104
D54

第 5 回

原産年次大会議事録

期日　昭和47年3月22・23日
場所　経団連會館

1972年5月

受入
47.10.25
No.

日本原子力産業会議

第　5　回

原産年次大会議事録

期日　昭和47年3月22・23日
場所　経団連會館

1972年5月

日本原子力産業会議

1972.10.25
No. 4041

開会総会における会場風景

シンポジウム「原子力発電と安全性」から

午さん会で講演する大石環境庁長官

目　　次

プログラム …… 1頁

＜開会総会＞

開会挨拶 …… 7

大会準備経過報告 …… 9

原子力委員長挨拶 …… 11

原産報告 …… 15

講演「アメリカにおける原子力発電の環境とパブリック・アクセプタンスの問題」 …… 22

講演「ウラン濃縮の現状とその対策および問題点について」 …… 35

＜午さん会＞

特別講演（環境庁長官） …… 40

＜内外講演＞

新時代における日本産業の進路 …… 47

フランスの重水炉開発 …… 51

原子力船実用化の見通し ― 日独共同研究の成果から ― …… 56

フランスにおけるウラン濃縮の最近の傾向 …… 63

ウラン濃縮問題とアメリカ原子力産業会議の活動 …… 79

＜シンポジゥム＞　原子力発電と安全性

講演「原子力発電の安全性」 …… 108

講演「原子力発電所の運転と放射線管理の経験」 …… 114

特別講演「放射性廃棄物管理と環境保全」 …… 120

発表「原子力安全問題ととりくむ電気事業者の姿勢」 …… 140

発表「原子力供給産業における安全性追求の努力と成果」 …… 144

コメント　（4篇） …… 148

＜特別講演＞　環境とエネルギー

原子力と環境 …… 161

環境からみた原子力エネルギー …… 170

イギリスにおける環境と原子力 …… 205

原子力発電所の集中地域周辺における環境放射能対策 …… 222

原子力発電開発の環境への影響 …… 232

とりまとめ …… 245

第5回原産年次大会準備委員会委員名簿

（五十音順、敬称略）

委員長	河内武雄	中部電力㈱副社長
委員	井上亮	東京瓦斯㈱常務取締役
	石田芳穂	日本原子力発電㈱常務取締役
	金岩芳郎	東京芝浦電気㈱取締役
	木下昌雄	日立造船㈱常務取締役
	荘村義雄	電気事業連合会副会長
	柴田俊一	日本原子力学会理事
	武安義光	動力炉・核燃料開発事業団理事
	藤木俊三	新日本製鉄㈱副社長
	法貴四郎	住友電気工業㈱顧問
	村田義夫	三菱原子力工業㈱社長
	山口恒則	四国電力㈱副社長
	山崎久一	電源開発㈱副総裁
	山田達	北海道電力㈱副社長
	山本賢三	日本原子力研究所理事
	和田昌博	関西電力㈱副社長
オブザーバー	田宮茂文	科学技術庁原子力局次長
	荒川英	通商産業省官房総合エネルギー政策課長

第５回原産年次大会総括プログラム

〔全セッション日英同時通訳〕

	３月２２日（水）	３月２３日（木）
午前	**開会総会（9：20～12：20）** 9：20 開会挨拶 大会準備経過報告 9：40 原子力委員長挨拶 10：00 原産報告 10：40 講演－アメリカにおける原子力発電の環境とパブリック・アクセプタンスの問題 11：30 講演－ウラン濃縮の現状とその対策および問題点	**シンポジウム（9：00～12：45）** 「原子力発電と安全性」 9：00 講演と発表 意見交換
午後	**午さん会（12：30～14：10）** ＜12階-ダイアモンド・ルーム＞ 13：40 特別講演 **内外講演（14：20～18：00）** 14：20 新時代における日本産業の進路 14：50 フランスの重水炉開発 15：40 原子力船実用化の見通し 16：20 フランスにおけるウラン濃縮の最近の傾向 17：10 ウラン濃縮問題とアメリカ原子力産業会議の活動	**特別講演（13：30～18：00）** 「環境とエネルギー」 13：30 原子力と環境 14：00 環境からみた原子力エネルギー 14：50 イギリスにおける環境と原子力 15：50 原子力発電所の集中地域周辺における環境放射能対策 16：40 原子力発電開発の環境への影響

第５回　原産年次大会プログラム

会期　　昭和４７年３月２２日（水），２３日（木）　２日間
会場　　経団連ホール（経団連会館１４階）

第１日　３月２２日（水）

開会総会（９：２０～１２：２０）＜3時間＞

議　長　　水　野　久　男　氏　（東京電力社長）

９：２０	開会挨拶	日本原子力産業会議会長	安　川　第五郎　氏
	大会準備経過報告	第５回原産年次大会準備委員長 中部電力副社長	河　内　武　雄　氏
９：４０	原子力委員長挨拶	国務大臣・原子力委員会委員長	木　内　四　郎　氏
１０：００ ＜３０分＞	原産報告	日本原子力産業会議代表常任理事	橋　本　清之助　氏

議　長　　駒　井　健一郎　氏　（日立製作所　会長）

１０：４０ ＜５０分＞　講演「アメリカにおける原子力発電の環境とパブリック・アクセプタンスの問題」
W.O. Doub　氏　（アメリカ　原子力委員会委員）

議　長　　井　上　五　郎　氏　（動力炉・核燃料開発事業団　理事長）

１１：３０ ＜３０分＞　講演「ウラン濃縮の現状とその対策および問題点」
一本松　珠　璣　氏（日本原子力発電　会長／原産ウラン濃縮問題懇談会　委員長）

午さん会（１２：３０～１４：１０）＜1時間４０＞

〔会場　経団連会館１２階－ダイアモンド・ルーム〕

特別講演　　大　石　武　一　氏　（国務大臣・環境庁長官）

内外講演（１４：２０～１８：００）＜3時間４０分＞

議　長　　大　堀　　弘　氏　（電源開発　総裁）

１４：２０ ＜３０分＞　新時代における日本産業の進路
古　賀　繁　一　氏　（三菱重工業社長）

議　長　　平　塚　正　俊　氏　（住友原子力工業　社長）

１４：５０ ＜５０分＞　フランスの重水炉開発
R. Naudet　氏　（フランス原子力庁　重水炉コォーディネーター）

１５：４０ ＜３０分＞　原子力船実用化の見通し－日独共同研究の成果から－
木　下　昌　雄　氏　（日立造船　常務取締役）

－　休　け　い　＜１０分＞　－

議　長　　菊　池　正　士　氏　（大阪大学　名誉教授）

１６：２０ ＜５０分＞　フランスにおけるウラン濃縮の最近の傾向
C. Fréjacques 氏　（フランス原子力庁 化学担当局長）

１７：１０ ＜５０分＞　ウラン濃縮問題とアメリカ原子力産業会議の活動
W. K. Davis 氏
（アメリカ原子力産業会議　名誉理事／ベクテル社副社長）

第２日　３月２３日（木）

シンポジウム　「原子力発電と安全性」　（９：００～１２：４５）＜3時間４５分＞

議　長　　宗　像　英　二　氏　（日本原子力研究所　理事長）

シンポジウム・メンバー

伊　藤　俊　夫　氏　（関西電力　専務取締役）
内　田　秀　雄　氏　（東京大学　教授）
江　藤　秀　雄　氏　（放射線医学総合研究所科学研究官）
白　沢　富一郎　氏　（日本原子力発電　社長）
田　宮　茂　文　氏　（科学技術庁　原子力局次長）
永　野　　治　氏　（東京芝浦電気　専任副社長）
矢　部　知恵夫　氏　（全国原子力発電所所在市町村協議会会長
敦賀市長）
和　田　文　夫　氏　（通商産業省　公益事業局技術長）
―代　理　出　席　　武田公益事業局　原子力発電課長―
R.H.　Burns　氏　（イギリス原子力公社ハーウエル研究所工業化学主任研究員）

◇　講　演　と　発　表

講　演	原子力発電の安全性	内　田　秀　雄　氏
講　演	原子力発電所の運転と放射線管理の経験	伊　藤　俊　夫　氏
特別講演	放射性廃棄物管理と環境保全	R.H.　Burns　氏
発　表	原子力安全問題ととりくむ電気事業者の姿勢	白　沢　富一郎　氏
発　表	原子力供給産業における安全性追求の努力と成果	永　野　　治　氏

◇　意　見　交　換

特別講演　「環境とエネルギー」（１３：３０～１８：００）＜4時間３０分＞

議　長　　平　田　敬一郎　氏　（国土総合開発審議会会長）

１３：３０ ＜３０分＞　原子力と環境
田　島　英　三　氏　（立教大学　教授）

１４：００ ＜５０分＞　環境からみた原子力エネルギー
J.W.　Landis　氏　（アメリカ原子力学会　会長
ガルフ・ゼネラル・アトミック社　社長）

議　長　　前　田　七之進　氏　（富士電機製造　社長）

１４：５０ ＜５０分＞　イギリスにおける環境と原子力
F.R.　Farmer　氏　（イギリス原子力公社　安全担当部長）

－　休　け　い　＜１０分＞　－

１５：５０ ＜５０分＞　原子力発電所の集中地域周辺における環境放射能対策
W.　Schwarzer　氏　（西ドイツ原子力安全研究協会　環境部長）

議　長　　松　根　宗　一　氏　（日本原子力産業会議　副会長）

原子力発電開発の環境への影響
Y.F. Chernilin　氏　（ＩＡＥＡ　副事務総長）

＜４０分＞　とりまとめ

開　会　総　会

議　長　　水　野　久　男　氏　（東京電力　社長）

開会挨拶

大会準備経過報告

原子力委員長挨拶

原産報告

議　長　　駒　井　健一郎　氏　（日立製作所　会長）

講演　　「アメリカにおける原子力発電の環境とパブリック・アクセプタンスの問題」

議　長　　井　上　五　郎　氏　（動力炉・核燃料開発事業団　理事長）

講演　　「ウラン濃縮の現状とその対策および問題点について」

午　さ　ん　会

特別講演　（環境庁　長官）

開　会　挨　拶

日本原子力産業会議
会長　安川第五郎

第5回原産年次大会の開会にあたり，主催者として一言ご挨拶を申し上げます。

ご高承の通り，原産年次大会は，原子力平和利用に，さまざまな立場から関与されておられる方々，そして，それぞれの観点から，これに関心を寄せられる方々が一堂に会して，原子力開発利用上の諸問題を論じ，その見解を広く内外に宣明することを目的として，開催いたすものであります。

この趣旨にご賛同賜わり，本日ここに，内外から，かくも多数のご参加をいただきましたことは，私の深く喜びとするところでございます。

わが国の原子力開発は，政府，自治体，学界，産業界など，各界のなみなみならぬご尽力により，着実な進展をとげつつありますが，同時に，その実用化にともなって，新たな問題が提起されつつあることもまた事実であります。

今日，われわれは，環境，資源，通貨をはじめとする，重大かつ流動的な問題をかかえております。そして，そのいずれもが，これらの原子力の開発と利用に，きわめて大きなかかわり合いをもつものであることは，申し上げるまでもございません。

ことに環境問題全般に対する関心が，世界的な高まりを見せている現在におきましては，われわれは，エネルギー供給と環境保全の将来について，あらためて深く思いをいたす必要があろうと思われます。

このような情勢下にあって，本日ここに，第5回原産年次大会を開催し，原子力開発利用の前途によこたわる長期的課題，原子力産業が直面しているさまざまな問題をとり上げて，広く衆議をこらしますことの意義は，決して少なくないと信ずるものであります。

これらの諸問題は，ひとりわが国のみならず，ひろく世界に共通する問題でもございます。したがいまして，この解決には，世界があいたずさえて，ともに考え，ともに協力してあたらねばならないと存じます。こうした意味からも，本大会に海外から多数の皆様のご参加を得ましたことは，まことに欣快にたえません。この年次大会が，内外の意見交流と，問題解決のための場となり，世界の原子力平和利用に貢献しうる場となることを期待してやみません。

最後に，本大会へのご協力を快くおひきうけいただきました，木内大臣をはじめとする内外

の発表者，議長の方々，ならびに，大会の万端の準備をおすすめいただいた，河内委員長はじめ，準備委員各位に対し，厚く御礼申しあげる次第でございます。

大会準備経過報告

第5回原産年次大会準備委員会
委員長　河内武雄

第5回原産年次大会の準備委員長をあいつとめました河内でございます。

準備委員会を代表いたしまして，本大会を開催するにあたっての基本的考え方と準備経過について，ご報告申し上げます。

只今，開会のご挨拶にもございました通り，この年次大会は，日本原子産業会議の主要事業の一つとして，広く各分野の方々が一堂に会しまして，原子力の開発と利用にかかわる重要問題を共通の，課題としてとりあげ，見解の発表と意見の交換を通じて，原子力開発利用の推進と発展を図りますとともに，広く各層の理解と協調を深めることを目的とするものでございます。

原産年次大会は，過去4回の開催を経て，いまや，わが国全体の原子力大会として認められつつありますがこれは，これまでの大会の成果と皆さま方のご支援に大きくあずかっております。

第5回大会の開催に当りましては，昨年11月，産業界，学界，政府関係機関などからなる準備委員会を設置し，基本方針，大会の内容，構成など諸般の検討と準備を重ねてまいりました。

原子力開発は，それ自身，これまで内蔵してきた未解決の問題，実用化にともなって，あらたに直面しつつある焦眉の問題など，さまざまな重要問題をかかえております。そして，この中には，「開発と環境」という大きな課題も含まれております。

われわれは今日，原子力に課せられたエネルギー供給上の使命と環境保全上の要求にいかに応えて行くか，さらにまた，これとの関連においていよいよ顕在化する開発利用上の諸問題を如何に克服して行くかについて，深い考察と果敢な措置をとる必要があると存じます。

私ども準備委員会は，こうした認識にもとづきまして，広く関係者のご意見もとり入れつつ，第5回大会の内容を固めてまいった次第でございます。大会の構成につきましては，お手許のプログラムに詳しいのですが，今大会の基調ともいうべき環境とエネルギーの問題に関しましては，本日，この開会総会において，アメリカ原子力委員会から，ご講演いただきますのをはじめ，明日，午前の部では，とくに講演とディスカッションからなるシンポジウムをくみまし

て，原子力発電とその安全性に関する多角的な検討を試みることになっております。

さらに，これにひきつづきまして明日の午後には，環境保全と，エネルギー供給に関する特別講演セッションを設け，日本，アメリカ，イギリス，西ドイツ，国際原子力機関からのご講演をいただく予定でございます。一方，世界の原子力界にとりまして緊要な関心事でございますウラン濃縮問題につきましては，本日の午前，午後にかけて，日，米，両フォーラムと，フランスに，それぞれご講演をお願いいたしております。

また，本日午後の内外講演におきましては，変動する世界情勢に対応する産業のあり方，国際協力によって進められて来た原子力船の共同研究の成果，さらには重水炉開発の最近の模様などについて，内外のご講演をいただくことになっております。なお，原産年次大会恒例の午さん会につきましては，本大会の基調にかんがみまして，とくに大石環境庁長官にご講演をお願いいたしてございます。これらのご講演，ご発表は，いずれも斯界の権威者，専門家によるものでございますので，わが国はもとより，世界の原子力開発にとって，有益な示唆が得られるものと確信いたすものであります。

ここに改めて，発表者，議長各位のご協力に対しまして，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，大会の意義が一層高まりますよう，皆さまのご協力をお願い申しあげます。

最後に，第５回原産年次大会におけるご講演のために，遠路，海を渡ってご来日いただきました海外からのゲスト・スピーカーの方々に会場の皆さまとともども感謝と歓迎の拍手を送らせていただきたいと存じます。まことに恐縮ですが海外からのゲスト・スピーカーの皆さま，ちょっとお立ちください。（満場の拍手）

ありがとうございました。これをもちまして，私の報告を終らせていただきます。

以　上

原子力委員長挨拶

国務大臣
科学技術庁長官　木内四郎
原子力委員会委員長

本日，ここに海外諸国からも多数の原子力権威者の御参加を得て，原子力産業会議の原産年次大会がこのように盛大に開催される運びとなりましたことに対し，心からお慶びを申し上げる次第であります。

この機会にいよいよ本格的実用化の時期に入ったわが国の原子力開発利用について，所信の一端を述べさせていただくことは，私の非常な喜びとするところであります。

わが国の原子力開発利用は，過去１０数年の歩みを経て今日，４基１３０万キロワットの原子力発電所の稼動をみており，さらに，１２基，８２０万キロワットの発電炉が目下建設中であります。

原子力委員会は，現在，昭和４２年に策定した原子力開発利用長期計画の改訂作業を進めており，近く成案を得ることとしておりますが，今後のエネルギー供給に占める原子力発電の役割の増大の傾向にかんがみ，原子力開発をめぐる環境，安全問題の解決と核燃料資源の確保が当面の最大の課題となっております。

原子力開発利用は，原子力特有の放射能を安全に管理することによってはじめて，その正しい発展が期待されるものでありますが，このような意味での安全性の確保につきましては，わが国は，これまでも国際的な基準に基づき，他の産業にはみられないような注意深い配慮のもとに厳重な規制と管理を行なってきたところであります。

原子力施設から環境に放出される放射能の規制基準については，国際的な基準に準拠して定めておりますが，実際の規制にあたっては実行可能な限り，その放射能を低くするという方針をとっております。その結果，現実の放出実績は基準値の百分の１程度であり，自然放射能レベルの変動幅の中に入っているのが実情であります。

原子力開発の本格化に伴い，原子力発電施設の大型化が進展するとともにある程度の集中立地は，わが国の自然条件を考慮するとき不可避のことと考えられますが，それだけに，今後はさらに安全面に万全の配慮を払うとともに，入念な環境保全のための諸施策が強く要請されるところであります。

このため，将来の環境保全上，特に配意すべきものとして，例えば，低レベル放射能の人体に与える影響等に関して研究を進めるとともに，原子力施設から排出される放射性物質の環境中におけるビヘイビアー，食物連鎖や生物による濃縮等の問題についても鋭意調査研究を実施しております。

また，原子力発電所から排出される温排水の影響が最近特に問題とされております。温排水それ自体は必ずしも原子力発電に固有のものではなく火力発電等と共通する問題でありますが，原子力発電の場合は冷却水の量が多いことのほか，立地地点の特色からして沿岸漁業との調整の問題が大きくクローズアップされる性格を有しております。

温排水の漁業等に与える影響に関する知見は，現在のところ十分に得られておりませんので，今後，これに関する調査研究を関係省庁の協力のもとに進め，また，温排水の周辺環境に与える影響の解明等に努めるとともに，原子力発電所から海洋へ放出される熱量を低減させるための研究開発を積極的に進めて参りたいと考えております。

なお，温排水の有効利用を図るため，これを養殖漁業等に利用する研究等を進めていることは御高承のとおりであります。

このような原子力施設をめぐる環境・安全問題の重要性にかんがみ，原子力委員会は，環境・安全専門部会を設置し，環境の保全と安全の確保に関する研究開発の進め方，規制のあり方等について検討中でありますが，さらに温排水問題，放射性廃棄物の処理・処分の問題等についても，きめ細かく検討してゆく方針であります。

このほか，原子力特有の問題としては，未知なものへの不安感ともいうべきものが国民の間にあり，これが原子力施設の立地に際しての地元との摩擦の一因となっております。このため政府といたしましても，従来にも増して安全面に万全を期するとともに，国民の理解と協力を得てその開発が円滑に進められるよう原子力に関する知識の普及等に一層意を用いて参りたい所存であります。また民間におかれましても環境の保全と安全の確保は第一義的には企業自らの責務であるとの自覚を深め，所要の研究開発を進めるとともに，日々の企業の運営にあたっても万全の配慮を払われるよう期待するものであります。

今後予測される原子力発電開発規模の増大に対処するためには，必要となる膨大な核燃料を安定的に確保し，その有効利用を図ることが極めて重要であります。このため，ウラン資源および濃縮ウランの確保，使用済燃料の再処理等について積極的な施策を講ずることが緊要な課題となっております。

原子力発電の今後の見通しに基づくウラン所要量は，おおよそ昭和５５年度には年間約

8,０００トン，昭和６５年度には年間約１万5,０００トン程度に達するものと予想されております。ウラン資源に乏しいわが国は，このほとんどすべてを海外に求めざるを得ない状況にあり，当面電力会社が短期，長期購入契約により自主的に確保することを期待しておりますが，長期的には所要量の三分の一程度を開発輸入により確保することを目標として，海外における探鉱開発を拡充する方針であります。このため，政府は動力炉・核燃料開発事業団による調査活動を強化するとともに，民間企業の探鉱活動に対しては，成功払い融資等の助成措置を積極的に講ずることとしております。

わが国の原子力発電に必要な濃縮ウランは，現在のところ，日米原子力協定に基づき米国からその供給を受けることになっておりますが，米国の供給能力は，１９８０年頃には自由世界の需要に応じきれなくなると見込まれております。このため，１９８０年頃までに運転を開始するわが国の原子力発電所に必要な濃縮ウランについては，米国からの供給確保に努力することが必要でありますが，それ以降に必要とされる濃縮ウランの確保については，国際濃縮共同事業の具体化に期待するところ大なるものがあります。

わが国として遅くとも１９７３年頃までに，その態度を決定すべきものと考えておりますが国際濃縮共同計画の実現にあっては，わが国としても積極的なる寄与を行なうべく検討を進めているところであります。

また，１９８０年代には，一部国産化を目標にウラン濃縮技術の研究開発を強力に推進する所存であります。

使用済燃料の再処理につきましては，現在，動力炉・核燃料開発事業団において昭和４９年度に操業を開始することを目途に再処理施設の建設を進めておりますが，民間にその建設，運営を期待しております第二工場以降についても，その円滑な進展が図られるよう政府といたしましても所要の措置を検討していきたいと考えております。

以上，原子力開発利用の推進に伴い，目下わが国において主要な課題となっております事項について所信の一端を申し述べましたが，政府といたしましては，このほか高速増殖炉および新型転換炉の開発，原子力船の開発，核融合の研究開発，放射線利用等の諸施策についても，なお一層の推進を図っていく方針であります。

申すまでもなく，原子力の分野においては，環境・安全問題に関する研究開発，濃縮ウラン確保のための諸施策をはじめ国際協力によりその推進を図るべき問題が数多くあり，わが国としては従来にも増して国際協調の精神にのっとり，これらの課題の解決にとりくんでいく所存であります。

日本原子力産業会議が国際協調の面をはじめとして，わが国原子力の開発に従来から重要な役割を果しておられますことは，われわれ政府関係者といたしましても心強い限りであります。今後とも，なお一層の御精進，御発展を続けられんことをお祈りして御挨拶といたします。

原　産　報　告

日本原子力産業会議
代表常任理事　橋　本　清之助

十数年にわたる，研究開発の時代を経て，原子力平和利用が漸く実用期を迎えた今日，日本の政治，経済，社会は大きな転換期に立つております。すなわち，まず国際的には，昨年来の通貨危機に象徴される世界経済の秩序の変動と，一昨年来の石油輸出国機構ＯＰＥＣの問題に象徴される国際資源問題における力関係の変化と，さらに最近の米中接近に象徴される国際政治の上の多極化などであります。またこれらと呼応して国内的には，経済産業の高度成長がもたらした様々な矛盾，とくに高密度社会に生じた環境公害から，一部には政治，経済に対する一種の不信さえ社会的に生じております。そして，これらのことを，歴史的にみれば，１８世紀以来の科学文明の追求と人類の理性との間に大きな背反が生じたことは否むべくもない事実であります。

しかしながらわれわれ原子力平和利用にたずさわる者から見ますと，内外のこれら情況のすべては，原子力，とくに原子力発電開発に対して，極めて多面的な関連や衝撃をもたらしております。在来公害や国際資源問題の成行から当然のこととして，燃料面の自由度が高く，且つクリーンなエネルギーとしての原子力への期待は，とくに日本において極めて大きなものとなつてまいりました。と同時にその反面，将来の大規模な原子力発電開発に対しては，環境安全の面から厳しい社会的な反応が生ずるに到つております。

また新たな世界経済情勢に対応してわが国産業構造の質的な転換をはかるためには，その方向として原子力のような知識集約性の高い産業は極めて大きな役割を求められているのでありますが，一方では昨今の経済情勢の構造的な変化から，原子力産業の経営にも多くの影響を与えつつあるのであります。

昨年はじめ，原子力産業会議が発表いたしました「２０００年にいたる原子力構想」の長期展望において原子力発電の開発規模は１９８０年（昭和５５年）に2,７００万ＫＷ，１９９０年に１億1,000万KW，２０００年に２億2,０００万ＫＷでありました。冒頭に述べましたような情勢の変化から，わが国のＧＮＰの成長率の鈍化など，種々再検討を要する点も生じているのでありますが，原子力発電の予想規模に関するかぎり，１９８０年（昭和５５年）には，２７００万ＫＷから３２００万ＫＷへと実際の計画規模は予想を上まわつてきているのであり

ます。このような状況は，アメリカにおける軽水炉の発注量が，建設費の上昇や立地確保の困難にもかかわらず，昨年は過去最高の１９６７年の水準まで回復し，さらに今年はおそらく史上最高を記録するだろうといわれていることと軌を一にしていると思います。

すでに稼動中の４基１３０万ＫＷの原子力発電所の着実な実績により，原子力発電の安全性に対する一般の理解と信頼は漸次深まつてきたのでありますが，一方，一般環境問題に対する，社会認識の高まりを背景として，原子力発電開発の大規模化に対して，それを警戒する動きが新らしく起り，いくつかの原子力発電の予定地においては設置反対の動きにまで発展するにいたつております。

このような原子力発電所計画に対する批判の中には，最近いくつかの新しい論点ができております。その一つは，同一又は隣接の地域における多数施設の設置，ならびに一発電所の規模増大に対する不安の表明であります。同一立地で将来合計数百万ＫＷ規模原子力発電所を設置するのは過度集中ではないか，また単位容量１００万ＫＷの発電所が着工されるのに対して，諸外国で運転経験がないことから時期尚早とする意見もあります。

さらにこれも将来にわたる大規模開発に伴う問題として，環境への放出放射能の累積を心配する点から，放出基準の厳格化とともに，客観的第三者による監視を要求する場合もあります。同様に当面のことは別として，発電所からの低レベル，固体廃棄物の最終処分方法が未決定などのことを挙げて反対している意見もあります。

また昨年のアメリカでの緊急冷却装置ＥＣＣＳの実験の結果から軽水炉の安全設計そのものへの不信感を，かりたてようとする向きもあります。又これはわが国でむしろ最近目立つてきたことでありますが，将来の原子力発電計画が地方の景観を損うおそれありとして，すでに環境庁への請願もいくつか出ております。

申すまでもなくこれらの諸点のうちのかなりの部分は，将来の大規模開発にそなえて現在から積極的な検討と対策を講ずべきものであります。そして実際これらに対しては、政府ならびに産業界に於てすでに対策，開発研究が着手されているのであります。

しからばなぜこのようないわば〝将来の〟問題が現在の発電所設置への現実の障害となつてきているのか，その基本的な理由は，そのような将来問題への解決のビジョンが十分明確に示されていないからであるといえるのであります。我々は，このような将来問題への解決の展望を，発電計画と同様に加速的に，積極的に示すべきであると考えており，この年次大会に諸外国の権威を招いて公開の討論を企画した所以もまたここにあるのであります。

今日の原子力発電の環境問題についてもう一つ注意を喚起いたしたい点は，それが在来公害

に対する社会不信の中に不当に混交されている点であります。つまりこのことは，原子力発電に伴う〝将来ありうべき〟環境問題に対する種々の対策が，現実の環境汚染対策と同次元で論じられる点であります。我々は，経済発展の結果生じた，現在の公害問題の中に謙虚に積極的に教訓を見出し，原子力の安全問題に一層積極的に取組むべきだと考えるものでありますが，このことは，現在までの原子力平和利用の開発と発展のすじみちや，態度の基本的な変更を意味するものではないと考えます。いわば社会全体が生んでしまつた既成事実のあと処理ともいえる現在の公害問題と，新しい産業としての原子力の環境安全問題とは，全く本質的に異なるものでありまして，原子力の環境安全問題に対する研究開発も対策も制度も基準も，国内的にも国際的にも，充分の科学性をもつて統一的に行われるべきものであり，決してその場かぎりのものであつてはならないと考えるのであります。重ねて申し上げますと，原子力平和利用に取組む産業界といたしましては，新らしく積極的開発に乗出そうとする現在のこの時点で，従来の産業にはとかく不充分でありました「環境問題」や「安全確保」に対する取組み方を，個々の技術的解明と共に，長期ヴイジョン的に── 言いかえますと事が起つてから手当を施すのではなく，大規模開発を予想したスタートにおいて―出来得るかぎりの配慮を尽しておこうと言うものであります。このような姿勢こそが，真に人類の為に役立つ，科学技術の真随を正しく理解した態度であると信じます。

原産はすでに数年前，原子力関係者に地方自治体，水産界の代表を加え「立地問題特別委員会」を設置し，その検討結果による長期的な立地問題への提言を発表いたしました。その多くは政府，産業界において順次実施に移されておりますが，とくに温排水に関連してその養魚への積極利用開発を提唱いたしました。このことは漸く本年度から政府予算を中心に実施に移され，東海発電所に隣接して２０００平方米（７００坪弱）の温水養魚池の建設が進んでおります。そしてこれを運営するための新しい財団法人がこのほど水産界と原子力界の協力で創立されました。温排水の問題についてはこのような積極面の開発に合わせて，その影響について科学的な解明を進めるべきだと考えております。

廃棄物の問題に関連して原産は昨年夏「核分裂生成物等総合対策懇談会」を設置いたしました。この懇談会はＦＰの積極利用，安全保管と最終処分の長期的対策を検討するほか，ＦＰの放射能そのものを消滅させる可能性を模索する努力をもつづけております。〝放射能の消滅〟ということは，核分裂の利用がもたらす人類への恩恵のいわば総仕上げともいうべき，極めて困難なテーマでありますが，この検討グループは最近ようやくその手がかりを見出しつつあります。申すまでもなくこの仕事はまさに広大な未知の分野への挑戦であり，その実施は広い国

際協力をぬきにしては考えられません。当原産としては，もし何らかの可能性を見出したときは，日本政府への積極的な働きかけとともに，世界各国への協力のアピールを致したいと考えております。

次に当面するウラン濃縮問題及びそれに関連して核防条約の問題について言及したいと思います。

昨年の第4回大会におきまして，ウラン濃縮の問題が大きく取上げられ，海外各国の最高権威者から，濃縮ウランの需給に対する各国の意見，供給安定への努力の方向，或いは，具体的な提案ないし示唆が行なわれたことは，皆様のご記憶にも新らしいことと思います。

事実，第4回大会を契機といたしまして，その後1年間の世界のウラン濃縮に関する情勢は大きく展開いたしました。

濃縮ウランを必要とする原子力発電の伸びは，初めに申し上げましたように，今後世界各国で加速度的に増大いたすことはもはや不動の事実となりつつあります。そういたしますと，１９８０年代の初めには，世界の何処かで誰かが，次の濃縮工場を運転していなければなりません。しかもそれは高速増殖炉が実用に供され，エネルギー需給バランス上の地位を確立してくれるまでの間は，このような濃縮工場は次々に大体1年半に1工場の割合で，新設されていくことが必要であります。濃縮ウランの需要がピークに到達するのは，およそ１９９０年代初頭と思われますが，それまでの間には，約８０００トンＳＷＵの工場なら１０箇以上が必要になると見られております。

申しあげるまでもなくこの程度のウラン濃縮工場は，数千億円オーダーの建設費を要し，使用電力量も大量に及びますので，簡単に一カ国だけでやれるという訳には参りません。これに加えまして，ウラン濃縮の技術は各国とも最高の機密事項であり，それ相応の深い配慮が払われております。

このように，巨大であり且つ複雑な事情をもつたウラン濃縮という事業は，それだけに，当面我々の最大の課題の一つであります。原産といたしましては，昨年のこの大会の席で申し上げた，基本的姿勢に何ら変更ありません。即ち，それは当面および今後１０年と目される端境期までの需要に対して，双務的あるいは多務的国際間とりきめによつて，これを確保して行くと共に，遅くとも昭和６０年までに日本自身の技術開発努力に最善を尽くして，必要とする濃縮ウランの一部を我々が供給して行ける状態に到達することを目標とするものであります。

わが原子力委員会も，この考え方に基本的に同意し，昨年1年間を通じて，海外主要国における事情調査，意見交換，予備交渉等を行なわれまして，最近，国際濃縮計画懇談会およびウ

ラン濃縮技術開発懇談会を設置されると共に，産業界に対してウラン濃縮事業調査会の設立を要請されました。

この民間の調査会につきましては，この問題に深い関連を有する電気事業者と協議いたしました結果，電力中央研究所の中に設置することとなりまして，明２３日，正式に発足する運びであります。

ウラン濃縮問題は，先程来申し上げておりますように，経済も技術も実に大がかりな産業でありますとともに，国際政治，外交，さらには安全保障まで広く係り合いをもつた当面の重要問題であります。我国としては，慎重に最善の道を選ぶことがむろん重要でありますが，同様に諸々の決定に際して国際的な現実と離れていたづらに時間を空費することは許されない事態に迫まられております。海外の動きと歩調を合わせた，タイミングのよい決定，これが益々国際性を深めている我国の原子力産業の開発において最も重要な点であります。

次に，核防条約とそれに伴う適正な国際保障措置の問題についての考え方を申し述べます。

先日或る大新聞に「アメリカ政府はこれまで，日本政府に対して，核防条約の批准を強く要請し続けてきたが，最近ではその態度を変えて，むしろ日本政府自身の決定を尊重する方針に切換えた……云々」という趣旨の報道がなされておりました。

日米両国政府の首脳の間で，そのような話合いが実際に行なわれたのか，或いはまた，サン・クレメンテ会談での内容を憶測して，一部の人がそのような判断をしたのか，その辺は詳らかではありません。

然しこの憶測はわが国が核化―すなわち原子力の軍事利用へ転換すべきことを示唆するものと解する危険性が多分にあります。このような論は，我々平和利用開発に専心努力を傾注している原子力産業界にとつて，まことに当惑至極の次第であります。

原子力が，その原材料，資材，技術情報など；すべての面で軍事転用を懸念しなければならないことは非常に残念に思うのであります。産業界としましては，既に核防条約の考え方が提案された５年前から，この問題を仔細に検討いたしまして，核の拡散を防止する手段としての，国際保障措置の性格，その実施方法，とくに平和利用を阻害しないことと，各国間の平等性等を実現することを条件として，調印賛成に踏切つたのであります。

この核防条約は現在すでに発効いたしておりますが，わが国はこれまでの間に，只今申し上げた平和利用促進を堅持する立場からの，国際保障措置に対する諸条件を達成するため，最大の努力を払つて参つたのであります。幸いにして，日本の主張は国際的にも認められる所となり，査察などの保障措置の原則は初期の原案からは非常に改善されたものとなる見通しがつき

ました。

勿論，それだからといつて楽観をしてはおりません。只今申し上げた日本の主張による「原則の改善」は，あくまでも「原則」についてでありまして，これから実際上の「細目」が決められるからであります。そしてすでに，ヨーロツパ等の主要国では，ユーラトムを通じて細目の交渉を始めております。今は，この新しい国際保障措置制度を，平和利用推進の観点から受け入れ易いものにするための「総仕上げ」を為すべき時であります。

これには核防条約に加盟することが前提であります。若し加盟しなければ，旧制度による厳しい保障措置を受けねばならず，しかも新制度の総仕上げのための国際的作業にも参加することはできないと思います。

ウラン濃縮問題について申し上げたように，昨今の国際化が進展する情勢の中で，とりわけこの核防条約と保障措置の関連問題についても，世界の中の日本を考えなければなりません。国土，資源，技術能力，総合的経済力などを考慮して，今後なお一層，むしろ積極的に国際社会にとび込んで行かねばならない我国としては，自ら好んで国際的な孤立を択ぶことは不幸なことだと言わねばなりません。

尚，国際保障措置の実施を出来るだけ容易にし，且つ我国産業界としても受け入れ易いようなものにするための措置として，過般来，政府の提唱によりまして，特殊核物質の管理　―記録，計量，査察とその技術開発―　を有効適切に行うための機関を，公益法人として設立する手配を進めておりまして新年度から発足する運びとなつております。

さて，我国の原子力産業は昨年度におきまして，

支　　出……　1,７００億円
売上（鉱工業）……　５５０億円
受注残高……　2.５７０億円
従事者数……　１万5.０００人

を擁する産業となりました。総合エネルギー政策，産業技術政策，環境政策等あらゆる角度から見まして，現在の開発計画に表われているような積極開発が益々必要とされることから，我々産業界はその課せられた重責を一層痛感いたします。

資源確保，よりよい将来型動力炉の技術開発，多目的利用原子炉を中心にした新らしいコンビナート，原子力船等々，我々の課題は尽きる所がありません。そのいずれの分野をとりましても，広く関係国との緊密な国際的協調なくしては達せられないと考えます。

日本原子力産業会議は設立１７年の当初から，この原子力の幅広く，奥深い「国際面」の重

要性を認識して，活動の大きな柱として参つたのでありますが今回の報告を申し上げるにつきまして，一層その重要性が高まつたことを，再確認するものであります。

御清聴ありがとうございました。

アメリカにおける原子力発電の環境とパブリック・アクセプタンスの問題

アメリカ原子力委員会

委員　W.　O.　Doub

本大会で講演の機会を与えられたことを光栄に思う。米国の原子力委員が本大会に参加するのは今回が3度目である。われわれはこのような相互訪問と意見・情報の交換が一つの伝統的な行事となることを期待している。

問題の重要性

私は，このテーマで講演を依頼されたことを幸せに思う。この問題は私が多年にわたって取り組んできたものである。私は昨夏，大統領から米国原子力委員会委員に任命されるまでメリーランド州公共サービス委員会の議長をしていたし，その前までは同委員会に提出されるすべての事件について公衆のために弁護の役を引き受けるピープルズ・カウンセルの仕事をしていた。私はこの二つの仕事の期間を通じて，やがて画期的な事件へと発展して行ったカルバート・クリフス原子力発電所問題をまのあたりに見てきた。後程本件の持つ意味について若干の見解を述べてみたい。

原子力発電の環境問題とパブリック・アクセプタンスの問題は，いうまでもなく日米いずれの国においても重要な問題となっている。またこれは世界中で，次第に関心が高まりつつある問題でもある。多くの先進国においてエネルギー，とくに原子力エネルギーは，将来の発展にとって決定的な役割りを果すものと考えられている。またこれらの国々では，その発展が環境保護上の要請と両立するように計画されなければならないと考えられており，とくに原子力発電の拡大はこれらの要請にマッチするように注意深く計画され，管理されなければならないと考えられている。

米国および日本が高度産業国家における経済的・社会的要請と環境保護上の要請との間のますます厳しくなる対立を経験している典型的な国であるという点については皆さんの間に異論はないと思う。またこの両国は，この対立を少なくして行くための適応手段――直ちに解決できるという訳にはいかないかも知れないが――があると信じている。そしてさらに重要なことは，両国ともそのために積極的な，多くの場合にはドラマチックな手段を講じつつあるという

ことである。最近のいくつかの原子力関係国際会議で，日本はこの問題に取り組んでいる実情を数多くのすぐれた科学者の論文によって紹介してきた。１９７０年８月，ニューヨークで開かれた，原子力発電所の環境問題に関する国連のシンポジウムにおいて，日本は原子力発電の安全性および環境問題に関する４つのすぐれた論文を発表した。昨秋の第４回原子力平和利用に関するジュネーブ会議で，日本の科学者はこの問題に関する８つの論文を提出し，原子力発電の環境問題およびパブリック・アクセプタンスに関するパネル討論に参加した。勿論これらは日本のリーダーシップを示す若干の例にすぎない。" What is past is beyond our control and tommorow never comes "（過ぎ去ったことはどうにもならないし，明日のことはわからない。）という諺もあるので，現在，経験していることに焦点をしぼって話を進めたい。私はこの経験を語ることが，いくらかは日本にとって役に立ち，また日本の経験が米国にとって役に立つものと信じている。

環境問題およびパブリック・アクセプタンス問題の変遷

原子力の安全性の問題は勿論今に始まつたことではない。原子力時代の出現以前に既に科学者達は放射線の生物に与える影響に気付いていた。放射線管理についての知識と関心は幸い年と共に増大してきたが公衆の教育というところまでは至らなかった。その知識を公衆に伝えようとしたとき，多くの場合，科学者は公衆が原子力の神秘性は倒底理解の域を越えていると信じているところから来る相当の抵抗に遭遇した。戦争の中で原子力の恐怖は公衆の心の中に深く植えつけられた。国としては，原子力平和利用よりももっとさし迫つた問題があるという反対も広がっていた。「平和な原子力」についての，華やかでない控え目な見通でも公衆の関心をひくことはまれだった。一般公衆の原子力およびその平和的な開発と応用技術に対する理解を得るためにはなお長い年月の経過を必要とした。厳しい見方をすれば，原子力に対する公衆の理解を深めて行こうとする米国の計画は失敗であつたと認めざるを得ない。１９６０年代に入るまでは環境問題に対する一般公衆の関心は見られなかつた。１９６０年代に入って一般公衆―― 大部分は知識階層の―― の原子力に対する関心が起り始めたが，残念なことにその大部分は否定的な関心であった。

私は公衆の環境に対する関心をけなすつもりはない。私はそれは極めて重要であると信じている。しかし現在の原子力に対する公衆の反対の現状を見ていると，原子力委員会および国が公衆の理解を深める点での失敗がその原因の一部であることを認めざるを得ない。これは「恐れさえしなければ恐いものはない。」というような問題ではない。原子力平和利用の複雑さは，

このような単純な一般化の域をはるかに超えている。原子力をほんとうによく知っている人は，その安全・環境面の問題を軽視するようなことはしないものだと私は思う。ほんとうのリスク分析と可能な解決策に対する理解の欠如からくる不安が判断をくもらせ，見通しを誤まらせる。そして未知のものに対する恐怖や災害の可能性だけに着目するような態度が問題点を洗い出して合理的な解決を図るということやタイムリーに現実的な適応をするということをますます困難にする。

米国では，原子力発電の環境問題のどのような面が一般公衆の関心を集め論議をよび起しているのかという点についてのべてみたい。その主なものは次のとおりである。

(1) 原子力発電所からの放出物中の放射線

(2) 原子力発電所の安全性

(3) 高レベル放射性廃棄物の処理処分

(4) 原子力発電所の熱影響

これらの問題について，環境およびパブリック・アクセプタンスの両面から見て行きたい。

低レベル放射線

最初の原子力発電所の運転のときから，原子力関係者の間では原子力発電所が少量の放射性物質を出すことは知られていた。気体の放射性物質は一定の捕捉期間を経たのち管理されながら放出される。熱交換系，冷却系のなかの小さな「漏れ」の結果，液体放出物の中に放射性物質が入ることがあり，またある型の原子力発電所の液体放出物の中には一定のレベル以下の放射性物質が含まれている。このことは１９６０年代後半まで，米国の一般公衆にはあまり知られていなかった。その後，二つの原因から低レベル放射線が公衆の関心を引くようになった。その第１は，大容量原子炉の経済性の向上により原子力発電所の発注が急激に増大したことである。第２はもつと直接的な原因であり，このように計画されている発電所から出される低レベルの放射性物質が生物に与える影響について疑問が出されるようになったことである。この疑問は，米国の科学者が発表した論文の中で提示されたものであり，その科学者達の中にはＡＥＣの委託契約研究を行なつている研究所に属しているものもいた。これらの論文の多くは，原子炉から出される低レベル放射性物質がガンの発生率を大巾に高め，遺伝的な悪影響をおよぼし，幼児の死亡率を高めると指摘していた。論文の数は変っても論旨は皆同じようなものだつた。公衆の各人平均の被曝が年間１７０ミリレムの場合で，ガンによる死亡が数千人増加し，さらに多くの人数が遺伝的影響を受けると考えられていた。この１７０ミリレムという数字は，

国際放射線防護委員会（ＩＣＲＰ）および国家放射線防護・測定審議会（ＮＣＲＰ）の作業に基づいて，医療以外の人工放射線の全身被曝の１人当り年間防護指針として米国連邦放射線審議会（ＦＲＣ）が採用したものである。これらの批判論者達は，１７０ミリレムが許可された原子力発電所から公衆が受ける実際の線量限度であるという前提を作り出し，これにある種の放射線治療の影響をつけ加えて，もし国の全人口が発電所から１７０ミリレムづつの被曝を受ければ死亡および疾病がどの位増加するだろうかという比較論を展開する。ここで注意しなければならないのは彼らの計算は，ある一定の線量以下では放射線の影響がないという「しきい値」はないのだという前提で行なわれているが，これはＦＲＣ，ＩＣＲＰ，ＮＣＲＰが線量限度を定めるために使つた前提であり，実際の疾病発生率の予測には使つていないものである。彼らの計算の結果が公衆の関心と放射線に関する論争をひき起した。この論争はその後数年間続くことになった。

しかしこれら批判者の議論は，その計算を無価値にするようないくつかの誤まつた前提に立っていた。公衆の平均被曝を年間累積１７０ミリレムと仮定したときに彼らはこのような全人口に対する平均被曝を生ずるような放出基準を原子力発電所からの放射線に関して設定することは殆んど不可能であるということに気付かなかった。当時米国では，原子力発電所のサイト境界で１人当り年間５００ミリレムという線量限度が設けられていた。これによると通常の気象での拡散効果を計算し，発電所が許容量一杯の放射線を出したと仮定した場合にサイト境界から５マイルの地点に住む人間に対して１０－３０ミリレム，３０マイルの地点に住む人間に対しては１ミリレム以下となる。しかし実際にはこれまで，米国の発電所でこのようなレベルまで達したものはない。大部分は平均してこの限界量の僅か数パーセント位の値であった。ということは発電所境界から５マイルの地点に住む人間に対し，0.1－0.3ミリレム／年，３０マイルの地点では0.01ミリレム／年以下という取るに足らない値の線量であるということである。２０００年までに１０００基以上の原子力発電所が運転されるようになっても１人当りの年間平均被曝線量が通常の自然放射線の１０分の１の0.1ミリレム以下に止まるであろう。このような事実が公衆に理解されるようになってくるにつれて原子力発電所からの低レベル放射線に対する反対は次第に減少してきた。そして論争は，放射線量を実際に" as low as practicable "　―改良技術の導入によって「漏れ」を減らし，捕捉効果を高めることによって放出レベルをより低く抑えて行く―　に維持できるような設計基準の策定および規制手続の方に移って行つた。現在米国で許可されるすべての原子力発電所に適用される" as low as practicable "基準を公式の規制手続として確立するための一連の公聴会が開かれている。

われわれはこの公聴会の成功により，原子力発電所の正常運転時の放射線に対する公衆の不安はなくなるものと確信している。

原子炉の安全と事故

原子炉の安全性は，低レベル放射線よりも一般公衆の関心を集めているようである。一般公衆に影響を与えるような事故を起すことなく既に１００炉／年の運転を行なっているという経験を持ってはいるが，公衆の心配は理解できる。原子力と核兵器の結びつきは公衆の心の中に深く刻み込まれており，したがって原子力発電所の大事故に対する恐怖心をかきたてることは容易であり，事実そのようなことが批判者たちによって行なわれてきた。このためによく使われた手段は，事故時に原子炉内に存在している核分裂生成物の量を計算し，これが周辺区域および住民のうえにばらまかれたときの放射線の影響を描き出すというやり方である。しかしまじめな批判者達はこのような事故の発生率が極めて小さいことは自らも認めていた。このような事故発生の確率は年間１万分の１～１００万分の１である。数多くの危険・利益分析の結果が原子力発電所のリスクは産業社会のほとんどすべての技術および近代的な施設に比べて極めて小さいものであることを示している。絶対に安全だという技術などあり得ないので危険・利益分析はすべての技術の採用の可否を審査するための最良の手段だと私は考えている。無意識のうちに受け入れているかも知れないが，すべて技術には何らかのリスクが含まれている。公衆に対して原子力発電所のリスクをより良く理解させるためにＡＥＣの原子炉開発・技術局および規制関係部局は現在，原子力発電所とその他の代替発電施設の危険・利益分析を広範に実施しているところである。この研究の目的は主要エネルギー　―石炭，石油，天然ガス，原子力および水力―　のリスク，コストおよび利益をそれぞれ分析し，定量化し，標準化し，比較することである。この研究は無数のエネルギー対環境の関係を電力生産の全プロセスについてシステム的に描き出すことに重点を置く，その中には燃料資源の採取，輸送，精製，各種燃料による発電，廃棄物の最終処理までが含まれる。１９７０～２０００年の３０年間のこれら全プロセスが対象となる。

質の確保による安全

ＡＥＣは，原子力発電所の設計，建設および運転における安全性・信頼性の確保に非常な努力を払ってきた。この１０年間われわれは，安全性・信頼性を獲得するための質の確保の必要性を強調しつづけてきた。そして米国民に対して原子力発電の安全確保の責任を果すにあたり，

われわれは＂defense-in-depth＂（多層式防護）の哲学を育ててきた。この概念は次の3段階の行動を含んでいる。

(1) 設計，建設，運転にあたり優れた質を確保する。

(2) 事故の発生をくい止めあるいは減少させるような安全特性により事故を発見し，予防し，軽減する措置を講ずる。

(3) 質の確保の最終的な手段として，すべての核分裂性生物の閉じ込めを含み，事実そのものをなくして行くような安全特性を持つような措置を講ずる。

この第1段階を成功させるため努力の中で，われわれは質の確保概念に新らしい任務を持たせた。つまり1970年に「質の確保基準」を作り，それを産業界に守らせるように努力している。このような努力と検査制度の増強により，質の確保のためのシステム的なアプローチが原子力産業の慣行として確立されることを期待している。過去においても米国の原子力産業は質の確保の重要性は認識していたが，その実現のための具体的措置に欠けていた。すべての製造，建設，運転手続を検証し，規則化するというようなことに重点を置くAECの「質の確保計画」によりこのような産業界の態度は変って行くだろう。勿論この計画が成功するか否かは，AECおよび産業界のリーダーがトップレベルの管理者層から建設労働者や運転要員にいたる原子力産業関係者の一人一人に信頼性・安全性に対する責任感を植えつけることができるか否かにかかつている。シュレシンジャーAEC委員長は，ある電力業界の首脳にあてた最近の手紙の中で，この点を次のように強調している。

「AECのこの重大な計画により，あなた達は原子力発電所の建設運転についての質の確保その他に関する決定に電力経営者の主脳が参加することの必要性を感じられたことと思う。原子力発電所は，その建設運転にあたり他の発電所より高度の基準を要求され，したがって経営者に対してはより高度の責任が課せられることになる，ということを認識しなければならない。」

私は，この産業活動の責任の遂行という面において，日本は他国の尊敬と賞讃を受けている。日本の原子力産業は，経営者と労働者の責任感のある態度により大いにこれに貢献していると思う。

緊急炉心冷却系

米国は，原子力発電所の安全性・信頼性のための防御の第1線として「質の確保」を強調しているが，現在公衆の注意を最も引いているのは，前述の第3番目の安全特性の問題である。この原因の一つは，米国の軽水炉で採用されている緊急炉心冷却装置（ECCS）の有効性に

ついて若干未解決の問題があるからである。この事件は昨年アイダホの国立原子炉実験場での電熱によるＥＣＣＳの小型モデルを使った実験結果から起ったものである。この実験の結果，実物大のシステムの有効性に若干の疑問が持たれた。ＡＥＣではこの問題を調査し，「軽水炉用ＥＣＣＳ暫定基準」を作成公表した。この基準は，システムの一定の変更を要求する結果となるかも知れない研究と実験の結果が出るまでの間，ＡＥＣが現在のＥＣＣＳ設計で炉が安全に運転されうると考える運転条件を示すものである。いくつかの環境保護者グループや科学者グループがこの暫定基準の妥当性に対する挑戦を開始した。ＡＥＣは事件の完全な記録を収集するため，この基準に関するヒヤリングを開始することにした。ＡＥＣから指名された審査官で構成されている三人委員会が司会しているこのヒヤリングは現在なお進行中である。このヒヤリングにＡＥＣ，産業界代表および反対者から資料や証拠が提出されている。これら各グループは証言を行ない，審問を行なっている。ヒヤリング終了後，三人委員会は，ＡＥＣの審査と決定のための資料としてヒヤリングの記録をＡＥＣに提出する。ＡＥＣが承認し規則として制定した基準は，それ以降の発電所と許可手続に適用される。これが規則制定ヒヤリングのメリットであり，この手続は前述のとおり放射性物質の放出に関する" as low as practicable" 問題でも採用されている。

廃棄物処理処分

原子力発電所の環境への影響に関し米国で公衆のかなりの関心を呼んでいるもう一つの問題は原子力発電所の高レベル放射性廃棄物処理処分問題である。

ＡＥＣはこの１０年以上もの間，使用済燃料から分離された高レベル廃棄物の固化プロセスの開発を行なってきた。またそれを地下の岩塩層の中に貯蔵することによつて処理するという考え方の検討も進めてきた。岩塩層は今までわかっている中では最も乾燥した，地質的にも最も安定した構造をもっているからである。この考え方の可能性を実証するためＡＥＣはカンサス州ライアンズの岩塩廃坑を選んだ。この州にはいくつかの大規模な地下岩塩層がある。固体廃棄物を金属性の容器に入れて特別の道具を使って岩塩坑の中に入れ，岩塩で封じ込めるという実験計画を進めてきた。その途中でライアンズのサイト周辺に古い油井の穴が発見された。この穴は充塡することは可能だが，水が岩塩層の中に浸透して行かないように完全にシールしてしまうことができるかどうか若干不安が残った。さらに周辺では岩塩採取のために水を使っており，これが貯蔵区域の保全上から見て別の危険性を感じさせた。ＡＥＣの要請により，カンサス州地質調査所は同地域のサイトの問題点を調査し，州内の別の場所の立地可能性も調べた。

この方法とともに他の貯蔵手段も目下検討中である。

このカンサスでの出来事は当然，公衆の注目を受けることとなり，将来の廃棄物最終処分について公衆に新らしい疑問を感じさせた。ＡＥＣは今でも岩塩廃坑への貯蔵は有望であり，大事なことは人間の周辺環境から廃棄物を安全に引き離しておくことのできる国の廃棄物処理場としてふさわしい場所を見つけ出すことだと考えている。ＡＥＣはまたこの問題について他の一時的，永久的解決策もあわせて検討している。その一つはコンテナーに入れて地上の貯蔵室に保管する方法である。これは中間的な解決策ではあるが，永久的な解決策が開発されるまでの数十年間はこれで十分間に合うかも知れない。

米国および原子力開発を行なっているすべての国にとって，高レベル放射性廃棄物の管理が重要な課題であることは疑いのない事実である。これらの国々は，原子力技術開発の中で，この問題を重点の一つに考えるべきである。国が原子力計画の中で環境問題と経済性を考える場合には十分検討された廃棄物管理対策をその中に加えなければならない。廃棄物管理とその最終処分に対する関心は将来ますます国家的および国際的に強まって行くであろう。

熱影響と立地

米国でかなり関心を呼んでおり，日本でも同様だと私が考えている問題――原子力発電所の熱影響とその結果起る立地問題――について述べる。これはいろいろな面で原子力界ひいては全エネルギー産業に対する最も興味深い挑戦である。熱影響の問題は，原子力発電にとって広狭，長短さまざまな局面で関係してくる。いわゆる熱影響問題は，二つの面で原子力発電と結びついている。第１は，現在の軽水炉の原子力発電所の熱効率は，火力発電所に比べて低く，そのため冷却水の中に同規模の火力より５０パーセント多くの熱を放出するからである。第２は，この問題が公衆の注目を集め始めた時期が原子力発電所の大規模な発注が始まった時期と一致していたからである。またこれらのすべては環境保護に対する関心の高まりと同時期に起つた。その結果，熱影響問題に関する論争が発電所の建設を阻害し，あるいは計画を変更させ，その結果，計画遅延とコスト増を生じたいくつかの例がある。ＡＥＣの法的な権限が水の問題については放射線の分野に限られており，熱影響のような放射線以外の分野にまで及んでいなかったという点も議論を呼んだ原因の一つである。熱影響問題に対するいくつかの技術的解決策が現在開発され採用されつつある。その中には乾式あるいは湿式の冷却塔，冷却池，冷却配管，人工通水路等のような技術がある。これらすべてが新発電所の計画，建設に採用され始めている。どの技術を採用するかは発電所の位置，地域条件によって定まる。現在までのところ

米国では熱影響は原子力発電所の運転にとつてさほど厳しい問題にはなつていない。現在世界中で最も多くの原子力発電所の集中立地が行なわれているコロンビア河については，広範な調査が行なわれており，また大規模商業用原子力発電所が立地しているコネティカット河についても同様の調査が行なわれているが，魚類に対する有害な影響は発見されていない。その他多くの調査研究が行なわれているが，それらの調査結果では，水量・流量が十分であり，魚がバイパスできる余地がある場合には，有害な影響は現われていない。しかしすべてのエネルギー計画の場合に必要な長期的な観点からすれば，別のアプローチが必要になってくる。冷却技術も一つの解決策ではあるが，立地に対する配慮がさらに重要になってくる。そのため連邦各機関の共同研究を含め，発電所の立地問題に関しては数多くの研究が行なわれており，また数多くの立法措置が検討されている。立地問題について長期的な計画や研究が進むにつれて発電所の立地や地域との取りきめについていくつかの興味深い新らしい考え方が導入されるようになってきた。その一つはニュークリア・パークという概念である。これは，その目的のために政府が保有している広大な土地（多分海岸となろう）の上に数基の原子力発電所と燃料リサイクル施設の大規模コンビナートを形成するという考え方である。1ケ所あたり電気出力3000万キロワット位の規模が考えられており，環境問題上多くの利点を有し，パブリック・アクセプタンスの問題を最少限にすることができると説明されている。提唱者達は，このような大規模発電センターを建設し，運転するためには多くの問題があることも十分承知している。

また沖合立地とか人工島とかいう新らしい考え方についても真剣な検討が加えられている。嵐や船との衝突のおそれのない海岸から数マイル離れた水域に原子力発電所を浮べようという考えがベースになっている。乾ドックで建設して，障害物のない水域まで引つぱつて行くことが考えられている。電気は海底ケーブルで送られる。将来このような送電を可能にする超高圧送電技術が実現するだろう。立地点は海岸から見て水平線上にかすかに見える位の距離になるだろうと言われている。この最大の利点は熱影響問題の根本的解決である。

注目すべき点は，米国では熱影響問題が原子力発電所に対する環境規制における大きな転換の最大の原因になったということである。次にこのような規制上の変化に大きな影響を与えたカルバート・クリフス原子力発電所事件に移ることにする。

カルバート・クリフス事件

カルバート・クリフス原子力発電所は94万5,000 KW 2基で，米国東海岸メリーランド州に建設中のものである。サイトはチエサピーク湾（太西洋岸の大きな湾の一つ）沿岸のカル

バート郡にある。この湾はバルテイモア港への通路にあたり，また米国の魚貝類の７％を産し，９０００人の漁民がそれで生活している漁場でもあり，かつ有名な行楽地でもある。このように，このサイトはいろいろな面で，日本で原子力発電所が建てられ，または建てられようとしている立地点と似ている。

この発電所は１９６０年代後期に建設許可を受けたものであるが，丁度その頃，私は電力事業に対する規制面を監督する州の機関であるメリーランド州公共サービス委員会の議長をしていた。この立地は，場所が場所だけに湾の環境を保全しようとするメリーランド住民の関心が強く，水に対する影響の問題を中心として，発端から論争をまき起した。

当時，環境保護論者の心配の種の一つであり，カルバート・クリフス事件の論争点の一つになつたのは，ＡＥＣが原子力発電所の許可にあたり周辺水域に対する熱影響について判断することができる権限を持つための立法措置を考えていなかつたという点であつた。当時その権限は州およびＡＥＣ以外の連邦機関に属しており，それらの機関がＡＥＣに対し，原子力発電所の許可に際して，水質保全に関する規制に合致することを条件にして許可するようにＡＥＣに対して要求するというシステムがとられていた。

１９７０年１月１日に１９６９年国家環境政策法（ＮＥＰＡ）が発効した。この連邦法は，すべての連邦機関に対し，その許可に係る主要な計画について，環境に与える影響をすべて審査し検討するよう命じている。また同法は環境に対し影響を及ぼすおそれのある主要な連邦政府の計画に対し，計画実施機関は詳細な環境報告を作成し，連邦政府および州政府の環境規制当局の審査を受けることを要求している。

ＡＥＣは許可申請者に対して環境報告の提出を命じてはいるが，なおそれはＮＥＰＡに基づく責任を十分果しているとはいえないという主張の下に，メリーランドの環境保護組織の中のあるグループがＡＥＣを相手取って訴訟を提起した。コロンビア特別区合衆国控訴裁判所は１９７１年７月２３日にＡＥＣに対し画期的な命令を下した。同裁判所はＡＥＣがＮＥＰＡに基づくＡＥＣの責任を狭く解釈しすぎており，ＮＥＰＡはＡＥＣに対し原子力発電所の建設・運転許可にあたり発電所が環境に与えるすべての影響について独自に審査する責任を負うことを要求しているとの法解釈を示し，ＡＥＣは環境に対する影響を審査するにあたり各種の連邦基準や州基準に頼ることなく，独自で広範な審査と評価を行ない，それに基いて許可を行なえと命令した。この命令は，その一つの重要な点として，環境に与える影響のより少ない代替手段も考慮に入れて環境保護および経済性の両面から個々の発電所について利益・費用分析を行なうべきことを強調している。裁判所の命令はまたＡＥＣに対し，この広いベースでＮＥＰＡ発

効以来のすべての原子力施設の許可を見直すよう要求しており，さらにＡＥＣの運転許可が出されていない建設中の発電所に対するＮＥＰＡ審査を直ちに行ない，この環境審査が終了するまで建設を中止すべきか否かを検討することを要求している。

ＡＥＣはこの裁判所の命令に直ちに従がうことにしたが，このためＡＥＣの規制関係の諸規則および許認可手続を大巾に変更しなければならなくなった。それはあまりにも多岐にわたるので，こゝで詳細のべることはできないが，主な点を述べてみたい。

この新らしい要求の中で第一にあげなければならないのは，各原子力発電所毎に建設許可および運転許可申請にあたって詳細な環境報告の提出が義務づけられたことである。この環境報告は，発電所建設予定地のエコロジーの破壊，騒音，景観上の配慮，送電線の影響，水質保全等，予想される影響のすべての面を含んでいなければならない。そしてＡＥＣはこれらの面のすべてについて完全な評価を行なって声明書にまとめあげ，この声明書は他の政府機関の地震学，水文学，気象学，生物学，公衆衛生等の各種の専門家のチエックを受ける。このＡＥＣの声明書には代替手段との比較を含んだ利益・費用分析も含まれなければならない。これは発電所を許可するか，しないかまたは許可に際して計画変更を要求するかということを決定するための重要な材料となる。

カルバート・クリフス命令以前に環境報告書が提出された発電所については，追加環境報告書の提出義務が課せられ，ＡＥＣは裁判所命令に基づく再審査を行なうまでの間，建設・運転を中止させない場合はその理由を説明する声明書を出さなければならなくなった。これに該当する発電所については，全部その手続がとられた。このうち５件だけが建設工事の一部分の差し止めを受けたが，再審査終了後は，工事継続を認められた。この新らしい要求事項に従って企業が行なう申請手続のための各種のガイドラインがＡＥＣから示された。

この新らしい仕事がＡＥＣにとって相当の負担増となったため，規制担当部局の拡充が行なわれ，許可のための審査業務を円滑化するため新らしい手法が導入された。

ＡＥＣはまた許可手続のできるだけ初期の段階に公衆の参加を行なわせるよう，許可手続の改正を検討中である。これは，公衆に対し，発電計画に関する書類を十分にチエックする時間と機会を与えることを目的としており，許可手続への公衆の参加を容易にし，かつヒヤリングを円滑化するために有効であると思われる。公衆がこれらの書類を容易に見ることができるようにするため，ＡＥＣは今後ともワシントンのＡＥＣ庁舎のほかにプラント建設予定地の近くの文書閲覧室の中にすべての関係情報を集めた書類を備えておくこととし，また地域住民に対し，このような文書を見ることができるということをＰＲして行くつもりである。

原子力発電所の許可および規制に関するＡＥＣの手続のもう一つの重大な変更は，規則制定手続の中にヒヤリング制度を導入したことである。この制度は，先程の as low as practicable とＥＣＣＳ暫定基準の話で述べたように長期的な観点からすれば必らず，許可手続を円滑化するために役立つものと私は信じている。どのタイプの発電所の技術にでも共通するような規則を作ってしまえば，個々の許可にあたって，裁量の余地がなくなる。われわれは，現在，規則制定に時間をかけすぎていると思われているかも知れないが，このような手段により公衆の参加を得ることが原子力の長期的な発展の条件を作り出すことになると考えている。

液体金属高速増殖炉の環境問題とパブリック・アクセプタンス

高速増殖炉は，以上のべたような現状に適合しうるものだろうか。皆さんは，米国が液体金属高速増殖炉（ＬＭＦＢＲ）の実証炉の建設を推進する決定を行なつたことを御存知と思う。このＬＭＦＢＲは，連邦政府，私営・公営電力会社の資金的協力の下にＴＶＡおよびコモンウエルス・エデイソン社の手によって米国の東南部に建設されることになっている。このプラントの建設・運転を通じて，われわれは商業規模の高速増殖炉の技術，経済性を実証するつもりである。計画は現在，ＮＥＰＡ審査手続に入っている。ＬＭＦＢＲに関する環境声明書（案）が１件だけは既に出されており，審査と意見を求めるため連邦政府各機関に送付されている。ＬＭＦＢＲの実証プラントについての新らしい声明書が近く提出されることになっている。これらの報告は，ＦＢＲの環境問題上の利点をいくつか強調している。例えば，ＦＢＲは天然資源を節約することができ，軽水炉に比べて熱影響が少なく，プラントからの放射性排出物の放出を著るしく減少させることができる等の点である。最も新らしい報告書では，とくにプルトニウム燃料および液体ナトリウムの安全管理を中心とする運転上の問題がとりあげられている。

これまで作成された２件の環境声明（案）はＬＭＦＢＲによる特定のプラントを対象としたものであり，まだ発表されていないが近く，特定のサイトにおけるプラントの建設・運転の環境に与える影響を扱うことになつている。

ＡＥＣは，ＬＭＦＢＲについての公衆の活発な議論を期待しているが，同時に実証プラントを１９８０年までには完成させたいと思つている。大統領が教書の中で，ＦＢＲの開発を支持してのべたとおり，この実証プラントの運転の成功は米国のクリーン・エナジー時代への転換にあたつて，一つの画期的な出来事となろう。

むすび

原子力発電に関する環境問題およびパブリック・アクセプタンスについて，米国は多くの経験を重ね，学んできた。近年始まった環境時代は，われわれに対して，もはや自然環境の代償によって経済成長を買うことができなくなったことを告げている。環境の保護はわれわれ自身の生存のためにも必要であるが，その保護のために環境に与える影響をできるだけ少なくする技術開発を考えて行かなければならない。これには相当の努力を必要とするが決して不可能ではないと信ずる。

もし設計・建設における質の向上に最大の注意を払って技術開発と管理が行なわれ，責任ある運転が行なわれるならば，原子力発電は，人類に役立つ数多くの技術をもたらすことになろう。この「もし」が最も大切なことなのである。原子力発電に手をつけた国は，その位置づけとその性格か来る避けることのできない問題を認識しなければならない。米国は，今後数十年間にさらに増大するエネルギー需要をまかなうための技術として原子力発電を選んだ。原子力発電がどこまで成功するか——公衆に受け入れられ，安全性と信頼性についての実績を維持する——否かは原子力開発の全局面を通じて，われわれがどの程度の「優秀さ」を確保しうるかにかかつている。この「優秀さ」は，科学者，技術者，労働者，管理者の教育訓練に及ばなければならず，またプラントの設計，製造，建設，試験，検査および耐用期間を通ずる運転に及ばなければならない。これが非常に苛酷な要求であることは間違いない。しかし，今日の環境に対する関心の高まりがわれわれの注意をより多くそちらの方に向けさせてくれるのは，幸いなことではなかろうか。原子力開発に手をつけたすべての国がこの事実によって利益を受けることになるだろう。アメリカでは，それが真実である。

おわりにあたつて，今日の御招待に再度御礼を述べたい。パブリック・アクセプタンスに関する米国の経験についての今日の私の話が皆さんの御役に立てば幸甚である。

今後とも日本と手を携えて原子力に対する挑戦に立ち向い，共に原子力時代の収穫を手にできることを念願してやまない次第である。

ウラン濃縮の現状とその対策及び問題点について

日本原子力発電㈱会長
原産ウラン濃縮問題懇談会委員長
一本松　珠璣

我が国のウラン濃縮は複雑且困難な問題である。技術的には原子核の分離という難かい仕事を工業的に成功させることは容易なことではない。又濃縮ウランは核兵器の原料として，国際政治の場できわめて重要な意味を持つものである。この技術と政治とがからみあっていて，アメリカ，ヨーロッパの国々などとの国際間の関係は複雑である。

約１３年後の１９８５年には原子力発電の出力は６０００万kw 以上になり，アメリカに次いで，世界第二の濃縮ウラン需要国と見られている日本としては、この問題は大きな関心事である。昨年の原産年次大会において主議題であったのもこのためである。

その後の１年間，原子力委員会においても，原産をはじめ民間においても，様々の問題が検討されて来ている。具体的な国際的の動きも色々あった。

原産ウラン濃縮懇談会の取まとめ役をしている私として，最近の情勢と対策及び問題点等について，一般的な報告をしたいと考えた次第である。日本の濃縮ウランの年間需要は１９７５年３０００ tSWU．１９８０年５０００tSWU１９８５年８０００ tSWUと考えられる。而して，世界の濃縮ウランの需給バランスが崩れるのは１９８１年と見られる。これが第１点である。これは計算の仕方で相違はある。プルトニウムリサイクル，アメリカＣＩＰの増量等の仮定で多少は変るが，需給の大筋は次の如く考えられよう。

第一に，自由世界需要の大部分は１９７０年代は，米ＡＥＣ の３工場のＣＩＰ，ＣＵＰで５０%能力増で賄われる。第二に，ヨーロッパの遠心分離等が完全に成功しても１９８０年は総需要のうち１５%がアメリカ以外から供給せられるだけである。第三にＡＥＣ の三工場においてpre-production で stockpileをし之を放出しても１９８０～１９８１年には供給不足となる。そして１９８１年以後は８０００tSWU/年 乃至１０,０００ tSWU/年の工場を毎年新しく一つづつ作ってゆかねばならぬ計算になる。

このような厖大な需要に対する大計画が，どのようにして遂行せられるかは大問題であるが，我々が自国の需要確保を考えるうえに留意せなくてはならないのは，次の２つの点である。こ

れが考え方の基本となるものである。

(1) アメリカは新工場を自国の責任で次々建設して海外に供給するつもりはない。

(2) 日本もヨーロッパもエネルギー源を全面的にアメリカだけに依存したくない。自給能力が欲しいと考えていることは，電力供給の責任を持つものとしては当然である。この点に関して，各界の人々の認識および問題意識は一致を見るに至った。かくて濃縮に関する原産懇談会，原子力委員会懇談会，或はジュネーブ会議，日米会談等に於て，過去一年間真摯な検討が行われた。その結果今後の検討推進を計るために，原子力委員会に国際濃縮計画懇談会，及びウラン濃縮技術開発懇談会，民間にウラン濃縮調査会の設立を見たのである。

次に第２点としてウラン濃縮の具体的問題であるが，このプロジェクトを進めるに当って，問題になる内容諸項目について，概略述べて見よう。ウラン濃縮プラント建設には金，時間，技術が必要である。拡散法なら更に電力が必要である。

その上，前にふれた国際政治問題がある。核防，査察，機密保持などがからんで非常に複雑である。各々について今少し説明をすれば，

「金」アメリカ拡散方式8,７５０tSWU／年の工場で3,０００～4,０００億円。遠心分離法がうまくいっても（希望として）kgSWU／年　当り１５０～２００$（8,７５０tSWUなら4,０００～5,０００億円）。

「時間」アメリカ式拡散工場にしても一番早くて6年かゝる。（技術公開等の手続を入れると８～１０年）もしアメリカに建てるなら環境法の影響などでLicense だけで２年かゝると言われる。

「電力」アメリカ式8,７５０tSWU／年で２００万～２３０万kw，これは電力の難かしい時期だけに大きな問題である。

カナダ，オーストラリア，コンゴ等で良質の信頼出来る電力を得るには金と時間とがかかる。遠心法なら電力は少なくてすむ。次に問題の中心である「技術」について述べる。この超巨大濃縮プラントを考えるときに，単体の機器だけでなく，真空技術，Systemとしての工場，膜の製造，何十万台もの遠心分離機の生産等想像もつかぬようなものがたくさんあるであろう。その上に技術の内容そのものは，極めて厳重な国家機密であって全く分らない。次にウラン濃縮技術の現段階の認識について申述べます。

このような条件下で，濃縮の現段階は次の４つのCategory に分けられよう。

(1) Commercial，多量生産可能

(2) 兵器の経験に基きCommercial な技術を目指す。

(3) Pilot Plant 建設中，うまくいけばCommercial になる。

(4) 研究段階

ウラン濃縮に取組んでいる世界の各国は，上にあげた4つの Category の何れかに属するのであるが，色々の技術情報によっても，上記(1)(2)(3)(4)の間の技術格差は非常に大きいものと考えられる。我が国は遺憾ながら(4)の研究段階である。

ウラン濃縮はまだCommercialになっていない。もし本当にCommercial ならば，例えばアメリカで建設し，濃縮ウランの輸出をする筈である。需要のあることははっきりしているのであるから。ウラン濃縮にはまだリスクが大きい。その理由を挙げれば，

(1) 資金，Time Schedule,技術等が分っていない。需要も長期取引契約になっていない。
FBRの出現で経済的寿命が左右される。

(2) 濃縮ウランは原子力発電しか使い道がない。技術も応用がきかぬ。

(3) R&D費用がどうなるか分らぬ。

(4) 拡散法と遠心法との将来の優劣も不明である。

日本としては経験のない問題のパターンで，しかも需要はCommercial な需要である。前記の金，時間，技術，を如何に組合せ勘案して，将来に渉っての濃縮ウラン需給の安定を計るかは重大な問題であるが，今のところ，１９８０年以降の問題解決の見当は全くついていない。

各国の情勢は微妙な動きを見せている。

アメリカは，拡散技術は完成し，遠心法の研究も始めた。国際協力は拡散法によるマルティ方式で各国に協力を表明している。先に挙げた技術の Category (1)に相当しよう。フランスは同じく拡散法によるMulti 式欧州共同工場（英，独，和，白，伊，参加）を計画している。日本にも働きかけて来ている。

英，独，和は所謂トロイカ方式で，遠心分離法の工場建設を計画している。差当り夫々Pilot plant を建設中である。南アの所謂パイロットプラントも完成に近づいているとの話である。各国の意企しているウラン濃縮は，いづれも３２$/kg SWU 程度のCommercial多量生産を目標としているが，各国共，裏面に於て原子力産業の将来に対する主導権争をなしつつも，同時にBig Industry として国際協力なしには出来ないことも十分了解されている。

以上のような内外の情勢に対して日本の方針，対策等について述べて見よう。原産においては１９６９年以来，「ウラン濃縮問題懇談会」を設け，一年余の検討の結果，１９７０年１２月，「ウラン濃縮問題についての意見」を取まとめ発表し，各界に勧告を行った。その要旨は，自主技術開発の推進を主体としたものであるが，同時に国際協力に積極的に対応することを述

べたものである。即ち次のように要約される。

(1) 目標は１９８５年に5,０００tSWU／年程度の濃縮工場を建設完成する。

(2) これに至るTimingは１９７５年迄は，拡散，遠心両方法の技術開発を行う。１９８０年迄にPilot plantを建設する。そして１９８０年～１９８５年に本工場を完成する。

(3) 国際協力の問題を検討する。機密保持或は多国間問題等の諸問題

(4) 体制問題は開発の段階を経て決定してゆく。

この趣旨は昨年の原産年次大会において説明したのであるが，今日の情勢にあっても，これを修正する理由はないと考える。その後の情勢の変化も本質的には変っていない。しかしながら，当面具体問題としての「日本に於ける濃縮ウラン確保対策」は次のように考えられる。

(1) 第一段。日米原子力協定による供給確保は，現在成立している１９７３年末までに着工予定される２６基に必要な３２８トン（U^{235} 正味調整量）は，アメリカは供給することに合意している。

(2) 第二段。１９７４年以降着工する発電炉に対し，必要な濃縮ウランの供給を確保せねばならぬが，これはアメリカに依存することが主体となるであろう。１９７１年１１月の日米原子力会議でもＡＥＣはその供給に好意的な表明があった。これは早急に交渉し，確定する必要がある。

(3) 第三段。１９８０年頃から先の濃縮ウラン供給は，アメリカに於ても不足を告げる事態となる。従って所謂第四工場をアメリカが計画する頃の我が国の濃縮ウランの供給については今の所見当がついていない。一般的には国際濃縮ウラン工場の出現を期待して，之に参加することが現在考えられている。

(4) 第四段。１９８５年頃から先の需要に対しては日本に於ても，自主開発の技術を使って国内に工場を建設することを考える。場合によっては国外工場を考えるなど，現在はまだ可能性の調査研究の段階である。

以上述べたことは概要であって，これを実現するための諸方策は極めて複雑であるが，電力会社は，電力供給責任者たる立場から，極めて重大な関心を示している。上に述べた基本方針及び具体策を実現するために，前に述べた金，時間，技術のことを考えながら，早急に次の諸点を検討せねばならぬ。

(1) どういう形で国際計画に参加するか。どこまで日本がその計画の中で役割を果すことが出来るか。

(2) 技術開発をどんなScaleで進めるか。国際計画への参加をどうやって技術面に反映さ

せるか。

このようなことを十分に検討するために，原子力委員会が今回二つの前に述べた国際濃縮計計懇談会とウラン濃縮技術開発懇談会を発足させたのであって，この意味で，極めて時宜を得たものである。

差当ってこの問題を進めてゆくにはどのような形をとるにしても国際協力が必要であるがこれには以上述べたもののほかにも次のような問題がある。

(1) 政府間の協定，ＮＰＴとの関係。

(2) 多国方式の進め方，その場合の運営の困難性

(3) 機密保持の問題，原子力基本法三原則のある日本では難かしい問題である。

(4) 導入技術と自主開発技術との関係

これらの極めて難かしい問題を現実的に処理する必要がある。

以上本問題に対する内外の情勢分析，対策，問題点について述べたのであるが，これらの計画実現のための時間的余裕は無い。早急に結論を求めねばならぬ。そして各国との交渉も始めねはならぬ。電力供給の直接責任を持つ電力会社はもとより，産業界全体としても，本問題の緊急性を強く感じるものである。原子力委員会はじめ関係政府機関におかれても，一層の努力をお願いするものである。

以上で私のウラン濃縮に関する報告を終ります。御静聴有難うございました。

午さん会における特別講演

国務大臣
環境庁長官　大石武一

昨年の7月から環境庁を預かりまして，我々の健康で，豊かな明るい生活環境を作るべく一生懸命に努力しているものでございます。今日はこの様な第5回の素晴しい年次大会にお招きいただきまして，御挨拶を申し上げる機会に恵まれましたことを心より光栄と存じます。本日は，私が行政面で当面しております一，二の問題について，皆様にお話を申し上げたいと思います。

原子力は日本の大きな将来の産業の中心になる事は申し上げるまでもないことでございます。今，日本では一番原子力発電所というものが問題となっており，この設置に関連してその安全性が非常に要望されておる訳でございます。ご承知の様にこの原子力発電所は，日本のいたるところにおいて，地域住民の反撥を受け，その設置に非常に苦労を払っているのが現状でございます。私は率直に申し上げまして，日本の公害の大気汚染，水質汚染の一つの大きな原因は火力発電所だと思っております。これは勿論，日本経済の発展の為には，当然なくてはならないもの，今後もますます増えなければならないものとは思いますが，現実に公害を発生しているのは間違いないことでございます。なんとかして大気汚染をきたさないように脱硫装置やその他の設備等を考えているのでございますが，必ずしも未だ十分な成果を上げておりません。その成果が現われるまでにはおそらく5年とか10年かかるのではないかと思います。したがいまして，私個人としましては，いや環境庁といたしましてはどうせ発電所が出来るならば，より公害の少ない原子力発電の方が望ましいと考えておるのでございまして，そのような原子力発電が，適切に日本の国内に建設されるよう期待をし希望している訳でございます。唯いろいろとマスコミ，その他の間では未だ原子力発電についての種々の危機とか，或いは種々の欠点が指摘されているのでございますが，私は科学技術庁のお話なども伺いまして私自身としてはまず問題は無い，危害が無いと信じています。もっともこれは，今此処におられます科学技術庁長官にお聞きしたものではございません。実はその専門の方々のご意見をお聞きして，そういう風に私は信じている訳でございます。

ただ問題は，何故こんなに国民や地域住民から反撃を受けるのかということでございます。私自身が環境庁長官になりました当初は，私の権限というのは，国立公園，国定公園ぐらいしかございませんのでこのような国立公園，国定公園の中には一切原子力発電所は認めないと云うことを初め話したのでございますが，それは当然でございまして，つまり当時は日本では環境破壊があまりにもひど過ぎる，公害がひど過ぎると云うところから，これに対する環境庁の強い姿勢を皆様に認めて貰おうと云う方針から，あのような発言をしたのでございます。しかしどこにも，どんな場合でもそのような発電所設置を禁止すると云う訳には参りません。したがいましてその後，いろいろと考えまして出来るだけ国立公園の景観を損わない地域や，やり方によっては，その設置を認めてもよいのではないかと云うふうに方針を変えつつある訳でございます。そう云うふうに方針を変えますと，マスコミからいっぺんに堕落したと云って非難されるのではないかと思いますが，しかしどのような非難があっても，やらなければならない事はやらねばなりません。ただ一体何故この様に地域住民の反撃があるのか，地域住民が反対しその代表の知事が反対されますと，矢張りなかなかそれは許可はしにくいのであります。どうしても日本で電力の需要が一杯になる，なんとしても供給をふやさなければならない現状においてこれは困ったことであります。やはりこのような難しい問題は一日も早く解決をして，豊富な電力を得る必要があると思います。これには種々原因があるでしょうけれど，その一つはこれは電力会社に甚だ失礼でございますけれども，電力会社の方々が地域住民の理解を求めて行くための努力が足りないのではないかと思います。その点では，反対の立場をとる人々の努力に比べますと大企業の方々はすこし安易ではなかろうかと考えます。出来るだけ原子力と云うものは恐ろしいものではない，原子力発電と云うものはどうしても必要であって，必要な策を講じれば決して危惧は無いのだと云う理解を求めるための適切な努力をすると云うことが必要であります。

その次には，これらの発電所は全部，海水を使いますので海岸につくられます。そうしますと，地域の漁民との間にいわゆる温排水が大きな漁業問題になるとして反対を受けております。これはやはり，私は大企業は考えなければならない事ではないか。何故かと云いますと，なるほど温排水がある程度の漁業に影響することは，確かであります。プラス面も有りましょうけれども，マイナスの面も必ずあるはずであります。その事情を十分調査し，それを漁民に理解させ，それを補償の基礎とすることが，私は大事ではなかろうかと思います。

今までも各電力会社において，そのような努力はされているとは思いますけれども，電力業界全体としてこの問題を取り上げて3年でも4年でも，一つ腰を入れて研究することが必要で

はないかと思います。そうする事が漁民に対する補償の土台ともなる訳であります。今の補償の仕方は唯，摑み金で漁民に補償する事以外に出てないでしょう。これでは漁民に対しても不親切であり妥当であるかどうか分りません。したがって私は出来るだけ電力会社が，大きな力があるのですから協力して，お互いに地域を選び，そうして温排水の漁業に対する影響を研究される事が，国民に理解を与える一つの大きな方法ではないかと考えております。

現在，環境庁では僅かな予算ですが東京の一部の火力発電所を利用して温排水の拡散，その他を検討致しております。いずれは，福井県の若狭湾にまいりまして，夏には大きな研究をやる事にいたしておりますけれども，この程度では仲々思うような成果が上がらないと思います。ですからどこかが中心になって―私は科学技術庁が中心になる方が一番文句ないと思いますが―各業界，研究者に呼びかけてこの研究を２年でも，３年でも４年でも腰をすえられて努力することが一番望ましいのではないかと考えております。そう云う事につきましては，我々も喜んで協力を申し上げたいと考えております。

それから次はＰＰＰ（ポリューター・ペイズ・プリンシプル）の問題でございます。先月のＯＥＣＤの会議に於きまして，ＰＰＰの問題が取り上げられ委員会では，それが採択されたと云う事でございます。

御承知のように，公害の対策と云うものに付きましては，或いは公害の全ての問題に付きましては，公害を発生するポリューターがこれを負担すべきであると云う原則の問題でございます。そしてこれは，国やその他が援助を与えてはいけないと云う考え方のようでございます。これは，なるほど近い将来に必ずそのような時代になると思います。時代がそのような方向に進んでまいりましょうし，日本だけがそれに反して異なった態度をとる事は許されません。したがいまして日本も必ずそのような方向に進まなければならないと思います。しかし，それは今すぐには出来ない事で，やはり我々としては何と云っても日本の公害を出来るだけ予防し，公害の後始末を出来るだけ速くすることが一番大事な問題ですから，その事に付きましては唯単にポリューターだけに責任を押しつけないで，政府としても出来るだけの努力をする決心でございます。そう云う事で，種々な新しい技術の開発につきましても或いはそのようにして開発した設備をする場合に致しましても，大企業は勿論自分の力で出来るでしょうが，中小企業にも出来るだけの援助なり，融資なり，そう云うものを与えましてそうして日本の公害の防止に努めて参りたいと考えておる次第でございます。

しかし，これは何時までもこのような方向で参ることは世界の情勢から許されない事でございます。したがいまして当然ＰＰＰの考え方が日本にも十分取り入れられて，それが実行に移

される事になって参ります。

そのような場合に，種々な考えがあると思いますがやはり財源と云うものが問題になると思います。その財源をどうするかということは仲々難しいと思います。そこで今私はいろいろな事を考えておりますが，未だ具体化された考えではございませんのでその通りになるかどうか分りませんし，これにつきましては十分に皆様からの御意見なりご叱正をいただきたいと思うのでございますが，そのような大事業をなすためにも，公害を防止する為にも，公害にタッチするような税制を打ち立てることが必要でないかと思います。それが，どのような形になるか，私には具体的には未だわかりませんが，基本的にはそう思います。ご承知のように種々な有害物質が排出されているのが現状でございますが，この場合，現在環境基準と排出基準との二つの規制がございます。この二つを出来るだけ厳しくしていく。そうして有害物質の排出をできるだけ抑えていく。同時に，企業がそれを正しく実行しているかどうかを十分に監視するための監視体制を強化すること。この二つによってのみ私は公害は抑えられると思います。

現在の環境基準と云うのは，ご承知の様に我々が健康で豊かで明るく生活をする為に望ましい基準であります。理想的なものであると表向きはなっておりますが現実にはこうなっていません。この様な理想的な環境基準があってそれを段々と実現する為に当面，煙突からどれ位のものを出してはいけない，水ではどれ位のものを棄ててはいけないと云う，いわゆる排出基準を作りまして，それで調整したのでございますがその環境基準と云うものか必ずしも今の段階では，理想的なものではございません。そのような十分な実験もしておりませんし，必ずしもその環境基準が一番妥当でつまり必要で最少限のものとは考えられません。もちろんそれは世界的に種々な資料とかいろんなものを集めて，今考え得る最高のものであると云う方針のもとに，環境基準を決めていますけれども，やはりこれは今後早い機会に十分に検討を重ねまして，必要にして最少限の基準を決めなければならんと思います。

もう一つは，余りに公害がひど過ぎる為，あまり理想的な環境基準を作ったのでは達成する見通しがないと云う考えのもとに，その環境基準が下げられまして，必ずしも公文に書いてあるように理想的でないものも沢山ございます。例えば一酸化炭素の環境基準は0.5ＰＰＭでございます。0.5ＰＰＭと云うのは，これはもう警戒警報が出る。東京都で0.5ＰＰＭとなりますと警報が出て，或いは工場を止める事ができる。車も止める事ができると云うものでございます。その様なものが環境基準であってはならない。ですから私は近い将来にはその環境基準というものを，更に強化しこれを三段階に分けて決めまして一番上のものは我々の本当の理想とする環境基準にしたい。その次の段階も相当，ある程度立派なものであると云う基準を作る。

そして現在の環境基準と云うのは，ある程度暫定的な基準にしたらいいのではないかと思います。そうして理想を決めますといろんな企業の方々には，第１段なり，第２段の環境基準を守っていただくように努力をしていただきたいと思います。そうしてそのように努力をされた方に対しては，それだけの費用を使いあらゆる努力をされているのでございますから，そう云う企業に対してはＴａｘ を取らないとか，減らす事にしたらいいのではないか。現在の環境基準を守っている間は，ある比率の税をいたたく。よりよい環境基準まで設備なり内容を整えられた方に対しては，その功績を認め，Ｔａｘ を取らないとか減らすようにしたらどうか。そう云う事になりますと自づからその公害の発生も少なくなりますし，そこにＴａｘ としての多くの財源も集まると思います。

そう云うものを集めてそれはボリューターが払う事になりますからーそう云うものを中心として，日本の種々な公害の防止なり，患者の救済なり種々な事に使ったら，企業が種々な訴訟によって痛められる事もないでしょうし，全体として私はやりよい姿になるのではないかと，密かに考えておるのでございます。しかしこれは環境庁の方針として決っている訳ではございません。ですからこう云う事につきましても皆様から種々なご意見をうかがいますとともに，十分に専門家や学者の方にも検討をお願いして，ひとつこのような形で日本の公害の防止に進んでいきたいと思う次第でございます。

大分時間も経ちましたので，最後にひとこと申しあげたいと思いますが環境庁は決して，威張っていて企業をいじめるとか，そんなケチな事は考えておりません。またそれだけの力もございませんので，皆さんのご協力を頂いて，日本の国は勿論，ひいては世界の為にもなりますか，日本の公害を出来るだけ防止して自然環境を豊かに保全し，我々の健康で明るい，豊かな生活環境を作り，同時にそのような素晴しい環境を我々の子孫に伝えて参りたいと云うのが念願でございます。皆さまのご理解とご協力をお願い致します。

内　外　講　演

議　長　　大　堀　　弘　氏　（電源開発　総裁）

講演　　「新時代における日本産業の進路」

議　長　　平　塚　正　俊　氏　（住友原子力工業　社長）

講演　　「フランスの重水炉開発」

講演　　「原子力船実用化の見通し」

議　長　　菊　池　正　士　氏　（大阪大学　名誉教授）

講演　　「フランスにおけるウラン濃縮の最近の傾向」

講演　　「ウラン濃縮問題とアメリカ原子力産業会議の活動」

新時代における日本産業の進路

三菱重工業㈱
社長　古賀繁一

日本の産業は，戦後の荒廃，混乱の中から大きく成長発展して数年前から日本の国民生活が必要とする基礎的な物資を充分供給できている。日本はその必要とする天然資源の約90%を海外に依存しているのでこれらの輸入は日本としては必至のものであり，この輸入に見合う輸出は絶対必要である。日本の輸出は最近大いに伸び良質安価な製品を広く世界に提供して諸外国の国民生活の向上に寄与するとともに，日本の保有外貨充実にも貢献している。

この間日本の産業は一途に急激な生産の増大に突進してきたため，種々の副作用や後遺症を発生させている。これに対して充分な手当ができていないまゝ，もろもろな問題を抱えながらも，生産面では一応の目標を達成しており，今後も更に発展するバイタリティをなおもつだろう。このバイタリティをこれから日本国民の生活向上のどの部面，どの方向に向けていくか，また国際的には世界の貿易，世界の国民生活の充実改善のためにどの様に向けて行くか。すなわち，わが国のみならず世界人類の平和と幸福のため如何に処していくかが日本産業の今日当面している新しい課題である。今日までの日本産業発展の要因としては，次の5項目を挙げることが出来る。

1. 技術の面で，戦後の技術的空白の故に世界中から一番良い技術を選んで導入したこと。
2. 材料の面で，これまた国内資源との競合がないため，きわめて合理的に世界中から良質のものを大型船により安い運賃で輸入できたこと。
3. 労働の面で終身雇用，年功序列のもとでの安定した熟練労働力を十分に確保できたこと。
4. 経営者のバイタリティー。
5. 政府の適切なる指導。

を挙げることが出来る。特に60年代においてこれら5つの要因は，日本の太平洋岸及び瀬戸内一帯に極めて効率的な臨海工業地帯として結実したのであり，鉄鋼，化学，自動車，家電，造船等がその主な業種である。しかし乍ら我が国が徒らにGNPの増大を誇示する感をつづけているうちに思い及ばなかった国民生活に対する害毒と，国民生活の豊かさを高める基本

的な要素に対する配慮が見落されていることを露呈したのである。国際的にもいろいろな摩擦を惹起し，内外ともに問題が起きて来た。ここに代表的なものを申し上げると国内問題としてはまず公害問題であり，これはわが国では極めて重大な問題である。その他にも，社会資本及び社会保障の充実，労働環境の改善及び労働時間短縮，物価高，消費者運動の抬頭等々の諸問題が一斉に表面化し政府に対してのみでなく，企業自体に対しても直接にその解決を迫っている。国民生活自体の要求も，又変化しており，衣・食および耐久消費財は一応充足が済み，量より質の向上に向っている。更によい都市環境，よい住宅，よい教育，高い文化生活の享受を求めて，或は健康管理，レジャー等サービス面の向上を求めるなど物心両面に亘ってその充実を求められている。一方わが国を取り巻く国際環境をみると，

① 天然資源の輸入確保

② 国際通貨問題

③ オーダリー・マーケッティング

④ 保護貿易主義の防止

⑤ 発展途上国への援助，特に untied loan の拡充

⑥ 輸出仕向け先の偏向是正

等の問題がある。今日の段階まで生産中心にひたすら努力して来た我々産業人としては上記のように国内的にも国際的にも種々の問題をもっている現実に深く思いを致し，企業が社会的存在として当然もつべき「社会性」を企業内にビルトインし，国民の期待に副うと共に，世界市場における行動にしても，国際社会との調和を求めて，より「国際性」を持つべく努力すべきであると思う。

この様に「社会性」と「国際性」は，これまでの「生産性」に加えて今後の企業のもつべき必要不可欠の三つの要件とみるべきである。即ち企業の中において「社会性」と「国際性」は「生産性」と同じ位置づけをしなければならないのであり，ここにおいて我が国産業の向うべき方向，今後の進路は自ら明かとなる。

先づ我が国産業の基幹的な既成産業の分野において「国際性」があらためて強調されなければならない。既に秩序ある輸出は，我が国産業界の合い言葉となっているが，海外市場の制約条件，特に相手国の事情を充分考慮に入れて節度を保つべきである。資源国に対しても，その工業化に協力し，現地である程度加工の上，半製品として輸入する等の配慮が必要である。次に「社会性」の面でも，公害問題については特に過密工場地帯の多い我が国は，近年率先してこの問題に取組んでおり，一昨年制定強化された公害関連１４件の法律も，逐次効力を発揮してい

る。之に伴って企業の公害防止投資の負担は急増している。４６年度我が国産業界の設備投資における公害防止設備比率は９．１％となっているが，４７年度は更に１１．５％にまで高まるものと推定されている。これにより企業にとってはコストの圧迫が避けられないが，これを成長抑止，或いは成長の阻害要因としては受取らず，むしろ維持発展要因として進んで善処すべきものと考える。また，政府においては「工場再配置の促進」を考えているが，これは過密都市からの地方分散を策するものであり，公害問題の抜本的解決と同時に，労働力の不足，労働環境改善等，多大の効果を狙うものと思はれ，各産業界の協力が必要である。蛇は抜けガラを残すことによって成長していくと云われるが，われわれは我が国産業の脱皮のために，この至難な課題に取組まねばならない。

日本政府は，大型公共投資を実施して社会資本の充実をはかり，社会保障を手厚くし，福祉国家建設を指向して努力している。先進諸国は永年かゝって豊かな国民生活を築き上げているのを，わが国はこれから急いでこれに追いつこうと努力をはじめたわけである。従って重化学工業主導型であったわが産業は，これからは公共投資，民間住宅投資等が成長をリードするものになるだろう。所得水準上昇に伴う消費関連産業や労働力不足に対処するための省力機器産業等も今後期待されるが，原料多消費型又は単純労働集約型などの産業は伸び悩むであろう。

この様な「社会性」及び「国際性」の追求は，必然的な結果として世界と協調しつゝ，いままでの生産増強 一点ばりの高成長より福祉国家指向の低成長に転ずるだろう。今後わが国は，この低成長下においても賃金の上昇，労働時間の短縮その他労働環境，生活環境の改善による企業の負担増を吸収していかなければならない。これは企業の責任でもある。従って日本の産業は，必然的に高附加価値製品分野に移行することになるだろう。又国際的にみても海外資源の制約からも，発展途上国との国際分業からも，我が国が除々に知識集約的産業に傾斜していくことになることは一つの筋道であらうかと思う。

一方社会開発や，資源開発の関連に於いて，新しい産業分野を展望することが出来ると思う。公害防止技術の開発は現下の急務であり，海洋開発による資源の確保も，これからの分野である。宇宙開発は，わが国としてはまだ初期段階であり，本格的にはこれからの領域の問題である。幸にしてわが国の原子力産業においては，米欧先進諸国の協力により，平和利用を実用化しており，更に官民挙げてその開発に努力しているところである。将来に亘って我が国のエネルギー問題を解決する道は原子力発電を除いて他にないし，日本は現在利用されている軽水炉関係機器類の生産には不安がないが，原子燃料の安定確保については懸念があり，今次原産年次大会でも論議されるだろう。特に米国を始め諸外国のこの点についての配慮を切望したい。

ところでこれらビック・プロジェクトの研究開発費は益々巨大化している。これまでライセンス依存で来た我が国も漸次自主技術の開発に向っているが，本来我が国の企業の自己資本比率は極めて貧弱であり企業の研究開発負担経理能力が不充分である。その上研究開発費の国と民間との支出構成は，国が３０，企業が７０であり，丁度米国の逆であります。我が官民において漸くこの自覚が高まり，国の支出も増加して来たが，自主技術開発への道は，決して生まやさしいものではない。特にビッグ・サイエンスの分野では国家負担を推進することはもちろん，軍事機密に属さないものについては，技術交流，国際共同開発等のメリットも強調されなければならないと思う。

即ち，この分野における各国間の協力こそ，世界平和と人類の幸福増進に寄与すること多大であろう。以上私はわが国産業が今後向うべき方向を中心として所見を述べたけれども，最後に最近のわが国の外貨急増問題についてふれたい。昨年夏，既に一年半に亘って続いたわが国の不況がようやく底入れをし回復に向わんとした矢先，ニクソン・ショックによって再び後退し，今日なお何時この不況から脱出できるかまだ確かな見透しの立たない状況にある。各業界に於いて操短や，不況カルテルが拡大しており，経営者の設備投資マインドは全く冷え切っている。本来なら今回の如き大巾な円切上げにより，輸出は当然減少すべきものである。事実我々プラント関係においては，我国の国際競争力の低下により最近の国際入札において，米国勢は大いに優勢に転じている。然しながら当面操業度の不足に悩むわが国各業界において輸出ドライブがかゝることも又已むに已まれぬ次第である。我々は政府の大型予算の編成による景気の刺激策と相俟って，輸出市場の多角化，更に広く共存共栄を指向した外貨活用などにより，この異常外貨事情が早急に改善されるものと思う。こゝに皆様方の御理解を特に求めたい。

以　上

フランスの重水炉開発
― 将来有望な圧力管型 ―

フランス原子力庁
重水炉コォーディネータ R. Naudet

現在世界中で約２００基の大型発電所が建設済、建設中または発注済である。通常の水は最も適切な工業液体であるが、それよりも重要なことは水冷却に関して最近非常な技術進歩があったということである。したがって、水型炉の将来はまだまだ明るいということである。

これは将来の水型炉はすべて現在のものとまったく同じ型であることを意味するのだろうか燃料、コンポーネント、回路、冶金学的または化学的問題に関して得られるすべての経験を使って同じ冷却材技術の枠の中でも、色々な方法が考えられる。ここでは圧力管に関するものだけを述べることとする。世界には色々の種類の冷却材を利用した多くの圧力管型炉が建設されているが、その中でもピッカリング炉の成功にみられるようにカナダの計画はその技術が実証済であることを示している。

圧力管は多くの特色をもっている。

建設という観点からみると：

― モジュラー特性のために非常に大きな発電所を建設するという点についても技術的な制限はない。超大型圧力容器も技術的には可能であるが、輸送または現場組立ての点で問題が生じる。

― コンポーネントの製作のために不当に生産施設を拡大するような必要もない。特に、未開発国でも重工業機器は必要ではない。

― プロトタイプ・チャンネルの実験が、代表的条件の下で炉内でも炉外でも実施することが可能で、その結果は如何なる規模の炉にも利用できる。

安全性という観点からみると：

― 圧力下に大型のコンテナーがない。その結果圧力管爆発の影響も限定されている。また放出される核分裂性生成物はタンクの中に閉じ込められる。

圧力管は運転中でも簡単に検査をし、必要であれば取り替えることが可能である。

― 緊急炉心冷却装置は各チャンネル毎に燃料の中につくることが可能である。

運転という観点からみると：

― フロー・レイトを各チャンネル毎に調節し、それぞれモニタリングすることが可能であ

る。

— 炉心に簡単に近づくことができるので、炉を長時間止める必要はない。

特に、破損燃料を簡単に発見して取り出すことができるので、回路の汚染は少なくて済む。燃料挙動に関して広範囲な保証ができる。

— 圧力管の外を液体減速剤を流す場合にはボロンの使用により冷却材に不利な影響（トリチウム害、水化学的）を与えることなくフレキシブルな制御が可能である。

— 炉心に簡単に近づけるので燃料管理に好都合で燃料サイクルという点でも有利になりform factorも改善される。

— 運転中燃料交換も可能であり、炉の稼動率が高い。

圧力管水型炉についても何種類かの設計が考えられる。その一つは、閉鎖された圧力管だけでできている炉である。これは大型炉では中性子バランスがリークによりそれ程大きな打撃を受けないためである。また、圧力管の間に減速材を入れることも可能である。黒鉛を利用する考えはソ連で開発されているが、重水を利用する考えが英国（SGHWR）、カナダ（ジェンティリー）、イタリー（シレネ）、日本（ふげん）で開発されている。

この減速材の存在は中性子バランスを改善する。水型炉においては水の一部が熱交換のために必要であるが、沸騰水型炉ではこの量が非常に少ない。もしチャンネルの中の軽水がこの最少限度のところまで低下して異質アレーの中の中性子非吸収材によりさらに減速されると、中性子バランスは大きく改善される。この点に関して重水の秀れていることはよく知られている。

フランスにおいては、圧力管技術は過去において重水炉開発計画の一環として開発されてきた。現在の技術的、政治的、経済的背景を考慮して調査した最近の結果によると圧力管と軽水冷却を結び付けたものが秀れているということになっている。フランスの考えは日本の「ふげん」に関する考えと似ている。本件に関する現在のフランスの考え方を詳細に説明したいと思うが、特に重水と沸騰水冷却に関する考え方を詳しく説明したい。

われわれの最大の関心は経済的特性と信頼性との間に適切な妥協点を探し出すことである。例えば、この種の炉では一般にボイド係数がプラスである。このボイド係数を0にすることも可能ではあるが、多分経済的には最も有利であるとは言えないだろう。詳細な調査結果によると、プラスが大きい場合には複雑なコントロールが必要となるが、小さい場合にはそれ程でもないということが判明した。したがって、ボイド係数がプラスでも小さければ、従来の制御法で安全に対しても不必要な影響を与えることもなくやってゆける。それ故、われわ

れはその方が経済的であるならばそれを採用する考えである。

例として、安全性について少し詳しくみてみよう。第一次系ループが減圧した場合、運転停止ロッドが炉心に挿入される以前にチャンネルのボイドがあればPower excursion が起る。このPower excursion の間に放出されるエネルギー量が残りの電力により放出されるものの一部にしか過ぎなければ、緊急炉心冷却装置の必要性はそれほど大きくはない。従って、ボイド係数が大きい場合にはPower excursion を少なくするために炉の停止を非常に早く行なわなければならない。反対にボイド係数が小さい場合には従来の運転停止ロッドで大丈夫である。同じようなことが炉制御の他の面についても言える。

ボイド係数を下げるために、外部減速材の量を少なくし、格子間隔をピッカリング型炉等よりも小さくすることが必要である。しかし、クリアランスが余り小さくなりすぎたり、チューブの解体や取り出しが複雑になったりしないよう先端部分の設計について注意することが必要である。われわれの経験によるとこれらの要求は全て充すことが可能である。

次に、経済的観点よりみた目標は何か？一つは、炉の建設費、燃料および重水の部装費用を少なくするために比出力を高めることである。熱出力と言う点に関してはドライアウト・マージンに関する考えと同じように考えて現在のＢＷＲと似た数値、すなわち約7.5 MWe／TUは得られるだろう。その場合、重水量は、約１３／KWe まで下がる。（重水の価格を２７／ebと仮定）燃料の濃縮度が低い場合には、部装炉心と重水の費用は同じ出力の現在の軽水炉の部装炉心より大きくはない。

1,２００MWe の炉の場合、５メーターのチャンネル約７００本が直径8.２メーターのタンクの中に入っている。先端部分つきの圧力管とタンクの費用は、ＰＷＲの炉容器やＢＷＲの圧力容器より安いはずである。直接サイクルが採用されているので外部回路は特に簡単であり、蒸気発生機も不用で蒸気ドラムと再循環ポンプだけが必要である。

重水も密閉されており、温度も低く圧力もかかっていないので何ら問題はない。（ＥＬ－4の経験からみるとトリチウム害、ロス、品質低下も殆んど問題とならない）

この炉型については燃料の取扱方法が何種類かある。ＳＧＨＷＲでは、燃料交換は炉が運転を停止し減圧されたときに行なわれ、燃料ポンドはカランドリ管の上にあり、燃料のハンドリングはＰＷＲと同様直接方式である。炉心の一部を扱うだけであれば週末に作業を完了することができる。これは非常に魅力的であるが、われわれの調査によるとジエンティリーやふげんのように取扱う装置を炉の下にとりつけて炉の運転中に燃料交換が行える方が有利である。

この点に燃料費、form factor、炉の稼動率が関係している。燃料の交換のために炉の運

転を停止しなければならないとか、軸方向の稼動が出来ないということは同一バーン・アップを得るためにウラン１キログラム当り数グラムのU－２３５を多く必要とする。他方、もし燃料を寿命の続く限り全然稼動させないでおくとform factorへの影響が大きい。（減損燃料の出力は新燃料より４０％程低下する）、もし、放射方向の燃料移動が可能であれば、稼動率低下のペナルティは重要な意味をもつことになる。特に炉の規模が大きい場合にそうである。反対に、ジエンティリー型の燃料集合体で炉の運転中に燃料交換が行なえる場合には燃料管理に融通性がでてくる。さらに、燃料取扱い装置を炉の下につければ、上は制御装置をとりつけるために使用できる。そのような炉では燃料交換が比較的簡単でチャンネルの全内容を一度にとり出すことができる。この場合燃料は、チャンネルからプールまで普通の水の中に維持される。

燃料サイクル費がもう一つの経済的特質である。部装炉心のウラン濃縮度は1.1％程度で取替燃料の濃縮度は1.4～1.5％、平均バーン・アップは20,000MWD／Tである。この燃焼率はこれらの条件下では大体最適のものであるが、安全のために比較的低くなっている。燃料は、ピッカリング炉のように短尺であるが、キャンに対する内圧と外圧がＬＷＲの場合と同じように同一でなければならない。この燃料の加工費は特に低い。

これらの数値を基礎にすると燃料費は、同一経済条件の下で現在の水型炉の1.7～19ミル／KWに対して大体1.1ミル／KWである。この差は大きく、重水費用（0.2ミル／KWH）より確かに大きい。このほかウラン燃料に関して特に関心のあるのはU_3O_8の供給、UF_6への転換、濃縮費、ウラン、クレジット等で部装炉心の費用や金利等を考慮に入れて、1KWH当りの費用は大体0.6～0.7ミルである。これがＢＷＲは1.2ミル、ＰＷＲは1.4ミルである。1KWH当りのウラン消費量は約1.7、分離作業量は３～４程度である。これは中性子バランスが秀れているためであり、そのためにＵ－２３８の転換率も秀れているし、低濃縮ウランでよく燃えるという利点がある。

もう一つはプルトニウム・リサイクルの可能性であるが、これはボイド係数を改善するのでこの炉型に特に適している。これを採用すると取替燃料は天然ウランだけでよく、ウラン消費量および分離作業量の節約はＬＷＲにプルトニウムをリサイクルした場合より大きい。長期的にはそのほか炉と転換炉として利用するような燃料サイクルも考えることができる。

これらの特色は確かに重要である。ウラン濃縮容量の必要性が急速に増大するに従って、費用も増大するだろう。比消費量が減少すれば、電力費への影響も小さくなることは明らかである。

結局、圧力管水型炉は建設、安全性、運転に関連して種々特色があるほかに経済的にも有利

であり長期的にも非常に有望である。これは完全に開発された技術を要求しているが、われわれの考えではこの炉型は検討するだけの価値があると思う。

原子力船実用化の見通し

―日独共同研究の成果から―

日　立　造　船　㈱

常務取締役　木下昌雄

最近の海運情勢の進展に応じて，原子力商船の早期実用化の必要性が高まっていることは，既に幾度びか指摘されている処であって，わが国においては既に原子力委員会の策定した計画に基いて国産船用炉の研究開発が進められている。

即ちわが国における原子力商船の需要見通しに就いては，日本原子力産業会議ではその長期計画委員会の作業の一環としてその原子力船懇談会によって行われた調査・検討の結果が昨年3月に「原子力船に関する長期展望」としてまとめられ発表されている。その検討結果によると１９８０年（昭和５５年）には日本で既に原子力商船が"むつ"以外に２隻建造されることが予想されており，以後これが普及してそれ以後も毎年ほぼ１隻ずつ年間建造隻数を増加して西暦2,０００年までには積算して２００隻以上の原子力コンテナ船が日本の造船所で建造を終っていることが充分に予想されるという事になっているのである。

従って上述の原子力コンテナ船以外にも数十隻の大型タンカーもまた原子力で推進されているであろうとの予想が発表されているのである。一昨年（昭和４５年）の春頃から日独双方の原子力船関係者間で，或は原子力商船の経済性に関する共同検討作業の実施について，或は更に進んでその研究開発，建造および運航まで共同でやろう等，種々な相互意向打診が進められていたが，最終的には同じく昭和４５年１２月１５，１６の両日，日本から出向いた大阪商船三井船舶の岡田氏，日本郵船の黒川氏，原産の末田氏と私との４人の代表団と西独側GKSS社 Interatom 社，Bremer Vulkan 社，Hapag Lloyd 社の代表者との間で，西独Hamburg市で打合会議を開いた結果，１２月１６日に原子力船Otto-Hahn号のサロンに於て，日独両国の関係有志の共同作業によって原子力コンテナ船の技術的ならびに経済性諸問題の評価研究を実施することに関する同意に到達した次第であった。

それ以来１年２カ月余りに亘って日独両国の関係有志のグループ間で共同作業が行われて来たがその間膨大な量に上る資料，図面の相互郵送やTelexによる意見交換はもとより昨年２月には東京で，５月にはHamburg郊外のGeesthachtで，また９月には大阪で夫々数日に

亘って両国の専門家会議を交互に開催し，また昨年12月と今年1月に入って後には日独両国から夫々1名ずつの代表技術者が相手国を訪問して最終報告書の内容に関する最後の「詰め」を確認し合う等の手段を経た結果，去る3月1日に遂に最終的な結果について日独両グループ間で合意に達したので，この機会にその概要をご報告し，今後の原子力船実用化を考慮する上の参考に資したいと考える。

今回検討の対象としてとりあげたのは極東・欧州航路に配船される8万馬力フルコンテナ船で，日独双方ともそれぞれ現有の在来型船をベースとして，これを原子力化した場合を設計し両者の経済性を比較検討した。〔表1〕に日独の各船の主要目を示す。

経済性比較の便宜上から日本側では在来船と原子力船とでコンテナ搭載数を同一とすることにし，原子力船において原子炉搭載のため全長を7m伸ばしているのに対し，ドイツ側ではパナマ運河の制約をうけて長さを伸ばすことができないため，搭載コンテナ数を減少している。原子炉としては日独双方とも西独で開発されたEFDR--80を搭載し，格納容器としては船体構造を兼用した圧力抑制方式を採用した。原子炉室は三重底および耐衝突構造によって防護されている。〔図1〕は船体部，一般配置を〔図2〕は原子炉室周辺の断面を示す。

設計にあたり船体部については，日本側はJG，NKの規準により，ドイツ側はGG，GLのルールにしたがって行い原子炉部分については日独ともにこれら双方を参照した。

以上の設計にもとづいて船価を求め，経済性の評価を行ったが，見積時点を昭和46年末とし，1隻のみ建造する場合と5隻を連続建造する場合とをとりあげた。経済性評価の基準としては，日独双方ともコンテナスロット当りの輸送費を15年間について平均した値を採用した。今回の経済性の評価はあくまで一定の船型，仕様，航路を前提とした特別の場合についてのものであって，これから直ちに一般的な結論を導くことは困難であるが，総合的な判断の手掛りとするため，経済性を左右する主要な費目をパラメータとして変化させた。すなわち燃料費，船価，保検料，耐用年数および残存価格等をかえて経済性を検討した。〔図3〕に結果の一例を示す。

この結果からみると，この程度の大きさのコンテナ船についても，幾つかの重要なコストパラメータの値如何によっては原子力船の経済性は期待しうるものがあることがわかる。在来船と比較した場合，原子力船の経済性は原子炉価格と燃料油価格の如何によって大きく左右され，経済的な舶用炉の開発が重要であることが認められるとともに，原子力船の保検料もまた経済性に大きな影響を与えていることが知られる。連続建造による船価の低減が採算性に与える効果からみて，特に原子力船開発の初期における財政的施策が有効であることが認められる。

今回の研究によってえられた大きな収獲の一つは，この研究により今後解決されなければならない技術的，法的，政策的問題の幾つかが指摘されたことである。すなわち，燃料交換基地，

廃棄物処理システム，定期検査等について更には上記保険問題のほか，政府による賠償の問題，船級，入港許可などの問題についても原子力商船の実現以前に解決しておかねばならない問題が残されているが，これらのうちにはわが国独自で解決することの困難なものもあって国際協力の重要性があらためて認識された。

然して日独両グループは今回の共同研究の結果を positive なものと評価し，今後も多くの問題解決について日独両国間の一層の協力が必要と考える点で合意し，更に両グループはそれぞれの政府に対して研究開発計画の支援増大を計るように働きかけることを申し合せた。最後に日独両グループは真に競合可能な原子力船の時代を開くには，その前に商用実証船（demonstration ship）の段階，即ち政府の適切な財政的・法律的支援のもとに商用実証船の建造および運航の段階を経ることが絶対に必要と思われるということに合意した。

以上，日独共同研究の成果の概要を報告するが，原子力船の実用化の見通しを論ずるに参考となることを期待するものである。

〔表1.〕日独在来船原子力船主要目比較表

〔図1.〕日本側原子力船一般配置図

〔図2.〕日本側原子力船原子炉室付近断面図

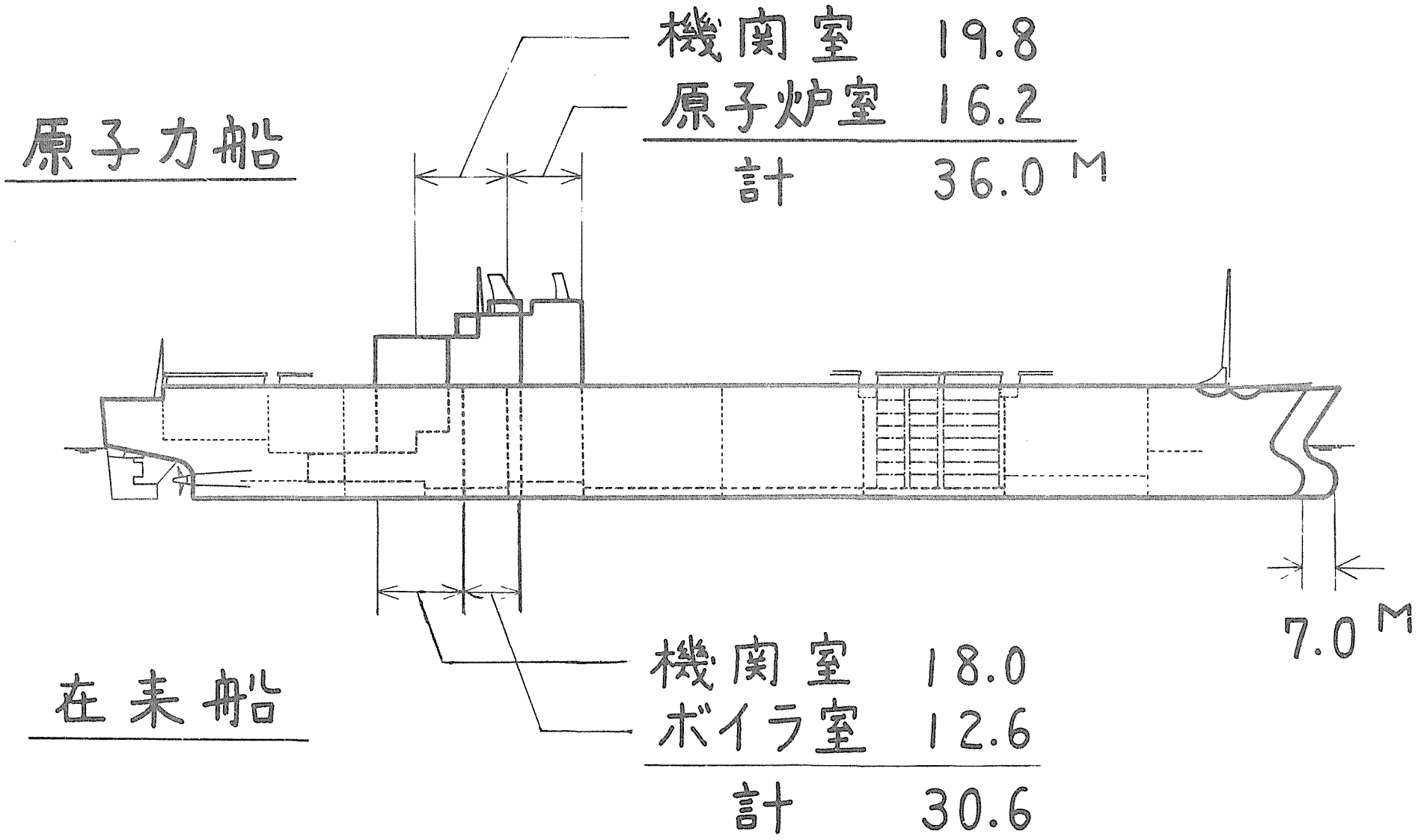
〔図3.〕在来船原子力船経済性比較図

コンテナ船

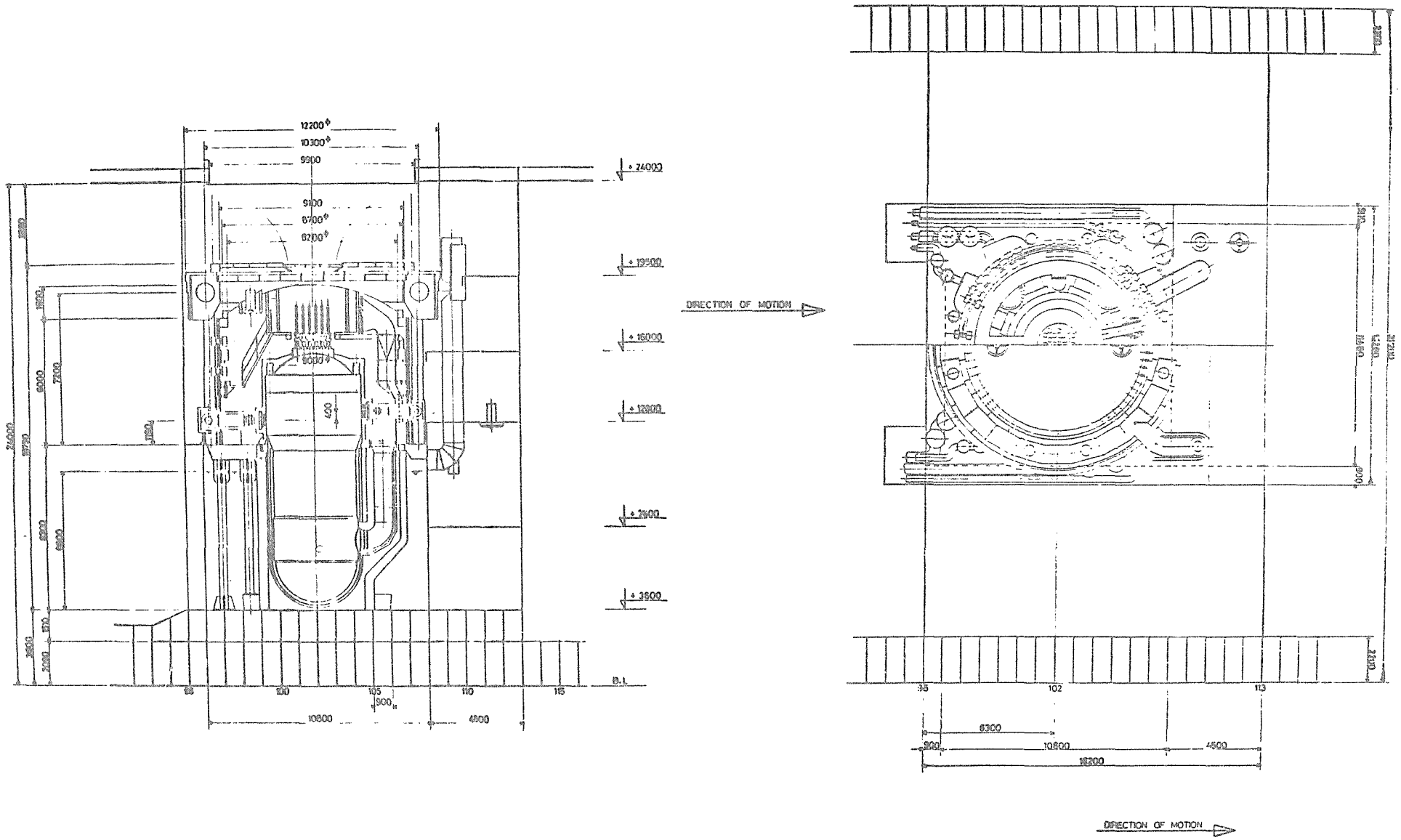
要目比較表

船種 / 要目	日本船		西独船	
	原子力船	在来船	原子力船	在来船
長さ（垂線間）	252.0m	245.0m	273.0 m	273.0 m
幅（型）	32.2m	32.2m	32.24m	32.24m
深さ（型）	24.0m	24.0m	25.0 m	25.0 m
吃水（型）	11.0m	11.0m	11.0 m	11.0 m
載貨重量(t)	26,000t	28,900t	31,226t	34,000t
コンテナ重量(t)	19,732t	18,715t	24,664t	22,600t
燃料油(t)	836t	9,340t	750t	10,872t
脚荷水(t)	4,611t	—	5,147t	—
コンテナ積載数（20'換算）	1,838	1,838	2,288	2,354
船倉内	1,592	1,604	1,998	2,020
甲板上	246	234	290	334
航海速力				
連続最大出力にて	28.55Kts	28,55Kts	28.0Kts	28.0Kts
常用15%シーマージンにて	27.0 Kts	27.0 Kts	27.0Kts	27.0Kts
非常時速力	約 7 Kts	—	約 6 Kts	—
水密横置隔壁の数	11 枚	9 枚	12 枚	10 枚
総噸数	約 53,000T	約 51,800T	約 52,000T	約 52,000T
乗組員数	28 人（その他11人）	25 人（その他21人）	42 人	39 人
主機関（タービン）				
連続最大出力	2基×40,000SHP ×135 rpm	2基×40,000SHP ×135 rPm	2基×40,550SHP ×136 rpm	2基×40,550SHP ×136 rpm
常用出力	2基×36,000SHP ×130 rpm	2基×36,000SHP ×130 rpm	2基×35,000SHP ×131 rpm	2基×35,000SHP ×131 rpm
蒸気発生器	原子炉	ボイラ	原子炉	ボイラ
型式・基数	EFDR-80×1基	水管式×2基	EFDR-80×1基	水管式×2基
出力	220MWth	—	220MWth	—
蒸気条件	270℃×47 Kg/cm²	515℃×61.5 Kg/cm²	270℃×47Kg/cm²	513℃×64.6Kg/cm²
蒸気発生量	1×409 t/h	2×113/135t/h	1×409 t/h	2×110/130t/h

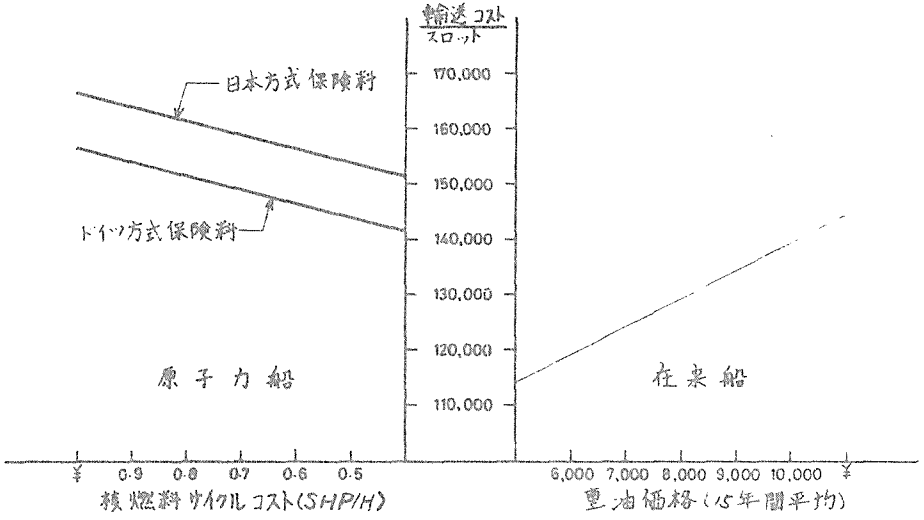
〔表1〕



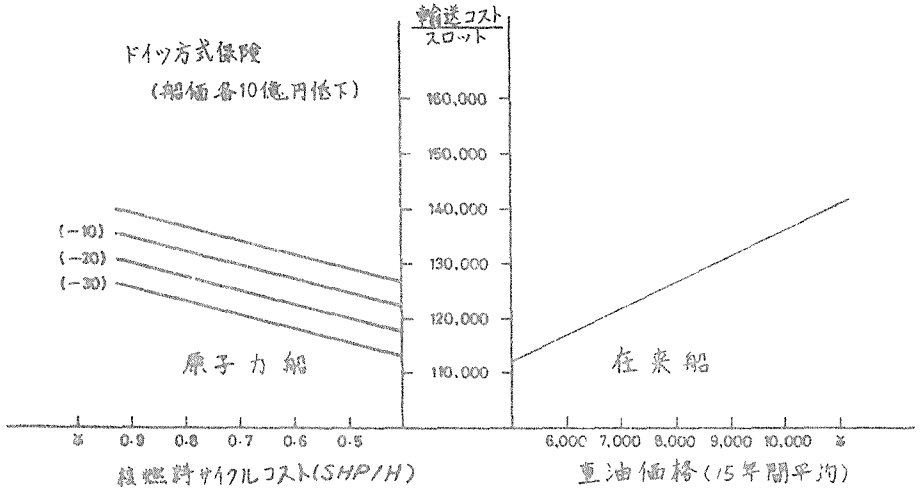
〔図1〕


12200φ
10300φ
9900
9100
8700φ
8200φ
+24000
+19500
+16000
+12000
+7600
+3600
B.L
10800
4800
DIRECTION OF MOTION
6300
900
10800
4500
18200
DIRECTION OF MOTION

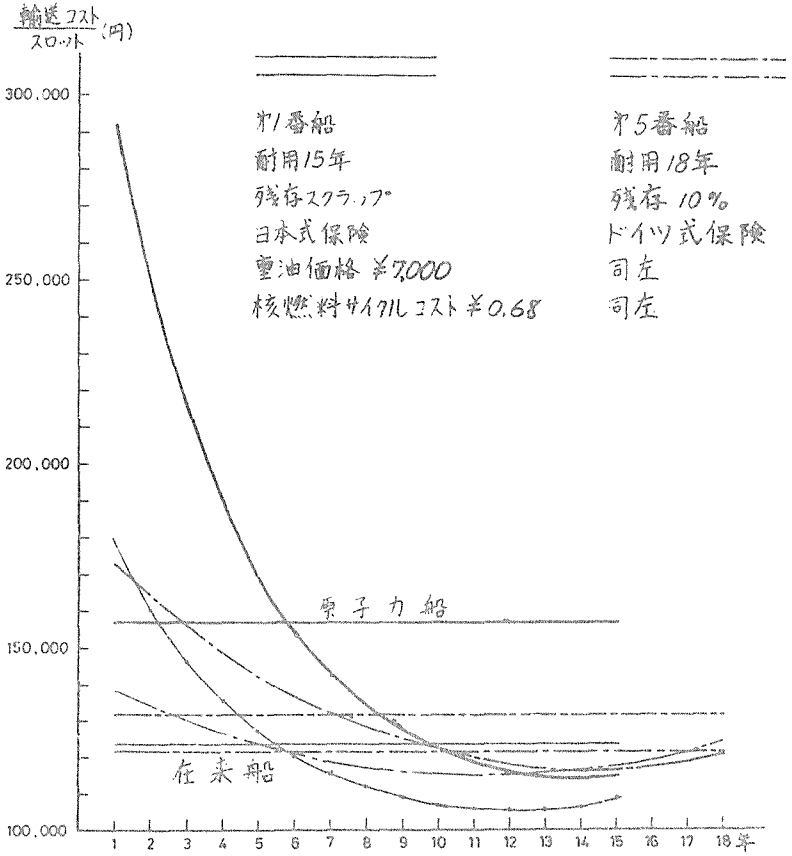
〔図２〕



第1番船比較(耐用15年残存スクラップ°)



第5番船比較(耐用18年 残存10%)



各年輸送コスト

〔図3〕

フランスにおけるウラン濃縮の最近の傾向

フランス原子力庁

化学担当局長　C. Frèjacques

１９世紀における元素の化学的分離と原子力時代の同位体分離の間には或る種の類似点がある。何れの場合も特定の性格をもった元素を分離することが最終目標である。すなわち，前者の場合は化学的性格であり，後者の場合は核的性格である。その他の点では類似点はない。同位体分離による核的特性の変化は原子が集まって分子になることによる変化とは異つた元素を得るために行なわれるものである。熱中性子の活動により核分裂性元素を分離する方法（U^{235}とU^{238}を分離する場合）と核融合による方法（重水素やリチウムの場合）がある。中性子吸収断面積の相違を利用する場合（ボロン１０とボロン１１や重水と軽水がその例）もある。また，放射性同位元素を除去することも可能である。（トリチウムの除去がその例である。）

同位体の分離によって，われわれは核的特性が非常に大きく異なるものを得ることを望んでいるが，現在のところ，それを分離する方法として知られている唯一のものは，その僅かな質量の相違を利用する方法である。われわれが現在知っている主な同位体分離方法は，この質量の差を直接利用した超高速遠心分離法と電磁分離法およびガス拡散法のように分子の拡散係数や化学置換法のようにマス振動による僅かなエンタルピーの相違を通じて間接的に質量の差を利用する方法がある。

これらの物理化学的差違は非常に僅かで何回も何回も同じ作業を繰り返すことが必要であるので，コストが高くかかる。同位体分離もいつかは核的相違によって行なわれるようになるものと期待したい。

何れにしても分離された同位元素とその母体との間のエンタルピーの相違は非常に僅かであるので，現在知られている分離法の熱力学的収率は非常に小さいが将来より秀れた分離法が発見されたり，現在の分離法が大きく改善されるという可能性が残っている。本稿ではウラン濃縮問題にふれる前に最近のフランスにおけるボロン同位体，水素同位体，ウラン同位体の分離に関する進歩の状況を概観してみたい。

Ⅰ　ボロン同位体

Ⅰ－1.　ボロンの同位体比率はB^{10}が１９.８％，B^{11}が８０.２％である。これら二種類の天然ボロンの中性子吸収率は非常に違っている。B^{10}の熱中性子吸収断面積は4,０００バーンであるのに対して，B^{11}のそれは０.０５バーン以下である。

B^{10}は中性子の吸収材として利用されている。B^{10}の利点は，放射化されないこと，カドミウムのようにガンマ放射線を出さないこと，共鳴しないこと，断面積が中性子エネルギーの二乗根に反比例することである。しかし，B^{10}はα粒子をつくり，Ｈｅを発生させ，物質を脆弱化するという欠点がある。炭化ボロンとして金属マトリックス内に分散したものは現在高速増殖炉の制御棒として利用できる最良の中性子吸収材である。また，軽水炉の溶融ポイゾンとしても利用可能で，濃縮B^{10}を使用すればレジンの規制が非常に簡略化される。

現在までのところ，B^{11}は余り利用されていないか，その吸収断面積が小さいので将来原子力産業用スチールへの添加物として広く利用されるようになることも考えられる。

Ⅰ－2.　ボロン同位体分離法

種々の方法が研究されたが，現在工業規模で利用されているのはBF_3と複雑な有機混合物との間の同位体の置換という方法だけである。日本等での研究によりますとボロン同位体分離の分野ではイオン交換法が有望であるとも言われている。フランスでは，工業規模での経済性の検討を終えて１９６８年にイソボレ協会（Ｉsobore ｓociety）が設立され，工場は１９７１年９月に操業を開始した。この工場の生産容量は９０％濃縮B^{10}にして２００kg/年である。生産工程は次の通りである。

ホウ酸塩という形の陰イオン・タイプのイオン交換材がホウ酸溶液に接すると，B^{10}とB^{11}という二種類のボロン同位元素の分布状態が交換材と溶液の間で僅かに違ってくる。暫くすると交換材の中のB^{10}/B^{11}質量比は溶液中のB^{10}/B^{11}質量比よりも明らかに大きくなる。

換言すると交換材は$B^{10}O_2$イオンに対する選好性をもっているので同位体置換反応がおこるわけである。すなわち，

(1)　$(HB^{10}O_2)s + (RB^{11}O_2)r \rightleftarrows (RB^{10}O_2)r + (HB^{11}O_2)s$

の反応が右の方へ進む。その分離係数は１より僅かに大きい程度である。この小さい「同位体効果」（"isotopic effect"）から最大の結果を得て濃縮度を高めるためにこの方法では何本ものコラムを連結した連続置換法がとられる。その基本的な考え方は次の通りである。

何本かのコラムを連続した形で結び付け，ホウ酸バンドをつくる。すなわち一定の長さの交換機にホウ酸を詰めるわけである。この操作をするときには交換機はアルカリ性になっていな

ければならない。すなわち，事前にソーダにより塩化物や硝酸塩のような陽イオンを除去しておくことが必要である。このような状態の下で交換機中のホウ酸の量は下記の反応により決ってくる。

(2) $(HBO_2)s+(ROH)r \rightarrow (RBO_2)r+H_2O$

このホウ酸バンドが形成されると，置換プロセスがコラムの中で無限に続いていく。このプロセスを進めて行くのは最初に入れられたホウ酸ではなく，交換機の中にあるホウ酸を大量に置換して再び溶液の中へそれを戻すことのできる試薬を含んだ溶液である。この条件を充すものは塩酸のような強酸類である。

(3) $(HC\ell)s+[RBO_2(m-1)HBO_2]r \rightarrow (RC\ell)r+m(HBO_2)s$

このように置換されたホウ酸は溶液に導かれてバンドの前の方に進み，まだホウ酸の混っていない新しい交換材と接触することになる。そして，(2)の反応式によりこの交換材によりまた量的な再調整が行なわれる。

(2)と(3)の反応は量的なものでバンドの末端で置換されるホウ酸の量は先端で再調整される。従ってバンドの長さは一定であり，その回路の長さや流通時間に影響されるようなことはない。このプロセスを順調に進めるために要求される唯一の条件は，置換機構およびコラムの再生機構を上手に編成することである。バンドの先端のコラムにホウ酸がなくなり塩酸が行きわたると，直ちにコラムは再生されなければならない。すなわち，強い塩基溶液（ソーダ）でアルカリ性に変更し，水で洗い流して後，新しい回路を開始するためにそれをバンドの先端に持って行くことが必要である。このようにコラムによってバンドが常に断え間なく続いていることにより，同位体の分離プロセスが進んでいく。

このバンド置換プロセスは最先端にフロー・バックのついた一般的な交流交換方式に似ています。この場合，フロー・バックは(2)と(3)の反応による相の変化により行なわれている。しかし，処理される天然ボロンを注入し濃縮されたB^{10}とB^{11}を断え間なく抽出するのにも限度があるという点で違っている。

このような操作は必然的に不連続とならざるを得ないもので毎回バンドの相当部分を或るコラムから次のコラムへ移動させる必要がある。従って，バンドにホウ酸を注入したり抽出したりする操作を自動化するためにはコラムの交換及び再生の自動化と同時に行なわれなければならない。

アイソボア工場のフロー・シートを図で示すと図1の通りである。高さ5m，直径1.4mのコラム5本に陰イオン交換樹脂が入っている。この中4本のコラムが連結されていて，その中

で同位体の分離プロセスが進む。5本目のコラムでは溶液が強い塩基で再生されアルカリ性に戻されている。各コラムはそれぞれ全ての機能を順番に果す。塩酸，ソーダ，洗滌水を順に受け入れ，ボロン濃縮，産物の抽出というプロセスである。このプロセスは，与えられた液体の量に応じて，完全に自動的に進む。試運転は非常に満足すべき状態であったので，生産が開始された。

Ⅱ　水素同位体の分離

Ⅱ－1　重水の生産

マザンガーベ工場で採用されているアンモニア水素交換法というフランス方式についてはすでに幾つか発表されている。[3][4]それ以来インド政府の依頼を受けてこの方式による工場二つがバロダとツチコリンで建設中である。

ここではマザンガーベ工場での経験を簡単に述べたのち，インドの工場に採用されている改良について説明し，アミン法に関する研究状況についても説明したい。

Ⅱ－2　マザンガーベ工場の経験

A　建　　設

工場の構造について簡単に説明する。工場の最初の部分では合成ガスから残留酸素及び水分を除くために吸着剤やパラジウム触媒の酸化作用を利用している。最後に残った酸素混合物（従来の研究室の技術では測定することすら不可能な程度のものまで）はT_4塔で除去される。置換は，前述の非常に効果のよいエゼクターを使って行なわれるが，これはフランス原子力庁（ＣＥＡ），ＳＣＣ（北部フランスの石炭会社）およびＡＬ（Air Liquide）とＣＣＭ(Compagnie de Constructions Mecaniques Procédés Sulzer）等の民間会社により編成された研究グループが開発したものである。この民間会社が工場を建設し，触媒はＣＣＭが製造した。

図２は置換プレートを示したものであるが，液体を押し流すのに必要なポンプ二基がみえる。ガスは液体とは反対の方向に流れている。置換は合成圧力の中で起るので，クラッキングは同じ条件のもとでも非効率的である。従って，それは６０気圧の下で行なわれる。そのためにクラッキングで発生するガスに再度圧力を加えて置換部門へ送り込む必要が生じる。このガスに重水が多く含まれており，そのために特殊な機械が製作され利用されている。（この機械には油を使うことはできないし，完全な気密構造でなければならない）。エゼクター・プレイトに使われているポンプ類も特別のデザインのものでなければならない。この機械が非常に秀れたも

のであるということは，工場の運転開始以来高圧低温という非常に厳しい条件のもとで唯一回の事故も起さないで連続運転を続けているという事実からかわる。

マザンガーベ（Mazingarbe）工場にはもう一つの特色がある。すなわちアンモニア蒸留コラムがあるということ。このアンモニア蒸留コラムは図3に示す通りである。濃縮ND_3は非常に小さい独立したクラッキング・ユニットの中で分解され，重水素は燃焼してD_2Oとなる。

マザンガーベで生産されるD_2Oの濃縮度は99.98%以上である。大部分の水素は，コークスを燃焼させたガスで作るためトリチウム含有量が非常に少ない（10^{-11} ci/mℓ 以下）ことも一つの特色である。僅かのトリチウムは，合成ガス生産の段階で導入される水の中に含まれているものである。インドの工場は，それぞれマザンガーベ工場（66T/年）の三倍の規模をもっているが，主として次の点で改良されている。

a） クラッキングの圧力が120気圧となっている。そのため濃縮部門もクラッキングと同じ圧力で運転し，再加圧ユニットは天然濃縮ガスで運転することができ，高価な乾燥ピストンが不要となっている。

b） 濃縮を最終段階まで置換法で行った方が経済的であることが判明した。

c） 設計の改良により単純化され，組立が容易になり，安価で信頼できるものとなった。

B 運　転

マザンガーベの運転により信頼性は実証されている。アンモニア生産と矛盾することもないし，肥料生産量の多少の変動によっても影響を受けない。しかし，アンモニア工場の大きな事故により，重水の生産が殆んど止ってしまったことは何回かあった。私がフランスを発つ直前にも合成チューブが爆発するという事故があった。多分皆様は既にこの事故について御聴き及びのことと思う。しかし，重水工場は何の影響も受けていないので，生産は近い内に再開されるものと思う。

Ⅱ－3　今後の研究課題

A．アンモニア・H_2 プロセス

複温プロセスについては，CEAのグルノーブルセンター内に設置されているパイロット施設で活発な研究が続けられている。これは新しい触媒に関する研究と低温下での触媒効率に関するデータを集めるのに利用されている。一方，完全な工場に関する設計についても研究が進められている。このフロー・シートに関しては前述の利点のほかにクラッキンが不用であるためにエネルギー消費量が非常に少ないという点も指摘する必要がある。その結果，クラッキン

グ炉より置換塔へ送る際の再加圧やそのための燃料が不要になる。

しかし，置換塔は種類も多く量も多いので，そのサイズを小さくしてコストの削減を計る必要がある。どのフロー・シートが最も有利であるかはその場所の条件により異ってくる。マザンガーベで利用されているエゼクター・プレイトは一定容量の塔で低温の下で置換を最も効率的に行うものである。高温のもとではより速い化学置換反応を達成させるために他の触媒を使うことも可能である。インド工場の場合はアンモニア工場の高圧が単温プロセスを特に有利なものとするという条件があった。

B．アミン・プロセス

複温アミン・プロセスを採用すると，工場で静的触媒を利用できるようになり，置換率も高まるので工場の規模は小さくてすむ。これら二つの点は共にコスト削減に寄与する。アミンの蒸気圧は，同じ温度でのアンモニアの蒸気圧の数パーセントにしか過ぎず，しかもその運動エネルギーは高く，合成ガスの水分含有率は減少する。しかし，この新方法には，われわれの研究室での実験結果及びグルノーブルでのパイロット施設での試験結果によると幾つかの問題のあることがわかっている。現在工場の設計・評価が行なわれている。

Ⅱ－4　経　済　性

その間，フランス，欧州各地及び欧州以外の各国における第二世代の工場に関して慎重な評価が行なわれた。その結果，比較的小規模なプラントでも欧州各地での重水工場建設費は，どのフロー・シートによっても年間生産量１トン当り１００万フラン以下であるということが判明した。アンモニア中の重水素の含有率が当初１２５ppm 以上であればアンモニアの生産量が1,000トン／日 の工場で重水は副産物として年間約６５トン生産される。この程度の肥料工場は，既にフランス国内に五つある。もし，これらの肥料工場に重水生産施設を付設すれば毎年３００～３５０トンの重水を生産することが可能となる。生産費は，その土地の条件及び機器償却の方法により大きく違ってくる。比較のために$NH_3 - H_2$ プロセスと$H_2S - H_2O$ プロセスに利用されるエネルギー・コストを同一と仮定してフランス国内での比較をしてみよう。

$H_2S - H_2O$ 工場を運転するためには電気および蒸気用に１キログラム当り６０～７０フラン必要である。$NH_3 - H_2$ 工場の場合は，単温工場で約５０フラン，複温工場で約３０フラン必要である。しかし，$NH_3 - H_2$ 工場の場合は触媒等の操業経費が少し高くなる。反対にアンモニア法にはない腐食問題が米国の最初の$H_2S - H_2O$ 工場で発生し解決に苦心している。相談を受けた時に建設請負業者は正確な建設費の見積りをする義務があるが，各場合に

よって条件が異っているので今は詳細なデータを明らかにすることは差し控えたいと思う。しかし，大体の見当として２００トン／年 のH_2S 工場と６０トン／年 のNH_3-H_2 工場とが大体コストの点で同じ水準にあると言えます。

このように規模の異なる工場の建設費が同じ程度になっていることから，大規模な工場を建設する場合にはNH_3-H_2 法を採用した方が有利であると言える。この上記の比較はカナダのバンクロフトの試算と非常に近いものとなっている。このアミン・水素置換プロセスの評価の結果，このプロセスを採用すれば，建設費が更に下がるという期待がでてきた。

Ⅱ－５　原子炉中のトリチウムの除去

同位体分離は，主として必要な物質の生産に利用されるが，同時に不要の物質を除去するのにも利用できる。原子炉中の重水の処理がその例である。D_2O は，H_2O の導入によりHDOができたり，核反応を通じてできるTによりDTOができたりすることにより汚染される。

原子炉中の重水に関しては１９４８年頃の初期にはこの物質が非常に少なかったことからトリチウムの除去に関して非常に用心深く対処した。その結果，サクレーに蒸留塔を建設し，毎年１０トンの重水を７０％から９９.７５％まで濃縮できるようにした。しかし，普通の重水は大体５％程度しか濃縮度が下っていないのが大部分である。幸い７０％という程ひどく濃縮度の落ちた物質を取り扱ったことはないが，この施設は２０年間に汚染された数トンの重水を処理したり，何トンもの重水の濃縮度を９９.４％から９９.７５％まで引き上げるのに有用である。

しかし，フランスが西独の科学者と共同でグルノーブルに高中性子束重水炉を建設しようとしたときに，トリチウム分離の問題に直面した。

トリチウムは半減期が１２.２６年で最大１８KeV（平均～5.5 KeV）のエネルギーのβ線を出す。比放射能は約10,000ci／g，2,600ci／NTPℓ である。従って，作業員のいる部屋の空気の中に含まれるトリチウムを含んだ水蒸気の最大許容量は低く，5.10^{-6} ci／mℓ ということになる。このために出来る限りトリチウムの含有率を少なくしようとするわけである。しかし，H_2O の除去に関しては蒸留法を利用することができない。その理由は，DTO とD_2O の分離係数がHDO とD_2O の場合よりはるかに小さいからである。５７°CでHDO_2 とD_2O のαが1.07であるのに対してDTOは揮発性が低いので1.0091である。重水蒸留法によりトリチウムを分離することはHを分離するより約６０倍も難しいことである。

そのようなわけでわれわれは新しいプロセスを開発した。これは触媒によってTを水から水素に移すことに特色がある。従って，エネルギー必要量は供給熱量の一部ですむ。水の化学処

理も必要ない。これは，プラチナのような触媒の助けを得て水蒸気とガスとの間で始まれば反応が非常に速いからである。圧力も２～３気圧にしておいても温度は２００℃程度で大丈夫である。トリチウムは蒸留して水素と置換することにより除去できる。

除去されるTの量は炉を運転するエネルギーのレベルに依存し，処理される量は濃縮度とお互いに関連している。従って，その工場の規模は残ったトリチウムの濃度に反比例することになる。グルノーブルの新しい高中性子束炉は，水素置換法と水素蒸留法の両方を備えておりトリチウムの除去と軽水素の除去が同時に行なわれている。除去されたトリチウムは僅かの費用で蒸留を最後までやることにより，回収することが可能で，一般商品として販売されている。グルノーブルではD_2O 中のTのレベルを１グラム当り数ミリキューリーにすることになっており現在までのところ満足すべき状態で運転されている。

結　　語

D_2O 中よりトリチウムを除去することのほかに，このプロセスは原子炉中の通常の水の汚染がひどくなり除去が必要となったときの処理にも利用できるし，プラントの外でのトリチウウ汚染の度合を引き下げる手段としても有望である。

Ⅲ　ウラン同位体分離

原子力発電におけるウラン濃縮の重要性は今や充分に認識されているところである。需要は，幾何級数的に増大して行くので現在稼動中の工場の生産力では１９７９年までに不足してくるので，１９８０年以降毎年数百万 SWU の割合で新工場を建設する必要がある。欧州だけで，１９８５年には2,０００万 SWU の生産容量を必要とする。このような状況のもとでフランスは国の規模に較べて非常な努力をして７０億円／年の資金を投じて研究開発を進めている。

フランスは次のような目標をたてている。

ａ）　１９７３年の終わりまでに６００～1,０００万SWU/年 のガス拡散濃縮工場建設計画を確立し，１９７９年までに同工場を運転に持ち込む。

ｂ）　その他の濃縮法についても研究を続けて１９８０年代に経済的に最も秀れた濃縮法を見出す。

遠心分離法以外にも多くの方法が考えられる。しかし，その技術的開発は進んでいない。樹脂交換法，ベッカーのノズル法，電磁法，レーザー法，南アフリカ法等には全て技術的に完成していない。ここでは最も重要なガス拡散法と遠心分離法に関して検討してみよう。

Ⅲ－１　遠心分離法

CEAは今から１０年程前に遠心分離法の研究に着手した。その予算は最初３億円／年であたのが次第に増額され今では4.８億円／年となっている。最初の遠心分離機は，AU４SGという軽合金で作られ，高さ1.２５m，直径0.２２５mというものであった。二種類の遠心分離機の研究が進められたが，両方とも交流分離法である。一つは，モーターが水圧式オイル・ベアリング上に固定されており，回転筒には摩擦による振動を吸収する装置がついている。もう一つは，モーターが流動ガスベアリング上に固定されており，回転筒には磁気ベアリングが使われている。何れの場合もUF_6の抽出は遠心分離機の回転筒から行なわれている。バランス，材質が異なるということ，内部圧力等に関する問題は解決済である。１９６７年にUF_6の分離実験が行なわれたが，結果は良好であった。分離能力は1.８SWU／年で，収率は８０%以上であった。

同時に周速４００m／sのプロトタイプに関する研究が行なわれた。モーター及びベアリングに関する概念が完全に変更され，機械の電力消費量は2,０００Wから約２００Wに下がった。１９６９年に遠心分離法による工場建設の案をつくったが，その概念，機械と自動制御系との間の連絡等に関して種々問題がある。二次的部門に関しても検討したが工場全体の建設費は，遠心分離機そのものの製造費の2.５～３倍程度である。

Ⅲ－２　ガス拡散法

フランスにおけるガス拡散法の研究は１９５３年に小さな規模で始まった。その頃はまだUF_6の生産，真空技術，質量分析機の開発，コンプレッサー，有孔隔膜，カスケードの概念等全てに関する研究が必要であった。１９５８年５月に初めて研究用カスケードによりUF_6同位体分離に成功した。１９５８年末にピエールラット工場の建設を決めた。USSI社が建設を請負い１９６０年に着工した。ピエールラット工場の最初の部分は１９６２年に運転を開始し，低濃縮部門は１９６４年に運転に入った。全工場が完成したのは１９６７年であった。それ以来，ピエールラット工場の改良と６００～1,０００SWU／年の規模の新工場の準備に研究開発の努力は向けられている。現在どのような問題が残っているであろうか？

まず第一に分離効率を高め，コストを削減するために隔膜の改良が必要である。適切な条件の下では，通孔の直径が小さい方が有効圧力が高まり，建設費も削減され，エネルギー消費量も少なくてすむ。しかし分離工程では種々に様々の物理化学的パラメーターが関係している。それでも過去２０年間フランス及び米国で常にこの分野での改良が続けられて来たということは注目すべきことである。エネルギー消費量がエネルギーの回収をしないというフロー・シートで2,５００KWH／SWU というのは決して限界であるとは言えない。

工程ダイアグラムの適正化を計り，運転の自動化を進め，それをピエールラット工場で試験することが必要であると考えている。

適正な分離セルの規模を決め，コンプレックサー，拡散機，熱交換機，バルブ等の必要な機器の設計，製造を進めることも必要である。その後，これらのセルに関して徹底的な試験を実施する必要がある。４０KGS／S の＂PP２００＂およびそのコンプレッサーと拡散機は1年以上順調に動いている。１６０KGS／Sのコンプレッサーの試験も終わり，少し改良した後は機械的，動力学的観点からみて満足すべき状態で動いている。＂PP３００＂の完全な分離段が来年早々には運転を開始の予定である。

図４の曲線をみると，これは二つの方法に関してフランスの研究グループが６００万SWU／年の規模のプラントのコストを年の函数として算出したものである。数値そのものには余り重点を置かないで，傾向を読みとってほしい。

１９６４～６８年の間に遠心分離法のコスト試算がプロトタイプの設計変更およびコンポーネントの自動化に関する経済的検討の結果下っている。最近では，遠心分離機の特性及び工場概念設計の簡略化によりコストが下って来ている。ガス拡散法の場合にも，一般的な技術進歩および徐々にではあるが継続的な隔膜の性能の改良によりコストが下って来ているという点が同じように注意されるべきである。

これら二つの曲線が接するときが来るであろうか。くるとすれば何時であろうか？これについては最近設置された日仏合同のガス拡散工場研究グループが何年頃になるか答えてくれるであろう。

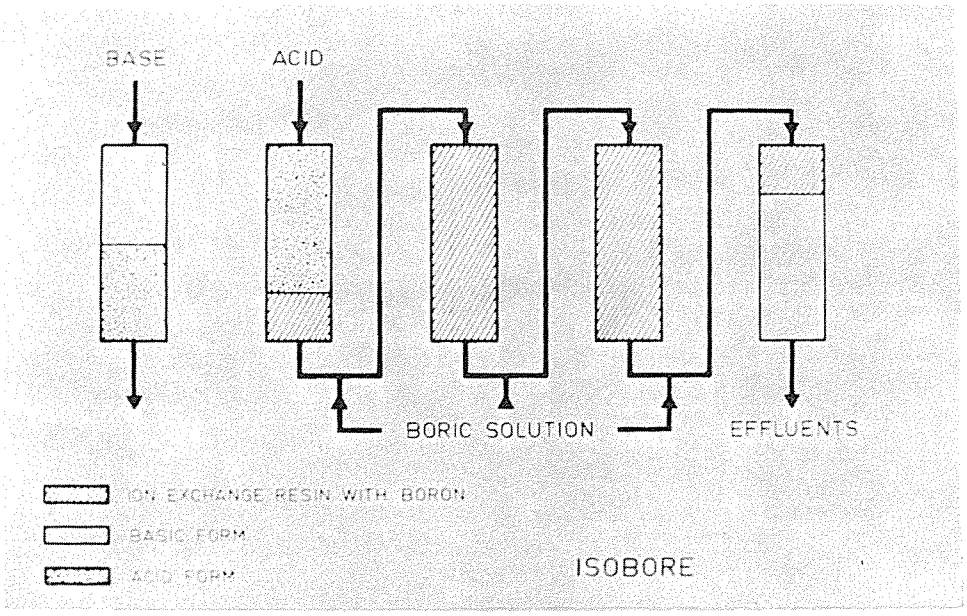


図　1

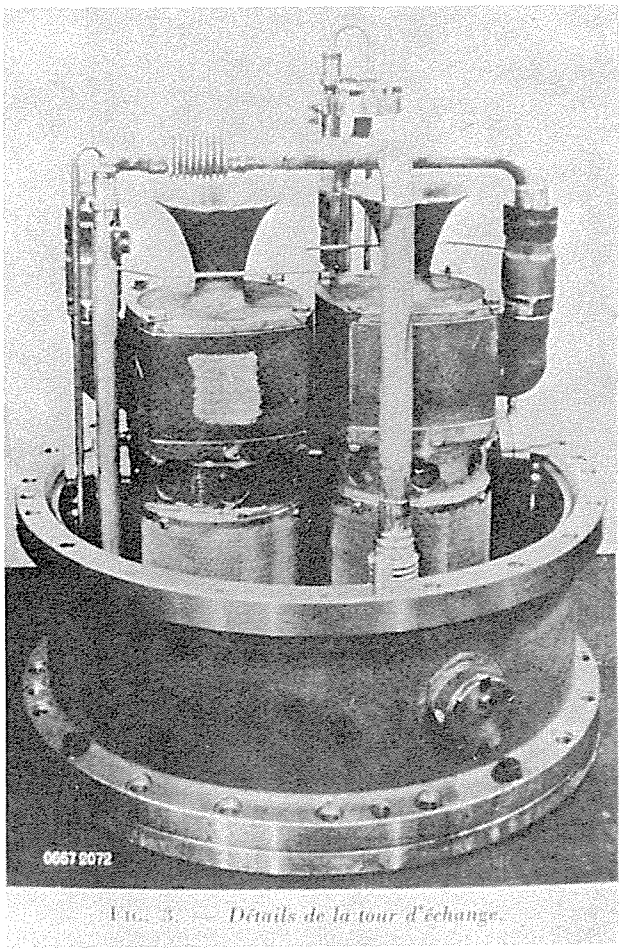


FIG. 3. — *Détails de la tour d'échange.*

図　2

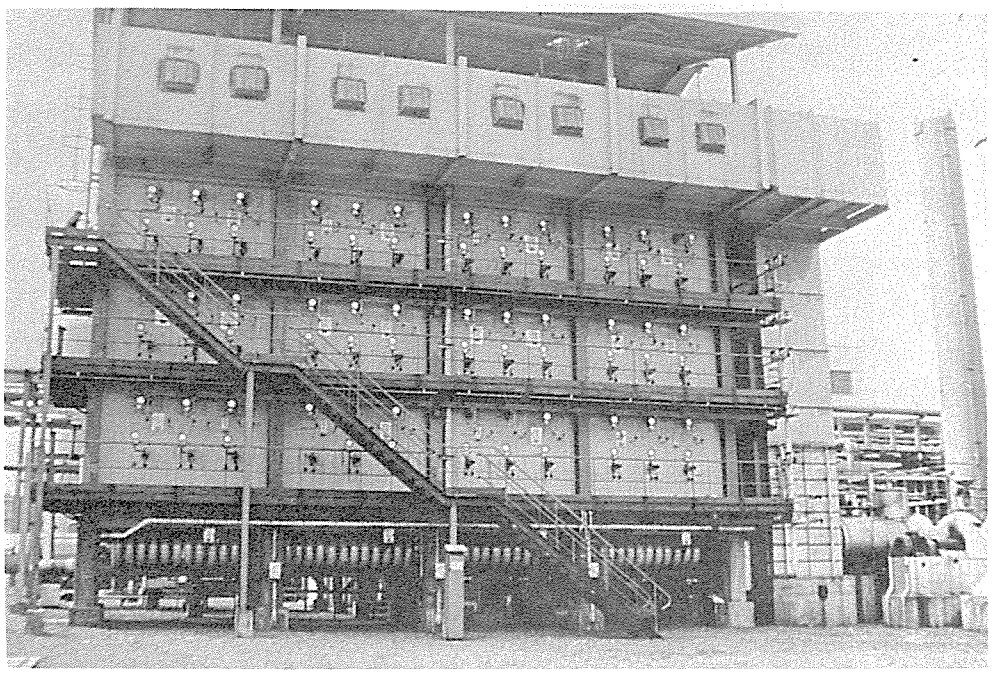


図　3

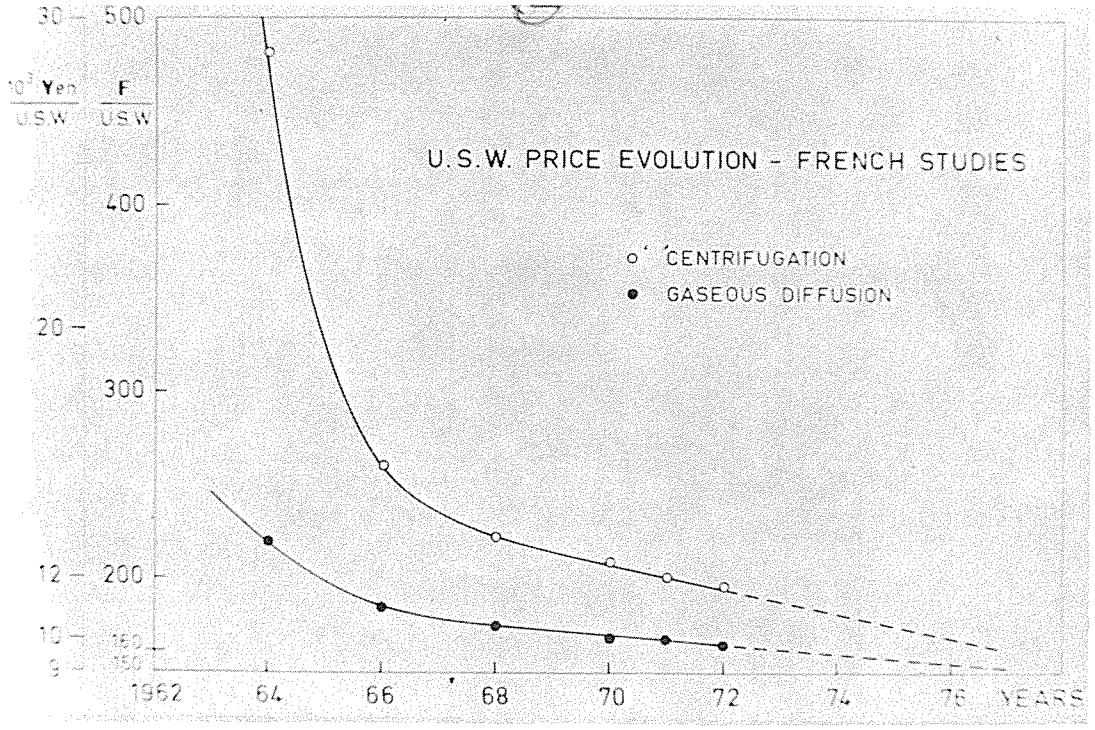
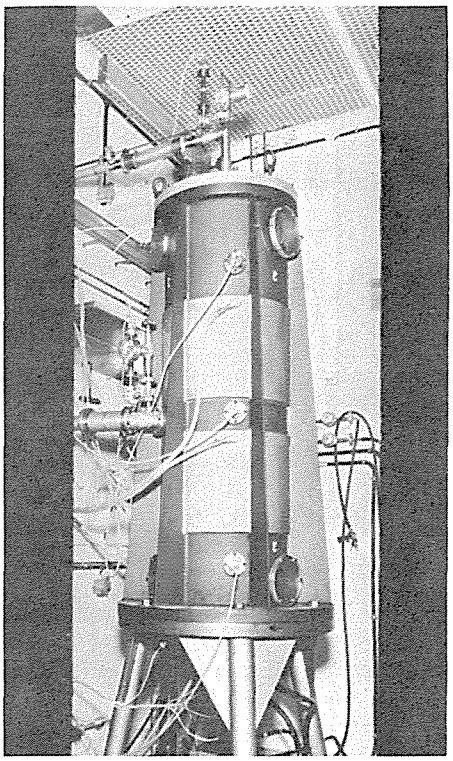
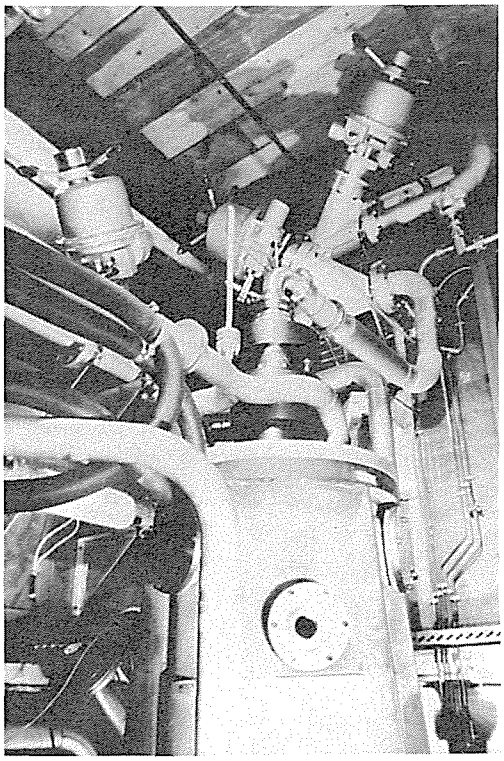

30
500
10^3 Yen / U.S.W
F / U.S.W
U.S.W. PRICE EVOLUTION - FRENCH STUDIES
400
CENTRIFUGATION
GASEOUS DIFFUSION
20
300
12
200
10
150
9
1962
64
66
68
70
72
74
76
YEARS

図　4

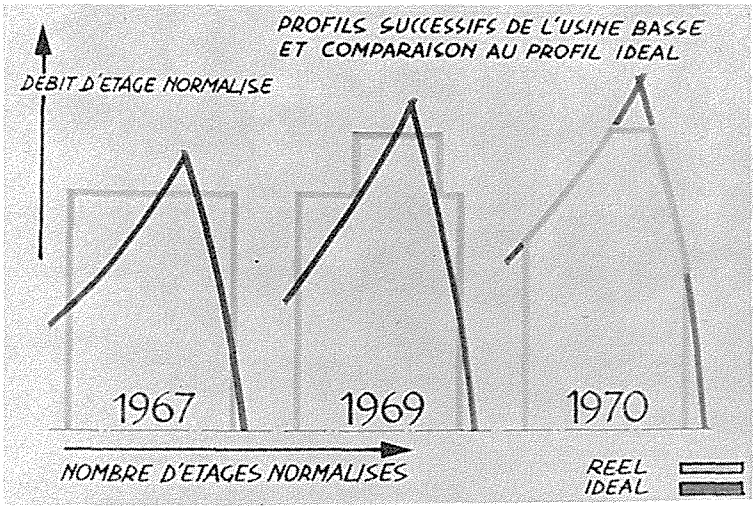
〔濃縮関係参考写真〕



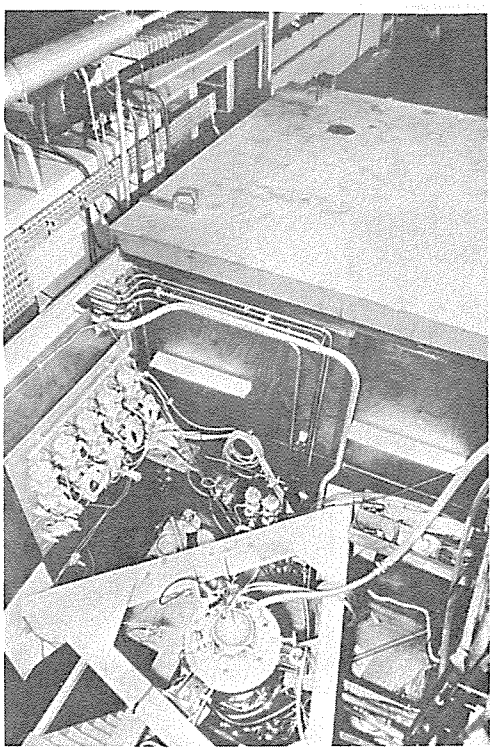
遠心分離機



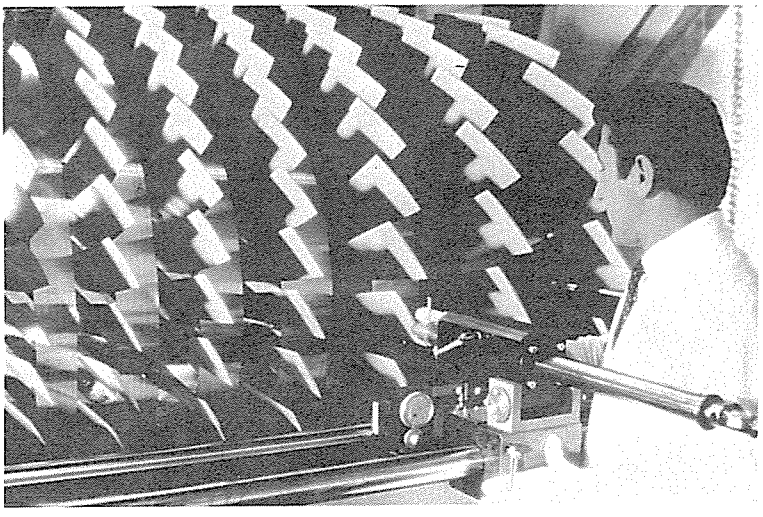
遠心分離機上部



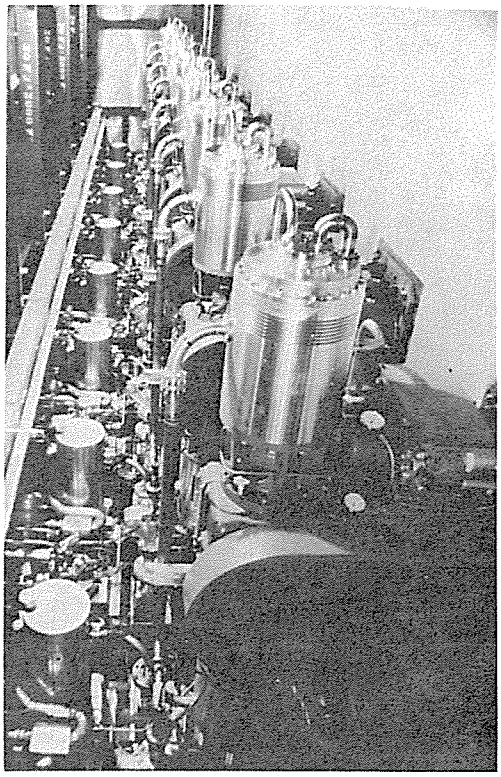
ピエールラット工場の改良



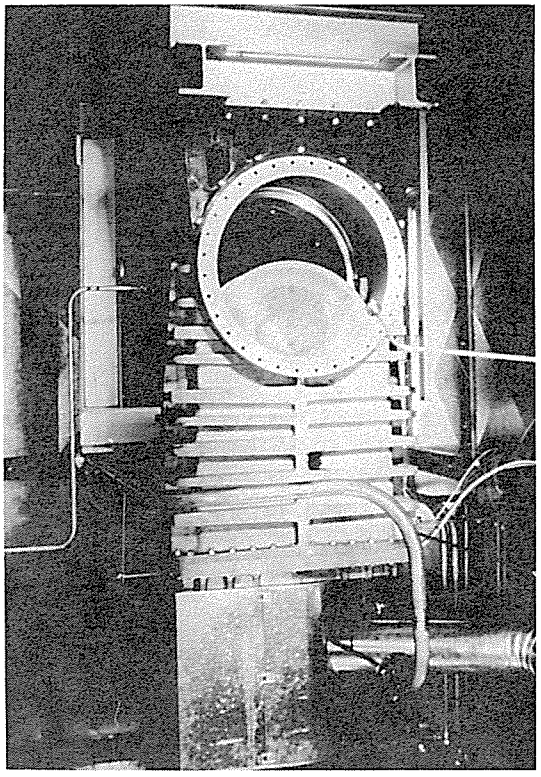
遠心分離機頂部



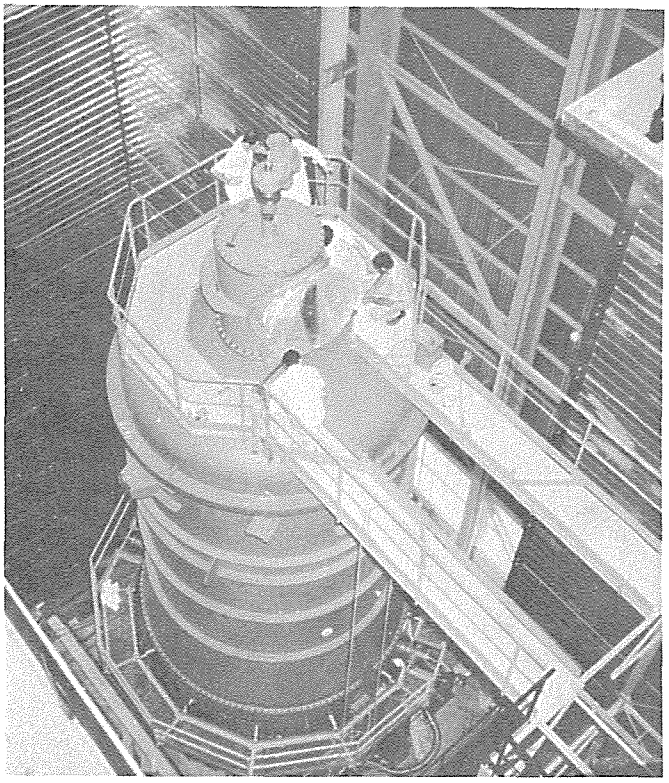
縦軸コンプレッサー



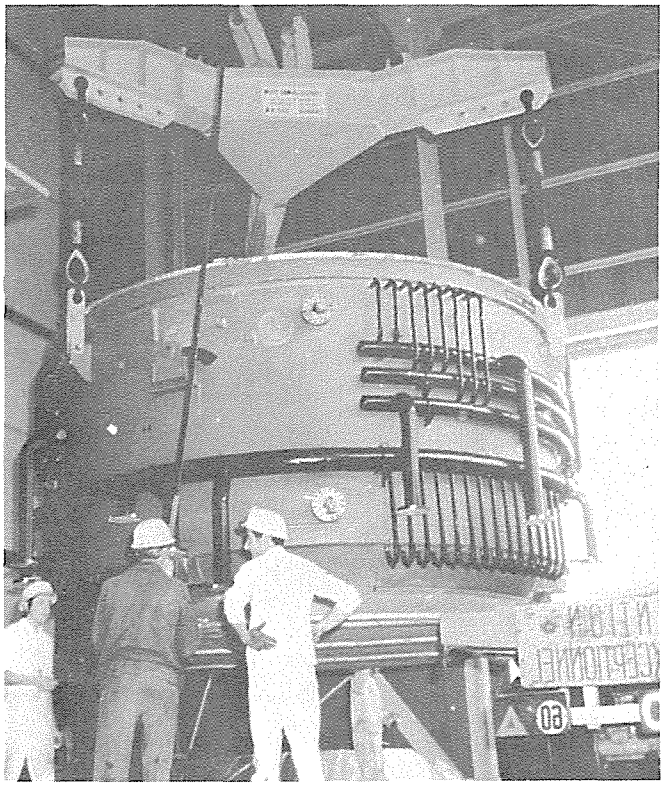
バリヤー用テスト・ベンチ



UF_6 用大型バルブ



ＰＰ３００プロトタイプ



ＰＰ３００プロトタイプの交換部分

ウラン濃縮問題とアメリカ原子力産業会議の活動

アメリカ原子力産業会議名誉理事
ベクテル社　副社長
W. K. Davis

私がこの会議に出席できますと同時に，日本原子力産業会議第5回年次大会に米国原子力産業会議を代表しますことは私の非常な喜びであります。日本原産とは従来とも緊密かつ友情あふるる関係を保ってきましたし，また，協力と信頼の精神にもとずいて作業を進めてきました。私と私の家内にとってもまた，友好的で，親切で，興味ある国，日本に再び来る機会を与えられたことは大いなる幸運であります。

私はまた，ＡＩＦ会長Howard Winterson氏および副会長兼事務局長Charles Robbins氏よりのごあいさつをおつたえします。彼等は出席できないのを，非常に残念がっておりました。

私はこの機会を利用しまして，日本原子力産業会議の皆様を１９７２年の米国原子力産業会議国際大会に御招待したい。この会は米国原子力学会と共催で，１９７２年１１月１２日(日)から１１月１７日（木）までワシントンにて開催されます。この会議は4年前のものと同様，成功するものと思っておりますし，特に国際的に重要かつ興味のある問題をとりあげるつもりです。私達は１９６８年の時同様，日本から多数の代表の参加を希んでおります。

米国原子力産業会議は非常に広範なしかも積極的な計画をもち，メンバーである産業，政府，銀行，大学，サービス業，労働界等にとって重要な問題を検討している。その基本的目的は，事実と意見とをとりまとめる機会を与え，代表し，討議し，メンバーおよび大衆にその結果を供給することにある。これは，委員会，会議，特別会議，ＰＲプログラム等を通じておこなっている。

現在の興味の中心は，原子力発電，核燃料にあるが，その他の分野もＡＩＦプログラムの内で重きがおかれている。例えば，ラジオアイソトープ，放射性薬材，プラウシェアー，保障措置，原子力教育，宇宙原子力計画，原子力船，計測器，探鉱製錬等である。これらのどの分野も主要議題となりうるものであるが，この論文においては主力を，米国における原子力発電計画のおくれの問題とウラン濃縮能力追加の問題におく。

原子力発電計画

もちろん，長期的には楽観的であることが可能であり，適切であるが，建設中，運転中の原子力発電所の現状，また通常火力発電所においてもしかりであるが，これは米国においてわびしいものがある。これは，環境および安全問題の結果である。環境法およびこれに関する裁判所決定は，どのような反対者にも，全くの責任をおわせることなしに，"Automatic injunctive"（自動的差止め）の権利を与えることになった。これは，法に定めた認可方式の基本的欠陥でもあり，現実の問題の認識不足と関心の不足にもある。

他のスピーカーがすでにこの問題のある面を報告したが，私はＡＩＦが行なっている積極的でしかも建設的であると信ずる二つの面についてのべたい。もちろん，ＡＩＦが全ての回答を与えうるとは思っていないし，問題は複雑である。特に，この問題が十分早期に認められ，正されていなかっただけに，現在解決するに困難性を与えている。

ＡＩＦの許認可に対する活動

１９７０年秋，フォーラムは臨時に法律家グループを形成し，ＡＥＣの原子炉許認可手続を検討，改善について進言することとした。このグループは議会において，原子炉立地および環境問題を検討する二つの委員会で証言をおこない，また報告書を作成した。その１９７０年１１月の報告では手続改良点について，運転許可の取扱いについてまとめてある。また，１９７１年６月の報告では，もっとはっきりした勧告となっており，ＡＥＣの方式の変更，許認可に対する新規則案などがまとめてある。

ＡＥＣはすでにこの二報告書の勧告の一部を採用しており，各許認可問題よりも，もっと一般的な問題解決のための決定法が採用されている。また，原子炉運転の一時許可を与えるについて，未解決問題に抵触しないような権限を定めることも採用されている。加えて，昨年11月原子力委員会はもっとこの勧告を採用することを発表しており，一般からのコメントを求めている。

法律家グループは許認可問題の研究を続けており，また，第三の報告書の作成が進んでいる。これには，最近のＡＥＣの環境問題に対する決定および裁判所決定から発生した重要問題を取扱っている。

フォーラムはまた，毎年ワークショップを開催し，許認可問題およびはっきりした問題についてメンバーの教育も実施している。このワークショップは許認可問題について未知のメンバーに非常に有効であった。また，経験者にとっても日進月歩のこの分野で新知識を吸収するに有効であった。

ＡＩＦの対外活動

ＡＩＦの対外活動，情報活動はその第三年度を迎え，さらに新しい特殊な計画を発足させた。同時に，従来計画―即ち原子力産業界に対するINFO newsletter およびINFO の background を通じてのてってい的な情報サービス―も全国的なニュースメデア，ワークショップ，特定問題の会議等を通じて続けている。特に，ＰＡＩＰプログラムは，はじめて国際会議の形式をとり，スイス原子力協会の招待により，本年４月スイスにおいて，米国の原子力の問題点について３日間のワークショップを行なう。

最新のＰＡＩＰでは地区別の新聞に対するセミナーがあり，これは地区の機関により要請され，フォーラムが組織したものである。地区機関としては電力，メーカーがこれに当った。３回の１日セミナーを原子力スペシャリストにより，カリフォルニア州，ニューヨーク州，イリノイ州で開催した。少なくともあと２回が予定されている。

他のＰＡＩＰ活動には，スライドショーがある。これには原子力の主要問題，環境問題についての適切な解説が含まれている。このスライドショーは，１０～２０枚のスライドから構成され約５分間のものである。これらは例えば，熱影響問題などである。このスライドは，フォーラムのメンバーに貸出し，情報活動に使用されている。今后のＰＡＩＰ出版物としては，放射線ノートブック，廃棄物取扱と貯蔵ノートブック，プラウシェアー計画などがある。

関連活動分野

環境法とその技術に関する委員会の活動は活発であり，各種の問題，例えば技術と法律の接点の問題などを検討中である。原子炉安全委員会は１０年以上前に設置され，許認可問題と安全性問題について貢献したばかりでなく，ＡＥＣの原子炉安全計画にも貢献した。他の委員会活動，特別検討グループ活動も許認可の手続変更について勧告を行なってきた。原子炉安全委員会と特別グループはまた，許認可に役立つ基準の形式化にも協力してきた。

ウラン濃縮

さて，ＡＩＦのウラン濃縮政策委員会の活動に目を向けよう。これは，現時点の日本にとってもっとも興味あるＡＩＦの活動と思える。

ＡＩＦはウラン濃縮に関する数種の委員会をもち，米国ＡＥＣと長年にわたって多くの討議を行なってきた。現在の委員会は約１年前に設置され，William G.Kuhns 氏（General Public Utilities Corporation 社長）が委員長である。Raymond L.Dickeman 氏（Jersey Nuclear 社）James K.Pickard 氏（Pickard Lowe and Associates ）Warren Witzig 教授（ペンシルバニア大）と私が委員会の各タスクフォースの議長である。

この委員会の作業はＡＩＦのEd Wiggins 氏のスタッフにより援助されており，彼等が秘書，編集者であり，また推進者でもある。

燃料サイクルにおけるウラン濃縮は，燃料サイクルコスト中の３０～４０％をしめており，しかも非常に秘密にされている唯一のステップである。また，政府により実施されているステップでもある。ガス拡散法によると，経済性達成のためには，大型の単一工場が必要であり，この工場建設には約8億ドルが必要であり，また，１００％稼動の２００～３００万KWの発電所が必要である。

現在の濃縮容量はある時点で全て使われてしまうことは明白である。そして，ＡＩＦの検討を通じて，必要な追加濃縮能力を適切な時期にまた経済的な方法で準備する必要のあることを信じている。また，ＡＩＦは，米国および米国の産業界が何らかの方法で，米国が開発し，推進し，売却した米国型原子炉に対し，燃料の供給を続けることを確約する必要があると感じている。

新濃縮工場の必要時期の問題は数多くの点に支配されており，しかもこれらの点は何んな確度でもって推測することも出来ない。また，需要そのものは，十分な供給能力があるかないかによっても変る。必要な措置は，新濃縮工場の運転開始時期を何時にするかによっても変り，これには，濃縮工場の形式にからむ複雑な問題にも関係する。

ＡＩＦの委員会は産業界の立場から，これらの問題を検討することとし，米国ＡＥＣも同様の問題を詳細に検討している。結果と結論は両者間で同じではないが，両者間の共通する点は広がりつつある。また，情勢の判断は一般的にみて同一であり，多少の差も，基本的なものではなく小さいものである。

許された時間では全分野や作業の詳細を語ることは困難であり，ある部分は簡単にふれうるにすぎない。もし，明確でなかったり，又はもっと詳細内容が必要な時は討議の段階で取上げられよう。

ＡＩＦ委員会の現状報告

ＡＩＦの検討は終っておらず，最終報告も作られてはいない。最近の出来事である，2週間前のＡＥＣの発表した計画は事情を多少変え，報告書の完成もおくらせる結果となった。結論は集約もされておらず，また，委員会およびＡＩＦによって承認されてもいない。この報告は現状での正確な要約であると信ずるが，しかし，この結論の責任は私にあり，ＡＩＦやＡＩＦ濃縮委にはない。最終報告はここ２ケ月以内にまとめられるものと期待している。

原子力発電の伸び

まず最初の問題は米国および海外における原子力ののびである。これについては次の仮定をおいた。

1）許認可および環境問題は米国において早急に解決され，海外におけるおくれの原因とならない。

2）原子力発電の経済性は良い状態が続く。

3）濃縮ウランを供給するに十分な施設が必要時期に建設される。

これらの仮定の上に立って，多くの独立の予測がおこなわれたが，Slide 1に示すＡＥＣの予測は現在えられる最善のものであると結論される。また委員会では可能性のある幅を１９７１年後半での推測としてSlide に加えてある。

米国外では事情は少しくことなる。慎重な解析と討論の末，委員会はSlide 2に示す予測をとった。ＩＡＥＡ，ＥＮＥＡ，ＵＳＡＥＣの予測も合わせて示してある。ＡＩＦの予測には，新しい日本のプログラムや他の国々における変化も取入れてあるが，その結果は１９７５年まではＵＳＡＥＣの予測に近く，１９８５年まではＩＡＥＡ／ＥＮＥＡの予測に近い。さきにのべた条件が正しいとすると，米国，海外の予測は，１９８５年までは保守的であるといえる。

Slide 3はＡＩＦとＵＳＡＥＣ予測の詳細比較である。このSlide は濃縮ウラン炉のみを示し，Slide 2では全原子力発電炉を示していた。ＵＳＡＥＣの予測は低い方の値であり，ＡＩＦのは高い方の値であり，海外の発電はこの中間に位置するであろうと思われる。

ウラン濃縮サービスの需要

原子力発電ののびの推測をした後の問題は，ウラン濃縮の需要予測である。これは，多くの因子に支配されており，原子炉型，その運転特性，稼働率，燃料サイクルのリード，ラグタイム等に影響される。

適当な因子が決定され，これに従い濃縮サービスの需要が割出された。この予測の数点を示すと以下の通りである。

1）運転特性は米国においても，海外においても同じである。ＡＧＲ，ＨＴＧＲはＬＷＲと同等として処理した。ＡＧＲ，ＨＴＧＲはＬＷＲの場合より，多少多くの濃縮サービスを必要とするがこれは無視。

2）稼働率は時間とともに低下し，ＵＳＡＥＣの予測のごとく８０％に保たれるものではない。

3）海外の場合，リードタイムは米国より３ケ月長くした。これは輸送，輸出入手続，大

きい蓄積，燃料サイクルのフレキシビリティの少なさによるものである。

4) Pu サイクルは１９７４年に米国では１００％開始され，海外では１９７６年に９０％開始されるとした。あとでのべるが，このパーセンテージが重要であり，サイクル開始時期は重要因子ではない。

ティル濃縮度

もう一つの観点は拡散工場からのティル濃縮度である。高いティルは，多くの天然ウランと少ない分離作業で一定量の濃縮ウラン生産を与える。これには最適値があり，分離量３２$／Kgで U_3O_8 ６～７$／lb の時，0.２５％近辺にある。この問題は複雑であり，特に実作業量と，請求作業量との関係が問題である。この論文では実運転ティルは0.２５％であるとした。しかし，ＵＳＡＥＣは，１９７２，１９７３会計年度では0.３％で，またそれ以後新工場が作られるまでは，0.２７５～0.３％の間で運転する予定である。0.３％で運転すると，0.２５％の運転の時に比し，分離作業量で約１０％少なくてすむ。しかし，ウラン需要は約１１％増加する。

需要予測は，0.２５％で計算したが，0.３％の場合も，Slide には示しておいた。0.275％の場合は両者の中間にくると考えてよい。

Puサイクル

Pu サイクルについて，また，その開始時期について多くの討論が行なわれた。ＡＩＦの検討では米国では１９７４年に開始され，１００％行なわれる，米国外では１９７６年に開始され９０％行なわれるとした。重要なことは，リサイクル開始の時期は新濃縮工場能力に大きな影響はもたないことである。新工場運開前に余剰Pu が全てリサイクルにされることが条件ではある。

ＵＳＡＥＣの最近の解析は同様の仮定を用いているが，彼等は１９７９年度にPu リサイクルが大規模にはじまるとした。しかし，彼等は，米国では余剰Pu の７５％が，海外では５０％がリサイクルされるとした。この予測は低いと思われるが，ＡＩＦの予測は高すぎるかもしれない。いずれにしても，米国外では高速炉用により多くのPu が備蓄されるであろうとの結論は同じであった。

高速増殖炉

リサイクルされず備蓄されるPu は高速炉用に使用されると考えられる。これは，実験炉，原型炉，実証炉，商業炉用であろう。

高速炉の大量の導入はやがて濃縮サービス需要の減少につながるが，短期的には，ここで考

えているようなタイムスケールでは，リサイクルされたであろうPu が備蓄にまわされる結果，濃縮サービスの増加として表われる。

数ケースについて検討したが，ここで検討したような期間では，ＦＢＲ計画は大きな影響をもたないことが明らかとなった。もちろん，長い将来においては影響が出てくる。

供給と需要

Slide ４は数ケースについての必要量と分離作業の供給可能量を示す。Case Ｄは米国のみであり，他は米国と海外の合計を示す。Case ＢとＣはテイルが0.３％のときと0.２５％の差を示す。Case ＡとＢはＡＩＦとＡＥＣの米国外における原子力ののびの推定の差を示す。

ＦのカーブはＡＥＣの供給とケーペンハーストからの４００Ｔ／ｙの供給を示す。これにはＡＥＣの容量増加，電力供給増加，ためおきを考えたＣＩＰ，ＣＵＰを含んでいる。この計画のための資金おくれ，計画のおくれはないものと考えている。

Ｅのカーブは，三国共同の遠心分離によるURENCOからの最大推定供給を加算したものである。もし，本当に供給不足が予測されればURENCOの生産能力はここに示したものよりも大となろう。しかし，もし開発生産上の問題がおこれば供給力は小となる。

URENCOは三国共同のものであり，しっかりした計画であるので，予測の中に取りあげた。他の計画はしっかりしたものと考えられなかった。また，ソ連からの供給は考えていないし，南アで発表された計画などはデータが全くないので数えていない。

我々はソ連が濃縮ウランを売るであろうと信じている。しかし，我々はその供給が，米国外の需要の５％を越えないであろうと思っている。多分１９８１年末まで3,０００～5,０００トンの分離作業量をこえないであろう。ここで考えた期間では，ソ連からの供給をうけようとする傾向はないと思われる。

米国の需要をみたすための米国の生産は１９８３年，多分１９８４年または工場が0.３％テイルで運転されるともう少しあとまで大丈夫である。米国のかかえる問題はのびつつある海外の需要に対処することにある。

Slide ５は海外の要求と海外工場の供給量を示す。この差は米国又は米国外に建設される新工場でうずめられなければならない。

海外生産量の推定値についてＡＥＣのものとＡＩＦのものを比較したところ，両者は非常に良い一致を示している。

本質的問題は累積需要が累積供給をこえる時期である。Slide ６は数ケースを示しているが，これにはＡＥＣのPre-production を考慮してある。

これらのカーブの勾配のために，この交点は数多の予測カーブによって非常にことなる。しかしながら，その時期は近づきつつあり，１９８１年と１９８４年の間にあるといえる。この時期には新しいウラン濃縮能力がどうしても必要である。

この交点はSlide　7によく表われている。これには数ケースについて需要と供給の差を示してある。

ティルの差が大きな影響をもつことがCase ＢとＢ′，Case ＤとＤ′の比較でよくわかる。0.２７５のケースはこの中間になる。

最適解決は１９８１年末又は，おそくとも１９８２年末までに新濃縮工場を運転することにある。１９８２年末以降となると，現在判断できることは，事情は高価でしかもリスクの多いものとなろう。

履行すべき計画

新容量の実際的履行にあたっては，さらに解析を必要とする。即ち，もしガス拡散なら工場は大型（6,０００～8,０００Ｔ／年以上）であり，しかも工場完成後１００％出力を達成するのに１年ないし１８ケ月かかる。

数多くの検討を行なったが，その１例はSlide　8に示してある。これは6,０００Ｔ／ｙを基本としている。

分離作業量のバランスカーブは，典型的なものであり，１９８１年末にZeroを通るように書いてある。このカーブの形は交点に関係なく典型的である。

１９８１年９月には6,０００Ｔ／ｙの二工場が運転していることが必要であり，１２ケ月後にはさらに１工場必要であり，さらに一年間かくで三工場が必要となる。

Slide　9は同じインベントリー曲線を示しており，8,０００Ｔ／ｙ工場でこれをみたす場合である。8,０００Ｔ／ｙの一工場は前のケースより３ケ月早く，１９８１年６月に必要であり，１年后に追加工場が出来，さらに１８ケ月后に一工場が必要である。8,０００Ｔ／ｙ工場の他のやり方は，１９８１年９月に工場を作り，第二工場は３ケ月后に，次は２１ケ月后に作る方式である。全必要量は，１９８４年末までに，３２,０００Ｔ／ｙであり，両ケースとも同じである。

Slide　１０は同じケースを，遠心法により不足分を定常速度でおぎなう場合である。追加速度は，１９８０年９月をはじまりとし，6,５００Ｔ／ｙ工場を毎年追加する方式である。これは遠心法にとって開発，製作，設置について達成すべき大変な目標である。

新工場が必要となる時期は高いティルで運転することにより，大きくのばすことは出来る。

しかし，次の点について注目する必要がある。

1）最適ティルよりも高い濃度で運転すると，生産コストは高くなる。しかし，コスト上昇はいずれにしてもそう大きくはない。

2）このような運転方式は，１９７２年３月７日にＡＥＣが発表した天然ウランのストックを有効にくいつぶすこととなる。しかし，このストックがなくなると，自然天然ウランの需要増となる。この増加は鉱山会社の供給力をこえることになるので，十分な探鉱と開発と生産施設の準備が必要である。このような準備には６～８年のリードタイムが必要である。

3）新工場が完成されれば，ティルを再び最適値にもどすことが良いと思われる。この方式は容量の増大を短期間に必要とすることとなり，新工場の建設を早期に行なった場合よりも結果はよくない。Slide １１はこの間の比較を示す。これによると，１２ケ月のスパンで３０,０００Ｔ／ｙが必要であるのに対し，２４ケ月で２４,０００Ｔ／ｙが他方では必要となる。但し，２１ケ月前に運転が開始されているとする。もし，ティルを保持するとしても，Case ＣとＢはCase Ａよりももっと強い勾配をもっている。

１９８３年における全分離作業必要量は，１９７８年の必要量の２倍であり，平均増加率は年１５％になる。増加率は低下するものの，この時期が最も問題である。したがって，何らかの手が早期にうたれなければならぬことを示している。なぜなら，現在の工場能力を1年に15％もふくらませることは1年と出来ないからである。

ここで検討した結果の一つの重要点は，二つ以上のウラン濃縮工場計画が需要増加時期に必要であり，しかも今日又はごく近い将来に手をつけなければならないということである。

スケジュール

新濃縮プラントの切実さとそれに対する適切な措置は，工場を全運転にこぎつけるまでに要する時間により定まる。これはSlide １２に示したような，二つの主要な時間に分類出来る。

Phase Ⅰ： 技術の入手と消化，予備設計の準備，価格推定，経済性推定，運営と実行の母体決定，サイトの決定，契約者の選択，資金調達，設計契約の交渉，工場と電源の建設契約の交渉 ── 即ち，最終設計，準備と建設にいたるまでの確固とした契約に調印する以前におこる全て ── に委せる期間。

Phase Ⅱ： 濃縮工場と必要発電所の最縮設計，許認可の取得，必要機器と材料の入手，工場建設，計器の据付，全システムのテスト，運転開始と初期問題の解

決，工場の定常運転開始，までに要する期間。

Phase Ⅱに要する時間は拡散工場の場合，約7.5年である。この場合発電は原子力によるものと考える。もし，石炭，石油，ガス，発電所の場合は濃縮工場側の入手，建設，運開に支配され約7年であろう。

もし，原子力に関する許認可手続が短縮されれば，スケジュールは短縮されよう。しかし，現在これに関しては慎重でなければならない。

Phase Ⅰは推定がもっと困難である。現在では問題の精通度，状況，実行性から考えて，2.5年かかると思われる。また最低でも1.5年が必要である。

したがって，新濃縮工場の運転開始までに要する全時間は，現実的に考え，しかも多少のオーバーラップ時間と緊急度を考えても，8～10年であろう。慎重であるためには，9～10年と考えるのがよい。即ち建設おくれは少額の追加経費ですむが，はやめるには多額の経費がかかるからである。

時折，濃縮工場のコストは非常に高いので，不可能でないにしても産業界が資金を準備するのは困難であるとの意見もある。

この結論はうたがわしいものがある。建設のための資本投下は原子力発電KW 当り12～15＄にすぎず，これは原子力発電所の投下ずみコストの約5％にしかすぎない。

現在の検討の段階では，濃縮工場には5～8億＄の建設資金が必要であり，大体同額の資金が付属発電所建設に必要であり，調達可能と考えている。現在，原子力発電所の建設にこの程度の資本は投下されており，濃縮工場への資本投下も工場計画が確定し，運転者が明確となり，長期供給契約の取りきめが出来ておれば，十分可能である。

経　済　性

濃縮ウランの使用者がウラン濃縮容量不足に直面した場合，需要減少のためにとりうるステップについても検討をした。三つのケースの検討されたが，その結果は次の通りである。

1）原子炉装荷濃縮度の低下

装荷濃縮度を下げることにより，多分全インベントリーの約20％を節減出来よう。1980年時点で米国が供給した原子炉について考えると，これは13,000MTの分離作業量に相当する。これをコストに換算すると約2.7億＄が年間追加必要経費となり，分離作業kg当り約20＄相当となる。

2）原子力発電所建設速度をおとす。

濃縮ウランの不足の理由で原子力発電所の建設を取止め，2ミル／KWH の利益を放

棄するとすれば，分離作業Kg当りの価格は９０～１３０$となり，現在のＡＥＣ価格３２$よりも大幅に大となる。もちろん，原子力発電所の建設を開始したのちに，運開をおくらせることとすれば，このコストはさらに高くなる。

3）原子力発電所からの電力発生量の制限

濃縮ウラン不足時代に，原子力発電所からの発生電力をおさえる。即ち，ピークユニットとして使用することは可能である。しかしながら，これをおぎなう電力は少なくとも５ミル／ＫＷＨであろうから，分離作業に換算したコストは５ミル／ＫＷＨレベルで非常に高い３００$／Kgとなろう。

このように，濃縮ウランの十分な供給にたえる生産をしないときの，経済負担の大きさは明白であり，長期的なしかも合理的な計画と実行がいかに重要かがわかる。

結論と勧告

ＡＩＦの委員会は未だ結論に到達していないし，特定の勧告を行なうかどうかわからない。しかし，多くの結論は明白であり，私個人の２，３の観測をつけくわえることで十分であろうと考える。

1）最も重要な観測はシュレージンガー博士の原子力合同委員会における証言であり，１９７２年３月７日次の発表をおこなった。

〃現時点は，我々が民間に対し，商業的なウラン濃縮工場建設に関する計画立案と提案をさせるために，十分の援助を行なうに適切な時である。この工場は，１９８０年代初期およびそれ以降において必要なものである。〃

2）6,０００～8,０００Ｔ／ｙの二つの拡散工場の運転を，１９８１～８２年に計画し，１年后に第三工場を運転することが必要である。先にのべたスケジュールより判断して，これらの計画は直ちにPhase Ⅰに入らなければならない。当初計画の二工場のうち，一つを米国に一つを海外に建設することは論理的であり，場合によっては，三工場のうち二工場を海外に建設することも考えられる。

3）ＡＩＦの検討で重要な点は，現施設が１００％稼働率で運転を続ける，ＵＳＡＥＣのストックが十分ある，新工場および付属発電所の設計，許認可，建設，運開におくれをきたさない，原子力発電ののびが予想よりも早くなる，Pu リサイクルの開始におくれをきたさない，ＣＩＰ，ＣＵＰにおくれがない，ＡＥＣの事前生産は十分確保される，等の仮定に対して全く余裕を見込んでないことである。

もちろん，これとバランスするものとして，原子炉許認可手続や経済状態が問題と

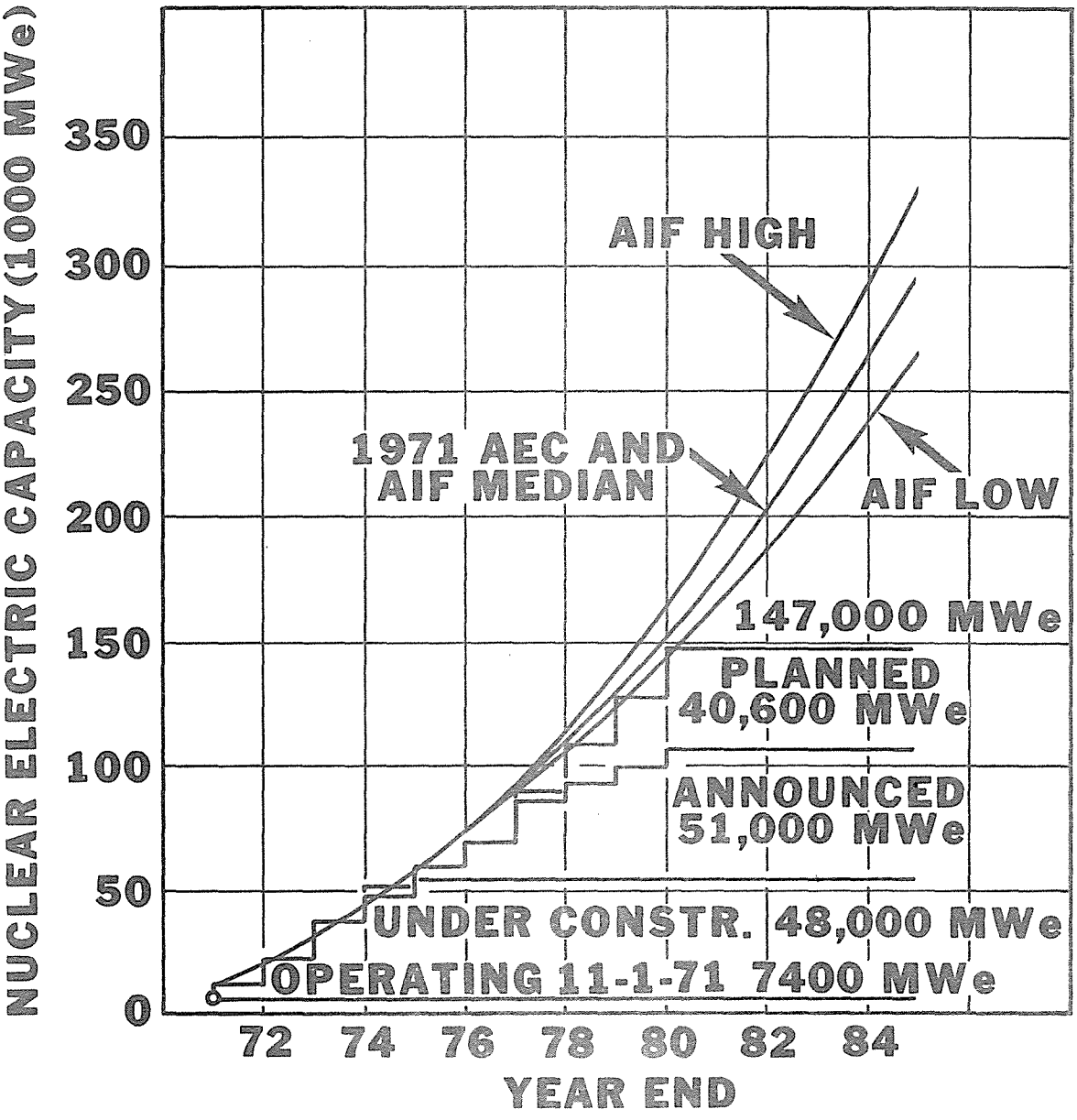
なり，原子力計画がおくれる，濃縮工場のティルが高くなる，他の形態のストック材料を転換するなどが考えられる。

4）当初の二ないし三工場の建設について，ガス拡散法以外の方式を考えることは必要ないと思われる。拡散以外の方式はこれ以降の計画として取上げるべきである。

5）５ミル／kwh　の電力は分離作業コストの約４０％をしめることとなるので，低電力量の地区をえらぶことがのぞましい。

結論として，ウラン濃縮容量の追加は非常に重要であり，かつ緊急を要する問題である。さらに，また国際的問題でもあり，多くの国々の間のきんみつな協力と，夫々の国の産業界の協力を必要とするものである。

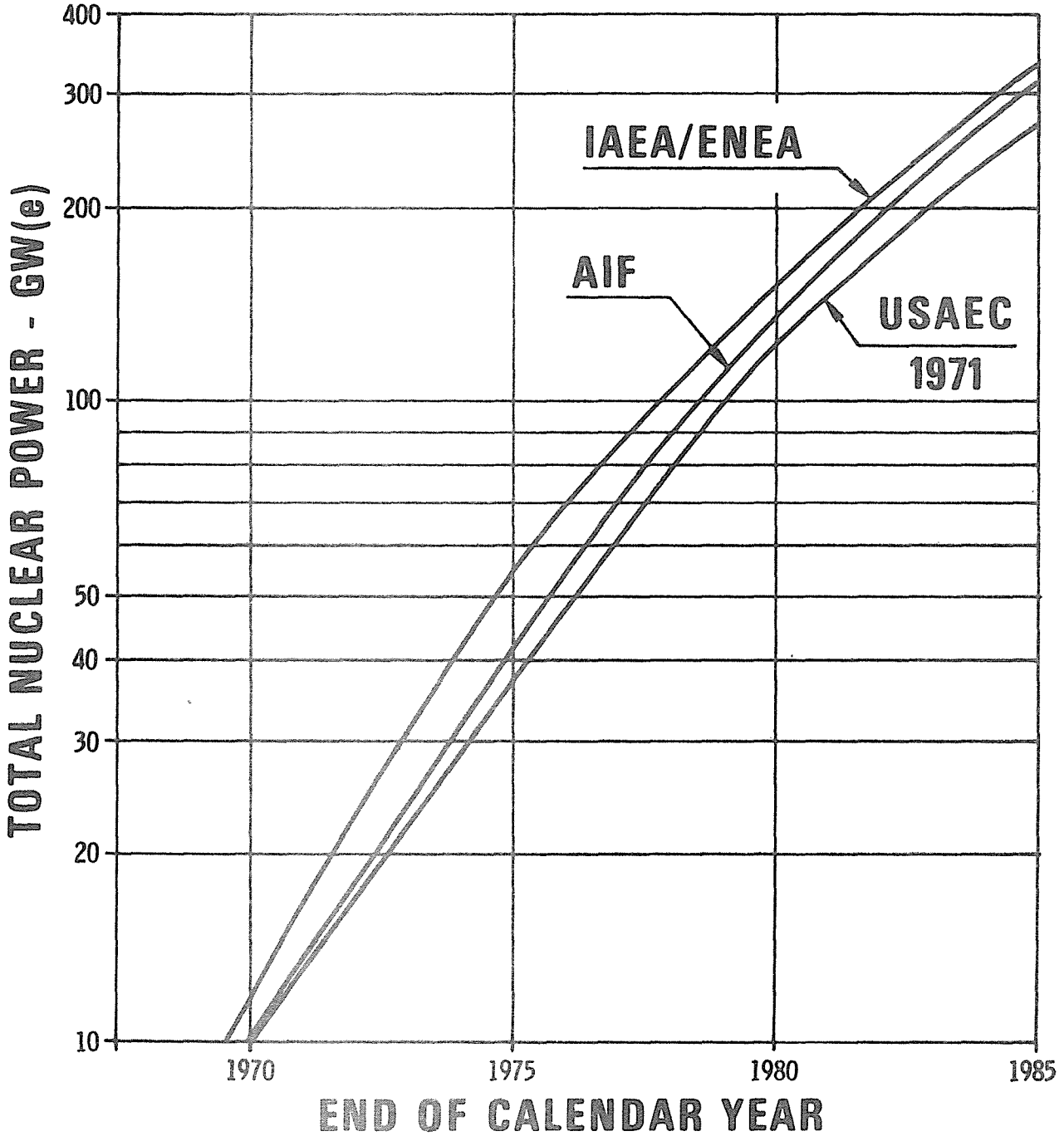
AIF PROJECTIONS OF U.S. NUCLEAR ELECTRIC CAPACITY



SLIDE 2

COMPARISON OF ESTIMATES GROWTH OF NUCLEAR POWER

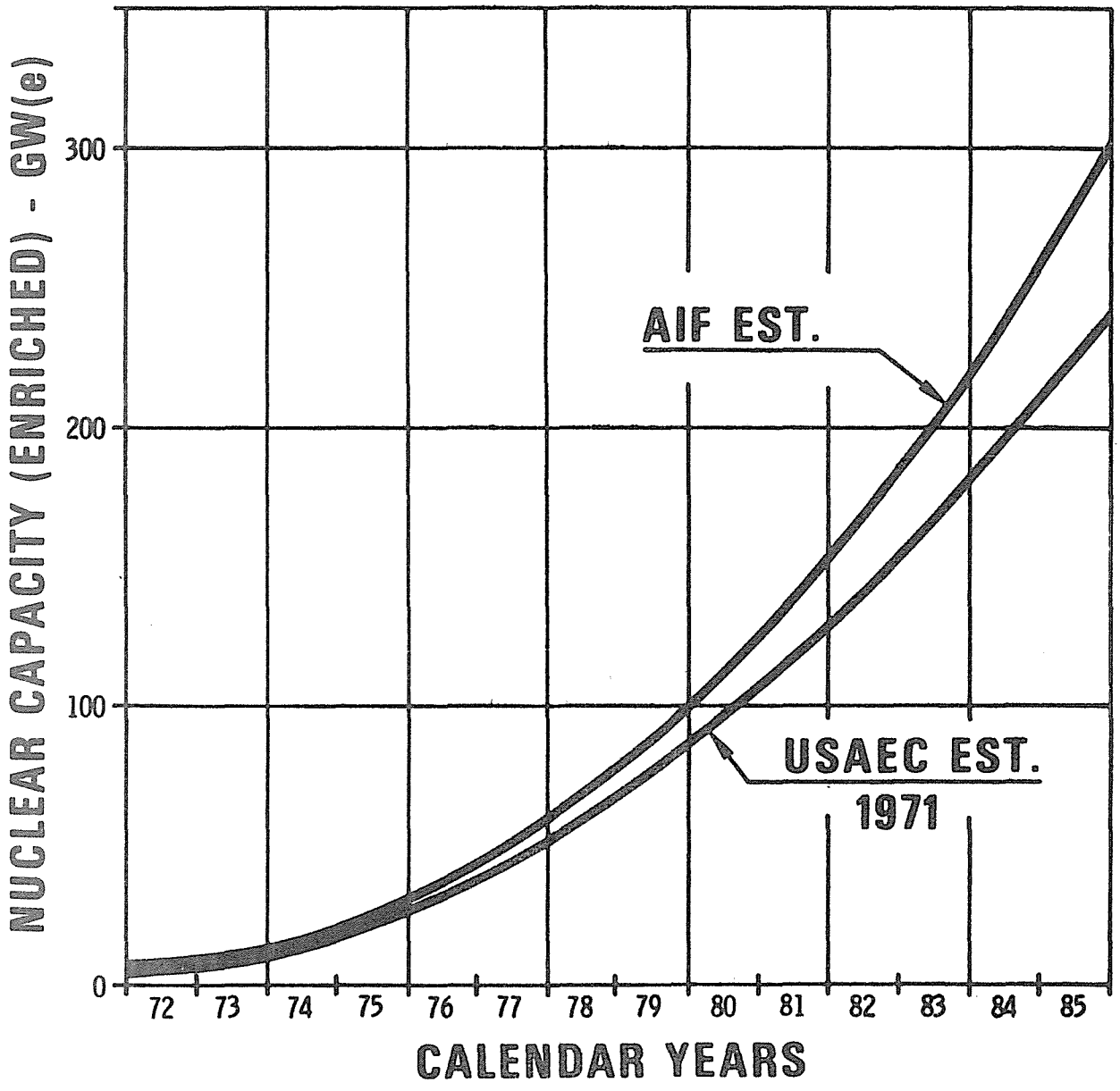
TOTAL NUCLEAR NON-U.S. FREE WORLD



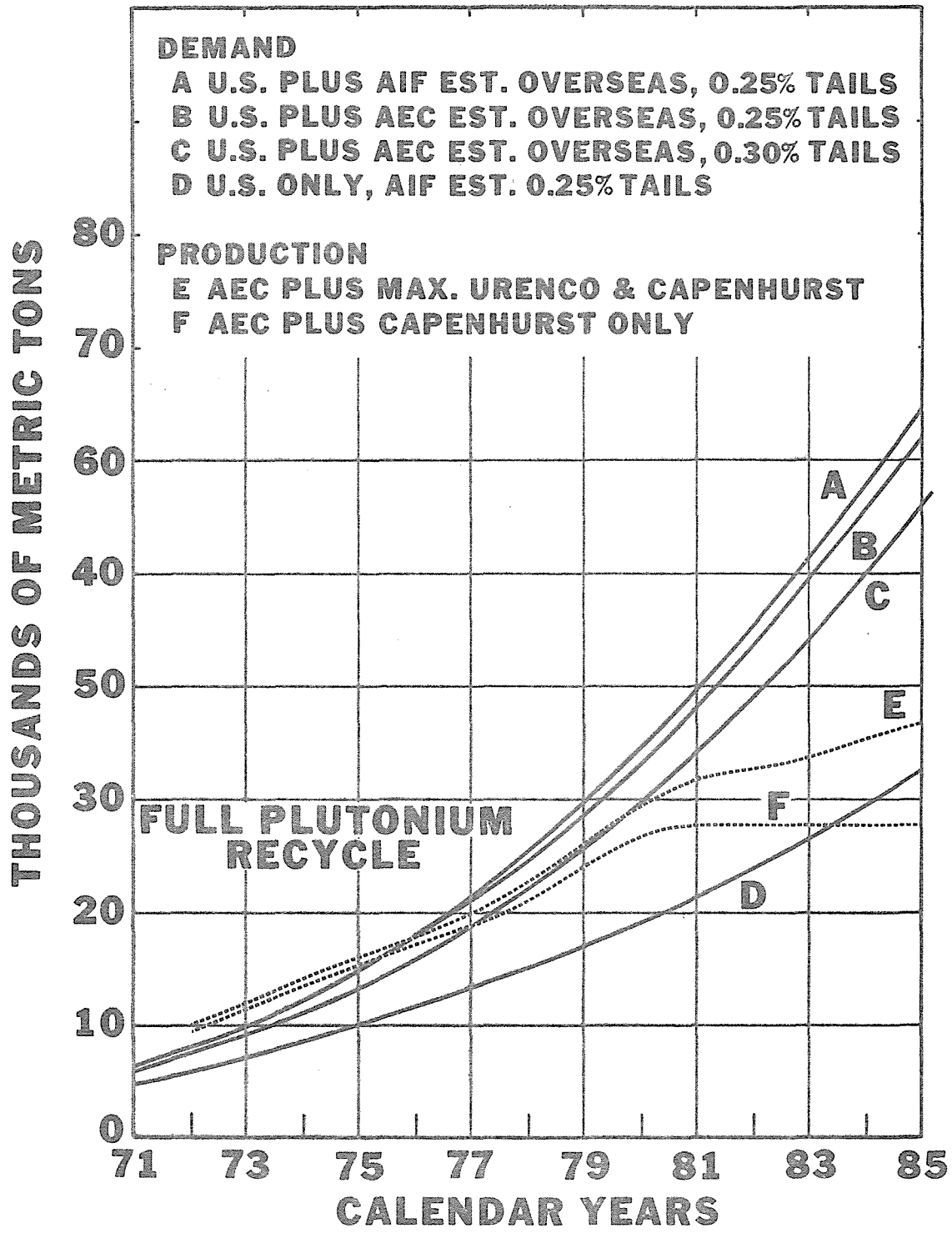
SLIDE 3

GROWTH OF NUCLEAR POWER

NON-U.S. FREE WORLD ENRICHED REACTORS

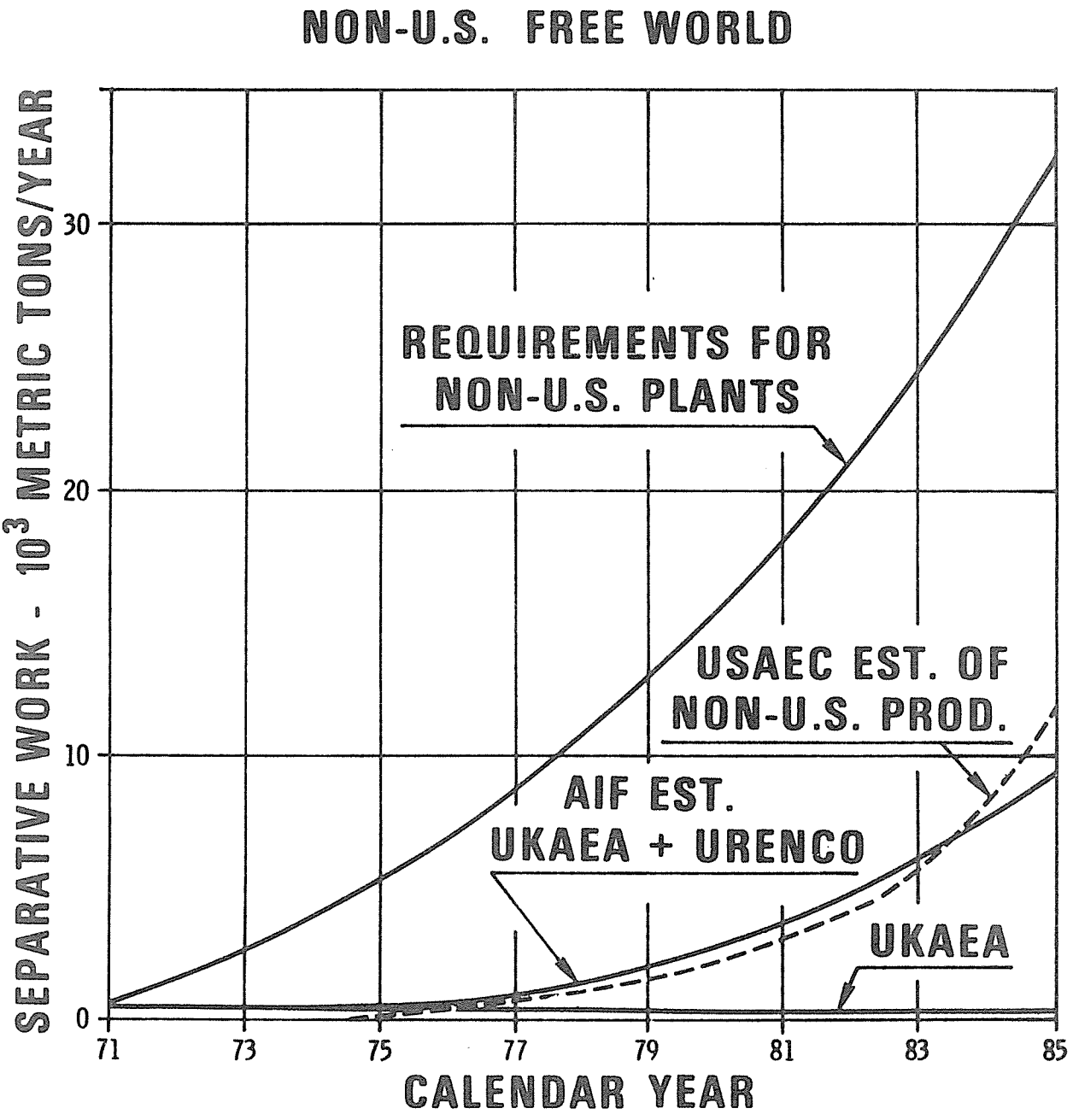


ANNUAL SEPARATIVE WORK SUPPLY AND DEMAND



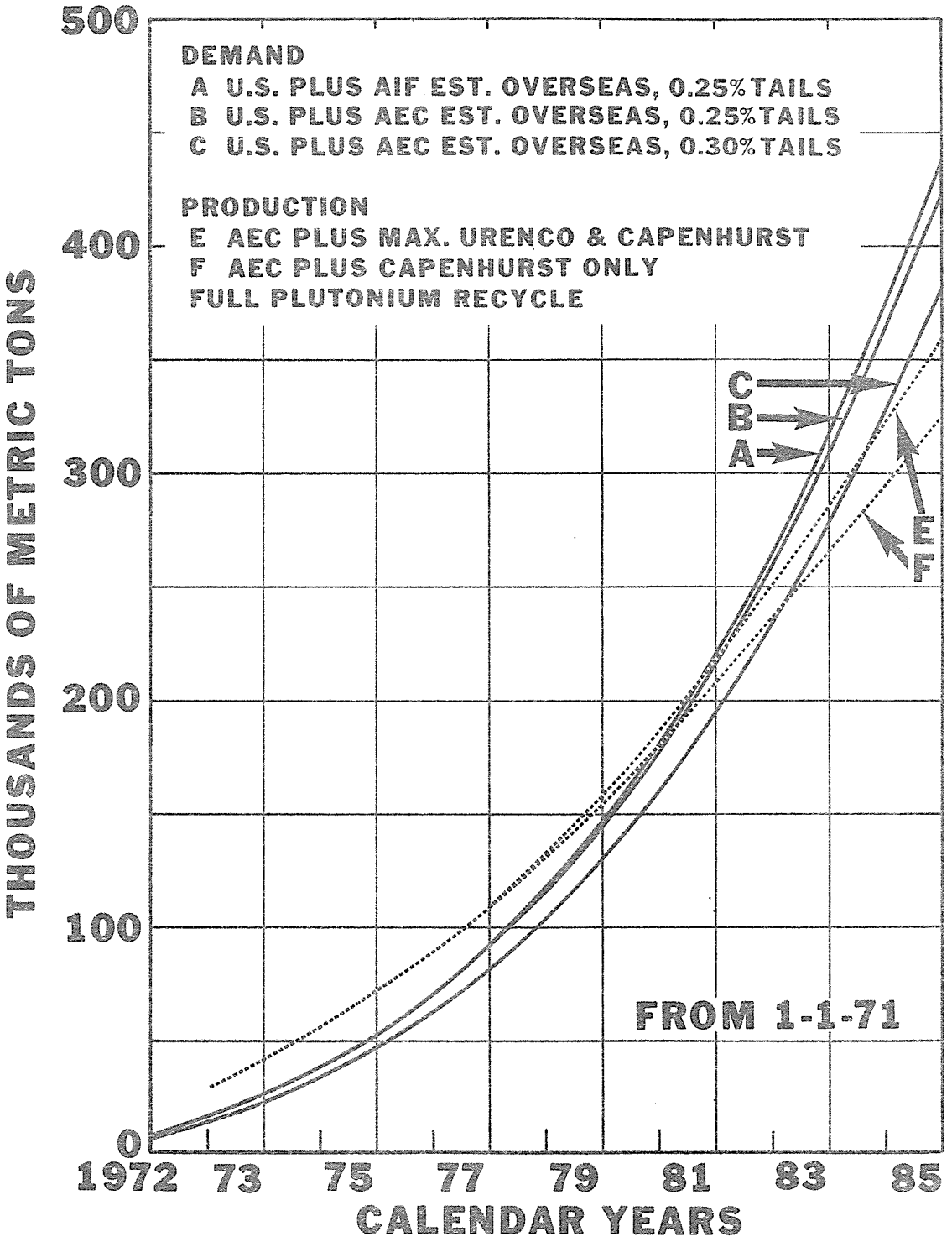
SLIDE 5

ANNUAL ENRICHMENT REQUIREMENTS

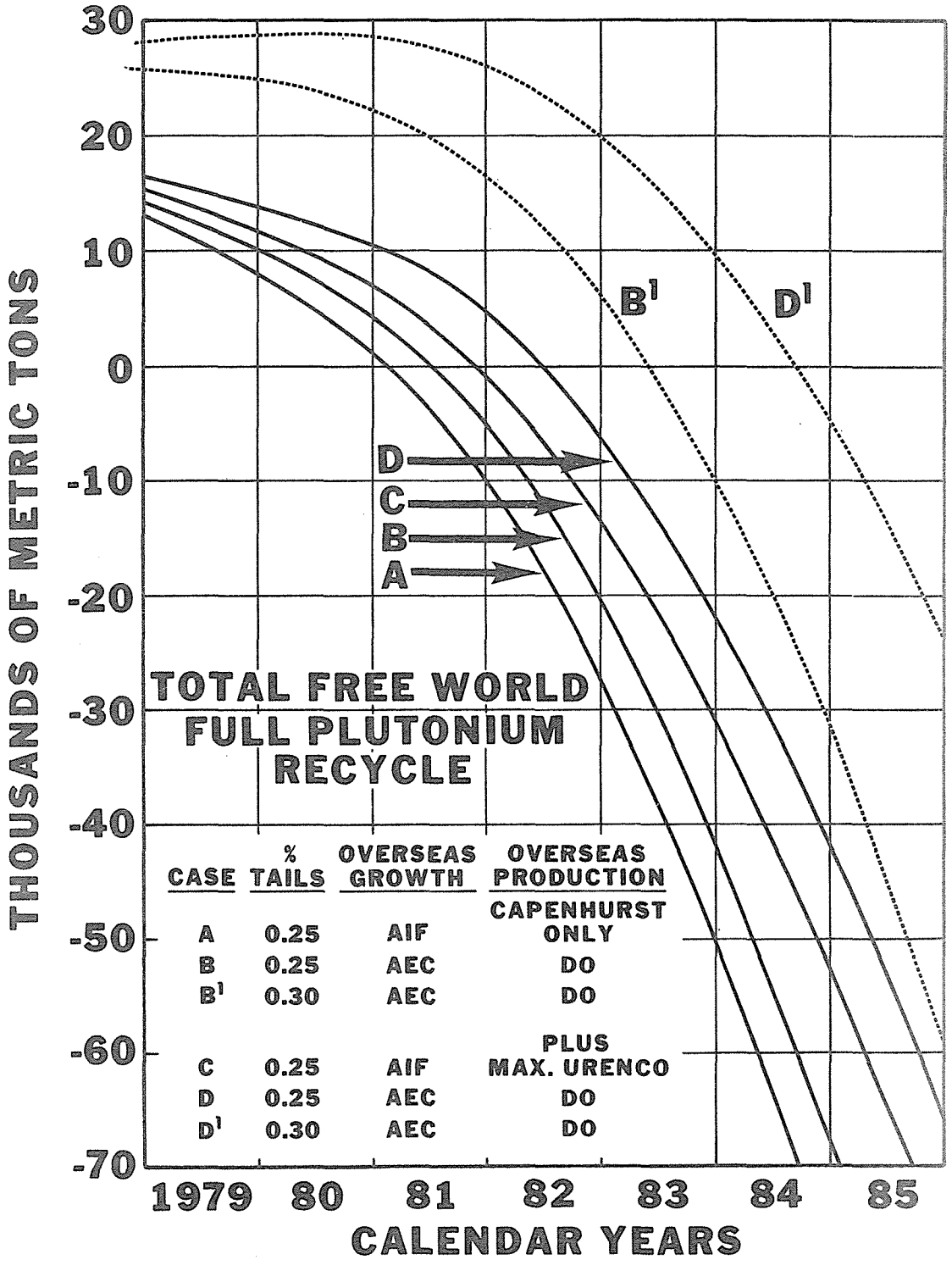


AIF ESTIMATES OF GROWTH BASED ON 0.25% TAILS CONCENTRATION AND Pu RECYCLE (90%) STARTING IN 1976

CUMULATIVE SEPARATIVE WORK SUPPLY AND DEMAND

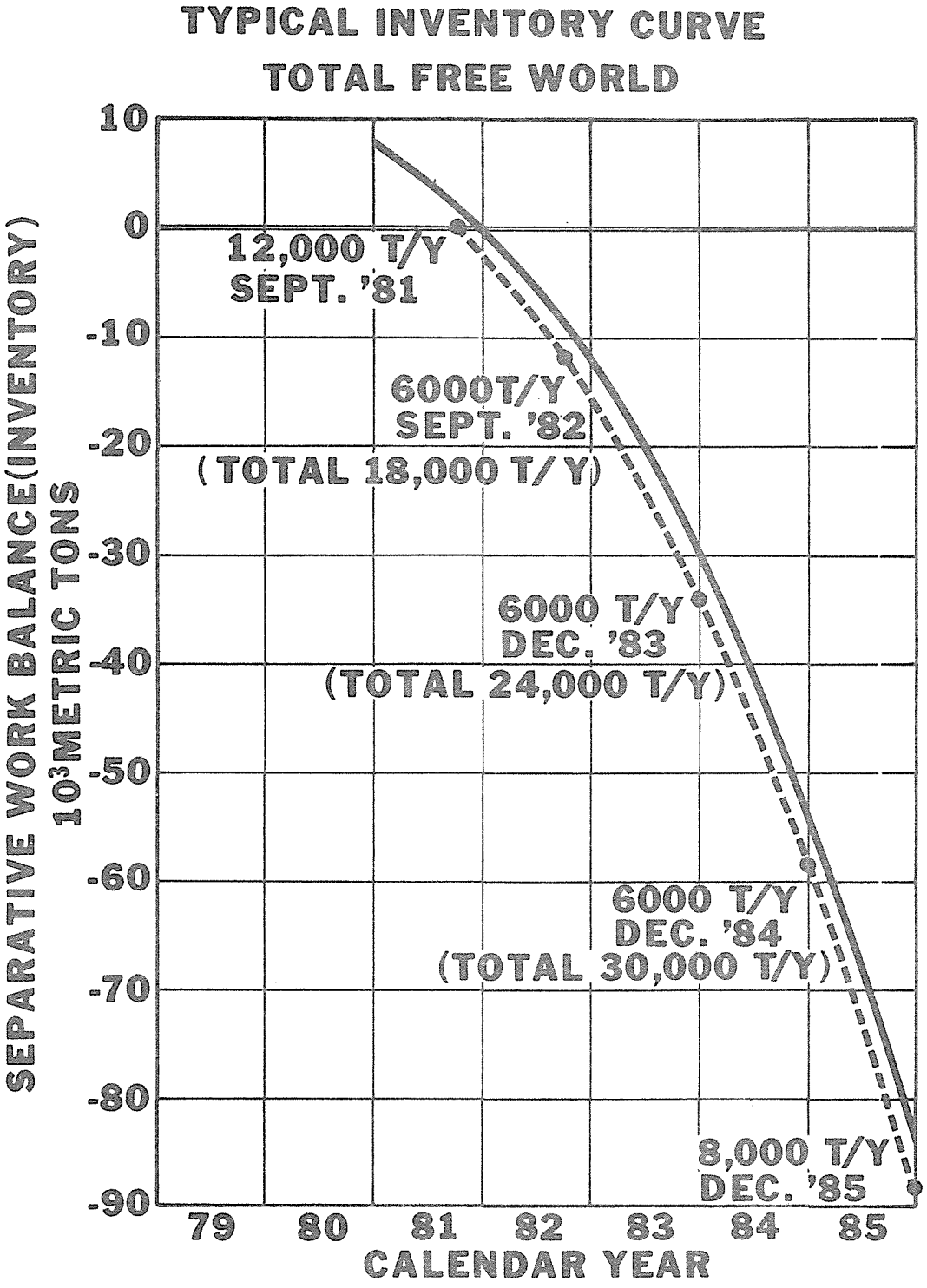


SEPARATIVE WORK BALANCE INVENTORY



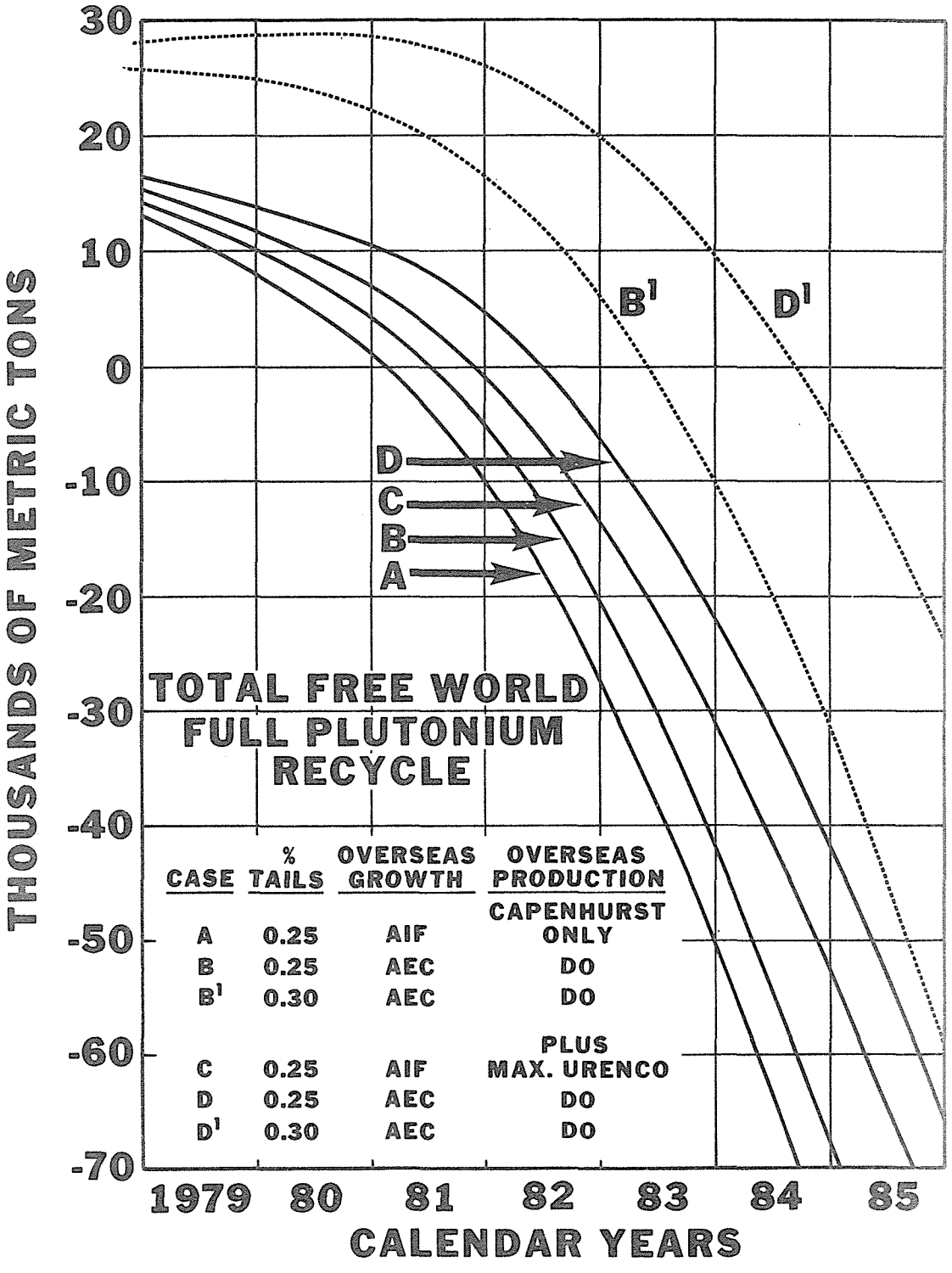
SLIDE 8

ADDITION OF SEPARATIVE WORK
CASE A - 6000 T/Y UNITS



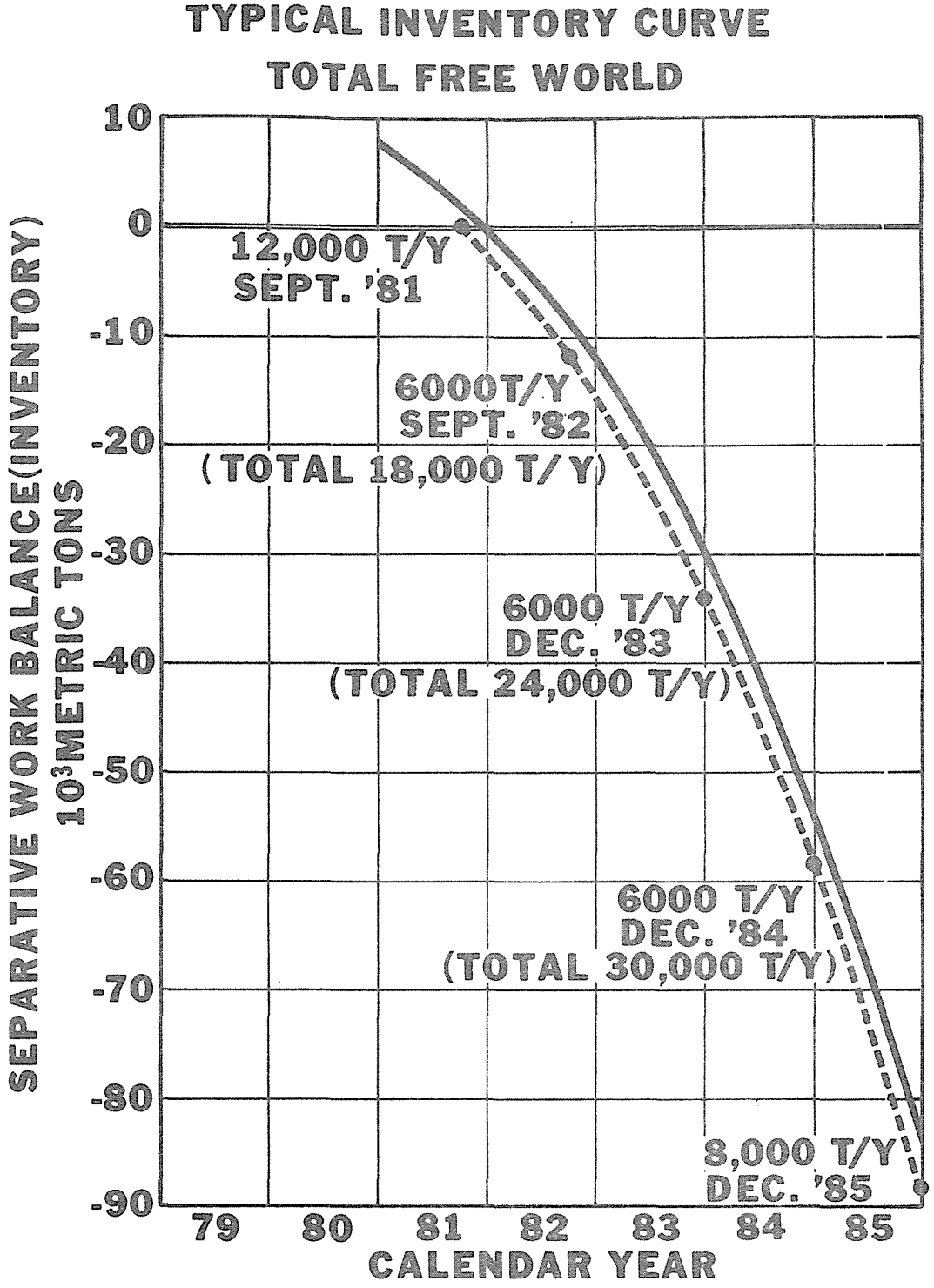
MARCH 1972

SEPARATIVE WORK BALANCE INVENTORY



SLIDE 8

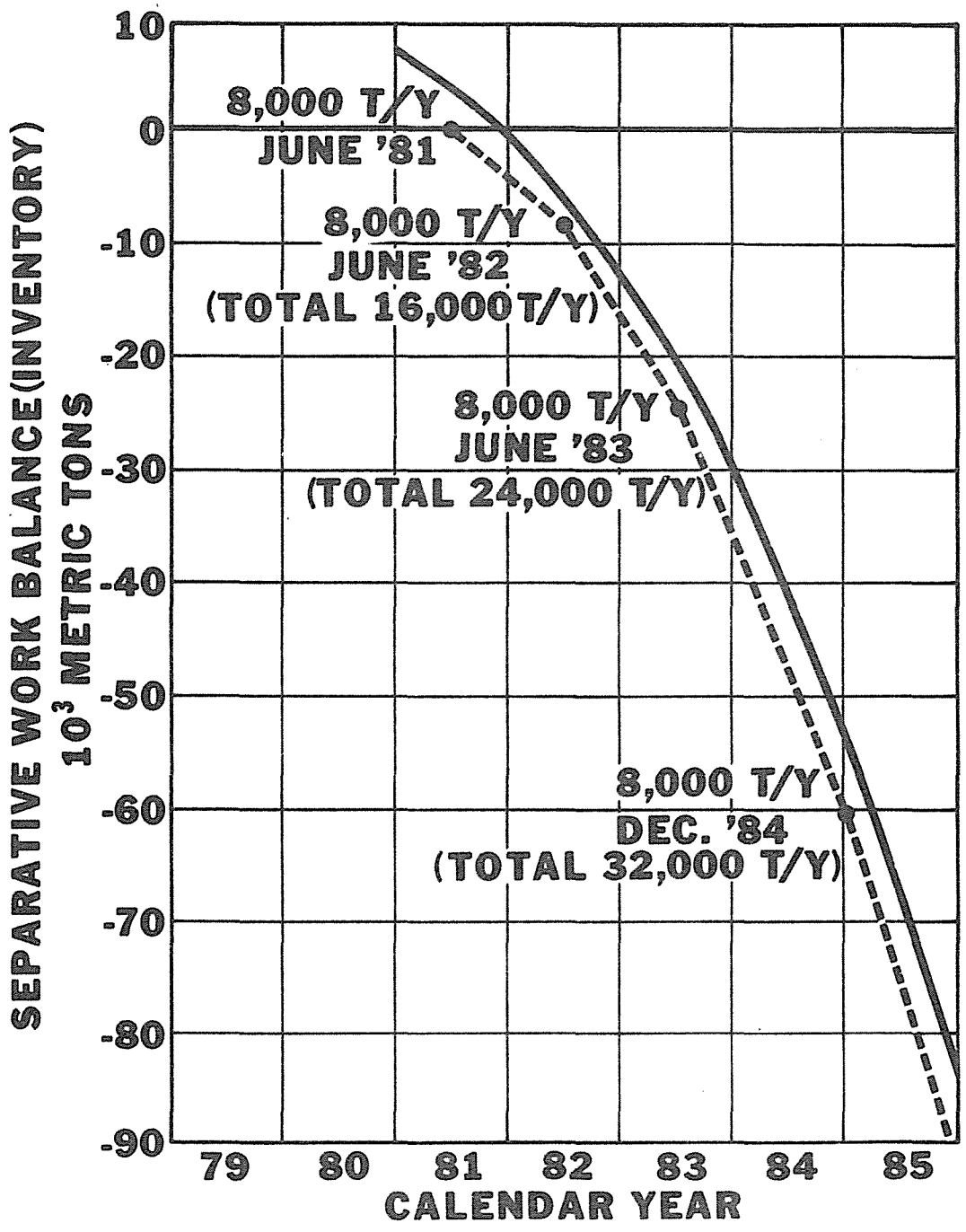
ADDITION OF SEPARATIVE WORK
CASE A - 6000 T/Y UNITS



MARCH 1972

SLIDE 9

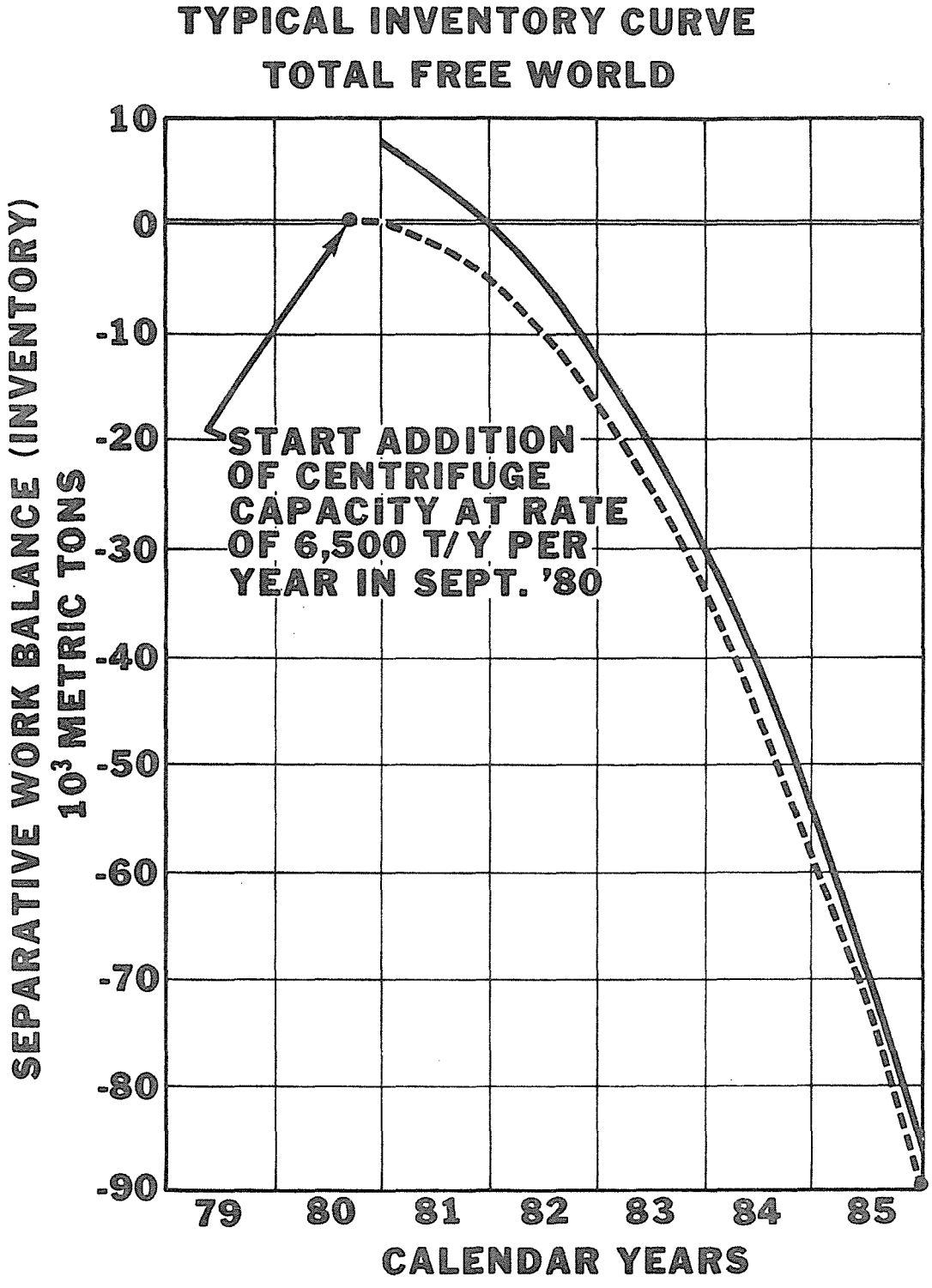
ADDITION OF SEPARATIVE WORK
CASE B - 8,000 T/Y UNITS
TYPICAL INVENTORY CURVE
TOTAL FREE WORLD



MARCH 1972

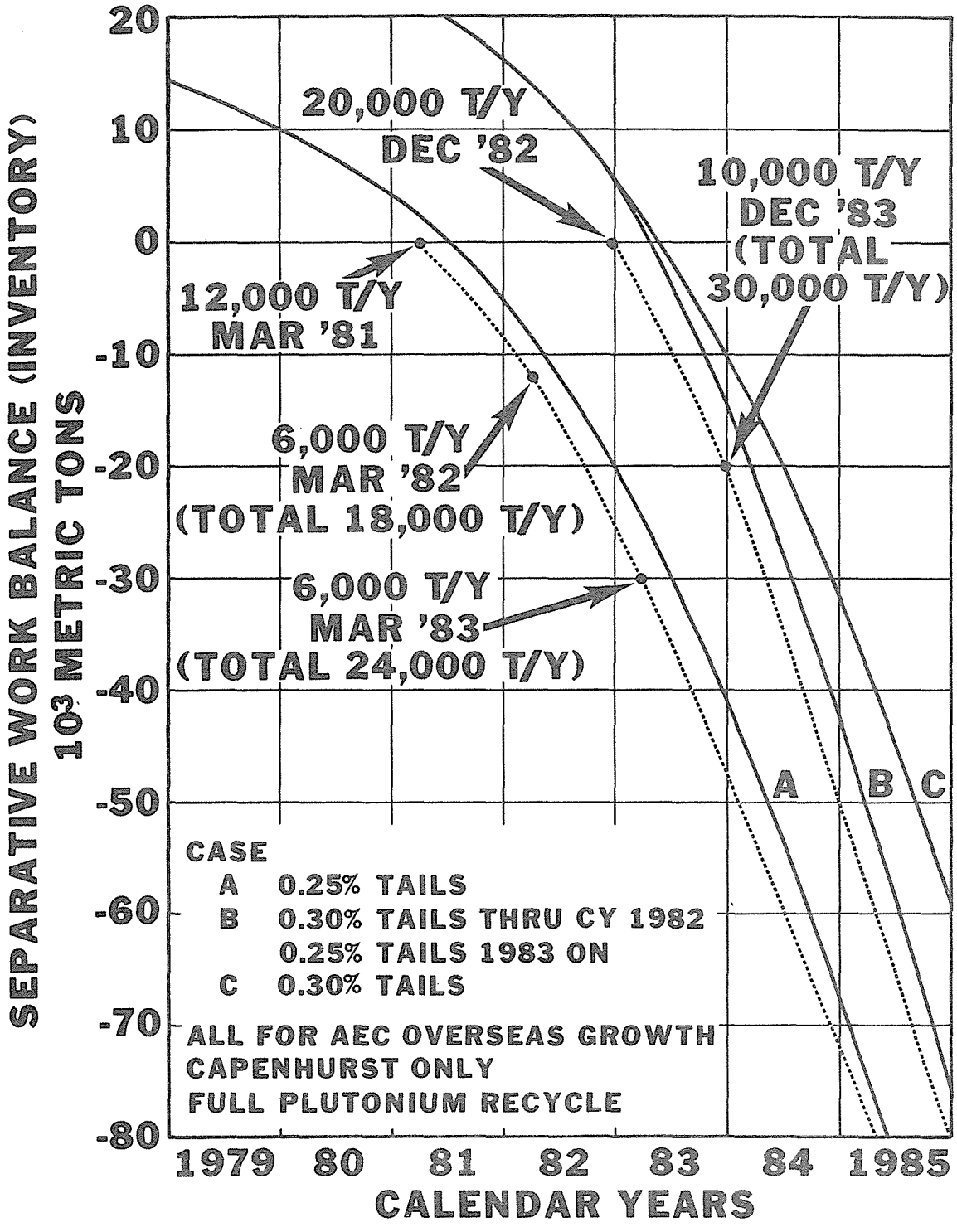
SLIDE 10

ADDITION OF SEPARATIVE WORK
CASE C - CENTRIFUGE CAPACITY



MARCH 1972

ADDITION OF SEPARATIVE WORK TOTAL FREE WORLD



SLIDE 12

AIF FORUM STUDY

SCHEDULE FACTORS
IMPORTANT NEW SEPARATIVE WORK CAPACITY ADDITIONS
(GASEOUS DIFFUSION CASE)

- ORGANIZATION OF THE VENTURE; ACQUIRING FINANCING AT THE $500 MM - $800 MM LEVEL.
- TRANSFERRING TECHNOLOGY FROM AEC TO THE PRIVATE SECTOR.
- DEVELOPMENT OF LICENSING AND SAFEGUARDS REQUIREMENTS -- ACCOMPLISHING THE LICENSING PROCESS.
- PROCESS DESIGN; PLANT DESIGN, CONSTRUCTION AND SHAKEDOWN.
- IN PARALLEL, ADDING 2,000 TO 3,000 MWe OF ELECTRICAL GENERATING CAPACITY.

RECOGNIZING THAT PROGRAM PHASES CAN PROCEED CONCURRENTLY A REALISTIC PROGRAM MAY REQUIRE 8 - 10 YEARS TO ACCOMPLISH.

シンポジウム

「原子力発電と安全性」

議長　宗像英二氏（日本原子力研究所　理事長）

講演と意見発表

シンポジウム

原子力発電と安全性

議長　　宗像英二氏（日本原子力研究所　理事長）

シンポジウム・メンバー（発言順）

講演(1)　「原子力発電の安全性」
内田秀雄氏（東京大学　工学部教授）

講演(2)　「原子力発電所の運転と放射線管理の経験」
伊藤俊夫氏（関西電力　専務取締役）

特別講演　「放射性廃棄物管理と環境保全」
R. H. Burns 氏（イギリス原子力公社ハーウエル研究所工業化学主任研究員）

発表(1)　「原子力安全問題ととりくむ電気事業者の姿勢」
白澤富一郎氏（日本原子力発電　社長）

発表(2)　「原子力供給産業における安全性追求の努力と成果」
永野治氏（東京芝浦電気　専任副社長）

コメント(1) 田宮茂文氏（科学技術庁　原子力局次長）

コメント(2) 武田康氏（通商産業省公益事業局　原子力発電課長）
…〔公益事業局　技術長　和田文夫氏の代理〕…

コメント(3) 江藤秀雄氏（放射線医学総合研究所　科学調査官）

コメント(4) 矢部知恵夫氏（全国原子力発電所所在市町村協議会会長　敦賀市長）

宗像議長（日本原子力研究所理事長）挨拶

１０数年後と云う近い将来，即ち昭和６０年代になると，我国の電力需要量は年当り１兆ＫＷＨを越えることとなり，それは今日の需要量の３倍以上であって，生活文化の程度が向上するので，家庭用・業務用の電力需要の伸び率が産業用電力需要の伸び率を上廻ると見通されるのであります。その頃になると，電力需要の伸びに応え得るのは原子力発電の伸びであって，石油系燃料などによる火力発電や水力発電はその頃にも未だ有力な発電の担ひ手であるけれども，我国のおかれている状況から見れば，その頃には火力・水力に大きな伸びは期待し得ないのであります。そこで，科学技術的な面から原子力発電の安全性を確保するように，種々の手を打って，行届いた対策を実施し，既に過去においてもそうであったが，現在・将来にわたって原子力発電は安全であるとの実績を積みあげ，その実績に基いて多くの人々に安心感を強くするようにせねばならぬのであります。

原子力の開発は未だ歴史的に短かいのであるから，経験の蓄積の点で不足することもあって，虚を突かれるような事が無いとは云へぬのであります。およそ総ての科学技術に於ても，総てがことごとく明解に判り尽していると云う事は殆んど無いと云っても宜しいのでありまして，若い原子力の開発の科学技術においては未だ究明を要する所が多くあります。然し，殆んど総てが明解になり尽した後でなければ手をつけないと云う云はば引込思案の考え方が通って，エネルギーの必要さを抑えて文化生活の向上への要望を抑制し得るであろうかどうか，それは両面を比較して検討しなければならぬものであり，既成の実績と明解された科学技術の上に立って，原子力開発の成果に頼るようになることは近代人感覚の上で当然の趨勢であると判断してもよいと思います。

私共，原子力開発を担当して研究に従事する者として，原子力開発が安全性を軽視しては成り立たぬと信念しておりますが，科学技術の発展の途中の経過として，ポジティブな面が現われたりネガティブな面が現われたりするのは道を開らこうとして試行錯誤する際に往々あるのでありまして，そのネガティブな面を通して更に高いポジティブな面を導き出すことは創意工夫次第で屢々経験するところでありますので，途中に於けるネガティブさに憂ひ過ぎることは慎しまねばなりません。然し，原子力発電に関する研究開発の場合には，そのような試行錯誤にも慎重な制約がつき纏っているのであって，其処に現われるネガティブな徴候を素早くポジティブな面に持って行かねばならぬと云う強い要請を身に親しく感じております。

エネルギーの必要さから絶対的に求められていると云はねばならぬ原子力発電の大展開に当って，原子力発電のメリットを既に知っているので，そのメリットのある原子力発電を安全性の達成を如何に配慮しながら，関係を持つ諸氏が精進し対処して居られるかに就いて，夫々のご専門に関するご見識・ご見解をご披露ねがって，本日の此の催しを意義あらしめたいと願う次第であります。

このシンポジウムの進め方としましては，はじめに，東京大学の内田さんから「原子力発電の安全性」，関西電力の伊藤さんから「原子力発電所の運転と放射線管理の経験」と題するご講演，さらに，特別講演としてイギリス原子力公社ハウエル研究所のバーンズさんに「放射性廃棄物管理と環境保全」についてお話し願うこととといたします。ついで電気事業者とメーカー側の立場から安全問題に対するお考えを，日本原子力発電の白澤さんと東京芝浦電気の永野さんのお二方からそれぞれご発表いただきましたうえで，科学技術庁原子力局の田宮さん，通産省公益事業局から原子力発電課長の武田さん（和田技術長の代理出席），放射線医学総合研究所の江藤さん，全国原子力発電所市町村協議会会長であります敦賀市長の矢部さんから，それぞれコメントをいただきたいと思います。

講演－1

原子力発電の安全性

東　京　大　学
教授　内　田　秀　雄

私に与えられました題目は原子力発電の安全性ということであるが，日本における動力用原子炉の安全について，その考え方，安全対策などについて話したいと思う。原子炉の安全とは何か，ということについて原子力の平和利用が行なわれて以来各国でそれぞれの立場の人がそれぞれの見解を表明している。科学や技術だけではなく哲学めいたものが原子炉の安全のあり方を左右することがある。

Ⅰ．原子炉の安全と安全審査

原子炉安全の目標は，原子炉の平常運転時も，また仮りに大きな事故の発生があったとした時でも，一般公衆は勿論従事者に対しても放射線の実質的な影響を与えないということである。放射線影響の基本的な考えはＩＣＲＰの勧告に従っており，原子力の平和利用によって生ずるかもしれない放射線影響による損失は，天然の放射線影響に比べ実際的な限り低いものであることを目標としている。

原子炉が建設される場合は，原子炉施設の位置，構造および設備が，今述べました原子炉安全の見地から支障がないということが，事前に第三者的立場で綿密に調査審議され，その安全性が確認された後初めて原子炉の設置が許可される。このため日本では原子力委員会に原子炉安全専門審査会が設けられており，ここで原子炉の安全が審査され，その結果原子炉の設置許可が出される。なお動力炉に対しては通商産業省の大臣の諮問機関である原子力発電技術顧問会が審査会と合同で審議を行なう。設置が許可されたあと，詳細設計，工事方法等の認可事項について顧問会が諮問をうける。すなわちわが国では事実上「設置許可」と「工事計画認可」の二段階の審査をうけることになっている。

Ⅱ．安全評価

原子力発電所の安全上の立地評価は平常運転時の問題と，想定事故時の問題とになる。

1．平常運転時における安全対策

平常運転時に対しては法令等によって，原子炉の周囲に管理区域，保安区域，周辺監視区域が設けられる。管理区域とは原則として従事者のみが立入ることができる区域であり，その外側に周辺監視区域がある。周辺監視区域の外側は一般公衆の立入ることのできる区

域であり，一般公衆に対して，「周辺監視区域外の許容被曝線量は1年間につき0.5 rem」であることと，周辺監視区域外の空気中又は水中の放射性物質の許容濃度がきめられている。実際の原子炉の運転は別に定める保安規定による。したがって気体状放射線物質の排出による周辺公衆への放射線影響の実際は許容被曝線量0.5レムに比べ，2ケタ位低いものであると推測される。将来はその低いレベルを目標に設計され運転管理がなされるだろう。同じサイトに多数炉が建設される場合は，その総合の影響について同じ基準で評価される。

2. 想定事故に対する評価

原子炉に仮に大きな事故があったとした時にも確保しなければならない安全の目標は，原子炉の特質，構造などから技術的に考えられるあらゆる事故を想定しても，その想定事故の経過と波及の結果一般公衆に与えるかもしれない放射線障害・災害をなくし，公衆の安全を防護することである。想定事故とは，起こる可能性は極めて小さいが，仮りに起こったとしたら核分裂生成物を含む多量の放射性物質を敷地周辺に放散し，一般公衆に放射線影響を与えるおそれがある原子炉事故をいうが，その安全評価から立地条件を検討する方法には次の考え方がある。(1)十分に保守的な仮定による事故とその経過を想定し，公衆への放射線影響を推測，解析し，それを基準として公衆との離隔を評価する。(2)想定事故の推定発生確率とそれによって公衆がうけるかもしれない災害を確率的手法で評価する。わが国における評価方法は主に(1)の方法であるが，漸次(2)の方法を考慮するようになってきている。

わが国には，原子炉の想定事故に関連してその立地条件の適否を判断するための基準に「原子炉立地審査指針」がある。想定事故は技術的立場から合理的な推論と判断とによって検討されなければならない。技術的見地からみて起るかもしれないと考えられる想定事故のうち，公衆に最大の放射線影響を与えると推定されるものを重大事故，技術的には起こるとは考えられないが更に重大事故を超えるものを想定しこれを仮想事故という。これらの想定事故の経過によってもたらされる結果は，工学的安全施設等安全対策と気象条件などにconservative な条件を考慮した上で，評価される。その結果から敷地周辺環境特に公衆との離隔は次のように行なう。重大事故を想定したときの一般公衆に対する放射線影響が甲状腺（小児）に対して150 rem，全身に対して25 rem を超えると予想される範囲は「非居住区域」であること。仮想事故を想定したときの一般公衆に対する放射線影響を，何らかの処置を講じなければ，甲状腺（成人）に300レム，全身に25レム以下

に制限できないと予想される範囲で非居住区域の外側は「低人口地帯」であること。仮想事故の放射線影響による広い地域の公衆に対しての全身被曝線量の積算値の予測が，国民に遺伝的影響を与えないような値（例2,000,000 人レム）以下であること。

以上が立地審査指針の要点である。わが国で運転または建設中の原子力発電所では，立地指針に規定されている非居住区域，低人口地帯として必要な範囲は殆んど全部施設の敷地内（約炉心から半径1 km内）に包含されている。各国の想定事故時の放射線被曝量の制限値には多少の差があるが，制限値の大小が必ずしも安全評価の厳しさの差をあらわすものではない。想定事故に何を選ぶか。その安全対策・事故評価の方法などの違いが大切である。

想定事故の発生確率（事故の原因から放射線影響に至る一連の事故の生ずる予想確率）は極めて小さい。この確率の値を科学的に求めることは非常に難かしいが，異なった種類の事故の比較あるいは安全装置の比較検討の場合には有効であると思われる。たとえば重大事故の発生確率は10^{-5}／reactor year より小さくなるように，設計・工事の管理によって安全上の信頼性を高めることが目標であるといってよいと思う。仮想事故の発生確率は更に小さい値である。その結果，このような想定事故がかりに起ったとしても，同一個人が一生のうちに二度経験することはないと思う。

Ⅲ. 原子炉の事故と対策

1. 概　　要

原子炉の安全を確保するためにどういう事故に対して安全対策を立てているかを主に軽水型動力炉を中心に述べる。

原子炉の平常運転時における安全は，平常運転中にどのような外乱，過渡状態（負荷の変動，停電，機器装置の故障など）が起こっても安全をそこなうことのないような対応処置が適確にでき，その異常状態がすぎた後は再び，運転の継続ができること。

重大事故，仮想事故に至る想定事故としては燃料被覆の破損あるいは溶融をまねくおそれのある事故が想定される。その原因は炉出力が制御能力をこえて異常に上昇することによる燃料体の過熱か，あるいは原子炉冷却材の冷却能力の減少あるいは喪失による燃料体の過熱である。前者を反応度事故，後者を機械的事故という。

2. 反応度事故とその対策

(1)制御体が炉心から異常に除かれる場合。(a)起動時制御棒引抜事故，(b)出力運転中制御体引抜事故，(c)制御体抜出事故，(d)制御体逸出事故，(e)ホウ素希釈事故。

(2)反応度が異常に添加される場合。(a)冷水事故，(b)燃料装荷時事故。

機器，保護系，回路などはフエイルセーフな設計とし，また多重な設備とする。一般には，冷却水，燃料体の温度系数は負であるが，これらを含めた全体の出力係数を負になるようにする。想定されるあらゆる反応度事故時に添加されるかもしれない正の反応度とその挿入速度をある限度内におさえる。さらに，異状な出力上昇があった場合は，中性子束高，各部の温度，圧力・水面等の異常を検出して自動的にスクラムする。

3. 機械的事故とその対策

(1)冷却材流量喪失事故＝停電あるいはポンプ弁の機械的故障などにより，冷却材の炉心内流量が減少あるいは停止する事故。

(2)冷却材喪失事故＝配管の破損などによって，原子炉冷却材が急激に流出する事故。

(3)電源喪失事故＝この事故に対しては安全のために重要な系，機器に必要な電力を確保するため非常用電源がある。

冷却系配管破断を想定する冷却材喪失事故は，破断の大きさ，速さ，場所などのいかんによっては，炉心の熱除去に大きな影響を与えるので，以下の重大事故や仮想事故に結びつく。

Ⅳ．冷却材喪失事故と工学的安全施設

この想定事故は一次冷却系配管破断が起ると仮定したものである。軽水炉を例とすると，配管破断に続いて，炉の自己制御性による固有の安全性によって自然に停止されることが期待されるが，さらに停止機構の多重性などによって炉のスクラムを確保する。冷却水の流出による熱除去が行なわれなくなることに対し，炉心に急速に冷却水をスプレーまたは高圧で注入するような緊急炉心冷却装置が設けられる。もし緊急炉心冷却装置が十分効果を出さなかったとすれば，燃料体の破損あるいは溶融により核分裂生成物の一部が冷却水と共に格納容器内に放出される。格納容器内の圧力・温度の上昇をおさえるために格納容器スプレーがある。このスプレーは核分裂生成物を除去する機能も持っている。格納容器は耐圧気密構造で格納する機能をもつが，漏洩量を少なくするために，核分裂生成物を除去する空気浄化装置をもっている。このように格納容器スプレーおよび空気浄化装置によって除去され、残りの核分裂生成物は，格納容器から漏洩し，あるいは直接排気筒から施設外に放散される。この事故の波及を防ぐために特に設けた安全装置を工学的安全施設という。主なものは緊急冷却装置，格納容器，格納容器スプレーなどの圧力逓減装置，空気浄化装置である。格納容器圧力逓減装置としてはスプレーのほか，格納容器の一部に多量の水を貯蔵しておいて蒸気を急

速に凝縮させる圧力抑制装置，あるいは格納容器の一部に常時多量の氷を貯蔵しておいて，蒸気を急速に凝縮させる装置，アイスコンデンサなどがある。非常用ガス処理装置は，粒子性の放射性物質を除去するための高性能フィルタとヨウ素を吸着するための活性炭フィルタとからなる。

以上のように重大事故は，原子炉冷却水配管の瞬時破断を仮定し事故の経過と波及を技術的に解析する例が多い。この場合は緊急炉心冷却装置など工学的安全施設の機能と性能が考慮されるが，それにはConservativeな評価が加えられる。その結果①燃料被覆材が著しい破損をしないこと。②燃料を溶融させないこと。③Core coolingを損わないこと。④metal water reactionを著しく起こさせないことが確認されなければならない。仮想事故ではこの冷却材喪失事故にさいし，更に工学的安全施設の一部が効果をあらわさなかったと仮定し，燃料体が溶融した場合に相当する核分裂生成物が冷却水中に放出されることを仮定して，事故の波及を技術的に解析している。その結果はたとえば，燃料要素内に内蔵されている全沃素のうち，重大事故では10^{-6}～10^{-7}位が，仮想事故では10^{-4}～10^{-5}位が放出されると評価される。

V　原子炉安全対策上検討を要する点

想定事故に対する安全評価の信頼性を増すため，事故の模擬による過渡現象，工学的安全施設に関する実証データ，評価解析方法の研究の積み重ねが大切と思われる。平常時の場合については，低レベル放射性廃棄物の除去とその放射線影響およびその安全評価の方法，温排水問題について調査研究することが必要と思われる。

平常時の一般公衆に対する放射線影響の制限は前述の通りであるが，実際は放出量を低く押えるよう保安管理されるので制限値に比べ2ケタ近く低い。一つの原子炉から平常運転時に放出される気体状の放射性物質の量は平均して数mci／s程度であるので，その周辺公衆に与える影響は100man rem／year以下であると思われる。

しかし，平常運転時中の放射性物質の放出量を極力少なくするため，charcoal bedによるガスのhold upおよび，液体を蒸発濃縮して再使用することなどを行なっている。

原子力発電所から出る冷却水は復水器出入口の温度差を7 degとすれば，現在の軽水炉では1000MWeに対し約60m^3／secになる。放出口では表層水温に比べ5 deg位高いが，海面からの蒸発と拡散によって冷却される。冷却に要する海域を影響範囲と呼ぶ。平坦な海岸で静かな海洋では拡散は主に水平方向に行なわれ，深さ方向は2～3m位で，海表面の温度の影響は1～2 km^2 の範囲である。潮流，風，海岸線の形状，海底状況などによってそ

の範囲は異なる。影響表面積を減少するために放出口における拡散を人為的に増強すると影響は面から深さ方向にかわる。影響範囲の詳細を検討するには模型による方法がよい。温排水が魚類にどういう影響があるかということについては，特に将来の実地研究調査が必要と思われる。また温排水を利用した魚の養殖の研究もわが国では盛んに行なわれている。欧米のように内陸立地では大気などによる冷却が検討されるが，土地が狭く温湿度が高いわが国では，冷却は海岸に求める方が適切である。

講演－2

原子力発電所の運転と放射線管理の経験

関西電力株式会社
専務取締役　伊藤俊夫

1. はじめに

世界の原子力発電開発の状況は昨年末の調査では運転中のもの百数基，約2.580万キロワットに達し，このほか建設中，計画中のものが約220基に及んでいる。

我が国でも日本原子力発電会社の東海発電所が昭和42年に最初の商業原子力発電所として営業運転に入ってすでに5年近くなる。この間に同社の敦賀発電所，および関西電力の美浜1号機がそれぞれ昭和45年3月および11月に，次いで東京電力の福島1号機が昭和46年3月に相次いで営業運転に入った。

さらに電力各社がすすめておられる原子力発電所の建設，計画をみても，今や原子力発電は我が国エネルギー産業の実質的なにない手として，大きな役割を果たそうとしていることは明らかである。

最近運転に入ったものや建設中，計画中のものは何れも軽水炉である。軽水炉採用の理由は色々あげられるが，主として米国での運転実績が豊かであり，信頼性および経済性に優れているからである。

2. 運転，保守

日本原子力発電会社の敦賀発電所，東京電力の福島発電所，および関西電力の美浜発電所は営業運転開始以来，今日まで順調に運転を続け，予期した実績を得ている。

これら3つの原子力発電所は営業運転開始から今日まで平均すると約1.5年の運転実績を得ており，この間敦賀は2回目，福島1号機，美浜1号機は夫々1回目の定期検査を行ない，何れも特に問題もなく終っている。

(1) 設備利用率をみてみると

営業運転開始以来，昨年12月末までの各発電所の利用率は保修停止期間を含めて約60～70％（3発電所平均66％）となっている。

諸外国の10万キロワット以上の代表的な沸騰水型，加圧水型原子力発電所について運転初期1～2年間の実績をみると利用率60％を割るものが多く，これと比較しても水準以上のものと思う。原子力発電所は従来の火力，水力発電所よりも，本質的により良好な

計画性のある保守が必要である。

火力発電所でも同じことが云えるが，新機種のものは運転当初多少不馴れな点もあり，機械が十分“なじむ”までは予防保修に重きをおく点もあって慎重に運用する。

今後は保修の段取りがうまくなり，改良の成果もあがり利用率も向上してくるものと考える。

(2) 運転パラメータ，設備の稼動状態は十分設計を満足しているかという点をみると

原子炉，タービン発電機ともに各所とも運転パラメータは設計値を満足している。特に原子炉の核熱設計，制御，安全保護装置に不安がないことは今までの計測記録や発電所トリップ時の安全停止の実態からみて確信をもっている。

設備についていえば，発電所を停止して保修をしなければならなかったものは，一次系，二次系ともに弁，配管，ポンプ，タービンなどコンベンショナルなものが大部分で原子炉設備自体の欠陥というものは殆どないといえる。

今後コンベンショナルな機器の設計並びに品質管理に一層の努力が必要だと考える。

運転保守の経験は設計建設の仕事以上に大切で，後に続く設計，建設に反映させてより良いものをつくらねばならない。

(3) 運転，保守上の特殊性について

a．電気事業法によって，定期検査をタービンは2年毎，原子炉設備は1年毎に実施することが義務づけられているが，一方燃料燃焼度の進みによって燃料取替のためのプラント停止が加わるので，定期検査と燃料取替とは極力同じ時期に行なうことが必要である。

さらに現在の電力事情から見て長期の停止は夏季のピーク時を避けるべきである。

また今後原子炉の数が増加し，かつ1ユニットの容量も大きくなってくると相互の定期点検時期ができるだけ重ならぬ配慮が必要である。

従って現状は各原子力発電所ともほぼ全出力で連続運転をしているが，将来は負荷を調節してユニットの停止時期をアレンジする必要が生じてきている。

敦賀発電所ではすでに昭和46年の定期検査の時に燃料取替をしている。また敦賀および福島1号機では特に安全を期するためごく少数の燃料取替の経験もしている。美浜1号機では第1回の燃料取替は来年の始めの定期検査時に行なう予定である。

b．原子力発電所では放射線の存在が保守作業に大きく影響する点が火力発電所にはない大きな特異性である。

放射線レベルの高いところにも小型の弁や計測器類が多くあるが，これらの機器の部

品，例えば弁のグランドパッキングなどを取替える場合，放射線レベルの関係上運転中の作業ができないことが多く一旦停止して放射線レベルを下げて修理するという不便さがある。

これまでの例では高い信頼度の原子炉系主要機器に対して小型機器の部品の材質などの信頼度がうまく協調していない点も若干ある。従って今後はこういった小部品についても研究を進め信頼度の高いものが使用されると考える。

c．また原子炉冷却材圧力バウンダリの点検，検査については設備の全ライフを通じ厳重に実施してゆくことになっている。放射線レベルの高い場所を詳しく検査するには遠隔検査用の装置が大きな役割を果たすことになるが，今後いろいろの部分を能率的に検査ができる便利な検査装置あるいは工具の開発が必要であろうと考える。

(4) タービン系統の保守実績について

タービン系統の機器は火力発電所と大体同じであるが，これまでの実績をみると種々のトラブルはむしろタービン系統の機器に多く発生している。敦賀，福島および美浜の3発電所についてトリップや保修停止の原因になったものについて見ると原子炉系統の機器が原因になったものは10～20％(平均15％)，タービン系統の機器が原因になったものは40～70％(平均65％),その他定期検査や外部系統のトラブル等で停止したのは平均約20％となっており，ユニット停止の原因は原子炉系統よりタービン系統の方が大半を占めている。なお現在の軽水炉は飽和蒸気を使用しているのでタービンや蒸気配管の系統にエロージョンを生ずる可能性がある。これまでの実績からは全般的に特に問題とすべきものはないが，今後とも十分監視，点検をしてゆくことが必要かと考える。

(4) いくつかの改造について

国内の原子力発電所においてはこれまでの運転経験や最近実用化された新しい設計，技術を取り入れていくつかの改造を実施，あるいは計画している。

敦賀発電所と福島発電所の例をとると，従来，BWR では復水器の空気抽出器からの排気が気体廃棄物の大半を占めており，この排気は先ず再結合器によって排気中の水素と酸素を再結合させた後，減衰タンクで一旦貯蓄してさらにろ過処理してからスタックを通して大気中に放出していた。今回，この減衰タンクのあとにキセノン(Xe)やクリプトン(Kr) 等の希ガスを長時間ホールドして，これらのガスの放射能レベルをより効果的に減衰させるため，いわゆるチャコールベッドからなる希ガスホールドアップ装置を追加設置している。

敦賀発電所では最近これを使用開始し，排気中の放射能レベルは従来のレベルより2桁以上減少したと聞いている。福島1号機も近く完成すると聞いている。

美浜発電所においては現在の液体廃棄物の処理設備を強化する計画をしている。

3. 放射線管理

(1) 概　　要

次に放射線管理に関して若干述べたい。

原子力発電所においては在来の火力発電所にない新しい分野として放射線管理が挙げられるが，この管理のやり方如何が発電所の運転保守を左右する重要なものであると言える。

放射線被ばく管理は全般的に見て周辺環境に対する管理と発電所内の管理とに分けられる。法規にも放射線管理は厳しく規制されており，一般の人々に対する放射線の個人被ばくは発電所の放射線作業従事者より一段と厳しくなっていることはご承知の通りであるが，我々は発電所周辺の環境放射能の低減には最善の努力をはらっているのはもちろん，発電所で働く人々に対しても常に厳しく管理している。これまでの実績をみても発電の作業従事者の被ばく線量は日常の運転，保守の場合も，また定期検査で原子炉の周辺で作業した場合も常に法規に定める被ばく線量よりずっと低く保たれている。発電所周辺の環境放射能の管理については後にも触れるが，自然放射線に対して特に変化が認められず，発電所の運転が周辺の公衆の個人被ばくに影響を与えているとは考えられない。

(2) 原子力発電所内の放射線管理

原子力発電所では他の原子力施設と同様，人々がみだりに入って無用の被ばくをしないよう管理区域への出入については厳重な管理をしており，管理区域内では専用の作業服を着用し，各人にフィルムバッヂやポケット線量計を携帯させる。作業をするときも放射線管理員が予めサーベイメータで十分チェックし，その指導，指示に従って行なうようにしている。また管理区域内の要所要所に放射線管理測定器を配し，放射線の異常の有無を中央制御室や放射線管理室でメータや警報器によって監視している。さらに放射線レベルが高い所へは特別に許可されたものだけに限って立入れるよう制限している。

このように厳重な管理をしているが広い原子力発電所で放射線安全防護を徹底するためには発電所で働くすべての人達にこれを理解させることが大切である。そのため発電所員だけでなく，請負業者作業員全員にも予め講習会などによって必要な放射線安全防護の教育を実施している。

例えば美浜発電所における昨年の定期検査の場合を云うと，約2ケ月間に社員および業

者合せて管理区域へ入った人数は延べ3万人に及んでいるが，おかげで問題になるような被ばくを受けた人は一人も出ていない。

しかし，多数の請負業者に放射線安全防護の教育をすることは，かなりの努力と時間が必要で，特に一時的に出入する短期の業者作業員にまで徹底させるのはたいへんな努力が必要であった。従って，できるだけ業者自身でも作業員の教育をしていただくようお願いしている。

また管理区域内での作業従事者は予め血液検査その他の健康診断や放射線被ばくの前歴などのチェックが必要であるが，一時的に来られる業者作業員については不馴れのため作業の前になって検査を受けなければならないようなケースも出てくるので，一般的に言って業者作業員の被ばく歴などを能率よく確認できる方法など今後の課題かと考える。

放射線管理を徹底し，かつ能率的に実施するにはこれまで述べたような個人被ばく管理，区域管理やその出入管理を完全に実施することのほか，設備面でもそれぞれの設備の実状に適した測定器や作業に便利な個人被ばく管理用保護具などに工夫改良する余地があろうと考える。

(3) 周辺環境放射能モニタリング

原子力発電所周辺の環境管理は，発電所からの排気や排水を厳重に管理するとともに発電所周辺に配置したモニタやサンプリング採取によって放射能の状態を常に監視することによって行なっている。周辺環境放射能モニタリングは何れの発電所でも同じように実施しているのでここでは美浜発電所を例に周辺環境放射能モニタリングについてお話したいと思う。

美浜発電所では環境放射能の測定をすでに建設事務所ができる前（昭和41年）から水や土壌などのサンプルの放射能濃度の測定を重点に実施してきたが，燃料装荷の約1年前（昭和44年）からは更に発電所内外に設置したモニタリング設備で連続測定をしている。すなわち発電所内外4ケ所に配置したモニタリングポストと発電所の外に設けたモニタリングステーションによって空間の線量率や空中のダストの放射能濃度を連続して測定し，発電所中央制御室にそのDataを指示あるいは記録して厳重に監視している。また構内10ケ所，構外14ケ所にモニタリングポイントを配置して空間の積算線量を測っている。

またこれとは別に発電所周辺数十ケ所の地点を選んで毎月，同じ場所で空間線量率を測定しているが，原子炉が臨界になる前の測定結果も臨界以降今日までの測定結果にも特に変化は認められていない。

なおこれら発電所周辺のサンプリングや定期的な放射線レベルの測定は敦賀発電所と共に福井県と協同で実施しており、その結果は県の安全協議会（福井県環境安全管理協議会）で定期的に評価，公表されるようになっている。

4. むすび

以上国内のBWRおよびPWRを中心に原子力発電所の運転と放射線管理の経験を私自身の感想などを交えながらお話申し上げたが，未だ1～2年程度の経験であるので今後とも十分慎重な運転，保守を行ないその経験を通じて得られる貴重な記録や技術の進歩にともなう改良点などを積極的に後続プラントに反映させたいと考えている。

特別講演

放射性廃棄物管理と環境保全

イギリス原子公社ハーウエル研究所
工業化学主任研究員
R. H. Burns

はしがき

環境保護の必要性がここ数年の間に増々認識されるようになった。多くの場合、そのような認識は大へんに時期を逸したので、今までは、危害があらわれた後になってのみ対策がとられたことが屢々であった。

ふつう汚染の主要因となるものは工業廃棄物の取扱いと処分である。しかし、原子力産業は廃棄物管理の分野において際立って良好な実績を有することを矛盾なく主張することができる。なぜそう言えるかの理由はいくつかある。まず第1に、公衆の意見や不安感が、初期の頃から廃棄物の取扱いに厳重な規制をさせ、また厳格な規準を採用せしめた。次に、不要の放射性物質の取扱いと処分が安全に行なわれようにする責任は政府にあるというのがすべての国の方針となったことである。ふつう、登録制度が採用され、放射性核種を使用しようとする者はその使用する物質を取扱かう能力を有することを監督官庁に承認され登録しなければならないことになっていたし、現在もそうである。場処に対する或いは1使用者に対する放射性物質の供給を制限することにより、更に規制を施こすことが可能である。

ラジオアイソトープや放射線の利用から得られる潜在的利益は、その潜在的危険と相俟って、特に医学分野における広範な研究をもたらした。

放射性核種は生活水準の向上のために有益な手段を与え、そのことから、その利用は奨励さるべきである。放射性核種の治療や診断あるいは農業への利用、品質や生産を管理する為の材料検査への利用などが、原子力発電の開発に加えての種々得られる利益の例である。

人間は常に自然放射線にさらされてきており、放射線なくしてこの生物（人間のこと）が今までたどってきたような進歩をしたであろうかどうかは全く疑わしい。低いバックグラウンドの地域ではこの自然放射線量は年間１００ミリレムであるが、高自然放射能地域や高度が高い地域ではこの値が数倍になる。自然バックグラウンドのこの様な変化からは、人間の

健康に検知される変化をもたらしていない。

この自然放射線に加えられるべきものは、医療や工業で種々の形で用いられる放射線の利用による人間の被曝や、放射性廃棄物処分による非常に僅かで実際上は無視できる程度の被曝である。これら全部の合計は年間２０ミリレムのオーダーであり、そのうち廃棄物による寄与は0.5ミリレムより低いことはたしかである。

すべての放射線源からの人間の被曝線量を軽減することは、かなりの経費と不便をかければ不可能ではない。地下に居住することや厚い非放射性物質で構築した家に住むことで自然放射線の影響を軽減することはできる。医療におけるラジオアイソトープやＸ線の利用を禁止すれば集団に対する平均線量を軽減することはできる。しかしこれらの方法は正当でないし、我慢できるものではない。

放射性廃棄物と他産業の廃棄物との間には重要な相違点がいくつかある。それら相違点の或るものは好都合なものであり、或るものはその反対と考えることができる。すなわち、どの放射性核種も不変の半減期を有するので、放射性廃棄物は十分長期にほうっておくと無害になってしまう。それに対して非核物質たとえば毒性のある重金属などは環境中で全く変らず残留する。これら２種の廃棄物におけるもう一つの重要な相違点は、ふつうに最大許容濃度と呼ばれるものの値が桁違いに異なることである。表Ⅰに示す値は、いくつかのラジオアイソトープとそれらに対応する安定元素の家庭水道水中におけるふつうに受け入れられている許容水準である。しかし、ラジオアイソトープの場合に許容水準がはるかに低いけれども、その検知と測定法の感度は、はるかに大きい。（別表を参照）

第２欄の数値はＩＣＲＰ勧告にある週間１６８時間使用に対する飲料水中最大許容濃度の1/30から計算したものである。この軽減は、一般人の被曝を考慮に入れて行なったものである。

原子力産業、とくに放射性廃棄物の安全な処理処分にかかわる困難さにもとづく問題を考えるとき、日本と英国とに類似した条件があることは明らかである。両国とも島から成っており、海の漁業が重要である。人口密度はほゞ同じくらいで、英国が約2.4人／ヘクタール、日本が2.8人／ヘクタールである。原子力発電計画は英国の方が進んでいるけれども、近い将来日本の方が大きくなり得るし、そうなりそうである。

それゆえ、英国の考え方や廃棄物管理の方針を述べることは興味ありまた有益だろう。これから述べることは、どういう事が出来、どういう事をすべきかを明らかにし、原子力産業から得られる利益を人間と、その財産に損害を与えることなく求めることができるということを示

したいと思う。

英国の原子力発電計画

１９７０年における英国中央発電庁の組織は総計出力４７,０００MW の発電所から成り、大ざっぱには次のような構成になっている。[1]

	MW（送電端）	%
原子力（マグノックス）	3,０００	7
石炭火力	３７,０００	７９
石油火力	5,０００	１０
ガスタービン	1.５００	3
水力、揚水、ジーゼル	５００	1

同時に、１９７５～１９７６年での最大需要とエネルギー消費の推定値は５４,０００MW で、年間5.３%の伸びにあたる。この値は load factor を５６－５７%として求めたものである。余力を確保するため、１９７５年末までに全組織として６６,０００MW の設備容量を持つよう計画がなされており、大ざっぱな構成は下記のようである。

	MW	%
原子力	7,５００	１１
石炭火力	４６,０００	７０
石油火力	9,５００	１４.５
その他	3,０００	4.5

科学、技術が急速に進歩する時代において絶対的な確実さで将来おしはかることは不可能である。しかし、図Ｉに示すのが、英国における原子力発電の現状と将来計画である。

他の英国原子力施設の機能

使用済核燃料の再処理はウィンズケールおよびもっと小規模だがドゥンレイにて行われる。ウィンズケールの現施設は１９６４年に操業を始めたもので、前施設を含めると１２年以上の運転経験を有する。ここでは年間2,５００トンの天然および低濃縮燃料（金属Ｕと酸化Ｕ）を処理することができる。新しい Pu 燃料加工施設がウィンズケールに１９７０年操業を始めた。

カーペンハストＵ濃縮工場は発電炉用の低濃縮Ｕ生産の効率と能力増大のための改良拡大された。

スプリングフィールズは英国の原子力発電計画に必要な燃料を供給すると共に、１９６２年

以来海外の発電炉の為の燃料を加工してきており、合計３７の炉に供給している。英国原子燃料公社（ＢＮＦ）は年間3,０００tの６フッ化ウラン工場をスプリングフィールズに持っており、その能力を増大中である。

原子炉系の研究と他のすべての原子力分野における研究はドゥンレイ、オルダマストン、ウィンフリス、ハーウェルで行なわれている。主要なアイソトープ生産事業はアマーシャムのラジオケミカル・センターの責務であり、ここから毎年およそ１０万の荷が発送される。

英国の原子発電所からの廃棄物

英国の原子力発電所における廃棄物の“蓄積”は原子力施設法１９６５によって規制されている。“蓄積”とは、廃棄物が回収可能な方式で貯蔵されることを言う。それに対して、廃棄物の“処分”は、放射性物質法１９６０によって規制されており、そのものを回収する意図がない場合に用いられる。

実際上、すべての固体廃棄物は“蓄積”される。すなわち、それらは発電所内に備えられた貯蔵所に移される。それらは、使用済燃料の主要部分を再処理工場に送る前に取りはずしたいくつかの外装部分、原子炉の金属製構成部品、一般的な不燃性廃棄物から成っている。可燃性廃棄物は２種類に区分される。初めのカテゴリーのものは焼却するには放射性が強すぎるもので、これらは金属製ドラム缶に封入し、火災報知と対火災装備のある貯蔵庫にたくわえる。低放射能可燃廃棄物は取り分けて、効率よい排ガス浄化装置を備えた焼却炉のある３か所で焼く。

原子力発電所の液体廃棄物は集められ、イオン交換または濾過法あるいは両者併用で汚染除去を行なう。使用済の樹脂やフィルターは固体廃棄物として処理される。

ウラン濃縮と燃料加工からの廃棄物

これら事業ではその種の化学的および冶金学的処理から予期されるようにふつう種々さまざまな廃棄物がでてくる。放射能の濃度は低く、ある程度のウランを含む物質はすべてそれを回収するための処理がほどこされる。原子力産業の一部である表記の二つの事業からの廃棄物に関しては何等の困難も経験していない。事実、最も注意を必要とするものは、非核物質の廃棄物（とくにフッ化物）である。

燃料再処理からの廃棄物

放射能の含有量から言えば、使用済核燃料再処理から生ずる廃棄物が、原子力産業により生

ずる全廃棄物の９９.９％以上にあたる。これら廃棄物の放射能の９９.５％以上が、Pu と減損ウランを分離した後に残る核分裂生成物溶液の中に含まれている。

低レベル廃液は、UとPu の精製過程、使用した溶剤の洗滌、管理ラボ、機具除染、放射能洗滌などからでてくる。

固体廃棄物は、マークⅠの燃料要素のマグノックス被覆やマークⅡ炉のジルコニウムとステンレス被覆、使用済機器、汚染衣服、化学処理スラッジなどからなる。

大型原子力研究施設からの廃棄物

研究施設からでる廃棄物の放射能の濃度は通常、再処理施設からのそれよりずっと低い。しかし、その質や量はしばしば大きく変るので、廃棄物管理技術は注意深く計画されねばならないし、柔軟性に富んだものでなければならない性質のものである。

その他の廃棄物[2]

病院からでてくる放射性廃棄物の主要なものは液体である。これらの廃棄物は通常短半減期のアイソトープで汚染されたもので、下水の流量が十分に大きく放射性廃液の適切な希釈が可能であるならば、ふつうの下水管に安全に放出することができる。

英国では、１４０～１６０の病院が放射性廃棄物処分の認可をうけている。その他の多数の病院が正式な規制の対象からはずされているような、極めて僅量のそれを処分している。英国では主として短寿命のベータ放射能が年度約５００キュリーほど病院から廃棄物として処分されていると推定される。

学校での放射性物質の使用は極めて僅かで放射性廃棄物は無視できる程度しか生じない。しかし、大学では教育や研究にラジオアイソトープをかなり利用している。放射性廃棄物処分のための認可は個別に２００以上も大学に交付されている。実際の処分量は、ベータ放射能として年間５０キュリーのオーダーで、主としてトリチウムと^{14}Cである。

約４５０の認可が産業会社に交付されており、それらは何かの測定や管理の目的で少量の放射性物質を使用している。その廃棄物の量と放射能の濃度は、原子力施設で生じるものに比べて微々たるものである。

英国の法律

英国における放射性廃棄物の処分は現在、放射性物質法１９６０の規定に従わねばならない。

この法律で要求される事項には、放射性物質を使用する場処を登録することと、そこからの廃棄物放出を環境庁が地方関係機関にはかって交付した認可に従った方法で管理することとが含まれている。大きな原子力サイトの場合は、環境庁と農水産食糧省と共同で認可が発給される。

取扱かう放射性物質の量が極めて少量であれば、使用者は登録しなくともよい。この法律の条件にしたがわなくてよい。

認可なしに放射性廃棄物を処分あるいは貯蔵することは違法で、認可には、処分の方法、処分してよい量、その他適合しなければならない諸条件が規定される。認可がその基礎とする原理は、廃棄物はできる限り少なくすべきこと、個人の被曝線量がＩＣＲＰの勧告をこえてはならないことである。集団に対するこのような線量制限は経費の如何にかかわらずなされなければならないし、また、経費と便宜および規定された線量より、はるかに低くする国としての努力を考慮に入れて、合理的に実行できることを行なうよう要求されている。(3) ＩＣＲＰの勧告する最大線量は、自然放射線と医療上患者が受ける線量を除く他のすべての放射線被曝に対するものである。廃棄物処分からの線量は現在のところ極めて僅かであることが知られているので、廃棄物処分への特定の割当てはなされていない。

安全にやれるところでは、廃棄物処分をその地域で行なうことがすすめられる。というのは、この方式により取扱いや輸送の繰返しが避けられるからである。しかし、環境庁は、そこに処分の設備がそなわっていることを確認しなければいけないし、また、廃棄物と環境に対する適切なモニタリングが実施されていることを確める責任を有する。

英国における廃棄物管理の考え方

廃棄物に含まれる放射能を破壊することはもちろんのこと不可能であって、これら望ましくない産物を取扱う方法は理論上２つしかなく、すなわち、閉じ込めと分散である。実際上、これらの方法はどちらも１つ１つでは十分でなく、常に両者の組合せが実施される。

或る種のタイプの廃棄物に対しては、貯蔵もしくは閉じ込めが望ましいか或いは必要である。短寿命アイソトープを含む場合は、短期間の貯蔵で十分であることが多く、その後それは在来の方法で安全に処分することができる。

或る種の廃棄物には注意深い管理条件下での長期の貯蔵が要求される。英国の原子力発電所の場合、その貯蔵施設は固体廃棄物に対する適切なしゃへいと閉じ込めが備なわっていなければならず、また必要あれば回収できるようになっていなければならない。そのうえ、そのようなすべての貯蔵所は、発電所の寿命期間中に発生する全廃棄物推定量を受入れるに十分な容量

を持っているか、もしくは、いつでもそれを拡大できる貯蔵所で少くとも１０年間に発生するものを受入れるに十分な容量をもつものでなければならない。

長期貯蔵を必要とするもう１つの廃棄物は使用済核燃料の再処理から生ずる核分裂生成物溶液である。この廃棄物を環境に放散できるとはどの国でも考えられていない。この貯蔵には極めて高度の技術と高水準の精巧さが要求される。

英国ではこの核分裂生成物廃棄物は蒸発法で濃縮し、貯蔵タンク内に納められた特別のステンレススチールタンクに貯蔵する。核分裂生成物の崩壊熱を除去する装備や、漏洩の徴候あるときは別のタンクに移しかえる装備がほどこされている。

タンク貯蔵法は英国で約２０年採用されており、安全で経済的なやり方であることが証明された。この方法は今後１０年やそこいらの間は用いられるであろうが、このような廃棄物を液体状で貯蔵することは単に暫定的な解決法と考えられる。長期的には、これらの廃棄物を固化し、不溶性にすることが意図されており、英国ですでにかなり開発されたガラス化法が用いられるだろうと予測される。

不溶化することは、利用法が発見されるかもしれない個々の核分裂生成物を回収することをさまたげることになるのはもちろんである。その中に含まれているもので希金属（ルテニゥム、ロジゥム、パラジゥム）も或程度の興味を持たれているが、不溶性のものからこれらを抽出するのは不可能でないまでもやはり困難であろう。しかしながら、その時どきに生じる廃棄物の中にどの興味あるアイソトープも適当な量含まれているであろうから、液体状で長期間貯蔵する必要はなかろうと考えられる。もう１つ重要なファクターとして、ガラス化することにより処理工程が加わることからガス廃棄物の放出が増えることが有り得る。しかし、そのような放出も、健康に害のないよう管理されるであろう。

ウィンズケールには、とりはづしたマグノックス燃料缶やマークⅡ炉のジルコニゥムとステンレススチール被覆のような高放射性固体廃棄物の貯蔵庫も備えられている。これにはコンクリートサイロが用いられており、ガンマ線放出核種が減衰し、必要あればあとで回収できるほどの水準になるまで十分長い耐久力をもっている。

廃棄物の貯蔵に対して別の方法は環境中に放散させる方法である。しかし、この方法は低レベル廃棄物についてのみ可能であり、起り得るすべての結果を注意深く検討したあとでのみ可能である。そのうち最も重要なのは人間に放射性物質が戻ってくる可能性のある経路である。

放散させるやり方においてはふつう２つの方針の中の１つが採用されている。すなわち、１つは、すべての状況下で安全と考えられるレベル例えばいわゆるＩＣＲＰ勧告の空気や水中の

最大許容濃度のようなものを設定するやり方で、単位時間に放出される総放射能量に対する制限と組合すことが屢々ある。もう1つは、ケースバイケースで個々の特徴をとり入れて判断する方法である。前者のアプローチは必ずとはいえないが通常安全であり、不必要にきびしいことが多い。

後者のアプローチは英国で採用されているもので、今はＩＣＲＰによっても勧告されている[4]。このやり方に必刻なことは、放出されそうな各アイソトープの環境中挙動を検討し、そのうちで最も重要となるもの（しばしばきめてとなる核種と呼ばれる）を設定することである。また、人間によるその環境の利用状況、人間に放射線量を与えることになり得る経路（きめてとなる経路と呼ぶ）、そして最も影響を受けそうな公衆の構成員（きめてとなるグループ）についての検討が必要である。そして、きめてとなるグループといえどもＩＣＲＰの勧告する線量を越えて被曝することのないように放出できる放射能量を決めることが必要である。最終的に認可される限度は、上述の“実用基準”（訳註：きめてとなるグループがＩＣＲＰ線量をこえない放出率を指す）を上廻ることは決してなく、ふつうはそれより大幅に下廻る。このことの理由は、国の方針が、廃棄物は最少量に保たねばならず、放出はそれが安全であるというだけでなく絶対に必要であるという量しか放出を是認しないという基本的考え方にのっとって認可を与えることを要求しているからである。英国における放射性廃液の放出にかかわる被曝要因ときめてとなる被曝経路を用いたアプローチのやり方を表2に示す。

認可を与える官庁は、放出の始まる前後においてどのような研究、モニタリング、環境調査が必要であるかを決める責任をもっている。そこにはまた、認可を越えた放出が行なわれていないかまたその可能性はないか自身で確かめるべくどの施設にも入る権限を有する監視官がいる。

気体放出

大気への気体放出については、すべての原子力施設に同様の認可が適用される。定量的な制限値はきめられていないが、その放出は、“公衆の健康をそこなわぬよう”規制し、その地域の条件や状況に適切な配慮をして放出を軽減するため実行可能な最良の方法を用いることが要求される。

液体放出

廃液はきめられた下水、河川、汽水域あるいは直接海に放出が可能で、それらの場合の監督官

庁のやり方は、廃棄物放出の必要性を認めたとき、各施設に対して廃液の量と組成に対する限度を規定した別々の認可を発給することである。

トロッスフィニドを除いて現在のすべての原子力発電所は沿岸に位置し、或程度の低レベル或いは処理済廃液を直接海に放出することを許されている。同様の処置がウィンズケール、ドゥンレイ、ウィンフリスにて採用されている。トロッスフィンド発電所は湖岸に位置し、そこに放出が行なわれている。

カペンハストはマーセイ川に注ぐ小川に少量の放出を認可されており、スプリングフィールズはリブル河の河口域に廃液を出している。

オルダマストン、ラジオケミカルセンター、ハーウェルの3施設は、直接または間接にテームズ河に放出している。

低、中レベル固体廃棄物

原子力公社の施設からでる固体放射性廃棄物は北部イングランドの2か所に埋棄されるかまたは海に投棄される。それら処分場にはおのおの別の認可が発効しており、それらの方式で処分され得る廃棄物のタイプや量に制限が課せられている。

テムズ河への放出

おそらく最も大きい厳格度と困難さのあるケースはテムス河への廃液放出である。この川はロンドン市の主要飲料水源であって５００万人以上の水消費者がきめてとなるグループである。

１９５１年、英国ＭＲＣは当時のＩＣＲＰ勧告を基礎にして、テムス河の最大許容レベルに対する特定の勧告をした。放出液や河について、含まれるすべての放射性核種ごとに検討するのは実際的でないと考えられ、それらの毒性によって4つのカテゴリーに分類することは妥当であると思われた。そのレベルと分類は次のようである。

ラ　ジ　ウ　ム	4.0×10^{-10} μCi/mℓ
他 の α 核 種	2.4×10^{-9} 〃
CaとSrアイソトープ	2.0×10^{-8} 〃
他 の β 核 種	1.0×10^{-6} 〃

そしてこれらの値は互に独立した制限値とみなされる。

ここに示したレベルは職業人に対して当時勧告されていた最大許容濃度のおよそ1/100にあたる。これらの勧告値は飲料水に対するものであるけれども、放出点における河川そのものに

対して適用された。

１９５１年以後ＩＣＲＰ勧告にはいくつかの改訂が加えられたので、テムズ河の許容レベルを上げることは許され得ることであろう。しかし、３施設からの放出は、テムズ河に対する最初の厳格に規定した水準を越えないよう規制することが可能なので、数値の改訂は必要ないと考えられる。

上述の数値から、相対的毒性は、他のβ核種を１とすると、Ra が2,５００、他のα核種が４２０（近似として）、Ca とSr アイソトープが５０となる。

最上流にあるハーウェルの放出点における調和平均流量は６８１×１０^{9} mℓ／日である。それ故、もし他のβ核種のみ放出されるときは３０日間（１ケ月）に、

$$1\times10^{-6}\times681\times10^{9}\times30\times10^{-6}$$

または、丸い数字として２０キュリー処分することが認められ得る。もし廃液が４つのすべてのグループのアイソトープを含むときは、許容月間放出量は各放射能をキュリーであらわすと、

（Ra×2,５００）＋（他のα核種×４２０）＋（Ca－Sr×５０）＋（他のβ核種）＜２０

更に加えられる条件は、どの１日の中にも月間認可量の1/4をこえて放出してはならないことである。

もっと下流にある他の２つの施設に対してはこの２０という数字がそれぞれβおよびαになる。その理由はこれらの施設については放出口と放出口との間でこの川に流入する水量のみが希釈に考慮され得るだけだからである。

放出廃液と河水の試料は各施設と規制官庁によって検査され、新しくきめてとなるものが出現していないことを確かめのために河川の定期的調査が実施されている。さらに、ロンドン飲料水の純度に責任を有する市水道局に廃液試料が検査のため送られる。

ＡＥＲＥハーウェルにおける管理体系

テムズ河への放出に厳重な制限が課さられているので、実際の放出とともにこの施設内でもきびしい規制が必要とされる。図２はハーウェル原子力研究施設で操業中の廃液管理体系を示す。

なんらかの業務計画が立てられると、廃液のタイプ、量、推定放射能水準が評価される。そして高放射能廃液やすべての固体廃棄物を入れるための適切な容器が供与される。

容器が一杯になると、それらは廃液処理棟もしくは固体廃棄物取扱いセンターに移される。

さらに、放射性物質を取扱う各建物は“貯留”タンクまたは“減衰”タンクに連結しており、

そこへ放射性があるかも知れないすべての液体（既知の高レベル廃物を除く）を流し込む。初期の頃は図２に示すように、これらの液体は、“Probably”放射性と“Possibly”放射性との２通りに分けて別々のタンクに流し込んでいた。数年間の経験からこれら２通りの液の放射能レベルにはふつう余り差がないことがわかった。そしてその後のやり方は、既知の放射性廃液で建物内の容器に捨てるものと、建物の下水管に流入させるものとの２通りのカテゴリーに別けるだけにしている。

減衰タンクが一杯になったときは、内容物を混合し試料を採って放射能水準を測定する。そして、この液は低レベル処理プラントへ送ることができるか、或いは中高レベル処理棟で特別の処理を必要とするかの決定がなされる。

低レベル廃液は２個ある1,820m³ の処理前タンクの１つに入れ、混合し、試料を採って再び検査する。化学的フロキュレーションや吸着処理による汚染除去が実施され、それに必要な化学物質は廃液が反応室を通過するとき加えられる。生成した沈澱は浄化器内でスラッジとして除去され、浄化液は処理後タンクに送られ、ここで再び試料採取して検査する。もし廃液が放出するに応わしくない場合は再び処理のため処理前タンクに戻される。しかし、もし放射能水準がテムズ河に放出するに応わしいものならば、環境庁と市水道局の為に更に２つの試料を採取する。そして必要あればＰＨ値の調節をしてのち、廃液は放出管に送り出され、約１０Kmほどはなれた河に流出する。

放射能の蓄積が起っていないことを確かめるために放出口の下で河川や微細砂などの試料を更に集める。

浄化器から取出されたスラッジは凍結し、解凍し、真空濾過してのちコンクリートまたは例外的にはアスファルトに入れて固化する。

中高レベル廃液は適切な施設に移され、そこにはエバポレーターやイオン交換装置など種々の精巧な化学処理設備がととのっている。

選んだ方式は、化学的処理に引つづいて箱型遠心機の壁にバーミキュライト床を取りつけた中に廃液を通すやり方である。

表３にハーウェルでの放射性廃液処理から得られた典型的な除染係数を示す。

ハーウェルで生ずる他の３つの排水すなわちTrade waste、下水、表面水は放射性廃液について概説したのと或程度類似の方式で処理や管理の対象となる。

ハーウェルの固体廃棄物はふつう次のカテゴリーに分別される。

(a)　可燃性廃棄物

(b) 非圧縮性不燃性固体

(c) ガラス類

(d) 圧縮可能不燃物

(e) プラスチック類

これらの選り分けは、しゃへい室或いは閉封した場所で加圧服をきた作業者により行なわれる。用いられている種々の方法の解説を図4に示す。簡単に言って、容積縮少は可能ならいつも実施する。可燃性廃棄物は焼却する。圧縮可能廃棄物はつつみ込む。ガラス類はおしつぶしプラスチックは細片にする。

ハーウェルでは極低レベル或いは汚染の疑ある廃棄物といえども埋棄処分は行なっていない。それはこの施設がテムス河流域に位置しているからである。地理的および地質的見地から選ばれたイングランド北部の埋棄場の1つを利用している。

高レベル廃棄物は強化コンクリート容器に封じ込めて海に投棄される。容器はそれらが内容物のロスなしに海底（およそ5,０００m）に到達するよう設計されている。最近は、すべての海洋投棄がＥＮＥＡの監督の下に実施された。投棄方法、処分海域選定の基準、容器の規格の検証、投棄作業中の監視はＥＮＥＡに指名された実行委員会の責任である。

英国原子力施設からの放出と環境モニタリング

英国の原子力施設から放出される放射能については完全な記録が保存されなければならないし、得られた環境モニタリング結果は毎年公刊される。[5)(9)]

記録が完全な最近の年である１９７０年についての農水産食糧省の報告の中に次のように述べられている。－“英国では放射性廃棄物の処分を制限するきびしい基準が設定されており、その結果、公衆の放射線被曝は極めて低く、ＩＣＲＰの勧告および英国の処分方針の目標の中に十分おさまっている。この報告に記述されているデータから、このような高度の管理状況は保持されており、ＩＣＲＰ勧告のきびしい要求がみたされているのみならず、すべての処分において公衆の放射線被曝は規定した線量限度内に十分おさまっており多くの場合それよりはるかに下廻っていることがわかる。

上記結論の証明は表4の数値にみられる。それらの数値は、主要な英国原子力施設において認可放出量に対し１９７０年実際に放出した量のパーセントである。

結　論

施行されている法律に従う必要によって、新しいプロジェクトの発足時には常に、放射性廃棄物の処理処分に注意深い配慮がなされる。それ故、廃棄物の管理は、事業計画の構成要素になっていて、できれば無視できなければ最も安く容易な方法で解決するような単なるお荷物というようなものではない。

安全な実施を確実にすることを支えているもう1つの重要な要因は、地方にて在来の方法で解決できないこのような廃棄物に対して多くの国の処分サービスの規定があったことである。おそらく、これが原子力産業の良好な安全記録に主要な貢献をしたものといえる。もし安全で合法的な処分方法が容易にあればそれが行われるであろう。もしそのような方法がなければ、使用者は内緒で不十分な方法をとりがちである。

数年前英国で実施した広汎な調査[10]によれば自然放射線からの生殖線線量は平均およそ100ミリレントゲン／年である。これに、医療放射線による国民への平均線量19ミリレントゲン／年を加えねばならない。そのほかフォールアウト、夜光時計などから更に平均2ミリレントゲン／年が加わる。同時に、放射性廃棄物処分事業から受ける線量の推定がなされた。最高値として0.3ミリレントゲン／年が考えられ、今世紀末までにその10倍くらいに上昇する可能性があるがそれを越えることはないであろう。それ故、英国政府が1970年原子計画に関して報告[11]している中に、“・・・・・この分野における汚染の規制はおそらくすべての汚染防止方策の中で最も成功しているものであり、今後数十年の間改良の必要性の最も少ないものである”と述べているのは驚ろくにあたらない。

もし、原子力産業のような比較的新しい産業が廃棄物管理問題を満足なやり方で解決し得なかったとすれば驚異であり失望させるものであろう。解決を求めるための現代の技術と必要性と意志とが安全な実施に貢献した。明らかにいくつかの点で、この問題は他の有毒廃棄物の場合より容易であった。概して研究と開発にお金がより得やすかったし、この問題は、環境保護への関心が示され始めた時代に起った。それにもかかわらず、他の多くの産業は、原子力分野での経験から有益なものを得ることができよう。注意深い計画、きびしいが賢明な法律、適切な監視と管理、もしこれらがすべての産業の廃棄物処置に適用されれば、環境の汚染を甚だしく小さくするであろう。

TABLE 1

Maximum Permissible Concentrations of
Selected Radioactive and Stable Isotopes
in Drinking Water

Isotope	MPC of Radioisotope (mg/l)	MPC of corresponding Stable Isotope (mg/l)
^{51}Cr	6.9×10^{-9}	0.05
^{58}Fe	4.2×10^{-10}	0.10
^{64}Cu	2.6×10^{-11}	3.00
^{65}Zn	4.0×10^{-9}	5.00
^{131}I	5.0×10^{-12}	0.10
^{210}Pb	4.8×10^{-10}	0.10

TABLE 2

Exposure factors involved in the discharge of aqueous radioactive wastes

Site	Critical material	Critical exposure category	Exposed group
United Kingdom Atomic Energy Authority			
Windscale	Porphyra (laverbread)	Beta dose to GI tract	General public (South Wales)
	Silt	Gamma dose to whole body	Fishermen
Winfrith	Lobster and crab flesh	Beta dose to GI tract	Local fishermen and families
Springfields	Silt	Gamma dose to whole body	Dredgermen
Aldermaston	Drinking water	Beta-gamma dose to whole body (somatic and genetic hazard)	General public (Greater London)
Harwell	Drinking water	Beta-gamma dose to whole body (somatic and genetic hazard)	General public (Greater London)
Amersham	Drinking water	Beta-gamma dose to whole body (somatic and genetic hazard)	General public (Greater London)
Dounreay	Detritus	Beta dose to hands	Local fishermen
	Beach sludge	Gamma dose to whole body	Local fishermen and others
Chapelcross	Shrimp flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
	Sand and silt	Gamma dose to whole body	Salmon fishermen
Central Electricity Generating Board and South of Scotland Electricity Board			
Berkeley	Silt	Gamma dose to whole body	Salmon fishermen/ River Authority workers
	Shrimp and salmon flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
Bradwell	Oyster flesh	Beta dose to GI tract	Oyster fishermen and families
Hinkley Point	Fish and shrimp flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
	Silt	Gamma dose to whole body	Local fishermen
Dungeness	Fish flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
	Silt	Gamma dose to whole body	Bait diggers

- To be continued -

TABLE 2 (Continuity)

Central Electricity Generating Board and South of Scotland Electricity Board

Site	Critical material	Critical exposure category	Exposed group
Oldbury	Silt	Gamma dose to whole body	Salmon fishermen/ River Authority workers
	Shrimp and salmon flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
Sizewell	Fish and shellfish flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
	Sand	Gamma dose to whole body	Local fishermen
Trawsfynydd	Trout flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
Wylfa	Fish and shellfish flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
	Silt	Gamma dose to whole body	Local fishermen
Hunterston	Fish flesh	Beta-gamma dose to whole body	Local fishermen and families
	Sand	Gamma dose to whole body	Shellfish collectors

TABLE 3

Typical Decontamination Factors Resulting from the Treatment of Radioactive Waste

Process	Average Decontamination Factor
Simple ferric hydroxide precipitation	(20 for gross alpha activity (4 for gross beta activity
Calcium phosphate precipitation	(100 for gross alpha activity (10 for gross beta activity
Combined phosphate and ferrocyanide precipitation	(100 for gross alpha activity (50 for gross beta activity
Chemical treatment followed by vermiculite	(1000 for gross alpha activity (300-500 for gross beta activity
Synthetic ion exchanger - two stage	800-1200 for both alpha and beta activity
Evaporation	10^4 - 10^6 for both alpha and beta activity

TABLE 4

Major Discharges of Liquid Radioactive Wastes to Surface and Coastal Waters during 1970

Establishment	Percentage of authorisation used	Where disposed
Aldermaston	22 (Total activity)	River Thames
Amersham	35 (Total activity) 52 (Tritium)	River Thames
Capenhurst	1.8 (Uranium)	River Mersey
Chapelcross	2 (Total activity) 4 (Tritium)	Solway Firth
Dounreay	50 (Total alpha) 63 (Total beta) 17 (Strontium 90)	Atlantic Ocean
Harwell	36 (Total activity)	River Thames
Springfields	5 (Total alpha) 8 (Total beta)	River Ribble
Windscale	40 (Total beta) 46 (Ruthenium-106) 21 (Strontium-90) 19 (Total alpha November & December)	Irish Sea
Winfrith	4 (Total activity) 1 (Ruthenium-106) 1 (Strontium-90) 1 (Total alpha)	English Channel
Berkeley	50 (Total activity) 1 (Ruthenium-106) 1 (Strontium-90) 1 (Total alpha)	Severn Estuary
Bradwell	50 (Total activity) 10 (Tritium)	Blackwater Estuary
Dungeness	42 (Total activity) 1 (Tritium)	English Channel
Hinkley Point	63 (Total activity) 1 (Tritium)	Bristol Channel
Oldbury	8 (Total activity) 1 (Tritium)	Severn Estuary
Sizewell	12 (Total activity) 1 (Tritium)	North Sea
Trawsfynydd	35 (Total activity) 3 (Tritium)	Trawsfynydd Lake
Hunterston	32 (Total activity) 13 (Tritium)	Firth of Clyde

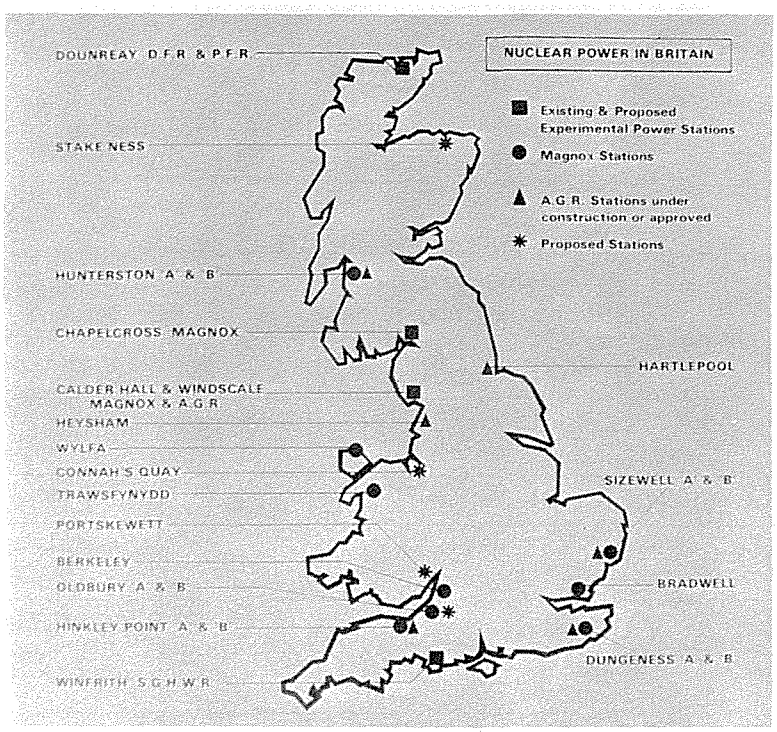

NUCLEAR POWER IN BRITAIN
Existing & Proposed Experimental Power Stations
Magnox Stations
A.G.R. Stations under construction or approved
Proposed Stations
DOUNREAY D.F.R. & P.F.R.
STAKE NESS
HUNTERSTON A & B
CHAPELCROSS MAGNOX
CALDER HALL & WINDSCALE MAGNOX & A.G.R.
HEYSHAM
WYLFA
CONNAH'S QUAY
TRAWSFYNYDD
PORTSKEWETT
BERKELEY
OLDBURY A & B
HINKLEY POINT A & B
WINFRITH S.G.H.W.R.
HARTLEPOOL
SIZEWELL A & B
BRADWELL
DUNGENESS A & B

図 — 1

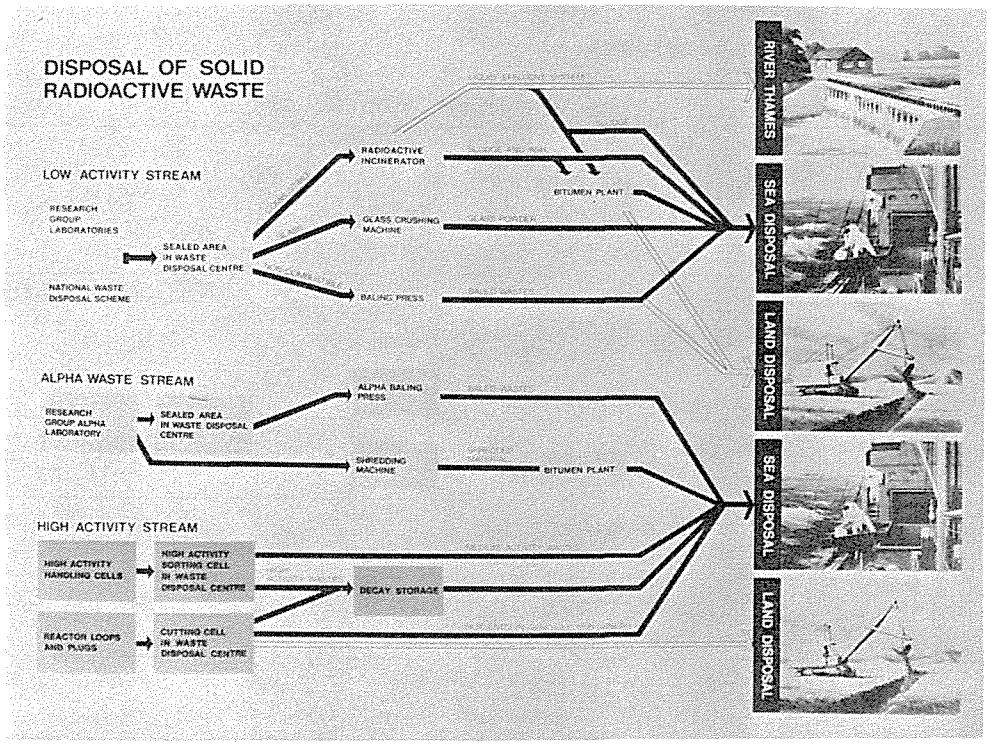

DISPOSAL OF SOLID RADIOACTIVE WASTE
LOW ACTIVITY STREAM
RESEARCH GROUP LABORATORIES
NATIONAL WASTE DISPOSAL SCHEME
SEALED AREA IN WASTE DISPOSAL CENTRE
RADIOACTIVE INCINERATOR
GLASS CRUSHING MACHINE
BALING PRESS
BITUMEN PLANT
ALPHA WASTE STREAM
RESEARCH GROUP ALPHA LABORATORY
SEALED AREA IN WASTE DISPOSAL CENTRE
ALPHA BALING PRESS
SHREDDING MACHINE
BITUMEN PLANT
HIGH ACTIVITY STREAM
HIGH ACTIVITY HANDLING CELLS
HIGH ACTIVITY SORTING CELL IN WASTE DISPOSAL CENTRE
DECAY STORAGE
REACTOR LOOPS AND PLUGS
CUTTING CELL IN WASTE DISPOSAL CENTRE
RIVER THAMES
SEA DISPOSAL
LAND DISPOSAL
SEA DISPOSAL
LAND DISPOSAL

図 — 2

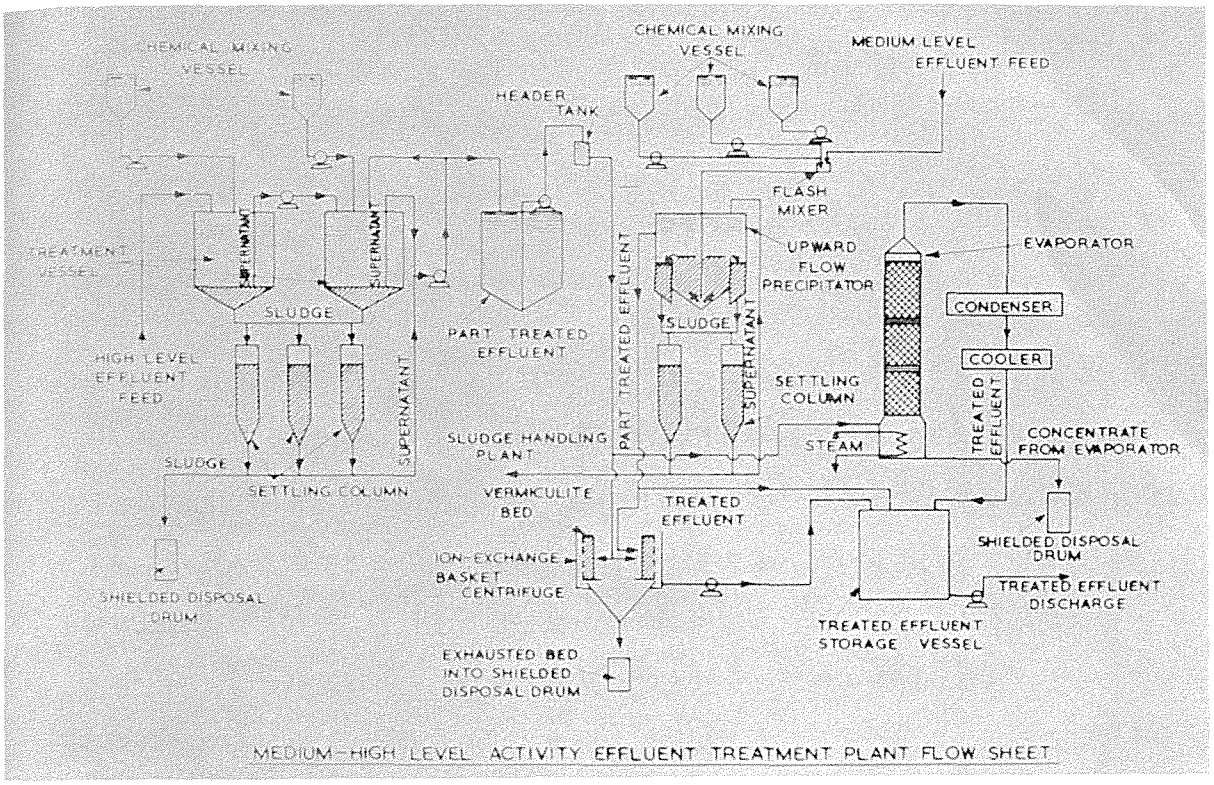

CHEMICAL MIXING VESSEL
CHEMICAL MIXING VESSEL
MEDIUM LEVEL EFFLUENT FEED
HEADER TANK
FLASH MIXER
TREATMENT VESSEL
SUPERNATANT
SUPERNATANT
SLUDGE
PART TREATED EFFLUENT
PART TREATED EFFLUENT
UPWARD FLOW PRECIPITATOR
EVAPORATOR
CONDENSER
COOLER
SLUDGE
SUPERNATANT
HIGH LEVEL EFFLUENT FEED
SETTLING COLUMN
TREATED EFFLUENT
SLUDGE HANDLING PLANT
SUPERNATANT
STEAM
CONCENTRATE FROM EVAPORATOR
SLUDGE
SETTLING COLUMN
VERMICULITE BED
TREATED EFFLUENT
SHIELDED DISPOSAL DRUM
ION-EXCHANGE BASKET CENTRIFUGE
TREATED EFFLUENT DISCHARGE
SHIELDED DISPOSAL DRUM
TREATED EFFLUENT STORAGE VESSEL
EXHAUSTED BED INTO SHIELDED DISPOSAL DRUM
MEDIUM-HIGH LEVEL ACTIVITY EFFLUENT TREATMENT PLANT FLOW SHEET

図 — 3

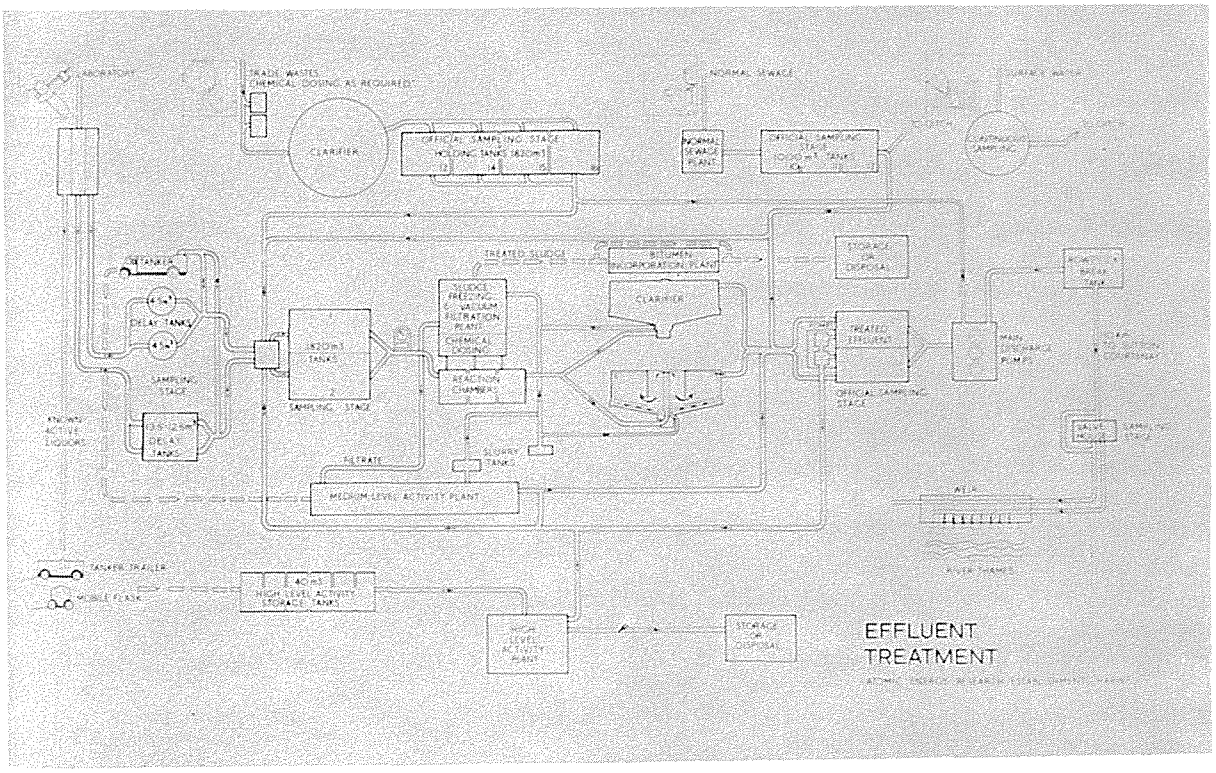

TRADE WASTES CHEMICAL DOSING AS REQUIRED
CLARIFIER
NORMAL SEWAGE
NORMAL SEWAGE PLANT
TREATED SLUDGE
BITUMEN INCORPORATION PLANT
CLARIFIER
STORAGE OR DISPOSAL
TREATED EFFLUENT
DELAY TANKS
SAMPLING STAGE
REACTION CHAMBER
FILTRATE
SLURRY TANK
MEDIUM LEVEL ACTIVITY PLANT
TANKER/TRAILER
MOBILE FLASK
HIGH LEVEL ACTIVITY STORAGE TANKS
STORAGE OR DISPOSAL
EFFLUENT TREATMENT

図 — 4

発表－1

原子力安全問題にとりくむ電気事業者の姿勢

日本原子力発電㈱
社長　白　濵　富一郎

人類の歴史は，約１００万年といわれていますが，最近の１００年の間に，急速な科学技術の進歩によりまして，文明は驚ろく程高度に発達したのであります。

その結果，物質は豊富となり，生活水準は１００年前とは比較にならぬ程向上し，感心したことではないと思いますが消費は最大の美徳といわれる風潮を生ずるまでになったのであります。が，その反面副次的に公害問題，環境保全問題が顕在化しまして，一部には人間は自然に戻るべきであるとか，これ以上の経済成長はもはや必要でないなどの極論がでるに至っているのであります。これらの主張にも，確かに傾聴に与いする一面もありまして，今後の科学技術の進むべき方向も，企業の進むべき道も，「人間中心の社会」即ち平和で明るい福祉国家形成に資するものでなくてはならないのであります。しかしながら，公害を撲滅して理想の社会を造るためにはどうしても大量のエネルギーが必要なのでありまして，さらにその中でも使用に便利な洗練されたエネルギーであり，しかも経済性もある電気に対する需要が今後一層高まることは疑いないところであります。また，将来の電源を原子力に求める傾向は世界的なものとなっており，特に水力や石油等の一次エネルギー資源の乏しいわが国としては，今後は原子力に頼らざるを得ないのは論をまたないところであります。

原子力発電は，現状においてはその経済性は在来火力に未だ及ばないのでありますが，公害，環境保全等の観点からこれを先見的にとりあげ，育成し，開発をはかることは，わが国将来のエネルギー確保上不可欠の要件であります。これはまた，「人間中心の豊かな風格ある社会」造りに大きく寄与するものでありまして，我々電気事業者の重大な社会的責任であります。

さて，電気事業法第一条にも事業の目的として「公共の安全確保」と「公害防止」が明記されておりますが，公益性の高い基幹産業である我々電気事業者は原子力発電の開発を進めるに当って「安全の確保」を最も重要視しているのであります。

このことは，ひとり我々電気事業者に限らず，原子力が当初軍事利用の原子爆弾として使用されたことから，その平和利用に当っても危険なものであるという認識に立って過去に例のない慎重さで開発が進められてきたわけであります。即ち，原子力安全に対する規制当局，製作者，電気事業者に共通する基本的態度は，「原子炉は潜在的に極めて危険なものを内蔵するも

のであるという認識」と今一つは「放射線は極く微量であっても人体に影響を与えるかもしれないという認識」，この２つの認識に基づいて最大の方策を講じているのであります。

このような認識にもとづき，事故は絶対にさけなければならないとの観点から設計に当っては，地震度，圧力，応力など設計強度上に大幅な安全余裕を見込んでおり，また重要機器の可動部分，例えばポンプ，弁類に多重性をもたせているのであります。

さらに，製作時，建設時において，機器，材質，燃料などについて厳しい品質管理が行なわれており，また，建設・運転を通じまして各段階ごとに慎重な試験，検査が行なわれるなど十二分な事故防止対策が講じられているのであります。

さらに，そのうえに，これら事故防止対策がいかに十分になされていても事故が起ることを仮定しまして，万が一事故が起ってもなおかつ大量の放射能を環境に放散しないための各種の設備，例えば非常用炉心冷却系，格納容器，非常用ガス処理装置などの工学的安全施設を設けているのであります。このように，原子力安全につきましては，国，製作者ともに万全を期したとり組みをみせているのであります。

次に，電気事業者としましては，安全性が確認され安定した運転性能を有する原子炉を導入し，それに地震，放射線対策など，わが国固有のきびしい自然的，社会的条件を加味して安全性を確保してきたのであります。さらに，放射能の環境放出については“as low as practicable”の理念のもとに設計，運転を行なっているのであります。

また，安全性研究については，諸外国の情報を入手するとともに自らも研究に努め，さらに原子力発電所建設，運転の知識経験を生かして積極的に安全確保策にとりくんでいるのであります。

即ち，原子力発電所の購入仕様書の作成，あるいは製作者の提案の再検に当っては，実際に原子炉を運転するものの目で，提案設計が実証性のあるものか，また従来の運転経験からみて信頼性があるかなどの点について重点的に検討を進めまして提案設計に対する追加，変更を行なっているのであります。これらにつきまして，敦賀発電所の場合をみますと，まず事故対策設備につきましては，

(1) 原子炉一次圧力系統の中小破断に対する工学的安全施設の多重化として高圧注水系の新設

(2) 非常用電源としてのディーゼル発電機の多重設置

(3) 仮想事故時における化学反応防止のための格納容器非活性窒素ガス封入系の採用など製作者提案に対して変更を行なわせた顕著な例であります。

なお，品質管理につきましては，事故発生の第一原因とみてとくに重視してとりくんでおります。

次に，平常運転時の廃棄物放出に対する対策についてでありますが，環境放出量は規準値をはるかに下回り，安全上実質的な問題はないとしましても，更に「実用可能な範囲に低く押える」という理念のもとに設計の変更あるいは運転を行なっているところであります。

とくに，この面に関しては常に積極的に調査検討を行ない，放射性物質の環境放出を低減する設備，あるいは運転方法について実用可能と判断された場合には，これを積極的に取り入れることとしております。敦賀発電所の例で申しますと，気体廃棄物関係では，設計時点では，米国では採用されていなかった放射能減衰タンクを設置しましたし，運転開始後の昨年，チャーコールガス処理装置を取り付けたこともこの態度の顕れであります。

次に，液体廃棄物関係では，当時米国で採用されていたものより，さらに大容量のエバポレータを設計時点にとりつけましたし，運転に入ってからも，運転方法，機器の改造等の検討をさらに進め，洗たく水等極めて低いものを除き，床排水に至るまで総ての処理を行ない，環境放出の低減をはかってまいったのであります。

なお，これら液体廃棄物の放出については，環境における濃縮，たとえば海洋生物による濃縮効果なども十分配慮しまして常に安全側の限度を定めて管理を行なっています。

次に，固体廃棄物につきましては，発電所内に安全な状態で保管されておりますので，環境には何ら直接的影響はないのでありますが，その最終処分の具体的な方法の早急な確立が望まれるのであります。

なお，以上申し上げた各種放射能が環境に悪影響を与えているかどうかを確認するために，原子力発電所の運営者として自ら環境放射能のモニタリングを行なっていますが，このモニタリングに当っては，地域住民の健康福祉を直接的に司る県当局と協同で行ない，そのデータの公正を期するとともに，測定評価結果を県当局を通じて地域住民に公表している次第であります。

最後に，温排水の問題につきましては，現状では漁業に対する影響は必らずしも明確ではありませんが，適宜補償を行っております。海水温度と魚類の生態との関係は未だ十分な解明をえておりませんのでなお一層調査研究に努め，その成果によりマイナス面は防止し，プラス面を利用するような施策を講じ，実施してゆきたいと考えております。

以上，我々電気事業者が貴重なエネルギー源である原子力発電の開発に当って，その安全確保にどのような姿勢でとり組み，これを確認しているかについてご説明申し上げたのでありま

すが，これらについて地域住民，さらには一般国民の皆様の理解と合意を得ることは，今後の開発を進めるに当っての不可欠の条件となるものでありまして，この点，十分なそして正しいＰＲ活動の必要性を痛感するものであります。

さらに進んで，先程申し上げた温排水の有効利用や，施設の一部活用などにより地域の福祉増進にできうる限りの協力を行ない，「豊かで明るい福祉社会」形成にその面からも貢献してゆきたいと考える次第であります。

発表－2

原子力供給産業における安全性追求の努力と成果

東京芝浦電気（株）
専任副社長　永　野　　治

原子力発電プラントを製造、建設する供給産業の任務は、信頼性高く安全性に富み、且つ、経済性に優れたプラントを供給することであります。原子力発電プラントは、その潜在エネルギーの大きいことと、放射線という問題が存在するため、開発の当初より、その安全性に対し、他の産業に例を見ない程、特別の配慮がなされて来たことは、すでに御承知のとおりであります。ここでは、経済性の面は別としまして、安全性、信頼性の面で、我々供給産業の行なって来ました努力と現状について申し述べることにいたします。

原子力工学という分野は、新しい技術分野であるため、原子力発電プラントの設計に当っては、保守的に、安全側に設計される面があることは確かであり、またそのように致しております。しかし、今や着実な技術の蓄積と、官民一体の努力により、安全設計の基本的思想が確立されつつあるといえましょう。

すなわち米国の１０ＣＦＲ５０（ＡＥＣ、施設許可規則）の再度の改訂による思想の整理、わが国原子力委員会における「動力炉安全設計審査指針」の制定、またこの安全設計の基本思想に基ずくプラントの設計建設に関する問題点が整理され、米国においてはＡＥＣの「Safety Guide」、わが国においては、日本電気協会諸規程となって表われて来ております。これと並行して安全評価の具体的内容の検討も行なわれ、非常炉心冷却系の再評価、放射能放出に関する具体的数値の指示等が行なわれました。さらに事故が起ってからの対策より、これを未然に防ぐ事がまず重要であるという思想にもとづき、設計、製作、据付、試運転を通じての厳重な品質保証（Quality Assurance）活動が重視され、前述の１０ＣＦＲ５０のAppendix Bとして Quality Assurance for Nuclear Power Plants が定められ、わが国においても日本電気協会にて「原子力発電所の品質保証」手引が作成されました。これに基づき電気事業者、供給産業一体となって品質保証活動に万遺漏なきよう努力致しておるわけであります。

このことは、また当然プラント運転の信頼性にもつながることでありまして、極めて大切なことと考えております。

以上の安全設計の基本思想に基づいてわれわれは設計を行なっておりますが、これには次のような点に留意するよう心掛けております。

すなわち、基本思想、基準に適合し、且つ必要な余裕を考慮した上で、最も合理的に設計を行なうのでありますが、これには、諸般の条件を十分協調させてバランスのとれた設計であることが必要であると考えております。また一連の事故現象、例えば、燃料の健全性、圧力バウンダリの健全性、非常炉心冷却系の特性、格納施設、非常用ガス処理系、敷地といった一連の現象を十分理解し、それによって夫々の機器、施設の適切な設計を行なうよう努力すべきでありましょう。さらに安全上重要な個所に対しては、運転に入ってからの試験検査すなわち供用期間中検査（ Inservice Inspection)が可能なよう設計上の配慮がなされなければなりません。

また運転マニュアルを十分整備し、これによって行なわれる運転の経験あるいは得られるデータを次の設計建設に反映させる努力も、我々の任務であると考えております。

さて、ふりかえってみますとわれわれが原子力に関する勉強を開始して以来１０数年経過し、その間、自ら研究用原子炉をつくり臨界実験装置を運転し、原子炉理論の修得と設計手法の習熟、技術者の育成に努めてまいりました。

また、日本原子力研究所における数々の研究、実験用原子炉や研究用諸施設の建設にも参画させて頂き、機器装置の設計製作の経験も積むことができました。現在は、大容量原子力発電所の建設時代ともいえますが、われわれは、これらの基盤の上にたって一段の努力を重ねた結果、今やそのシステム設計手法、安全解析手法等の基本技術は、大型電子計算機の整備とあいまって大むね確立できたと考えております。さらにまた外国技術をわが国に応用する場合にいくつかの独自の考慮が必要になってまいります。

すなわち、有数な地震国でありますわが国への原子力発電プラントの設置に際しては、きびしい耐震設計が要求されることになります。これには近来急速に発達してまいりました動的解析の手法を早くからとり入れ且つ消化してまいりまして、すでに数多くの振動解析用計算コードを整備しております。また複雑な機器の構成、水の存在等により、振動問題は困難な内容を多く含むものでありますが、適正なモデル化、理論による究明、さらに加振器を用いた大規模な実験を行なう等により、極力解析の精度向上に努力してまいりました。

廃棄物処理施設につきましては、運転中の原子力発電所における運転実績を十分検討し、より一層運転の確実、保守の容易さを目途に改良に努力し、液体廃棄物関係におきましては、システムの改善、機器の改良を行ない、床排水に至るまで、すべて処理をし、大部分の水の再使

用を可能にし環境への放出をできるだけ低減し、且つ運転のしやすさをはかっております。固体廃棄物は、発電所内に安全に保管されますが、これの減容化をはかるための努力も鋭意進めており、これと関連して濾過脱塩装置の改善も積極的に進めてまいりました。気体廃棄物は、すでにチャコールガス処理装置の応用が進められ、実用可能な範囲に環境放出量を低く押えるという理念に沿って開発をすすめております。

圧力容器、格納容器等安全上重要な機器につきましては、すでに多くの経験を積みまして、応力計算等、設計手法の確立はもとより、工場設備、試験、検査設備、品質保証体制の整備は、十分行なわれておるものと確信しております。先般外国に対する圧力容器の供給も行なわれたことは、すでに御存知のとおりであります。

供用期間中検査につきましては、ＡＳＭＥ　Boiler and Pressure Vessel Code, Section XIにのっとって、設計の時点から、考慮が払われております。

すなわち検査を容易にするため圧力容器胴部等の溶接線の配置に工夫をし、また主蒸気管、給水管等圧力容器のノズル部の検査が可能のように保温材、熱遮蔽を取り除くことができるような設計構造にしております。

検査の方法、技術に関しましては、外国の先進技術を積極的にとり入れておりますが、超音波探傷のための特殊な装置など新しい技術が必要になってまいります。また検査の手段としましては、超音波探傷のほか、カラーチェック、ＴＶカメラによる目視検査などを用いますが、なお今後も供用期間中検査の技術に関しまして開発を進めるつもりでおります。

前述の品質保証活動につきましては、狭義の品質管理という意味では、すでに以前より産業界に定着しておるものでありますが、近年の品質保証の理念及び、その体系と実際は、幸いにして米国技術による、原子力発電プラントの建設に参加して、直接われわれが体験できたものといってもよいのではないかと存じます。われわれは、設計、製作、据付を通じての各段階におけるこのための体制をととのえ、documentationの整備につとめておりますが、この品質保証の考えを、末端にまで徹底させるには、繰返し不断の注意と努力が必要であることを認識している次第であります。

安全性に関連しては、信頼性工学の考え方も重要であります。電子機器などについては、比較的信頼性理論と実際の設計とが以前から密接に関連し、原子炉安全保護系において多重回路方式を設けるなど考慮されている所であります。

さらに発電所の工学的安全防護施設につきましても、信頼性の評価を行なって、その設計へ反映させることが必要であろうと考えております。

次に作業安全の面につき若干ふれてみたいと思います。

原子力発電プラントの建設は、長期にわたっての作業であり、土木建築作業との関連などもきわめて複雑であり、われわれは、その作業安全に細心の注意を払っております。また燃料装荷以後の諸作業や試運転、そして運転開始後の補修、定期点検などの場合には、特に作業者の放射線管理が重要な事項となってまいります。幸いにして我々は以前より、自社において原子炉運転、燃料取扱い、放射線作業等を行なっており、保健物理、放射線管理の実務については、かなりの知識と経験をつんでおりました。従いまして、このような基礎にたって実際の発電所におけるこの種作業に対処するための体制、技術者の養成、器材の整備をすすめることができました。今後一層増大するこの種業務に備えて、さらに技術者の充実にもつとめ、放射線作業安全に落ちのなきよう努力するつもりでおります。

以上、今日までわれわれの積み上げて来た成果について説明申し上げましたが、１９５６年Calder Hall発電所が運転を開始して以来、全世界で稼動中の数多くの原子力発電所の運転実績、なかんずくわが国、敦賀、美浜、福島における実績こそ、安全性の面での大きな成果ということができましょう。

われわれ供給産業といたしましては、安全性、信頼性への技術向上に一層の努力を続け、次第に厳しさを加える環境問題にも対処し得るよう積極的にとり組む所存でございます。

以　上

コメント－1

科学技術庁　原子力局
次長　田　宮　茂　文

私どもは、国として、安全の確保という責任を負っているものでございます。私は、ただ今から現在、国といたしまして、原子力施設の安全を確保する為の仕組がどうなっているか、という事を申し上げ、そして仕組を動かしていく上での態度というものに触れたいと思います。まず、原子炉の設置の規制でございますが、これは皆様ご承知のように、我国では原子力発電所の建設に当りましては、原子炉等規制法に基づきまして、原子力委員会および原子炉安全専門審査会におきまして、その安全性が、慎重に審議された上で原子炉の設置許可がなされることになっております。この内、原子炉安全専門審査会は原子炉の安全性の審査には民主的な手続、および高度な技術水準が不可欠であることから、昭和３６年７月以来我国の最高権威者よりなる、多角的かつ、厳正中立な審査を行なう機関として原子力委員会に設置されております。

そして、原子炉の安全審査は、すべてこの原子炉安全専門審査会に諮って行なわれることになっています。その審査方法等につきましては、先程の内田先生のお話しの内容の通りでございます。

第２に、このようにいたしまして、安全性が確認されて、設置許可が行われます。その後、工事認可を受けて原子力発電所の建設が終り、運転を開始致しますと、放射線の監視という問題がございます。

この放射線の監視につきましては、運転中の原子力施設からの放射線、放射性物質のモニタリングにつきまして、原子炉設置者が液体及び気体の廃棄物をそれぞれの排出口において連続的に監視する義務があります。その他、敷地境界、敷地内においても、連続的に監視する体制を取っております。さらに敷地の外においては、定期的に水とか、土壌、農作物等のサンプルを採取いたしまして、それに含有される放射性物質の核種分析を行っております。これらの実施状況につきましては、国といたしまして、規制法に基づいて、政府が厳しくチェックする体制を取っておりますし、そのように実施しております、それに加えまして、地元におきましても、地元の代表、学識経験者等を含めた、発電所周辺の放射線測定データの確認、検討を行なう、第３者監視機構が設立されております。

例えば、福井県におきましては、福井県環境安全管理協議会が組織されておりますし、茨城

県では、東海地区放射線監視委員会がございます。

いずれも住民の代表、学識経験者等が、そこの構成メンバーとなっております。そのような第３者監視機構によって、さらに放射線監視に万全を期するとともに地元の意向を反映し得る組織、体制を整備することによって地元のご理解を頂だくと言う事が大事な事であると考えております。その他、日本全体の環境放射能のレベルを把握する為に、国の責任のもとに、国立試験研究機関、都道府県衛生研究所等におきまして、一般環境、すなわち、大気とか雨水、河川水、土壌、海水、海底土ならびに食品、野菜、牛乳、海産生物等をはじめ、人体の血液等についても、放射能の測定および核種分析を実施いたしております。また、海産生物、農作物等に対する影響については、地方自治体が定期的に調査を行っており、この調査は地域住民等を加えた、協議会等におきまして、検討を行っております。以上が環境のモニタリングでございますが、現在わが国で、とられている施設から放出される放射性物質の放射線に関する許容基準は、世界の放射線に関する専門家によって構成されております国際放射線防護委員会（ＩＣＲＰ）の勧告、ならびに我国の放射線審議会の答申に基づいて、定められたものでありまして、この基準は人体に対して、実際に影響が認められないと考えておるものであります。この基準に基づきまして、規制が行なわれておりますが、実際の規制につきましては、運転中の原子力施設は、運転開始前に、放射性物質の放出についての、保安規定を定め、国の許可を得る事になっています。そして、その保安規定に決められました規定値は、ＩＣＲＰならびに放射線審議会の答申に基づきまして決められました基準よりも、大幅に下まわる値を定めております。さらに現実の放射性物質の放出に当りましては、“As low as Practicable”の原則に従いまして、極力低レベルに放出する様に、放出管理がなされています。その結果、放出実績は保安規定の規定値をも十分に下まわりまして、気体廃棄物については許容基準の５０分の１となっております。また、液体廃棄物につきましては、最も厳しい場合ですが（核種が不明の場合、種々の核種が入っておりまして、核種が確定できない場合）法定基準の１０分の１以下となっております。

以上が原子炉の安全に関しまして現在、原子力委員会、科学技術庁がとっております具体的な規制のやり方でございます。最後にこのように規制をやっておりますけれども、原子力施設というのは新しい施設でございますし、また技術というものは常に進歩するものでございます。そのような規制をやる反面、原子力施設の安全を図るための安全技術の研究開発を政府としてオーガナイスする立場もございます。それから、放射線の人体影響、特に低レベル領域におきます放射線の人体への影響につきましてはＩＣＲＰ勧告にもありますように、現在は低線量領

域における、しきい値がないースレッシュホールドがないーという前提に基づきまして、規制が行なわれております。それは原子力施設等を規制するには正しい態度だと思いますけれども、又、反面、ＩＣＲＰの勧告の内にもあります様に、しきい値があるかもしれないと言う認識をもっている委員は沢山いるという風にも書いています。従いまして、低線量領域に於きます人体影響を研究し、その原因ー結果的な関係を設定する事は非常に大事な事です。

このような研究をすすめる立場も、私共にはある訳でございます。このようにわれわれは厳重に規制をやっております。また原子炉設置省、メーカー、国が一体となってやっておりますが、やはり、まだ努力が必要でございます。イギリスの有名な科学者、サー・ジョン・コッククロフトが言われましたように、放射線に対します民衆の感じは、いわゆる、インビジブルなものに対する恐れでございます。見えない物に対する恐怖でございます。従いまして、火や洪水と言うものは目に見えて、だれにも分かる訳でございますが、５ミリレム、１００ミリレムと申しましても、それは目で見えない。こういうものに対する恐怖は根強いものでございますので、そういう事をよくご理解頂だくように努力することが非常に必要であると思います。先般のジュネーブ会議におきまして、環境問題の議論の中でも、科学者、技術者の使います言葉を一般の人々に通訳することが非常に大事だといわれています。

その意味で、私共も含めまして、設置者、製作者が一体になりまして、なんとか技術的な言葉を一般的な言葉に直して、よく判かっていただき、インビジブルなものに対するフィアを解消する努力を今後ともしていかねばならないと思います。

コメント－2

通商産業省　公益事業局
原子力発電課長　武　田　　康

わが国の経済成長に伴い、エネルギー需要も急速に増大してきておりますが、その供給の安定化と低廉化をはかることはエネルギー供給上不可欠の課題であると考えられます。電力供給部門においてはこのため、火力発電設備の拡大に併行して大規模な原子力発電開発が進み、現在、日本原子力発電（株）東海、敦賀発電所、東京電力（株）福島１号機、関西電力(株)美浜１号機が順調に運転を行っており、又このほかに１０基の建設が進められております。さらに今後とも原子力発電にかけられる期待はますます強くなり昭和６０年までには6,０００万KWの原子力発電開発が予想されております。

このようにして、本格化した原子力発電は在来の火力発電所と異なり原子炉内に大量の放射性物質を内蔵しているため万一事故が発生した場合に放出される核分裂生成物により発電所周辺に放射線災害を及ぼすおそれがあるためその安全性の確保には万全を期す必要があります。このためメーカや電力会社においては、原子力発電所の建設や運転に細心の配慮を払って頂いておりますが国としても厳重な規制をおこなっております。当通商産業省も電気事業法に基づいて安全確保のために、次のような規制を行っております。まず原子力発電所を新増設しようとする電気事業では、通産大臣に電気事業法に基づく電気工作物の設置許可の申請を行わなければならないことになっております。

この申請がなされると、国は電気事業上の必要性に加え、発電所の安全性と性能について、技術的見地から原子力発電に関して、わが国を代表する多数の専門家に依頼して、通常運転時はもとより重大事故、仮想事故時においても安全であることの確認がなされてはじめて許可致します。なおこの過程は、内閣総理大臣に対して申請される原子炉設置許可の審議と並行して行います。

次にこうして許可の得られた原子力発電所の工事が開始される段階になると、その工事計画について認可が必要となります。この工事計画の認可の際には詳細設計が許可通りになっているか、技術基準に適合するものであるか等について審査を行い、安全性と所期の性能の確保が十分可能であることを確認します。

なお、この認可の際にも必要に応じてさきに述べた学識経験者の方々に意見を聞くことにし

ております。

さて、こうして工事計画が認可されてはじめて原子力発電所の建設が開始されるわけですが、工事の着工から運転開始に至たるまで、原子力発電設備が設計どおりにつくられているかどうか、また予定どおりの性能を十分発揮することができるかどうかをいくつもの段階でなされる厳重な検査によって確認しております。すなわちメーカに足を運び原子力発電機器配管について溶接部の健全性を確認するため溶接検査を行い、又核燃料についても設計通りの燃料が製作されていることを各段階でチエック致します。

一方発電所に対しては、上述の溶接検査に加えて原子力発電所が運転を開始するまでに段階をおって原子力発電設備の構造、強度、機能等の使用前検査を行っております。

さらにこれらの検査を受け運転に入った原子力発電所に対しても定期的に検査を行い、安全性の確認を続けて行っております。

第4番目に原子力発電所の工事、運転に関する保安を確保するために電気事業者が保安規定を定め通産大臣に届け出をしこれを遵守するようにしており、また必要に応じて、その変更命を出すこともあります。

第5番目にこうした許認可検査等の判断基準用として各種の技術基準が必要とされるわけですが、電気事業法に基づいて「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」「発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令」「電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令」等を制定し活用しております。

この他各種の主任技術者制度や技術基準への適合命令、さらに必要な場合における立入検査などにより原子力発電所の安全確保のために万全を期しております。

原子力発電開発の順調な進展に伴い。今後建設経験はもとより運転実績も積み重ねられることになるのでこれらを設計等にフィードバックさせるとともに、常に進歩をつづける原子力発電技術に対しては、たとえば技術基準の見直しを行う等して、これに積極的に対処し、公害がなく安全性の保証された原子力発電開発を進めていく考えであります。

コメント－３

放射線医学総合研究所
科学研究官　江　藤　秀　雄

① 原子力施設から環境中に放出される放射性物質は種々の経路を経て、直接あるいは間接に人体に放射線の被曝を与える可能性があります。したがって、原子力発電の安全性の問題も究極においては、とくに原子炉周辺における公衆に対する放射線被曝の危険性の判断に関係してまいります。

② 原子炉設置許可申請の段階においては、平常時における放射線管理に関しましては、わが国の現行法規に規定された許容量値が基準となり、また安全評価における想定された事故に対する周辺公衆への影響評価に関しましては、原子力委員会の「原子炉立地審査指針」に示めされている。“めやす線量”が目安となっております。

③ 従来の設置許可申請の審議の段階においては、いずれの例においても平常時および想定された事故時における被曝線量の推定値は上述の基準、あるいは“めやす線量”を相当下まわっており、その意味においては、安全性は確保されているものと考えます。

④ 放射線被曝による障害発生の危険度の生物学的推定の基礎をなすものは、いわゆる“線量－効果関係”、とくに晩発性影響に関する知識でありますが、一般的にいって現在のところ定性的な情報しか得られていません。したがって生物学的面から安全性の度合を一義的に論ずることはもとより困難な問題ではありますが、定性的知見の定量化の試みにあたっては、大別して２つの考え方があります。ⓐ自然バックグランド放射線のレベルを越える線量レベルについては、特定の障害の発生確率は被曝線量と直線的比例関係にあり、限界値が存在しないという考え方と、ⓑ一般に被曝線量がある程度小さくなると、とくに検知し得るような影響が出現しないという、ある種の臨床的経験に基づき、各組織、臓器に対し、“実用上の限界値”が存在するものと仮定すること、例えば最小限界線量の考え方であります。ここに最小限界線量とは、医学ないし生物学上の文献データを参照し、現在の医学的見地より、放射線障害を検知し得たか、または検知し得ると考える最小の線量の意味であります（昭和36年、放射線審議会、緊急被曝特別部会報告書参照。）

⑤ 一般に平常時の被曝の線量基準に対しては、ⓐの考え方が、また、事故時の被曝の線量指針に対しては、個人に関しては、ⓑ集団に関しては、ⓐの考え方がそれぞれ、設定上の基礎

的概念をなしています。

⑹　事故時における特別な場合は別として、現実に問題となる平常時における被曝は低線量、低線量率域におけるものではありますが、ⓐの考え方に基づく限り、とくに集団に対する被曝を“実行可能な限り低く押さえる”よう努力すべきことは当然であります。具体的には、自然バックグランド放射線の年内変動の範囲に収めようという考え方は妥当でありましょう。

⑺　実際に運転段階にある原子力発電施設については、その放射線管理、とくに環境の放射線管理の実態の技術的詳細に関して一般に公開されるべきは、当然でありますが、更に環境モニタリングの結果とその評価に関連する問題について統一的観点から十分な検討を行ないうるような組織機構の設置が望まれます。

コメント－４

全国原子力発電所　所在市町村協議会会長
敦　賀　市　長　　矢　部　知恵夫

私は、全国原子力発電所所在市町村協議会会長として地方自治体の立場から今日、市町村が当面する問題点について申し上げ、また、ご意見を伺いたいと思うのであります。

我々は、国益という立場から原子力発電が今後のエネルギー政策上極めて重要な課題であることを充分に認識いたしております。従って、この施策に協力することによって、また、自治体本来の使命であるところの地域開発あるいは住民福祉に対処いたしたいとの願望から原子力発電所の立地を推進いたしてきたところであります。

しかし最近一部に原子力施設の安全性・環境保護・温排水による漁業への影響、集中地域については複合汚染など安全確保の問題をとりあげ組織的な反対運動が各地において、極めて強力に行われ、原子力発電を受け入れたところの自治体の長は非常に苦しい立場にあることは、皆さんもすでにご承知のことと存じます。

しかしながら、これらの反対に対しても何等反論する資料も説明もなく、のみならず立地に基づく諸問題即ち、地域開発・環境保護・監視体制などの解決は、すべて自治体がその矢面てにたたされている現状であります。

悲しいかな現在、日本の地方自治体の力では、これらの問題を技術的にも財政的にも解決することができないのが事実であろうと思うのであります。今日では、施設者の安全の実証ということのみに依存してきた安全確保のあり方においても、国民的立場から慎重に検討を行うべきときであり、これら安全対策が国全体の問題として体系化されると同時に、その実証データーを国民に公開して協力を求める時期に来たるものと判断するのであります。

また、先に申し述べましたとおり、原子力施設地帯の整備・環境保護・監視体制など諸問題を解決し、原子力発電所の立地を円滑に推進するために、所在市町村に対するメリットのある財政措置を講ずるべき税法の抜本的な改正を強く望むものであり、これについては、関係市町村の総意により政府に要望いたしておりますが、何等今日まで国の明確な意向が示されていない実情であります。

以上、地方自治体が痛切に感じていることについて、率直に申し上げた次第でありますが、今後は政府自らがこれに対処する強い姿勢と政策を示さなくては、原子力発電所の立地は益々

困難になることを提言して私の発言を終りたいと思います。

宗像議長・締め括り

原子力発電の安全性を保つ事に就いては、関係者は常に極めて深い関心を持って居り、仮りに大きな事故などが起ったとすれば、原子力発電の其の後の展開は考えられなくなると覚悟をきめている位、極めて慎重に対処していると私は言い得るのであります。一方、エネルギー需要の増加に答える為めに、原子力発電が強く求められているので、安全性をいささかも揺がせることなく原子力発電をすすめるようにせねばならぬのであります。その為めには、関係するグループが個々に安全対策に関する精進をするのは勿論大いに期待しますが、精進の成果をゆっくり待つ訳にも行かず、又許されもしませんので、関係者が相互に精進の成果を交流し、国際的な交流も活潑にして、行届きかねる点を残すことなく手を届かせて、安全対策に抜かりのないようにせねばならぬと思います。幸い、他の工業分野に較べて、原子力開発の分野では安全対策には早くから手が打たれていますのを、更に、ゆるむことなく手配するのを重ねて、原子力開発に対して多くの人々に安全性についての信頼を得るようにありたいものであります。

原子力に対して特別な国民感情のある日本でありますし、又特に、人口密度の高い工業国である日本では、日本に特別な原子力開発と安全性に対する要請があるのはやむを得ませんので、原子力発電と安全性の問題が特に取りあげられた訳でありましょう。昨今、環境問題の台頭に伴われて、工業企業の概念の中に利益追求のみに傾くのを是正して、共存共栄の社会に嫌われるこのない工業技術の開発が要望されるようになろうとしていると見通しますので、効率一点張りの技術開発を環境重視の技術開発に切り替えねばならぬ点を感じます。そのような必要が新しく起って、殊に日本では特に強い要請が起るであろうと思えば、安全性確保の技術開発が重要に当然なって来る訳でありましょう。その必要さが〝必要は発明の母〟と言われるように、創意工夫の動機を作り、日本で原子力発電の安全性に関する技術開発が特に育つことを期待します。現に無理であると思われることも、創意によって、当然の理のあるものに改められた例は数限り無く、それが科学技術の発展を支えていることは、何人もよく承知されている所でありまして、切により多くの人々の斯の道への精進を期待します。

私共の日本原子力研究所も、その設立の由来に関連して、原子力の開発に関する安全性の確保に関する研究に、特に重点を置いて進めて行く積りで居ります。私共の研究機関は特に安全性に関する研究のような領域に関する業務については、国内の誰よりも関心深くなければならず、又業績をあげねばならぬと覚悟して居ります。そこで私共も精進をつくす決心で居りますが、関心をお持ちのかたがたの衆智の御支援をお願い致し度く存ずる次第であります。

特　　別　　講　　演

『環境とエネルギー』

議　長　　平　田　敬一郎　氏　（国土総合開発審議会　会長）

特別講演　　「原子力と環境」

〃　　「環境からみた原子力エネルギー」

議　長　　前　田　七之進　氏　（富士電機製造　社長）

特別講演　　「イギリスにおける環境と原子力」

〃　　「原子力発電所の集中地域周辺における環境放射能対策」

議　長　　松　根　宗　一　氏　（日本原子力産業会議　副会長）

特別講演　　「原子力発電開発の環境への影響」

原　子　力　と　環　境

立教大学教授
田島英三

今年の6月に「ストックホルム」で「国連人間環境会議」という国際会議が開かれますが，この会議のスローガンは「かけがえのない地球」ということであります。で，むかしは人間は，人間の活動に必要なエネルギーのもととなる天然資源の涸渇することを恐れて，国際会議を開いたものでありますが，今日は，人間の活動によって生ずる廃棄物の処分と，それによって環境がどんなに汚染されるかということに，世界中の人が頭を悩して，国際会議を開くような情況になっております。

これは原子力についても例外ではありません。原子力は開発の当初から，特に，放射線に対する一般公衆の安全については，慎重な態度で臨んできたことは，御承知の通りであります。特に，日本においては，原爆という不幸な経験もありますし，また，原子力の平和利用に踏み切った年が，偶然にもビキニ事件のおきた１９５４年であったという事情もあって，安全に対しては特に注意が払われて、開発が進められたということがいえましょう。

一方，世界の電力の需要は，日本を含めて，産業規模の拡大，生活レベルの向上，人口の増加等の原因により，急激に増大しております。そして，石油資源に関するいろいろな問題 ― 例えば，その確保がむずかしくなっていること，供給が不安定であること，輸送の問題，有効利用，そして環境汚染の問題の厳しさ等の理由によって，原子力発電の役割が年々増大しております。日本の原子力開発計画の見通しは，電気出力で，１９８０年に３２GW,85年に６０GW，２０００年に２２０GW となっておりますが，このような大規模な計画が，支障なく達成されるためには，次の３つの事柄がなされなければなりません。

第１は，放射性廃棄物が安全かつ経済的に処理処分できるということ。

第２は，環境の安全が確保されて，人間の健康にも，経済活動にもimpactを与えないということ。

そして，第３には，上の２つの事柄が，国内的にも国際的にも，充分な理解が得られるということであります。

放射性廃棄物の処理処分の問題は，環境問題に，直接つながる問題でありまして，現段階では，日本の原子力開発の現段階では最も取り残された，重要課題であると思います。日本の放

射性廃棄物の発生量は，遂年にこれをみますと，１９７５年頃を境として急激に増大します。即ち，低レベル廃棄物について申しますと，１９７５年の前までは，ドラム缶で年間６～７千本の程度でありますが，１９７５年を越すと，年間４万本，或はそれ以上に増加していきます。これは，１９７４年頃に再処理工場が稼動し始めるからであります。

従て，日本としましては，多量に発生する低レベル放射性廃棄物の安全な処理処分方法は，遅くとも１９７５年頃までに，確立しなければならないし，中レベルのものについても，これに引き続いて，その方法を確立しなければならないと思います。高レベルのものについては，体積も小さく時間的余裕もあり，問題の性質が世界共通な面が多いので，ＩＡＥＡ 等の国際機関において，世界共通の問題として処分方法を考えるべきであろうと思います。

しかし，日本のおかれている情況を考えますと，中低レベルのものでもなかなか大変なことで，前途には陸地処分については国内的にも，海洋処分については国内的にも国際的にも数多くの困難があることは明らかであります。そこでこれに打ち克つだけの Ｒ and Ｄを強力に押し進めると同時に，国の内外の理解を得られるように，直ちに行動を起すことが緊急な課題と考えます。

次に，さきに述べました日本の原子力開発計画に従って，開発が進められた場合に，日本の環境問題をどう考えたらよいか，ということを述べてみたいと思います。日本では１９８５年に６０GW ，２０００年に２２０GWの発電規模になる見通しですが，他の諸外国においても，開発が進められ，Spinrad の推定によりますと，世界全体の原子力発電規模は，２０００年において4,３００GW となっております。

このような状況のもとでの環境問題は，２つの面から考察する必要があります。第１は，日本全体を一つの環境領域と考えて，日本国民全部がうける線量を，man-rem という単位であらわした国民線量を推定することであります。そこで，この国民線量の寄与は，一体どこからくるのかということを考えてみますと，当然のことながら，日本に設置される原子力施設から環境に放出される，気体及び液体の放射性物質による寄与があります。

それから第二は，日本以外の諸外国の原子力施設から放出される放射性物質のうち，大気中に放出される Krypton-８５と水圏に放出される Tritium の寄与があります。これらの２つの核種は，その自然界における挙動のために，世界的な規模の汚染をひきおこすことになります。私は，１９７０年，'80年，９０年及び２０００年における，日本の国民線量の推定を行いました。その結果の一部をここに申上げます。

計算の基礎としましたのは，さきに述べました日本及び世界の発電計画であります。この計

算は，今度でる日本原子力学界誌にのりますので，ここでは申上げません。２０００年の時点における，日本の国民線量の計算結果だけを，Slide を用いて示します。

Slide に Global とありますのは，全世界にある原子力施設による，日本の国民線量への寄与でありまして，Tritium と Krypton －８５が，それぞれ水圏と大気圏とを拡散して，世界的な汚染をひき起すことによって生ずる線量で，日本人口１億人に対する値は，Tritium に対して，1.7×10^{3} man-rem／year, Krypton-８５に対して 1.3×10^{4} man-rem／year となります。この計算の大体のことを申しますと，２０００年における Tritium と Krypton －８５の総量を計算し，Tritium は北緯３０°から５０°の海洋の表層水７５ｍの海水に，一様に希釈され，我々の身体の水成分も，この海水と同じ Tritium 濃度になるとして計算したものであります。また，Krypton の総量は，対流圏の全大気の$\frac{1}{2}$の空気に希釈されるとして，大気中濃度を計算し，身体線量を求めたものであります。

Slide の Local というのは，日本の施設による寄与を示すもので，ここで Tritium の寄与というのは，日本の施設からでる Tritium が，世界の海洋に平均化される前に，日本の沿岸に漂い，日本の沿岸海域は世界平均より濃度が幾分高くなるだろうという考えに基いたものであります。その国民線量は，1.5×10^{3} man-rem／year であります。

次に，原子力発電所にしろ，再処理工場にしろ，Stack などから大気中に放出する放射性物質によって，施設周辺の放射線レベルが上昇します。その結果，一般大衆の被曝が生じ，国民線量への寄与となります。これを計算するために，施設敷地境界で，アメリカの Guide Line に沿って，５mrem／year の線量レベルとし，距離によって，1.３のベキに逆比例して減小するものとしました。また風向頻度も考慮にいれ，日本の人口密度は２７０人／Km²としました。これは日本の平均の人口密度でありますが，将来は，狭い日本の国土に，多数の原子力施設がおかれることを考えると，平均の人口密度を用いることは妥当であろうと考えます。その結果，国民線量の寄与は 1.3×10^{3} man-rem／year となりました。

次に，原子力発電所から沿岸海域に放出される放射性物質が，魚貝類を汚染して，人間に摂取されるために生ずる寄与を計算しました。この計算には，放出物質の核種，Curie 数のほかに，放出海域の大きさ等が必要でありますが，それには，敦賀の若狭湾をモデルとして計算しました。その結果は，１man-rem／year であります。再処理についても，Windscale 再処理工場の data を参考として，ほゞ同様な計算をしました。

これらの結果を総計しますと，２０００年の時点で，1.7×10^{4} man-rem／year となります。

この表の結果は，不確かな仮定の上に立っておりますので，勿論，精度はよいものではありませんが，大体の傾向を知る上には充分なDataであると思います。

そこで，注目すべきことは，全体の線量のなかに占めるGlobalな汚染のpollutantであるKrypton-８５の寄与が一番大きいということであります。次に大きいのは，global のTritium であります。このことは今後の原子力開発を進めるにあたって，一つの方向を示すもので，これら２つの核種の国際的な監視が必要であろうし，またこれら２つの核種を除却する技術の R and Dを国際協力のもとに大いに進める必要があろうと思います。また，世界汚染の大きな原因である原水爆実験は，こういう意味からも是非禁止されなければならないと思います。

Localな汚染の重要なPollutantは，全身又はGonad の照射に対しては，Cecium-137とCecium-134 であり，Bone Marrowに対してはStrontium - ９０であります。

さて，この表に示す線量をどう評価したらよいか考えてみたいと思います。それには，ICRPのRiskのProbabilityとK. Z. Morganの考え方に従って，1.7×10^{4} man-rem から予想されるRiskを計算しました。これが次のSlide であります。

Slide で，Genetic deathとして0.３人とありますのは，次代にあらわれるgenetic death でありまして，４０世代にあらわれるgenetic deathは，１２人であります。Life shorteningは７０年分の寿命短縮を１人のdeath と計算したものであります。これもMorganのやり方に従ったものであります。

２０００年の時点で，１年間にうける線量から，全部で1.８人或は１４人というRiskを犯すわけですが，これが大きなRiskか，小さなRiskか，或は社会的に許容されるものであるかどうかは，それぞれの立場があり，この数値だけからは答がでてまいりません。もっとも大きな立場から，社会を眺めたときに始めて答が得られるものであります。

さて，原子力施設の環境問題を，日本全体を一つのものとして捉えた場合の話をしましたが，敷地周辺のLocalな問題としても検討する必要があります。この場合には，放射線のほかに，温排水の影響が重要な問題となります。従来は，Local な環境問題を，付近住民，特に漁業組合との話合いなどで，Site 毎に解決して来たというのが現実であります。

しかし，将来の日本の原子力発電計画を考えますと，１siteの発電規模はScale upし，そのようなsiteが相当数，日本の沿岸に相並び，siteとsiteとの距離が接近するという状況が予想されますので，Localな環境問題を，単一なsiteの周辺の問題として解決することは困難となります。むしろ，いくつかのsites が１つのgroup をなして，いわば拡域な

環境をつくって，そこで問題を解決していくという方向に進むべきものと考えます。さきの計算でも，若狭湾を一つの環境として捉えましたが，この若狭湾の沿岸約４０Kmの間に，約1,200万Kw の発電施設が並ぶかも知れないと，いわれておりますが，将来，このようなgroup は，いくつかできることでしょう。

ところが，現在は，問題をsite 毎に，単に漁業権の補償という形で，安易に解決していますが，将来のことを考えますと，この方法は，電力会社にとっても，漁業者にとっても，果して将来のための真の解決の方向を目指しているか，甚だ疑問であると思います。特に温排水の問題は殆んど分っていない現状でありますので，今こそ現地において大々的に調査研究活動を始めるべきときであろうと考えます。最近，日本の沿岸漁業は，専ら資源的理由によって，高級な魚貝類を沿岸海域で，人工的に増養殖し，生産密度を高める方向に向いていると聞いておりますが，今後の調査研究活動によって，原子力産業と漁業者との共存ができる可能性を見出すことが，各段に強く要望されています。

さて，いままで原子力施設の環境問題を述べてまいりましたが，増大するエネルギー需要のなかで，原子力が正しく位置づけられるためには，原子力が環境に与えるimpactと，火力発電が環境に与えるimpactとを比較しなければなりません。火力発電には，SO_2，粉じん，温排水，原油の輸送，酸素の消費等の環境impactがありますし，原子力発電には，さきに述べたように，放射能や温排水，使用済燃料の輸送等の環境impactがあります。また，環境にimpactを与えるような事故の発生の確率は零でなく，原子力の潜在的危険度が大きいことを考えると，そのような事故も比較評価する場合に考慮されなければなりません。そのように考えてくると，impactを定量化して比較することは愈々むづかしい問題となって来ますが，いくつかの試みもあります。１つの試みとして，SO_2,粉じん及び放射能の安全規準を物指しとして，比較する方法であります。１例を申しますと，西独のカールス・ルーエのP. Yansenの論文でありまして，その一部をSlide にして参りましたので御覧にいれます。

この計算は，西独の１９７０年の発電量を，2×10^{14} Wh とし，その全量を，石炭発電でまかなった場合の放出されるSO_2，粉じん及びRa の総量と大気中濃度が示されております。大気中濃度は，西独で国土上空の大気２Kmまでの空気に混合するとして，大気中の平均滞留時間(mean residence time)を約２週間としております。３番目の列にありますのが，ICRP の最大許容濃度又は安全規準で，これで大気中濃度を割った比が，最後の列にかいてあります。この比が小さいほど，大気中濃度が規準値より遠いことを示し，それだけ安全であるという考えです。このうちで一番大きいのは，SO_2に対する比で，0.２４であります。

日本のSO_2に対する環境規準は0.0 5 ppm でありますから，これを用いますと，SO_2の比は0.2 4でなく，約2となりますので，このモデルでは，既に環境規準を上廻ることになります。

これに対し，2×10^{14} Wh の電力を，ＰＷＲ又はＢＷＲで発電し，その使用済燃料を再処理する場合の，同様な計算をしたのが次のSlide 表であります。再処理の対Krypton に対する比が一番大きく，0.4であります。

これらの表の結論として，Jansenらは次のように述べております。即ち，石炭発電も，原子力発電も — 再処理を含めると — それほど優劣はないだろうと。但し，再処理技術の開発によって，Krypton を除却することが可能になれば，原子力発電の優位は，火力発電に対して動かないものとなるだろうと。

これは一つの見解でありますが，この見解が成立するためには，SO_2の環境規準と放射能の規準とが，同じphilosophy の上に立ち，社会的に容認できるという意味で，同じ程度のRisk を意味するものでなければならないと思います。放射線についていえば，ＩＣＲＰ の一般人の線量限度は，必ず守らなければならないStandardであって，その値は５００mrem／yであります。この線量は，個人に対して白血病やその他のガンに対して，１０万分の１程度のRisk を意味し，これは社会的に容認される最大値であるとしています。実際は500mrem／yの1／100 程度の値が用いられますので，１年間の稼動によってうける線量のRisk は１千万分の１程度のものになります。

これに対し，SO_2の環境規準は，正確にいえば，Standardでなく，goal であって，行政の目標値として定められたものであります。その値は，日本では0.0 5 ppmとされておりますが，この値がどれほどのRisk を意味するか，私は知りません。恐らく，放射線の線量と効果関係のような，明確な考え方が確立していないのではないだろうかと思います。それはPollutant としてのSO_2の研究の蓄積が多くないからだと思います。

前に申しましたように，日本のSO_2の環境規準は0.0 5 ppmでありますが，大阪市で２４時間値の年平均値が0.0 5 ppm であったときに，慢性気管支炎の有症率が約５％であったという調査があります。この値は汚染のない地区の有症率の約２倍にあたりますので，これをICRP流に解釈しますと，本人及び社会的に許容される慢性気管支炎のRisk は，SO_2について，１万人につき２５０人ということになります。勿論，慢性気管支炎と白血病やその他のガンでは，人間の生命に対する厳しさは異りますが，この二つの規準は同じ philosophy の上に立つものとは到底考えられません。もう少しはっきり申しますと，ＩＣＲＰの規準は或いは一歩

ゆずって，これの$\frac{1}{10}$または$\frac{1}{100}$を使用する現行のやり方がより科学的であり，より社会的に容認されるものと考えるのであります。

原子力発電の位置づけを正しく求めようとするならば，原子力発電の環境問題も同じ基盤に立って議論を展開する必要があると思います。そのために一般公害の研究も大いに進められなければならないと思います。

いままで述べたことをまとめますと，次のようになります。

第１　人間の生活向上を計るために，電力の需要が増大することは避けられないが，その需要を満すために電力を生産すると，環境に何らかの impact を与えることも避けられない。

第２　原子力発電もその例外ではなく，環境にある程度の impact を与える。この impact をできるだけ少くするためには，放射性廃棄物の適切な処分を行わなければならない。日本では，遅くとも１９７５年までに中低レベルの固体廃棄物の処分方法を決定しなければならない。

第３　将来の原子力発電による日本の国民線量は日本の発電計画に関係するばかりでなく，世界の発電計画にも関係する。その何れの場合でもKrypton-８５とTritium が重要な寄与をするので，その除却は最も重要な課題となるだろう。

第４　将来の日本のLocal な環境問題は複数のsite をgroup にした広域環境を考えるべきであって，従来のようにsite 毎に問題を解決するのは将来の役には立たないであろう。

第５　原子力発電を，環境問題の立場から，電力エネルギー政策のなかに正しく位置づけるには，は，原子力発電及びその他のもろもろの発電様式の常時及び事故時の環境impactを正しく評価しなければならない。併しその信頼のおけるような評価の方法はまだできていない。

第６　最後に，環境impactは実行可能なかぎり少くするという根本姿勢はあくまでも堅持する必要がある。原子力発電が愈々実用段階にはいった今こそ強力にＲ＆Ｄを推進すべきときである。アメリカのTsivoglow 教授は，「昔は不可能と見えるほどの困難な問題も，R and Dによって見事に解決された例は少くない」といわれたがこれは味うべき言葉である。

Slide - 1

Population Dose of Japan at the Year 2000

Sources		Population Dose in man-rem/y
Global	^{3}H	1.7×10^{3}
	^{85}Kr	1.3×10^{4}
Local	H^{3}	1.5×10^{3}
	Atmospheric	
	Power R.	10^{3}
	Reprocessing	1.2×10
	Coastal	
	Power R.	1
	Reprocessing	2×10
Total		1.7×10^{4}

Slide - 2

Estimation of risk incurred by the population dose of 1.7×10^{4} man-rem

Genetic death	0.3	12
Leukemia	0.3	
Other cancer	0.3	
Thyroid cancer	0.03	
Life shortening	0.9	
Total	1.8	

Slide - 3

Plant	Pollutant	BSC, MPC	Production Rate	Concen-tration	Ratio
Coal	SO_2	0.5 (mg/m^3)	1.8×10^6t	0.12 (mg/m^3)	0.24
	Dust	0.1 (mg/m^3)	6×10^4t	6 x 10 (mg/m^3)	0.06
	Ra	1×10^6 (pCi/cm^3)	1.5 Ci	1.5×10^{-10} (pCi/cm^3)	1.5×10^{-4}

Slide - 4

Plant	Pollutant	MPC (pCi/cm^3)	Production Rate (Ci)	Concen-tration (pCi/cm^3)	Ratio
BWR	Xe - 133	0.3	4.5×10^8	1.3×10^{-4}	4.2×10^{-4}
	Kr - 85	0.3	4.5×10^4	1.4×10^{-3}	4.5×10^{-4}
PWR	Xe - 133	0.3	6×10^4	1.7×10^{-8}	5.6×10^{-8}
	Kr - 85	0.3	6	1.8×10^{-7}	6.0×10^{-7}
RP	Kr - 85	0.3	4×10^6	0.12	0.40

環境からみた原子力エネルギー

アメリカ原子力学会会長
ガルフ・ゼネラル・アトミック社社長
J．W． Landis

I．序　論

世界の人々をひとつに団結させるものがあるとすれば、それは我々の住んでいる環境を保存するための共通の戦い—すなわち生活の質的低下をもたらす退化現象から我々自身を救済することである。

しかし、人々はこの使命に参加する前に、環境の質的低下の原因とその結果についてだけでなく、その救済法に関する理解もある程度のレベルに達するように教育されているはずである。そのことがまきに、日本原子力産業会議が第5回年次大会のこのセッションのテーマとして「環境とエネルギー」を選定したことを私が喜ばしく思っている理由である。

私は今日の講演で教師の役割をはたそうとは思っていない。人類とその環境の関係については、私の理解の及ばない多くの問題が存在する。私は皆さんと同じように学ぶためにここに来たのである。

現在直面している問題は非常に複雑で、また重大であり、環境問題は在来の方法による解決を拒んでいる。それは総合的かつ合理的な公衆の討議によって解決の道が開かれるにちがいないが、人々が心を開いて問題に取り組まなければ、また考えを進めて国際的基盤に立って、自由に客観的に情報や考え方を交換しなければならないことを認識しなくては、そのような討論は実を結ばないであろう。（公害は人々の観念にある国家間の境界とか、相違には無関係なものである。）

私が皆さんに示そうとすることは、この考え方に基づいたものである。私は価値があると信じているひとつの観点をもっている。もちろん私はそれを皆さんに提示するつもりである。しかし、我々が歴史上の現時点で直面している重大な「環境対エネルギーの危機」に関して、我々の共通の洞察力を深めるように、ある種の対立する考え方を明確化できなければ、私の話は幾分不成功なものとなるであろう。

したがって、私がこれからお話する意見に、時間が許すかぎり参加することを皆さんにすすめたい。

Ⅱ．エネルギーの危機

皆さんは、唯今私がとり上げている世界的な規模の危機の問題についてはよく承知しているであろう。それは基本的には化石燃料の危機であって、簡単にいえば、エネルギーの需要が増大し、その質が低下し、貯蔵燃料が急速に減少し、そして環境が質的に低下することによる種々の複雑な、かつ緊急の問題である。

この危機のもたらす恐しい結果を理解している国はわずかであって、もし阻止されないままで放置されれば、日本は最悪の状態になる。日本の健全な経済は多量のエネルギー、特に電力の消費によって支えられている。日本は、その燃料の大部分を外国の資源に依存しており、例えば、石油の９９％を輸入している。日本は、米国と同じように、大気汚染に苦しんでいる。

A．化石燃料の環境への影響

大気汚染は化石燃料の燃焼の最も顕著で最も有害な結果である。この種の汚染の大半は自動車の運転に由来するが、私はここで、自動車よりは少ないが、発電所が基本的原因をなしている問題に関して、論評を集中したいと考える。これに限定する理由は、原子力が環境に与える影響と、近い将来その原子力にとって代られる化石燃料発電所の与える影響について検討しようと考えてきたからである。したがって私がこれからのべようとする比較は、現実に発生しているいくつかの事項に関するものである。

化石燃料発電所から出てくる最も不愉快な物質は硫黄酸化物と窒素酸化物である。

米国の電気事業者の煙突は、１９７０年中に石炭および油の燃焼ボイラーからの1,700トンの硫黄酸化物を大気に放出した。この量はその年の特殊廃棄物の全放出量の約５５％に相当する量であった。この他の主な放出源は家庭用暖房装置、産業プラント、および自動車であった。

米国連邦動力委員会の予測が正しければ、１９９０年には、米国の発電所から放出される硫黄酸化物の量は3,７００トンをこえるであろう。

さて大気汚染の状況に話をもどすと、最近の調査によれば、ロサンゼルス盆地の約4,000平方マイルにわたって、全放出源から１日あたり8,４００トンの汚染物質が大気に排出されたことが判明した。この多量の有毒物質は７００トンの窒素酸化物と５５０トンの硫黄酸化物を含み、その他の物質は主として一酸化炭素と炭化水素である。これらの汚染物質は動物の生命、草木、建築物、および多くの工業製品一例えばゴムタイヤなどに損傷を与える。事実、ロサンゼルスのタイヤ倉庫は貯蔵品を腐食から防ぐために、倉庫に特殊空気フ

ィルターを設置しなければならなかった。

電気事業者の発電所の運転によって放出される汚染物質の量を減らすことは、もちろん可能である。しかし、ほとんどの場合に、そのような調整装置をとりつけることは非常にコスト高となる。

例えば、小煙突から出るガス中の硫黄酸化物を減らすには、量の不足がちな、より高い低硫黄の石炭または油を使う必要がある。汚染物をあまり出さない天然ガスを使うことはもうひとつの代替的手段であるが、米国においては少なくとも天然ガスは近い将来に姿を消してゆく資源であり、これについてはこの論文の次の章でもっと詳細にのべるつもりである。

ボイラーを低温で運転することによって、窒素酸化物の放出量を少なくすることはできるが、これは熱効率の低下をもたらし、逆に環境へより多くの排熱の放出をしなければならなくなり、仮りに所要の出力を得ようとすれば、より大型の施設や設備をもたなければならないことになる。

燃焼生成物の主な物質は炭酸ガスであり、これは通常は汚染物質と考えられてはいないが、数人の科学者たちが警告しているように、大気中の炭酸ガス濃度がこのままで実質的に増加すると、深刻な不可逆的な損傷を地球に与えることになろう。この損傷は、いわゆる「温室効果」と呼ばれるもので、大気中に滞流する熱によってもたらされる現象であり、地球の極点の氷山を溶かすことになるであろう。

化石燃料の使用の増加によって、汚染はたしかに人類の生活環境にとって最も重大な強敵であるが、その他にも危害を加えるものがある。その主なもののひとつは重油の流出である。

5年前の3月に118,000トンの船、トリー・キャニオン号が英国の南海岸で遭難し、その海岸と海水を数マイルにわたって汚染した。その重油の流出で200,000羽以上の鳥が死んだ。その区域の海中生物は以前の平衡状態に現在もなお回復していない。

重油流出の危険は1967年におけるよりも今日では一層深刻になっている。それは世界の海洋で大規模に運航している巨大タンカーのためである。これらのビーモス（巨獣、巨大タンカー）は330,000トンの大きさになろうとしている。もしそのひとつが破損すれば、約1億ガロンの重油が海に排出される。この量はトリー・キャニオン号から流出した油の実に3倍にも相当する。

この恐怖が近い将来なくなるかどうかは疑わしい。超大型タンカーは船腹数も、大きさ

も急速に増大化の傾向にあるからである。

おそらく数年のうちにその数は現在の２倍となり、そのサイズも５００,０００トン以上になるであろう。それらの運航の安全性を管理する法規と手続きは強化されているが、今後予想されるもっと多くの災害の発生を防止することはほとんど不可能であろう。

油の海中掘さくは、もうひとつの汚染源を形成する。１９６９年１月に深海中の油田がカリフォルニア海岸で爆発し、その海域の海水表面に数千バレルの油が流出した。８日間に６６０平方マイルの海洋が油でおおわれ、１００マイルの海岸が汚染された。海中生物への損傷、および特に鳥類に与えた損傷は非常に大きく、美しい観光都市としてのサンタ・バーバラの海岸はすっかり汚れて濁ってしまった。その浄化作業費は５００万ドルを超えたといわれる。

米国における石炭の露天掘りは、もうひとつの環境汚染をもたらした。最初のスライド（Ｓ－１）からわかるように、これらの作業における人間の思慮のなさに対する無言の抵抗として、地方の醜い体裁のわるい傷跡が残された。幸いにも、米国でも他の国々でも、新しくできた埋立に関する法律が美観の回復を要請している。

B．化石燃料の利用の可能性

人類はすでに大量のエネルギーを消費し、また近い将来に多量のエネルギーを必要とするので、我々は化石燃料をできるだけ節約し有効に使うであろう。あらゆる資源の枯渇が切迫しているわけではないが、世界の多くの地域はすでに燃料の特殊なもの、特に天然ガスと低硫黄の油と石炭の需要を満すことが非常に困難であることを経験している。

米国科学アカデミー（ＮＡＳ）の１９６９年の研究によると、この枯渇の大半は過去数十年間に発生している。[1] 例えば、石炭は８００年間以上にわたって掘られてきたが、その全生産量の半分以上は過去３４年間に採掘されたものである。また、世界の石油の累積消費量の半分以上は過去１５年間に消費されたものである。要するに、人類は第２次世界大戦以後、それ以前に消費した量より多くの化石燃料を燃焼したのである。

地球上の有限な化石燃料資源は、そのような猛烈な消費攻勢に耐えることはできない。特に電力の消費量は１０年間に２倍になるといわれる世界一般の予測に直面して、その傾向は益々強くなっている。

日本の通産省は、日本における石油の消費量が１９７０年の２億４７０万Kℓから、１９７５年に３億2,３００万Kℓに増加するであろうと予測している。これは５年間に５０％以上の上昇である。しかし、この大きい伸び率も、電力の消費量の予測伸び率よりはる

かに小さい。通産省は、この同じ5年間に使用電力量が2倍の5,500億KWhになると予想している。[2] これは日本の経済が、世界の他の国に比べて如何に早く成長するかを顕著に示すものである。

1967年の「World Oil」誌は、自由世界における油の推定埋蔵量は5,055億バレルと発表した。[3] もっと大まかな推定では、その量の3倍の数字を上げているものもある。

現在の自由世界の油の需要量は1日あたり約4,000万バレルである。これは簡単な計算によったものであるが、需要の増加がないと仮定しても、我々は今後34～100年間の供給しか受けられないことを意味している。

需要の計画的増加を考慮に入れると、あと最大限数十年間分の油しか我々はもっていないことになる。

ちょうど先月、米国石油協会における講演で、ガルフ・オイル社々長のB．R．ドウシーは、米国の油の危機の重大さについてのべた。

彼は、「1985年までに政府の政策と規制に変化がなければ、アラスカのノーススロープからの油も入れて需要の43%しか国内業者は供給できないであろう」と語った。

同じような状況が石炭と天然ガスの利用の可能性についても予想される。なぜなら前者は幾分楽観的であり、後者は油よりも幾分悲観的だからである。私がよく理解している地域について推定してみると、米国の主要な地域は、この点では比較的豊富な領域であると考えられる。

米国の天然ガスの確定埋蔵量は、アラスカ地方を除いて、約259兆6,000億立方フィートである。これは現在の消費率で計算すると、今後12年間分の供給量である。新しく発見されるものを予測に入れても、これらの埋蔵量は、1974年から約10年間の供給の延長が期待されるだけで、その後は次第に低下すると考えられる。

石炭は比較的豊富であるが、環境面から考えると、たとえ硫黄酸化物および窒素酸化物の新しい除去方法、すなわち発電所の煙突、および処理過程における石炭自体の両方からの除去方法が開発され、状況がたしかに改善されたとしても、それを大量に消費することは制限されるであろう。石炭の大きな障害は、そのコストが急速に上昇していることである。近い将来、その価格は中央発電所用燃料の世界的市場から決まるものと私は予想している。

この灰色に描かれた予想の基礎をなすものは、発電用の化石燃料を燃やすことが、貴

重な天然資源からの多量の廃棄物をつくり出すという事実である。それらは、ゴム、プラスチック、繊維、薬品、および食料ーこれはたしかに究極の使い方であるーさえも生産するために、保存されるべきである。

C．可能性のある解決策

環境を損わないで世界のエネルギー需要を満たすための現在の必死の努力の中で、いくつかの可能性のある解決策が人々の注目を集めてきた。そのひとつはエネルギーの1人あたりの消費量を減らすことである。その他、代りとなる資源、すなわち水力、地熱、太陽熱、および原子力などを有効に使うことである。

例えば、電力の使用量を著しく減らす結果は、日本や米国のような高度に工業化した国家では大きな変動をもたらすことになるであろう。ＵＳＡＥＣの前委員長グレン・シーボーグ博士は、この危険について我々に警告を発し、次のようにのべた。

自然環境を安全に保護するための我々の義務に加えて、技術によって維持される社会を発展させるための動力源を国民に供給することを援助する義務を我々は負っている。環境問題に関する今日の騒々しい反対の声は、将来において電力のピーク・ロードを満すのに十分な発電容量が足りなくて、人々を長時間の灯火管制などの節電に追いやることを知っている怒れる市民の声に比べれば、とるにたりないものである。その消灯はおそらく数日間の不便をもたらし、人々の健康と快適な生活は彼らの家族とともに深刻な打撃をうけるであろう。

生活に必要なエネルギーを断たれた都市の環境は、交通と通信がとだえ、医療と警察活動は期待しえなくなり、食品は腐敗し、人々は窒息するか寒さで震え、地下道や暗い摩天楼に閉じ込められ、そしてこれらは全て我々が予測し、それを回避するために努力しなければならない危険な環境を示すものである。

もちろんエネルギーの使用量の削減は、高度に工業化された国家ばかりでなく開発途上国においても、経済成長の停滞をもたらす。この削減の社会的かつ経済的帰結は非常に影響が大きい。例えば米国においては、経済成長が止まれば、毎年福祉救済を受ける７５,０００人の増加をもたらすと推定される。そのような変動によって生じる離職と福祉救助の問題を別にしても、それは米国の貧しい人々が貧困から逃れるあらゆる機会を失なうことになるであろう。なぜなら彼らは経済社会の底部におり、不景気によって最初に損害をうける人々だからである。我々の社会で、より豊かな人々にとっては、それは不便な耐久生活を意味している。ハーレムに住んで家族のために苦斗している人々にと

っては、それは彼らの仕事、すなわち家族全員の生活を失なうことを意味するであろう。

さて、私が先にのべた代替的エネルギー資源について解明することにしよう。

水力発電は以前は環境に無害なものと考えられていた。しかし、今や日本を含む世界のいくつかの国においてそれは多くの批判の対象になっている。さらに、ほとんどの国で、ダムや貯水池用の経済的なサイトが急速に狭められている。

米国においても、電力の約１５％は水力発電で占められている。日本でもその２倍が水力発電である。しかし両国において、これらの比率は、現在建設中の多数の火力発電所が電力系統に入ってくるにしたがい著しく減少するであろう。

地熱発電は、全ての利用可能なエネルギー資源を開発しようとする点で、人類の発明の才能の興味あるひとつの例である。地下水が多孔質岩または火山地帯の亀裂岩に捕集されている特殊な地理的状態におかれると、水は過熱されていて、これらの貯水層に井戸が掘られると、そこから地表面に蒸気が導かれ、それが発電用タービンで使用される。

これらの天然蒸気資源をより多く発見し、開発する方法について、世界中で多くの研究が進められている。都合の悪いことに、それらはしばしば電力消費市場から遠くの距離にある未開発の人口過疎地帯にある。また一般には低圧の蒸気は効率の高い設備には使えない。さらに、蒸気は一般に大量の不溶性の塩類を含んでおり、また在来のタービンに使うには困難である。

このように地熱資源は、完全に開発されたとしても、世界の電力需要を充すには全体的に不適当である。米国においては、例えば、最も好ましい状況を仮定しても、１９９０年までに約１０,０００MWe の地熱発電容量が開発され、その発電量は全需要の１％以下であろう。[4)]

全ての大型エネルギー資源のうちで最も明らかにされているのは、多分、太陽の輻射であろう。非常に雨の少ない地域で１エーカーの土地にふりそそがれる太陽光線の平均エネルギー含有量は、年間あたり９４０万KWh の電力にほぼ匹敵することを考えれば、それが最も魅力のあるものであることがわかる。都合の悪いことに、太陽熱変換器はかなり高価でかつ効率が低く、実際にはそのエネルギーの 1/10 だけが電気に変換される。これは、輻射集光装置が１,０００MWe の発電を行なうには９,５００エーカーまたは約１５平方マイルの土地を必要とすることを意味している。

宇宙軌道において大型の太陽電池を集合体にする可能性と、まだ開発されていないマイクロ波で捕集エネルギーを地球の受電設備に送る技術の可能性はひそかに注目されて

いる。

宇宙計画において、この方向に沿って大きな進展がなされたが、そのようなシステムを商業化するために解決されるべき問題があまりに大規模なので、それを想像することさえためらっているのが現状である。私は、それらが今すぐにあるいは近い将来に電力需要にまに合うように解決されるとは考えていない。

話を原子力にもどすと、これから解決しなければならない極度に困難なものは何も残されていないと考える。事実、日本の皆さんもよく知っているように、原子力は極めて安全であり、全く信頼できるものであって、しかも経済的な形で利用されている。また原子力は環境の保護にもすぐれた特性をもち、その原料物質すなわちウランやトリウムはエネルギーで比較すれば石炭に比べて何倍も豊富に存在する。また水力や太陽熱のシステムが必要とするような広大な土地を要しない。

私のこの講演における結論は、世界のエネルギーと汚染の危機に対する解決のカギは、エネルギーの使用を限定することではなく、また水力、地熱、あるいは太陽エネルギー資源にあるのでもなく、そのカギはまさしく原子力にあるということである。

さて、原子力が我々に何をなしうるか、またそれがこれからつくり出す新しい問題は何かを詳細に検討するために、今や戸口の上段に立っているこの新しい技術的巨人に近づいてみることにしよう。原子力が世界の巨大なエネルギー需要を充しうるか、また同時に我々の環境の質を保存しうるであろうか。

Ⅲ　解決策としての原子力

A．原子力の環境へのインパクト

原子力の最も明白な環境面での利点は、燃焼生成物を全然出さないことであり、したがって大気汚染が無いことである。原子力発電所の消費する燃料から出る核分裂生成物は、燃料の再処理のために輸送されるときまで原子炉の炉心内か、または使用済燃料貯蔵プールに保持される。燃料再処理施設では、生物環境から隔離された永久貯蔵用の特殊設計の容器内に濃縮されるまでは、よく遮蔽された貯蔵設備に核分裂生成物は封じ込まれている。このように歴史上はじめて人類は完全に封じ込んだ形で原子力を開発した。この原子力のもつ属性が、原子力を有利なものにし、そして圧倒的に優勢なものにした。

その他の原子の利点は、特に大部分の燃料を輸入にたよっている国にとっては、輸送と貯蔵に必要な施設の容量が少なくてすむことである。一握りのウラン酸化物燃料のペレッ

トは８５トンの貨車１両分の石炭あるいは３４３バレルの油と同等のエネルギーを含んでいる。そしてこの燃料の１ポンドは４００年以上の一般家庭の電力需要量をまかなえるほどのエネルギーをもっている。この高いエネルギー密度は、もちろん初期の段階の輸送や貯蔵の労務をはぶくのに役立つばかりでなく、現在の単純な使い方でさえも、我々が原子力についてもっとよく学べば、さらに多くの労務をはぶくのに役立つ。

さて一方に眼を転じれば、通産省は日本の必要な石油の輸入に関する問題は、近い将来、非常に厳しくなるだろうと予想している。私はそのことについて通産省の報告から直接引用することにしよう。「石油だけに関しても、日本は１９８５年までに年間約８億Kℓが必要になると予測される。（これは１９７０年の消費量の約４倍である）もしこの算定にもとづけば、そして石油必要量を全て中近東から輸入するとすれば、ペルシャ湾から東京湾までの往復航路で４０キロメートルに１台の割で２０万トンタンカーを就航させなければならないであろう。[5]」もちろん、それにともなって、有用な土地に広い面積を占める貯油施設も増加する。

原子力の第３の利点は、地球の地殻内に大量の燃料埋蔵量が存在することである。これらの埋蔵量を全て使用できるような新型の原子炉が開発されると仮定しても、原子力はこの点でも、地球上の他の既知のエネルギー資源よりもはるかに多量の資源をもっている。

原子力システムはある種の短所をもっている。しかし、それは少なくとも不必要に強調された欠点である。私の報告をできるだけ偏重のないものにするために、ここでは重要と思われるものを全て検討しよう。それらは、いわゆる廃棄熱の放出（熱汚染）、放射性物質の放出、異常時における安全性の問題、高レベル放射性廃棄物の処分などである。

これらの原子力の好ましくない特殊性は、疑い深い静かな大衆の不安について、また原子力発電にもっと早く移行するための明確な手段について納得させうるか否かを合理的かつ明瞭に解答しなければならないという問題を提起している。

原子力発電所からの排熱は実際よりもさらに問題であると一般に考えられている。事実、その環境への影響は非常に誇調されている。今日、軽水炉は化石燃料発電所に比べて３０％も多くの熱を環境に放出する。ここでの問題は、それが与える真の損傷は何かということである。

原子力発電所の排熱からもたらされる生態学的損傷に関する確認を米国の科学者はまだ行なっていない。このことは、そのような危害の可能性がないということではない。批判する人々の不安は、発電所の立地の選定に際して未熟な判断が行なわれていれば疑問の起

る計算過程だけにもとづいたものであることを、私はあえて強調したい。

どのような場合にも、この問題については普遍化した見方をすべきではない。なぜなら、各々の原子力発電所はそれ自体の固有な環境上のパラメータをもっており、したがって発電所は別々に取扱われなければならないからである。

原子力の温排水に関する全般的な研究は南カリフォルニアの４５０万We のサン・オノフレ発電所の電気事業者によって実施された。このことは、特殊な損傷から環境を防護することを保証するために、米国の原子力産業界が資金を支出して努力した良い例を示すものである。

次のスライド（Ｓ－２）からわかるように、サン・オノフレ発電所は海の近くに建設されている。海水を汲み上げ、復水器を通して海へ返している。（ついでにいえば、ウエスタン・ホワイト・ハウスは左に見える樹木の中に建っている。それでニクソン大統領はこの発電所の約 $3\frac{1}{2}$ マイル遠方の非常に近い別荘に住んでいる。）

次のスライド（Ｓ－３）は、プラントを示す図面と、試運転時にモニターされた区域およびそれらの位置関係を示す。（ニクソン大統領の所有地の位置を再び示す。）

１９６９年２月に発電所の放水口近くで発生した等温線の分布の変化を次のスライド（Ｓ－４）で示す。放水口は写真の中央にあり約６５℉の温度で、周囲温度より約８℉も高い。この日は、水は比較的静かで、熱的影響は放水口附近に限られていた。その時の水流は放水口から0.５マイルまで熱的影響を拡大しうるほど十分に強い流れであった。

次のスライド（Ｓ－５）は温排水と取水の関係を示すもので、前者は2,６００フィートの沖で水深２５フィートであり、後者は3,２００フィートの沖で水深３０フィートの位置にある。

サン・オノフレにおけるこれらの研究は非常に広範囲にわたるものである。温度調査区域は海岸上流２マイルに及び、海岸下流にも２マイル、海へ向って１マイル沖におよんでいる。海水表面温度は３２個所の海上測定点と６個所の海中測定点において測定された。１３個所の濁度測定点では光学的手法により深さ方向の沈澱物が測定された。（αメータ分布測定が行なわれた。）

次のスライド（Ｓ－６）は測定装置を取付けた潜水装置を示す。研究には生物学的モニタリングも包括されており、それによって生存生物が定期的に調査される。発電所附近の生物の構成種と生存数が調査され、発電所の影響をうけない指定区域のものと比較される。

サン・オノフレにおける環境モニタリング計画は原子力発電所が建設される以前から始

められた。それ以後の全ての試験から、発電所の温排水は海洋環境に何らの悪い影響を与えていないことが示された。

次のスライド（Ｓ－７）は発電所附近と、その周辺海岸で捕獲された魚類の履歴を示すものである。発電所の運転開始によってその数の減少もサイズの変化もおきていないことがわかる。これらの十分な年月をかけた研究から、周囲の海水中よりも温排水出口附近に多くの魚が住みついていることがわかった。したがってスポーツとしての魚釣り用ボートも、その附近に集まってきている。

これらの良好な試験結果から、サン・オノフレ発電所の所有者はさらに2基の原子力発電所を増設することを申請した。その２基は各々1,１４０MWｅであり、８４エーカーの同一サイトに建設される。環境モニタリングは、新しい発電所の排水口を含む、より広範囲な区域において継続されるであろう。

原子力発電所が海洋、大きな湖、大きな河などの近くに建設されない場合には、冷却水の供給はワンスルー冷却方式には不適当なので熱廃棄には別の方法が使われる。

ワンスルー冷却方式に代りうるものは湿式冷却塔の採用である。米国で多数を占めている冷却塔の型式は「メカニカル・ドラフト（機械式通風）」と呼ばれるものである。この型式は冷却塔を通過する空気の流通用に大型のヘリコプター・サイズの回転翼を駆動するもので、頂部の分岐管から下向きに流れる水を冷却するために発電所の電気出力の約１％が使用される。その他に分岐管に水を押し上げるために電気出力の約0.５％が消費される。現在の軽水炉に関しては、最適水量は出力KW 当り約0.５ガロン／分であり、したがって1,０００MWｅの発電所については、５００,０００ガロン／分のポンプ容量を必要とする。蒸発と通風の損失は水の通過量のそれぞれ1.５～２％、と0.１～１％である。

湿式冷却塔が海水または川の一部に廃棄される熱によって発生する問題を解決するけれども、また別の理由から、それらは環境上の不快な問題となっている。蒸発または通風で運ばれる水は、ある条件下で大きな水柱をつくりだし、そしてもちろん、この水は大気に消散する。1,０００MWｅの軽水炉では、そのような損失は１５,０００ガロン／分の量になる。このことは明らかに水の乏しい地域では、放出熱にもとづく問題の解決にはならない。

乾式冷却塔は現在まだわずかしか建設されてはいないが、最終的には世界の多くの地域で使用されることになるであろう。最も一般的になっている基本設計は冷却水がフィン付管の閉ループを通り循環する構造で、空気が強く吸込まれていれらの管の囲りを通り、自動車のラジエーターがやっているように多量の熱を除去する。

乾式冷却塔は、その熱伝達に限界があるので、同じ容量の湿式冷却塔よりも大きな設備となる。これは乾式冷却塔を必要とする効率の低い蒸気発生系統に関して大きい資本費のペナルティーを荷すことになる。

多数の冷却塔を採用することにより、原子力発電所からの排熱の利用が色々提案されることになったが都合の悪いことに、そのような熱は短距離に輸送されても経済性が十分に得られないから、何かに使うにしても不適当である。しかし、実用的であることが実証されたいくつかの応用例もある。それらの中で主なものとしては日常生活の暖房の改善、リクレーション用の諸設備、および寒冷時における発電所の近接地帯の作物と家蓄の保護などである。

雪や氷の溶解、冬期における大ビルディングの暖房には原子力の廃棄熱を有効に消費することができる。娯楽用の貯水池や湖は、この熱を使うことによって、一年中快適な温度に保つことができる。また容易に考え得るように、これらの熱廃棄を適時に利用してセント・ローレンスのような北方にある大型水路の凍結を防ぐこともできる。[6]

しかし、夏季最盛期における原子力排熱の処分は、この熱の稀釈用水が少ないので、周囲温度が高いときには、私がのべたこれらの利用には役立たないであろう。

原子力発電による排熱の最良の利用は、年間を通じて流すことのできる温室で一定の温度と湿度を維持することである。最適条件における植物の成長率は、その環境が管理されないときに比べてはるかに良好である。

私がのべたように、これらの温室は経済的な理由から原子力発電所に近接して設置されなければならない。これらの発電所の周辺の非開放区域は、通常５００エーカーぐらいであり、園芸農場に適したサイトとなる。

デンバーやコロラドなどの湿度の一般に低い地域においては、発電所の冷却塔は温室の近くに設置された低コストの蒸発冷却兼用ヒーターに採用できることをいくつかの研究が示している。

これらの温室は、貫通する空気で潜熱がうばわれる９２°Fの復水器の水によって、夏期には少なくとも７５°Fに冷却される。冬期には空気は蒸発用容器を通して再循環され、外気温度が0°でも、そこの温度は６５°Fに保持される。デンバーの全市にレタス、キュウリ、トマト、コショウなどの必需品を供給するために、温室用に６００エーカー以上の土地が必要である。[7]

日本は、原子力発電所からの温排水を使って商業的に海洋生物を養殖するのに最適の先

嚆者であることを知った。６月に予定されている試験は東海原子力発電所とＪＰＤＲ－Ⅱからの温排水を利用する、１０,０００平方メートルの漁業農業コンビナートの建設に関連するものであると予想される。私に与えられた予備的知識が正しければ、アワビ、ハマグリ、小エビのような海中生物のその区域における飛躍的増加が期待される。[8]

これは温排水の問題をたくみに解決しようとする世界の要請に対して指導性をもつものである。この分野における日本の開拓は、未開発国の蛋白源の需要を充すための実用的な方法への道をひらくものである。東海発電所／ＪＰＤＲ－Ⅱプロジェクトは興味深くかつ有益なものであり、私は今後も多大の期待をもってそれを見守ることであろう。

原子力発電所からの熱放出は、ある地方での関心事の原因であるが、その一方、最も広範囲にわたって不安をつくり出すのは放射性物質の放出の問題である。

米国では、新しい原子力発電所の計画を発表すると、それに関連のある地方の人々と、他の州から自発的に参加してくる専門的な介入者たちの両方から頑強な抵抗に合う。これらの批判者たちは１７０ミリレムの許容被曝線量（医療用をのぞく）があまりに高く、そして公衆災害を発生させていると主張している。この基準値はＩＣＲＰとＮＣＲＰによって行なわれた徹底的研究と試験に基づいて設定されたものである。私見では、それはコンサーバティブな立場をとっていると考えられる。米国の原子力産業界の私の同僚の大部分は私と意見が一致している。しかし、我々はできるだけ真剣に、論理的に話をしようと試みているけれども、この基準のもとで何らの危険はないことを大衆に納得させることはなかなか困難である。

安全性の保証に関する問題は、新聞やテレビで興奮をまきおこすような見出しとはならない。だから我々の真意は米国の大衆の大部分に到達していない。結局、不安をもつ人々の圧力によって新しく作られる規制で、現在の許容被曝線量が１７０ミリレムの１％以下の線量値になるであろう。

米国のほとんどの原子力発電所は、この提案されている制限値以下で運転されているが、突然の短期間放出に対するマージンが少ないので、出力のピーク需要時に多くの発電所を停止せざるを得なくなっている。これはもちろん多大の損害を与える節電の原因となるにちがいない。

さて、原子力発電所からの放射性放出物に関する論争点を皆さんに明らかにしてみよう。またそれを正しい立場で評価してみよう。現在、米国内で運転中の原子力発電所の数は約２０基であり、設備容量は8,０００MWｅであって、それらは無視しうるほど少ない全身被

曝線量－0.０００２ミリレム／年を一般住民に与えている。現在建設中の全ての発電所が完成すると、我々が放射性廃棄物の管理技術における何らの改良をしないとすれば、この線量は0.００１ミリレムに増加するであろう。我々は数人の非従事者の被曝線量とそれらを比較することによって、これらの微少被曝線量がどんな意味をもつかよく理解することができる。

1. 宇宙線や地面からの天然線源による米国内のバックグランドは年間８０～２００ミリレムであり、平均では１２５ミリレム／年である。
2. 個人が局部的に受けるＸ線検査の平均被曝線量は約２００ミリレムである。
3. 胃腸系統の検査で個人が局部的に受ける線量は約２２,０００ミリレムである。

私が指摘したいことは、米国の原子力施設の放射線に関する現在の許容基準値は、現在我々が何らの疑問ももたずに被曝している自然放射線と医療用検査で受ける放射線の線量に比べてはるかに少ないということである。実際には原子力施設からの被曝線量は許容値の数％にすぎない僅かな線量であることを考えるとき、これらの施設から定常的に受ける被曝線量による危険は無限小のものであることは明白である。

B．原子力の安全性と高レベル廃棄物の処分

原子炉の高エネルギー密度と異例の廃棄生成物によって、「注意」という言葉は、世界でその最も一般的な使い方－すなわち原子力発電所を開発するときのキー・ワードである。

１９５７年に米国で最初の商業発電が行なわれたときまでに、総額６億2,５０００万ドルの資金が原子力の研究開発用として米国産業界とＡＥＣから支出された。今日、このような投資は３０億ドル以上に増加している。多くの研究の基本的な部分は原子力災害と環境への有害な影響を少なくするためのものであった。

しかし、安全性を立証する適切な尺度は運転経験にあるといえる。世界的に広くゆきわたっている原子力産業は、まだ未熟であるが、しかし数十億KWh の電力を発電してきた。この記録の意味するところは重要である。米国では原子力発電所に従事する人々の放射線障害例もないし、発電所の運転の結果による公衆への災害の例もない。事実、原子力の影響に関するクレームは原子力発電所にかけられる保険プールに対して何ら記録されたことはない。これは他の国々でも同じようなことがいえる。

原子力発電所における最も注目すべき防護措置は、原子炉の格納容器であり、これは放射能の漏洩に対する第三の防衛機構としての役目をはたしている。代表的な例をとれば、コンソリデーテッド・エジソン社のインディアンポイント－２（ニューヨークにある）は、

原子炉から漏れる如何なる放射性物質も保持できるように、耐食性の鋼材で内張された $3\frac{1}{2}$ フィート厚の鉄筋コンクリート壁の格納容器が据付けられている。その格納容器は6フィート厚のコンクリート板の上に据付けられ、全構造は台風、洪水、地震に耐えられるように設計されている。

地震によって発生する原子力災害の確率は、日本と同様に私の国のカリフォルニアでも関心事となっている。我々お互の国内における地震の厳しさはほぼ同等である。しかしその確率は非常に小さく、適切な工作の施された原子炉施設は、日本でも米国でも厳しい地震の損傷に耐えられるように作られている。

昨年の2月に発生したロサンゼルスの大地震（中心部で6.6G）はサン・オノフレ発電所では0.01Gの衝撃を与えた。これはプラントの耐震設計値の0.5Gの1／50である。これと反対に、下町のロサンゼルスの近代建築物は0.1Gに耐えられるように建設されている。

建物でも原子力発電所の運転においても、安全性の保護措置に加えて、放射性廃棄物の取扱い、輸送、および陸上処分には慎重な注意が払われなければならない。この分野では、米国政府と産業界は、公衆の健康と安全に異状なまでの神経をにらって、たえず研究を行なっている。

使用済燃料を原子炉から輸送するとき、短寿命の核分裂生成物からの放射能を除去するため、近接の施設に約4ケ月間貯蔵しておく。貯蔵施設は、頂部が開放された構造の重コンクリート製室内に収納された深さ40フィートのプールである。プール内に充された水は冷却のみならず放射線の遮蔽にも役立つ。燃料上の10フィートの水深は1フィート厚の鉛または4フィート厚のコンクリートと同等のガンマ線遮蔽効果をもっている。

次のスライド（S－8）はそれらの施設を示す。そこに見える貯蔵用ラックは燃料の再臨界を防ぐために燃料要素を十分に離して貯蔵している。

使用済燃料を原子炉貯蔵施設から再処理工場へ運搬するための大型輸送用キャスクは、乗物の事故、火災、水中の落下、またはそれらが同時に発生した災害に耐えられるように設計されている。次のスライド（S－9）で示す輸送用キャスクは装荷重量が110トンのもので、これは1,160MWeの高温ガス冷却炉用に設計されたものであって、48本の大型燃料要素を保持できるものである。（ついでにいえば、HTGRの燃料は水中ではなく、乾式ウェルの中にあらかじめ貯蔵される。）鋼線入りのキャビティーは、6インチ厚の鉛の層に相当する $3\frac{1}{2}$ インチ厚の減損ウランの層で囲まれている。

補助的な防護措置として、キャスクは衝突の場合に予防の役目をはたすように特殊設計された鉄道貨車に搭載されたままで船舶輸送が行われる。これらの2輌の貨車を次のスライド（S－10、S－11）で示す。

これらのキャスクの製作者は、USAECと米国運輸省の承認を得るためにキャスクが単独でも連結された場合にも附属防護装置が次のような事故条件の試験に耐えられることを示さなければならない。

1. 硬い地面に30フィートの高さから落下する。
2. 直径6インチの円筒型鋼製防護具を約3フィートの位置から落下させる。
3. 1475°F の温度で30分間加熱する。
4. 水中に8時間浸しておく。

発電所の運転と同じように、放射性物質の船舶輸送の場合にも、米国の原子力産業の安全記録は非常に良好である。輸送事故は発生したが、放射能事故にまでひろがることはなかった。

使用済燃料集合体が再処理工場に到着すると、それらは裁断され、未使用の燃料は核分裂生成物質を化学的に分離し、精製されてからリサイクル用の燃料を製作するために燃料工場へ輸送される。

次のスライド（S－12）は南カロライナ州のバーウェルに建設中のアライド・ガルフ・ニュークリア・サービス社の再処理工場の設計構想を示すものである。このプラントは1974年に完成すると、年間約1,500メトリック・トンの核燃料を処理することになろう。

再処理時に蓄積される希ガス以外のほとんど全ての核分裂生成物は高レベルの放射性液体の形になっている。これらは蒸発濃縮され、厚い地下コンクリート製貯蔵室に据付けられた全溶接構造の鋼製大型タンクにポンプで送られる。これらのタンクからの漏洩は常に監視されており、腐食などによる好ましくない事故時には、廃棄物は予備タンクに移しかえられる。核分裂生成物の残留物の大部分は固体であり、それらは陸上処分される。

この廃棄物の処分方法はUSAECの多年の経験によって安全であることが立証されているが、常時の保守を必要としないような方法が期待される。USAECはこの処分に将来予想される煩雑さを簡単化するための広範囲にわたるプログラムを検討している。保守作業を要しない処分とは、よく知られているように、地下水や廃棄物が浸透しないような構造の固体マトリックス中に核分裂生成物を永久に固定することである。

C、原子力の評価におけるその他の考察

我々は、高レベル放射性物質のきれいで安全な輸送と貯蔵は原子力への転換を考えるときに重要な要素であることを知った。しかし決してそれだけではない。信頼性、柔軟性、および全般の経済性などは、許認可時の種々の困難な問題と同じように、その決定を下す過程で重要な要素である。

米国では原子力発電所が極めて高い信頼性をもっていることが実証されている。原子力発電所がひとたび運転に入ると、利用率および負荷率の点では石炭火力発電所をしのぐ。この点では日本の原子炉の性能について私が得た情報にも満足している。

適切な発電所立地点を選定するにあたって、大きなフレキシビリティーのあることが原子力のもうひとつの利点である。化石燃料発電所は大量の燃料輸送の問題があるので、望ましいサイトが限られてしまう。原子力発電所はそのような制限は何もない。その燃料はトラックで運送するのに十分にコンパクトであり、他方、鉄道の支線は重い構造材料と主要機器の輸送に好都合であるが、それとしても絶対に必要なものではない。

さらに、原子力だけが大型発電所で閉サイクルのガス・タービンの有効利用を可能にする。閉サイクル・タービンが将来、完成すれば、ＨＴＧＲと結合されることが予想されるが、比較的小型の効率のよい乾式冷却塔を使って、大気中に直接、廃棄熱を放出することができる。このようにして、冷却水を全く使用しないことも実際には可能になる。

１９７５年～'７7年のベース・ロード用の発電所の最適なタイプを決定するための、フィラデルフィア電力会社による１９６９年における研究は、近年、米国の電気事業者によって行なわれてきたその種の多くの研究の代表的なものである。原子力発電所は、フィラデルフィア地域の化石燃料発電所よりもはるかに経済的であることが示された。資本費は高い（１９７５～７７年のドルで原子力は２７０ドル／KW、火力は２１０ドル／KW）が、厳重な大気汚染の規制にしたがって取られる措置や疑問の余地のある利用率、石炭や油の高いコストなどの要素から、原子力を選択している。

米国の原子力発電所を建設する場合に、電力会社が最も失敗をおこす問題は、許認可に関連するこれらの事項である。この過程で費される経費と時間は、年とともに飛躍的に増加している。ＵＳＡＥＣは、昨日（３月２２日）の午前中にダブ原子力委員が講演したように、この情況を改善するために精力的に活動しているが、法廷と思慮のない原子力反対者たちによって作り出された新たな許認可の遅延を挽回するために、さらに失地を回復するために、一層の努力をしなければならないであろう。

これらの遅延は米国における電力不足の発生確率を目に見えて増加させており、また現在、電力産業の重大な懸念になっている。

Ⅳ　原子力の将来性

私は、汚染を抑制し世界の化石燃料を発電以外に使えるように保存するために、原子力のもつ大きな必要性について論じた。また多量の資源を必要とする商業的な利用に極めて慎重に対処するために、原子力は世界の歴史上でもユニークなものであることを私は指摘した。そして原子力の安全に関する記録は非常に良好であり、あえていえば完全ともいえる。私は、原子力がエネルギー公害の危機に対する解決策であるばかりでなく、他の理由、すなわちフレキシビリティー、信頼性、経済的な利点などについてもその概要をのべた。

これらの好都合な評価と思考が正しいとすれば、一私はそれらがその通りだと信じているが一この新しい発電方法の将来における利用の見込はどのくらいあるか。

A．原子力発電開発規模

米国の専門家の一致した見解は、１９８０年に全発電設備容量６６５,０００MWeの２１％、１９９０年には全容量1,２５５,０００MWeの３８％が原子力発電設備になるだろうということである。[9]

日本における同様の予想は、１９８０年に全発電設備容量１５１,０００MWeの１８％、１９９０年には２８３,９００MWeの４２％を原子力発電所が供給することを示している。両国において１９９０年に予想される原子力発電は、現在の全発電出力を上まわる。日本では原子力発電は現在の出力の２倍以上になるであろう。世界の他の国は小規模に始めたので、より急激な成長をとげるであろう。

B．核燃料

軽水炉で使われるウランの約２～３％が核分裂性のＵ－２３５である。残りのＵ－２３８は中性子を吸収し、そのうちの少量が核分裂性のＰｕ－２３９に変換する。このＰｕ－２３９は増殖炉で使われるか、または軽水炉でＵ－２３５の代りにリサイクルするために貯蔵される。

軽水炉の低濃縮ウランの炉心で生成する核分裂性プルトニウムは取替燃料の需要量の２０～３０％を充すことができる。他方、プルトニウムの高速増殖炉市場は、１９９０年代の中半まではっきりしたものにはならないであろうし、その時点までの貯蔵プルトニウムの経済的負担は非常に大きくなるであろう。経済的観点からいえば、桁ちがいの製作費

を考慮すれば、電気事業者は少なくとも１９８０年代後半までは増殖炉用として貯蔵するよりも、熱中性子炉でリサイクルすることを考えるであろう。

軽水炉で生成されるプルトニウムは、完全自給式のU－２３８／Ｐｕ－２３９燃料サイクルを形成するのに必要な長年月の間、増殖炉が電力系統に入る時まで、熱中性子炉が運転を継続するのに役立つはずである。

プルトニウムの有力な暫定利用法はＨＴＧＲである。ＥＥＩとＧＧＡ社の最近の研究によると、プルトニウムがＨＴＧＲで装荷燃料として使われると、プルトニウムの価格はグラムあたり９～１０ドルになることが示されている。[10] Ｕ－２３３ リサイクルと組合せると、プルトニウムの需要量は1,１６０ＭＷｅの発電所に対して毎年５００Ｋｇである。これは、もしＨＴＧＲの市場の予測成長８０,０００ＭＷｅが実現すれば、米国だけで１９９０年までに年間約３５,０００Ｋｇの Ｐｕ－２３９を使用することになる。

ＨＴＧＲはTh／U－２３３ 燃料サイクルを使えるように設計されているので、その転換比が大きいばかでなく、世界のトリウムの埋蔵量も考えに入れて、広範囲にそのサイクルが使われると、我々の核燃料の貯蔵は大きく増加するであろう。Th／U－２３３ 燃料サイクルを経験したことのない人々のために、私はひとつの目だたない事実を指摘したいと思う。Ｕ－２３３ は熱中性子の雰囲気中で核分裂性物質の中性子吸収あたりの収率が最も高いのである。

定義によると、増殖炉は消費するよりも多くの燃料を生成し、核分裂炉から期待される燃料の利用という点では最終のものである。高速増殖炉はプルトニウム、天然ウラン、および減損ウランで作動する。熱中性子増殖炉は前述のＵ－２３３ とTh が使われる。

高速増殖炉とＨＴＧＲの間には、相互に有益な関係がなりたつことが考えられる。このことは、燃料の再生において、またＵ－２３３ を生成するよりも多くの供給を受けるという経済的必要性においても自給自足できるものではないという事実に由来している。これはU－２３８／Ｐｕ－２３９ 炉心で作動し、Th とＵ－２３８ の両方を含むブランケットをもつ高利得の高速増殖炉によって、はじめてなしうることである。ブランケット材料は、炉心燃料の補給に十分なＰｕ－２３９を生成し、同時に補助的にＵ－２３３ を供給できるような比率で構成されている。このような供給と増殖の性質を兼ね備えているＨＴＧＲ（特に閉サイクルガスタービンと組合せたとき－これについては少し触れる）は、コストが安く、より信頼性があり、また運転も容易であって、増殖炉より比較的容易に修理も可能なものである。さらにそれは増殖炉よりサイトの選定上の制限が少ない。

しかし、私は増殖炉の重要性を否定するものではない。増殖炉は、世界の核分裂性燃料資源から出来るだけ多量のエネルギーをとり出すために、多数が必要なことは明らかである。

私がいいたいことは、ＨＴＧＲの重要な要素として、十分なＵ－２３３核燃料を使用することによって、ＨＴＧＲの性能を改善することができるということである。

Ｃ．高温ガス冷却炉

私はＨＴＧＲについて何度ものべてきたが、環境上の利点について論議することをひかえてきた。しかし、私は原子力の将来を考えるとき、その問題が重要だと考えるので、この点について、いくつかの利点を上げてみたい。

(1) ＨＴＧＲからの放射性放出物は非常に少なく、軽水炉からのそれよりも少ない。

冷却材として不活性ガスを使用しているので、１次系内の放射化と腐食とは無視できるほど少なく、これらの線源からの放射能も少ない。燃料から冷却材に漏れる核分裂生物、すなわち稀ガスの放射能はバイパスされてヘリウム精製系で連続的に除去され、プラントの寿命期間中、原子炉内の吸収ベッドに貯蔵される。その結果、気体放出物中の放射能はほとんど取除かれる。

定常運転中は、液体放射性廃棄物は発生しない。汚染除去はそのような廃棄物の線源だけに必要であり、それらは放射能も体積も非常に少ないので取扱いも容易である。

固体の放射性廃棄物は主として放射化された反射材のブロックの小片である。これらは発電所内に永久に貯蔵することが可能であり、また放射能が低いので、容易に処分することもできる。

(2) 非常な高温に耐え得る炉心燃料が大きな熱容量をもっていること、およびプレストレス・コンクリート製原子炉容器を使っているので、事故によって放射性物質を格納容器や環境へ放出するような運転上の誤操作または設備の誤作動には極めて安全である。

(3) ＨＴＧＲは現在運転中の他の型の原子炉よりも、環境への熱放出は少ない。

高温の炉心および冷却材は４０％近いサイクル効率をもち、これは最新の化石燃料蒸気タービン発電所で得られる最大の効率と同等である。この高効率は結局、熱放出を少なくし、仮りに軽水炉でワン・スルー冷却方式が不可能であるかまたは環境上の理由で採用できなければ、ＨＴＧＲを採用することによって、冷却水貯水池または冷却塔に必要なコスト分だけ減らすことができる。

私が前述したように、世界の多くの地域で、新鮮な水を利用できないという問題、お

よび適切な海洋サイトの不足という問題にまもなく直面するであろう。もし乾式冷却塔が前述の貯水池などの代りに使用されるとしても、ＨＴＧＲは、ランキン・サイクル用の冷却塔の非常に低いコストばかりでなく、ブレイトン（ガスタービン）サイクルを使って、ＨＴＧＲの排熱のコストをもさらに減らす可能性をもっている。

ブレイトン・サイクルの基本特性はランキン・サイクルよりも空気冷却によく適合するものである。放出される熱量はあまり差異がないけれども、ブレイトン・サイクルの熱放出コストは、平均廃棄温度が高いので、ランキン・サイクルのコストに比べてかなり低い。さらに小流量であるが高温状態で、ガスタービンを経てくる高流速気体は大気中でよく分散し、逆流など全く起さない。

ＨＴＧＲシステムをスライド（Ｓ－１３）で示す。ここには閉サイクル・ガスタービンも含まれている。この設備を使うと如何にシステムを簡略化できるかがわかるであろう。

前にのべたように、金属被覆の燃料を使う原子炉は、いくつかのプロセス用として低温の熱を供給できる。ＨＴＧＲは、安定なガス冷却材を使い、セラミック燃料炉心を使っているので、種々のプロセスに熱供給が可能である。現在のＨＴＧＲのヘリウム出口温度は平均約1,400°F であり、発電用に最適な温度である。しかし、最高1,830°Fの出口温度が得られることは、現在のプラント設計でもわかっている。もっと高い温度（約2,200°Fまで）は、設計変更と少しの開発で可能である。例えば、ＵＳＡＥＣの超高温原子炉実験（ＵＨＴＲＥＸ）は、現在のＨＴＧＲと同じ技術を使って、かなりの期間、2,390°Fのヘリウム出口温度を達成した。

ＨＴＧＲのプロセスヒート・プラントにおいて、１次ループとプロセス蒸気の間の温度差が１８０°～３６０°F であれば、伝熱面積は実用サイズに保ちうる。この必要な温度勾配では、ＨＴＧＲの出口温度において多数の応用例がある。

皆さんに代表的な例を示すと、原油の蒸留と脱硫は７５０°F；ナフサの触媒による再生は1,000°F；泥板岩からの油の回収は1,000°F；金属鉱石の還元には1,200～1,850°F；石炭のガス化には1,650°F である。

ＨＴＧＲのような原子力による熱源で、不純物の多い石炭からきれいな燃焼用合成ガスを生産する可能性は、世界に環境上のボーナス（割増配当金）を提供するものである。そのようなプロセスや、最終生成物は我々の環境を汚染することはないであろう。

しかし、かなり高い転換比なので、ＨＴＧＲは我々の核燃料の貯蔵量を８倍に引伸すであろう。だからといって、これは世界のエネルギーと環境問題に対する最終的な回答には

ならないのである。それらは正しい方向に歩みを進めているが、まだ十分とまではいっていない。

D．高速増殖炉

高速増殖炉の科学的な可能性は、ＥＢＲ－１が最初に運転された１９５１年にすでに立証されていたが、この炉型の経済性はまだ実現していない。この目的を達成するために緊急を要することはもちろんであるが、それは、我々が次の１０年間に発見しようとしている経済的に掘り出し得るウラン量がどのくらいあるかということによって左右される。

約１０年前に、ＵＳＡＥＣは高速増殖炉の研究開発の努力を、冷却材にナトリウムを使うシステムにしぼった。それで、その名称を液体金属高速増殖炉（ＬＭＦＢＲ）とした。この計画は皆さんも知っているように、早いペースで進展している。しかしそれに代る有力な炉型は、ヘリウム冷却であって、これはガス冷却高速炉（ＧＣＦＲ）として開発が進められている。これら二つのタイプの増殖炉のちがいについて重点的に説明しよう。

ヘリウム冷却は、ナトリウム冷却と比較すると、次のような長所と短所をもっている。

主な長所は：

1. ヘリウムは中性子吸収断面積が小さく、中性子スペクトルに対するひずみ効果が非常に小さい。
2. したがってこのタイプの原子炉の増殖比はナトリウム冷却型の増殖比よりも大きい。
3. ヘリウムは化学的に全く不活性なので、空気や水と反応しないし、著しい放射性にもならない。これらの性質は中間冷却ループをおくことも格納容器内を不活性な雰囲気に保つことも必要としない。
4. ヘリウムは沸騰もしないし、局所的なボイドも発生させない。したがって、ＬＭＦＢＲに必要とされるいくつかの困難な炉心設計上の問題はない。
5. もちろん燃料交換時と保守作業時には厳重な管理と補給を行なうので、ヘリウムは清浄に保たれる。
6. 空気の満された格納容器はヘリウム系と圧力平衡を保つように設計されているので、冷却材の全喪失は起り得ないようになっている。

加圧された状態でのガス冷却にともなういくつかの基本的問題から次のような短所が生じる。それらは：

1. 自然対流冷却は非常にわずかであり、主循環系に連結された絶対に停止しないバックアップ用循環系が必要となる。

2. 所要のプラントの規格に対して、ナトリウム冷却の場合より多くの動力がヘリウム循環系には必要である。

3. ヘリウムを７０～１００気圧で封入した状態で、それが故障すると、強制循環冷却を行なっているのでそれに伴なって急速な圧力低下が生ずる。このことは、容器の貫通部に流量制御装置を取付けた、高度の信頼性をもった二重構造の圧力容器を必要とする。

ペンシルバニア州のピーチ・ボトムとコロラド州のフォート・ブレインにあるHTGR用として開発された現在の技術は、上述の問題を解決する上で有効に役立っている。ＧＣＦＲの開発には、ＬＭＦＢＲに投じられている資金と同額のものが必要であろう。これは、ＧＣＦＲが全く新しい技術にもとづいたものではないので、当然の事といえる。原子力の蒸気系と格納容器系に関する技術は、ＨＴＧＲ用としてすでに実証された技術の拡張にすぎない。使用する燃料は、基本的にはＬＭＦＢＲ用の燃料と同じである。したがってＧＣＦＲを全て開発するためのコストは比較的少なくてすむであろう。

技術的に精巧であるというより、ＧＣＦＲは技術間の適合性を備えており、さらにＬＭＦＢＲとそれに伴なう多くの困難な問題を含む増殖炉計画に対して、それにとって代るものとしての役目をはたすであろう。ウランとトリウムの価格が急激に上昇しはじめるときには、それに備えて、運転可能な増殖炉を建設するか、または分裂性燃料の大量の使用により我々がすでに負担をかけすぎている環境がもはや耐えられなくなっている状態を回復させなければならないということを私は強調したい。

しかし、世界のエネルギーと環境問題に対する最終的な解決を得ることを模索する方向に沿って、人類は歩みを進めているけれども、いくつかの地域では、我々の望んでいる状態がその方向に沿っていないのも事実である。一例を上げると、実に多くの高レベル放射性物質が発生し、それらは１００年間も絶対に破損しない容器の中に貯蔵されなければならないことである。また別の例として、その燃料のひとつープルトニウムは非常に有毒なだけでなく、建設的であると同時に破壊的でもあり、したがって常に慎重な取扱いを必要とし、高価な安全防護措置を必要とすることである。第３点は、増殖炉は核燃料の貯蔵量を約４０倍も増加させるが、その供給は、やはり限られていて、将来の発電は結局エネルギーの欠乏問題に直面するであろう。

そこで、増殖炉のあとにくるものは、もっと良好なエネルギー資源であり、きれいで安全で、より経済的で全ての実際上の目的に対して無限に存在するもの、すなわち制限され

た核融合について考察しよう。

E．核融合

核融合燃料サイクルの場合は、原子力産業で生成した放射性トリチウムが燃料としてリサイクルされるので、何らの放射性廃棄物も出さない。融合炉の構造材料は全て放射化されるであろう。そしてそれらは定期的に取替えられて廃棄されなければならないが、これは核分裂型原子炉からの廃棄物の処分に比べれば大した問題ではないであろう。

最初の発電用核融合炉の熱効率は、ＨＴＧＲおよび最初の化石燃料発電所とほぼ同じくらい（約４０％）であろうが、それ以後の融合炉はもっと高い効率をもつはずである。

仮りに直接熱変換装置が現在すぐにでも実用化されれば、効率は約９０％に達するであろう。そして環境への廃棄熱の放出はほとんどなくなるであろう。

与えられた期間で、核融合炉は次の運転に必要なだけの燃料しかもたないので、暴走が発生することはありえない。貯留された磁気的エネルギーは障害をおこすであろうが、これは現在実用化されている発電所において高圧で作り出される障害よりは小さいものであろう。

核融合炉特有の安全性に関する長所は、そのまま経済的利点でもある。例えば、２次容器は不要であり、制御装置は比較的簡単である。また放射性廃棄物の輸送や貯蔵のコストも極めて低い。さらに、都市人口地帯の中心部に設置が可能なので、送電コストが低く、排熱を地域暖房および工業用プロセスに利用することもできる。

核融合反応の科学的可能性を改良する場合の物理的問題はよく調査されていて[11, 12]、私はここではその概要をのべるにとどめる。

現在までの大半の努力（全世界で研究用の資金は数十億ドルに達し、米国内だけでも約４億ドルが費されたといわれる）は磁気閉込機構の分野に関するものである。最近レーザー技術が実用化されたが、固体のデュトロン－トリチュムの小さいペレットの流れを熱核融合状態に加熱するレーザーの可能性は、世界中のいくつかの有能なグループによって詳細に検討されている。この概念が開発されれば、磁気閉込機構よりもはるかに優れたものになるであろう。しかし、それはまだほんの幼児期の状態にあり、将来性は全く不明であることを強調したい。

磁気閉込機構を解決するための研究における中間目標は、それの保持機構、すなわちその周囲から熱的に遮断することであって、プラズマを１秒の数分の１の間、適当な温度と密度に保持することである。陽電荷を帯電した二重水素と三重水素の核を核力が相互作用

する距離に近づけるために、１００,０００,０００cm/secの速度にする必要がある。この速度を加熱によって達成するためには、５０,０００,０００～１００,０００,０００°Kの温度が必要である。この温度には約10^{15}粒子／ccの比較的低い粒子密度が必要な条件である。

トロイダル型磁気容器を使用しているソ連のトカマク－３が5,０００,０００°Kで0.０２秒の閉込時間を達成した１９６９年に、核融合の科学的可能性を立証しようとして、厚い壁が突破された。この閉込時間はそれ以前のものに比べて１０倍に相当するものであった。

ソ連によるこの成功は、全世界の核融合研究者たちに新たな勇気を与えた。米国では4つの国立研究所およびいくつかの大学、さらにＧＧＡ社で研究計画が実施されている。トカマクに類似の装置について特にのべるならば、次のような考え方が一般的である。すなわち、与えられた適切な資金、科学的可能性－閉込時間、温度、および出力用エネルギーの密度などを適当に組合せて行なう実験室規模の試験が１９７５年から１９８０年の間に実現するであろう。

しかし、ひとたび科学的可能性が示されたならば、我々は商業的実用装置を設計すること、またそれらの経済性を決定しなければならないというような多くの困難な課題に直面するであろう。これらの問題の多くは、まだ詳細に検討されてはいないし、まして取扱われてもいない。

核融合炉発電系をどのように構成するかについては、多くの考え方がある。それらのうちのひとつについて皆さんにお話しよう。ＧＧＡ社では、閉サイクル電力による、いわゆるダブレット・タイプのヘリウム冷却の融合炉を採用したシステムの構想をもっている。ダブレット（二重構造）の概念は、少し説明を加えるなら、ＧＧＡ社の科学者で東京に在住したこともなる大河千尋博士によって発明されたものである。このタイプの装置を次のスライド（Ｓ－１４）で示す。

定格出力1,０００MWeのこの装置の大きさは、３０フイート×３０フイートである（サイズの対出力比は正確に計算されたものではなく、これらの数値は近似値である）。その主要構造は、プラズマを内蔵する中心領域、ブランケットおよび冷却領域、磁場発生用とプラズマ電流駆動用のコイルなどである。プラズマ閉込めに必要な磁場はプラズマ電流の周辺に沿って流れる。１次コイル中の電流（秒オーダーの周期）はプラズマ内に電流を誘起し、同時にジュール熱を発生する。これは核融合反応の開始温度（約１００,０００,０００°K）までプラズマを加熱することが期待されるが、実際にはビーム注入式の軸方向加熱方法が採用されなければならないであろう。

プラズマ領域の砂時計型断面は特に重要な意味をもっている。これは二重構造閉込計画の独自の特長である。この形状は四極式磁場分布を生じ、閉込めの可能性にかなり有利な点である。

二重構造の重要な利点は、次のようなことから理解される：高温のプラズマは５０～１００Ｐｓｉの圧力をもっており、これは磁場で閉込められなければならない。ダブレットまたはトカマクの構造において安定状態を得るためには、閉込め用の磁場の圧力はプラズマ圧力よりかなり大きくなければならない。トカマクでは、この圧力超過係数は約100であり、ダブレットではわずかに１０～２０であろう。したがって５０Ｐｓｉのプラズマの閉込めには、トカマク型は5,０００Ｐｓｉの磁気圧力が必要であるのに対し、ダブレット型はわずかに５００Ｐｓｉで足りるであろう。

これらの磁気圧力は決定的に重大なものである。それらは磁気発生装置のハウジングに保持される。これは丁度ガス圧力容器で保持されるのと同様である。また寒剤の冷却温度に保たれる大型構造物も必要であり、これは非常に大きな温度勾配をもつので、私が前にのべた設計上の困難な問題となっている。その他に、トカマクを発電炉のサイズまでスケール・アップすることも別の面から困難な問題といえる。一方、ダブレットは磁場が小さくてよいので、スケール・アップはおそらく可能であろう。

次のスライド（Ｓ－１５）は、直接サイクル・ガスタービンを採用した核融合炉の出力端を示すものである。融合炉、タービン循環機、熱遮蔽用冷却装置、プラントの熱効率を増加させる再生熱交換器などが示されている。種々のヘリウム冷却方式が、ヘリウムが直接サイクル・ガスタービンまたは２次蒸気タービンと組合せて使用されるとき、どれだけ発電所の性能向上が期待できるかを決定するために研究されてきた。もし温度が８００℃を越えなければ、蒸気サイクルは最高４０％の高い効率を示す。しかし、システムが900～1,000℃の高温ガスを作るように設計されるならば、直接サイクルでは最高５５％の良好な効率が得られるであろう。

直接サイクル式発電所のもつ単純なシステムは、その結果もたらされる経済性が重要である。好都合なことに、ＨＴＧＲ計画で開発された機器の技術は、少なくとも部分的には核融合発電システムに応用可能である。

そこに含まれている複雑な問題から容易にわかるように、そしてそれらを解決するためには巨大科学と工学的努力が必要であることがわかるように、発電用核融合炉はまだ近い将来実現するものではない。科学的可能性の実証段階から、主要な要素である経済性に関

する新しい概念を確立するまでには、約３０年間の開発の努力を必要とすることが、他の例における準備段階をみてもわかる。核融合炉も、多分このパターンをたどるであろう。

V 結　論

ここにいる聴衆の皆さんは、多くの問題すなわち地球上の環境を清潔に保ち、同時に最小限度の社会的かつ産業上の進展を遂げるのに十分なエネルギーを人類に供給してゆく過程で発生する種々の問題を解決するために必要な多大の努力について、本当によく理解していると思う。慎重に考慮された共通の開発計画すなわち、ある種の冒険は人類を新たな種々の危険にさらすので、その冒険を全く許さない代りに、あらゆる技術を最大限に活用する開発計画に世界各国が共同で参加すれば、この努力は実を結ぶであろう。我々は、人類にもたらされる潜在的な利益とそれに対する危険を評価し、大部分の人々が大変異常なものとして顧みていない方向に進むことを冷静に判断しなければならない。

環境対エネルギーの危機の問題に関して、私が個人的に引き出した結論は明白である。すなわち、我々は原子力の路線を歩まなければならないということである。皆さんの中には違った意見をもつ人々もいるであろう。私はそのような異なる考え方を、現在もこれから後も歓迎する。なぜなら、私が先にのべたように、批判は全く自由でかつ客観的な思想の交換を必要とするからである。私は次の点を強調したい。それは世界の人々がこの死活問題において如何に相互依存の関係にあるかということである。それは少数の工業国だけに関することではなく、全ての国々に関係することである。我々は同じ空気の環境で呼吸しており、同じ海からの魚を食べ、原料を交換し、製品を生産している。そして我々はあらゆる問題の解決にお互にいくらかの貢献をしている。

技術の進歩した国がなし得る貢献のひとつは、全世界のエネルギー資源を有効に保存できるような最適の方法での発電設備を建設することである。固いきずなで結ばれている日本と米国－これら二つの国は、趨勢、特に原子力の分野で指導的立場にある。この分野はまだ開発の初期の段階にあり、したがって人類のエネルギーと環境上の種々の要請に有効に対処できるように計画を作成することが可能である。

もしこの希望を実現できるグループがあるとすれば、それは今日ここに集っている人々である。このように我々－皆さんと私－は人類がかって歩んだことのない方向に巨歩を進めようとしている偉大な機会に直面している。

もし我々が完全でタイムリーな有利性をもつこの好機をつかむことに失敗すれば、将来の

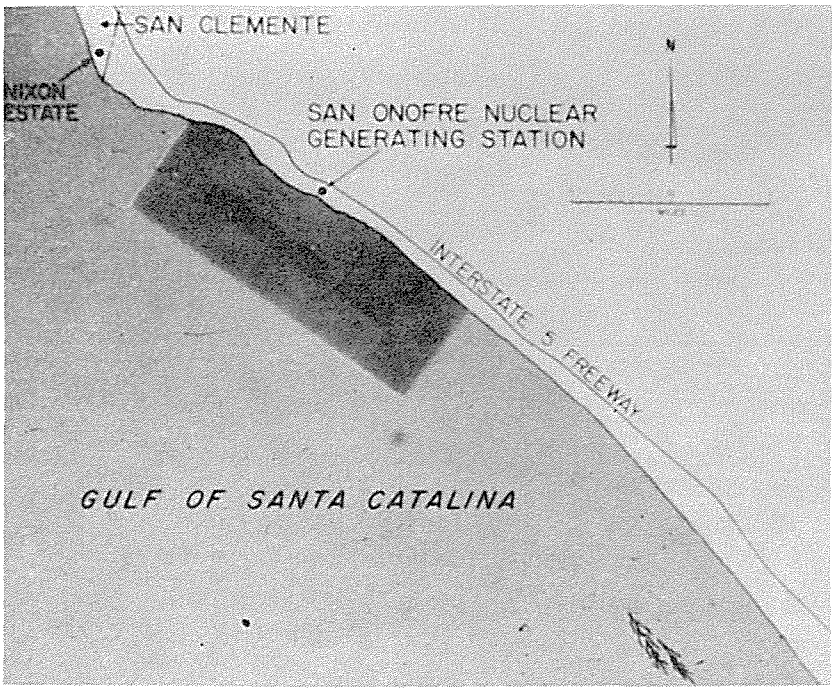
歴史家は我々をかなり厳しく批判するであろうと私は信じる。もし、我々がこの好機をつかみ、そして遂行してそれを成功に導けば、我々の子孫は清潔で住みよい未来の世界から、誇りをもって我々を追想するであろう。

参　考　文　献

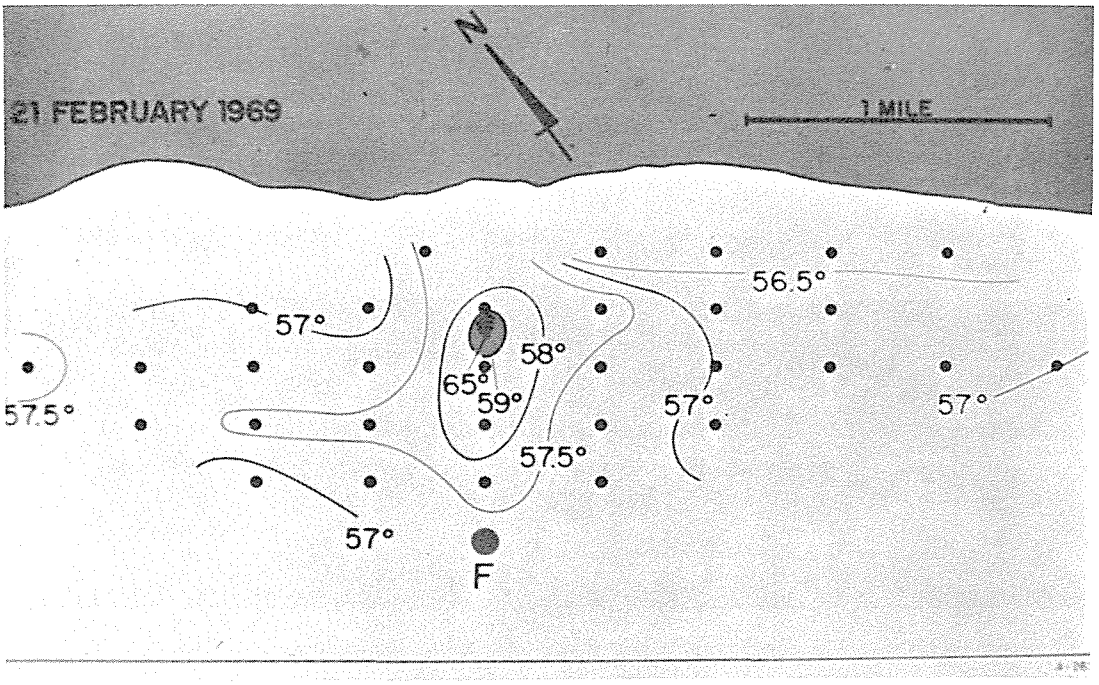
1. Hubbert, M. R., Resources and Man, W. H. Freeman, San Francisco California, 1969, p. 166
2. Atoms in Japan 15, No. 11, 11 (1971)
3. World Oil, January 1967
4. Hubbert, op. cit., p. 216
5. Atoms in Japan, 15, No. 12, 32 (1971)
6. Biggs, J. G., "Waste Heat to Extend the St. Lawrence Seaway Season, "Atomic Energy of Canada, Limited Report AECL-3061, 1968.
7. Samules, G., and R. S. Holcomb, "Utilization of Low-Temperature Waste Heat for Greenhouse Heating, "Oak Ridge National Laboratory - C. F. Memo 69-11-26, November 25, 1969.
8. Atoms in Japan, 15, No. 11, 18 (1971).
9. Nassikas, J. N., "National Energy and Environmental Policy, "Public Utilities Fortnightly, p. 49, June 10, 1971.
10. "Plutonium Utilization in the High-Temperature Gas-cooled Reactor," Edison Electric Institute Bulletin, March/April, 1971.
11. Rose, D. J., "Controlled Nuclear Fusion: Status and Outlook," Science 172, No. 3985, 797 (1971).
12. Gough, W. C., and B. J. Eastlund, "The Prospects of Fusion Power", Sci. Am. 224, No. 2, 50 (1971)

Slide - 1

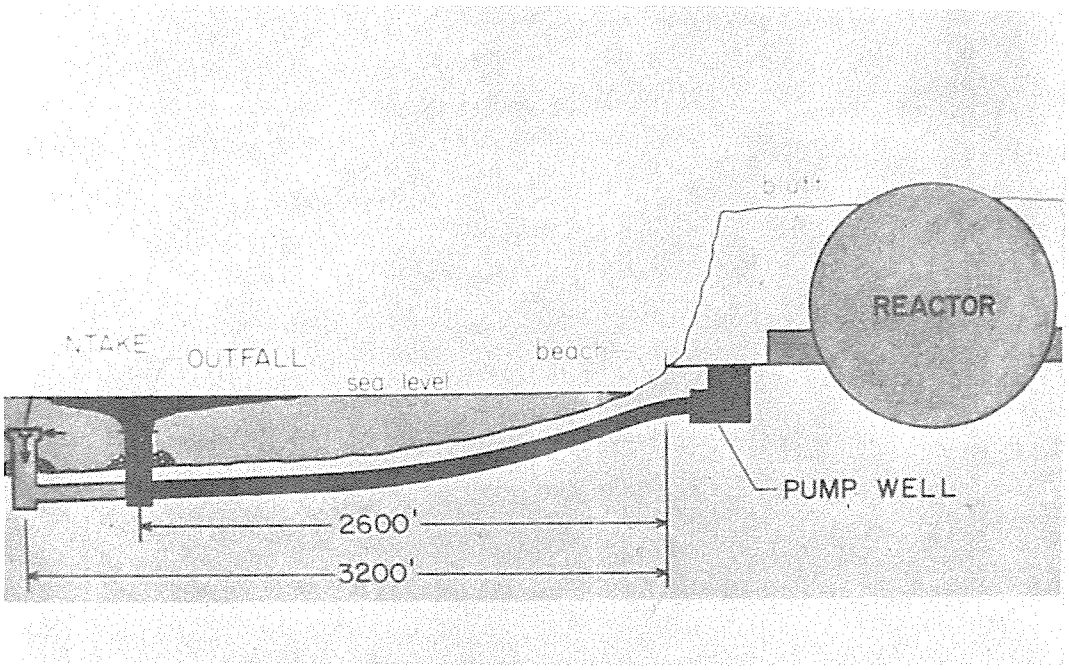
Slide - 2



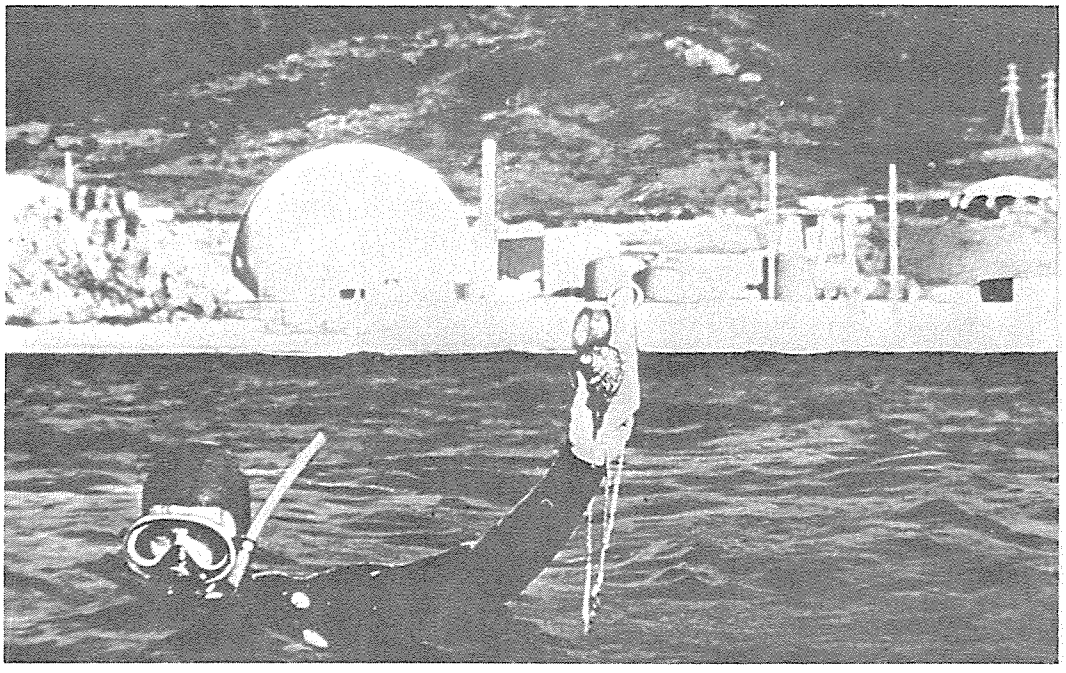
Slide - 3



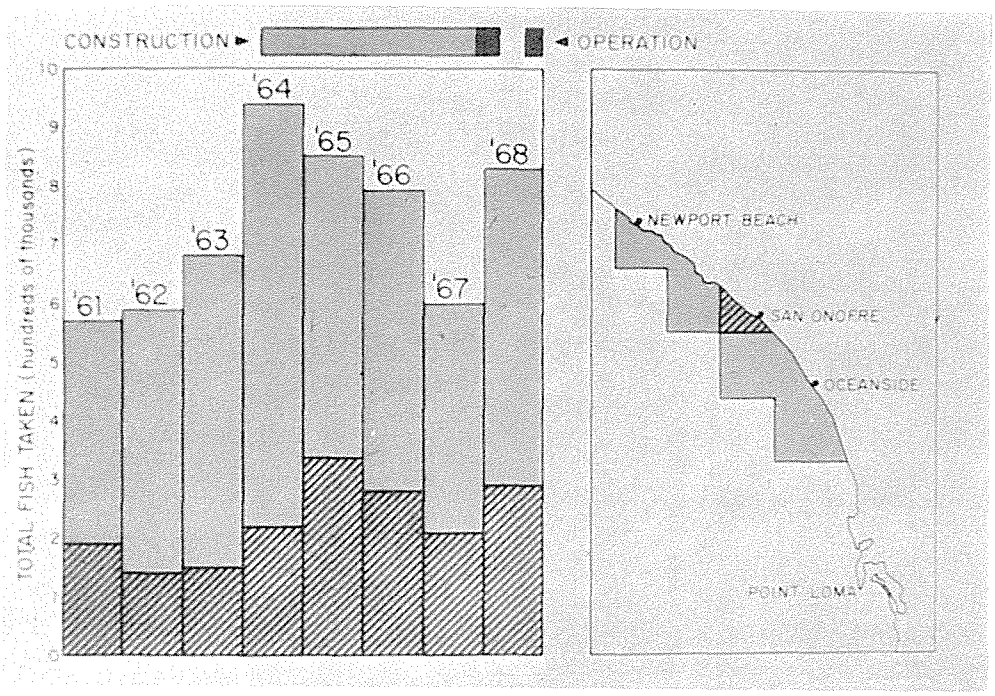
Slide - 4



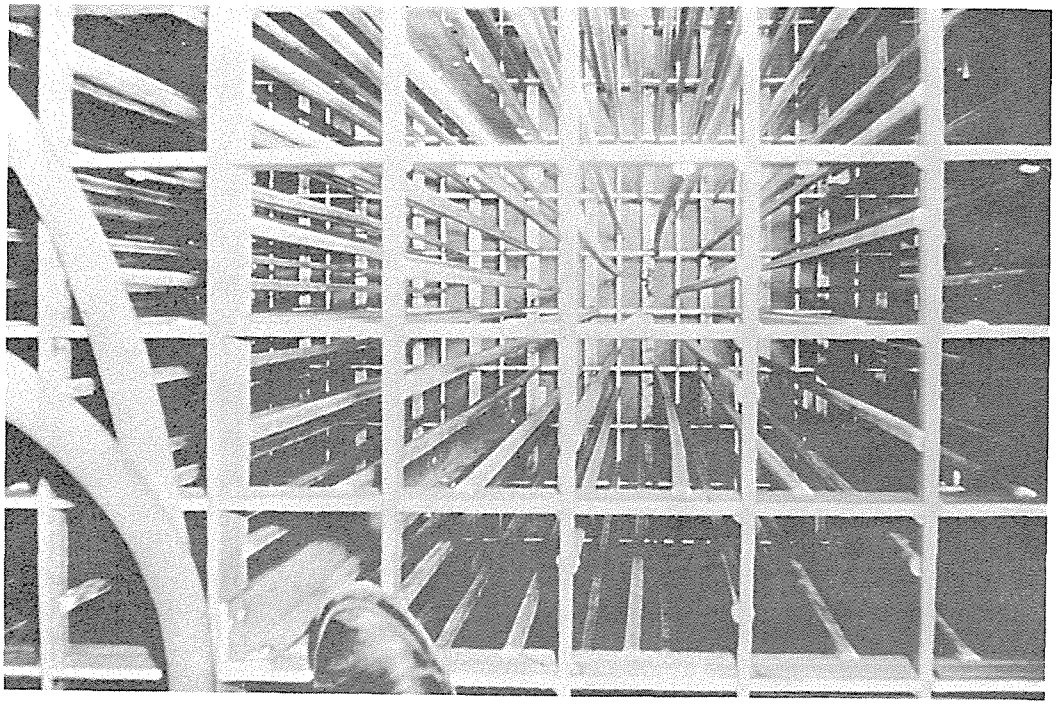
Slide - 5



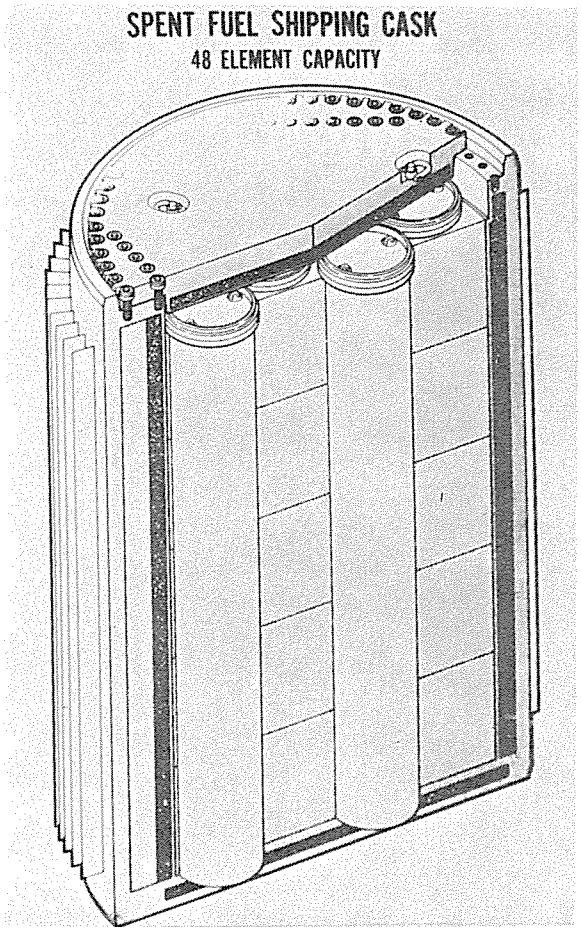
Slide - 6



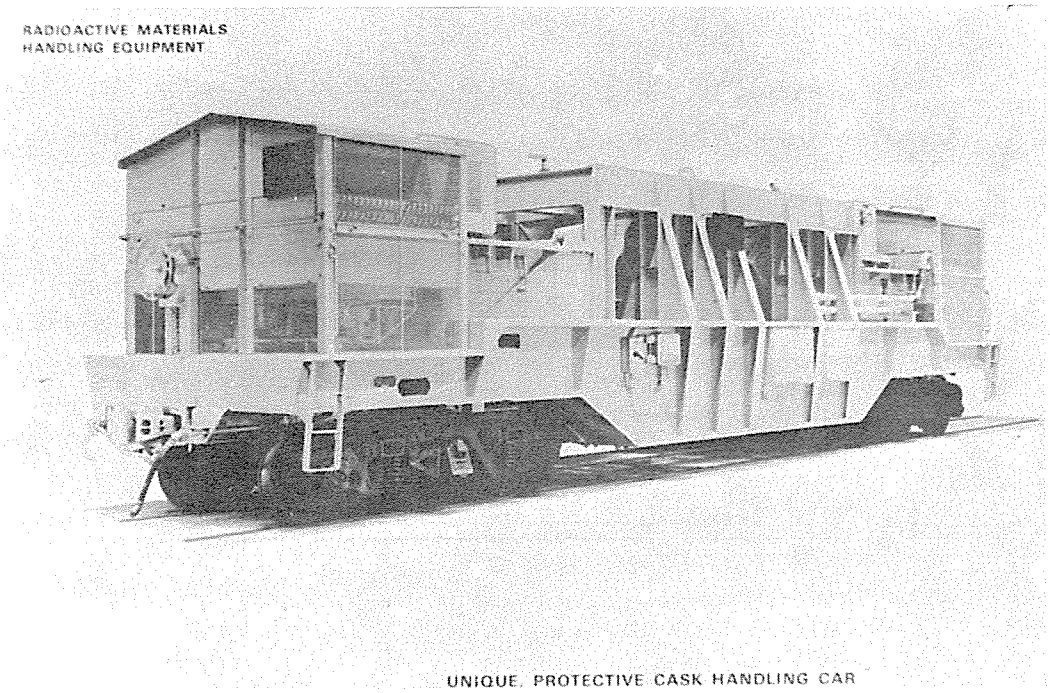
Slide - 7



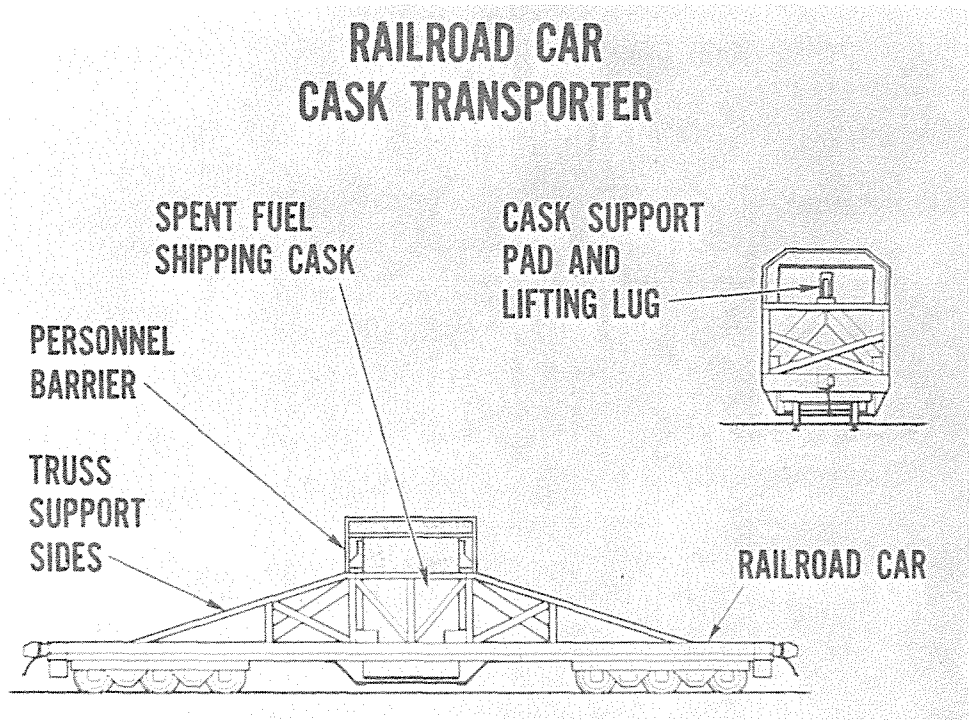
Slide - 8



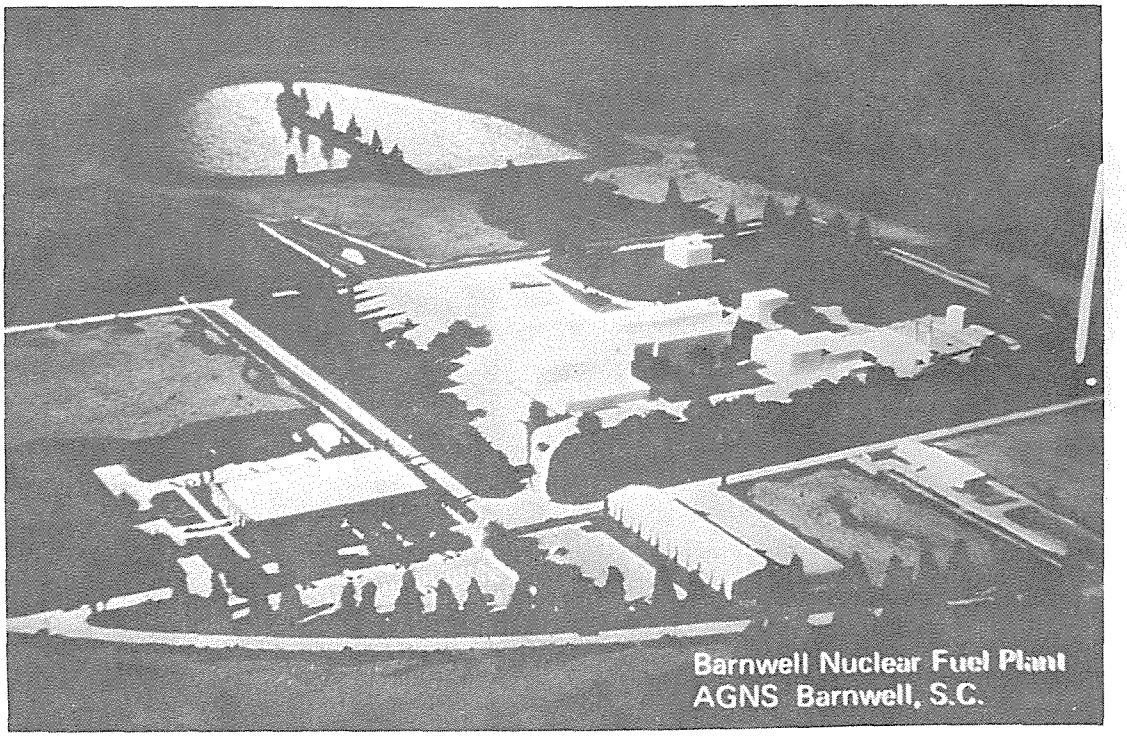
Slide - 9



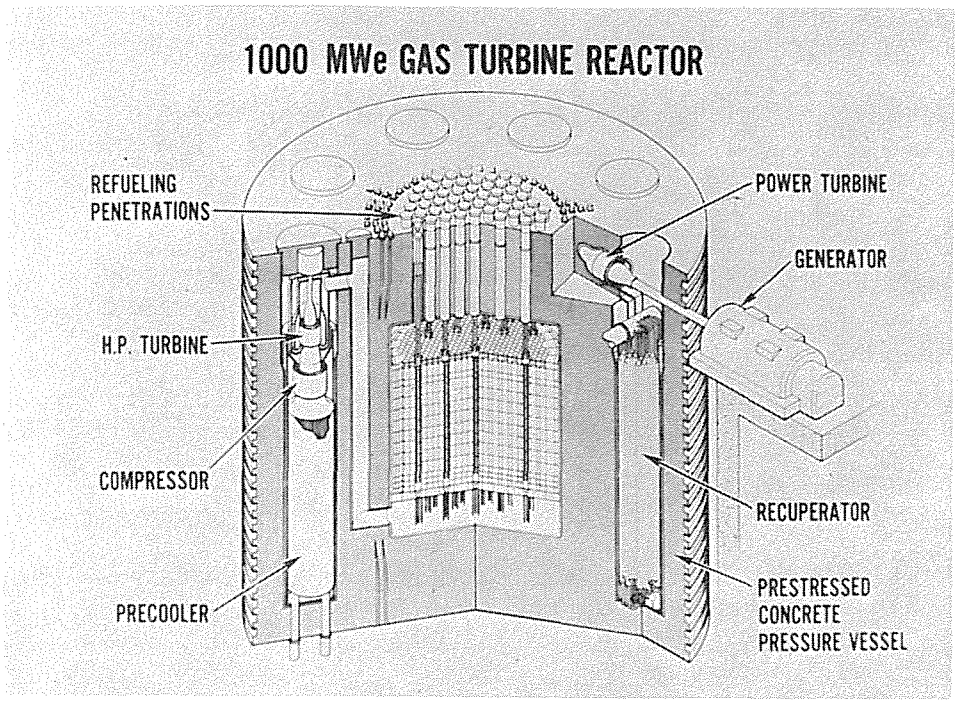
Slide - 10



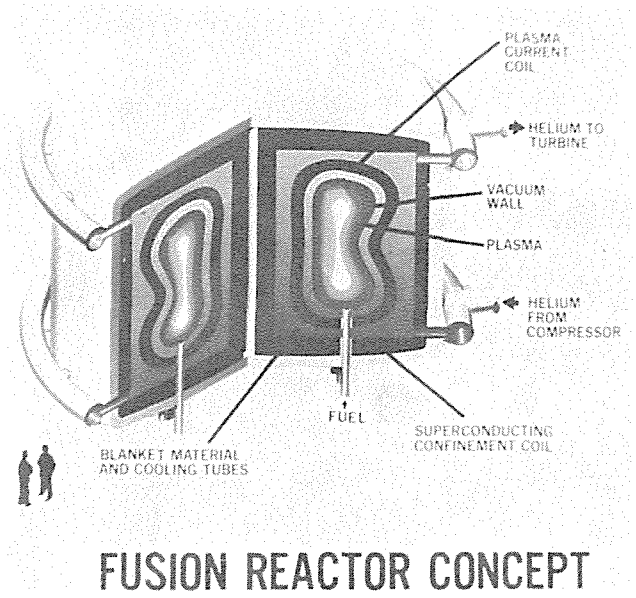
Slide - 11



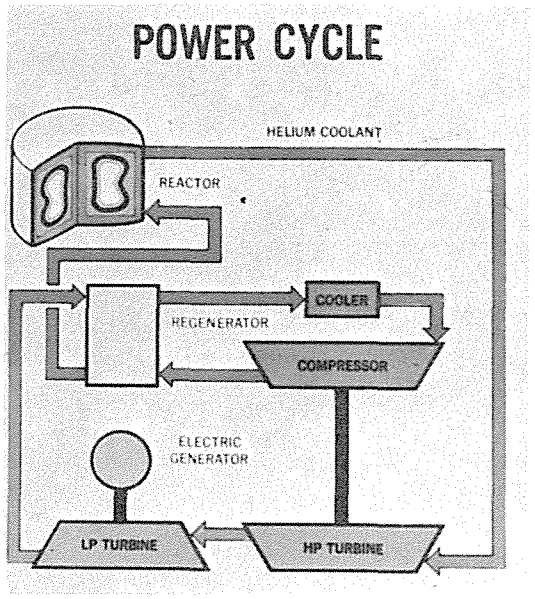
Slide - 12



Slide - 13



Slide - 14



Slide - 15

イギリスにおける環境と原子力

イギリス原子力公社
安全担当部長　F. R. Farmer

序

イギリスでは、諸外国と同様に、われわれの環境の保護について関心を払つている。われわれは、まだ処理すべき多くの問題をかゝえているが、過去の産業の増大によつて起きたいくつかの有害な影響をなくすことにかなりの成功を収めている。しかし、その改善には多額の資金と時間を要し、しかもわれわれの生活水準を維持または改善するために他の手段に使用される財源との対立があろう。

われわれの財源の幾分かは、代替エネルギー源としての原子力を開発するために使用されている。この必要性は、１９４０年から５０年にかけて、一層明白になり、１９５５年には、政府が原子力プログラムを発表するに至つた。爾来、ブリテンでは、原子力発電所によつて2,０００億KW 時の電力 ― ソ連を除く世界の原子力発電の約４７％を生産している。

今後はどうなるのか？　電力需要は、今後２０年から３０年間は、引き続き増加することは何ら疑う余地がないし、また長期予測には若干の不確定性があるが、われわれは西暦2,０００年における発電施設の設置容量が、2,５００億KW に達するものと推定している。その内、原子力発電の設置容量は、６０％の1,５００億KW に達し、恐らく第１図に示すように高速炉と熱中性子炉との間で均等に分配されよう。

煤煙汚染の規制

１９５５年に、政府は、最も進んだエネルギーの生産方法を開発すべく準備を進めていたが、その頃は、石炭の燃焼によつて発生するスモッグで約4,０００人の死者を出した１９５２年の冬の事件がまだ国民の脳裏に焼きついていた頃であつた。その結果、ブリテンでは、大気汚染を減少させるための長い歴史を経て、１９５６年に大気汚染防止法（Clean Air Act）を議会で可決することになつた。1,２７３年に、軟質炭の燃焼による大気の汚染を防止、または少くとも規制するための法案が可決された。１６世紀、１７世紀の昔でも、工場の立地が問題であつたし、１６６１年にチャールズⅡ世国王に対して、ある人は〝あなたの臣民の健康をそこねているもので、あなたの玉座の栄光をけがすほどの「流行性しつ患」のような禍である〟と記しており、石炭を使用する工場をテームズ河流域に移し、樹木や花のグリーン・ベルトをロンドン市の中心に置くべきことを提案

している。１８６３年には、大量の塩酸ガスが大気へ放出されるという大騒動があつた。王室委員会では、塩酸ガスの９５％を捕え、それを適度に蒸留してから大気へ放出すべきであるという勧告を出した。

さらに近年においては、１９５６年に制定された大気汚染防止法が煤煙を発生する燃料の燃焼を規制しており、第２図および第３図に示すように煤煙による汚染を漸次減少させている。その結果、われわれは現在、澄んだ空を見ることができ、第４図に示されるように、ロンドンの中心地は、１９５０年の冬期に比べ５０％以上の日光を浴びている。それは、原子力発電の開発による経験 — 汚染についての認識の高まり、即ち、いろいろな原因で人間にふりかかる災害についての認識とか生活水準を上げるための意志の高まりなどによるものであつた。

原子力産業における規制

あらゆる産業の安全な開発は、それに伴なう災害の早期かつ適格な状勢判断にかかつている。過去には、非常に頻ぱんに、あらゆる災害が死や傷害になつてあらわれ、その結果、とても悲惨な経験で得た教訓によつて、熟慮された慣例と安全規定および勧告の定義ができた。

原子力発電の初期の段階で、相当豊富な量の潜在的災害に関する情報が得られていた。1955年には、国際放射線防護委員会（ＩＣＲＰ）によつて安全な作業レベルについての広範囲にわたる勧告が発表された。その翌年にイギリスの医学研究会議（ＭＲＣ）が、〝人間に与える原子核放射線および関連の放射線の災害〟という報告書の中に同会議の勧告を発表した。以上二の報告書は、当時設計された原子炉や化学プラントが後に出された勧告書の追加事項や変更を考慮しても安全限界内で好調に稼動したほど設計者や運転者に必要な規範となつた。

特別のレベルの放射線被曝や放射性物質の放出を擁護することにより、むしろ、それが許容限界内にとどまつていることを示すことが私の目的である。この目的と普通、次のような手順の汚染規制の全体的な方法との関連を確めることが重要である。汚染規制の全体的な方法とは、第１に災害、または被害に関する情報を入手し、第２に安全限界を規定し、第３に独立の政府機関が限定した許容量の範囲内で作業する方法である。

許容量に従つた詳細な記録がある。これらは時々公表されており、ごく最近では、昨年のジュネーブ会議で発表された中央電力庁（ＣＥＧＢ）の運転している原子力発電所からの放出水に関する下表のような報告があつた。

放出水の許容放出量と測定放出量

発電所	トリチウム		その他のアイソトープ	
	許容量	1970年の放出量	許容量	1970年の放出量
ブラツドウエル	1.500Ci	95.3	200Ci	129.1
バークレー	1.500Ci	61.3	200Ci	22.6
ヒンクレー・ポイント	2.000Ci	18.6	200Ci	127.7
トロースフイニド	2.000Ci	67.7	40Ci	13.5
ダンジネス	2.000Ci	18.6	200Ci	83.7
サイズウエル	3.000Ci	20.9	200Ci	23.4
オールドバリー	2.000Ci	67.9	100Ci	7.8

同様にウインズケールのイギリス原子力燃料会社ＢＮＦＬ（旧ＵＫＡＥＡ）の化学処理プラントからの放出についても、気体および水の放出に関する許容量の範囲におさえられており、記録に残されている。

ブリテンでは、高放射性廃棄物を海洋に投棄しない。しかし、ある低レベルの固体放射性廃棄物は、コンクリートで内張りした特別の金属製容器に封入して大西洋の漁場（浅海）や海底ケーブルの経路から離れた深海中に廃棄されている。それらの処理は、国内の許容量およびイギリスが加盟している国際的とりきめに従つている。

許容量に従う能力は、原子炉運転におけるさまざまな経験と１５.０００トン以上の照射燃料および２５トンのプルトニウムを処理加工した化学プラントを２０年間運転している経験に基いている。原子炉と化学プラントの運転のほかに、われわれはイギリス国内での両施設間および日本を含む多くの外国施設への燃料の輸送を行なつている。だいぶ前に、原子力産業の安全な開発には、放射性物質、アイソトープ、核分裂性物質などの規制された輸送が必要であると考えられていた。１９５９年には、国際原子力機関（ＩＡＥＡ）により国際共同研究が促進され、国で実施する際の基礎になる勧告書を作成するための処置がとられ、私の部下もこの作業にいささか貢献をした。以来、イギリス国内、または外国との間のいかなる輸送においても、洩えいすることなしに、あるいは規制されていない放射線被曝を受けることなく、かなりの放射性物質の運搬が行なわれている。燃料が初めて運搬されてから２０年間に、5.０００トン以上の照射燃料がＣＥＧＢの発電所からウインズケールの化学プラントへ送られている。この運搬は、１マイル以上の道のりを2.５００回以上も往来したことになる。ＵＫＡＥＡの原子炉からの使用済み燃料を含めると合計１５.０００トン以上運搬したことになり、その内の６００ト

ン以上は外国から１６万マイルもの距離を輸送したものである。以上のことを要約すると、原子炉および化学プラントからの放出物と燃料の運搬は適切な許容量の範囲で十分効果的に規制されているということである。目的は、放射線の被曝を最小におさえることであるが、またそのような被曝を減少させるために要する経費は、被曝を最小にすることによつて必然的に得られる利益とその他の環境問題を処理するために要する経費との関係で考慮する必要がある。

その他の産業における汚染問題

次に〝原子力以外〟の汚染問題に関して、イギリスにおける環境の汚染問題を調査させるために議会によつて設置された — 王室委員会の最近の報告書について述べる。この報告書は、次のような汚染物質について述べている。

〝毎年、推定量1.４００万トンの国内の廃棄物が回収されており、その大部分の廃棄物はイングランドおよびウエールズの地方自治当局によつて、未使用または、使用不可能な土地に廃棄処分されている。１９６６年にはブリテンで1,１００万トン強の固体および半固体の産業廃棄物が処分あれている。その内の1,０００万トン以上の物質は比較的不活性なものである。約６０万トンの廃棄物は酸性か腐食性、あるいは明らかに有害なものである。重要な問題の一つは、これらの廃棄物が河川や地下水を汚染するかも知れないということである。これは、ブリテンの飲料水の約三分の一が低地の河川によつて供給されているため、重大な災害になりかねないからである。〟

イギリスの淡水河川を調査した結果、5,０００マイル程度の内陸水路は、主として下水および工業廃水の汚染を減少させるための改善が必要であると推定されている。いくつかの地域においては、改善措置がとられており、テームズ河管理局では、テームズ河の水質改善に成功している。１９５７年から５８年にかけては、テームズ河のロンドンを流れる４０マイルの範囲には魚が全然いなかつたが、１９６７年、６８年頃には４２種類の魚が住むようになり、魚の移動形態を再び汚染地帯へ移すことができた。

王室委員会では、現在のところ、ブリテン周辺の海が汚染によつて大きな変化を生じているという証拠はないと云つているが、毎日約５００万立法メートルの国内の下水および３００万立方メートルの産業廃棄物がイングランドの東南海岸沿いに放出されている。その他毎年約４００万トンの炭鉱廃棄物と１５０万トンの陶土廃棄物が、それより少量の産業廃棄物や下水汚泥と一諸に廃棄されている。

海は、しばしば偶発的に汚染される。毎年約５万ントンの重油によつて海岸が汚されており、また、１９７０年１０月〝パシフイツク・グローリー号〟の衝突事故で実証されたように、ま

すます大型のタンカーが就航されることによつて、なお大きな事故の危険がつきまとつている。

最後に、ますます大きな問題になつてきている騒音の問題がある。現在、都会の２０～４５％の人が、住宅地域に好ましくないと思われるような交通騒音レベルの街道筋に住んでおり、もし車輌数が予想通りに増加し、騒音レベルも減少されないならば、その人口比は１９８０年までに三分の一ないし三分の二に増加するものと思われる。報告書では、次のような問題での有先順位を設定することの難しさを認めている。しばしば直面しなければならない問題は、完全に汚染をストツプさせる方法ではなくて、どの程度まで汚染を減少すべきかということである。より清浄な空気と水、より少ない騒音、そしてより美しい景観などの社会的利益は、住宅、保健・教育、あるいは個人の消費と投資などの他の財源上の要求によつて見通す必要がある。財源に制限がある限り、それらの要求を生かす代替手段の中から選択しなければならない。一つの特別な消費の要求を拡張し、他の多くの人々にとつて、もつと重要なことが損害を受けるのでは全く社会的メリツトがない。〃

このような難点を認めて、委員会では、次のような優先順位の実施を勧告した。

(1) 種々の用途での水の需要増加の対応策として、例えば下水処理を改善することによつて供給にあてること。

(2) 地上の固体および半固体の毒性廃棄物の処理を規制すること。

(3) 交通、飛行機およびある種の工業機器による騒音を減少すること。

委員会の報告が発表されて以来、環境省（the Department of the Enviironment）では、イングランドの上下水道の供給だけでも、今後５カ年間に１３億ポンド近くを出費する計画を発表したが、この費用は、過去５年間の支出と比べると４億７０００ポンドの増加になる。

われわれの環境の悪化は、このかうな実施順位と関係があり、大人口をかかえている小国では、社会活動および産業活動によつて直接的な形であらわれてきている。汚れた河川、廃棄物だらけの土地、激しい騒音などの一次的影響は、他の社会的必要性が要求される程に、われわれの感覚をおかし、ますます不快なものになつている。

特別の規制の必要性

前に述べた以外にも、水銀、ＤＤＴ等、さらには放射性物質などの直接五官に感知されないもので人間、または環境に害を及ぼす汚染物質がある。放射性物質による災害が直接感知されないという事実は、放射性廃棄物に対する特別の規制を適用する理由の一つであつたし、1956年には、次のような立法化するための理由が与えられた。

(a) 低線量率の電離放射線による災害は五官に感知されない。

(b) 多くの放射性廃棄物の処理によつてできるさまざまなレベルの電離放射線の影響が非常に長時間経過してから出てくるので、原因と結果を関連づける機会がほとんどない。

現在、一層広範な環境との関連性を考慮して、他の産業にも、同様のアプローチが更に広く採用されることになろう。実際、王室委員会ではこの種の毒性物質をモニターする必要性に対して特別の関心を払つて、次のように述べている。"多くの毒性物質には、晩発性、あるいは蓄積効果があるので、最初の危険の徴候は、植物、または動物、あるいは人間の場合でも同じであるが、原因のわからない病気とか死にあらわれるようである。この範疇の物質は、環境へ放出されているか、もしくは、放出されるかも知れないもので、重金属、殺虫剤の残余、その他の生物学的に活性な化学薬品などがある。それらの物質は、土壌や空気、あるいは水の中に検出不可能な位少量含まれている場合でも、生体細胞によつて選択的に濃縮される。従つて、それらの最も実際的な検出方法は、インジケーターとして最も効果的であると思われる種類の動・植物の定常的調査を行なうことである。"

この種の調査は、原子力産業においても当初から実施されており、調査結果はイギリス政府に対して効力があり、公表もされている。

原子力開発に不可欠であつた安全性の問題には、次のような二つの異なつた範囲があるが、今日では同じようなことが、他の社会活動とか、産業活動においても云える。

(1) 低レベルの危険に関する問題　先進社会は、今日、１９００年に比べると、はるかに健康的であり、ますます小さな危険をなくそうとしている。さらに、そのような小さな危険は系統的に表われるもので、今では容易に見極められるものである。今日、一人当り１ppm（百万分の一）、あるいは1,０００万分の一というようなオーダーの危険を論じることは一般的ではない。原子力産業において問題となるのは、原子力施設の従事者が受ける放射線、あるいは原子炉とか核化学プラント周辺の住民が受けると思われる非常に低レベルの放射線の影響である。

それと同じような意味で、製薬企業は社会的要望によつて大きな影響を受け始めている。薬品の安全性の問題が大きく取りあげられるのは、新薬を検討し、試験し、販売するのに長時間を要するからである。新薬は検討され始めてから５年以内に市場に現われることはほとんどないので、その単位製品当りの開発コストは、広範な生物学的評価を含めて1,２００万ドル以上になるものと推定される。

(2) 大人口に及ぼす低濃度の物質の影響に関する問題

この種の検討は、原子力産業が拡大されるに従つて、ますます重要になるが、非常に近い将来についてみれば、原子炉放出物は今のところ、また近い将来においても問題にならないとイギリスの専門家が認めている。化学プラントに関しては、プラント内での再処理および廃棄物管理の有効性が高められているので、発電所の数が増加しているにもかかわらず、海洋放出の放射能レベルには比較的増加が見られない。

このような状況は、トリチウムの唯一の例外であつて、今後２０年間は現在の制限内にとどまるものと予想される。トリチウムを海洋へ放出しても、非常に大量のアイソトープが希釈されるために、ほとんど環境に影響を及ぼさないし、また今後２０年間の放出量は、トリチウムを受け入れる環境の容量のたかだか一万分の一程度であり、人間にとつて許容不可能な線量にはならないし、またいかなる生態学的影響も生じないものと考えられるからである。

放射性クリプトンの大気中への放出は、現在のところあまり重要ではないが、放出される量は原子力発電計画の規模の拡大とともに増加するであろう。この気体を放出し続けた場合の影響は、いくつかの国で個々に検討されたが、どの研究の結果を調べてみても、今世紀末までには、処理プラント周辺のクリプトン、または世界的に生産されるクリプトンによる影響は何ら認められないであろうと云われている。

原子力以外の分野では、低濃度であつても重要になつてくる多くの潜在的な汚染物質がある。これらの中には、鉛、水銀、ＤＤＴなどがあることは前に述べたが、それらの影響は、過去２～３年間にわたり広く議論されている。現在、多くの産業が環境問題に関する社会的制圧を受けている。例えば石油化学工業とか、化学工業では、ガソリン添加剤の影響、洗浄剤、または他の生成物の生物学的影響、あるいは、生物学的品位を低下させるプラスチツクの調査によつて制圧を受けている。化学工業では、現在これらの影響を調査するために資金を投じているが、さらに、この調査を進めるために多額の資金が投じられよう。また、工場では新しい改良された汚染管理装置に資金をつぎこんでいる。そのような工場での汚染管理の改善には、一社だけでも今後三カ年で１億ドル以上かかると云われている。以上のようなあらゆる努力には、多額の資金が必要であるとともに、環境を保護し、改善する社会的判断が反映される。

長期の問題

折にふれて、われわれは放射性廃棄物の長期貯蔵にどんな方法が使用されるのかということについて検討してきた。恐らく、液体状態での貯蔵は、さほど監視が厳しくなく、余り貯蔵施

設を取りかえる必要がない固化処理におきかえられるであろう。いくつかの固化処理法は、既にイギリスおよび諸外国で研究されているが、現在使用できる大部分の処理法は、もう暫くは液体状態で廃棄物を貯蔵する必要がある。エネルギー市場が拡大する時期においては、必然的に常時高い放射能の液体廃棄物の半分がタンクに残つていることになろう。イギリスでは、貯蔵方法を変更する決議を行なうまえに、さらに固化技術を改良する必要がある。

燃料かんなどのある種の固体放射性廃棄物は、現在コンクリート製の貯蔵庫に貯蔵されている。この方法は、現在のところ満足すべきものであるが、長期的観点からみれば、貯蔵方法をかん和する方法を見つける必要がある。特に廃棄物中にプルトニウムが含まれる場合には必要である。原子炉燃料としてプルトニウムを利用することは、高速増殖炉の著しい特徴である。高速増殖炉は、イギリスでは既に２０年にわたつて開発されているが、最初のナトリウム冷却高速増殖炉は１９５２年に設計されたもので、以後１９５９年にかけてドーンレイに建設され、１９６０年に運開したものである。このシステムの導入には、潜在的に環境に影響を及ぼすものと広く認められている二つの相異点がある。即ち、原子炉燃料としてプルトニウムを利用することと、この炉によつて、在来の熱中性子炉で起きそうな事故とは違つた形の事故が起きる可能性である。高速炉と熱中性子炉には違いがあるし、また同じ熱中性子炉でも違いがある。安全性の観点からみれば、それらの相違は単に有益であるとか、あるいは有害であるとかいうことではないが、その影響を詳細に話すと非常に時間がかかるので、１９７１年１０月のエレクトリカル・レヴューという月刊誌に掲載された高速炉の安全性に関する考察の論評をご参照いただきたい。この論評は、〃ナトリウム冷却高速炉では、他の炉型に比べて、必要な場合に原子炉を停止させる能力で、ほとんど完全かつ容易に安全性をたもてることがはつきりしている。〃と結論づけている。

プルトニウムは、イギリスに関する限り、新しい災害になつていない。私は、１９５２年に運転開始されたイギリス最初のプルトニウム・プラントの建設に携つたことがあるが、以来ウインズケールの諸プラントでは、２５トン以上のプルトニウムが問題なく処理されている。潜在的な災害を認識して、適切なプロセスの開発や化学プラントの選択、およびそのレイアウトに相当の注意が払われている。十分に設計の行届いた化学プラントでは、プルトニウムの広範囲にわたる飛散は起こらないであろう。建築物の選択と建築物内の諸プロセスの細部は、そのように安全にすべきである。さらに、最終生成物と中間生成物の貯蔵を検討することによつて、あらゆる形態の想定事故からプルトニウムを守ることができよう。プラント近辺で発生するかも知れない限られたプルトニウムの飛散は、行届いたプラントの設計とプラントの管理によつ

て防ぐことができる。大規模なプルトニウムの処理は、過去においては、プルトニウムのごくわずかな洩れが、作業環境のモニタリングでの非常に大きな負担になるということで、いろいろ問題になつたが、現在では、このような問題は、多くの重複的なプロセスを遠隔操作するような方向でプラントを設計することによつて大部除かれている。

最近の事故の状況

さて、再び総括的に事故の問題について述べる。ご周知のように、原子力プラントで、重大事故が起きると、プラント周辺では永続的な影響があらわれ、また、その影響は遠く離れた所ほど、短かい時間で測定される。このようなことは、原子力以外のプラントの場合でも云えることであり、従つて、現代社会における事故には、一定の傾向があるのかどうか、あるいは新しい材料とプロセスが大きな変化をもたらしたかどうかを調査することは合理的である。

変化を予期するいろいろの理由がある。

(1) われわれの局部的な環境については、新しい懸念があり、われわれは今まで以上の高い安全性および快適さの基準を求めている。

(2) 自然にはない多くの新しい材料があるが、そのいくつかのものは損害を与える大きな危険性をもつている。

(3) 材料は、非常に大量に生産されており、その生産が２～３の大型装置に集中している。

この規模の変化 — 非常に大型化し、莫大な費用がかかり、潜在的に大きな危険をともなう — が飛行機やタンカー（油送船）の発展に、また化学工業および製薬企業、さらには原子力産業に適用されている。私は、過去に比べると、たとえタイム・スケールだけをとつてみても、発展のパターンに変化があつて、これは経験をフイードバツクするという点で、またこの経験から何かを修得するという点で極めて重要なところであると確信している。産業の安全性能の遅々たる改善は、過去は、大部分事故の結果をみて行なわれたもので、それから得られた知識は、既存のプラント、あるいは、将来の発展に適用された。多くの産業、例えば原子力発電とか新型飛行機の導入などについては、大惨事を招くような認識過程は、もはや全面的に許されない。従つて、より小さな失敗から知識を修得しなければならなくなつている。新型飛行機を導入するまでの遅々とした安全性の改善に関する興味深い論評が、１９６８年にイギリス大気行政庁（UK Air Registration Board）に報告されている。新型飛行機の安全性能は、取りかえられる古い型のものよりも優れているので、時が経つにつれて安全性が漸次改善されていることがわかる。新型機を導入すると、それに関する知識が得られるまでは第５図、第６図に示されるように、高い事故率を伴なうものである。残念ながら、飛行機産業は、かつてこ

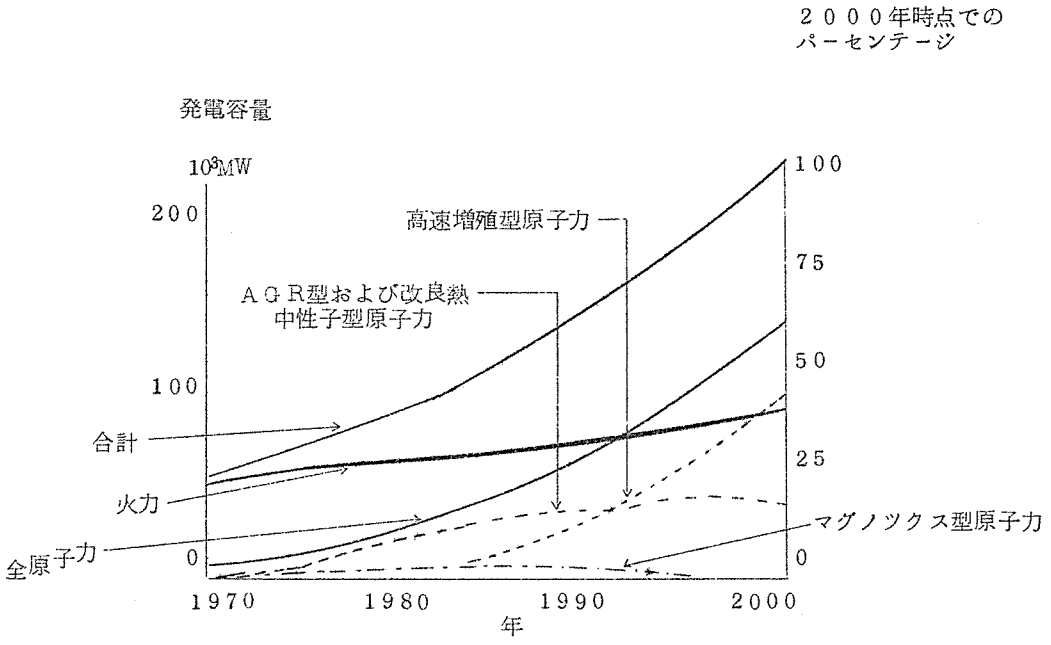
の認識期間をさけることにほとんど成功していないし、また、その期間も比較的長期にわたつている。ある型の安全性を完全なものにするまでには、１００万回オーダーの飛行を要するようである。

化学工業での経験は、また違つたものであるが、補足的なものである。非常に大きなプラントが、１９６０年代の中頃に導入された。例えば、ヨーロツパの代表的なエチレン・プラントは、１９５６年の年間３万トンに比較すると、年間２５万トンから５０万トン程度の大容量になつている。アンモニアやその他の基幹原材料を生産している諸プラントも同程度の割合で増大している。しかし、高温、高圧を利用する進んだ技術の複雑な処理法と多くのプラント装置の組合せによつて重大事故の頻度の増加とその事故による損害総額が急激に増加している。例えば、アメリカの事故では、１万８０００ガロンのイソブチレンが大気に飛散し、混合燃料の大気雲ができた。この事故によつて、爆発が起こり、死傷者がでて、全体の損害賠償額が、3,５００万ドル以上にものぼつた。今後、産業の中でこのような事故による損害をださないようにするために、また社会に与える損害を防ぐために、定常条件下およびやゝアブノーマルな条件下でプラントがどのような状態になるかをもつと精密に推測する必要があろう。

現在、飛行機事故の防止と化学工業における危険および損害の減少に、また原子力プラントの安全な開発の促進のために工業プラントを種々の条件下で運転する方法の研究が行なわれている。

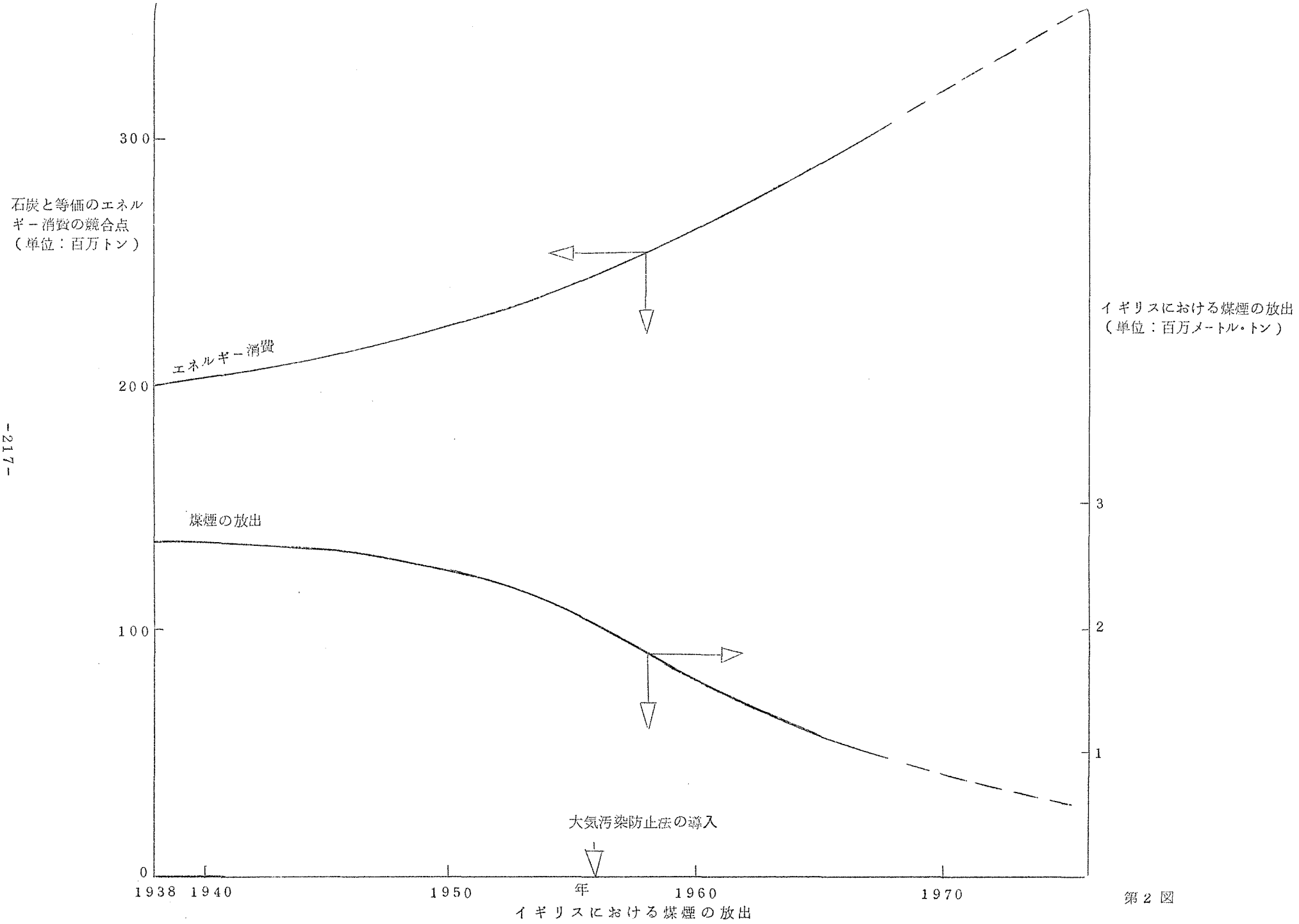
民間飛行機産業では、多年にわたり系統的に各種飛行機の潜在的な失敗の類型を分析し、徹底的な試験を行ない、コンポーネントおよびシステムの挙動に関するデータを収集した。この研究によつて、早期に損害を発見できるようになり、現在では事故を防止することだけではなくて、性能と信頼性をも高めることができるようになつた。現在、同じパターンの分析を行ない、関連した経験を抽出し、活用するための効果的方法を調査している化学工業についても同様のことが云える。これら二つの産業は、ある定められた時点に目標をおいている。超音速輸送の開発目標は、今日の事故を３０%改善することであり、１回の飛行で3×10^{6}以上の致命的事故率にならないようにすることである。化学工業の一部門の新しいプラントを設計する場合は、致命的危険度が現在の化学工業の十分の一以下になるようにしている。この値は、年は10^{-5}以下の危険度を目標としている。原子力産業では、現在実際的に事故の確率と、その結果についての評価を行なう必要があるという認識が高まつている。そのためには、信頼性分析を含む一連の安全性評価技術の開発が必要であるが、その技術は、設備の欠陥に関連した経験を順々に適切にフイードバツクさせることにかかつている。

汚染に関する王室委員会報告書の大部分および私の論文の大部は、通常の生活の一部一自動車の運転、下水の放出、一般廃棄物の放出、煤煙および化学廃棄物の放出等の実態について述べたものである。これらのすべてが、大部分予測できるものであり、また、それらの種々の影響は、もし社会が要望するならば、ある経費をかけて緩和することができるものである。原子力プラントからの放出物は、そのような範疇に入るもので、われわれは、イギリス政府代表の多くの専門家と公式の報告文書によつて、その廃棄物が現時点での特別な懸念になつていないものと予解している。また、環境を保護しようとする人々が現実的な目標を持つことは大切なことである。一国の財源には限りがあり、それらの財源は、高い危険度を有する分野を改善するために使用しなくてはねらないが、一方今のところ危険の低い分野については、その状態を維持する必要がある。

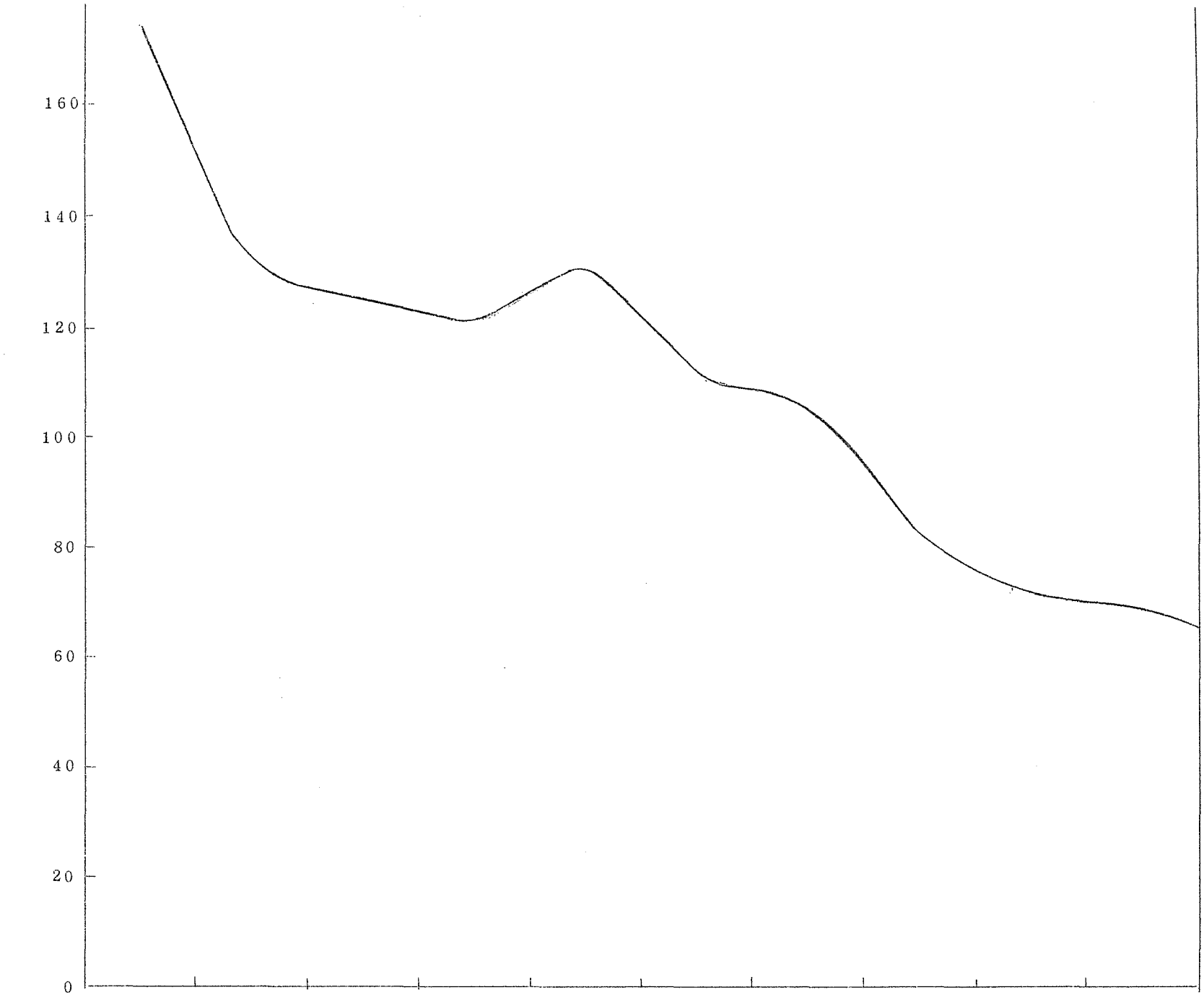

２０００年時点での
パーセンテージ
発電容量
10^3MW
200
100
0
1970
1980
1990
2000
年
100
75
50
25
0
高速増殖型原子力
ＡＧＲ型および改良熱
中性子型原子力
合計
火力
全原子力
マグノックス型原子力

発電容量の推移

第１図

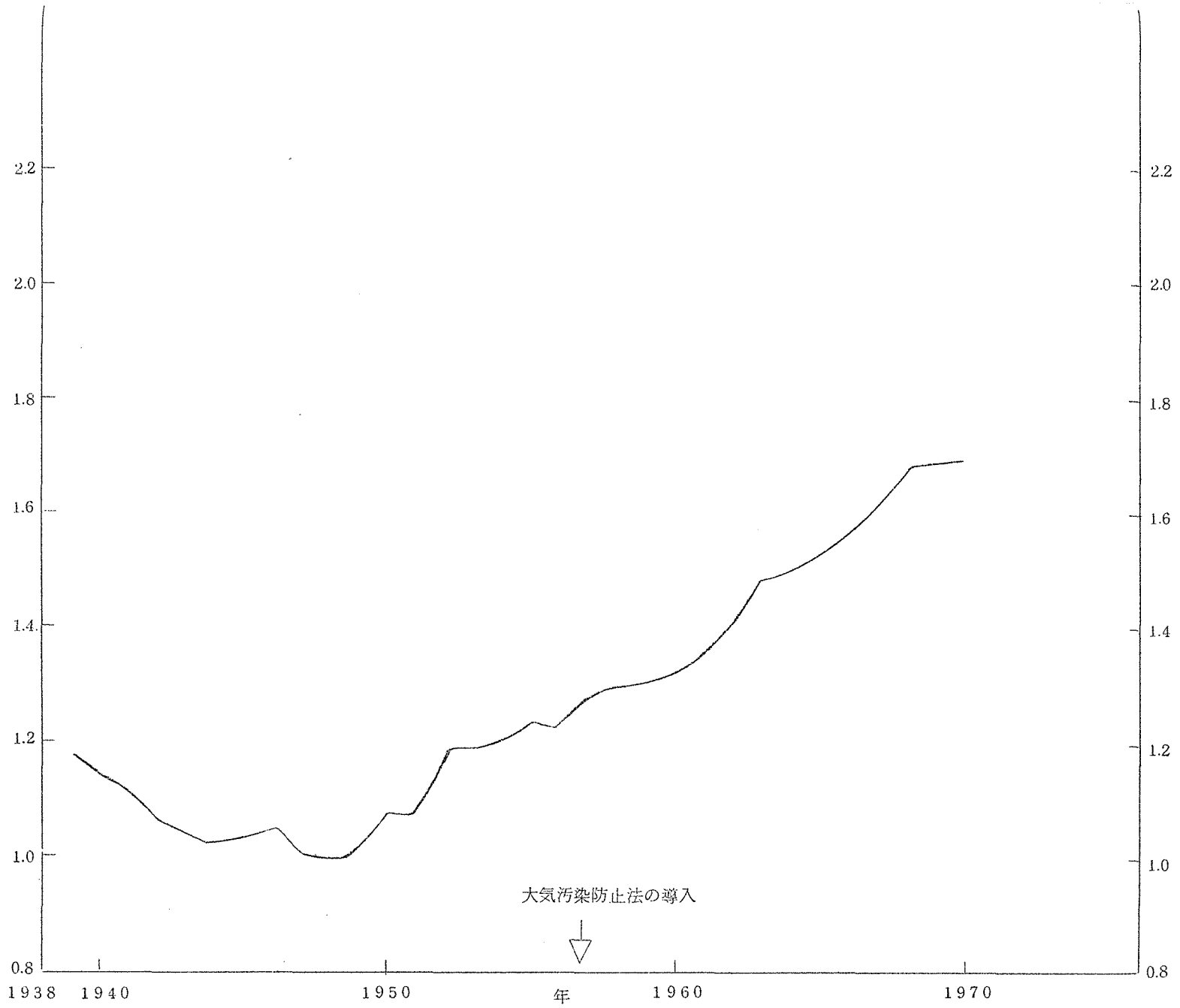

石炭と等価のエネルギー消費の競合点
（単位：百万トン）
300
200
100
0
エネルギー消費
煤煙の放出
イギリスにおける煤煙の放出
（単位：百万メートル・トン）
3
2
1
大気汚染防止法の導入
1938
1940
1950
1960
1970
年
イギリスにおける煤煙の放出

第２図



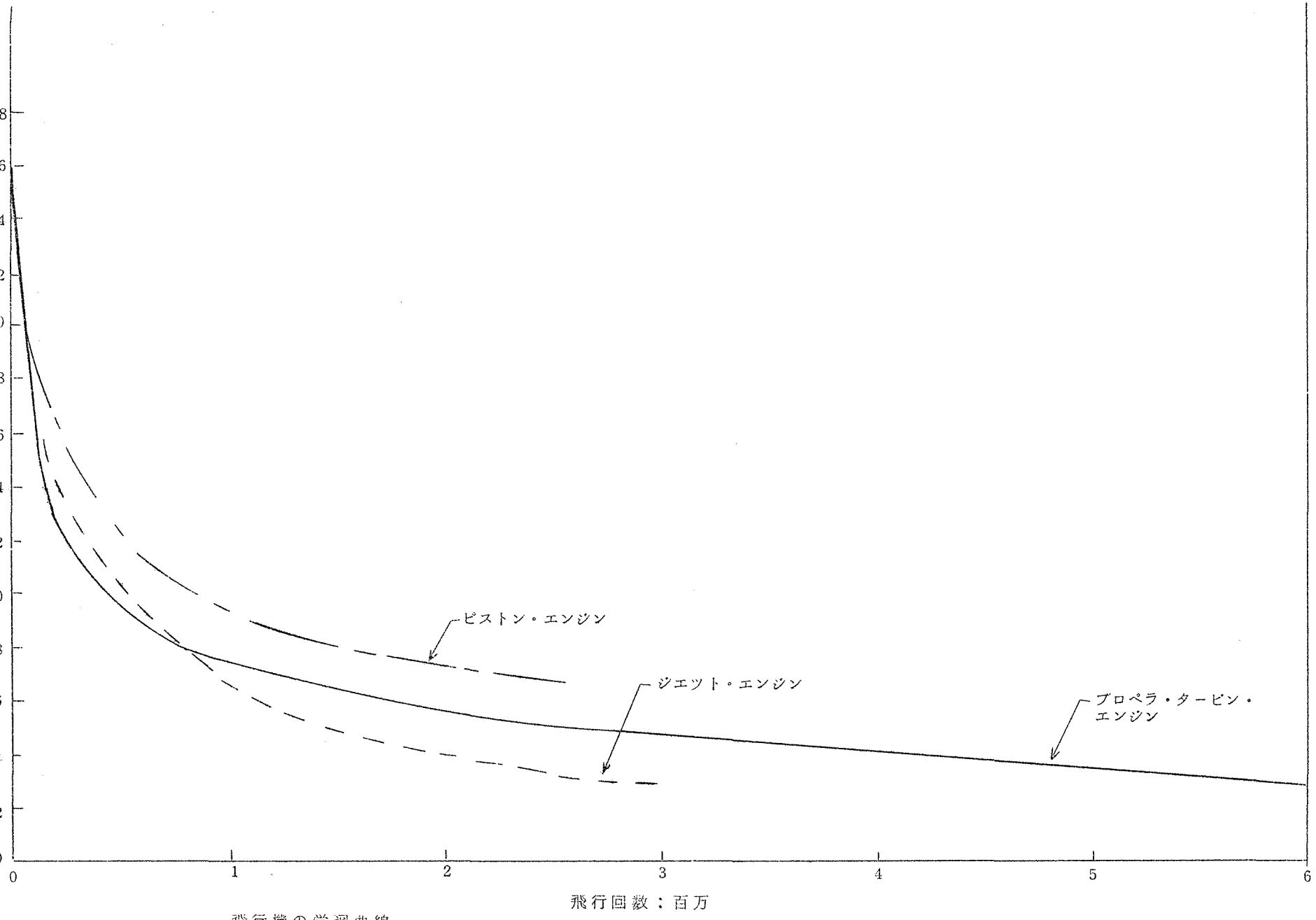
イギリスにおける平均煤煙濃度

第3図



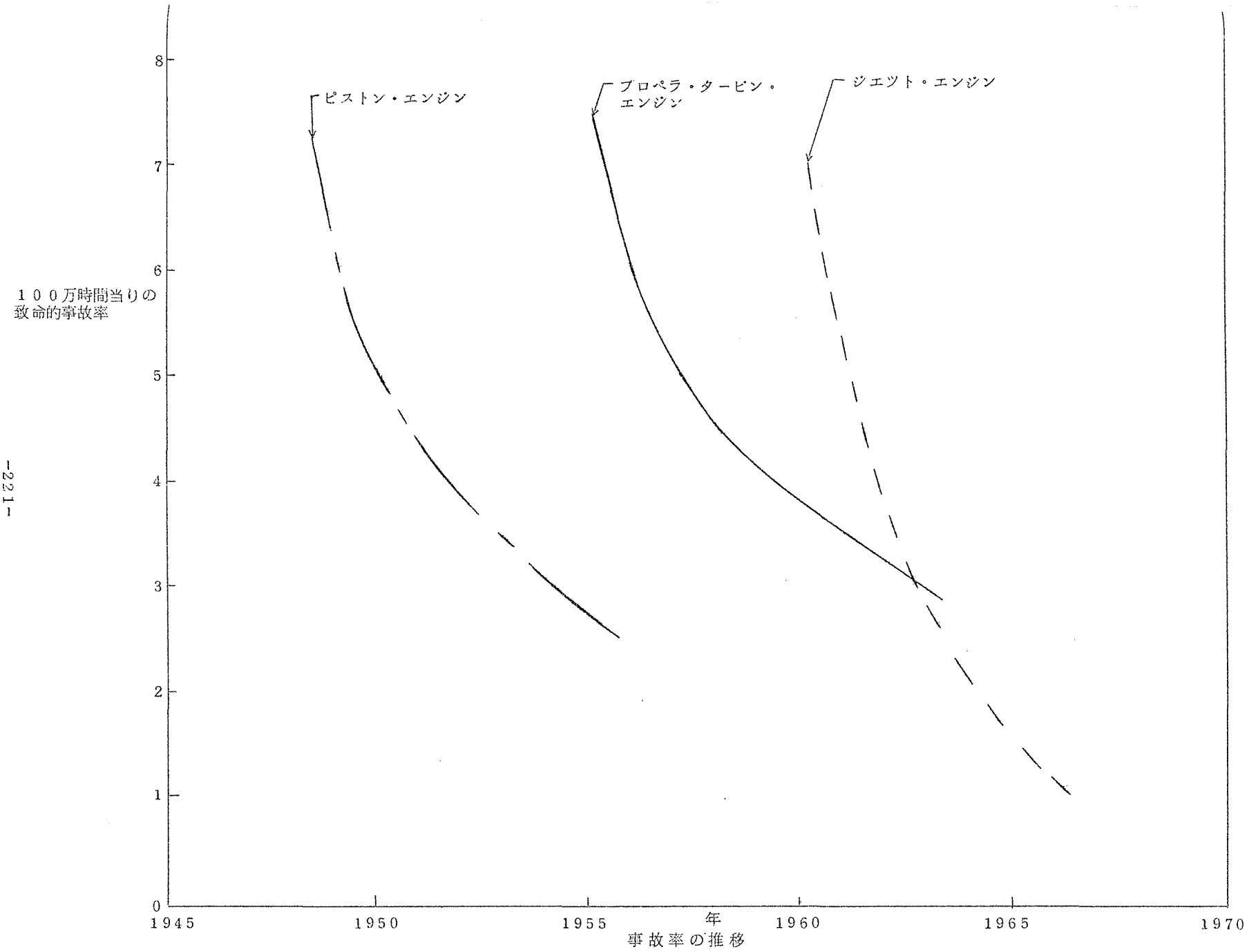
ロンドンにおける冬期の日光

第４図



飛行機の学習曲線

第５図


ピストン・エンジン
プロペラ・タービン・エンジン
ジエツト・エンジン
100万時間当りの致命的事故率
0
1
2
3
4
5
6
7
8
1945
1950
1955
1960
1965
1970
年

事故率の推移

第 6 図

原子力発電所の集中地域周辺における環境放射能対策

西ドイツ原子力安全研究協会

環境部長　W．　Schwarzer

1. ま　え　が　き

原子力発電所の敷地選択上の要素であるエネルギー需要，冷却水供給能力，用地の取得性，安全上の観点などは原子力発電所の地域集中化をもたらすものである。西ドイツにはこのような地域が2，3ケ所あり，将来大原子力発電地域になると考えられている。

ライン河上流地域は，高度の工業化によるエネルギー需要地であり，豊富な冷却水があるので，原子力発電所の集中が予想される地域の1つである。現在12の原子力発電所がライン河に沿って75Km以内に集中して運転，建設あるいは計画中である。

このような地域では，個々の発電所を独立したものとして取扱うことは不適当であり，環境の保全を確認するためには，原子力発電所，再処理，研究用など全ての原子力施設が及ぼす影響を総合的に評価しなければならない。このなかには，水中や大気中への放射性物質の放出はもちろん熱による影響も含まれる。

ここでは，原子力発電所から大気中に放出される放射性物質に対する放出基準の設定について検討する。その1方法として，具体的な実状評価から，たんねんに放出計画を算出することが考えられる。しかし，理想的な放出源分布を仮定して放出量を求めた方が，ユニットの増設など将来のパターンの変化に無関係となるので，一般的で好ましい方法である。

これらの計算値は最大許容線量に対して評価しなければならない。放射線防護指針は許容放出率の算出上重要であるので，先ず現在西独で採用されている指針の概要をのべる。この問題を評価するには，発電容量に応じた安全放出指針が必要である。現在運転中のプラントは建設，計画中のプラントに比べ小規模であり，また放射性廃棄物処理系が異っているので，それらの運転実績を検討するだけでは十分ではない。西独の許認可は，たとえ放射線防護指針から得た基準値以内であっても，必要性がはっきりしている容量しか許可しないので，将来予想される放出量も知っておかねばならない。もちろん，現在のオフガス系の設計をそのまま将来の大容量プラントに適用できるか，あるいは新設計が必要になるかなどの問題を解決しなければならない。

2. 放射線防護指針と技術指針

大気中への放射性物質放出を規制する西独の法基準は極めて一般的である。一般防護原則を略して簡単にのべると，放出ガスの放射性物質濃度は，特別に許可された場合をのぞいて，いわゆる最大許容濃度の1／10で，管理区域外の個人被ばく線量は0.15レム／年 である。

最大許容濃度はＩＣＲＰ勧告値を採用しているが，これは環境中に散布している生態学条件を考慮していないので，放射線従事者にのみ適用されるものである。

従って放射線防護指針作成の基礎としては，ＩＣＲＰ勧告の遺伝線量である5レム／30 年を用いる。

許認可審査で一般に用いられる西独原子力委員会の勧告によれば，この遺伝線量のうち2レムは原子力産業によるものとし，残りの3レムは他の人工放射線に対するマージンとして用いられる。この2レムは更に空気から1レム，飲食物や職業上から1レムと分けられている。

これは遺伝線量であるから，国民全体の平均値と考えることができる。しかし実際にはこの値は身体線量として発電所周辺の個人最大被ばく線量に適用される。このような理由から，西独原子力委員会は次の放射線防護指針を勧告している。

a. 大気中の放射性物質からの個人被ばく線量：30mrem／年

b. 飲料水経路によりうける液体廃棄物からの個人被ばく線量：10mrem／年

c. 食物経路によりうける液体廃棄物からの個人被ばく線量：10mrem／年

d. 液体廃棄物からの個人外部被ばく線量：10mrem／年

これらは，もちろん全身被ばく線量として解釈すべきである。これらの指針はその導出の背景から，空気からの被ばく線量指針は地域内の全ての放出源を総合した結果に適用され，また液体廃棄物からの被ばく線量指針はすべての被ばく経路を総合した結果に適用されなければならない。このことは1施設あるいは1ユニットが環境上容認される全量を排出することが許されなく，最初から将来の増設を考慮しておかなければならないことを示している。これらの値は何も新しい放射線生物学上の発見に基ずいているものではなく，放射線防護の原則と現在の技術水準のもとで決められた勧告値である。

放射線防護指針は設計時にのみ用いられるべきである。この程度の線量は測定することができないので，発電所からの放出量を決める，いわゆる技術指針の中に，環境上容認される線量を放出量の形で組み込まなければならない。言いかえれば，発電所の希ガス，放射性沃素，エァゾル等に対する年間の放出制限値は，気象条件や生態学条件やその他の敷地条件を

用いこの放射線防護指針から算出される。

この技術指針はすでに許可されている放出制限値が容認できるものであるかどうかの判定に用いられる。実際に必要な量以上は許可しない前述の原則のため，許可を受けた値は一般にこれらの技術指針よりかなり低い値である。

我々は，以上にのべた方法は次の３つの理由から極めて保守的であると信じている。

1. 遺伝線量として国民に平均的に適用されるべき２レム／３０年を国民の決定集団に適用していることはかなりの安全性を見込んでいる。
2. 放射線防護指針から技術指針を導出する過程は極めて保守的な手順と仮定を用いている。
3. 実際に許可される放出制限値は指針よりかなり低い値であるので，実際の国民被ばく線量は一層少なくなる。

3. 放射性雲（プルーム）の積みかさねと各種放出源パターンの線量分布。

放射線防護指針と技術指針についての簡単な紹介は終え，原子力発電所集中地域の線量計算に話しを戻す。この問題の一般解を求めるために，まず次の３つのパターンの計算を行った。

(a) ２つの放出源の場合。

(b) 多数の放出源が直線状に等間隔で分布している場合。

(c) 多数の放出源が直交格子状に分布している場合。

(b)は河に沿って多数の発電所が立地している場合にあてはまり，(c)は発電所が平面状に分布している工業地域にあてはまる。

計算上各放出源は同一の，排気筒高さ，放出源強度，放出ガスの成分構成を用いた。パスキィルの理論と１方位２０％の風向頻度でヨーロッパの平均拡散パターンを用い，(a)に対し次の計算結果を得た。

(1) 放出源間隔が３０Km以上の場合は，相関的な濃度および線量の増加は低く実際上無視できる。このことから，発電所間の距離３０Kmは〝２つの発電所間の相関を解く距離〟と考えられ，間隔が３０Km以上の場合は実際上２つの発電所は独立したものと考えられる。

(2) 放出源間隔が減少すれば，濃度および線量は増大し，間隔が1.5Kmになると，その値は２倍になる。言いかえれば，間隔が1.5Km又はそれ以下の場合は，２つの発電所

は各々の放出量を加え合せた１っの放出源として取扱わねばならない。この〝敷地半経〟は重要な要素であるが，２っの発電所が川の両岸に位置している場合，それほど理論どおりにはゆかない。

これら２っの基礎的な数値を基にして，他の２っのパターンを検討する。図１はサブマージョンモデルによる年間のγ線最大被ばく線量と，線状あるいは格子状分布の場合の最高度を発電所間距離の関数として示している。この関数は間隔の減少により急激に増大する。線状分布の場合は，約１０Kmから，格子状分布の場合は約２０Kmからこの増加が始まる。従って原子力発電所集中地域では，発電所間隔が２０Km以下になれば，各発電所の放出率は単独の場合の許容放出率より十分低くしなければならない。

4. 大容量原子力発電所から大気中への放射性物質の予想放出量。

原子力発電所集中地域の最大許容放出率を決定する基礎を求めたので，次に最新設計の発電所のもつ放射性物質貯留能力について検討する。これは次の理由から必要なことである。

(1) 現在の設計で技術指針より十分低い放出量に制限できることを示さなければならない。もし不可能であれば，設計変更が必要である。

(2) 実際に必要である量以上を許可しない原則によれば，許可された放出率は現実の必要量でなければならない。

大容量原子力発電所の放出率の評価には，発生源から排気筒までの全経路についての計算を含まなければならない。また現在の発電所で得られた実績も含まねばならない。西独にはこのための運転実績は十分ある。これらの発電所は起動停止，修理，燃料交換などを経験しているので，これらの条件差を考慮する。又破損燃料での運転もありこの場合は放出量の増加が検出されている。

もちろん，運転中の発電所の放出率をそのまま大容量発電所にあてはめることはできない。まず核分裂生成物の貯留系が異っている。最新設計では，多数の新しいアイデアや初期ものと異ったシステムが採用されている。

しかし，軽水炉では，大気中に放出される放射性物質は次の２っの発生源からくることがはっきりしている。１次系からの格納容器や建家へのリークと浄化系で冷却材から分離し、オフガスとして放出されるものである。我々は多くの理由から，後者は炉出力に比例し，前者は炉出力に無関係であると仮定する。この仮定がほぼ正しいものとして，次の結果を得る。

加圧水炉では，冷却材はバイパスで脱気されるため比放射能が高い。従ってリークによっ

て放出される放射性物質が主となるので，加圧水炉では大気中への放射性物質の総放出量は炉出力に無関係となる。一方沸騰水炉では，脱気が主蒸気系で行われるので，冷却材の比放射能は加圧水炉に比べ低くなる。従って沸騰水炉では，冷却材脱気ガスから放出される放射性物質の量は炉出力に比例する。

冷却材の比放射能および冷却材脱気系の効率は直接測定できるが，一次系からのリークによつて放出される量をつかむことは難かしい。そこで我々は〝実効リーグ〟という用語を定義する。これは，吸着，凝縮，冷却材の液相および気相からの部分放出など一次系から排気筒までに生じるすべての効果を含む。言いかえれば，実効リークは単位時間当り漏れるある比放射能をもった冷却材の量であり，排気筒放出率に相当する放射性物質濃度を放出するものである。

全放出量のうち出力に無関係な量は排気筒から放出される量から出力に比例する量（計算により求められる）を差し引いた値であるから，実効リークを求めることができる。

多数の沸騰水炉および加圧水炉の実効リークを計算した結果，炉型の違いははっきりした差となるが，同型炉間では実際上の差がない。このようにして現在の運転実績を最新設計の炉に適用することができ，予想放出量を直接計算から求めることができる。その結果は

	希ガス	I－131
加圧水炉……	4000Ci／年	0.5Ci／年
沸騰水炉……	1000Ci／GW年	0.7Ci／年

である。この値は，破損燃料での運転，補修，起動停止等を含んだ実績から得られた値であるので，当然現実の予想放出量である。メーカやユーザ側で独立に行った評価でも，我々の結果を基本的に確認し，保守的な評価であることをはっきりさせた。

従って，我々は原子力発電所からの実際の放出量は長期的にみてもこれらの値以下にまちがいなく維持できると考える。一次系のリークを減少する方法が改良され，さらに低い放出量になると考えられるし，また燃料被覆材の設計・製造法の改良により一層低い値にすることができると思う。

5. 環境に対する予想放射線量と放出制限値の設定。

図2は放出源間の距離の関数として，最大外部被曝線量をミリレム／年 で示したものである。

曲線Eは上述の予想放出率に適用される。曲線B_1は直線状分布のプラント群に適用され，曲線B_2は格子状分布プラント群に適用される。

３７０万KWtの発電所群に適用される最大線量が放射線防護指針の３０ミリレム/年 よりずっと低い値であることがわかる。

図２の他の曲線は，我々が許認可庁へ許可されるべき放出率として勧告した放出量に相当する。

この２組の曲線の差は，予想放出率について前に述べた基準から求めた値よりも大きくなるようである。しかし，多くの発電所は１基以上であると予想しなければならない。

従って我々は，これらの値を１基からの許容放出量としてではなく，１敷地からの許容量として勧告する。

この勧告は次の理由で合理的なものである。

(a) 発電所間隔が５Km以下というような場所であっても，許可を受けたものからの最大放射線量は年間１５ミリレム を越えることはない。

(b) 予想放出率と許可された放出率の差は十分大きいので，多分熱出力３７０万KWt ユニット４～５基を１つの敷地に設置できる。

(c) １ユニットの予想放出率は敷地に対し許可された放出率より十分低いので，運転中の異常や小事故でさえも許可される。

放射性沃素の放出の場合は多少異なる。図３は牛乳から摂取される放射性沃素の小児に対する最大年間線量を示す。

曲線は３７００MWt 4基の敷地の場合を示している。この種の被ばくに対するドイツの有効な放射線防護指針は年間９０ミリレム であるので，予想放出量はもし外部被ばく線量と同じ安全マージンをとるとすれば $1/10$ まで下げなければならない。従って，放射性沃素の放出から原子力発電所の集中度が制限されることになる。

ミルク経路からの放射性沃素摂取による被ばく線量の算出方法は沈着速度，酪農産業の構造，牛乳消費量に対する極めて保守的な仮定を用いる。

算出された値は生後半年で，しかも最大沈着量の草を連続的に食べた牛からとった牛乳を必要量の全部飲んだ小児にだけ適用されるにすぎない。

４ユニットからなる発電所が５Kmの間隔で格子状に分布していることは現実的な配置とは考えられない。

従って，もつと現実的な仮定と立地での甲状腺線量の計算は，全く異った結果をうむと信ずる。

従って，前にのべた予想量でさえも，年間９０ミリレムの放射線防護指針を越える線量は実

際には予想する必要がない。

6. 再処理プラントの敷地選定

前項に述べた状況における再処理プラントの敷地選定については2，3の 興味ある事柄が考えられる。それは主に長半減期のKr-85である。これは環境にかなりの影響を与える。

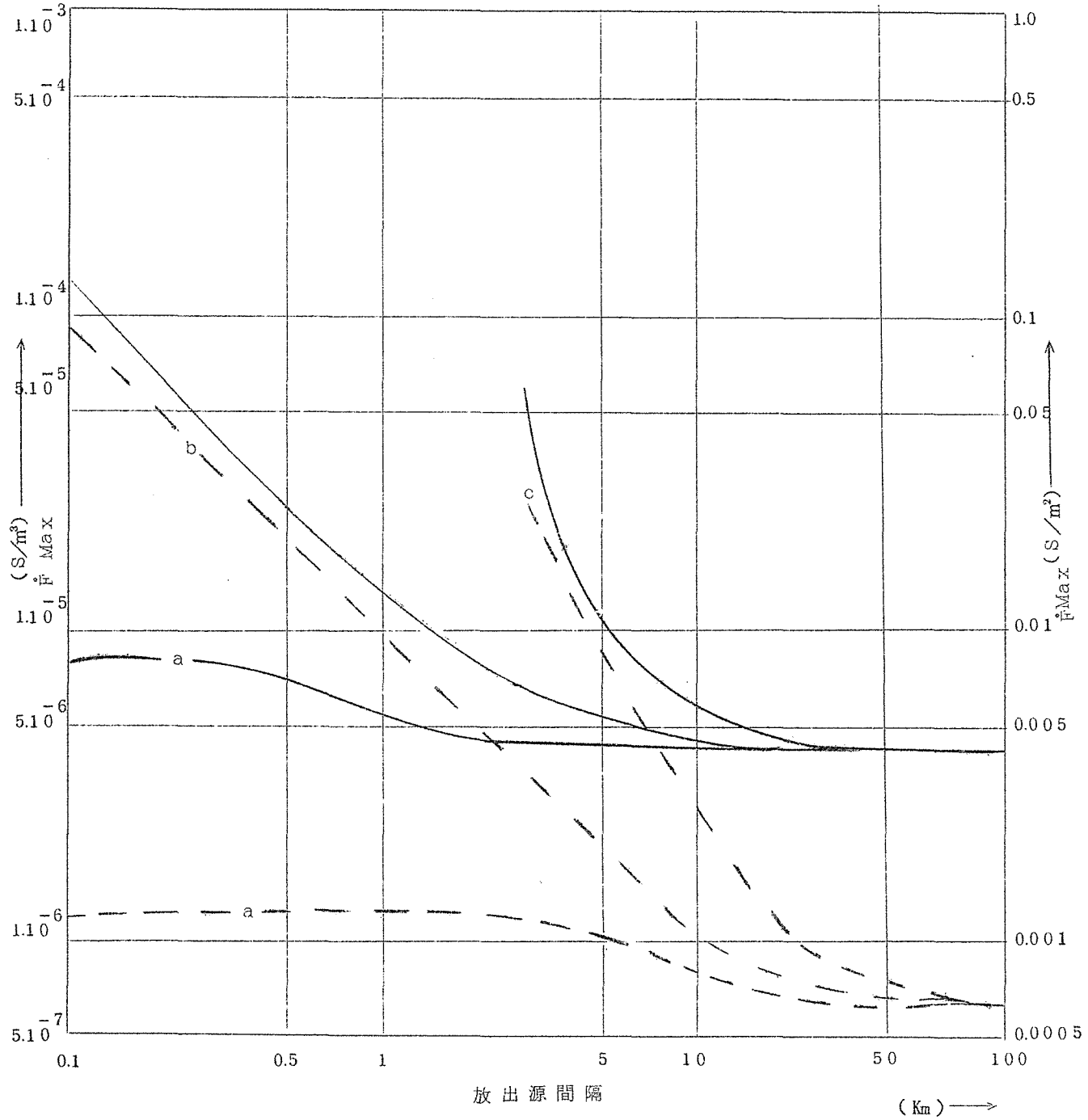
西独において1990 年に運転される原子力発電所からの全燃料を1ケ所のプラントで再処理するとすれば，そのプラントから放出されるKr-85の最大外部被ばく線量は約400ミリレム/年と推定される。経済性の面からは考えられないが仮りに，この再処理作業を10ケ 所内外に分散したとしても原子力発電所群（370万 Kwt の発電所4～5基—前5 項参照），が運転，計画される地域にはそのようなプラントを立地できないことになる。

このことは，Kr-85 の対流圏低部への蓄積問題とともに，西独において商業規模の再処理をするには，クリプトン問題を解決する必要があるということになる。いいかえれば再処理工場からのクリプトンの保留，貯蔵の方法と技術とを開発することが必須である。

7. 結 論

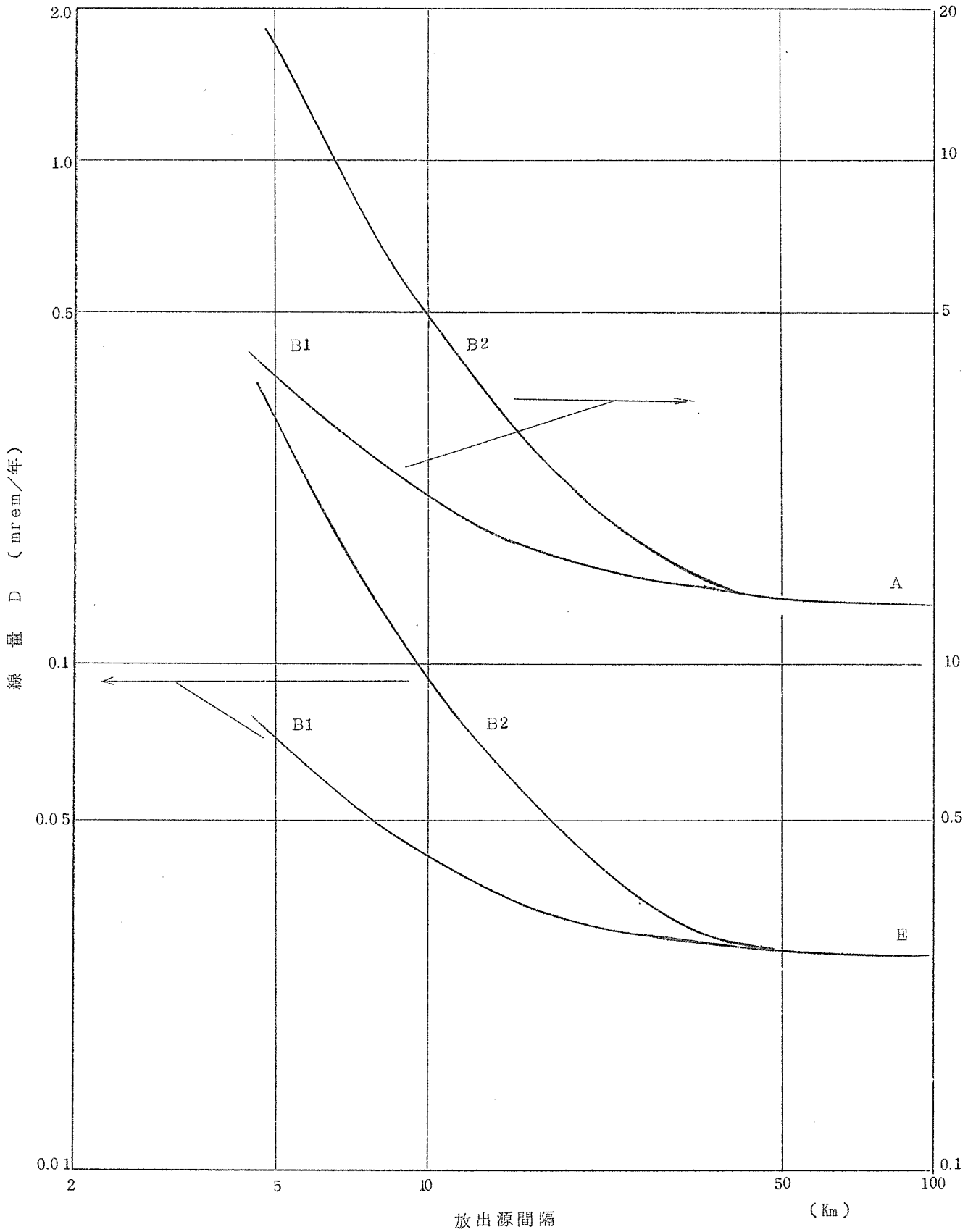
いままでの話から次のように結論ずけることができる。

1. 通常運転時の原子力発電所から放出される放射性物質に関する放射線防護指針は，西独原子力委員会の勧告どおり，公衆の防護を確認するのに適している。
2. 原子力発電所から大気中に放出される放射性物質の予想量は極めて少なく，放射線防護指針から得られる許容量よりずっと小さい。
3. 原子力発電所集中地域でさえも，公衆のうける被ばく線量は放射線防護指針よりかなり低くなる。
4. 放射性沃素については，以上のように具合よく述べることはできない。しかし難しく思われるのは，あまりに保守的な仮定のためである。その上将来，冷却材のリークを減少し沃素の放出をへらす技術の開発を十分期待することができる。
5. 原子力発電所から大気中への放出量を減らす技術の開発はこのリークの問題以外必要がない。
6. しかし，再処理施設の場合は，希ガスの放出量を相当減らす技術の開発が必須であり，商業規模のプラントが許可される前に行われねばならない。また大規模な発電所群が運転あるいは計画されている地域には商業規模の再処理プラントは容認されないと思う。



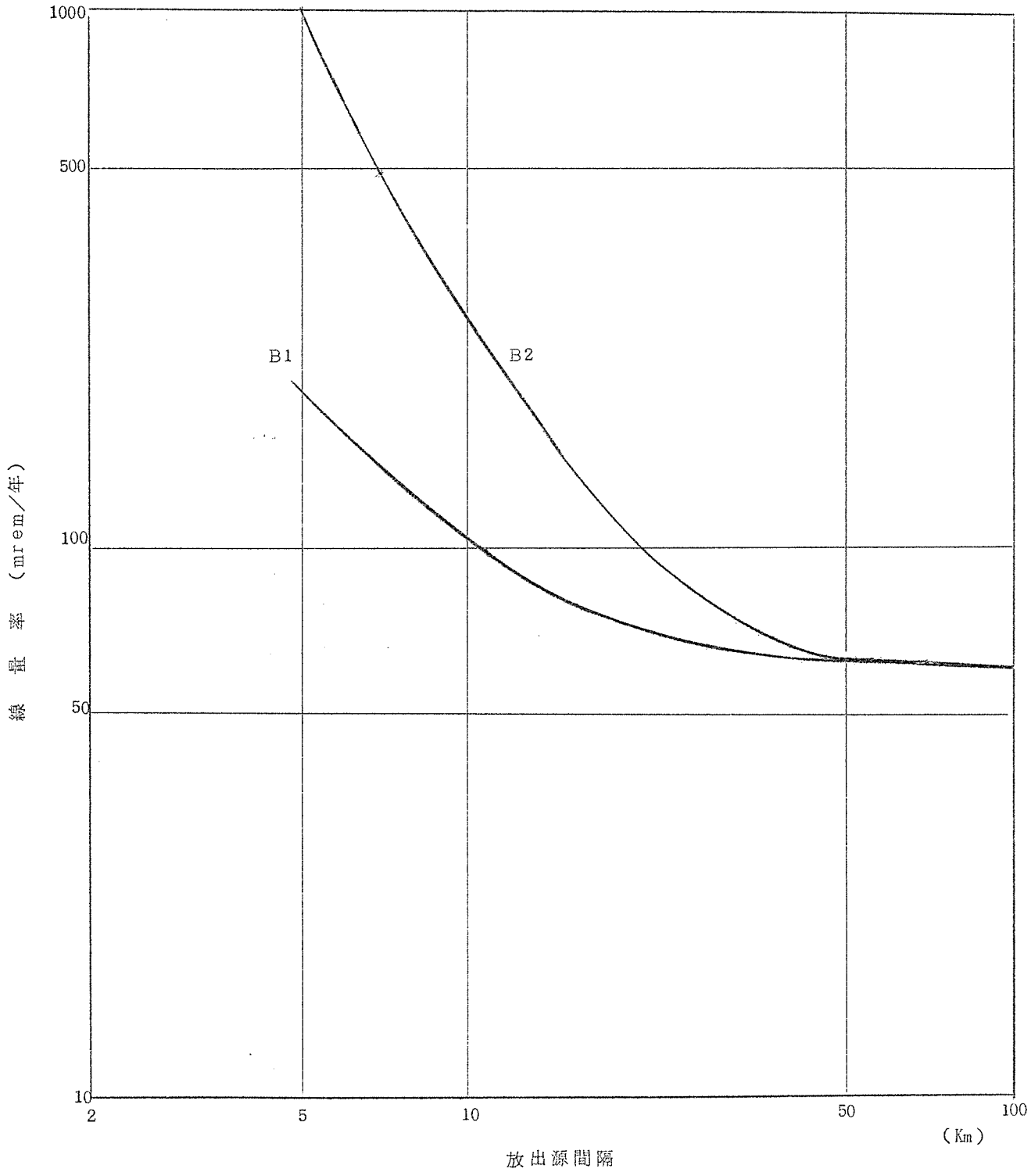
サブマージョンモデルによる最大γ線被ばく線量（ ——— ）
地表面濃度 （ - - - - - - - ）
（排気筒高さ ： １５０m）

図1



年間最大外部被ばく線量
(N_{th}＝３７００MW；排気筒高さ：１５０m)

図２



ミルク摂取による放射性沃素の
小児に対する年間の最大被ばく線量

図3

原子力発電開発の環境への影響

国際原子力機関
副事務総長　Y. F. Chernilin

1. 序　論

1.1　IAEA

国際原子力機関（IAEA、以下機関と略す）は、国連の下部組織の独立した機構である。IAEA憲章は、1956年10月26日にニューヨークの国連本部で開かれた国際会議で採択された。日本は、1957年7月同憲章に批准し、IAEAの一員として加盟した。

機関の目的は、“原子力を平和、保健および繁栄に貢献するよう促進し、および増大させること”および“機関によって、あるいは機関の要請、あるいは機関の監督、あるいは機関の管理下において提供された援助が、軍事目的を助長するような方法で利用されないことを確保すること”に努めることである。このような目的を達成させるために、機関は、次のような機能を果すことが認められている。これは、推進、規制、保障措置のカテゴリーに分けられる。

(a) 科学上、技術上の情報の交換を促進すること。原子力を平和目的のために行なう研究、開発、又は実用化を推進、援助すること。この分野のいかなる運営あるいはサービスをも有効に実施すること。

(b) 健康を保護し人命と財産に対する危険を最少にするための安全上の基準を設定し、採用すること。

(c) 機関の援助で実施される計画に関して保障措置を確立、実施すること、および二国間あるいは多国間の協定に対して締約国の要請により、あるいは核拡散防止条約（NPT）の場合のように加盟国のあらゆる原子力活動に対してその国の要請により、保障措置を実施すること。

機関の政策決定の機能は、総会と理事会である。総会は、現在、102の加盟国全部の代表から成り立っている。毎年開かれる通常総会において、すべての質疑に関して討議が行なわれ、理事会に勧告される。理事会は、加盟国の25カ国の代表から成り立っており、憲章に明記されているとおり、総会に対して責任のある課題、機関の機能を果

せる権限を持っている。

機関の設立以来、日本は、ずっと理事国として任命されており、原子力技術の最も進んでいる１０カ国の理事国の一つである。ＩＡＥＡの第９回総会は、１９６５年９月東京で開催されたが、これは機関が本部を離れて開催した最初の総会で、日本代表の朝海浩一郎大使が通常総会の議長に選ばれた。理事会の日本代表、法眼晋作氏が、また、理事会の議長に選ばれた。

事務総長は、１０人のすぐれた科学者からなる科学諮問委員会（ＳＡＣ）によって機関の活動に関する科学的、技術的な面について、アドバイスを受ける。有名な日本の科学者として、松井氏が、１９６６年以来、この委員会のメンバーである。

事務総長のエクランド博士は昨年１０月に日本を訪問し、日本人のバイタリティ、誠実さ、親切な歓待に非常に心をうたれた。その結果として同博士は私を日本に派遣することを要請した。ここに、みなさま方に対して、同博士の高い関心と配慮がうかがえるのである。

私は、また、日本が、核物質の供給において機関の援助を利用した加盟国の最初の国であったことに注意したい。これは、東海村にある日本原子力研究所の研究炉ＪＲＲ－３に対するウラン調達のために、１９５９年の初め、日本が機関と協定を結んだものである。

また、日本は、１９６６年以来、カナダ、イギリス、アメリカとの間で、原子力平和利用に関して締結した協力協定について、機関の保障措置を受け入れるため、機関とそれぞれ三者間保障措置移管協定を結んでいる。また日本は、現在、オーストラリアとフランスとの間に結んだ協力協定についても、それぞれ機関との間に三者間保障措置協定を結ぶため、交渉中である。また、私は、ＮＰＴにもとづく保障措置協定についても、日本は機関と接触しつつあると、理解している。

主な原子力平和利用の一つは、電力の生産である。原子力発電開発の推進は、機関の主な計画の一つにもなっている。最近実施された唯一の計画としては、昨年１２月に東京で開かれた原子力発電計画の入札評価と実際に関するＩＡＥＡの地域訓練コースであったが、これに対して日本の政府および日本原子力産業会議が協力、援助した。このような計画に対して、日本は強い関心をもっているのである。

2. 将来の電力需要に対応する原子力の役割

電力は、人類の生存のために、生活水準を高め、公衆の健康を増進させるのに欠くべからざ

るものである。このような水準を達成させるために、とくに世界の人口が増加するにつれて、電力の需要はますます増大するであろう。

2.1　世界のエネルギー需要と原子力発電

機関は、２０１０年に至る世界のエネルギー需要の見通しを行なった。この目的のために、我々は“先進地域”と“開発途上地域”におけるその需要を別々に見ることにした。その理由は、すでに大型の原子力発電所を採用できる先進地域の大規模な電力グリッドと、まだそのような原子力発電所を導入できない開発途上国における必要性との差を、区別することであった。開発途上国において、原子力発電を導入することは、まず最初、小型の発電所をベースにおく必要があるが、最終的には、電力需要の伸びによって、大型のユニットが採用されるようになろうということであった。世界における総発電設備容量は、現在の1,１００GWから２０１０年には約１１,０００GWに伸びるものと見込まれている。同じ期間に、原子力発電容量は、現在の２４GWから8,３００GWに増えるものと見られている。さらに２０１０年以降については、原子力が新しい市場の約９０％を占めることになろうと見込まれている。原子力発電は、理想的には電力グリッドのベース・ロード用に使用されることが望ましいが、ピーク・ロード用に採用した場合、化石燃料の発電所と競合することができない。

しかしながら、近い将来、電力のほとんどは核燃料あるいは化石燃料のいずれかを使用する汽力発電所によって生産されることがはっきりしている。もちろん、発電のためのエネルギー資源として、水力、太陽、潮力、地熱エネルギーのように、自然のエネルギー資源を選ぶことがある。しかし、現在、これらは、ある特定の場所あるいは特殊な条件下においてのみ経済性であるという。

2.2　世界のエネルギー資源

石炭の消費が最近の割合で増大し続けるとすれば、採掘可能な石炭資源は２１００年までにすっかり使いつくされてしまうだろう。おそらく、石炭の使用は、それほど早く増大していくことはないであろう。石炭の生産量は、２１００～２１５０年ごろにピークに達し、それ以後次第に減少していくだろう。

採掘可能な石油の埋蔵量は、熱エネルギーとして換算するとかなり少なく、２１世紀の最初の２５年位までにほとんど使いつくされるであろう。

世界の包蔵水力の発電容量は約3,０００,０００MWeであるが、このうち約１０％足らずが主としてヨーロッパおよび北アメリカですでに開発されている。これは、現在、総発電設

備容量の約２８％を占めている。２０１０年までに、包蔵水力の発電容量の約3分の1が開発されるものと予想されているが、この時点で、それは全発電設備容量のわずか約１５％を占めるにすぎないだろう。

太陽エネルギーは、その大きなマグニチュードにかかわらず、間欠性であり、部分的な密度が低い。したがって、近い将来、太陽エネルギーは、大規模な経済性のある電力を生産する手段として約束できない。地熱および潮力の可能性については比較的低く、ある限られた地域においてのみ利用できる。

世界のウランおよびトリウム資源について、利用可能なエネルギーの量は、化石燃料による化学エネルギーの量よりも非常に大きく、マグニチュードで数倍になる。しかし、今日、U_{235}を使うタイプの発電用原子炉は、その包蔵エネルギーのわずか約１～２％しか生産していない。つまり、最近の経済性追求という理由から、高品位の鉱石しか利用できない。このような事情により、U_{235}を使う大規模な原子力発電開発が、1世紀以上続くことは期待できない。

しかしながら、増殖炉が開発されつつあり、１９８０年代に経済的に実用化するものと思われる。これらの原子炉は大量のU_{238}とトリウムを経済的に利用できるであろうし、これによって数百年あるいはそれ以上の間、資源を有効に利用することになろう。

最近、核融合のエネルギー利用による経済的な電力の生産が開発されつつあるが、重水素および三重水素を基礎とした核融合反応は、重水素一重水素反応よりも、厳しい条件を必要としない。これは核融合による発電への最初の道になろう。三重水素はリチウムからつくられ、利用可能なエネルギーはリチウムの資源に依存することになろう。しかし、もし、重水素一重水素反応が動力化できれば、海が重要なエネルギー資源として無尽蔵に利用できるようになる。核融合による発電は、わずかな燃料装荷、４～５日間の供給ですみ、さらに、危険な放射性核種がわずかでるだけなので、また魅力的である。その他の利点としては、エネルギーの電気への変換が直接できるという可能性がある。これは、高い熱効率を導くことになり、そして冷却条件による立地の制約を軽減するものである。

2.3　原子力発電の役割

原子力発電は、約５０～６０万KWe あるいはそれ以上のユニットが使用できる大規模な電力グリッドで、ベース・ロード用に採用した場合、すでに経済的に競合している。また、これよりも小型の原子力発電所がいくつかの開発途上国で、コンペティティブになっている。

原子力発電が、新しいプラント発注のなかで占める割合は増大し、２０１０年までに次の理由により９０％に達するであろうと見られている。

(a) 長期的な燃料コストは化石燃料および核燃料のいずれの場合にも上昇傾向にあるが、原子力発電コストは、燃料コストが発電コストの大部分を占めている化石燃料の発電所と比較して、燃料コストに余り敏感に影響しない。

(b) 輸送コストは、化石燃料の引渡しコストの大部分を占めているが、核燃料の場合はごくわずかである。さらに、輸送にふくまれるコストのみならず、たとえば原子力発電が開発されない場合、必要とされる大量の石炭を運搬する輸送システムの開発についても考慮しなければならない。

(c) 環境保護の条件は、化石燃料の発電所の資本および運転コストのいずれに対しても追加されてくることがはっきりしている。ある国では、また、石炭コストが環境への影響を減少させるために設定されている基準によってすでに上昇している。たとえば、低サルファー燃料、SO_2 の除去、鉱山の安全性と閉鎖鉱山地区の復旧のための条件などである。

しかし、原子力発電所は、最初から、環境保護および従業員の安全性に関して、非常に厳しく規制されてきた。そして、その後、追加される条件によってコストの増加が見込まれているが、それは比較的に低いものである。

(d) 石炭資源は、燃料として使用されるよりもむしろ化学工業用の原料資源として保存されるべきであるという意見が強くなっている。

しかしながら、核燃料と在来燃料が、発電における補完的な役割りを果すばかりでなく、それぞれ競合していることを、強調したい。電力グリッドにおける典型的な負荷持続期間の配電という問題、核燃料および化石燃料の発電所の経済的な特長の面から考えると、経済的にうまく成り立つシステムとしては、ベースロード用の原子力発電所とピークロード用の化石燃料発電所のバランスのとれた組み合わせである。

2.4 機関の活動

ＩＡＥＡ憲章の第３章にもとづく機能として機関は、最初から、発電用の化石燃料の使用にとって代わる、クリーンで、かつ安全で経済的な燃料の利用として、原子力発電開発を支持し、積極的に推進してきた。原子力発電開発における主なＩＡＥＡの活動は、次の５点に分けられる。

(1) 原子炉システムの開発に関連して、主要原子力先進国間における情報および経験の交換を促進すること。たとえば、機関は、高速炉に関する国際ワーキンググループを設置した。同グループは毎年会合し、これには高速炉計画を持つ7カ国が参加している。このワーキンググループは、各国の計画を検討したり、この分野の国際会議を調整したり、そして参加国間の接触を緊密にはかり、情報と経験の交換を活潑にさせるため、直接関心がそそがれているより専門的な問題について専門家の会合等を準備している。

(2) 加盟国の電気事業者および電力計画担当機関のためにすでに確立されている原子炉システムの運転経験を検討すること。各加盟国の協力をえて、最近15カ国の約100基にのぼる発電炉の運転経験をまとめた年報が発行されている。

(3) 原子力発電の導入および開発を行なう開発途上国に対して援助を実施すること。我々は、原子力発電の開発が、大規模な電力グリッドを持つ先進国に限られるべきでないと考えている。化石燃料の値上りに直面している開発途上国も、また、原子力発電の利益を得ることができるべきである。また化石燃料が非常に高い開発途上国では、20万～40万KWのユニットが、経済的に競合できるようになっている。このような観点から、我々は、最近、小型発電ユニットの将来の需要に対する産業界の関心を引くため、開発途上国における原子力発電所の需要に関する世界市場調査を実施しつつある。この計画に協力することを明らかにした先進国は、現在、カナダ、フランス西ドイツ、イギリス、アメリカである。機関は、他の国々からもこの計画に参加があることを歓迎している。

(4) 原子力発電炉の安全性に関する評価、たとえば我々は、鉄製およびプレストレスト・コンクリート・ベッセルに関する国際ワーキンググループを設置している。これは、あらゆるタイプの発電炉に対してこれらのベッセルの信頼性と欠陥のないことを保証するために始められた技術上およびエンジニアリング上の開発を検討している。また実用のコードがつくられ、原子力発電所の安全運転に関する出版物が発行されている。

(5) 核燃料に関する世界の埋蔵量の調査。機関は、ENEAとの協力で、世界のウラン埋蔵量について最新の埋蔵量、コストに関する情報および需要などを検討するワーキング・グループを設置している。また、我々は、増大する原子力発電計画を支持するため、国際価格で、濃縮燃料および濃縮サービスの供給について、加盟国への援助を行なっている。

3. 環境に関する考察

過去１０年間に、工業開発による人間環境の汚染に対して、世界的に関心と懸念が急速に高まってきた。世界は、人類の恩恵のために、できるだけ大地、大気、水の資源を保存し、環境を保護することが緊要であることに気がついている。

3.1 主な問題

現在、原子力産業は、環境問題の圧力のなかで不つり合いな部分を占めている。安全性の問題がよく認識されている間に、原子力産業は発展し、他方、エネルギー需要が環境問題に深刻なカゲを投げはじめた時に、化石燃料の使用は伸びた。しかし、低硫黄燃料の需要と二酸化硫黄の放出を減少させるための要求が、現在、ますます高まっている。しかしながら、環境汚染とその影響との関係をよく理解することが必要である。コストとベネフイットの言葉で環境問題をよく分析する必要がある。コストとベネフイットの問題はそれぞれが、資源に対するその他の要求からみても、つり合いがとれるべきである。

我々は、環境に対して、原子力発電はかなり改善されたものであると感じているが、環境への影響が完全に無であるとは言えない。最も重要なことは、放射能を発生させることと余分の熱を放出させることの問題である。とくに使用ずみ燃料の再処理によって、大量の放射能が廃棄物として排出されてくるが、この廃棄物は、長期間、環境と接触させてはならない。

しかしながら、核燃料サイクルのあらゆる部分で、若干の放射能の放出があるが、現在、これらは、人工放射線による世界規模の線量に対して約0.1％にすぎないので、ほとんど無視できる。とくに開発途上国では、大きな問題となるのは、病気の診断、治療など医療手続きの結果として出てくるものである。原子力発電が３００のファクターで増大しても、総放射線被曝に対して、原子力発電はさほど重要な影響をおよぼさないであろう。

他の問題としては、廃熱の環境への放出である。化石燃料の発電所では、総エネルギーの約１０～１５％が、ガス状で大気へ放出されるが、他方、原子力発電所では、すべての廃熱が冷却水の温排水して排出される。現在、いくつかのタイプの原子力発電所は、同じ規模の化石燃料発電所の平均と同じ位の熱効率である。しかし、残りの約５０％以上の熱が温排水となって水産生物への環境に放出されている。１９８０年までにすべての新規の原子力発電所は、化石燃料の発電所と同じ熱効率を持つであろう。実際、このためには、発電所は、大量に速く流れ込み、あるいは発電所からの温排水をふたたび取水、循環させても環境に大きな影響を及ぼさないような、冷却水の利用が可能でなければなら

ない。これが不可能な場合は、かなりの資金を投入して冷却塔を建設する必要がある。これによって、熱はその地域の水よりもむしろ大気に放出されるのである。

3.2　機関の活動

ＩＡＥＡの発足以来、機関は、安全基準および規制手続きの準備のためにかなりの時間と努力をそそいできた。放射性廃棄物の環境への影響をできるだけ低いレベルに維持するため、放射性廃棄物の管理に関する計画が進められてきた。我々は、原子力発電所に対する安全性の評価および立地調査を実施することにおいて、加盟国への実際的な援助を行なった。

3.2.1　放射線防護

機関は、国連のすべての組織に対して防護基準を作成する責任がある。この活動において、我々は、個々の国内的および国際的に採用できるような適当な基準と規制手続きを勧告するに当って、広範な方針をとってきた。我々は、基準および勧告からなる、国際的に認められた保健上および安全上の基準に関する広範囲の規則を作成した。この規則は、小さな研究所におけるＲＩの取扱いから大型の原子力発電所の安全運転に至る原子力平和利用のあらゆる活動をカバーしている。この規則の内容は、新しい技術開発、科学的知識、実際の経験を考慮して定期的に改訂される。国際規則は、機関および各国の原子力機関の専門化に反映されるべきであると同時に、国際的な保健と労働機関、ある場合には食物、海洋における人命の安全性、大気の安全性、郵便小包の安全上に責任を持つ国際的な機関に対して、できるだけ広く支持されることが、重要である。これらの規則を作成するにあたって、我々は、つねに他の国連の機関や地域の専門機関の援助を求めた。一つの結果として、世界保健機構（ＷＨＯ）は、各国の保健機関に対する勧告にあたって、我々の安全性に関する数多くの出版物を利用している。さらにWHOとＩＡＥＡの共同で規則がこれからも多く発行されるようになっている。

これら規則の中には二つの重要なものがある。第一は、ＩＡＥＡの基本的な安全基準で、他のすべての規則の基礎となっており、多くの国々の国内規則の基本として利用されている。第二は放射性物質の安全輸送のためのＩＡＥＡ規則である。これらの規則は、最近、関心を有する政府および専門家など広範囲の参加によって開かれる一連の国際会議を通じて、検討が進められている。国際的な規制活動だけで役目を果すことはできない。最新の科学的、技術的な情報や運転経験を十分にくみとらねばならない。したがって、情報の国際的な交流を促進するための、機関の計画は、原子力の安全性の面で重要

な役割を果している。

3.2.2　放射性廃棄物の管理

原子力発電開発に関する環境保護に対する主な役割は、核燃料サイクルのあらゆる段階で生じる放射性廃棄物に関する正しい管理とコントロールである。我々は、すでに言及した安全基準の作成のみならず、特別な関連問題に関する手引書と技術レポートを作成し、出版するという方向で、努力を傾注してきた。このような出版物の作成に対して、専門的な分野における特別の関連知識や経験を持ったコンサルタントとしての専門家の援助が行なわれている。機関がこれまでに出版した３６の安全基準と手引書のなかで、たとえば、廃棄物管理の分野には次のものがある。

(1) "The Management of Radioactive Wastes at Nuclear Power Stations"（１９６８）

(2) The three Guide Books on "Radioactive Waste Disposal, into the Sea（１９６１）, into Fresh Water（１９６３、１９６９）and into the Ground"（１９６５）。

このほか我々の活動としては、シンポジゥムの開催をしばしば各国あるいは他の国際的な機関と共同で開催することもあるが、加盟国の間における情報交換のための場を与えることである。過去１２年間に、各国においてこのような廃棄物管理に関する会議が８回開かれている。

環境への放射性核種の放出に関して、我々は三つの分野、大気、大地、海洋における計画を実施した。大気への放射性廃棄物の取扱いに関す１９６８年のニューヨークのシンポジゥムはTreatment of Airborne Radioactive Wastes に関するもので、固体あるいはガス状の廃棄物の形で放出される放射性核種による汚染から環境を保護することについて、あらゆる面での新しい情報の交換を行なう非常に有意義な機会をつくった。放射性物質による大気汚染に関する国際的な関心は、原子力発電開発計画の進展に伴なって増大するクリプトン８５のような希ガスに対して特に注意が払われている。１９６７年の"Disposal of Radioactive Wastes into the Ground"のシンポジゥムと１９６６年の"Disposal of Radioactive Wastes into Sea, Oceans and Surface Waters"のシンポジゥムは、いづれもウィーンで開催されたが、これらは情報の交換、さらに新しい計画を推進させるために必要となる問題に関心を集め、非常に価値のある会議となった。海洋の環境に関しては、機関のモナコにある研究所が

最近、各国の研究所や海洋放射能の研究所などで使用されているいろいろな方法や技術について、相互の比較、測定、標準化に関する仕事を行ないつつある。これは、海洋への放射性核種の放出の結果についての評価に必要とされる科学的な情報をつくり、評価するものである。そして、海洋の放射能の研究に対する機関の統一的な研究計画に重点をおいて、各国の研究所と協力し合っている。また、これらは、参考となる基準を作成し、配布している。

この分野で、我々は、また、たとえば１９６９年に、人間環境に関する放射線問題をとくに取り上げ、ＦＡＯとＷＨＯの後援によってウイーンで開かれた“Agricultural and Public Health Aspects of Environmental Contamination by Radioactive Materials”に関するセミナーのように、シンポジゥムの開催を通じて、情報交換を行なう計画をもっている。

今までに発生した放射性廃棄物の総量は、他の人間活動によって出る廃棄物に比べて大したことはない。全体として、環境に放出された放射性廃棄物による影響は、他の廃棄物が放出したときに与えた害に比べると、無視できるほどのものである。それにもかかわらず、このことは、放射性廃棄物の放出が完全に悪い影響を与えないということを証明するための基盤を築くものではない。放射性廃棄物による環境への影響は、いかなる場合にも、原子力発電の増大に伴なって、ますます大きくなるものと思われる。機関は、原子力平和利用の結果として出てくる放射性廃棄物の環境への放出に関する安全基準の勧告、作成に対して、特別の関心を払いつつある。この点で、我々は、国連、特別な機関および他の関連の国際機関のような権威ある機構との緊密な協力関係を持っている。我々は、加盟国における有益な研究を促進している。我々は、この分野の研究のために、また安全性に関する基準の作成、勧告にそなえて必要なデータを得る目的で、計画のプロポーザルを行なう予定である。

3.2.3　原子力の安全性

原子力発電のインパクトが環境に及ぼす影響の一つの要因は、原子力発電所の立地の選定であり、これにはプラント自身の安全性についても注意が払われている。機関は、加盟国に対して、原子力の安全性評価と立地調査を実施するため、技術調査団の形で、実際的な援助を行なっている。このような調査団はすでに３５にのぼっている。発電所の立地選定における主な目的は、環境に放出される放射能の量について、公衆集団に対する放射線量が、最もすぐれた専門家達によって国際的に指定、採用されているレベル

よりも十分に低くとどまっていることを保証することである。国際放射線防護委員会（ＩＣＲＰ）によって勧告された基本的な基準は、放出限度を誘導するときの基礎として使用されている。経験がえられるにつれて、発電プラントもますます改善されてきた。考慮されている関連のファクターとしては、安全性、エンジニアリング、経済性、人口密度やレクレーション地域に及ぼす影響などのような社会的要因、そして、生物や自然の調和への影響のようなエコーロジー的要因がある。また特殊な地域上の事情も考慮される。たとえば、地震地帯の地震および地質学的なファクターやハリケーンや洪水がおこりやすいような地域の特殊な気候条件などである。立地の選考にあたって重要なもう一つの要因は、温排水による熱影響の問題である。

3.2.4　事故の状態

めったに起ることがないが、重要な問題として、放射性物質を環境に放出するような事故の可能性である。現在まで、800原子炉・年の運転経験では、公衆が放射線を大量に浴びるような事故は起っていない。にもかかわらず、我々は「放射線事故に対する相互援助」の計画をたてている。これによると、事故のサイトにおいて、最初の援助として、評価とアドバイスが必要な場合に、その専門家と機器が利用できることのほかに、機関は、他の加盟国から専門家と機器の援助が得られるように、仲介者としての役割を果すということである。事故時の問題に関連して、我々は、そのような事態における放射線に関する訓練コースを実施してきた。このようなコースは、マニラ、アテネ、テヘン、ラテン・アメリカで開催されている。

3.2.5　研究と訓練

機関は、多数の研究援助計画を実施しており、これにもとづいて、選ばれた重要な計画に関する研究や実験を推進している。現在、この分野では、５４の契約が実施されている。また、我々は、たとえば、昨年１１月東京で開かれたコースのように、放射性廃棄物管理や放射線防護の分野で、訓練コースや実地研究を実施している。我々は、また、研究フェローシップ計画を通じて開発途上国に対する訓練の援助を続けている。

4.　将来の問題と機関の活動

原子力発電開発に伴なって考えられる将来の主な問題は、やはり環境への放射能および熱放出に関連した問題であろう。高速増殖炉が加盟国の多くの国々で開発されている。したがって、原子力の安全性、放射性廃棄物の管理、環境保護に対する機関の計画も、これらの進

歩に適合させるように定期的に改訂される必要があろう。機関は、原子力発電開発に関連して、機関の責務を認識している。機関の計画は、人間およびその環境保護に最も重点がおかれており、このことを機関は保証し続けるのである。

廃棄物管理については、原則を調和させることにより、国際的な協力を保証し、各国の政策を検討する必要がある。今後、機関にとって最も重要な仕事の一つは、人間が原子力を利用することによって生じてくる放射性廃棄物が、いろいろな形で生産されても、環境のあらゆる面に害を及ぼさないで放出できるという観点にたって、国際レベルで決定を推進させることであろう。

特に考慮される二つの点は、(1)国際的な資格としてあつかえる放射性核種の放出を指導する管理システムと、(2)長期間にわたって環境から隔離、収納できるという保証を必要とする廃棄物の管理であろう。我々は、放射性核種の環境への放出および原子力計画から生じてくるその他の汚染物質に関する情報を開発する考えである。食物連鎖による移動をふくめ、環境のあらゆる面での放射性核種の移動を量的にはあくし、原子力発電の増大に伴なう電離放射線による影響の可能性を評価する考えである。

我々は、環境保護関係の計画をさらに強化することを提案しており、この点で、私は特に二つの分野を述べたい。第一は、原子力発電所から排出される温排水による環境への影響、第二は、原子力産業から放出されるグローバルな面からみた放射性核種の挙動と地域および地球規模のいずれの観点から、その環境を評価することである。

5. 要　　約

世界のほとんどのところで、食物、住居、衣服、住民の健康などの水準を高めるために、エネルギーがますます必要であることが、はっきりしている。このような状態において、その決定はこのようなエネルギーが生産されるべきであるかではなく、いかにうまく生産できるかである。

いくつかの要因からも、原子力発電の利用が著しく増大し、原子力発電が将来の電力生産において化石燃料と競合すると同時に、補完的な役割を果すであろうという結論がでてくる。原子力および化石燃料の産業のいずれの目的も、環境を出来るかぎり害さないことである。

あらゆるタイプの原子炉が最近開発され、市場に登場しつつある。それらのおのおのが、発生してくる放射性核種の取扱いおよび管理に関する特別な問題をかかえているが、各タイプの適当な管理システムが開発されている。住民の安全を保証し、環境への損害をさけるた

めの必要性に対する関心は、公衆の放射性被曝を最少にとどめる方向に向けられている。事故を防ぎ、その事故結果を軽減させるために必要とされている技術は、環境を最大限に保護するような方法によって原子力施設を設計することが基本である。

原子力産業の安全記録は、とくに注目するに足るものである。これまでに起った数件の事故は、異常物を閉じ込め、公衆を守るように配慮された施設の内で、おさまっている。

原子力発電開発は、将来の電力需要に対処すために重要である。原子力発電は、電力生産に対して、人間の健康および生命の尊さに損害を与えない、いかなる環境の変化もおこさない、そして、クリーンで、安全なシステムである。我々は、放射線防護基準の検討および評価に関する計画を続けるにあたって、ＩＣＲＰに財政援助をつづけるであろう。また、我々は、放射線による影響の評価において、ＷＨＯやＵＮＳＣＥＡＲのような他の組織との協力を維持するであろう。我々は、とくに、人間が自然および人工電離放射線による被曝レベルで、科学的な方法によって放射線量の影響をはっきりさせることを決めた。

原子力発電所、再処理工場およびその他の原子力施設の操業によっておこる人間の放射線被曝はほとんど無視できるものである。

原子力発電が３００のファクターまで計画的に増大されたとしても、総放射線被曝に対して大きな影響を及ぼさないであろう。

このことは、原子力発電産業における放射線管理をゆるめることができるということを意味するものではない。ＩＣＲＰの基本的な勧告を支持すると同時に、放射性廃棄物の管理は、人間の放射線被曝を、できるだけ低く維持することに配慮されるべきである。

環境への放出が必要なときは、放出の割合は、許容できる範囲で、出来るだけ低い濃度に、放射性物質を拡散、希釈し、周辺地域の環境の能力を越えない程度に低く維持される。このために、我々が、環境の能力を量的に決定できることが必要である。現在、我々は、この能力が最近の放射能の放出を吸収できると知っている。しかし、原子力発電が３００倍に増大するという観点にたって、廃棄物管理のより進んだ方法を考慮しても、我々の計画は、この問題に対してもっと努力をつづける必要があろう。この点に関して、放射能の再濃縮による、放射線被曝という環境のプロセスの問題が考えられる。しかし、原子力発電の進展と公衆の健康のリスクについては、小さくても、放射性物質の管理に関する厳しいコントロールによって解決される必要がある。

とりまとめ

松根議長（原産副会長）の閉会に際しての所感

今回の年次大会の主なテーマは，ウラン濃縮の問題と，原子力の環境問題でございますが，ウラン濃縮の問題は主として日本に関する問題であり，しかもこれはどうしても解決せねばならない問題であります。

また日本として，政治的に一番問題なのは核防条約の問題だと思います。これからは，おそらくこの問題がいろいろと注目を集めることになると思いますので，産業会議を中心とした産業界の意見をなるべく早い機会にまとめて世の中に伝えたいと思います。

環境問題については，新聞紙上にも出ていましたローマクラブの報告の通りとは思いませんが，やはり，「限られた地球」にとりましては，重要な問題だと思います。パリ大学の報告を詳しくは読んではいませんが，問題は地球の限界をできるだけ広げていこうと云うことで，これは人間の知恵によるものであります。この中でエネルギーの問題が最初に行きづまってくる問題ではないかと思います。エネルギーの問題が行きづまる一つの大きな問題は量の問題であって，環境問題からくる制約であろうと思います。私は従来の化石燃料のエネルギー生産から見ますと，原子力の環境問題に対する解決策というのは，まだまだやさしい。

大石長官は従来の発電所より，この方がクリーン・エネルギーであるということを云っておられましたが，これは物そのものがクリーンであるということ以外に，いま，原子力が抱えている，いろいろの，いわゆる公害問題の解決は他の燃料よりもやさしい。やさしいと云っては誤解があるかもしれませんが，解決できる問題であると思います。これは技術の開発によって解決できるものであります。とくに石油と比較して見ますと，そう云う感じがいたします。現在，世界で，あるいは日本で実用に供しております軽水炉は，今後，原子力エネルギーを使っていくと云うことを長い眼で見た場合，一体どの辺に位しているかと云うことを想像してみますと，これはまだ極めて初期の，我々の家庭でいいますと，軽水炉は薪で御飯をたいていた頃のエネルギーを作るものだと思います。これよりまだまだ原子炉として進んだタイプの高温ガス炉，高速増殖炉あるいは核融合炉など，原子炉には幅広く長い将来性があります。従ってそういう面においてこの環境問題に対する公害対策も，このような研究開発によって解決できる可能性があると云う気がいたしますし，皆さんもそのようにお考えのことと思います。

今まで，エネルギーを獲得する基準は経済性ということと，安定的に得られると云うことが，

世界的な目標であったのですが，やはり私は，これからのエネルギーを求めて行くと云うことを考えると，公害が少ないと云う理由から，原子炉の開発が非常に求められるし，また，それに力を入れなければならないと思います。アメリカのニクソン大統領が増殖炉を早くやって，クリーン・エネルギーをつくらねばならないと云っていることは，そう云う将来性があるからであると思います。

この問題は難しくて，非常にお金のかかることですけれども，どうしてもやらねばならないと思います。国も民間も，これについての研究開発を早急に推進し，温排水の問題，放射能の問題あるいは安全の問題などの研究開発に思い切って金を使うことが必要であります。

もう一つ，感じましたことは最近の原子力発電所の立地が非常に難しいと云うことです。この問題もやはり，研究開発で解決を図かると云うことが根本的でありますが，どうも現状においては地域社会との関連がうまく行っていない。これが将来，非常に問題になってくると思います。

地域社会の問題についていろんな考え方がありますが，一番欠けている問題は両者の間に信頼感がないということです。したがって今後どうやって理解を深めるか，信頼を深めるかと云うことに大いに時間をかけねばならない。これは両者だけの問題でなく，政府も十分乗り出さねばなりません。一つ解決したら，一つ許可しようとするのは今の理に合いません。したがって，原子力委員会も安全性の問題に重点をおいた仕事をやってもらうことが重要だと思います。いまは開発と規制という両方の仕事をやっているために，原子力委員会の意見というものに対する信用度を低めているのではないかと思います。最近のアメリカのＡＥＣのお話を伺っていましても，アメリカの委員会はそのような方向転換をしてきているようであります。

こうしたことについても皆んなで考えねばならないと思います。たいへん思い切ったことを申しましたが以上をもって私の所感といたしたいと思います。