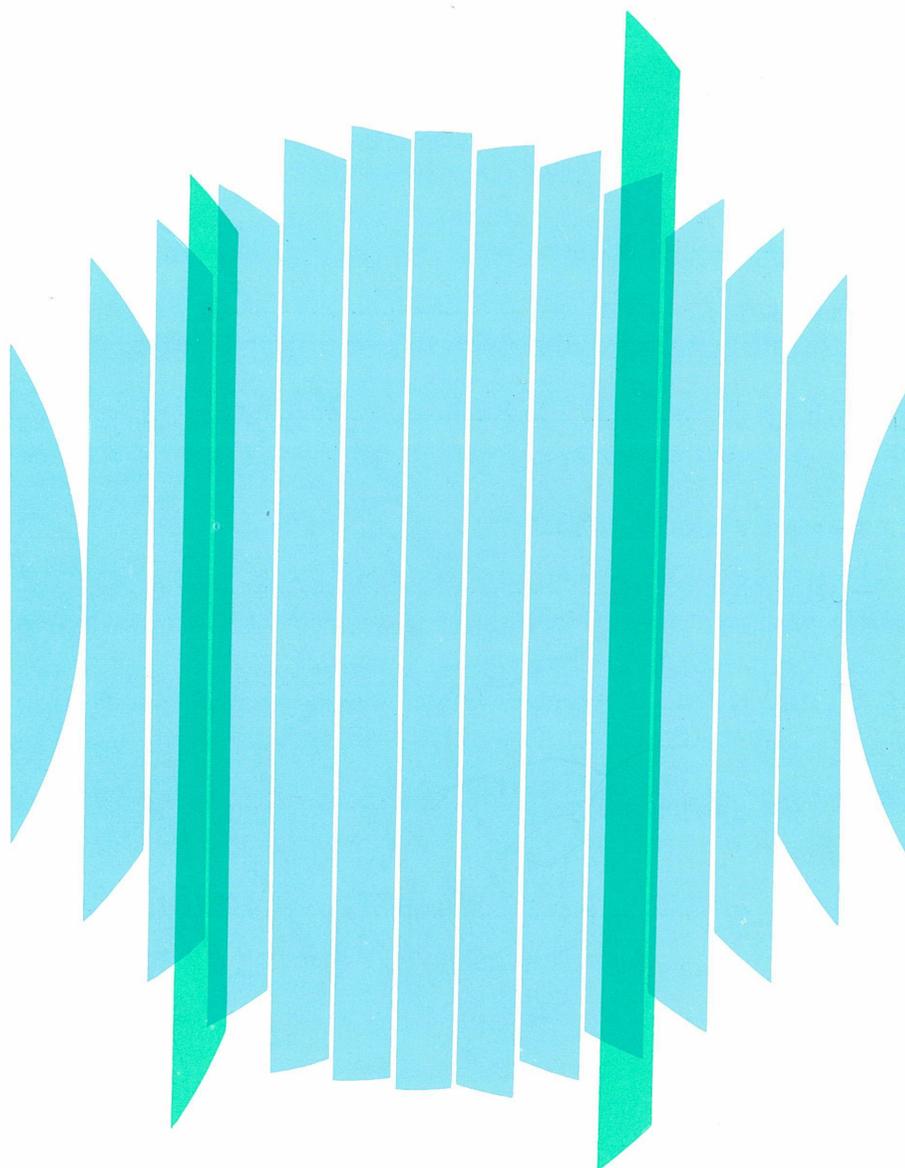


季報 エネルギー総合工学

Vol.3 No.2 1980. 7.



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

目 次

トレンド型思考からの脱却	1
………理事・(財)日本産業技術振興協会副会長 百 田 恒 夫	……… 1
原油価格シミュレーション モデル	
—計量経済学的一个の試み—	佐 和 隆 光…… 2
研究開発のリスク分析	近 藤 駿 介…… 9
「電気事業が直面する技術開発課題に関する調査研究」の概要について	
—UHV 送電導入の課題—	楠 山 藤 一……16
LNG 6 (京都)に参加して	原 田 春 洋……26
西独における核熱産業利用の開発について	伊 藤 正 巳……32
昭和55年度事業計画	………39
研究所のうごき	

トレンド型思考からの脱却

理事・(財)日本産業技術振興協会副会長 百 田 恒 夫

GNPにしる、エネルギー需要量にしる、毎年7%の率で伸びたとすると、30年で8倍、50年で30倍という数字になる。そこで、紀元2030年、2050年という視野で考える場合、低成長への道を選択せざるを得ないのは、単にオイル・ショックのためばかりではない。

伸び率2%、1%という場合はどうであろうか。2%では30年で1.8倍、50年で2.7倍、1%では30年で1.3倍、50年で1.6倍であり、紀元2000年代を見通した国家100年の計とでもいうことになると、平均1%の成長を持続することすら危ぶまれる。

現在、政府の長期エネルギー需給見通しは1995年まで規定されているが、それをベースにして、2025年のエネルギー需要を試算したデータがある。これによると、1995～2000年のGNPの伸び率を2%、2000～2025年の伸び率を0.7～0.8%程度と押えたとしても、2025年におけるエネルギー需要量は、1975年のそれに比して、例えば、家庭における給湯用が4～5倍、工業加熱用が2倍程度となり、また、旅客輸送量(人・km)は、鉄道、自動車が3～4倍、航空機が10倍以上というような数字となってしまう。

何れにしても、従来のトレンドの延長をベースとした思考では、ゆきずまりがくることは明らかであり、今後の技術進歩の動向をふまえた、新しい価値観のものと省資源・省エネルギー社会とは如何なる構造であるべきかの抜本的なデザインを早急に実施してみるべきであろう。そのような意味で、エネルギー問題を資源全体の問題からとらえ、社会構造そのものを変革して対応することの必要性の認識に立って、資源最適社会という構想を提言された山本博雅氏の論説(技術と経済158号)は検討に値するものであると思われる。

(ももた つねお)

原油価格シミュレーションモデル

—計量経済学的一个の試み—

佐 和 隆 光

1. はじめに

計量経済学の手法を用いてエネルギー問題を分析しようという試みは、欧米諸国において、従来からきわめて盛んである。他方、わが国においては、マクロ経済の計量モデル分析はたいそう流行しているにもかかわらず、エネルギー関連のモデル分析は、ごく少数の例を数えるにすぎない。以下に紹介するのは、国際石油市場における原油価格の長期的な動向の予測をねらいに、エネルギー総合工学研究所において開発した計量経済モデルである。

後にくわしく説明するように、モデルの構造はきわめて単純明快であるが、国際石油市場における原油価格決定のメカニズムの大局的な枠組みは、ひとつおりのモデルに組みこんだ積りである。ただし、ひとつ断っておかねばならないのは、次の点である。私たちの目的は、原油価格の決定メカニズムを、経済モデル分析によって解き明かすことである。したがって、技術や政治にまつわる諸問題は、これらをあえて「捨象」せざるを得なかった。こうした「捨象」の結果、現実の価格経路が、モデルの予測する経路を外れる公算はきわめて高い。経済モデルによって予測さ

れる経路と現実の価格経路との間のズレを、モデルから捨象された諸要因のはたらきに帰することにすれば、そうしたズレを事後的に分析することにより、非経済的な要因のはたらきの大きさについて、なんらかの量的評価を下せるはずである。現実の動向を正確に言いあてるのは、どだい無理難題とあきらめて、上記のような評価機能にモデル分析の積極的意義を求めべきであるというのが私たちの立場である。この点を、あらかじめ強調しておきたい。

仮に経済的な側面のみ視点に限るにしても、外生的な諸変数の値をどう想定するかによって、予測される価格経路に大きな差が生じてくる。たとえば、今後20年間の原油価格の動向をシミュレートしようとする場合、たとえば、(i) GNPのすう勢的な成長率をどう見積るか、(ii) 所得弾性値や価格弾性値などといった構造パラメータの値が将来とも不変であると想定するか否か、(iii) 省エネルギーの進展や代替エネルギー導入のスピードをどう見積るか、(iv) OPECおよび非OPEC産油国の原油生産能力をどう見積るか、等といった諸前提に、結論は大きく左右されるであろう。ところで、上記の4つの前提は、いずれも不確実度のたかいもの

ばかりであり、安直にその見通しを述べるわけにはいかない。結局のところ、モデル予測とは、「かくかくの前提のもとでは、しかしかの結論が導かれる」という、前提と結論の論理的な対応にかんするシナリオ書きの作業にはかならない。前提にかんする見解の相違（たとえば代替エネルギー導入の可能性についての評価のちがい）が、原油価格の予測値をどれくらい振れさせるものなのか、言いかえれば、代替エネルギー導入の速度が原油価格の動向にどう影響すると予測すべきかを、2種類のシナリオを比較することによって、あるていど理解することができよう。

2. モデルの構造

従来からある石油市場モデルは、大別して、シミュレーション型モデルと最適化型モデルとに分かれる。価格の決定権をもつOPECが、何らかの目的関数にてらして、最適な価格経路を決定するというのが、最適化モデルである。通常、適当な割引率で割引かれた将来収益の現在価値が、目的関数に選ばれる。しかしながら、たんに収益を最大にすることだけがOPECの目的だとは誰も思わないだろう。1973年から74年にかけての原油価格の大幅上昇は、世界的なスタグフレーションをひきおこし、その結果、石油需要は減退し、78年末まで原油の名目価格はほとんど横ばいに推移した。こうした過去の経緯を省みれば、73年末におけるOPEC原油の大幅値上げは、中長期的には、かならずしも最適な戦略ではなかったように思えてくる。すなわち、OPECは、最適化モデルが仮定するような「市場の構造にかんする完全情報をもつ

独占的価格決定者」とは言いきれないのでなかろうか。また同時に、この間の事情は、次のことをも示唆するだろう。石油価格はOPECが勝手に決めるように見えるが、結局のところ、需給の均衡を無視した高価格は長続きしない。別の言い方をすれば、原油価格といえども、市場価格の決定法則の適用例外とは言えず、少なくとも長期的な価格のすう勢は需給均衡によって決まると考えるべきではなかろうか。また今後、OPECの価格戦略じたい、過去の経験を生かして、一段と複雑化するものと予想される。こうした「構造変化」をモデルに反映させるためには、収益以外の多くの要因を目的関数にとり入れる必要があるだろう。

以上のように考えると、従来のような単純な最適化モデルによる価格シミュレーションが、さほど有意義な結果をもたらすとはどうも思えない。そこで私たちは、需要関数と供給関数の交点において価格が決まる、需給均衡型モデルによって、価格経路のすう勢をシミュレーション分析する、というアプローチを採用することにした。

モデルの方程式体系は、以下のとおりである。

1. $\ln GNP1 = 8.839 + 0.029t - 0.041 \ln POP/PG$
2. $\ln GNP2 = 4.722 + 0.0337t - 0.0123 \ln POP/PG$
3. $\ln DEI = -0.28 + 0.5 \ln GNP1 - 0.026 \ln POP/PG$
4. $\ln DE2 = -6.085 + 1.18 \ln GNP2 - 0.626 \ln POP/PG$
5. $CNS = 0.8 + 0.2 \exp[-0.014 (POP/POP(-1) - 1)]$

$$6. MS=0.6 \quad t \leq 10$$

$$=0.6-0.015(t-10) \quad 11 \leq t \leq 20$$

$$7. SNO=1.015SNO(-1)$$

if $1.015SNO(-1) \leq 2500$

$$=2500 \quad \text{otherwise}$$

$$8. DOP=(DE1+DE2) \times CNS \times MS$$

$$+DCOM-SNO \times 0.95$$

$0.95=\text{refinery loss}$

$$9. \ln SOP=3.518+2.0 \ln(POP/PG)$$

$$+0.343 \ln MOP$$

$$10. \ln DDOM=-3.233+0.593 \ln MOP$$

$$11. \ln MOP=2.522+0.656 \ln MOP(-1)$$

$$-0.141 \ln [PMO(-1)/POP(-1)]$$

$$12. \ln PMO=0.1566+0.966 \ln PG$$

$$13. \ln PG=4.197+0.060t+0.12 \ln POP$$

$$14. DOP=SOP-DDOM$$

なお、各変数の意味は、以下のとおり。

CNS=1 マイナス省エネルギー率

DCOM=OPEC 域内の原油需要

DE1=OECD のエネルギー需要

DE2=非 OECD 諸国 (主として LDC) の
エネルギー需要

DOP=対 OPEC の原油需要

GNP1=OECD の GNP

GNP2=非 OECD 諸国 (主として LDC) の GNP

MOP=OPEC の輸入

MS=一次エネルギー需要に占める石油の割合

PG=OECD の輸出品物価指数

PMO=OPEC の輸入品の価格指数

POP=OPEC の原油価格

SNO=非 OPEC 産油国の産油量

SOP=OPEC の産油量

t = 西暦年次-1980

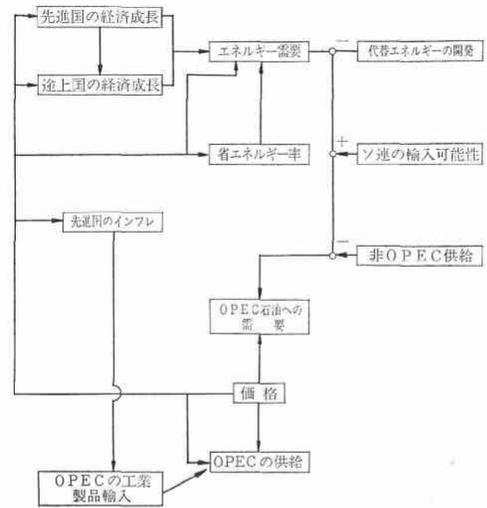


図1 フロー・チャート

図1のフローチャートを参考にしながら、上記のモデルの基本的枠組について、簡単に説明しておこう。なお、以下の説明文中の括弧内の数字はモデルの方程式番号である。

原油価格 (POP) は輸入国 (OECDと非OECD・LDCに分割) と輸出国 (OPEC) 間のゲーム的な駆け引きの結果として、市場均衡的に決定されるものと想定する。すなわち、実質OPEC価格 (POP/PG) の上昇は、輸入国のGNP成長を抑制する効果をもたらす〔1, 2〕, ひいてはそれが一次エネルギー需要 (DE1とDE2) を減退させる〔3, 4〕。ただし、GNPとDEに付された番号1はOECD, 番号2は非OPECのLDCを指し示す。また原油価格の高騰は、輸入国の節約努力 (CNS) を加速〔5〕するであろうし、また長期的には代替エネルギーへの転換を促進し、一次エネルギー需要に占める石油の比率 (MS) を徐々に低下させる〔6〕ことにもなる。非OPEC産油国の

産油量 (SNO) も、ある程度まで価格に弾力的に反応すると考えられるが、ここでは年率1.5%で成長し、2500万 b/d の上限に到達した後は横ばい〔7〕と想定する。さて、以上のような想定のもとに、輸入国側のOPEC原油に対する総需要 (DOP) が決まってくる〔8〕が、その際、OPECからの原油 (POP) の高騰は先進工業国 (OPECが工業製品を輸入するうえでの相手国) の物価水準 (PG) を押し上げる〔13〕であろう。それにスライドして、OPECにとっての輸入価格 (PMO) が上昇〔12〕する。POPとPMOの相対的な関係が、OPEC諸国のwelfareを考えるうえでの重要な要因となてこよう。通常の経済学では、welfareのひとつの指標として、消費の多寡が用いられる。OPEC諸国の場合、消費の大半は輸入 (MOP) に依存していると考えられるから、相対価格 (PMO/POP) の変化が輸入 (すなわちOPEC諸国のwelfare) に影響〔11〕し、輸入の増加が供給曲線〔9〕を上方にシフトさせ、実質価格の上昇に連なるというメカニズムをとりこんだ(図2参照)。また輸入の増加は、OPEC域内の原油需要 (DDOM) の増加にも連なる。OPEC諸国のGNP統計の入手が困難なため、輸入 (MOP) を域内総有効需要 (消費+投資+政府支出) の代理変数として用いざるを得なかったことを、言い訳として付け加えておきたい。

OPECの産油量 (SOP) を決めるのは、内需の代理変数としての輸入 (MOP) と原油の実質価格 (POP/PG) である〔9〕。このように単純な供給関数を想定することに対しては、数々の異議があろうけれども (たとえば、供給関数の価格の係数はマイナスで

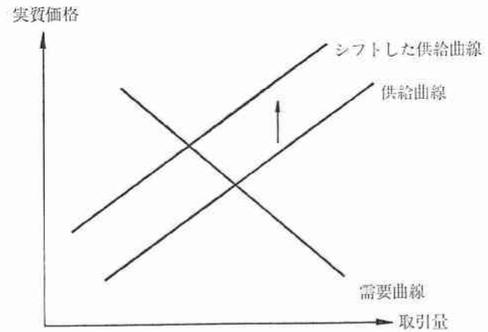


図2 OPEC諸国の輸入増による供給曲線のシフト

はないかという指摘もある)、当面は、非現実性を承知の上で、市場均衡〔14〕による価格決定という立場に固執して分析を試みることにしたい。

3. テータと推定法

各方程式は対数線型式として定式化する。係数の最小2乗推定には、1970年から78年にかけての年次データが用いられた。係数推定値の符号や大きさは、ほぼ納得的であると言ってさしつかえなからう。なお、原油価格としては標準原油 (アラビアン・ライト) の公示価格を用いた。

4. シミュレーションの設計

すでに述べたとおり、シミュレーションの目的は、いくつかの“数値入りシナリオ”を書くことである。推定された式の構造的なパラメータ (エネルギー需要の所得弾性値など) は、とりあえず不変であると仮定する。シナリオの筋書きを構成する要因として、次のようなものを取りあげる。①GNPのトレンド的成長率 (式〔1, 2〕におけるtの係数)。②共産圏の原油純輸入量 (DCOM)。③節約

率（CNS）の価格変動に対する反応のしかた〔5〕。④一次エネルギー需要に占める石油の割合の減り具合〔6〕。⑤非OPEC産油量の延び具合〔7〕。⑥OPECの産油量の上限。

以上の6要因についての様々な想定のもとに、今後20年間（2000年まで）の原油価格のたどる経路をシミュレートしてみる。

5. シミュレーションの結果について

あわせて10通りのケースについて、シミュレーションの結果が紹介されている。各ケースのスペシフィケーションは表1に見るとお

りである。対応して決まる価格経路は図3と図4に与えられている。

少なくとも1990年までに関する限り、専門家の判断と最もよく整合するのはケースBまたはケースJである。ケースBの場合、1990年以降、原油の実質価格の上昇率が逡減してくるのは、90年以降、かなり順調に代替エネルギーが導入される（石油依存率が60%から45%まで低下する）という楽観的想定によるところが大きい。

ケースH、I、Jにおいては、代替エネルギーが80年以降、漸次導入される（石油依存率が60%から40%まで毎年1%ずつ低下する）と想定されている。90年までは代替エネ

表1 各ケースの与件

ケース	先進諸国の GNP成長 率(%年率)	非OPEC 発展途上国 のGNP成 長率 (%年率)	エネルギー 節約率 (CNS)	一次エネルギー 需要に占める 石油の割合 (MS)	非OPEC 産油国の 産油量の 年成長率と 上限	OPEC 産油量の 上限	共産圏 の石油 純輸入
A	2.9%	3.4%	$CNS=0.8+0.2 \exp(-0.014 \times \pi), \pi=POP/POP(-1)$	90年まで60% : 91年以降0.5% ずつ毎年漸減	1.5% 2,500万b/d	3,800万b/d	0
B	同上	同上	$CNS=0.75+0.25 \exp(-0.016 \times \pi)$	90年まで60% 91年以降毎年 1.5%ずつ漸減	1.5% 2,500万b/d	3,500万b/d	0
C	同上	同上	同上	同上	2% ∞	3,800万b/d	0
D	0%	0%	同上	同上	1.5% 2,500万b/d	3,000万b/d	0
E	2%	2.5%	同上	同上	同上	同上	0
F	同上	同上	同上	85年まで60% 86年以降毎年 1.5%ずつ漸減	同上	同上	0
G	2.9%	3.4%	同上	同上	同上	同上	0
H	同上	同上	同上	80年以降 毎年1%ずつ 漸減	同上	同上	0
I	4.0%	4.0%	同上	同上	同上	同上	0
J	3.5%	同上	同上	同上	同上	同上	0

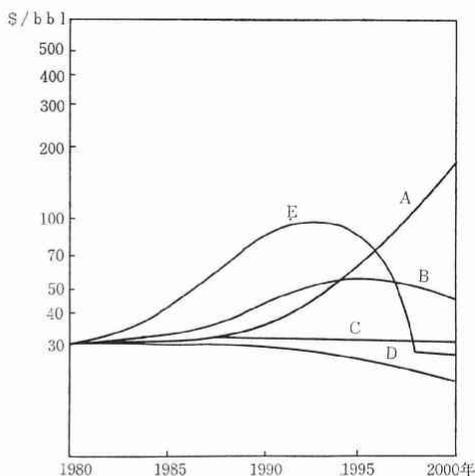


図3 原油価格（実質）のシミュレーション（ケースA～E）

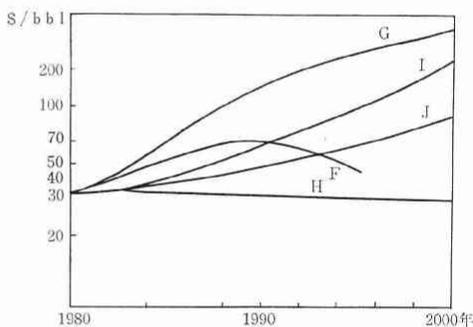


図4 原油価格（実質）のシミュレーション（ケースF～J）

ルギーの導入は望めないとした場合（ケースA～E）と異なり、価格はほぼ定率で上昇する。ケースH、I、Jにおける価格経路の差異は、輸入国の経済成長率の想定の違いによるものである。低成長（ケースH）の場合には、実質価格はほとんど横ばいであるのに対し、高成長を想定すると（ケースI）、実質価格は年率6.7%で上昇する。なお、中間的ケース（ケースJ）については、実質価格上昇の年率は平均3.3%である。

OPECの生産能力の上限については、

3,800万b/d, 3,500万b/d, 3,000万b/dの三通りを考える。非OPEC産油国の供給能力の増加率についても、年率1.5%で上限2,500万b/dのケースと2%で上限なしのケースを考える。産油能力にかんして最も楽観的なケース（ケースC）においては、実質価格はほぼ横ばいである。他方、ケースD～Jにおいては、供給能力にかんして非観想的想定がなされている。とくにケースEのように、90年までは石油依存率が不変であると想定すると、90年には実質価格が75ドルにまで上昇する。しかし、90年以降、代替エネルギー導入が開始されることに加えて、高価格が経済成長率を低下させ節約率を高める結果、90年代の中ば頃には、実質価格が低落し始める。

以上要するに、このモデルを前提とするかぎり、輸入国側の政策的努力（節約および代替エネルギー導入）が、今後の価格経路のあり方に及ぼす影響は甚大である。さらに、OPECあるいは非OPEC産油国の生産能力上限をどう見るかも、価格予測における重要な決め手となることがわかる。また、輸入国側の成長率のいかんによっても、価格経路に大きな変化が生ずると予想される。

6. むすび

この小論の冒頭に一般論として述べたように、われわれのモデル分析においても、切り落とされた要因（モデルに明示的にとりこまなかった要因）がいくつかある。たとえば、石油依存率が石油価格と無関係に一定の割合で低下していくというのは、現実的とはいえないであろうし、また、いわゆる backstop technology という考え方とも相容れないで

あろう。「今後、石油は noble use に特化していくであろう」ことを前提すれば、「実質価格の低下の可能性を示唆するモデルは非現実的である」という専門家の指摘にも一理はある。石油の用途の変化ということがモデルにとりこまれていない以上、こうした批判に対する反論の余地はない。そのほか、政治的要因や軍事的要因は、完全にモデルから捨象されている。

しかしながら、だからといって、われわれが行ったシミュレーションが、まったく無意味なわけではない。「市場均衡によって価格が決定される」という純粋に経済学的な立場から構成されたモデルは、ひとつのリファレンスを提供してくれる。現実の価格経路は、ほとんど確実に、こうしたリファレンス経路

から乖離することであろう。そうした乖離が、何故に生じたのかを分析してみることに より、はじめて、OPECの価格政策の何たるかについての認識が深まり、また、偶発的な政治的事件が石油価格に及ぼす影響を数量的に読みとることが可能となるであろう。結局、われわれの行ったモデル分析の目的は、石油価格の将来動向を言い当てることではなく、純粋に経済的に考えてみれば、こういう経路が予想されるであろう、というリファレンス・シナリオを提供することであった。この限りにおいて、われわれのモデル分析は、かなりの成功を収めたと言ってさしつかえなかろう。

(さわ たかみつ 京都大学経済研究所教授)

研究開発のリスク分析

近藤 駿 介

1. 遠くはより遠くに、近くはより近くに

技術予測においては、長期的なものについては悲観的に、中期的なものについては、楽観的になることが知られている。Buschmanはこのことを図1のC曲線で表わした。この図によれば、50年も先の話はかなり悲観的で、とてもできそうにないと思うが、15年とか、20年程度先のことについては、予測がかなり安定して、かつ楽観的であることが示されている。より近い時期における楽観的な態度は、予測において、そのものがもつ社会的なインパクトや条件整備の困難を、予測者が見

落しがちであるということの表われであろうし、先の長い話は、自分の目の黒いうちは無理ということ、悲観的な方に押しやってしまう性向の表われかなと思われ、興味深い曲線である。

ところで、このようは実現の予測された技術を、着実に実現させていくのが研究開発である。研究開発プロジェクトの実施にあたっては、いま述べたスケジュールに始まり、費用、利益、資源、そして開発目標そのものに到るまで、全てに予測通り行くとは限らないことを覚悟しなければならない。この可能性をインパクトとして見るとき、リスクと呼ぶことが多い。このリスクは、普通関係者がその存在を納得していればよい性格のものであるが、大規模研究開発、特にエネルギー研究開発のプロジェクトの場合には、次のような観点から、ある程度体系的にこれを解析していくが必要になってきていると判断される。

- i. プロジェクトの内容が複雑で、個人でリスクを判断するのが困難である。
- ii. プロジェクトに多くの異なる専門分野が関与しているので、個人ではカバーし切れない。
- iii. プロジェクトが巨大で、その失敗のイ

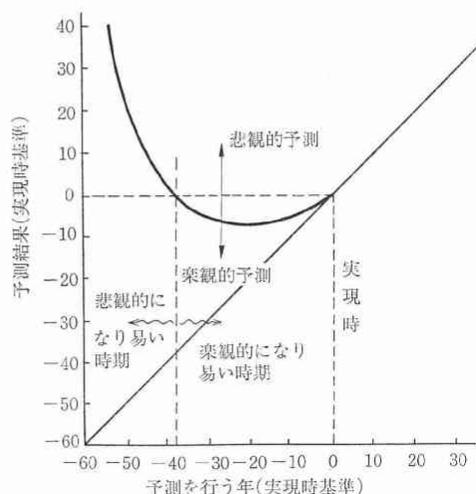


図1 Buschmanの示した技術予測の悲観相と楽観相

ンパクトが大きい、特にエネルギー供給力の形成に寄与すべき成果が期待されている場合、その失敗は供給力不足を生ぜしめるので、あらかじめそのリスクを知っておく必要がある。

ところで、このプロジェクトのリスクを解析する作業は、もし行なわれているとすれば、原子炉事故のリスク解析と異なり、主観的なデータに基づくところが大きいので、恐らく他人と意見交換を行うのに、苦勞するであろう。以下には、そんな点に興味を覚えた筆者が、この方面の方法をレビューしたものである。何分浅学故に独断に陥っている恐れなしとしないが、関心のある方のお役に立てば幸いである。

2. PERTからGERTへ

2.1 はじめに

研究開発プロジェクトの成功を、計画の目標が予定の期間内に予定の費用で達成されることと定義する。これが達成される可能性について検討する方法論には、計画総体について学識経験者の意見を求める（デルファイ法に代表される）ものと、研究開発プロジェクトのモデルに基づくものがある。モデル化に際しては、プロジェクトの計画や運営の内容を、専門家が予見能力を発揮できる限定された内容にまで分割することが多い。この場合、モデル化を進めるにあたって分割された作業の前後関係に重点をおき、個々の作業の達成についての動力学は第二義的と考えるアプローチと、個々の作業が他の作業と相互作用を持ちつつ達成されていく動力学に重点を置くものがある。前者がPERTなどアク

ティビティネットワークを利用する方法であり、後者が「成長の限界」で有名になったフォレストーによるシステム・ダイナミックスなどを利用するものである。後者のアプローチは、小玉陽一氏等によって試みられているが、筆者は、研究開発の作業分割構造を構成する作業要素に対応するレベル変数にうまいものが見出せないような気がして、勉強していないので、今回は前者のアプローチに属するものを述べる。

前者のアプローチにも、PERTに代表されるアクティビティネットワーク、ネットワークよりはデシジョンツリーから出発し、ネットワーク特性を加味したSCERT¹⁾、PERTの制約を打破る努力の結果として得られたGERTなど様々のものがある。著者は原子力における安全解析の経験から、このリスク解析が大規模問題を対象とし、各分野において専門家として優れた人々とのコミュニケーションを確保しつつ実施して始めて成果があがる性格を有するので、できるだけ一般性のある方法論の方が成果を得やすいと考えているので、GERTの方向を採るものであるが、プロジェクト運営の実務家にとっては、リスクの観点のみに集中できるSCERTなどの方が実際的なものかもしれない。

2.2 PERTはR&Dリスク分析に有効か

PERTというのは Program Evaluation and Review Technique のことで、巨大なプロジェクトの管理運営技法として米海軍により50年代に開発され、以来数多くの分野で

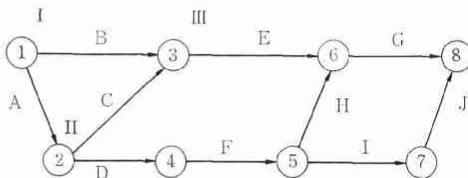
(注) 1) SCERT: Synergistic Contingency Evaluation and Response Technique

利用されているもので、日本でも建設業界を始め多くの実務分野で日常的に使用されると聞く。従って、今更これを紹介する必要はないのであろうが、GERTへの導入部として極く簡単に要点を述べてみる。

1) アローダイアグラム

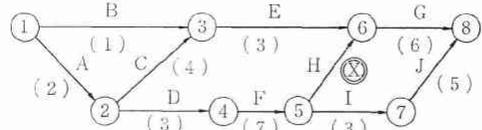
プロジェクトにはいくつかの作業の開始(終了)というイベントがある。これに適当に番号をつけ図上に配置し、その前後関係を矢印で結んだものをアローダイアグラムという。例えば、図2がその一例である。ところで、イベントとイベントの間に前後関係があるのは、その間に作業や情報の受け渡しがあるからである。そこで、それぞれの矢印が作業を表わすときは、これをアクティビティと呼ぶ。この図では、それらがA, B, C……と名付けられている。この図で示されている最も大切な関係は、アクティビティ、イベント間のつぎのような順序関係である。

- (i) 図中Iで示されている表現は、「イベント①の実現後アクティビティAとBが同時に開始する」ことを示す。
- (ii) 図中IIで示されている表現は、「CとDはAの完了というイベント②が実現後始めて開始され得る」ことを示す。
- (iii) 図中IIIの部分には、「EはBとCとが完了するというイベント③が実現して始



A, B, C, D, E, F, G, H, I, J = アクティビティ
 ○ : イベント = アクティビティの交差点
 ① : 始点 , ⑧ : 終点

図2 アローダイアグラムの例



○()内の数字は各アクティビティの所要時間(日)をがす。

c. ①から⑧までの所要時間

	X=1 のとき	X=3 のとき
(1) BEG	10	10
(2) ACEG	15	15
(3) ADFHG	19	21
(4) ADFIJ	20	20

図3 所要時間とクリティカルパス

めて開始される」ことを示す。

言い換えれば、このアローダイアグラムは⑧をプロジェクト完了というイベントとすると、⑧が実現するには、上の(i), (ii), (iii)のようなルールを満足しつつ、各アクティビティが達成されることが必要十分であることを述べているものと言える。

2) 所要時間と所要費用の関係

ところで、各アクティビティの達成には時間がかかる。そこで、今それを上のアローダイアグラムに書入れてみる。そうすると図3が得られるが、これから直ちに、

- (i) イベント②が実現するには、アクティビティの所要時間2(日)がかかる。
- (ii) イベント③が実現するには、1日を要するアクティビティBが完了し、イベント②の実現後なされるCが完了する必要があるが、後の方が①より6日間を要するので、“ACが最長作業経路で6日を要する”と言える。

(iii) ⑧を実現するのに要する時間は、図中に示すようにHの所要時間Xが1日のとき、ADFIJが最長作業経路で20日を要し、Xが3日のときは、ADFHGが最長作業経路で21日を要する。

ことなどがわかる。ここで上の⑧を実現するのに要する時間を決めている作業経路を、ク

リティカルパスと呼ぶことはよく知られている。

つぎに、このプロジェクトの達成時間を減少させることを考える時には、各作業について、費用勾配と呼ばれる次の量を用意してやればよい。

a_1 = 所要時間の単位減少に伴う

費用の増加分

そうすれば、クリティカルパスを構成する作業のうちで、費用勾配が小さいものの作業時間を減少させていくことにより、適切な作業日数短縮がはかれることになる。このような技法を CPM-PERT (PERT を利用した Critical Path Method) という。

3) 所要時間は不確かな量である

ところで、これまで各作業の所要時間に唯一つの値を与えてきたが、実際にはこれは不確かな量であり、従って、総所要時間も確定的でないことが多い。このことを反映させるために、PERT では各アクティビティの所要時間を入力する際に、もっともらしい値に加えて、悲観的な値と楽観的な値を与えるようにしている。そうすると、総所要時間が図

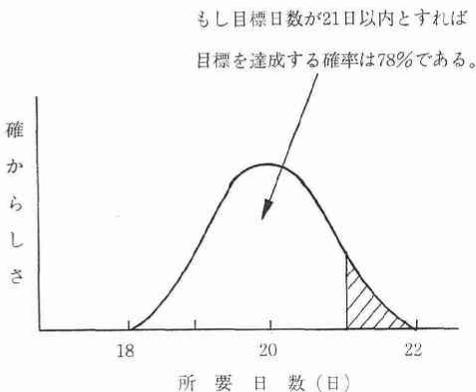


図 4 各作業所要日数の不確定性を考慮したときの総所要日数の出力 (PERT)

4のように分布をもって出力されるのである。そうすると、計画運営においてこの図をもとに所要日数を21日とする場合、これを達成できない可能性が20%程度存することを覚悟することになる。すなわち、PERTによって、個々の作業についての不確さのリスクへの寄与を計算できるのである。

4) 研究開発から見たPERT

ある研究開発プロジェクトの解析にPERTを利用することにしよう。このために必要な作業は、

- (i) 開発目標に対してその達成に必要な計画を作製する。
- (ii) 計画をいくつかの作業分野に分割し、いわゆる作業分割構造 (Work Breakdown Structure: WBS) を作製する。ついで、WBSの各分野を作業群に分割する。
- (iii) 各作業群をアクティビティとし、それらの終了や開始点をイベントとして選択する。
- (iv) PERTのネットワークを作製する。
- (v) このネットワークを解析し、プロジェクトに対して必要な決定を行う。

となるが、このネットワークを作製できるためには、

- (1) プロジェクトを客観的に見ても明らかなまとまりを有する作業群に分割できること。
- (2) 分割して得られた作業要素は、開始されると他の作業と独立に実施され終了すること。
- (3) 各作業は、必ず実施されて成功裏に完了するものであり、同一作業が二度行われることはない。

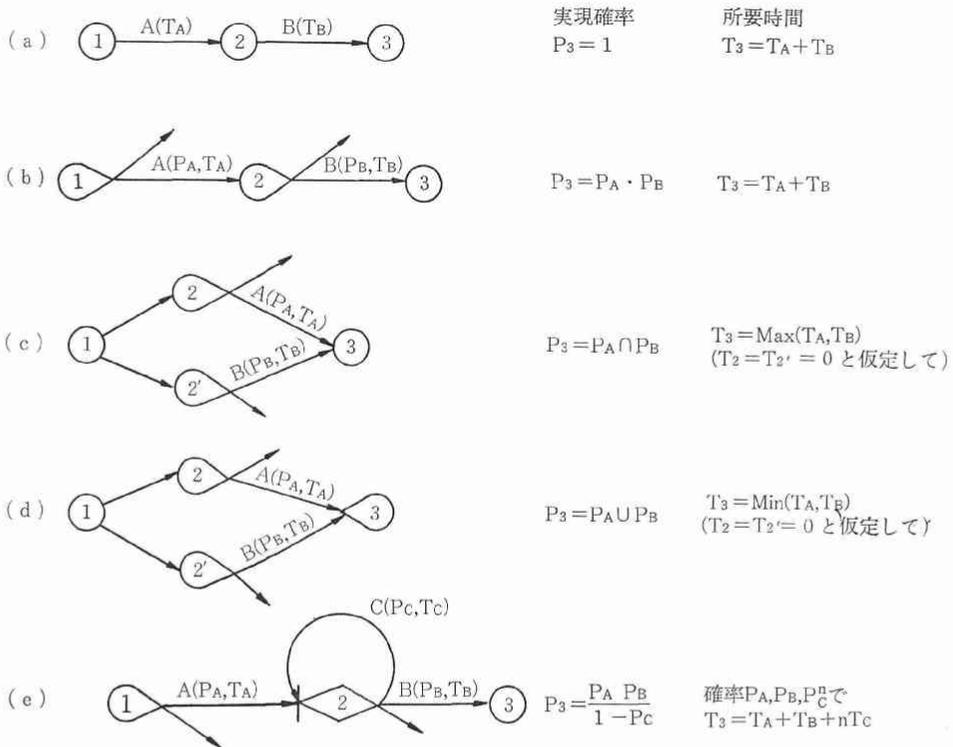


図 5 GERTにおける記号と演算

という前提を必要とする。このような前提は、建設・製造といった分野ではあまり問題なく成立するが、研究開発の分野では特に、(iii)の前提は成立しないことが多い、つまり、研究開発では個々の作業は成功するとは限らず、従って、装置を製作後試験をしてみても、不具合であれば改良するべくもう一度やり直すと、1つの作業目的に対して2つの作業を並行に実施しておいて、早く成功した方を採用していくというのが普通である、この点よりすれば、PERTで研究開発計画をモデル化するには、強い限界のあることが理解されよう。

2.3 GERTSとは

PERTのこのような限界には多くの人々が挑戦した。その狙いは、PERTのもつ現実を構造的に表現できるアクティビティネット

トワークという特質を保存しつつ、そのアクティビティ交差点における決定論の枠組を解体してデシジョンツリーのもつ“1つの状態から2つ以上の状態への推移”する機能を組み込み、更にフィードバック（通ってきたところに戻ることを）を考慮できるようにすることである。そして、それらの中では Pritska の提出したGERTモデルが、汎用のプログラムを売出したこともあって、よく知られるようになってきている。

GERTとは Graphical Evaluation and Review Technique のことで、そのモデルの特徴は、例えば次の3点であろう。

- (i) あるイベントが実現した段階でいくつかのアクティビティが確率的に開始されてよい。具体的には図5(b)のような記号を用いることにより、イベント①

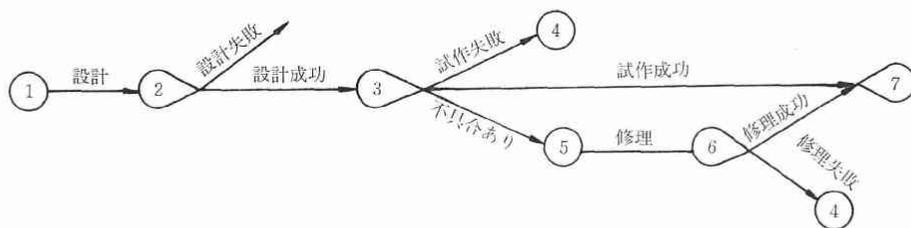


図 6 試作の簡単なGERTモデル

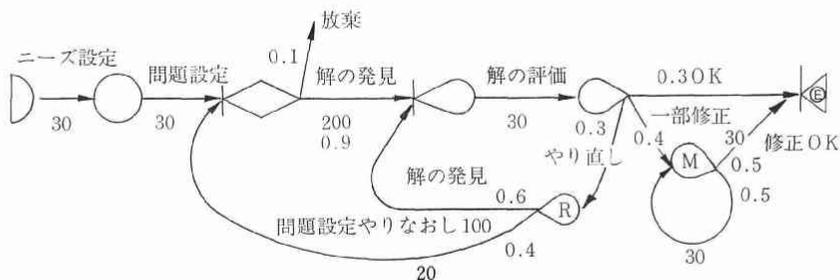


図 7 研究開発のGERTモデルの例

よりAが確率 P_A で、イベント②よりBが確率 P_B で開始されることを示すものとする。

- (ii) イベントの実現に全ての入力アクティビティの完了を必ずしも必要としない。具体的には、同図(c)にあるPERTの論理が、イベント③の実現確率がアクティビティAとBが共に完了する確率 $P_A \cap P_B$ (論理積)となるのに対して、(d)にあるような記号の場合には、どちらか一方のアクティビティの完了によりイベント③が実現することを許すもので、この場合イベント③の実現確率は $P_A \cup P_B$ (論理和)となる。
- (iii) フィードバックを許す。つまり、同図(e)のような結合も許すことにするわけである。この場合、ループをめぐる回数 n によってイベント③の実現に要する時間は変化する。

これらの記号を用いれば、日常の多くの局面の表現が可能になる。例えば、図6は設計

製作のプロセスの極く簡単なGERTモデルであるが、PERTであれば、設計—試作となってしまうところを、起り得る事象をカバーして、我々が用心すべきところを明らかにモデル化できていることが了解されよう。

ところで、ここに述べた演算は、すでに解析的でないものもあり、更に、フィードバックも実際には二三回がせいぜいで、無限回を前提にした解析解は不具合であること、等を考えると、このネットワークを解析するのではなく、このネットワークをもとにシミュレーションを実施することにより、各イベントの実現確率や実現に要する時間を求めていく方が実際的であることがわかる。そして、そのように割切ってみると、あるイベントが実現したら、ネットワークの一部を変更してしまうような一見粗雑しいことも容易に実現できるわけで、より実際のシミュレーション道具として発展していくことになる。これがGERTS (GERT-Simulation) であるが、これ以上の宣伝は不要であろう。

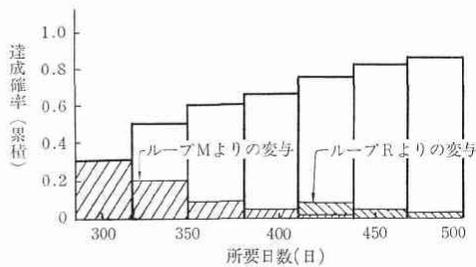


図 8 イベントEの達成所要日数の累積ヒストグラム

3. GERTによる研究開発のシミュレーション

それでは本題の研究開発のリスクについて考えてみよう。まず問題を発見するために、図7のような研究開発過程の簡単なモデルを考えてみよう。

この図は、研究開発にあたって、ニーズの設定、問題の設定があり、この段階で、解の発見を放棄することが10%あるとし、発見された解は評価される。評価結果が満足できるものである場合は、3回に1回位であり、4割は一部手直しでうまく行くかもしれないと判定され、残りの30%の場合はやり直しということで、再び解を発見したり（やり直しの60%）、問題を再吟味する（やり直しの40%）ことになる。一部手直しの方は30日でうまくいくのは半分であり、残りは再び手直しとする。

このモデルに従って目標達成所要日数のヒストグラムを描いてみると、図8が得られる。

この場合、一部修正の部分が重要な寄与をなしており、別のアイデアにより目標が実現されることになるのは410日以降である。従って、解の発見の部分が大部分の費用を要するとすれば、事実上R/Dを放棄するのが10%、300~400日で完了するのが63%、かなり大巾なコストオーバーランと400日以上の日数を要するのが20%以上ということになる。

以上の簡単なモデルによる解析作業を通じて、読者は、たとえば以下のような多くの問題に気づかれたであろう。

- (i) 現実はずっと複雑怪奇であるけれども、それに対応したモデル化は可能なのか、特に現実はずっと柔軟であること、種々の戦略があり得るので、そのトレードスタディが可能でありたいが、そんなことを考慮できるのか。
- (ii) 一応モデルができるとして、それへの入力はどうして入手するのか。また、論理和とか論理積とかの演算で処理することになっているが、そうした演算に耐える入力なのだろうか。

しかし、もう予定の紙数を使い果したので、一応、「研究開発のモデル化はなんとか可能であり、そのモデルをもとに開発のリスク要素について解析が可能であるらしい」というメッセージをお伝えできたと願いつつ筆をおき、残された課題は次号にて述べさせていただくことにする。(続く) (こんどう しゅんすけ 研究嘱託, 東京大学工学部助教授)

「電気事業が直面する技術開発課題 に関する調査研究」の概要について

— UHV 送電導入の課題 —

楠 山 藤 一

1. ま え が き

昭和53年度、当研究所で実施した「80年代の電気事業が直面する課題とその具体的解決の方向に関する調査研究」では、電気事業という設備産業において将来への対応策を考える際、大きな問題点となる項目を整理し、それらの相互関係を明らかにすることにより、重要課題について具体的解決の方向を示そうとした。

重要課題としては供給力の確保・需要対策・国際協力の緊密化・立地環境問題・電力輸送技術の推進等(図1参照)を挙げているが、昭和54年度はそのうち電力輸送技術の推進に着目し、長距離大電力送電技術の導入について技術面・環境面・立地面および政策面での可能性の分析を行ない、あわせてその導入の効果と影響について検討を加えた。この研究を推進するため関根東京大学工学部教授を委員長に所外の有識者を集め、昭和54年8月(財)エネルギー総合工学研究所に「委員会」を設けた。

長距離大電力送電技術として次期超々高圧(UHV¹⁾)送電を対象とし研究を進めたが、(財)電力中央研究所では以前より「UHV送

電特別委員会」を内部に発足させ、技術面および実証面で研究を継続しており、赤城実験線の施工などハード面・理論面からのアプローチを進めていることから、今回の調査研究では、それらとは若干違った視点、つまりソフト面、特に政策行政面からみたUHV送電技術導入のあり方を模索する点に焦点を絞って進めた。

2. 調査の概要

全体の調査検討フローを図2に示す。

検討フローに従って、以下にそれぞれの要点を整理する。

1) 電気事業の現状と今後の情勢

電気事業をとりまく環境は一段と厳しさを増し、石油を中心とする燃料価格の高騰とその量的確保難、発電所および送電線の立地難、電力輸送技術問題、環境保全問題、電力コスト上昇等困難な問題が山積している。

このような厳しい情勢の中にあって電気事

(注) 1) 現在、日本で使用されている最高電圧は500kV級であり、ここで述べる次期超々高圧(UHV)送電とは1,000kV級のことである。

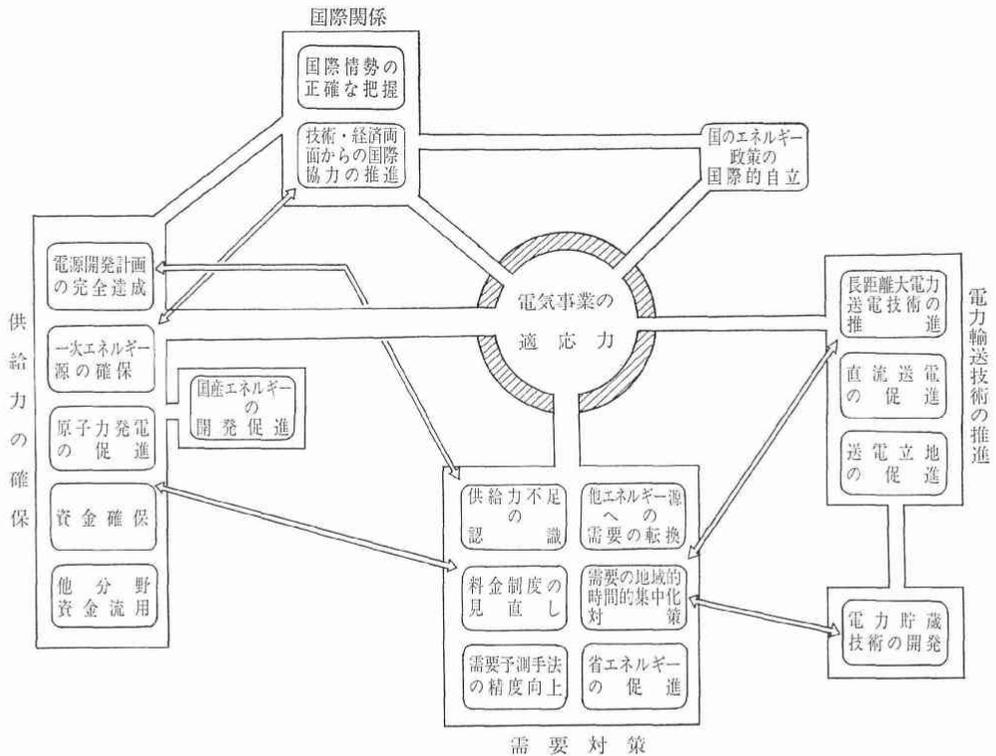


図1 「電気事業」適応力の要素関連図

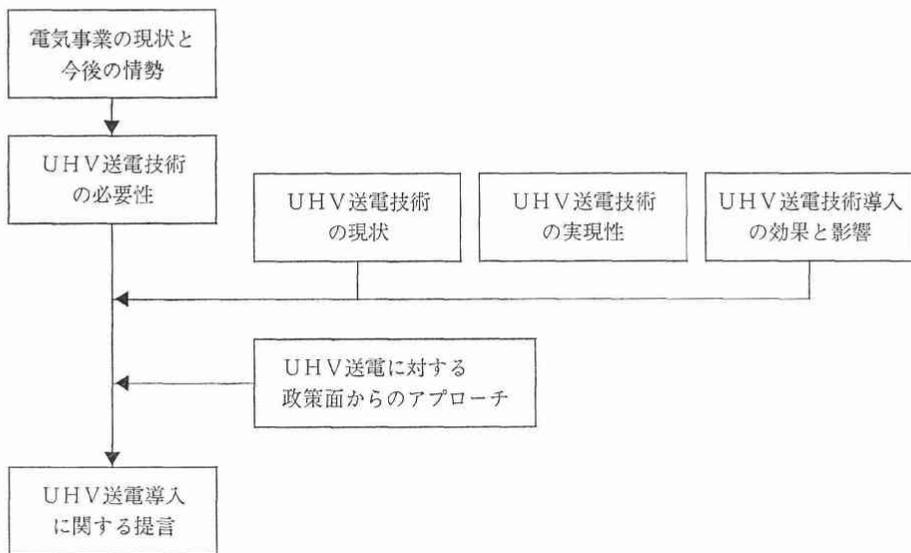


図2 全体の検討フロー図

業の課題の第1は、今後、長期にわたる電力供給の安定確保をどのようにするかである。電源適地の減少、合意形成の困難により、ま

ずまず電源の遠隔化・大容量化の方向に進み、長距離大電力送電技術の導入が必要になってくる。

第2の課題は、困難なエネルギー事情を克服し、エネルギー供給の安定をはかっていくため、石油依存度の低減と原子力、石炭の増大によるエネルギー源の多様化（代替エネルギーの開発、実用化）に積極的に取り組んでいかなければならず、言いかえれば、日本としてのエネルギー政策（戦略）の自立を図っていく必要がある。その方策としては、石油代替エネルギーの開発・実用化、電気事業の適応力の増強および省エネルギー、省資源をはじめとした需要構造の変化への対応など多くの課題を解決していかなければならない。

第3の課題は、いかにして料金の適正化をはかっていくかということである。石油危機以降の燃料費の高騰、電源遠隔化による長距離送電線の建設・環境対策投資の増大等により、発電単価の高騰と投資規模の飛躍的な増大による企業体質の悪化にさらされている。

これらの重要課題のうち電力輸送技術の開発・促進は、ただ単に電源立地点と主要な需要地域との遠隔化が顕著になることに対する対応策のみならず、それぞれの課題についての重要な方策とならう。

2) UHV送電技術の必要性

わが国の電力需要は安定成長期に入ったといっても、依然として増加しており、今後10年間で現在の2倍近くになると予測されている。これに対処するため表1に示すような電源の増強が必要である。

しかし、国土が狭く、しかも人口密度が高いわが国では、広い用地を必要とする火力・原子力地点を確保することは年々難しくなっている。そのため立地地点が得られたとしても、需要地から遠く離れており、1990年

表1 長期電力需給見通し(8月最大電力)

単位：万kW

昭和年度	50年度実績	60年度	65年度	70年度
項目				
最大需要電力	7,410	13,900	17,750	21,590
年度末電源設備	9,970	17,900	23,100	27,700

出典：電気事業審議会需給部会中間報告
1979年12月

頃にUHV送電技術を必要とする周辺情勢となってきた。

送電電圧の一層の高圧化が必要な理由はいろいろあるが、主要なものとしては送電損失の軽減、安定度の上昇、下位系統を適宜分割することによる短絡容量の抑制ならびに限られた送電設備用地幅で可能な限り大きな電力を輸送する技術の導入などである。

1例として、図3に一定の送電容量を輸送する場合の電圧別の所要ルート巾を示す。

3) UHV送電技術の現状

海外で1,000kV以上のUHV交流送電を具体的に計画している国はソ連、アメリカ、イタリアであり、はやいものは1985年頃運開予定である。海外のUHVプロジェクトの計画を表2に示す。

わが国の場合は、昭和48年より中央電力協議会を中心に開発研究を進め、昭和53年12月から(財)電力中央研究所UHV送電特別委員会に引継がれ、電力中央研究所赤城実験所に昭和54年9月に着工したUHV試験線の仕様を決定したのに引続き、当面の活動としてUHV目標電圧の選定およびそれに基づき、線路・機器が試作され逐次実証試験が進められる予定である。

(送電容量 1,000 万 kW)

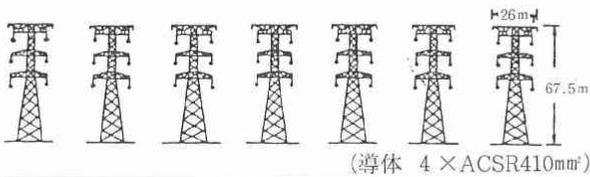
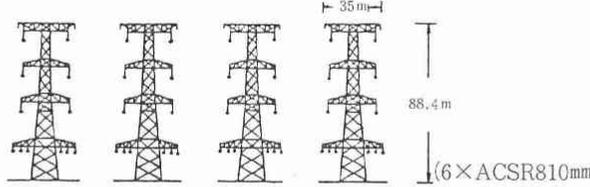
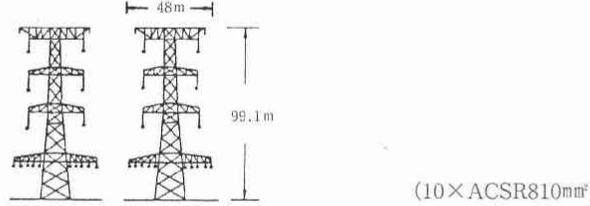
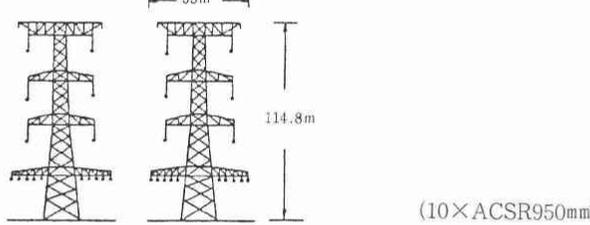
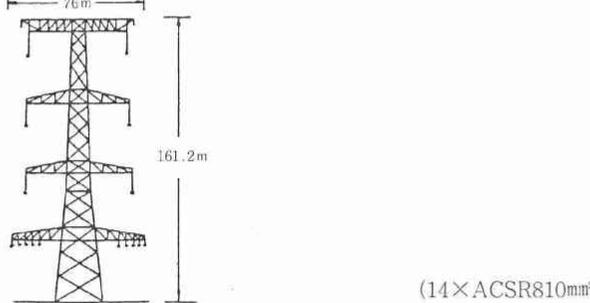
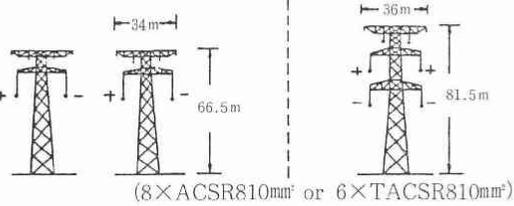
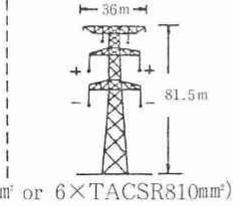
電圧階級	最高電圧	送電線の大きさ	所要ルート巾 (ルート数×巾) [m]	
50万V	55万V	 <p>(導体 4×ACSR410mm²)</p>	182 (7×26) (100%)	
70万V級	80万V	 <p>(6×ACSR810mm²)</p>	140 (4×35) (77%)	
100万V級	110万V	 <p>(10×ACSR810mm²)</p>	96 (2×48) (53%)	
	120万V	 <p>(10×ACSR950mm²)</p>	110 (2×55) (60%)	
130万V級	150万V	 <p>(14×ACSR810mm²)</p>	76 (1×76) (42%)	
±50万V級	±50万V	 <p>(8×ACSR810mm² or 6×TACSR810mm²)</p>	1回線 2ルート	68 (2×34) (37%)
		 <p>(8×ACSR810mm² or 6×TACSR810mm²)</p>	2回線 1ルート	36 (1×36) (20%)

図 3 電圧別の送電設備所要ルート幅の例

表 2 海外の UHV プロジェクト

国名	機 関 名 称	交流 直流	UHV 送 電 計 画			
			目標電圧 (kV)	場 所	距 離 (km)	目 的・時 期
ア メ リ カ	アメリカ電力会社 (AEP)	交流	1,500	イリノイ州 オハイオ州 インディアナ州	1 区間 300~400	現在の765kV系統と同じ地域に 1500kV 級送電系統を1990年代 に導入予定 ASEA社と共同研究
	電力研究所 (EPRI) とGE社の 共同研究	交流	1,000 } 1,500	EPRI を経由する全米主要電力会社の拠出金により GE 社 に研究委託したもの。GE社の既存500kV用研究設備に加え てEEI (EPRIの前身)より1967~73年に612.9万\$, EPRIより1974~76年に454万\$を拠出。		
	エネルギー省 ボンネビル電力庁 (BPA) Bonneville Power Administration	交流	1,200	ワシントン州 オレゴン州	1 区間 300~400 (平均280)	ワイオミング、モンタナに建設 中の石炭火力、大容量のピーク 用水力など810GWをカスケード 山脈をこえて西へ送電、現在 の230kV線路2回線をたてかえ UHV送電を行なうなど用地節 約が目的。 1980年頃より線路の一部を建設 し、昇圧は1990年当初の見込
		直流	± 400 } ± 600	太平洋岸(南北) 連系線の第2線	約 1,500	北部の水力電源地帯と南部の火 力原子力発電所との季節的融 通。現在の400kV系統と同一地 域に1,050kV系統を導入する。 1983~84年に15kmの線路を建 設。1990~95年昇圧予定。UHV 実負荷試験
イ タ リ ア	電力公社 (ENEL)	交流	1,050	南部の原子力発 電所から北部工 業地帯へ送電	数百 km	
ソ ビ エ ト	動力 電化省	交流	1,200 (1,150)	シベリア中央 カザクスタン	2,000 (3区間)	シベリア地区の大水力・石炭に よる電力の超長距離輸送、 5,000MW 1981年度からイタア ト~ノボズネック間に270kmの 線路が建設される。 1985年頃昇圧予定
		直流	± 750	エキバストーズ } 欧ソセント	2,400	アジア地域の石炭による電力の 超長距離輸送 6000MW 建設時期はまだ明示されてい ない。1984年一部、1987年全部運 開予定

4) UHV送電技術の実現性

実現の可能性を検討するアプローチとして
技術面・環境対策面・立地面・政策面から検
討を進めた。

(1) 技術面からのアプローチ

1000kV 級送電は技術面からは可能との
見通しを得ているが、未踏の分野であり予
測通りにならない問題もありうるので、実
用化のためにはさらに、下記の技術開発を
2~3年の間で精力的に実施し、その実現

化の目的をつけなくてはならない。

- ①系統安定送電容量増大方式の検討。
- ②適正な絶縁設計技術の検討。
- ③高信頼度送電線の開発・実用化。
- ④機器の開発・実用化。
- ⑥環境保全対策の検討。

(2) 環境対策面からのアプローチ

既存の設備においても、近年、送電電圧の高圧化、送電設備の大型化に伴いラジオノイズ、静電誘導、テレビゴースト等の送電線路からの障害問題、景観問題、電界影響等と各種問題が取り上げられているが、UHV送電線においては、鉄塔高100m以上、導体数が1相当り10本とスケールが大きくなることにより、環境面ではこれまでも増して十分な配慮が必要である。また、これらを総合的、客観的に判断できる環境影響評価手法の確立が望まれる。

(3) 立地面からのアプローチ

UHV送電線の建設は道路・鉄道の建設とは異って地域住民に受け入れ易い構造物とはいえない面があり、ルート確保は大変むづかしいと考えられる。

従って、ルートの大部分は、現在の500kV送電線より、更に山奥に建設せざるを得ない。しかし、このような地域は一般に国立公園等自然環境としての価値の高い所が多いため、環境への配慮が一層必要となる。

送電線立地に際しての具体的な検討項目は下記の通りである。

- ①自然環境との調和…自然景観の保全・貴重な動植物の保護
- ②社会環境との調和…文化的歴史的風土の保全、優良農地・林業との調和、各種社会的規制との整合、他計画・

施設との整合

- ③技術面…設備信頼度の確保・工事面での配慮

これらの諸項目について検討を行ない、最終的に地域住民に受け入れられるルートを選定するためには、第三者にも理解できる客観性・合理性を有する環境影響評価手法の開発及び地域住民への利得の還元方法の検討も考慮の要がある。

(4) 政策面からのアプローチ

UHV送電の可能性を阻害する各要因に対し、導入しやすい環境をつくるための政策的課題を資金的助成・法的規制・行政指導等の政策手段別に横断的に捉えてみた。

資金的補助としては、「重要技術研究開発費補助金制度」が挙げられる。本制度は、民間の行う省エネルギーなど重要な技術の研究開発事業に対し、国がその経費の一部を補助金として交付助成するものである。UHV送電関連技術が、省エネルギーの観点から、本制度助成対象になり得るか、検討する必要がある。一方、立地面からの導入を円滑化するための措置として、交付金制度等の活用（例えば電源三法に類似したような法律）も考えられるが、これは送電線が非常に長距離に亘って施設されるなど、電源の場合と異なる問題点もあるので、本制度の実現の可能性を十分検討する必要がある。

その他、パブリックアクセプタンスを得る過程におけるPR活動の推進の他、ルート選定、景観の評価等基準化の難しい要因について、諸外国の例に見られる定性的なガイダンスの作成も必要と考えられる。

5) UHV送電技術導入の効果と影響

UHVを採用すれば、ルート数が500kVでの2/7で済み、需給運用、系統運用上、信頼度・安定度の高い設備となり、かつ送電損失の軽減、総線路互長の短縮および開閉所数の減少により運用・保守人員の合理化も期待される。また、用地取得面積も少なくなり、直列機器の数も減少することから、長距離送電線全体としては、用地費用および設備維持費用等も軽減できる。

UHVの導入にともない、関連する機器の製作者は、かなりの投資を必要とするが、国内需要だけでなく、国外の需要の開拓に努力することによって、研究開発で蓄積された技術や生産試験設備を有効に活用していけば、大局的にみて、資源をもたないわが国が国際的に寄与することとなり、その意義は大きい。

6) UHV送電に対する政策

(1) 電力業界としての方策

UHV送電に必要な技術開発を効果的に推進するためには、各電力会社が協調をはかり、学識経験者を結集し、各種研究機関、関連メーカーを効率的に活用できる、UHV送電技術開発体制を早急に整備するとともに、海外との人の交流、情報交換活動、研究設備の相互利用および共同研究などに関する協力、など国際技術協力を積極的に推進することが必要である。

また、一方では、送電線のUHV化に伴う高所作業における安全性と作業効率向上のための機械化・省力化による迅速かつ適確な保守技術の実用化もはからなければならない。

環境への対応策としては、送電線経過地

域の実態に適応した環境対策に積極的に取り組むことと並行し、環境影響調査および評価手法の確立も急務である。具体的な計画作成時には、地域開発計画との調整、建設、運転段階における安全対策をも含めた、地域との協調を考える、広い視野をもつ推進策を提起すべきである。

社会への対応策としては、PR・サービス活動の展開として、まず、電力業界を理解してもらう努力を蓄積し、UHV送電設備の必要性をわかりやすく論理的に説明する手法を見出す必要がある。また、地域協調活動の推進に重点を置き、積極的な営業広報活動を行なうとともに、パブリック・アクセプタンス分析手法を開発し、論理的な手法により社会の要請を先取りし、事前に対応することにより、影響を最小限にするプロセスを開拓する必要がある。一方、地域社会への還元方策としては、地域の地域計画、誘致計画と協調しつつ、地元への企業・工場等の誘導を図り、また、地元産業の育成、雇用の拡大に貢献するなど、地域振興により一層理解を深め、きめ細かく住民からの期待に答える努力をする必要がある。

経済的対応策としては、UHVは単に大電力を輸送する設備ではなく、信頼性ある基幹送電網を構成するものであるため、その特性を十分考慮した料金原価算定上の取扱いが必要である。

また、維持経費についても、ルート数の大幅な減少による鉄塔基数、中間開閉所数の少なさは保守補修人員を減らせる上、事故率も下げうるという信頼度向上と、一方では、新しい保守補修技術を開発し、メン

テナンスフリーを原則とした合理化、効率化の推進との合致点を模索し、実施に移すことも重要な施策となろう。

そして電力業界としても積極的に地域計画に参画するべきであろう。そこには電源立地、送電線立地が地域に及ぼす影響は、ひとり電力だけでなく、民生全般、産業育成（地場産業の保護も兼ねる）に、充分役立つ結果を与え得ることを説得する必要がある。

(2) 国レベルの政策手段

UHVを含めたわが国の基幹送電網の整備計画確立、および増大する電力需要に対処しうる信頼度の高い系統をつくるという、電力供給責任をもつ電力業界のみならず、広く国民生活・経済社会の向上という観点から、国としても以下の各政策手段（助成、促進策）の可能性について、今後検討していく必要がある。

①基礎技術確立のための助成

電気事業者、送変電機器メーカーにより、研究開発実証試験が進められているが、直流送電をも含めた研究開発資金の補助、または調達への支援についての検討が望まれる。これらの支援、配慮の一つの方法として考えられるものには、①研究開発への補助金交付、②低利の財政資金の融資、など財政面の優遇制度の適用などが有効な手段と考えられ、この他③試験・研究設備の特別減価償却制度などについての検討も望まれる。

②送変電用機器供給体制の整備促進

機器生産施設整備の資金調達の円滑化を図るために、如何なる措置が可能であるかの検討が望まれる。また、国内需要

だけでなく、海外技術経済協力を含めた、輸出促進策を検討することも重要である。

③送電ルートの確保と送電網建設について

基幹送電網の整備については、国としても必要に応じ先行的に事業認定を行ない、土地収用法適用の道を開くなどの措置を講ずることの妥当性、可能性について検討を行う必要がある。

当初の幹線網建設の集中的な資金調達を容易にするため、建設資金について、低利の財政投融资の対象とすることを検討することが望まれる。

また、資金回収の面では、基幹送電網建設費償却準備金制度、特別減価償却制度などの検討が望ましい。

一方、用地譲渡所得税の軽減措置の拡大等を通じ、地元の協力意識の向上を図るなど、地元民の立場に立ったきめ細かい施策を講じていくことも重要であろう。

④環境問題と地元の合意形成

環境影響についての調査・予測・評価のあり方、および手法の確立が必要である。また、環境影響防止対策技術の開発への助成策（技術開発資金の補助）の検討、および必要な事項についての諸基準の設定を検討することが望ましい。

電気事業者が行なう、公共施設等の整備を含めた、地域整備への協力を要した資金の経理上の取扱いについて、検討することが望まれる。たとえば、圧縮記帳による損金算入を認めるなどの措置の検討が望まれる。

表3 UHV送電推進施策一覧表

	電力の対策	メーカー・工事業者の対策	国の施策	その他
基礎技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ○技術開発協力体制整備 ○設計建設技術開発 ○環境、保安技術実用化 ○試験送電線による実証 ○標準電圧、標準仕様の設定 	<ul style="list-style-type: none"> ○同左 ○機器の開発施工技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ○技術開発助成 { 低利の財政資金 融資 技術開発補助金 	<ul style="list-style-type: none"> ○技術開発協力体制整備への協定 ○電気設備技術基準とその運用の見直し
機器の生産と供給	<ul style="list-style-type: none"> ○海外技術協力への寄与 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器試験設備の整備 ○機器生産ラインの整備 ○海外市場の開拓 	<ul style="list-style-type: none"> ○設備資金調達援助(財政投融資) 	<ul style="list-style-type: none"> ○海外技術・経済協力の推進
環境保全とパブリック・アクセプタンス	<ul style="list-style-type: none"> ○環境・安全対策技術の開発 ○安全対策の実施 ○環境対策の実施 ○PR活動の実施 		<ul style="list-style-type: none"> ○技術開発の助成 	<ul style="list-style-type: none"> ○環境影響評価システムと基準検討 ○PR活動の実施
ルート・用地の確保	<ul style="list-style-type: none"> ○基幹送電網計画の設定 ○ルートおよび用地の先行確保 ○地域対策の実施(公共施設協力) 		<ul style="list-style-type: none"> ○用地譲渡所得税の軽減措置 ○地域協力費の圧縮記帳による損金算入制度 ○地元公共団体の財政収入の実質的増加措置 	
送電網建設資金の調達と回収	<ul style="list-style-type: none"> ○建設資金の確保 		<ul style="list-style-type: none"> ○建設資金調達援助(財政投融資) ○基幹送電網の償却準備引当金制度 	

地元の地方公共団体に対しても、UHV送電線の建設により、財政収入が実質的に増加するような、何らかの措置の検討が望まれる。

なお、電源三法に相当する制度についても、その実現可能性に関する検討を行なうことも、考えられるであろう。

⑥技術基準の早期確立

UHV送電は新しい試みであり、電気設備の技術基準をUHV送電に適用する場合、直流送電も含めた技術基準の全般的な見直しを早急に行う必要がある。

これらの政策手段を整理すると、表3のようになる。

あとがき

今回の調査では、UHV送電の導入問題に関する政策面での課題抽出に大部分を費し、課題解決のための施策の具体化まで言及できなかった。なお、調査の詳細は、「電気事業が直面する技術開発課題に関する調査研究」(昭和55年2月。(財)機械振興協会経済研究所、(財)エネルギー総合工学研究所)に述べてある。

今後、課題解決のための具体的施策の検討を、各界で進める上での一資料としていたたければ幸いである。

終りに、本研究のために御尽力いただいた委員会の各委員の方々に厚く感謝申しあげたい。(くすやま ふじかず 主任研究員)

LNG6(京都)に参加して

原田 春洋

1. はじめに

今春(1980年)4月7日から10日の4日間にわたって京都国際会館で第6回LNG国際会議(LNG6)が開催された。LNG国際会議は1968年に米国のガス技術研究所(IGT)の主催により第1回がシカゴで開催され、以後国際ガス連盟(IGU)および国際冷凍協会(IIR)も主催者に加わり、1970年にパリ、1972年にワシントン、1974年アルジェ、1977年デュッセルドルフで開催され、今回は世界最大のLNG輸入国である日本で会議が開催されることとなったものである。

時あたかもイラン革命をきっかけとする第2次石油危機の影響を受け、消費国では石油代替燃料としてのLNGの重要性が強く認識されるとともに、産ガス国からは大幅なガス価格引上げの要求がつけつけられ、従来低価格で長期安定供給可能と考えられていたLNG事業の将来に一まつの不安が生じている時でもあり、技術問題のみでなく、価格、需給問題でもかなり突込んだ議論の出ることが期待されていた。

2. 会議の概要

参加者は43カ国約2,200名、うち同伴者が420名と発表された。

日本からの参加者は約1,100名、米国の約230名、西独、フランス、英国を中心とする西欧諸国から300名を超える参加があり、産ガス国からもインドネシアの約50名の他、アルジェリア、オーストラリア、ブルネイ、イラン、マレーシア、ナイジェリア、カタール、タイ等から70人以上が参加した。

開会式は4月7日皇太子殿下ならびに妃殿下の御臨席の下に行われ、皇太子殿下のお言葉の後、佐々木通産大臣、林田京都府知事、船橋京都市長からの祝辞があり、引続き安西日本LNG会議議長、ハルヨノ プルタミナ 総裁、ピーブルズ シェル・インターナショナル・ガス(SIG)取締役の基調演説が行われた。

安西議長は、LNG価格の大幅上昇がLNG貿易の障壁となってきたことを指摘し、長期の契約に基づくLNG貿易においてはセラー・バイヤーが長期にわたり公正妥当な利益を享受できる価格体系を設定する必要があることを主張した。これに対し、ハルヨノ プルタミナ総裁は、天然ガスが石油価格以下で

取引された時代は過去のものとなり、LNG生産国は天然ガスに対して、ふさわしい価格を求めており、最近では石油等価以上のプレミアムが要求されている。LNG貿易には巨額の投資が必要であり、大きなリスクが存在し、このためLNG価格は決して安くはならないであろうが、他に安価なエネルギーを求める道はないことを主張した。

ビーブルズSIG取締役は、LNGの海上輸送費が高価なものであるため、LNGのFOB価格を石油等価とすることは不合理であって、むしろ消費者に対する代替燃料の引渡しコストを基準にLNG価格が設定されるべきであるとする旨主張し、冒頭から価格問題が論議的となった。

会議はテクニカルセッション（論文発表）とワークショップセッション（討論）の二つのセッションによって行われ、

テクニカルセッションは、

1. LNGと世界のエネルギー供給 7論文
2. LNG技術の発展 16論文
3. LNGの輸送と取扱い 12論文
4. LNG貿易における法制問題と金融問題 10論文

の四つのテーマについて45論文（我国からの提出は12論文）の発表があり、

ワークショップセッションは、

1. LNGに起因する契約上の問題
2. LNGタンカーの安全と保守管理
3. 大型液化プラントの効率的操業
4. 大型貯蔵設備の安全操業
5. 洋上LNG設備対陸上LNG設備

の5つのテーマで討論が行われた。

会期中には日米欧諸国で作成された18本の技

術フィルムが上映され、また、地階、一階、二階、五階の一部で海外を含めガス・電気、機械、建設、造船、鉄鋼、商社等111社によるLNG施設、技術の展示会が開催された。

3. トピックス

以下、若干のペーパーおよび討論の紹介を行うこととしたい。

テクニカルセッション 1-1

「オランダのガス計画におけるLNGの役割」発表者：Ir. G. Kardaun (Gasunie)

西欧随一のガス消費国（1978年には1次エネルギーの52%を天然ガスによって賄った）であるオランダは天然ガスの生産国、輸入国、輸出国の三つの立場を有しており、将来輸入のかなりの部分はLNGになるものと想定されている。LNG輸入を妨げているものはガス価格問題であったが、エネルギー価格の上昇によっていわゆる第3世代のLNGが開発可能となった。

LNG価格は供給コストと市場価格—サービスコストの間で決定されるべきであり、市場価格とは代替燃料の価格と天然ガスの特性（クリーンさと取扱いの容易さ）を反映したものでなければならない。——以上の発表に対して、目下交渉中のオランダのガス輸出価格につき質疑があり、オランダも産ガス国的立場でガス価格の引上げが必要と考えていることが明らかにされた。

テクニカルセッション 1-6

「世界的なガス体エネルギー市場におけるLNGの役割」

発表者：G. H. Lawrence (A. G. A.)

米国のガス供給見込は、次表のとおりである。

単位：TCF¹⁾

	1978年	1990	2000
LNG 輸入	0.1	2.0	3.0
SNG	0.3	0.5	0.5
カナダおよびメキシコガス	0.9	2.1	1.8
本土48州の生産(在来型)	19.1	15-17	12-14
新技術	—	1.8	5.0
高BTU石炭ガス	—	0.6	3.3
合計	20.4	23.6-25.6	29.2-31.2

現行プロジェクトではLNG価格は最終消費市場で重油と競合できる水準に設定されているが、LNG輸入は外貨支払の減少をもたらすものである。

輸入LNG 1ドルの1/3~1/2は運賃、資本財、労賃、金融費用として米国に還流するのに対し原油輸入からの還流は15セント以下である。資源量の面からいえば、世界の天然ガスの究極残存可採量は約9500TCFと想定さ

(注) 1) 兆立方フィート (10¹²ft³) 1TCFは約283億立方メートル

れ、現在のガス生産52TCFの200年分に相当する。原油の究極的資源量は75年に過ぎない。

埋蔵量からみると今後10年間ガス生産を増加させることができ、2020年まで現在をかなり上回る水準で生産を維持することも可能である。

LNGは世界のガス需給のアンバランスを解決するものであり、LNG市場の開拓によって現に焼却されている7.5TCFのガスの有効利用が可能である。

LNG開発の促進がなければ世界のエネルギー需要は一段と悪化することとなる。

—米国のガス供給見込については79年11月にヒューストンで開催された Gastech. でも発表されたものである。LNG輸入代金の還流効果については、産ガス国のガス価格引上げの理由の一つともなり得るもので両刃の剣という印象を受けた。

テクニカルセッション 1-7

「現在および将来のエネルギー市場におけるLNGとLPGの役割の相互関連」

	L N G		L P G	
	プラントコスト (100万ポンド)	ガス処理量 1サーム当りコスト (ペンス)	プラントコスト (100万ポンド)	ガス処理量 1サーム当りコスト (ペンス)
輸出ターミナル				
液化プラント	200		180	
貯蔵設備	50		30	
積出設備	30		30	
合計	280	5.0	240	4.2
海上輸送費	240	4.9	150	3.0
輸入ターミナル				
受入設備	30		30	
貯蔵設備	50		30	
再ガス化プラント	20			
合計	100	1.8	60	1.1
総計	620	11.7	450	8.3

(注) ガスコストは含まない。

発表者：G. H. Freeman (British Gas Corp.)

本報告ではLNGとLPGのコスト比較があったので、表のみを参考までに掲げる。

(比較は300万サーム/日(LNG年産200万トン程度)のプラントで輸送距離を4,500海里として行ったものである。)

テクニカルセッション 1-8

「世界のLNG貿易：現状と見通し」

発表者：M. W. H. Peebles (Shell International Gas Ltd.)

将来のLNG貿易の見通しを地域別に、① low case ② base case ③ high case に分けて行っている。

low case は現行プロジェクトおよび確定プロジェクト、base case は low case に確実性の高いプロジェクトを加えたもの、high case は交渉又は計画の初期の段階にあるものを含むものである。

1990年の3ケースによる見通しは次の通りである。

単位：億 m^3

市場	low	base	high
米 国	270	450	600
西 欧	250	450	700
日 本	380	550	700
合 計	900	1,450	2,000

この場合LNG船(125,000 m^3 級)の需要は次のように見込まれている。

市場	low	base	high
米 国	28	44	57
西 欧	7	20	37
日 本	24	38	48
合 計	59	102	142

— 我国の輸入見通しとして現行プロジェクト(アラスカの期間延長を含む)230億 m^3 およびマレーシアおよびインドネシアの増量分150億 m^3 で low case を380億 m^3 とし、これに濠州他170億 m^3 を加えた550億 m^3 を base case、これに150億 m^3 を加えた700億 m^3 が high case となっている。

想定されているプロジェクトは不明であるが、昨年8月に発表された総合エネルギー調査会の長期エネルギー需給暫定見通しによる4,500万トン(630億 m^3)の輸入見込みは base case と high case の中間にあり、我国の輸入目標達成のためにはかなりの積極的な努力が必要といえよう。

テクニカルセッション 2-1

「天然ガス液化工程における水銀に対する配慮」

発表者：W. W. Bodle (I. G. T 理事)

アルジェリアの Skikda LNG プラントの熱交換器4基で発見されたアルミチューブの腐食の問題は既に各所で発表されているが現在までに次の点が判明している。

- ①腐食は零度C以上の温度で水銀と水が存在したことに起因する。
- ②水銀はフィードガスか偶然の出来事としてプラントにもたらされた。
- ③80°Cのドライガスによるパージの結果少量の水銀が除去された。
- ④熱交換器のチューブに使用されたアルミは、AGS(フランス規格)タイプのものであった。
- ⑤井戸元ガスおよびプラント入口でのガス中の水銀量はそれぞれ50~80 $\mu g/Nm^3$ および0.001~0.65 $\mu g/Nm^3$ であった。
- ⑥腐食は3ラインのうち第1ラインのみに発

生した。第2ラインの熱交換器を2年後にバージョンしたところ、グラムの水銀が検出された。これはプラント入口での水銀量が $0.001\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ であったことを示す。

水銀によるアルミおよびアルミ合金の腐食については半世紀以上前から知られていたところであるが、水銀が水又は水蒸気とともにアルミに作用する場合、急激な腐食が起こることがその後の研究によって明らかになっている。

天然ガス中に水銀が発見されることは知られていた。クロニンゲンでは、脱水およびNGL除去のための低温セパレーターで液状水銀が発見された。井戸元で330気圧100°Cの天然ガスに $180\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ の水銀が存することが判明した。スキクダの事故の後、世界各地で天然ガス中の水銀量が測定された。北スマトラのLNGプラント用のガスでは、 $200\sim 330\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ の水銀が存在する。天然ガス中に水銀が存在することは今では珍しい現象とはいえなくなっている。

水銀除去の方法としては冷却分離、活性炭又はモレキュラシーブによる吸収、あるいはその他化学反応によることが可能である。また、アルミ製の装置が必要な場合、アルミ合金を使用することにより腐食の進行を遅らせることが可能である。

スキクダのLNGプラントの事故は著名なものであるが、天然ガス中に水銀が存在することは一般的現象であり、適切な処置を講ずることによって腐食防止、あるいは進行を抑制できるものであることが判明し、興味ある報告であった。

ワークショップセッション — 1

「LNGに起因する契約上の問題」

議長：Y. Delavesne (フランス)

パネルメンバー：

M. Belguedj (アルジェリア)

P. Siregar (インドネシア)

C. P. Boquin (フランス)

G. D. Carameros (米国)

T. Konishi (日本：大阪ガス)

S. A. Rissik (オランダ)

D. Lathom (米 D. O. E)

Ph. C. Cruchon (フランス)

N. Kodaira (日本：通産省)

インドネシア代表から、LNG価格は原油および一般エネルギー価格、さらに通貨価値を考慮して公正な価格を設定すべきである旨の発言があり、これに対し米国のカラムロス氏(エルパソ社)はアルジェリアとの契約の例をあげ、LNG価格は代替エネルギー価格を考慮して公正妥当な価格となっているのにかかわらず、一方的な価格引上が行われることは困る。米国ではLNG価格について政府の承認を必要とするが、その決定に半年もかかる状況では困るという発言があり、産ガス国、米政府を槍玉にあげた。

日本の小西氏は、LNG価格の上昇によって、プラントのファイナンスコストは従来の1/2以下に低落した。従来の契約量全量についてテイクオアペイ条項で引取り保障を行う方式は、最早必要でなく、テイクオアペイはファイナンスコストに限定すべき旨発言があり、消費国側から強い賛意があらわされた。

米政府担当者からはLNG価格規制は国民生活保護のために必要である旨発言し、政府と民間との対立を浮彫りにした。

—ここでも価格問題および価格引上げに伴うテイクオアペイ条項がとり上げられ、産ガ

ス国が集中攻撃を浴びた恰好であるが、その実現性はとも角、消費国側の立場が明確にされた点、有意義なものであった。

ワークショップセッション — 5

「洋上LNG設備対陸上LNG設備」

議長：W. Förg (西ドイツ)

パネルメンバー：

Y. Arnoni (米 国)

R. S. Geddes (カナダ)

K. Moroy (ノルウェイ)

K. Yoneda (日本：三菱重工)

E. Breger (西ドイツ)

Dr. Hansen (ノルウェイ)

T. Ehret (フランス)

米国代表から洋上プラントは陸上プラントよりも15%程度安く建設可能であり、陸上から洋上へ、また沿岸から離れたところにプラント建設が進むのが時代の流れである旨発言があった。

カナダ代表も現在計画中のアークテックパイロットプロジェクトでは労働力、環境、コスト等を考慮してバージ方式を採用した。

プラントは南部の造船所で組み立て、曳航することとなるが、陸上の半分程度で建設出来る見込みであると発言した。

ノルウェー代表は浮体工法と海底固定工法につき後者が主流になろうが、安全性の見地から液化プラントと貯蔵タンクを分離する必要があり、その場合自在継手の研究が重要である旨指摘があった。

一洋上LNGプラントについては、我国においてもかなり研究が進められており、展示場においても模型が出品され、見学者の注意をひいていた。極北のみでなく、北海においても洋上プラントが計画されており、その実

現が期待される。

上記の他、冷熱利用については、東京電力の冷熱発電および大阪ガスの冷熱利用についての紹介があり、LNG輸送面ではカナダから液相によるパイプライン輸送の場合内部に断熱保冷を施したパイプラインを使用することを研究しているとの報告があり、関心を集めた。オフショアのLNGプラントでは、三井造船のプレストレストコンクリート構造によるプラントおよび西ドイツのコンソーシアム76タイプの浮体式プラントの発表があった。

安全性の面では1973年以降米国の沿岸警備隊の手によって行われたLNGベーパークラウドの爆発研究の結果が披露され興味を引いた。金融問題では我国のLNGプロジェクトにおけるファイナンスミックスの紹介があり、産ガス国の関心をひいた。

4. おわりに

今回は1983年5月ジャカルタで開催することが決定され、国際会議の幕が引かれたが、時節柄か各参加者から熱心な発言があり、時には白熱した議論がみられるなど、なかなかの盛会であった。盛り沢山のテーマを短期間にこなすため、発表者から時間が少なすぎるとの苦情もあったが、これは一般の参加者にとっても同様であった。

テクニカルセッション、ワークショップセッションの合い間をみて技術映画の見学等を行ったが、一部折角の機会を逃したものもあり、残念であった。(はらだ はるみ 石油公団企画調査部長兼天然ガス事業室長)

西独における核熱産業利用の開発について

伊藤 正巳

1. はじめに

1980年3月、(財)エネルギー総合工学研究所では、資源エネルギー庁の委託をうけ、西独における高温ガス炉による核熱エネルギーの産業利用の研究開発状況調査のため、調査団を派遣した。筆者は、この調査団の一員として参加し、核熱利用の研究開発に関係する諸機関ならびに研究施設のいくつかを訪問し、意見交換をする機会を得たので、その印象の一端を紹介したい。

近年、日独両国間では高温ガス炉ならびにその核熱利用の分野で、技術面での研究開発を中心にいくつかの交流の機会がもたれており、数多くの報告がなされている。本調査団は、これらの研究開発の背景となっている西独のエネルギー需給の見通しと核熱利用の位置付け、プロジェクト開発体制と資金投資の状況、安全審査に関する状況および核熱利用プロジェクトの開発の現状と今後の動向等について調査を行なった。

2. 西独におけるエネルギー需給事情

西独における1次エネルギーの需要は現在石炭換算約4億トンであり、その約50%を石

油に、16%を天然ガスに依存している。これらはともに大部分輸入に頼っているが、先行き不安から電力に対する原子力の導入促進によってその比重を低減しようと努力が払われている。国産エネルギーとしては、石炭褐炭が豊富に存在し、現在併せて約1億トンの生産量を確保しており、1次エネルギーの約25%を占めている。将来、この生産規模は1.3億トン位迄の増産が見込まれている。また、2次エネルギーの分野では電力用として原子力に期待するほか、かなりの割合を占める産業用、都市家庭用の熱供給については、石炭ガス化製品(SNG)に代替し、化学工業用原

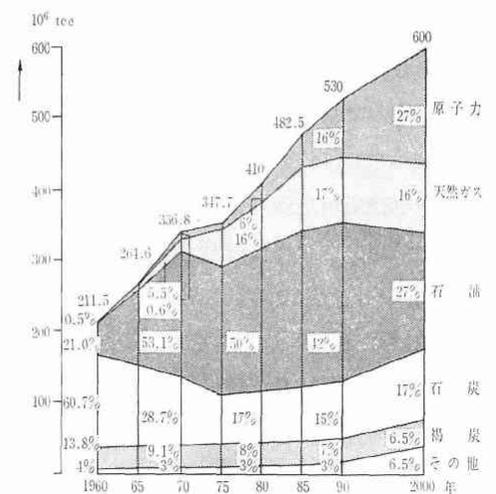


図1 西ドイツの一次エネルギー需給(予測)

料としても石炭化学または Syngas に切り替えることを考えている。全体として、資源の効率的利用のため電力・熱併給の方向と石炭節約のための核熱利用の方向が期待される。

原子力を導入するとすれば、2000年においても石炭の消費量は1980年比でほとんど横這いで十分と予測しているのに対し、原子力の導入がないと仮定し、必要エネルギーを全て石炭でまかなうとすれば、石炭の供給量は実に1980年比2.8倍を必要としなければならず、このように膨大な国内供給は不可能と考えられている。この検討例のように、西独においては将来のエネルギー需給における核熱利用の位置付けはかなり明確化されており、国内関係者の間ではコンセンサスが成立しているように見受けられた。

核熱利用による石炭および褐炭のガス化の経済性については、金利、石油価格の上昇などによる影響等を折り込んでかなり定量的に検討されているようである。関係者の見解によれば、褐炭のガス化はオートサーマルでも、核熱利用でも、現時点ですでに石油と競合し得るし、石炭でもいずれ競合し得ると考えている。しかし、今後の不確定要因を考えると、将来の高温ガス炉導入時点における定量的な経済性評価には限界があるとの意見もきかれた。確かに、石油価格の上昇が続く限り、相対的に核熱導入はますます有利になる方向であり、単に経済性だけでなく、エネルギーや資源の有効利用という観点を含め、高温の核熱利用の意義を考えるべきだという現実的な判断も、抵抗なく受け入れられているようにおもえた。

3. 核熱利用開発計画の見直し

西独では、現在運転中の高温ガス実験炉 AVR (15MWe)に引きつづいて、発電用高温ガス原型炉に相当する THTR-300 (300 MWe) を建設中である。THTR-300 の後に続く計画としては、従来ヘリウムガスタービンによる直接発電を目的とする HHT 計画と、核熱を利用しての石炭の水蒸気ガス化と褐炭の水添ガス化を行なう PNP 計画との開発が併行して進められてきた。しかし、昨年 (1979年) 12月に研究開発の進捗状況の評価に基づいて計画の全面的な見直しが行われ、かなり大幅な変更が行われる見通しである。

すなわち、現在建設中の THTR-300 は 1983年中に運開が予定されているが、HHT、PNP のいずれの計画も THTR-300 の後ひきつづいて、ただちにプラント建設に着手するには、時期尚早との判断がなされた。HHT 計画については、プロジェクトに先行して進められていたヘリウムガスタービン関連の試験装置である HHV¹⁾、EVO²⁾ の運転が必ずしも順調に進んでいないこと、ならびにガスタービンを直接一次系に設置する場合に核分裂生成物の堆積および点検保守の面で課題が残されていることが指摘されている。また、PNP 計画については、石炭および褐炭のガス化装置について、セミテクニカルプラントの運転を継続中であるが、パイロットプラントはこれから建設を始めようとする段階であり、中間熱交換器等の大型機器やこれらに使用される耐熱合金等についても、まだ課題が山積し、当面これらの開発に専心すべ

(注) 1) 高温ヘリウムテストループ
2) オーバーハウゼンエネルギー供給会社のガスタービン発電試験装置

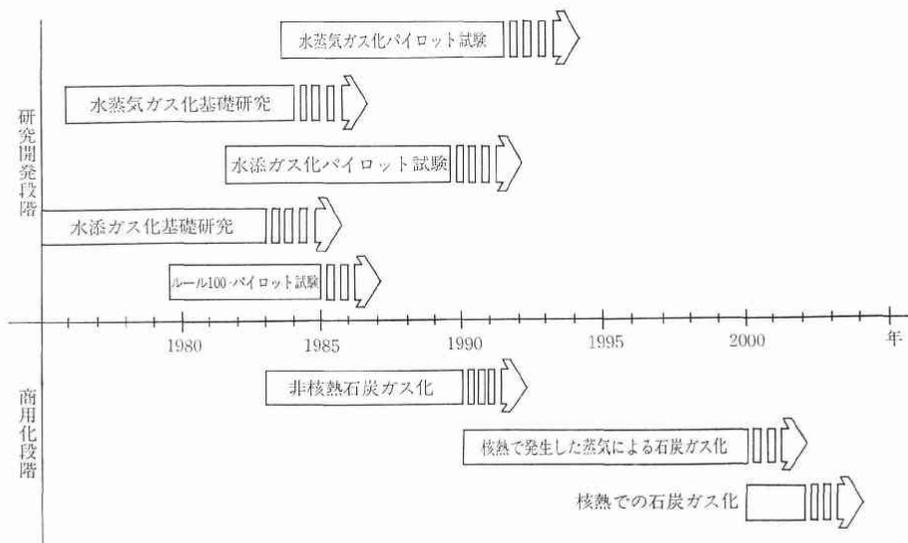


図 2 西ドイツの石炭ガス化開発スケジュール

きであるとの判断が有力である。

一方、西独では、産業界でHTR関連の開発に約900人の人員が従事しており、その半数はTHTRの建設に関係している。THTR以後も、このグループを温存し技術力を維持していくためには、新規のプロジェクトのスタートを考えねばならない。これらの事情を全般にわたって検討した結果、600MWe級の蒸気サイクルの発電用HTRの建設計画を導入することになった。さらに、石炭ガス化については、1979年秋にパイロットプラントの運転が始まった、“Ruhr 100”と呼ばれるオートサーマルによる石炭のガス化が技術的に可能性が高く、この石炭ガス化プラントをHTR発電プラントに接続し、ガス化に必要なプロセス用蒸気を発電プラントから供給することが検討されている。

本プロジェクトは、新たにPND計画と呼ばれ、1981年中にスタートする計画で、既に電力会社、石炭企業および機器メーカーからなるコンソーシアム結成の準備が進められて

いる。このような動きは、HTRの実用性を早期に実証するという計画を掲げ、ユーザーの積極的参加を求めることにより、開発計画および資金計画を、より現実的なものとするとともに、世の中の関心を求めようとする意図も含まれている。現在、検討されている核熱利用による石炭ガス化プラントの開発スケジュールを図2に示す。

4. 研究開発プロジェクトの推進体制

西独では原子力関連の大型の技術開発についてはその所要資金の大部分が連邦政府の研究技術省の負担でまかなわれており、一部は関係州政府および研究開発実施企業が負担している。特に必要性が高いと認められるプロジェクトには思い切った投資が行われており、研究技術省としても、資金調達の面で余り苦勞をしていないように見受けられ、まことに恵まれた状況にあるようである。

また、西独では、基礎研究の段階からパイ

ロットプラントの開発，建設，事業化への展開を考慮した，企業グループの結成が行われている。官側でも，民間側でも開発資金と人材の効率的活用の見地から，連合体結成の必要性は十分に認識されており，プロジェクト毎の官民一体となったコンソーシアムの結成が，通例となっているようである。さらに，プロジェクトマネジメントの直接担当者は，実施計画を遂行する上で，大きな権限が与えられ，それにふさわしく事態の変化に対応する柔軟性と緻密な企画力をもっているように見受けられた。

このように，官民一体となった研究開発推進体制が，計画の着実な進展と現実的な成果に結びついており，資金の効率的運用を展開する有効な根拠になっているように思われ，我が国でも大いに参考にするべき点であると考えている。

研究開発の進め方もステップ・バイ・ステップであり，実験炉，セミテクニカルプラント，パイロットプラント，原型炉として商用プラントと段階的目標を設定してそれぞれの段階で必要な技術を開発していくという堅実な方法をとっている。そして，長期計画に基づいて広範な機器，材料の開発がきわめて精力的に進められている様子はきわめて印象的であった。セミテクニカルなガス化装置のプラント，HHV，核熱エネルギー長距離輸送計画にもとづくEVA-II，ADAM-IIと呼ばれる試験設備は，規模も大きくすばらしいものであり，技術者として羨望の感を禁じえなかった。とにかく，技術的な課題は議論や評価では解決されず，ハードウェア技術により初めて立証されるという考え方が浸透しているのを感じた。

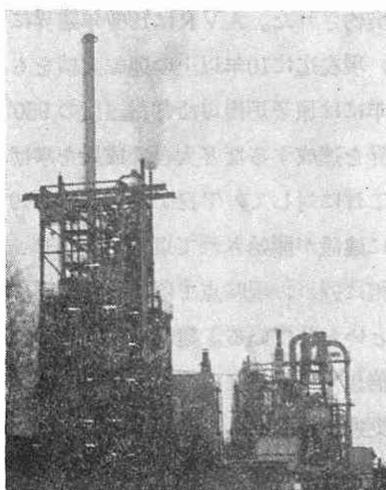


写真 1 石炭水蒸気ガス化装置セミテクニカルプラント全景

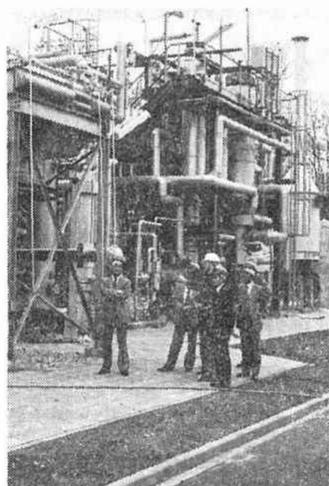


写真 2 ADAM-II 試験装置 (KFA, Jülich)

5. THTR-300の現状

THTR-300は，電気出力 300 MWe の高温ガス炉の原型発電プラントであり，現在西独における高温ガス炉開発の最優先項目とされている。本プラントは，KFA Jülich 研究所に建設された 15 MWe の高温ガス実験炉 AVR に引きつづき計画されたもので，1971

年に契約された。A V Rは1967年臨界に達した後、現在迄に10年以上の運転実績をもち、1974年には原子炉出口冷却材温度の950°Cへの上昇を達成するなど大きな成果を挙げている。これに対して、T H T R-300は、1972年2月に建設が開始されて以来、スケジュールは大幅に遅れ、現時点では1983年中頃に運開予定といわれている。建設コストも当初計画の2倍以上に達しているといわれる。

工期遅延の主たる理由は許認可手続に起因するといわれており、高温ガス炉の原型炉でありながら、すでに商用化された軽水炉の基準が適用されたためと、西独特有の「部分建設許可」によっているため段階的な審査方式がとられ、建設途上といえども最新の技術的要求を満たすことが要求されたために、大がかりな設計のやり直し、製作・建設上の実証の要求等が発生した。さらに、許認可手続が州政府の権限で行われることも、事態をより複雑にしている要因になっているように思われた。関係者はこれらの事実は高温ガス炉だから特別なのではなく、原子力に対する安全審査そのものの考え方の変化と考えるべきだとしており、T H T R-300の経験は、将来の高温ガス炉の許認可手続に対して、貴重な教訓を数多く残したと考えている。

しかし、技術的には設計から運転迄10年以上の歳月を経過すると、技術開発の進展速度から考えてみても、完成したとしても技術的に旧式すぎて、最新技術の実証という観点にたてば、新たな計画の推進の必要性は不可欠であり、具体的にP N D計画が検討された一因になっているようである。

建設現場の印象は、我が国の発電所の建設現場にみられるように、活気や一種の緊張感

といったようなものは余り感じられず、少々拍子抜けの感なきにしもあらずであった。一つ一つの工事を確実に積み上げていくという体制のためでもあろうが、しかし、P C R V³⁾周辺の状況からは建設担当者の苦勞の跡が実感として理解できた。T H T R-300は既設の火力発電所の増設という形態をとっており、少なくとも発電所の外観からはとても原子力発電所とは考えられない程である。タービンホールは既設の火力発電プラントのフロアと共通であり、発電所周辺にも放牧地があったり、すぐ近傍には小部落が散在するなど、原子力発電に対する考え方、認識には、かなり日本と違ったものがあるのではないかと想像した。

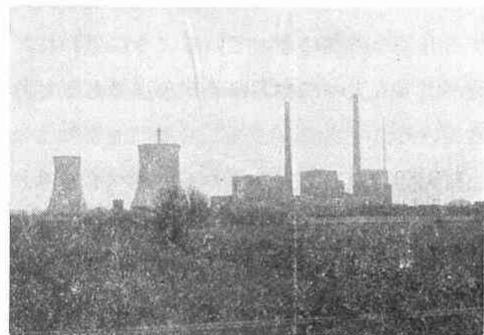


写真 3 T H T R-300建設現場全景
(最右端T H T R, 左より
2番目乾式冷却塔)

6. 環境問題

西独における環境問題はかなりきびしいものがあるとの話を伝え聞いていたが、今回の訪問では必ずしもその実体は把握しきれなかった。しかし、日本の実状とはかなり様相が違うのではないかとの印象を強く受けた。

(注) 3) プレストレストコンクリートリアクターベッセル

例えば、ESSENでは微粉炭を大量に扱っている鉱山研究所(BF)が民家の密集した街中に存在していること、また、KFA Jülich研究所のすぐ裏側で広大な褐炭の露天堀の開発が始まっていることなど、個人的な印象であるが、よく合意が得られるものだという感じであった。HAMBACHの褐炭露天堀の現場は、1978年に開発が開始され、200m程表土を削り取るということであるが、採掘現場では先が見えない程の広大さである。褐炭の生産が始まるのが1982年頃の予定ということである。開発が始まって2年を経て、まだ表土の半分しか掘っていないという規模の雄大さにもびっくりするが、これだけの大プロジェクトが、何事もないかのように、整然と進められていることにも感嘆させられた。国にとって何が大事であるかという共通認識があり、強力な理解と支援がなくては、とても関係者の努力だけでは解決しない問題だと思う。

石炭利用の拡大に関連して日本でとかく問題とされる灰処理の問題にしても、西独では石炭専焼火力発電所から発生する灰の90%迄をセメントまたはレンガ製造の原料として再利用してしまい、環境汚害等の公害問題などまるで無縁であるとのことで、長年石炭が身近な存在でありつづけた1つの証のような気がした。また、我が国でも省資源、省エネルギーの面で、まだ知恵を出す余地が沢山あるということを感じた。

THTR-300の建設現場のシンボルともいふべき乾式冷却塔の威容も、環境問題を解決しようとする技術者の開発努力と関係当局者の前向きな取組み姿勢、それらを受けいれた一般公衆の公正な理解と寛容さを象徴するシンボルのように思えてしかたがなかった。

7. 省エネルギー

今回の訪問を通じて印象に残ったもの一つとして、西独における省エネルギーに対する一般の認識が相当徹底していると考えられることがあげられる。従来、ヨーロッパではエネルギー節約の考え方が一般化しており、民家やアパートでの廊下の照明のスイッチ等はタイマー付で自然に消灯する工夫が考えられていたが、今回宿泊したJülichのホテルでもタイマー付スイッチが取り付けられているのには感心させられた。

今回の訪問先のどの事務所でも、会議室や食堂等で日中自然光で必要な明るさが保たれている場所では完全消灯が徹底していた。夕方相当薄暗くなって始めて点灯するというやり方で、人々もそれが当然といった表情であった。公共の場所でもエスカレーターが停止しているなど省エネルギーの動きは随所に見られた。理屈よりも実践行動が先に立つのは合理性を重視する国民性によるところが大きいのであろうが、郵便切手にも省エネルギーキャンペーンの特殊切手が発行されており、組織化された啓蒙運動として展開されている成果の表れとも考えられた。

同じように深刻なエネルギー問題を抱えているわが国としても、産業界における省エネ



写真4 エネルギー節約の
キャンペーン切手

ルギーは十分浸透してすばらしい成果を上げている反面、個人生活においては必ずしもきめ細かな行動が見受けられない点を反省するとともに、このような西独の姿勢は見習う必要があるのではないかと痛感した。

8. おわりに

核熱の産業用利用に関連して西独を訪問した際に印象に残ったことを断片的に記述した。わずか2週間たらずの滞在であり、限られた範囲での情報に基づいての理解であるため、必ずしも的を射ていない点があるかも知れない。しかし、非常に超長期的な計画に

も拘らず、細部にはきめ細かな動き、変化があることを直接認識することが出来たのは大変参考になった。今後、大規模な技術開発は国際協力によって推進していくことが多くなると予想される。西独側にも日本に対して同じような開発意欲と背景をもった国として、大きな期待をもっていることが、関係者の口からたびたび聞かされたし、現実に両国の協力関係はますます緊密になっていくものと思われる。この拙文が相互を認識する上で少しでも役に立つとすれば望外の喜びとするものである。(いとう まさみ 石川島播磨重工業(株)原子力開発室)

昭和55年度事業計画

(昭和55年4月1日～昭和56年3月31日)

以下は、第5回理事会(3月26日開催)で承認された本年度の事業計画である。

設立の趣旨にそって情報の収集、加工、提供および特定プロジェクトの調査研究を推進し、併せてエネルギー技術の普及活動を進めることを基本方針として次の事業を行なう。

1. エネルギーに係る科学技術に関する調査について
各種情報からエネルギーに関連すると思われるものを、国内および海外の諸機関との情報交流等を通じて広く収集し、技術的見地から区分、整理する。
 - (1) エネルギー技術データベース基礎資料の情報収集・検索・処理
2. エネルギーの開発・供給・利用に係る科学技術資料・情報の分析法・評価法・体系化法の開発および応用に関する研究について
エネルギーの開発・供給・利用に係る科学技術資料・情報に関して、それらの分析・評価・体系化を行うための手法の開発研究を実施し、その成果をもととしてそれらの科学技術資料・情報の確度(信頼性)の分析・評価、動的な変動予測、相関性の評価、目的に応じた体系化などを行い、これら資料・情報の利用価値の向上をはかることとする。
 - (1) エネルギー技術データベースの体系化法の開発研究
 - (2) 核燃料サイクルの評価法の開発研究
 - (3) 各種システム評価研究
3. エネルギーの開発・供給・利用に係る技術上の基礎的事項に関する部門的、総合的な研究について
エネルギー新技術の萌芽の発見と評価、エネルギー技術要素の特性向上、安全性・信頼性の評価、エネルギー開発・供給・利用のための各種システムの評価研究開発計画の立案と最適化など、部門的ならびに総合的な技術的見地からの研究を行う。
 - (1) 海水ウラン回収システム技術の総合研究
 - (2) 新エネルギー技術シーズの総合研究
4. エネルギーの開発・供給・利用に係る技術上の応用的事項に関する部門的総合的な研究について
刻々変化する社会的・経済的・技術的な多種多様な制約のもとでエネルギーの開発・供給・利用に関して現実性のある最適なシステムを設計する。このため、計算機による設計技法の研究をするとともに本研究所の収集蓄積した資料ならびに必要に応じて行う実験の成果をも活用することとする。
さらに、これらの最適システムの設計研究の成果を具体的プロジェクトに応用する研究を行い、プラント設備や機器の開発に資することとする。
 - (1) 核熱の産業用利用に関する調査研究
 - (2) 廃炉に関する調査研究

(3) ローカル・エネルギー・システムの研究

5. 前三号の研究に係わる試験について

前三号の研究に伴う計算機実験の他、エネルギーの開発、供給、利用に資する材料・要素・機器等の試験も随時行うこととする。

(1) エネルギー技術データベースの体系化法の開発研究に係る試験

6. 前各号の調査、研究、試験の成果に係る資料の作成、整備、提供について

前各号の事業で得られた成果のうちから、技術情報として有用度の高いものを選択的に、また目的に応じて分類的に、それぞれ定期的に編集して利用者に提供し、さらに一部は出版・展示・講演会等により公表して広く利用に供することとする。

また、それぞれの目的に応じたエネルギー技術の総合的研究に関して指導を行い、人材を養成するなど、エネルギー技術の指導・普及・啓蒙に努めることとする。

(1) 技術情報の編集、整備

(2) 定期刊行物の出版

(3) エネルギー技術普及講演会の開催

7. その他

エネルギーの開発、供給、利用の円滑な展開を図るためには官・学・民一体となった協力体制を整え、効率的に機能させることが重要である。本研究所は、このような観点に立って、エネルギー技術上の諸問題について、各界の専門家による討論と情報交流を行う場を提供し、責任ある、しかも時宜に適した新しいエネルギー技術政策について提言を行うこととする。

また、エネルギー技術に関する国際協力の積極的な推進など、本研究所の趣旨にかなった諸事業を行うこととする。

(1) 経団連、通産省などとエネルギー技術懇談会の設置および運営

(2) 原子力プラント運転の信頼性に関する研究会

(3) 内外の関連研究機関との研究協力の検討

研究所のうごき

(昭和55年4月1日～6月30日)

◇ 理事会開催

第6回理事会

日時：5月16日(金) 12:00～13:30

場所：経団連会館 9階 906号室

議題：

- (1) 昭和54年度事業報告および収支決算書(案)について
- (2) 日本自転車振興会からの昭和55年度運営強化資金補助金の受入ならびに補助事業の実施について
- (3) その他

◇ 企画委員会開催

第8回企画委員会

日時：4月18日(金) 14:00～16:00

場所：当研究所第2会議室

議題：

- (1) 西ドイツにおける核熱の産業利用に関する調査について
- (2) 関西電力の長期総合経営ビジョンについて
- (3) その他

第9回企画委員会

日時：6月13日(金) 15:00～17:00

場所：当研究所第2会議室

議題：

- (1) ローカルエネルギーシステムについて
- (2) 電力技術開発の現状と動向について
- (3) その他

◇ 主なできごと

4月18日(金) 第8回企画委員会開催

5月13日(火) 「エネルギー技術データベース体系化開発研究」第4回委員会開催

16日(金) 第6回理事会開催

「新・省エネルギー技術課題の評価に関する調査」第1回委員会開催

20日(火) 「原子力プラント運転信頼性」研究会開催

6月11日(水) MITI-IAE 定例懇談会第6回開催

13日(金) 第9回企画委員会開催

19日(木) 「ローカルエネルギーシステム標準化仕様作成調査研究」第1回委員会開催

20日(金) 「新・省エネルギー技術課題の評価に関する調査」第2回委員会開催

24日(火) 第1回「経団連との懇談会」開催

◇ その他

外国出張

近藤駿介研究嘱託と徳下善孝副主任研究員とは、「放射性廃棄物の管理と処分に関する第1回欧州共同体会議」に出席し、併せて欧州における放射性廃棄物のリスク解析の現状調査」のため、5月18日～5月31日、ルクセンブルグ、フランスなどに出張した。

新常務理事の略歴紹介

柴田誠一(しばた せいいち)

大正12年8月11日生

昭和23年3月 早稲田大学政治経済学部経済学科卒

◇ 23年4月 関東配電(株)(現東京電力(株))入社

◇ 52年6月 同社 技術開発研究所副所長

◇ 53年7月 同社より当所研究所へ派遣、事務局長就任

◇ 55年4月 常務理事に就任(事務局長を兼任)

季報エネルギー総合工学 第3巻第2号

昭和55年7月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区虎ノ門3-8-21

第33 森ビル

電話 (03) 4 3 1 - 8 8 2 2

無断転載を禁じます。(印刷)和光堂印刷株式会社