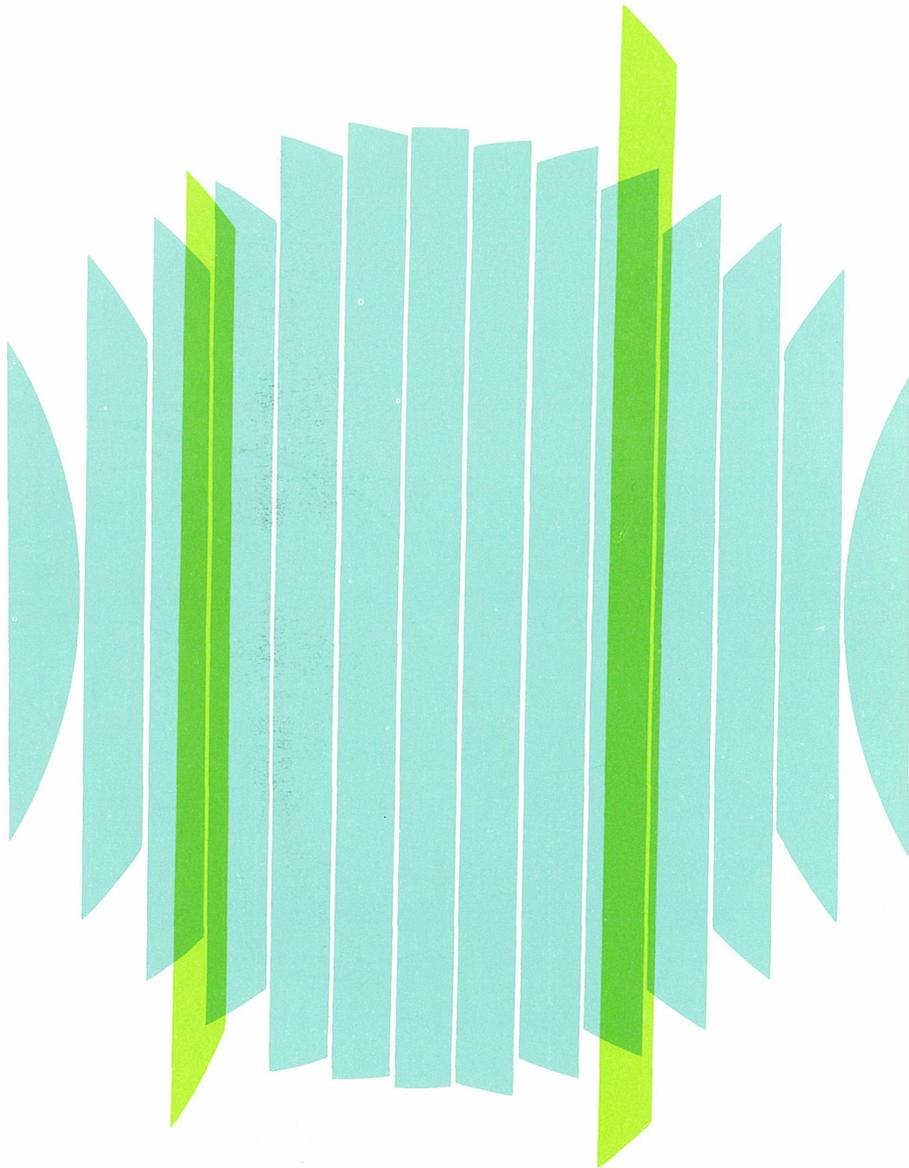


季報 エネルギー総合工学

Vol. 6 No.4

1984. 1.



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

目 次

“シンクタンク” 雑感	理事・電気事業連合会副会長 大 垣 忠 雄.....	1
エネルギー需給構造の変化と新技術・新システム.....専務理事 武 田 康.....	2
「世界エネルギー会議」出席報告.....齊 藤 晴 通.....	17
欧州における新型電池および電力貯蔵の開発		
— 海外調査報告 —田 辺 義 雄.....	26
フォールト ツリー解析プログラム“SFTAC”の開発.....下 岡 浩.....	36
研究所のうごき		44
第6巻通巻目次		46

“シンクタンク” 雑感

理事・電気事業連合会副会長 大垣 忠雄

昨年の我が国経済は、明るさも出た半面、その持続性には不安がつきまとい離れない状況であった。かような状況を踏まえて、企業の立場から昭和59年を概括すると、企業は引続き体質改善を進め、“重厚長大”から“軽薄短小”を志向する経営戦略を加速的に展開することになる。

企業をとりまく環境が引続き厳しい情勢にあると考えるならば、今や、我が国経済社会の構成員として欠くことの出来ない立場にある“シンクタンク”（研究機関）も、企業と同様に大きな曲り角に来ていると考えるが、いかがであろうか。

一般的に企業は、競争原理、市場原理にもとづいて行動することは言うまでもないが、これを別の角度から見ると、環境の変化に対する適応能力があるかどうかによって、その企業の存立が問われることになる。

私が、“シンクタンク”について日頃考える場合、自分が企業人であるためか、上に述べたような考えが、原点とならざるをえない。私共電気事業連合会の身近かに存在する“シンクタンク”でさえ10指に余る数になる。さらに日本中に求めれば、大、中、小併せると無数になることだろう。

かような中で、一つ一つの“シンクタンク”が将来にわたってその存在価値を維持し、高めて行くことは、容易なことではないと想像がつく。

エネルギー総合工学研究所に望みたいことは、現在よりも更に当研究所の特性に磨きをかけ、その時々を経済社会の要請にマッチし、かつ、将来の環境変化に対するフレキシブルな適応能力を備えた研究集団に成長することである。

年明け早々から、齒に衣を着せず普段考えていることを申し述べさせて頂いたが、もちろん、当連合会の自戒も含めた考えからである。（おおがき ただお）

エネルギー需給構造の変化と 新技術・新システム

専務理事 武田 康

本稿は、昭和58年11月29日開催の当研究所第4回評議員会での講演速記をもとにして、著者が修正・加筆したものです。

はじめに

私がこれからご報告申し上げますのは、「エネルギー需給構造の変化と新技術・新システム」ということで、非常に立派そうなタイトルになっています。さきほど、理事長のあいさつの中に、ニーズのあり方をいろいろ探りたいというようなことがございましたが、そういうものの一環として、エネルギーの将来の需給構造がどうなるかというのは当研究所の基本的な検討課題のひとつでございます。

さきほどの柴田常務理事の事業報告の中にもありました将来の展望、あるいはソフト・エネルギーの調査、これも将来展望の中でソフト・エネルギーの位置づけを探るというようなことでございます。そんなこともやっておりますので、それらの研究経過等をベースにし、一部私自身の個人的な見解も加えて、お話ししたいと存じます。

この(1983年)9月に世界エネルギー会議(WEC)がニューデリーで開かれました。その世界エネルギー会議の Conservation Commit-

tee, 日本語に直訳すると省エネ委員会なんですけれども、実態はどうも石油をいかに節約、温存するかという角度で、エネルギー需給全体を眺める委員会のようなのですが、そこがまとめましたリポートをもとに、まず世界全体のエネルギー需給構造の変化を眺めたいと思います。

次に、当研究所の中でいろいろ議論していることをベースにわが国での需給構造の変化についてふれたいと思います。そして最後に、そういう将来展望の中で新しい技術なり、新しいシステムというものがどんな位置づけになり得るのだろうかということを探ります手がかりみたいなものにふれる、大体以上のような順で話を進めたいと思います。

1. 世界レベルでの需給構造変化

1.1 エネルギー需要

まず、図1～6は世界レベルでどんな需要想定が行われているのだろうかということを、グラフの形で要約したものでございます。

需要想定を行いますときには、ひとつの想定値を出すようなケースと、非常に成長が早ければこのぐらになる、遅ければこの程度にとどまるというような幅をもった想定をするケースとがございます。

ここでは世界エネルギー会議の Conservation 委員会の低成長ケース、実態は多分これからもうちょっと下回るんじゃないかと思いますが、そういうケースをグラフ(図1~6)に載せてございます。需要想定を行います場合のベースは、まず、人口がどうなるかということで、これを図1に示してございます。世界の人口想定を先進国、途上国、そして共産圏という具合に分けて、ハッチングをしております部分の左端が、1978年の実績値でございまして、ハッチングの右端が2000年にはこのぐらい、そして棒グラフの一番右が2020年には、というような数字でございまして、世

界全体をご覧いただきますと、きょう現在は人口47億人ぐらいでございますが、5年前でございまして約42億人、それが2000年には60億人をちょっと超し、2020年には77億人、いまの5割増しをちょっと超すぐらいのレベルまでいこうということでございます。

ところで、同時にエネルギー想定するとき重要なのは、いったいどのぐらいのものを作り、付加価値を生むだろうかということございまして、これが図2に出てございます。

GNPのほうは先進国が大部分を占めておりまして、これから先もどうもそのようでございますけれども、一番下の世界合計のとこ

図-1 人口(億人)

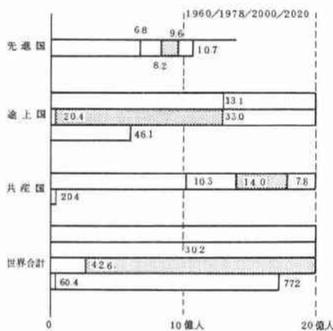


図-2 GNP (78年兆ドル)

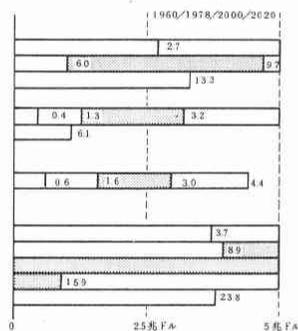


図-3 1人当りGNP (78年ドル)

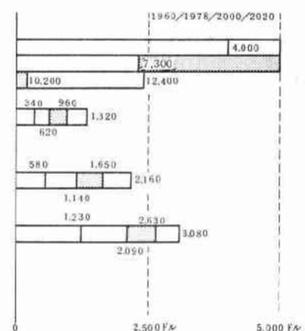


図-4 エネルギー消費 (億トンOE)

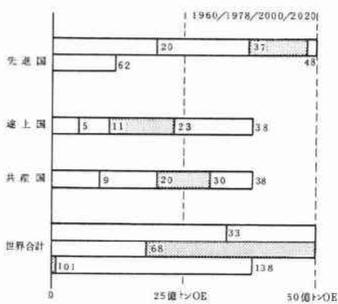


図-5 1人当りエネルギー消費 (トンOE/人)

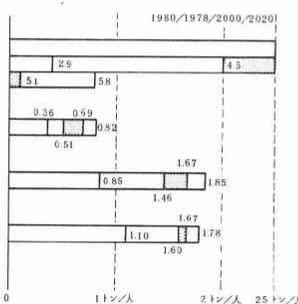
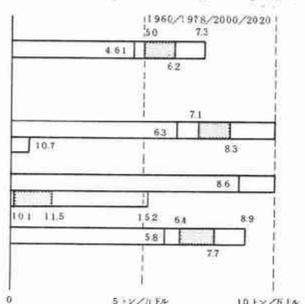


図-6 エネルギー原単位 (トンOE/78年万ドル)



ろをご覧くださいますと、現在だいたいドル換算で9兆ドル、あるいは10兆ドル近くになっているかと思いますが、そんなものでございます。これが2000年には5割方ふえて15兆ドルを越し、2020年には23兆ドルというような数字になってございます。ここでひとつだけ申しそえたいのでございますが、こういう世界全体の集まりですと、それぞれの国なり地域なりが、私たちはこうなる、というやや希望的観測を載せまして、そんな意味で、低成長ケースといいながらやや少し過大見積りをしているかも知れないなというようなことがございます。

ところで、いまの南北問題の一番の問題は、先進国は相当お金持だけれども発展途上国は1人当りの生産も低いし、どうも貧乏だ、その格差をなんとかしなければいけないということでございますが、こういう人口の伸び、特に途上国の人口の伸びを前提にして、将来どのくらい改善されるかと言いますと、図3の1人当りGNPに示されるようにどうも先進国と途上国との格差は一向に改善されないというような感じのものになってございます。ただ人口がふえる分だけ途上国のトータル・ウェイトはふえていくわけでございます。

さて、いままで申し上げました人口とかGNPとエネルギー消費を結びつけますと、図4にございますような感じになるわけでございます。現在世界全体でのエネルギー消費が原油に換算いたしまして、だいたい60億トンとか70億トン、ここでは68という数字が出ておりますが、そんなベースでございます。それが2000年には100億トンレベルになり、2020年には130数億トンというレベルになるのではないかというような想定でございます。

1人当りエネルギー消費量でまいりますと(図5参照)、先進国は現在1人当り4.5トンというような調子で使ってます。日本よりも2～3割上回った数字でございます。それがやはり少しずつ伸びていくということでございます。発展途上国はやはりトータルの経済規模とも比例いたしまして、1人当り消費量も非常に小さな数字でございます。これから30年、40年たっても、先進国の1割5分、2割というようなレベルにしかならないということでございます。世界全体では1人当り現在1トン半ぐらい使っておりまして、それが1割ぐらいこれから40年かかって伸びるということでございます。1人当りがこんなに低い伸びなのは、なにぶんエネルギーを少ししか使っていない途上国の人口が非常にふえるから、つまり割算の分母が大きくなるからというようなことでございます。

図6は生産当りのエネルギー原単位を示したものでございます。これは1万ドルの付加価値を生むために何トンの油を使っているだろうか、というようなことを示すもので、これをご覧くださいますと、先進国のほうが生産効率がいい、つまり棒グラフが短かいので、そういう格好でございます。先進国のほうでいろいろ工業生産をしているにもかかわらず、エネルギー原単位が小さいのはちょっとおかしな感じがするわけでございますが、実は十分な分析をしておりませんが、先進国でつくっている付加価値の相当部分は第三次産業的な分野で作られており、そのウェイトが結構高く、あまり資源を使わずに付加価値を生産している部分がかかなりあるということで、物を作るためのエネルギー消費がかかなり薄められて、この図に示すように途上国、あ

るいは共産圏に比べて少ないエネルギー消費で高い価値を生んでいるということが言えるのではなからうかと思えます。

将来に向かって考えますと、日本でも産業構造変化があつて、たとえば電子工業の方もおいででございますけれども、鉄とか化学が伸びずに、そういう加工産業、組立産業が伸びますと、エネルギー原単位が下がってまいります。第三次産業のウェイトが高まりますと同様に下がってまいります。そういう現象がここでは先進国と途上国の間で出ているのではなからうかと想像されるわけでございます。

1.2 エネルギー需給構造の変化

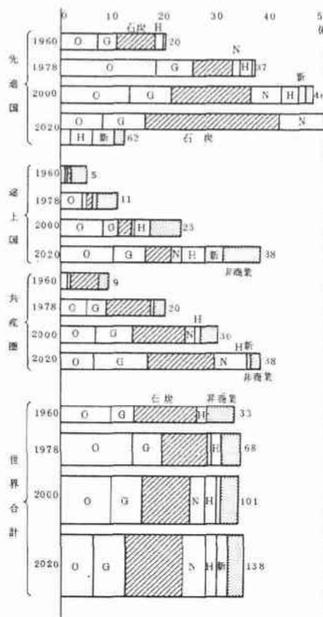
以上述べましたようなエネルギーの総需要

の予測に対しまして、エネルギー源の種別に着目しまして需給構造が将来どう変わっていくか、について考えてみたいと思えます。

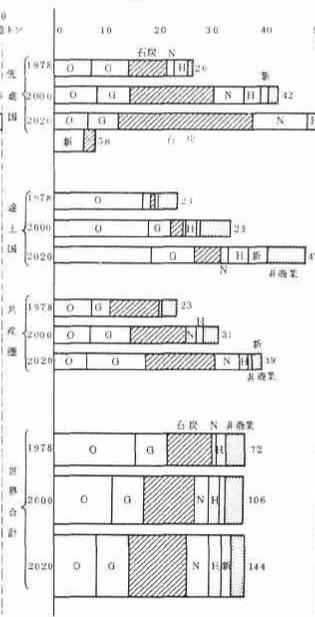
図7にエネルギー種別の消費、図8にエネルギー種別ごとの生産という二つの図がございます。これまた先進国、途上国、共産圏そして世界合計と分けてございます。

まず図7のうちの先進国のほうを見ていただきたいのですが、20年前と4～5年前、そして20年後、40年後という具合になっておまして、ここで一番顕著な傾向は、Oと書きましたのが石油でございますけれども、過去20年、石油をどんどん余分に使ってきた。しかし、これから先を眺めると、石油の消費が絶対量としても減っていくという傾向でござ

図一七 エネルギー種別消費 (億トンOE)

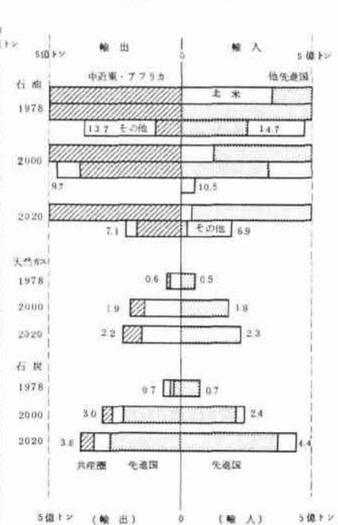


図一八 エネルギー種別生産 (億トンOE)



(注) O = 石油, G = 天然ガス, N = 原子力, H = 水力 新 = 新エネルギー

図一九 地域間輸出入 (億トンOE)



ます。一方、図8の種別生産の先進国のところをご覧くださいますと、石油というのは現在から20年先へ向けて少しふえて、そのあと少し減るというような格好でございます。エネルギー消費、トータルがふえてまいりますので、石油が減る分、需要がふえる分、両方をカバーするのに石炭が一番寄与し、その次にNと書きましたのは原子力でございますが、原子力が寄与するというようなことでございます。

その次に途上国のところをご覧くださいますと、まず図7の消費のほうでございますが、先進国で減るのとちょうど逆に途上国の油の消費というのは今後どんどんふえていくであろうということでございます。図8の途上国をご覧くださいますと、途上国での石油生産は、ここでは横ばいないしちょっと微増になっておりますけれども、あまりふえることが期待されないという格好でございます。これはむしろOPECその他で自己消費する石油がふえて、輸出する能力が減っていくのではなからうかということを示唆しているものでございます。

共産圏は、消費と生産が図7、図8を横に眺めていただきますと、すべてのものについてほぼとんとんというようなことございまして、これから先に向いましては一部天然ガス、あるいは石炭に輸出余力があるのかなというような想像がされているわけでございます。

世界合計のところを見ていただきますと、20年ごとにちょっと棒グラフの幅が大きくなってございますが、この面積が量を表わしております。たまたまなんですけど、1960年から78年にかけての20年間でトータル・エネルギーの

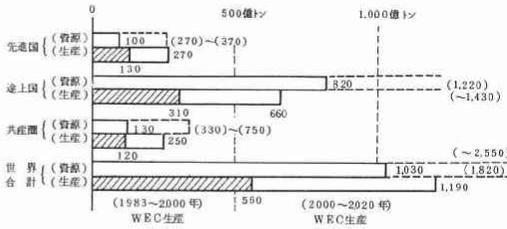
生産と消費がだいたい倍になっております。それから2000年になると、いまの5割増し、1960年の3倍、そして2020年になると4倍というような具合でございますので、棒グラフの長さのほうは、だいたい同じでございます。従いまして、これをご覧くださいますと、各エネルギー種別のウェイトはどう変わっていくかということがわかります。先進国がエネルギー消費の相当部分を占めておりますので、先進国とだいたい似たような傾向になっておりまして、油のウェイトはどんどん下がっていき、石炭のウェイトが一番上がって、N（原子力）がその次にウェイトとしては寄与していく、こんなような格好でございます。

図9をご覧くださいますと地域間での輸出入がどうなるかが示されております。一番上が石油でございます。1978年、2000年、2020年と書いてございます。輸出のところのハッチングしている部分は中近東・アフリカからの輸出量でして、これが世界全体の輸出のほとんど全部をカバーしているわけでございます。一方、輸入は北米、そして点を打っております部分が、そのほかの先進国でして、これらが輸入の大半を占めております。

ここで顕著な傾向はアメリカの油の輸入がどんどん減って、それが石炭なり天然ガスに置き換わるのではないかという想像がされているわけでありまして、現実にもそのように進行しているのではないかと思われまます。石油の下に天然ガス、石炭と書いてございますけれども、世界貿易ではトータル量が減り、そして石油のウェイトも減って、天然ガス、石炭というように多様化していくことがこのグラフから読みとれるわけでございます。

図-10 石油

[資源量はUS地調、()内は未確認(中位～上位)]



1.3 石油・天然ガス資源とWECの予想生産量との対比

以上に述べたような生産をし、消費をしますと、なにぶんそのうちの大部分が化石燃料ですので、今地球の中にデポジットされてる資源がなくなってしまうおそれがあるのではないかと考えられるわけでございます。そういった点から、資源量と生産量とを対比させて示したのが図10と図11であります。

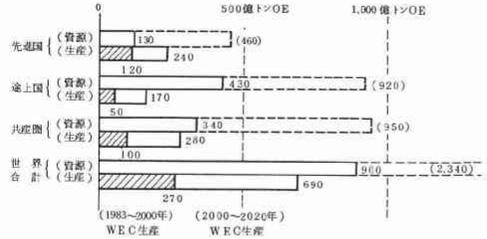
図10は石油についてでございますが、先進国、途上国等に分けまして、上側が資源量、下側が生産量でございます。この図の世界合計のところを見ていただきますと、石油の資源量で1,000億トンあたりにひとつ数字がございます。これがいわば確認可採埋蔵量とでも言うべきものでございます。

それに対しまして、世界エネルギー会議(WEC)の想定通り2020年まで作り、使ったらどうなるかという、その累計が1,190億トンでございます。いま確実にある、そして十分採取できるという量を上回るようになっております。

ところで、資源のほうは点線で伸びております。これは、いろんな資源量予測があるわけですが、そのぐらいは追加して発見されるであろうということを示しているわけでござ

図-11 天然ガス

[資源量はHalbouty、()内はポテンシャルを含む]



います。これにはずいぶん幅がございますが、そこまで足しますと、2020年になってもまだ油はあるという具合になるわけでございます。資源屋さんのお話しによりますと、資源の発見というのは、生産・消費と平行して進行するものであって、過去30年来確認可採埋蔵量というのは、いつも消費の30年分であるというようなこともございますので、そういう点で考えますと、もっと真剣になってお金をかけて探せば、この点線のほうまでいって、2020年やそこらはもつのではないかという考え方も成り立ち得るわけでございます。

一方、悲観的に考えますと、資源量の制約から採掘コストが上がって、図7あるいは図8で予測したような石油の生産・消費を将来にわたって期待するのはむずかしいのだというような解釈も成り立ち得るかと思えます。これは逐次時間の経過と共にわかっていく問題であろうかと思われま

図11に同じようなことを天然ガスについて示してございます。天然ガスについては、確認可採埋蔵量のな資源量はだいたい石油の7掛け、8掛け程度でございます。そして現在の消費量は、石油の半分あるいは半分以下というような数字でございます。従いまして、天然ガスのほうのバランスは、石油に比べて

かなりいいバランスになっているわけでございます。

なおここにはあげてございませんが、石炭につきましてこういうバランスをつくりますと、だいたい資源に余裕があるというようなバランス表ができるわけでございます。そういったことが原因となりまして、図7なり図8に示しましたようにこれから先に向って石炭に頼るウェイトがふえていって、そのうちにエネルギー供給の主体は油から石炭に変わっていく、世界レベルででございますが、そういうようなことと見合っているわけでございます。

2. わが国での需給構造変化

さて、以上世界の状況を世界エネルギー会議の低成長ケースをベースにご報告申し上げましたが、それではこのような予測を一応頭におきながら、日本の中ではどうなるのだろうかということについてふれてみたいと思います。実はこの想定は、さきほどの柴田常務理事の報告の中にございましたけれども、ソフト・エネルギーの評価作業というのを昨年来たしてございまして、その過程でことし(1983年)の3月頃の時点で、日本のバランスはどうなるかというのをつくりあげたもの

でございます。現在の政府見通し等と比べてどんぴしゃり整合がとれているわけではございません。ただ考え方は共通に通用するのではないかというようなことでございます。

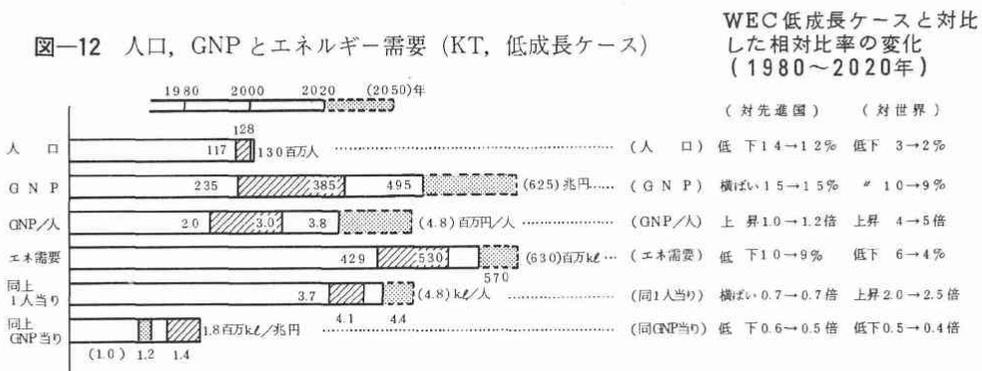
2.1 エネルギー需要

まず、さきほどの世界でもございましたように人口とそれから国民総生産GNP、1人当りのGNP、それにエネルギー需要というようなものをまとめましたのが図12でございます。きょう現在では日本の人口は1億1千8百万人見当でございますが、1割方ふえて1億3千万人程度で頭打ちするというような想定でございます。

そして国民総生産はその次の欄に出ておまして、ハッチングをしております左のところがきょう現在、2～3年前の数値、右端が2020年ということでございますけれども、これをさらに延長して2050年ぐらいまで点線でグラフに画いております。だいたい国民総生産レベルで、これから20年間に5割かそのぐらい上昇するというような前提にいたしております。

実はきょう現在の政府ベースの見通しは年率4%程度の成長でございまして、ここに書きましたのよりもうちょっと高い成長率がベ-

図-12 人口、GNPとエネルギー需要(KT, 低成長ケース)



スになっております。従いまして、全体としての数字は、ここに書きましたものよりは政府の総合エネルギー調査会ベースのほうが、2000年時点で1割方高いような数字になっておりますけれども、ここではその整合を特にとることなく並べてございます。

エネルギー需要は、3年前の油に換算して4億2千9百万kℓから2000年には5億3千万kℓぐらいになり、さらにそのあと20年で1割、50年で2割ふえていこうというふうなことでございます。

こういった予測を行いますときには、どの程度省エネルギーが進展するのだろうか、産業構造がどう変わるのだろうかということが非常に大きな前提になるわけでございます。従来は成長率との対比で、エネルギー弾性値がどうこうというようなことがベースになっておりましたが、成長率が非常に低くなりますと、成長しながらエネルギー需要が減るといような、この3年来の現象がそうでございますが、そういうことが起ってまいります。

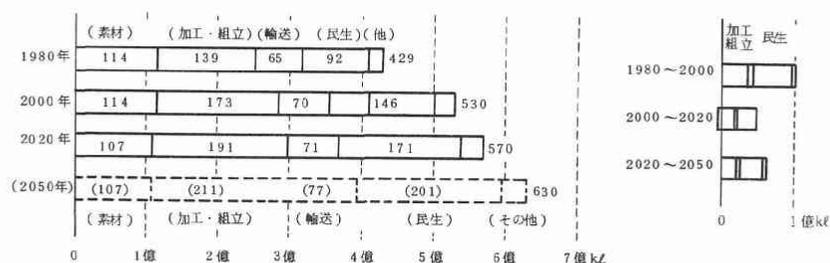
従いまして、ここではむしろ産業別にある程度区分をいたしまして、そして各産業の個別エネルギー消費原単位がどうなるであろうかというあたりまでブレークダウンしたものを逆に積み上げて図13をつくっているわけでございます。この図は素材産業、加工組立産

業、輸送、民生というような程度で分けてございます。これをもうちょっとさらにブレークダウンしたもので省エネルギー・レベルを考慮しております、エネルギー原単位という点では、これから20年たった時点での産業構造も含めまして、日本全体としては現在よりも2割ぐらい少ないエネルギーで、同じ付加価値を生産し得るであろうというふうな推定にいたしております。

図13で産業別の区分をしておりますが、全体として1割ちょっとぐらい政府なり総合エネルギー調査会の見通しより低くなっておりまして、そのほかに輸送部門の伸びがどうも部門別に分けますと一番ギャップがあるようでございます。自動車関係の方もおいででございますけれども、総合エネルギー調査会等では、今後ともトラック輸送等を主体に自動車に頼る部分がやはりウェイトがふえていくというふうなことを考えておられるようでございます。私どものこの時点での試算では、もうちょっと大量輸送設備が入るのではないかというような期待をこめておりますので、輸送がほとんど伸びないというふうな格好になっております。

産業別に見ていただくと、素材産業は付加価値としてはふえるのですが、省エネルギーがなおもう少し進展して、トータル需要が減っ

図-13 用途別1次換算エネルギー需要(百万kℓ)(KT, 低成長ケース)



てしまうのではないか、それから、加工・組立産業は今後の成長の中心でございますけれども、これまたその内部構造の変化を考え、またこれからの20年を見通しまして、産業界からみてエネルギーのお値段が高いという状況が続くであろう、従って加工・組立産業についても個別省エネルギーがかなり進展するのではないかと期待して需要を想定しております。その結果、トータルのGNPは結構ふえるのでございますけれども、産業レベルのエネルギー消費というのはほとんどふえないでもすむのではないかということになってございます。以上がどんな需要になりそうかというようなことでございまして、ほんとはさきほど産業についてももう少し区分し、ということを申し上げましたが、いわば1次エネルギー・ベースで議論するのではなくて、2次エネルギーの需要バランスをつくって、個別にブレイクダウンしたところで、少し議論をしなければいけないという感じでございます。

こういうことは日本エネルギー経済研究所でいろいろなさっていることでございますが、私どもも技術と経済はちょうど裏腹でございますので、エネルギー問題を技術面から検討します際にもいつもこういったことをある程度自分なりにやっております。その結果を外に出すわけではございませんが、そういうものをベースにいろんなプロジェクトの評価のバックグラウンドのひとつに使っているということでございます。

2.2 エネルギー供給構造の変化

需要がいまのようになるとして、いったい供給力とのバランスはどうなのか、そのとき

に世界全体のバランスも眺めながらというようなことで、これまたことし(1983年)の3月時点でいろいろ作業したときの成果の一部でございますけれども、図14と図15で説明をさせていただきます。

図14は1次エネルギー供給の予測でございます。石油というような便利で使い易いものがそのまま使えれば、それにこしたことはないわけでございますが、日本の石油消費、すなわち石油輸入は、1980年には2億8千6百万kℓ、きょう現在は2億5千万kℓを少し下回っておりますけれども、ここでは20年ぐらいはきょう現在のレベルが大ざっぱには継続するであろうというようなイメージで画いております。

そしてそのあとこれはどうなるかというのは全く予測の問題で、断定的なことを申し上げ兼ねるのでございますけれども、そのあとは世界バランス同様なウェイトで下がっていかねばいけないであろう。その理由のひとつは、割りに有利な資源が次第に減るのではないかという予測、もうひとつは、さきほど世界バランスで説明しましたような発展途上国に油を回さなければいけないのではないか、あるいは先取りされてしまうのではないか、両方を加えまして、ここはかなり独断的な想定でございますが、そのあと21世紀に入ると、石油は減っていくというようなことをイメージに画いております。

天然ガスと原子力については現在のトレンドを伸ばしており、いずれもその気になれば可能なレベルであろうかと思えます。そして実はこれはソフト・エネルギーにどこまで期待できるかという作業のバックグラウンドとしてやった作業でございますので、太陽熱と

か地熱とか、そういったソフト・エネルギーをどこまで入れられるかというようなことで、かなり期待をもって、一番右の（R）自然再生と書いているところでございますが、需要との関係で、このへんまでは、それからコストもこの程度まで使える位下がってくれるであろうという期待も含めまして、かなり伸ばしてございます。

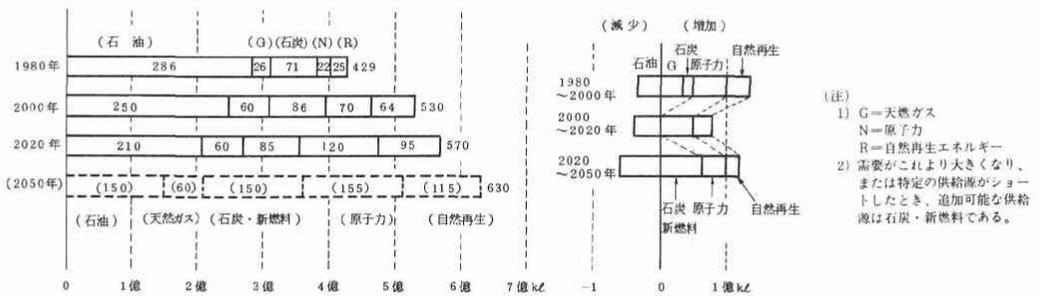
そういたしますと、残りの需要・供給のバランスをとる部分が石炭でございます。そして、たとえば石炭は液化したり、あるいはオイルシェールを使ったりというような、またはメタノールなども入りますけれども、新燃料を含めて、これが調整役になるわけでございます。

図14の右側に需要増加をどこがカバーするかということを図に示してございます。実際

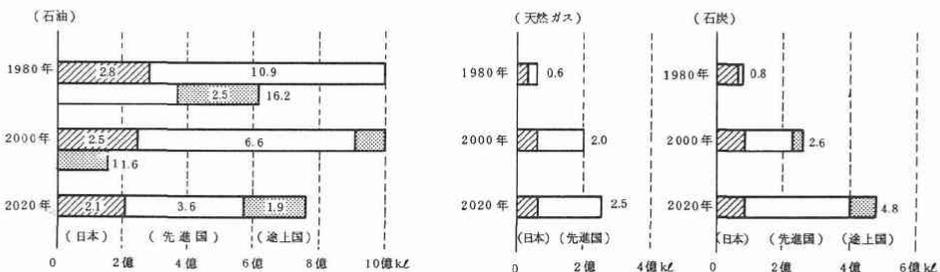
には、需要増加と石油の供給減少、あるいは取得減少をはかのものでどうカバーするかということでございます。これからの20年間は、天然ガス、原子力、石炭及び自然再生エネルギーでカバーすることになっております。

現在、総合エネルギー調査会、あるいは政府ベース等々での予測では、石炭がもうちょっと大きな数字になっております。この予測に比べてこれ以上需要が伸びますと、あと供給源になり得るものは石炭なり新燃料油しかございません。この私の低成長ケースの予測では、需要が小さかったものですから、石炭はあまりふやさなくてすんでおりますけれども、もし需要が伸びればかなり石炭を伸ばさなければいけない。この予測では2000年から2020年にかけて増分は原子力と自然再生のみであ

図一14 1次エネルギー供給（百万kℓ）（KT, 低成長ケース）



図一15 1次エネルギー輸入の世界貿易に占めるシェア（億kℓ）（KT, 低成長ケース）, (WEC)



る。これまた需要の伸びが小さいためでございますが、そういう格好でございます。2050年になりますと、実は原子力を電力の7割ぐらいいまで入れ込んだ数字になってしまいますので、原子力は伸びがそんなに大きく期待できなくなって、やはり一番資源量の多い石炭なり新燃料に増加分への寄与を頼らなければいけない、こういう格好になっているわけでございます。

次に図15を見ていただきます。以上のようなイメージを画いたときに世界貿易の中でいったい日本はどれだけのものをよそから貰ってくることになるだろうか、それが世界の地域間貿易に比べまして、どんなウェートになるのだろうか、というようなことを眺めてみたものがこの図15でございます。

ここではまず左が石油でございます、真中が天然ガス、右が石炭でございます。石油のところ、棒グラフの左端でハッチングをしましたのが、上の図14で想定した日本の油の輸入量でございます。棒グラフ全体を足しましたものが、さきほどの世界エネルギー会議の低成長ケースでの世界全体としての貿易でございます。

1980年時点で考えますと、世界の総貿易量16億kℓのうち日本は3億kℓ弱でございますので、2割弱、17～8%が日本のシェアだったわけでございます。いまのような想定で2000年になりますと、そのシェアが少し上がってまいります。そして、2020年になりますと、トータル輸出量が8億kℓしかないのに、日本はやはり2億kℓという想定をしておりますので、25%になる。こんなことから考えますと、そういう期待をしていいのか、どうかというのが将来の問題として起こるのかと思

われます。

なお、実はアメリカがかって日本以上に輸入して、それこそ石油危機が危機であった要因のひとつになったのではないかと私は理解しているわけでございますが、いまやアメリカはどんどん輸入量を減らしまして、恐らく2000年になるとゼロになってしまうかも知れないということで、アメリカが油の分け前を放出してくれているのを、みんなが分けているというような形でございます。その放出が終った時点からあとがどうなるだろうかということがちょっと問題として考えられるわけでございます。ちょうど日本が原子力等の石油代替エネルギーの導入によって、電気事業が使う油が減ってまいりまして、それが一般の燃料にまわって一もちろん重い油が減るんで、その部分の需給バランスの問題が別途の問題としてございますけれども、油がどれでも同じだというふうな理解をいたしますと一電気事業で使う油がだんだんゼロのほうに向って進行しております。それを燃料油としてほかに活用して、トータル・バランスが合い、そして代替エネルギー化が進行しているというふうなことでございますが、これが終わりますと、どうなるのかなというようなことと、アメリカの石油放出が終るとどうなるかなということがやや似ているのではないかという感じがするわけでございます。

図15の天然ガス、石炭のところをしてみますと、天然ガスの国際的な貿易では、日本のウェートがいま現在高いわけでございますけれども、さきほどの二つの想定をつなぎますと、あんまり高くない格好でございます。もしこの図のとおりであるとしたら、ソ連産の天然ガスが大量にヨーロッパに流れて、そ

のほかの貿易というのは、それほどいまと変わらないというようなことに、理解するしかないわけでございます。逆に言いますと、天然ガスについては、もし日本がもっとふやそうと思えば買える余地があるのかも知れません。これは、需要との関係で、今これ以上ふやすのはなかなかむずかしいわけでございますけれども、そんなことが天然ガスについて言えるのではないかと思います。

石炭については、天然ガス以上のことが言えるかと思いますが、恐らく世界エネルギー会議の想定は、日本がもっと輸入をするであろうことをイメージに画いて将来イメージを作っているかと思われます。それに対しまして、実は私どもの研究所のソフト・エネルギー作業のときの低成長ケースでは、需要が伸びないので、天然ガスもそうですけれども、石炭についてもそんなにいらないというようなイメージで、2020年までが画かれております。従いまして、日本のシェアというのがどんどん減っていくという格好で、これまた仕上がりとしては非常に疑問でございまして、多分日本がこれしか輸入しないなら、世界貿易もそんなに伸びないかも知れないというようなことであろうかと思われます。

3. 新技術・新システムの導入と発展

3.1 新システムの候補と課題

さて、以上のようなイメージを画いてみましたが、実はこれは1次エネルギー断面でのバランスを画いたものでございますけれども、これに二次エネルギー断面、用途面でのバランスというのをブレイクダウンしたのまで考えますと、将来のエネルギー・システムに

どんなものが入ってきて欲しいかということにつながるわけでございます。そのへんに対する試行錯誤的アプローチも一部やっておりますので、そのことについて、ふれてみたいと存じます。

新技術・新システムの導入と発展ということでございますが、答ではなくて問題意識、課題発掘程度にとどまっておりますが、さきほどまでの需給予測で、いろんなものをおり込んでおりますけれども、おり込んだものの主体は、自然再生エネルギーを目いっぱいおり込んだということでございます。

新燃料油というのは、たとえば石炭を液化した油、あるいはメタノール、これには天然ガス・ソースと石炭ソースのものがございます。それからオイルシェールとか、オイルサンドというようなものもございますが、中味の区分はなかなかむずかしいものでございますから、需給バランス上は一括して、しかも石炭ソースが一番多いかなということで、石炭とこみにして扱ってございます。従いまして、このへんをもう少しブレイクダウンいたしますと、どんなものについてより十分な勉強をしていかなければいけないかということが浮びあがるわけでございます。同時に2次バランスを考えますと、さきほど電気事業が油を減らしてということで申し上げましたが油の製品別バランスとしての重質油分解の問題とか、あるいは新燃料油はどんなところに代替するものがあるが一番いいのだろうか、というような問題意識につながるわけでございます。

さきほど説明した需給予測の中におり込んでないものとして、いくつかのものがございます。ひとつは、原子力の熱利用です。今ま

で説明した想定では、原子力は電気だけだというようなことでやっておりますので、もし原子力の熱利用というものができるとなると、燃料油の一部の代替としてエントリーするわけでございまして、このへんもひとつ勉強の課題であるということになるわけでございます。ここでの問題点は、原子力のほうがコンスタントに運転しなければいけないのに対して、一般的な意味の民生用熱利用というのは非常に負荷率が悪い格好である。それから工業用の熱利用というのは、今自家用火等蒸気を使っておられるわけですが、その方々からみますと、原子力が本当に安くなるのか、またどこまで信頼できるのかというようなことがあろうかと思われまします。いずれにしても検討すべき問題であらうかと思わ

れます。それから新しい技術として、いま燃料電池の開発などが進んでおりますけれども、これも一種の電気と熱と両方一緒に出てくるシステムでございまして。そういったものがエントリーするようになれば、需給バランスがどう変わるのか、あるいは需給バランスの足りない部分に、これらがどれだけ有効なのかどうか、コストの問題もからんで、やはり考えておかなければいけない問題だと思われるわけでございまして。

それからMHDとか、高効率ガスタービン、これは1次エネルギーを2次エネルギーに転換するとき、どの程度の効率向上ができるかという問題にたち向っているものです。さきほどの図では、油の消費量をどんどん減らしていかざるを得ないだろうという想定をし、

表1 関連する I A E の調査プロジェクト

<p>1. 長期エネルギー需給の展望</p> <p>(1) エネルギーシステム評価手法の開発研究 (55年度～)</p> <p>(2) エネルギーシステム変遷の未来像を求めて (54～55年度)</p> <p>(3) ソフトエネルギーへの期待と限界 (57～58年度)</p> <p>2. 自然再生エネルギー関係</p> <p>(1) ローカルエネルギー調査〔国分市、鹿児島県他〕(54～57年度)</p> <p>(2) アルコール、他自然再生エネルギー調査 (54年度～)</p> <p>3. 石炭及び新燃料関係</p> <p>(1) エネルギー技術データハンドブック〔石炭技術編〕(55年度～)</p> <p>(2) エネルギーシステム評価手法の開発研究〔石炭技術関連部分〕(55年度～)</p> <p>(3) 石炭液化・ガス化関係 (56年度～)</p> <p>(4) メタノール燃料調査、等 (55年度～)</p> <p>4. 原子力熱利用関係</p> <p>(1) 高温ガス炉の核熱産業利用調査など (54年度～)</p> <p>(2) 中小型軽水炉の構想設計と経済性調査 (56年度～)</p> <p>5. 燃料電池など熱併給システム</p> <p>(1) 燃料電池エネルギーシステム調査、等 (55年度～)</p>
--

ておりますけれども、もし効率を上げた転換システムが可能であれば、その点でカバーされるわけでございますが、これらもいろんなところで研究をされておりますが、これも考えなければいけないものでございます。

ところで、自然再生エネルギー、新燃料油、原子力の熱利用あるいは燃料電池などの併給システム、高効率の転換システム等々考えますときに、いろいろどうも問題になりそうな課題がございます。たとえば、自然再生エネルギーの場合には自然条件で発生量が左右されますので、それが実際にエネルギーを欲しい人の需要とうまくマッチングするかどうか、あるいは日本の場合には特にでございますけれども、とにかく油なり、電気なり、ガソリンの供給ネットワークというのが日本のすみずみまでできあがっておりますので、それとどう共存するのか、あるいは相互に接点がどうなるのかなといった特徴的な課題がございます。

同様に、新燃料油関係については、代替対象の需要をどう設定したらよいかとか、工場を海外に立地して製品を輸入する方がよいか、それとも工場を国内立地にして、石炭等一次エネルギー資源を輸入する方がよいかといったようなことが課題としてあげられましょう。また、原子力の熱利用についても、原子炉の型式はどれが適当か、その規模と立地の場所、対象需要に何を考えるかといった課題を抱えております。

現在、エネルギー需要の伸びが割りに低く、かたがた石油の需給が安定しているものでございますから、新しいシステムがそもそも必要なかどうかという一種の中間反省期にあるようでございまして、そのへんのコンセンサスからもう一度考えなおさなければい

けないのかなということも共通課題でございます。これとともに石油需給の当面の緩和とからみまして、コスト意識というものがまた一層シビアになってきております。

一方で、国を中心にするR、D&Dプロジェクトが多いわけですが、いったいそんなものに投資する財政的な余力があるのか、日本の国全体としてはどうも貯蓄超過で、投資余力があるはずでございますけれども、それぞれの断面で見ますと、なかなかむずかしいようでありまして、こんな問題も考えなければいけないというようなことでございます。

3.2 関連するIAEの調査プロジェクト

今までご報告しましたようなことは実は手ぶらで答が出てくるわけではございません。当研究所の中で行っているプロジェクトはどちらかといえば境界領域なり未来領域的なものが多いのでございますが、きょうご報告しましたエネルギー需給構造の変化の方向なり、あるいはそれと新技術・新システムのからみあいというようなことを、そのまま直接扱ったわけではございませんが、いろんな角度でいまご報告申し上げましたことにつながるような調査研究をいろいろしてきております。そこで、宣伝がましくなりますが、その一覧表的なリストを表1に掲げました。こんなもののそれぞれの断片をつなぎあわせて、今のような報告をさせていただいたわけでございます。

今後ともエネルギー全体の将来の先行きにつきましては一私どもは日本エネルギー経済研究所と非常に密接に連携して仕事をしておりまして、エネルギー需給の問題はそちらのほうでだいたいやっていただくようなことにな

ろうかと思っておりますけれども一技術面と経済面というのは需給問題でもそうですが、完全に裏腹の関係にありますので、当研究所の内部でも今のようなことをいろいろ議論しているわけでございます。

ごく最近総合エネルギー調査会で将来需給見通しのレビューなどが行われまして、これはみなさまご存じのとおりでございますので、

それと似たようなことをご報告してもどうかと思いましたが、そこに答の数字を出す試行錯誤の過程を少しおり込んでご報告すればなんらかのご参考になるのではないかと思ひまして、こういう報告をさせていただいたわけでございます。ご静聴ありがとうございました。
(たけだ こう)

「世界エネルギー会議」出席報告

齊藤晴通

1. 世界エネルギー会議について

世界エネルギー会議の第12回定期大会が昨年（1983年）9月18日から23日までインドのニューデリーで開催された。今回の会議は、インドが熱心で開催国となることを希望し、はじめて発展途上国での開催が実現したものである。そのため、インド政府をはじめ関係者のこの会議にかける意気込みが感じられた。

世界エネルギー会議は、1924年（大正13年）ロンドンで設立された非政府ベースの国際会議で、長年、世界動力会議と称せられて来たが、1966年に名称を「世界エネルギー会議」と変更した。その目的は、世界のすべての人に最大の利益をもたらすように、エネルギー資源を開発し、平和的に利用することをはかるものである。このため、あらゆるエネルギーについて開発・利用の調査研究、情報の収集と刊行を行うとともに、3年に一度定期大会を開催している。

加盟国は、現在81ヶ国（ニューデリーの大会と同時に開かれた理事会で中国の加盟が承認された）で、共産圏も含め、世界の主要国はほとんど加盟している。わが国は、創立当初から会員であったが、第2次大戦中一時退会し、1951年に再加入している。日本国内委

員会の事務局は、社団法人日本動力協会である。我が国では、まだ定期大会は開催されていない。

このように、世界エネルギー会議は、民間機関ではあるが、国連本部、ユネスコ、国連地域委員会、および専門機関の諮問機関に指定されているほか、EC、IEA、コメコンなどの政府機関とも協力している。また、OPEC、OAPECとも調査研究の提携をしている。さらに、エネルギー関係の他の非政府機関であるユニベデ、シグレ、大ダム会議、国際ガス連合、世界石油会議、世界鉱業会議など多数の機関と密接に協力している。

2. ニューデリーの第12回定期大会の概要

今回の定期大会の出席者は約3,000名（うち、インド人が半数の約1,500名）で、日本からも48名が出席した。テーマは、エネルギー・開発—生活の質—というもので、開催国が発展途上国のインドということもあり、エネルギーの開発・利用と国際協力により、生活の向上（特に発展途上国の）を達成して行くということに重要な視点が置かれていた。

会議は、開会式のあと次のような、テクニ



写真 1 主会議場 (Vigyan Bhavan)

カル・セッション (講演者の提出論文にもとづく討議), 円卓会議 (パネル討議), 作業グループ (パネル討議) に別れて行われた。

(1) テクニカル・セッション

第 1 部 資源の利用・開発改善のための革新的技術及び工学

- 1. 1 資源
- 1. 2 エネルギーの変換及び輸送のためのプロセスと施設
- 1. 3 エネルギーシステム
- 1. 4 省エネルギーを含むエネルギー利用

第 2 部 資源の供給可能量とエネルギー及び経済資源の戦略的運用

- 2. 1 在来エネルギー, 新エネルギー及び代替資源
- 2. 2 経済資源
- 2. 3 先進国及び発展途上国における大規模及び小規模のエネルギーシステム (中央集中型及び地方分散型)
- 2. 4 農村及び半農業地域における再生可能な国内エネルギー源

第 3 部 エネルギーと生活の質——エネルギー開発の社会的影響

- 3. 1 共同体, 社会変化及びエネルギー使用の優先順位

- 3. 2 環境・汚染および安全性
- 3. 3 エネルギー使用形態, 動向及び優先順位 (都市と農村)
- 3. 4 エネルギー教育及び人的資源の開発

第 4 部 国際協力と世界エネルギー戦略への寄与

- 4. 1 国際機関と世界協力
- 4. 2 エネルギー開発への協力
- 4. 3 発展途上国への技術及び技能の移転
- 4. 4 情報およびデータ・バンク

(2) 円卓会議

- ① 原子力
 - A. 燃料サイクル
 - B. 原子力産業の現況
- ② 世界経済における石炭の地位
- ③ 天然ガスの利用・輸送及び貿易
- ④ 石油代替
- ⑤ エネルギー 2000~2020 年: 供給と需要——地域的緊迫
- ⑥ 石油資源と将来の展望
- ⑦ 発展途上国のエネルギー問題

(3) 作業グループ

- ① エネルギー用語
- ② 国別エネルギーデータ
- ③ 工業における省エネルギー
- ④ 建物における省エネルギー
- ⑤ 発展途上国における石油代替
- ⑥ 新エネルギーおよび再生可能エネルギー
- ⑦ 発電所機器の品質保証
- ⑧ 火力発電所の利用可能率

開会式は, 25,000 名収容可能といわれる屋内スタジアムで行なわれたが, 全館冷房の立



写真 2 テクニカル・セッション風景

派な施設であった。開会式でガンジー首相が演説し、今後特に力を入れて開発を行うべき項目として、次の5項目を強調した。

①バイオマス生産への、生科学や光合成等の新技術の応用、②自動車燃料にも使用できる水素生産のための光化学技術、③石油に依存しない輸送機関を作るためのエネルギー貯蔵装置、④現在のコストの10～100分の1の太陽電池の開発、⑤多様な用途に最適に適合するエネルギーシステム

また、ガンジー首相は、やがて、石油を輸入している発展途上国にエネルギー危機が来るだろうとし、それは、炊事に使っている最も基本的エネルギーである木材（森林）資源の枯渇であることを述べた。更に印象に残ったのはエネルギー長期戦略の柱として原子力開発の重要性を述べ、印度が、核武装する意志のないことを強調した点であった。

日本からは、テクニカルセッションに次の5つの論文が提出された。①日本における改良標準化と新形軽水炉の開発（東京電力・常務取締役：豊田正敏氏）、②新エネルギー技術開発の現状と展望（通産省工業技術院・技術審議官：高田利男氏）、③日本における処理原油、石油需要のパターン変化と市場の要求に合致するための総合的対策（興亜石油・

社長：野口照雄氏）、④将来における日本のエネルギー需給システムと社会、経済構造の展望（日本エネルギー経済研究所：佐川直人氏）、⑤電源立地の促進と地域振興（通産省・資源エネルギー庁・長官々房審議官：松田泰氏）。

閉会式の総括において、今回の会議のトピックス事項として、次の9項目が挙げられた。

①技術革新（新技術の開発・応用）、②エネルギーの自立（国内エネルギー高度利用）、③国または地域間の多様性、④石油依存の減少、⑤エネルギーの使用効率と節約、⑥国際協力と開発援助（資本、技術教育）、⑦環境への配慮、⑧生活の質、⑨緊急課題（供給強化の方法、エネルギー使用の合理化、発展途上国への援助）。

3. 加盟国のエネルギーデータのとりまとめについて

加盟各国のエネルギーの生産・消費に関する統一データベースを作成するため、統一された様式による統計作成作業が、「国別エネルギーデータ」の作業グループにより行われた。日本からも必要なデータを提出したが、会議当日までに、決められた標式に従って報告のあった国の主要なデータが、事務局によりとりまとめられて発表された。表1、表2に主要国の基本的データを示した。国民総生産（GNP）は1975年の米ドルに換算（インフレ補正）したものである。先進国の中での日本の経済成長率の高さ、エネルギーの外国依存度の大きさ、石油の割合の大きさ、また、発展途上国の人口増加の著るしさと1人当たりGNPの伸びの鈍さ等が注目される。また、

表1 主要な経済・エネルギーデータ

(世界エネルギー会議加盟主要国)

項目 国	〈基礎データ〉						〈一次エネルギー供給(需要)〉							
	人口 10 ⁶		GNP/GDP 10 ⁹ US \$ (1975)			一人当り GNP/GDP US \$ (1975)		合計 10 ¹² Joule			一人当り 10 ⁹ Joule		国内生産の割合 [%]	
	1970	1981	1970	1981	年増加率 (%)	1970	1981	1970	1981	年増加率 (%)	1970	1981	1970	1981
オーストラリア	12	15	69	96	3.1	5,770	6,941	2,088	3,299	4.3	168	218	85	207
ブラジル	93	122	68	173	8.9	731	1,418	2,906	5,672	6.3	31	46	72	67
カナダ	21	24	84 ⁽²⁾	113 ⁽²⁾	2.7	4,000 ⁽²⁾	4,708 ⁽²⁾	6,832	9,561	3.1	325	398	111	106
西ドイツ	61	62	379	499	2.5	6,256	8,113	9,870	10,964	1.0	163	178	52	48
フランス	51	54	279	399	3.3	5,490	7,390	6,441	8,233	2.3	127	153	32	35
インド	548	699	68	99	3.5	123	142	2,631	4,670	5.4	5	7	82	86
インドネシア	117	150	na	27 ⁽¹⁾	—	na	181 ⁽¹⁾	392	2,626	18.9	3	18	498	215
イタリア	54	56	170	232	2.9	3,168	4,101	4,742	5,846	1.9	89	104	22	18
日本	105	118	401	667	4.7	3,835	5,661	12,210	15,394	2.1	116	130	17	15
メキシコ	49	71	64	131	6.7	1,306	1,845	2,069	5,031	8.4	42	71	105	156
オランダ	13	14	75	98	2.5	5,787	6,901	2,050	2,585	2.1	158	182	59	110
スペイン	34	38	79	115	3.5	2,350	3,056	1,769	2,922	4.7	52	76	34	29
イギリス	56	56	209	247	1.5	3,772	4,414	8,837	8,160	-0.7	159	146	50	106
アメリカ	205	232	1,366	1,856	2.8	6,680	8,000	68,857	75,687	0.9	335	326	93	86
スウェーデン	8	8	63	76	1.7	7,850	9,180	1,815	2,071	1.2	226	249	31	52

(注) (1) 暦年の代りに会計年度を使用
 (2) 1971年価格
 (3) 1973年価格

表2 エネルギー消費データ

(W. E. C加盟主要国)

項目 国	合計 10 ¹² Joule		最終エネルギー消費(構成比[%])																
			(エネルギー種類別)								(用途別)								
			固体燃料		石油		ガス		電気		農業、商業 住宅、公共事業		工業		輸送		非エネルギー 利用		
1970	1981	年増加 率(%)	1970	1981	1970	1981	1970	1981	1970	1981	1970	1981	1970	1981	1970	1981			
オーストラリア	1,448	2,258	4.1	27	17	55	50	1	13	10	13	— ⁽¹⁾	18	— ⁽¹⁾	39	— ⁽¹⁾	34	3	2
ブラジル	2,384	4,331	5.6	2	4	41	47	1	6	10	39	29	29	33	24	25	8	13	
カナダ	4,984	6,646	2.7	10	8	58	51	18	23	13	18	35	34	38	37	25	25	3	4
西ドイツ	7,473	7,946	0.6	19	11	58	54	11	19	10	14	39	40	36	31	15	20	10	9
フランス	5,000	5,710	1.2	20	9	65	62	6	15	9	14	31	36	45	36	18	25	6	4
インド	1,910	3,201	4.8	54	48	36	39	1	2	9	11	14	14	50	54	30	23	6	9
インドネシア	528	2,104	13.4	na	1	91	54	8	44	1	1	na	10	na	20	na	14	na	56
イタリア	3,621	4,278	1.5	8	6	71	61	11	20	10	13	30	33	42	35	19	25	9	7
日本	9,236	10,913	1.5	12	13	69	64	8	8	11	15	21	27	49	42	16	20	14	11
メキシコ	1,361	3,087	7.7	4	3	55	63	18	17	6	11	29	24	33	29	32	37	6	10
オランダ	1,620	2,061	2.2	8	4	51	36	32	47	7	10	46	41	40	43	14	16	— ⁽²⁾	— ⁽²⁾
スペイン	1,362	2,029	3.7	16	8	71	74	1	2	12	16	23	22	43	39	25	28	9	10
イギリス	6,254	5,808	-0.7	29	13	51	46	9	28	11	14	30	34	47	37	18	23	7	6
アメリカ	55,229	57,684	0.4	13	8	51	52	27	27	9	13	23	25	41	33	29	34	7	8
スウェーデン	1,416	1,369	-0.1	4	3	66	56	1	1	14	23	41	43	40	36	15	17	4	4

(注) 1) データなし
 2) 工業に含まれる

表3 人 口 予 測

地域	年	実 数 10 ⁶ 人				年 増 加 率 [%]		
		1960	1978	2000	2020	1960-1978	1978-2000	2000-2020
R 1		200.9	245.0	296	349	1.11	0.9	0.8
R 2		357.1	417.2	463	489	0.87	0.5	0.3
R 3		107.5	132.3	149	152	1.16	0.6	0.1
R 4		313.9	372.4	420	462	0.95	0.6	0.5
R 5		111.4	183.8	320	465	2.82	2.5	1.9
R 6		219.5	347.8	681	1,152	2.59	3.1	2.7
R 7		560.4	848.6	1,284	1,644	2.33	1.9	1.2
R 8		220.6	337.6	503	631	3.03	1.8	1.1
R 9		714.5	1,032.0	1,359	1,576	2.06	1.3	0.7
R10		209.6	344.5	564	802	2.80	2.2	1.8
WIC		681.8	822.2	959	1,071	1.05	0.7	0.6
IC		995.7	1,194.6	1,379	1,533	1.02	0.65	0.5
TW		2,019.7	3,066.6	4,660	6,189	2.35	1.9	1.4
TW-R9		1,305.2	2,034.6	3,301	4,613	2.50	2.2	1.7
WORLD		3,015.4	4,261.6	6,039	7,722	1.94	1.6	1.2

注 R 1：北アメリカ R 5：北アメリカ、中東 R 9：アジア社会主義国 WIC：西側工業国
 R 2：西ヨーロッパ R 6：南アフリカ R 10：ラテンアメリカ IC：工業国
 R 3：太平洋圏工業国 R 7：南アジア TW：発展途上国
 R 4：東ヨーロッパ R 8：東南アジア TW-R9：第三世界諸国
 (TWからR9を差引いたもの)

表4 経 済 成 長 予 測

地域	年	G N P (10 ⁹ \$78)						年 成 長 率 [%]				
		1960	1978	2000		2020		1960-1978	1978-2000		2000-2020	
				ケースⅠ	ケースⅡ	ケースⅠ	ケースⅡ		ケースⅠ	ケースⅡ		
R 1		1,162	2,348	4,048	3,633	6,073	4,941	4.0	2.5	2.0	2.0	1.5
R 2		1,294	2,596	5,031	4,059	7,528	5,505	4.0	3.0	2.0	2.0	1.5
R 3		224	1,017	2,359	1,949	3,865	2,625	8.8	3.9	3	2.5	1.5
R 4		471	1,366	3,237	2,617	5,846	3,888	6.1	4.0	3	3.0	2.0
R 5		61	292	1,048	779	2,824	1,577	9.1	6.0	4.6	5.1	3.6
R 6		78	166	437	394	870	712	4.3	4.5	4.0	3.5	3.0
R 7		77	150	365	294	722	506	3.8	4.1	3.1	3.5	2.5
R 8		63	220	824	580	1,848	1,048	7.2	6.2	4.5	4.2	3.0
R 9		97	247	558	332	1,217	528	5.3	3.8	1.35	4.0	2.35
R10		180	483	1,685	1,222	4,082	2,435	5.6	5.8	4.3	4.5	3.5
WIC		2,698	6,005	11,553	9,745	17,695	13,259	4.5	3.0	2.2	2.15	1.55
IC		3,169	7,371	14,790	12,362	23,541	17,147	4.8	3.2	2.4	2.35	1.65
TW		538	1,514	4,802	3,497	11,334	6,618	5.9	5.4	3.9	4.4	3.2
TW-R9		441	1,267	4,244	3,165	10,117	6,090	6.0	5.6	4.2	4.4	3.3
WORLD		3,707	8,885	19,592	15,859	34,875	23,765	5.0	3.65	2.65	2.9	2.0

注 ケースⅠ：高成長ケース
 ケースⅡ：低成長ケース
 なお、地域を示す略号の表示は表3と同じ

表5 1人当りGNPの予測

年 地域	1人当りGNP (1978年ドル換算)						年成長率 [%]				
	1960	1978	2000		2020		1960 1978	1978-2000		2000-2020	
			ケースI	ケースII	ケースI	ケースII		ケースI	ケースII	ケースI	ケースII
R 1	5,786	9,584	13,661	12,274	17,391	14,158	2.8	1.6	1.1	1.2	0.7
R 2	3,623	6,223	10,866	8,767	15,395	11,258	3.1	2.6	1.6	1.8	1.2
R 3	2,086	7,680	15,780	13,035	25,480	17,300	7.5	3.3	2.4	2.4	1.4
R 4	1,500	3,668	7,707	6,230	12,654	8,415	5.1	3.4	2.4	2.5	1.5
R 5	544	1,588	3,275	2,434	6,073	3,391	6.1	3.3	2.0	3.1	1.7
R 6	356	478	642	578	755	618	1.7	1.3	0.9	0.8	0.3
R 7	137	177	284	229	439	308	1.4	2.2	1.2	2.2	1.2
R 8	287	652	1,639	1,153	2,960	1,661	4.7	4.3	2.6	3.0	1.8
R 9	136	239	411	244	772	335	3.2	2.5	0.1	3.2	1.6
R 10	857	1,402	2,988	2,167	5,091	3,036	2.8	3.5	2.0	2.7	1.7
WIC	3,957	7,303	12,047	10,162	16,522	12,380	3.5	2.3	1.5	1.6	1.0
IC	3,183	6,170	10,725	8,964	15,356	11,185	3.75	2.55	1.7	1.8	1.1
TW	266	494	1,030	750	1,831	1,069	3.5	3.4	1.9	2.9	1.8
TW-R9	338	623	1,286	959	2,193	1,320	3.5	3.3	2.0	2.7	1.6
WORLD	1,229	2,085	3,244	2,626	4,516	3,078	3.0	2.0	1.05	1.7	0.8

(注) 地域表示の略号については表3参照

表6 エネルギー消費実績(Mtoe)

1978年

地域	石炭	石油	天然ガス	水力	原子力	新エネルギー	木材	廃物(動植物)	商業エネルギー	非商業エネルギー	計
R 1	358	914	528	129	77	2	30	5	2,008	35	2,043
R 2	260	627	173	97	40	—	16	14	1,197	30	1,227
R 3	83	247	24	27	14	—	1	1	395	2	397
R 4	575	404	334	42	12	—	30	16	1,367	46	1,413
R 5	2	79	29	6	—	—	8	10	116	18	134
R 6	43	27	1	7	—	—	86	13	78	99	177
R 7	48	29	5	13	1	—	71	47	96	118	214
R 8	14	92	7	5	—	—	63	38	118	101	219
R 9	306	89	10	14	—	—	126	93	419	219	638
R 10	12	168	50	51	2	6	55	12	289	67	356
WIC	740	1,799	725	254	131	2	49	21	3,651	70	3,721
IC	1,315	2,203	1,059	296	143	2	79	37	5,018	116	5,134
TW	386	473	102	95	3	6	407	212	1,065	619	1,684
TW-R9	80	384	92	81	3	6	281	119	646	400	1,046
WORLD	1,701	2,676	1,161	391	146	8	486	249	6,083	735	6,818

(注) Mtoe: 石油換算 10^6 t (million ton of oil equivalent)

なお、地域表示の略号については表3参照

表7 エネルギー消費予測(Mtoe)

2020年高成長ケース

地域	石炭	石油	天然ガス	水力	原子力	新エネルギー	木材	廃物(動植物)	商業エネルギー	非商業エネルギー	計
R 1	1,774	234	460	199	484	318	91	15	3,469	106	3,575
R 2	730	446	303	171	615	115	24	42	2,380	66	2,446
R 3	290	185	165	40	200	36	1	3	916	4	920
R 4	930	530	1,100	130	600	80	20	10	3,370	30	3,400
R 5	66	595	449	26	95	55	9	14	1,286	23	1,309
R 6	383	126	30	72	25	39	158	37	675	195	870
R 7	246	128	60	54	24	57	107	107	569	214	783
R 8	260	310	150	80	80	40	55	57	920	112	1,032
R 9	700	290	160	150	30	30	50	30	1,360	80	1,440
R10	300	732	280	437	145	228	30	30	2,122	60	2,182
WIC	3,157	875	928	412	1,314	484	117	61	7,170	178	7,348
IC	4,087	1,405	2,028	542	1,914	564	137	71	10,540	208	10,748
TW	1,592	2,171	1,129	817	384	434	408	274	6,527	682	7,209
TW-R9	892	1,881	969	667	354	404	358	244	5,167	602	5,769
WORLD	5,679	3,576	3,157	1,359	2,298	998	545	345	17,067	890	17,957

注) 地域表示の略号については表3参照

表8 エネルギー消費予測(Mtoe)

2020年低成長ケース

地域	石炭	石油	天然ガス	水力	原子力	新エネルギー	木材	廃物(動植物)	商業エネルギー	非商業エネルギー	計
R 1	1,486	209	404	189	398	291	91	12	2,977	103	3,080
R 2	605	418	232	165	505	95	25	44	2,020	69	2,089
R 3	250	160	140	35	130	29	2	4	744	6	750
R 4	780	420	940	100	450	50	25	10	2,740	35	2,775
R 5	41	287	246	20	33	39	11	19	666	30	696
R 6	260	63	15	46	15	40	202	41	439	243	682
R 7	147	75	34	40	12	34	114	114	342	228	570
R 8	170	80	100	60	40	50	65	73	500	138	638
R 9	480	196	90	60	10	10	110	50	846	160	1,006
R10	170	520	200	288	60	162	40	40	1,400	80	1,480
WIC	2,585	787	776	390	1,043	425	120	61	6,006	181	6,187
IC	3,365	1,207	1,716	490	1,493	475	145	71	8,746	216	8,962
TW	1,024	1,221	685	513	160	325	540	336	3,928	876	4,804
TW-R9	544	1,025	595	453	150	315	430	286	3,082	716	3,798
WORLD	4,389	2,428	2,401	1,003	1,653	800	685	407	12,674	1,092	13,766

注) Mtoe: 石油換算10⁶ t (Million ton of oil equivalent)

なお、地域表示の略号については表3参照

エネルギー需要は発展途上国の増加率が大きく、将来の世界レベルでのエネルギー需給に大きな影響を及ぼすことを示唆している。

4. 2000年～2020年のエネルギー需要予測について

省エネルギー委員会は、1980年以来行なって来た超長期のエネルギー需給予測をとりまとめて円卓会議で発表した。この主要な予測結果を表3～表8に示した。この予測では、世界を10の地域に分け、2000年と2020年について行っている。また、国際間の正常な好ましい協調関係が維持され続けると仮定した経済の高成長ケース（ケースⅠ）と国際間の緊張が増加し、摩擦や力の決定、不確実性が高まるとした低成長ケース（ケースⅡ）の2通りを行っている。世界の人口は、2000年には60億人、2020年には77億人へと増加するが、大部分は発展途上国の増加である。このため、GNPも2020年には、現在の2.2倍～3.3倍と増加するが、人口増加に押されて、一人当たりGNPの先進国と発展途上国との格差（比率）は一向に縮小されないままである。エネルギー消費構造の変化についてみると、石油は次第に減少（特に北米で）し、代って石炭がエネルギー供給の主役を努めることとなり、原子力、天然ガスがこれを補う形で増加する。特に原子力の伸び率は大中である。新エネルギーは2000年以降、かなり急速に普及するものと予想している。地域間の輸出入は、エネルギー源の多様化と中近東の石油輸出余力の減少により、縮小して行くものと予測している。

5. インドの新エネルギー技術開発

インドでは、国産の石油で液化燃料の必要量を賄うこと、原子力開発を推進すること、と共に、太陽エネルギー、風力、バイオマス等の自然・再生可能エネルギーの技術開発にも力を入れている。会議の間に、テクニカル・ビジットとして、これらの自然・再生可能エネルギーのデモンストレーション施設及び研究施設を訪問することができた。ニューデリー郊外のデモンストレーション施設には、太陽電池、風車、太陽熱調理器、メタン発酵プラント、があった。太陽電池は日本のものと同じ外見であり、280Wの出力で、テレビ電源としての展示を行っていた。風力は、写真3に示すように、約7mの鉄塔に、直径約5mの12枚羽根の風車をとりつけたものである。用途はレシプロポンプを動かすかんがい用で、揚程20m、寿命15年、かんがい面積1.5～2.5ha、風車のコスト12,000ルピー（1ルピーは約25円）であり、水の吸上げコストは、5馬力の電動ポンプの $\frac{1}{2}$ 、ディーゼルポンプの $\frac{1}{3}$ であると説明されている。

太陽熱調理器は、写真4に示すような、60cm角くらいの鉄製の箱にガラスのふたと鏡をとりつけたものである。説明によれば、120～



写真3 かんがい用風車ポンプ



写真 4 太陽熱調理器

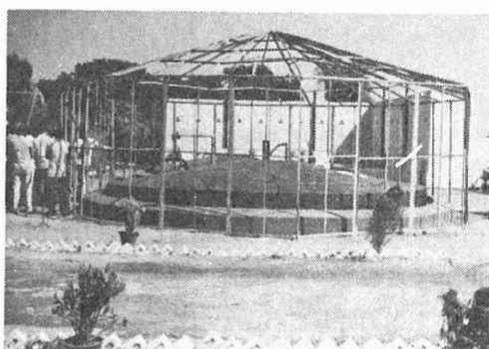


写真 5 メタン発酵プラント

140°Cくらいの温度で調理するものに広く使うことができ、調理時間は1.5～3時間とのことである。そして、最低限、既存の燃料の30%は節約でき、1つの調理器で年間、まきなら600kg（180ルピー）、石炭なら500kg（500ルピー）、灯油なら285リッター（513ルピー）、LPGなら90kg（300ルピー）が節約できるとしている。値段は、1セット（4個のナベ付き）で、370～450ルピーとのことである。これは、政府の150ルピーの補助金を差引いた後の価格である。メタン発酵

プラントは、写真5に示すような発酵槽が3基あり家畜や人の生活廃棄物及び農業の廃棄物を集めて運転しているものである。1日の発酵能力144m³で、現在、72戸へガス供給をしている。1日6時間の供給で、1カ月75ルピーである。肥料は年間500トン生産する。このほか、メタンガスを利用する7.5kWのガスエンジン発電機が1台あり、これを時々動かして、電球に点灯するデモを行っていた。

市内の政府の技術研究所(Indian Institute of Technology)は、代表的な総合技術研究所である。ここでは、あらゆるエネルギー技術の研究を実施しているが、我々は、太陽電池、太陽熱利用施設（温水器、空気加熱器、淡水化装置、冷房装置）及びメタンガスエンジンの研究施設を見ることができた。太陽電池は、我が国の研究施設で実験されているものと同様のものを用いて、太陽の方向追尾を含めた発電実験を実施していた。太陽熱利用は、我が国が暖房、給湯が中心であるのに対し、インドでは、温水器の中で蒸発した水が、温水器表面のガラス板で凝縮して真水になる淡水化装置や野菜や果物のスライス等を乾燥させるための空気加熱器または温水で吸収式冷凍機を動かす冷房装置等を研究しているのが特徴的であった。また、バイオマスの発酵等より得られるメタンガスを効率良く動力に変換するためのガスエンジンの研究が相当大規模な設備(数10～数100kW級)を作って行われていた。(さいとう はるみち プロジェクト試験研究部長、副主席研究員)

欧州における新型電池および電力貯蔵の開発

— 海外調査報告 —

田 辺 義 雄

はじめに

最近の電力需要における負荷率の低下傾向、原子力発電比率の増大傾向を反映して、電力負荷の平滑化、いわゆるロードレベリング用としての電力貯蔵技術が注目されている。すでに通産省工技院のムーンライト計画の一環として、「新型電池電力貯蔵システム」の研究開発が進められている。

当研究所においても関西電力(株)から委託を受け、57年度より電力貯蔵技術の調査研究を開始しており、57年度は各種電力貯蔵方式の全般的調査・評価、ならびに超電導コイル電力貯蔵システムのフィージビリティスタディを実施した。さらに今年度はムーンライト計画や米国のBEST (Battery Energy Storage Test) 計画で開発されている新型電池を中心として、これらの電池の評価を行っている。

本海外出張は、以上の事情により次の点を中心に調査を実施した。

- (1) フランスのグルノーブルで開催された 8th International Conference on Magnet Technology (略称MT-8) において、57年度の成果、すなわち超電導コイル電力貯蔵システムについて発表

すると共に、欧州の超電導コイル電力貯蔵システムに対する考え方を把握する。

- (2) 58年度の研究との関連から新型電池を中心として、広く欧州の電力貯蔵の現状を調査する。

本稿においては、今回調査した電力貯蔵技術、すなわち、新型電池、超電導コイル、圧縮空気電力貯蔵について、若干の技術的解説を含めて、欧州の動向について述べる。

1. 調査活動の概要

今回の調査の参加者は、大成建設(株)技術開発部の宮崎弘志氏と筆者の2名であった。出張期間は9月3日より9月17日で、訪問先および訪問目的は表1に示す通りである。なお、宮崎氏はMT-8、カールスルーエ原子力研究センター、北西ドイツ電力会社フントルフ圧縮空気ガスタービン発電所のみ同行をお願いし、その他は独自にエジンバラ大学の波力発電システム(英国)とグロービアン3000kW大型風力発電施設(西独)の調査を実施された。

表1 調査日程

月日 (曜日)	訪問先・面会者	訪問目的
9月5日(月)	CSPL社 (Chloride Silent Power Limited) (英国) Dr. Wynn Jones General Manager Allan Gibson, 他	ナトリウム・硫黄電池の研究開発に関する技術調査
9月6日(火)	CGE社 (Compagnie Generale d'Electricite) (仏国) マルコーシ研究所 Jean-Paul Pompon, 他 電気化学部門責任者	同上
9月7日(水) 9月9日(金)	8th International Conference on Magnet Technology (MT-8) グルノーブル (仏国)	超電導技術の現状調査, 筆者らの論文発表は9月8日(木)
9月12日(月)	カールスルーエ原子力研究センター (西独) Prof. Dr. P. Komarek 技術・物理研究所副所長 Dr. A. Ulbricht, 他	西独の超電導技術のセンター, 超電導コイル電力貯蔵の考え方, 超電導関連技術の現状調査
9月13日(火)	BBC社 (Brown Boveri & Cie) (西独) Dr. W. Fischer エネルギー用蓄電池プロジェクト長 Dr. H. Kahlen 電気自動車プロジェクト長	ナトリウム・硫黄電池の研究開発に関する技術調査
9月14日(水)	ジーメンス社 (西独) Dr. H. Cnobloch レドックスフロー電池責任者 Dr. K. Höhne H ₂ /Br ₂ 電池責任者 W. Eisel } C. Albrecht } LCTコイル担当者	<ul style="list-style-type: none"> レドックスフロー電池の研究開発に関する技術調査 同社の超電導技術の現状調査
9月15日(木)	北西ドイツ電力会社 (西独) フントルフ発電所 P. Maaß フントルフ発電所所長 C. Herbst 前フントルフ発電所所長 F. Crotogno KBB社* * KBB (Kavernen Bau-und Betriebs GmbH) は空洞掘削会社	世界で唯一の圧縮空気による電力貯蔵プラント, 稼働状況の現状調査

2. 新型電池開発の現状

これら4社の開発状況をまとめて表2に示す。

今回訪問したメーカーは、CSPL社 (Chloride Silent Power Limited, 英国), CGE社 (Compagnie Generale d'Electricite, 仏国), BBC社 (Brown Boveri & Cie, 西独), ジーメンス社の4社である。これらのうち、前3社はナトリウム・硫黄電池、ジーメンス社はレドックスフロー電池を開発している。

2.1 ナトリウム・硫黄電池の原理

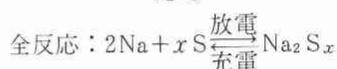
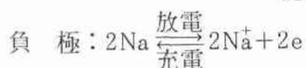
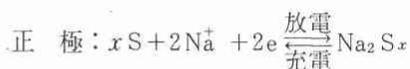
この電池は正極に硫黄、負極に金属ナトリウムを高温 (350℃程度) の融解状態で使用するもので、電池反応は下記の通りである。⁽¹⁾

(1) 小沢丈夫：野崎健，燃料電池とその応用，(オーム社)

表2 欧州における新型電池開発状況

項目	ナトリウム・硫黄			レドックスフロー
	CSPL(英)	CGE(仏)	BBC(西独)	Siemens(西独)
開発予算	3.85億円(49%が政府補助)	2億円	14億円(40%が政府補助)	約7,400万円
開発に従事している人員	約30人	約15人	約120人	4人
他社との関係	米国GE社とLL用(BEST施設用)で共同開発	—	—	—
電池集合規模	—	—	14kWh×2台	200W
単セル容量	200Ah (EV用) 600Ah (LL用)	260Ah (EV用)	最大110Ah (EV用)。ただし現在はEV用として40Ahを集中的に開発中	50W
エネルギー密度	160Wh/kg (200Ahセル) 360Wh/l	245Wh/kg (260Ahセル)	210Wh/kg (110Ahセル)	
寿命(サイクル)	max 3,316	74 運転中	Av. 700	
効率(%)	70~80	68.7		
用途	EV	EV	EV(LL)	Solar

(注) EV:電気自動車, LL:ロードレベリング



放電時負極で生じた電子(e)は外部回路を経て正極へ行き、硫黄(S)を還元する。またナトリウムイオン(Na⁺)は同イオンの導電性を有する固体電解質(βアルミナまたはβ'アルミナ)と組成、構造のやや異なるβ''アルミナ)を通して正極へ移動し、S_x²⁻イオンと反応してNa₂S_xを生成する。充電機構はこれと逆過程となる。

同電池は、運転温度が約350℃と高く熱制御システムが必要であるが、その理論エネルギー密度は760Wh/kg(鉛電池では167

Wh/kg)と高く、軽量小型化が要求される分野(たとえば電気自動車等)に有望である。

図1はCSPL社の電池の概念図である。同図の例は、我国や諸外国で開発中の電池の構成とは逆、すなわち固体電解質管の内側が硫黄(正極)、外側がナトリウム(負極)となっているが、動作原理は他メーカーの電池と全く同一である。

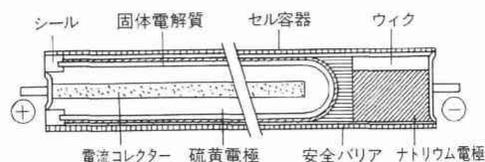


図1 CSPL社のNa/Sセル概念図

この電池は、我国をはじめとして各国で精力的に開発が進められているが、主な技術開発課題をまとめると次の通りである。

- ①寿命性能の向上……固体電解質管の改良、
電極の耐腐食性等
- ②貯蔵エネルギー密度、エネルギー効率の向上……大型固体電解質管の採用等
- ③安全性、信頼性の向上…… α アルミナ（絶縁物）と β または β'' アルミナ（固体電解質）との接合法の改良、Na封入法の改良、等
- ④システムとしての熱効率の向上……断熱性能の向上等
- ⑤原価の低減

2.2 欧州のナトリウム・硫黄電池の開発

欧州では、前述の3社、すなわちCSPL社、CGE社、BBC社が同電池の開発を手懸けているが、いずれも電気自動車用が主体である。

CSPL社は、ナトリウム・硫黄電池開発専門のベンチャービジネス会社で、表2に示すように、米国GE社と共同で世界最大の600Ahセル（電力貯蔵用）を開発している。ただ、同社は完全にセルメーカーに徹しており、電池システム全体まで手を広げる意志はないようで、さらに大型の β'' アルミナ管を作ってセルの大型化を志向している。確かに、GE社との関係においてもCSPL社はセルを供給するのみで、GE社が集合電池として組上げている。

この点、BBC社の立場は全く逆で、大型のセルを開発するというよりも、むしろセル容量は小型（現在40Ahセル）でもよいから電池システムとしてまとめたいとしている。

現に、40Ahを4並列、56直列した14kWh集合電池の製作を完了し、これを2台車に載せて（28kWh集合電池）フリートテストを来年予定している。米国フォード社では既に同規模の電池を搭載したフリートテストを社内ですべて実施中と伝えられ、BBC社も約120人という研究者を投入してフォードに肉薄している。さらに同社は電気自動車専用の直流モーターも開発しているとのことで、総合電気メーカーの特徴を発揮して、電子機器を含む電気自動車の全体システムを開発しようとする姿勢がうかがえる。

これら2社に対してCGE社はもう一つ迫力に欠ける。同社は70年代は米国GE社の委託でナトリウム・硫黄電池の研究を実施していたが、はかばかしい成果が得られず、GE社はCSPL社に乘換えたという経緯がある。このような経緯があるためか、CGE社の研究者はCSPL-GEの関係には強い関心を持ってはいるが、筆者の私見では同社は未だ基礎研究の段階で、実力的には相当遅れていると判断される。

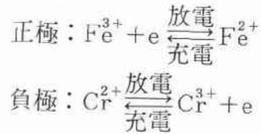
なお、欧州では基本的にはナトリウム・硫黄電池を電力貯蔵用に適用することは考えていないようで、GE社用に電力貯蔵用セルを開発しているCSPL社でさえ、単独では電力貯蔵用セルを開発する意志はないと明言している。

2.3 レドックスフロー電池の原理とジューメンス社の開発現状

レドックスとは還元（reduction）、酸化（oxidation）の意味で、レドックス水溶液をポンプにより流通型セルに供給して充放電させる方式の電池をいう。この電池に使用する

るレドックス系とは、溶液中で Fe^{3+} と Fe^{2+} のように異なる酸化状態をとり得る化学種であり、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ のように書き表される。

たとえば、正極液として $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 塩酸溶液、負極液として $\text{Cr}^{2+}/\text{Cr}^{3+}$ 塩酸溶液を用いると、電池反応は次のようになる。⁽¹⁾



負極で生じた電子(e)は外部回路を経て正極へ行き、Fe又はCrの塩酸溶液中のCl⁻がイオン交換膜を通して、放電時はFe側よりCr側へ、充電時はCr側よりFe側へ移動する。

この電池は我国が最も進んでおり、電総研が1kW電池で世界最高のデータを出している。一方、米国ではNASAが開発を進めていたが、1983年度にDOEよりの資金が打切られ、またNASA独自の資金充当の計画もないといわれ、研究は中止されたと思われる。

筆者が訪問したジューメンス社は、約2年前より太陽電池に組合せるFe-Crレドックスフロー電池の開発を進めている。最近50Wセルを4層積層した200W電池が組上がり、まもなく試験が開始されることになっている。日本の成果には特に注目しており、最も重要な材料であるイオン交換膜を日本から購入しようとしたこともあるが、日本側からよい返事がもらえなかった由である。

3. 超電導コイル開発の現状

超電導コイル技術関係では、MT-8会議、カールスルーエ原子力研究センター、ジューメンス社で、超電導コイル開発の現状、超電導

コイルによる電力貯蔵に対する考え方等を議論した。

3.1 超電導コイル開発の現状

世界的にみて、超電導コイル開発の傾向は、大型化、高磁界化、高精度化であろう。大型化は、核融合装置用大型超電導コイルの開発を目指したLCT(Large Coil Task)プロジェクトに代表され、また高磁界化は磁界の弱いコイルの外側に超電導コイル、磁界の強いコイルの内側に常電導コイルを配置したいわゆるハイブリッドコイルが主流で、20~30Tesla*の強力な磁界を発生させ、種々の物性研究や超電導線材開発に利用するものである。さらに高精度化は加速器用ダイポールマグネットや医療用NMR-CT(Nuclear Magnetic Resonance Computed Tomography、核磁気共鳴とコンピュータ画像処理を組合せた人体断層写真装置)のための超電導コイルに代表されよう。

筆者らが参加したMT-8会議でも、これらについて多くの発表があった。その他のマグネット応用分野、すなわち、超電導交流機、HGMF(High Gradient Magnetic Filtrationの略で、磁気によるフライアッシュ等のろ過)、磁気浮上、電力貯蔵等についても発表があり、参加者も500人を越えたと思われる。日本からも筆者らを含めて約20人が参加した。

前述のLCTプロジェクトはIEA協定のもとで米国DOEが推進しており、図2に示すような内径2.5×3.5mのD型トロイダルコイルを6個配置して、米国オークリッジ国立研究所で1984年より試験されることになっ

(注) * 1 Tesla = 10 kGauss

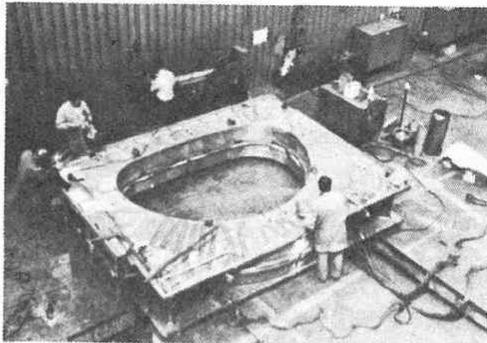


図2 LCTコイル組立状況

ている。6個のコイル全体の蓄積エネルギーは約900MJouleとなり、現状では世界最大の規模となる。6個のコイルのうち3個は米国(GE, WH, GD (General Dynamics)の3社)、日本、ユーラトム、スイスが各1個ずつ製作を担当した。

筆者が訪問したジューメンス社はユーラトムの分のコイルの製作会社であり、またカールスルーエ原子力研究センターは同コイルの国内試験を担当している。ジューメンス社では現在リーク試験等常温での試験が完了しており、まもなくカールスルーエ原子力研究センターへ搬入されることになっている。カールスルーエ原子力研究センターにはTOSKAと称される国内試験装置が既に完成しており、コイルが搬入されれば直ちに試験が開始できる体制にある。

高磁界マグネットを所有したいという要望は世界中で強く、欧州においても例外ではない。MT-8会議のスポンサーの一つである高磁界マグネット研究所(所在地はグルノーブル)も、30Teslaの磁界を発生できるハイブリッドコイルを建設中で、1984年に運転開始の予定である。現在世界最高の磁界は米国マサチューセッツ工科大学(MIT)の29

Teslaであり、上記のマグネットが完成すると、欧州の研究者のメッカ的存在になると思われる。

3.2 超電導コイルによる電力貯蔵

筆者らはMT-8会議において、関西電力(株)、当研究所、東芝、大成建設(株)の連名で論文3件を発表した。内容は10GWhのトロイダル型超電導コイル電力貯蔵システムの概念設計に関するもので、コイル構造を含む全体レイアウト、岩盤の強度解析等を中心に説明した。

質問はトロイダル型選択の理由、コイルや岩盤構造に関する内容が多かったが、特に米国のウィスコンシン大学、ローレンスバークレイ研究所の研究者は大きな興味を示した。他方、欧州の研究者は、欧州ではという限定つきではあるが、超電導電力貯蔵システムに対して否定的意見が大勢を占めた。彼らの意見や、後日訪問したカールスルーエ原子力研究センターやジューメンス社での意見をまとめると次の3点となる。

- ①夏期と冬期、夏期の昼と夜等の電力需要の負荷率は日本程低くない。たとえば、西ドイツの例では表3の通りである。
- ②欧州では電力融通のための国家間のインターコネクションが発達しており、いくつかの融通組織がある。UCTTEが欧州では最大であるが、図3に示すように、UFIPTE, NORDEL, SUDEL, CMEA等の組織があり、各組織内はもちろん、各組織間でも弾力的に電力融通が行われている。さらに各国間で時差もあることから、ピーク対応は比較的楽である。
- ③超電導コイルによる系統安定化も米国では

表3 西ドイツの負荷変化の典型的例

summer P max	winter / P max	summer P min	summer / P max	winter P min	winter / P max	sunday P	working / P
0.85		0.65		0.8		0.6-0.67	

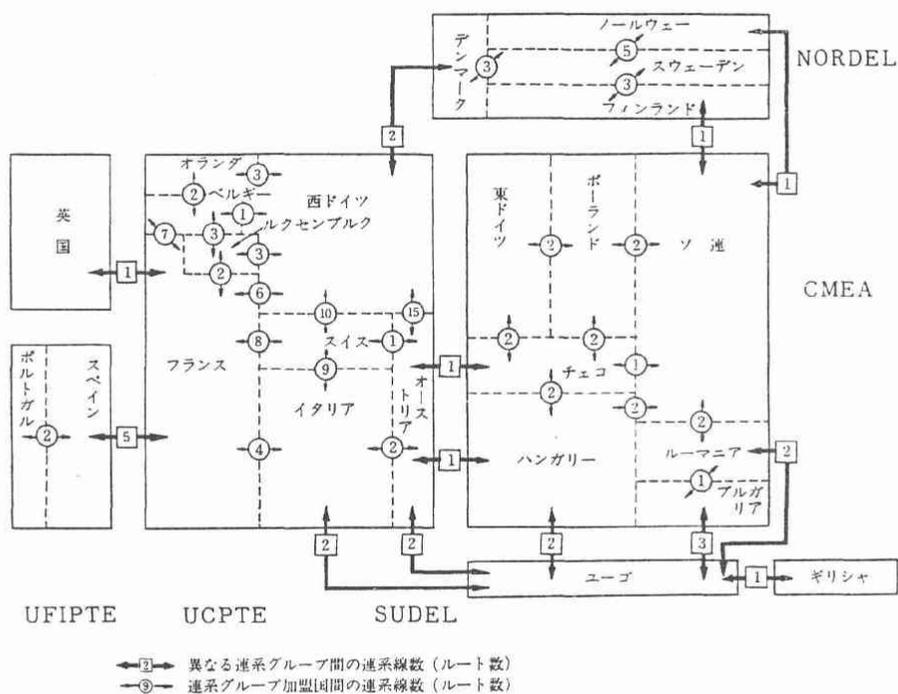


図3 欧州の電力融通組織

例がある（B P A (Boneville Power Administration) とロスアラモス研究所で共同開発された電力振動抑制用超電導コイル) が、欧州では系統が上記のように細かいネットワークとなっているので不要である。

このような意見から判断すると、欧州においても電力貯蔵技術は必要ではあるが、日本の様に緊急の課題と考えておらず、ましてや超電導のような将来技術を現時点で電力貯蔵用の候補とする必要はないと判断していると

推定される。

4. 圧縮空気による電力貯蔵

4.1 圧縮空気電力貯蔵の原理

圧縮空気による蓄エネルギーは、当然のことではあるが次式で表われる。

$$U = PV$$

U : 貯蔵エネルギー (joule)

P : 貯蔵圧力 (パスカル)

V : 貯蔵容器の容積 (m³)

上式のうち、Pが一定でVが変化するものを定圧貯蔵、逆にVが一定でPが変化するものを定容貯蔵と称している。定圧貯蔵は、圧力を補償するための設備が必要で建設コストは高くなるが、定容貯蔵より効率がよい。定容貯蔵は単に空洞があるのみで、空気を使用するに従って圧力が低下していくので多少効率は悪いが、コスト的には安く、筆者らが訪問したフントルフ発電所は本方式を採用している。なお、現在建設中と伝えられる米国イリノイ州ソイランドの圧縮空気発電所は定圧貯蔵方式を採用している。

4.2 フントルフ圧縮空気発電所

同発電所は1978年に運開し、現在世界中で稼動している唯一の圧縮空気発電プラントである。同発電所の所有会社である北西ドイツ電力会社は北ドイツ一帯（人口は約460万人）に電力を供給しており、原子力の比重が高いこと（現有設備容量で45%）、供給区域が平地のため水力がなく、ピーク負荷用にガスタービンを多用している（設備容量で13%）ことが特徴である。フントルフ発電所は同社の特徴を有効に生かす、すなわち、ピーク負荷に対して原子力で貯えられたエネルギーを使うこととガスタービンプラント効率向上を図る、という目的で建設された。

同発電所の主仕様は表4に示す通りで、定格出力は29万kW—2時間である。ガスタービン、電動/発電機はBBC社、コンプレッサはズルツァ社、岩盤空洞はKBB（Kavernen Bau-und Betriebs）社がそれぞれ製作を担当した。

建設費は空洞まで含んで1億3千万ドイツマルク（DM）（448DM/kW≒41,200円/

表4 フントルフ発電所の主仕様

ガスタービン	
出力	290MW
速度	3,000 rpm
空気流量	417kg/s
高圧タービン入口圧/温度	40kg/cm ² /550℃
低圧タービン入口圧/温度	10kg/cm ² /825℃
低圧タービンの排ガス温度	395℃
熱消費量	1,393 kcal/kWh
燃料	天然ガス
発電機	
見掛け出力	341MVA
力率	0.85
電圧	21kV
速度	3,000 rpm
クーラント（回転子）	水素
コンプレッサ	
2台の所要電力	60MW
低圧コンプレッサのタイプ	軸流
速度	3,000 rpm
吸入温度/圧力	10℃ / 1,013kg/cm ²
空気流量	108kg/s
高圧コンプレッサのタイプ	輻流
速度	7,622 rpm
圧縮後の状態	46~66kg/cm ² /50℃
中間クーラ数	3
アフタクーラ数	1

kW)で、現在の日本の揚水発電所が15万円/kW程度であることを考えると、運開年次が1978年であったとしても相当安いように思われる。これは、後述するように空洞の建設費が格安であることも一因である。

岩塩空洞は地下650m（岩塩層が地下500m以上でないと存在しないこと、岩塩層の耐圧のためこのように深い）の所に15万m³の空洞が2つ、計30万m³の容積がある。岩塩層は真水を注入して塩を融かし、塩水を汲上げるといいうゆるブライン工法で製作が可能で掘削費が非常に安い（50DM/m³（4600円/m³）、

現在の日本の岩盤掘削費は深度にもよるが、約4万円/㎡程度)。さらに岩塩は自己修復性があり、空洞の気密性が保持しやすいという利点がある。圧縮空気の圧力は充填時70気圧で、放出時には最低50気圧まで低下する。

ガスタービン、電動/発電機、コンプレッサは図4に示す配置で、これらの主仕様は表4に示す通りである。圧縮空気貯蔵時には、図4中の⑥(以下の番号はいずれも図4中の番号に対応する)のカップリングが外され、④のカップリングが連結され、⑤は同期電動機となり、①および②の2台のコンプレッサが駆動される。逆に発電時には、④のカップリングが外され、⑥のカップリングが連結され、⑤は同期発電機となり、空洞から放出された圧縮空気は天然ガスを高圧燃焼室⑧内で燃焼させるために用いられ、ガスタービン⑦

を駆動する。以上の切換運転は、約100km離れたハンブルグの北西ドイツ電力会社の変電所から完全に遠隔操作されている。

発電時の天然ガス消費熱量は1393kcal/kwh(表4)であり、ガスタービンの見掛け上の熱効率は $860/1393=62\%$ と相当向上しており、天然ガス消費量の低減が図れている。

運転回数は昨年は180回であったが、発電時間は最大で2時間、平均すれば1回1時間位で、稼働率からいえば180時間/8760時間 $\approx 2\%$ とかなり低い。同発電所は通常運転時は定格まで11分を要するが、緊急時には6分で定格(3分で同期、33%/分の割合で定格)までもっていけるとのことである。

プラント効率は約40%で、従来のピーク用ガスタービンプラントと比べて約10%向上してはいるが、たとえば揚水発電のプラント効

- ① 高圧コンプレッサ
- ② ドライブ
- ③ 低圧コンプレッサ
- ④ カップリング
- ⑤ 電動/発電機
- ⑥ カップリング
- ⑦ ガスタービン
- ⑧ 高圧燃焼室
- ⑨ 低圧燃焼室
- ⑩ 排気煙突

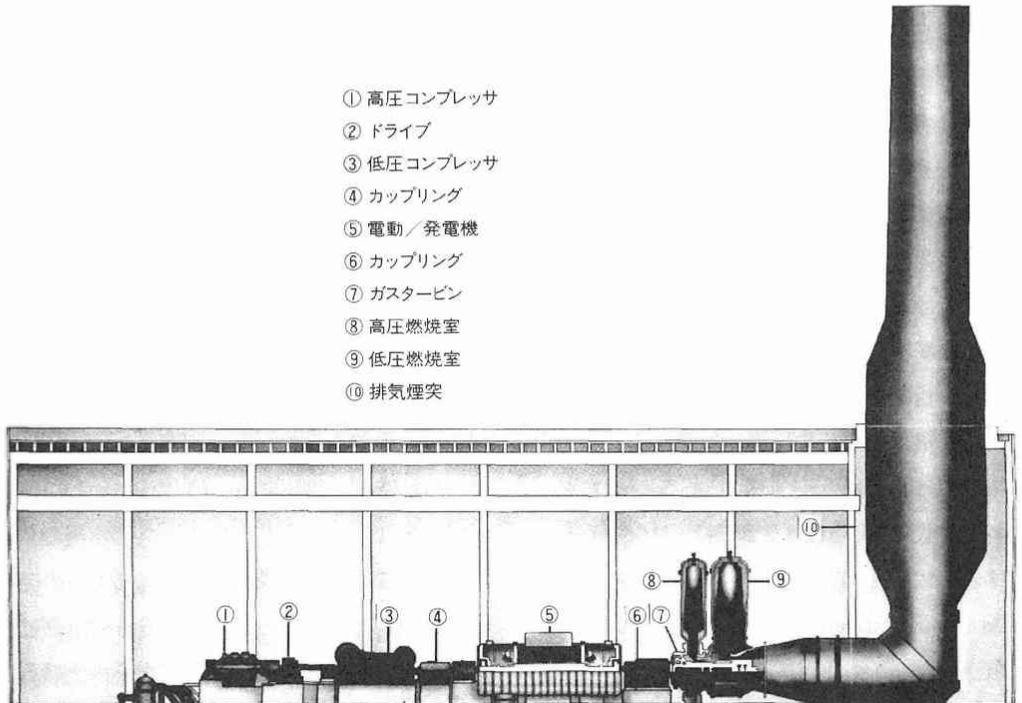


図4 フントルフ発電所機器配置図

率約70%と比べると決して高くはない。しかし、プラント効率向上のメリットは当然として、前述のように圧縮空気貯蔵用に発電単価の安い原子力が利用でき、高価な天然ガス消費量を減らせることは有意義である。なお、現在低圧タービンの排ガス温度は約400℃であり、これの有効利用が図られれば、さらに効率が向上する可能性がある。

同発電所の発電コストについても興味ある点ではあるが、明確な回答が得られず、北西ドイツ電力会社側もはっきりと把握していないようであった。

おわりに

以上、欧州の事情を中心として、電力貯蔵技術開発の現状を概観した。欧州において注目すべきは新型電池であろう。主体が電気自動車ということで我国とはやや事情を異にするが、脱石油という大目標のもとに官民一体となった開発意欲が感じられる。

欧州の大型超電導コイル開発は、我国と同様に核融合が主体となっており、電力貯蔵用は核融合以後の大型技術と位置づけられよう。しかし、電力貯蔵用特有の問題もあり、核融合における進展をにらみながら、電力貯蔵用としての応用についても今後より一層の検討

が必要と考えられる。

さらに、圧縮空気電力貯蔵については、我国では適地に恵まれないという事情があり、導入は容易に進まないというのが実情と考えられるが、興味深いシステムでもあり、今後の動向を注意深く見守る必要がある。

一口に電力（またはエネルギー）貯蔵といっても、その範囲は広く、本稿で述べた分野は電気エネルギー（新型電池）、電磁エネルギー（超電導コイル）、圧力エネルギー（圧縮空気）に限られている。しかし、顕熱および潜熱蓄熱等の熱エネルギー、水素（金属水素化合物）等の化学エネルギー、フライホイール等の運動エネルギーによる蓄エネルギー技術についても、現在種々の研究開発が行われていることは周知の通りである。将来的には、これらの貯蔵技術はそれぞれの特徴を生かした分野で活用される可能性が大きく、今後の精力的な開発に期待する所が大である。

最後に、本調査に際し、関西電力(株)総合技術研究所の清水雅之主任研究員、新エネルギー総合開発機構(NEDO)の木下裕道主査をはじめとして、日本IERE会議、新エネルギー財団、海外電力調査会、東京芝浦電気(株)、その他各位から種々の御助力と御配慮をいただいたことに対し、深く感謝の意を表します。(たなべ よしお 主任研究員)

フォールトツリー解析プログラム “SFTAC”の開発

下 岡 浩

1. はじめに

近年、原子力発電所、化学工場、航空・宇宙機器など大型で複雑なシステムが作られているが、システムが大型化するにつれて評価すべき災害も大型化し、災害原因も複雑化している。したがって、システムの安全性を評価する適当な安全解析の手法が必要とされてきた。安全解析は主にシステムの設計時に、合理的・経済的な設計や保守の方法を決定する目的で行なうが、事故発生後にその原因を解析し対策をたてる場合やシステムの稼動中に安全性の検討を行なう場合にも使用される。

安全解析手法の1つであるFTA (Fault Tree Analysis) は、1961年にベル電話研究所で開発され、1975年に原子力プラントの安全性を求めたWASH-1400で広く使用された、安全解析の最も優れた手法の一つである。FTAとは、事故原因を構成する各要素の関係を図化すると木 (Tree) のようになることからこの名が付けられた。FTAは望ましくない事象 (結果) を引き起こす事象 (原因) を追求する演繹的手法であり、下記の利点がある。

- (1) 事故の発生確率を定量的に求められる。
- (2) 事故の原因を明らかにし、それを図示

できる。

- (3) 解析の程度による融通性がある。

ただし、FT (Fault Tree) が大きくなると計算が複雑になり計算機の使用が必要になる。そこで、1970年以降、各種の計算プログラム類が開発されFTAが容易になったが、それらの機能にはいくつかの問題点や限界がある。したがって、当研究所では、従来のプログラムの問題点を考慮し、特に大きなFTの解析を可能とする計算プログラムとして、計算時間の短縮とデータ量の増大を考慮しSFTACを開発した。以下にその概略を紹介する。

2. FTAの手順

FTAは解析する事故から出発してその原因に到達する演繹的解析法である。この手法は事故に対して“how” (どのような原因又はその組み合わせにより起こるか) と、“how often” (どの程度の頻度で起こるか) に解答を与える。これに対して、ETA (Event Tree Analysis) 等の安全解析手法は原因から出発して事故に到達する帰納的解析法であり、“what if” (もし故障があればどのような事故になるか) に解答を与える。

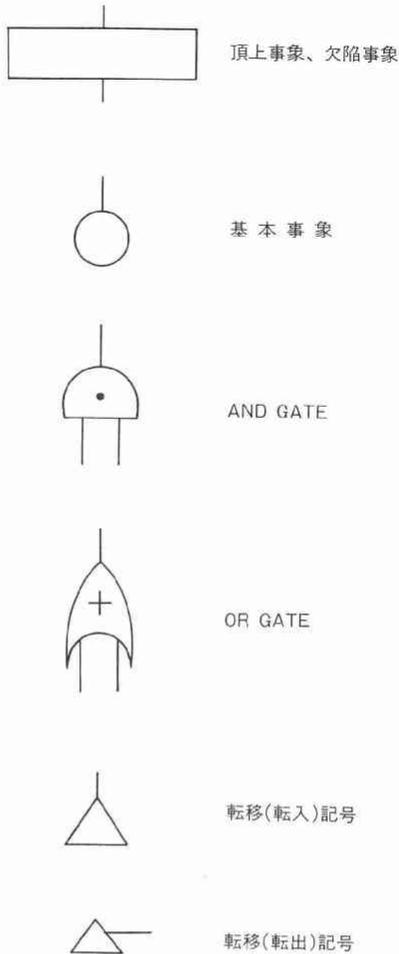


図1 F T の記号

一般的な F T A は下記に示す手順で行なう。

- (1) F T を作成する。
- (2) 基本事象の生起確率を決定する。
- (3) 解析を実行する。
- (4) 計算結果を検討する。

F T は事象の発生をもたらす事象を結合して得られる演繹的な構造の論理ダイアグラムであり、具体的には下記の方法で作成される。

1. 解析する事故を決定する。
2. 解析するシステムの内容を把握する。
3. 事故(頂上事象)の直接原因(欠陥事象)を2段目に並べて頂上事象との間を G A T

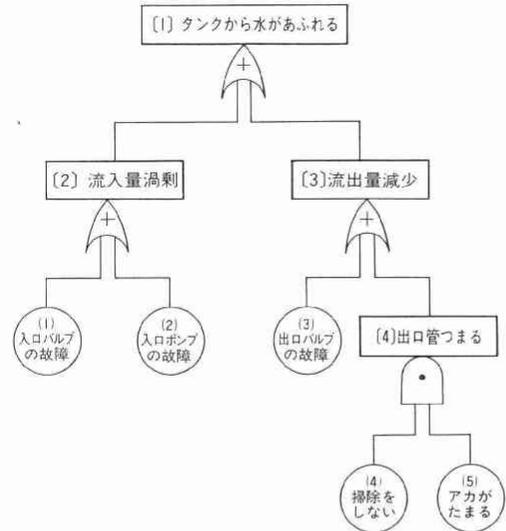


図2 タンクから水があふれる事故の F T

E で結ぶ。

「欠陥事象が全て生じた時に頂上事象が発生する場合は AND GATE」

「欠陥事象の1つが生じた時に頂上事象が発生する場合は OR GATE」

4. 欠陥事象の直接原因(欠陥事象)を3段目に並べて2段目の欠陥事象との間を G A T E で結ぶ。
5. 上記の作業を基本的な故障・エラー(基本事象)になるまで繰り返す。

F T では上記の(頂上事象)、(欠陥事象)、(基本事象)、(AND GATE)、(OR GATE)等を図1に示す記号で表わす。そして、上記の方法で求めた F T の例を図2に示す。

F T を求めた後の解析には大別して、基本事象と頂上事象の構造的関係・性質を求める定性的解析と発生確率や重要度を求める定量的解析がある。

3. F T Aにおける定性的解析の方法

F T Aにおける定性的解析とは主にM C S (Minimal Cut Sets)を求めることである。M C SとはF Tの頂上事象を起こすための必要にして十分な基本事象の集合であり、頂上事象の発生確率やF Tの特性を求めるために必要となる重要な概念である。ここで、M C Sの構成基本事象を(A, B, C)とすると頂上事象は基本事象A, B, Cが全て発生すれば起きる。つまり、M C Sが求められれば、どの基本事象又はその組み合わせによりシステムの事故が発生するかが定性的に明らかになる。したがって、構成基本事象数の小さなM C Sは定性的に事故を起こしやすく、その構成基本事象は定性的に事故の原因となりやすいと考えられる。さらに、多くのM C Sに含まれる基本事象も、定性的に事故の原因となりやすいと考えられる。

しかし、大規模なF TではM C Sの数が100万を越えることもあり、その導出には計算機の使用が必要になる。M C Sを求める方法には大別して2種類の方法がある。それは、F TがAND GATEとOR GATEで作られていることから、ブール代数を用いて解析的に求める方法と、実際に基本事象を生起させ頂上事象の発生の有無から求めるシミュレーション法である。ブール代数を用いる方法にはF Tの上部から求めるトップダウン法と、F Tの下部から求めるボトムアップ法があるが、S F T A CではFUSSELLの方法にもとずいたトップダウン法を用いた。FUSSELLの方法とは「AND GATEではC S (Cut Sets)の長さ(構成基本事象数)を増加させ、OR GATEではC Sの数を増加させ

る」という性質を利用した方法であり、M O C U Sと呼ばれる計算プログラムで用いられている、M C Sを求める最もすぐれた手法の一つである。

FUSSELLの方法でまず求められるC SはB I C S (Boolean Indicated Cut Sets)と呼ばれ、M C Sを包含するC Sの集合であるため、M C SでないC Sを包含関係により削除し、M C Sを求める。例えば、基本事象を1, 2, ……とするとB I C Sが(1, 2, 3)と(1, 2, 3), (1, 2, 3, 5, 6)の場合、(1, 2, 3)と(1, 2, 3, 5, 6)を削除し、(1, 2, 3)をM C Sとする。

ここで、M C Sの数が多い場合、頂上事象の発生確率などを求める計算では計算時間が長くなるため、計算時間短縮の方法として重要でないM C Sを削減する方法や Minimal Pass Setsを求める方法などがある。M C Sを削減する方法には、大別してM C Sの長さにより削減する方法と、M C Sの生起確率により削減する方法とがあるが、S F T A Cでは下記の3通りの方法を用いた。

- (1) 長さがY以上のC Sを削除
- (2) 長さがY以上のC Sと生起確率が0のC Sを削除
- (3) システム作動後10,000時間(約1年)における生起確率が 10^{-Y} 乗以下のC Sを削除(Y:削除の足切り値)

S F T A Cでは計算時間の短縮のために上記のC Sの削減手順(包含関係による削除や長さとし生起確率による削除)をB I C S導出の途中(C SにGATEと基本事象が混在している状態)でC S数がX(X:指定した数字)を越えた場合に行なった。この方法は、B I C S導出の途中における包含関係は導出

後も変わらない，さらにCSの長さは決して短くならない，生起確率（基本事象のみを考慮）は決して大きくならないという性質を利用している。もし，削除後のCS数がX以上の場合，削除の足切り値YをY-1にして再び削除を行い，CS数がX以下になるまで繰り返す。

4. FTAにおける定量的解析の方法

FTAにおける定量的解析とは主に頂上事象の発生確率及びMCSや基本事象の重要度を求めることであり，この定量的解析の可能であることがFTAの特徴である。頂上事象の発生確率からシステムの事故発生が定量的に明らかになる。又，重要度からどの基本事象又はその組み合わせによりシステムの事故が発生するかが定量的に明らかになる。

FTAにおける定量的解析を行なう場合に，必要となる信頼度と保全度について説明する。システムの事故の発生確率は機器等の信頼度と保全度から計算される。機器の信頼度は時間の経過とともに低下し，故障率は老化とともに上昇するが，保全を伴う系の信頼度は，保全のない系の信頼度と異なり，故障しても修理により正常に回復するので，その取り扱いや考え方も異なる。

故障しやすさを表わす信頼度は，一般的には，

cumulative failure distribution function :

$$F(t),$$

failure probability density function :

$$f(t),$$

failure rate : $r(t)$,

MTTF (Mean Time to Failure) 等で表

わされる。その定義を次に示す。

$F(t)$: 時刻 t において故障状態にある確率

$f(t)$: 時刻 t において単位時間で故障する確率 ($= dF(t)/dt$)

$r(t)$: 時刻 t において正常状態にあるものが単位時間で故障する確率 ($= f(t)/(1-F(t))$)

MTTF : 正常状態から故障状態になる平均時間 ($= \int_0^{\infty} t f(t) dt$)

正常状態から故障状態になる場合の信頼度に対して，故障状態から正常状態になる場合，つまり，修理しやすさを表わす保全度は，一般的には，

cumulative repair distribution function $G(t)$,

repair probability density function $g(t)$

repair rate $m(t)$,

MTTR (Mean Time to Repair) 等で表わされる。その定義を次に示す。

$G(t)$: 時刻 t において正常状態に回復している確率

$g(t)$: 時刻 t において単位時間で修理する確率 ($= dG(t)/dt$)

$m(t)$: 時刻 t において故障状態にあるものが単位時間で修理する確率 ($= g(t)/(1-G(t))$)

MTTR : 故障状態から正常状態になる平均時間 ($= \int_0^{\infty} t g(t) dt$)

修理可能なシステムでは信頼性と保全性を考慮する必要があり， $F(t)$ と $G(t)$ を総合した広義の信頼性を表わす尺度として，「システムあるいは装置がある規定の条件下で使

用された時、任意の時点において満足に動作しない確率」として定義される unavailability $Q(t)$ を用いる。修理不可能なシステムでは保全度の寄与がなくなって $Q(t) = F(t)$ となる。

さらに、 $f(t)$ 、 $g(t)$ に対応する量として単位時間で故障する確率を表わす、unconditional failure intensity : $w(t)$ 、unconditional repair intensity : $v(t)$ 、がある。SFTAC では、頂上事象の発生確率として、この $Q(t)$ 、 $w(t)$ 、 $\lambda(t)$ を解析的手法を用いた近似計算により求める。

信頼度と保全度は一般に時間とともに変化し、 $r(t)$ 、 $m(t)$ も時間の関数である。特に、機器の $r(t)$ は新品の時（初期故障期）は大きく、その後（偶発故障期）一定になり、耐用寿命を過ぎると（摩耗故障期）また大きくなる傾向を示す。しかし、信頼度と保全度は $r(t) = \lambda$ 、 $m(t) = \mu$ (λ 、 μ : 定数) として解析する方法が一般によく用いられており、その場合、 $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ 、 $G(t) = 1 - e^{-\mu t}$ となり、 $Q(t)$ 、 $w(t)$ はそれぞれ下式で表わされる。

$$Q(t) = \left[\lambda / (\lambda + \mu) \right] \left[1 - e^{-(\lambda + \mu)t} \right]$$

$$w(t) = \left[\lambda \mu / (\lambda + \mu) \right] + \left[\lambda^2 / (\lambda + \mu) \right] e^{-(\lambda + \mu)t}$$

$$\lambda(t) = \lambda$$

又、以上の想定した事故は機器の故障がすぐ系の事故につながる場合である。しかし、機器の故障から系の事故までに時間差のある場合、例えば正常状態ではタンクに水がほぼ半分、タンクから水があふれる状態が事故となるシステムでは、水の出口パイプがつまるという故障から事故までにはある程度の時間がかかる。SFTAC ではこのような時間差

のある場合の頂上事象の発生確率も求められ。

5. SFTACの機能と特徴

SFTAC は GATE と事象の合計が 3000 まで、GATE の入力事象が 9 までの大きな FT が計算できる。導出できる量は、任意の GATE における

- (1) MCS
- (2) MCS・基本事象の重要度
- (3) 頂上事象の発生確率

である。

MCS は最大 5000 まで、1 個の MCS の長さ（事象の数）は 20 まで求める事ができる。

基本事象の重要度は構造重要度、確率重要度、クリティカリティ重要度の 3 種を最大 5 桁までの近似値として求める事ができる。unavailability $Q(t)$ 、unconditional failure intensity $w(t)$ 、conditional failure intensity $\lambda(t)$ を重要度の高い MCS のみを用い、最大 5 桁までの近似値として求める事ができる。さらに、頂上事象の発生確率は故障から事故までに時間差のない場合とある場合の 2 種を求める事ができる。そのうえ相互依存性をもち同時派生する基本事象がある場合の共通モード計算も可能である。SFTAC のフローチャートを図 3 に示す。

SFTAC の主な特徴を下記に示す。

- ① 実用上どんなに大きな FT も計算可能でかつ計算時間が短い。
- ② BICS の導出の途中で包含関係と (GATE + 事象) 数の長さ又は発生確率で削除を行なうことにより、計算時間が短縮される。
- ③ 機器の故障から系の事故までに時間差のあ

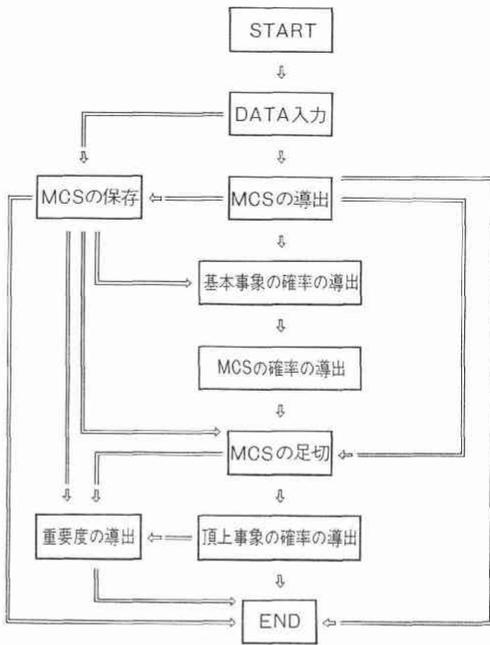


図3 SFTACの計算手順

る場合の発生確率が計算可能。

- ④既存のプログラムを使用せず、全ステップを新たに作成したので、新たな機能の要求

がある場合にも、目的に応じた改良が簡単である。

- ⑤入力形式が簡単であるので、大きなFTの入力が楽である。

6. 解析例

WASH-1400にあるFTの例(図4・表1)を用いてSFTACによるFTAの解析例を示し、WASH-1400で用いられたFTA計算プログラムCOMBOとKITT-1による解と比較する。ここで、表1の λ , $\tau (=1/\mu)$ は各基本事象(EVENT)の $r(t)$, $1/m(t)$ をあらわし、それぞれ故障率及び、平均修理時間に相当する。

SFTACにより求めたMCS(表2)はCOMBOの解と同じであり、図5に示す様に頂上事象の unavailability と unconditional failure intensity もほぼ同じ結果を示す。KITT-1の解は上限値であるため

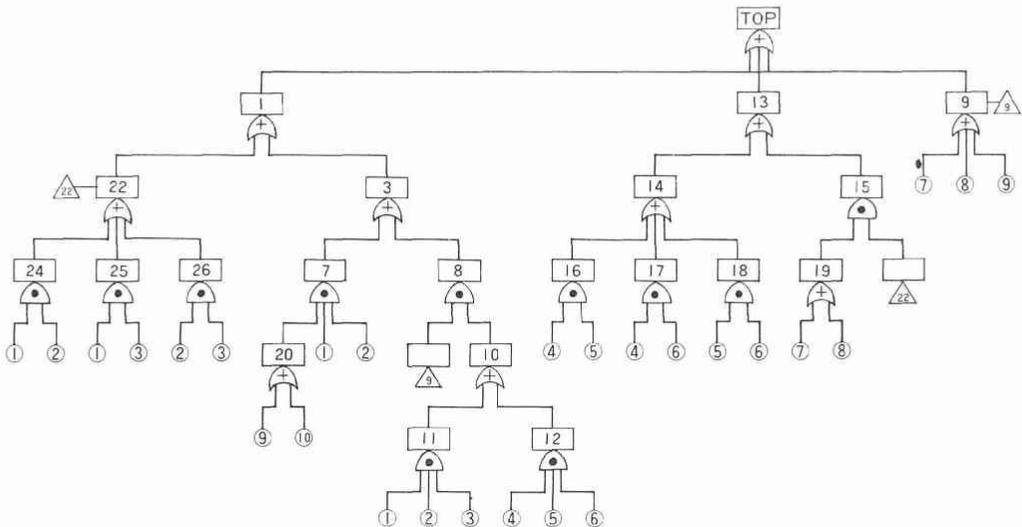


図4 Sample fault tree

表1 Event failure data

EVENT	λ ($\times 10^{-6}$) (1/h)	τ (h)
1	2.6	100.0
2	2.6	100.0
3	2.6	100.0
4	35.0	100.0
5	35.0	100.0
6	35.0	100.0
7	5.0	100.0
8	5.0	100.0
9	8.0	100.0
10	8.0	100.0

表2 List of MCS

No.	SIZE	EVENTS IN SETS
1	1	7
2	1	8
3	1	9
4	2	1, 2
5	2	1, 3
6	2	2, 3
7	2	4, 5
8	2	4, 6
9	2	5, 6

SFTACによる unavailabilityの近似値はKIT-1の解に比べ少し小さくなる。したがって、SFTACはFTAの解析プログラムとして使用されるに足るものと考えられる。

7. おわりに

FTAは安全解析の有力な手法として主に原子力の分野で発達してきた。しかし、FTA

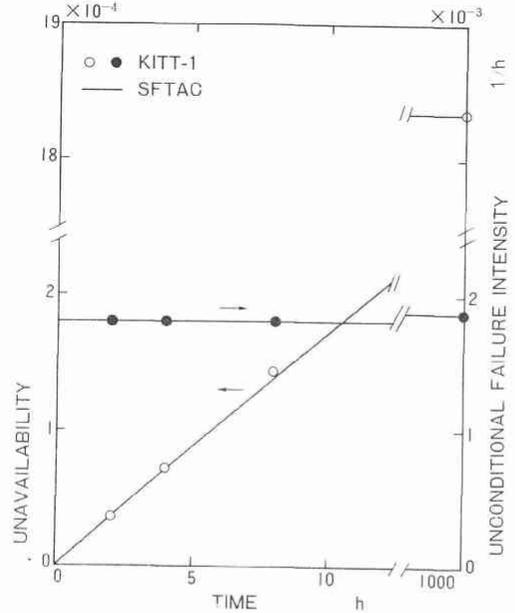


図5 頂上事象の Unavailability と Unconditional failure intensity に対するKIT-1 と SFTAC の解の比較

を始めとする安全評価には多くの問題が存在する。特に我が国においては定量解析に必要な故障・人的エラー等のデータが不足しており、安全評価に対しても諸外国に比べその理解度は高くない。しかし、今後は技術の高度化、システムの大型化に従い安全評価の必要性は高まり、原子力の分野だけでなく、航空宇宙産業等の各種産業や他の分野にも広まると予想される。したがって、当研究所においてもデータの収集や安全評価の研究を重ね、SFTACに改善を加え発展させていきたい。(しもおか ひろし 主任研究員)

参考文献

- 1) U. S. NRC, Reactor Safety Study-An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear

- Power Plants, WASH-1400 (N U R EG 75/014), (1975)
- 2) 井上威恭監修, F T A安全工学, 日刊工業新聞社, (1979)
- 3) E. J. Henley and H. Kumamoto, Reliability Engineering and Risk Assessment, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., (1981)

研究所のうごき

(昭和58年10月1日～12月31日)

◇ 評議員会開催

第4回評議員会

日時：11月29日(火)15:00～17:30

場所：経団連会館ビル905号室

議題：

- (1) 議長挨拶
- (2) [報告]
昭和57年度事業報告及び収支決算
昭和58年度事業計画及び収支予算
- (3) [講演]
エネルギー需給構造の変化と新技術・新システム(武田専務理事)
- (4) 懇談

◇ 企画委員会開催

第28回企画委員会

日時：11月18日(金)14:00～16:00

場所：東新ビル(7F)第一会議室

議題：

- (1) エネルギー総合工学研究所の研究テーマについて
- (2) エネルギー需給構造の先行について

◇ 月例研究会開催

第6回月例研究会

日時：10月28日(金)14:00～16:00

場所：幸ビル(13F)1303会議室

議題：

- (1) エネルギーシステム評価手法の研究について(主任研究員 近藤謙一)
- (2) 世界の石油需給見通しと石油精製技術の動向について—世界石油会議参加報告—(主管研究員 佐藤泰彦)

第7回月例研究会

日時：11月25日(金)14:00～16:00

場所：幸ビル(13F)1303会議室

議題：

- (1) マグネットによる電力貯蔵の可能性と問題点(主任研究員 田辺義雄)

- (2) 蓄電池による電力貯蔵技術と技術開発課題(プロジェクト試験研究部長 齊藤晴通)

第8回月例研究会

日時：12月23日(金)14:00～16:00

場所：幸ビル(13F)1303会議室

議題：

- (1) 熱・電力の供給システムを考える(東京大学工学部教授 吉田邦夫氏)
- (2) 海洋地熱資源の開発利用について(主任研究員 田中謙司)

◇ 主なできごと

10月3日(月) 「エネルギー技術国際比較」

第8回委員会開催

4日(火) 「海洋エネルギー」第1回委員会開催

「エネルギー供給構造」第3回委員会開催

7日(金) 「FBR実用化」第2回委員会開催

17日(月) 「プルサーマル」第2回委員会開催

18日(火) 「海洋地熱」第2回委員会開催

27日(木) 「エネルギー供給構造」第4回委員会開催

「先端技術を応用した原子力発電プラント検討」第1回委員会開催

28日(金) 第6回月例研究会開催

「新種電池技術の調査研究—電池システム検討会」第1回委員会開催

11月7日(月) 「メタノール利用可能性調査」

第1回委員会開催

「エネルギー技術国際比較」

第9回委員会開催

9日(水) 「LNG施設総合技術調査」

第3回研究会開催

10日(木) 「海外立地CWMフィージビリティ調査」第1回総会開催

14日(月) 「プルサーマル」第3回委員会開催

15日(火) 「先端技術を応用した原子力発電プラント検討」第2回委員会開催

11月17日(木) 「バイオマス」第2回委員会開催
 18日(金) 第28回企画委員会開催
 21日(月) 「海洋エネルギー」第2回委員会開催
 24日(木) 「FBR実用化」第3回委員会開催
 25日(金) 第7回月例研究会開催
 28日(月) 「先端技術を応用した原子力発電プラント検討」第3回委員会開催
 29日(火) 第4回評議員会開催
 「ウラン濃縮事業化」第1回委員会開催
 「原子力プラント運転の信頼性に関する研究会」開催(第32回)
 30日(水) 「エネルギー供給構造」第5回委員会開催
 12月5日(月) 「新種電池技術の調査研究—電池システム検討会」第2回委員会開催
 「プルサーマル」第4回委員会開催
 6日(火) 「エネルギー技術国際比較」第10回委員会開催
 12日(月) 「メタノール利用可能性調査」第2回委員会開催
 「メタノール環境安全性検討」第3回委員会開催
 15日(木) 「先端技術を応用した原子力発電プラント検討」第4回委員会開催
 19日(月) 「海洋エネルギー」第3回委員会開催
 20日(火) 「先端技術を応用した原子力発

電プラント検討」第5回委員会開催
 21日(水) 「エネルギーフロンティア計画調査」第2回委員会開催
 23日(金) 第8回月例研究会開催
 「自然エネルギー利用住宅システム技術の研究開発—EM委員会」第7回開催
 26日(月) 「新種電池技術の調査研究—電池システム検討」第3回委員会開催

◇ そ の 他

外国出張

- (1) 武田康専務理事は、日本貿易振興会からの委嘱により、「発展途上国貿易振興協力事業エネルギー技術普及事業」のため、10月6日から同月15日の間、比国に出張した。
- (2) 高倉毅主管研究員は、日本エネルギー経済研究所からの委嘱により、「欧米主要国における合成燃料開発の現状と見通しの調査」のため、10月15日から11月4日の間、米、英、仏、西独及びベルギーに出張した。
- (3) 三井英彦副主席研究員は、「欧米における廃炉技術、廃炉コスト及び廃炉資金調達に関する研究の現状調査と意見交換」のため、11月6日から同月23日の間、米、英、仏、西独及びオーストリアに出張した。
- (4) 近藤駿介研究嘱託は、「高速増殖炉利用システム開発調査の一環として「The Second NRC-STALMFBR Safety Seminar」に出席のため、12月3日から同月11日の間、米国に出張した。

第 6 卷 通 卷 目 次

VOL. 6, No. 1 (1983. 4)

創立五周年を迎えて……………	理事長 山 本 寛…………	1
昭和58年度予算にみる通商産業省のエネルギー技術開発の重点……………	楠 田 昭 二…………	2
材料データベースの現状と課題……………	岩 田 修 一…………	15
韓国およびA S E A N諸国の原子力事情と 原子力国際協力の可能性 (出張報告) ……………	田 辺 義 雄…………	22
欧州におけるパッシブソーラー開発の現状……………	友 沢 孝…………	31
研究所のうごき……………		41

VOL. 6, No. 2 (1983. 7)

L N G導入に関して……………	理事・東京大学工学部教授 平 川 誠 一…………	1
クロスインパクト法を応用した結合型石油価格予測モデル……………	森 俊 介…………	2
燃料電池のコストダウンと将来需要……………	竹 下 宗 一…………	10
石川県における地域エネルギー事業化可能性調査について……………	行 松 保 則…………	19
米国における新エネルギー開発について —海外出張報告— ……………	桑 原 脩…………	28
研究所のうごき……………		34

VOL. 6, No. 3 (1983. 10)

第3回 エネルギー総合工学シンポジウム (特集)

核熱利用の拡大に向けて

<原子炉多目的利用への期待とその課題>

開会のあいさつ及び研究所活動報告……………	所長 山 本 寛…………	1
[招待講演] 核熱利用の意義とその海外動向……………		
…………… 東京大学工学部教授(当研究所理事)	秋 山 守…………	4
[研究報告1] 高温ガス炉の熱利用……………		
…………… 三菱原子力工業(株)大宮研究所 研究第一部原子炉化学第二課課長代理	横 山 二 郎…………	18

[研究報告2] 中小型軽水炉の構想.....	主管研究員 室田健次.....	29
[パネル討論] 核熱利用実用化のための課題		47
座長.....	専務理事 武田康	
パネリスト (敬称略, 五十音順)		
	東京大学工学部教授(当研究所理事) 秋山守	
	日本開発銀行営業第一部調査役 飯倉穰	
	昭和電工(株)プロセス技術センター部長 岡田昇	
	東京電力(株)原子力開発研究所所長 澤口祐介	
閉会のあいさつ.....	常務理事 柴田誠	70
研究所のうごき		71

VOL. 6, No. 4 (1984. 1)

“シンクタンク” 雑感.....	理事・電気事業連合会副会長 大垣忠雄.....	1
エネルギー需給構造の変化と新技術・新システム.....	専務理事 武田康.....	2
「世界エネルギー会議」出席報告.....	齊藤晴通.....	17
欧州における新型電池および電力貯蔵の開発 — 海外調査報告 —.....	田辺義雄.....	26
フォールト ツリー解析プログラム“SFTAC”の開発.....	下岡浩.....	36
研究所のうごき		44
第6巻通巻目次		46

季報エネルギー総合工学 第6巻第4号

昭和59年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区新橋1-1-13

東新ビル

電話 (03) 508-8891

無断転載を禁じます。(印刷)和光堂印刷株式会社