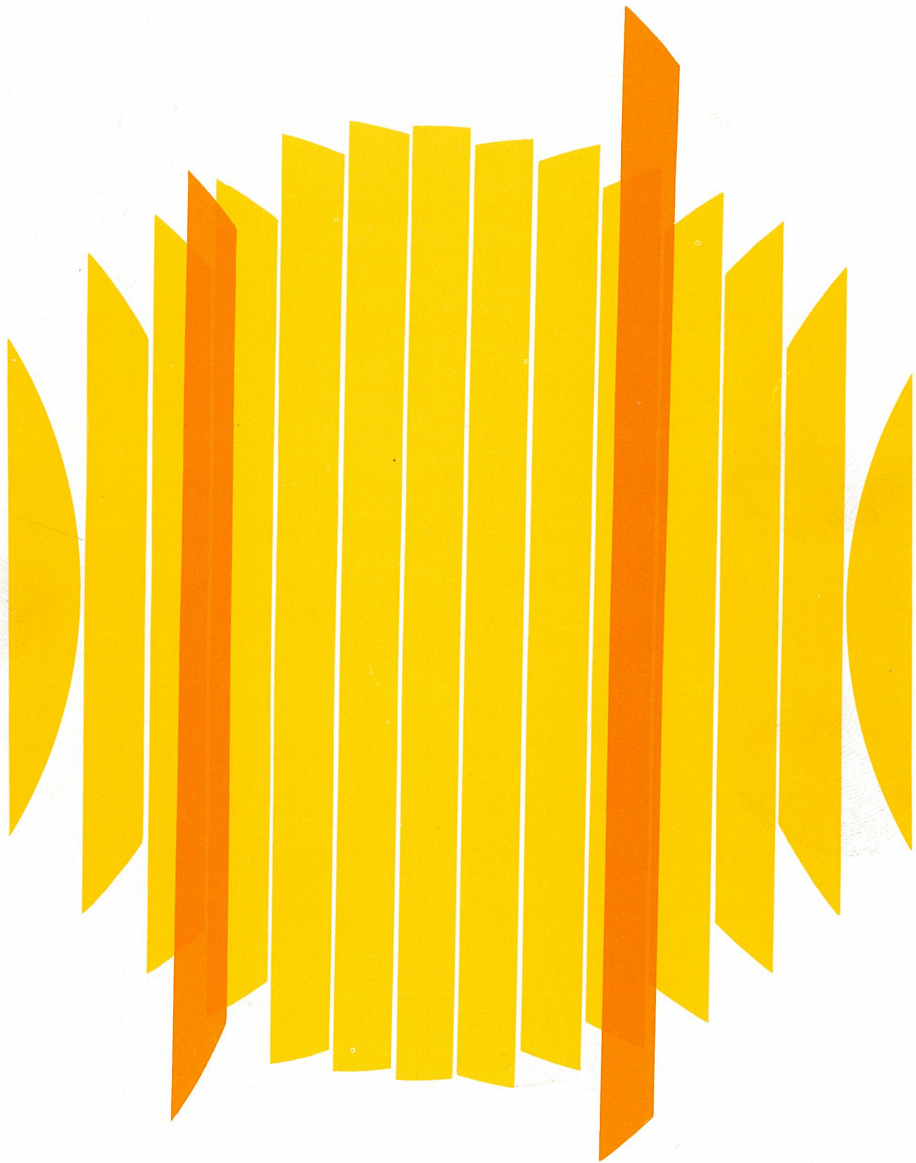


季報 エネルギー総合工学

Vol. 6 No. 3

1983. 10.



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

第3回 エネルギー総合工学シンポジウム (特集)

核熱利用の拡大に向けて

〈原子炉多目的利用への期待とその課題〉

—— 議 事 録 ——

目 次

開会のあいさつ及び研究所活動報告	1
..... 所長 山 本 寛	1
〔招待講演〕核熱利用の意義とその海外動向	4
..... 東京大学工学部教授(当研究所理事) 秋 山 守	4
〔研究報告1〕高温ガス炉の熱利用	18
..... 三菱原子力工業(株)大宮研究所 研究第一部原子炉化学第二課課長代理 横 山 二 郎	18
〔研究報告2〕中小型軽水炉の構想	29
..... 主管研究員 室 田 健 次	29
〔パネル討論〕核熱利用実用化のための課題	47
座 長	専務理事 武 田 康
パネリスト (敬称略, 五十音順)	
..... 東京大学工学部教授(当研究所理事) 秋 山 守	
..... 日本開発銀行営業第一部調査役 飯 倉 穰	
..... 昭和電工(株)プロセス技術センター部長 岡 田 昇	
..... 東京電力(株)原子力開発研究所所長 澤 口 祐 介	
閉会のあいさつ	70
..... 常務理事 柴 田 誠 一	70
研究所のうごき	71

と き：昭和58年7月15日(金)13:30~17:30

ところ：日本工業倶楽部 2階大会議室(東京)

開会のあいさつ及び研究所活動報告

所 長 山 本 寛

私が所長をしております山本でございます。本日は雨の降るなかを私どものシンポジウムのためにご参集くださいます、誠にありがとうございました。

今回は、私どもの研究所といたしましては3回目のシンポジウムでございます。過去2回は、第1回目が、ローカルエネルギー問題、昨年の第2回が、新燃料油問題をとりあげて開いたわけでございますが、今回は核熱利用をテーマに据えました。

私どもの研究所で日頃行っている調査研究のうちから、ある程度成果のまとまったものにつきまして、シンポジウムで広くご披露しまして、いろいろご批判なり、ご意見なりをいただきたいというのが、このシンポジウムを開きますひとつのねらいでございます。そのようなことで今日は、原子力の核熱利用について私どもの行っております仕事のいくぶんかをご報告いたすわけですが、同時に、あわせて私どもの研究所がこの問題について平素大変お世話になっております先生方によるパネル討論も開かれる予定になっております。どうぞ、終りまでご参加していただければ、大変しあわせに存ずる次第でございます。

この機会に私どもの研究所の活動状況につきましてもご披露することになっておりますが、お手元の資料をお読みいただければ、それでおおむねすむわけでございますが、一言、二言で説明申しあげたいと存じます。

エネルギー総合工学研究所は、エネルギーの開発・供給・利用等に関する諸問題について、技術的側面から総合的に研究を行いますとともに、その成果の普及に務めるということがその設立の目的であります。本日のシンポジウムも、この普及に務めるという目的に関連して開催しておるわけでございます。私どもの研究所は、発足以来この4月で5年を経過しまして、漸くその基盤が固まってきた段階にあります。

それでは”どんなことをやっておるか”ということが資料の3頁から4頁にかけ

て書いてございます。ひとつは研究所活動の基礎となるような研究、この中にはエネルギー技術データベースとか、あるいは、色々なエネルギー関連技術の評価あるいは、導入に対する評価というようなことを行いますときの方法論的な問題の研究があります。それから、将来のエネルギー需給の見通しについての調査とか、エネルギー技術の将来展望というような基盤的な資料に立脚して、具体的にもう少しはっきりしたテーマのものとで、個々のエネルギー問題にとりくんでおります。

例をあげて申しますと、原子力関係の課題をいくつか取りあげて研究しておりますが、その中には、核燃料サイクルの安全評価についての研究とか、あるいは、原子炉の解体処分に関する技術基準の調査・研究などが含まれております。さらに、FBRの実用化とか、あるいはプルトニウムの有効利用に係わるような技術的、ないし経済的な側面からの諸問題の研究とか、あるいは本日のシンポジウムのテーマになっております核熱の多目的利用に関する調査・研究というようなことも手がけております。

また、原子力のほかに、自然再生エネルギーに関する課題につきましても研究所の創立以来手がけてきておりますし、在来の化石燃料関係につきましても、かなり関与しております。石炭のガス化に関する研究であるとか、メタノール燃料の利用技術、あるいはメタノールを利用した場合の環境安全に関する研究とか、あるいはLNG施設の技術調査といったような課題に、現在、とりくんでいる次第であります。

そのほか、システム関係としまして、新しいエネルギーの供給の展望についての研究とか、燃料電池実用化のための利用システム、あるいは需要調査の研究とか、新型電池による電力貯蔵の可能性の検討というようなことも手がけております。さらに、将来のエネルギー技術開発の進め方、方策についての知見を得るための基礎的な情報の調査、あるいは石炭火力ないし原子力発電所等の立地推進に資するための関連調査や熱利用システム等についての研究を行っており、本日のシンポジウムの中には、この関係のものも含まれて発表されることになっております。このようにいろいろな課題をとりあげまして、限られた職員で、最大限できうる限りの活動をしているというのが現状であります。

資料の6頁に記載されていますが、現在の研究所の総員は約40名であります。但し、この中には事務系職員も含まれておりますので、研究従事者は30名ぐらいであ

ります。このように少数の研究員でかなりの数の研究テーマを手がけておりますので、研究員は仕事に追われてかなり多忙であるというのが現状であります。私もいたしましたはでき得る限りの調査・研究を行い、それらの成果を必要な向きに報告している次第でございます。一方、先ほど申しましたエネルギー調査の基盤となりますエネルギー技術データベースの整備では、収集したデータを目下のところは、データハンドブックの形でまとめておりますが、ゆくゆくは経済的な状況が許せば、コンピュータを利用した検索などへも発展させる含みをもって準備を進めている訳でございます。

以上のほか、広報関係としましては、本日のようなシンポジウムの開催のほかに、賛助会員を対象とした「月例研究会」を今年度から始めております。このように、最初ゼロから発足し、5年を経たわけですが、私どもの研究所の活動を着実に広め、また、それらの成果を着実に皆様方にお知らせして、お役にたてていただくということを大きな狙いとして仕事を進めておる次第であります。

今後ともいろいろ皆様方にお教えいただくことが多いと思いますが、どうぞよろしくお願ひしたいと思います。（やまもと ゆたか）

〔招待講演〕

核熱利用の意義とその海外動向

東京大学工学部教授(当研究所理事) 秋 山 守

はじめに

ただいまご紹介にあずかりました秋山でございます。私はエネルギー総合工学研究所の核熱利用調査研究プロジェクトに、それぞれのご専門の委員の方々とともに参加させていただいておりますが、本日はそういう意味で、なにかこの関係のお話をというご依頼でございましたので、はなはだこの分野の知見は少ないわけでございますけれども、若干の事柄につきましてお話をさせていただきたいと存じます。

私のいただきましたテーマは、核熱利用の意義とその海外動向ということでございます。

1. 核熱利用の意義

まず核熱利用の意義でございますが、原子力がエネルギーのシステムの中でもっております特徴は、申し上げるまでもなく、原子力のもつ非常に高いエネルギー的なポテンシャルティと申しますか、量的に資源として非常に莫大であり、またエネルギーの密度も高いということ。そして、原子力の導入が石油の輸入に伴う国際収支の問題を改善する効果があるということ。それからセキュリティの向

上につながるということで、原子力の利用は全般的に非常に高い意義をもっていると理解しているわけでございます。

また、環境負荷につきましても、化石燃料の無制限な使用に伴う環境問題を考えますと、これはやはり長期的には大きな問題が発生するわけでございまして、その点でも原子力は非常にいいエネルギーであるというふうに信じております。

では、原子力のエネルギーを非電力の分野に熱として利用する意義はなにかということですが、まずエネルギー利用効率の向上につながってまいります。当然のことではありますが、エネルギー需要の中身は熱と電気、あるいはもっと一般的には熱と仕事という形であります。

非常に質の高い電力としての利用のほかに、いわゆるグレードの低いエネルギーとしての熱の利用がだいたい3分の2くらいあるわけでございます。この分野でもって、なるべく初段の温度を高めることによりまして、熱利用の総合的な効率を高めようと、原子力のもつポテンシャルティのひとつでありますけれども、非常に高い温度の熱源として利用を図っていかうということがございます。

また、エネルギー利用の各段階におきまし

て、それぞれの温度レベルにおけるニーズにキメ細かく対応しながら必要な熱は熱として直接に供給し、また多目的に使っていく、それによって総合的なエネルギー利用効率の向上を図るということがございます。

エネルギー有効利用の第二番目の意義といたしましては、化石燃料の使用量の節減という点がございます。たとえば、これから石油代替ということで、原子力と並んで役割がだんだん増大してきつつある石炭につきましても、加工を石炭自体によって行うということになりますと、石炭の需要量がかなりふえてまいります。とくにわが国のように海外から運んでくる場合には、輸送あるいは貯蔵等に伴うさまざまな諸経費もかかってまいりますので、その意味からも石炭をなるべく少量に抑え、有効に利用する必要がございまして。そのためには石炭の処理、たとえばガス化、液化の過程におきまして、核熱を有効に導入してやるのがたいへん有意義かと思われまして。こういう点につきましては、わが国ではもちろん、とくに西ドイツあたりで詳細な分析がなされておりまして、原子力を導入して石炭と併用していく場合におきましては、石炭だけでエネルギーの需要を賄う場合に比べまして、石炭の量が半分以下ですむというような評価結果もございまして。

さて、核熱利用の意義の第三番目といたしまして、エネルギーの需給バランスへの対応という面がございまして。これにつきましては、当研究所で以前に、1次エネルギー並びに2次エネルギーの需給バランスに対する核熱利用の効果に関していろいろスタディをいたしました。その詳細な中身につきましては、本日は紹介申し上げる余裕はございませんので、

一言ごく定性的に申し上げますと、1次エネルギーの供給シナリオにおきまして、政策上石油の輸入割合をしだいに減らしていくことに対応して、さきほど申しましたように石炭の導入量が増大することになります。ここで重要な点は、そのような場合の2次エネルギーの需給バランスとそれに係わる核熱利用の役割でございます。申し上げるまでもなく、石油の割合が減ってまいりますと、従来石油から得ておりました軽質の油が不足してまいります。従いましてそのあたりをうまく補填していくためには、石炭のもつカーボンソースと核熱を利用して、軽質の新燃料を製造してやる必要がございまして。以上のようなことから、核熱の役割は非常に大きいという評価結果が得られております。

次は原子力利用の促進と社会経済の発展ということでございますが、冒頭に申し上げました原子力のもつ高いポテンシャルティを利用いたしまして、今後この核熱利用を含めたいわゆる多目的利用を促進することによって、原子力発電の立地をも促進し、そして地域のエネルギー・システムに対するキメ細やかな対応といったことで、原子力が地域における今後のエネルギーのひとつの中心となりまして、大いにエネルギーの需給が滑らかになって、もって社会経済が活力を取り戻していく、こういうことが願われる次第でございます。

2. 核熱利用の態様と海外の原子炉構想

続きまして核熱利用の態様と海外における関連の原子炉構想について若干お話し申し上げます。

まず核熱利用の分野の広がりにつきましては、これはいわば、原理的なことでございすけれども、図1のように海水の淡水化から一番右の原子力推進までいろいろな可能性がここに並んでございます。従来の原子力発電につきましては慎重な、しかもたいへん積極的な取組みによりまして、現在まさに定着いたしまして、大いにその役割を發揮しているわけでございますが、これからそれをもっと多様化していこうとするときの可能なシナリオがこの図1に見られるわけでございます。

ここで、熱の需要の面を眺めてみますと、これはのちほど横山さんからお話があるわけでございますが、その図面(20頁の図2)をちょっと借用させていただきますと、ご存じのように温度スペクトルで見ますと、民生、産業利用を含めまして約200℃前後のところのひとりの需要のピークがございす。これがいわゆる中低温の熱利用の対象となる分野

でございます。もうひとつは約1,000℃あるいはそれ以上のところの高温核熱利用の分野が開けてございます。さきほどの図1に戻っていただきましておわかりのように、たとえば合成化学とか還元製鉄、このあたりにつきましてはとくに高温の核熱利用が適しているわけでございますが、産業、民生用の熱源あるいは淡水製造等々につきましては十分中温の核熱で対応ができるということで図1とさきほどの温度スペクトルの対応がつくわけでございます。

さて、核熱利用のための原子炉の構想でございますが、これにつきましてはわが国のスタディはのちほど詳しくご紹介がございすので、私はむしろ海外での状況をまず前座的にご紹介をさせていただきます。

表1にごらんいただきますように、海外の原子炉構想例といたしまして、原子炉の形式別ではまず中小型の軽水炉ないしは重水炉が

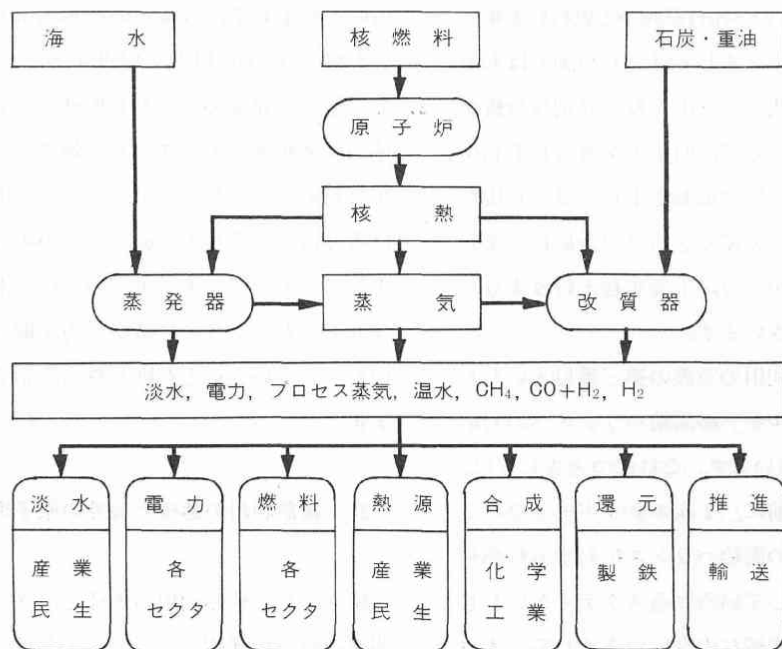


図1 核熱多目的利用分野の広がり

ございます。これは米国、英国、カナダ等において検討されておるものでございまして、具体的な構想例のひとつは西独のKWU社で概念設計の行われております小型のBWRでございます。

これは次の図2でござんいただけるようなものでございまして、在来のPWRとBWRの長所を共に生かすような設計思想に従っております。メインテナンス・コストをミニマムにし、かつ運転が容易であるようなシンプルな設計を取り入れて、しかもできるだけ動的な機器を減らして、万一の事故の場合にも自然に熱が十分安全に除去されるようなそういう設計になってございます。ここで若干具体的なことをご紹介させていただきますと、圧力は70気圧で、在来型のBWRと同じような条件でございます。温度は275℃、出力は

200ないし400MW_e、熱も併給できるような設計でございます。制御棒はごらんのように上部から挿入する方式となっております。原子炉やそれから周辺にございます蒸気／蒸気型のスチーム・ジェネレーターは、工場でそれぞれ一体生産をいたしまして、たとえば輸出いたします場合に相手方の国にまとめて輸送ができるなどの特徴をもたせてございます。冷却の方式は自然循環で、従ってポンプは不要となっております。なお、ハードウェアにつきましてはKWU社のもっております在来型の大型BWR技術をフルに活用するという構想でございます。

表1に戻っていただきまして、次はスウェーデンで考えておりますSECUREと名付けられた温水専用炉でございます。これは120℃、200MW_t級でございます。断面図は図

表1 海外における核熱利用のための原子炉の構想例

原子炉型式	国名	構 想 例
1. 中小型の軽水炉・重水炉	米国、英国、カナダ	KWU(西独, BWR 70bar, 200~400MW _e 級) SECURE(スウェーデン, 温水専用炉, 120℃, 200MW _t 級) THERMOS(フランス, 温水専用炉, 144℃, 100~200MW _t 級)
2. 一体型PWR (船用炉からの転用)	西独, 米国, フランス	CNSS(西独, PWR 98ata, 330MW _e 級) CAS(フランス, PWR 142.7ata, 250~420MW _t 級)
3. PCR V方式のBWR	ソ 連	AST-500(ソ連, 温水専用炉, 200℃, 500MW _t 級)
4. 高温ガス炉	西独, 米国, フランス	HTGR(西独, ~750℃, 500MW _e 級) HTGR Steamer(米国, HTGR, 蒸気 500℃, 850MW _t 級)
5. そ の 他		

3にごらんいただけます。大きなプレストレストコンクリート容器の中にボロンの入った水がたまっておりまして、その中に原子炉の本体ならびに原子炉容器がセットされております。この構想はスウェーデンで始まりまして、のちにフィンランドが共同研究の形で参加し

て開発された設計でございます。原子炉の出口温度が 120°C 、圧力が約7気圧という低温、低圧でありますため、メンテナンス上非常に楽になるはずでございます。この原子炉は強制冷却でございまして、炉心では沸騰は起らないタイプでございます。燃料の設計ある

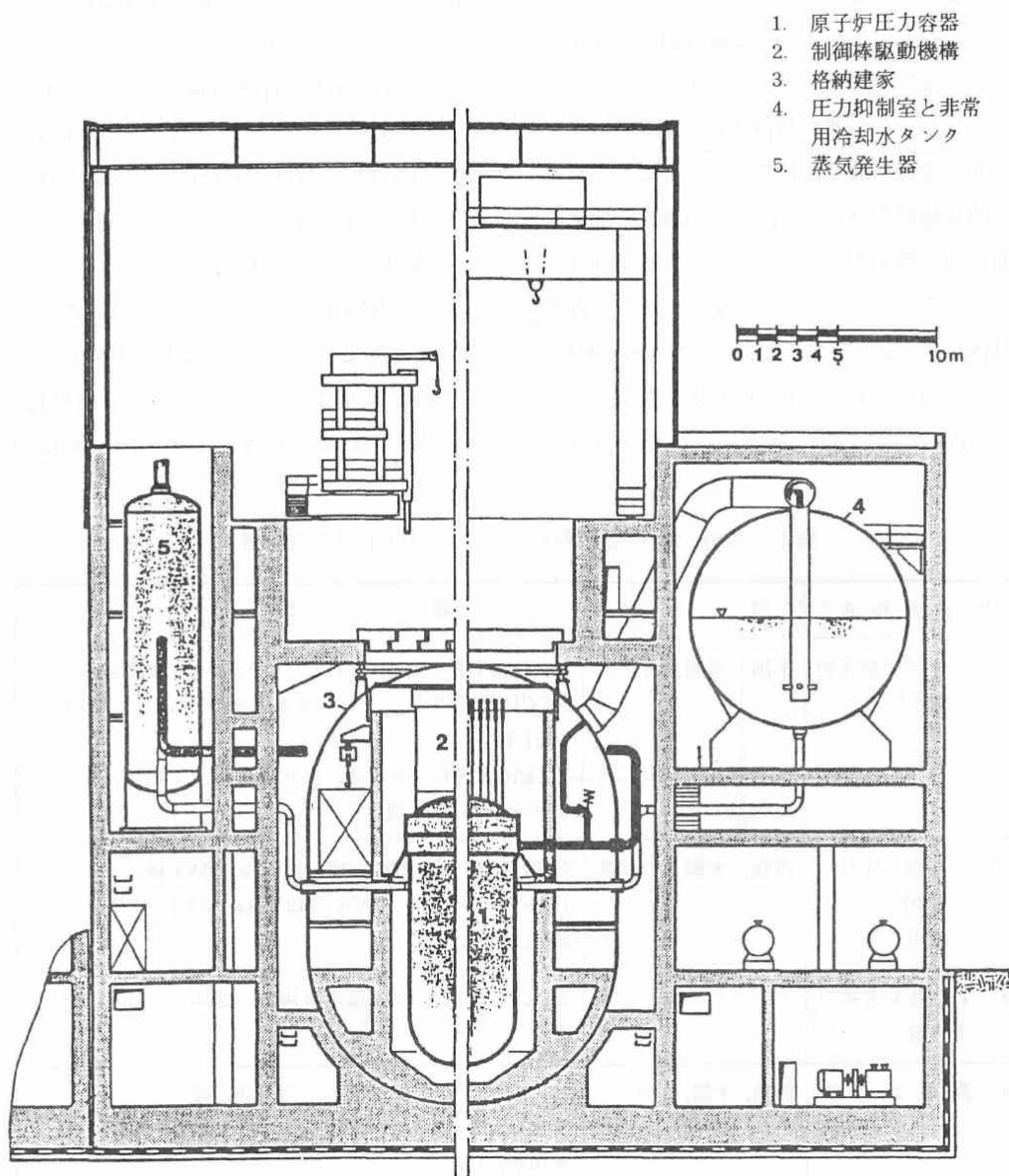


図2 KWUの小型炉構造図

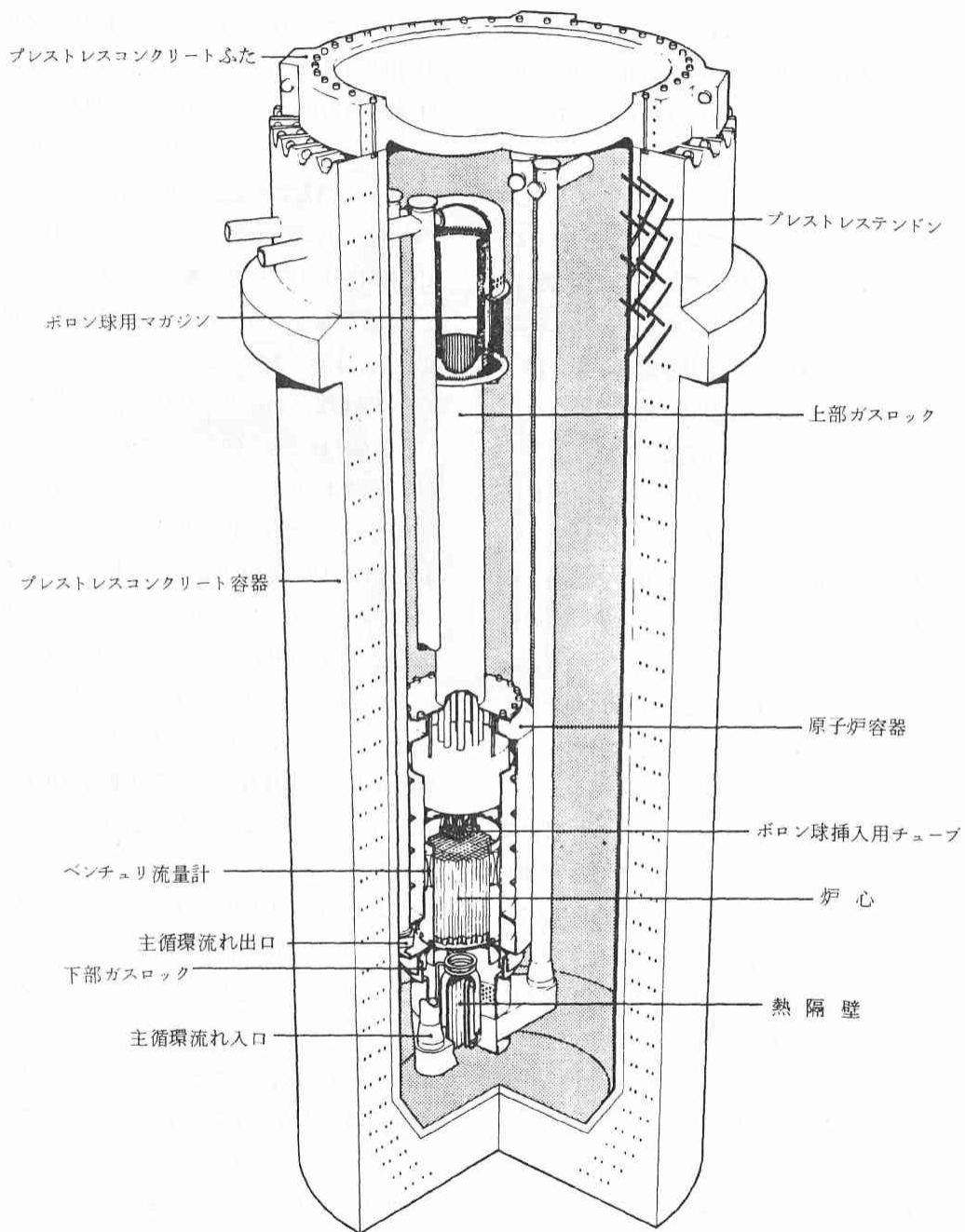


図3 SECURE構造概念図

いはシステム設計におきましては全般的に在来の軽水炉の技術が準用されるということになっております。

また、表1に戻っていただきますが、フランスではTHERMOSという名前で呼ばれる温水専用炉がやはり研究されております。これは図4にごらんいただきますような構成になっております。フランスのCEAとテクニカトム社が共同で構想開発をしたものでございまして、都市の熱供給ないしは淡水製造にも使えるよということをキャッチフレーズにしております。また出てまいりました一部の蒸気を使って、所内用の発電ももちろんできるということだそうでございます。

この原子炉は軽水炉ではございますけれどもその構造はスーパーフェニックス等々で知られておりますタンク型のFBRの構造と若干類似しております、大きな水タンクの中に原子炉本体が上からぶらさがっております。そして、その原子炉の周辺の上部に熱交換器とそれから1次系のポンプが水の中にジャブ漬けで入っているという構造でございます。原子炉の熱の出力は100MWとここに書いてございますけれども、200MWまでは増加し得るような設計でございます。強制冷却で炉心の圧力は約8.5気圧となっております。燃料は低濃縮の二酸化ウランですが、特徴的なのは、板状の燃料を用いている点でございます。それから、制御棒は下部から上向きに挿入する形になっておりまして、なおバックアップといたしまして、上から落下する安全棒と、液体ボイズンの注入系が設けられております。

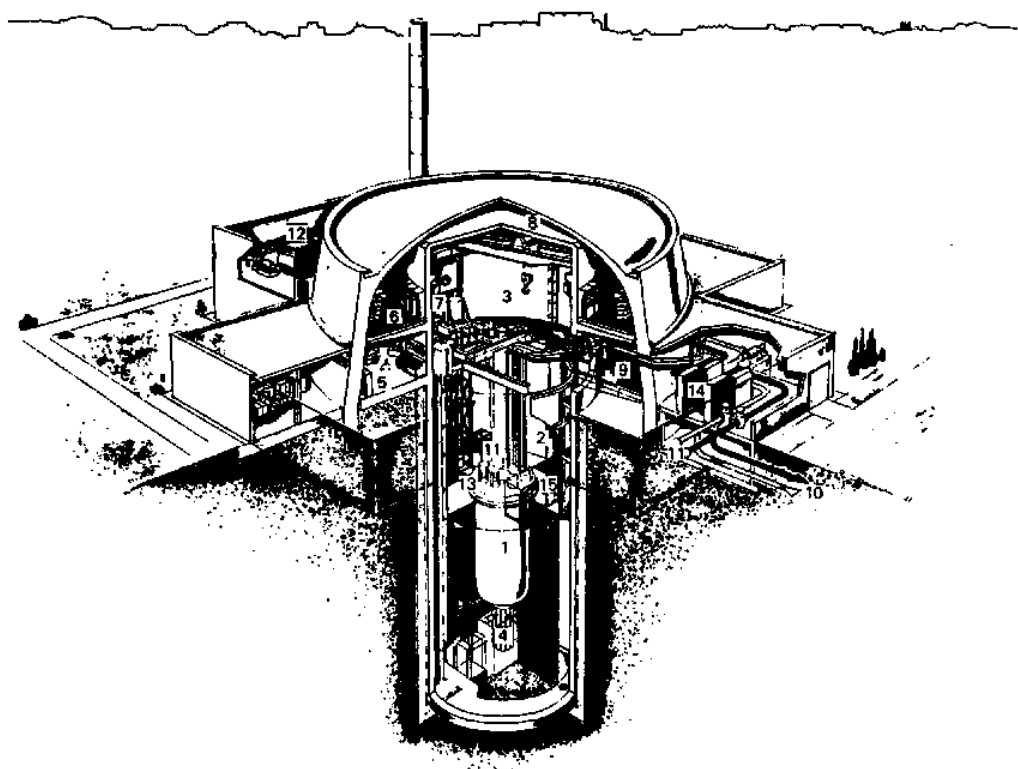
さきほどからご紹介いたしましたKWU社の小型BWR、ASEA-Atom社のSECURE、CEA・テクニカトム社のTHER

MOS、このへんはいずれも万一の事故時に除熱用のポンプがまわらなくても1日ぐらいはそのまま十分熱が安全に除去できるという原子炉でございますので、とくに発展途上国と申しますか、これから原子力発電あるいは核熱を導入したいという国々から見た場合、メンテナンス上からもたいへん魅力をもっているのではないかと思います。

なおこの種の原子炉の経済性につきましては、それぞれある程度の検討はされているようでございますけれども、なかなか積算の根拠が表には出てまいりません。伝えられるコストが果して妥当かどうかちょっと判断はできませんけれども、例をひとつご紹介いたしますと図4のTHERMOSの場合では、熱の供給コストは石炭による供給コストよりも10%ぐらいは安くいけるというようなことを言っております。なお運転員は約20名ないし25名ぐらいの規模が見込まれております。

安全規制につきましては、特別の検討が十分行われていない現段階では、さしあたり大型の軽水炉と同様な安全上の基準なり規制の考え方を適用せざるを得ないということのようでございます。

なお、さきほどのスエーデンのSECUREにつきましては、図面でごらんのようにバックアップといたしまして、一番上のところにボロンの球の入りましたマガジンがセットされておりまして、いざというときに、これが上から落下するようになっておりますけれども、これは当初の設計にはなくて、その後の規制当局との話し合いの結果、加えることになったものだと伝えられております。こういう多重な安全設計につきましてはのちほど時間があればお話し申し上げたいと思っております。



1. 原子炉容器
2. プール
3. 原子炉ホール
4. CRD室
5. 制御室
6. 電気機器室
7. 除染室
8. ミサイル防護
9. 中間ループ(1段目)
10. 温水供給
11. 中間ループ(2段目)
12. 補機冷却系
13. 1次熱交
14. 2次熱交
15. 使用済燃料貯蔵

主 な 仕 様

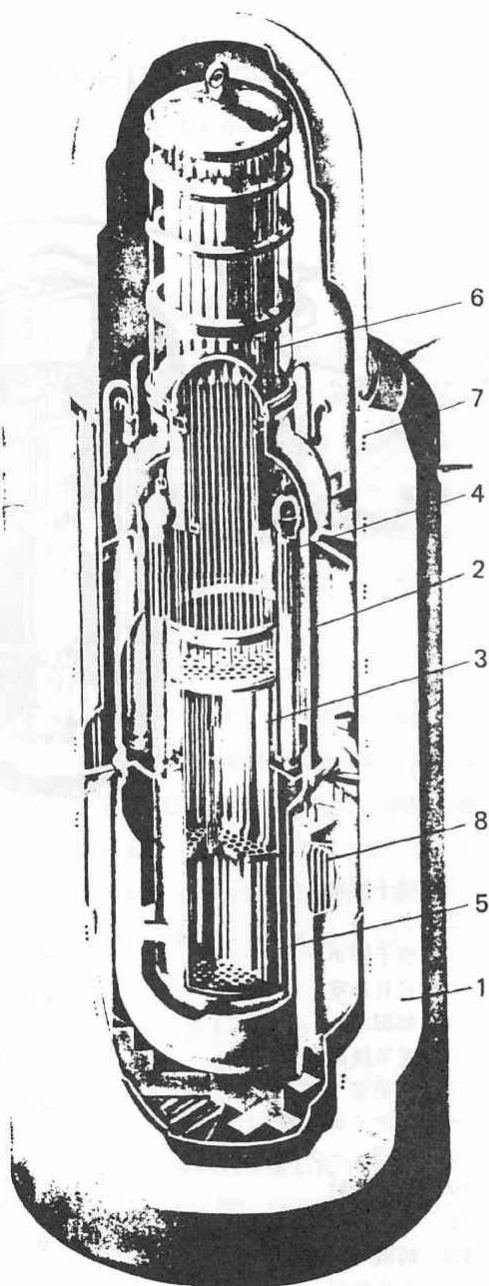
熱 出 力	100 MW
炉 型	軽水炉 (UO ₂ 燃料)
炉 心 圧 力	0.85 MPa
出 入 口 温 度	139 / 130 °C
1 次 ル ー プ	4 系統
温水供給系出入口温度	120 / 80 °C
原子炉ホール内径	13.5 m

図4 THERMOS

れども、先ほどからお話し申し上げ
ていますような原子炉では、在来型
の発電専用炉と比較して、温度、圧
力等いろいろな設計諸元が異なるわ
けでございますので、少しく異なっ
た基準なり、あるいは規制の適用
が妥当ではないかと感じておりま
す。

さて話をもとに戻しましてまた表
1にかえていただきますと、炉型
式の2番目として一体型PWRの例
がございます。これは西独、アメリ
カ、フランス等で検討されているも
のでございまして、すでに船用とし
ての実績がございます。たとえば、
西独のCNSS、これはスチーム・
ジェネレーターと原子炉とが容器の
中に一体収納されたいわゆるインテ
グラルタイプで約100気圧、330M
We級のものですが、これをやはり
熱と電力の併給に使ったらどうかと
いう構想があるわけでございます。
それからフランスではCAS、これ
は140気圧程度でございますけれ
ども、こういう船用の原子炉をやり
陸上用として使おうということでご
ざいます。

次は表1の第3番目、PCR V方
式のBWR、これは図5にソ連のA
ST500の例が見られます。ごらん
のように、これはコンクリートの容
器の中に原子炉を収めたものでござ
いまして、その原子炉の周辺には熱
交換器が一体として組み込まれてご
ざいます。この原子炉は名前から推



- | | |
|-------------|--------------|
| 1. コンクリート胴部 | 5. 炉 心 |
| 2. 炉 容 器 | 6. 制御棒案内 |
| 3. 上 昇 部 | 7. コンクリート冷却孔 |
| 4. 中間熱交換器 | 8. 熱 遮 へ い |

図5 AST500の基本構造

察されますように、熱出力500MWtで3ループとなっております。炉心の出口では190℃の水が出てまいりまして、運転圧力はそのために約15気圧ないし20気圧を必要といたします。これでもって最高約150℃程度の温水を需要先に供給できるように考えられております。この原子炉は一種のBWRで、炉心の上部におきまして若干のボイドがございまして、それによって自然循環が保たれるようになっております。

また話を表1に戻しまして、次は高温ガス炉でございます。これはわが国では原研で鋭意開発しておられるところでございますし、また西独、アメリカあたりで、それより幾分温度の低い領域でございますけれども、高温ガス炉として研究開発が進められ、また実証炉もアメリカあたりでは Fort St. Vrainプラントがすでに運転実績を上げております。海外の多目的利用高温ガス炉の構想例の一つに西独の500MW級のHTGRがございます。

西独ではご承知のようにTHTRと呼ばれる30万KWの発電専用炉が規制上の変遷の影響もあって、整合性をとるために、設計変更また変更ということで、たいへんに工事が難航いたしまして、またコストもアップいたしまして、当初の予定ですとすでに動いているはずのものが、現在の見通しでは85年に臨界というようなペースで進められております。そのTHTR300の次にくる炉型といたしまして、だいたい温度条件はこれに近いもので、出力は500MWtとし、熱と電気を併給しようという計画になっております。つい最近の新聞によりますと、THTRの次のプロジェクトとしてこの計画のフィージビリティ・スタディが始められたということでございます。石炭のガス化をねらった核熱利用とそれから電力生産の、いわゆるCo-generationを目指すプロジェクトとして、西独は真剣に進めようとしているわけでございます。

それからアメリカあたりでは、GA社が中

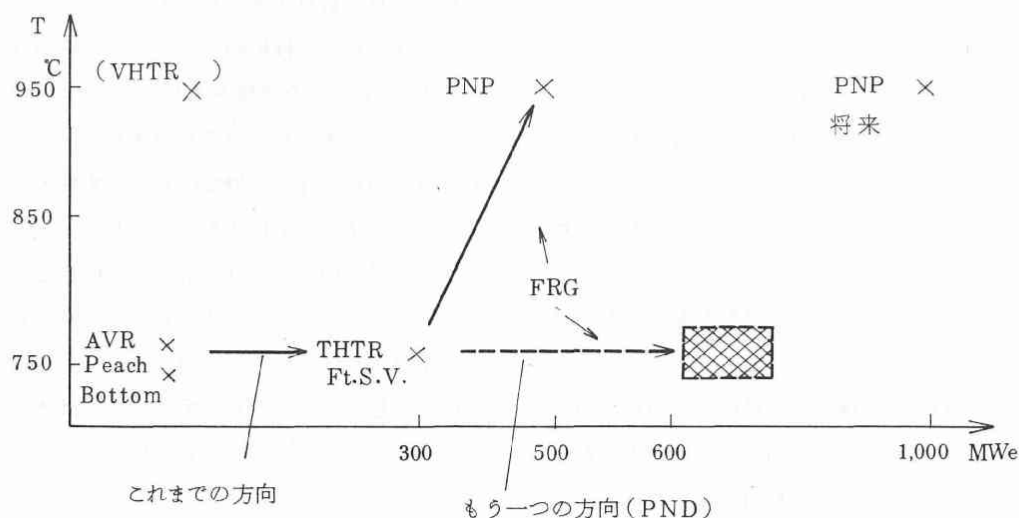


図6 西独における大型多目的高温ガス炉へのアプローチ

表2 中低温熱供給のための原子炉プラント等に対するいくつかの見解

プラント型式 および用途	特 徴	問 題 点	見 通 し
1. 大型原子力発電所 DH, IPS, DS	既存の経験と設備が利用できる。	熱輸送距離が一般に大きい。	経済性は比較的には良いと思われるが、利用側との整合性を十分にとる必要がある。
2. 中小型原子炉 IPS, DS, DH	大型炉とは別の次元から検討が可能。 熱輸送距離は少なくてすむ可能性がある。	コストが比較的に高くなる。 マーケットの割に炉型構想が多様。	負荷が十分高ければコスト的に引合うであろう。 (しかし、輸送距離が縮まらねば1.に比べて割高)
3. 低温低圧炉 DH, DS	運転保守が簡便かつ安全であるため、負荷隣接設置に有利。 負荷が小規模でも競合できる可能性あり。	原子炉の分散と基数増大への管理上の対応。	安全に関して隣接立地が認められれば有望。
4. 復水器廃熱 AA, DS	熱源としてはコストゼロ	低温なので輸送コスト大	研究してみる価値あり
5. ヒートポンプ AA, DS (IPS)	どこでも設置可能	コストと電力消費	小温度差の場合に検討の価値が大

注) DH : 地域暖房
IPS : 産業用プロセス蒸気

DS : 脱 塩
AA : 農水産

心になりましたHTGRスチームの構想がございます。これは高温ガス炉によって蒸気も熱も供給しようという計画であり、このあたりのことにつきましては数年前のヘルシンキでの中低温核熱利用の国際会議において非常に詳しいスタディが紹介されております。それから南米のモンテビデオで開かれました中小型の原子炉に関する国際会議等におきましてもいくつかの関連の構想が発表されております。

核熱利用の各種方式の特徴と問題点については、表2に若干まとめてございます。ただし、これは中低温の熱利用に限った話でございます。

在来大型原子力発電所から一部熱を取り

出していく方式は、わが国でもすでにスタディが始められておりますけれども、この特徴はすでに存在します技術的、制度的、あるいは規制上のすべての経験あるいは設備が利用できるというメリットがございまして、しかも経済性の点では、出力端におきます熱の供給コストはプラントにスケールメリットがありますので、相対的には一番安いということが言えるわけでございます。しかし、需要先との距離がやはり相当ございますので、熱の輸送ないしは分配のための配管あるいはそれに関連するインフラのコストが相当高くつくことになりそうであります。

次は中小型の原子炉であります。これは大型炉とは別の次元からの検討が必要でありま

して、とくに需要先との隣接接近の可能性がありそうということ、これがひとつの大きな特徴でございます。ただし、小型でございますから、スケールメリット上は当然コストが高くなります。原子力は化石燃料に比べて建設費が相対的に高いわけでございますから、そのスケール・デメリットからいまして、小型化いたしますと、どうしても在来の燃料による熱供給コストよりも不利になることは避けられませんが、そのところを原子炉の大幅な設計の合理化等によってなんとか競合できるところまでいかせようじゃないかというのが私どもの希望であり、目標でございます。この場合に大型あるいは中小型すべてに共通して言えますたいへん大事なことは、負荷率を上げてやらなければならないということでございます。せっかく配管をいたしましても、需要の負荷が年間非常に一定していないということでは設備投資が生きませんので、なるべく暖冷房あるいは産業利用等をうまくコンバインいたしまして、年間をならした高負荷率が達成できるようにする必要があります。この負荷率によって熱の需要先のコスト負担は非常に変わってまいります。

さて、3番目は、低温低圧炉、これはいわゆる熱専用炉でございますが、特徴として非常に運転保守が楽になるのではないかと期待がございます。とくに発展途上国等に対しては、このあたりがセールスポイントになりまして、西独、スウェーデンやフランスにおいて、さきほどお話ししましたSECURE、あるいはTHERMOSを大いに検討している理由がそこにございます。

そのほか、温排水の利用に関しましても、これは本日の私の主題ではございませんけれ

ども、アメリカをはじめ、とくに寒い地方で農業用の土壌の温度条件の改善の研究が進められていますし、ご承知のように魚の養殖等についても相当積極的にフィールド・テストが行われております。排熱は温度が低いものですから、これを民生利用の、たとえば60度、70度という暖房に適切な温度にまで昇温いたしますためには、ヒートポンプが必要でございます。とくに大規模なシステムになりますと、大型のヒートポンプを開発する必要があります。

3. 核熱利用に関する海外の動向

次に表3に従いまして海外での核熱による地域暖房のスタディの状況についてお話申し上げます。これはちょっと古いのですが、1979年頃でしたかヘルシンキの中低温核熱利用国際会議で発表されましたテーブルからそのままとったわけでございますが、78年時点でここにござんいただきますようなスタディがいくつかもうすでに始められているという点が重要かと存じます。残念ながらこのうちのいくつかはその後の経過によりまして中止されたものもございます。カナダ、チェコ、デンマーク、フィンランドなどの状況は時間の関係で説明を省きますが、フランスはサクレーの周辺に100MWtクラスの熱専用炉THERMOSを置きましてサクレー市内とその周辺あるいはサクレーからパリを射程に収めるという構想もございましたし、それからグルノーブルでも同様の構想がございました。それでいろいろスタディやったんですけれども、石炭による地域暖房の計画がすでに先行していたということ。そして、需要規

模がやはりまだかなり小さい、それから稼働率が低いといったようなこと、加えて大きな問題として反対運動もあったようでございまして、結局断念されました。これから将来に

かけての構想といたしましてはパリの郊外に90年から95年あたりを目途にC A S のシステムを設置し、蒸気の供給を実施すべくスタディが行われようとしております。それからサク

表3 核熱による地域暖房の研究プロジェクトの主要例

国 名	プロジェクト名	熱輸送量 (MW)	スタディの状況 (1978年)
カナダ	New Pickering (and other cities)	数100	フィージビリティ
チェコスロバキア	Brno ^(a) Prag ^(a)	~1,000	概略的
デンマーク	Gylling / Naes Storårhus	700	概略的
フィンランド	Greater Helsinki ^(a)	800 (初期)	詳細
フランス	Saclay and surroundings ^(b) Grenoble	100 100	詳細 詳細
西独	Grid for Berlin, Hamburg and Ruhr district ^(a)	数1,000	やや詳細
スウェーデン	Barsebäck / Malmö Greater Stockholm Greater Gothenburg	950 2,100 ~1,000	詳細 詳細 概略的
スイス	Bern ^(a) Basel ^(a) Plenar Refuna / Transwaal	数100	概略的 詳細 — —
米国	Minneapolis / St. Paul ^(a, c)	大規模	始められたばかり
ソ連	Gor'kii / Voronezh	1,000	詳細

注) (a) Helsinki 国際会議で発表

(b) 熱専用 (他は熱電併給)

(c) 原子力または石炭から選択

レーの郊外にはやはり90年頃にTHERMOSを入れようじゃないかという話が再度進んでいるようでございます。

次の西独はちょっと省略いたしまして、スエーデンにまいります。ここはたいへん不幸なことにリファレンダムによりまして、全部で12基をこえる原子炉をつくってはいかんということになったわけございまして、もうすでに建設中のものを含めまして満杯になっております。そういうことでございますので、小型の熱専用炉を国内で立地することはいまのところできそうにありませんが、スタディは非常に積極的に進められております。スエーデンではオゲスタ発電所（圧力管型BWR）が石油ショックの直前まで熱併給をした実績がございます。経済性が少し悪くなったということで運転をとりやめた途端に石油ショックがまいりまして、ちょっとあとの祭であったのでございますけれども、そういう長い実績がございます。64年から74年まで十年間ぐらいBalsthalというストックホルムの郊外の9,000戸ばかりの団地に120℃の温水を年間6,000時間というような高い負荷率で供給した実績があるわけでございます。もう間もなくできあがるFORSMARK 3号（3,000 MWt, BWR）を使いまして、ここにGreater Stockholmと書いてありますが、ストックホルムの周辺を含めた市町村に1,000 MWくらいの熱を送ろうかというスタディが行われておりまして、これはいまのところどちらになるかわかりませんが、相当詳細な計画が進められております。それから実績から申しますと、スイスではゲスゲンの原子力発電所、これはKWU社のつくったBWRでございますけれども、ダンボール工場に蒸気を供

給しておりまして、79年以降順調に40気圧程度の蒸気を毎時100トンちょっとぐらい送っているということでございます。スイスではなおいろいろとBWRを使って地場産業あるいは地域暖房用に熱を送ろうという計画が積極的に展開されております。

4. 今後の課題と展望

さて、今後の課題と展望につきましては、いくつかお話すべきことがございますが、新しい観点から核熱を導入していきますためには、とくに安全性、経済性を十分実証していく必要があるわけでありまして、そういう技術的あるいは経済的な実証を具体的にどう進めるかということをも十分検討する必要があります。設計につきましてはわが国自前の技術を盛り込んだオリジナルで、しかもシンプルなデザインを目指していかなければいけない。またそれに呼応いたしまして、安全評価におきまして、新しい観点からの基準の見直しも必要かと思われます。なお、わが国が今後こういう中小型軽水炉あるいは高温ガス炉を軸にして、プラント輸出分野まで伸びていこうといたしますならば、政府と産業界が緊密に協力いたしまして、原子炉はもとより燃料サイクル、あるいはそのほか人材養成の問題等々、インフラを含めたすべての問題を総合的に一貫して取り組んでいくことが必要かと思えます。そのあたりはのちほどパネルで若干補足させていただくことにいたしまして、時間も超過いたしましたので以上で私のお話を終わらせていただきます。（あきやま まもる）

〔研究報告 1〕

高温ガス炉の熱利用

三菱原子力工業(株)大宮研究所 研究第一部原子力化学第二課

課長代理 横山二郎

はじめに

エネルギー総合工学研究所では、ここ数年にわたり原子炉の熱利用ということでいくつかの調査研究を行ってまいりましたが、きょうはその一端をご報告させていただきます。

さきほど秋山先生も述べられたかと思いますが、エネルギー資源に乏しく、かつその海外依存度の高いわが国におきましては、長期的にエネルギーの安定確保を図ることが重要な課題といえます。特に石油に関しましては、他の先進国に比べその海外依存度が大きく、エネルギー源を多様化するという観点からも石油代替エネルギー—原子力、石炭、LNG等の開発導入を図ることが期待されるところであります。

原子力についていえば、電力分野においては現在のところその導入が積極的に図られているという差支えないと思いますが、全エネルギー消費の $\frac{1}{2}$ を占める非電力分野におきましても、原子力の導入が今後期待されるところであります。このような非電力分野への原子力の導入についての検討は、現在、高温ガス炉と軽水炉について、いくつかの機関で行われているわけですが、まず温度レベルから考えてみますと、軽水炉はその運転温度か

ら利用可能範囲がせいぜい250℃ぐらいのところに限られますが、高温ガス炉は1000℃付近までの利用が可能であり、その利用範囲はかなり広がることが期待されます。一方、原子炉の技術的なレベルからみてみますと、高温ガス炉の方は、これから原研を中心に実験炉、原型炉、実証炉と進んで、その実用化時期はおそらく21世紀に入るものと予想されますが、軽水炉については、現在、発電炉として運転の実績があり、これを利用系とつなぐという技術的な問題等は多分あると思いますが、条件によってはその実現の可能性はかなり早くなることも予想されます。

ここでは、一応、高温ガス炉の熱利用ということで、これから研究報告をさせていただきますが、この熱利用につきましては供給側と需要側からみた話があると思います。私のところでは、高温ガス炉と軽水炉を含めて、需要サイドからみた核熱利用の実現性とその課題ということでお話させていただきたいと思います。

1. 産業用エネルギーの需要形態

まず最初に、産業用エネルギーの需要形態ということで述べたいと思います。通産省の

「昭和55年エネルギー消費構造統計表」等によれば、鉄鋼業がわが国最大のエネルギー多消費産業であり、これに窯業、化学工業、石油精製、非鉄金属、紙・パルプ工業等が続きます。これらの6業種をあわせると、製造業全体の8割以上のエネルギー消費を占めております。

そこで、各産業における用途別のエネルギー消費構造を図1に示しますが、製造業全体で見ますと、直接加熱と蒸気をあわせた熱としてのエネルギー消費が約80%を占めております。また、これを産業別にみても、鉄鋼業、窯業、それに石油精製等は直接加熱によるエネルギー消費がだいたい80%以上であるのに対し、化学工業や紙・パルプ工業では蒸気によるエネルギー消費が相対的に大きくなっております。また、非鉄金属では電気分解によるエネルギー消費が多く、熱的なエネルギーは小さくなっております。ところで、原子炉の熱利用という観点からみますと、図1

の直接加熱あるいは蒸気というところがその検討対象として考えられるところであります。

次に、いったいどのあたりの温度をどのくらい各産業が必要としているのかということをも温度スペクトルで表わしたものが図2にあたります。これによりますと、100～200℃、700～900℃、1100～1500℃あたりの3つの領域に需要のピークが存在しております。さきほどの用途別のエネルギー消費構造において、蒸気による消費というのが、ここではだいたい200℃以下のピークのところに相当するものと思われ、この領域はおそらく軽水炉による熱の供給が適当なところと考えられます。それ以上の1000℃あたりまでは、高温ガス炉の熱利用の対象として考えられるところです。

次の図3は、各産業において、どのような工程でどのあたりの温度が必要なのかということを示したものです。非鉄金属、化学工業、石油精製、窯業等は、だいたいここで示した

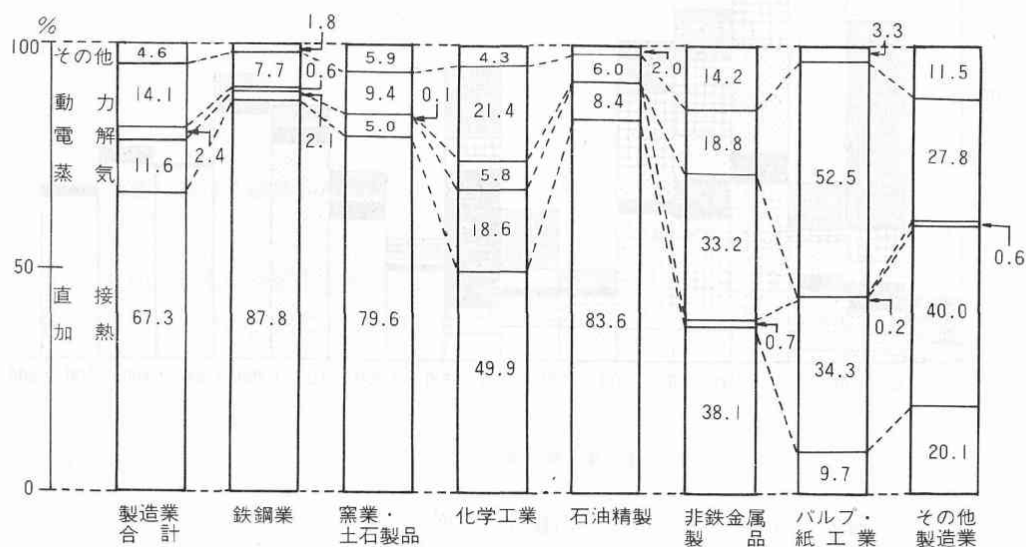


図1 各産業の用途別エネルギー消費構造

資料：「昭和55年エネルギー消費構造統計表」通産省，昭和57年3月

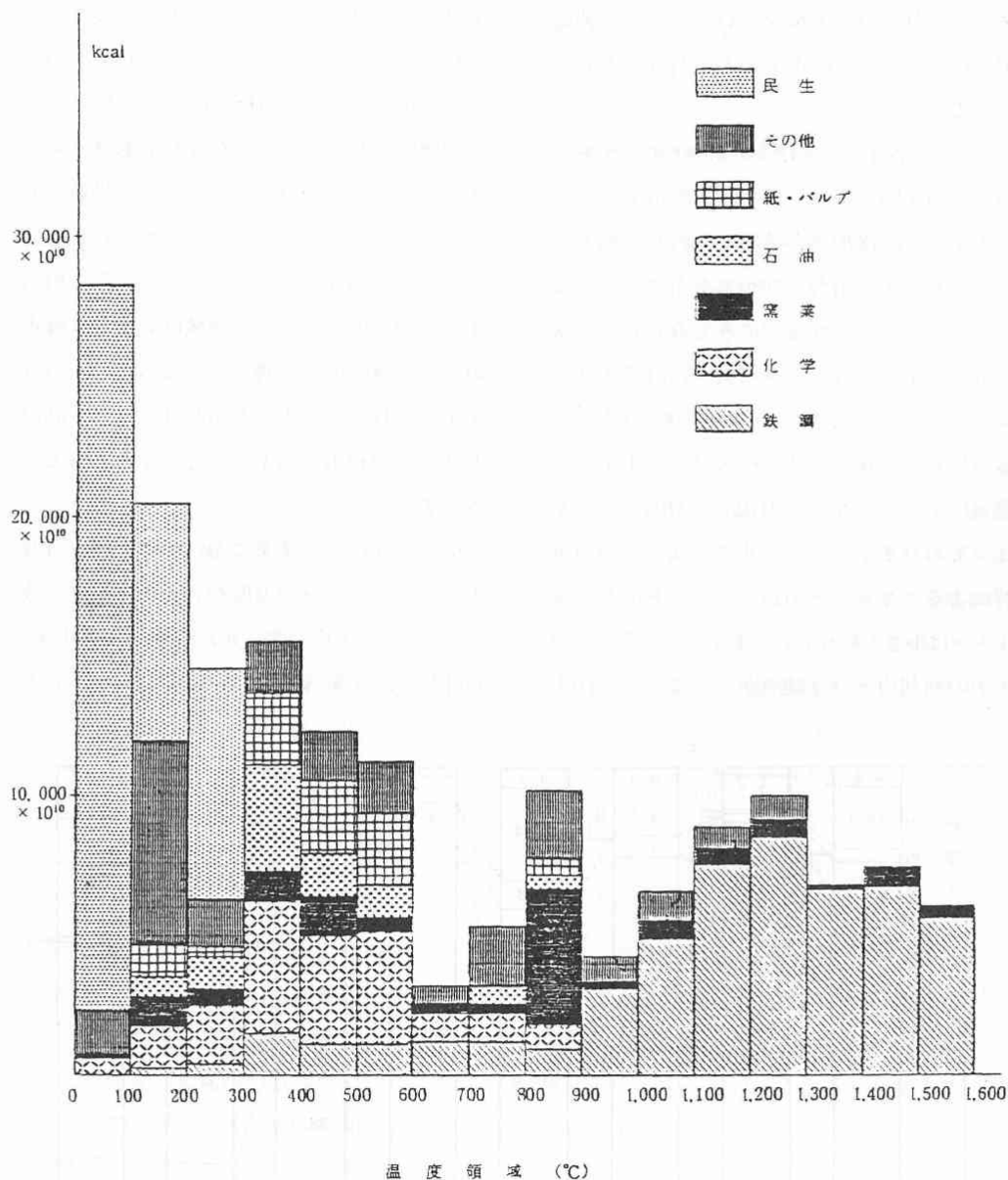


図2 部門別熱エネルギー消費量 (温度スペクトル)

出所：「産業部門におけるエネルギー消費形態の動向調査」，日本原子力研究所委託調査，(株)三菱総合研究所，(1983. 5月)

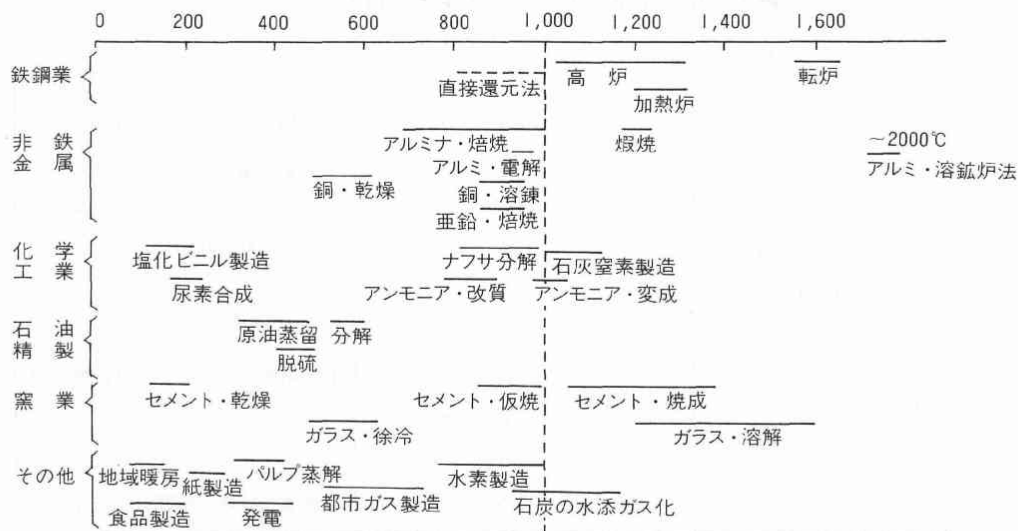


図3 各産業の必要温度領域

注) 日本原子力研究所資料, 熱管理と公害(1976年), 公害防止技術ハンドブック, 工業窯炉(化学工業社)等より作成

ような温度を必要としというということでもあります。ここで鉄鋼業ですが, 現在の製鉄法は高炉法により1000°C以上の熱を使っているわけですが, これが直接還元法に変えられたならば高温ガス炉の熱利用の対象範囲となり, 核熱利用の範囲はさらに広がっていくものと予想されます。

2. 各産業における核熱利用の可能性

以上, 各産業におけるエネルギー需要の概要を述べたわけですが, 次にエネルギー多消費産業のいくつかについて, 現状と核熱利用の可能性ということで簡単にコメントしてみたいと思います。

まず化学工業ですが, わが国の化学工業は, 今まで豊富で安い輸入の石油に支えられて急速に成長してきたものといえるわけですが, オイルショックの後, 石油価格が上昇し, さ

らにこれに伴って電力料金が上がったということから, 石油依存度の少ない諸外国に比べて国際競争力を失ってきて苦しい状況にあるものといえます。これを解決するためにいろいろと検討が行われているわけですが, そのひとつに現在の石油依存体系をより安定なエネルギー源に転換することによって本質的な解決を図るということが考えられ, このためにも原子力を化学工業に導入するということ, 今後活発に検討されてよいものと思います。なお, 化学工業におけるエネルギー利用の形態ということで表1を載せてありますので, ご参考にいただければと思います。

次に, さきほども述べましたわが国最大のエネルギー多消費産業である鉄鋼業ですが, これもオイルショック以後は石炭の導入ということで脱石油化を図ってきております。鉄鋼業における原子力の利用ということは, 高温ガス炉の利用を目的とした「高温還元ガス

表1 化学工業におけるエネルギー利用の形態

利用の形態	エネルギー源	温 度 (℃)	例	注
(1) 蒸 気 型	重油, ガス	~200℃	紙・パルプ 一般化学	大規模な場合, 抽気又は背圧タービンで, 電気を併産する。
(2) 石油主原料 エネルギー 副産型	ナフサ分解時の 副産不要成分	~1000℃	石油化学 アンモニア合成	ナフサ分解に利用した後, 蒸気として回収する。
(3) 窯 炉 型	重油, ガス 石炭	~1600℃	セメント ガラス 耐 火 物	石油系燃料から, 石炭に転換しつつある。
(4) 電熱化学型	電力 (交流)	500~4000℃	カーバイト 人造黒鉛電極	窯炉型で特殊な雰囲気が必要とするもの, 超高温が必要なもの。
(5) 電気化学型	電力 (直流)	~1000℃	苛性ソーダ アルミニウム製錬	他のエネルギーへの転換は困難

表2 アルミニウム製錬業における工程別エネルギー・フロー (昭和54年度)

(単位: %)

		アルミナ 抽出	アルミナ 煅焼	電 解	電 極 製 造	溶解・ 保持	均熱・ 加熱	熱処理	その他	計
製 錬 業	電 力	1.5	0.3	81.1	0.4	0.3	0.1	—	4.4	88.1
	石 油	3.4	4.1	0.0	0.7	0.6	0.3	—	1.0	10.1
	そ の 他 (LPG等)	1.1	—	0.1	0.1	0.1	0.1	—	0.3	1.8
	計	6.0	4.4	81.2	1.2	1.0	0.5	—	5.7	100.0
圧 延 業	電 力	—	—	—	—	2.3	6.4	3.9	33.0	45.6
	石 油	—	—	—	—	24.2	12.9	5.8	6.1	49.0
	そ の 他	—	—	—	—	0.5	2.3	2.1	0.5	5.4
	計	—	—	—	—	27.0	21.6	11.8	39.6	100.0

(注) 製錬8社15事業所及び圧延6社12事業所に対する調査をもとに算出。(55. 9. 29. アルミ産業石油代替エネルギー導入指針諮問委員会資料)

利用による直接製鉄」，いわゆる原子力製鉄というものですが，これの研究開発が昭和48年頃から通産省工業技術院の大型プロジェクトとして昭和55年度まで続けられ，トータルシステムや技術要素の開発について成果を上げております。これがおそらく核熱利用の具体的な検討例であると思います。

もうひとつ，アルミニウム製錬業について触れたいと思いますが，表2においてもおわかりいただけるように，アルミニウム製錬業におきましては，エネルギーの約90%が電力（これは主に電解反応に使われる）の形で消費されており，アルミニウム製錬業に原子力を導入するということは，現在の電解法で考える限り発電を中心としたものでないとおそらくメリットはないものと思います。ただ，将来の問題としてとらえてみますと，最近，新聞などでもいくつか報道されておりましたけれども，電気をほとんど使わない，ボーキサイトから炭素によって直接還元する方法，いわゆる溶鋳炉法というもの注目されております。これはだいたい2000℃の炉内での還元反応ですが，ただこれと原子力とすぐにつなげるかという温度的にもかなりギャップがありますし，技術的にもいろいろと問題があるので，今すぐという話ではありませんが，検討されてもよいのではないかと思います。

3. 石油代替エネルギーと核熱利用

ところで，原子炉の熱利用においては，熱の供給側と需要側の工場との規模，形態の対応や熱輸送距離というものの検討が重要になってくるわけですが，このために高温ガス炉の例ですけれども，原子炉と利用系の直接的な

結合を図るのではなくて，原子炉の熱エネルギーを使って，石炭，石油の化石資源やあるいは水を原料として，そこから二次エネルギーを作って，これを需要工場に供給するという，こういう考え方があります。このような利用分野として，現在，サンシャイン計画で行われております石炭液化，ガス化，あるいは水素製造等が検討の対象となってきます。

まず石炭の液化，ガス化反応ですが，石炭の液化は発熱反応であり，液化工程で外部から熱を供給するということはそれほど多くなく，高温ガス炉の導入の意義は直接的には少ないものと思います。ただ，液化工程におきまして多量の水素を必要としますので，水素製造プロセスで高温ガス炉の熱を利用して水素を作るという間接的な利用形態は考えられます。一方，石炭のガス化反応は850～950℃という高温状態を維持してガス化を行うもので，このためにいろいろな手段が考えられているわけです。このように石炭液化，ガス化反応は，いわば高温ガス炉の熱を利用するのに適した温度領域にあるということがいえわけですが，現在のサンシャイン計画のプロセスをみてみますと，石炭の一部を燃焼してこれらの温度を得るということで開発が進んでおり，また反応炉の炉型もそれに従って開発されているわけで，ただそのまま高温ガス炉と反応炉を結びつけるというのは，現在のところでは技術的に問題が多いところだと思っています。

一方，水素製造につきましては，水からの水素の製造法としては，電気分解法，熱化学的水分分解法，そして高温直接熱分解法等がありますが，このうち熱化学的水分分解法は，既存の技術でカバーできる1000℃以下の反応を

組み合わせて水から水素を作るというもので多分に高温ガス炉を念頭においた研究開発が進められております。これらの熱化学法につきましては、現在まで100以上のサイクルが提案されておりますが、現在も研究されているのはウェスチングハウス社やゼネラルアトミック社の方法、そして日本では原研のNIS法等の限られたものであるようです。ご参考までに、図4にNISプロセスについて反応式を示しておきました。

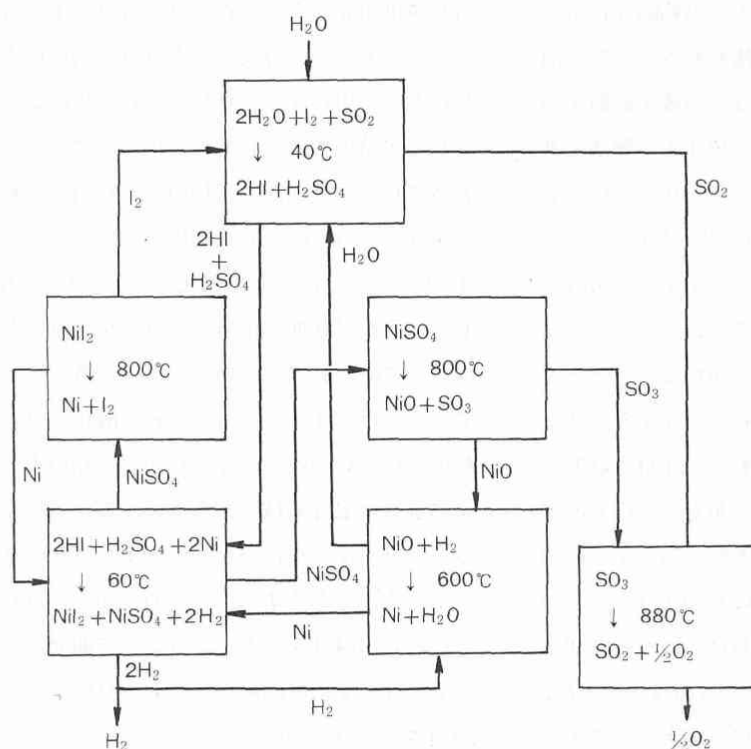


図4 熱化学法 (NISプロセス)

4. 民生利用

それから熱利用のもうひとつの需要である民生利用について若干触れたいと思います。わが国のエネルギー需要を部門別に分けてみ

ますと、これはエネルギー統計的な話になりますが、産業、交通、そして民生といったような分け方がされております。そのうち、産業部門がだいたい50数%、交通部門が22%ぐらい、民生部門が21%ぐらいの比率になっているものと思われます。その中で、産業部門や交通部門については分析が行われ需要の形態も把握されているものと思いますが、民生利用については、その内容が非常に複雑なことから案外需要構造については不明な点が多いものといえます。

そこで民生用エネルギーの需要ですが、これは用途別にみますと、冷暖房、給湯、厨房、照明、動力といったようなものになります。その比率はだいたいのところ、冷暖房、給湯が65%ぐらい、厨房が10%ぐらい、照明、動力、その他24%ぐらい（昭和54年度）となっており、半分以上が冷暖房、給湯に使われております。

民生部門で必要とする熱はほとんどすべてが200℃以下の温度であり、熱レベル的には軽水炉での熱供給がむしろ中心になるものと思います。しかし、実際の利用に関しては、このあと室田の報告にも出てくるかと思いますが、民生利用だけで原子炉の熱を使うというのは多分経済的に

は問題があり、他の産業の熱利用と併合して考えていかなければいけないと思います。また、このような民生利用の地域冷暖房等は、ひとつの地域振興策というような効果も期待できて、今後の原子力立地推進の一助にもなるのではないかなという考え方もとられているようです。

それから、エネルギー統計上は産業用のエネルギーとして分類されるものですが、地域での熱の利用という観点から民生利用の中でお話したいのですが、農林水産業における熱利用が考えられます。これはわが国全体のエネルギー消費の3%強を占めているものですが、施設農業の燃料や養殖漁業といったものに使われるエネルギーです。しかし、ご存じのようにこれらの熱は非常に低レベルの熱であり、工場のような大量でかつ高温の熱ではないので、直接に原子炉の熱を使うということではなく、温排水や、あるいは一度工場で

使われ、さらにそこから出てくる熱といったような使い方でエネルギーの有効利用、あるいは経済性を図っていくことが重要であります。

5. 核熱の利用技術

次に、これらの原子炉の熱を利用する技術、あるいはプロセスといったものについて若干触れたいと思います。原子炉の熱利用の図るには、さきほども申し上げましたが、原子炉と利用系の規模や形態、あるいは温度レベルの対応、環境、立地、熱輸送といろいろな検討課題があるわけです。そこで、原子炉の熱を利用するシステムとしては、ひとつには原子炉と利用系の近接立地を行って、原子炉の熱を直接あるいは蒸気の形でそのまま利用する、いわゆるコンビナートのようなものと、それともうひとつは原子炉と石炭液化、ガス

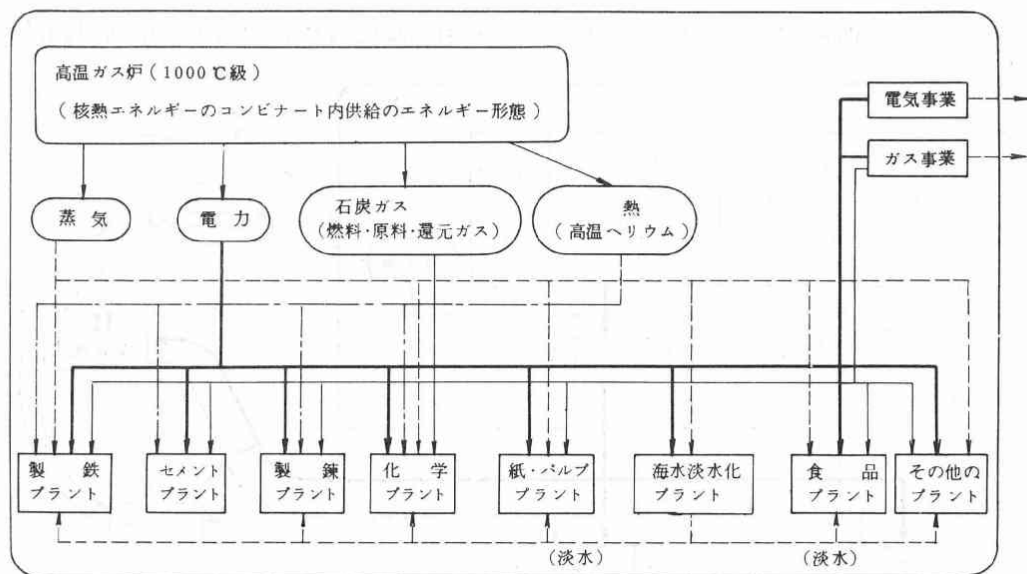


図5 核熱利用コンビナートの概念図

化プラント、あるいは水素製造プラント等を同一敷地内に建設し、そこでできた二次エネルギーを需要先の工場等へ供給する、いわゆる二次エネルギーセンターという呼び方がされるかと思いますが、この2つの利用技術プロセスが考えられると思います。

そこで、まずコンビナートは、いわゆる直接熱供給ですが、これは図5の概念図に示しましたように、高温ガス炉と需要の利用系プラントを同一敷地内に立地建設して、熱とか蒸気（そして電気）を供給するというものになっております。さらにこのまわりに低レベルの熱利用プラントや、あるいは民生利用等を配置して、熱の有効利用を図っていくことも必要かと思えます。一般に原子炉の規模というものは、単一の利用系の工場と比べますと原子炉の方がはるかに大きいということで、このような一種の熱のカスケード利用を図っていくことが需給バランス等からも重要であります。このほか、原子炉と利用系プラントとの共同立地の問題点について考えてみます

と、ひとつには現在の規制からいきますと原子力プラントは人口過疎地の岩盤立地であり、それに対して利用系プラントはどちらかといいますと都市に近い埋立地のような軟弱地盤のところに立地されているということで、これは原子炉と利用系の現状では相反するような要素になっております。従いまして、近接立地を図っていくということになりますと、これらの問題について技術的な面だけではなく、法的な面からの検討も今後必要になってくるものと思われます。

次に、二次エネルギーセンターの概念図を図6に示します。これは原子炉と、ここでは高温ガス炉ですが、石炭液化、ガス化プラント、あるいは水素製造プラントでもよいかと思いますが、これらを共同立地して、そこで製造された石炭ガスや石炭油、あるいは水素といった二次エネルギーを需要先の工場に供給するというシステムであります。このような考え方をとりますと、さきほど共同立地の場合に問題となりました立地、環境、技術と

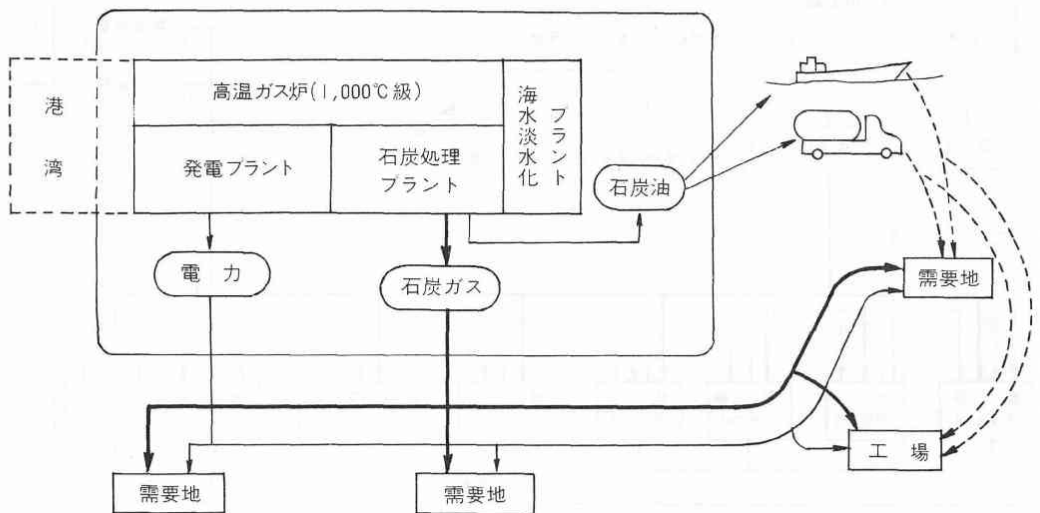


図6 二次エネルギーセンターの概念図

いったようないろいろな制約からさけられるという利点があるわけであります。

6. 実用化へ向けての課題

以上、産業用のエネルギーの需要形態と民生利用、そして利用技術等について述べてきたわけですが、最後にこれらを実用化する上で今後の課題は何であるかということについて触れたいと思います。これはおそらくこのあと行われますパネル討論の方で、具体的にいろいろご検討いただけるものと思いますので、ここでは項目の指摘といったような形で述べたいと思います。

まずひとつは、開発スケジュールであります。原子炉の熱利用を図っていくうえで、将来の実用化時期における非電力分野のエネルギー需要見通しというものがないと、なかなかスケジュールというものができないわけですが、そのためには、これを決定する要因といってよいのかも知れませんが、ひとつには企業における将来のエネルギー需要予測、そして技術開発の進歩、これらをかみ合わせたスケジュールの検討というのがおそらく必要になるものと思われまゝ。とくに高温ガス炉におきましては、さきほど石炭液化、ガス化のところでも述べましたけれども、現在のプロセスと原子炉をそのまま結びつけるということは、おそらくは無理な点が多く、高温ガス炉の熱利用を図っていくうえでは現在と異なったプロセスの開発というものが多分必要になってくるものと思います。そのリードタイム等を考えますと、おそらくかなり長時間を要するものであり、先行的な技術開発に比較的に早い時点で着手しなければいけないということ

がいえると思います。

次に重要な課題は、開発体制であります。利用系の開発体制につきましては、先行例としてさきほども申しあげましたが、原子力製鉄技術研究組合、いわゆる「ERANS」というものがあり、かなり具体的な検討が行われました。化学工業や、石炭の液化、ガス化等についてもこれから熱利用を図っていくうえでは、ユーザーが主体となった利用系の開発体制を確立する必要があるわけですが、その際、ユーザーが核熱利用をやろうということを決断するには、エネルギー需要が将来どうなっているのかといったことや、そして技術の実証的な裏付け等がおそらく必要になってくるものと思います。

3番目としまして、PA（パブリックアクセプタンス）というものが考えられます。これは原子力の立地ということにからんでくるわけですが、現在の原子力発電所では立地推進ということで電源三法による交付金等があるわけですが、熱利用の原子炉についてこのような例はなく、これがそのまま適用できるのかどうかという法律的な面での検討が今後議論されなければならない課題であると思います。

4番目としまして、これはもっとも重要なのかも知れませんが、原子炉からの核熱を工業利用するためには経済性というものを考えなければいけないと思います。さきほども話に出たかと思いますが、原子炉の熱利用におきましては原子炉と利用系の規模の対応がなければいけないということで、しかも原子炉の方が工場に比べて規模が大きいということから、そういった需要規模等から原子炉が中小型の方向に向っていくということが今後考

えられるわけですが、この場合、定性的には経済性は不利になるという考えがあり、経済性を上げるにはどうするかという検討が今後なされなければいけないと思います。そのひとつとしまして、こういった熱利用において民生利用を地域振興策のひとつと考えて、デメリットを補うというような考え方をとる立場もあるようです。

最後に、核熱利用が実用化されますと運営のあり方というものを検討しなければいけないわけですが、現在の原子炉はすべて発電用ということで電力会社が運営を行っておりますが、熱供給炉となった場合、これは必ずしも電力会社が運営するとは限らないと思います。たとえば、ユーザーとなる企業であるとか、民生利用の場合ですと地方自治体とか、あるいは電力会社もそこに加わった共同企業体といったような運営形態が考えられるわけ

であります。このような実用化時期における運営のあり方というものも、今の時期から資金問題等をからめて検討する必要があります。また、電力会社以外による、いわゆる原子炉を今まで扱ったことがない事業者が扱うというようなことを考えますと、従来の大型炉のような、どちらかといえば難しいものではなくて、規模を小さくして、しかも運転や保守を非常に易しくした中小型炉というものができれば、これはおそらくユーザーが原子炉の熱利用を決断するうえでひとつのきっかけになるものと考えられます。

以上で、需要サイドからみました核熱利用のあり方、実用化の可能性、そしてその課題ということで、われわれの研究報告の一端を紹介させていただきました。（よこやま じろう）

中小型軽水炉の構想

主管研究員 室 田 健 次

はじめに

現在、発電の分野においては原子力発電が順調に伸びております。全発電設備の約13%が原子力で賄われておりますが、すべてのエネルギー消費の約3分の2を占めます非電力エネルギー分野では全く原子力の利用が行われていないのが現状であります。この非電力エネルギー分野においても原子力を導入し、エネルギー源を多用化し、石油依存度の低減を図る研究としまして、さきほどの高温ガス炉の利用のほかに、わが国での運転、建設経験が豊富で、技術的にも確立した軽水炉技術を使って発生する熱をそのまま利用するシステムの可能性を調査しましたので、紹介したいと思います。この調査は56年度から約2年間資源エネルギー庁の委託によりまして、エネルギー総合工学研究所と日本原子力産業会議が協力して実施してきたものであります。ここでは日本での中小型軽水炉の使い方、需要分野としてはどんなものがあるのか、中小型軽水炉はどんな設計の炉になるのか、また経済性はどうかについてお話したいと思います。

1. 中小型軽水炉の熱利用

軽水炉から出せる蒸気の温度はせいぜい280℃くらいでありますけれど、この温度以下で大量に熱を消費しているのは、さきほどの部門別熱エネルギー消費の温度スペクトルの図(20頁の図2)にもありましたように産業部門では石油化学、紙パルプが主でありまして、民生部門では地域熱供給が主なものであります。

1) 産業利用

これらの産業は現在エネルギーを石油または重油で賄っております。石油化学産業というのは、ナフサまたは石油ガスを原料とし、エチレンを製造し、最終的にプラスチック、薬品、繊維等を製造する産業でありますけれど、この製造過程で分解ガス、副成ガスが出ますので、これを回収ボイラーで燃やして、電気、蒸気の一部を自分で賄っております。これらのエネルギー消費の量を表1に示してあります。このモデル・プラントの規模は、日本で最大級のプラントでありまして、※印の消費量と※印のついていない消費量との差が回収ボイラーによって賄われる量であります。

次に紙・パルプ産業でありますけれど、紙・パルプ工程と抄紙工程とに分けられまして、

表1 各種産業の電力・蒸気消費量と負荷特性

産業の種類	プラントの規模	電力消費	蒸気消費	運転特性
石油化学	エチレン 400,000 t/Y 生産規模	125 MW (69MW*)	53 t/h (40 kg/cm ² g) 273 t/h, (200 t/h*) (10 kg/cm ² g) 244 t/h* (3 kg/cm ² g)	一定負荷(±10%), 連続運転: 8,000 時間/年 点検停止: 1ヶ月/年
紙・パルプ	新聞紙 750,000 t/Y 生産規模	202 MW (197MW*)	236 t/h, (191 t/h*) (2-3 kg/cm ² g)	一定負荷, 連続運転: 350日/年 点検停止: 16日/年 紙切れ時, 急速に負荷変動がある。
アルミニウム	アルミニウム 120,000 t/Y アルミナ 230,000 t/Y 生産規模	211 MW	55 t/h (30 kg/cm ² g) 10 t/h (1-2 kg/cm ² g)	一定負荷, 連続運転: 365日/年
苛性ソーダ	50,000 t/h (隔膜法 プラント)	24 MW	20 t/h (2-3 kg/cm ² g)	一定負荷連続運転: 8,000 時間/年

注) *……外部からの供給が必要な量

蒸気は抄紙工程で加熱、乾燥用に使われております。紙・パルプの場合も工程の途中で発生するパーク、黒液を燃やして排熱回収をしております、新聞紙年産75万トンの生産規模のエネルギー消費量を同じく表1に示してあります。同じようにアルミニウム、苛性ソーダ産業の場合のエネルギー消費を表1に示してあります。

これらの産業と中小型軽水炉の結びつきを考えてみますと、図1のような場合が考えられます。

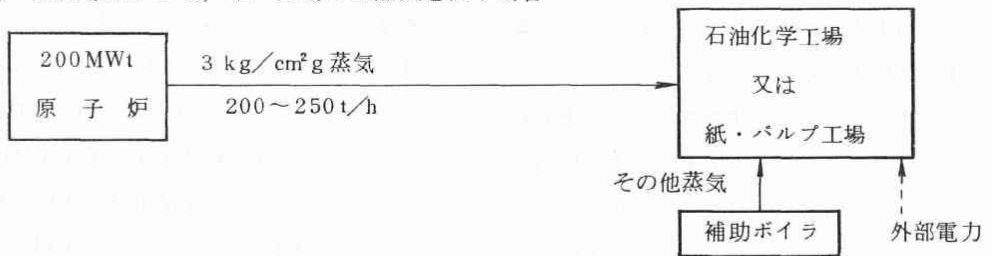
図中の①は石油化学または紙・パルプ単一工場で原子炉をもつ、自家用原子力の場合で

あります。この場合、表1の規模の工場で原子炉としては200MWtの容量で、低圧蒸気供給専用炉が適当と思われます。

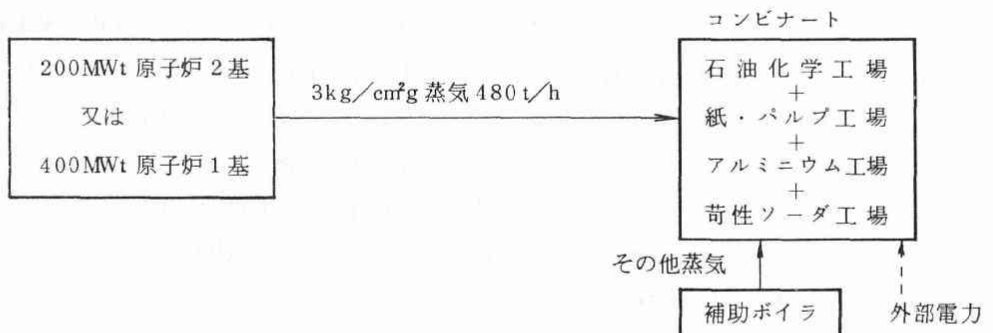
②は石油化学、紙・パルプ、アルミニウム、苛性ソーダ産業からなるコンビナートで、共同の原子力をもつ共同自家用原子力の場合であります。この場合、原子炉を低圧蒸気専用炉とすると、原子炉容量は400MWt程度となります。または、200MWt原子炉2基とする考え方もあります。

③は②と同様、共同自家用原子力の案でありますけれど、原子炉から蒸気のみならず電気も発生し、コンビナートに供給する場合で

① 蒸気専用炉とし、単一工場で全蒸気を使う場合



② 蒸気専用炉とし、複数工場で蒸気を使う場合



③ 電気・蒸気併給炉とし、複数工場で使用する場合

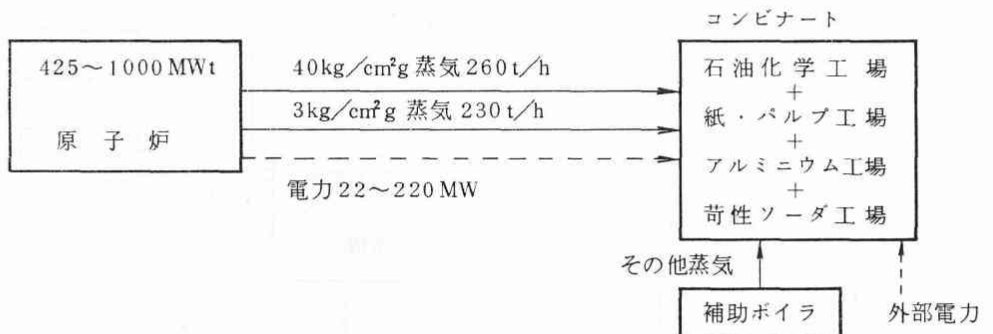


図1 中小型軽水炉熱利用システム (その1 産業用利用)

あります。最初のものは、発電のための蒸気と蒸気供給のための蒸気を、もとから分離しまして構成するシステムであります。

二番目のものは、排熱タービンを使用しまして利用するシステムであります。排熱タービンを利用した場合は、熱効率がよいというメリットがありますが、電気と蒸気の負荷が1対1に対応しますので、運用上の制限があります。

2) 民生利用

次に民生利用の地域熱供給でありますけれど、これには農業利用、漁業利用、融雪、地域冷暖房等いろいろ考えられますけれど、最も有望なのは地域冷暖房システムであります。現在、日本では30カ所ほどの地域冷暖房システムがあり、今後も環境問題等から都市部でふえる傾向にあります。これらは現在その熱

源を主に都市ガス、重油及びゴミ焼却の熱に依存しております。需要の大きさとして、現在あるものは4.5から170Gcal/hの範囲で、最も大きいものは札幌市街地の170Gcal/hのものであります。これは原子炉の容量にしますと、約200MWtのものに相当します。また必要温度として、給湯、暖房のためには60℃から80℃の温水が必要でありますけれど、日本では気候的にもまた利用率を上げる意味からも吸収式冷凍機を使いまして冷房も行う必要があると言われております。この場合、二重効用式吸収式冷凍機を使う場合は185℃、単効用吸収式冷凍機を使う場合は130℃程度の温水が必要であります。原子炉による地域熱供給システムの方法を図2に示してあります。

原子炉プラントから130℃ないし185℃の

④ 地域冷暖房用熱源として原子炉を使う場合

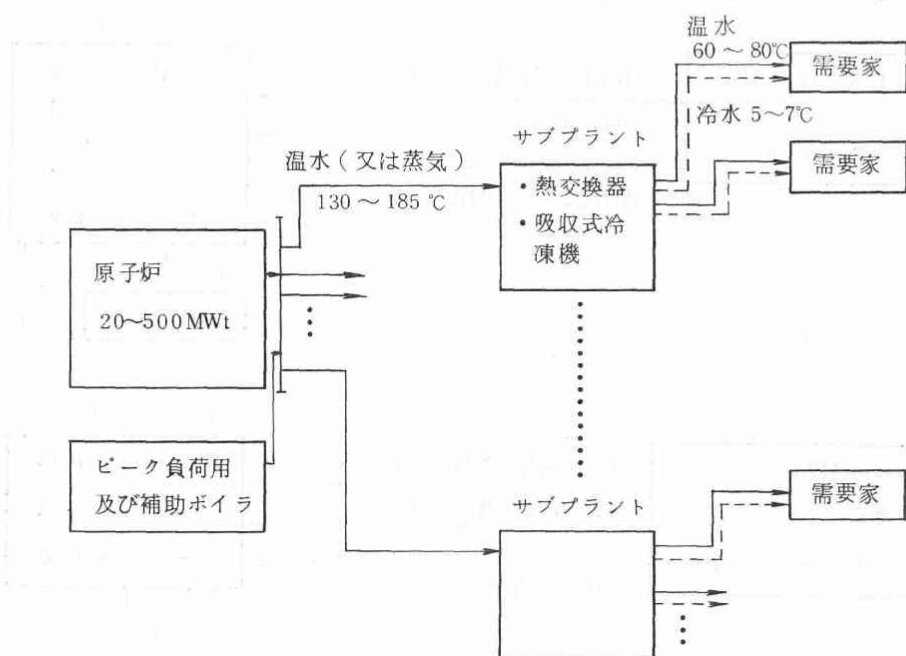


図2 中小型軽水炉熱利用システム（その2 民生利用）

温水を需要家の近くにあるサブプラントに送り、このサブプラントで暖房・給湯用の温水と冷暖房用の冷水を作り各家庭に供給します。また地域冷暖房システムの負荷は1日のうちでほとんど昼間だけでありまして、また1年のうちでは夏と冬に集中しておりますので、利用率が非常に悪くせいぜい20%程度であります。

3) 立地方式

立地条件に関しましては、コンビナートに蒸気を送る原子炉の場合、現在日本にあるコンビナートが、ほとんど岩盤が地下100m以上の深いところにある軟質地盤の上に立地しておりますので、これらの工場に電気や蒸気を供給する原子炉も、いままでの原子力発電所と違いまして、軟質地盤立地または海上立地とせざるを得ないのであります。また地域冷暖房の場合は、需要地である都市の近

郊に立地する必要がありますので、景観保護、安全性などの点から、地下立地または半地下立地が望ましいのです。つまり、中小型軽水炉の立地方式としましては、軟質地盤立地、海上立地、地下立地等の各種新立地方式に対応できる設計とする必要があります。

2. 中小型軽水炉の構想設計

1) 設計方針

次に中小型軽水炉とはどんなイメージになるのかといいますと、現在の発電用原子炉をそのまま小容量化するという方法もありますが、以上述べたような利用の仕方、需要を考慮しまして、次のような設計方針で新しい中小型軽水炉の構想設計を国内の軽水炉メーカーの協力を得て行いました。

設計方針としまして、①都市近郊立地に対

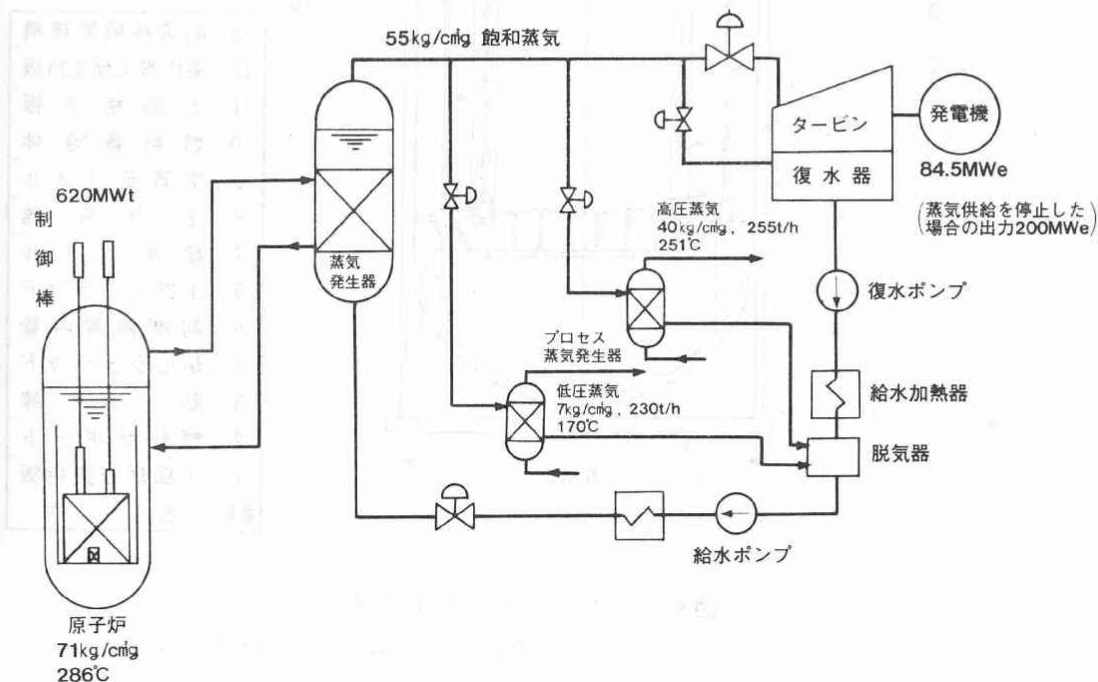
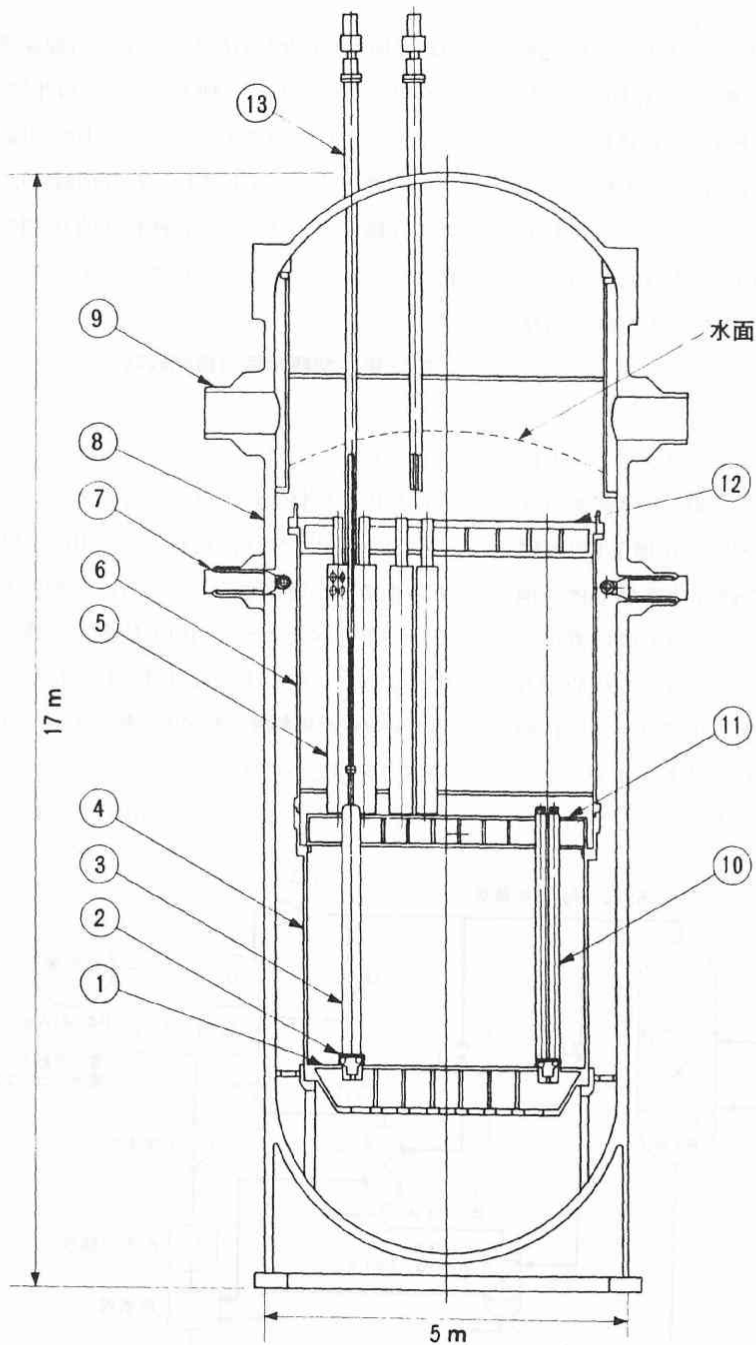


図3 電気・蒸気併給プラントの概要（設計例一）



13	制御棒駆動機構
12	案内管上部支持板
11	上部格子板
10	燃料集合体
9	主蒸気ノズル
8	圧力容器
7	給水ノズル
6	上部シュラウド
5	制御棒案内管
4	炉心シュラウド
3	制御棒
2	燃料サポート
1	下部炉心支持板
番号	名称

図4 設計例－1の原子炉構造

(620MWt, 原子炉圧力: 71kg/cm²g, 原子炉温度: 286℃)

応できる高い安全性があること。②非着岩立地等の新立地方式に対応できること。③システム構成を極力簡素化し、動的機器を減らすことにより信頼性、経済性の向上を図ること。④運転保守及び燃料交換が容易な設計とすること。⑤設計をコンパクト化、パッケージ化し可能な限り工場製作とし、建設期間の短縮を図ること。以上の設計方針の下で行った4つの設計例について紹介したいと思います。

2) 設計例－1

図3、4、5は設計例－1に関するもので、

主に日立製作所が設計したものであります。出力は620MWt、沸騰水型原子炉を使った産業利用のための電気・蒸気併給プラントであります。図1の㉔の使い方ははじめのものに対応するものであります。図3にプラント概要を示してあります。原子炉で発生した蒸気が蒸気発生器を加熱し、そこで発生した蒸気がタービン発電機、高圧蒸気発生器、低圧蒸気発生器に導かれます。このプラントのひとつの特徴は沸騰水型原子炉でありながら、蒸気発生器をもっているということです。こ

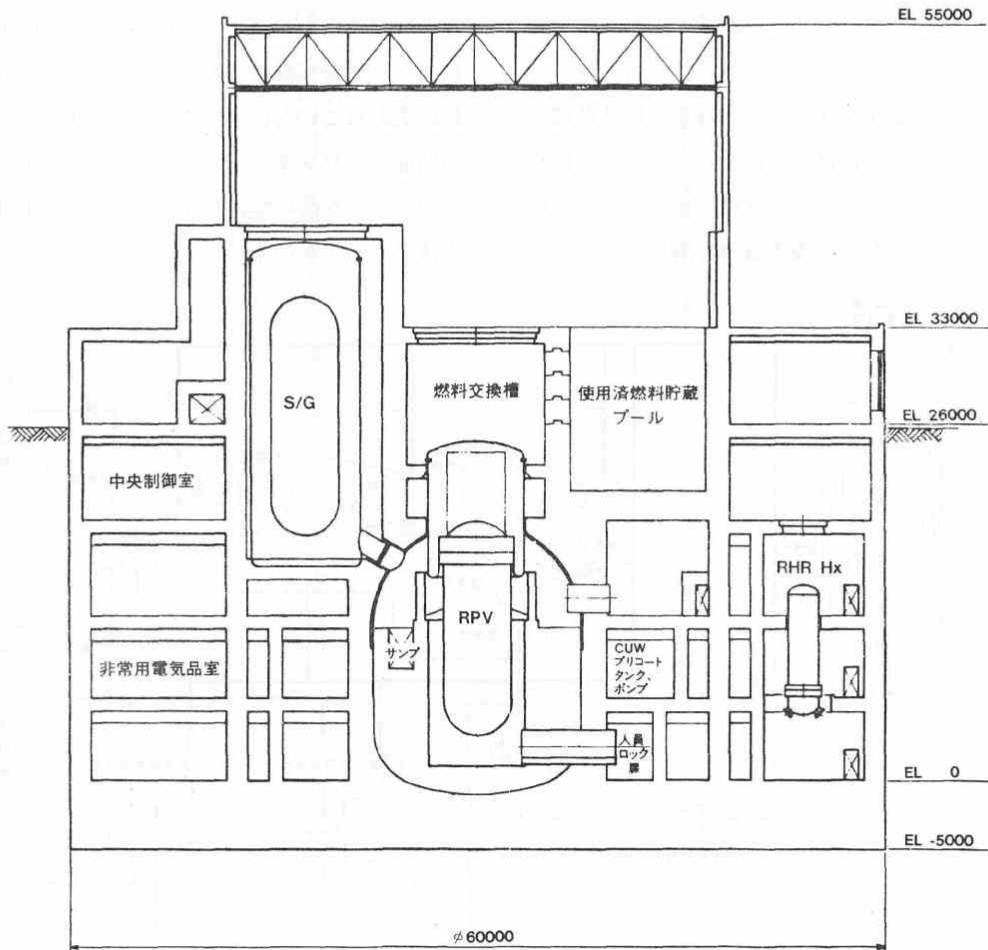


図5 設計例－1の原子炉建屋断面図

図4は原子炉の断面図であります。この原子炉で発電用の沸騰水型原子炉と異なるのは、湿分離器、ドライヤーが不必要なため制御棒を上部より挿入する設計とし、信頼性を高めております。また1次冷却水も自然循環式としまして、再循環配管及びポンプを省略した圧力容器の下部に大きなノルズがなくなりまして、冷却水喪失事故時に事故が起きにく

もうひとつの特徴は、燃料の入っているこの炉心の出力密度を発電用原子炉の約2分の1、1リッター当たり29KWとしまして、安全余裕を多くとると共に運転上の制約をなくし、運転しやすい設計としております。しかし、これは炉心を大きくするというデメリットにもなっております。そのほかに燃料交換頻度を現在の発電炉が1年に一度であるのに対しまして、この炉では2年に一度の設計としております。

図5は原子炉建屋の断面図です。压力容器と蒸気発生器とをひとつの格納容器に包み込むような構造になっております。又、この図には表われていないのですが、この直角方向の断面図を見ますと、建屋の上部のほうに二つのタンクが置いてありまして、非常時に重力落下で原子炉に水を注入する設計となっております。

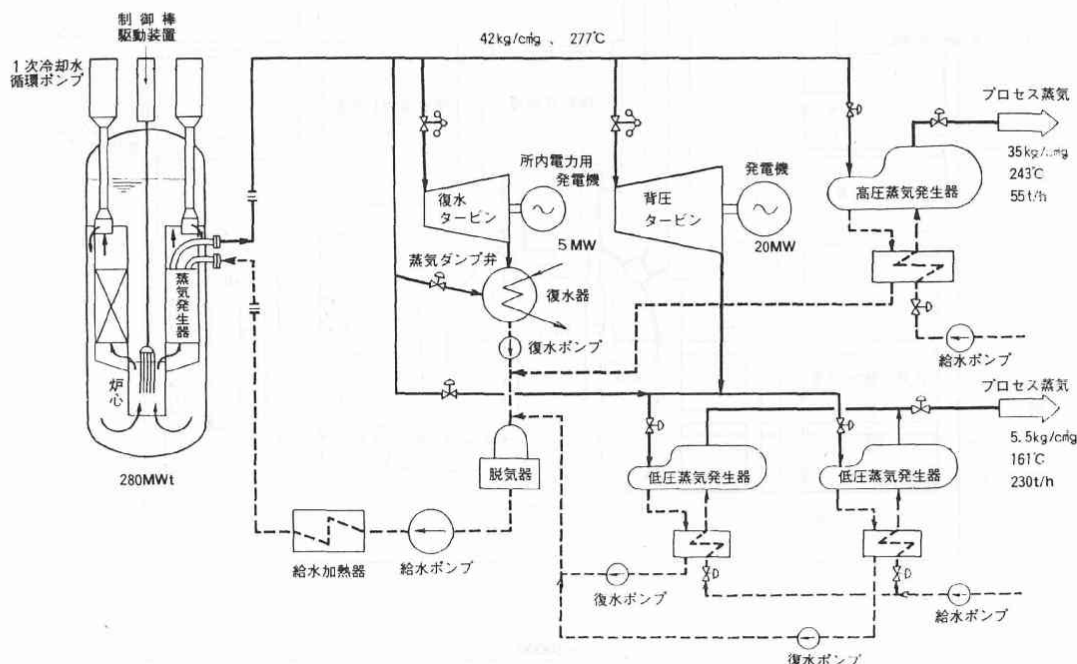


図6 電気・蒸気併給炉(バージ式)の概要(設計例-2)

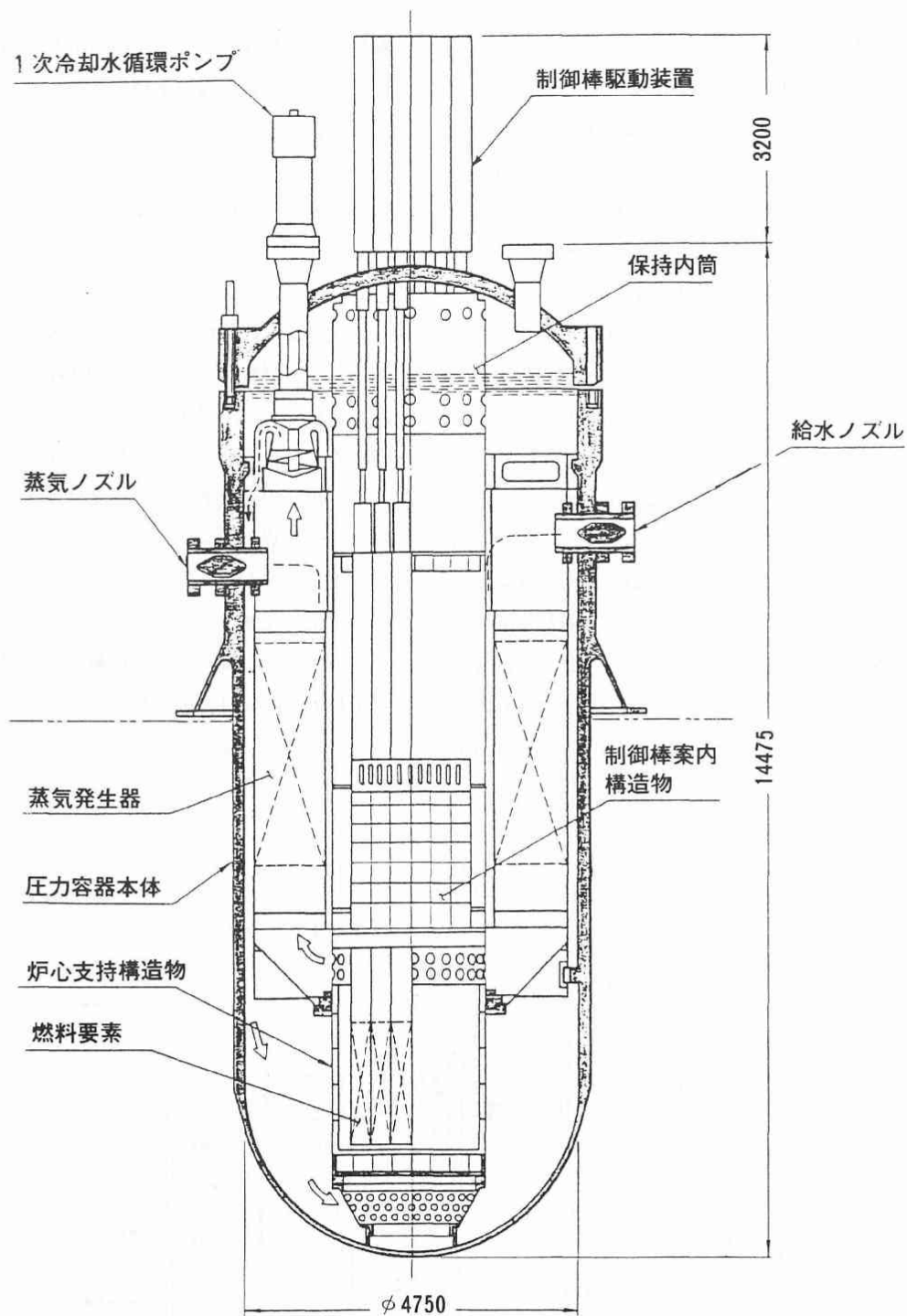


図7 設計例－2の原子炉構造

(280MWt, 原子炉圧力: $97.4\text{kg/cm}^2\text{g}$, 原子炉温度: 308°C)

おります。

3) 設計例—2

図6～9は設計例—2に関するもので、主に日立造船が設計したものです。原子力船オットー・ハーン（Otto Hahn）号の推進用原子炉を原型とする船用炉を電気・蒸気併給プラントに応用したものでありまして、図1の㊦の使い方の二番目に対応するものであります。

図6にその系統図を示しました。背圧タービンを使っておりまして、立地方式はバージに乗せた洋上立地としております。

原子炉で発生した熱は、圧力容器内に内蔵されております蒸気発生器で2次系の蒸気を発生し、2次系の蒸気が、ひとつは高圧蒸気発生器、これは一種の熱交換器なんですけれど、それにいきまして、もうひとつは背圧タービンで発電をして、その背圧の残りの蒸気で低圧蒸気を発生するという設計になって

おります。もうひとつは所内の電力を賄うため所内電力用発電機をまわすタービンについております。

図7は原子炉の断面図であります。圧力容器内にドーナツ状に蒸気発生器が内蔵されており、炉心は下部にあり、制御棒は上から入っております。

1次冷却水の循環ポンプは4台設置されており、ここで暖められた冷却水は蒸気発生器を通りまして、図中の矢印の示す方向で循環するような構造になっております。

この炉心の場合も、出力密度は1リッター当たり55KWと従来の加圧水型軽水炉の約2分の1としておりまして、燃料交換は2年に一度であります。

このプラントはバージに搭載した設計でありまして、図8はその縦断面であります。バージ式でありますので、組み立て工事はほ

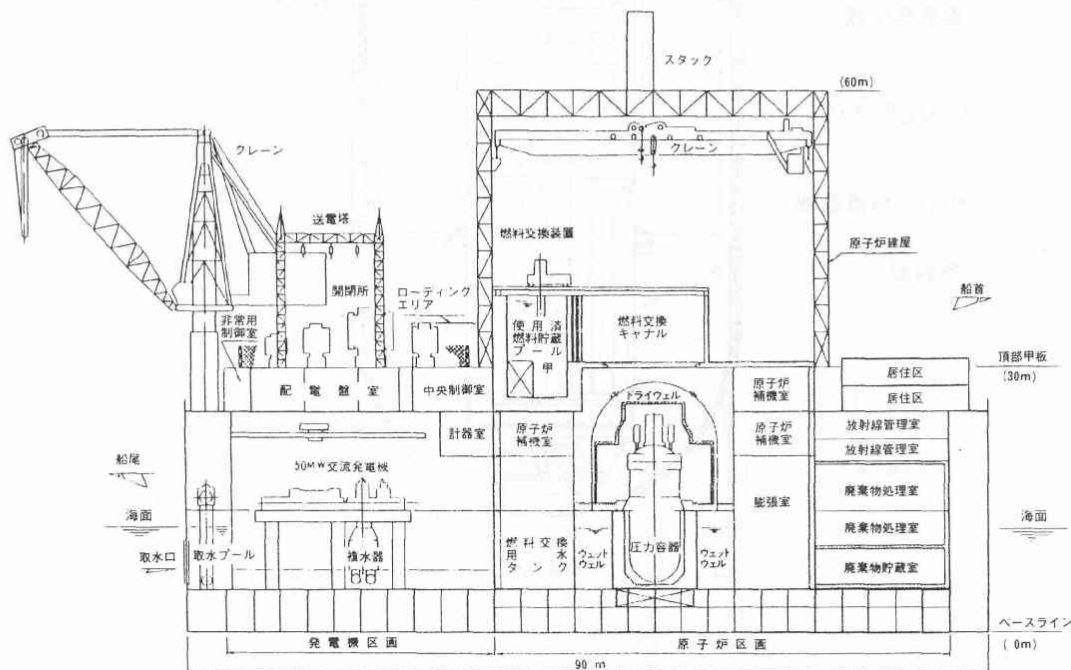


図8 設計例—2のバージ縦断面図

とんど造船所のデッキで行われまして、現地にはそのまま引き込む方式をとっております。従って、現地での建設工事は非常に少なく、建設工期も短縮されます。

図9はプラントの配置図です。図中の台船

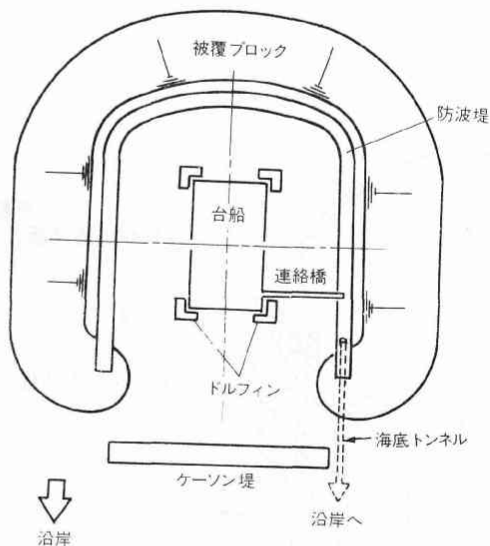


図9 設計例-2の防波堤外形図

とあるのがバージで、防波堤でかこまれています。発生した電気・蒸気は、バージと防波堤を結ぶ連絡橋を渡り、地下の海底トンネルを経て陸上に運ばれる設計となっております。

4) 設計例-3

図10, 11, 12は設計例-3に関するもので、主に三菱重工が設計したものであります。

これは加圧水型軽水炉を利用し、工業用蒸気供給専用プラントとしたもので、図10はそのフロー・ダイアグラムであります。さきほどの図1の③及び⑥の使い方に対応します。

原子炉で発生した熱は1次熱交換器で2次系に伝わり、2次系の熱は、蒸気発生器で蒸気を発生します。加圧器は、この1次系、2次系の水が沸騰しないように圧力をかけ、また圧力を一定にする役目をしております。

この系では、2次系の圧力を原子炉の圧力

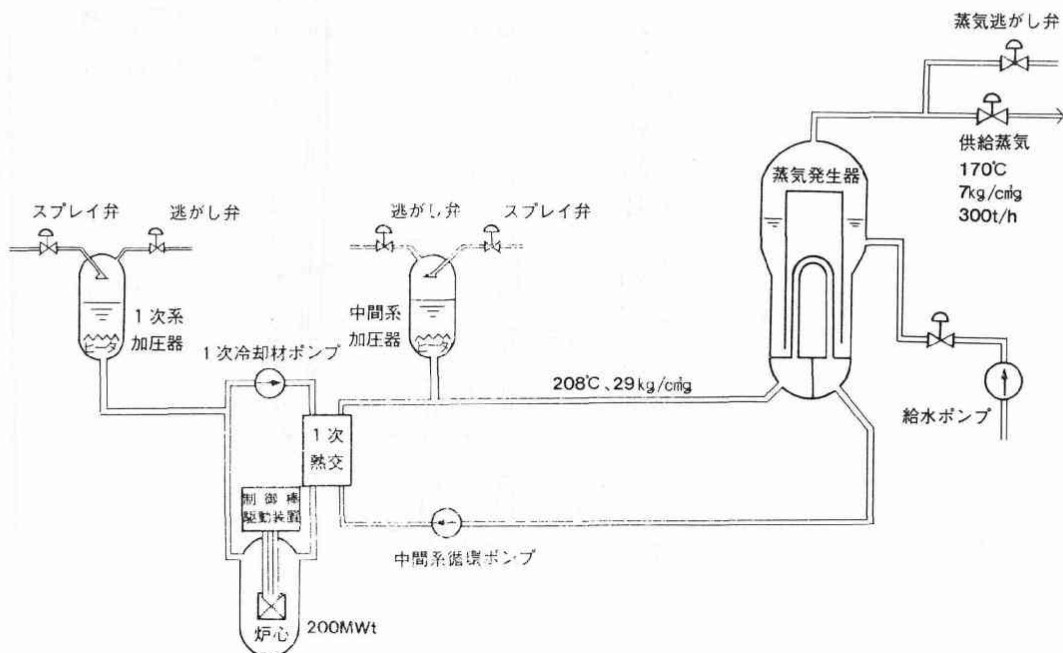


図10 蒸気供給専用炉プラントの概要（設計例-3）

より高くしてありますので、万一この1次熱交換器に漏洩がありましても、放射性物質は2次系以降には入ってこないような設計となっております。

図11は原子炉の断面図であります。この炉

心の出力密度は、発電用加圧水型軽水炉の約2分の1となっておりまして、燃料交換は2年に一度、燃料の3分の1ずつを取り換えます。また、発電炉の場合、高温・高圧蒸気をつくるため157気圧、305℃という高い圧力

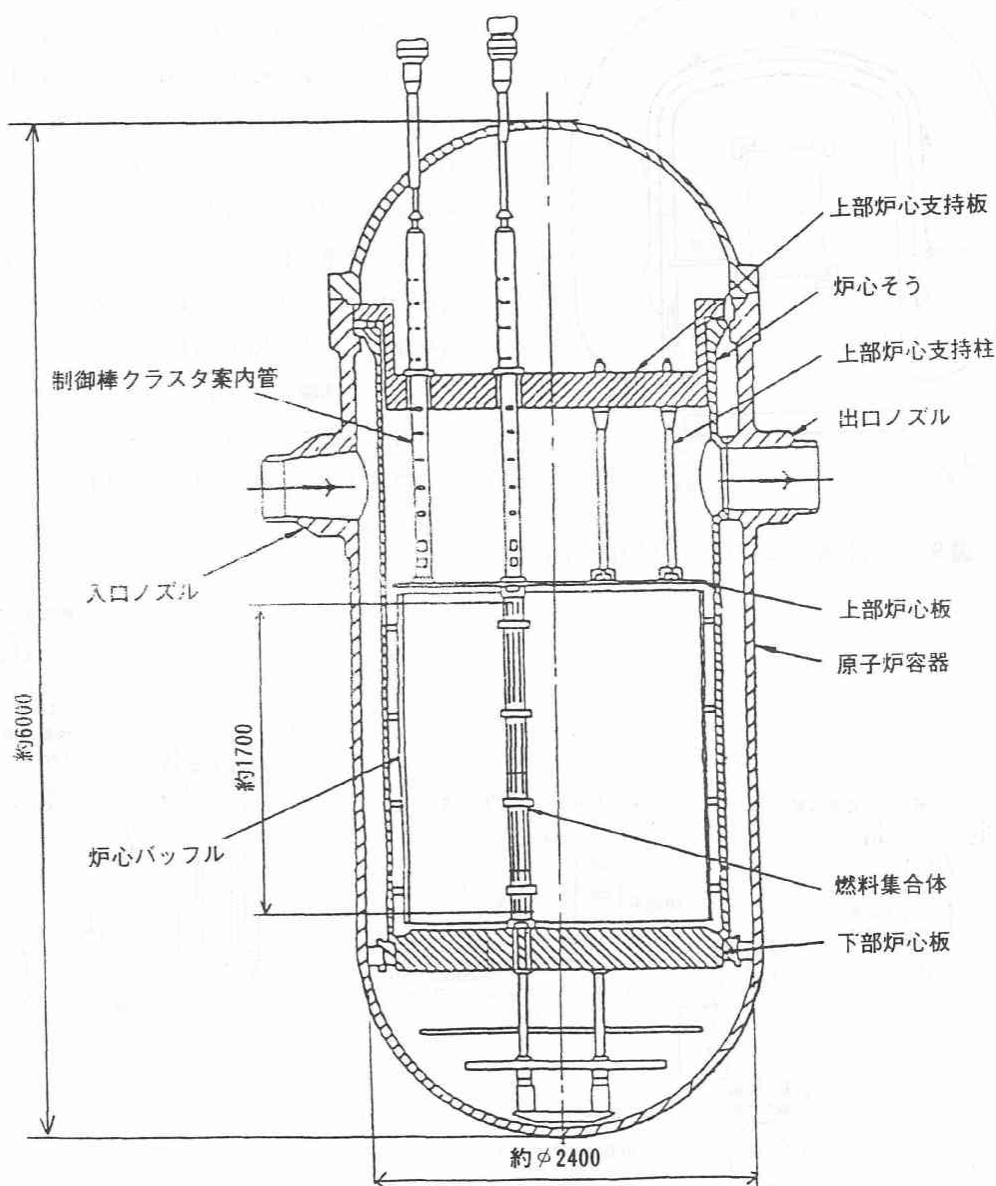


図11 設計例－3の原子炉断面概略図

(200MWt, 原子炉圧力: 27kg/cm²g, 原子炉温度: 219℃)

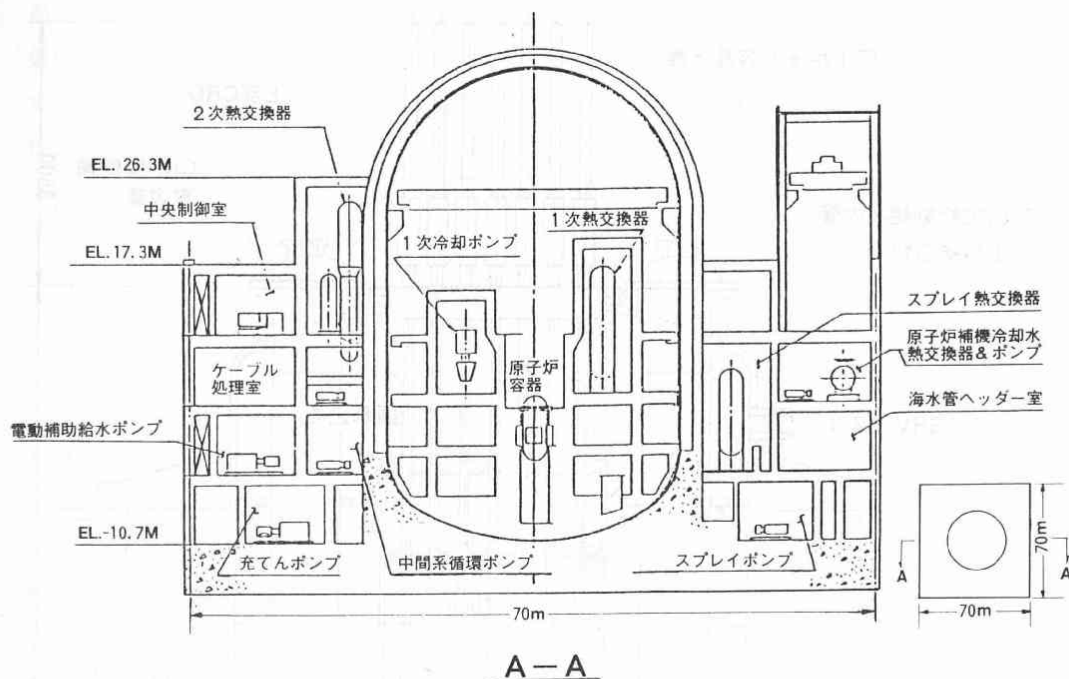


図12 設計例—3の原子炉建屋断面図

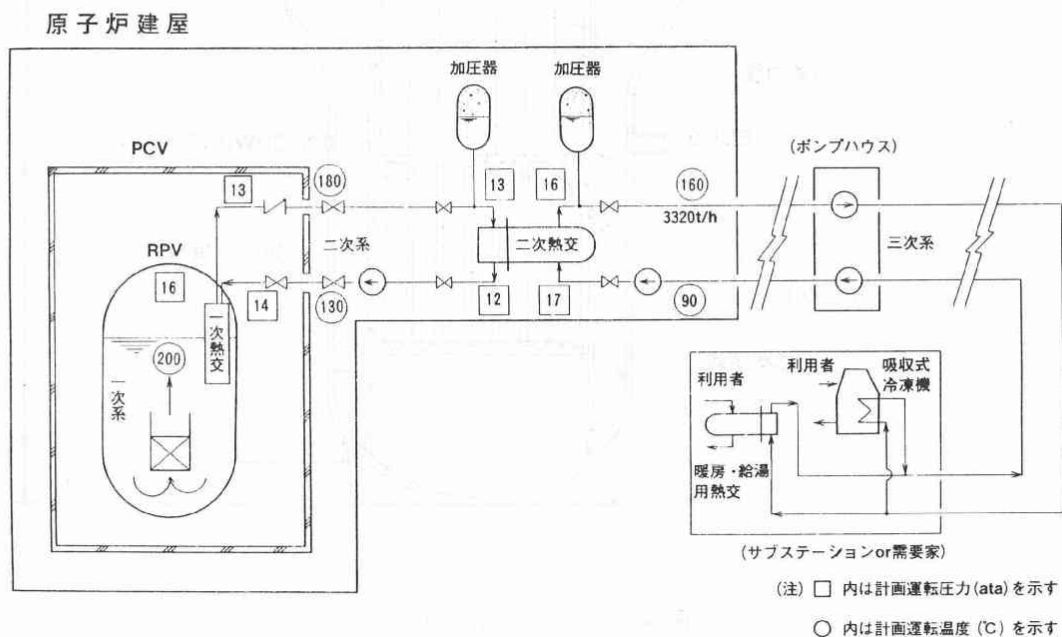


図13 原子炉熱供給システムの概要(設計例—4)

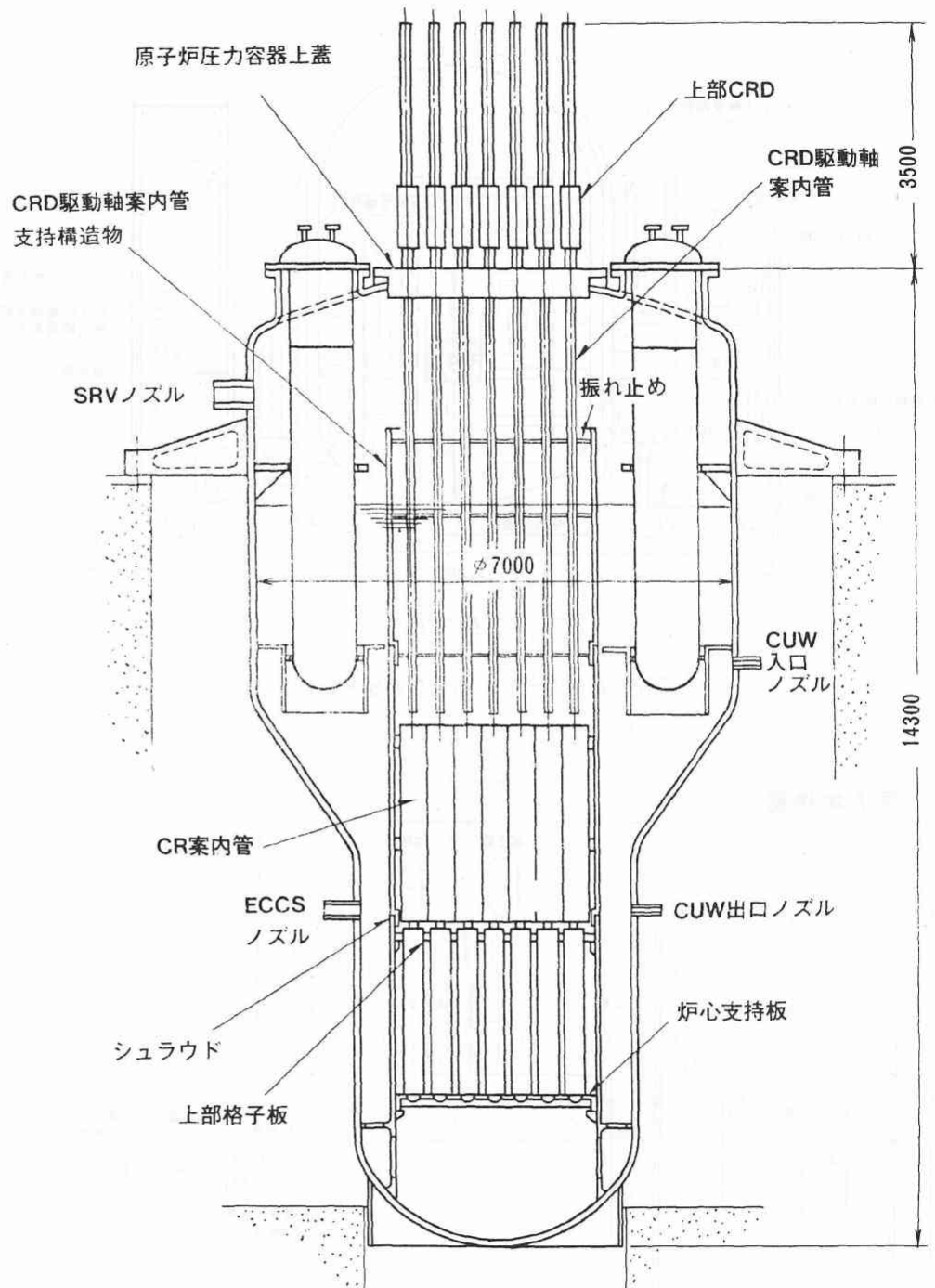


図14 設計例－4の原子炉

(200MWt, 原子炉圧力: 16kg/cm²a)
(原子炉温度: 200℃)

温度の原子炉としておりますが、この炉では低圧蒸気を発生することを目的としておりますので、原子炉圧力、温度とも約27気圧、平均214℃と下げ、安全性を高めております。また、これによって事故時の高圧注水系などが省略できることにもなっております。

図12は70m×70mの原子炉建屋の断面図です。

5) 設計例ー4

次に設計例ー4（図13、14）は地域冷暖房を対象としたもので、主に東芝が設計したものです。図13はプラントのフロー・ダイアグラムです。原子炉で、暖められた温水は1次熱交換器で2次系の水を暖めまして、2次熱交換器で3次系に熱が伝わります。3次系の熱がプラントの外に出ていきまして、需要家の近くにあるサブステーションにいきます。サブステーションでは、熱交換器で暖房、給湯用の温水と冷房用の冷水を吸収式冷凍機でつくります。2次系の圧力は3次系の圧力よりも低くしてありまして、万一熱交換器に漏洩があっても、3次系以降へは放射性物質が出る恐れはありません。また、このプラントは発電プラントのように冷却水を必要としませんので、海の近くでなくても設置できるという特徴があります。

図14は原子炉の断面図です。制御棒は上から入っております。炉心で暖められた水が自然に上がりまして、1次熱交換器で冷却されて、またこの炉心に戻るという自然循環で循環するタイプになっております。この炉心でも出力密度は発電用沸騰水型原子炉の約2分の1としてありまして、燃料交換は2年以上に一度となっております。また原子炉圧力温度は地域冷暖房用なので低くてよくて、圧力

は15気圧、温度は200℃で安全性が向上しております。また、保有水が非常に多い設計なので、負荷が急に遮断されたような場合にも、保有水の蒸発だけで約1日原子炉の冷却が可能です。さらに冷却材そう失事故のような場合は、上部に設置されているサブプレッションプールより重力で冷却水が注入されるなどのパッシブな系統によりまして、固有な安全性の高い原子炉としております。

6) 設計上の特徴

以上四つの設計例を紹介しましたが、共同的に主な特徴は：①都市近接立地、容易な運転保守を達成するため低出力密度炉心を採用し、安全余裕を大きくとると共に燃料交換頻度を2年あるいはそれ以上に一度としています。②系統構成を極力単純化し、自然循環及び重力を利用し、ポンプなどの動く機器を使わないパッシブな系統構成としまして、信頼性を増すと共に運転保守の簡素化を図っております。③そのほかに原子炉を低温、低圧にし、原子炉内保有水を多くし、固有の安全性を増し、潜在的危険性を下げております。

これらが中小型軽水炉の特徴となっております。

7) 都市接近立地に伴う被ばく量の検討

都市近郊立地でひとつ重要な点に原子炉の被ばく評価があります。現在、日本では原子炉施設の立地基準は原子炉立地審査指針により定められておりますが、今回の構想設計例での試算では、原子炉から200mくらいをサイト敷地と考えまして、排気筒の高さを30mと仮定しますと、中小型軽水炉を都市近郊に設置した場合でも、甲状腺被ばく量で10レム程度でありまして、これは許容値の約30分の1

程度であります。また国民遺伝線量では10から80万人レムでして、これは目安線量の約200万人レムの2分の1以下となっております。

こういうことによりまして十分都市近郊に設置しても問題ないという試算結果となっております。

3. 経 済 性

小型炉のプラント建設費については世界的にも実績がなく、また詳細な設計も行われていないので、精度の高い推定はむずかしいのですが、一般的にプラントの建設費はプラント容量の n 乗に比例するという予測方法が使われております。ここで n の値はスケール指数とか、スケール・ファクターとか呼ばれており、一般のプラントでは0.6から0.7程度であります。原子力プラントでは0.45前後の値が適当と考えられております。この理由としましては、原子力プラントでは容量の変化に対して緩やかにしか関係しないコスト、たとえば、環境立地等のために必要なコスト安全性の規制のために必要なコストの比率が多いためと考えられております。図15は110万KWの建設単価を基準にスケール指数0.45で求めた建設単価の規模による変動と設計例をもとに各設計メーカーで見積った設計単価を示したものであります。

△印が設計例ー1の場合で、☆印が設計例ー2の場合であります。また、□印が設計例ー3の場合であり、×印が設計例ー4の推定建設費であります。○印は紹介しませんでした700MWtの別に行いました設計例のものであります。この図からわかりますように原子力プラントの建設単価は、プラント容量が

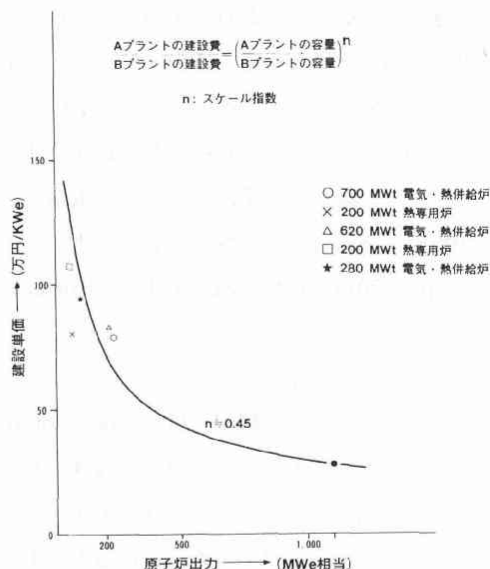


図15 中小型軽水炉の建設単価（1983年運用ベース）

小さくなると急に上がることがわかんと思います。火力などの場合では、このカーブがもっと寝たような形になっております。逆にいえば、原子力プラントは非常にスケールメリットの大きいプラントであるといえます。

次に発電コストまたは蒸気コストについてですが、図16からわかりますように原子力は

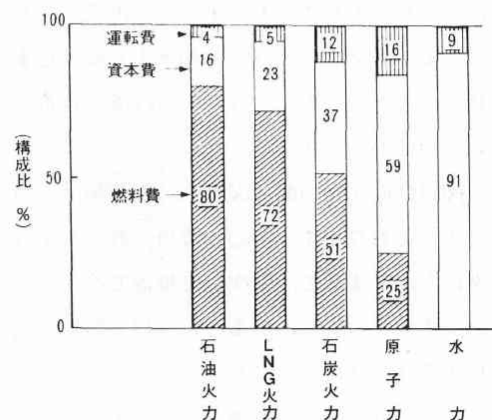


図16 発電コストの構成（運用時点は昭和57年度）

（原子力発電の経済性（日本原子力文化振興財団）より）

水力を除けば他の発電方式より発電コストに占める資本費の割合が非常に大きいのであります。たとえば、石油火力の16%に対しまして、原子力では59%が資本比であります。これは原子力プラントの建設費が高く、燃料費が相対的に安いことに起因しております。

以上この二つの要因が中小型軽水炉の経済性を不利にしております。つまり、発電コストに多くを占めているのは資本費でありまして、この資本費は建設費に比例します。この建設費が規模が小さくなくてもあまり下がらないことから小型にするほど発電コストが割高となってくる傾向があります。

図17は設計例一1の発電コスト・蒸気コストの試算であります。出力としまして、電気と蒸気の二種類がありますので、これらのコストは互いに関係しまして、この図のように直線関係となります。たとえば電気コストを16円/kWhと決めますと、利用率90%の場

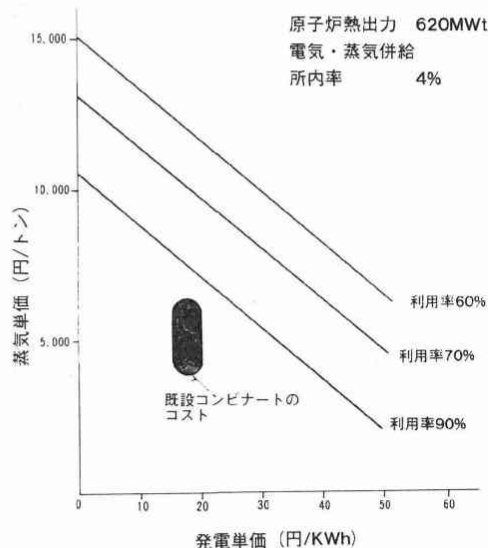


図17 電気・蒸気併給炉における蒸気単価、発電単価
(原子炉熱出力620MWt電気・蒸気併給、所内率4%)

合で蒸気コストは1トン当たり7,800円ぐらゐになります。

産業用の場合、燃料交換とか定検等を2年に一度としますと、利用率90%というのは必ずしも不可能な値ではないと思います。しかし、現在、化石燃料で行っている工業コンビナートの重油自家用ボイラー、自家発電コストは、図中の黒色のゾーンあたりにありまして、現時点では、原子力による自家用発電及び蒸気供給は割高となっております。

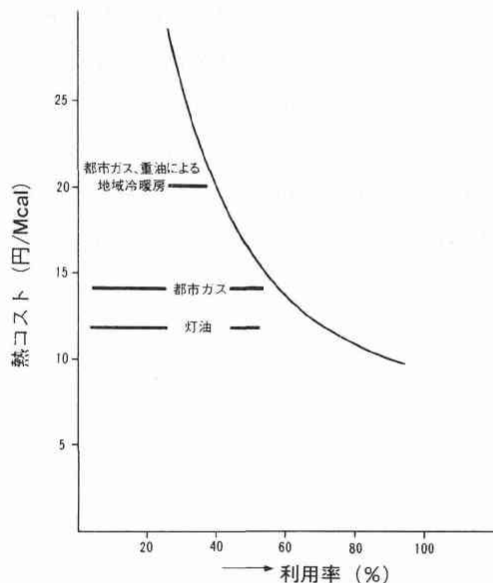


図18 熱供給専用小型炉における熱供給コスト
(プラント出口)
(原子炉熱出力200MWt、地域冷暖房用熱供給専用炉)

図18は設計例一4の場合の熱コストを示したものであります。熱コストは利用率によって非常に影響されることがわかると思います。利用率が40%、60%と良ければ都市ガス、重油等による地域冷暖房と競合できそうです。ありますが、実際の地域冷暖房システムの需要の利用率はせいぜい20%くらいでありま

すし、またこの図は原子炉プラント出口の熱コストでありまして、実際はこれに熱輸送配管のコストがかなり追加となりますので、現在の試算では、原子力による地域冷暖房は単独では成立させるのがむずかしいと思われます。

4. ま と め

以上述べましたように中小型軽水炉は発電炉で十分実証され、経験のある技術を使って、都市接近立地につきましても技術的には十分に比較的容易に開発が可能と判断されますし、また可能であると思われます。しかし、経済性においては化石燃料方式より割高で政府等の援助がなければ現時点では競争性がないと思われます。従って今後は建設費を低下させ

るため、設計の合理化をすとか、設計を標準化して量産効果を出すとか、現在の大型発電炉を対象とした指針、基準類を見直しまして、中小型軽水炉の設計に対応したものとす等々の検討を行ない、さらに建設費を下げる努力、研究をすべきだと思われます。また、机上の調査、研究だけでなく、原型炉的なものをつくり、設計の確証と設計の合理化の検討をすれば、もっと技術的にも経済的にもはっきりした見通しが得られると考えられます。

とにかくエネルギー消費の多くの部分を占める熱エネルギーを豊富で安定な原子力エネルギーで賄うことは、現時点では経済性上ちょっとむずかしいのでありますが、長期的には非常に意義深いと思われますので、今後も原子炉の熱利用の研究は続けて進めておくべき必要があると思います。（むろた けんじ）

〔パネル討論〕

核熱利用実用化のための課題

パネリスト (五十音順)

秋山 守……………東京大学工学部教授 (当研究所理事)
飯倉 穰……………日本開発銀行営業第一部調査役
岡田 昇……………昭和電気(株)プロセス技術センター部長
沢口 祐介……………東京電力(株)原子力開発研究所所長

座 長

武田 康……………当研究所専務理事

は じ め に

武 田 ただいまご紹介いただきました専務理事の武田でございます。

先生方4人お願いしまして、私がここでは座長と看板が出ていますけれども、誠に僭越で申しわけないのですが、進行係をつとめさせていただきます。

このパネル討論のテーマは「核熱利用実用化のための課題」でございますけれども、これから5時半までの間、だいたいこんな形で進めたいと思っております腹案がありますので、それを先に申しあげ、それから4人のパネラーの方をご紹介させていただきます。

討論の進め方

このパネル討論の進め方でございますが、4人の方は、それぞれの機関に所属しておられるわけでございますが、それぞれの機関の

お立場というよりはどちらかというと学識経験者個人というような感覚のお立場でのコメントをいただきたいと思っております。

最初に10分ぐらいずつそれぞれからコメントをいただきまして、ひととおり終ったところで5分か10分ずつぐらい、ほかのパネラーの方のお話に関連したコメント、あるいはお時間が足りなかったということで最初に言い残された課題なり問題点等についてのコメントをいただきます。そして、そこまで終りましたところで、今日この会にご出席いただいておりますみなさま方から、もしご質問あるいはコメント等がおありでございましたら出していただきます。その内容次第でパネラーの方お1人またはお2人からひとつの質問、コメントに答えていただく。できましたらその時間を、もし私の進行がうまくいきましたら20分か30分ぐらい、ご質問なりコメントの数

にして五つか六つくらいお受けできるような時間進行を、できるだけ心がけたいと思っています。それが終わりましたところで最終的なコメントをパネラーの方々、これも時間との兼ね合いでございますけれども、できればそれぞれから一言ずつまとめたコメントをいただく。そんな格好でこのパネルをしめくりたい、このようなプランを目下たてているところでございます。

パネリストの紹介

順番にパネラーの方々をご紹介したいと思います。みなさま方からごらんになっていちばん左側にすわっておられる方、さきほど講演もいただいたわけですが、東京大学の秋山教授でございます。その次が日本開発銀行営業第一部調査役をなさっております飯倉穰さんでございます。その次が昭和電工㈱のプロセス技術センター部長をなさっていらっしゃる岡田昇さんでございます。そして、一番右端にすわっておりますのが東京電力㈱の原子力開発研究所長をなさっております沢口祐介さんでございます。よろしくお願いします。

主題の広がり

さっそくパネル討論に入りたいと思います。パネラーの方々のそれぞれのコメントをいただきます前に、このパネルのいわば広がりといえますか範囲みたいなものにつきまして一言私から説明をさせていただきます。

さきほどの3人の方の講演と報告のなかにございましたけれども、核熱の利用を原子炉のサイドから眺めますと、一番温度が高いのが高温ガス炉でございまして、軽水炉が一番低いほうにございます。これは、場合によれば、将来のことでございますが、たとえば高

速増殖炉などというものができて、もし熱利用を考えるのなら中間に位する、あるいはそのほかの方式があるかも知れません。利用との結びつきでいきますと、熱を専門に供給する、あるいは電気・熱を両方供給する、供給の仕方も相手が特定の工場あるいはコンビナート、そして地域冷暖房または特定のそういう民生利用というようなものがございまして、それに原子力熱供給の規模でございまして、個々に眺めますと、非常に大きなものから非常に小さなものまであり得るわけでございまして、そのあたり全部うまく具合にカバーできるかどうかという問題はございます。しかし、多分、産業用に利用するとすればこうなる、民生用に利用するとすればこうなる、そしてそれぞれの問題点、課題はどうだろうかというところと結びつけて、それぞれのお立場から最初のコメントをいただきたいと思っているわけでございます。

それではおすわりになっている順序とは順序不同ですが、まず最初に、いわゆるエネルギー多消費素材産業のキャリアが長く、かたがた原子力についてもこの二十年来関与なさっていらっしゃる岡田さんに産業界のなかにおられるというようなお立場から、核熱利用についての最初のコメントをお願いしたいと思います。

エネルギー多消費産業と核熱利用

オイルショックとエネルギーコストの上昇
岡田 さきほど来の室田さん、横山さんのご報告、秋山先生のお話でもございましたように、いまの日本の私どもが属しているようなエネルギー多消費の素材産業は石油の値段

が高くなったために非常に苦しい立場におちいっているわけです。さきほどもお話ございましたけれども、もう少し具体的に申し上げますと、ちょっと古い統計で恐縮ですが、各種の産業の生産額に占めるエネルギーのコストの比率がどのくらいになっているかを申し上げますと、機械とか電機、こういったものはオイルショックの前とそのあととほとんど変わっておりませんで、だいたい1%前後でしております。ところが、エネルギー多消費産業といわれておりますものから二、三申しあげますと、たとえば、さきほどの例に出ましたパルプの場合、6%が11%になっております。セメントでは21%が35%に、アルミがございましたけれども、17%が32%になっております。石油化学の場合、エネルギーというものを単に燃料と動力だけではなくて、原料のナフサまで加えますと、もともとオイルショックの前で70%だったものが、オイルショックのあとの55年の統計で82.4%という数字になっております。こんなような状態なので、素材産業は安いエネルギーに転換をしたり、省エネルギーをしたりということで一生懸命苦労しているのですが、結果としては石油値段の上昇に追いつくことができないで、いまのような苦しい状況になっているわけです。

原子力への期待

従いまして、こういった産業では、発電の場合は、いまでも原子力が安いし、将来はますますその差が広がっていくであろうということで、ぜひ原子力を使えないかということで、深い関心をもっております。ここ何回か行われました調査、こちらの研究所で行われました研究会等にいろいろな素材産業の方が参加されまして熱心に討論されているわけで

す。

さきほどらい、いろいろのタイプの原子炉のお話があったわけですが、最終的な希望といいますと、やはりいまお話がございましたように使う立場からいったら高温ガス炉が一番便利ということになるかと思えます。しかしながら、これが実現されるのはあと20年か30年先ということになりますと、どうもいまの状態ですと、われわれの会社あたりそこまでもつのかというような状態でございますので、なんとか手っ取り早いことを考えないといけない。そうなりますと、少なくとも軽水炉の蒸気あるいは電気、こういうものを利用したいということで、軽水炉の利用ということが考えられるわけです。そこでいろいろの検討をしているわけですが、2年ほど前に原子力産業会議の原子炉熱利用懇談会で、多目的利用の報告書を出しているのですが、そのあとで非公式に化学企業のトップの方とお話し合いがあったようです。そのときの感想は「大型軽水炉からの蒸気が非常に安いことは結構だけれども、その軽水炉のそばに工場をもってきてくれたら、いつでも蒸気をあげますよといわれても、そのようなことはとてもいま考えられない。ただでさえ生産過剰で困っているのに新しいプラントなんか作る余裕は全然ございません。ぜひ工場のそばに持ってこられるような炉を考えていただきたい」、そんなような話があったと聞いております。

投資回収の成否がポイント

そこで出てまいりますのが室田さんのお話になりました中小型軽水炉ということになります。これにはさきほどのお話でもございましたように色々と条件がございまして、立地

の問題ですとか、使い方、原子炉と工場のほうとバランスをどうとるかというような問題などいろいろあるかと思いますが、なにはさておいても一番大事なのは経済性であろうかと思います。石油が高いのでなんとか安いものをといて、努力してさがした中小型軽水炉がコスト的にはあまり変わらなかったということでは、なにをやったかわからないということになってしまいます。その場合、単に単価がいまのものよりも、たとえば蒸気が従来の重油ボイラーでは6千円のものが原子炉を使えば5千円になりました、4千円になりました、安いからどうぞといわれましても、実はそれではすみません。一番問題になることは、企業が投資をして原子炉をつくり、その投資を石油と原子力との蒸気単価の安くなった差で回収していくわけです。この投資の回収ということを考えて、はたして使えるか、使えないかということがキーポイントであって、その見通しがつきさえすれば、使い方の問題とか、立地の問題はそれからさきいくらでも工夫はできるのではないかと、そんなふう考えております。

一応私のしょっぱなコメントはこの程度にしておきます。

武田 どうもありがとうございました。いま「コスト、経済性が一番大切である。しかも石油ショック以来エネルギー価格が生産に占める比率にして5%から1割以上上がっていてなんとかしたい。電気では原子力が安いということだけれどもそういうものをつくってくれないか」というようなお話であったかと思いますが、次は飯倉さんにコメントをお願いします。飯倉さんはいろいろ熱供給事業、あるいは電気の供給事業その他エネ

ルギー関係の供給事業について従来からお調べになっている方でございますので、そういういろいろなエネルギーのひとつとしての原子力から熱供給というものが、将来どんな具合に期待されるかということ、産業からの期待はさきほど岡田さんからもお話ございましたけれども、産業面も民生面も含めてコメントいただければと思います。

熱供給事業の立場からみた核熱利用

わが国の熱供給事業の現状

飯倉 まず、申し上げたいことは、原子力を熱供給事業に利用することは、非常に大切なことのように思う訳ですが、肝心の地域冷暖房を主体とする熱供給事業はあまりうまくいっていないという実状であります。その熱供給事業を原子力を利用することでもう少し推進することができないのかという視点から少し述べてみたいと思います。

まず、わが国の熱供給事業の現状を紹介します。わが国では、現在、熱供給事業法の認可を受けた地点が全国で10都道府県、37地域に及んでいます。この数字をみる限り、わが国の熱供給事業は非常に進んでいるとはちょっと考えにくいと思います。熱供給事業の地域分布の特徴は北海道と東京にその三分の二が集中しているということです。ほかの地域は、都市の再開発とか、あるいはニュータウンを建設したときに散発的に熱供給事業を行なっている程度です。東京と北海道で進んでいる理由を考えてみますと、北海道は基本的に寒冷地ですので、熱需要があるというのが非常に大きい理由だと思います。東京都の場合はどうかということですが、これは公害防止対策

の観点から東京が非常に熱心に熱供給事業を推進してきたということだと思います。では熱供給事業の将来展望はどうかと申しますと、熱供給事業の計画は東京都下に若干散見されますけれども、あまり多くない、今後はなかなか進みそうもないというのが現状だと思います。

次に、熱供給事業の主体について述べてみますと、実に多様ですが、比較的熱心な主体として、ガス会社をまず掲げることができます。自社のガスの販売ということもあって積極的に熱供給事業に取り組んできています。その他は種々ですが、不動産会社も自社ビルに熱を供給するために熱供給事業を行ってきた、あるいはユーザー同士の寄せ集めというような形の事業主体もある。ほかに地方公共団体が関与している第三セクターというような形のものも事業主体として散見されるわけであります。

熱供給事業推進上の問題点

このような事業主体が担っている熱供給事業はなぜ余り拡大しないのかということですが、いくつか問題があると思うわけです。一番大きな問題はやはり料金水準の問題だと思います。たとえば、普通の家庭6畳一間を毎日10時間ぐらい暖房して、1月の料金をほかの燃料と比較した例を紹介します。そうしますと灯油による暖房費を1にしますと、だいたい都市ガスの場合、その1.3~1.4倍ぐらいの水準ですし、地域冷暖房の場合ですと、その1.7倍ぐらいになります。供給するエネルギーの質の問題を考慮すれば、それほど高くないという水準であると思うのです。しかし、家庭用で使う場合、なかなか質の問題というのは考慮されませんので、非常に割高感

があり、わざわざ熱供給事業の熱供給を受けることに抵抗感があるというのが一番大きな理由じゃないかなとみているわけです。

もうひとつは、以上のような料金水準でありますので、当然需要家の負担能力が問題となります。たとえば、地域冷暖房を業務用で使う場合には、企業に負担能力がありますので余り大きな問題にならない。このため都市の再開発関係では比較的地域冷暖房が進むという形になっております。しかし住宅用の場合ですと、どうしても高層住宅が対象になる。高層住宅ということになりますと、住宅公団とか公営住宅の建設ということになります。つまり、そこでは入居者の所得階層の分布の問題とか、あるいはローンの支払いに追われる人がそういうものをなかなか使いにくいというような問題が出てくるわけであります。

第三に大きな理由としまして、やはり推進体制というのが非常に不備であるということだと思います。いまの熱供給事業法は事業規制法でありますので、その許可を受けましても、ほとんどメリットがない。東京都で地域冷暖房が進んでいるのにはいくつか理由があると思いますが、その第一は東京都の公害防止条例だと思います。この条例では地域冷暖房計画区域の指定を決めておりまして、そこに入っている人は、みなさん加入協力義務があり、どうしても入らざるを得ない。さらに東京都の場合には建築指導で新しいビルを建てる場合には、熱供給事業をやってくださいよというような形で、かなり強力な指導を行っています。そのうえに容積率の緩和も行っています。ほかの地域ではこのような推進策がほとんどみられないということです。つまり推進体制の不備みたいなものもやはり大きな

問題ではないかなとみているわけであります。

核熱を利用することの問題点と対応策

次に、以上のような熱供給事業に原子力を使うことにより、どんな問題がさらに起き、どんな解答が書けるのかということを少し考えてみます。

熱供給事業に原子力を利用する場合、仮に原子力利用の経済性が従来の石油と同じ価格水準であったとしても、初期投資負担が非常に大きくなっていくことが考えられるわけです。そうすると従来の事業主体では原子力を導入する負担が大きすぎて、なかなか難しいのではないかなと思うわけです。つまり、現状の事業主体の規模をみますと、1千億円の投資、あるいは2千億円の投資を行うということは、非常にむずかしいのではないかなと思うわけであります。ですから、事業主体については原子力を導入する場合には、なにか工夫必要になってくるかなというふうに思うわけであります。

それから、より重要な問題として安全性の問題があるわけです。つまり、どんな形でもってパブリック・アクセプタンスをやっていくのかなというのが非常に重要なわけです。この2点は、今後、原子力を導入する際にはまず考えていかなければならないことだと思います。

では具体的に以上のような問題に対して、なにか対応策があるのかということを考えてみます。一番最初の初期投資負担の問題は、原子力を使うことによる地域冷暖房のコストが従来の石油並みであれば、それなりの資金的仕組というのが十分に考えられるわけです。国によるいろんな助成の仕組が考えられるということであります。これはなにか方法があ

りそうであります。では次に事業主体はどうかということですが、やはり小さなところがいろいろやるということになればなかなかむずかしい問題が出てくると思います。やはり地方公共団体なり、あるいは電力会社等がなんらかの形で参加するようなことが必要になってくると思います。それが事業主体に関するひとつの対応策かなというふうに思うわけであります。安全性についてはなんと申ししましても、これは非常にむずかしい問題であります。この問題はひとつの事業をどうにかして成功させていくことにより対応していく以外に道がないと思います。つまり、実証プロジェクトみたいなものをやっていく方法以外になかなかないんじゃないかなと思うわけであります。

原子力導入をいかにして進めるか

次に、どういう形で地域冷暖房に原子力を導入していくのかということにふれてみます。私は既成の市街地であれば、やはり熱需要がたくさんあるところに原子炉を置き、地域冷暖房を進めていくことをまず考えていくのがひとつの方法だと思います。それからもうひとつは新しい都市の構想のなかに原子力による熱供給事業を組み入れていくことも重要だと思います。たとえば、いま民間版ニューディールが話題になっておりますが、そのひとつのプロジェクトとして京都の南のほうに関西学園都市を新しく造ろうという構想があります。人口規模も30万人ぐらいのものをねらった比較的大きい都市の構想ですが、このような都市の熱供給事業の熱源として原子炉を利用していくようなことを、これから長期的に都市計画とか地域計画のなか、あるいは国土計画のなかに入れていくということが重要じゃ

ないかなというふうに思うわけであります。

とりあえずコメントをここで終らせていただきます。

武田 どうもありがとうございました。現在の熱供給事業の問題点を踏まえて、その上で原子力を導入するときの課題というようなことをお話いただいたわけでございます。さて、きょうパネラーとしておいでいただいた方のなかで、まさに原子炉そのものを動かしておられるのは沢口さんのところだけでして、ただ残念ながらきょうの話題の熱供給はされていなくて、電気を起こすだけでございますけれども、しかし、ある意味でもっとも原子力について識見をおもちの方でございます。そういう現実にならずさわっておられる方がごらんになって核熱利用というものについてどう考えるのか、あるいはどんなことに考えたらいいいのか、というあたりについて、コメントをいただけたらと思います。

軽水炉発電技術の核熱利用への活用

軽水炉発電技術と核熱利用

沢口 最初にちょっとお断わりしておきたいのですが、会社のなかの人事異動がございまして、実は私原子力開発研究所長になってからまだ半月経ったばかりでございます。いま司会のお言葉がございましたけれども、熱利用のほうはあまりいままで勉強しておりません。そういう前提でお聞きいただければと思います。

私ども現在、軽水炉を使って電気を出しているわけございまして、軽水炉技術の活用というような面からちょっとお話をさせていただきたいと思います。現在、ご承知のとおり、

電力産業あるいは国としましては、次の原子炉ということでFBRの開発を一所懸命やっておりますが、この実用化はまだ当分先だ、軽水炉の時代が当分続くのではないかなというふうに思っております。蛇足でございますけれども、現在の大型の軽水炉としては、アメリカのオイスタークリーク炉が運転を始めてから約14年経っております。新聞などでお聞きのように、これまでいろいろトラブルを経験しておりますけれども、私どもといたしましては、そういうトラブルを乗り越えて、軽水炉技術はいまや確立した、そういうふうに考えております。こういう確立した技術を発電だけに使うというのは考えてみれば、もったいない話で、資源的にも、技術的にも、熱利用に活用するという考えは、一般論としてたいへんに有意義なことではないかと思えます。そういう眼からみますと、エネルギー総合工学研究所で今回ご発表になりましたようないろいろな研究が進められていることは、たいへんよろこばしいことではないかと考えます。

電力と熱利用との需要態様の相異

具体的に、それでは軽水炉による熱供給炉を考える場合、需要に応じまして規模というのを決めなければならないわけでございます。電力もかなりその負荷のピークあるいは谷間というものがございまして、熱利用について調べてみますと、ピークと谷間の差は電力に比べましてはるかに大きい。さきほどのお話にもありましたが、ピークだけに合わせて原子炉をつくりますと、非常に稼働率が下がり、高価な機械が遊んでいる時間が多くなります。したがって、原子炉による熱供給といいたしても、従来の化石燃料によるボイラーと組み合わせると、ピークは化石燃料でとる、ベースの負荷

を原子炉でとる、そのように考えませんと、とても原子炉の稼働率を高くとれず、従って経済性もむずかしいんじゃないかというふうに考えます。そのときにちょっとジレンマが生じますのは、そのようにいたしますと、原子炉の容量はそれだけ小さくしなければいけない。原子炉の容量を小さくすることとは、さきほどの講演でお話がありましたように、原子炉は非常にスケールメリットの大きなものでして、コストが高くなる。ですから、稼働率を上げようと思うと小さくしなければいけない。小さくするとスケールメリットの関係で建設費関係のコストが高くなる。そういうちょっと矛盾した面がございますので、どのようなことで容量を決めるか、このへんがひとつの大きな問題になるんじゃないかというふうに考えます。

エネルギー総合工学研究所で研究された中小型炉について申し上げますと、わが国の場合にはさきほどのスケールメリットを生かして、いまや発電用の原子炉は非常に容量の大きいものになっており、これによって経済性が成り立っております。仮に電力系統の容量の小さな国ですと、それに伴って原子力発電所の原子炉のユニット容量も小さくする必要がありますので、いずれその国の系統規模に応じた発電用原子炉をつくる必要のある発展途上国であるとか、そういうところですよ、もともとスケールメリットを余り生かせない中小規模の原子炉が成立つ可能性があるのではないかというふうに考えられます。

軽水炉発電で育てた技術の活用

実際に、それでは中小型炉をどうやって実現するかということですが、さきほどからいろいろご発表がございます。熱需要地に近い

ところにおくことから、非常に高い安全性が要求されますので、さきほどのご発表のように、現在の発電炉とは違って、できるだけ単純化し、さきほども負の出力係数というお話がありましたけれども、そういう固有の安全性を高める、そういう方策が必要ではなからうかと思います。いずれにしましても、わが国の場合、ここでもお話が出ましたように熱需要の密度が非常に低い、ピークと谷間の差が非常に大きいということから、いろいろ困難な問題があるわけです。冒頭に申しあげましたとおり、軽水炉技術というのは、色々な面に活用できるということで、そういう面から今後とも検討を進めていく必要があるのではないかと考えております。

武 田 どうもありがとうございました。

軽水炉技術はすでに確立して、そしてそれを電気だけに使うのはもったいない、いろいろ問題はあるけれども、というようなお話でございますか。

秋山先生には、さきほどご講演をいただいたわけですが、ご講演のなかでは海外のいくつかの例等もご紹介いただきました。また、そのあとのお話のなかでは中小型軽水炉の設計例等も出てまいりました。そういうことも踏まえて、最後に秋山先生からご専門の立場からなにかコメントをいただければと思います。

中小型軽水炉の安全の考え方

設計面での必要な配慮

秋 山 設計と安全の考え方についてちょっとコメントをさせていただきます。まず、こういったとくに中小型、中低温の原子炉で、

しかも電力-熱供給あるいは熱専用のシステムの開発にあたりまして、設計面からの必要な配慮につきましては、これはさきほどからずっとご指摘ございましたように、大胆な単純化を行って系統のハードの各部分をできるだけ切り落していく。そして単純化することによって系統自身の安全性を一層高めていくというような方向があるわけでございます。しかし考えてみますと、ちょっと競合するファクター、つまり従来の発電用の軽水炉の技術を極力生かしたいということが一方にございます。メーカーさんのほうではそういう蓄積、すなわち実証された技術をなるべく直接に利用されたいということがあると思いますが、一方できるだけ大胆で斬新な構想をとということになりますと、どの程度両方から歩み寄るかという問題があると思います。今回の研究所の調査研究にあたっては、できるだけ開発要素の少ない、実証された技術でもって組み上がるようなシステムをまず念頭におく、これがひとつの基本的な前提であったと思います。これとさきほど申しました大胆な発想、とくにパッシブで、たとえばECCSなんかも上部にタンクをおいて注入するという方式、あるいは長サイクル運転ですとか、場合によっては安全上の過剰なバックアップをひとつ外してみるというようなことがあるかと思いますが、そういう設計のフレキシビリティと従来技術の存在という事実をどう調和させるかが多分問題であろうかと思えます。

出力密度はできるだけ落して、それによって安全余裕をさらにふやすということ、これもたしかにひとつの進め方だと思うのですが、出力密度を上げれば経済性が上がることも事実でございまして、設計上果して、

安全にからめて出力密度を落す方向だけでいいのかどうかというのが私の疑問でございます。これまでの概念設計によりますと、在来型軽水炉の2分の1ないし3分の1という低い出力密度で、自然循環でも十分に対応できるものもありますが、できれば出力密度はもっと上げる方向も考えることが必要でないかという気もいたします。

振り返ってみますと、大容量化ということがいままでの発電炉の歴史的な流れであったわけですが、最近はまだちょっと違った角度から、核熱利用だけに限りませんけれども、原子炉のモジュール化という考え方がリバイバルしてきたように思います。これはほとんど一体で工場生産して、そして現地に搬入してすぐ据付ける。そうすることによって納期を短縮できるのではないかということがあります。さっき岡田さんがおっしゃってました化学工業等の分野での利用ということになりますと、現在のような計画から運転開始まで10年以上もかかるといったようなのんびりしたこともいっておられませんので、いわば即需要に応える態勢をとるにはモジュール化していくということがひとつの解決策だと思います。このような納期短縮による経済性向上あるいは需要先との計画斉合性など中小型炉のもつ別の意味のメリットがやはりあるんだろうという気がいたします。

立地面からの問題

次は立地指針とのからみでございますが、都市近接立地ともなりますと、いわゆる原子炉の最悪の事態を考えた場合、人口密集に対応いたしましてやはりトータルなマンレムがふえるなどなかなかむずかしい問題があるようにも感じておりましたが、さきほどのご講

演にありましたように従来の立地指針は十分満足される見通しがたったとのことでございます。新しい核熱利用型の原子炉を需要先に近接して立地することについて、私も根本的に非常にボトルネックになるような安全上の問題はないものと思ってます。ただ、万一のときの避難のことなどを考えますと、とくに大都会に近い場合には、人口密度のほかにもいろいろな都市構造の問題、避難経路の確保等々の問題といったようなことで、また別の観点からの検討が必要であります。ですから、中小型炉の立地構想と現行の立地指針との適合性をさらに詰めて検討し、必要に応じて見直しあるいはプラス・アルファをしていくことが望ましいと思っております。

国際的に統一された基準の必要性

安全上の基準につきましては、できるだけ国際的に統一されたものがあるほうがいいわけございまして、これは核熱利用だけではないわけですが、国際的にいわゆるユニフォームな安全基準というものを考え、これからリコメンデーションをしていこうというような動きが出てくる感じでございます。原子炉を設計し、あるいは政策を遂行する上において、できるだけわが国の主張なり条件をそのような機会に反映できるように、基準などにかかわる国際協力場でより積極的に発言をしていく必要があると思うのです。とくにドイツとか、フランスあるいはスウェーデンあたりは、小型の原子炉を途上国に売り込むことが彼らの主眼でございますので、個々の途上国に適合するようないわゆるノンユニフォームな基準も十分考慮に入れていると思います。わが国も国際的な視野で輸出まで含めて考えるときにはそのへんでア

ドヴァンテージをとれるようなことをいまから考えておく必要があると思うわけでございます。

一応ここで第一ラウンドを終らせていただきます。

武 田 どうもありがとうございました。

いままでそれぞれの方からコメントをいただいたわけでございますが、それぞれメモなどもお取りのようでございますので、ほかの方々からのコメントに対するコメント、ないしはさきほど時間を10分程度ということで制限をいたしましたので、言い残したということもなおありかと思ひます。どなたからでも結構でございますが、もう一ラウンドでできましたら5分から10分くらいの範囲内で再度コメントをいただければと思ひます。

第1ラウンドのコメントの補遺

炉の設計思想と立地基準の考え方

沢 口 たしかさきほどのご講演のなかで立地基準への適合性のお話がございまして、私数字ウロ覚えですが、甲状腺の被ばくで20レムとか30レムとか国民遺伝線量がたしか70～80万マン・レム、そんなようなお話が多分あったんじゃないかと思ひます。いまの秋山先生のお話に関連いたしまして、ちょっとしたジレンマがあるんじゃないかと思ひます。と申しますのは、もし出力密度などを現在の動力炉並みにして経済性を高めた設計をすることになりますと、多分、いわゆる安全上の判断も現在の動力炉並みの判断でやられるであろう。そういたしますと、さきほどの立地基準への適合性の数字でございますが、さきほど講演で伺った数字と私どもが経験している発電炉

についての数字とを比べますと、単純な比較の上ではあまり変わっていないように思います。これは発電炉の場合炉の容量が大きいということと遠隔立地であるということがキャンセルして中小型熱供給炉とほぼ同じになったのだと思うのですが、そういう意味で現在の発電炉と同等の安全性が確保されているという言い方もあるのでしょうかし、あるいは非常に人の多い所におくにしてはちょっとどうかなのというなお話も出てくるのではなからうかという気もします。私ははっきりした考えをもっているわけではないのですが、炉の設計思想を変えるか、変えないかということと、立地基準的な考え方は、多分コンバインするんだと思いますので、炉の設計思想についてはPAというような観点から見ても慎重に考える必要がある。そんなようなことが問題じゃないかなと思います。

武 田 どうもありがとうございました。そのへんはあとで秋山先生の番のときに加えてコメントしていただければと思います。続いて岡田さんからお願いします。

核熱を民生利用するときの問題点

岡 田 さきほど私エネルギー多消費産業という立場で申しあげたのですが、もうひとつの用途の民生需要についていろいろ作業をやりまして感じましたことを申しあげたいと思います。工場に原子炉から蒸気をもっていくとき、工場は大きなボイラーを既に持っておりまして、そこから工場内の各所に熱を配給するシステムができております。そこで少なくとも原子炉からそのボイラーの場所まである程度距離を、500メートルとか1キロぐらいおかなくてははいけないと思うのですが、その主配管さえ作ればそれで済みます。

あるいは新しい工場にしましても、当然、工場側にユーティリティの供給施設を事前に計画するのが普通なのでよろしいわけです。従いまして、原子炉側のみで蒸気いくらになりそうだという数字が出ますと、かなり確度が高く見当がつくのです。ところが民生について考えてみますと、外国の場合ですと、たとえばモスクワあたりですと、ナポレオンが攻め込んだ頃もうすでに熱の供給の配管があったらしいのですけれども、そういうところでは、いままで使っている燃料ボイラーに代えて原子炉を入れたらどうなるかということだと思います。ところが日本の場合ですと、どうも北海道あたりでさえ熱を末端まで配給する設備全部をつくらなくてははいけない。そうすると末端まで配給をするその部分だけでコストがいままでの灯油なんかよりも高くなってしまいます。結果としては原子炉のほうから出す熱のほうにおまけをつけてやらないと需要側はとてもしき合わないというようなことになっているんじゃないかと思うのです。本来は前向きな発言をしなければいけないんですけれども、こういうことも考慮して今後進めなければいけないのではないかと考えまして、一言つけ加えさせていただきました。

武 田 どうもありがとうございました。いまに関連するようですけれども、飯倉さんからどうぞ。

熱供給事業の課題

飯 倉 原子力を地域冷暖房に利用する場合の問題点には、二つ次元があると思うのです。ひとつは、まず日本でなぜ熱供給事業が進まないかという問題です。これはさきほど申しあげたわけです。それからもうひとつは、その熱源として原子力を使う場合の問題点とい

うのがあるわけです。

前者は今後どうしたら熱供給事業をわが国で活発に進めていくのかということです、いくつかの課題を挙げることができると思うわけです。ひとつは、一番重要な問題ですけども、供給エネルギーをいかにして安くしていくのか、コストをいかにして引き下げていくのかということがまずポイントだと思うわけです。

第二に熱供給事業はある特定地域の不特定多数の人に熱の供給を行うわけですから、いかにして需要量を計画的に確保していくのかということも重要になってくるわけです。このへんにつきましては、たとえば供給区域内の需要家の加入協力を義務づけるような、東京都の公害防止条例みたいなものがあれば、かなり有効な手段になると思うわけです。

第三に、そもそも熱供給事業は最初にある程度の需要を見込んで計画的に投資を行うわけですから、先行投資負担が大きい。それに対する助成は政策金融で若干ありますが、補助金は2年ぐらい前に打ち切られており、冷遇されているわけです。それ故、今後助成の強化をいかにして進めるかという問題もあるわけです。

第四にさきほど申しあげましたとおり事業主体がいろいろありますが、だれが熱供給事業に熱心なのかよくわからないということがあるわけです。そこで地方公共団体なりがもっと活躍してもいいんじゃないかなというふうに思うわけであります。

以上がわが国の熱供給事業の主要な課題だと思います。

原子力の導入に係わる固有の問題

他方、原子力を使うことによる固有の問題

というのがあるわけです。その第一は、原子力を熱供給事業に利用する大前提としてコストがほかの熱源に比べて有利であるということが非常に重要なわけです。まずこの問題をクリアしなければならないということだと思います。きょう室田さんから報告のあったコストを考えると、ちょっと現状ではなかなかむずかしいなという印象を抱かれると思うのですが、これから5年先、10年先というように少し長期的にエネルギーの価格を考えますと、必ずしもそんなに非現実的ではないと思うわけです。つまり、もう少し長期的にエネルギーの価格体系というのをみていく必要があるわけです。中小型軽水炉の発電あるいは熱のコストをいかにして引き下げていくのかということを、これからますます勉強していくことが必要だと思います。とにかく、まず経済性をどうやって確保するかというのが原子力の場合に非常に重要な問題としてあると思うわけです。その次に、実をいうと安全性の問題があるわけです。経済性よりも先の問題として安全性の問題が出てくるとは思えないわけです。安全性を如何にして確保していくのかということですが、私は専門家ではありませんが、経済性の確保ができれば、それなりの工夫ができるのではないかと私は非常に楽観的にみております。そのほかの問題として原子力はさきほど申しましたとおり、初期投資負担がほかの熱供給事業の熱源に比べて非常に大きくなるわけですから、それなりの資金的な仕組みみたいなものを考えていかなければならないというような問題がある。さらに非常に大きなもので、かつ経験を要するものを取り扱うので、事業主体の問題がでてきます。従来のような事業体では原子炉の導

入は非常にむずかしいということになると思われるわけですが、そこで事業体の形成にあたっては直接電力会社とか、あるいは地方公共団体がかかわることも考えられますが、もうひとつの方法として、熱供給事業、つまり不特定多数に熱を配給するものは、従来どおりの事業主体でもかまわないが、そこに熱を生産・供給する主体は電力会社とか、大きなところが担当していくことも考えられるわけです。要するに熱を生産するところと熱を販売するところを分けて考えることもできるわけです。これは法律上も可能なわけです。そういうことも今後少し考えていかなければならないということだと思います。いずれにしても私は経済性の問題、つまりいかにして安くできるかということを経済性を今後詰めていくことが重要だと思います。これが実現できるならば熱供給事業はそれによって拡大していくでしょうし、原子力の利用の仕方もあるのではないかなというふうに考えるわけです。

武田 ありがとうございます。さきほど沢口さんのおっしゃった、いわば現在の試算で出ている安全のレベルをどう評価するか、見方はいろいろあるかも知れないというようにお話なり、いま飯倉さんからの、経済性が確保できるならば、安全の問題は、技術屋が知恵をしぼれば、なんとかなるのではないかなというようなお話もあったのですけれども、それらについてのコメントも含めて、秋山先生ひとつよろしくどうぞ。

技術と経済、安全と経済

秋山 私はどちらかというと、実業としての技術屋じゃなくて、技術を聞きかじっているほうの立場なのですが、技術と経済、安全と経済というのは、やはり車の両輪でござい

まして、イギリスのマーシャルさんなんかも言っておられた言葉なのですが、イギリス人の考え方というのは、ゆっくり歩きながら、そしてつまづきながら考えていくということ、基準をいかにつくっていくかはある程度R&Dをやってみないとわからない部分もあり、経済性についても安全と技術の進歩のからみでやはりどのへんまでスペック・ダウンしたらいいかということと関連もあるんだということです。そこで順序としては、たとえば若干経済性は悪くても、いつかの時点でP・Aも兼ねてあるパイロット・プラントなりデモプラントなりをどこかに造ってみて、それで地元の反響もみるし、経済性がまだどれぐらい目標に達していないかということもみるしということで、これは無駄な努力みたいなことですが、そういうことをやりながらステップ・バイ・ステップにやっていくのがいいんじゃないかなという考え方を言っているわけなんです。ですから、経済性についてもまだきちんとしたデータなり根拠というものがないと思いますので、最初はどうしても多少リスクは避けられない。そういう意味で国がそこをある程度みて、民間と協力しながらステップ・バイ・ステップに進めていくのがいいんじゃないかという気がいたします。

それから安全基準に関しまして、さきほど私がちょっとお話ししました外国の構想例なんかでみますと、フランスのTHERMOSという原子炉は格納容器の中にミサイル・プロテクションの大きなお皿がありまして、これは非常に厳しい規制を反映しております。それから逆にソ連のASTは、これは武田専務がこの前ソ連でいろいろ詳しい調査をしてこ

られましたので、あとで補足あるいはご訂正いただけるとありがたいのですが、たしか制御棒関係のバックアップがないと聞いております。普通は水の中に硼酸あるいは硼酸水を注入するバックアップを持っているんですけど、それがいないような設計にたしかになっていたはずなんです。このように国によって設計の考え方あるいは対応がだいぶ違うのが実状です。なお、経済性に関しまして、これはコメントではなくて、むしろ武田専務に教えていただきたいことなのですが、実用化という意味で最も進んでいる国のひとつはソ連で、A S T 炉はすでに建設中だという話なのですが、いったい経済性や、安全性をどのように評価し、判断しているのでしょうか。このあたりのことをちょっとディカッションに加えて下さるようお願いします。

武田 どうもありがとうございました。進行係だけしていればよいのかと思っていたのですが、いまのようなお話でございますと、なにか私もコメントしなければいけないのかも知れません。

それでは、5分か10分いただきまして、バネーラの一人になったつもりで、私もひとつコメントさせていただきたいと思います。コメントの順序は、さきほどの飯倉さんによれば、まずはコストが第一で、その次が安全性と。秋山先生は、それじゃいかんのだとおっしゃいましたけれども、飯倉さんの順序がどうも私の思考形態に合っているものでございますので、それにしがたって、まずコストの点についてふれたいと思います。

ソ連での核熱利用—日本の場合とのちがいは

いま、秋山先生からお話のあったソ連のA S T 500についてはソ連のデータによりま

すと、従来の化石燃料、あそこでは石油、天然ガスを使っているわけですが、それとほとんどであるというのがコスト評価でございます。A S T 500というのは熱供給専用炉でございます。すべての既存の原子力発電所が、その近く数キロメートルの範囲内に然るべき人口の町があるならば、然るべき人口というのは、人口1万とか、3万とか、あるいは5万とか、そういうことですが、改造して熱供給をしようではないか。そして、大きな原子炉につきましても、今後造るものについては、熱・電気供給だと思いますけれども、大都市向け大規模熱供給もしようではないかというようなことで、いわば熱供給の全面的という言い過ぎかも知れませんが、ヨーロッパ・ロシアでは、原子力にどんどんシフトしようという格好になっているわけでございます。経済計算のシステムが日本と違いますので、単純には翻訳できませんが、それでもいずれの場合も化石燃料と対比して、原子力ほとんどであるというような経済計算の結果になっているとのことであります。

なお、そのへんの詳細については原子力産業会議が昨年の3月か4月にレポートの形でまとめておられますので、その中に数字等が出ているはずでございます。ソ連でなるほどと思いましたのがさきほど岡田さんからお話があったように配管網ができていて、いわば民生用熱供給といえども、既存のボイラー・ステーションまで持っていけばよい、つまりメイン配管だけを考えれば十分経済計算にのる、そういうことでございます。そこが多分日本と違って、民生用の熱供給が成り立つ理由のひとつになっているのかとも思われます。

現状コストと試算コストとの差の考え方

さきほど室田君の報告で、工場向けの熱供給が現在のものと比べてグラフ（45頁の図18）で示されています。数量は書いてありませんが、2割なり4割なり場合によれば倍近く高い、これは移動率次第でございますけれども、そういうグラフがあったわけでございます。その点について、私の全く個人的意見でございますけれども、感じを申し上げますと、もし現在の想定と現在の工場におけるエネルギー・コストとの差が2割とか、そういうオーダーですと、これは桁が違うわけではないので、さきほど飯倉さんのお話のとおり、いろいろ技術的な工夫をすることによって、十分カバーし得る範囲ではないかと思えます。

と申しますのは、日本の電力会社が原子力発電にとりかかった時点で、原子力発電と石油火力とどちらが有利かという議論がありました。そのときは、これは初年度に原子力が高いとか、そういう問題がございますので、仮りに均等化経費、耐用年数を通じて平均していくらであろうかというコスト計算をいたしますと、明らかに原子力発電のほうが高かったわけでありまして。恐らく、それが逆転したのは石油ショックで石油の値段が上がったからではないかと思えます。そうすると、この先どんなことが起こるかよくわかりませんが、一方で技術的な発展を期待するとすれば、2割、3割というのはもう射程の範囲内に入っている。ただし、あらかじめそれを保証してくださいと言われると、いやとても自信をもって保証はいたしかねますと答える真面目な技術系統の人が多いということではないかという感じがします。さきほど秋山先生が、コストと安全とそしてP.Aと兼ねて、ひとつやっ

てみるということによって、はじめて進歩するかも知れないとおっしゃったのですが、そういうことをやると、もう少しはっきりしてくるのではないかと思うわけでございます。

安全基準の見直しとコスト

二番目の安全の点について、こういうことを言うのと怒られるのかも知れないのですが、どなたかに教えていただきたいのでございます。中小型軽水炉の場合につきましては、いろいろ固有の安全性をいろんな工夫をして高めたのだという話がさきほどございました。その中で、たとえば、原子炉の中の冷却水がなくなってしまうような可能性がほとんどないであろうというデザイン例があったように記憶しております。そのような場合に、現在の安全評価の点でいえば、そういう事故は現実にはないんだろけれども、なにか燃料がこわれるようなことを考えてみて、いわばどの程度信頼性があるかということを確認するための計算上の仮定ということになるのかも知れませんが、そういうことが起こったらどうなるだろうか、ということで評価しています。実はそれと同じようなやり方で、さきほど沢口さんがコメントなさった評価をして、だいたい同じだという数字が出ているわけです。もし冷却水がなくなるような可能性がほとんどないということが確からしいのであれば、むしろその安全評価、基準なのか、評価の考え方なのか、それ以外かわかりませんが、そういう基準そのものを考えなおしますと、それが設計にも反映する。それによってコストを下げるができるというようなことがあるんじゃないかという感じがして仕方がないのでございます。しかし、どうも確信をもってそういつているのではなくて、や

や飯倉さんと同じような意味で申しておりますので、秋山先生、あるいは沢口さんなのかも知れませんが、それについてのコメントをいただければと思います。

私のコメントはこれで終らせていただきます。

安全という言葉の使われ方

沢 口 ちょっと余計な心配のしすぎかも知れませんが、私どもは発電用に大型原子炉をたくさん建設しているという立場からいたしますと、たとえば、ある原子炉が動力炉に比べて非常に安全であるからここに置ける。それを裏返しに言いますと、いまの発電所で使っている原子炉は危険だから遠くにあるんだ。世の中いろんな方がいらっやいて、私どもときどき困らせられるのですが、安全性といえますのは、ときたまそういう非常にへんな感じで使われることがございまして、われわれ電気供給を第一にしている企業からいたしますと、そちらに影響の及ぼさないような、うまい言い方ができると非常によろしいのじゃないかというふうに思います。

武 田 どうもありがとうございました。秋山先生いかがでしょうか。

安全基準の見直しには時間がかかる

秋 山 冷却材そう失事故の可能性が完全に駆逐されて、それに伴って安全基準の該当項目が消え、また関連の設備が不要になるという点ですが、ちょっと私もそれについてはコメントしにくい立場にあるわけなんですけれども、今現在の考え方としては、現行の基準の許容範囲で設計を極力合理化しようということですね。

行政としての基準とは別に、純粋に技術的にみますと、低圧設計と若干のバックアップ

とにより、いわゆるL O C Aのような事故は撲滅できるというのが私の直感的な受けとめ方でございます。しかし、それではL O C Aなしで、基準の体系が組めるかどうかということになりますと破壊の確率がどうだというような話になるわけでございましょうし、そのへんはやはり時間をかけて検討する必要があります。基準自体もいろんな経験や安全のデータが積み重なるにつれて、合理化されることは当然でありまして、たとえばリスクの確率がほんとにこのレベル以下だということになれば、それは対象シナリオから外れることになるのでしょうけれども、それにはやはり時間がかかると思います。ですから中小型炉を仮に急速に展開していこうというとき、その時間的なフェーズに対応して、基準の見直しが時間的に可能な部分とむずかしい部分があると思います。

会場からの質疑と応答

武 田 どうもありがとうございました。まだコメントをいただくべきことがいくつかあるんだろうと思いますけれども、さきほどこのパネルを始めますときに、きょうこの会場においていただいた方々からも、できれば五つ六つご質問なりコメントをいただく時間をつくりたいということを申しあげておりました。終了予定の時間から勘定いたしますと、このへんでご質問なりコメントをいただいて、それぞれについてまたパネラーの方からコメントをしていただくということにしたいと思います。いかがでございましょうか。いままでのパネラーの方々のお話、それにその前のひとつの講演と二つの報告について、パネラー

の方々がどうお考えになっているかということも含めて結構でございます。ご質問か、コメントをいただける方はできました手を挙げていただければと思います。いかがでしょうか。どんな角度の問題でも結構でございます。

熱販売事業の育たないわけ

質 問 三井造船の磯貝と申します。飯倉さんにお伺いいたします。熱供給事業、熱という形は大昔からあるわけですね。最近電気というのが、明治以後になって出てきた。ところが明治の以後に出てきた電気事業は、拡張に拡張を重ねて、東京電力さんのように大きな販売会社になっているわけですね。ところが熱についてはそういう販売の、いわゆる専門業者というのはなかなか育っていないというふうに考えるわけです。みんな個々別々に民生用も含めてやられている。このへんの本質的な育たない理由というのは、単に政府援助がないとか、いくつか挙げられていたようですが、それだけではない、なんかもっと本質的なものがあるんじゃないかと考えるのですが、そのへんのご意見を伺いたいです。

飯 倉 一番大きな理由は、わが国の場合、気候条件からみて、基本的に熱需要が非常に少ないというところが、なんといっても一番大きな原因だと思うのです。ただ、それにもかかわず最近熱供給事業が出てきたというのは、所得の向上や都市化ということがあり、家庭や業務用ビルで冷暖房を行うようになってきて熱需要が大きくなってきているというのが一番大きな理由だと思うのです。ですから基本的には気候という自然そのものの問題がまず最初にあるというふうに私は感じております。

武 田 どなたか、ほかにコメントあるいはご質問いただける方がおられましたら、お願いしたいんですが。

エネルギー多消費産業からみた炉型の選択

質 問 呉羽化学の柳沢でございます。私も、いま、岡田先生のところと同じようなステーションにあるわけでございます。さきほど秋山先生から、西独とスウェーデンのは注目に値する、とくにモジュール化についてもそうである、というふうなお話を伺ったわけですが、パブリック・アクセプタンスの問題とか別にして、岡田さんはいったい注目すべき問題として、仮りに秋山先生の講演の中の表1（7頁掲載）からはどんなフォローをおやりになりたいとお思いになりますか、お伺いしたいと思います。

岡 田 表1（7頁掲載）の中では、さきほどちょっと触れましたが、一番理想的なのは4番の高温ガス炉であろうと思います。ただし、ちょっと八つ当たり気味になって申しわけないのですが、原研の場合には、超高温ガス炉で炉心出口温度の目標が1,000℃、こんど950℃になりましたが、それが原因かどうかかわからないのですけれども、非常に長期の計画になっている。エネルギー多消費産業の立場からすると、蒸気と電気の併給の形でもいいから、それから温度も700℃でも600℃でもいいから、早く日本で実際に利用できるようにしていただきたい。それだけでずいぶん助かるんじゃないかという気がいたします。

中小型軽水炉の核熱利用について（補足）

なお、さきほど、民生用のことでへんなことを申しあげましたが、途中までで終わってしまったので誤解になるといけないので、追加させていただきます。民生用の場合に先程言いま

したように配給に非常に金がかかるということがあると同時に稼働率、利用効率の問題が非常に大きな問題になってくるわけです。それで、どこまでうまくいくかわからないのですが、できましたら工場内にコンスタントに大量に送っている配管、輸送に乗せる。多分、工場と民生、住宅はそれほど離隔距離はいらない、その先の僅かの距離を民生用の配管を用意するということにしますと、稼働率も非常に高くとれますし、途中の輸送のロスもかなり小さくなってくる。そういうやり方がひとつあるんじゃないのかなという気がいたします。

もうひとつ、これはどちらの用途でもよろしいのですけれども、経済性の問題で中小型炉のコストが高いのは建設費、すなわち資本費が高いからです。これから先どの程度の物価上昇があるか、あるいは石油の値段がどの程度上がっていくのか、予測はむずかしいのですけれども、多分私が勤めている間には中小型炉の熱の工場への利用は、恐らく実現しないだろうという無責任さで申し上げますと、やるんだったら早く作ったほうが、それだけ早く回収も償却もできるし、あるいはインフレで建設費そのものが高くなるので、結局は割安になるということが考えられ、早くやったほうが勝ちなんじゃないかなというような勝手な想像もしております。

武 田 ありがとうございます。

コンビナートの熱源転換としての原子炉導入について

飯 倉 いまのにもう一言つけ加えさせていただきます。いままで、私コンビナートのユーティリティに熱源転換として原子炉を使うという話について、コメントしてなかったの

ですが、短期的には岡田さんの言われるような既存のコンビナートの熱源転換ということで、中小型軽水炉を今後いろいろ考えていかなければならないことだと思うのです。他方、長期的にはわが国全体として地域の開発とか、あるいは国土の総合的な利用のことを考えますと、エネルギー・コンビナート構想みたいなものを考えていく必要があるんじゃないかなというふうに思うわけです。それは既存のコンビナートを見ましても、必ずしも非常に熱需要とか希望とかが多いわけじゃありません。そこで中小型軽水炉を2基ぐらい置いたところの周辺にエネルギーをたくさん使うような産業を集めるような形のコンビナートの構想みたいなものを少し長期的な観点から構想を続けていく必要があると思うわけです。

武 田 ありがとうございます。どなたかご質問またはご意見おありでございましょうか。

核熱利用の事業化が実現していない理由

質 問 私、技術のコンサルタントをしております矢部でございます。

スイスの製紙工場の例で言いますと、すでに電力会社から蒸気の供給を受けている。原子力発電所から受けている。すでにこういう事実がございますので、技術の段階ではすでに解決されている問題だと思うのでございます。わが国においても、やろうと思えば、きょうにでも明日にでもできることだと思いますが、電力会社の方に聞くと、ご返事なさないでしょうから、銀行の方の飯倉先生からコメントしていただきたいと思います。

飯 倉 大型炉であれば、現状でも十分経済性があると思うわけですが、それを実現するためには、幾つかの問題があると思います。

いくつかあげてみますと、第一に、経済性とのからみで負荷対策を考えていく必要があります。民生用にしても、産業用でも必ずしも負荷というのが一定の割合にくるわけではありません。そこでたとえば昼間は熱は出すけれども、夜は電気にするとか、という方法を考えるべきだと思いますし、できないものではないというふうに思うのです。

第二に、安全性の問題があると思います。軟弱地盤に原子力発電所を造ることについて、すぐ了解がえられるのか、という問題です。

第三に、制度的な問題があると思います。いまのコンビナートのユーティリティは、電気事業法の17条の許可を受けているのです。これは共同自家発電という形での許可で、特定のものにしか供給できないような許可を受けている。それ故、たとえば一方では自分のところでも使うけれども、他方、電力会社にも売ような許可というのは非常に取りにくいというような制度的な問題もあります。これらの問題を煮詰めて片づくようであれば、私はご意見のとおりできるのじゃないかなという感じもします。

武 田 どうもありがとうございました。いまの点、秋山先生からもどうぞ。

秋 山 いまのスイスの例がそうかどうかわかりませんが、ドイツで現在、工場用に原子力プラントからの蒸気を使っている例では、もともと石油だきボイラーで供給されていた配管システムがあって、その蒸気のソースだけが原子炉でリプレイスされたというようなことであれば、輸送、分配のコストが不要なわけですから、さきほどソ連のお話にもありましたように、配管網ができあがっているという前提で考えれば、核熱の供給コストはか

なり競争力をもっているというふうな考え方もできるのじゃないかと思うのです。問題は新しくそういった配管などの付加設備をつけるという点にあり、これは実は大型の発電所から一部熱を取出して利用するというような場合がまさにそうなんですけれども、その配管系の建設コストをどういう形で負担するかということが相当大きな問題になるのじゃないかと思います。

武 田 どうもありがとうございました。私からもいまの点について、いまのお二人の話と全く同じでございますが、コメントさせいただきたいと思います。たとえば、日本の中で原子力発電所が、たしかいま全国十何カ所で動いております。もし原子力発電所の動いている場所から数キロメートル、需要規模がもうすこし大きければ少し長くてもいいのかも知れませんが、さきほどの室田の報告（図1，31頁掲載）にありました、紙パルプ年産何十万トン工場、エチレン40万トン工場というような工場が現にあって、そしてパイプさえ持っていけばいい、仮りに発電所が100万KWとしまして、そのうちの10万KW分が20万KW分を電気にしないで、蒸気の格好で持っていくというような仮想的条件を設定いたします。かたがた改造工事は問題なく行われ、それほどお値段がかからずにできるというような仮定をいたしますと、さきほどおっしゃったスイスの例と同様なことがきょう現在技術的には成立っているのじゃないかなというのが、実は私の感じでございます。さきほどコストについて、いまの試算が既存のコンビナートのユーティリティのお値段に比べて2割とか4割という差は射程内じゃないだろうかと申ししたのは、それほど改造にお金がかか

らず云々というのとある共通した楽観的なイメージなんです、おっしゃったとおり現在でも技術的には成り立つのではないかと思います。ただ、現実的に日本の原子力発電所のまわりを眺めてみますと、まとまったうまい具合の需要がなくて、年間の負荷率、それが配管網と原子炉の利用率になるわけでございますけれども、たかだか年間十何%というような需要で、しかも規模が小さいという、さきほどの飯倉さんのお話で、現実には成り立たないのかなという感じがしているわけでございます。逆に大きな需要のあるところということになると、たとえば大都市近傍とか、あるいはコンビナートの埋立地とか、そこは地盤の状況が軟弱のため、コンビナートの中の重量物、たとえばLNGのタンクのように、なにか地面の下の加工をして、原子炉を置かなければいけないということになる。それもP・A的な実証が必要なので、それじゃすぐできるかと言われると、やっぱり一回やってみないといけませんというようなことが起ってくるのかなという感じでございます。余分でございますけれども、ちょっとコメントをつけ加えさせていただきました。

ま と め

武 田 それでは、あと残りました時間を、まとめ的な意味で、パネラーの方々からコメントをいただくために使っていきたいと思えます。

核熱利用はどうも利用先が二つあるようで、二つで態様が違うようでございます。産業利用と民生利用という二つのイメージに分けて、まず産業利用を考えたときに、原子力にどん

な期待がおかれ、どんな課題があり、どんな点を解決していかなければならないのだろうかというようなまとめ的なご発言を、まず産業利用について岡田さんからコメントをいただきたいと思います。そしてお三人のうちどなたかが少し補足したい、あるいはその考えが少し違うというようなことがございましたら、さらにコメントをいただくということにさせていただきますのですが、いかがでしょうか、ひとつよろしくどうぞ。

産業利用について

岡 田 いまのご質問にも出ておりましたように、大型の軽水炉のそばに大きな工場があれば、技術的にも可能だと思いますし、それから前に検討した結果では、経済的にもたしかかなり安くなるという結果がでているわけです。そういう意味で、とくにエネルギー多消費産業の立場としては、原子力というものに非常に期待をもっているわけなんです。昔から何回も検討されているんですが、なかなか前に進んでいかない。今回中小型軽水炉というものでかなり具体的な検討がなされているのですが、ぜひこれを一步進めて、いままでは架空の場所に原子力発電所を造って、架空の工場に供給したら、どうなるかということで進めてきているんですが、もう少し具体的に検討しなければいけないんじゃないか。そのためにはそれを利用する立場の方々によく理解をしていただくということが必要ではないかと思います。その上で前向きに、さきほども多少経済的なリスクはあっても、実証していくことが大事だということでございましたが、たしかにその通りだと思いますので、とくにこちらの研究所等が中心になって動いていただきたいと思います。それが私のまと

め的な感想でございます。

武 田 あとのお三人の方、いまの産業利用についてなにか一言もしございましたら、コメントいただければと思いますが、いかがでしょうか。

それでは、今度は民生利用のほうでのまとめ的なコメントをいただきたいと思いますが、飯倉さんはいろいろ地域熱供給をやっておられ、沢口さんは熱供給をやっておられませんが、まさに電気の半分は民生用で、そういう産業におられるので、いかがでございましょうか。

民生利用について

沢 口 さきほどからヨーロッパのいろんな国で、民生用にかなり使われている、あるいは使われようとしているというお話がございました。ヨーロッパのとくに地域暖房をやるようしているようなところは、私の理解では、ソ連でありますとか、北欧であるとか、非常に寒いところであって、年間の暖房需要が相当ある。それだけ稼働率も期待できるということが、やはりかなりウェートを占めているのじゃないかというふうに思います。じゃ日本はだめかという、そうあきらめるのも早いと思います。熱をうまく蓄えるアキュムレーターとか、そんなようなものができれば、負荷率も上がりますし、そういう面でまだいろいろ検討の余地があるのじゃないかというふうに考えます。

武 田 どうもありがとうございました。飯倉さんまたは秋山先生からいまの民生用について、もしコメントがございましたら一言ずつどうぞ。

熱供給事業への原子力の導入について

飯 倉 今後、原子力をやはり発電用として

ではなくて、熱を利用するほうに使っていかなければならないと思います。現状では、原子力発電といえどもひとつの量的限界にくる。そこで原子力の熱利用みたいなもので、原子力という非常に有効なエネルギーを使っていくということが大切だと思います。この視点からみれば熱供給に原子力を使うというのは、きわめて重要な今後のエネルギーのテーマになると思うわけです。民生用の普及のためのポイントはいったいなんなんだろうかと考えますと、やはり大型炉ですでにコストの面でかなりいい成績を上げている原子力を、中小型炉についても、いかにしてコスト・ダウンを図っていくのかということが、今後の非常に重要な課題だと思います。それは、建設費をいかに下げるかというのがひとつありましょうし、工事期間をいかにして短かくするかということもありますし、あるいは資金的仕組をどういうふうに考えていくのか、ということもやっぱり非常に大事なコスト・ダウンの要素だと思います。

二番目は、いま供給サイドからの話では、安くできそうだとしても、需要サイドの問題もある民生用の場合、負荷率という概念で考えますと、負荷率は前の報告にありましてとおりせいぜい2割以下である。このため、それを非常に上げる必要がある。上げれば逆にそれがコスト・ダウンになるということでありすので、負荷対策というようなことで、需要のほうも考えていかなければならない。その際にいろんな要素の組合わせということもあるでしょうし、もうひとつは、やはりあいている時間は電気にするとか、そういう形でもって負荷を上げていくというようなことで、コスト・ダウンを図っていくというのが第二

番目のポイントではないかなというふうに思っています。

三番目のポイントとしては、いま岡田さんがおっしゃったように、やはり実証プロジェクトをやっていく必要があると思うわけです。たとえば、いまわが国で、地熱の熱水の利用につきましては雫石地域の葛根田地熱発電所から出てくる熱水1,000トンをつづきつづき雫石町の中で使っていくという実証のプロジェクトをやっております。そういう形でのやはりひとつ実物を造って、やっていく必要があると思います。これは実証調査ですので、基本的には国が負担して、あるいは地方公共団体もそれに協力して行うようなことが必要だと思います。ぜひそういうのを実現していかなければならない、というふうに考えております。

総合的な立場から一地道な積み上げを

武田 どうもありがとうございました。

それではパネラーの方からのまとめのコメントをいただいたわけでございますけれども、秋山先生はとくには、というお話なので、私も座長ということになっておりますが、パネラーの一人みたいな格好で、私なりのコメントをさせていただいて、パネルをしめくりたいと思います。

いままでの私どもの研究所での調査のほか、原子力産業会議、あるいはそのほか諸々の機関で、過去十数年来、核熱の利用という熱利用のソフトな調査研究、そして原子力製鉄組合のようないわば利用面のハードな研究もなされてきたわけでございますが、残念ながら、きょう現在、実験的な利用以外日本の中では、行われていないわけでございます。ただ、きょうのパネル討論の一番最初の岡田さんのお話にもございましたが、私なりに翻訳しますと、

もし電気の面で原子力が安いとすれば、熱の面でも原子力が安くなるというポテンシャルティがある。そういうものがあるとすれば、それを使わない手はない、というようなことでございます。現在までのいろんなところでの調査結果によりますと、立地的な制約といえますか、大きな発電所の近くには有効なまとまった需要がないということも含めまして、実現にはなっておりません。しかし、規模のデメリットのある中小型炉ですら、いままでの調査結果では、たかだか2割高か5割高か、そのぐらいのコストの射程内に入っているわけで、そういうことを考えますと、もう少し知恵をしぼれば、スケール・デメリットを克服し得るような道があるのではないかという希望的観測があるわけでございます。一方、それじゃいまほんとにすぐできるのかといえますと、経済性の他に、軟弱地盤への立地の問題とか、安全の問題の実証とか、ということを含めて、現実にはばら色ではないということでございます。しかし、原子力で電気を起こすことそのものも、長い懐妊期間を経て実用化されたものでございますし、熱利用の場合も実際にたくさん使うようになるには、10年、15年という期間が必要なのかなという感じがいたします。そういった先のことを考えまして、その時点までに日本の経済規模が大きくなる、ないしは生活水準が高くなるといえますと、それらは需要をなんとかしなければいけないという点でも、あるいはさきほど飯倉さんがおっしゃった負荷率がよくなるという点でも、多分プラス向きに働くような感じがいたします。そういう将来に向けて、技術開発なのか、フィージビリティ・スタディなのか、あるいはもう少し詰めた検討なのか、

さらには実証的なものを造ってみるということなのか、そういったものを総合的に考えながら、いろいろ検討を進めていかなければいけないのが、この核熱利用の問題であるという感じがするわけでございます。

そんな意味で、いままでパネラーの方々からいろいろいただきましたコメント、そしてここにお集まりの方からいただきましたご質問、コメント等がお集まりのみなさま方になんらかのご参考になれば、たいへん幸いだと

思うわけでございます。2時間近くの間、進行にご協力いただきまして、どうもたいへんありがとうございました。パネラーの先生方もうも長時間いろいろコメントをいただきましてありがとうございました。それではこれでパネルを終りにさせていただきます。どうもありがとうございました。（文頭掲載順：あきやま まもる、いいくら ゆたか、おかだ のぼる、さわぐち ゆうすけ、たけだ こう）

閉 会 の あ い さ つ

常務理事 柴 田 誠 一

本日はお忙しいなか、また、雨の降るなかを多数ご出席いただきまして、誠にありがとうございました。今後ともこのような研究報告会を続けていく予定にしております。なお、さきほど山本所長からご紹介がありましたが、本年4月から賛助会員の方々には、私どもの研究所の研究活動の一端を報告いたすと同時に、みなさま方から研究活動についてのご意見を頂戴するような「月例研究会」を開催しておりますので、あわせてご協力をお願いしたいと思います。

簡単ではございますが、これをもって閉会のあいさつといたします。どうもありがとうございました。（しばた せいいち）

研究所のうごき

(昭和58年7月1日～9月30日)

◇ 月例研究会

第4回月例研究会

日 時：8月26日(金)14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F)1303会議室

議 題：

- (1) 石炭のガス化利用について
(主管研究員 松井一秋)
- (2) メタノールの燃料への利用について
(主任研究員 竹下宗一)

第5回月例研究会

日 時：9月30日(金)14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F)1303会議室

議 題：

- (1) 昭和59年度エネルギー関係新政策と予算
(通産省資源エネルギー庁総務課 稲葉裕俊 氏)
- (2) 燃料電池の熱併給利用について
(主任研究員 中村政則)

◇ 庶務事項

8月23日、通商産業省より試験研究法人等であることの証明を受けた(3回目)。

◇ 主なできごと

- 7月4日(月) 「ウラン濃縮関連技術並びにシステム調査」第3回委員会開催
- 5日(火) 「FBR安全性調査」第1回委員会開催
- 11日(月) 「原子力プラント運転の信頼性に関する研究会」開催(第30回)
- 15日(金) 第3回エネルギー総合工学シンポジウム開催
- 20日(水) 「自然エネルギー利用住宅システム技術の研究開発; EM委員会」第2回開催
「環境評価モデル調査」第9回委員会開催
- 25日(木) 「エネルギー技術国際比較」第6回委員会開催
- 30日(土) 「メタノール環境安全性検討」

第1回委員会開催

- 8月1日(月) 「ウラン濃縮関連技術並びにシステム調査」第4回委員会開催
- 5日(金) 「プレミアムガソリン利用動向調査」第1回委員会開催
- 8日(月) 「エネルギーフロンティア計画調査」第1回委員会開催
- 10日(水) EM委員会第3回開催
- 22日(月) 「エネルギー技術国際比較」第7回委員会開催
- 25日(木) 「環境評価モデル調査」第10回委員会開催
- 26日(金) 第4回月例研究会開催
「プルサーマル」第1回委員会開催
- 29日(月) 「FBR実用化」第1回委員会開催
「FBR安全性調査」第2回委員会開催
- 31日(水) 「LNG施設総合技術調査研究会」第2回開催
- 9月1日(木) 「プレミアムガソリン利用動向調査」第2回委員会開催
EM委員会第4回開催
- 2日(金) 「海洋地熱」第1回委員会開催
- 6日(火) 「エネルギー供給構造」第1回委員会開催
- 13日(火) 「メタノール環境安全性検討」第2回委員会開催
- 21日(水) 「エネルギー供給構造」第2回委員会開催
- 26日(月) 「バイオマス」第1回委員会開催
- 30日(金) 第5回月例研究会開催

◇ 人事異動

○ 7月1日付

- | | | |
|-------|-------|------------------------|
| 主任研究員 | 長谷川正悟 | 退職(出向解除) |
| 主任研究員 | 行松 保則 | 退職(出向解除) |
| 主任研究員 | 横山 二郎 | 退職(出向解除) |
| 主任研究員 | 善岡 卓夫 | 退職(出向解除) |
| (採用) | 佐藤 泰彦 | 主管研究員に任命、プロジェクト試験研究部配属 |
| (採用) | 近藤 謙一 | 主任研究員に任命、 |

プロジェクト試験
研究部配属

- (採 用) 田中 謙司 主任研究員に任命,
プロジェクト試験
研究部配属
- (採 用) 長田 武嗣 主任研究員に任命,
プロジェクト試験
研究部配属

○ 7月12日付

- 業 務 部 長 高橋 和雄 退職(出向解除)
- (採 用) 佐藤 幸男 業務部長に任命

○ 8月1日付

- 主任研究員 森田 友次 退職(出向解除)
- (採 用) 竹内 光 主管研究員に任命,
プロジェクト試験
研究部配属
- (採 用) 福井 文彦 主任研究員に任命,
プロジェクト試験
研究部兼企画部配
属

主任研究員プロジェクト試験研究部

上田 隆 企画部兼務任命

主任研究員プロジェクト試験研究部

近藤 謙一 企画部兼務任命

主任研究員プロジェクト試験研究部

田中 謙司 調査部兼務任命

主任研究員プロジェクト試験研究部

長田 武嗣 調査部兼務任命

○ 9月1日付

副主席研究員プロジェクト試験研究部

山本 彬夫 退職(出向解除)

- (採 用) 西川 毅 主管研究員に任命,
プロジェクト試験
研究部配属

◇ そ の 他 外国出張

- (1) 上田隆主任研究員は、「ウラン濃縮事業化経
済性調査」のため、7月9日から同月24日の
間、オランダ、英国及び米国に出張した。
- (2) 片山優久雄主管研究員は、「1983石炭科学会
議」への参加及び機関訪問のため、8月14日
から同月28日の間、米国に出張した。
- (3) 下岡浩主任研究員は、I T E C主催「第7
回国際原子炉構造力学会議」への参加のため、
8月20日から同月28日の間、米国に出張した。
- (4) 佐藤泰彦主管研究員は、「第11回世界石油会
議ロンドン大会」への参加のため、8月26日
から9月11日の間、英国に出張した。
- (5) 田辺義雄主任研究員は、「マグネット技術に
関する第8回国際会議」での論文発表及び欧
州における新型電池と電力貯蔵事情の調査の
ため、9月3日から同月17日の間、英、仏、
西独に出張した。
- (6) 桑原脩主管研究員は、L N G技術に関する
海外の最新情報の調査のため、9月10日から
同月25日の間、英、仏、スペインに出張した。
- (7) 松井一秋主管研究員は、合成ガスの製造・
利用に係る海外事情調査のため、9月10日か
ら同月25日の間、西独及びスウェーデンに出
張した。
- (8) 斉藤晴通プロジェクト試験研究部長は、「世
界エネルギー会議第12回定期大会」への参加
のため、9月17日から10月1日の間、印度に
出張した。
- (9) 柴田誠一常務理事は、欧州ローカルエネル
ギー交流調査のため、9月13日から同月30日
の間、仏、アイスランド、英、西独、スウェ
ーデン及びデンマークに出張した。

季報エネルギー総合工学 第6巻第3号

昭和58年10月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区新橋1-1-13

東新ビル

電話 (03) 508-8891

無断転載を禁じます。(印刷)和光堂印刷株式会社