

JNC TJ4420 2000-006

立地地域を重視した原子炉システムに関する調査(I)

(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書)

2000年3月

株式会社 テクノバ

立地地域を重視した原子炉システムに関する調査(I)

小奈勝也[※]

要 旨

核燃料サイクル開発機構においては、もんじゅ再開を目指して、システムの信頼性向上のための改良検討とあわせて、地域社会の理解を得る努力を実施している。また、もんじゅ再開後のもんじゅあり方は、わが国の高速炉開発のみならず、世界の原子力開発の流れに大きく波及するものである。したがって、国際社会が期待する原子力開発の理念を的確に捉えて、もんじゅの位置付けを明確にすることが重要である。さらに、これまでの原子力立地での問題点、特に、立地地域(地元)と電力消費地との様々な乖離要因を減少し得るような立地地域を重視した立場で、地場の意向を十分反映させた原子力システムのコンセプト作りに重点を置くことが不可欠である。また、もんじゅを機軸とする高速炉が、持続性のある信頼性の高いエネルギー供給システムに成熟していくためには、ライフサイクル経済、資源・環境経済といった社会経済の立場からも期待されるシステムでなければならない。

本調査では、もんじゅを活用の場に柔軟にデビューさせ得る方策として、新たな原子力産業の誘発と送電経費削減に期待の高い中小の原子炉コンセプトとそれらの運用イメージを調査した。すなわち、

- 今後の地域産業を牽引するエネルギー供給システム
- 後進国から先進国で設置期待度の高い原子炉システム
- ライフサイクル経済性の高い原子力開発システム

といった課題について調査検討した。

さらに、中小型炉の受入、運用についても近年活発になってきている産業形態の再編を視野に入れた提供方策について、調査検討を行った。

併せて、このような調査成果を、地域と情報共有するにはどのような手法があるかについても、提言を行った。

本報告は、株式会社テクノバが核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究の成果である。

契約番号:11C1597

サイクル機構担当者:敦賀本部 国際技術センター システム評価グループ

※株式会社テクノバ 常務取締役

目次

第1章 中小型原子炉のコンセプト調査	(1)
1. 船用炉	(2)
2. 可搬型炉〔超小型 FBR〕	(10)
3. 超安全小型炉〔4S:Super Safe Small & Simple〕	(18)
4. 長寿命安全小型炉	(27)
5. 資源拡大型炉	(33)
6. 標準型多目的炉	(38)
第2章 国際的産業形態の再編成からの新たな原子力産業形態の調査	(46)
1. 産業環境の捉え方	(47)
1.1 標準化が業界をリードする	(47)
1.2 CALS	(47)
1.3 産業再編の背景	(59)
1.4 産業再編の現状	(59)
2. 電力の動向	(67)
2.1 アメリカの電力再編の動向	(67)
2.2 電力再編とビジネス	(71)
2.3 エネルギーサービスカンパニー	(73)
2.4 わが国への影響	(76)

3. 海外原子力発電の経済性	(77)
4. 新たな原子力産業	(81)
4.1 「循環型社会」と「ものの回生」	(81)
4.2 原子力の循環型運用	(81)
4.3 始末・回生業	(82)
4.4 改めてリーディングカンパニーと歩む	(83)
4.5 市場の拡大化と原子炉の特化	(87)
5. スマート原子力エンジンの未来	(88)
第3章 地域との情報共有化方策の提言	(89)
1. 情報のフォーマット	(90)
2. 配信とインターフェース	(91)
3. シンポジウム	(93)
委員名簿	(93)

第 1 章 中小型原子炉のコンセプト調査

1. 船用炉

原子力船の特長について図 1.1 に示す。ディーゼル船に比べて、大出力で連続長時間航海が可能のため、大型船、高速船になればなるほど有利であると言える。それから長期にわたって燃料

原子力船の特長	
<input type="checkbox"/> 大出力で連続長時間航海が可能 (大型船、高速船に有利)	
<input type="checkbox"/> 長期にわたって燃料補給不要	
<input type="checkbox"/> 燃料タンクが不要	
<input type="checkbox"/> CO ₂ 、NO _x 、SO _x 等のガスを排出しない	
<input type="checkbox"/> 水中でも使用可能	
利用	軍船用船、民生用船、科学調査船

図 1.1

船用炉の特徴	
<input type="checkbox"/> 設計条件 <ul style="list-style-type: none"> ○ 波浪等による船体動揺、振動 ○ 操船による蒸気流量の急激かつ大幅な変動 ○ 船体事故対策：衝突、転覆、沈没等 	
<input type="checkbox"/> 船用炉は軽水炉のPWRが主に採用されている <ul style="list-style-type: none"> ○ 動揺の影響を受けやすいのでBWRは不利 (ロシアの原子力潜水艦の原子炉は鉛-ビスマス炉) 	
<input type="checkbox"/> 出力規模は超小型炉に位置づけられる(IAEAの分類) <ul style="list-style-type: none"> ◇ 大型炉 > 700MWe ◇ > 中型炉 > 300MWe ◇ > 小型炉 > 150MWe ◇ 超小型炉 < 150MWe 	

図 1.2

補給が不要であり、さらに燃料タンクも不要、CO₂等のガスも排出しない。また水中でも使用可能であるということで、軍船用船、民生用船、それから科学調査船として利用されている。

次に、船に積む船用炉の特徴を図 1.2 に示す。設計条件として、波浪等による船体の動揺や振動に耐える必要がある。それから、動き回るので、急停止、発進、旋回という大幅な変動、および船体事故対策が必要になる。扱いやすいということで、船用炉には PWR(加圧水型軽水炉)だけが使われている。動揺等の影響を受けやすい BWR(沸騰水型軽水炉)は不利と言われているが、ロシアの原子力潜水艦では鉛-ビスマス炉が使われているものも知られている。

出力規模は陸上炉と比べて非常に小さく、IAEA の分類では超小型炉に位置づけられている。大型炉、中型炉、小型炉、超小型炉とあり、原子力船の船用炉の電気出力は 150 メガワット以下のものが大部分である。

次に世界の原子力船について述べる(図 1.3)。開発の歴史から見ても、また数からいっても、

そのほとんどが軍用で、最初の原子力船第一号はアメリカ海軍の原子力潜水艦ノーチラス号で、4000トンである。その後、原子力航空母艦へ大型化している。現在、最大のものはニミッツ級と言って、排水量は 9 万トン、速力 30 ノット、原子炉は熱出力 350 メガワットの PWR を 2 基積んでいる。また、空母を守る巡洋艦では速力 33 ノットのロシアの巡洋艦が最大と言われている。

潜水艦も、最近ではだいぶ大きくなっており、排出量は約 5000 から 2 万トン、速力は 20 から 45 ノットもある。アメリカの場合、原子炉の熱出力は 150 メガワットで、PWR1基、これはシーウルフ級と呼ばれている。

世界の原子力船(軍用 ①)	
□	原子力船第一号は、1955年のアメリカ原子力潜水艦「ノーチラス」号(4千トン)
□	原子力航空母艦 ○最大; Nimitz級(米): 排水量9万トン、速力30ノット ○原子炉; 熱出力350MW、PWR2基
□	巡洋艦 ○最大; ロシアの巡洋艦: 排水量2.8万トン、速力33ノット
□	潜水艦 ○排水量; 約5千~2万トン、速力20~45ノット ○原子炉; 米国の場合、熱出力150MW、PWR1基 (Seawolf級)

図 1.3

世界の原子力船(軍用 ②)				
(ジェーン海軍年鑑 1993年)				
国名	艦種	排水量 (トン)	速力 (ノット)	隻数 (原子炉数)
中 国	潜水艦	5,000~8,000	22~25	17(17)
フランス	潜水艦	2,670~14,200	25	20(20)
	航空母艦	36,000	28	2(4)
イギリス	潜水艦	4,800~15,000	25~32	27(27)
	航空母艦	90,970~91,487	30~34	9(24)
米 国	潜水艦	3,513~18,700	20~35	168(168)
	巡洋艦	8,592~17,525	30+	9(18)
	潜水調査船	700	—	1(1)
ソ 連	潜水艦	2,500~26,500	22~45	224(430)
	巡洋艦	28,000	33	4(8)
合 計				481(717)

(参考) 1998年の世界の原子力発電プラント基数=440

図 1.4

ところが旧ソ連では、シベリア開発のためのエネルギー源として原子力は不可欠であるとの考えから、原子力砕氷船レーニンを建造した。これは実用船として30年間活躍した。ロシアでは現在も原子力砕氷船が運航されており、就航実績9隻、建造中1隻である。

図 1.6 はアメリカ、ドイツ、日本、ロシアの原子力船を年代順に並べたものである。このようにロシアには、たくさんの砕氷船があり、現在も就航している。

貨物船のサバンナとオットー・ハーン、それから砕氷船アルクチカと砕氷船バイガチの航行している様子を図 1.7 に示す。

一方、日本では昭和44年に「むつ」を進水させた。図 1.8 でむつの船体を見ると、原子炉は中央にある。船ということで、特殊な耐衝突構造とか、対座礁、それから浸水構造を頑丈に設けている。出力が36メガワットでPWR1基を積んでいた。

軍用に使われている原子炉の数は、世界の原子力発電所で使われている発電プラントの2倍近くの数になる。図 1.4 は1993年のジェーン海軍年鑑の統計データで、少し古いですが、中国、フランス、イギリス、アメリカ、ソ連のデータが書かれている。これで見ると潜水艦、空母ともにアメリカが一番多く、それからソ連の潜水艦、巡洋艦が4基で、合計で481隻になる。また原子炉の基数は717となる。

一方、1998年の世界の原子力発電プラントは440基である。これは軍事用の約半分ということになる。

民生用は軍用よりちょっと遅れて開発が進んでいる(図 1.5)。1960年にアイゼンハワーはアトム・フォー・ピースと宣言した。それを受けて、アメリカではサバンナ、旧西ドイツではオットー・ハーン、日本では「むつ」が実験船として建造された。

世界の原子力船(民生用 ①)	
□	1960年代に米国(サバンナ)、旧西独(オットー・ハーン)、日本(むつ)で実験船として建造
□	旧ソ連では、シベリア開発のため、原子力砕氷船(レーニン)を建造、実用船として30年間活躍
□	ロシアでは現在も原子力砕氷船を運航中(就航実績9隻、建造中1隻)

図 1.5

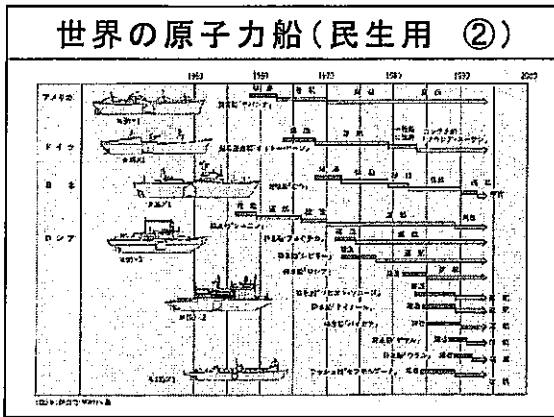


図 1.6

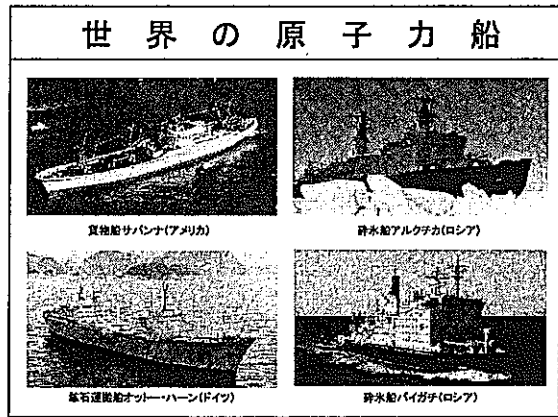


図 1.7

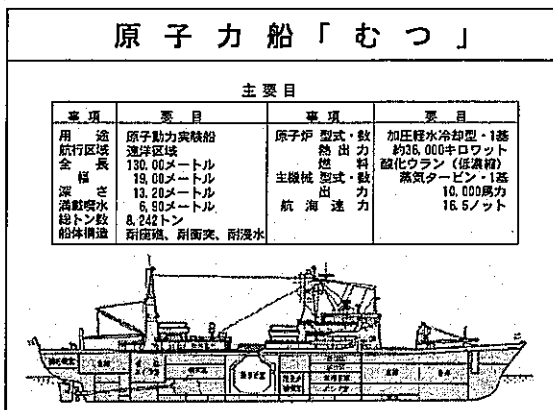


図 1.8

図 1.10 は「むつ」の開発成果をまとめたものである。国産技術で設計・建造したものであるということ。そして技術基盤を確立したこと。それから種々の運航条件においても、原子力の船用炉は推進用機関として非常に優れているということを実証した。さらには揺れや傾斜等があっても、プラントは大丈夫であったというデータを実際に取得した。

このような実験データ、あるいは設計・建造記録は、いまデータベースとして活用されている。それからいままでもなかった原子炉系と船体系を統合した原子力船シミュレーターの開発と活用も行われている。実用船として「むつ」が使われるためには経済性が求められ、もっと軽く、小型化ということで、いろいろな改良研究も進められてきた。

図 1.9 は 100%出力を達成したときの航行時のレートで、荒い海を航行したときの映像が映っている。有義波高が 6 メーターのところを航行している時のものである。

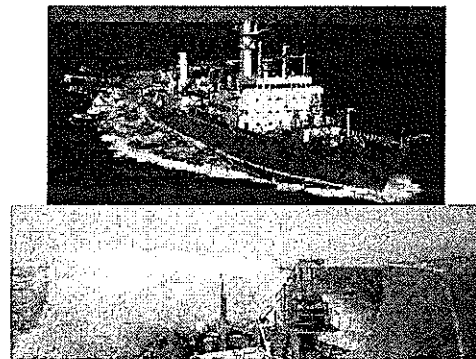


図 1.9

- ### 「むつ」の開発成果
- 国産技術で設計・建造し、技術基盤を確立した。
 - 種々の運航条件においても、推進用機関として優れていることを実証。
 - 船体動揺、傾斜等が原子炉プラントへ与える影響データを取得した。
 - 実験データ、設計・建造記録はデータベースとして活用。
 - 原子炉系と船体系を統合した原子力船シミュレーターの開発、活用。
 - 改良船用炉研究開発への活用。

図 1.10

改良船用炉研究
原子力委員会決定、「原子力船研究開発の進め方」 昭和55年4月11日
小型・軽量で、かつ、経済性、信頼性の優れた船用炉の開発を中心とする研究開発を長期的な展望にたつて推進することとし、まず、開発対象として最適な船用炉等の概念の確立に必要な設計評価研究を行い、その成果を踏まえて、以後の研究開発計画の具体化を図るものとする。

図 1.11

第一に考えられる用途は、ソ連で使っているような砕氷観測船で (図 1.12)、それから高速のコンテナ船である。このあたりが経済的には成立するのではないかと考えられる。もう少し夢のあるのは、超高速 50 ノットのコンテナ船である。

このような背景から、MRX という概念が検討されてきている (図 1.13)。つまり従来の設計概念では重くて小型化できないので画期的なアイデアを取り入れられたものである。

まず原子炉容器の中に炉心、蒸気発生器、加圧器、それからポンプ等、全部含めている。いわゆる一体型の原子炉としてコンパクト化を図っている。それから外側には格納容器がある。この中に水を入れて、上部には窒素ガスを入れる。これによって普通は外側に設けなければならない遮蔽体が不要となる。こうして大幅な軽量化が可能となる。

この改良研究は、国の基本計画に従って行われている (図 1.11)。昭和 55 年の原子力委員会が決定した原子力船の研究開発の進め方に従っているものである。内容は小型軽量で、かつ経済性、信頼性のすぐれた船用炉を研究するというものである。

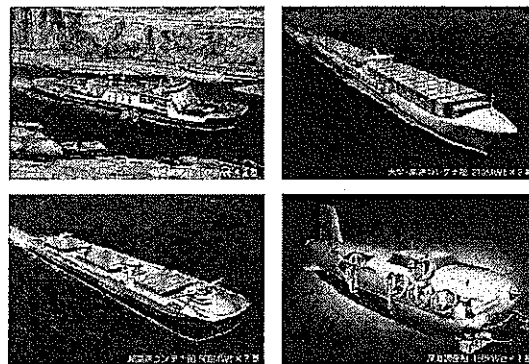


図 1.12

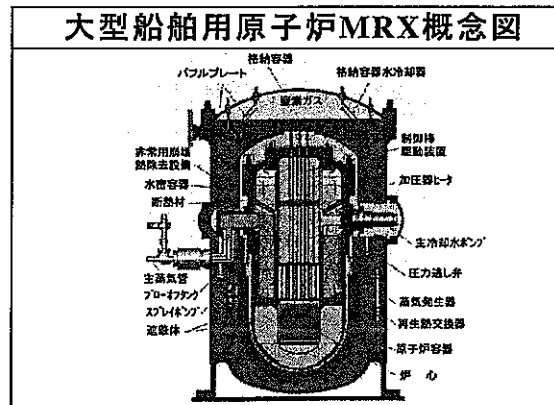


図 1.13

主要特性を簡単に説明しておく(図 1.14)。「むつ」と比較すると、MRX の出力は約3倍の 100 メガワットとなる。小型化ということでは、格納容器の全体の内径と高さが、だいたい「むつ」の半分になっている。また、重量も「むつ」の半分になっている。出力が3倍になっているにもかかわらず、大きさ、あるいは重さが半分になっている。つまり性能が6倍アップしたと考えられる。

主 要 特 性		
	MRX	「むつ」
原子炉出力(MWt)	100	36
一次系圧力(MPa)	12	11
炉心等価直径/有効高さ(m)	1.5/1.4	1.2/1.0
炉心平均出力密度(kW/l)	41	35
燃料寿命(年)	8	2
蒸気発生器	貫流式A1加圧型	再循環型Uチューブ型
格納容器	鋼製水張り式	鋼製乾式
格納容器設計圧力(MPa)	4	1
格納容器内径/高さ(m)	7.3/13.2	10/10.6
重 量(ton)	1,600	3,200

図 1.14

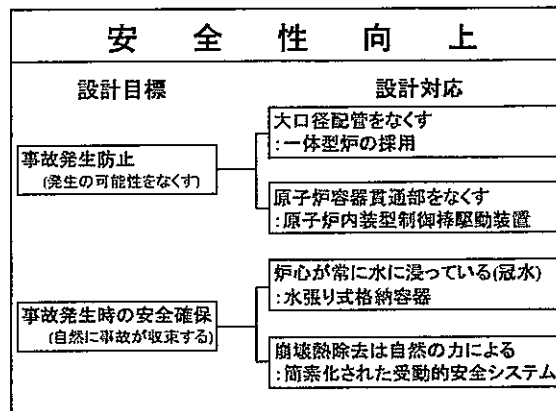


図 1.15

しかし、何といっても求められるのは安全性の向上である(図 1.15)。

設計目標としては、まず事故の発生の可能性をなくすようにする。それに対する設計対応として、軽水炉の場合では、とにかく炉心が水に浸かっていることが一番の前提になる。逆に言えば、軽水炉の場合、水がなくなる事故(冷却材喪失事故)が非常に厳しいということになる。

まず大規模な冷却材喪失事故が起きないように、破断を想定する大口径の配管をなくす。つまり一体型炉を採用することにより大口径配管がないようにする。それからもう一つは原子力圧力容器の中に大部分のものを封じ込み、外へ貫通する部分を削減する。一体型でしかも大部分の機器を原子炉圧力容器の中に入れておく方式にする。そのためには制御棒駆動装置を原子炉圧力容器の中に封じ込める必要があり、世界で初めて原子炉圧力容器内装型の制御棒駆動装置を採用した。これの開発もほぼ終了している。

それでも、もし事故が起きたときは、とにかく自主的に止まって、自然に事故が収束するようにすることが信頼性の高い安全である。つまりどんな場合でも炉心が水に浸かっているようにする。そこで水張り式の格納容器を採用している。この機能については、以下に言及する。

それから崩壊熱除去については、これも自然循環で簡素化された自動的システムということで対応しようと考えられている。

図 1.16 は安全系である。格納容器に水が入っており、上に窒素ガスが入っている。陸上炉にあるような ECCS ポンプとか、バルブとかいうものはない。これだけでどうやって炉心の水を確保するかと言うと、たとえば原子炉圧力容器に接続している配管の一つが破れたとすると、原子炉圧力容器内の水が格納容器内に出る。ところが格納容器には水が入っているので、すぐ一杯になって圧力が高くなり、それ以上原子炉容器内の水は出ていかない。従って、常に水位はこの辺まであり、炉心は水に浸っている。だから事故が起きても炉心の冠水は保たれる。

それから崩壊熱の除去であるが、崩壊熱をとるためのポンプなどは存在していない。EDRSという熱交換器を一次系の水が自然循環して、一次系の熱を格納容器の中の水に伝える。格納容器の水に伝わった熱を、ヒートパイプで外に逃がす。動的な作動はEDRSの弁だけで、これが1回動けば、あとは自然に崩壊熱が取れるという仕組みである。

このような安全を確認するために、配管の破断を想定した事故解析を行っている。

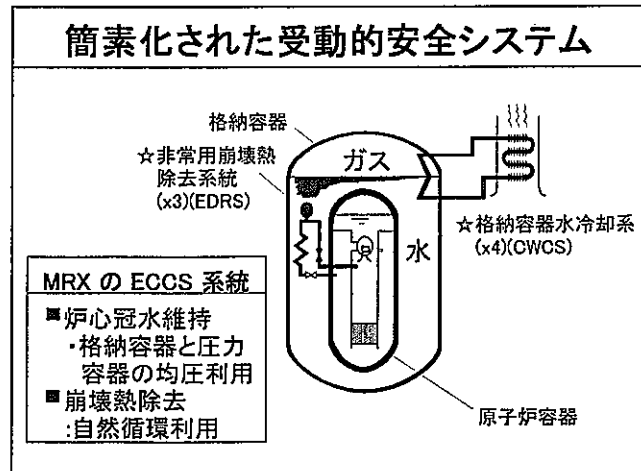


図 1.16

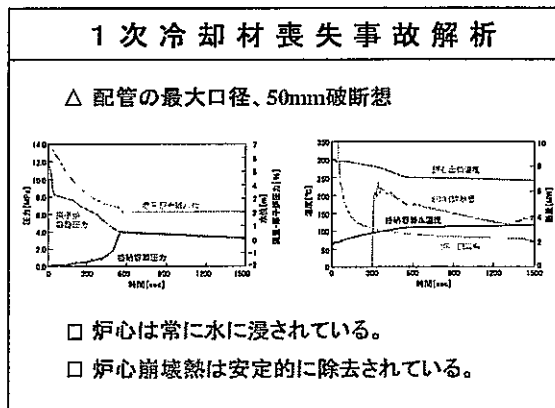


図 1.17

図 1.17 は最大で 50 ミリの配管が破断したと想定した解析結果である。これは原子炉圧力容器の圧力と、格納容器の圧力を示し、横軸に時間を取っている。この両方の圧力がすぐ同じ値になって落ち着いている。そうすると原子炉圧力容器から水が出ていかないので、炉心の水位は一定になっている。次の図から発生する崩壊熱以上の熱を EDRS により原子炉から取っている。したがって炉心は常に水に浸されており、また崩壊熱は安定的に除去されていることが確認されている。

図 1.18 は実際に技術要素として開発していることを示したものである。原子炉圧力容器の内装型の制御棒駆動装置の開発である。

まず原子炉圧力容器の中に制御棒駆動装置が全部入るようにしてある。だから、制御棒飛び出し事故は考えられない。それから、原子炉圧力容器及び格納容器スペースが非常に有効に利用できることから、小型化に役立つ。それから溶接部が減少している。この装置についての開発は完了している。

それから、実用化のためには、運転ばかりでなく点検保守が大事になる(図 1.19)。

一括搬出方式とコンセプトが検討されている。これは、原子力船をドックに置いて、燃料を装荷し

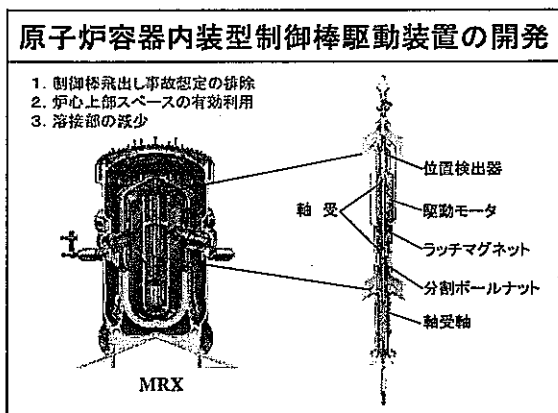


図 1.18

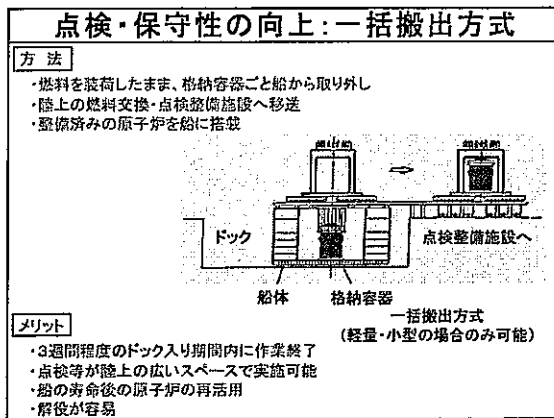


図 1.19

経 済 性 向 上	
<p style="text-align: center;">条件</p> <p>□ディーゼル船との比較</p> <p>□船種:コンテナ船</p> <ul style="list-style-type: none"> ・航路:アジア~北米 ・積載数:4,000~8,000TEU ・船速:25~34ノット ・稼働期間:20年 <p>□コスト</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建造費、船員費、燃料費、港費 	<p style="text-align: center;">単位</p> $RFR = \frac{T_c}{N}$ <p>RFR; Required Freight Rate</p> <p>T_c; 船の生涯で発生する経費 (資本費、運航費等)</p> <p>N; 船が生涯に運ぶコンテナ数</p>

図 1.20

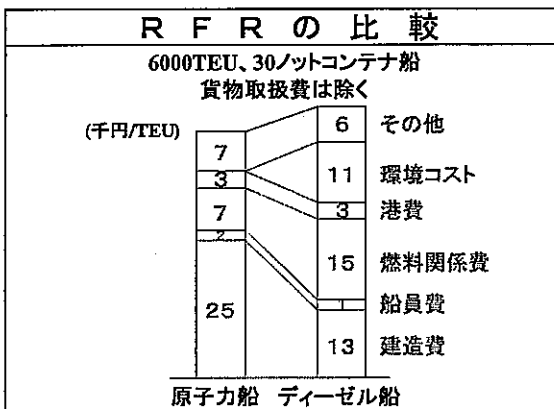


図 1.21

たまま格納容器ごと原子炉を船から取り出して、陸上で燃料交換・点検整備施設へ移送して、そしてまた整備済みの原子炉を船に搭載するというものである。

この作業が進むと、3週間程度のドック入りという短期間で済むようになる。それから陸上の広いスペースで点検等が実施できる。

しかし、何といたっても経済性がよくないといけない。図 1.20 は経済性のコスト評価をしたものである。ディーゼル船と比較する船種として、コンテナ船を代表として選んだ例で、航路はアジア-北米航路とする。コンテナを 6000 個から 8000 個積んで、船のスピードを変えた場合の結果を示している。建造費、船員費、燃料費、港費といったコストは RFR という単位であらわしている。RFR は、船の運転生涯期間にわたって運んだコンテナ1個当たりどのくらいの経費がかかるかというもので、図 1.21 はコンテナを 6000 個積んで 30 ノットにした場合の原子力船とディーゼル船の比較をしたものである。コストがかかるほうが当然不利となる。まず建造費からいうと、なんと言っても原子力船のほうが多くかかる。

それから船員費はほとんど同じであるが、逆に燃料関係費も環境コストもディーゼル船は高くなる。そのため最終的には原子力船のほうが有利となる。

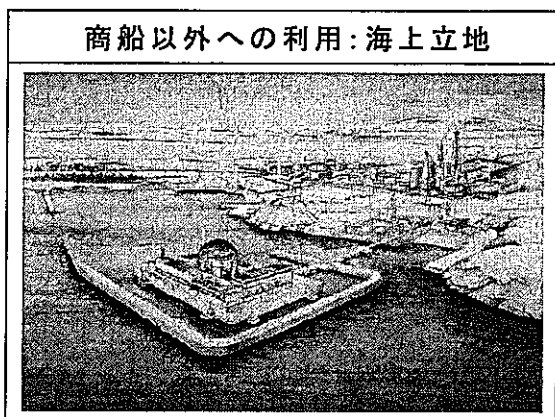


図 1.22

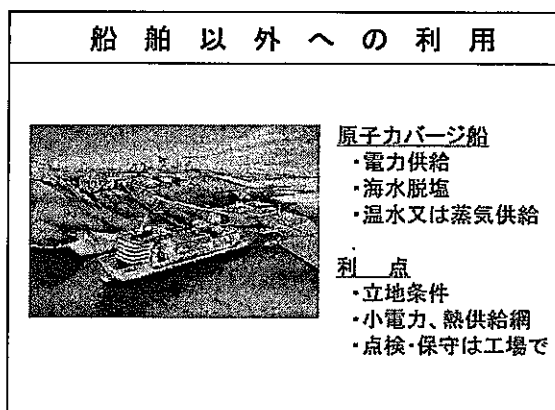


図 1.23

船用炉は、動揺等の船体運動とか、そういう非常に厳しい条件に耐えなければいけない。また衝突などの船体事故時にも健全でなければいけない。軍事用でも、またロシアの砕氷船のように民生用でも原子力船は現実に使われ、実用化されている。またわが国の原子力実験船「むつ」の研究開発は完了して、その成果は船用炉の改良研究に活用されている。

設計研究中の大型商船用原子炉 MRX は、安全性向上、軽量・小型、点検・保守性に非常に優れた一体型の PWR である。高速コンテナ

船のコスト評価をすると、大型になるほど有利になる。それから最後に改良船用炉はその特徴を生かして、船舶以外にも原子力バージ、それから海上立地に用いることによって、いろいろな地域発電とか熱供給等に多目的に利用ができる。

次に船用炉の船舶以外の利用ということでは、まず原子力バージが考えられる(図 1.22)。

海岸べりに停泊している原子力バージから、電力供給、海水脱塩、それから温水または蒸気供給をする。立地条件が非常にゆるやかで、沿岸なら大部分の所へ行ける。それから小規模の電力網とか熱供給網に対応できるので、インフラのない途上国にも可能である。点検保守は、工場へ持っていけばできる。

もう一つの利用としては海上立地のケースで図 1.23 に想像図を示す。いろいろな所に原子力エネルギー供給ができる。

これまでのまとめを図 1.24 に示す。

ま と め	
1.	船用炉は、動揺等の船体運動、急激な負荷変動に耐え、また衝突などの船体事故時にも健全でなければならない。
2.	世界の原子力では、大出力で連続長時間航海が可能のため船用炉は、軍事用にも採用され、民生用にはロシアの砕氷船に現在も採用されている。
3.	わが国の原子力実験船「むつ」による、研究開発は完了し、その成果は船用炉の改良研究に活用されている。

ま と め	
4.	改良船用炉、大型商船用原子炉MRXは、安全性向上、軽量・小型化、点検・保守性向上等を図った一体型PWRである。
5.	高速コンテナ船(極東アジア～北米航路)についてディーゼル船とコスト比較をすると30ノット、6,000TEU以上の高速・大型化で有利となる。
6.	改良船用炉は、その特徴を生かし、船舶以外に原子力バージ、海上立地に用いることにより、地域発電、熱供給、海上脱塩などの多目的利用が可能である。

図 1.24

2. 可搬型炉〔超小型 FBR〕

高速深海炉とは

- NaK冷却型宇宙炉を耐圧容器内に設置して、海底で発電できるようにしたもの。
- 環境問題研究および地球科学研究用の、多数の海洋観測器の電源として使用する。

図 2.1

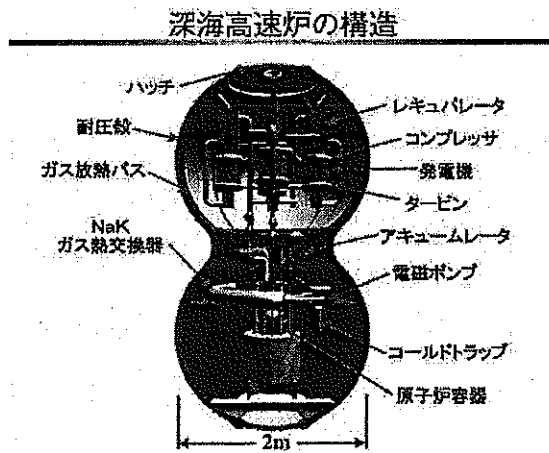


図 2.2

2 番目は FBR 技術、特に製作技術の保持ということになる。こういうことから、もんじゅ計画をサポートしようという意図もある。

3 番目は宇宙研究用にも使えるということである。そのときは数百キロワット以上を考える。炉自体を宇宙へ打ち上げるということではなく、高山に設置してレーザーで人工衛星にエネルギーを送ろうというアイデアである。

さらに数百キロワット以上なら、将来的には海底油田への応用も考慮できる。

高速深海炉について記載する(図 2.1)。これは、以前宇宙用にだいで研究開発された NaK(ナトリウムとカリウムの合金)冷却型宇宙炉を耐圧容器内に設置して、海底で発電できるようにしたものである。環境問題、及び地球科学研究用、多数の海洋観測機器の電源として使用することが考えられる。

図 2.2 は概念図である。耐圧容器の中に、下が一次系で、上が二次系としてガスタービンが置いてある。それで全体を海の中へ沈める。これが深海高速炉の構造です。

図 2.3 に研究目的を記す。まず1番目は、海洋研究用の電源として数十から数百キロワットのものを開発する。これは無人有人海底基地用の電源となる。

高速深海炉研究目的

1. 海洋研究用電源(数十～百kW)
無人/有人海底基地(日本は海洋研究で世界一)
2. FBR技術保持(もんじゅ計画サポート)
特に製作技術の保持。(実用化に成功すれば、問題ない。)
FBE社本社の移動:
東京青山→品川→敦賀(社長居住マンション)
3. 宇宙研究用電源(数百kW以上)
高山に炉を設置し、レーザーで人工衛星にエネルギーを送る
(アイデア段階。航空宇宙技術研究所の報告書に記載。)
将来の海底油田への応用も考慮。

図 2.3

海洋新動カシステムの調査研究
報告書
平成5年3月
海洋科学技術センター
潜水機種別の検討目標

運用機種	母船式 潜水艇	自立式 大型潜水艇	無人無人 潜水艇	長期大型 無人ステーション
出力	10~20kW	60~160kW	20~30kW	5~10kW/50kW
深 度	6500m	500~2000m	500~6500m	2000~6500m
航続時間	7日	10~20日	50日	1年

新動カシステムを搭載した潜水機種の検討の程度については、全ての組み合わせを対象としての検討には大変な労力が必要とする事から、代表例を検討するに留め、下表に示す組み合わせを対象として検討した。また、検討対象から除外した母船式潜水艇と長期大型無人ステーションについては動力源に限定した検討を行う事とした。

図 2.4

ニーズと提案設備との対応

時期・研究内容	タイプ1 母船式 潜水艇	タイプ2 自立式 潜水艇	タイプ3 無人無人 潜水艇
1. 地球環境調査の継続 （ロビンソン・ローザ）	○	×	?
深層大規模 （深層での探査/水中基地、深層でのア ロウの立機）	○	×	+
特殊環境 （深海での探査、特殊環境のフロンティア シミュレーション、特殊環境での調査等）	○	×	?
マイグロストラクチャー （特殊環境での調査）	○	×	?
調査・調査機種の開発	×	○	○
2. 海洋内環境調査/人工島の環境 調査機種	○ (浅層)	○ (中層)	×
調査・能力	○	○	○
調査・調査機種の開発	○ (浅層)	○ (中層)	○ (深層)
調査機種の開発	○	×	×
調査機種の開発	×	○	○
調査機種の開発	△	△	×
調査機種の開発/人工島の環境 調査機種	×	○	○
調査機種の開発/人工島の環境 調査機種	×	○	△
調査機種の開発/人工島の環境 調査機種	×	○	○
調査機種の開発/人工島の環境 調査機種	○	○	×

○ : 適
△ : 可
× : 不可
? : 要調査

図 2.5

AUV というのは、オートノマス・アンダー
ウオーター・ビークルといって、海底を飛ぶ飛行
機のようなものである。まるで夢物語のようである
が、すでに実用化されている。琵琶湖の研究
所では、汚染の実態把握のために、計測器を
積んだ AUV が湖底を測定する。

大事なものは需要である。いまだれぐらい一般
の方がサポートしてくれるかということが重要で
ある。平成5年3月の海洋科学技術センターの
報告書では、長期大型海底無人ステーション
の検討を行っている(図 2.4)。5 ないし 10 キロ
ワット、50 キロワットのを海底で1年間以上
やりたいというものです。これに応えるものとし
ては、高速炉が最適だろうと考えられる。

図 2.5 には原研で実施された深海・海洋へ
の調査における、ニーズと提案設備との対応
が示されている。タイプ 3 の海底動力ステ
ーションを見ると、地球内部変動メカニズムの解
明、深海生態系の解明に○がついている。100
キロワットぐらいが想定されているようである。

図 2.6 は日本の海洋専門家の書かれた無人
基地で、センターステーションがブイにあって、
人工衛星で陸上からデータのやりとりをしてい
る。

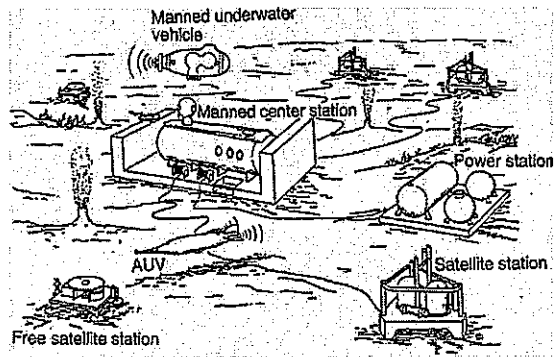


図 2.6

図 2.7 は海洋の専門家による有人基地の構想である。パワーステーションがあって、同じように AUV がある。海底火山のそばに造って、ずっと観察したいという海洋専門家の願望が伺える。

海底に原子炉と音響検出機を置き、地上から超音波を発信すると、この交差点で海底から海表面まで、温度とか塩分とか全部測定することが可能になる(図 2.8)。最近は、エルニーニョ現象などを予測するために、海洋開発センターと気象庁が地球シミュレーター開発ということでも関心を寄せられている。

図 2.9 は、コロンビア大学のW・ブロッカー教授の新聞記事である。海流は表層流と深海流に分かれて、2000年ぐらいの周期で流れているそうです。懸念されるのは、地球温暖化によって、この循環が停止したり、弱まったりすることである。2000年ぐらいで流れているものが一挙に止まったら、特にCO₂問題では大変な目に遭うことになる。したがって、海洋観測は一層重要になる。図 2.10 は、このような研究の目的のバックグラウンドになるものである。

海、即ち太平洋は永久に日本の横に存在している。われわれ日本人は世界で最も海に親しみを感じられる民族性をもっている。

開発が望ましい理由

- (1) 海即ち太平洋は永久に日本の横に存在する。日本人は世界で一番海に親しみを感じる。他の科学技術分野は総べて海を研究対象にする。女性科学者の賛成あり。
- (2) 長期間遠隔運転の可能なFBR技術が最適の分野である。
- (3) 超小型FBRにはコスモス宇宙船電源という実用化例がある。(FBR技術の唯一の実用化例)

図 2.10

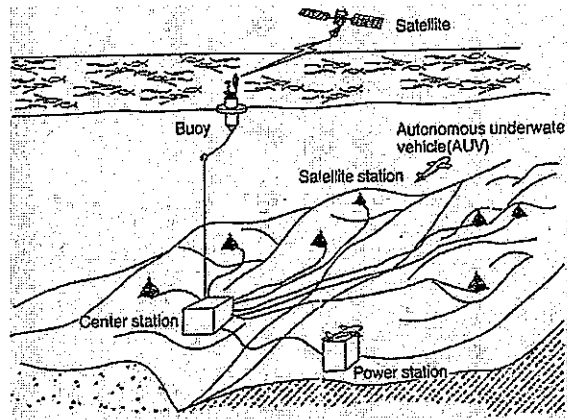


図 2.7

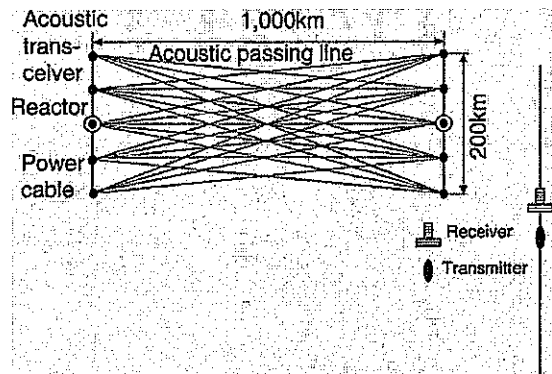


図 2.8



図 2.9

海は、全ての分野の研究対象となり得る。金属資源、気象、生物、みんな海を対象にしている。ところが、「むつ」の事象があってから、原子力が海を対象にすることはタブーになっているようだ。

FBR が最適だというのは、リモートコントロールができるからである。水処理が必要な軽水炉だと、長期間のリモートコントロールは難しい。

次いで、宇宙開発用電源としての可能性に言及する。

図 2.11 は原理図である。炉容器があって、一次系で回っている。これはベロー式のアキュムレーターで、NaK の熱膨張はこれで対応する。カバーガスを用いない無液面型の炉である。二次系は、NASA で宇宙用に開発されたガスタービンを使うことを考えた。冷却器があって、冷却は海水によるとした。このシステムはアキュムレーター採用の無液面型である。耐圧殻に小さな穴が開いても一次系の内外が均圧であるから、何百気圧かかっても炉容器は壊れないという設計になっている。

図 2.12 は NASA で開発したもので、高さが約1メートル、円筒部直径が約40センチの10キロワットのタービンです。

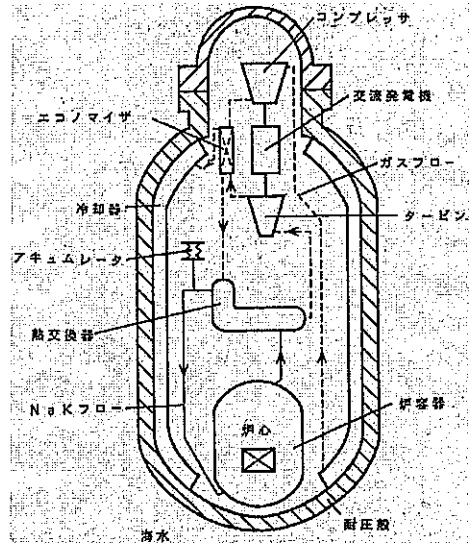


図 2.11

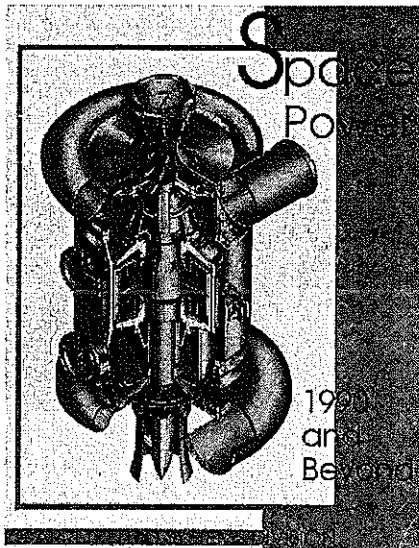


図 2.12

図 2.13 は 20 キ

ロワットぐらいのものである。20 キロワットだと高さが 3.9 メートル、40 キロワットだと 5.2 メートルの高さになる。原子炉、遮蔽材、熱交換器がある。

アキュムレーターがあって、10 キロワットのガスタービンが4台あるという設計になっている。

図 2.14 は制御要素平面配置図である。中には制御棒は全然入っていない。回転ドラム式の制御ドラムが

あり、吸収材(黒い部分)が炉容器側に動いたときに、中性子を全部吸収して、シャットダウンする。炉を起動するときには、黒い部分を全部外側へ移動すれば、炉容器周辺は反射材になる。中性子の炉容器が外へ出ててもまた元へ戻るといふことで、臨界になる。

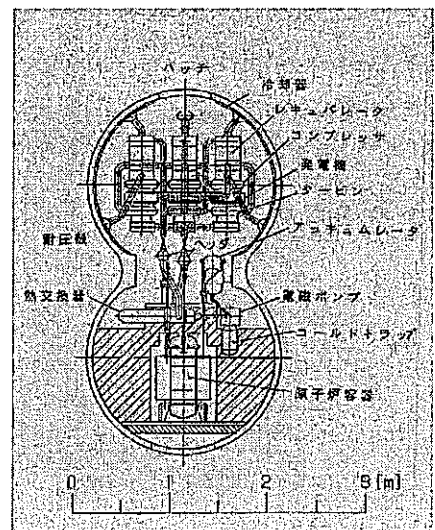


図 2.13

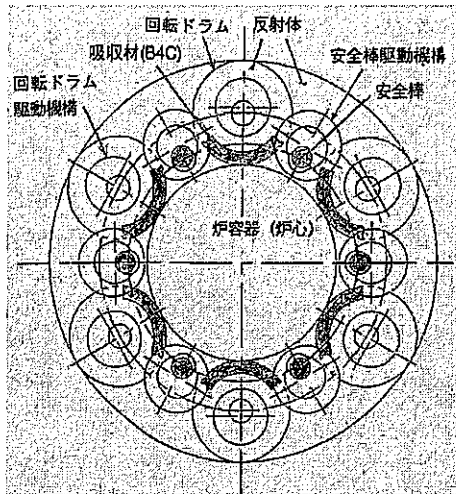


図 2.14 制御要素平面配置

サーマルパワーは 215 キロワット、エレクトリックパワーは 40 キロワットのものである。それから燃料は窒化ウラン(酸化ウランも可)で、濃縮度は 40% から 60% の中濃縮を使う。構造材はステンレスで、二次系は、ヘリウム・ゼノンのガス系。深海の温度は 2°C という想定である。それでだいたい 26.6 トンという設計になる。

次に安全性について図 2.16 に整理する。本システムの内蔵放射能(燃料などに入っているもの)は運転中でも、1980 年代に合法的に北大西洋スペイン沖に投棄された全放射エネルギーの約 5 万分の 1 という超微量となる。また、万一システムが損傷した場合でも、引き上げて陸上基地に輸送し、補修する。壊れた場合でも海へ残しておかないという概念である。

機器は一応海水漏洩時でもベローの作用で、炉容器は破損しないということを考えている。深海の高圧下では、NaK-水反応は破壊エネルギーを発生しない。水素ガス等は膨張しないので、機械エネルギーは出ない。また、炉容器が破損しなくても、母船に揚げた時に、どこかパイプが破れたら、そこで NaK-水反応が起こるのではないかと想定もされが、40 キロワットぐらいなら、NaK の量はだいたい 100 キログラムぐらいで、カリウムはナトリウムよりも重たいことから、(全部ナトリウムだったら 80 キログラムになる)。大洗で、もんじゅ用として、100 キログラムまでのナトリウム水反応の実験データがあり、それで対処できる。

また、100 キログラムとはいっても、実際の反応は徐々に進むので、ひどい反応ではないと考えられる。

図 2.15 はだいたいの主要設計値である。

Specifications of Power Unit for Sea-Bottom Base

Item	Value
Primary system	
Thermal power	215 kWt
Electric power	40kWe
Primary coolant	NaK (Na; 0.22, K; 0.78)
Coolant temperatures	600/500°C at reactor outlet/inlet
Fuel	
Cladding tube material	Hastelloy N
Structural material	Stainless steel
Secondary system	
Secondary coolant	Mixture gas of He and Xe
Gas Temperature	585°C at turbine inlet 50°C at cooler outlet
Pressure hull	
Inner diameter	2.92m
Thickness	80.4mm
Material	Titanium alloy
Seawater temperature	2°C (3,500m in depth)
Total Weight	26.6 × 10 ³ kg

図 2.15

安全性

(放射能)

本システムの内蔵放射能は、1980年代に合法的に北大西洋に投棄された全放射エネルギーの約5万分の1と微量である。

万一、本システムが損傷した場合には、引き上げて陸上基地に輸送し、補修する。

(機器)

海水漏洩時でもベローの作用で炉容器は破損せず。深海の高圧下ではNaK-水反応は破壊エネルギーを発生せず。

図 2.16

図 2.17 は損傷したときの回収概念図である。ラックに組み込んだ深海炉を、吊り上げケーブルで原子炉回収母船に積み上げているところをあらわしている。

図 2.18 はフランスの宇宙炉の研究評価である。NaK 炉、リチウム炉等の炉系を項目別に見たもので、技術的難易度評価をやっている。

ASSESSMENT OF REACTOR TECHNOLOGY FOR 20 kWe NUCLEAR BRAYTON POWER SYSTEMS						
REACTOR CRITERIA	LIQUID METAL FAST REACTOR			GAS COOLED REACTOR		
	UO ₂ /NaK 316SS	UO ₂ /NaK 316SS	UO ₂ /NaK 316SS	UO ₂ 316SS	UO ₂ 316SS	UO ₂ 316SS
LAUNCH SAFETY	None	None	None	None	None	None
DETAILED SAFETY	Essential redundancy of the liquid metal tank system Follow-up risk of stability in case of reactor shutdown? Emergency of subcooled or over heat protection?			None	None	None
NET ELECTRICAL OUTPUT FOR 20 kWe	2210 W	2210 W	2210 W	2100 W (1990 W)	2100 W	2100 W
INDICATED POWER DENSITY FOR 20 kWe	4.9 g/kWh	4.8 g/kWh	4.8 g/kWh	5.1 - 2.3 g/kWh	5.0 g/kWh	5.0 g/kWh
STARTUP PERIOD	10 min (cold)	70 min (cold)	70 min (cold)	None	None	None
IN OPERATIONAL RELIABILITY	Essential redundancy of emergency loop	Essential redundancy of emergency loop	Essential redundancy of emergency loop	Essential redundancy of emergency loop	Essential redundancy of emergency loop	Essential redundancy of emergency loop
CRITICAL SAFETY CONSIDERATIONS	Essential redundancy of liquid metal tank system Follow-up risk of stability in case of reactor shutdown? Emergency of subcooled or over heat protection?			None	None	None
OPERATIONAL COMPLEXITY	None	None	None	None	None	None
REQUIRED SUPPORTING DEVELOPMENTS	None	None	None	None	None	None
SIZE IN COST AND VOLUME	Low	Medium	High	Medium	High	High
COMPARATIVE EVALUATION OF RISK	Low	Medium	High	Medium	High	High
POTENTIAL OF EXTRAPOLATION	Low	Medium	High	Medium	High	High

図 2.18 Comparative Evaluation of 20-kWe

ただ、そうは言っても、宇宙炉の使用年数は約10年で、海底の場合は30年は使いたい。そうなるに腐食性が大きいと言われるNaKを使用するには課題がある。

図 2.20 は、他電源との比較を示している。まず 50 キロワット、水深 6000 メートル、1年間で考えている。いま話題の燃料電池だと、総重量が 567 トンになるが、高速深海炉なら 38 トンで、しかも 30 年間ずっと使える。まったく比較の対象にならない。

その次に経済性を考える。いろいろな問題があるから、一言で経済性につき述べるのはなかなか難しい。が、20 キロワットから 40 キロワットで 30 年間使うと仮定する。高速深海炉は 50 億円から 100 億円くらいで、銀-カドミウム電池だと、市販価格で単純に計算して 7500 億円から 3 兆円になる。

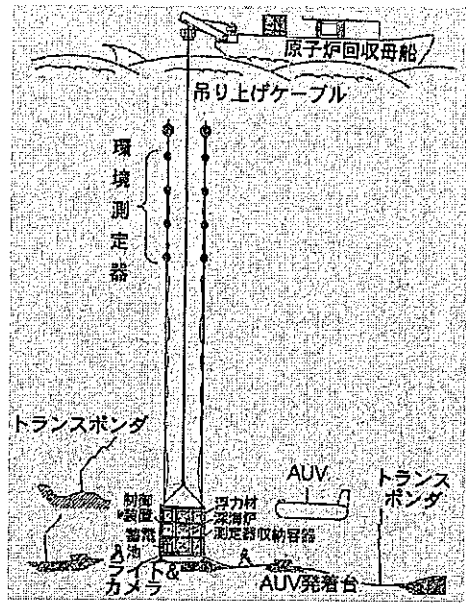


図 2.17 損傷深海炉回収概念図

図 2.19 に書いてあるのは、フランス宇宙炉 ERATO 計画の技術評価の一部である。UO₂、NaK、316 ステンレス系で冷却材温度が 650 °C 以下だと、REQUIRED SPECIFIC DEVELOPMENTS (開発課題) は無しと書いてある。

仏宇宙炉ERATO計画での技術評価

UO₂ / NaK / 316SS 炉

冷却材温度: 650°C以下

REQUIRED SPECIFIC DEVELOPMENTS(開発課題)は無し

図 2.19

他電源との比較

50kWe, 水深6,000m, 1年間

燃料電池 総重量567トン
高速深海炉 38トン

20-40kWe, 30年間(経済性)

高速深海炉 50-100億円
電池(銀-カドミ) 7,500億円-3兆円

図 2.00

設計が5年間、炉外試験が5年間、それから炉内試験になる。また炉内試験では、いまは燃料として40%から60%の中濃縮のウランを想定して行っているが、フランスなどが関係してくれば、可能性は高くなる。日本だけでやる場合でも、日米協定で認められている20%濃縮のウラン、それからプルトニウムの富化度50%が使用可能である。地上炉の場合、プルトニウムを使ってもいい。

図 2.22 は月に置いたときの想像図である。宇宙研究用炉ということで、地上高地に設置して、レーザーエネルギーを送る(図 2.23)。

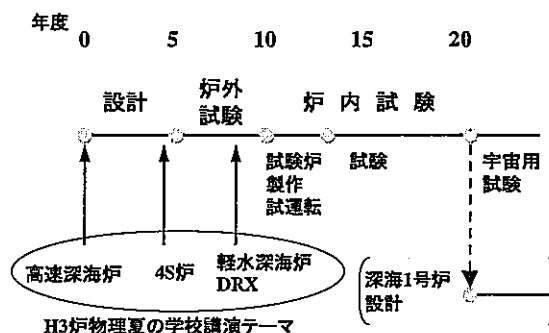
宇宙研究用炉

- 小型高速炉を地上高地に設置し、そこから軌道上のLOTV (Laser Orbit Transfer Vehicle)にレーザーでエネルギーを送るシステムの電源とする。
- 500kWeのレーザー出力を発生させるための電力5MWeを発電する。電気/光変換効率率は10%。
- 1次冷却材としてNaK、2次冷却材としてガス(例えば空気)を使用し、発電はガスタービンにより行うものである。
- 人工衛星を使用して遠隔操作による運転が可能。

図 2.03

ただし、3年ごとに取り替える蓄電池なら10分の1になる。そういう議論も成り立つが、それでも750億円から3000億円である。厳密な数字ではないが、単純計算でこれほどの差があれば、経済性でも負けないであろう。

図 2.21 は開発スケジュール案である。



開発スケジュール(案)

図 2.21

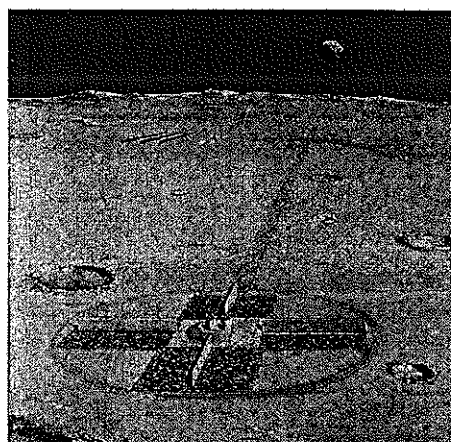


図 2.22

運転制御は別の軌道上の人工衛星で行うことを考えている。500キロワットのレーザー出力を発生させるための電力5メガワットを発電する。炉としてはかなり大きく、横1メートル、高さ3.8メートルの炉容器になる(図 2.24)。

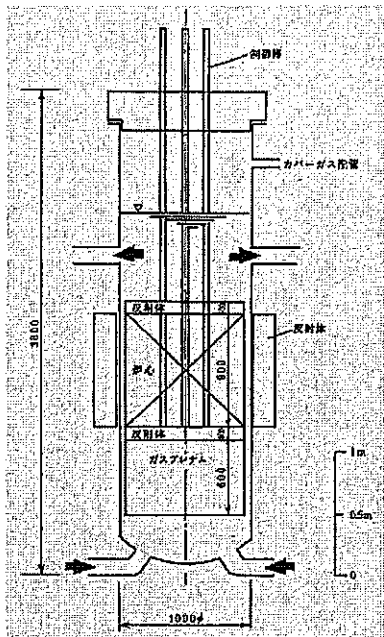


図 2.24

目的や需要について図 2.26 に整理しておく。まず FBR 製作技術の継承に貢献するというのである。

それから、島嶼群への安定な電源供給システムとして有効である。

図 2.25 は石油公団が作成したものである。陸上において、1000 メートルの深海から自動で採掘しようというもので、パイプで石油、ケーブルで電力を送っている。これなら2メガワットぐらいの炉で十分供給できると考えられる。

最後は経済性の問題になる。海底の電力輸送にはかなりのロスがあるが、経済性で勝てれば、原子炉は名乗りを挙げることができる。

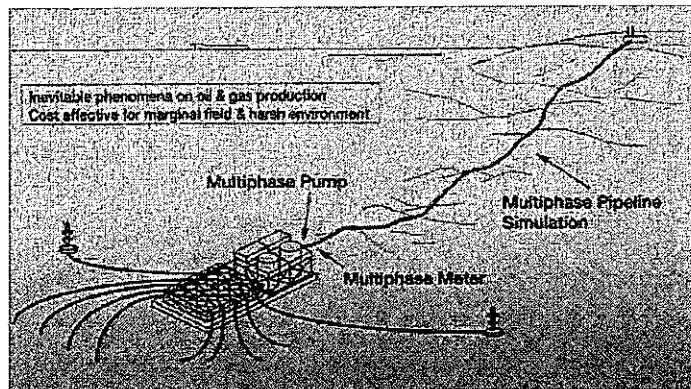


図 2.05

おわりに

- 高速深海炉の目的、設計概念、需要について説明した。
(炉製作費：50-100億円)
 - もんじゅ計画、FBR製作技術の継承に貢献する。
 - 我が国の原子力開発に空白部があってはならない。
 - 地元の方には、わが国での本研究実施の困難さが理解してもらえたと思う。
- 島嶼群への安定な電源供給システムとして有効である。
 - 高速深海炉は太平洋に設置するので、研究は日本海側の地域で行うのも良いかも知れない。

図 2.26

3. 超安全小型炉[4S:Super Safe Small & Simple]

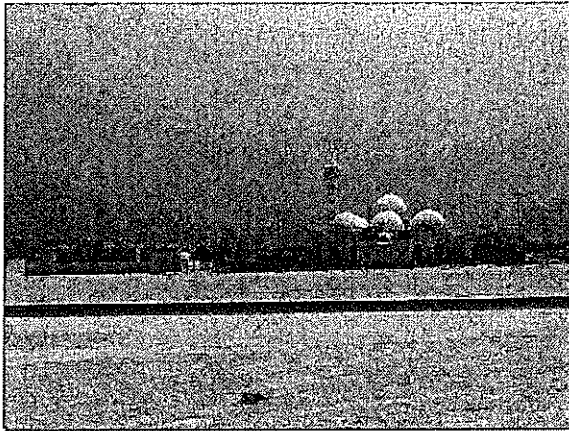


図 3.1

日本のように水と資源に恵まれた国は地球上では、むしろ珍しく、地球上にはほとんどが砂漠といった地域や国がある。図 3.1 は中近東の国であるが、砂漠というよりは土漠、そういう中にほんの少し緑が生えている。この緑はモスクのところに生えている。なぜ緑があるかということで近寄ってみると、ここにはビニールの水道ホースが縦横無尽に散らばっている。そこに小さな針のような穴を開けて、水を1滴1滴ドリップしている。それでかろうじて緑ができています。

緑とは言っても、灰色のような葉の色である

が、こうしたわずかな緑であっても、このような国ではみんな大切にしている。

この国には水源が三つある。一つはオアシスで、王宮が全部確保している。あとの二つは海水から塩を脱塩して、水を作っている。図 3.2 はこの国の海水脱塩プラントの一つです。これは日本

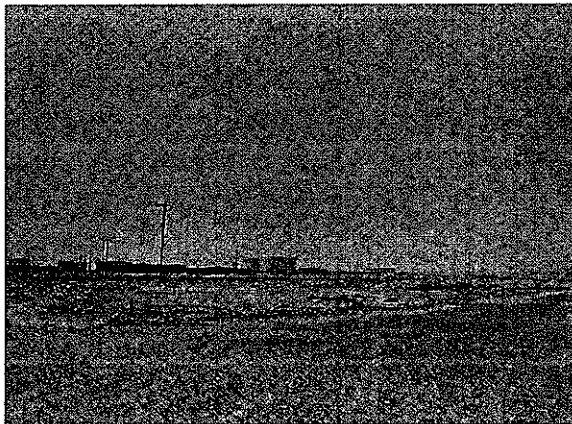


図 3.2

のある企業が作ったものです。

真水を作るといって、昔は海水をフラッシュ、あるいは蒸発させて淡水化していくのが主流であった。ところが 10 年ほど前からは、逆浸透膜法が主流になってきている(図 3.3)。径で 15 センチぐらい、長さで1メートルぐらいの筒を何万本も並べて、膜の外側から中の海水に圧力をかけて、真水を抽出するというものである。この方法で海水から真水を作って、一般人の水の利用として使っている。

ではどこにエネルギーが使われているかというと、海水に圧力をかけるポンプの動圧にエネルギーを使っている。このように何らかの方法でエネルギーを供給して、真水を作って、国のライフラインとしている。こんな方法で生き延びている国が世界にはたくさんある。そういう国に対して、積極的な貢献策が、淡水化プラントである。

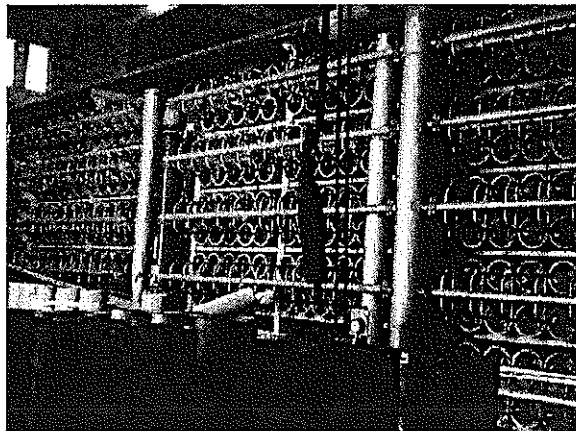


図 3.3

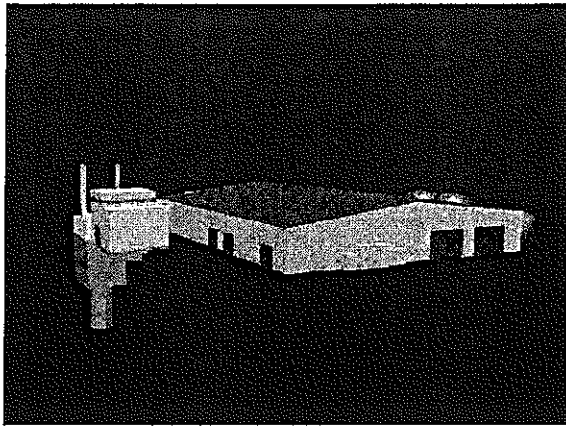


図 3.4

図 3.4 に示すように、まず原子炉を設置して、電気を作り、それから、海水脱塩プラントの膜に海水を送って、真水を取ろうという構想である。この構想を考え始めたのは 1987 年ごろである。

ちょうど 1984 年にアフリカのマリ、それからモーリタニアの辺で大旱魃があった。この辺はサハラ砂漠の内縁のサヘル地域にあたる。栄養失調でおなかを膨らませた子どもたちが、連日テレビで放映されていたのをご記憶あるかと思う。

黒柳徹子さんが国連大使として行ったのもこの時期であった。ここにグリーンベルトを作る。そして砂漠の緑化をする。そこまで行かなくても、せめて水を何とかすることによって、そういう子どもたちの飢餓を救える。あるいはもしできれば、このサヘル地域の 500 キロ地域をすべてグリーンベルトに変えてしまって、砂漠化の進行を阻止したい。これによって、この辺の国々を豊かにできるのではないかと考えた。

グリーンベルトについては、いまならもっといろいろなことができそうな気がするが、当時考えられたのは次のようなことだった(図 3.5)。すなわち、広大な地域ですあるから、射程が 100 メーターの放水銃(スプリングクラーのようなもの)を回す。そしてヘリコプターから種をまいて、まず草地を造る。さらにある程度草地ができ、土壌ができれば、ここに大きな木を植えていくという段階的構想を立てた。

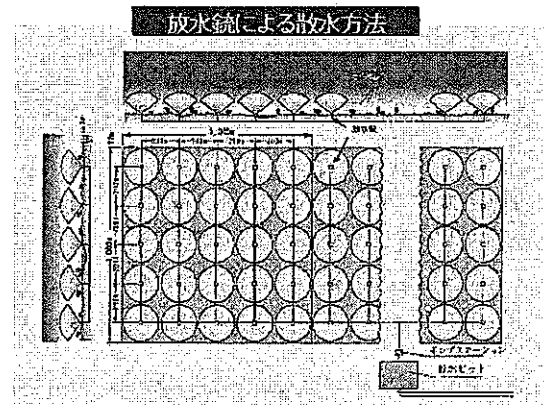


図 3.5

この話は 1989 年の日経新聞で取り上げられた(図 3.6)。もう 11 年も前の話になるが、グリーンベルトの話は一瞬ですけれども新聞を賑わせたわけである。

原子力で水や緑を作ることができれば、こういう応用もあるなというぐらいの気持ちでやっていたわけだが、マリの人たちはそうは思っていない。早くこれを造りに来てほしいと、強い要望が持ち上がった。

単なる思いつきやアイデアだけで、フォローが見切り発車的なものを国際レベルで行うと、大きな責任問題に発展する可能性もある。マリの人たちは真剣に水と緑を欲しているから、新聞記事を真剣に受けとめてしまった。冗談でやっていたわけではないが、彼らの言う真剣さと、我々の考えていた構想とのギャップは大変なものであったということである。



日経 1989.10.28

図 3.6

原子炉があれば、いま実際にアルジェ、モロッコの大きな都市の飲料水を賄うことが可能です。2万キロの電気を出力しても、電気として使ったら、約2万人の都市にしか供給できない。しかし、水に替えれば、その5倍ほどのニーズを賄うことができる。やはり水は強力な生活の源である。

また、サハラ内縁のサヘル地域を緑化して、砂漠の拡大を防止するという構想を実現するためには60万キロが必要となる。たった60万キロの電力で、サハラ砂漠の砂漠化が防止でき、グリーンベルトが造れる。そうすればアフリカのマリ、モーリタニア、セネガルといったかなりの国の人たちが救われることになる。水を通して救われることになる。

さらにもう少し検討した。89年の原子力学会誌にも投稿したが、当時は地球再生という言葉が非常に注目されていた。日本でも地球再生というテーマでいろいろな研究が行われていた。そこで考えたのが、せつかく緑ができるならば、緑で炭酸ガスを固定化しよう。再生の範囲も、原子力エネルギーは無敵大だということで、かなり極端なことを考えた。環境条件を200年前の産業革命前に戻そう。人間によって砂漠化、荒廃した地球をすべて緑に戻して200年前の状態に戻す。それを全部水でやる。それをやれば、これから2100年までの間に、例えば南の地域が発展して、炭酸ガスがたくさん出てきても、その炭酸ガスはすべて固定化できる。だけど、さすがにそれをやるには年間2000万キロワットの電力が必要となる。100万キロワットで年間20基投入しなければ地球は元に戻らない。あまりにもすごくて実感がわかない。本当に地球は再生できるのかなと、いまでも残念な気がしている。ただ、このくらいのエネルギーを投入すれば、地球が元に戻るという挑戦的な試算例

このころから、水について少しこだわってみようということで、いろいろなことをやってきた(図 3.7)。高速炉・原子力を使って、何とか水、あるいは緑を作って、世界に貢献したいという考えが基本である。この当時設計した方法によりと、デザインにもよるが、5kWhr/m³の電気エネルギーで1トンの水ができることです。

水と電気

必要エネルギー 5kWhr/m³

飲料水として 2万~5万kWe

砂漠化地域の緑化として 60万kWe

地球再生(炭酸ガスの緑化固定)に向けて
毎年 2000万kWe

図 3.7

これは典型的な国として、アフリカのモロッコとかアルジェリアの代表的な都市を念頭に置いている。ここではいま水がショートしている。もし、彼らが欲している飲料水を原子炉で供給しようとする、その場合は2万から5万キロワットの電気出力が必要になる。5万というのは送水のためのポンプ動力も入れてある。このくらいの電気出力の原子

望まれる原子炉の要件 (1)

メンテナンスフリー

燃料交換が不要

炉心内部で燃料を増産

高速中性子

図 3.8

ようなもの。外から燃料をチャージしていくにせよ、やはり燃料がなければいけない。自分で燃えながら燃料を作っていないとまずい。結論としては高速中性子の利用を第一の要件として考えた。

高速中性子はウランをプルトニウムに変えて燃料として使える。それを炉心内部で行えれば、燃料交換間隔を長くできることになる。

望まれる原子炉の要件 (2)

単純・軽量・小型

動的機器削減

低圧・高温・導電体
(静的ポンプ)

液体金属(Na)

図 3.9

望まれる原子炉の要件 (3)

安全・安心技術

小型炉心・自然炉停止・放熱除去

制御棒なし、自然通風除熱、低出力燃料

小型炉(5万kWe)

図 3.10

を説明した。

そういうところに造る原子炉について考え始めたのが87年からである(図 3.8)。まずメンテナンスフリーは、絶対条件である。チュニジア、アルジェリア、モロッコ、マリ、そういうところで工業大学がある国は一つしかない。つまり、良質なメンテナンスができる人材がいない。メンテナンスの代表格は、やはり燃料交換で、ここにはたくさんの人手を必要とする。従って、燃料交換が不要というのをベースに検討した。

そのためには炉心内部で燃料を増産できる

それから二つ目の要件として、そういう場所に置くのは単純で、しかも運ぶという意味で軽量、そして小型でなければいけない(図 3.9)。2万から5万の出力があれば一つの都市の水は十分作れるわけである。そのためには動的機器をできるだけ少なくして、単純で軽量で小型にすることが好ましい。これを達成する手段として考えたのが、圧力を低くして高い温度のものを使って、しかも動的ポンプをなくしたいということである。そのためには電気の良い導体である冷却材を使う。そうして静的なポンプで駆動させる。単純化するために液体金属(Na)が二つ目の要件として考えられた。

三つ目の要件として、やはり安全・安心でないといけない(図 3.10)。安心も技術だと言われる。小さい炉心だと放射性インベントリーが少ないので、とても安心感がある。それから自然に炉が停止する。停止させるのではなくて、自然に停止してしまう。それから炉停止後の崩壊熱は、自然の放熱で除去できる。こういう概念で作れないかと考えた。これに対応するものと

して、制御棒があつて、複雑な操作をするものよりは、これがないほうがいいだらう。それから自然通風。つまり大気、外気の力で除熱していく。それから炉停止をやりやすいように、出力密度はほどほどにしておこう。こうして小型炉という概念が誕生した。

望まれる原子炉の要件 (4)

経済性

工場生産・標準化・単純化

小型・現地工事なし、
大量生産向き設計

4S型原子炉

図 3.11

トであるが、十数年前で、まだ原子力にとらわれていたので、それほど標準化のコンセプトが進んだものではなかった。もちろん現地工事なし。それから大量生産向きの設計になっていた。小さくても、複雑だったり、いろいろな突起物があるようだと、大量生産には向かない。

ということで 4S 型原子炉というかたちにたどり着いた。一つは、当時 89 年ごろに考えた 5 万キロ

4S (Super Safe, Small and Simple)

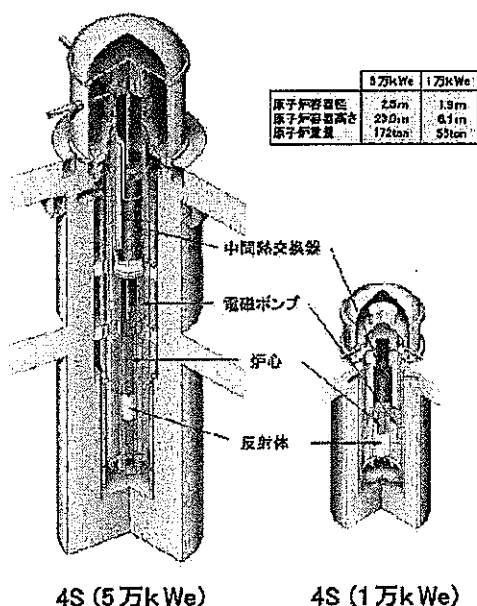


図 3.10

4番目の要件は経済性である(図 3.11)。非常にお金がない国だということがあるし、国際銀行に借りるとしても大変な困難があると予想される。数がたくさん出てくれば安くなるではあるが、当初はそんなに安くはない。やはりはじめから安くできるものは安くしておかなければならない。そのために工場生産、それから標準化、単純化を考えた。

ただ、この時点では、工業製品レベルまでの標準化、カタログ的仕様化には考えが至っていなかった。一般産業の部品で作ればベス

トの 4S の原子炉です。それから数年前に再設計した1万キロの 4S がある。この 1 万キロの 4S は、シベリア開発のために軽量化したものが欲しいというロシアのリクエストに応じて設計したものである。重さは 56 トン。ちなみにシベリアに電源を置こうとしたときに、輸送経路がない。彼らはヘリコプターなら供給できるということで、ヘリコプターで運べる重量を調べた。その結果、ロシアの軍隊のヘリコプターで約 60 トンまでの重量物ならどこでも輸送できようである。だからスペックは 60 トン以下の原子炉ということで、出力は1万キロまで下げた。シベリア開発なら1万キロでも十分だと思っはいる。

この 4S の構造ですが、原子炉の真中にあるのが炉心である(図 3.12)。炉心を囲む反射体で炉心を下から順番にゆっくり上のほうに移動させていって、燃焼を継続させる。ここで得た熱は冷却材が上に運び、中間熱交換器を通して、電磁ポンプで昇圧されて、再度炉心に入る。ここはアニュラス空

間で配管等は一切ありません。1万キロも同じ構造である。

この原子炉を起動させてみたいと思います。真ん中の炉停止棒を抜く。反射体が徐々に上がっていく。反射体があるところが炉心で、炉心部が下から順番に上がってくる。当時は 10 年間でしたが、現在では 30 年間燃焼を継続させることが可能です。

次は、原子炉の停止で、まず炉停止棒を落とす。それから反射体も落とす。両方ともアクティブな方法であるが、両方とも作動しないような場合でも、反応度とバランスして、燃料を破損しないである温度で自然に停止することができる。

崩壊熱系は、まず DRACS といって中間熱交換機の上に設けた小さなコイルから崩壊熱を除去するというのが一つの方法です。しかしこれはまだアクティブである。

一方では、原子炉容器から放熱した崩壊熱を取り出して外に捨てる。これによっても崩壊熱が取れる。外気で自然に冷えるというメカニズムである。

図 3.13 は、炉心を少し詳しく書いたものです。反射体が丸く炉心を取り囲んでいる。この上に反射体の反応度の能力を高めるためにある工夫を行っている。これが徐々に下から上がっていき、炉心が燃えるという仕組みである。

当時の設計では、炉心の運転サイクル長は 10 年でした(図 3.14)。それでも IAEA で成果を話したところ、10 年もあれば、メンテナンスフリーだということで、非常に使いやすいと歓迎された。ただ、現在は寿命を 30 年間まで延長して考えて、このデザインを一応終わらせている。

反射体制御炉心

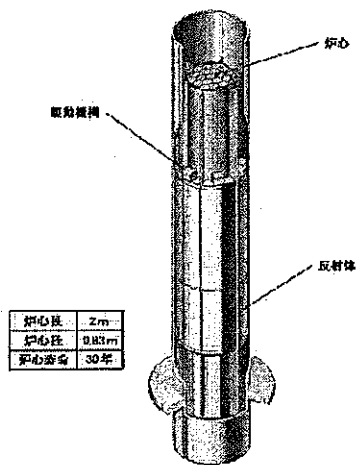


図 3.13

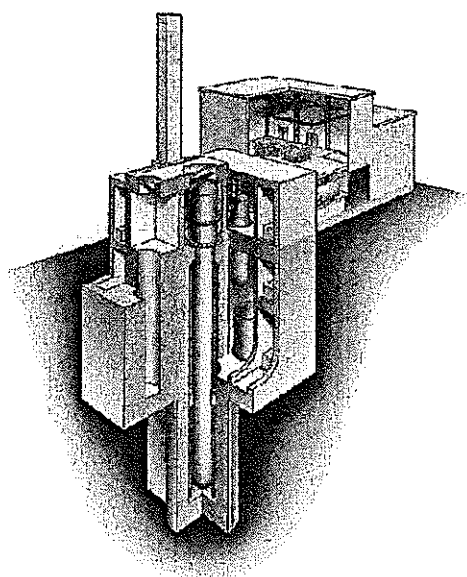


図 3.15

4S炉心の研究成果

	平成3年度(途中研究)	Pu富化燃料燃焼度	MOX燃料炉心	鉛冷却炉心
電熱出力	50MWe	50MWe	50MWe	50MWe
冷却材	ナトリウム	—	—	鉛
燃料	金属燃料	—	MOX燃料	—
炉心高さ	4m	2m	—	—
炉心径	83cm	—	—	90cm
運転サイクル長	10年	30年	30年	30年
Pu富化度	20%(最大)	25%(最大)	25%(最大)	25%(最大)
ポイド反転度	-0.37%Δ	-0.15%Δ	-0.43%Δ	-0.22%Δ
駆動機構	ボールネジ	電磁反発機構駆動	ボールネジ	ボールネジ
Burnable Poison	未使用	使用	—	—

図 3.14

図 3.15 は建物です。この原子炉の建物は 26 メーター×16 メーターである。タービン建物を加えて約

300 坪ですから、非常に小さな敷地にスポットと入る。また、仮に燃料が全部壊れた場合、どのくらいの放射性物質が放出されるかを推定してみる。26 メーターですから、敷地境界からいって、この横に人が住んでも、いまの法律の基準に従えば、放射性物質の仮想事故の評価は OK だということです。立地の制約を受けない原子炉として、当時ある程度注目された。

4S反射体価値評価試験用NCA炉心

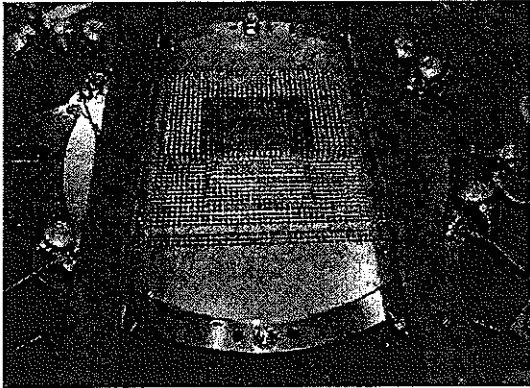


図 3.16

とはいっても、最大の開発課題は炉心にある。これについては、東芝にある小さな水の原子炉 (図 3.16) を使って、先ほどの 4S の炉心、反射体によって炉心を制御するという核心的なところを確認しようと、2 年ほど前から実験を行ってきた。小さな原子炉なので、非常に小さなことしかできないが、所有している燃料を詰められるだけ詰めて、稠蜜に配置した。

さらにナトリウムを模擬するためにアルミを詰め込んだ。その結果、反射体の部分がみごとに高速中性子、4S と同じような中性子の性状を持つことができた。それが、反射体によって戻

って、炉心が燃焼を維持できるかどうか、臨界維持できるかどうか、そういう実験を行ってきた (図 3.17)。現在、ちょうど半分の実験が終了している。これを解析するには、結構難しい炉心設計手法が必要になる。

それから反射体は、30 年間燃料無交換なので、非常にわずかな動きしかできない。1 日 1 ミリと言っているが、本当は 1 日 0.3 ミリである。なかなかそんな小さな動きは難しいということで、非常に微細的な動きを作る方法を考案した。電磁反発衝撃駆動と呼んでいる。電流を流すことによって、相手側に渦電流を出して、そこから出る磁力とこちらから出る磁力で反発させてゆっくり上がっていくので、ミクロンオーダーの制御が可能となる。

図 3.18 は、こういう方法で少しずつ反射体自身を上げていくという原理図である。それから動的機器がないもう一つの代表として、機械式ポンプがないということが大事です。自然循環が一番いいが、残念ながらナトリウムは自然循環駆動力があまり大きくない。そこで静的な電磁ポンプを造ることとした。

4S炉心臨界試験体系

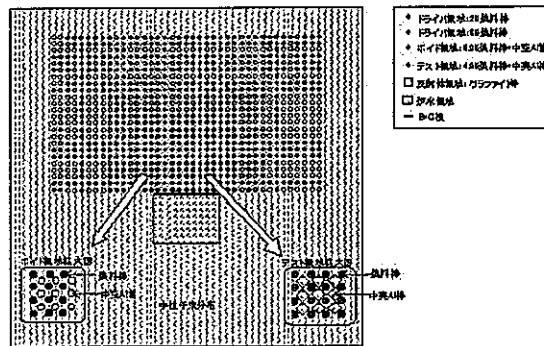


図 3.17

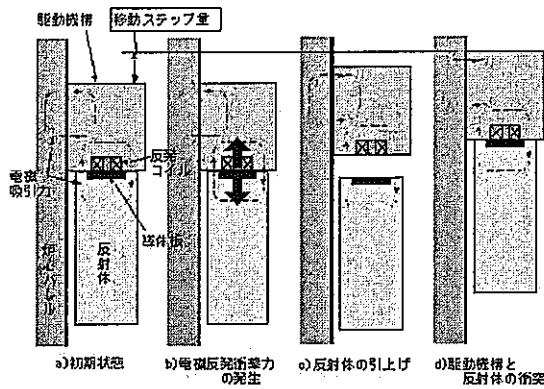


図 3.18

なると思う。なんと言っても出力異常はないほうがいい。何か起きて止めるのではなくて、やはりないほうがいい。それには反射体がある程度役に立つというのがわかる。先ほどの図にもあったように、炉心の回りに6分割した環状の反射体がある。それがもし一つ上へ上がってしまったとすると、炉心から中性子が漏れてしまうので、自然に炉心が停止する。何か誤動作があると自然に炉が止まるというのが、この反射体の特徴です。ここに一つ、この安全性を際立たせる特徴があると思っている。

それから出力の低下については、仮に反射体や炉停止棒が落ちなくても、炉は自然に反応度バランスで、ある温度で一定に止まる。それから除熱異常なし。崩壊熱が自然に外気に伝わるようなシステムになっている(図 3.21)。

事故発生防止

除熱異常なし

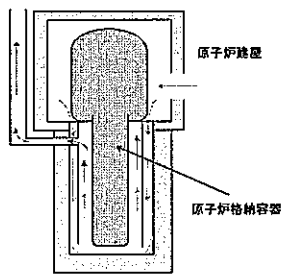


図 3.01

図 3.19 は別のプロジェクトで進行したポンプである。幸いにも 4S で必要とする 40 m³/分という流量と全く同じポンプを造ることができた。2年前に、大きなナトリウムループにこれを入れて、1年間運転して、たしかに動くということが確認された。

安全性についてはときおりお話ししましたが、まとめると図 3.20 のように

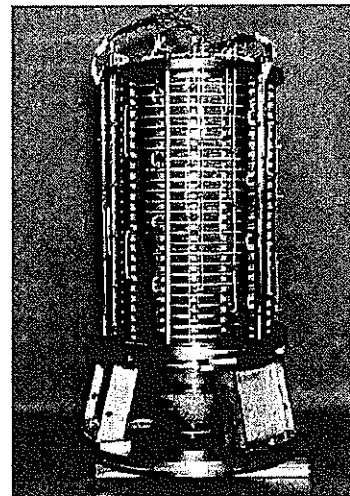
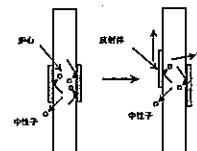


図 3.19

事故発生防止

異常出力上昇なし



炉心固有の特性により、出力は低下



図 3.00

こういう原子炉がアメリカに着目される、とは言い過ぎかもしれないが、図 3.22 に示したような経緯でアメリカからウォッチされた。NERI と呼ばれるアメリカの原子力研究にある程度刺激を与え続けている。

4SとNERI

- 1989年 ANS(米国原子力学会)に発表
- 1991年 IAEA(国際原子力機関)から招聘
- 1993年 DOE(米国エネルギー省)から招聘
 - DOE: 燃料無交換=核不拡散
- 1998年 米国NERI(原子力研究イニシアチブ)
 - 途上国向け原子炉(50MWe~150MWe)
 - 燃料無交換
(液体金属型炉は4Sをベースに独自性を追求)

図 3.02

炉心の大きさは 83 センチ、高さは 2 メーターです。

丸ごと全部実証する方法がないかということ
でいま検討している。最終的には、遠隔、衛星
で核管理をやることになるでしょう。ここの IT 技
術のところももう少しブラッシュアップすべきだと
考えている。

メンテナンスフリーのための燃料無交換は、
核不拡散だと彼らはとりました。危ないだろうと
思われるものは、運転中の炉心の中に封じ込
めておくのが核不拡散上一番いいんだとい
うのが彼らの考えです。

開発課題を図 3.23 に示す。

開発課題

1. 反射体制御炉心の実証
2. 比較的長尺(2m)の新しいタイプの燃料
の照射による健全性確認
3. 原子炉封印技術(密閉カバーガス、動く
シール構造の削除)の実証
4. 遠隔衛星核管理技術

図 3.23

4. 長寿命安全小型炉

高速炉の実用化のためには、軽水炉と太刀打ちできる経済性を示す高速炉を必要がある。

軽水炉は、スケールメリット、大型化することによって経済性を達成して、エコノミカルな電気として実用化されてきた。この路線を踏襲して、高速炉も大型化ということで「常陽」や「もんじゅ」という実験炉や実証炉を経ている。しかし、大きくなればなるほど、事故の影響等も大きく可能性が高い。

そこで、大型でなければ経済性は成り立たないということを改めて考えてみると、必ずしもそうとはいえないようである。(図 4.1)。

小型を大量生産すれば、経済性がよくなって、安い原子炉ができるのではないか。また、それほど大量生産しなくても経済性の成り立つ小型炉も可能かもしれない。実際に安全な原子炉とわかれば、安全性を確保するためのいろいろな装置もいらなくなる。安全性を確保するための諸検査や諸手続きも、ある程度簡素化されるかもしれない。『原子力の未来』にも非常に詳しく書かれている。小型炉だと経済性が成り立たないとは考えは改める必要がある。

さらに、小型炉でなければできないこともある。

そこで、小型炉の開く新しいニーズについて考えて見る。小型炉でなければならぬということでは、まず開発途上国、僻地、島等で利用されるものが考えられる。これ以外にも宇宙や海底が考えられる。

今からちょうど 10 年前にインドネシアから 1 人の留学生が研究室にやってきた(図 4.2)。大学としてはインドネシアの留学生は非常にウェルカムなのです。なぜなら、彼らはまず 1 年間語学研修をして、それから 2 年間修士課程に行く。さらにたいていはドクター課程(3 年間)に進むから、計 6 年間も研究室にいてくれることになる。そこで、この留学生には長期で研究できるようなテーマを担当してもらおうこととした。日本で造ってインドネシアの島で使う原子炉を設計することにした(図 4.3)。

小型は経済性がなりたたないのか？
必ずしもそうとは言えない
経済性を高める多くの要因が考えられる

小型炉でなければできないこともある。
このような場合は経済性の重要さは低くなる。

↓ 小型化が開く新しいニーズ

図 4.1

小型炉でないだめという原子炉としては、まず開発途上国、僻地、離島といったところで利用するものが考えられる

10年前インドネシアから1人の留学生が私の研究室にやってきた。
すぐに「日本で作って、インドネシアの島で使う原子炉」をいっしょに設計してみることにした。

インドネシアの留学生とともに

図 4.2

日本で原子炉を造って、インドネシアで使う。造った原子炉を船に乗せて、それからインドネシアに持って行く。そしてインドネシアに発電所に建てる。ここで10年なり20年なり運転して、そのあとは新しい原子炉を持ってきて、古いのと置き換える(図4.4)。

要するに日本で造ってインドネシアに運んで、そこで運転して、終わったら日本に持って帰る(図4.5)。

「日本で作って、インドネシアの島で使う原子炉」

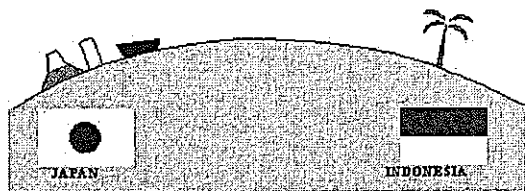


図 4.3

「日本で作って、インドネシアの島で使う原子炉」

日本で作り、インドネシアに運び、そこで運転し、終わったら日本に持って帰る。この間、燃料交換等で炉容器を開けることはしない。そのような必要性が生じたら、新しい原子炉と交換する。

容器を開けないので核拡散抵抗性はすこぶる高い。

必要な条件としては
小型以外に
メンテナンス・フリーということが大切である。
このためには長寿命炉であることが望ましい。

「日本で作って、インドネシアの島で使う原子炉」

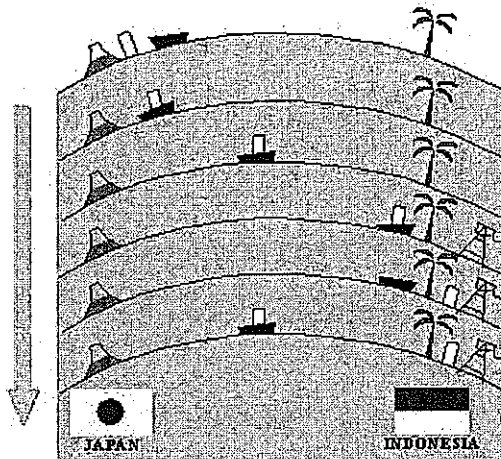


図 4.4

図 4.5

運転している間は、炉容器を開けることはしない。もし、故障などが起こっても、すぐ新しい原子炉を持ってきて交換する。このような原子炉を設計することである。容器を開けないので、核拡散抵抗性は非常に高い。

このような原子炉に必要な条件としては、まず小型であり、かつ炉容器を開けない。つまりインドネシアという場所を考えた場合、現地で燃料交換をするのはとても難しい。さらに、メンテナンスフリーは非常に大切であり、このために長寿命炉にして、何かがあれば原子炉ごと取り替えられる方式とする。

次に、なぜ小型炉を作るのが難しいかについて述べる。小型炉は臨界にすることが難しい。この理由は中性子の漏れが大きくなるからと考えられる。最初にできた原子炉は、フェルミがシカゴのフットボール競技場の下に造ったものです。フットボールの競技場の観覧席の下はものすごく広いので、そこに造ったらしい。その原子炉は今では取り壊されてハンフォードに行っている。一方、ロシアのクルチャフ研究所のものが実際に見られる。ロシアのスパイがアメリカを見て、それと同じようなものを造ったと言われているものである。大変大きな臨界集合体である。中性子を閉じ込めるために、どんどん大きくしていったと言われている。この例は、小型炉を作るのが難しいことと、中性子の漏れを少なくすることが重要であることを言及した例である。

つまり燃料の濃縮度を高くする以外に中性子の漏れを減少させるような材料を使用する必要が

あるということである。

高速炉では長年にわたってナトリウムが冷却材として考えられてきた。液体金属の中で一番冷却性能に優れているからである。ただしこれは科学的に活性で、水や空気と激しく反応する。従って、開発途上国で使用するには、特段の注意が必要になると考えられる。

そこで登場するのが鉛ビスマス冷却です。

鉛ビスマスは、ナトリウムと同じように冷却材として利用できる液体金属で、融点はナトリウムより少し高い程度ということで、ほとんど同じような温度条件で利用できる。これは水や空気とあまり反応しない。鉛ビスマスの中に水を通すと、そのままブクブクと蒸気のおぼくなるが、反応は起こらない。このために蒸気発生器を原子炉容器の中に入れてしまえば、現地の発電プラントとは、水と蒸気をつなげばよいという非常に簡単なものになり得る。もしナトリウムで冷却するとしたら、炉容器を二重にするとか、ナトリウムで外側のプラントとつなげなければならぬが、鉛ビスマスならこのような心配は不要となる。

さらに鉛ビスマスは、中性子を閉じ込めるのにナトリウムより優れていて、小型炉の冷却材としてもってこいの材料であると考えられる。

図 11 は、以上の内容をグラフで示す。鉛も比較のために示してある。

ナトリウムと鉛ビスマスの融点はほとんど変わらないが、鉛ビスマスのいい点は、沸点が非常に高いということである。900℃よりも低いナトリウムに対し、鉛ビスマスは 1600℃以上ある。従って、鉛ビスマスでは沸騰とかは絶対起り得ない。

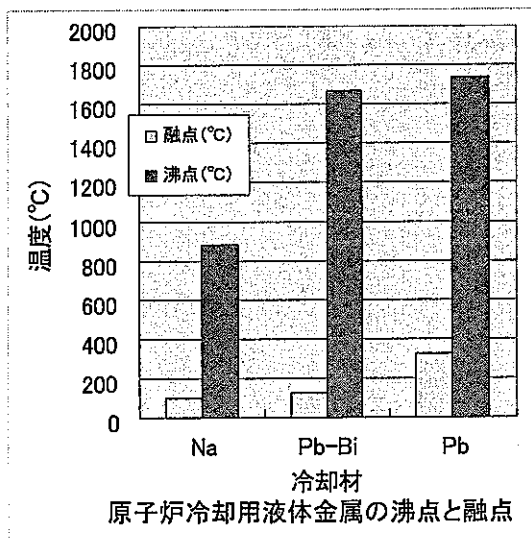


図 4.6

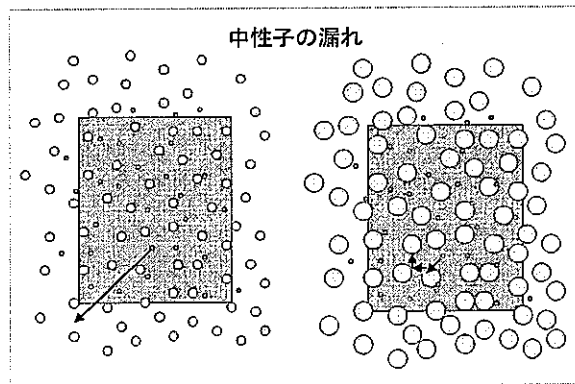


図 4.7

図 4.7 は、鉛ビスマスが中性子を閉じ込める性質に非常に優れているということを示したものである。図の左側はナトリウムの冷却材の体系で、黄色いのがナトリウムの原子核(○)、赤いのが中性子(○)、緑を原子炉(□)としてみると、中性子はわりにあっさり原子炉から漏れていく様子がわかる。

ところが鉛ビスマスの場合、原子核がナトリウムよりもかなり大きくなる。そうすると、全く同じ位置

の中性子は、これらの原子核とすぐ衝突する。

はね返されるとまたすぐ次のと衝突をする。冷却材の原子核が大きくなると、中にある中性子がなかなか出られなくなる、閉じ込めがよくなる。従って、小型炉が造りやすいという大きなメリットがでてくるわけである。

次に最近までの開発状況について図 4.8 にまとめる。鉛ビスマス冷却材は、アメリカ、ヨーロッパ、日本では全く研究されてきていない。鉛ビスマスは腐食が激しすぎるという実験結果をアメリカの BNL という研究所が出したことが原因となっている。一方、ロシアでは、腐食についても、酸素濃度等をコントロールすればやれるのではないかと考え、冷却材として実用化したのである。それは潜水艦に使用して、8隻の潜水艦を合わせて 80 年間も運転することに成功している。

鉛ビスマス冷却材

最近までの開発状況

米欧日 : まったく研究されてこなかった
腐食等を恐れた
ロシア : 潜水艦の冷却材として実用化

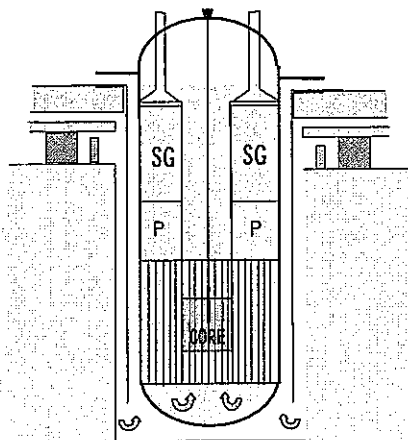
図 4.8

留学生と共に設計した長寿命小型安全炉

鉛ビスマスを用いたものとしては世界最初のもの

出力 150MWt
炉容器外側直径 5m
高さ 9m
12年間燃料交換なしで運転できる

図 4.9



Long-Life Small Safe Reactor

図 4.10

図 4.9 は、鉛ビスマスを用いた長寿命安全小型炉としては世界最初コンセプトである。

出力は 150 メガワットサーマルで、炉容器の大きさは外側直径 5メートル、高さ 9メートル、しかも 12 年間燃料交換なしで運転できるというものです。

図 4.10 は、サイロに原子炉を入り込めるといふものです。これは 4S と非常に似たような炉になっている。図中の CORE は炉心、SG は蒸気発生器、P はポンプである。鉛ビスマス冷却材は、ポンプ、炉心、蒸気発生器と循環している。

蒸気発生器で熱は鉛ビスマスから水蒸気に移る。このことから設置する現地では蒸気と水を接続する技術さえあればいいということになる。ポンプとしては可動部がないので電磁ポンプを考えている。

この炉の特長を、図 4.11 に整理しておく。極めて安全であると考えられる。すべてのポンプが止まり、同時にすべての制御棒が抜けてしまうという厳しい事故が起こったと想定する。現実には絶対に起こらないとされているが、万一そういう事故で鉛ビスマスも燃料の温度も上がったとしても、材料に悪影響を与えるところまでは上がらない。だから燃料等の健全性は保

たれ、事故原因が取り除かれれば、また原子炉が再開できるということです。非常に安全な原子炉ができるわけです。

現在、世界の各地で鉛ビスマス冷却を使った小型炉の設計が提案されている。今後さらに注目されていくものと考えられる。

長寿命安全小型炉に関しては日本のオリジナルな寄与がとて大きい。日本は軽水炉を非常に立派に運転している原子力の先進国ではあるものの、ほとんどの軽水炉はアメリ

カで開発されたものです。日本の寄与の大きさを自慢する人もいるが、それを認めてくれる人は外国にはあまりいないと思う。たしかに高速炉は自主開発ということできっちりやってきているものの、これもやはり根本のところのアイデアはかなり外国に負っている。つまりナトリウム冷却、酸化物燃料といった基本的なところは外国のアイデアである。最初のころはアメリカ、フランスといった先進諸国がリードしてやってきていた。

日本が原子力で、どのようなオリジナルなものを出したのかと言われるとなかなか難しいが、4Sは独自のもので、特に、アメリカで評価されている。

鉛ビスマスであれば、ロシアの研究ではないかと思われるかもしれないが、鉛ビスマスで小型炉を研究するというのは日本のアイデアです。ちょうど6年ほど前、ロシアで小型炉の会議が開催された。このロシアの会議では、ロシア中の小型炉のアイデアがほとんどすべて出された。コンテストをやると言う話も出た。きっと鉛ビスマスの小型炉の話も出るだろうと予想していたが、鉛とか鉛ビスマス冷却の小型炉というのは一つもなかった。この時、鉛ビスマスの小型炉の話をしたら、すごい反響があった。日本における鉛ビスマス冷却小型炉の開発は一体どうなんだ、どれだけ金が出ているんだなどと聞かれた。

そのあとサンクトペテルブルクで開かれた会議では、非常にたくさんの小型炉がロシアから発表された。その辺がいまの鉛ビスマスと小型炉という一つの組み合わせが萌芽した契機になっているように思える。そのアイデアが NERI とかにも生かされているというのが現状である。

現在、力を入れているのは図 4.12 のような炉です。4S と同じように下から上に出力分布が動きます。4S は反射体を動かして上に行くということですが、これは器具は不要です。自然にろうそくのように燃えていくので、キャンドル型と言える。要するにフラックス分布とか、そのままかたち

この炉の特長は極めて安全なこと

すべてのポンプが止まることと、すべての制御棒が抜けてしまうという厳しい事故が同時に起こったとしても（現在の仮想事故解析ではこのようなことは絶対に起こらないとされている）、燃料等の健全性は保たれ、事故原因が取り除かれれば、また原子炉を再開できる。

図 4.11

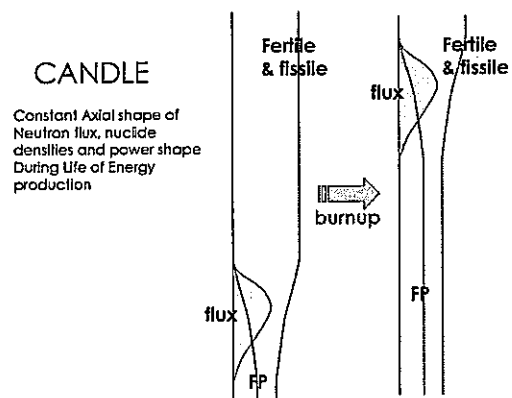


図 4.12

は変わらずに上に動いて行くというものです。

図 4.13 に描いているように、スーツと燃えていくというコンセプトです。中性子経済がかなりよくないと、こんな設計はできない。中性子経済が非常によくしてくれば、こういう設計も可能になる。

図 4.14 に中性子束分布の一例を示す。円筒形の真ん中が上がっていて、周りが垂れたような分布になっているが、これがずっと上へ上がっていく。

燃えている上の領域に天然ウランを装荷するだけでいい。最初にこういう燃焼特性を有する燃料を炉心の一番底に入れ、その上に天然ウランを入れておく。そして燃焼領域が上にきたら、上だけちょん切り、これを下に持ってきて、その上にまた天然ウランを乗せる。そうするとまたこれがスーツと上がっていく。また上だけちょん切って、また下へ持ってきて、上に天然ウランを入れる。うまくやれば、いつまでもこういうサイクルが可能となる。

これによると天然ウランの 40% が燃えている計算になる(間違いはないと思う)。

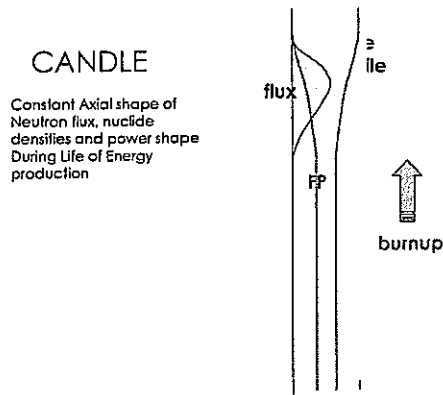


図 4.13

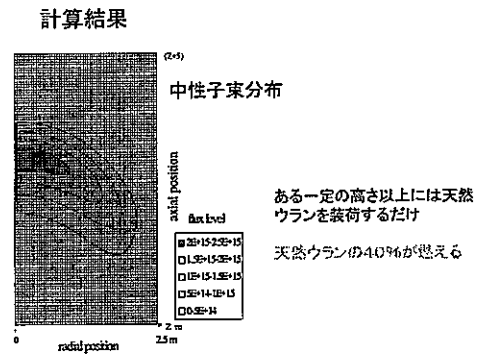


図 4.14

5. 資源拡大型炉

図 5.1 は、世界のエネルギー資源の埋蔵量を示している。石油は 1350 億トンで、今後約 45 年間使えるという試算がある。天然ガスは石油換算量で 1120 億トンあり、現在の石油消費と同じ割合で消費すると、だいたい 37 年使えることになる。同じように石炭は 220 年、原子力はウラン 235 だけだと大した量にはならないが、高速増殖炉が実用化すれば天然ウラン全体が使えるようになるので、17400 億トンになる。現在の石油と同じ割合で消費すると、600 年ぐらい使えるという結果になる。

世界のエネルギー資源埋蔵量

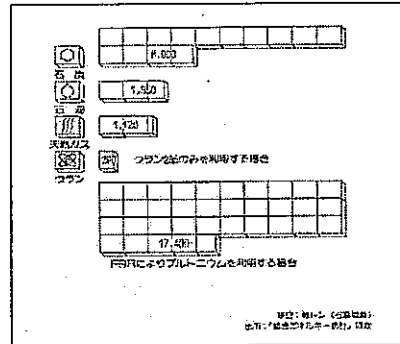
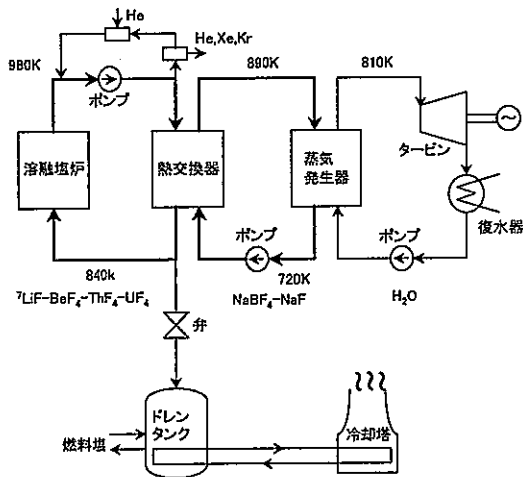


図 5.1

一方、トリウム資源は、天然ウランと同じぐらいの埋蔵量が確認されている。地質学的にクラーク数などから推定すると、最終的には天然ウランの3倍から4倍は出てくるだろうとも言われている資源である。

このトリウムをうまく使う原子炉の一つとして、30 年ほど前に、アメリカのオークリッジ国立研究所



で研究・開発された溶融塩炉がある。これは、小型の溶融塩炉を設計研究する教材となっている。

図 5.2 は現在検討している発電プラントの構成を示している。溶融塩炉、熱交換器、蒸気発生器からなる。一次ループでは、ウランとトリウムが混じった溶融塩 ($\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{ThF}_4-\text{UF}_4$) を流す。これを燃料塩と呼ぶ。二次ループではこのような溶融塩 (NaBF_4-NaF) を回す。発電系の方は、新鋭火力発電所の装置をそのまま使用する。また、一次ループからは全体の 5% ぐらいの燃料塩を分流させて、クリプトンやキセノンといった核分裂生成ガスを分離する。

溶融塩発電プラントの構成

図 5.2

図 5.3 に溶融塩炉の設計例を示す。炉心の中には六角柱の黒鉛減速材が詰めてあり、その外側を黒鉛反射体で囲む構造である。これら全体を炉容器の中に納める。炉の中心部の黒鉛減速材は上下に動く機構になっており、制御棒として使用される。この炉容器の直径は 5.3 メーター、高さは 5.5 メーターとなる。炉全体の熱出力は 350 メガワット目標である。

図 5.3 に溶融塩炉の設計例を示す。炉心の

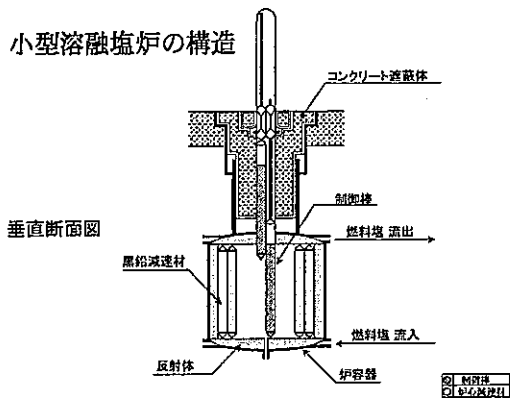


図 5.3

炉内には 0.54 トンのウラン 233 を入れる。ウラン 233 を燃料とする、いわばウラン溶解塩炉と呼ばれる炉である。

2000 日間の炉の特性変化を図 5.5 に例示する。2000 日という、だいたい6年ぐらに対応する。中性子実効増倍係数 (k_{eff}) は炉の運転初期を除いて、1.016 ぐらいになる。燃料転換比は、最後の6年目で 0.93 である。大ざっぱに試算すると、炉で使った燃料の 93% が炉の中で自然に回復することになる。

Table 3 Changes of reactor core characteristics during 14000 days.

Operation period (days)	k_{eff}	CR	α_T (1/K)	ϕ_0 (n/cm ² /s)		ϕ_{14} (n/cm ² /s)	
				>52keV [$\times 10^{13}$]	<18eV [$\times 10^{12}$]	>52keV [$\times 10^{13}$]	<18eV [$\times 10^{12}$]
0	1.024	0	-1.8	6.1	0.47	0.58	
2000	1.016	0.93	-1.5	5.9	0.47	0.70	
4000	1.016	0.93	-1.5	5.8	0.47	0.72	
6000	1.017	0.93	-1.5	5.8	0.47	0.73	
8000	1.017	0.92	-1.5	5.8	0.47	0.74	
10000	1.016	0.92	-1.6	5.8	0.47	0.74	
12000	1.017	0.92	-1.6	5.8	0.47	0.75	
14000	1.017	0.92	-1.6	5.8	0.47	0.75	

k_{eff} : neutron multiplication factor ϕ_0 : irradiation on graphite moderator
 CR: fuel conversion ratio ϕ_{14} : irradiation on reactor vessel
 α_T : temperature coefficient or reactivity

図 5.6

ことがわかる。

小型溶解塩炉の主要設計値を図 5.4 に示す。発電容量は 150 メガワット、炉心の熱発生率は 1m³ 当たり7メガワット。炉出口の燃料塩温度は 980 ケルビンである。

小型溶解塩炉の主要設計値

発電容量	150MWe	熱発生率	7.0MW _{th} /m ³
熱出力	350MW _{th}	中性子増倍係数	1.024
熱効率	0.43	炉反応度の温度係数	-1.4 × 10 ⁻⁵ /K
炉容器	直径/高さ	燃料塩	²³³ UF ₆ 濃度
炉心	直径/高さ		ThF ₄ 濃度
燃料体積率	70vol%		BeF ₂ 濃度
反射体	厚さ 半径方向/軸方向		炉内の体積
	0.5/0.6m		1次系内の体積
黒鉛体積率	99.5vol%		流量
中性子吸収体	厚さ 半径方向/軸方向		温度 流入/流出
	0.1/0.1m		840/980K
黒鉛体積率	99.5vol%	保有量	
最大中性子束		ウラン-233	0.54ton
黒鉛(>52keV)	6.08 × 10 ¹³ n/cm ² /s	トリウム	29.2ton
金属(>0.8MeV)	0.58 × 10 ¹³ n/cm ² /s	黒鉛	182ton
(<0.18eV)	0.47 × 10 ¹² n/cm ² /s		

図 5.4

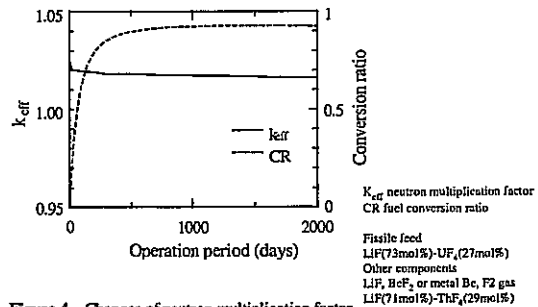


Figure 4 Changes of neutron multiplication factor and fuel conversion ratio during 2000 days.

図 5.5

図 5.6 に 14000 日間運転したときの特性変化をシミュレートしたものを示す。14000 日というのは 42 年にあたる。余剰反応度は 1.6%、あるいは 1.7% という非常に低い値となる。燃料転換比はだいたい 0.92 ぐらいで、温度係数は -1.6×10^{-5} ぐらいになっている。これらによって非常に安定的にコントロールできる炉である

このウラン溶融塩炉の出力は 150 メガワットですが、これを1ギガワットあたりに換算して、性能値を出し、軽水炉と比較して図 5.7 に示す。現在使われている軽水炉の電気出力は1ギガワットで、熱出力は3ギガワットである。この軽水炉はウラン 235 を1年当たり 725 キログラム消費する。同時にプルトニウムを 208 キログラム生産し、長寿命核廃棄物を 22 キログラム生成する。

原子炉で発生したプルトニウムが兵器利用への可能性を含めて国際的な社会問題になっている。高速炉ができれば燃料として燃焼できるので問題は無くなるであろうが、現段階では、世界中でプルトニウムが蓄積して大変になってきている。日本では軽水炉に MOX 燃料を使ってプルトニウムを消費しようとしている。この MOX 燃料軽水炉は、1ギガワット1年あたりに 587キログラムのプルトニウムを消費する能力がある。ただし、長寿命核廃棄物を 121 キログラムも生成するという欠点もある。一方、この溶融塩炉だと、1ギガワット1年あたりにウラン 233 を 56.7 キログラム消費するが、発生するプルトニウムは 0.5 キログラムで、長寿命核廃棄物は 2.1 キログラムとなる。軽水炉に比べて消費する燃料がずっと少なく、しかもプルトニウム、および長寿命核廃棄物の発生量が非常に少ないことがわかる。

U₂₃₃ 炉のまとめ

- 燃料塩……常圧系、強いγ線、
激しい反応無し（空気・水）、
黒鉛から離すと核分裂反応は停止。
- 長寿命核廃棄物の生成量が少ない
Pu生産量は軽水炉の0.3%、
MA生成量は軽水炉の10%。
- 燃料転換比が0.92
燃料補給量は軽水炉の8%。
燃料輸送量を低減。
- 余剰反応度が小、温度係数が大
再臨界・核暴走が起き難い。

図 5.8

核燃料転換比が高いから、燃料の補給量が軽水炉の 8%ぐらいに抑えることが可能である。余剰反応度が小さくて、温度係数が負の値で大きいので、再臨界や核暴走が起き難い原子炉でもある。

一方、トリウム資源は、日本にとってエネルギー資源の供給量の安全保障になり得るものだと考えられる(図 5.9)。

溶融塩炉と軽水炉の性能比較

	軽水炉(U)	軽水炉(MOX)	溶融塩炉
発電量	1.0GW _e	1.0GW _e	1.0GW _e
熱出力	3.0GW _{th}	3.0GW _{th}	2.25GW _{th}
正味生産割合 (1年あたり)			
核分裂性ウラン	-725kg*	-20kg	-56.7kg
核分裂性プルトニウム	128kg	-558kg	0.04kg
全プルトニウム	208kg	-587kg	0.5kg
長寿命核廃棄物	22kg	121kg	2.1kg

*負号は正味消費割合

図 5.7

ウラン溶融塩炉の特長をまとめて図 5.8 に示す。燃料塩は常圧系で、1気圧ぐらいのところを使う。燃料塩は強いγ線を出すので、核テロリズム対策には非常に有効となる。空気や水に触れても燃料塩は激しい反応が起きない。それから燃料塩は黒鉛から離すと核分裂が停止する。長寿命核廃棄物の生成量が少なく、プルトニウム生産量は軽水炉の 0.3%でもある。それから長寿命核廃棄物の大半を占めるマイナーアクチノイドの生成量は軽水炉の 10%。

資源の確保

トリウム資源……供給量の安全保障。

経済性

軽水炉なみの経済性

……炉構造が簡単。安全対策設備が簡単。

安全性

崩壊熱除去……自然循環で冷却。

再臨界・核暴走……起き難い。

(余剰反応度、温度係数)

炉容器の破壊……炉は停止。

(燃料塩と黒鉛を分離)

核拡散・核テロリズム防止

……強いγ線放射を伴う。

……核燃料輸送量が少、Puの生産量が少。

環境の保全

CO₂排出による温室効果がない。

長寿命核廃棄物の生成が少ない。

図 5.9

また、炉の安全性に関連しても、ポンプ事故などが起こっても、一次ループ内に自然循環が起きるので、崩壊熱を十分に除去することができる。再臨界、核暴走が起き難い原子炉ということになる。さらに、軍事的な攻撃を受けて炉容器が壊れるようなものすごい事故が起こったとしても、炉心部から1割ぐらい燃料塩が流れ出れば、それで炉は核分裂反応を停止してしまう。燃料塩は強いγ放射線を出しますから、核拡散、核テロリズムの防止に役立つ。

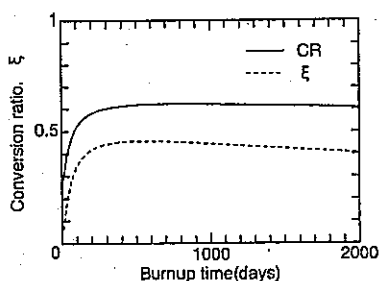
ウラン溶融塩炉では、トリウムを燃やすために、火種として少量のウラン 233 が必要になるが、簡単にはウラン 233 は入手できない(図 5.10)。そこでプルトニウム溶融塩炉(軽水炉の使用済み燃料から得られるプルトニウムを火種に使う)を考えることが現実的である。

図 5.11 はプルトニウム溶融塩炉を設計してみた結果である。ウラン溶融塩炉の場合とほとんど同じである。100 メガワットぐらいの電気出力を考えている。

Design Parameters of FUJI-Pu3

Thermal capacity	250 MW _t	Multiplication factor	1.016
Net electric generation	100 MW _e	Fuel conversion ratio	0.60
Thermal efficiency	40 %	Fuel salt	
Reactor vessel		Pu concentration	0.25 mol%
Diameter/Height	5.7/5.1 m	U _F concentration	0.1 mol%
Core		Th _F concentration	8.0 mol%
Max. Radius/Height	1.57/3.2 m	Volume in reactor	10.0 m ³
Graphite fraction	82 vol%	Total volume	14.4 m ³
Blanket		Flow rate	0.55 m ³ /s
Thickness Radial/Axial	0.33/0.4 m	Temperature In/Out	840/940 K
Graphite fraction	68 vol%	Inventory	
Power density	6.8 kW _t /liter	Pu	0.53 ton
Maximum neutron flux		U(natural)	0.21 ton
Graphite(>52keV)	6.1x10 ¹³ n/cm ² s	Th	16.5 ton
Metal(>0.8MeV)	2.1x10 ¹⁴ n/cm ² s	Graphite	210 ton

図 5.11



$$CR = \frac{\text{Consumed Fissile}}{\text{Produced Fissile}} \quad \xi = \frac{\text{Net Produced U-233}}{\text{Net Consumed Pu-fissile}}$$

図 5.12

溶融塩炉を組み合わせたエネルギーシステムを考えてみた(図 5.14)。

U₂₃₃ の確保

軽水炉の使用済み燃料Puの蓄積。
核弾頭Puの蓄積。

Pu_F炉

Pu·····軽水炉の使用済み燃料
²³⁹Pu-²³⁸Pu-²⁴¹Pu-²⁴²Pu-²⁴³Pu
 1.5 55.0 25.3 13.2 0.5 w%

図 5.10

図 5.12 に 2000 日間の炉特性の変化をシミュレートした結果を示す。燃料転換比はかなり落ちる。破線はプルトニウム転換比で、炉の中で生産されたウラン 233 量と、炉の中で消費されたプルトニウム量の比で、定義される。即ち、炉の中で使ったプルトニウムの4割ぐらいをウラン 233 として得ることができる。

前と同じようにプルトニウム溶融塩炉を1ギガワット当りに換算して、性能を見てみると図 5.13 のようになる。プルトニウム溶融塩炉は、プルトニウムを1年間1ギガワット当たり 925 キログラム消費する。同時に 362 キログラムのウラン 233 を生産する。たとえば MOX 燃料軽水炉と比べて、プルトニウム消費量は 5 割ぐらい大きい値となる。このようにプルトニウム溶融塩炉は、プルトニウム消費炉として、またウラン 233 の生産炉としても良い性能を持っていると考えられる。

そこで今度はプルトニウム溶融塩炉とウラン

Pu炉と軽水炉の性能比較

	軽水炉(U)	軽水炉(MOX)	Pu炉
発電量	1.0GW _e	1.0GW _e	1.0GW _e
熱出力	3.0GW _{th}	3.0GW _{th}	2.25GW _{th}
正味生産割合 (1年あたり)			
核分裂性ウラン	-725kg*	-20kg	362kg
核分裂性プルトニウム	128kg	-558kg	-975kg
全プルトニウム	208kg	-587kg	-925kg
長寿命核廃棄物	22kg	121kg	108kg

*負号は正味消費割合

図 5.13

プルトニウム溶融塩炉は、図 5.14 中の Pu 炉の部分で、ウラン溶融塩炉は同図中の U 炉の部分にあたる。軽水炉使用済み燃料からのプルトニウムを、まずプルトニウム溶融塩炉で燃焼させて発電させる。この際、プルトニウム溶融塩炉内にはウラン 233 がたくさん生産される。それを燃料としてウラン溶融塩炉を運転する。

このようなエネルギーシステムを考えてみる。プルトニウム溶融塩炉もウラン溶融塩炉も同じ出力と仮定すると、プルトニウム溶融塩炉を 20 年から 40 年間運転し続けると、ウラン溶融塩炉を 40 年間運転するのに十分な量のウラン 233 を生産することが可能となる。

20 年から 40 年はかなり長い期間のようであるが、たとえばもんじゅの燃料の増倍時間は 70 年から 90 年と言われているので、それと比較しても妥当な値と考えられる。なお、将来的に大型加速器が実現されれば、加速器溶融塩炉を用いて、トリウムからウラン 233 を直接作るエネルギーシステムを組むことも期待できる。ただ、この場合には 1ギガエレクトロンボルト、300 ミリアンペアの加速器が必要になる。30 年先になるか、50 年先になるか、ちょっとわからないが、もし実現すれば、7 年ぐらい加速器炉を運転すれば、1 ギガワットのウラン溶融塩炉を 40 年運転できるほどのウラン 233 を生産できる体系となる。

原子力システム

利点

- 現実的な技術。
- 半永久的エネルギー資源。
CO₂排出による温室効果なし。
- エネルギー供給の安全保障。

問題点

- 長寿命核廃棄物の蓄積。
- 核拡散・核テロリズム。
- 事故時に大規模な惨禍。

図 5.15

トリウム燃料塩核エネルギーシステムの構成

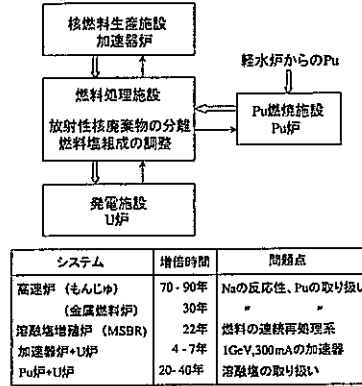


図 5.14

原子力の大きな利点は、既に使用されている現実的なエネルギー技術であり、資源的に半永久的に利用できること、また、炭酸ガスを全く排出しないこと等である(図 5.15)。さらに、わが国にとっては、エネルギー供給の安全保障の観点からも極めて重要である。

一方、原子力には図 5.15 に示すような問題点もある。ただし、ウラン溶融塩炉では、長寿命核廃棄物の生成量は軽水炉の約 1/10 と少なく、強いγ線を伴うので、核拡散・核テロリズム対策上かなり有利と考えられる。また、溶融塩炉では、炉容器が破損するような事故でも、大規模惨禍に進展し難いと考えられるなど、これらの問題点を解決する可能性を持っている。

6. 標準型多目的炉

高温ガス炉は 30 年余りの開発の歴史を持っており、わが国の高速炉もだいたいそのぐらいになる。この炉が目指しおりところは、第一に人とかかわりの少ない安全性を追求することにある。鳥井著書では深い安全性と表現されている(図 6.1)。要するに安心性が高いということである。

それからエンジンのようにシンプルなシステムにすることで、高い経済性、信頼性を具備することを追及している。

この高温ガス炉は、従来の 30%~40%の世界から、40%~50%の高効率発電を目指している。

しかも、産業用熱利用ということで、地域産業、水素製造とかメタン製造、あるいは製鉄といったところにも利用できるような温度特性を持っている。それから多岐にわたる方面へ熱電併給できるようなシステム概念を追及してきている。

高温ガス炉は、これまでドイツ、アメリカを中心にして、いろいろな検討がなされてきた。とりわけ固有の安全特性の面においては、非常に特筆すべき実績をもって、今日まで至っている。にもかかわらず、今日に至るまで商用化されるには至っていない。

大型指向の中で経済性を追求し、その経済性という厚い壁を打ち破れなかったというのが主たる理由だと考えられる。その場合、技術のブレークスルーが必要だったのではないかとの意見もある。問題は、その開発への活力が出なかったということに尽きるのかもしれない。

図 6.2 にいろいろな原子炉の一覧を示す。原子炉の入り口温度が何度、出口温度が何度という温度を併記したものである。軽水炉の BWR、PWR はだいたい 300°C 前後というところで、FBR「もんじゅ」は 500°C ちょっとです。在来のガス炉ですと 600°C ぐらいである。高温ガス炉は、この図からも、だいたい 1000°C ぐらいをねらっているのがわかる。それが高温と言われる由縁でもある。

図 6.3 に高温ガス炉開発の歴史を示す。まず燃料の形態で二つの大きな流れがある。ペブルベッドというのはボール状の燃料を使う炉心概念である。それを炉容器の中にゴロゴロ詰め、そしてその間を冷却材で冷やしながら高温を出そうという概念である。これはドイツを中心にして開発が進められてきたもの。実験炉 AVR、原型炉の THTR、それから HTR-M がある。M はモジュラーと

はじめに

- ・ 高温ガス炉とは、人と関わりの少ない安全性(深い安全性)を備え、エンジンのようなシンプルなシステム化(高い経済性)を追求する一般的な設計思想に加え、原子力エネルギー利用の多様化、拡充化(高効率発電、産業用熱利用、分散電源システム等)を目指す原子炉概念である。
- ・ そして、これまでに多くの検討がなされ、とりわけ固有の安全特性の面で貴重な実績をもっている。
- ・ にもかかわらず、今日まで商用化されるに至っていない原子炉である。

(註)深い安全性:できる限り自然の法則や人間の本性に複合した形で追求された安全性
(日本経済新聞社論談委員 鳥井弘之氏著「原子力の未来」より)

図 6.1

原子炉出入口冷却材温度

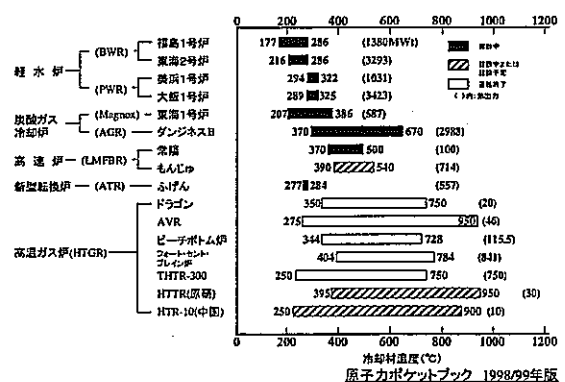


図 6.2

高温ガス炉開発の歴史

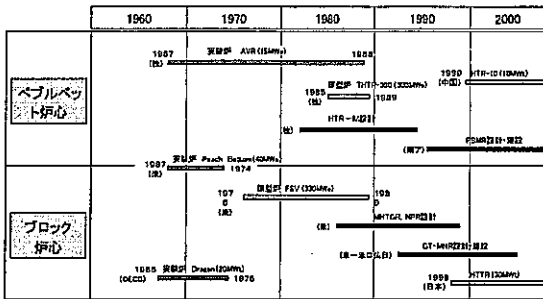


図 6.3

という意味です。こういう流れから、これまでの成果が技術集約されてきている。その成果が、中国の実験炉 HTR-10 の建設につながっている。それから南アフリカでも実用化、商用化をねらって、いま建設が計画されている。

一方、ブロック炉心というのは、60センチ、70センチぐらいの高さのブロック状の黒鉛を幾段か積み上げて炉心を形成する。こちらのほうはアメリカを中心に開発が進められもの。ピーチボタム、フォートセントブレンの流れがそれにあ

たる。それまでの成果を集約したものとして MHTGR がある。それが、ロシアで計画されている GT-MHR の建設計画につながっている。これは直接ガスタービンのモジュラー型高温ガス炉といわれるものである。

わが国でも、茨城県の大洗町に HTTR が出来上がって、出力上昇試験の最中にある。ブロック炉心の技術の継承がここでもなされている。

高温ガス炉の運転実績をいわゆる「炉年」という単位で表すと、だいたい 50 炉年ちょっとというところになる。高速炉が 300 炉年程度なので、その数分の1というレベルになる。

図 6.4 に高温ガス炉の基本的特徴を簡単に示す。軽水炉と比べるとわかりやすいが、そもそも使っている物質が異なる。それから特徴的なのが燃料及びその使用形態の違いである。高温ガス炉では、燃料の形を1ミリ程度の非常に小さな粒々にした仁丹状の燃料にして使う。また、軽水炉は金属被覆管であるが、高温ガス炉ではセラミックスの被覆管を使う。そこが大きな違いである。

高温ガス炉の基本的特徴
(軽水炉との違い)

	軽水炉	高温ガス炉
材料構成上	冷却材 moderator 水	ヘリウム 黒鉛
燃料	ペレット・金属被覆管 (ピンバンドル)	仁丹燃料・セラミック被覆 (黒鉛ボール/ブロック)
出力密度	PWR 約 100w/cm ³ BWR 約 50w/cm ³	(3~6)w/cm ³
プラント1基当りの容量	100万kWクラスで商用化	10~30万kWで商用化に 照準
特性上	炉出口温度 熱効率	300°C前後 35%前後
		~1000°C 45~48%

図 6.4

出力密度は、経済性、安全性に非常に効くファクターで、PWRは100W/cm³、BWRが50W/cm³程度である。高温ガス炉は、3から6W/cm³というレベルになっている。高速炉が軽水炉の2~3倍なので、それらに比べて極めて小さいということになる。小さいということは、この場合穏やかだという意味である。プラント出力においても実用化をねらう規模としては、軽水炉だと電気出力で100万キロワットクラスになるが、高温ガス炉は、10万から30万キロワットというところで商用化しようという照準が設けられている。

また、特性上の違いとしては、熱効率が格段に違う点である。

さらに高温ガス炉は、非常に欲張りで、出てきたエネルギーを徹底的にしゃぶり尽くすということを考えている。図 6.5 に、ユーザーがこんなに期待できるという例を示す。非常に高いところのエネルギーは、もちろんガスタービンで発電もできるし、水素製造とか、製鉄とかいろいろなかたちで応

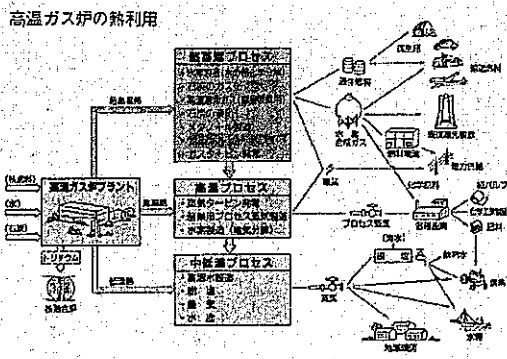


図 6.5

当然であるが、高温ガス炉のセールスポイントは安全性が非常に高いということである(図 6.6)。

まず一つは、燃料が被覆燃料粒子であること。セラミックスというのは非常に耐熱性に優れているから、燃料の回りに三重、四重としっかりと被せれば、非常に健全性の高い燃料になる。

それから冷却材にヘリウムを使う。ヘリウムは化学的に安定しており、放射化する心配もない。まして、どこまで行っても単相ですから、相変化に伴うややこしい問題も発生しない。熱衝撃などに対しては、非常に緩慢な現象となって現れる。それから減速材に黒鉛を使う。水に比べて減速能力は劣るが、逆にたくさん使うと、熱容量が大きく取れるということになる。従って、何かあっても挙動が非常に緩慢になる。それでこのような物質を選んで構成している。

次に、炉心の出力密度ならびにサイジングを小さくしている点で挙げられる。崩壊熱の除去については、多重性を持たせており、最終的には周りへの自然放熱で、きちんと冷えて収まるという工夫をしてある。

運転時の燃料の温度許容温度に比べ、大きな余裕をもって使用し、健全性が保たれ同時に、その間の温度フィードバックの反応度を利用できる。また、一番弱くなる配管に大口径配管を使わないシステムとして、スリー・ベッセル構造という工夫をしている。

図 6.7 に燃料構造を示す。仁丹の形をしている。これは 0.5 ミリほどの燃料部分を四重の炭素ないし、炭化ケイ素でくるむ。できあがった1ミリほどの径のものを、直径 60 ミリ程の黒

用が可能である。

さらに中間のところからは蒸気タービンによる発電利用、つまり、デュアルサイクルが可能になる。電気を徹底的に出しながら、かつこのレベルでも産業用プロセス蒸気が利用できる。さらに中低温になると、民生、その他の水を作ったりする、そういう利用部分も出てくる。このようなかたちで徹底的にしゃぶり尽くそう、そういう可能性を秘めた原子炉が高温ガス炉である。

高い固有の安全性を興く設計上の特徴

- ①高温ガス炉の基本的特徴
 - ・被覆燃料粒子(セラミック被覆) 一炉心熔融なし、1600°CまでFP保持
 - ・ヘリウム冷却 一除熱性能の急激な変化なし、反応度への影響なし
 - ・黒鉛減速(セラミック、熱容量大) 一炉心熔融なし、事故時挙動緩慢
- ②固有の安全性を高める設計上の配慮
 - ・炉心出力密度、炉心寸法の制限 一自然放熱(伝導・輻射)により燃料温度1600°C以下
 - ・運転時の燃料温度の余裕 一反応度温度フィードバックによる大きな負の反応度
 - ・スリー・ベッセル構造(大口径配管なし) 一炉内への大量の空気侵入なし

図 6.6

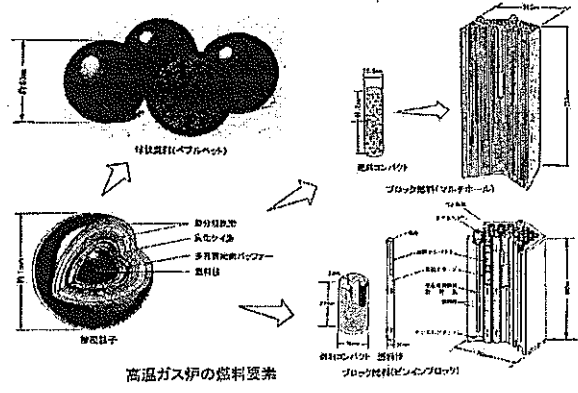


図 6.7

鉛ボールの中に1万個ほどちりばめまる。ちりばめて一つの燃料球という形にする。因みに電気出力10万キロワットぐらいの原子炉だと、これが36万個ほど入る。炉容器の中にごろごろ転がるが、1個のボールの中の燃料は7グラムを超さないようにしている。その中で核分裂物質というのは、10%程なので、36万個集めても2トンとか、2.5トンといったような感じになる。

一方、ボールではなくてブロックと称している燃料がある。練炭に類似した構造で、仁丹燃料がちりばめられたブロックには穴があいており、その穴をヘリウムがとおって、熱を取り出していくタイプである。まさにタドンとか練炭という構造になる。両方ともホワホワと穏やかな熱を出すから、豆を煮るような感じといえる。

原研のHTRで使っている燃料は練炭とは多少異なるが、黒鉛の中に穴をあけて、燃料棒をその中に入れ、穴と燃料棒の間を冷却材が通って熱を運ぶタイプです。しかし、これも練炭状といってよい。

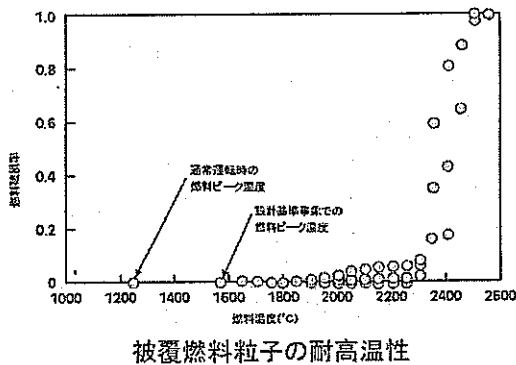


図 6.8

燃料の健全性については、きちんとしたデータを取っている。図 6.8 の縦軸は破損率をパーセントで、横軸は温度を表している。2000°C 近辺までは何も問題ないというデータになっている。それに対して設計温度は1600°Cとしている。ここまで抑えておけば、まず問題はない。通常運転時の燃料ピーク温度が1200°Cということであれば、核分裂性物質が出てくる心配はまずあり得ない。いままで、多重性を追い求めていたが、核心のところで抑えて

しまう。そういう概念の原子炉である。このような努力の結果を図 6.9 に示す。事故時の安全性確保のための固有の安全性は、止まる、冷える、出ない、こういうかたちにあることである。工学的な手段によらないでも、冷却材が喪失したり、何らかのかたちで反応度が加わったりした場合、自然に核反応が停止すると仕組みである。

それから冷やすということに対しては、工学的な手段でそれなりの設備は持つが、その機能が全部なくても、原子炉の周りのところに全部自然放熱して、炉心は冷える。しかも、燃料の健全性に影響しないようなレベルに抑えられる。

図 6.10 は、ドイツの実験炉 AVR で安全特性を調べたものです。全ての制御棒は操作しないで、そのままの状態にする。そして高速炉とか軽水炉のポンプに相当するガス循環機を止める。そうすると出力は瞬時に 0 になる。構造物の温度、燃料の温度、ゼノンの吸収効果が大いことによる影響などで 15 時間ほどして再臨界になるが、このように振動しながら 1% 以下のところで静定する。こ

事故時の安全性確保のための固有の安全性

- ①原子炉停止(止める)
 - ・冷却系機能喪失時 - 自然に核反応停止
 - ・反応度印加時 - 自然に出力の上昇が制限され、新しい出力レベルで安定止まる
- ②前燃熱除去(冷やす)
 - ・全冷却系機能喪失時 - コンクリート、土壌等への自然放熱で炉心(燃料温度)は制限温度(1600°C)以下に冷却冷える
- ③放射性物質の閉込め(出さない)
 - ・①、②の固有の安全性により、FPは被覆燃料粒子内に閉込め
 - 注) 空気注入、水侵入事故時の炉心-黒鉛酸化については設計対応可能出ない

図 6.9

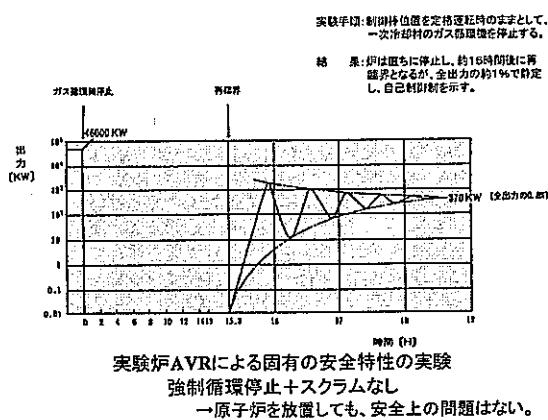


図 6.10

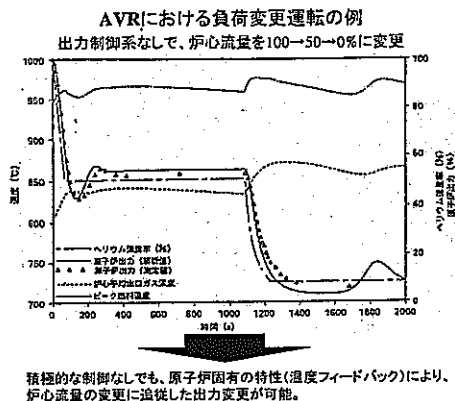


図 6.11

これは実際に行った実験で、強制循環停止＋スクラムなしでもって、原子炉を放置しても、安全上の問題がないということを実証した例である。

図 6.11 は、直接の安全性の特性試験というものではないが、興味深いので示しておく。100%の出力になったときに、炉心流量を50%に落とす。そうすると制御棒を操作しなくても出力が追従する。それで、さらに流量を落とすと、出力も追従して低下する。温度フィードバックが働いているという証拠である。

次に世界の状況をみていく(図 6.12)。

二つの動きがある。

世界の状況

- 試験炉、実験炉の開発(出口ガス温度 900~950℃)
 - 日本: 高温工学試験研究炉(HTR, 30MWt)
1998年11月臨界、2000年4月出力上昇試験開始
 - 中国: 実験炉HTR-10(10MWt)建設中、2000年臨界予定
開発目的: 分散型電源、産業用熱電併給、石炭ガス化・液化
- 実用炉設計
 - 米/ロ/仏/日: 高温ガス炉ガスタービン発電プラント(GT-MHR, ~300MWe/モジュール)
詳細設計実施中、2009年運転開始目標
 - 南アフリカ: 高温ガス炉ガスタービン発電プラント(PBMR, ~100 MWe/モジュール)
詳細設計・安全審査開始、2005年運転開始予定

図 6.12

まず高温ガス炉である以上、高温ガスを出し、それから、出た高温ガスを利用する技術をきちんと押さえようとする活動です。ひとつは日本の原研のHTTRで、これは今年の4月から出力上昇試験を行うものです。それから一方、中国で建設中のHTR-10がある。これは熱で1万キロワット、その3分の1ぐらいの電気を出す。要するに多目的炉が開発目的で、発電もし、熱利用もしようというものです。本年、臨界という報告が公式に示されている。

こうした基礎基盤とは別の流れがある。実用化、商用化しようという動きである。ロシアに建設計画中のGT-MHRで、ロシアの解体プルトニウムを燃焼しようという計画が動いている。中心となっているのは米ロで、フランスと日本も参加している。これはガスタービン直結という方式で、原子炉とガスタービンと発電機からなるエネルギー変換部分の2つの容器のみで発電が可能となるものです。1モジュール当たり電気出力が30万キロワットで、四基作ることを計画している。解体プルトニウムを四基の炉で1年間に1トン燃焼するというねらいを持って進めている。解体プルトニウムを燃やすためという目的のもとに、高温ガス炉の開発を計画している。

それから南アフリカでも、ガスタービン直結型の発電プラントの計画が進行している。現在、詳細設計の段階にあり、PBMR と呼称されている。これはペブルベッドのモジュラー型です。1基当たりの電気出力は 10 万キロワットで、10 基ぐらい造って、経済性を確かめる計画である。

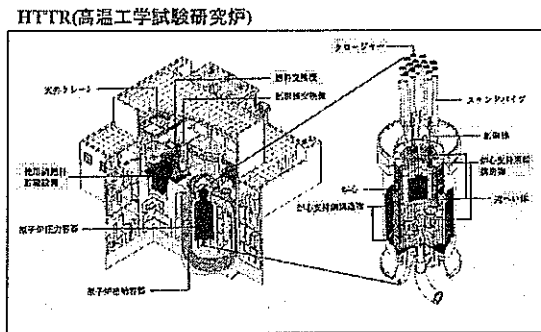


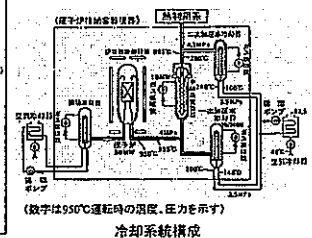
図 6.13

次に HTTR の主要緒言と系統図について言及する(図 6.14)。現在は、原子炉の中に中間熱交換器とか冷却器を介して、ガスが冷やされ、100°Cぐらいで大気に放出される。その後、水素製造等の熱利用系に関する計画が第 2 フェーズにある。出力上昇試験などを経て、熱利用技術の研究に入ることになっている。

図 6.13 は原研の工学試験炉です。格納容器、炉容器があり、その中に炉心、つまりブロック状の燃料が積み上げられている。炉心の大きさは、直径が 2m、高さが 3m 程度である。高温だから、材料、構造上の工夫は当然なされている。冷却材で周りの構造を冷やしながら流れる。配管で言うと二重管にして内側が熱く、外側が冷たいという工夫が必要となる。材料、構造設計は、工夫が求められる。

主要緒言 (HTTR)

基本事項 利用目的及び用途 熱出力/電気出力 プラント規模 燃料種 冷却材 冷却材圧力 原子炉冷却材温度 (入口/出口) 冷却材流量 燃料形式 燃料貯蔵 原子炉圧力容器 圧力容器 炉心寸法 (直径/高さ) 炉心貯蔵容器寸法 (内径/高さ) 出力密度 燃焼速度 燃料 ウラン濃縮度 燃料貯蔵方法 燃料貯蔵容器寸法 (直径/高さ) 燃料貯蔵容器材料最高温度	試験炉 80MW 100MW級 ヘリウムガス 4MPa 250°C/850~850°C 44.6t(850°C)/26.5t(1000°C) 磁気降下ブロック型燃料要素 鋼製(2.0x0.14m) 鋼製 23m/2.9m (直径/高さ) 2.5m/1.3m (内径/高さ) 2.5MW/m ³ 2.3x10 ²¹ W/g UO ₂ , ThO ₂ , UC ₂ 3~10wt% ²³⁵ U(60wt%) 36m/2.8m (直径/高さ) 30t/2.5x5段 105°C
--	--



HTTRの主要諸元と系統図

図 6.14

図 6.15 のペブルベッド型高温ガス炉開発の技術成果は HTR モジュールに集約されている。それが中国や南アフリカで計画を進めているものの原型となっている。

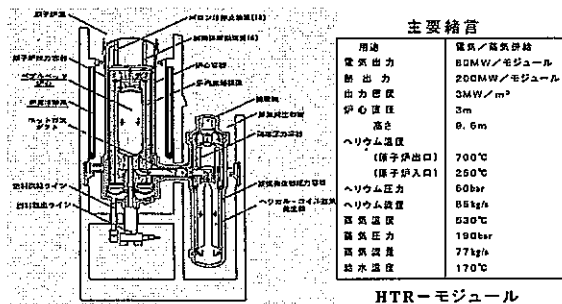
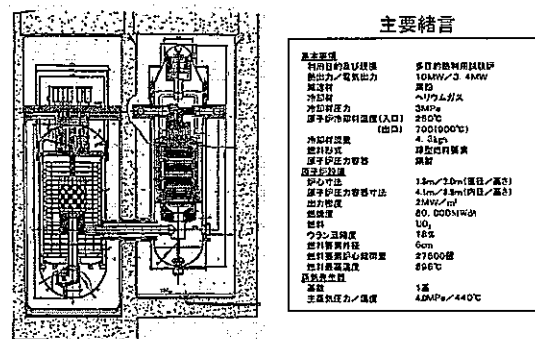


図 6.15

図 6.16 を見れば、類似の程度が理解される。これが中国の HTR-10 という実験炉である。このたった二つの機器というか容器の構成でもって、原子炉からの熱を、電気エネルギーに変換する。ここには複雑なシステムは一切ない。



HTR-10の主要諸元と構造図

図 6.16

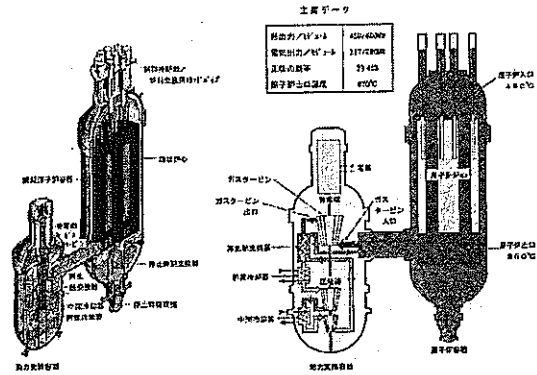
図 6.17 はロシアの計画である。だいたい同じようなものだが、中国の燃料がボール(ペブル)であるのに対して、こちらはブロックというものになっている。

ボールにするか、ブロックにするかは、一つの分かれがある。たとえばボールにすれば、燃料をグルグル回して、徹底的に燃やすことができる。熔融塩炉と似たような概念である。ただし、制御棒は入らないから、ボールの外側で制御を行う。この点は 4S と似ている。従って、サイジングは少し小さめになり、10 万キロワットぐらいのモジュールになる。一方、ブロックのほうはそういう制約がない。ちょっと大きめの 30 万キロワットぐらいでモジュールを考えられるが、どんどん大きくすることも可能である。安全性を含めて、総合的に経済性を出そうという意図である。

図 6.18 はロシアの計画。ガスタービンでダイレクトに熱を電気に変える。そして目的のひとつに、核解体プルトニウムの燃焼がある。これは高温ガス炉開発と直接かかわり合うものではないが、装荷したプルトニウム 239 の燃焼特性が非常に良く、その効率は 90%にもなる。100%プルトニウムの燃料を使うことができるというのも特徴である。燃焼度が 60 万、70 万 MWD/tと大きく取れ、しかも穏やかに使って、徹底的に消滅させることのできる原子炉である。

図 6.19 は南アフリカのプロジェクト。世界第4位の大きな電力会社エスコムという会社を中心になって計画を進めている。低廉なコストがねらいで、建設単価キロワット 11 万円ぐらいということです。その辺のものをねらって計画を進めているようである。ある程度見通しができない話でもある。本当かなと思いつつも、関心と期待を持たれている。

現在、国際協力の手を借りながら、IST というエンジニアリング会社が設計をまとめている。フィージビリティスタディーに 700 億円位の高額な出資を政府が認めて、それに対してイギリスの BNFL 社とか、フランスのプラマトム社とか、ドイツのジーメンス社とかが出資に関心を持っているという話も伝えられてきている。



GT-MHRの全体構成

図 6.17

GT-MHRの特徴

- (1) 経済性向上
 - ① 高い発電効率 : 45~50%
 - ② 単純なプラント構成 : 蒸気発生器・水蒸気系を必要としない直接サイクル
 - ③ エネルギー有効利用 : 発電効率を犠牲にすることなしに排熱利用可能 (地域暖房、海水淡水化など)
 - ④ 標準設計による量産効果
- (2) 高い固有の安全性/わかり易い安全性
 - ・需要地近接立地に適した特性
- (3) 優れた核燃料プルトニウム消滅特性
 - ・装荷したPu-239の約90%を消滅可能
- (4) モジュール炉としてのフレキシビリティ
 - ・需要に応じたモジュール設置 - 同一設計で幅広い需要に対応
- (5) 良好な負荷追従性
 - ・部分負荷時にも高い熱効率維持

図 6.18

南アプロジェクトプロジェクトの概要

- (1) 計画主体 : ESCOM (国営電力) - 世界第4位の発電設備容量
- (2) 基本要件条件 : 建設コスト 1,000 \$/kW、発電コスト 2¢/kWh
- (3) プラント概要 : ペブルベッド型炉心、直接サイクル・ガスタービン発電
単基出力 約10万kWe、プラント出力 約100万kWe
- (4) 設計体制 : 設計とりまとめ IST (Integrators of System Technology)
動力変換システム AEC (南ア原子力公社)
原子炉 ドイツ・コンサルタンツ・チーム (KFA, Siemens OB, ABB, OB)
- (5) スケジュール : 概念設計終了 (1997年3月末完了)
詳細設計・予備的安全審査開始、2005年運転開始予定

図 6.19

なぜ高温ガス炉が選択されたのかということとは、産業が集中している沿岸地域では、当然電力需要は大きい(図 6.20)。ところが、石炭などは北東内陸部に存在しており、石炭の運搬や電気を持ってきたりすると非常に割高になってしまう。このようなことから原子力発電所が必要となった。いろいろ比較すると、高温ガス炉は石炭火力などと比べ非常にエコノミーであるということが一つの根拠になっていると考えられる。

南アプロジェクト

HTRの選定理由

過去/候補/今/次	要/条件	HTRの選定理由
1. 低発電コストが南ア経済競争力の源 石炭火力 0.7~1.8US\$/kWh	1,000US\$/kWe、 2US\$/kWh	LWRでは1,500US\$/kWh以上 固有安全、高効率、シーズ生産-GT-HTRでは可能性あり
2. 1980年代~90年代初頭の設備過剰状態(50%過剰)	短リードタイム (24ヶ月) 容量自由度大	小容量モジュール、標準設計 →モジュール型HTR
3. 従来鉱業関連産業主体-24時間稼働-黒人用民生需要、工業、サービス業増大	負荷追従特性良	HTRでは10%/min (20%~100%)可能
4. アパルトヘイト-対外孤立-世界市場への開放	沿岸地域への産業立地-沿岸地域の電力需要大	産炭地北東内陸部に偏在-石炭火力輸送/送電コスト大-原子力発電有利

図 6.20

図 6.21 はその全体図である。20m 程度の立方体で出力 10 万キロのものを 10 基作る。計算すると 100 万kWe 級の軽水炉とだいたい同じ敷地でできるという結果になっている。

図 6.22 は南アフリカの新聞に記載された関連記事です。

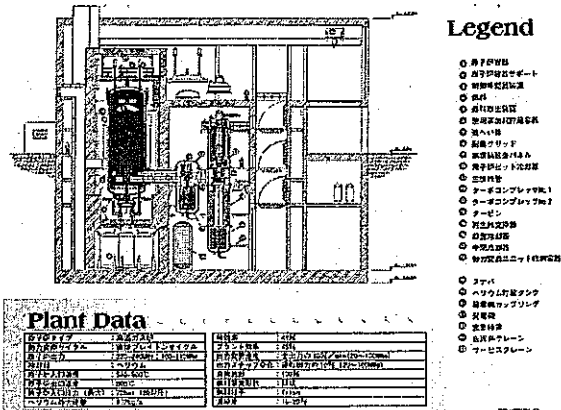


図 6.21



図 6.22

最後に図 6.23 にまとめを整理する。

高熱効率、それから非常に幅広い熱利用が可能である。生まれた熱を 100 とすると、そのうちの 70~80% を利用することが可能で、非常に有効に原子力エネルギーが使えるシステムである。安全性も優れている。それから燃料サイクルについては非常にフレキシブルである。発電に加え、新たな熱利用の拡大ということで、東南アジア等へのエネルギー源としての適正も大きい。

開発状況を集約すると高温化技術の基礎基盤のところは、いま、日本も含めて進めているが、実用化、商用化には至っていない。

まとめ

高温ガス炉の特徴

- ・高温熱源
- ・優れた安全炉
- ・柔軟な燃料サイクル

高効率発電、高温熱エネルギー利用/電熱供給
原子炉構成材料(セラミックス燃料、ヘリウム冷却材など)、おだやかな運転仕様(低出力密度)、小型化、システムのシンプル化(過剰な事故想定が不要)
ウラン-プルトニウム/トリウムサイクル
リサイクル/ワンスルー

導入効果

- ・原子力エネルギー利用の拡大
発電に加え、新たな熱利用分野への拡大による。CO2排出低減寄与。(特に)アジア等へのエネルギー源としての適性大

開発状況

- ・高温ガス炉基本技術 安全特性: AVR(独)、フォートセントブレイン炉(米)で実証
高温化技術: HTR(日)、HTR-10(中)で実証計画(課題)
- ・実用化・商用化計画 PBMR(南ア)、GT-MHR(ロ・米)が国際協力のもとで展開中(課題)

図 6.23

第2章 国際的産業形態の再編成からの新たな原子力産業形態の調査

1. 産業環境の捉え方

1.1 標準化が業界をリードする

わが国の産業環境は、かつての国際化という概念から、自由化、ボーダレス、地球規模、宇宙時代、ネット社会、等々と呼ばれる概念へと、おどろくべき速さで推移してきている。

当然、多くの人々が充分理解するといった、これまでの社会受容が普及の律速であったストーリーは、いとも安易に、見識なく壊され、概念主導で、いわば、宗教的権威主義的に、抑圧的に、燎原の火の如く普及させる“現象”になってきている。

見識が協働して一定の枠と規約を定めるデ ज्या (デジュール) と呼ばれる標準化も、ISOやJISといった中で確かに存続はしているものの、形骸化が著しく、“今”との乖離を否定はできない。それだけ、公的機関が決定するメカニズムが遅いのか、社会の受け入れ速度が速いのか、あるいは、単に、変化が急速なのか、は明快には区別できるようなものではないが、社会が必要とするものの浸透速度は、公の決定を待つてはくれないことだけは明確である。

このような受容の速さは、宗教的権威主義的な流布と強引な浸透という手法に他ならないが、かつての覇者・征服者の“制定”と酷似している。この手法は、デ ज्या に対して、デファクト・スタンダードと呼ばれている。

ある種のデファクトは、世界を席捲し、新たなデファクトが台頭するまで君臨し続けられる。このようなデファクトは、わが国の歴史における“下克上”の如く規範(ルール)なき覇権戦争を招来させ、しのぎあいの場、破滅か成功かのドラスティックな場、戦乱・激動の渦を、世界に顕現させている。

伝統的な暖簾に守られた“古典ブランド”であっても、消費地図の塗り替えで急に台頭してきたような“新興ブランド”であっても、ブランド的でないベンチャーカラーの強い一過性のものであっても、その時点の支配を受け入れるのは、消費者という大衆側であることには間違いがない。

特に、21世紀を前にした今日では、流行が予想されるような現象ではなく、意外性な流行という現象に集約されるほどに、誰でもが、デファクトの仕掛け人になれるようなところがある。

しかしながら、歴史上での覇者と同じで、“覇権”を唱えるということは、決して、唐突では長続きがするものではなく、“覇権”とは言い難く、畢竟、計画的で用意周到で、唱えるタイミングを捉えて初めてなせるものが“覇権”であるのと同じく、デファクトも、唐突なものであってはならないし、理論的にも、技術的にも、基礎があり、基盤があり、支えるインフラが充足であることが基本であることに違いはないようである。

1.2 CALS

標準化という考えは、記憶に新しい、βとVHSというビデオ業界における抗争や、TCP/IPというプロトコルのあつという間の浸透から連想できるように、最近の価格破壊現象や、グローバル化の中で、当然の主役のように語られることが多い。特に、冷戦構造の終焉により、軍事上だけでのコンセプト

が堰を切ったように民需の方向へ流入してきている。が、その中でも、アメリカ軍仕様が、多くの業界仕様に影響していることは避けがたい。軍での標準化のスキームが、加速的に、民需の標準化の動きに出てきている状況は否定できない。

ここでは、少し、軍起源のCALSに言及する。

原子力分野、特に、製造前の“調達”という過程が、あるいは、ロジスティックスそのものが、原子力に欠けていたのではないかという反省材料にはなると思う。

1.2.1 CALSとは

CALSは、『最新の商用技術やビジネスプロセス、システム開発・運用管理・データに関する標準規格の導入により、統合されたデータ環境を創出し、取引情報および技術情報を政府と民間との間での共有化を推進しようという運動、概念』と言われるコンセプトである。CALSそのものは、何か新しいものを作り出すというものではなく、既往の情報／システムを高効率化するためのシステムの概念に過ぎない。

CALSでは、前の工程で作成されたデータを後ろの工程で再利用するといった“情報の継続”や、業務の改善を調達にまで遡って適用し、製品やシステムのすべてのライフサイクルを通して機能・活動を強化するという“プロセスの継続的な改善”が定常化される。品質と生産性の大幅向上、コストの削減、企業競争力の強化のためにCALSが求められてきている。

CALSは、米国防衛産業と米国政府とによって複数のシステムの開発・製造、および支援を統合する目的で始められたものであるが、現在では、企業間取引、製造・流通などの共同体である“バーチャル・エンタープライズ(仮想提携企業)”の原型と認識されている。

(1) CALS 出現の背景

軍事分野では、経済性を無視しても先端技術を導入していく傾向があり、兵器から防衛システムが非常に高度化・複雑化してきた。その結果、データやマニュアル等の文書も細かく分類され、その量は急速に増加した。

このことは、情報維持コストを増大させ、修正の遅れを誘発し、不完全な修正がマニュアルそのものを使えなくするようなケースを招来させた。さらに、人事異動が一層の文書管理の混乱を産んだ。

国防総省は、危機意識をいだき、ペーパー洪水の対策として、電子情報(デジタル情報)の利用方針を1985年に打ち出した。これがCALSの始まりである(図1.1参照)。

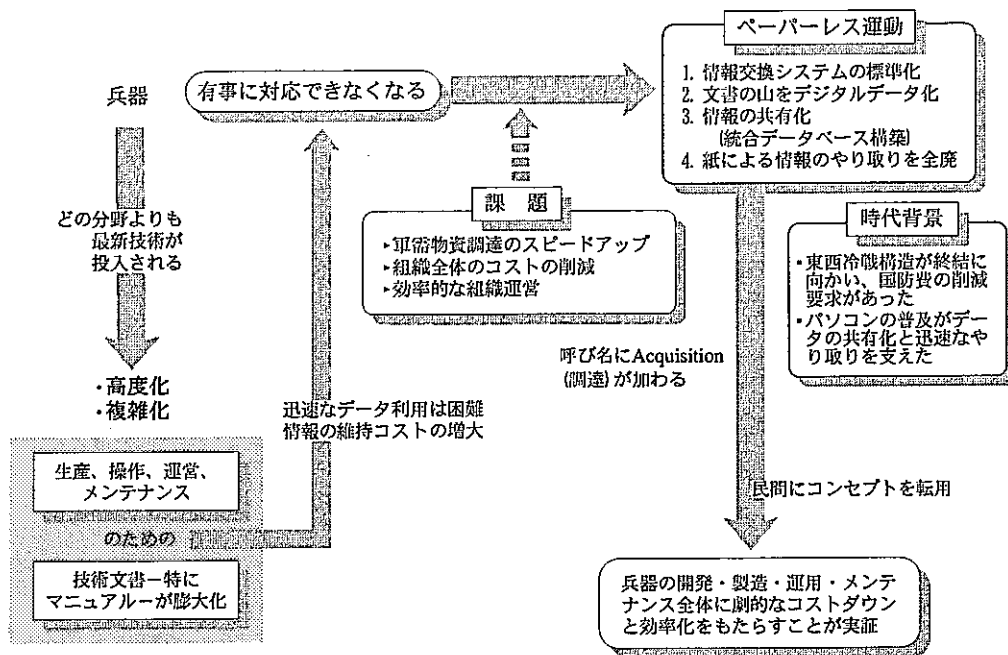


図1.1 CALS誕生のきっかけと背景

(2) CALS コンセプトの変遷

CALSの呼び方はコンセプトの進化とともに、次のように変遷してきている。

① Computer Aided Logistics Support systems

(コンピュータによる米軍の後方補給支援システム)

防衛システムの後方支援の電子化を目的としてスタートした。

② Computer aided Acquisition and Logistics Support

(コンピュータによる米軍の調達および後方補給支援)

1987年になると国防総省と契約企業間との調達(Acquisition)が重要視され、国防総省へ納入する業者にはCALS準拠が義務づけられることになり、防衛産業はCALS導入が必要条件となった。

③ Continuous Acquisition and Life-cycle Support

(継続的な調達と製品ライフサイクルの支援)

防衛産業でCALS効果が実証されるにつれ、他の省庁や民間企業でも注目されるようになった。特に高度な機器や複雑な部品構成をもつ航空産業などでは、積極的にCALS導入を図った。1990年代に入ると軍用から一般産業へとCALSが浸透し、イニシアティブも国防総省から商務省へと移っていった。軍事用語であるLogisticsを外し広く一般の産業にも浸透させるため、製品の開発から廃棄までの一生をめぐるシステムを意味する“ライフサイクル”を含んだ概念に拡大し、すべてのプロセスを支援するコンセプトとなった(1993年)。

④ Commerce At Light Speed

(電子取引・決済におけるスピード化と効率化)

1994年12月に開催されたCALS Expo'94では、CALSによるEC(電子取引・決済)重視を目的とする呼称が提案された。すなわち、製造過程だけでなく商取引も包含したコンセプトが提示された。

これまでのCALSは、強く製造過程での技術的なデータに関連して成長してきた。一方、別途普及していたEDI(電子取引、電子データ交換)は、受発注データなど商取引のデータに主眼が置かれていた。CALSが真の意味で効果を発揮するためには、EDIを駆使したCommerce(決済)を含む商取引の領域も同時に扱うことが必要となり、今日のCALSコンセプトとなっている。

CALSの構成概念を図1.2に示す。

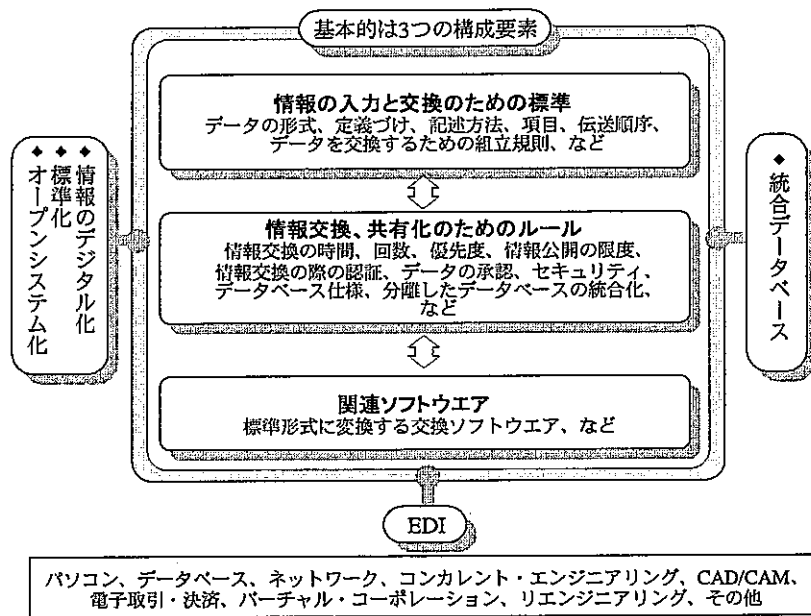


図1.2 CALSの構成要素

(3) 導入手順

CALS実現のためには、異なるメーカーのコンピュータ間でのデータ交換が可能となる情報交換システムの標準化が第一歩である。

標準化の後(あるいは平行して)、技術マニュアル、設計などの文書や図面をデジタル化し、膨大な紙によるやり取りからコンピュータ支援によるデジタルフローへの移行を図る。さらに、デジタル情報を整理・蓄積し、統合データベースを構築することによって、契約企業、あるいは関連企業どうしで情報を共有化でき、情報交換が容易となる。つまり「情報共有化のための標準化」が極めて重要である。図1.3に米国国防総省のCALS導入手順を例示する。

CALSは、

1. 品質の向上
2. コスト削減
3. リードタイム

の短縮などを直接的な目標とし、取り引き相手となる全ての関連機関/企業に対して、標準に基づく情報入力・情報交換を義務づける。

CALSは、「標準化および情報統合化技術を用いて装備品などの設計、開発、調達、管理および後方支援といったライフサイクル全般にかかわる経費の節減、リードタイムの短縮および品質の向上を行なうための官民一体の戦略的アプローチ」とMIL規格(米国軍規格)の手引書であるMILハンドブックに定義されている。

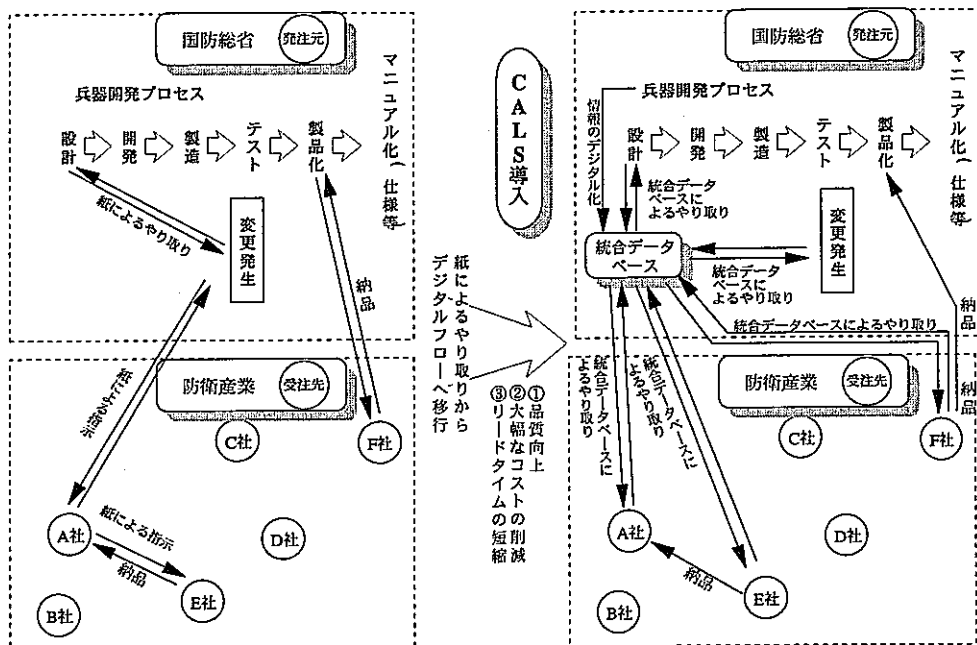


図1.3 米国国防省のCALSコンセプト

1.2.2 原子力の CALS 狙い

現在、部品点数が多く高度化した製品を扱う自動車産業やエレクトロニクス産業などでCALSの導入を図っている。この関連において、原子力産業はまさに、CALS導入を積極的に進めるべきである。

サイクル機構においても、情報システムが構築されてきてはいるが、社外とは紙情報でやり取りするケースが殆どであり、発注に際しては、紙に書いた仕様書～設計図を送っているのが現状である。

防衛産業とは直接関係のない自動車やエレクトロニクスといった製造業は、同様の課題を解決するため、CALSに注目して積極的に導入を図り、新しい視点での情報効率化を進めてきている。米国では、CALS導入が、一時の低迷を脱し、再び競争力を取り戻した背景に大きく影響しているといわれている。

軍用、原子力と一般商用(他分野)のCALC導入の概念を図1.4に例示する。

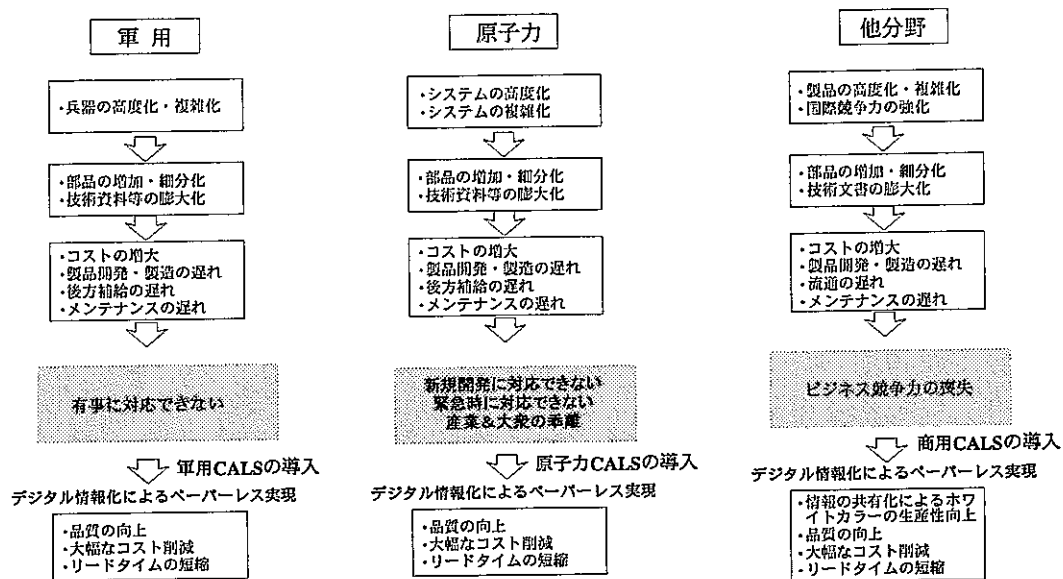


図1.4 原子力CALCとの比較

(1) 情報の共有化

品質の向上、コスト削減、リードタイムの短縮、ペーパーレス化などは軍需産業に限られたものではなく、自動車、鉄鋼、電力、エレクトロニクス、流通、金融、と言った全ての産業に共通するものである。当然、原子力も例外ではない。現在、CALCコンセプトの産業界への拡大化は確実に進んでおり、CALCの導入はグローバルに普及すると考えられる。

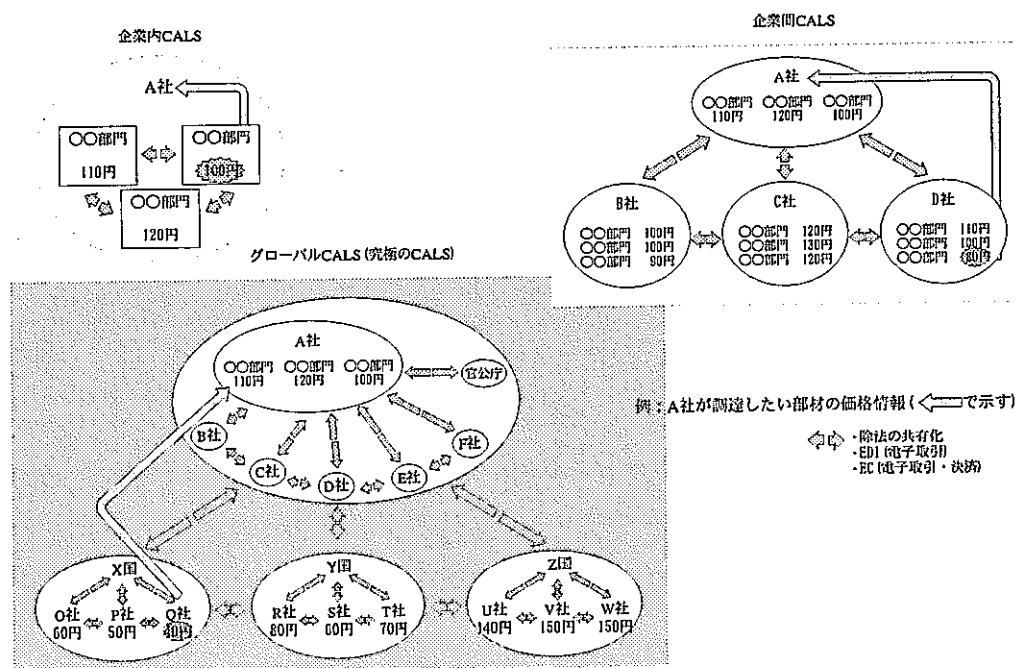


図1.5 CALCによる究極の情報効率化

グローバルな情報の共有化に基づいて、すべての作業がオンライン上で行えるので究極の効率化が可能となる。例えば画面上で世界でもっとも安い部材を瞬時に書類なしで調達することが可能となり(図1.5参照)、グローバルな原子力ロジスティクスが可能となる。

サイクル機構においては、原子力情報の公開が求められ、その対応を進めているのが現状であろうが、コストマネジメントをも包含した理念で、情報の共有化に向けて一気に改革しなければ、IT社会の中では大きく遅れることになる。

(2) リエンジニアリングのトリガー

90年代に入って、リストラ(リストラクチャリング)やリエンジニアリングなどと呼ばれる事業の再構築やビジネスのプロセスの根本的見直しによる、市場の構造的変化に対応する取り組み方が積極的に行われてきている。CALISもこうした根本的な企業活動の見直しの一つであるが、基本的に異なる点がある。それは、リストラもリエンジニアリングもあくまで自企業内を対象とした活動であるのに対し、CALISは産業界全体を対象としている点である。つまり、産業界全体のシステムを変えるコンセプトである。オープンシステムにより、常に必要とする相手との連続性を保ったシステム構築に特徴があると言える(図1.6参照)。

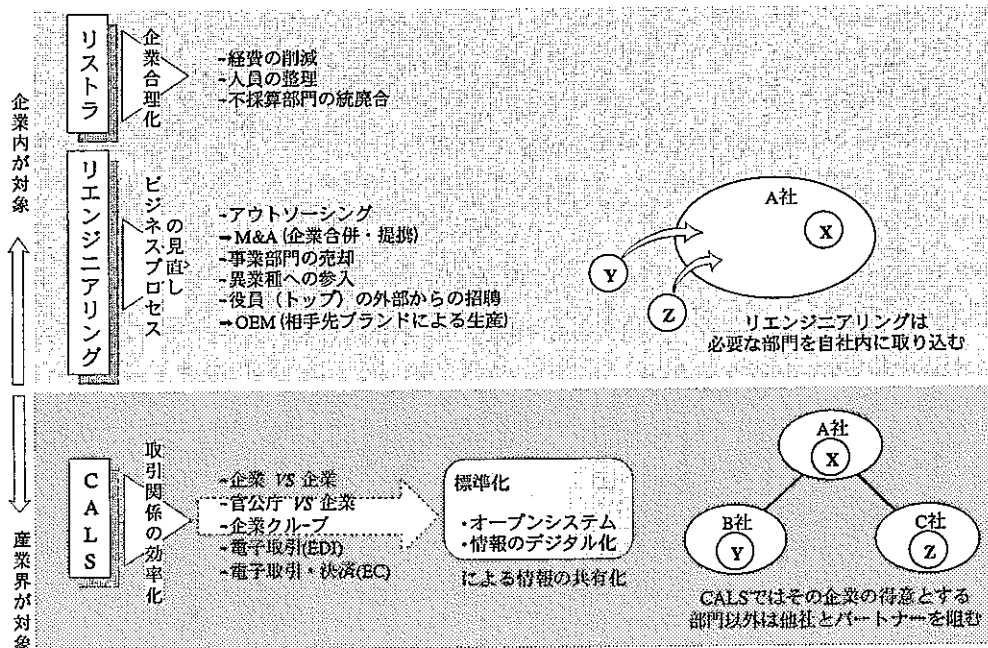


図1.6 リストラ、リエンジニアリング、CALISの比較

CALISでは契約先とか関係機関とパートナーを組むことである。

サイクル機構内部の組織をいかに変えても、関係機関(省庁～研究機関・企業等)の体質が同じであれば、目標であるコスト低減は実現し得ない。むしろ、ボーイング777の参入に見られる「CALIS導入が出来ていない企業・機関は参入させない」という方針を、原子力開発に適用し、参入対象を組み替える取組みは必要となる。

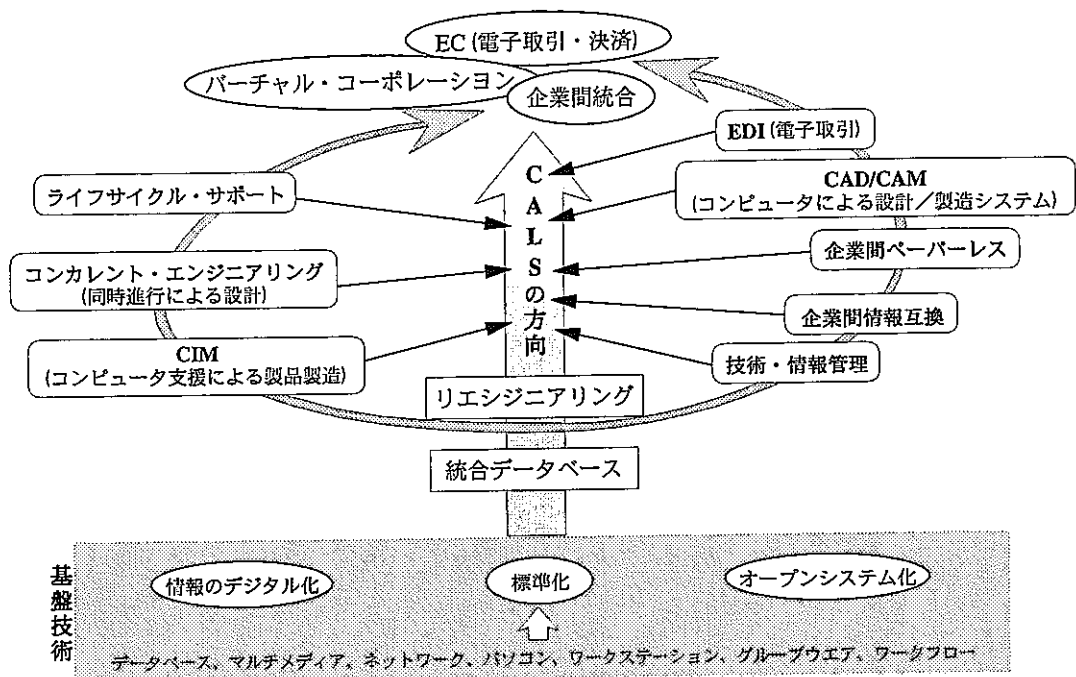


図1.7 CALSの全体像

図1.7はCALSのバーチャル・コーポレーションへと成長する概念を示したものであるが、当面、

- 情報のデジタル化
- 標準化
- オープンシステム化

を目指し、リエンジニアリングが付带的に進行する環境を構築しつつ、情報の共有化を実現することが重要である。階層化している企業系列とバーチャル・コーポレーションの違いを図1.8に示す。

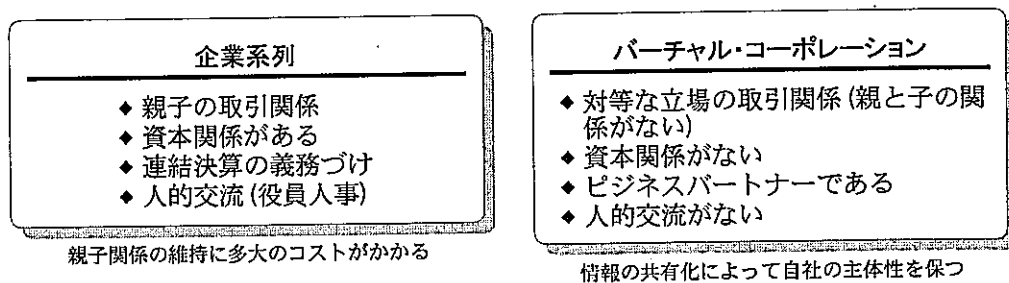


図1.8 企業系列とバーチャル・コーポレーションとの違い

(3) グローバルロジスティクス

情報の共有化により、部品・製品の調達範囲が拡大し、契約等の対象が海外に拡大してくる。現在、多くの企業では、為替変動や製造コストの大幅な上昇から、製品開発だけでなく生産拠点もグローバル化する傾向にある。原子力分野においても海外調達の必要性が高くなってきている。

範囲/規模が拡大すれば、少しの遅れが大きなロスにつながり、在庫管理や物流コストに大きな影響を与える。グローバルロジスティクスのためには、情報の共有化は不可欠であり、CALSによる対応が求められる。何よりも、主体が必要としているもの、考えているものを、デジタル情報として公開することが求められる。

(4) 危機管理

プロセスにおける不具合から、汚染等の事故への対応も、システムの構造が複雑化・細分化されればされる程、原因を特定することはなかなか困難となっている。

契約上においても、特に二重三重の下請け構造に支えられた現在の系列企業群のプロセスでは、契約時間がかかるだけでなく、どこに問題があるかを見つけにくい状況にある。

「製造工程のどこで不都合があったか」「どのメーカーとどのような取引をしたか」は、CALSによるデジタルデータの共有化により、迅速にチェックすることができるようになる(図1.9参照)。

原因の特定がやり易くなることは、対策を立て易くなることでもある。

原子力分野の許認可における検索では、ネジ一本にも及ぶため、軽減化のためにはCALSが必要となる。

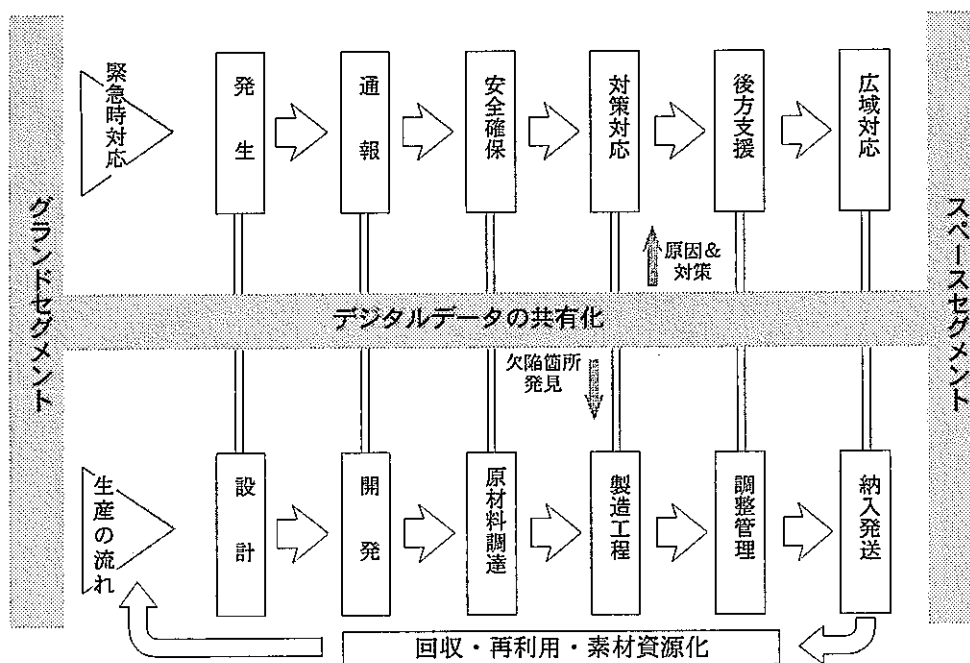


図1.9 CALSによるデジタルデータの共有化

1.2.3 CALS 導入の効果

CALSの導入によって期待される直接的な効果としては、

1. リードタイムの短縮(大幅な時間短縮)
2. コスト削減
3. データ共有化による問題解決への即応

4. 技術力のボトムアップ
5. 品質・メンテナンスの向上

等があげられる。

CALSの情報のタイムロスがなくなるという特徴から、リードタイムの短縮が最大の効果であろう。4.の技術力のボトムアップというのは、データ共有化により関連企業を含めた全体のレベルが上がっていくこと、すなわちインフラストラクチャの拡充と技術ポテンシャルの高度化が進むことである。

米国商務省および業界団体の調査よれば、製品ライフサイクルの全てのプロセスで上記効果が顕著に現れている。その調査事例の要点を図1.10に示す。

CALs Benefits Working Group	商務省・業界団体調査における米国レポート (CALs10193)
工学/設計 (エンジニアリング) 分野 ・新規開発の設計時間の短縮 50~60%減 ・仕様変更の処理時間の節約 30~50%減 ・概念設計にかかるコストの削減 15~40%減	期間短縮 ・新製品の設計 40% ・予備品調達 90%
取得/調達分野 ・データ伝達エラーの減少 98%減 ・検索時間の短縮 40%減 ・手続きのための作業時間短縮 30~50%減 ・文書化コストの低減 10~50%減	サポート ・サポート・コスト 20%
製造分野 ・品質不良の改善 80%向上 ・品質保証に要する作業時間の短縮 30~70%減 ・在庫 (棚卸し) 減少 30~70%減	調達コスト節減 ・資材 マンパワー 5~40% ・ドキュメンテーション 30%
保守 (ライフサイクル支援) 分野 ・ドキュメント (図面・文書) 内容変更の時間短縮 30~50%減 ・訓練計画に関する経費削減と訓練時間の短縮 70~80%減 ・ドキュメント経費の削減 10~50%減	調達コスト ・トラブル対策 35%

図1.10 CALsの導入効果

(1) 開発・設計

CADシステムを運用していたメカニズム開発会社とデザイン会社の事例では、システムの互換性がないため直接のデータ交換ができなかった。CALs導入後はむだな作業を排除するとともに並行作業が可能になり、全体の開発時間が大幅に短縮した。

新規開発の設計時間が50%短縮可能となり、仕様変更の処理時間は、30~50%、概念設計にかかるコストは15~40%各々短縮可能となった。

(2) 製造

開発・設計会社と製造会社との連絡・指示は、「紙」で行われていた。製造会社は、受け取った図面を自社システムに入力する。変更の際は、その都度、開発・設計会社と修正後の「紙」をやり取りして再度入力直していた。

CALs導入後は、製造工程での不具合の即時対応、データを製造工程にそのまま使用できることによる生産工程の立上時間短縮と製造ミスなどの削減につながった。

品質面では歩留まり向上などが80%改善でき、製造コストも15～60%削減可能となった。

(3) 取得・調達

取引情報についてはEDIが一部では普及していたが、仕様書、設計図面などの技術情報はいぜんとして大量の「紙」により交換していた。このため全体的に多大な労力と時間を要していた。

CALS導入後は調達側ではコンピュータによる技術検討、検索機能の活用による審査の迅速化・省力化を図ることができた。また設計変更などの調整については、ネットワークを通じて即座にデータ変更を行うことにより全体として調達に要する時間を大幅に削減可能となった。

データ伝送にともなうエラーでは98%も削減され、文書などの検索時間は40%短縮された。

(4) 運用

① データ変更:

改造、改修などを実施した場合、関係文書/図面の変更漏れが生じる可能性があった。緊急時、図面と現物が異なり、操作方法が不明、部品が使用不可と言った事象があった。

CALS導入後は、文書、図面などの情報にすべて関連づけがなされているため、修正を行っても、関係個所の情報が漏れなく訂正できるようになった。

文書変更管理にかかる時間は30%の削減である。

② 障害発生時:

膨大なマニュアルを見ながら障害個所を探すため、時間も人手もかかっていた。部品の交換が必要な場合、部品メーカーなどへは電話での問い合わせであり、情報の伝達ミスが発生するとともに、対応そのものに時間を要した。また、夜間などは対応が困難だった。

CALS導入後は、マニュアルのデジタル化により故障診断システムと連携可能となり、障害個所を自動的に判断して画面に表示させ、同時に修理手順、設計図などの呼出しも可能となった。また、作業手順を動画像により画面表示することもできるようになった。部品交換は部品メーカーのデータベースへ直接自動的に問い合わせることができ、もっとも近い在庫個所、数量を表示できる。24時間同じ対応が可能となった。障害個所発見の正確性という評価からは35%改善がみられた。

以上の概説からも明らかなように、原子力分野にCALSを導入することで、現在課題とされているコストマネージメントへの対応は可能と考える。当然、導入のための問題点は、少なくとも、実現不可能とCALSを無視するのではなく、情報のデジタル化から、システム間の壁を取り、インターネット等のシステムに慣れる等して、地道な努力を惜しんではならない。

1.2.4 体制の変革

CALS導入はリエンジニアリングとセットで進める必要がある(図1.11)。

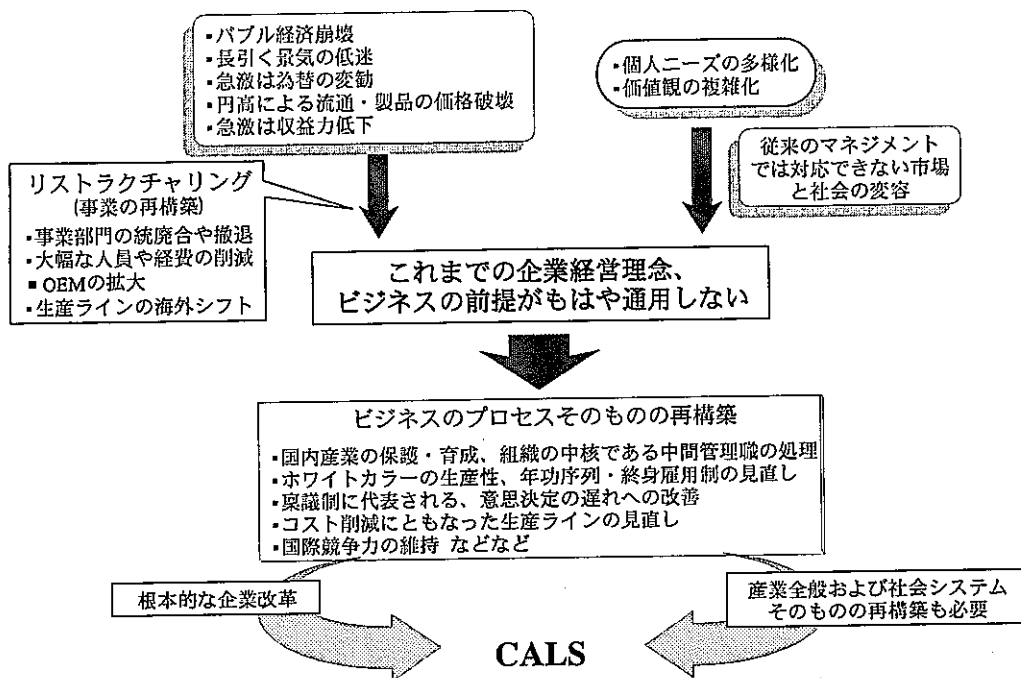


図1.11 リエンジニアリングとCALSの流れ

売れる製品を製造するためには、CALSを導入し、フラットな契約体系(パートナー)下、マーケティングと一体化させることで、コスト軽減を目指すこととなる。シーズオリエンティッドからニーズオリエンティッドへのシフトが重要となる。さらに、このシフトによりコンセプトを成長させるための環境の構築ができる(図1.12)。本節では、このシフトを可能する体制について考える。

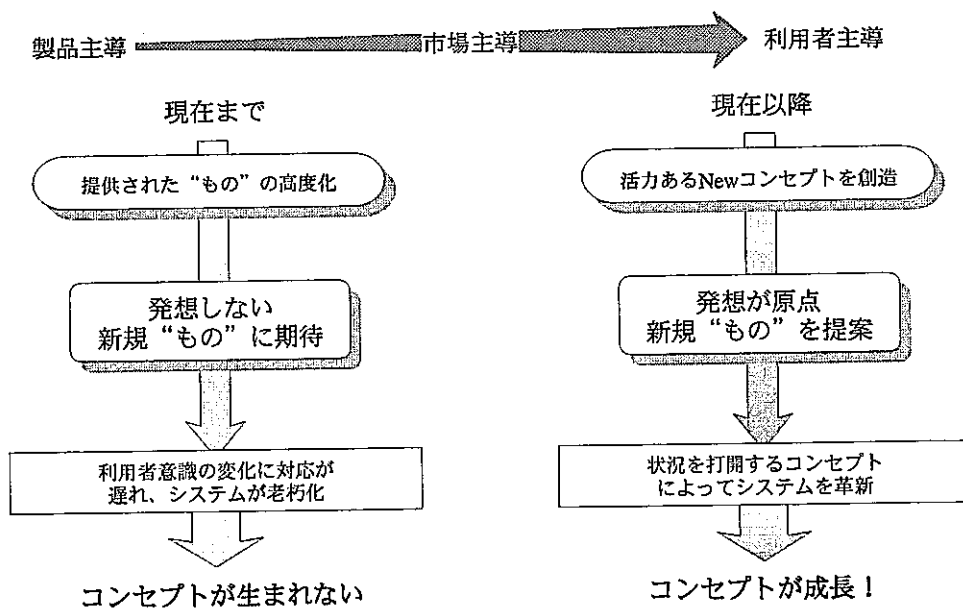


図1.12 コンセプトエンジニアリングの重要性

1.3 産業再編の背景

21世紀は、20世紀の産業形態、枠組みを延長して推移することは、ここに明確に否定できるような、業態の枠を越え、国際資本の境までも取っ払って、勝ち残るため、あるいは、覇者となるための“国とり”的な、M&A(Merger & Acquisition:企業買収、売却、合併)が、地球規模で、点的に起こって来るであろう。おそらく、この流れは、業態という枠を超えて、狭義では、源平的、地球規模では、枢軸国と連合国との色分けのように、集合化が進むであろう。

歴史サイクルの立場から標榜するならば、この覇権戦争は、しばらく、“冷戦状態となって”、また、群雄割拠に散らばるといった予想も成り立つが、現在から、近い未来は、覇権に向けた集合化が進む一辺にあると考える方が妥当であろう。

多くのM&AやTOB(Take Over Bid:株式公開買付け)は、企業の存続不安、市場拡大という相反する“思い”によって、地球規模で加速されている。

多くの戦争を例に挙げるまでもなく、この産業再編は、企業・産業間の戦争であり、国の存在を超えて進んでいるのかも知れない。

あえて、この報告書においては、民族的背景、国家戦略的背景と産業再編の挙動を関連付けることはしないが、食糧やエネルギー資源に関わる地球規模の再編動向は、国家の“安保”として認識する必要がある。

CALSをこの産業再編に先立って、記載した理由は、CALSの世界では、情報ネットワーク、ヴァーチャルなパートナー契約が基本であり、系列会社とか、同一的な専門分野間での改革的な関係の構築を、再編と呼ぶのではなく、消費者側と製造側がパートナーであり得るプロジェクトとか、これまでは、全く無関係で共存し得た分野が、パートナーとならなければ生きていけない環境を迎えろとか、群雄割拠が肯定的であったと思った瞬間に、合従連衡が生き残る選択であったりする程に、既成概念に囚われた営業・経営戦略では、21世紀に通用しないという警鐘を鳴らす意味でもある。

1.4 産業再編の現状

1.4.1 化学業界

(1) スケールメリットを追求する汎用製品メーカー

日本の化学業界は「キーインダストリー」のポジションにあり、またその規模も全体として見れば決して小さくない。しかし、欧米に比べ、個々の企業規模は小さく、メーカー数が多く、過当競争の傾向だ。さらに近年、経済がグローバル化する中で、巨大な欧米企業との競争も始まった。こうした状況にあって、日本の化学業界は今、大きく業界再編の時代に入っていると見える。

1994年には、三菱化成と三菱油化が合併して三菱化学になり、1997年には、三井石化と三井

東圧化学が合併して三井化学になった。また1995年には、昭和電工と日本石化が、ポリエチレンとポリプロピレンの事業を分離、それを統合して日本ポリオレフィンを設立。同年、日本ゼオン、住友化学、トクヤマが共同出資で新第一塩ビを設立した。こうした業界再編、つまり「合併」や「事業統合」は、生産規模の拡大によるコスト競争力の増強を狙ったものである。

化学工業には、装置産業としての側面があり、スケールメリットを追求することには、それなりの合理性がある。特に、大量生産・大量販売を前提とする汎用製品(=川上の製品)の場合、生産規模の拡大は必要だろう。

(2) 世界的規模と日本的規模を比較すると…

ここで世界の化学メーカーの売上規模を見てみよう。米国のデュポン、ドイツのヘキストやBASFやバイエルなどはいずれも連結ベースで3兆～4兆円の規模、米国のダウケミカルで約2兆億円の規模を誇っている(以上、1998年12月データ)。

一方、国内では売上トップの三菱化学は連結ベースで約1兆5千億円。三井化学は約8千5百億円である。ちなみに、カネカは連結ベースで約3,500億円だ(以上、1998年3月データ)。

さらに、注目すべき近年の生産規模の指標がある。日本の化学工業全体の生産量増加率は年率約0.5%であるのに比べて、ASEANや豊富な天然資源をもつ中東の化学工業は、年率2桁の勢いで生産規模を拡大している。ASEANについては、'98年の経済混乱でかなり停滞ぎみではあるものの、生産規模に着目した場合、日本の化学工業は、全く安心できない状況にあると言える。

(3) 国際化と高付加価値化という選択肢

今後の日本の化学メーカーにとって、他業界同様「規模拡大」「国際化」「高付加価値化」が大きなテーマになる。

汎用製品メーカーは、前述したように「規模拡大」の路線を歩んでいこう。巨大なプラントが必要になる化学メーカーにとって「国際化」は容易なことではないが、経済のグローバル化を意識し、市場に密着することを追求するならば、海外に生産拠点を設けることは非常に重要だ。「高付加価値化」は、エレクトロニクスや情報通信、バイオ・医薬などの分野を強化していくことを意味する。

こうした状況にあって、カネカの戦略は明確だ。カネカは「専門化学会社」を目指すのである。特定市場の特定ニーズに的確に応えられるスペシャリティの高い製品を提供し、その特定の分野においてはトップのシェアを占める---カネカは当面、そうした路線を歩む。

この戦略は4つのキーファクターによって実現される。その4つとは、

1. 高いスペシャリティを備えた製品群を創出する研究開発
2. 事業特性に応じた優れたマーケティング
3. 強い国際競争力を実現するコスト
4. 戦略性に富む独自のグローバル展開。

つまり、「高付加価値化」と「国際化」の追求である。

現在、すでにカネカには数々の「特定分野のトップないし2位のシェアをもつ製品」がある。「カネエースB(世界シェアの約50%)」「発泡ポリオレフィン樹脂(世界シェアの約1/3)」「MSポリマー(変成シリコン系原料ポリマーのうちの約90%)」「アピカル(FPC用途でのポリイミドフィルムで世界2位の約30%)」「カネカロン(モダアクリル分野で世界の約3/4)」などが、その代表的製品だ。

(シェアはカネカの調査)

また、すでにカネカは、拠点設立以来約30年の実績をもつベルギーのほか、アメリカ、マレーシア、シンガポールにおいて海外生産体制も整えている。

メガコンペティションの中では、巨大企業と特定分野に特化した専門化学企業への二極分化が進んでいくのである。

1.4.2 電気通信業界

電気通信業界は、第二次情報通信改革による競争の激化、グローバル化の流れを受けて業界再編が加速されつつある。各企業が生き残りをかけ、相次ぐ業務提携や合併が行われている。

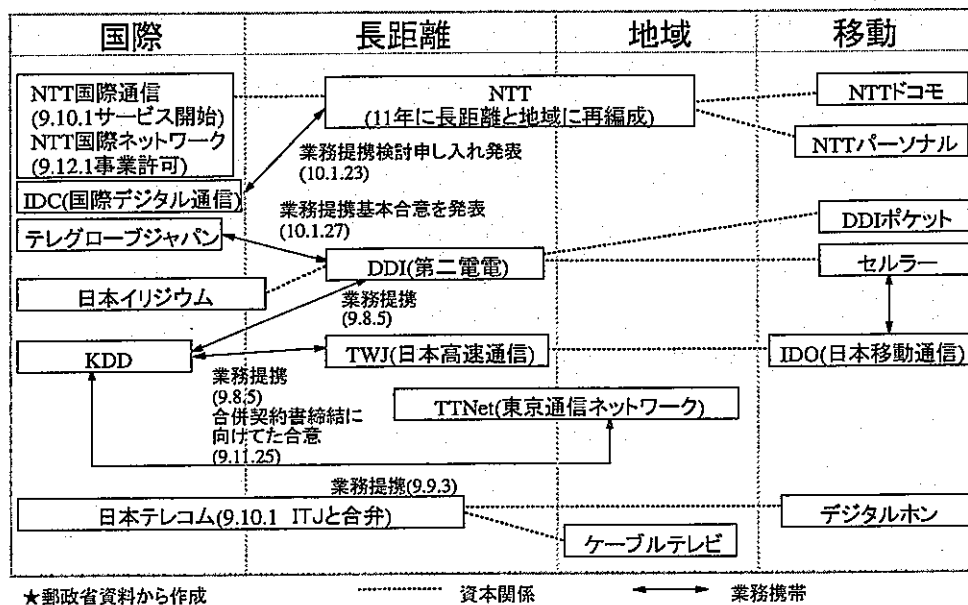


図 1.13 電気通信業界における再編の動き

(1) IDC 買収で C&W 対 NTT

「M&A(企業の合併・買収)」を促す法整備が急務となっている。現在繰り広げられている国際デジタル通信 (IDC) に対する日本電信電話 (NTT) と英ケーブル・アンド・ワイヤレス (C&W) の買収合戦は、わが国が本格的な「M&A時代」に突入したことを告げているからだ。IDC買収合戦は、二つの重要な面を持つ。その一つは、わが国では初めての「敵対的TOB(株式公開買い付け)」という点である。TOBは、買収する企業が、買収される企業の株主に対し、買収価格、期間、取得予定株数を公開して、買収を敢行する。最も企業買収らしい買収手法として、欧米では定着している。

しかし、わが国では1991年にTOBの手續きが簡素化されたにもかかわらず、経営側の事前承諾による“友好的TOB”がすべてで、件数も43件と僅かであった。

ところが今回のIDC買収は、NTTと、もともと大株主であった英通信大手のC&Wが真っ向からTOBを仕掛け合っている。特に、C&Wの攻勢は激しく、NTT側の再度の提案をさらに上回る対抗TOBを再々提示し、IDC株主に揺さぶりをかけている。

従来であれば、IDC経営陣がNTTとの合併を合意した四月の時点で「勝負あり」となっていたであろう。しかし、C&Wは「判断するのは株主」との視点から攻勢を続け続けた。買収のカギを握ると見られているIDC大株主のトヨタ自動車も「価格」を重んじつつあり、現時点ではC&W有利、NTT劣勢になっている。

ゴールの行方は見えていないが、敵対的TOBが眼前に起きている意味は大きい。経営者による根回し型の企業風土が、企業を「価格」で見るドライな風土に転換することを意味する。

決して幅広い「企業価値」を否定するものではないが、この「価格」判断、「価格」買収は、日本の産業再生の最も近道となる可能性が高い。たとえ、外資に買われたにせよ、である。

IDCも買収劇がなければ、それほど強くはない国際通信事業会社の一つ、との判断だけであつたらう。M&A、敵対的TOBがIDCに新たな価値を付与したのだ。もう一つの面は、M&A時代に突入しながら、M&Aを促進させる制度づくりの遅れを示したことである。NTTは、IDC買収で「株式交換制度」による手法を打ち出し注目された。

株式交換制度は、買収する企業が新株を発行して、買収される企業の株式と等価交換する合併・買収手法で、現金が要らないために欧米では、八割強がこの方式に寄っている。NTTもそこに着目したのであろうが、実は、今国会に上程されている商法改正案が成立しなければ実施できないのである。つまり、NTTの作戦は成立を見越しての買収なのだが、法務委員会の審議が遅れていて、成立のめどが立っていないのが実情なのだ。NTTがC&Wに対して劣勢なもの、同制度の見通し難が一因になっている。

(2) AT&T が TCI の買収を発表、通信業界再編が加速

(<http://www.att.com/press/0698/980624.cha.html>)

AT&Tは24日、ケーブルテレビ会社Tele-Communications (TCI) の買収で合意したと発表した。

買収額はおよそ480億ドルである。

長距離電話を中心にインターネットなどの通信サービスを幅広く手掛けるAT&Tだが、今回のTCI買収により、初めて契約者と直接結ばれた回線を持つことになる。同社は買収後、TCIの保有する回線を利用し、市内・長距離の各種電話サービス、ケーブルテレビ、ダイヤルアップおよび、より高速なインターネット接続サービスを提供する子会社「AT&T Consumer Services」を新設する。

買収により、AT&Tの年間売上規模は600億ドルに拡大した。TCIは現在、全米で1,440万世帯の加入者を抱えているが、AT&Tではこれを将来的に3,300万世帯規模に増やす意向である。

米国では、MCI CommunicationsとWorldComの合併発表、SBC CommunicationsのAmeritech買収など、通信業界の再編が急速に進んでいる。

情報通信産業が非常に注目される要因は、第1が顧客ニーズの高度化と多様化、第2は技術革新、第3は競争の進展、第4は規制緩和と考えられている。

市場を牽引する最大の要因は、顧客ニーズの高度化と多様化である。技術革新と競争進展で値段の低下や事業者の再編が起こり、ユーザの選択肢が増えつつある。通信は、国民生活に重大な影響を与える公益事業としてみられてきたが、規制緩和によって通常の産業に次第に転化しているといえるだろう。

(3) 8つのトレンド

(a) 規制緩和の進行

郵政省の第2次情報通信改革には、NTT再編、規制緩和、接続の円滑化の3つの柱がある。長距離事業者同士では、NTT再編後に公平性をいかに担保するかに焦点が移っている。番号ポータビリティの実現、ユニバーサルサービス基金や優先接続制度を確立する話も議論されている。

(b) 業界再編

1997年10月の日本テレコムと日本国際通信(ITJ)の合併の背景には、規制緩和が進み外資規制が撤廃されたり、市場の垣根が取り除かれ、事業者間の競争が激しくなったことがある。これは世界的現象で、アメリカでも1996年の連邦通信法の改正がきっかけとなって再編劇が進んでいる。

(c) NTTの再編

持ち株会社とNTT東日本、NTT西日本は、今後も特殊会社となるために規制は外れないが、それ以外は100%民営企業になる。1997年度のNTTの地域事業部の実績をみると、西日本は赤字である。3年間は東日本から西日本に対する赤字補填が認められるが、3年後でも赤字の場合は、通話料金や基本料金が地域によって異なるようになるかもしれない。アメリカのように、事業者が基金を持ち寄って赤字を補填するユニバーサルサービス基金のような枠組みを導入することも検討されている。再編後のNTTは、海外へ進出しようとしている。また、情

報流通産業として、音声以外にデータ系のトラフィックを伸ばそうとしている。

(d) 地域網における競争の本格化

従来は地域網はコストが膨大にかかるため競争領域にはなりにくいと考えられていたが、規制緩和の進展や、安価にアクセス網を提供する手段が開発され、地域網における競争が本格的に始まろうとしている。

(e) 外資系の参入

日本が世界第2位の大きな市場であることから、既に第一種電気通信事業の許可を得ている外資もあるし、大規模な資本提携に乗り出しているケースもある。ワールドコムは、100%自前主義で線を引くことを原則としており、日本でも兜町に光ファイバを引いているが、予想以上にコストがかかっているようだ。

また、世界中で通信事業者の合併が盛んである。BTとAT&Tの提携は業界の注目を集め、ドイツテレコムとテレコムイタリアの合併も報道された。国内のニーズに対してはその国の通信事業者が対応するが、企業活動の国際化が進み、多国籍企業が活躍するようになると、ニーズが国をまたがるために1つの通信事業者では対応できない。複数の通信事業者が連携する必要性に迫られる。

(f) 移動体通信の急速な伸び

規制緩和と事業者の増加で、競争が激しくなった。保証金の廃止や端末の価格低下の影響もあり、飛躍的に加入数が伸びていて、3人に1人が保有するという固定網を脅かすまでに成長している。日本は、携帯電話の普及率では世界で4番目である。普及率の高い国の中には、固定網加入数と移動網加入数が逆転する国も出てくるといわれている。日本も数年でそうなるかもしれない。日本は、若者がPHSや携帯電話をより多く利用するという、世界には類例がない使い方である。携帯電話が売れているため、コンビニエンスストアの売り上げが落ちていともいわれている。

(g) データ通信への移行

規制緩和の影響で格安の電話が現れてきた。キャリアが対抗しようとして導入した大口割引を上手にを使って、クレジットカード会社などが通話割引サービスの提供を始めた。他にCATV電話やインターネット電話も登場した。キャリアも、多様な割引サービスを組み合わせながら値下げ合戦を展開し、今では、1つの事業者を選ばずすべての時間帯等で安いとは限らなくなっている。

価格破壊が進行し、価格を下げただけ収益も下がっているため、電話は儲からない事業になりつつある。電話の業績不振は、決算状況からも明らかである。1998年の主要キャリアの中間決算は、NTTDoCoMo以外はすべて減収または減益である。電話収入のウェイトは圧倒的に高いが、1997年度の主要キャリアの電話収入額の合計は、対前年度比でマイナス7.3%となっている。

日本の各事業者は、インターネットなどデータ系の売り上げが伸びて、電話との比率も変わると予測している。また、モバイルコンピューティング推進コンソーシアムでは、非音声ユーザ

が急速に増大すると予測している。非音声系の需要増大に備え、日本テレコムやKDD、DDIなど各キャリアはIPネットワーク構築にシフトしつつある。電力会社10社で構成される電力系NCCも、Powered IP Network (PIN)というIP網を共同で開発、運用している。

データ需要が飛躍的に伸びるという予測が一般的になりつつある一方、そんなにデータ系通信の利用をもたらすアプリケーションが十分あるのかという懐疑的な見方もある。コストが減るのはあくまでトラフィックが増えた上での話で、使いたくなるようなアプリケーションが増えなければうまくいかない。

(h) 通信と放送の融合

従来は、放送と通信は制度においても実態においても峻別されていたが、最近、限定性を有する放送と公然性を有する通信の2つがこの境界線上に現れてきた。放送は1対nの関係で、不特定多数にコンテンツを送る。限られた周波数と社会的な影響力の大きさから、コンテンツの内容に関する規制が定められている。しかし、CSデジタル放送のように、特定の趣味や価値観をもつ人々に向けて放送が流される場合がある。中身が特定の人向けで、不特定多数の人が視聴するとは思えないことが明らかな場合には、郵政省では放送には該当しないと指定している場合もある。

通信は1対1の通話を媒介するもので、憲法でも通信の秘密を守ることが規定されている。しかし、WWWのように不特定多数が見ることを前提として、コンテンツを提供する場合がある。従って、放送と通信の間に従来にはない中間領域が生まれ、コンテンツの規制を受ける範囲についても議論が起こっている。

これら激変しつつある情報通信市場で新規参入者として、ソニーとトヨタが目撃できる。主要な自動車メーカーでは道に迷った時に助けられるように車の場所を把握するなどのサービスを提供しようとしている。トヨタが通信に参入するのは必然的ともいえ、既にIDOやクロスウェイコミュニケーションズに出資している。ソニーもWLLを始めるといわれている。

今後、通信と放送、パッケージメディアは、情報流通の手段として相対化していく。通信の場合は、データ中心に転化していかなければいけない。ネットワークの作り方も、IP網などデータに適合した形に変えていく必要がある。エンドtoエンドが重視されることで、アクセス網が非常に多様になり、高速化、大容量化が図られるだろう。

(株式会社情報通信総合研究所/通信事業研究部主任研究員/櫻井康雄氏の講演より、通信&メディア研究会)

(JAGAT Info 1999年6月号より)

1.4.3 自動車業界

欧州金属労連(EMF)は自動車業界の国際的な再編に対応する積極的な政策を策定する時期にきていると考え、次のような提案を行っている。すなわち、(1)企業合併などに対応するよりよい方法を共有するため、(労組)ネットワークを構築すること。(2)業界再編の動きに素早く対応し、共通の戦略をとりうるための手続きを設けることである。

EMFは、企業が雇用に悪影響を及ぼすような決定を行う前に、労働者および労働者代表に情報を提供し、協議すること、欧州委員会が早急に自動車業界における経済的・社会的トレンドをモニターする監視機関を設置すること、加えて社会的に受容できる形で業界再編を管理するための適切な方法を生み出すことなども提案している。

EMFによれば、将来は過剰生産能力と構造変化が自動車業界にとって重大な課題となる。生産能力の実際の使用は今後、全世界で平均76%程度(楽天的な見方によると90%)に落ち込むと予測されており、雇用の一層の縮小につながるおそれがある。

(1) トラック会社は4年で半減 業界再編が活発化

(英民間調査機関が予測)

世界の大型トラック業界は、欧米市場の落ち込みなどから今後再編が活発化し、2003年には企業数が半分になる。英経済誌エコノミストの調査機関であるEIUは12日発表した市場予測で厳しい見方を示した。

EIUによると、1999年の世界の大型トラック(6トン超)市場は前年比3.7%減の129万台と1998年(6.6%減)に続き低迷する。全体では2000年から回復に向かうものの、米国と欧州の回復が2001年以降となり、ペースも遅い。

このため当面、過剰設備の整理などで投資の効率化を図る企業が増え、世界的な業界再編が進行、「長期的には業界は五社程度に集約される」とみている。

日本市場は1999年に増加に転じるが、不況の打撃が大きい上、回復テンポも遅いため「日本のメーカーには厳しいリストラと業界再編が重要になる」と指摘している。

1998年の製造台数ランキングでは、77,000台で7位のいすゞ自動車以下、日野自動車工業(13位)、三菱自動車工業(15位)、日産ディーゼル工業(17位)と日本勢4社は上位20社に入った。首位はメルセデス・ベンツ(ドイツ)の24,200台だった。

【ロンドン13日共同】

2. 電力の動向

電力の自由化の動きに平仄を合わせるように、国内の電力会社の、発電事業への考え方が、国家的事業意識から、欧米同様のビジネス至上意識へと明らかな変貌を見せている。

国家事業であっても、将来にビジネスメリットが見えなければ拒絶し、欧米との新たな競争現象が顕現するに至っては、不利な事業縮小を積極的に行うなど、これまでの関連傘下の企業体との仲間意識とか、家長的な指導意識する放棄して、自らが生き残る選択をせざるを得ない状況になりつつある。

国内では、発達成熟の域にある送電ネットを、多目的に活用する動きも、IT推進の動きに合わせて盛んになりつつある。

このような、国内電力企業の大きく変わらんとする動きを、いづれかでも把握するために、送電事業を発電事業と独立体系で実施している例をみながら探っていく。

電力再編とそれに関連したビジネスの推移について、MRI(三菱総合研究所)の産業戦略研究レポートに報告されている内容を紹介する。

(<http://xing.mri.co.jp/research/research/inc/usa/2-3.html>)

2.1 アメリカの電力再編の動向

2.1.1 電力再編までの経緯

(1) IPP 産業を成立させた法制度

送電線開放政策に至った経緯を歴史的に見れば、1978年の公益事業規制政策法(Public Utility Regulatory Policy Act :PURPA)と続いて行われた天然ガス事業の規制緩和、卸入札制度の導入など、以下のような一連のエネルギー規制緩和に支えられて成立した競争的な発電市場(IPP市場)の成立が背景としてあげられる。

1978年	公益事業規制政策法(PURPA)
1978年	天然ガス政策法(Natural Gas Policy Act :NGPA)
1985年	FERC 命令463 パイプライン開放政策
1988年	FERC 規制案通知(88年NOPR)入札制度の推奨
1992年	エネルギー政策法の成立、公益事業持株会社法の改定
1995年	FERC 卸電力の再販を認める
1996年	FERC 命令888、889送電線開放政策
1996年	カリフォルニア州電力再編法が成立
1998年4月	カリフォルニア州でISO、プール市場運用開始

公益事業持株会社法の改定により複数州にわたる発電事業が可能となった。これにより大手

メーカ、パイプライン会社、電気事業者の関連会社など、広範囲な事業者がIPP 事業に参入した。これまで自家発の延長上であった売電事業(QF)が、IPP産業として成長する法的基盤を得た。

(2) 供給側のニーズ

今回の電力再編をプッシュした要因の一つとして考えるものは1995年にFERCが認めた電力ブローキングである。90年代からQF、IPPの増加に帰因する供給力過剰が顕在化し、一部の電力会社ではIPPとの契約を買い戻してまでキャンセルする事態が発生していた。

長期契約QFの多くが1995年頃に買電契約が終了する見通しとなったことも背景としてある。こうした状況から、1995年にFEECはQF、IPPからの電力の再販を認めた。こうしたパワーブローカはより有利な電力の取引先を求めて、送電線アクセスの自由化、送電線利用における公平性、透明性の拡大を求めたわけである。

(3) 需要家のニーズ

他方で、大口産業需要家は昨今のエネルギー価格の低下により、自家発、コージェネ等を設置して電力コストを低減する動きを見せている。電力会社はこれに対抗して、電力料金を割引いて顧客引き留めを行っている。こうした規定料金外の割引料金は公益事業委員会も「需要家が離脱するよりはまし」との考え方で容認するようになっており、事実上、大口小売市場において自由競争状態が生じている。こうしたことが背景となって大口産業需要家は安価な電力を求めて、小売託送を介してIPP との直接契約をすることも要求するようになってきた。このような動きはカリフォルニア州やロードアイランド州、ニューハンプシャー州、ペンシルバニア州等の東海岸の諸州に見られるように電気料金の高い州から始まっていることが特徴である。

2.1.2 FERC 命令 888

(1) 送電線のオープンアクセス

上記のような背景からFERC が送電線の開放を規定したものがFERCメガ規制である。これは1996年4月24日に出された命令888、命令889と、次いで出された規制提案、NOPR RM96-11からなる。

これらの送電線規制では、送電線を保有する電気事業者は私営電気事業者、公営電気事業者、協同営電気事業者、IPP、電力ブローカ等の分け隔てなく、公平に送電線利用を供するサービスの義務を負うこととなると共に、送電ネットワークの運用を図る独立系統運用者(Independent System Operator)の設立、送電線オープンアクセス料金表の提示が求められた。

(2) 送電機能のアンバンドリング

命令888では、送電サービスの範疇に、系統計画、運用、給電指令、電圧・周波数安定化、無

効電力補償など、従来一括して扱われてきた電力供給サービスを分離（アンバンドリング）して補助的サービス（Ancillary Service）として分類定義し、それぞれについて料金表の提示を求めている。

送電線開放を論ずる場合に必ず電力の品質の問題となる。例えばIPPが需要家へ電力を送る場合、電力会社の送電線を必ず利用するわけで、送電線を利用すると電力の品質（需要変動への追従性、電圧・周波数の安定化など）が向上するため、IPPは相応の負担をすべきという議論である。ISOの補助的サービスとはまさにこれまで不透明であった。こうした送電機能を白日の下にして、誰にでも公平に利用させるという考え方をとったわけである。

2.1.3 カリフォルニア州の電力再編内容

カリフォルニア州では、1994年4月にカリフォルニア州公益事業委員会が発表した電気事業再編案を皮切りに、小売自由化を含めた電気事業再編に関する議論が進み、体制としてプールと直接アクセスのハイブリッドモデルを目指す選択がなされ、1996年12月に立法化された。1998年4月から実際に小売取引が行われている。同様な電力体制の再編はペンシルバニア州等、他の15州で実施されつつある。

(1) 新たな電力供給体制

州内の私営電力会社であるPacific Gas & Electric、Southern California Edison、San Diego Gas & Electric、3社の需要家は、各々の電力会社の配電部門または直接アクセスのいずれかを通じ、電力調達が可能となった。図2.1にカリフォルニア州電気事業再編後の市場の全体像を示す。

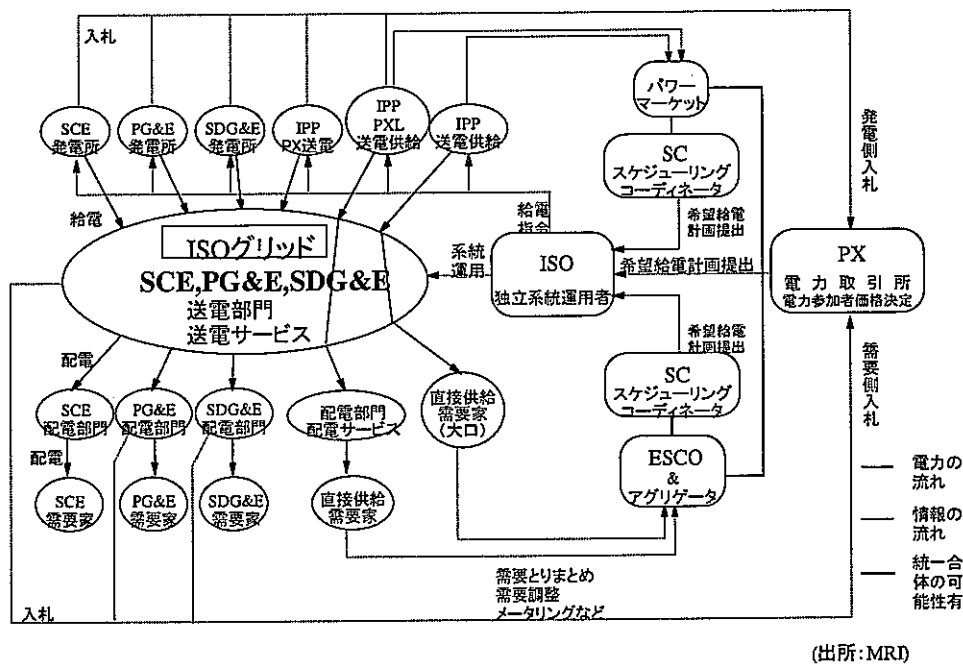


図2.1 カリフォルニア州電気事業再編後の市場

以下に大まかに、再編後市場における新しいプレーヤーの機能について説明する。

1) 電力取引所 (Power Exchange :PX)

PXは卸電力取引を行う市場であり、市場への参加者は上記電力会社の発電所、IPP、そして上記電力会社3社の配電部門である。3社の配電部門はPXを通じて電力を調達する義務を有する。

PXでは、電力取引の24時間前と1時間前の2つの市場があり、それぞれ配電部門の需要予測に基づく需要側入札(電力の希望供給量及びその希望購入価格等)と発電側入札(供給可能容量とマージナルコスト等)を基にして、最経済電源運用計画を立案し、その計画を希望給電計画としてISOに提出する。基本的には、この際のシステム全体のマージナルコストが電力市場価格となる。

2) スケジューリングコーディネータ(Scheduling Coordinator:SC)

SCは、市場外取引である直接供給の計画を取りまとめて、ISOに希望給電計画を提出する役割を担う主体として、加州再編案の中で新しく定義されたマーケットプレーヤーである。その実態は、パワーマーケットター、ESCO、あるいはアグリゲータと呼ばれる人達、あるいはその代理人である。

パワーマーケットターは、IPP(他州の電力会社の場合もある)の電力を最も有利に売りさばく取引仲介業者である。ESCO、アグリゲータは、需要家に対して最も有利に電力(エネルギーサービス)を調達する調達業者である。

それぞれ、IPP、需要家のニーズにマッチする売り先、調達先を探索し、IPPと需要家とを仲介して、送電会社、配電会社から託送サービスを受ける。

こうしたプレーヤーは直接小売アクセスの仲介業務が成立した場合、SCとしてその仲介内容(即ち希望給電計画)をISOに提出する。

3) 独立系統運用者 (Independent System Operator :ISO)

ISOは、PXとSCからの希望給電計画に基づき、ISOグリッドの系統運用を行うと共に、PX参加発電所、直接供給IPPなどISOグリッドに接続する発電機に対して、給電指令を行う。

2.1.4 まだまだ先がある？

以上のような体制で動き出したばかりの小売自由化であるが、既にその先の動きがある。

(1) 電力の先物市場化

PXは電力の卸市場として機能していないという議論がある。PXはいわゆるスポットマーケットだが発電設備は設備上、燃料調達上等の様々な運用上の制約があり運用計画が数日～1週間、あるいはベース電源では数週間にわたって予定される。

つまり、発電設備は本質的に先物商品としての性格を持っている。既にカリフォルニアでは Automated Power Exchange (APX) という会社が電力の先物取引を行っており、PX外取引の大部分がこのAPXを通じた取引といわれる。英国でもプール市場の再編案の一つとして先物市場

の導入が検討されている。米国ではPX取引は先物市場取引の補助的取引市場へと変わっていくものと思われる。

(2) TRANSCO の成立

ISOは送電線を持たない系統運用者であるが、この設備の保有と運用とを分離したことにより、別の問題が生じている。送電線新設が必要な場合に誰がそれを判断して、誰の責任で建設するかである。現在のところISOは送電線新設ルートを推奨するのみであり、市場原理に基づいて誰かが建設するという責任所在があいまいな状況である。

このため近い将来、ISOは再び送電線保有会社に吸収され、送電線保有・運用会社(TRANSCO)になるものと予想されている。現在、米国のISOは多くの場合、州毎に作られているが、これが次第にエリアを拡大して米国全体で4つほどのISOに統合化されると見られている。将来、大規模な合併により米国に巨大な送電線会社が生まれる可能性がある。

(3) 配電線の開放

送電線開放政策が緒についたばかりにも関わらず、より低圧の配電線の開放についても議論されている。太陽光発電や風力発電、廃棄物発電などの再生可能エネルギーは電源として小規模であり配電線にケースが多い。また今後、家庭用のマイクロタービン、太陽電池の普及が見込まれ、こうした小規模分散電源の系統接続をいかに考えていくかが、これからの論点となっている。

カリフォルニア州ではこうした配電線の開放を求める分散電源のグループが、系統連系方法の規格化を求めるとともに独立配電線運用者(IDO:Independent Distribution Operator)の考え方を提示している。

2.2 電力再編とビジネス

2.2.1 業界再編の方向性

電力規制の大幅な変貌とともに、関連産業自身も変貌しつつある。

その理解のためのキーワードが「コンバージェンス:集中化」である。「集中化」(=convergence)という言葉は、電力、天然ガスおよびその他の通信などのネットワーク業界における二つ以上の別個の集中傾向を表す際に一般的に用いられている。

集中化には「エネルギー集中化」と「小売集中化」がある。「エネルギー集中化」は燃料のシステムオペレーションが一本化することを意味する。「小売集中化」は本来別個に行われていた顧客への小売サービスが一本化することを指す。電力および天然ガス会社は両業種間の垣根が低くなってくるにつれ、その性質を根本的に変えつつある。

また、電力再編により新たなビジネスも生起しつつある。特にメータリングは巨大市場に発展する可能性がある。

2.2.2 エネルギー集中化

(1) IPP ビジネスの規模拡大

エネルギー集中化とは、電力供給の上流側(つまり燃料調達)を視野においた企業合併の動きのことである。この背後にある基本的な概念は、最も安価で最も信頼性の高いエネルギーの調達のためには、全国レベルまたは国際レベルでのエネルギー調達が可能でなければならないということである。

また、発電ビジネスのノウハウは先進国の規制緩和、そして途上国の経済発展により国際的に展開可能となってきた。世界的に見ると発電ビジネスはリスクは高いが極めて大きなマーケットを形成している。

このため国際競争力の獲得のために、企業はより大型化し、効率を向上させつつあるわけである。

(2) エネルギー集中化の例

この代表格は天然ガスパイプライン会社であるENRON社であり、天然ガス調達を基軸として世界各地で発電事業、配電事業を展開している。また、電力会社であるSouthern California Edison社もEdison Mission社というIPP事業会社により、途上国を含む世界各地で電力事業を展開している。

これらの企業は米国内の小規模なIPP を次々と吸収合併し、その事業規模を拡大させ、競争力をつけてきた。両社は既に世界規模の電力ビジネス会社であり、中南米、東南アジア、欧州、中国、オーストラリアなどで事業を展開している。

2.2.3 小売集中化

(1) 小売集中化の意義

小売集中化とは小売市場を対象としたマーケティングコンセプトである。電気通信、エネルギー、ホームセキュリティ、水道などのような従来分割されていたユーティリティサービスを一括して顧客に販売するいわゆる「マルチユーティリティ化」である。電力市場の競争激化により利益マージンが低下している状況のなか、利幅が高くかつ顧客安定化に有効なマルチユーティリティ化は多いに進んでいくことが予想されている。

(2) マルチユーティリティの例

例えば、Delmarva Power & Light Co.はConnective Communicationsを設立し、デラウェア州およびペンシルベニア州南東部で地域・長距離サービスを開始、Bellの子会社であるBell Atlantic Nynexと競争関係にある。

またミズーリ州の電力会社WesternResourcesはホームセキュリティーサービスに参入した。

ホームセキュリティビジネスはきわめて利益率が高い業界であることも電力会社にとって魅力の一つとなっている。

2.2.4 メータリングビジネス

(1) 大幅に低下したメータコスト

小売自由化では従来の電力量計とは異なり30分間隔のメータリングが必要となる。このメータの開発を巡って熾烈な競争が展開されている。安価で読み取りミスが少なく、遠隔読み取りが可能な新たなメータが提案されている。

従来こうしたメータは大口需要家のみを設置されてきたが、現在の技術レベルでは40kW程度の需要家でもペイするレベルになってきた。

メータリングについても、インターネットの利用によって大幅に通信コストを低下可能となった。

(2) メータリングサービスのビジネス展開

メータリングビジネスは需要家の電力使用パターンを押さえることができるという強みがあり、様々なビジネス展開の可能性がある。まずは決済サービスである。電力小売自由化では、電力を需要家に小売するまでに送電線の利用、補助的サービスの利用、発電、配電線利用、メータ利用など様々なサービスを利用しなくてはならない。

これらの決済は非常に煩雑である。メータリングビジネスはこの決済サービスの主体となるだろう。また、電力で成功すれば、他のエネルギー、電話代、水道などユーティリティ全般のメータリングと決済に展開していくことが可能となる。STAR Data ServiceはSV90というシステムにより、こうした決済サービスを開始した。英国のUKデータコレクションサービスにこのシステムが適用されている。

2.3 エネルギーサービスカンパニー

2.3.1 ESCOとは

ESCO(Energy Service Companies)とは、「エネルギーに関する総合的サービス」を提供する会社を指す。一般的に日本でESCOと言った場合には、省エネルギーに関するサービスを行う会社を指すが、米国においては、省エネルギーのみならずエネルギーの供給も行い始めている。「総合的」の意味は、省エネルギー診断から実施計画の策定、資金調達、改修工事施工、フォローアップまですべてをESCOは実施することを意味している。これら一連の事業に必要な資金は、省エネルギー対策後に想定されるエネルギー節約成果を償還原資として賄い、サービスを提供する。これを「パフォーマンスコントラクト」(パフォーマンス契約)と呼んでいる。この契約手法が、ESCOが一般に受け入れられて成功した最も大きな理由の一つとなっており、単なる省エネルギーコンサルティングのようなフィービジネスとの違いである。

(1) ESCO の歴史

ESCOは、1970年代の石油ショックやPublic Utilities Regulatory Policy Act(PURPA、1978年)をきっかけとして主に小規模なESCOが出現し、電力会社のエネルギー効率化推進をサポートする業務を開始したことに始まる。その後1980年代半ばから電力会社が省エネルギーリベート等のインセンティブを増加したことにより、ESCOは発展を遂げている。この時代、電力会社系や設備メーカー系などのESCOが多数参入して、全米で活動をするESCOが増加した。

90年代に入ると、電力会社のリストラクチャリングと規制緩和の進展に伴い、電力会社は既存顧客のつなぎ止めと新規顧客獲得の必要性から子会社としてのESCOの設立や既存ESCOの買収を行い始め、電力会社系のESCOが本格的に参入している。他方、独立系ESCOは市場でのESCOの認知度の高まりから顧客との直接取引を増加させており、さらに近年の米国の小売り電力自由化の流れの中で、顧客に直接電力を供給する「マーケッター」としての地位までも占めつつある。

2.3.2 ESCO のビジネスの実態

ESCOビジネスの特徴は、省エネを行う場合の顧客との契約形態にある。先に述べた「パフォーマンス契約」と呼ばれる特殊な契約形態を取るが、その手法には大きく分けて2つのタイプがある。

(1) 省エネルギー保証契約(Guaranteed Saving Contract)

ESCOにより保証される省エネルギー量(省エネルギー機器等の設置によるエネルギー削減量)を返済原資として、銀行が顧客に資金を貸し付け、あるいは設備をリースする形態。銀行、リース業者はESCOがアレンジする。省エネルギー量が保証額を上回った場合にはESCOは一定の報酬を受け取るが、保証量に達しなかった場合には、顧客の元利払い不足額をESCOが弁済する。

このことにより、顧客は安心して省エネルギー投資が可能となる。なお省エネルギー保証契約で言う「保証」とは「省エネルギー量の保証」であり、機器性能保証等はいくまでメーカーあるいはベンダーと顧客の間で行われる。

この手法は、米国では主に州や市などの公的な機関(学校含む)で取られている。

これは、顧客が公的機関(連邦政府を除く)の場合、Tax Exempt Financing(税控除借入れ)により低利での資金調達が可能となるためである。

(2) 省エネルギー分与契約(Shared Saving Contract)

この契約方式は、省エネルギー投資により発生したエネルギー回避コストを、契約時に定めた比率で顧客とESCOが分け合う契約である。

一般的に、契約期間の中の前半でESCOの取り分が多い(場合によっては、顧客:ESCO=1:9)のが特徴である。これは、ESCO側の資金回収を早く進めるためである。

この契約の場合、省エネ設備の導入資金は一般にESCOが借入し、ESCOが投資回収を完了

するまで(顧客との契約期間)は、設備はESCOの資産となる。契約期間が終了すれば、設備は顧客に引き渡される。なお、設備に関してはESCOの資産であるにも関わらず、メーカーに対する保証請求等の権利は顧客に移行するよう規定されている。

資金調達については、ESCOが銀行、その他の金融機関からプロジェクトファイナンスのスキームを利用して資金調達を行う。この場合、債務(リコース)が及ぶ範囲はプロジェクトに関わる設備のみであり、ESCOが実施している他の業務には及ばないのが特徴である。

(3) 省エネルギー量の測定方法

省エネルギー量は、プロジェクト実施以前と以後の電力消費量を比較することにより算出される。ここで、照明などのように、使い方がほぼ一定の機器についてはプロジェクトの前後でのエネルギー消費量の違いが明らかであるが、空調設備の消費エネルギーについては年ごとに気象条件が異なるため、前年度との比較を行うことが困難となる。この際の天候の違いなどをシミュレーションにより補正するための方法が契約の中で記される。

一般的には、州が定めた計測プロトコルやNAESCO(ESCOの業界団体)がオーソライズした手法を用いるケースが多い。これは、ESCO各社が独自の補正を行った場合で、結果として顧客側に不利となってしまうとトラブルのもとになるため、広くオーソライズされた手法を用いることが一般的となっているようである。

2.3.3 日本におけるESCOの可能性

米国で成功しているESCOの手法を日本において適用することにより省エネルギーを推進しようと、通産省が先導する形で「ESCO検討委員会」が結成され活動している。また、これに先行する形でESCOサービスを行う会社も現れている。ここでは、米国と日本の現状を見比べて、今後日本でESCOを成功させるために検討すべき課題について述べる。

(1) 測定手法の問題

ESCOは省エネルギー改修を実施し、それにより「浮いた」お金を原資として資金の改修を行う。その際、前項で述べたように、空調機器などでは特に気象変動による影響を補正するための仕組みが必要となる。この手法はその手法がオープンで、かつESCO間で共通のものを用いることが望ましい。

米国では政府や業界団体が中心になりシミュレーション等による補正手法が確立されている。日本においてESCOを今後健全に発展させていくためには、この補正の手法をあらかじめ用意しておく必要がある。

さもないと、一部のESCOが自社に都合の良いような補正を行い、市場の信頼を損ねてしまい、ESCO自体の信用度を落とす可能性が懸念される。

(2) 資金調達の問題

米国ではESCOの資金調達の手法として、プロジェクトファイナンスのスキームを利用することがある。日本においてはこのような小規模のプロジェクトファイナンスの仕組みは存在せず、今後、その可能性を含めて検討する必要がある。

また、空調機器や躯体の改修にファイナンスリースを適用する場合、対象によってはリースの対象となるか否かグレーゾーンな部分が存在する。ここを明らかにする必要もあろう。

(3) ESCO が対象とする機器の問題

現在の日本では、単純投資回収年が最大4、5年までの省エネルギー機器でなければ企業は導入しない。一方、米国のESCOでは、単純投資回収年が10年以上のものが多数を占めており、中には20年以上のものもある。これは、手間のかかる大がかりな空調機器の省エネルギー改修に対してもESCOが積極的に活動していることを示している。

米国でESCOが有名になり始めた頃、一部のESCOが投資回収が早く済むような機器(例えば電球を蛍光灯に変えるのみの改修)だけを行っていき、いわゆる「いいとこ取り」をしてしまったため、残りの空調設備に対する省エネルギー改修の実施が困難になってしまい、改修が行われなかったケースが見られる。なるべく多くの省エネルギー機器を導入するためには、投資回収年の短いものから長いものまで、一つのプロジェクトにおいてトータルで改修を行うようなESCOの取り組みが望まれる。

2.4 わが国への影響

以上、周辺事情も含めて米国の電力産業の再編動向について述べてきた。この米国における動きは、はじめに述べたように全世界で共通した動きであり、局所的な話ではない。何らかの形で我が国の電気事業に影響を与えてくるはずである。

日本と欧米とでは環境が異なるため電力小売の全面自由化、送電線開放は時機尚早であるとの判断が大方のものであろう。我が国はほとんどを輸入エネルギーに頼っており、かつ欧米のように発電設備が余剰状況にあるわけではない。電力需要は今後とも堅調に伸びていくことが想定され、発電設備、送電設備、配電設備ともにまだまだ投資が必要である。また、CO₂ 排出量も低減していかななくてはならないし、エネルギーセキュリティの観点から、原子力発電の推進は依然として必要である。こうした彼我の状況の相違を考えれば、時機尚早との結論も納得がいく話ではある。しかし、おそらく世界的に本稿で述べたような電力ビジネスに関わる大変革が行われることになることは間違いなく、そうすると日本の体制は国際標準から取り残されることになるだろう。いつの間にか日本の電力業界が、現在の日本の金融業界と同じようなことになることも限らない。エネルギーセキュリティの一角には、産業組織論としてのセキュリティの観点もあつてしかるべきである。実際、英国の電力業界のほとんどは米国資本に乗っ取られたと見てもよい。そのようなことで「エネルギーセキュリティ」と言ってしまうのであろうか。現在、電気事業審議会のワーキングで小売部分自由化の制度について議論がなされている。規制緩和という論点だけではなく、是非、国際的、産業論的な視座から議論していただき、日本の状況を踏まえつつもチャレンジングな改革を期待する。

3. 海外原子力発電の経済性

原子力発電事業を中止ないしは廃止することを決めたヨーロッパ諸国には、原子力大国であるフランスと陸続きであり、ビジネスベースでは、電力購入で賄うことが選択肢としてある。しかしながら、華僑ビジネスが柱の一面でもある東南アジア諸国が、自国エネルギーの確保を目指して原子力発電に意欲的であることも現実である。

わが国が、今後、国際的に、特に、アジアにおいて“尊敬され得る”国である要件としては、安定なエネルギー供給・確保を可能とするシステムを、提供することであるとの考え方もある。

中央から送電ネットで電気を供給するというシステムには、このような、アジア諸国のような送電システムが発達していない環境や、盗電の可能性が高い文化基盤では、ビジネスとしても、当然、国家事業としても、一層の貧富差を発達させる要因となり、必ずしも歓迎されるとは考えられない。

そこに置くと直ちに発電供給してくれるPKF部隊の置き土産のような分散電源こそが、バッテリーや乾電池と同様に発電量の規模とは関係なく歓迎されているようである。

このような背景から、21世紀はマイクロタービン、燃料電池の高性能化による分散電源の一層の市場が拡大されるであろう。

ここでは、各国の原子力発電の状況をネット情報から抜粋してみる。

(1) 米国の新設原子力は競争力を持つために35%のコストダウンが必要

ABB-CE社の役員は、パリで開催された国際会議で、従来米国の原子力産業が目標としていた、資本費を含む耐用年の発電コストは4.3セント/kWhであるが、規制緩和下の市場では長期的な競争力を持つため3セント/kWh以下にしなければならないと発表した。その方策として、自己診断システムにより冗長系を削減するなど、コンピュータ技術の大幅導入を提案している。

- Nucleonics Week (11/12, 98)-

(2) OECD/NEA、IEA、電源による将来的なコストは大差なし

経済開発協力機構(OECD)の原子力機関(NEA)と国際エネルギー機関(IEA)は、13日、2005年から2010年までに運開する原子力、石炭火力、天然ガス火力(コンバインドサイクル)のコスト比較を発表した。どの発電方式も経済的に明らかに優位ということはないが、従来の研究に比べて天然ガス火力が短期的なオプションとしてより魅力的になっていると指摘している。

- NucNet (10/13, 98)、電気新聞(10/15, 98)、NucleonicsWeek(10/15, 98)-

(3) 米国、原子力発電所の格付け低下に歯止め

米国のムーディーズ・インベスターズ・サービス社による電力会社の格付けは、1996年11月当時は平均的にみて信用が低下する傾向にあったが、その後、こうした傾向が逆転している。この変化の背景には、規制当局などが潜在的な回収不能コストに対して有効な処理策を取ったことを受け、投資家所有の電力会社が原子力発電所への投資を決定したことにある。

- 原産マンスリー(1998年9月号)-

(4) スウェーデンのフォルスマルク原子力発電所の発電コストが 3.70 円/kWh

北欧の電力市場の開放によってスウェーデンの事業者は、大気汚染防止設備や発電税のないデンマークの旧式石炭火力発電所と競争しなければならなくなっている。このような中で、原子力発電コスト低減の努力を続けており、同発電所では97年には3.7円/kWhを達成した。このコストには、減価償却費0.72円/kWhのほか、核廃棄物費0.36円/kWh、発電税・資産税0.45円/kWhが含まれている。

- ヨーロッパ原子力情報(98/8)-

(5) 欧州各国はプルサーマル計画進展させるも採算難で先行き不透明

欧州各国は、余剰プルトニウムの解消という政治的な要請に基づき、プルサーマルを進めている。スイスのベツナウ発電所(36万kW、PWR2基)では94年より、MOX 燃料を40%にして運転している。しかし、プルサーマルに使うMOX燃料は、通常のウラン燃料と比べて数倍高いとの見方が多くされている。電力自由化が進む欧州では、各国とも電力会社のコスト指向が強まっており、ドイツなどを中心にプルサーマルが拡大するかは不透明となっている。

- 日経新聞(9/28、98)、エネルギーフォーラム(9/1、98)-

(6) 米国 S&P 社は競争による原子力発電所の閉鎖はわずかと評価

米国のスタンダード&プアーズ(S&P)社は、原子力発電所の設備利用率が高まり、運転費が削減されたことにより、競争により閉鎖される原子炉は減少したとするとともに、80年以前に建設されたプラントの3/4は寿命延伸されると述べている。コスト分析によると、許認可寿命の切れる前にコストが原因で閉鎖される原子炉は、ミルストン1、2号機など5基であるとしている。

- Nucleonics Week(9/3、98)-

(7) 米国の原子力発電所は生産性の向上などにより保守費用を 20%削減

コンサルタントのN. ミドキフ氏によると、米国の原子力発電所は、主に生産性の向上と信頼性を主眼とした技術の利用により、1993年から1997年にかけて、保守費用を20%削減したという。生産性向上につながった技術として、1つの技能だけでなく複数の技能を習得する訓練を受けた作業員を活用した、多分野にわたる修理チームの例が述べられている。

- Nucleonics Week(7/2、98)-

(8) 97 年の米国原子力発電所の燃料コストはほとんど変化なし

97年の燃料コストは全米平均で5.38ミル(75銭)/kWhとなり、96年の5.47ミル(76銭)/kWhと比較して、ほとんど変化がなかった。最も低かったのがワッツパー1号の3.77ミル(52銭)/kWhとなっている。同発電所のコストは、過去に安い価格で調達していたウラン価格が10ドル/ポンド、濃縮

価格が55ドル/SWUといった費用を反映している。

- NuclearFuel(6/29、98)-

(9) 米連邦政府は原子力発電所に関連した回収不能コストの回収を認める

同政府が3月に発表した電気事業再編計画は、競争原理の導入と需要家による電力会社の選択の自由を骨子としている。この中で、焦点となっていた全米で2000億ドル(原子力関連で600～700億ドル)と見られる過去の投資(回収不能コスト)については、その回収が電力会社に認められた。

- 原産マンスリー(98/5)-

(10) ドイツはバックエンドコスト低減の動き

同国の現在の燃料サイクルコストは、1300万MWのPWRの場合、0.22マルク(1.58円)/kWhで、燃料調達費の低下傾向で、今後安定に推移の見込みである。このため、RWE電力会社のコスト削減の努力はバックエンド費に向けられようとしている。同社の目標は、現在の0.0129マルク(0.93円)/kWhから0.0059マルク(0.42円)/kWhに50%以上低減することである。このため、同社は中間貯蔵と処分の分野のコスト低減とともに、直接処分についても可能性を探る。

-日商岩井原子力情報(98年4月号)-

(11) 米国のWH社はさらなるコスト削減は困難、NEIはまだ余裕ありと言う

同社長は、O&M費を削減する簡単な方法は使い果たしており、数ミルの削減も容易ではないと言う。一方、NEI(原子力エネルギー協会)は、管理費や利益の面でまだ削減余裕があり、kWあたりのO&M費と燃料費が2セントを下回る電力会社は93年には23社だったが、96年には47社になったと述べた。

- NucleonicsWeek(5/14、98)-

(12) WANOはコスト重視による原発の事故誘発の可能性を警告

WANOは、世界中の発電所所有者の間に、今までにないコスト重視の方針が見受けられ、これは脅威的で潜在的な危険性を秘めているという報告を受けた。この報告は、初代アトランタ・センター会長などが同協会の189名のピア・レビュー担当者にインタビューして、作成されたものである。

- NucleonicsWeek(5/7、98)-

(13) 寿命延伸の課題は機器自体の問題からコストの問題へ

12月にプラハで開催された、原子力発電所寿命管理・延長会議では、従来問題とされていた圧力容器等の主要機器劣化問題から、重点がコストの問題に移行している。この背景としては、

主要機器への懸念が薄れるにつれ、競争市場において競争力のあるコストでどのように提供するかが課題となっている。時間の経過とともに増加すると考えられる小故障をどのように防ぎ、適切なメンテナンスを実施するかが重要となっている。

- NucleonicsWeek(1/1、98)-

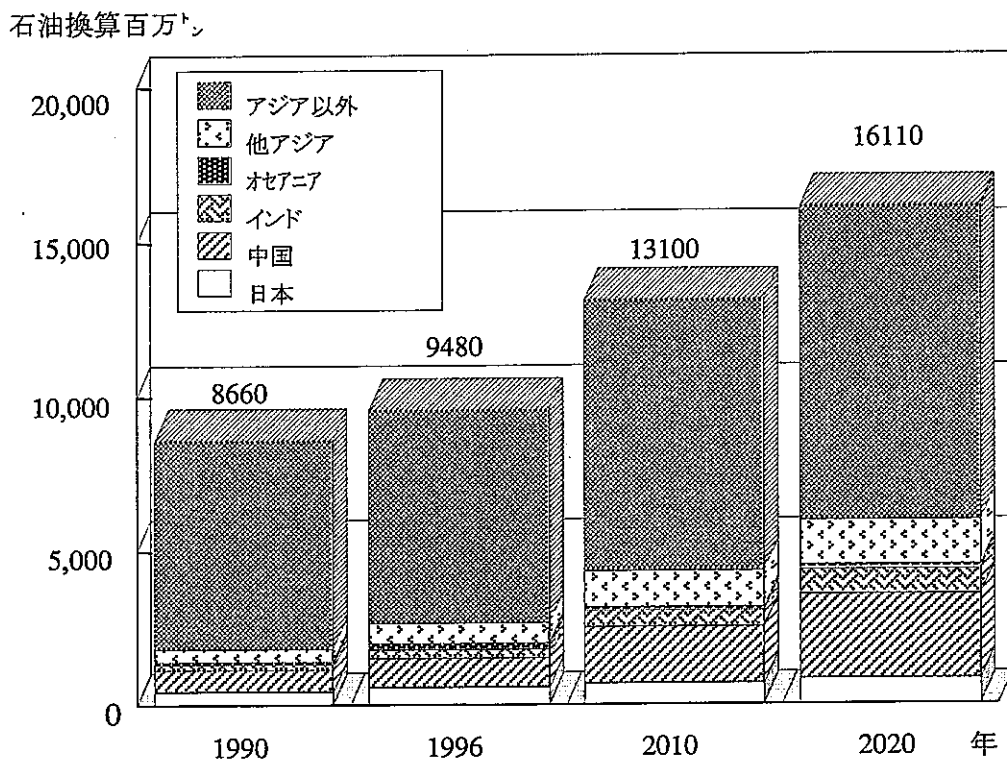


図3.1 世界のエネルギー消費の推移と見通し

4. 新たな原子力産業

4.1 「循環型社会」と「ものの回生」

「循環型社会形成促進基本法(仮称)」の案では、循環型社会を作るために取るべき方策について優先順位を示している。

1. 製品のライフサイクルを長くするなどによって廃棄物を出さないこと。
2. 製品や部品の再利用。
3. 素材などを再生して利用すること。
4. 焼却とその熱の利用。
5. 適正な廃棄処分。

循環型社会では、派生する廃棄物を利用を含めて、単位年数当りの発生量を低減しようというものである。当然、この発生量が減少すれば、地球環境上での廃棄物問題は、 Σ で評価されることから、歓迎されることになる。

同様に、ライフサイクル経済を導入すれば、研究開発経費の“無駄”的な情緒反発は、抑制されるのではなかろうか。

原子力開発も同様ではあるが、国が税金を課して行う技術開発とその産業化においては、これまでは、極めて直線的な開発フローであり、段階が実用化に進むごとに、それまでの投資財産(試験機材、実証モデル等々)は、特段の“始末”がされることなく、放置されるか、廃棄されている。基本的には廃棄は固定資産等の縛りと会計検査の狭間にあつて、一概には容易に行われる性格のものではない。すなわち、機材等は、有効に活用されることなく、初期目的が明確に達成されたもの以外が、捨てることもできずに放置されているのが現状である。

研究開発の多くは、リニアックなフローでなくても、多くの設備・機材は、一過性のものであり、あるデータを得ることを目的に試作開発される。したがって、その設備・機材の開発期間・費用が、大変な規模のものであつても、必要なものとして十分活用される期間は、長いとは言い難いものである。ここに、活用期間で経費を割って、開発研究費は膨大なものだという評価が出てくる。

4.2 原子力の循環型運用

仮に、発電システムの多様化が一層推進されたとしても、原子力発電の分散的運用が、送電不要という観点から普及したとしても、小型炉発電で一生を終わるような炉システムでは、大型発電炉とあまり変わらない。

小型炉の特徴は、コンピュータのDOS/Vのように、ある意味において、ハンドメイドであり、使用目的に応じて特化したアSEMBルに柔軟に対応できることであろう。

当然、DOS/Vでは、バージョンアップに対応して、構成ユニットを差し替えることで、迅速かつ安易、安価に最新の状態に保つことも可能である。このおり、不要となったユニットは、当然、別の目

的では現役として使えるものであり、回生が可能である。

このような回生メカニズムを、分散・小型炉に適用しようとすると、次のような例も考えられる。

(1) 450°Cの発電炉

最初は、発電炉として、Naの出口温度は、450°C以上を保証するものとする。

これで1サイクルを経過すると、再度、450°Cを保証するのではなく、このシステム安全を維持し得る状態に健康管理を保つ。

(2) 200°C前後の熱源特化

次いで、200°C前後の出口温度で可能な使用目的に特化させ、燃料、部材の延命化を進める。おそらく、200°C温度差を利用する分野においては、最も、安価な熱源となっている。

(3) ~100°Cの保温熱源

さらに、熱源利用のサイクル過程を卒業すると、今度は、保温とか暖房とかの領域の温度差を提供する。

このようなシステムは、システムの回生というより、原子力の循環型社会というべきことかもしれないが、核燃料サイクルと呼ばれる、循環型を超えるコンセプトとして、ライフサイクル経済の基本理念として、導入の検討が必要である。

4.3 始末・回生業

循環型社会化にとって、特に、国家資源の有効活用は、最たる未利用資源であることを認識すべきである。

原子力界においては、ふげん廃炉が社会的問題となっているが、以前には、原子力船“むつ”があり、国家財産であるが故、当初から後利用(ハイエナのインフラ)を全く考えていなかったため、いまだに、廃棄できずに、一部の部材はさらしものになっている。しかしながら、廃棄できないことが、廃棄しないシナリオを生み、船体は訓練船“はるか”となり、原子炉の一部は、科学館となって利用されている。

後付けではあるが、ハイエナの領分を見つけて始末している。

同様に、サイクル機構内は言うまでもなく、大学、一般研究機関、民間施設を加えれば、“むつ”のような始末対象は、恐らく、膨大を極めるであろう。まさに、何もしないで、朽ちるのを待って、記憶から忘れ去られるのを待っておれば、研究負債のまま廃棄物となるであろう。

これらの、原子力(一般的研究プロジェクトも含めて)の負債(負債)を、有効に利用する、いわゆる“始末・回生”と呼ぶ利活用を業とする分野は、今後、非常に大きな市場となる。

また、このような分野こそ、公的資金を導入して行わなければ、立ち上げることが不可能なものがある。

このような回生・始末を効率よく行う上では、どこにどのような回生・始末の対象があるのかという情報ネットワーク、この対象の価値をどこに見出すのかという“目利き”、そしてこの対象をどのような

タイミングでどのような場所で再生させるのがいいのかと言った“リエゾン”的センス、等々が有機的に機能し合える環境とシステムの構築が大切になる。

廃品回収業とか、解体業とか、あるいは廃棄物処理業といった既往の業と同一視される段階から、極めて技術蓄積が大切な業と評価されるには、時間がかかると思料されるが、地域に特徴的な産業であるような、いわば、地域振興的取り組みで、核となる機関(敦賀地域では、サイクル機構の研修センター)を定めて、地域主導で地道に実施していくことが肝要である。

4.4 改めてリーディングカンパニーと歩む

回生・始末が近い将来に極めて重要なリーディング産業となる予感はあるものの、どのようなフローでビジネスへと開拓していけばよいのかは、大きな問題である。

ネット上で産業体系を検索するとすれば、例えば、YAHOOのトピックスでは、以下のような項目が、項目となっている。(2000年3月現在)

いわば、現在のリーディングカンパニーの業態である。

注目すべき業態を参考として、原子力の新たな歩み方を学ぶことも重要である。

- 農林水産業
- 航空業界
- 自動車業界
- エレクトロニクス産業
- 金融政策
- IMF専務理事選
- ゼロ金利政策関連
- 2000年春闘動向
- 独2行合併、世界最大級に
- 携帯・PHS関連情報
- 日債銀譲渡先が決定
- ナスダック関連情報
- 原油価格動向
- 鉄道業界
- 新幹線関連情報
- ソニー関連情報
- 株式市場
- 外形標準課税導入問題
- 通信業界
- トヨタ関連情報
- 雇用・失業関連情報
- 米大統領中国MFN法案

このような中から、現在、極めて注目されている国際上での産業形態を、選定するならば、

- 農林水産業
- 航空業
- 自動車業
- 鉄道業
- 通信業

があげられよう。

さらに、ソニー、トヨタが、個別にメークされているということは、リーディングカンパニーとして、かつての鉄鋼業、建設業にとってかわっているのかもしれない。

しかしながら、エネルギーセキュリティの観点からは、原子力は、いかに民生化推進の形態へ移行しても、国家として管理あるいは権益を担保することが不可欠であり、多国籍企業化の恐れがある企業体を核とした原子力開発推進は不適切であろう。

したがって、上記に挙げられる業態と原子力の結びつきを深く検討することは当然ではあるが、推進の核として、民営主体として考えられる業態は、電力に変わり得るものとして、鉄鋼業、造船業が適当であろう。

現在、どちらの業態も、活力があるとは思われないが、鉄は国家、造船は国運を左右すると評された両業態を、エネルギー・原子力セキュリティの立場から、国が大きく関与して、かつての活力を蘇らせ、わが国をアジアのエネルギー“盟主”と位置付ける方向性を打ち出したい。

一方、上記業態は、21世紀においても、重要な産業枢軸であることは明らかであり、積極的な原子力ユーザとなるシナリオを提供し実現させることが重要である。

電力にどちらかと言えば隷属していたような原子力も、小型分散、アジア市場への関わりという立場から、新たな推進パートナーを発掘していかなければならない。

4.4.1 農林水産業

農業、林業、水産業ごとに、原子力ユーザとなり得る。

環境問題と酸性雨は、農林業に影響が著しい。原子力普及は、少なくとも、酸性雨低減に貢献可能である。また、さまざまな品種改良への放射線利用、あるいは、害虫駆除への利用、さらには食品照射への期待もあり、農林業は、非常に大きな原子力ユーザとなる資質がある。一方、原子炉廃熱による漁場確保、熱源利用による養殖、海水淡水化事業での造水、製塩業も考えられる。

積極的に、農林水産業の各業に特化した原子力システムを考えることが、新たなユーザ発掘につながる可能性が高い。

さらに、都心部ではなく地域産業であり、加工から輸送という分野においても、市場拡大、国際競争の中では、上手にエネルギー産業、原子力と付き合う方法を、相互に学ぶ姿勢があってもいい。

4.4.2 航空業

航空業界における事故も、人の生死に係わることから、原子力同様あるいは以上に、関心事となる。そして、原子力と同様な構成部材の金属疲労が原因となるケースが多い。

絶えず、安全と信頼性、そしてコストが問われることも原子力と酷似している。

現状では、さまざまな仕組み、型式認定、部材調達、ECからCALS等々と、原子力が是非とも取り入れなければならないシステムを、すでに、実用化しているところでは、航空業界は、あるいは、原子力分野の極めて身近な“教師”であろう。

循環型社会への順応化、業態の編成速度等をとっても、原子力の先を行っており、特段、航空業界から原子力を必要とする領域は、思い浮かばないが、部材・素材情報、遠隔操作に係る技術、包蔵性・密閉性・隔離性に係る技術(考え方)等は、互いに、密接に、交流を深めても当然のような領域ではなからうか。

JCOの臨界事故は、事故と防災という観点から大きな国家的適応をせざるを得ない状況を生んでしまった。しかしながら、航空事故のような極めて専門的な事故調査委員会が的確に対応できる仕組みを、原子力は未だに考えようとはしない。事故＝防災という、事故原因より、地域の人々をどう非難させるかと言った戦争対応のような仕組みを原子力には持たせるような国の対応である。

防災は不要であるはずはないが、事故の初動対応を適切に行い、防災へ発展させない、専門部隊というか原子力ダメージコントロールに対応し得るプロフェッショナルの育成こそが、航空産業に学び自ら実践していくことのように思われる。

4.4.3 自動車業

今後の自動車業界は、ヴィヒクルに関しては、例えば、高温スターリングエンジンのような完全環境エンジンを考えるのであれば、高温材料、そして信頼性等について、原子力技術が応用可能であろう。

それよりも、自動車業界は、これまで、石油という、自動車の支配要素を完全に自動車業界以外の石油メジャーに牛耳られた反省から、燃料電池に、エンジンがシフトすることが明確な以上、その支配要素である水素(あるいはメタン)を、石油と同じ轍を踏まないように、業界が牛耳ることが肝要である。

すなわち、自動車業界が、水素供給業を実施することが重要となる。

そもそも、燃料電池は、わかり易く言うならば、水の電気分解の逆、すなわち、酸素と水素から水を得る過程で、電気を発生させることであり、基本は、電気生成であり、原子力の一つの製品と共通となる。

さらに、水素を得るためには電気が必要、さらに、高純度の水素精製には、ウラン吸蔵化も魅力的となれば、今後、自動車業界と原子力の密接さは高まるであろう。

どんどん複合化し、グローバル化していく自動車分野こそ、自ら循環の柱となる自給エネルギーとして、原子力を真剣に考えてもいい時期にきているのではなからうか。

4.4.4 鉄道業

鉄道業界は、未だに新幹線とか、〇〇線とかいった地域からの誘致があり、大型の公共事業としての地位を保っている。が、電力との関係でみれば、ほぼ完全に電化は進んでおり、自らの送電系も有している。その点、電力会社に独立な系統を有している分野とも言える。逆に、それだけ、電力というエネルギー形態に依存した鉄路とも言える。

今後JRも、民営と国際自由化ということから、さらなる自前の発電所を持つというような事態も予想される。特に、既往の供給体系である交流とは異なる直流ネットは、注目される可能性もある。

また、集客的には、過去のSLを今日的な技術で蘇らす、JR固有の回生も重要になる可能性もある。電力の送電と同様に、電化は、鉄路の敷設と並行して電気の供給系を用意する必要があり、今後は、自然環境の保全の中では、電線は敬遠されることも予想される。

回生のところで記載したような核分裂の最大経済効果を発揮すると思われている高温利用ではなく、SLの駆動可能なスマートエンジンを原子炉で考えることも、アジア大陸とか、重油の大量消費につながる航空機の代替としては、21世紀の検討課題となってもいいのではなかろうか。

4.4.5 通信業

わが国においても21世紀は、ITといったキャンペーンが盛んであるが、このITを支えるのに、エネルギー、特に、電力が極めて重要であることはあまり表には出てこない。

安価で、安定供給可能な電力がなければITという文化は、芽生えもしない。ITがは電話料金とか、インターネットビジネスとか、が注目される課題であるのは、それらへの不満が大きいことに由来しているのであって、反比例的に、電力へは不安が少ないという世論でもある。

しかしながら、電力の安定供給は、強固な国家事業としての下支えが重要で、架商方式とか、競争原理を錦のみ旗にしたような電力自由化基盤では、達成は極めて困難である。

通信業と電力供給は、国が管理すべき項目が多く、常に、規制緩和のターゲットである。国家不在の自由化で、安易な安価な電力を得るということではなく、通信と共通する規制を緩和し、デファクトを盛んにしたスペックの公開を行い、調達時での自由化を広め、管理運営の多国籍的な自由化は慎重に対応すべきである。

特に、通信は、衛星事業も含めて、国境がなく極めて管理が困難な対象である。電力も送電主体から、給電・配電方式の分散化が進めば、通信媒体同様に、極めて管理が困難な対象となり、大きな視野、国際間での管理の統一が必要となるであろう。

通信における様々な、新たな管理のシステムとか、産業化、起業化の歩みは、近い将来の分散電源化の市場に重要な示唆を与えるものである。

ITという大きなキャンペーンの中では、電源供給というシステムは、全く、議論されない程度に主役にはなっていないが、極めて重要なパートナーで、通信との信頼の上で相互進化していく関係である。

一方、電力サイドが、通信への進出を考えることは、先の議論からも自然のようであるが、通信サイドが、電源供給の分野へ参入するような動きは、ほとんどない。

通信のビジネスタージョットが、既往の通信ネットワークの電源供給の使用量的なところには全くな

いことによるのかもしれないが、IPPでは、電力会社の送電だけが唯一ではなく、鉄道の送電であっても、通信の支柱であっても、ユーティリティであっても、ビジネス対象ではある。

さらに、PKFの移動電源を最も必要としているのが、通信のためであることを考えれば、原子力における小型分散化の、一番大きなユーザーは、通信である可能性もある。

もちろん、通信がユーザーであることよりも、電源の供給側になっても不思議はない。

4.5 市場の拡大化と原子炉の特化

現状の原子力であっても、発電以外の潜在的なエネルギー(パルス、放射線、熱)を利用した産業化を、これまでに上げた電力以外の産業・企業態と実施可能なものはある。

しかしながら、循環型社会における“もの”の長寿命化、プラグ&プレイのような簡便な操作性の要求、当然のメンテナンスフリーで高度な技術経験を不要とする、等々の要件が、これからの市場拡大に不可欠となるのであれば、小型分散化に特化した原子力システムは、極めて魅力的なものである。

スマートな原子炉エンジンで走るSLの例を述べたが、必要とする機能を支えるシステムとして、いわば、乾電池的—ウオークマンは電池がないと動かない、携帯電話は電池がなければ聞こえない、コンピュータも電池がなければBIOS記憶が困難といったように目立たないがなければ機能しない—な存在として特化した分野を開拓できることも視野に入れるべきであろう。

送電によって電源供給する既往システムに対抗するような存在というより、プロパンガスが、都市ガスとは違った市場を得ているように、小型分散のスマート原子力エンジンは、全く新規なコンセプトで、開発体制も考え市場を意識していくことが必要である。

5. スマート原子力エンジンの未来

21世紀を迎える原子力は、歴史が浅い分、発展の選択肢は少ない。

火を人々は、神として崇りとして、恐れおののいていたに違いない。しかし、火を“発見”した人は、その恐れを克服し、勇敢に手にすることで、新たな食文化と道具社会を創出させた。

燃える石も、燃える水も、燃料とか、明かりとかいう以前は、恐れの対象であったに違いない。それらを、石炭・石油として“発見”した人々は、恐れを克服する勇気と努力を持っていたに違いない。

未だに、恐れに対象として、地震、雷、火山等々の自然現象がある。まったく、恐れを克服して立ち向かう姿勢するない。逃げ惑うのが現実である。

地震・雷を“発見”の対象としろというのではなく、歴史的には大変浅い原子力は、太陽のような存在を“発見”したと言える。石炭・石油と同様に、恐怖に打ち勝って克服しつつある対象であるが故に、様々な試練をさらにいつつ、一層の克服をすべきものである。

核物質と核分裂反応を手に入れた人類は、人類を破壊することに、おろかにも、この“発見”を使ってしまった。電源としての今日の原子力発電も、効率よく核分裂反応を使うことが経済性が最も高いことだと信じて行っているもので、核分裂を最大効率で取り出す原爆と同根のような気がする。

あまりにも、主役の座に居ると、脇役とか、下支えにはなりにくい。

激動をモットーとした第一世代の原子力から、21世紀の原子力は、緩動で感動を与える役目に移行することを考えてはどうであろう。

トップで走っても450から550°Cの熱しか出ない原子力は、より高度熱源での発電系では中途半端である。むしろ、高速炉でNaが固まらない温度程度(200°C前後)を産出する原子炉を考え、これがスマートエンジンとなるプロジェクトを開拓する。

燃料を含めた原子炉材料とか様々な過程には、新たなブレークスルーのない原子力開発であるかも知れないが、計り知れない“セレンディピチ”が、そこにはあるに違いない。

第3章 地域との情報共有化方策の提言

1. 情報のフォーマット

当該報告書は、当初から報告書作成がメインというより、CD-ROMのようなデジタル記憶媒体に書き込み、いつでも、加工が可能で、配布も容易であることが前提とされている。

情報提供と受ける側の方式は、ここ数年のインターネットの普及と、誰でもがホームページを容易にそして安価にもてる環境が整ってきた。

以前ならば、デジタル化した情報であっても、どのOS下で、しかも、どのアプリケーションで作成したか、等々が極めて大きな共有化の障壁であった。

デジタル出版物も、インターネット配信サービスも、めずらしい状況ではなくなった。

この報告書は、当然、本的に見てもらうという役割以上に、内容を広めることが目的で、“情報の地域との共有化”も検討課題としている。

情報の配信側は、内容のデフォルメ以前に、受けて側が受けられるフォーマットで配信する必要がある。

以下に一般的なフォーマットの種類を挙げる。

(1) 文章

Microsoft Office 系統	Word
Lotus Office 系統	WordPro
一太郎 系統	
OASYS 系統	
Web HTML	
一般的なText	
Acrobat Reader 対応	

(2) 画像等

インターネット配信対応	GIF,BMP,Jpeg(Jpg),TIF,GNP 等々
音 映像	Mpeg1~4, Avi, Mp3,Wav,MID 等々

このように多くのファイル形式が、基本的には、WindowsとかMacとか呼ばれるOSごとに存在する。

このような状況の中で、インターネット上においても、ユーザーの規模から言っても、基本的にはMicrosoft Officeを用いて作成しておれば、発信側の問題は、解決されることになる。

しかしながら、検索性能とか、配信の軽さ(ファイルの圧縮性)とか、アプリのバージョンアップ頻度等から、Microsoft志向には、警戒感がある。

さまざまなプラグと呼ばれる手法があり、特別な方法で作成したものでも、そのプラグが、例えば、Wordにインストールされておれば、Word上で開くことが可能というようなことが、フリーウェアソフトと

呼ばれる方法で浸透してきている。

また、基本的にはこのフリーでOSそのものの機能も持っているLINUXの環境が、急速に拡大しており、間違いなく、21世紀の数年の間に、Microsoftの牙城は崩壊するであろう。

このようなことを考えれば、フリーソフトにも十分に明るくないと、発信側の責任は、果たせられない。

ここでは、極めてメジャーであるがフリーに属するプラグでの加工を行うこととする。

選択したの

Adobe Acrobat Reader 4Jである。

これは、ネット上から、読むためのReaderが自由にダウンロードできる。

このようなプラグは、マクロメディアやYamaha 等でもある。

どのようなアプリで作成した資料であっても、Acrobatで印刷するのと同様の方法で、ファイルにすれば、できたファイルは、どのようなOSであろうが、Readerをインストールしておれば、読むことが可能となる。

添付しているCD-ROMは、オリジナルのファイルの他、pdfと呼ばれるAcrobatフォーマットで、当該報告書を載せているので、メニューから選択して体感できます。

2. 配信とインターフェース

今回は、ホームページにのせるということではなく、ローカルに配信することを、前提にして、情報をCD-ROMにレコードする。

本来は、サイクル機構のホームページ上で、チャットもできるような方法で、情報の双方向性を出す必要もある。でなければ、いつまでの、出す側が、好きなものを、時には捏造したものを出せることになる。

情報は出すものではなく、出るものでなければ、特に、原子力情報のように社会性を要求される分野ではなおさらのことである。

この独りでも出るシステムは、インターネットのようなインフォメーション機能ではダメである。

非常に例示も困難で、この出るシステムは、これという案がない。

しかしながら、気象予報官という人が、衛星画像で天気予報をしているが、本来の衛星画像では、どこに日本列島があるのか一般大衆が理解できそうなものではない。また、衛星画は、いつでも誰でもが基本的にはアクセスできる対象である。

予報官が大衆と生情報の間の翻訳を通訳を仲買をすることで、情報の配信側と受けてが、相互に、リスクをしょいながらも満足していただける。

公的で社会性を一層要求される原子力分野では、このような予報官のような第三者的なインターフェース機能を設けることが急務であろう。

3. シンポジウム

今回は、サイクル機構と直接関係する有識者以外の方々の意見も十分に参考して、調査検討を進めた。

本来、報告書が納品物件で、これをサイクル機構へ納めることで契約が完了する。

別の機会に、報告書の報告会ということで、サイクル機構内の、発注元へ説明に出向くことはあっても、このような調査成果を、検討担当者が、ダイレクトに、サイクル機構以外の、例えば、地元の方々に報告するようなことはない。

今回は、検討に参加していただいた方々の総意として、次のことを提言したい。

1. 是非、敦賀で地元の人を交えて、この調査報告の“報告会”を行うこと
2. “もんじゅ”のお膝元でもんじゅ以外のシステムの可能性を議論すること
3. 継続・持続可能な調査報告会を行うこと

この提言を受けて、シンポジウムを早期に、調査報告会の位置付けて行うことを提言したい。

委員会名簿

小型炉開発推進戦略会議(コア会議)

委員名簿

(順不同、敬称略)

委員：秋山 守	(財) エネルギー総合工学研究所 理事長
澤岡 昭	大同工業大学 学長
杉浦 賢	(財) 機械振興協会 副会長
谷口 富裕	(財) 電力中央研究所 特任顧問
鳥井 弘之	日本経済新聞社 論説委員
中里 良彦	富士電機(株) 相談役
西野 文雄	政策研究大学院大学 教授
松村 誠	(株)東芝 首席技監
事務局：吉見 宏孝	富士電機(株) 設計部長
飯田 式彦	(株)東芝 動力炉開発部長
門田 睦雄	(株)日建設計 技術開発設計室長
榊原 安英	核燃料サイクル機構 敦賀本部
衣笠 学	核燃料サイクル開発機構 大洗工学センター
小奈 勝也	(株)テクノバ 常務取締役
渡邊 千鶴子	(株)テクノバ 調査研究部

小型炉概念調査委員名簿

(順不同、敬称略)

委員長：秋山 守	(財)エネルギー総合工学研究所 理事長
委員：藤井 靖彦	東京工業大学 原子炉工学研究所 所長
関本 博	東京工業大学 原子炉工学研究所 教授
石田 紀久	日本原子力研究所 船舶炉設計研究室長
三田地 紘史	豊橋技術科学大学 教授
鳥井 弘之	日本経済新聞社 論説委員
吉見 宏孝	富士電機(株) 設計部長
飯田 式彦	(株)東芝 動力炉開発部長
事務局：榊原 安英	核燃料サイクル機構 敦賀本部
衣笠 学	核燃料サイクル開発機構 大洗工学センター
小奈 勝也	(株)テクノバ 常務取締役
渡邊 千鶴子	(株)テクノバ 調査研究部