか。核燃料の場合は燃料費が安いものですから、大体半値でいくのではないかという見当でございます。試算した数字もでございますけれども、大ざっぱにいつてそんなところではないか。

余談ですが、核燃料の場合は、ウランが去年の初めごろまでは、1ポンド当り6ドル、あるいはそれを割つておつたのですが、このごろは若干上がつてきている。かりに8ドルと仮定いたしますと、加工して完全な燃料になるまでに幾らかかるか。大体3倍ぐらいになるのではないか。かりに8ドルとして25ドル見当ではないかということでございます。したがって天然ウランの値段が若干上がつても、燃料費への影響はわりあいに少ないと、考えております。

議 長 そうすると、大体15000 ショート・トンという石油に換算してどのぐらいになるのですか。

田 中 15,000 トンの6,000倍ですから9,000万Kℓですか。

議 長 1億トンの油と同じということですか……。どうもありがとうございました。何か同坂さんご意見がありましたでしょうか。あまり問題が大きくて質問しにくいですね。

一 本 松 先ほど同坂さんのお話、石油のコストに影響を与えるという時代が1980年、昭和50年代とおつしやつたんですが、アメリカにおける原子力発電は、まだそれほどに縮についていない時代から、化石燃料コストに影響を与えたということがあつたように私は聞いています。ですからいまのお話は、あるいはもう数年、あるいは10年ぐらい早く考える必要が起こるのでありませんでしょうか。

議 長 石油が原子力発電のコストに引っぱられるというのですか。

一 本 松 つまり、アメリカではすでに石炭を下げたわけですね。ですから、これはむしろ脇坂さんにお尋ねするのがほんとうかもしれないませんが、つまり1980年代でなしに、70年代の中ごろにはもう石油も、場合によつては、原子力のためにコストを下げなくてはならないという事態が起こるのではなからうかという見通しを質問いたしたわけです。

向 坂 先ほど、フランスのエネギー計画の見解を引用して、1980年ごろには、石油産業は、原子力発電のコストを重油価格決定に際して考慮せざるを得なくなるだろうという意味のことを申し上げたのですが、ただ、確かに先端をいく原子力発電の設備については、かりにもつと早く、重油、火力よりもずうつと安い発電ができたとしても、その量が相当な量にならないと、実際に重油価格を下げるという圧力にはならないのではないか。その意味で私は原子力発電が相当な経済性を持ち、相当な量を、電力側がどんどん入れるような状況になるということが必要ではないか。日本でも、おそらく単に輸入だけではなくて、国産の体制もとのつてきて、あまり重油価格が高ければ、原子力をもつともつとふやすぞということにならないと、その重油価格には大きく響かないのではないか。そういう意味で昭和50年代の後半なり、60年前後と申し上げたのです。

脇 坂 ただいまのご質問について、アメリカの重油発電がどのようなかつこうになつているか存じませんので、直接答えにはならないかも知れません。

しかし、同坂さんのいわれたことと同じことを申し上げた積りです。アメリカの需要構造そのものが、いわゆる重油と称するものに対して非常に少ない。総需要の20%をも割つていないのではないか。需要構造そのものの問題、たとえばガソリンとか、灯油とか、軽油とかといったようなものが大部分を占めて、しかもそれが相応に売れている。値段は幾ら下がつてもいいという防衛がすでに行なわれている段階も多分にあるのではないか。それは原子力発電よりも、むしろLPGと申しますか。天然ガスで、すでにもう行なわれているのが実態でございますので、原子力発電とアメリカの電力需要の比較そのものは知らないで、こういう議論を申し上

げるのはいけないかと思いますが、傾向としてはそのようになつているとご解釈いただいているのではないかと思います。

議 長 時間がないので、あとで書面でご返答いただくようにしますか……。

一 本 松 アメリカでは、対象が石油ではなく石炭だつたので、日本ではそれが石油になりますから、その場合のことを質問したのです。

議 長 石油は値段を下げることになるのか、撤退するのか、どちらになるか、の意見を聞かせて欲しいということですね。

一 本 松 つまり、下げられるだけは下げるにきまつていると思いますが、問題は何年に下がるか。1980年というのは遅いのではないか？1970年代の中ごろではないかと思うんです。

議 長 いま私が議長の方でお答えするのはおかしいのですけれども、そういう場合には得率を変えて、重油をつくらないようにして撤退しようというのが石油側のお考えです。競争して売ろうというお考えではないようです。その点、石炭とはちよつと違います。石油に関しての考え方を一ぺんお読みいただければ、大体回答は出ているように思います。

それでは、あまり時間がございませんので、田中さん、ガスのことについてご発言頂けますか。

田 中 先ほど脇坂さんのお話では、石油界が非常に英断をもつて脱硫をおやりになるといことでした。2500ないし3000万Kℓという規模で考えておられるというので、これはビックニュースだと、私は、感激しているわけです。一方、きょう話題に出なかつた問題は、液化天然ガスの問題があると思うのです。これはまだいまのところでは、油は比べて大体3~4割高くつくのではないかと思うのです。将来、もし、非常に豊富に出た場合、輸送に相当金がかかるとか、特殊の冷凍船がいるとか、あるいは液化をし、あるいは気化するのに金がかかるということはございますけれども、社会的な要請あるいは社会安全という面で、いわゆる公害の観点から、先ほどお話の出たようなものがだんだん出てきますと、都市の近郊では液化天然ガスというのが話題になるのではないかと思います。

議 長 最近、アラスカの天然ガス、インドネシアの天然ガス—ソ連はちよつといま停滞しておりますけれども—いろいろと天然ガスの導入問題が非常に大きくなつておりますので、総合的にエネルギーを考える場合には、これを頭の中に入れて案が必要であると思います。時間の関係で、もしパネリストの方に特にご質問がなければ、そろそろとりまとめに入らせていただきたいと思います。

たびたび申し上げますように、エネルギー間の問題というのは、通産省の総合エネルギー調査会においても名前は“総合”となつておるのでありますが、それがみんな、石炭は石炭、石

油は石油、原子力は原子力というふうに、縦の研究調査はよくできておるのでありますが、横の組み合わせによる調査というのはできておりません。これでは国全体として政策を立て、産業界として、進む方向を定める上で非常に困るのではないかとということで、私もたびたびエネルギー調査会のほうにも申しました。しかし、なかなか事が進みませんので、私自身でも研究してみようと思ひまして、先ほど向坂さんのお話にございましたように、若干の関係業界の方と会合をもち半年ばかり研究してみたのです。やはりこの問題はなかなか問題点が多いのでありますけれども、かりに脇坂さんのお話にございましたように、石油業界の方は、あまり原子力のことにご関心がない。どのような進み方をしておるのかわからない。また原子力界の方は、一体石油というのはどうなるんだろうということについても、十分なお認識が足りないのではないか。そういうことでは1つ1つのエネルギーを発展させる上にも非常に不便であるし、また全体を推進していく経済界としても、非常にこれはむずかしい問題が起きることが予測される。また、それに伴う政府の政策も、石炭は石炭の政策、石油は石油の政策、原子力は原子力の政策と非常にばらばらになつている。やはりこれはほんとうの意味で総合的な1つの政策を考え、同時に政府もそれに基づいた総合的な措置をとつていくということ、もうそろそろやらないといけないのではなからうかという考えを、きよりの討論会の結論ということにいたしまして、このパネルを閉じたいと思います。たびたび申しますような事情で、初めてのこともございましたし、またこの問題は、機会を見て今後もつと掘り下げをしてみたいという気もございまして、そういうことにご関心をお持ちの皆さまも、どうかご研究をいただき、機会がありますれば、ご一緒にそういう問題と取り組んでみたい、かように考えております。たいへん長時間ありがとうございました。

I 核拡散防止問題特別委員会報告

委員長 清 成 迪

原子力はその研究開発によって平和利用による人類の福祉増進と軍事面への利用による人類の不幸という二律背反的両面の要素を持っている。

日本が広島、長崎において経験したのはその不幸な一面であるが将来更に奥深く開発せられるであろう原子力がかつても兵器として大規模に使用せられる様なことがあればそれは人類の破滅を意味するものである。

第二次大戦以後、米ソの核兵器の対立は全面戦争の抑止力として働いては来たものの、しかし段々と核保有国が増加すると極めて危険である、核兵器の悲惨を最もよく知っている日本は先づ今以上に核保有国を殖やすまいとする国連18カ国軍縮会議の核拡散防止条約にその精神においては賛成である。しかしながら、その本旨はあくまで核戦争の絶滅でなければならない。

この本旨を実現するにはそれではどうすればよいのであろうか。

今や人類は自然科学の領域では大は宇宙の彼方から小は原子核や素粒子にいたるまで想像を絶する解明進歩をしているが、他方人文科学の面においては2000年前の釈迦、キリスト以来見るべき進歩はないように思われる、このような調和の喪失が増長すれば必ずや神の怒りに触れざるを得ない。昨日三宅教授がプロメシウスの火のお話をされたが、ここでもう一度想起したいと思う。

私はこの unbalance の恐るべき事を感じ得る人類の敬虔な叡知によってのみ核軍縮から核兵器放棄という本条約の根本の目的が達せられると思うものである。

原産では昭和42年8月核拡散防止問題特別委員会を設置して本問題の検討を開始したが同月24日には米ソ両国から18カ国軍縮委員会に核拡散防止条約第1次草案が提出された。骨子は核兵器の拡散を防止するための核保有国、非核保有国の義務を規定したものであるが保障措置といわれる査察の項は空白であった。

委員会の検討すべき命題は条約全体に対するわが国原子力産業界の意見を取りまとめることにある。空白となつてはいるが第3条は産業界に極めて大きな影響を与えるものであり、又わが国はこれまで I A E A による査察を世界中で最も多く受けてきているので、専門家グループから成る査察問題小委員会を設け今までの経験に基く問題点の摘出と今後の要望点を検討した。

その過程においては8月末外務大臣の要請により同条約草案に対する産業界の意見を申述べ、また11月には外務省の斡旋で日米専門家会議が開催され原産としてはこれに代表者を送って意見を述べた。さらに11月下旬ウィーンで開かれたIAEAの保障措置の核燃料加工施設への拡大審議会working group会議に専門家を派遣して意見を述べた。

本年に入って1月18日には米ソ両国から18カ国軍縮委員会に条約の完成草案が提出された。これには先に空白であった第3条保障措置の項が成文化された外、わが国始め他の諸国から提案されていた意見が取り入れられて前案よりは前向きな修正がなされていることは認める、しかしまだ産業界としては疑義もあり改善を要望したい点もあるので以下に本条約に対する委員会の意見を述べる。査察問題の詳細については小委員会報告として提出するつもりである。

1. 平和利用における研究の権利

平和的核爆発に関する研究は本条約においては禁止されているものと解する。しかしわれわれが想像もしないようなアイデアは常に研究の過程から生れるものであるから、何らかの形で研究の自由だけは原子力平和利用のあらゆる面について留保しておくべきであると考えらる。

2. IAEAによる保障措置の適用

本条約が有効に目的を達成するためにはできるだけ多数の国が本条約に参加する必要がある事は論をまたない、このためには保障措置が平素の原則に貫かれかつ実情に則した受け入れ易いものでなければならない。現行のIAEA保障措置制度は本条約を予想しないもので合意的なVoluntaryのものであり、今度、本条約が成立すれば強制的なCompulsoryのものとなる。ゆえに本条約の成立を機会にこの現行の保障措置全体を実際的なものとするよう見直すことが必要であると考えらる。

そしてまたこの制度は状況の変化があれば必要に応じていつでもIAEAの理事会を通じて合理的なものに修正することが実際的に可能であることを希望する。

現在の制度で問題と考へられる主な点は、

第1に設計審査、計量、査察等の諸基準を確立し可能な範囲でそれを公開すること、

第2に計量精度については対象を単に天然、濃縮というような簡単な表現にせず濃縮度5%以上の高いものと5%以下の低いものと精度の区別をすべきである。

第3に工業機密の漏洩防止について査察者や査察の対象についてじゅうぶんなる考慮を払うこと。

第4に工業規模で行なわれている施設と研究開発段階のものとは取扱いを明瞭に区別し精度等も考慮すること。

第5に査察ができるだけ簡単にしかも問題を起さずに行なわれるためにチェックポイントをきめるとか

計測装置を開発するとかいうような研究を行なうこと。

3. 本条約の有効期間

条約が発効してから25年後にその存続を検討することになっているが、日進月歩の原子力科学技術から見るとこの期間は長すぎると思われる、10年位が適当ではないかと思う。

4. 核保有国の軍縮義務

最後に本条約の草案には核保有国の軍縮努力について新しく条約本文に規定していることは認めるものであるが、他方宇宙核兵器やその迎撃手段についての別の努力がなされ、その発表が次々になされている状況では条約草案にある第6条では不十分であり、具体的な核軍縮措置が示されない限り非核保有国の抬頭を永遠に封ぜんとする一方的野望であるとの疑念は除かれない。

この報告の冒頭に述べたように核保有国は人類の敬虔な叡智によって核軍縮の実を本条約によって示すべきであると思う。

Ⅱ 材料試験炉利用懇談会報告

委員長 平塚正俊

日本原子力産業会議は昨年7月、材料試験炉利用懇談会を設け、今年3月に臨界を迎える原研のJ M T Rについて、利用者としての産業界の意見を取りまとめ、昨年12月、その審議結果を「材料試験炉利用に関する要望書」として、大蔵省、科学技術庁および原研など政府関係当局に提出いたしました。

原子力の開発、特に核燃料や炉心構造材の開発には、高い中性子束を有し、ホットラボなどの照射後試験設備を備えた材料試験炉において炉内特性や挙動の試験を行なう必要があります。現在世界には20ほどの材料試験炉があり、米国だけでも7基が運転されています。わが国はこれら先進諸国に比べると10年以上の遅れがあり、これはそのまま原子力開発の遅れにつながっているといたしましょう。従来、核燃料、構造材料などの照射試験はアメリカを主とする海外の材料試験炉で行なわれてきましたが、海外炉での照射は経費、処理、手続、時間などの点で不利な面が多く望ましいものではありません。

わが国での材料試験炉の設置を要望する声が最初にあがったのは昭和34年、原産において熱出力12万5,000KWの材料試験炉を昭和39年までに設置することが望ましい、という意見を発表したのが始めであります。翌35年原子力委員会は材料試験炉専門部会を設置し、その答申に基き、熱出力約5万KW、軽水、濃縮ウラン型のJ M T Rを43年度に完成させ、原研に設置するという現在の計画を決定しました。その後多少の曲折がありましたが、原子力5グループの共同製作による純国産の方針のもとに順調に建設が進められ、予定通り今春3月に臨界を迎える運びになりましたことは、わが国原子力開発の歴史に輝やかな一頁を加えるものであります。またJ P D R - IIとならび、国産燃料開発に重要な役割を果たしていくものであります。

J M T Rは臨界ののち、本年10月まで出力上昇試験を行ない、10月以降1年間試用期間、これは大学や産業界から照射試料を提供してもらって試験するものですが、その試用期間の後、来年10月から本格的な実用運転に入ることが予定されています。なお、昭和40年に原研のJ M T R運営委員会が発足し、試用期間の利用計画、照射料金体系の策定および炉型式の選定の作業を進めてきております。この委員会には利用者側からメーカーグループの代表者や学識経験者が参加しております。

ここで特に問題となるのは、J M T Rの運営体制と照射料金体系であります。運営体制は産業界、大学、各研究機関などの利用者の要望が十分に反映され、円滑な利用が図られるような

体制であることが必要でありますし、また、料金体系についても、試用期間中は原則的には無料の予定と承っておりますが、実用期間に入ってから放射料金がいくらになるかによって、産業界の照射意欲が大きく左右されることは免れないのであります。

料金体系については、J M T R 運営委員会のワーキング・グループでの検討結果を取入れた原研案がありますが、目下当局と折衝中であって公式のものとはなっておりません。これら J M T R の運用について、産業界の意向を知りたい、との原研の希望もあり、また産業界としても関心の大きいことでもありますので、原産は、原子力 5 グループ、鉄鋼業界、動燃事業団など、広く関連業界の立場から総合的に審議検討し、このたびの要望書を出すに至ったわけであります。

本要望書の骨子は、① 利用者の意見が運営面に良く反映されるような体制とすること、② 安全基準の適用、サービス業務および商業機密の保持など、産業界の要請に必要な措置を講ずること、③ 放射料金体系については従来の原価算定方式に促われず、産業界の実情を勘案して、また、原子力産業育成の立場から策定すべきであること、などであります。

すでに発表されたように、わが国でも続々原子力発電所の運開が予定され、また動力炉・核燃料開発事業団による国産動力炉開発プロジェクトのスタート、原子力第 1 船の建造開始、核燃料再処理工場の建設等将来への地固めは一応整ったように思われます。

したがって、原子力産業界としての当面の急務は、在来型原子力プラントの国産化と、核燃料、諸材料国産化の確立であります。国内で製造したといっても、外国メーカーの仕様書に追隨しているだけでは真の国産とはいえません。独自の技術、材料および設計による自主的生産が必要であります。

この見地に立って考えれば、現在および将来の原子力産業に J M T R が果たす役割は極めて大きいと申せましょう。

しかし、先程述べたように、J M T R の放射料金体系のあり方、逆にいうと産業界が J M T R での照射にどれ程の支出能力があるかということが問題でありますので少しくこの点につき申し上げたいと思います。

J M T R の運転に必要な年間の経費は約 17 億円と試算されていますが、従来の方式によりますと、その全額が放射料金によって回収されなければならないという建前になります。勿論、動燃事業団や原研などからの国家資金によるものが相当にあるとしましても、なお数億円が産業界からの放射料金として期待されることになります。しかしながら、照射試験を必要とするような原子炉材料、核燃料の売り上げは、将来はともかく、当分の間は必ずしも多くは期待できず、したがって、J M T R による照射試験が如何に必要不可欠であっても、これにさき得る

照射料金は極めて限定されたものであるといわねばなりません。

結局、従来の原価算定方式による料金では産業界の負担能力をはるかに超えたものとなり、ひいてはJ M T Rの利用を阻害するという結果になりかねないのであります。試用期間に出された各界からの照射希望は、潜在需要が多量にあることを示しておりますが、その需要を実際に引出し、J M T Rを効率的に運用するためには、産業界の実情に見合った料金体系とし、また、開発当初の過渡期間につき何等かの妥当な措置をとることが、是非とも必要であると思えます。

原子力産業実態調査によりますと、過去10年間における鉍工業部門の原子力における支出超過分は260億円、また、研究投資額は320億円の巨額にのぼり、このように原子力産業界は巨額の累積赤字を抱えて、その維持に苦しんでいる状態であります。

もちろん、受益者負担の原則があり、現実には17億円の年間経費が必要なのでから、単に安い料金をといても限度がありましようが、例へば従来輸入していたコバルト60などのアイソトープをJ M T Rにより積極的に製造するとか、海外からの照射需要を喚起するとかして、副次的収入の増加を図るとともに、料金算定となる回収原価の対象費目を限定する、あるいは照射試験に対する国家補助を行なり、などの可能な限りの対策が必要であります。

材料試験炉利用懇談会は以上のような諸項目を慎重に検討して先に述べた三項目を中心とする数項目の要望を原産に答申し、原産はこれを採択して当局に要望書を提出したのであります。J M T Rのあり方は原子力産業の将来とも密接に関連するのでありますので、この趣旨を採用されることを切望するとともに、民間各界においてもこれにご賛同願いたい次第であります。

Ⅲ 原子力用鋼材標準化懇談会報告

委員長 湯川正夫

昭和42年度におきまして、日本原子力産業会議に設けられました懇談会の一つとして「原子力用鋼材標準化懇談会」がありますが、私がこの懇談会の委員長をお任せつかりまして進めてまいりましたので、その概要につきましてご報告いたしたいと思っております。

この懇談会は昨年8月に原産に設置されたものでありますが、その設置の趣旨は、現在、わが国において原子力機器に使用する鋼材についての標準規格が不備の状態でありまして、鋼材のメーカー、あるいは、フアブリケータ、電力会社において標準規格を早急に確立すべきであるという要望が高まってまいりましたので、産業界の立場から、この問題の基本的なあり方について話し合う場を設けたいということから出発したものであります。

この懇談会の委員は産業界の代表として、鉄鋼材料メーカーから8名、フアブリケータから4名、電力関係から4名、学識経験者5名、関連協会3名のほか、政府関係からオブザーバとして参加いただきました6名の方を加えて合計30名の委員のご参加を得て進めてまいりました。

昨年8月、本懇談会の発足以来、数次にわたり、会合を開きまして審議検討を行なってまいりましたが、先づ第4に取上げて検討いたしました点は「現在、原子力機器用鋼材の規格が、どのように不備であるかを、つぶさに調べる」とでありました。この点についての審議結果を次に要約してご説明いたします。

わが国で原子力機器に使用される鋼材は漸次国産化が進んでおりまして、今後における原子力発電所建設計画の進展、あるいは経済性向上のための単機容量の増大に伴ってまいります機器の大型化によりまして、これに使用される国産の鋼材は非常に増加するわけではありますが、わが国における原子力機器用鋼材の規格の現状は次に述べますように不備の状態であります。

たとえば、原子力機器用鋼材規格についてアメリカのASTM (American Society for Testing Materials) とわが国のJISとを比べますと、

○ 鋼板関係

鋼板関係につきまして、ASTMではボイラーおよび圧力容器用鋼材の材質規格は26規格もあり、用途、鋼種に応じ細分化しているのに対し、JISでは一規格があるのみでありまして、アメリカで原子力容器に多く使われているA533B相当材がなく、これの旧規格、A302Bに類似のSB56Mがある程度であります。

○ 鍛鋼、鋳鋼関係

また、特に規格の不備なものは鍛鋼、鋳鋼でありまして、鍛鋼ではA S T Mが31規格に対して、J I Sは2規格、また鋳鋼ではA S T Mが16規格に対して、J I Sは5規格であります。これらのJ I Sも内容的にA S T Mと大きく違っておりまして、ほとんど使用できない状態であります。

わが国では昭和40年6月に、電気事業法の規程によりまして「発電用原子力設備の使用材料に関する通産省令および付帯告示」が公布されまして、関係J I Sが明記されておりますが、これらのJ I Sは、前に述べましたように、不備の状態であります。

○ 関連学協会の状況

つぎに、関連学協会での標準化の動向を見ますと、日本機械学会、日本鉄鋼協会、日本溶接協会、などいづれも早くから原子力機器用鋼材に関して多方面にわたり、研究が進められておりますが、標準化の基礎となる研究が主であります。また、日本電気協会は通産当局の依頼によりまして、原子力、水力、火力を含む通産省令に基づく電気関係の技術基準全般について広く調査研究を行なっておりまして、原子力関係では、压力容器の設計、加工技術に関する基準の作成を、火力発電技術協会に依頼いたしました。この依頼によりまして、火力発電技術協会は、A S M E (American Society of Mechanical Engineers) Section IIIに関する調査研究を行ないまして、設計、材料、製造を一貫した原子力压力容器の基準として「原子力压力容器規程(案)」を作成して、昨年12月に日本電気協会に提出いたしました。これは今後わが国における原子力用压力容器製造の指針となると考えられますが、その材料規格はA S M E規格を、そのまま引用しているものであります。

以上、述べましたように原子力機器用鋼材の標準規格は、まことに不備の状態であり、また、現在、標準化への動きが遅れていることを勘案いたしまして、当懇談会の各委員の意見を総合し、政府関係当局に、標準化に関する要望書を提出すべきであると考えられますので、本年初頭から要望書作成のためのワーキング・グループを編成して進めてまいりましたが、ワーキング・グループの検討結果にもとづいて審議いたしました結果、特に重要な点は、原子力機器用鋼材の標準化については種々の特異性を有していることでありまして、政府にJ I Sの充実を要望するに当りまして、この特異性を十分に認識していたら、政府当局が対処されるよう要望すべきであるということであります。

① 高水準の標準化

先づ第1に高い水準の標準化が必要であるということであります。

原子力機器用鋼材は特に品質の良好なものが要求されるわけでありまして、特に原子炉系の

中でも圧力容器は使用条件が苛酷でありまして、運転中の事故は絶対に許されないものでありますと共に、原子炉自体はさらに中性子照射による経年変化が避けられないものであります。

- 尚
- i) 脆性破壊特性
 - ii) 低サイクル疲労特性
 - iii) 溶接特性
 - iv) 中性子照射特性

などに対して良好な特性が要求されるものでありまして、安全性の上から、きわめて高い水準の標準化が必要であります。

② 材質基準、検査基準の一元化

次に、第2の特異性としては材質基準、検査基準を一元化した規格の作成が必要であることであります。鋼材の信頼度を検査するため、引張試験のほか、特に衝撃試験および各種の非破壊試験を行なう必要がありますが、これらの試験検査およびその判定基準が鋼材の製造と不可分な関係にあることでありまして、材質基準、検査基準を一元化した規格の作成が必要であります。

③ 規格の即応体制

次に設計、加工技術が急速に進歩しておりますため、これに即応して規格の制定、改廃を迅速に行なう必要があることであります。アメリカのA S M Eでは規格委員会の活動は、きわめて活発でありまして、年に6回の会議を開きまして、規格の制定、改廃を迅速に行なうほか、現行規格に対し年2回の増補を出版するなど、技術の進歩に対する規格の即応体制が確立されておりますが、わが国もこの点に特に注意が必要であります。

④ 「原子力機器用」としての標準化

以上述べてまいりましたように、原子力機器用鋼材規格は種々の特異性を有しておりますため、特に「原子力機器用」としての鋼材規格を、鋼板、鍛鋼、鋳鋼、鋼管などの全般について、総合的に確立することが必要であります。

以上が原子力機器用鋼材規格についての特異性であります。今後の原子力産業の発展に備えて国際性のある標準といたしますため、その内容、および制定、改廃の即応体制について政府当局に検討を煩すこととして、J I Sとしての標準化を要望することいたしました。また、過渡的な方法としては、業界において作成の団体規格についてJ I Sに準ずる取扱とするか、または、逐次J I S化させることにより権威づけることを要望することいたしました次第でございます。

この「原子力機器用鋼材標準化に関する要望書(案)」は、要望事項として、わが国の原子

力機器用鋼材規格は、現在不備の状態であるため、このJ I S化を早急に充実していただくこと、および、種々の特異性を有するため、在来の一般のJ I Sのあり方、つまり、その内容、および制定、改廃の即応体制について検討を煩しいこと、を記載いたしまして、これに（Ⅰ）規格作成の必要性、（Ⅱ）規格の特異性、（Ⅲ）規格の形態の3項目について前に申しました事項をやや詳しく記載することにいたしました。

なお、この要望書（案）は、日本原子力産業会議において、2月26日開催の理事会の承認が得られれば、政府関係当局に要望されることになつておる次第でございます。

当懇談会は、この要望書の作成により、第1段階の結着を見るにいたっておりますが、なお、今後の推移によりましては随時、会合をもつことが必要であると考えております。

IV アイソトープ・放射線利用に関する 化学・繊維工業懇談会報告

委員長 齊藤辰雄

ただ今ご紹介いただきました斎藤でございます。

昨年8月、日本原子力産業会議総合企画委員会において設置が決定致しました「アイソトープ・放射線利用に関する化学・繊維工業・業種別懇談会」において産業界の関係者の方々と審議検討してとりまとめました報告書に基づき、まず全体を概観し、ついでアイソトープ・放射線利用の概況を紹介し、現状と問題点、ならびにその対策としての要望事項につき、ご報告を致したいと存じます。

さて、化学工業・繊維工業は申すまでもなく国際的な競争が激烈であり、各企業間の機密が多く、さらに技術の進歩はめまぐるしく研究開発への依存度は極めて高いものであります。従って研究開発の成否がこの両業種の成長の鍵となっている訳でございます。それだけに技術を通じての資本進出、市場の独占という傾向が他の産業分野と比較して非常に強く感じられます。

また、海外諸国の現状はどうかと申しますと、アイソトープ・放射線はエネルギー利用の面におきましても、また、計測解析などの手段としても生産工程においての重要な新しい技術としての役割を果しつつあるようにみうけられます。これらの分野における開発の努力を怠りますと、資本、技術の全面的な自由化を前提とした開放経済体制下におきましては、わが国の化学・繊維工業がアイソトープ・放射線利用を含む技術独占を通じて他国からの制約を受け自主的な発展を阻害されるおそれが大いなのであります。従いましてその体制を整備し、あい路となっている諸問題を積極的に解決するよう努力することは、緊急を要する問題であろうかと存じます。

一方、将来を考察致しますと原子力発電の経済性は、数年後には達成される見通しで、昭和50年代におけるその規模は約600万KW、昭和60年頃には数千万KWに達すると予想されます。

とくに原子力発電の実用化時代が訪れますと原子炉において発生する放射線を直接化学反応に必要なエネルギーソースとして利用したり、また化学的処理技術に負う処の大きい燃料再処理事業や化学的プロセスとの組合せによる原子炉の併用利用あるいは多目的利用などの新分野の開発が必然的に要請されることは明らかであります。又、核燃料の再処理から出るアイソトープの生成量は莫大な量に達する見込みであり、これらのアイソトープを有効に利用することは国家経済の立場からもゆるがせに出来ないものであろうかと存じます。今から動力開発と、

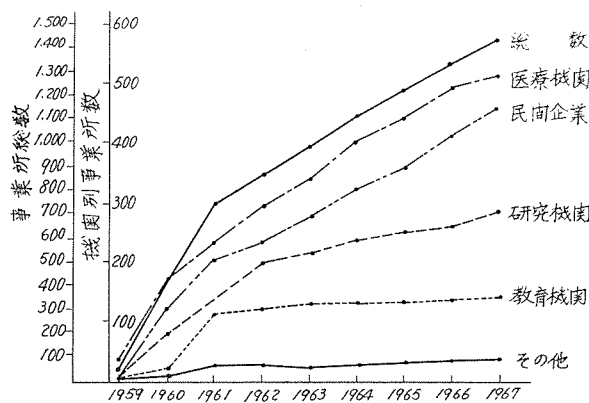
それに続くアイソトープ・放射線利用の二本の柱に関し、将来の進展を予見しその対策を確立しておくことは重要な課題であると考えられます。

〔アイソトープ・放射線利用の概況〕

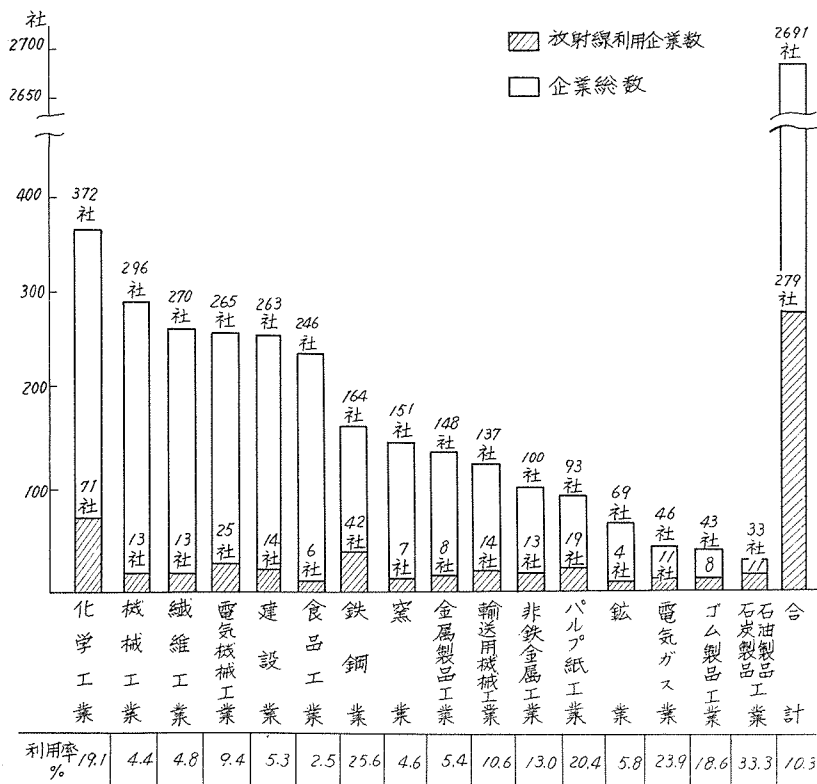
つぎに、アイソトープ・放射線利用の概況をご紹介申し上げますと、先に原子力局、原産において作成した工業利用実態調査によりますと、現在、全国で1425の事業所でアイソトープ・放射線を取扱っており、その32%は工業方面で利用されております。また、その25%は、化学工業、繊維工業両業種に利用されており、他業種に比べて活発に利用されております。

(第1図、第2図)

第1図 使用事業所数の年度推移



第2図 企業における放射線の使用状況



(注) 放射線を利用している企業については、資本金5,000万円以下の企業を除き、回答率の逆数を乗じて算出した。〔放射線工業利用実態調査資料〕

一方、わが国のアイソトープの生産については、核種も漸次増加し、短半減期のものを中心に生産量も増加しておりますが、将来、材料試験炉によるコバルト-60大線源や、核燃料再処理工程において核分裂生成物から分離して得られるトリチウム、クリプトン-85、ストロンチウム-90、セシウム-137、などの生成量は莫大な量に達するものと察せられます。

これ等工業方面におけるアイソトープの利用で最も活発に利用されているのは、レベル計、厚さ計、密度計、水分計などのゲージングで、工程管理、品質管理、オートメーション化に使用されております。例えば、レベル計を20台も設置してプロセスの自動化に成功した化学繊維メーカーの例もみられます。

ついで、作業管理や品質管理のための非破壊検査にも積極的に利用されており、又トレーサーとして、工程管理の利用においても効果を発揮しております。トレーサーの工業利用面では、所謂生産されたアイソトープではなく、トレーサー物質を原子炉で照射して利用する case も多くなってまいりました。

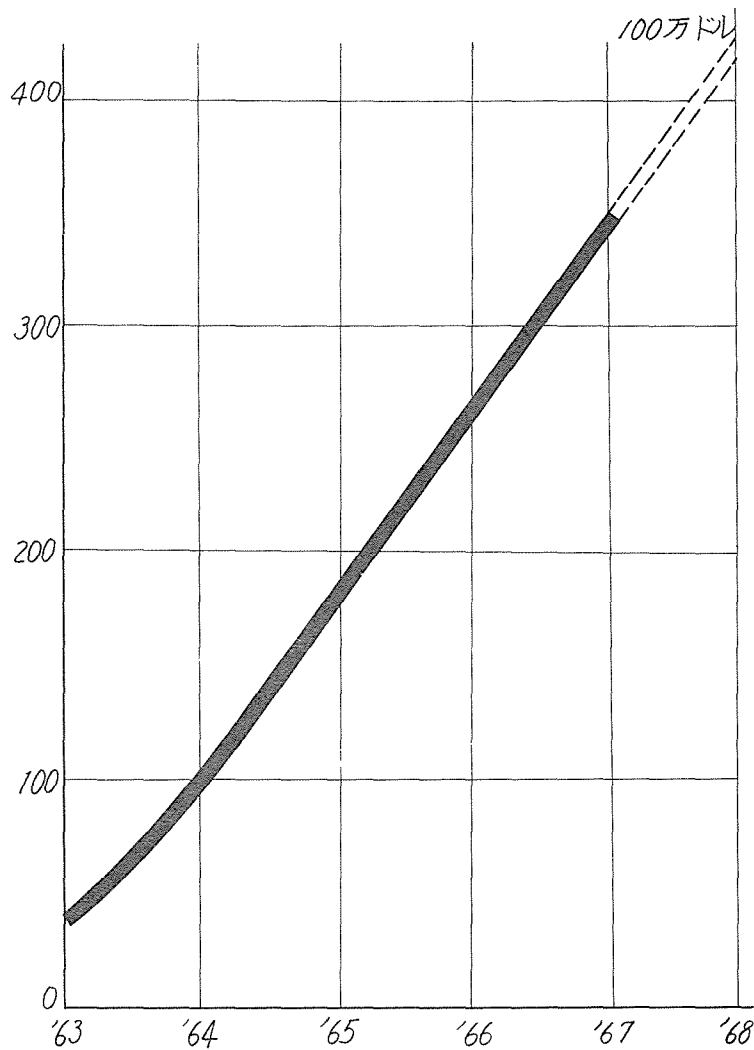
又、トレーサーとして大規模の野外利用や、工場の現場装置の解析としての利用も、放射線管理の難しい面に対処しつつ、アイソトープの特徴を十分に生かして利用されております。最近、野外あるいは、工場現場におきまして、非放射性物質をトレーサーとして用い、採取したサンプルの放射化分析によって、解析する、いわゆるアクチバブル・トレーサーの技術が開発されており、これにつきましては、わが国がその利用において活発に独自の成果をあげて海外からも注目されております。

昭和40年、原研にアイソトープ事業部が設置されまして、在来のアイソトープ製造、技術者養成活動に加えて42年には利用開発室が設置されました。これによってアイソトープの製造、利用研究、教育、サービス業務にわたり、国の中心的役割を果す機関が作られた訳であります。原研・アイソトープ事業部の円滑な運営と長期計画の実施によって一段と工業利用の進展を期したいものでございます。

つぎに放射線利用の現状につきましては、わが国の化学・繊維工業分野における放射線照射の工業利用および開発試験が民間企業と原研高崎研究所におきまして行なわれておりますが、また、パイロット試験に至るまでの試験研究は各々の分野において相当行なわれているものと思われます。

原研高崎研究所はご承知のように、昭和37年に民間の強い要望により、工業化技術を推進するための中心機関として設立されたのであります。各界の開発研究を有機的に関連づけ、効率的な開発を実施しておりますが、工業化技術の推進の為、なお一層の基礎研究の充実、研究分野の拡充の必要が要請されております。

—昨年12月17日(1966年12/17)号のケミカルウィークの記事によりますと、米国における照射処理製品額は(第3図)年毎に直線的増加をしてゆくものと推定されております。



第3図 照射処理製品額年度別推移(米国)

又、アーサー・ド・リットルの報告をみましても1962年(昭和37年)には照射処理製品年額2,000万ドル、1963年(昭和38年)には7,500万ドル、1964年(昭和39年)には概算1億ドルというように非常に急速な伸びを示しております。

もっとも、これら照射製品類には電気絶縁および包装用ポリエチレンの架橋、臭化エチルの合成等の化学、繊維工業分野による利用のほか、トランジスターおよびダイオードの特性の改良といった電気工業分野および殺菌等の工業或は農業利用が含まれ集計されております。原研高崎研究所の団野博士のI A E A 提出のデータを紹介致しますと(第1表)化学繊維関係の放射線照射商品の主なものは表の通りであります、殺菌および食品照射を含めると利用例はさらに多くなるのであります。

第1表 放射線の工業利用例

(団野氏：放射線の工業利用報告書 IAEA 1967による)

1) ポリマーの改質

プロセス	場所	段階	線源	特徴・用途
ポリエチレンテープ	General Electric (米)	商 品	加 速 器	耐熱性、電気絶縁用
	住友電工 (日)	商 品	加 速 器	
	その他数社			
ポリエチレンフィルム	W.R. Grace (米)	商 品	加 速 器	高収縮性、フィルム
	その他数社			
ポリエチレン電線被覆	数社(日、米、仏その他)	商 品	加 速 器	耐熱性、電気絶縁用
ポリエチレンフォーム	東洋レーヨン (日)	商 品	加 速 器	架橋発泡、緩衝材、断熱材
	積水化学 (日)	商 品	加 速 器	
プラスチック成型品	Raychem (米)	商 品	加 速 器	耐熱性
ポリエチレンオキサイド	Union Carbide (米)	開 発	Co-60 100KCi	分子量調節
天然ゴムラテックス	Saclay (仏)	開 発	加 速 器	加硫、機械的性質良

2) クラフト重合

プロセス	場所	段階	線源	特徴・用途
アクリル酸グラフトポリエチレン	Dow Chemical (米)	パイロット	加 速 器	接着性、フィルム
ブタジエングラフトポリエチレン	電々公社 (日)	パイロット	加 速 器	加硫、可撓性良
ブタジエングラフトポリ塩化ビニル	高崎研究所 (日)	パイロット	Co-60	
スチレングラフトポリ塩化ビニル	Dow Chemical (米)	パイロット	加 速 器	
スチレングラフトセルローズ	高崎研究所 (日)	パイロット	加 速 器	熱可塑性
ポリエステル/綿混紡布のグラフト	Deering-Milliken (米)	商 品	加 速 器	防汚性

3) 重 合

プロセス	場所	段階	線源	特徴・用途
エチレン	Brookhaven N.L. (米)	パイロット	Co-60	電気的性質良好、粉末状
	高崎研究所 (日)	パイロット	Co-60	
	その他数ヶ所(米、仏、伊)			
エチレン共重合	Farbwerke Hoechst (西独)	研究用	Co-60	
トリオキサン	HB.N.P.C. (仏)	パイロット	X 線	高重合度
	高崎研究所 (日)	パイロット	加 速 器	
不飽和ポリエステル被覆	Radiation Dynamics (米)	商 品	加 速 器	
不飽和ポリエステル-ガラス積層物	Ford Motor (米)	商 品	加 熱 器	
ウツド・プラスチック結合材	American Novawood	商 品	Co-60	硬度、強度、寸法安全性
	Lockheed-Georgia	パイロット	Co-60	

4) 合 成

プロセス	場所	段階	線源	特徴・用途
臭化エチル	Dow Chemical (米)	商 品	Co-60	アンチノック剤、中間体
炭化水素のスルホン化	Esso Research (米)	商 品	Co-60	生物分解用合成洗剤
炭化水素の塩素化	高崎研究所 (日)	研 究 中	Co-60	
ベンゼルの塩素化	Wantage (英)	研 究 中	Co-60	
パラフィンの酸化	(ルーマニア)	工 業 的	r 線	
炭化水素のクラッキング	石油化学研究所 (ソ)	パイロット	加 速 器	
パラフィンのスルホクロール化	放射線工学研究所 (ソ)	パイロット	Co-60	

また、米国の民間企業は既に放射線利用の活動が非常に活発であることが認められます。

これに反しわが国における放射線利用はまだ米国におけるように大きな経済効果を挙げ得るには至っておりません。しかしながら、基礎および応用研究は徐々にではありますが多くの分野に亘って進められておりますので、これらの研究開発が適切な方策によって促進されますと、近い将来には数多くの収益を伴った企業化を期待し得るものと思われます。

アイトープ・放射線利用分野における内外の特許取得状況をみると（第2表）、例えば、放射線化学の分野では十年前の海外企業体の特許取得状況とは異なり、最近は、国内企業の特許取得が増大していることが認められ、有機、高分子分野の合成、改質などにおいてその傾向が顕著であります。しかしながら基本的、包括的な特許については、海外企業に取得されているものが可成りありますので、今後わが国においては、独自の基本的特許ならびに改良特許などの自主的な研究開発を積極的に推進する必要を痛感するしだいであります。

第2表 放射線化学に関する特許の実情

出 願 国	昭和33年までに日本 に公告された特許件数	昭和40年～昭和42年6月ま でに日本に公告された特許件数
日 本	21)	843)
外 国	212)	24
計	23	108

(注)

- 1) 昭和33年までに公告された特許は、ほとんど外国よりの出願によるもので、国内としては昭31-4142 (工技院)電着塗装、昭33-3194 (友成氏ら)PVAに対するグラフト反応、があるにすぎない。
- 2) 約10年前の昭和33年までにエチレンの γ 線重合(アメリカ、モンサント)、放射線グラフト重合(フランス、CNRS)などの基本的、包括的特許が海外より提出されている。
- 3) 放射線化学に関して昭和33年までは国内特許割合が10%弱であつたが、最近では約80%近くにまで増えている。昭和41年度の日本への外国人の特許出願件数は全体の26%、そのうち化学分野での外国人の出願は約37%で他部門を大きくひきはなしている。化学分野における日本への特許攻勢は特に激烈である。放射線化学においては最近では逆に日本の方が数字上多いが、比較的改良特許的なものが多く、また基礎的、包括的特許も海外よりの攻勢が強い状況にあるので、わが国独自の自主的な研究開発がなお一層望まれる。

また、国家資金、助成政策などに関しましては、昭和29年度以降昨年度までの政府の原子力関係の予算累積額は1,155億円で、そのうちアイソトープの研究開発関係費は11億円、放射線化学関係費は32億円で両者合計43億円の支出額でありますので、全体の3%にすぎません。

〔アイソトープ・放射線利用の問題点〕

以上アイソトープ・放射線利用の現状をご紹介申し上げましたが、つぎにこれらの現状を勘案し、わが国のアイソトープ放射線利用を促進させる上での問題点につきまして述べたいと存じます。

まず、第1点として開発推進方策の確立であります。原子力利用の中心である原子炉の開発については官民協力によって推進されており、また発電炉の導入は一応軌道にのり既に企業化に進んでいるのはご承知の通りであります。

このような原子力発電の発展とともに、今後一般のアイソトープ生産のみならず、核燃料の再処理に伴う長半減期アイソトープの分離によって出来ます未利用核種の有効利用を廃棄物処理の安全化と相まって検討開発してゆく方向に進むべきでありましょう。さらに、発電用原子炉の実用化が進むにつれて、その併用利用、多目的利用などくに化学的プロセスとの組合せによる発展が期待されており、これらにつきましては先進国の実状からみて今から長期的計画をもって対処する必要があるかと存じます。従ってこれらの方針の樹立とともに、民間企業に対する国家的優遇措置、政府関係機関の体制の拡充、強化など大局かつ総合的に審議検討する組織の確立が必要であります。

第2点としてアイソトープ・放射線利用開発の推進であります。アイソトープ利用が研究の効率化のみならず、工業生産性の向上に極めて大きな成果を挙げつつあることはいうまでもありませんが、わが国主要アイソトープ核種の生産体制は原研アイソトープ部門におきましておおむね確立されておりますものの、アイソトープの国産化の方策をさらに一層推進するためにはアイソトープ製造について国として基本的な考え方と、将来計画を明確にするとともに線源、標識化合物、医療用アイソトープの国産化についての検討がなお残されております。一方、応用研究についても、新規技術の開発、基礎共通技術の効率的な研究開発、技術コンサルタント対策などを考慮しなければならないと存じますが、現在においてはこの分野の設備、人員ともに未だ不十分であり、特にアイソトープセンターの利用開発部門の一層の体制強化が望まれるものであります。また、事業サービス業務につきましては、まだ、十分な効果を挙げるまでは至っておりません。米国原子力委員会アイソトープ開発部では民間企業と協力いたしまして、

アイソトープ・放射線の利用を推進しておりますが、わが国においても原研アイソトープ部門が照射利用研究などのサービス業務の多角的・有機的な拡充強化対策を講ずる必要があるかと存じます。

一方、わが国の放射線化学におきましては、先程の表にみられるように数例は企業化も進んでおりますが、ごく少数にとどまっております。これは基礎研究における新しい反応の創造、特に開発から製品にいたる技術レベルの面において弱体である点によるものと思われまので、官民の研究機関におけるテーマの選択とその重点的指向および各研究機関の協力によって基礎的研究の充実を促進し、企業独自の製品化をはかるべきであると考えます。

第3点としては、国家的優遇措置であります。欧米諸国に比較して利用技術の格差が大きいことは明らかでありますので、通産省の企業合理化促進法における重要産業の指定対象に、また免税措置に関しては放射線利用業種の適用、政府補助金、委託費等の増額をはかること、さらにその手続の簡素化と効率的運営等を検討実施すべきであります。また、加速器の如き線源などの費用等についてもその他の機器の製造使用についても適切な優遇措置も必要であろうかと存じます。

海外においては原型照射施設を建設する企業への大容量線源の貸与および取得するための融資制度の実施が検討され、また国家的な照射サービスセンターの民間の利用によって、工業化推進を図るなどの方策がとられております。

第4点としては、アイソトープ・放射線関連法規の合理的運用であります。米国におきましては、一般許可(General Licence)と特別許可(Specific Licence)とに分けられ、工業利用者に対しては特定の許可を得て、安全に取扱う能力が実証された場合はその利用範囲や使用量の拡大が認められております。

わが国におきましても、十数年の産業界の利用実績にもとづきまして根本的に検討する必要があると思われます。

また、現行法令では各種の申請手続が複雑であります。一層の利用促進を図るためにはその簡素化を図る必要があります。密封線源を使用するゲージ類について特別の取扱いをするなどはこの例であります。又、将来は安全性の確立にあわせて機器の標準化を図り、型式承認制度をとり入れるなど使用許可制度の合理化を進める必要があります。

その他放射線取扱主任者制度、野外における一時使用の場合の取扱いなどについても改善されるべきであろうかと存じます。

第5点としては、技術者の養成ならびに教育の普及であります。最近大学などで原子力関係の講座が設置されるようになってまいりましたが、いまだにアイソトープ使用施設あるいは放

射線照射施設の不足のため、実技的教育が不十分であるかと思われます。現在原研ラジオアイソトープ研修所においての講習が行なわれておりますが、十分需要を満たすまでには至っていないと聞いております。これらの研修のための施設の増強、また短期教育の制度なども併せて考慮されるべき点でありましよう。

また、国民全般が、アイソトープ・放射線利用についての知識が不十分と思われますので、低学年よりの教課カリキュラムにとり入れてアイソトープ・放射線に対する正しい認識を附与することも開発利用を促進する上では見逃すことのできない重要な問題であろうかと存じます。

〔要望事項〕

さて、以上現状に対しての検討問題点をご報告申し上げましたが、これがために政府、関係機関に対しアイソトープ・放射線の利用開発に関し、次のことを要望致したいと存じます。すなわち第1項として原子力委員会にアイソトープ・放射線利用の全般に亘る問題を専門に審議、検討する組織を設けられ、発電用原子炉の実用化に伴って必要となる燃料再処理事業に関連したアイソトープの生産利用、ならびに将来発展が予想される多目的プロセス用原子炉の開発などの国家的方針を樹立し、また、以下2～4項目に述べますところの重要な諸問題について検討、推進していただきたい。

第2項として日本原子力研究所アイソトープ事業部を強化し、円滑な運営ができるように処置されたい。とくに利用開発部門の現在の規模は、先に要望した業務ならびに国家として推進すべき研究業務を遂行するには不十分な体制にありますから、すみやかに他の政府機関との協調を考慮して拡充強化を図られたい。

第3項として研究、企業化の両者について税制上の優遇措置（固定資産税の軽減、減価償却資産の耐用年数の短縮など）、ならびに積極的な開発助成のための補助政策の強化を考慮されたい。とくに放射線化学の分野では特許などにみられるごとく海外諸国との競争が激しく、企業化促進のため大容量の線源を貸与、融資するための制度、低価格で加速器が入手できるような助成策、その他照射サービス機関の設置など国家的優遇措置を考慮されたい。

第4項としてアイソトープ・放射線関連の法的規制について一般許可、特別許可等安全性確保の能力認定とともに合理的利用推進が行なわれるよう検討すべき時期に来ており、申請書の簡素化、密封線源の型式承認制度などの改訂、改善を図られたい。

第5項として将来のアイソトープ・放射線利用の進展に対して、技術者の養成訓練について一層の拡充を行ない、学校教育にアイソトープ・放射線についての課程を取り入れ正しい知識の普及を図られたい。

以上をもちまして、「アイソトープ・放射線利用に関する化学・繊維工業懇談会」の報告と致します。

大会成果のとりまとめ

原産年次大会準備委員会

委員長 一本松 珠 璣

ご指名によりまして、第1回原産年次大会の準備委員会委員長といたしまして、本大会2日間の講演・討論を振り返って、成果のとりまとめといたしたいと存じます。

まず、大会全体を通じて、原子力開発は、漸次日本経済全体の中で重要な地位を占めつつあり、経済全体の動向と密接な関連なくしては考えられない状態になった、というばかりでなく、今後は原子力開発の成否が、経済全体の成否そのものに通じる、とさえいえる段階に入ることが予想されることである。

このことは、冒頭の橋本原産代表常任理事の原産報告の問題意識にもあり、木川田経済審議会長の、今後わが国における産業構造上の課題のポイントが「自主技術」の開発を中核にしたものでなければならない。それを以て、質的にも真に先進工業国型の経済に飛躍できるのだ、という特別講演にもある。

午餐会での宇佐美日銀総裁の講演も、日本経済の今後の技術開発の必要を述べられ、井上動燃事業団理事長も、そのような理念を実現するのが動力炉開発計画だと講演した。

この大会の基調である核燃料問題は、核燃料サイクル全体を通じて新らしい重要な産業が生れること、それが国際的にみて十分競争力を持った力強いものでなくてはならない、という点を総合した問題であり、今井動燃事業団副理事長の講演は、そのような観点で、わが国の核燃料産業の将来の方向を示唆し、問題点を挙げられたものといえる。「プルトニウムの熱中性子炉へのリサイクルに関するシンポジウム」も、技術と経済と政策とが、極めて密接に関連しあう重要問題で今後の方針を出す上で、極めて実際的な有益な討議であったといえる。

わが国は、原子力の安全性については世界中で最も真剣にこれを自覚し、その正しい在り方を検討し実践している国であり、そのために、三宅東京教育大学教授は、放射線安全の問題が国家利益確保そのものであること、向坊東大教授は、安全評価の定量化の必要性を強調した講演は有益なものであった。

鈴木原電常務取締役の動力炉の建設経験に関する講演は、たんなる建設の経験というだけでなく、計画の立て方や契約の方法をも含めて報告し、これから原子力発電所を計画される電力会社、あるいは一般の方々に十分参考となる内容であつたと思われる。

「長期エネルギー計画と原子力発電」というテーマのパネル討論会は、本大会の一つのハイライトであった。

冒頭の原子力問題の一般化という考え方が、エネルギー計画という土俵でとらえられ、石油産業代表も出席し、文字通り斯界の権威者によって、真に総合的見地から極めて切実な現在の問題点の解明を行なった。総合エネルギー政策といったような問題は、やはり政府の施策と民間の体制とがうまくマッチしなければ、真に有効なものとはなりえないので今後も、これを機会に、十分なる検討が各方面で行なわれることを期待したい。

原産の年次大会、ということであったので、原産で今年度活動中の各特別委員会の中から、

- 核拡散防止問題特別委員会
- 材料試験炉利用懇談会
- アイソトープ・放射線利用における化学・繊維工業懇談会
- 原子力用鋼材標準化懇談会

の4つの委員会より報告を行なったが、それぞれのテーマについて、産業界として時宜に叶った内容の報告であったといえる。

アメリカ、イギリス、フランス3国の代表の海外特別講演についてはアメリカ原子力委員会のブロック事務総長代理は、濃縮ウラン型発電炉の燃料を、合理的価格で長期安定的に供給することは米国の責任であるとして、この度初めて発表された濃縮工場に関する詳細データを含めて、発表した。

イギリス原子力公社のフランクリン生産部次長の講演は、有効なる核燃料政策を立案する上で、核燃料サイクルの各分野をいかに考えたらよいか、という点について洵に有益であった。

フランス原子力庁のバンドリエ物理研究部長は、高速炉開発に対するフランスの明快なる理念と開発努力の詳細を講演し、わが国との協力可能性につき、示唆されるどころ大であった。

以上、年次大会の内容について要約したが、本第1回原産年次大会は、予期以上の大きな成果を挙げる事ができた。

かりに今大会が成功であった、ということが出来るならば——私は大成功であったと考えておりますが——それは、以上申し上げた各セッションの発表者、会議関係者の絶大なご尽力によるものでありますと同時に、2日間を通じて本大会に極めて熱心にご参加下さった皆様のご協力の賜であると存じます。

ここに厚くお礼申し上げ、大会成果のとりまとめとさせていただきます。

第 1 回 原産年次大会議事録

昭和 43 年 9 月 5 日 印刷
昭和 43 年 9 月 15 日 発行

編集 社団 日本原子力産業会議
発行 法人

頒価 2000 円

東京都港区新橋 1-1-13
TEL. (591) 6121
振替東京 5895

印刷・製本 さとう印刷株式会社