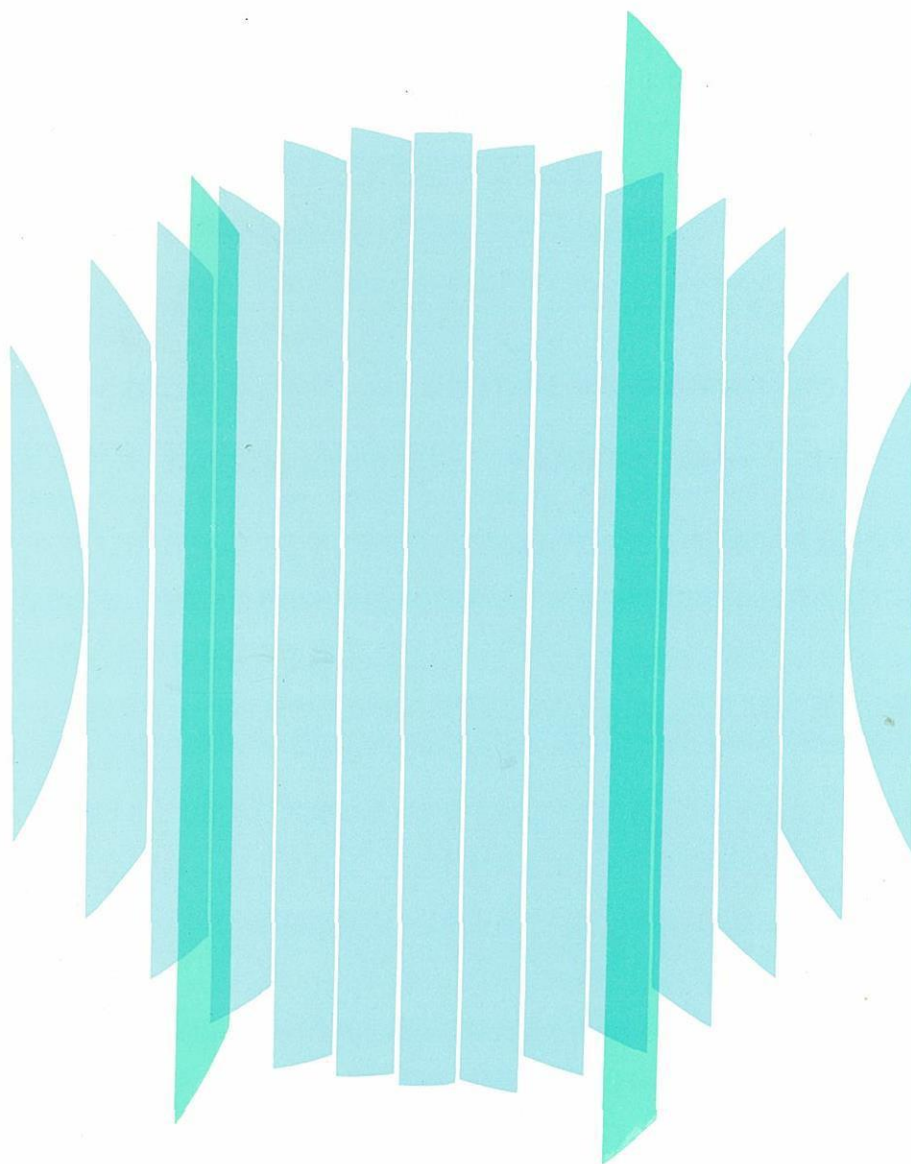


季報 エネルギー総合工学

Vol. 7 No. 2 1984. 7.



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

目 次

民間の活力……………理事・(財)日本エネルギー経済研究所理事長	生 田 豊 朗………… 1
F B R 大型炉開発国際シンポジウムの開催について(ご案内) ……………	2
ソフトエネルギー「その期待と限界」……………桑 原 脩…………	4
石炭ガス化炉の開発動向について ……………菅 野 孝 悦…………	18
F B R 耐震設計に関する海外調査 ……………安 藤 順 康…………	28
米国と濠州の炭鉱をみて ……………片 山 優久雄…………	38
アメリカにおける燃料電池技術開発の現状と展望	
— J. P. Ackerman 博士の講演から —……………石川力雄・児玉皓雄…………	46
研究所のうごき ……………	60

民 間 の 活 力

理事・(財)日本エネルギー経済研究所理事長

生 田 豊 朗

「民間の活力を生かす」ということがよくいわれる。エネルギー関係の技術開発についても同様である。しかし、よく考えてみると、これは分ったようで分からない言葉である。「民間の活力」という言葉がなんとなく分かったような気になるのは、民間と較べて官庁、公社公団などが非能率なことが多いからであり、とくに、最近のような行革の時代では尚更のことである。

しかし、これだけでは「民間の活力」を証明したことにはならない。たとえば公共機関の職員が国民へのサービスを忘れて、労働運動に熱中していると、国民は大きな迷惑を蒙ることになるが、彼等にしてみれば、それはひとつの「活力」の現われなのかもしれないからである。国会の内部の駆け引きで重要法案の審議がストップするなども、時間と予算の浪費だと思うが、それも当事者の国会議員にしてみれば、「活力」そのものなのだろう。

こうしてみると、一般に使われている「民間の活力」とは、資本主義の原則に沿った合理的な活動というように定義した方が間違いないようである。そして、その場合は、当然のことながら「民間の活力」を生かしうる限界が存在することにも留意しなければならない。換言すれば、当面だけには限らず、長期的な展望をも踏まえて、なんらかの形で経済的な利益につながらなければ、「活力」は生まれてこないのである。

エネルギーの技術開発のように、重要ではあるがリード・タイムの長いものについては、「民間の活力」を生かすだけでは実行が難しいものも多い。「民間の活力」の及ばない部分について、政府の積極的な援助が行なわれることが、総合的な「活力を生かす」ことになると思われるのである。(いくた とよあき)

「F B R大型炉開発国際シンポジウム」 の開催について（ご案内）

本誌前号（7(1)(1984)2）で予告いたしましたが、「世界の主要国のF B R専門家を招いて、F B R実用化への主要な課題と考えられるコスト低減方策、安全設計基準、耐震・高温構造、F B R燃料の再処理等についての情報交換」を目的として、標記の国際シンポジウムを、当研究所の主催で、下記により開催いたします。

この分野にご関心をお持ちの方々の積極的なご参加をお待ちしております。

記

会 期：昭和59(1984)年11月6日(火)～9日(金)

会 場：如水会館（東京都千代田区一ツ橋

2-1-1）

プログラム：（下記プログラムは7月15日現在の暫定案です。最終的には若干の変更のあることをお含みおき下さい。なお、会議の使用語は日、英で、日英同時通訳を行います。）

11月6日(火)

（午前：9：15～12：00）

挨拶 山本 寛（エネ総研）

〃 松田 泰（通産省）

セッション1：F B Rへの期待と展望

司会者：飯田 孝三（関西電力㈱）

1-1 〈F B Rへの期待と展望—日本—〉

堀 一郎（F B R推進会議）

〈コーヒープレイク〉

1-2 〈F B Rへの期待と展望—ヨーロッパ—〉

Dr. G. Vendryes (CEA)

1-3 〈F B Rへの期待と展望—アメリカ—〉

Dr. S. Brewer (DOE)

（午後：14：00～18：00）

セッション2：コスト低減戦略（ヨーロッパ）

司会者：石橋 周一（九州電力㈱）

2-1 〈事業者側からみたコスト低減戦略〉

Dr. A. W. Eitz (RWE, 西ドイツ)

Dr. R. Carle (EDF, フランス)

〈コーヒープレイク〉

2-2 〈製造業者からみたコスト低減戦略〉

Mr. R. D. Vaughan (NNC, イギリス)

Dr. J. Villeneuve (NOVATOME,
フランス)

Mr. A. Brandstetter (INTER—

ATOM, 西ドイツ)

2-3 〈コスト低減戦略のための研究開発〉

Mr. D. Evans (UKAEA, イギリス)

11月7日(水)

（午前：9：00～12：00）

セッション3：コスト低減戦略（アメリカ）

司会者：林 政義（中部電力㈱）

3-1 〈DOEプログラムにおけるコスト低減戦略〉

Dr. G. L. Chipman (USDOE)

3-2 〈事業者側からみたコスト低減戦略〉

Dr. D. C. Gibbs (COMO)

〈コーヒープレイク〉

3-3 〈WH社のコスト低減戦略に対するアプローチ〉

Dr. W. H. Arnold (WH)

3-4 〈RI社のコスト低減戦略に対するアプローチ〉

Dr. G. W. Meyers (RI)

3-5 〈GE社のコスト低減戦略に対するアプローチ〉

Dr. J. S. Armijo (GE)

（午後：14：00～18：00）

セッション4：コスト低減戦略（日本）

司会者：安 成弘（東海大学）

4-1 〈事業者側からみたコスト低減戦略〉

小島 孝（電事連）

4-2 〈製造業者側からみたコスト低減戦略〉

吉島 重和（東芝）

4-3 〈 〉

寺沢 昌一（日立）

4-4 〈 〉

青木 一郎（三菱重工(株)）

〈コーヒーブレイク〉

4-5 〈コスト低減戦略に対する電力中央研究所の見解と活動状況〉

服部 禎男（電中研）

4-6 〈コスト低減戦略のための研究開発〉

望月 恵一（動燃）

11月8日(木)

(午前：9:00～13:00)

セッション5：耐震設計(パネル形式) *

司会者：飯田 庸太郎（三菱重工(株)）

パネリスト

〈コスト低減戦略に関する耐震設計の主要技術課題〉 Mr. G. Cicognani (ENEA, イタリア)

〈主要技術課題に対するアメリカの見解と活動状況〉 交渉中

〈主要技術課題に対する日本の見解と活動状況〉 櫻井 彰雄（電中研）

セッション6：高温構造設計(パネル形式) *

司会者：青井 舒一（東芝）

パネリスト

〈コスト低減戦略に関する高温構造設計の主要技術課題〉

Dr. J. Corum (ORNL)

〈主要技術課題に対するヨーロッパの見解と活動状況〉 Mr. K. Vinzens (INTERATOM)

〈主要技術課題に対する日本の見解と活動状況〉 岡林 邦夫（動燃）

〈コーヒーブレイク〉

セッション7：安全設計基準(パネル形式)

司会者：西 政義（日立）

(注*) のセッションは同時（9:00～10:45の予定）に並行して行います。

パネリスト

〈コスト低減戦略に関する安全設計基準の主要技術課題〉 Dr. Heusener (KFK, 西ドイツ)

〈主要技術課題に対するアメリカの見解と活動状況〉 交渉中

〈主要技術課題に対する日本の見解と活動状況〉

佐治 愿 (FBEC)

(午後：15:00～17:00)

セッション8：燃料加工と再処理(パネル形式)

司会者：松岡 實（電中研）

パネリスト

〈コスト低減戦略に関する燃料加工と再処理の主要技術課題〉 Mr. R. H. Allardice

(UKAEA, イギリス)

〈主要技術課題に対するフランスの見解と活動状況〉 Dr. R. Lallement (CEA)

〈主要技術課題に対する日本の見解と活動状況〉

植松 邦彦（動燃）

〈主要技術課題に対するアメリカの見解と活動状況〉 交渉中

プログラムレビュー

司会者：三島 良績（東京大学）

レビューア：近藤 駿介（東京大学）

中川 弘（電事連）

11月9日(金)

テクニカルビジット（オプション）

①三菱重工(株) 高砂研究所

②(株)日立製作所 日立工場, エネルギー研究所

③東芝(株) 原子力技術研究所

④動燃 大洗工学センター

⑤電中研 我孫子事業所

参加費：(プレプリント, プロシーディングス, その他の印刷物及び懇親会費を含む)

予約受付（8月末まで）

一般 40,000円, 大学関係者 20,000円

当日受付

一般 50,000円, 大学関係者 25,000円

参加人員枠は, 海外からの招へい者約20名を含め約300名

参加申込：参加希望者は所定の申込用紙に記入の上, 下記へお申込み下さい。

申込み・問合せ先：(財)エネルギー総合工学研究所
「FBR大型炉開発国際シンポジウム」事務局

(〒105) 東京都港区新橋1-1-13

電話 (03) 508-8891

ソフトエネルギー「その期待と限界」

桑 原 脩

1. はじめに

本報告は総合研究開発機構の助成を得て行われた題記の調査報告書の抜粋である。

ソフトエネルギーは一般に「クリーンで、クリエイティブなコミュニティエネルギー（3Cエネルギー）」と言われているように非常に地域性の強いものである。しかしながら、ソフトエネルギーの将来供給量の検討に際し、これまではこの地域性を重視して行ったものはあまり見当たらない。そこで題記調査研究ではこの地域性を重視しながら、ソフトエネルギーの将来性について検討を行っている。

検討に当たっての目標としては、ソフトエネルギーの利用技術は、すでに実用化されているものもあるが、量的な利用可能性を考えると相当先になると考えられるため、西暦2000年および2050年を設定した。

なお、題記調査研究は（財）エネルギー総合工学研究所の調査研究スタッフにより編成したプロジェクト・チームにより行ったが、ソフトエネルギーの種類によって、現状の開発状況が異なることや需要想定に際し、プロジェクト・チームの各メンバーの意見が多少

異なること等により、個々の供給想定、需要想定に多少不整合が見られる。しかし、この不整合度合は根本的に異なるものではないので、あえて整合をとるよりも、むしろ幅広い考え方を示す方がより参考になると考え、そのまま報告書とした。

2. 報告書の構成

報告書は第Ⅰ編第1章から第Ⅱ編までに分かれて構成されている。

第Ⅰ編第1章においては、ソフトエネルギーを7種類に大別し、その利用の現状と将来予測について論じた。先ず、その利用方法を説明した後、物理的なエネルギーの存在量（最大可採量、最大限に利用しつくした場合の期待可採量、経済・社会的条件、他のエネルギーとの関係も考慮した利用予測量）を算出している。

第2章においては、エネルギー需要部門を6つに大別し、そのエネルギー消費の現状分析を行った後、将来予測を行っている。ここでは、第4章のマクロ的な需給予測と整合をとりながら、各需要部門において、将来その活動の構造にどのような変化が起るかを予想し、それがエネルギー消費にどのような影響

を及ぼすかを論じている。そして、ソフトエネルギーを含む、エネルギー種類別に、将来の需要量の予測を行っている。

第3章では、1、2章で論じた、種類別、部門別のソフトエネルギーの将来予測を、エネルギー需給全体からチェックするため、2050年に至る超長期のマクロ的エネルギー需給予測をリファレンス・ケースとして行っている。予測手法は、トレンドをベースにしたものと、1章、2章の検討結果を積み上げたものとの2通りを用い、産業構造、需要構造、省エネルギーの進展、各種供給力の取得可能性などの諸要因について、一応の想定を行っている。

第Ⅱ編では、今後、ソフトエネルギーの利用が最も期待される発展途上国における現状と将来を論じている。ここでは、発展途上国と先進国とのエネルギー状況の違いを、エネルギー消費水準、ソフトエネルギーの潜在力などを比較して検討すると共に、今後、発展途上国において、どのソフトエネルギー技術が重要であるか、その利用促進のために、どのような政策が重要であるかを論じている。

3. 第Ⅰ編第1章の概要（ソフトエネルギー利用の現状と将来）

第1章では、ソフトエネルギーを、太陽エネルギー、廃棄物エネルギー、地熱エネルギー、風力エネルギー、水力エネルギー、廃熱エネルギー、バイオマスエネルギーの7種類に大別して論じている。

3.1 太陽エネルギー

太陽エネルギーは、利用方法として、「冷

暖房、給湯」、「光発電」、「熱発電」の3方式がある。

給湯・冷暖房としては、太陽熱温水器とコレクターを用いたソーラシステムがある。太陽熱温水器は、昭和56年度には約40万台出荷し、戸建住宅ストック数に対する普及率も12%に達しており、今後とも順調に伸びることが予想される。一方、コレクターを用いたソーラシステムは高価であるため、コストダウン等に伴って徐々に普及するものと考えられる。

光発電は、太陽電池のモジュール価格が、50円/W程度になると想定される今世紀末から急速に普及するものと考えられる。

熱発電については、技術的に困難な点が多く、普及の可能性はほとんど無いと判断されるので、対象から除外した。

太陽エネルギーの期待可採量は、集エネルギー面を住宅、建物等の屋根と考えて県別に計算して集計した結果、日本全体では、約 4×10^9 Gcal/年（石油換算4.7億kl/年）となり、これは、現在の総エネルギー需要にほぼ匹敵する量である。

将来の利用量の予測は、図3.1に示すように、現状の 4.2×10^6 Gcal/年に対し、2,000年では約8倍の 35.3×10^6 Gcal/年、2,050年では約23倍の 97.2×10^6 Gcal/年となる。図からわかるように、2,020年でほぼ適用対象への普及が上限に達し、それ以降、熱利用のソーラシステムから、太陽電池への買替えが増加し、熱利用量が低減することが予想される。

3.2 廃棄物エネルギー

生活・生産活動より生ずる有機系廃棄物をバイオマス資源としてとらえ、利用可能性を検討している。これには、次に示す種類がある。

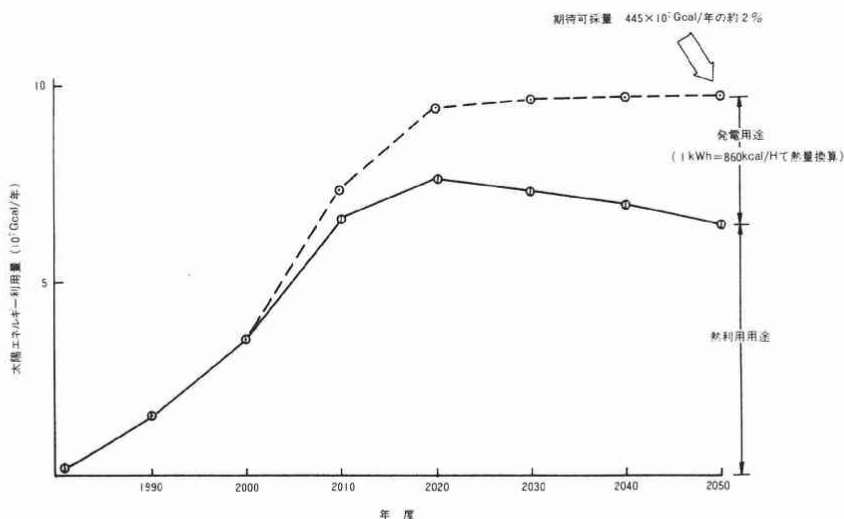
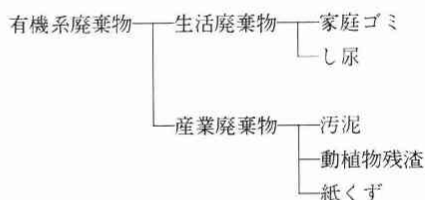
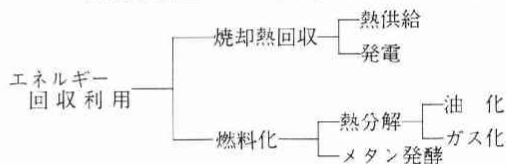


図3.1 太陽エネルギー利用量の年度推移



この利用形態としては、次の方式がある。



現在、都市ゴミの約60%は焼却、約35%は埋立処分されているが、今後は焼却が主体になるものと予想される。焼却の排熱は、熱供給又は発電に利用されているが、今後は発電に利用される割合が増大するであろう。

廃棄物を燃料化する方法には熱分解とメタン発酵がある。熱分解は、設備が高価で発生ガスが低品位である。メタン発酵は、下水処理を対象にする有力な手段と考えられ、実証試験も行われている。

家庭ゴミ及び産業廃棄物のうち、紙くず等

の可燃性廃棄物は直接燃焼し、それ以外のし尿、動植物残渣等水分量の多い廃棄物をメタン発酵するものとして計算すると、最大可採量は全国で年間 66.6×10^6 Gcal（石油換算710万kℓ）となる。これに廃熱ボイラー等の効率を加味すると、実際の有効利用可能量は年間約 53×10^6 Gcal（石油換算560万kℓ）となり、これは現在の我国のエネルギー総需要の約1.4%に匹敵する。

廃棄物の燃料化（メタン発酵）は、ゴミ焼却による熱利用に比べて極めて少いので、実際の利用量の算定は、ゴミ焼却による熱回収あるいは発電のみを対象とした。

現状での廃棄物エネルギーの利用量は年間 8×10^6 Gcal（石油換算85万kℓ）と推定され、これは我国のエネルギー総需要の約0.2%に相当する。将来の利用量の予測は、人口の増加、ゴミ焼却施設の増設、新鋭設備への更新等を考慮して行った。この結果、2000年では 17.5×10^6 Gcal/年（石油換算186万kℓ）、2050年では、 19.6×10^6 Gcal/年

(石油換算210万kl, 現在の総エネルギー需要の約0.5%)となった。

3.3 地熱エネルギー

地熱エネルギーの種類としては、浅部地熱、深部地熱、高温岩体、深層熱水、海洋地熱がある。浅部地熱は主として火山地帯に存在し、深さは数百mから2 km程度、温度は100～250℃程度で、現在実用に供されている地熱発電、熱水利用等はこれに属する。深部地熱は、火山地帯の深部2～5 kmに存し、温度は350℃以上ある。高温岩体は、地下数千mにある温度200～300℃の岩に、注水して蒸気を取り出そうというものである。深層熱水は、火山とは関係なく、地下深部に広く賦存している。温度は70～100℃と低いが、地域暖房に有用と考えられる。海洋地熱は、大陸棚等の海底地熱を利用しようとするものである。

地熱資源の探査技術を含む評価方法は現在確立されているとは言い難い状況にあるが、現状で得られるデータに基づき賦存量を算出した。しかし、高温岩体、海洋地熱についてはデータがほとんどないので今回の検討対象からは除外した。この結果、全国の賦存量期待可採量は、浅部地熱 567×10^6 Gcal, 深部地熱 233×10^6 Gcal, 深層熱水 475×10^6 Gcal と推定された。このように、資源別にみると、深層熱水がほとんどすべてを占めており、地域別では、北海道、東北、九州等が豊富で、近畿、中国、四国にはほとんどない。

これらの地熱エネルギーの利用方法としては、発電とその排熱(熱水)の熱利用および深層熱水の熱利用が考えられる。この将来予

測を行った結果を示したのが、図3.2, 図3.3, 図3.4である。地熱発電は、現在21.8万kWであるが、2000年には250万kWとなる。この頃までに経済性の高い浅部の開発(1地点5万kWクラス)は終了し、21世紀に入る頃から探査技術の確立とあいまって深部地熱発電(1基25万kWクラス)が本格化する。2050年には900万kWに達しよう(図3.2参照)。この発電電力量は2000年で 1.97×10^{10} kWh となるであろう。

一次エネルギー換算では 4.83×10^7 Gcal (1 kWh = 2,450 kcalで換算), 2,050年で 7.1×10^{10} kWh, 同換算 1.74×10^5 Gcalとなる。地熱水の直接熱利用は図3.3に示すように、地熱発電の排熱によるものが2000年で 4.6×10^6

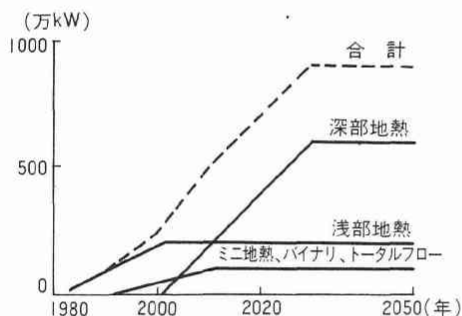


図3.2 地熱発電の将来予測

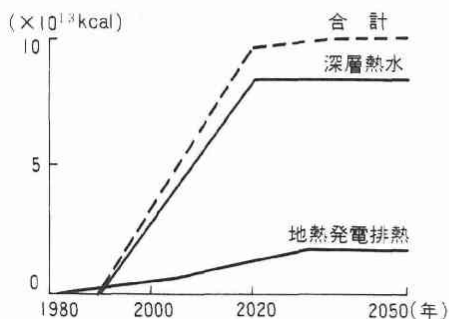


図3.3 地熱水利用の将来予測

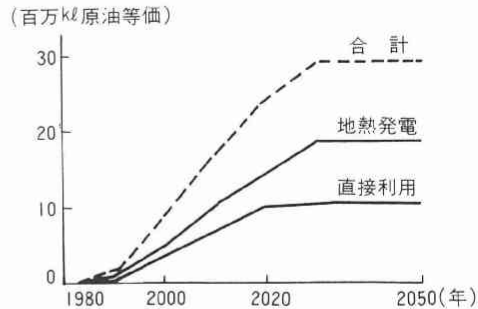


図3.4 地熱エネルギー利用の将来予測

Gcal, 2050年で 1.65×10^7 Gcalである。また深層熱水の熱利用分が2000年で 2.8×10^7 Gcal, 2050年で 8.35×10^7 Gcalである。この利用量を原油換算($9,400 \text{ kcal}/\ell$)として示したのが、図3.4である。即ち、2000年で857

万kℓ, 2,050年で2,910万kℓ原油等価エネルギーを地熱で賄うこととなる。

3.4 風力エネルギー

風力エネルギーは、エネルギー密度が小さく、時間的変動が大きいため、技術的、経済的に解決すべき問題が多い。

風力エネルギーを用途別に分類すると、①民生、農林水産業等の小規模利用、②離島、山間僻地における通信中継用電源、気象テレメータ電源等通常の電力供給が不可能な場所での利用、③電力系統に組み込まれる大型発電がある。

現在、実用に供されているものは、②の分類に属するもの、特に農業用の水ポンプ駆動

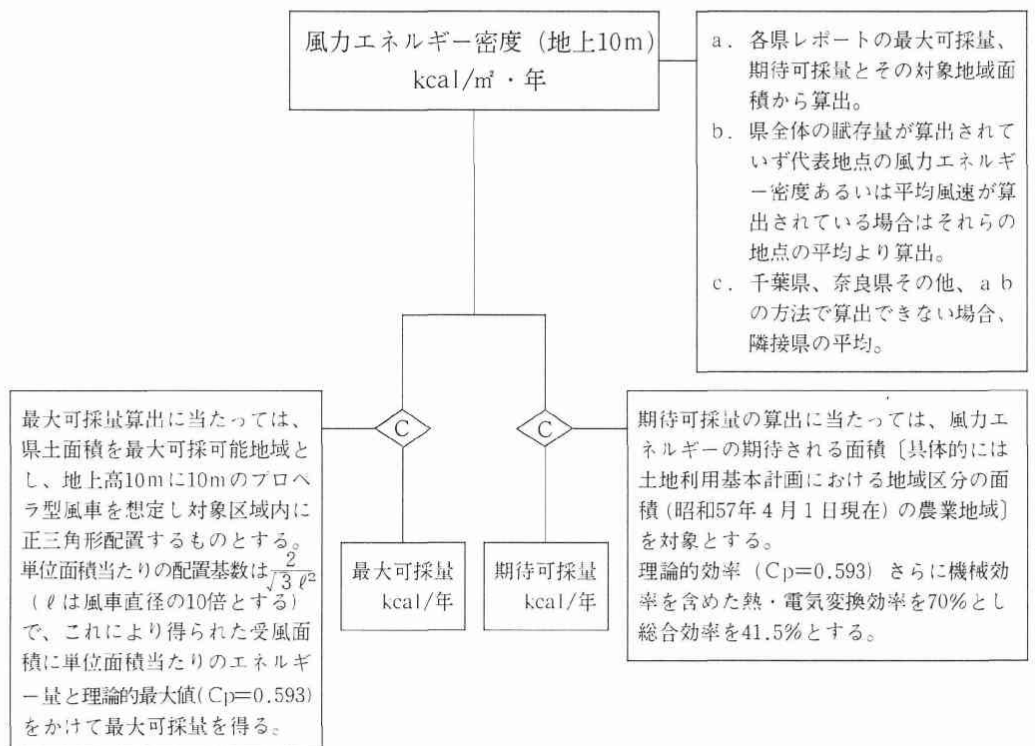


図3.5 風力エネルギー賦存量算出の方法

源としての利用が大部分であるが、エネルギー量としては、ほんのわずかである。将来、エネルギー供給として期待できるのは離島における電力供給用と考えられる。

風力エネルギーの最大可採量、期待可採量の算定方法を図3.5に示す。

最大可採量は全土の面積を可採面積とし、受風面積に地上10mの風力エネルギー密度を乗じて計算した。期待可採量は、土地利用基本計画における農業地域を対象として、総合効率(41.5%)を乗じて算出した。

この結果、全国合計で、最大可採量は、 358×10^{12} kcal/年、期待可採量は 118×10^{12} kcal/年となり、潜在量としては、現状の水力発電量を上回ることになる。

現在の全国の風車設置台数は136台（モグラ対策用は除く）で、小規模のものが多く、エネルギー量としては、無視できる量である。将来の普及予測を行う場合の問題点は、安全性、耐久性、経済性とメンテナンスである。国土のせまい我が国では、ローターの直径が50mを超す大型風車が大量に普及していくとは考えにくい、比較的风況条件が良く、ジェゼル発電のコストの高い離島において、ジェゼル発電の補完用として導入される可能性がある。この結果、2000年における供給可能

量は、設備容量12,000kW、原油換算0.84万kℓ/年、2050年では、79,000kW、5.53万kℓ/年と予想される。

3.5 水力エネルギー

水力は発電の主力エネルギーとして古くから利用されてきたが、昭和30年代の後半から、経済的な開発地点の枯渇と安価な石油火力に発電の主力の地位を譲って来た。しかし昭和48年の石油ショック以降、そのクリーンで再生可能な国産エネルギーとしての重要さが認識され、開発努力が続けられている。

我が国の理論包蔵水力（国土全体の降水量が海面に対して持つ位置のエネルギー）は、年間約7,200億kWhと推定されており、既開発の分は約870億kWh（約1,900万kW）であるので、理論包蔵水力の13%程度が開発済みということになる。しかし、一般に言う包蔵水力とは、経済的に開発可能なものの集計であり、我が国の包蔵水力調査は表3.1に示すように明治末期より行われ、現在第5次調査が行われている。包蔵水力は、エネルギー事情、技術水準、その時の調査方針により変化してゐる。

表3.2に我が国の包蔵水力（第5次包蔵水力調査の中間結果）を示す。これによると、

表3.1 包 蔵 水 力 調 査

調 査	実 施 期 間	地 点 数	最 大 出 力
第 1 次 発 電 水 力 調 査	明治43年 ～ 大正 2 年	2,233	3,420千V
第 2 次 〃	大正 7 年 ～ 大正11年	2,822	7,430 〃
第 3 次 〃	昭和12年 ～ 昭和16年	2,771	20,040 〃
第 4 次 〃	昭和31年 ～ 昭和34年	2,372	35,370 〃
第 5 次 (現在実施中)	昭和55年 ～ 昭和59年	4,118	32,441 〃

表3.2 我が国の包蔵水力

区 分		地点数	出 力 (万kW)	年間可能発電電力量 (億kWh)	摘 要
未 開 発	一般水力	2,717	1,300.0	472.6	自流通電分を含む揚水式 (混合揚水)の自流通電分
	揚 水	(24)		23.0	
	計			495.6	
工 事 中	一般水力	69	110.1	38.9	自流通電分を含む揚水式 (混合揚水)の自流通電分
	揚 水	(1)		2.0	
	計			40.9	
既 設	一般水力	1,619	1,929.2	848.9	自流通電分を含む揚水式 (混合揚水)の自流通電分
	揚 水	(19)		24.0	
	計			872.9	
未開発、工事中地点の 開発により廃止又は増 減電となる既設分		△ 2.87	△ 95.2	△ 72.0	
合 計		4,118	3,244.1	1,337.4	

出典：資源エネルギー庁水力課

注 (1) 既設は、昭和57年3月31日現在のものであり、事業用は全部、自家用は出力100kW以上のものを集計した。

(2) 工事中は、第87回(昭和57年3月26日)までの電源開発調整審議会で着工が決定されたものまでを集計した。

表3.3 コスト別未開発包蔵水力

区分	kWh当たりの建設単価	地点数	出 力 (万kW)	年間可能発電電 力量 (億kWh)	同左 構成比率(%)
a	流込み式 250 円未満	516	327.6	131.9	27.9
	調整池式 300 円 〃	91	123.0	46.4	9.8
	貯水池式 400 円 〃	62	93.4	32.4	6.9
	計	669	544.0	210.7	44.6
b	流込み式 250 円以上～500 円未満	1,651	510.1	202.0	42.8
	調整池式 300 〃 ～600 〃	81	126.0	35.0	7.4
	貯水池式 400 〃 ～800 〃	12	34.7	7.7	1.6
	計	1,774	670.8	244.7	51.8
c	流込み式 500 円以上～600 円未満	298	45.9	16.2	3.4
	調整池式 600 〃 ～700 〃	5	38.8	0.8	0.2
	貯水池式 800 〃 ～900 〃	1	0.5	0.2	0.0
	計	304	85.2	17.2	3.6
合計		2,717	1,300.0	472.6	100.0

注 建設単価、建設費は55年度価格

出典：表3.2に同じ

我が国の包蔵水力は、出力で3,200万kW、年間可能発電電力量で約1,300億kWhであり、このうち未開発分が1,300万kW、年間可能発電電力量で500億kWhとなっている。この未開発地点の特徴は、数百kW程度の小水力まで含めている点であり、その結果、既設発電所の平均出力が12,000kWであるのに対し、未開発地点の平均出力は4,800kW程度と小規模になっている。

未開発地点を建設コスト別に分類したものを表3.3に示す。

供給可能量としては、経済性が良い区分aのものが2000年までに開発され、既設および

現在工事中の地点と合せて2,544万kW（1,091億kWh/年）となる。また、2050年までには包蔵水力のすべてが開発され、出力3,441万kW、（1,337億kWh/年）となる。

3.6 廃熱エネルギー

工場からの廃熱の温度レベルは、温排水では50℃前後、排ガスでは200～500℃、廃スチームでは150℃前後、数kg/cm²と比較的低レベルであるため利用しにくく、また、一般に廃熱供給場所と消費地域との間が離れていること、熱の需給面でアンバランスがあること、熱輸送の経済性など解決すべき点が多

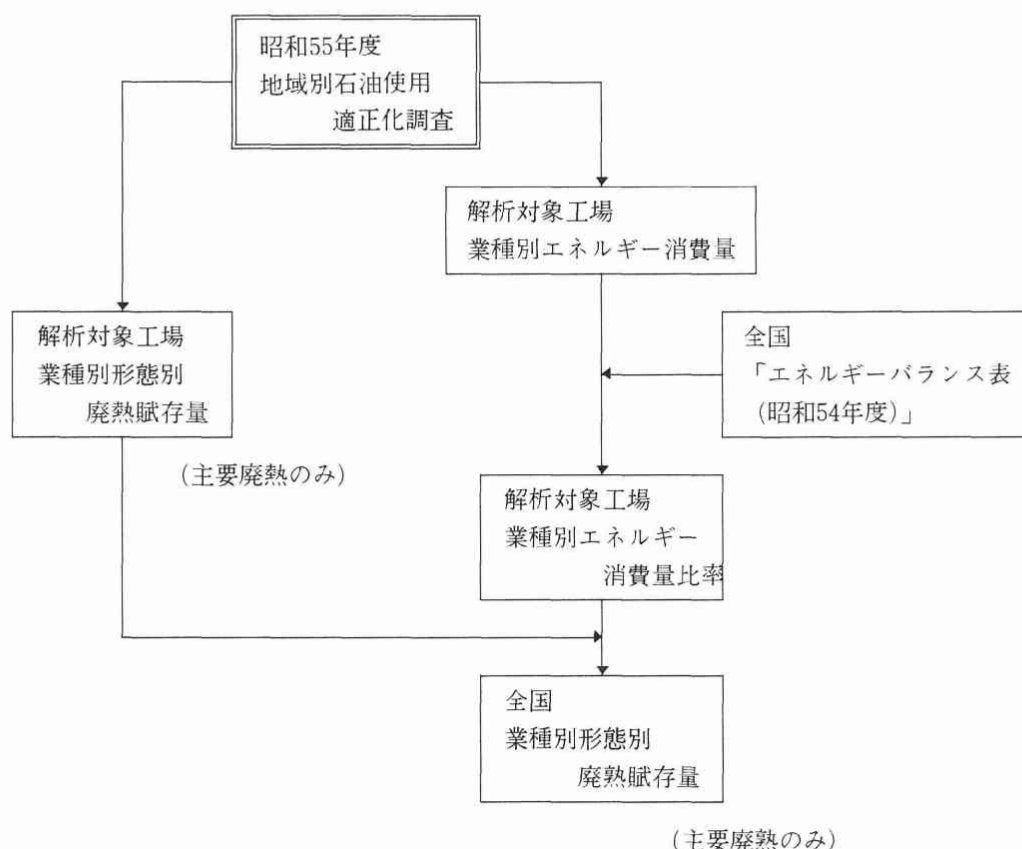


図 3.6 全国における工場の廃熱賦存量推計フロー

い。

廃熱エネルギーの賦存量調査の推計方法を図3.6に示す。廃熱量解析の対象として選んだ774サンプル工場についてのボイラー排ガス廃熱、工業炉排ガス廃熱、冷却水廃熱のデータを基礎として、サンプル工場と全国の工場（業種別）のエネルギー消費量の比率から現在の廃熱賦存量を求めた。

これによれば、昭和54年度における全国総廃熱量は $3.82 \times 10^8 \text{ Gcal/年}$ （石油換算4,065万kℓ）と推計される。このうち、化学及び鉄鋼がそれぞれ31.0%、30.8%を占め、これに石油精製の13.3%を加えると、この3業種で総廃熱賦存量の75%を占める。将来の廃熱エネルギー賦存量は、廃熱エネルギー率（エネルギー消費量に対する廃熱エネルギー量）に2000年、2050年におけるエネルギー消費量を乗じて求める。それによると、2000年の廃熱エネルギー賦存量は $3.34 \times 10^8 \text{ Gcal/年}$ 、2050年のそれは $3.95 \times 10^8 \text{ Gcal/年}$ と予想される。

廃熱利用可能量は、廃熱の種類別温度レベルによる利用可能性、エネルギーの集中度、需要とのマッチング、経済的、技術的問題点を考慮して推計した結果、2000年で $6.55 \times 10^6 \text{ Gcal/年}$ 、2050年で $7.74 \times 10^6 \text{ Gcal/年}$ となる。これは、原油に換算して、それぞれ約70万kℓ/年、82万kℓ/年に相当する。

3.7 バイオマスエネルギー

バイオマスエネルギーには、木質系資源、稲わら、もみがらなどの農業副生産物、家畜の排泄物、エネルギー用栽培バイオマス（甘しょなど）がある。現在利用されているのは、木炭、まき等の木質系と家畜ふん尿のメタン

発酵である。最大可採量と期待可採量は、科学技術庁資源調査所の調査結果を利用する。農業副生産物の最大可採量は、作物統計より、都道府県別に全作付面積及び作物別作付面積を求め、これに単位面積当りの主産物および副産物の収量単収を乗じて算出した。期待可採量は、作付面積に単収を乗じて算出した。

木質系のうち、林木と竹についての最大可採量は、国有林野事業統計書、林業統計要覧等より、生産量（地上部成長量の重量）を算出した。期待可採量は、地上部植物体から幹（主産物）を除いた枝、葉の生産量とし、生産量に地上部生産量に占める枝、葉の割合を乗じて算出した。林地内下草については、上記の統計資料から、下草の存在する面積（3齢級以下の立木地面積および無立木地面積）を求め、単位面積当りの最大可採量（＝期待可採量）を乗じて算出した。木くずについては、産業廃棄物排出状況実態調査報告書に記載されている木くずの都道府県別の排出量に乾物重量割合（50%）を乗じて最大可採量（＝期待可採量）を算出した。

家畜のふん尿については、畜産統計により家畜頭羽数を把握し、これに各畜種ごとの1頭当りのふん尿排出量を乗じて算出した。

エネルギー用栽培バイオマスのうち、甘しょについては、最大可採量は、作物統計による収穫量に、夏期における休閑地の20%をその栽培に供したとした場合に得られる生産量を加えて算出し、期待可採量は、上記の休閑地の20%に相当する量とした。海藻の栽培については、エンジニアリング振興協会の「昭和55年度バイオマス生産利用に関するフィージビリティ調査」の結果を最大可採量とし、こ

の0.1%を期待可採量とした。

以上のバイオマス重量を次の値でエネルギー換算した。

木質系：4,500kcal/kg

家畜ふん尿：メタンガス発生量：350ℓ/kg

メタン含有率：0.7

メタン発熱量：9,000kcal/m³

甘しょ：エタノール生産量：590ℓ/t

エタノール発熱量：5,000kcal/ℓ

この結果、全国の最大可採量は、農業副産物（耕地バイオマス） 203×10^{12} kcal/年、木質系 402×10^{12} kcal/年、家畜ふん尿 30×10^{12} kcal/年、甘しょ 1.7×10^{12} kcal/年、海藻 500×10^{12} kcal/年となり、期待可採量は、農業副産物 87×10^{12} kcal/年、木質系 244×10^{12} kcal/年、家畜ふん尿 30×10^{12} kcal/年、甘しょ 0.4×10^{12} kcal/年、海藻 0.5×10^{12} kcal/年となった。

バイオマスエネルギーの現状は、昭和56年度に木質系（木炭、まき、オガライト）で 1.8×10^{12} kcal生産しているのが大部分であり、家畜ふん尿のメタン発酵等は普及が始ったばかりでエネルギー量としてはわずかである。将来の利用予測の結果は表3.4のとおりである。

表3.4 バイオマスエネルギーの将来予測

(単位：10⁹ kcal/年)

	2000年	2050年
木炭	131	26
まき	207	129
オガライト・ペレット	2,564	2,564
家畜ふん尿 (メタン発酵)	175	726
計	3,077	3,445

4. 第I編第2章の概要（エネルギー需要の現状とその将来予測）

第2章では、第1章で予測したソフトエネルギーがどのように使用されうるかをチェックするため、用途別のエネルギー需要の現状と将来の検討を行っている。エネルギーの用途は、鉱工業、農業、水産業、運輸、家庭、業務用に大別している。

4.1 鉱工業用エネルギー

我国では、最終エネルギー需要の約半分が産業部門、特に鉱工業である。

表4.1 人口とGNP（実質）の将来推定

項 目	単 位	1980年	2000年	2020年	2050年	備 考（前提条件など）
(実 質)						
人 口	百 万 人	117	128	130	130	1.人口については今後年間数十万人づつ増加し、2010年頃に130百万人に達して、その後は横ばいで推移するものとした。 2.GNPについては、今後の20年間平均年率2.5%（前半3%、後半2%）で増大し、その後も年率1%程度の成長を続けるものとした。
G N P	兆円(80年価格)	235	385	495	625	
1人当りGNP	百 万 円 / 人	2.0	3.0	3.8	4.8	
(80年対比)						
人 口		1	1.1	1.1	1.8	
G N P		1	1.6	2.1	2.7	
1人当りGNP		1	1.5	1.9	2.4	
G N P 成長率	年率%	—	2.5	1.3	0.8	

表4.2 2050 年 の イ メ ー ジ

ケ ー ス	素 材 産 業		加 工 組 立 産 業	
	リファレンスA	リファレンスB	リファレンスA	リファレンスB
付 加 価 値 (兆 円)	31.	219	219	300
エネルギー需要 (百万kℓ/年)	82.8	139.2	43.8	150
うち電力需要 (℄)	8.1	31.3	21.9	75
原 単 位 (百万kℓ/兆円)	2.67	0.64	0.2	0.2
う ち 電 力 (℄)	0.26	0.15	0.1	0.1

将来のエネルギー需要予測の基礎となる人口及びGNPを表4.1のように設定した。

これをもとに、2,050年のエネルギー需要のイメージを画くと表4.2の通りである。

ここで、ケース“リファレンス”は、第4章のマクロエネルギー需要予測であり、これに対して、“A”は今後成長が予想されるエネルギー少消費産業（電気機械、精密機械、医薬品、出版・印刷）を考慮して、エネルギー原単位を0.2kℓ/10⁶円とした場合、ケース“B”は、鉱工業の中で成長が期待される加工・組立産業が今後20年間位7%程度成長すると仮定したケース（リファレンスAの約5割増）である。

4.2 農業用エネルギー

農業用エネルギーは、熱利用（灯油・重油中心）、液体燃料利用（ガソリン・軽油）および電力について年間の伸び率を想定して2000年、2050年の需要量を計算した。その結果は表4.3の通りである。

4.3 水産業用エネルギー

水産業用エネルギーは、水産物の開発供給

目標数量、エネルギー原単位から推計した結果表4.4の結果を得た。

4.4 運輸用エネルギー

現在、運輸用エネルギーは全需要の15%前後を占めている。内訳は自動車が2/3、船

表4.3 農業用エネルギー予測

(単位：10¹²kcal/年)

	現在	2000年	2050年
熱 利 用	25	41	58
液 体 燃 料	16	18	18
その他（電力）	5	7	11
計	46	66	87

表4.4 水産業用エネルギー予測

	1980年	2000年	2050年
消 費 原 単 位 [10 ³ kℓ/万トン]	4.8	4.5	4.0
エネルギー需要 [10 ¹² kcal/年]	53	71	63
重油 (10 ⁶ kcal/ℓ 年)	5.03	6.55	5.82
軽油 (℄)	0.26	0.58	0.51
灯油 (℄)	0.07	0.07	0.06

舶が1/4を占め、どちらも石油製品を主なエネルギーとするため、石油需要量の約20%を占めている。近年の運輸の特徴は、自動車は旅客輸送では鉄道のシェアを貨物輸送では鉄道と船舶のシェアを奪っていることである。さらに、遠距離の旅客輸送でも鉄道は飛行機にシェアを奪われている。将来の需要予測は、各交通機関の技術革新と輸送システムの構造変化を想定して推計した。その結果は図4.1に示すとおりである。

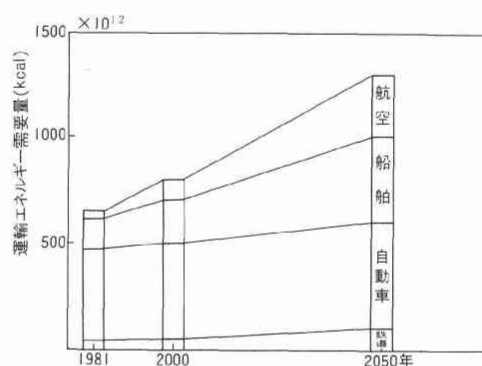


図4.1 運輸用エネルギー需要予測

4.5 家庭用エネルギー

家庭用エネルギーは、地域によって差が大きい。そこで、昭和55、56年度に都道府県が実施した「地域エネルギー開発利用調査」を基に、将来の人口、家庭用機器の普及率と省

表4.5 家庭用エネルギー予測

(単位: 10^{12} kcal/年)

	2000年	2050年
暖房	186	189
冷房	10	18
給湯	209	225
照明他	176	191
合計	581	623

エネルギー率から推算した。この結果は表4.5のとおりである。

4.6 業務用エネルギー

業務用エネルギーは、空調設備等の冷暖房の普及、電算機、複写機等の導入率を考慮しつつ、GNPとの相関で推算した。その結果は表4.6のとおりである。

表4.6 業務用エネルギー予測

(単位: 10^{12} kcal/年)

	1980年	2000年	2050年
暖房	59	100	154
冷房	25	42	64
給湯	71	100	183
その他	114	157	290
計	269	398	691

5. 第I編第3章の概要(ソフトエネルギー需給の将来予測)

第3章では、ソフトエネルギーの利用可能性を側面からチェックするため、超長期のエネルギー需給構造の予測を行っている。

5.1 各種シナリオに基づく需給予測

ここでは、現在のトレンドをベースとして、今後の経済成長、産業構造、需要構造、省エネルギーの進展、各種供給力の取得可能性などの想定を行い、2,050年にいたる超長期のエネルギー需給予測を行った。この結果は、表5.1、表5.2に示すとおりである。

5.2 積み上げ方式による需給予測

ここでは、ソフトエネルギーの期待と限界

表5.1 経済成長とエネルギー需要予測

項 目	単 位	1980年	2000年	2020年	2050年	対1980年倍率		
						2000年	2020年	2050年
国 民 総 生 産	80年価格 兆 円	235	385	495	625	1.64	2.11	2.66
エ ネ ル ギ ー 需 要								
1次エネルギー	石油換算百万 kl	429	530	570	630	1.24	1.33	1.47
需 要 端	〃	301	359	378	413	1.19	1.26	1.37
エネルギー需要原単位								
1次エネルギー	百万 kl / 兆円	1.83	1.38	1.15	1.01	0.75	0.63	0.55
需 要 端	〃	1.28	0.93	0.76	0.66	0.72	0.59	0.52

表5.2 一次エネルギー供給構造予測

項 目	単 位	1980年	2000年	2020年	2050年	構 成 比 率(%)			
						1980年	2000年	2020年	2050年
総 供 給	石油換算百万 kl	429	530	570	630	100	100	100	100
化 石 燃 料	〃	382	396	340	360	89	75	60	57
{ 石 油	〃	285	250	210	150	66	47	37	24
{ そ の 他	〃	97	146	130	210	23	28	23	33
原 子 力	〃	22	70	135	155	5	13	24	24
自 然 再 生	〃	25	64	95	115	6	12	16	19

を把握する目的で、第1章のエネルギー源別供給可能量と第2章の用途別エネルギー需要予測の結果をもとに、2000年、2050年の需給バランスを検討した。

その結果、2000年におけるソフトエネルギーの供給量は、熱として 93×10^{12} kcal/年、電力として、 113×10^{12} kcal/年、2050年のそれは、熱として 192×10^{12} kcal/年、電力として 211×10^{12} kcal/年、となった。これは需要側で十分吸収可能な量であり、2000年、2050年における全エネルギー供給に占めるソフトエネルギーのシェアは、それぞれ5%、8%である。

6. 第Ⅱ編の概要（発展途上国におけるソフトエネルギーの現状と将来）

第Ⅱ編では、発展途上国におけるソフトエネルギーの現状と将来について論じている。

エネルギー消費密度が比較的小さく、国際競争力のある輸出商品に乏しい発展途上国にとって、ソフトエネルギーは極めて重要である。

発展途上国で特に重要な技術として、①農村周辺にある資源（木材、糞など）を利用する伝統的技術の改善、②既存の技術だが、先進国の協力が必要なもの（水力など）、③先進国で急速に開発されている先端技術（太陽電池など）を挙げている。

現在開発が進められているいくつかのソフトエネルギー技術の中で、最も大きな可能性を持つのは太陽発電システムであり、村落用電力システム、TV受像システム、かんがいシステム、通信システム、交通照明・信号システム、電気防食システムなどへの適用が有望である。

このようなソフトエネルギー技術を発展途上国で普及して行くために、先進国とどのような技術協力が必要であるかについて、問題点と可能性をとりまとめている。

発展途上国の国別の状況については、ブラジル、インドネシア、タイ、マレーシア、フィリピン、ケニアのエネルギー需給、ソフトエネルギー利用の可能性を検討している。

7. おわりに

本報告は、冒頭に記述したように、昭和57年～昭和58年にかけて、研究所の自主研究として行った「ソフトエネルギー（その期待と限界）」の調査報告書の抜粋であり、紙面の都合により、ほとんど結果しか掲載出来なかった。

元々、エネルギーの需要、供給予測は、その結果より、予想の途中経過が重要であると言われているので、内容に興味のある方は、是非NIRAアウトプットとして刊行されている本報告書を御覧いただきたい。

（くわばら おさむ 主管研究員）

石炭ガス化炉の開発動向について

菅 野 孝 悦

1. はじめに

石炭は石油や天然ガスよりも資源量のはるかに多いにもかかわらず、固形であることと灰分を含むこと等により、他の燃料よりも不利である。この石炭を、クリーンで取り扱い易い燃料にするためにガス化、液化、スラリー化等の技術開発が行なわれている。これらの石炭利用技術の中で、石炭ガス化に関して、この度海外の開発動向を調査する機会を得たのでここにその一端をご報告したい。

2. 石炭ガス化の概要

石炭ガス化では固形である石炭を気体にしてクリーンにすることにより、メタノール、アンモニア等の化学品の原料にしたり、都市ガス用や発電用の燃料および製鉄用還元ガスとして利用することが考えられている。

石炭ガス化炉そのものは1920～1930年代からヨーロッパを中心に開発され、いわゆる第一世代のガス化炉は既に商業化されており、この中で固定床方式のルルギ炉、流動床方式のウィンクラー炉、噴流床方式のコッパーストチェック炉がそれぞれの方式の代表的なも

のである。石炭ガス化炉の開発、利用は第二次世界大戦の終わりまで続けられていたが、その後、利用し易い石油や天然ガス等の利用量が増大し、石炭ガス化炉の開発は1973～74、1979～80年の石油危機まで停滞した。二度の石油危機により、エネルギー資源の多様化、供給地域の分散化の必要性から石炭が見直され、これと共に石炭ガス化が再び注目されるようになった。現在開発されている第二世代、第三世代の石炭ガス化炉は、前述の第一世代のガス化炉の経験をベースに次のような目標のもとに研究開発が行なわれている。

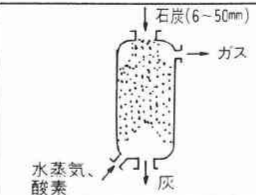
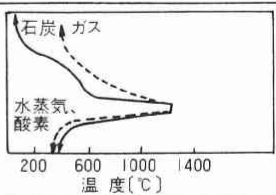
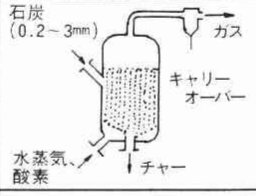
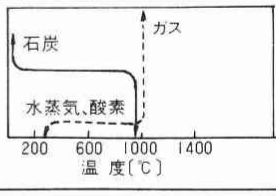
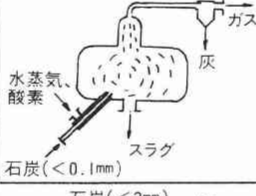
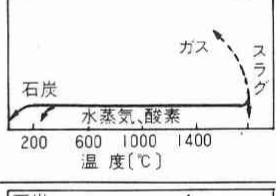
(表1)

- ①使用石炭炭種の拡大
- ②石炭変換効率の向上
- ③石炭処理量、ガス発生量の増加
- ④環境保全対策の確立

このような目標をもって開発されている第二世代、第三世代の石炭ガス化炉の内、いくつかのものは既に技術的には商業化可能な段階にあると思われる。しかし、現今の世界的な景気の後退と石油や天然ガスの過剰のため、石炭ガス化炉を含めた新エネルギー技術開発は一時的に停滞しているようである。

ここでは比較的大規模なデモプラントによる開発が行なわれているものとしてTEXACO

表1 主 要 な ガ ス 化 炉

ガ型 ス化 炉の 式	炉 内 バ タ ー シ		従 来 法 (第1世代)	商 業 化 開 発 段 階 (第2世代)		パイロット 段 階 (第3世代)
	炉内のガス化反応様相	炉 内 の 温 度 分 布		従来法の 再 開 発	そ の 他	
1. 固 定 床			・ルルギ法 (Lurgi) (dry ash)	・BGC- ルルギ (BGC- Lurgi) (alagging) ・ルーア100 (Ruhr 100)	—	—
2. 流 動 床			・ウインクラー (Winkler)	・高温ウイ ンクラー ・Westing House ・Uガス法 (U-Gas) ・石炭重質 油ハイフ リッド	・Exxon 接触ガス 化 ・高温原子 炉核熱利 用ガス化 (Bergbau- Forschung)	—
3. 噴 流 床			・コッパース トチェック (Koppers Totzek)	・テキサコ (Texaco) ・シェル コッパース (Shell Koppers)	・Flash- Hydro- Pyrolysis ・CS/R ・旭化成	—
4. 溶 融 塩			・オットー ルンメル (Otto Rummel)	・ザルブルグ オットー (Saarburg Otto)	・鉄 浴 法 (住友ガ ス化法)	—

法による石炭ガス化コンバインドサイクル発電
のデモプラントであるCool Water Program,
それにShell炉および KILn Gas 炉の開
発動向について述べる。

3. Cool Water Program

3.1 Program 概要

このプラントはコマーシャル規模での石炭
ガス化コンバインドサイクル発電の経済性、
環境保全性を実証するために計画されたもの
で、TEXACO法の石炭ガス化炉とG E 製

ガスタービン、蒸気タービンによる発電設備
からなる。計画の概要は次のとおりである。

(1) 設備概要

石炭消費量 1,000ST/D (dry ベース)

酸素消費量 1,000ST/D

ガス発生量 750MBtu/h

出力 (NET) 111MW (酸素プラント
は除く)

敷地面積 主要プラント 79,000 m²

そ の 他 420,000 m²

使用炭種 ユ タ 炭

酸素は隣接の Airco のプラントから購入

(酸素プラントの動力は13,000kW程度)

(2) 参加企業および資金

Southern California Edison	
	\$ 25,000,000
Texaco	
	\$ 45,000,000
Electric Power	
Research Institute	\$ 105,000,000
General Electric	\$ 30,000,000
Bechtel	\$ 30,000,000
Japan Cool Water Program	
Partnership	\$ 30,000,000
(東京電力, 電力中央研究所, 東芝, 石川島播磨重工)	
Empire State Electrical Energy Research Corp.	
	\$ 5,000,000
Program Loan	\$ 24,000,000
Total Commitment	\$ 294,000,000
Estimated Capital	
Cost	\$ 284,000,000

なお, Southern California Edison は初期のテストとデモンストレーション期間 (1984~1989) のオペレーション, メンテナンス費用を受け持ち, 経済性が成り立てば, その後の15年間運転する計画である。

また, Synthetic Fuels Corporation (SFC) はデモンストレーション期間中 1.2億ドルまでの財政援助を行なう。

(3) スケジュール

エンジニアリング開始	1980年2月
建設開始	1981年12月
ガス発生	1984年5月
ステージ1 デモンストレーション	1984年6月~1989年6月
ステージ2 SCEによるオペレーション	1989年6月~2004年6月

現在メインのガス化炉と発電設備が完成し, ステージ1のデモンストレーションの段階で, 5月からガス化炉の試運転を始め, 6月から全体の試運転が行なわれている。なお, 予備のガス化炉をもう一基建設中である。

3.2 プロセスの概要

石炭はユニットトレーンでプラント構内まで輸送され, 二つの6,000 tサイロに貯蔵される。使用される石炭は, 低イオウ分 (0.45%), 高発熱量 (11,150 Btu/lb : 6,195 kcal/kg) の高品位炭であるが, このプラントはイオウ分3.5%の石炭も処理できる設計である。石炭はサイロから1,000 t/dの粉碎装置 (二系列ある) に送られ, 水-石炭スラリーとしてタンクに貯蔵され, 高圧移送ポンプでガス化炉に供給される。

メインのガス化炉は, 図1に示すようにラジアントガスクーラーの上に耐火ライニング

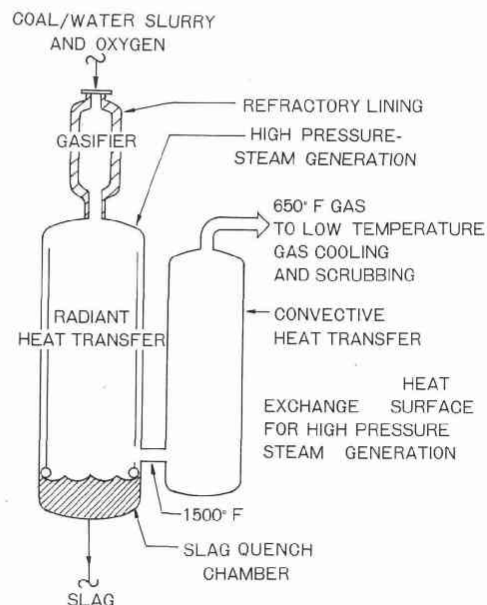


図1 TEXACOガス化炉 (ラジアントクーラータイプ)

された反応器が設置されているが、ここに特別設計のバーナーで酸素と一緒にスラリーが供給される。ガス化炉圧力は600psig (42atg)、温度は2,300~2,800°F (1,260~1,538°C)であり、主に CO 、 H_2 、 CO_2 と蒸気からなるガスを発生する。また、石炭中のイオウは H_2S と少量の COS に転換される。ガス化炉反応器からの高温ガスとスラグはラジアントクーラーに流れ、ここで1,600psig (112 atg) の蒸気を発生させる。スラグはラジアントクーラーの底部の水中に落ち、ロックホッパーシステムにより排出される。ガスはさらにコンベクションクーラーに流れ、ここでまた1,600psigの蒸気を発生させる。

ガスはクーラーからスクラパーに流れて固体粒子が除去され、さらに冷却された後セレクトソールユニットに流れ、97%脱硫される。セレクトソールユニットから出たクリーンでドライなガスはサチュレーターで熱水と接触することにより加熱され、ガスタービンで燃やされる。サチュレーターで加えられた湿分により NO_x の生成が低減される。

このプラントでは、前述のように予備のガス化炉として図2に示すようなクエンチガス化炉を建設中だが、このガス化炉では高温ガスは、直接水冷却で冷却される。またガス化炉を出たガスはスクラパーで脱塵されるが、スクラパー出口温度はメインガス化炉の場合よりも高いため、エアフィンクーラーでさらに冷却する。この後のフローは上述のメインガス化炉と同じである。

コンバインドサイクルプラントは、ガスタービン—発電機、排ガスボイラ、蒸気タービン—発電機で構成されている。ガス化炉で発生したガスは、カーボンスクラパー、セレクトソー

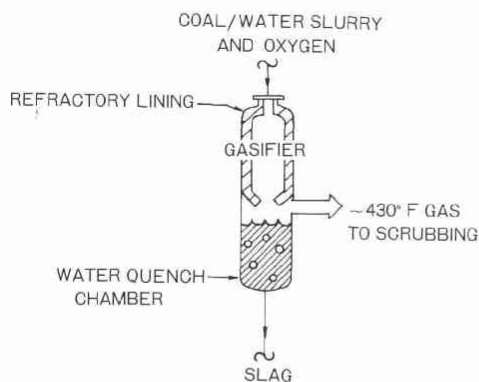


図2 TEXACOガス化炉（ダイレクトクエンチタイプ）

ルユニットで精製された後、ガスタービンで燃やされ、ガスタービンからの排ガスは、排ガスボイラに流れ、蒸気を発生させる。メインガス化炉の場合にはガスクーラーで発生した飽和蒸気も、排ガスボイラからの過熱蒸気と一緒にされ蒸気タービンを駆動する。ガスタービン出力は64MW、蒸気タービン出力は53MWで、発電所のNET出力は111MWである。（ただし、酸素プラント動力は除く）

3.3 TEXACOガス化炉について

上述のCool Water Programで利用されているTEXACOガス化炉は、もともと米国のTEXACO社が開発したもので、いわゆる第二世代のガス化炉の中では最も開発が進んでいるものの一つである。このガス化炉による主なプロジェクトを表2に示す。表中のRuhrchemie/Ruhrkohleでは150t/dのデモプラントの経験を基に、現在さらに大規模なプラントを建設する計画がある。

表2 Texaco Coal Gasification Projects

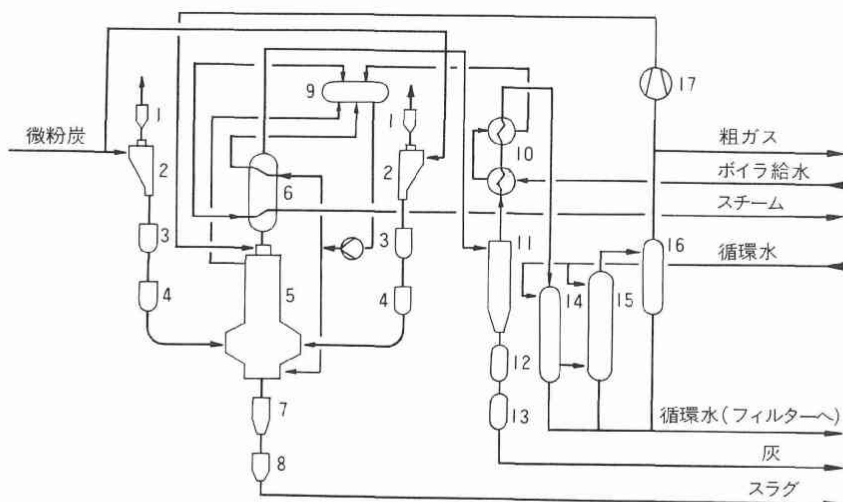
Plant	Coal Feed Rate (ton/day)	Gas Cooling	Gasifier Pressure (kg/cm ² G)	No. of Trains	Start-Up Date (Estimated)	Products	Remarks
Ruhr Chemie	150	W.H.B.	~35	1	Jan. 1978	Oxo Alcohol	Demo. Plant
Dow Chemical	360	Quench	~25	1	May. 1979	Power Generation	Air Gasification
TVA	170	Quench	~40	1	Jan. 1981	Ammonia	Feedstock Illinois No.6
Tennessee Eastman	710	Quench	~60	1 + 1	early. 1983	Methanol Acetic Unhydride	Feedstock Kentucky No.9
Cool Water	900	W.H.B.	~40	1	Mid. 1984	Power Generation	Demo. Plant
Ube Ammonia	1,500	Quench	~35	3 + 1	Mid. 1984	Ammonia	Feedstock: Canadian Coal

4. Shell石炭ガス化炉

Shell社は、ガソリン、ディーゼル燃料、ケロシンのような液体炭化水素用の合成ガス製造を目的として石炭ガス化炉の研究をはじめた。このガス化炉はKoppers-Totzek炉を高圧化したもので、Shell社とKoppers社が共同で開発を行っていたが、現在は、両社が独自に開発を進めている。

開発は1974年から始められ、1976年には6 t/dのパイロットプラント、1978年には150 t/dのプラントが建設され、種々の試験が行なわれている。ガス化炉は、微粉炭ドライ吹き込みの噴流床方式で、図3に、150t/dのパイロットプラントのプロセスフローを示す。石炭または石油コークは、通常100ミクロン以下（90ミクロン以下90%）になるように微粉砕され、湿分は乾燥工程により、瀝青炭で2%以下、褐炭で10%以下にされる。

灰分の多い（40%）、高イオウ分（8%程度）の石炭もトラブル無く利用でき、石炭の灰の熔融点、粘結性の制限も無いといわれている。乾燥微粉炭は、窒素をキャリアーとして常圧サイクロンホッパに気流輸送され、自動ロックホッパーシステムにより常圧のサイクロンホッパから加圧（20~40bar）された供給ホッパに輸送される。このあと微粉炭は、窒素または合成ガスにより、酸素（空気）と少量の水蒸気と共に、供給ホッパからバーナを通じて反応器に送られる。反応器は、直径方向に向き合った二つのバーナを持つ加圧容器で、100barの飽和水蒸気を発生する水冷壁によって高温ガスから保護されており、水冷壁は更に薄い耐火物で保護されている。反応で形成された熔融灰は、炉底の水中に流れ落ち、冷却され、ロックホッパーによって排出される。しかし、幾らかの熔融灰は、未反応石炭粒子と他の粒子状物質と共に、ガス化炉から出る生成ガス中に随伴する。このため



- | | |
|--------------|----------------|
| 1 石炭フィルター | 10 ボイラ給水予熱器 |
| 2 サイクロンホッパー | 11 サイクロン |
| 3 ロックホッパー | 12 アッシュホッパー |
| 4 フィードホッパー | 13 アッシュロックホッパー |
| 5 ガス化炉 | 14 ベンチュリ |
| 6 廃熱ボイラ | 15 スクラバー |
| 7 スラグ粉砕機 | 16 高圧セパレーター |
| 8 スラグロックホッパー | 17 循環ガスコンプレッサー |
| 9 スチームドラム | |

図 3 150T/Dパイロットプラント工程図

温度約1,500℃の生成ガスを、ガス化ゾーンのすぐ上の冷却ゾーンで、温度約100℃のリサイクルガスによって800～900℃まで冷却し、随伴した熔融スラグを冷却固化して排熱回収ボイラに入る前にガスから分離する。

排熱回収ボイラでは、520℃、100bar (1,500 psig)の過熱蒸気を発生する。ガスは、320℃でボイラを出て、ガス中の粒子状物質が1 mg/m³以下になるように設計された、サイクロン、スクラバーシステムで脱塵される。このシステムは、また、残った顕熱の大部分を回収する。精製、冷却されたガスの温度は、約40℃である。

このプロセスの150t/dプラントでの運転

結果を表3に示す。生ガスの製造量は、良い品質の瀝青炭の場合で、約2,000 m³/t-石炭で、平均的な発熱量は、11,300kJ/m³ (300 Btu/SCF)である。

ガス化炉だけの熱効率率は約81% (酸素、水蒸気の場合)で、発生水蒸気を含めると94～97%になるが、オーバーオール熱効率 (これは、トータルの水蒸気と合成ガスの熱量を全体のプラントの熱消費、すなわち石炭の発熱量、酸素プラント、石炭前処理、補助システム、ガス化炉のような他のプラント入力で割ったものとして定義される。)は、約78% (灰分12%、湿分6%の石炭の場合、低位発熱量ベース)である。ただし、この値は石炭の品質により影響を受ける。

表3 Shell ガス化炉の運転結果

Typical Results

In	: Coal + carrier gas	4,847kg / h
	Oxygen	4,553kg / h
	Steam	700kg / h
Out	: Gas	9,685kg / h
	Solid residues	415kg / h
	Carbon conversion (without ash recirculation)	99%
	Slagging efficiency (slag carbon content 0.1% wt)	50—70%
	Cold gas efficiency (LHV basis)	79%
	Thermal efficiency (incl. HP steam)	94%
	Dry gas composition : H ₂	29.4% vol.
	CO	61.0% vol.
	CO ₂	3.6% vol.
	CH ₄	0.1% vol.
	H ₂ S	0.2% vol.
	N ₂	5.8% vol.

酸素と水蒸気の消費量も、石炭の品質によって変わるが、瀝青炭の場合の典型的なもので酸素消費量は0.9～1.0t/t-m.a.f石炭である。褐炭では、この比率は約0.8に減少する。水蒸気消費量は、非常に低く、瀝青炭で十数%（重量）で褐炭の場合は通常ほとんどいらない。

米国のEPR Iを中心に、このShell炉を発電用として利用した場合のフィージビリティスタディを行なった結果が報告されており、その概要を表4に示す。

この中では、Shell炉と共にTEXACO炉および微粉炭火力も比較対象として取り上げているが、Shell炉とTEXACO炉の発電コストはほぼ同じで微粉炭火力による発電コストが一番高いという結果である。ただし微粉炭火力の熱効率の設定が日本の現状値に比べて低いこと、利用率が石炭ガス化コンバインドの方が高いことなどについて考慮する

必要があると思われる。

Shell社では、発電用と合成ガス製造用に1,000t/dのプロトタイププラントの建設を計画していたが、油一炭の価格差が余り大きくなりだろろうという予測によりこの計画を中止した。ただし、米国のShell Oilが中心となってShell炉によるデモプラントを米国に建設しようという動きがあるようである。

5. KILn Gas化炉

5.1 KILn Gas 石炭ガス化プロセス

KILn Gasプロセスは、ロータリーキルンを用いた発電用を目的とした石炭ガス化炉で、Allis-Chalmers社による開発の下に、イリノイ州、East Altonにあるイリノイ電力Wood River発電所に600t/dのデモプラントが1983年夏完成している。図4にこのガ

表4 検討結果の要点

No.	ケース	ガス化 ⁱ	石炭炭種	場所	運開年	出力(NE T)	脱硫率	利用率	石炭供給量
1	EXSC-I	Shell	Illinois No. 6	Chicago	1990	1,122MW	90%	75%	11,000 S T/D
2	EXSC-L	Shell	Texas lignite	Dallas	1990	969MW	85%	75%	17,000 S T/D
3	EXSC-I/D	Shell	Illinois No. 6	Chicago	1990	1,119MW	99%	+75%	11,000 S T/D
4	EXSC-L/D	Shell	Texas lignite	Dallas	1990	960MW	99%	+75%	17,000 S T/D
5	EXTC-MOD 2	TEXACO	Illinois No. 6	Chicago	1990	1,094MW	90%	75%	11,000 S T/D
6	微粉炭火力	—	Illinois No. 6	Great Lakes Region	1990	987MW	90%	65%	11,000 S T/D

注：微粉炭火力は2,400PSI、1,000°F／1,000°F

ケース	建設費	ヒートレート	熱効率	発電コスト	
				初年度	30年間平均
* EXSC-I	\$ 1,263/kW	9,182 Btu/kWh	37.17%	62.65 Mills/kWh (内燃料費26%)	36.77 Mills/kWh
* EXSC-L	\$ 1,308/kW	9,983 Btu/kWh	34.19%	60.26 Mills/kWh (内燃料費18%)	36.61 Mills/kWh
* EXSC-I/D	\$ 1,230/kW	9,208 Btu/kWh	37.06%	—	—
* EXSC-L/D	\$ 1,287/kW	10,071 Btu/kWh	33.89%	—	—
* EXTC-MOD 2	\$ 1,316/kW	9,417 Btu/kWh	36.24%	64.80 Mills/kWh (内燃料費—%)	37.78 Mills/kWh
* 微粉炭火力	\$ 1,145/kW	9,982 Btu/kWh	34.19%	—	43.86 Mills/kWh

注：発電コストは1981年価格。石炭供給量は受け入れ炭ベースで炭素供給量は6,700 S T/D。ガスタービン入り口温度は2,000°F (IGCC)。

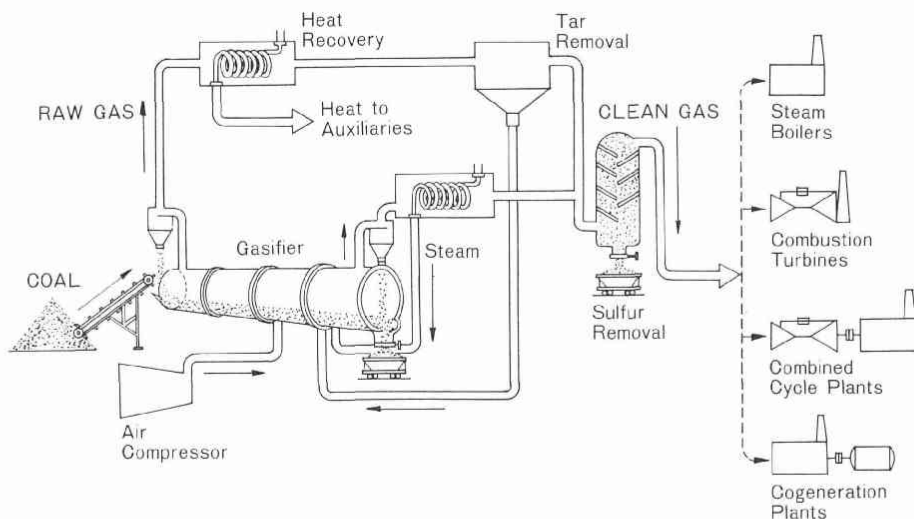


図4 KILn ガス化炉

ス化炉の概要を示す。

石炭はガス化炉の上端部に供給され、1～2 rpmで回転するキルンの転がり運動と0.5インチ／フィートのキルンの傾斜により他端に移動する。移動する間に石炭は乾燥され、予熱される。石炭の層が着火温度になった時、石炭層の下部にportingシステムにより空気と蒸気を供給する。これにより、石炭の部分燃焼が起こり、急速な層の加熱により乾留チャーができる。チャーはportingシステムを通じて入ってくる空気／蒸気に間歇的に晒されることにより、燃焼と水性ガス化反応を受け、最後に排出端に進み、ドライアッシュの形でガス化炉を出る。このプロセスは、主に灰溶融温度以下の1,800～1,900°F (982～1038℃)の比較的低いガス化温度で運転するため、生成ガスには hidrocarbonが含まれる。このためこれを回収し、空気／蒸気と同じ方法でプロセスのガス化ゾーンに再び送り、分解ガス化する。ガスの製造量を多くするためにガス速度を大きくしているので、固形物がガスに随伴するが、これらの随伴固形物もサ

イクロンで回収され、水冷スクリーフィーダーで再びプロセスに供給される。

反応器のシェルと耐火物を貫く空気、蒸気の供給システム（portingシステム）は、KILnガス化炉で欠くことのできない部分であり、6～24のマニホールドがガス化炉周囲に配置されている。

KILn GASプロセスの特徴の一つは、1基のガス化炉でのガス製造量を多くできることである。またこのプロセスは、微粉も含めて多種類の石炭を利用でき、石炭の前処理も必要無い。

予想される生成ガス組成は表5に示すようなものになると思われる。

表5 KILn ガス化炉生産ガス組成

Constituent	Percent Volume
N ₂	47.8
CO	20.0
H ₂	18.9
CO ₂	10.0
CH ₄	1.5
H ₂ O	1.4
Hydrocarbons	0.3
Sulfur Compounds	0.1
	100.0%

5.2 600t/dデモプラントの概要

Allis-Chalmers社は電力会社の財政支援を受けて、1976年より本システムの実用化開発を行ってきたが、1980年に12の電力会社、A. C. 社、イリノイ州、E P R I のグループが共同で600t/dのデモプラントの建設を始めた。このデモプラントの建設、スタートアップ、コミッショニング、1年間の運転費を含めた予算は155百万ドルでこのうちA. C. 社はプラントオーナーとして資金の60%を負担、残りは12の電力会社、イリノイ州、E P R I が拠出している。

プラントは83年の夏に完成し、8月18日に、イリノイNo. 6 炭を使って最初のガス化が行なわれた。ガス化炉は九つの部分に分かれていて、大きさは、長さ167ft×内径10.5ftで9inの耐火ライニングが施されている。石炭ハンドリングシステム、貯炭バンカー、石炭供給システム、灰取り出しシステム、熱回収システム、ガス精製システムも完成している。当面、このプラントからのガスはWood River 発電所の No. 3 ユニット（出力50MW）で利用されるが、次のステップとしてG E 社製の37MWのガスタービンを用いた5,000時間運転のテストが計画されており、G E 社は既にこのための開発を開始している。

これは、将来のKilnガス化炉を用いたコンバインドサイクル発電を考慮したものであり、燃料および制御の観点からテストされる。またこのプラントではガス化炉に必要な空気はガスタービンからのブリード空気が用いられる。現在このデモプラントのための資金調達を行っており、1985年6月に運転開始の計画である。

出力600MWのKilnガス化炉を使ったガス化コンバインドサイクルのフィージビリティ調査の結果では、熱効率は、ガスタービン入り口温度2,200°Fの場合で36.8%、2,300°Fの場合で37.7%であり、これは排煙脱硫装置付きのコンベンショナルプラントの熱効率35.2%よりもよかった。また、このプラントの建設費はコンベンショナルプラントと同程度か少し安いと見積もられており、このため発電コストは約10%程度低くなっている。

6. おわりに

以上、現在活発な開発が行なわれている三つの石炭ガス化プロセスについて紹介したが、これらの他にも表6に示すような石炭ガス化プロセスの開発が行なわれている。

（かんの こうえつ 主任研究員）

表6 開発中の主要ガス化炉

番 号	1	2	3	4	5
プロセス名	BGC-Lurgi-slugging	Ruhr 100	H, T, Winkler	Westinghouse	U-gas
炉 型 式	固 定 床	固 定 床	流 動 床	流 動 床 灰凝集式	流 動 床 灰凝集式
番 号	6	7	8	9	
プロセス名	Exxon 接触石炭ガス化	高温ガス炉利用, Bergbau Fors- chung	Saarburg-Otto	住友式石炭ガス 化	
炉 型 式	流動床、接触水 蒸気改質	流動床、外熱 (HTRの熱)	溶融・噴流床	溶融床・転炉技 術応用	

F B R 耐震設計に関する海外調査

安 藤 順 康

1. はじめに

当研究所の企画による「F B R 耐震設計に関する海外調査」は、高速増殖炉利用システム開発調査委員会の F B R 耐震設計分科会の下で、訪問先及び日程が検討され、昭和59年3月3日から3月18日までの16日の間、フランス、西ドイツ、英国及び米国での調査活動が実施された。今回の海外調査の主な目的は、F B R 耐震設計分科会で検討が進められている F B R の耐震設計に関しての“Key question”とも言ふべき主要課題について、上記の諸外国での状況や将来の F B R の耐震設計への動向を知り、本分科会の活動に資することにある。したがって、公開された文献的情報では、十分に察し得なかった事項や耐震設計の基本的考え方が、今回の海外調査における訪問先での討論によって得られ、一方、相手方に本分科会の活動の概要を説明し、日本での F B R 耐震設計紹介の一助とした。

海外調査団は、東京理科大学教授原文雄氏を団長とし、当研究所の安藤をはじめ、動燃事業団、機器メーカー及び建設会社から専門技術者の9名の参加を得て組織された。調査団の訪問先は、フランスの SACLAY 研

究所、NOVATOME、SUPER PHENIX—I建設現場、CRUAS軽水炉発電所、西ドイツの INTERATOM 及び KALKAR SNR300建設現場、英国の N N C、米国の E P R I の7機関であり、それぞれの機関で特色のある事項について、討論と意見交換がなされた。

本報告は、今回の海外調査において、訪問先機関と討論された内容及び現場見学内容をまとめたもので、本海外調査の成果の概要である。

表1に今回の海外調査団の名簿を、表2に訪問先及び日程を示す。

2. 調査先別各論

2.1 CEA—SACLAY研究所

フランス原子力庁（CEA）の サクレー研究所を訪問して、えられた調査結果は概要つぎのとおりである。

- (1) 研究所組織の概要と耐震振動関連研究の位置づけについて説明を受けた。
- (2) 座屈

スーパーフェニックス（SPXと略す、以下同じ）の炉壁保護を目的とした内部

表1 海外調査団名簿

	氏 名	所 属
団 長	原 文 彦	東京理科大学工学部機械工学科教授
団 員	森 下 正 樹	動力炉・核燃料開発事業団高速増殖炉開発本部
〃	大 手 敏	東京芝浦電気(株)総合研究所機械研究所主任研究員
〃	重 田 政 之	(株)日立製作所機械研究所第4部主任研究員
〃	黒 田 克 彦	三菱原子力工業(株)プラント設計部機器設備設計課主任
〃	後 藤 義 則	高速炉エンジニアリング(株)プロジェクト部
〃	外 村 憲太郎	大成建設(株)エンジニアリング本部原子力部設計室室長
〃	平 島 新 一	清水建設(株)エンジニアリング事業本部原子力設計部次長
〃	高 林 勝 人	鹿島建設(株)建築設計本部原子力設計部技術長
〃	一之瀬 快 朗	(株)大林組技術本部原子力部課長
事務長	安 藤 順 康	(財)エネルギー総合工学研究所主任研究員

表2 訪問先及び日程

(月 日)	(日 程)
3月3日(土)	成田発
3月4日(日)	パリ着
3月5日(月)	CEA (SACLAY 研究所) 訪問
3月6日(火)	NOVATOME 訪問
3月7日(水)	移動日 (パリ～リヨン)
3月8日(木)	SUPER PHENIX-1 訪問
3月9日(金)	CRUAS 訪問
3月10日(土)	移動日 (リヨン～パリ～デュッセルドルフ～ケルン)
3月11日(日)	ケルン滞在
3月12日(月)	INTERATOM～SNR 300 訪問
3月13日(火)	NNC (National Nuclear Corp.) 訪問
3月14日(水)	ロンドン滞在
3月15日(木)	移動日 (ロンドン～サンフランシスコ)
3月16日(金)	EPRI 訪問
3月17日(土)	サンフランシスコ発
3月18日(日)	成田着

容器(インナーベッセル)を模擬した1/10スケールの薄肉円筒に静的及び動的な外圧が作用したときの座屈の試験について説明を受けた。

(3) 流体構造連成振動

主として流体力による附加質量効果についての解析手法の開発を行っており、実験による検証、SPXへの適用例、今後の開発に当たっての興味のある問題などについて説明を受けた。

(4) 炉心の振動解析

炉心の解析コード“CORALIE”の開発を行っており、ラブソディーのモデル実験との比較、SPXの解析などを行っている。それらについての説明を受けた。

(5) 制御棒の挿入性実験

SPXの実規模の制御棒と炉心を用い、

地震時の制御棒の挿入性について実験を行った結果について説明を受けた。

(6) 施設見学

動的座屈試験を行った振動台、炉心の上下水平振動実験、制御棒の挿入性実験、座屈試験後の試験体の見学を行った。

昼食をはさみ6時間にわたり研究紹介、実験設備の見学、日本の耐震研究などについて熱心に議論を交した。

フランスのFBRに関する耐震研究は日本のようにメーカー各社も参加しているのとなり、ほとんどがEDFフランス電力庁からCEAに基礎的な研究が委託されていると考えられ、研究動向はSACLAYの研究所とノバトムの訪問ではほぼ全貌を知ることができたものと思う。

SPXの耐震性の検討は主として解析コードを介して行われており、SACLAYでの実験は主としてこの解析コードの開発を目的として、妥当性の確認と改良に利用しているようである。

対象機器は炉容器、炉心、制御棒など安全上特に重要なものが取り上げられており、この内制御棒の実験だけがほぼ実規模の試験装置を使っている。

加振台は比較的小規模なもので、台そのものの重量も試験体に比べ小さく、加振機のピッチングによる影響などがありそうな試験も行っているが、あまり気にしないで試験しているようであった。

2.2 NOVATOME社

NOVATOME社は、SPX-1の設計

を主担当している会社である。

現在建設中のSPX-1に対して、昨年7月より詳細設計を進めているSPX-2は高レベル地震（南仏サイト予定）への対応を考えており、ヨーロッパ戦略のもとに、開発を進めている。（SSE（安全停止地震）レベル0.3G、上下、水平免震の採用）建設コストはSPX-2 1,500MWのレプリカプラントで、PWR1,300MWプラントの1.4倍を目標にしている。従って、免震を必要としないサイトでは、PWRプラントのコストにより近づくものと推定され、より高耐震性が要求される我国にとって、コストの厳しさを知ることができた。（我国のコスト目標軽水炉の1.5倍）

我々が注目している地震荷重に対するバックリング、3次元FSI（流体構造物相互作用）の評価技術は基礎研究が先行しているが、上下動評価、SSI（地盤建屋相互作用）に関しては未だしの感である。今後は高耐震化に向けて、強力に進めてくると考えられる。なお、SPX-1のフェーズではバックリングはR/V（原子炉格納容器）の冷却用の内部容器（I/V）に注目しており、R/V本体に関しては問題なしとしている。原子炉建屋の埋込工法の免震に関しての我国での許認可制にも関心をもっており、高耐震化に向っての意気込みを知ることができた。

ところでフランス及びECのFBRの状況は次の様になっている。

- 1) SPX-1 Na充填は今年夏頃にはOK。
制御系のトラブル多々あり。
- 2) SPX-2 詳細設計を1983年7月よりスタート。General Safety

Requirementを規制側（CEA）より受け、1986年中頃には答申することになる。

- 3) EC関係 EC間におけるFBR一般戦略グループとしてARGOグループが発足（今年3月2日）し、R&D等ヨーロッパ戦略を打出す予定。耐震関係については、計算方法、設計条件をつめ、特に南仏、伊では地震レベルが高いため、NIRA（イタリアの設計会社）との共研を行ってゆく。SPX-2は高耐震型として南仏に建設する予定。

環境に置かれている。建屋群は鮮やかな塗料およびタイルによる外装と平板的ながらも意図的なデザインが施されており、我国に見られるような重苦しさ避けようとしている。また、欧米で一般的に見られる鼓形の冷却塔が無いことおよび機器組立て用、補修用の大規模工場が設置されていることが目を引く。

2) 概要説明

- (1) 先ず、フランスにおけるFBRの必要性が将来のウラン需要との関連で説明された。
- (2) SPX-1の建設は現在、下表の3国出資組織（NERSA）によって事業が行なわれている。SPX-1における建設区分も併せて示す。

	国 名	機 関	出資率	建 設 区 分
NERSA	フランス	EDF	51 %	原子炉建屋・コンピューター
	イタリア	ENEL	33 %	タービン建屋
	西ドイツ	SBK	16 %	制御室・ケーブル

2.3 Super Phenixサイト

このサイトはリヨンから東へ車で1時間余りのローヌ川河畔に位置している。工事は小規模な建屋および周囲の土工事を除いて主施設の土工事は外装を含め完了しており、内部設備工事もほぼ最終段階にある。

現場視察に先立って、現場事務所で概要説明と2本の映画によってFBRの紹介があり、現場巡回の後、質疑応答が行われた。

1) サイト全貌

サイトはローヌ川対岸にある集落および背後に点在する住居から余り隔っておらず（目測で1km以内）、遮へいする丘陵もない

(3) 映 画

- ① FBR-1における機器（主にR/V）の現場加工と搬入組立て記録。
- ② SPX-1における機器（主にR/V）の現場加工と搬入組立て記録。
- (4) 工事は1975年～76年にかけての敷地造成工事に始まり、現時点ではほぼ90%完成している。来年（1985年）の中頃にNaを充填する予定である。

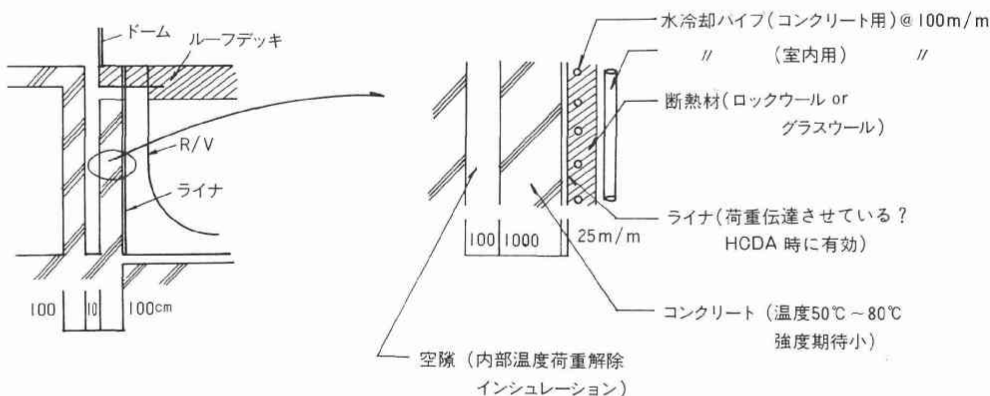
3) 現場視察

現場視察では、原子炉建屋内、二次系ポンプ室、洗滌槽室、Na消火剤室、蒸気発生器室、制御建屋、タービン建屋を巡回した。なお、撮影は禁止であった。

4) 質疑応答

(1) 炉容器室構造

原子炉容器下廻りの断面を下図に示す。
特にライナ部のみで、ルーフデッキからの荷重（仮想炉心破壊事故（HCDA）時荷重を含む）を支えられる設計となっている、とのことであった。



る考え方及び免震機構について聴取した。また、現在建設中の3号機の原子炉建物の下部に入り、免震パッドを視察した。

プラントの標準化を推進するために積極的に免震機構を採用している様子がわかると共に、実際に免震パッドを視察でき、今後耐震対策を検討する上で参考になった。

(2) 地盤と沈下

支持地盤とその沈下量は、次のようになっている。

支持地盤 100m厚の砂質沖積層， $E \approx E(\text{コンクリート})/10$

沈下量 現在20mm/m程度

(3) 動的解析を行った建屋

次の建屋については動的解析を行っているとのことであった。原子炉建屋，蒸気発生器建屋，制御棟建屋，燃料取扱建屋。

フランスでは現在4サイトで16基の900MWeの軽水炉が運転中であり，その他に18基の900MWeのプラントが建設中であり，これらは全て標準化プラントである。

又，1,300MWeのプラントについても建設，計画中のものがある。CRUAS発電所は900MWeのプラント4ユニットより成り，1号機は運転中，2～4号機は建設中で，そのうち2号機は今年の4月，3，4号機は今年の9月に運開予定である。CRUASサイトは仏国内でも高地震帯に属する。そのため，耐震上からのプラント設備仕様変更を回避するために，云いかえれば，プラントの標準化を推進するために免震構造を採用している実プラントである。

CRUAS発電所のプロットプラン及び建物断面図を図1，及び2に示す。

2.4 CRUAS発電所

フランスで建物の免震のために実際に積層ゴムパッドを使用しているフランス南部ローヌ川沿いのCRUAS原子力発電所サイトを訪問し，仏での地震対策，特に軽水炉に関す

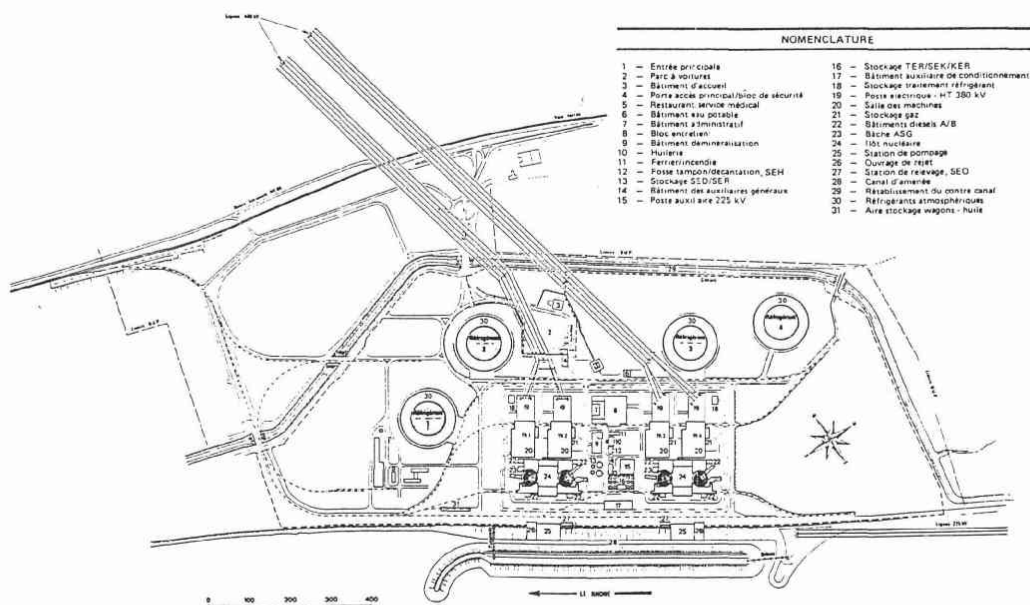


図 1 CRUAS 発電所プロットプラン

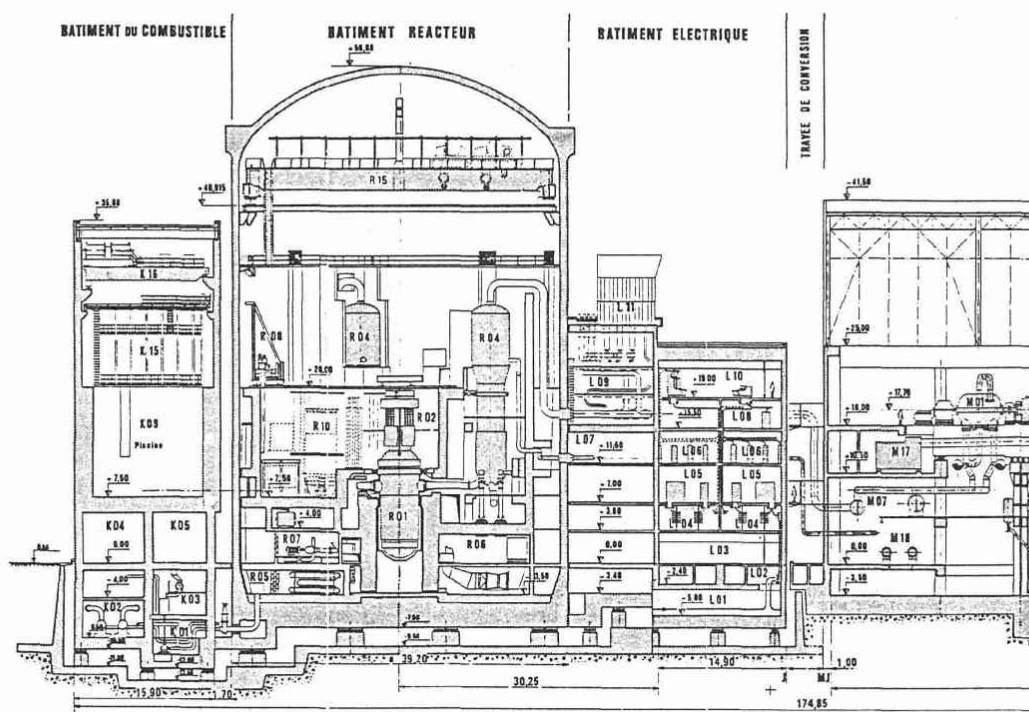


図 2 CRUAS 発電所断面図

本発電所はいわゆる「2ユニットミラータイプI型配置」で1, 2号及び3, 4号は各々ベースマツトが一体となっている。

平坦な敷地で、ユニット間あるいは各種建物間のグランドレベル差は殆んどないレイアウトとなっており、サイト条件としては日本のプラントからみると、めぐまれたものになっている。

2.5 INTERATOM社

西ドイツのINTERATOMはKWUの100%子会社であり、仕事の範囲もFBRだけにとどまらずHTGR, ウラン濃縮, 軽水炉の燃料製造等々広い範囲にわたり活動していることが理解された。

我々の質問に関しては詳細な回答書が用意されており、それに従って議事が進められたが、午後にカルカルのSNR300の訪問が予定されていたため、大筋についてのみ議論し、個別にはバスの中で行うことになった。

西ドイツにおいては、1970年以前は誰も地震については考えなかった。実際国民の3/4が非常にかすかな地震さえも一生涯に感じることはないのである。こういった観点から地震も航空機の衝突と同列の外的事象の一つとしてとらえている。したがってOBE(運転時地震)とSSE(安全停止地震)は別の外的事象(EVENT)であり、その相異として発生確率を用いている。設計思想としては各々の外的事象に対し、独立に防護(Protection)するということである。発電所の構造設計に最も大きな影響を与える外的事象は通常運転時荷重であり、配管設計では地震荷重であるが、規制側が後から追加してくる事象に対する防護をすることがTotal costを押

し上げている。西ドイツの耐震設計事情の要点は次のとおりである。

① 西ドイツの耐震設計基準について：一般の建物についてはDIN4149が適用される。これは非安全系の建物に適用されるもので、タービン建屋の設計に用いている。耐震設計を要する系もしくは機器に対しては、ドイツ内務省や原子炉安全委員会が指針や基準を与えている。しかし正確には、プラント毎に定められ、規制当局側により承認される形となる。

② SNR-300の耐震設計：OBE(運転時地震)は水平50gal垂直25gal

SSE(安全停止地震)は水平120gal垂直60gal

なお、地盤のせん断波速度は370m/secである。

③ 機器に対する耐震設計：SSI(地盤建屋相互作用：地盤を半無限球体として得られるバネと減衰による)により床応答曲線を作成する。SSIにおいては地盤のせん断弾性係数を±40%の範囲で変える。床応答曲線は3, 4波の地震の平均値を取り頻度分布曲線の1σを考えた。これは全体の85%をカバーすることになる。

④ 減衰：

コンクリート構造物に対してはOBE 5%, SSE 7%, また、地盤に対しては上限値として水平15%, 垂直30%, 回転10%を与えている。

⑤ 解析モデル：軸対称モデル。したがってロッキングによる上下動は考慮される。

INTERATOMでの調査、意見交換の

あと、S N R300の建設現場を視察した。原子炉の炉心部分は3ループで1ループ当たり1次ポンプ1台、中間熱交換器3台、エバポレータ3台、過熱器3台で構成されている。建物内は配管で埋まっており、運転中の保守管理がうまくいくかどうか心配であった。

2.6 NNC

英国の原子力発電所の設計・エンジニアリングを担当している国策会社、NNC (National Nuclear Corp.) での耐震設計に関する討論からえられた情報の概要は次のとおりである。

(1) 耐震設計基準としてはドラフトレベルのものがある (ISO/DIS6258) が、まだBritish Standardとしてオーソライズされてはいない。又、特に高速増殖炉の耐震基準は設けていない。

(2) CDFR (実証炉, 1,320MW, 設計中, 着工予定1993年頃) の耐震設計の基本的な設定条件を示すと次のようになる。

地震動の大きさ

水平 0.25ga (SSE, 確率 10^{-4} 回/年)

上下 水平動の2/3

周波数特性

米国のREG. Guide にほぼ同じ

減衰定数

米国のREG. Guide 1.61にほぼ同じ
その他にOperational Shutdown Earthquake (OSE) として0.05gを考えている。
米国流のDBE (設計基準地震度) の考え方は英国にはない。

(3) CDFRの設計詳細の耐震面での要点を示すと次のとおりである。

建物全体としては柔構造になっている

ので、地震入力の高減等を考慮して主要な施設である原子炉容器は地下室に収納する構造としている (埋込効果のうちのいわゆる入力損失を活用したことに相当している)。

(4) その他

① Primary boundary……原子炉容器とルーフスラブ下面のプレート。

Secondary boundary……ガードベッセルとRCCV (鉄筋コンクリート格納容器) のライナー。

② 格納容器の設計圧は1 bar。

③ 配管の振動実験を行っており、その減衰量は no seismic support で0.5～2.5%, seismic restraint support で0.5～3.0%。

④ せん断力に対するバックリングの実験も行っているが design criteria との関係は不明。

⑤ 配管サポートの経済設計にも配慮している様子。

2.7 EPRI

米国のEPRI (電力研究所) 訪問で以下に要点を示すような情報がえられた。

1) Taylor 副社長の挨拶

CRBRP (クリンチリバーFBRプラント) はキャンセルされたが、COMO (Consolidated Management Office for LM FBR) では経済性、安全性、信頼性のあるLSPB (Large Scale Prototype Breeder) の検討を行っている。

2) FBRの耐震設計

COMOのLSPB計画では経済性のあるプラントコストを考えており、耐震条件

がコストに及ぼす影響も大きい。不必要な厳し条件を課することなく、サイト候補地をあまり限定しない方向で検討を進める。

配置計画は出来るだけコンパクトにし、物量を減らし、原子炉容器、IHX、ポンプはなるべく低い位置に配置する。厚い遮蔽壁は互に接合し剛構造とする。運転床面（EL167'）以下のNSSS（Nuclear Steam Supply System）部はコンティメントで格納し、運転床面以上はコンファイメントとして考える。

プロットプランはメンテナンス建物、ニュークリアアイランド、タービン建物が一直線に配置されている。

原子炉容器の中に直接炉心冷却系を配置し、これとサイホンブレイクの効果を考え、IHX及びポンプにはガードベッセルを設けない。原子炉容器支持部の設計加速度は水平1.5G、鉛直0.8Gとしており、鉛直動は回転プラグの設計に影響する。

振動解析モデルは原子炉容器と炉外燃料貯蔵槽を組込んだカップリングモデルで、基礎は剛体仮定、レギュラトリーガイド1.60による人工波を用い half-space-theory で解析している。

サイト条件としては V_s （せん断波地震波速度）と Z_{pa} （地震波入力速度）との相互関係を決め、コントロールポイントを4点選び解析し原子炉容器支持部の床応答曲線を作成し、上記の設計加速度値に納るか検討している。尚この V_s と Z_{pa} の関連グラフで設計しておけば米国の80%のサイトはカバー出来るが、EBR-IIのあるアイダホサイト等はこれから外れるので、この場合には何らかの入力低減対策が必要

となろう。

3) 免震実験について

以下に示す3種類の実験を行ったが、現在は継続していない。

i) 格納容器実験

1/24縮尺の格納容器下部に積層ゴムの免震装置を設け、屋外で発破による実験を行った。水平加速度に対する免震効果は大きかったが、積層ゴムの鉛直剛性が高いため、上下方向の免震効果は少ない。

ii) 蒸気発生器モデル実験

1/3モデルの蒸気発生器の下部に積層ゴム、中間には鋼板のエネルギー吸収機構を設けた振動実験。

iii) フレームモデル実験

鉄骨フレーム構造の下部に積層ゴムによる免震装置を設けた実験。上記ii)及びiii)の実験では免震及びエネルギー吸収機構の効果が見られる。

3. おわりに

今回のFBR耐震設計海外調査においては、フランスのSACLAY研究所、NOVATOME, Super Phenix I建設現場およびCRUAS軽水炉発電所、西ドイツのINERATOM及びSNR300建設現場、英国のNNC、米国のEPR Iを訪問した。フランスのSACLAY原子力研究所では、二重円筒容器のアニュラス部に流体を含むジョルの静的圧力及び地震加速度によって誘起される圧力による座屈問題の解析と実験、炉容器及び容器内構造物とNa流体との連成振動の解析手法の開発、炉心燃料集合体群の振動応答解析の計算コード開発およびFBR用制

御棒挿入性実験について討論された、当分科会での討論内容の概要を報告し、日仏の交流の機会をつくった。Super Phenix Iの主要な設計会社NOVATOMEにおいては、FBRプラントのコスト問題（PWR1,300 MWプラントの1.4倍）、炉容器の座屈評価、炉内構造の流体連成振動の評価、設計地震入力、Super Phenix IIでの免震の構想について討論し、また、NOVATOME側が関心をもっている日本のFBR耐震設計（もんじゅの例、炉上部構造、建屋の埋込効果、免震）について、調査団が概要説明を行い、両者の意見交換を計った。Super Phenix I建設現場では、概要説明を受けた後、原子炉建物内機器、二次系ポンプ、洗浄槽、Na消火設備、蒸気発生器建屋、制御棟建屋、タービン建屋を実地見学した。また、CRUAS発電所では原子炉建屋のベースマット下に入り、免震パッドの実際を見学し、これに関する諸技術問題について討論した。

西ドイツのINTERATOMでは、西ドイツの耐震設計における入力地震動の決定方法についての案が紹介され、本調査団が事前に質問事項を送付していたため、それに対する回答の説明を受けた。その後SNR300の建設現場で原子炉建屋内炉及び配管系・機器を中心に視察した。

英国のNNCでも現在設計進行中のCDF

R（実証炉、1,320MW）の耐震設計の基本について、討論された。配管系の減衰特性の実験のVTRも紹介され、一方、調査団から日本での設計用減衰値（軽水炉用）の口頭による紹介がされ、関心を得た。

最後に米国のEPR Iでは、COMOが設計を行っているLSPBの耐震設計の基本的考え方と標準化法の説明を得、日本との比較について討論された。また、免震実験が格納容器モデル、蒸気発生器モデルおよびフレーム構造について実施されたが、これらの成果の説明を得た。一方、調査団が日本の藤田隆史氏の構想を紹介して、日米の比較が討論された。

以上のように、FBRの耐震設計について、設計用地震入力、SSI、機器・流体連成地震応答解析、減衰、免震、コストなど、本分科会で検討しているkey Questionsの全般にわたって、視察が実施され、これらの成果が今後の分科会の活動および検討の方向性に与えるものは大きいと評価され、今回の海外調査は成功裏に終わったと言えよう。

終りに、本調査に際しご協力をいただいた資源エネルギー庁原子力発電課、海外電力調査会、電気事業連合会などの皆様に感謝の意を表します。（あんど う よりやす 主任研究員）

米国と濠州の炭鉱を見て

片 山 優久雄

1. はじめに

1983年初頭より始まった原油の価格下げという逆オイルショックによって、値下がりした原油価格は、その後も鎮静化しており、石油代替エネルギーとしての石炭の導入にブレーキをかけている。

しかし、1983年11月に発表されたわが国の長期エネルギー需給見通しによると、現在60%を超える石油需要を50%以下におさえ、石炭や他のエネルギーの導入によって石油の減少分をカバーするとのことである。

また原油価格の値下げは、石炭価格の値下げを誘引し、その結果、依然として油炭格差が存在し、石炭のもつ灰分や硫黄、窒素分などのデメリット分を割り引いても、なおかつ石炭の価格優位さに変りはない。

このように石炭は、石油と比べて経済的なエネルギーではあるが、その取り扱い、非常に面倒であり、取り扱いのための設備に多大の初期投資を必要とする。そこでこの取り扱い上の繁雑さを取り除き重油とほぼ同等の取り扱いのできる高濃度石炭水混合燃料（石炭含量70～80%）が開発され、現在その導入への動きが諸外国で始まっており、我が国も

例外ではない。

このような状況のもとで（財）エネルギー総合工学研究所は、新エネルギー総合開発機構より「高濃度石炭水混合燃料（CWM）の製造および輸送に関するフィージビリティ調査」の委託を受け、その一環として濠州と米国の炭田と石炭の積出し港の調査を行なうこととなった。

海外調査の詳細については、委託元との協定により報告できないので、ここでは、濠州と米国の炭田および積出し港の現状について紹介する。

2. 訪問先と日程等

最初の訪問国は、濠州であり、表1の日程と訪問先のリストが示すように、3月3日より3月13日の11日間の調査旅行であった。次の米国訪問は、西部山岳地帯の大雪のため雪解を待って4月15日より4月25日までの11日に行なわれた。米国での日程、訪問先は、表2に示す。

濠州、米国とも日程と費用の関係で、3炭鉱、2港湾の調査しか行なえなかったことは残念である。また、この数少ない見聞をもとに濠州および米国の炭鉱について述べること

表1 濠州の訪問先および日程

日 時	訪 問 先 等
3/3(土)	成田発 21:30
3/4(日)	シドニー着 6:50
3/5(月)	ニューキャッスルへ ニューキャッスル港調査
3/6(火)	Narrabri へ
3/7(水)	Gunnedah 地区調査
3/8(木)	マカイへ
3/9(金)	Blair Athol 地区調査
3/10(土)	マカイ港調査 ゴールドコーストへ
3/11(日)	ゴールドコースト (休日)
3/12(月)	シドニーへ シドニー発 21:30
3/13(火)	成田着 6:50

表2 米国の訪問先および日程

日 時	訪 問 先 等
4/15(日)	成田発 18:10
4/15(日)	サンフランシスコ着 9:55 サンフランシスコ発 13:20 ソルトレイクシティ着 17:40
4/16(月)	King Mohrland 炭鉱調査
4/17(火)	Skyline 炭鉱調査
4/18(水)	移動日(日程調整日)
4/19(木)	Black Mesa パイプライン調査
4/20(金)	パイプライン布設経路調査
4/21(土)	パイプライン布設経路調査 陸路ロスアンジェルスへ
4/22(日)	休日
4/23(月)	ロスアンジェルス近郊港湾調査
4/24(火)	ロスアンジェルス発 13:00
4/25(水)	成田着 17:20

は危険きわまりないと思われる。そこで、各3炭鉱、合計6炭鉱より受けた感想についてのみ以下に述べる。

3. 濠州で訪問の炭鉱および港湾

濠州の炭鉱訪問は、まずニューサウスウェ

ルズ州のピッカリー炭田とモーレスクリーク炭田の2つであり、これらの2炭田は、まだ開発が行なわれていない炭田で、試験的な採掘が始められたばかりである。予定されている採炭方式は、オープンカットであり、可採埋蔵量も多く、ピッカリー炭田で3億トン(内1億トンがオープンカット)、モーレスクリーク炭田で5億トンと膨大な量である。これらの2炭田は、隣接しており直線距離では20数キロメートル程度である。この2炭鉱は、ニューキャッスル港の北西約250キロメートルの地にあり、2炭田で出炭予定の年間1,000万トンを超える石灰を出炭するためには、新たな輸送手段を講じなければならないようである。

この2つの炭田は、ケンブラ・コール・アンド・コーク社(KCC社)が所有しており、炭田の開発計画には、新しい輸送システムの開発も含まれているとのことであった。

新しい輸送システムの開発計画案の1つにはCWMによる輸送も含まれており、ごく最近CWMパイプラインシステムの経済性検討を行なったばかりとのことであった。

彼らのスタディによるとパイプラインの布設費は、約60万濠州ドル/キロメートルとのことである。

日程上では相前後するが、上述の2つの炭田からの石炭が海外に向けて出荷されると考えられるニューキャッスル港には、未利用地が多くあり、この港だけでも2,000~3,000万トン/年程度の石炭積み出し量の増加は十分にまかない得るようである。

濠州では、この2炭田の他に、クィーンズランド州マッカイ市の南西約300キロメートルにあるブレアソール炭鉱を視察した。

この炭鉱開発には日本も参加しており、石

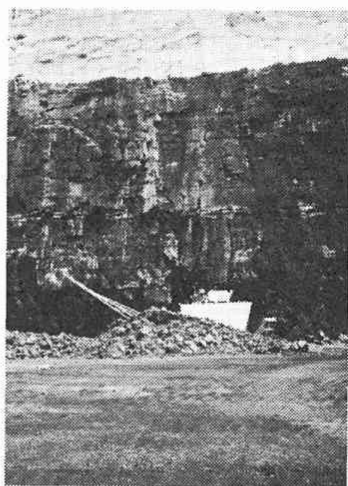


写真1 ブレアソール炭鉱の30m炭層 2

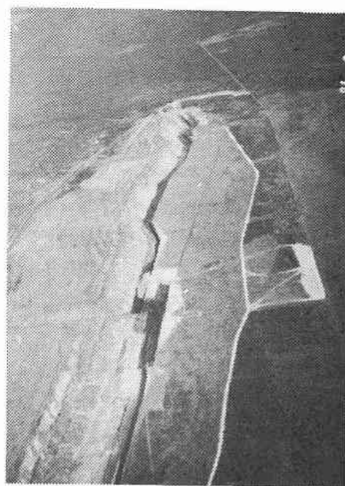


写真2 キーンズランド州の露天掘り炭鉱

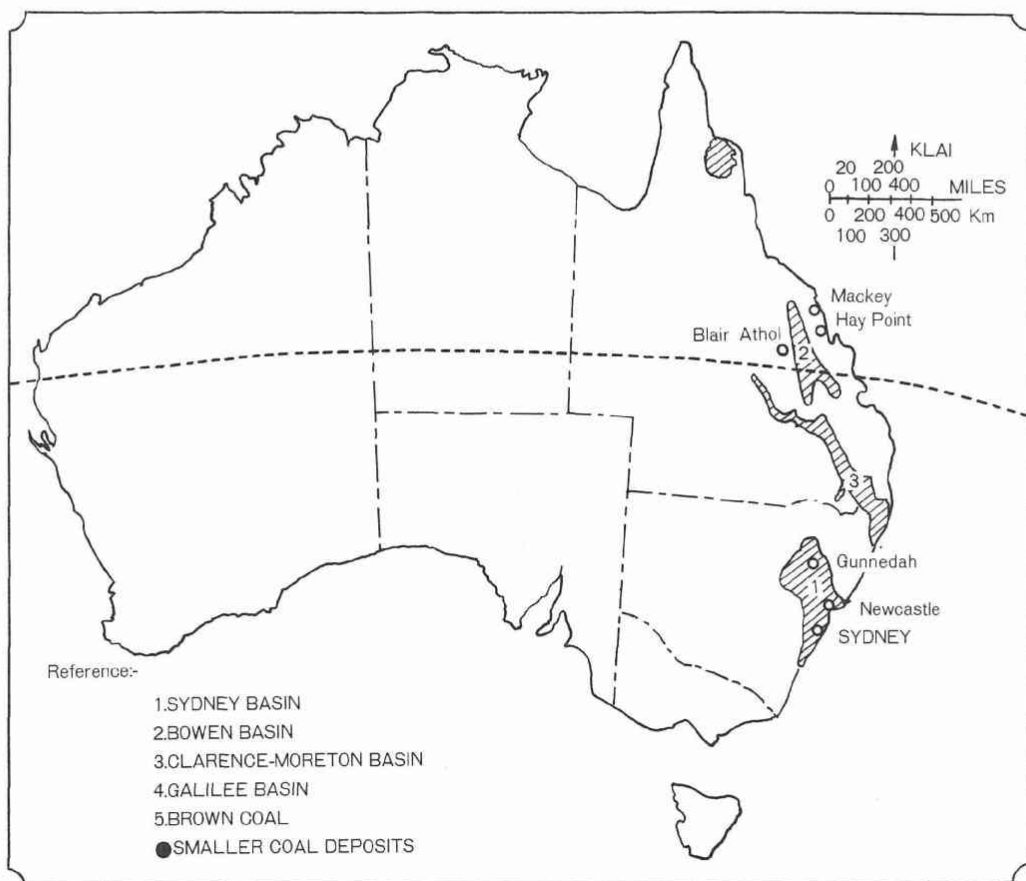


図1 オーストラリアの炭田位置図

表 3 濠州の炭鉱および石炭積出港の調査結果

	Maules Creek & Vickery 炭田	Blair Athol 炭田
1. 炭 田 位 置 可採埋蔵量 採掘方式 生産能力 開発状況 地 形 等	N S W 州 New Castle 北西方 250km 33,000万トン オープンカット 未 定 テストボーリング終了 試験掘り開始 海拔260m平坦な農地及び森林	Q S L 州 Mackey 南西方 300km 24,000万トン オープンカット 500万トン/年 1984年1月 出荷開始 海拔320mの比較的平坦な森林地帯
2. 石 炭 性 状 A/Dベース 固 有 水 分 揮 発 分 灰 分 固 定 炭 素 硫 黄 分 発 熱 量 A/Rベース 全 水 分 揮 発 分 灰 分 固 定 炭 素 発 熱 量 H G I A F T (Hemisphere)	 3.5% 33.5% 10.0% 53.0% 0.4% 7,020kcal/kg 8.0% 31.9% 9.5% 50.6% 6,700kcal/kg 45~50 1,500℃	 7.5% 27.2% 8.0% 57.3% 0.3% 6,520kcal/kg 16.0% 29.0% 8.6% 46.0% 6,080kcal/kg 60 1,500℃
3. 開 発 企 業	K C C (Kembla Coal & Coke Pty.Ltd)	B A C (Blair Athol COAL Project) 出資比率 C R A 50.2% Arco 15.4% A C J 12.2% Bundaberg Sugar 12.2% EPDC/J C D 10.0%
4. 石炭積出港湾 港 湾 名 バース諸元 バース数 バース水深 最大タンター(実績) 航路水深 現在の出荷能力 海象条件 ストライキ	New Castle 港 2 LW時 16.5m 140,000DWT 15.2m 2,100万トン/年 (1984年7月に1バース増え、4,000万 トン/年) 風速35knot 以上の日 6日/年 1983年9月Union との契約改訂し、協 議制度を導入後、ストはない。	Hay Point 港 2 17.0m 180,000DWT 13.4m 1,722万トン/年 風速25knot 以上の日 年間6% ボートでのストライキは全くない。 (山元スト、鉄道ストの影響はある)

炭の1部を電源開発（株）が引き取っている。

この炭鉱もオープンカット方式の採炭で、炭層の厚さはなんと30メートル（写真1）もあり、世界屈指の大炭鉱である。ここの石炭は、マッカイ市の南数十キロメートル離れたダーリンプル・ベイより海外に向けて出荷されている。

クィーンズランド州の港の視察は、このダーリンプル・ベイに隣接したヘイ・ポイント港で、この港はダーリンプル・ベイ同様石炭の積み出し専用である。

以上、濠州で訪問した炭鉱、港湾の概要を表3にまとめた。また、各所在地位置を図1に示した。

4. 米国で訪問の炭鉱および港湾

米国で訪問した炭鉱は、ユタ州のキング炭鉱、スカイライン炭鉱およびアリゾナ州のブラックメサ炭鉱の3個所である。

この内、キング、スカイラインの両炭鉱は坑内掘りであるが、炭層はいずれの炭鉱もほぼ水平で、かつ数メートルと厚く、山腹に位置しているため採掘は、オープンカットと同様容易であるとのことであった。

この2炭鉱とも連続採炭機（写真3）が使用されており、出炭コストは坑内掘りにもか

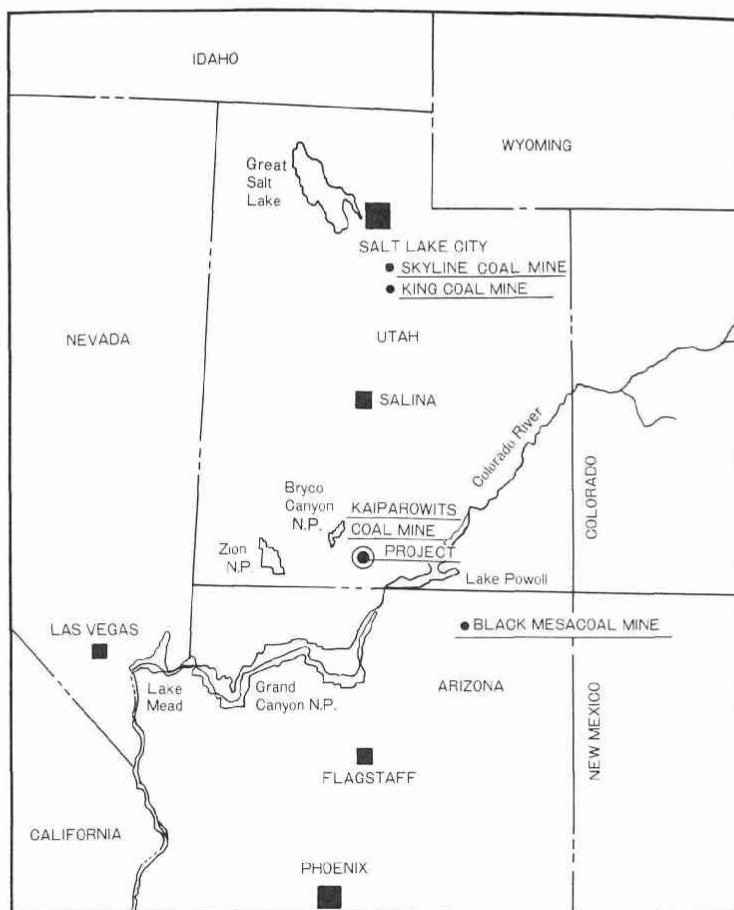


図2 米国西部炭鉱位置図

かわらず低い（平均で20米ドル／トン前後）ものである。

最後に視察したアリゾナ州のブラックメサ炭鉱は、年間400万トンの石炭をオープンカット方式で採炭しており、全量を石炭濃度が50%の水スラリーとして約440キロメートル離れたネバダ州のモハブ発電所までパイプライン輸送している。このパイプラインは、1970年から運転されており、現在まで大したトラブルもなく順調に稼動しているとのことであった。

石炭の水スラリー調整の概略行程は次のとおりである。（図3参照）

- ① ブラックメサ炭鉱から約5 cmの石炭塊が運ばれる。
- ② 3台の粉碎機（ケージミル）で、約1 cm塊へと粉碎する。
- ③ 上記②の石炭を更に回転円筒型粉碎機に送り、水を混合する湿式粉碎法で1.19ミリ

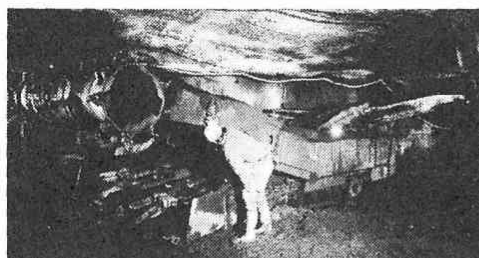


写真3 米国スカイライン炭鉱の連続採炭機

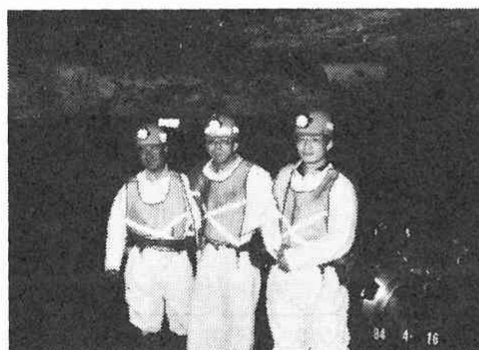


写真4 米国スカイライン炭鉱内で

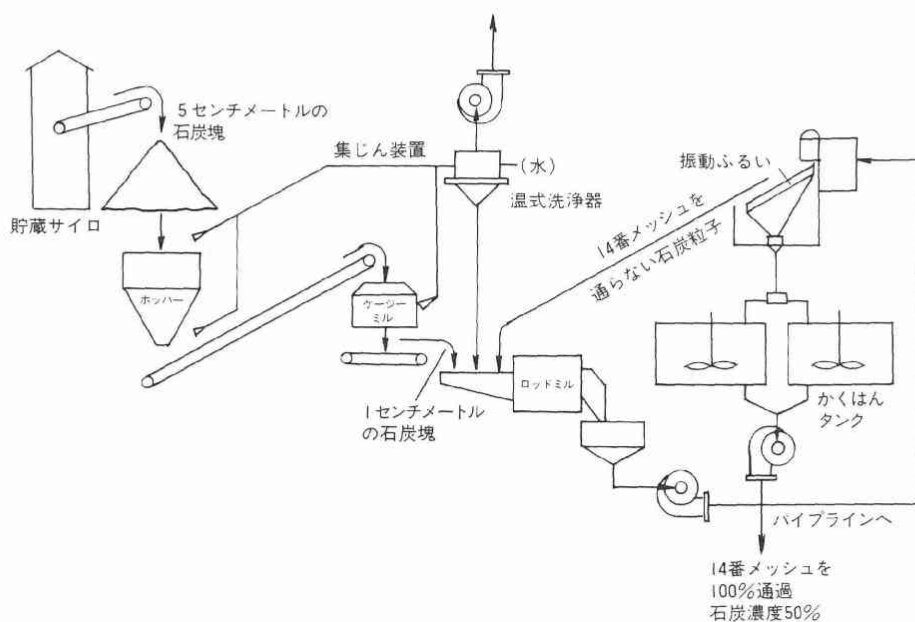


図3 ブラック・メサ石炭スラリー製造工程略図

表 4 米国の炭鉱および石炭積出港の調査結果

	King 炭田	Skyline 炭田	Black Mesa 炭田 (参考)
1. 炭 田 位 置 可採埋蔵量 採掘方式 生産能力 地 形 等	Utah 州 Price 南西 15km 3,000万トン 6,000万トン (Mohrland 炭田) Room and Pillar 方式 120万トン/年 (過去Max.) 80万トン/年 (1983 実績) 海拔 2,160m 丘陵地帯	Utah 州 Price 北西 15km 17,500万トン 同 左 200万トン/年 (1985 計画) 40万トン/年 (1983 実績) 海拔 2,400m 丘陵地帯	Arizona 州 Kaenta 南 20km 60,000万トン オープンカット 1,400万トン/年 (設備能力) 1,200万トン/年 (1983 実績) 海拔 2,000m 比較的なだらかな丘陵地帯
2. 石 炭 性 状 固 有 水 分 全 水 分 揮 発 分 灰 分 固 定 炭 素 発 熱 量 H G I	 7.3% 41.8% 5.8% 45.0% 6,990kcal/kg 46	 5～6% 9～10% 38.5% 8.0% 38.5% 6,500kcal/kg 48	 11% 9.8% 6,830kcal/kg 40
3. 開 発 企 業	United State Fuel Co.	Utah Fuel Company 出資比率 Coastal States Energy Company : 50% Getty Mineral Resources Company : 50%	Peabody Coal Company
4. 石炭の輸送 現 状 計 画	Utah Power and Light 社へ 60万トン/年 Nevada Powr 社 へ20万トン/年を全量鉄道で 輸送。	California Power and Light 社へ75%、Utah Power and Light 社へ25%供給。全量を 鉄道輸送。 但し、鉄道ローディングボイ ントまで約5kmはトラック輸 送。 鉄道の引込を計画中。	400万トンが全長274Mileの中 濃度スラリーにてMohave 発 電所へ輸送される。 800万トンは15Mile のコンベ ヤーを経由して78Mile離れた Navajo 発電所へ専用鉄道で 輸送される。
	Los Angeles Port		Long Beach Port
5. 石炭積出港 バース数 バース水深 最大タンカー 航路水深 現在の出荷能力 海象条件 ストライキ 運営全体 将来計画	1 L W 時 15.5m 100,000 DWT 15.5m 100万トン/年 悪天候日は年間1日程度 この30年間に1回のストしかない Kaiser International Corp. 80haの埋立地 (1983年完成) に水深19 .8mの航路及びバースを計画、200,000 DWTの石炭船受入可能なEnergy Isl- and を計画。 貯炭場容量は350万トン、積込能力7,0 00トン/時。 出荷量2,000～3,000万トン/年、但し、 現在輸出計画がストップしたため計画 は中断している。		1 L W 時 10.4m 80,000 DWT (実績) 15.0m 500万トン/年 同 左 Metropolitan Stevedore Co. Long Beach International Coal Pro- ject を計画中。60haの用地で前面を -18mまで浚渫済み。 出荷量2,000万トン/年、但し、Los Angelse Portと同様計画中断している。

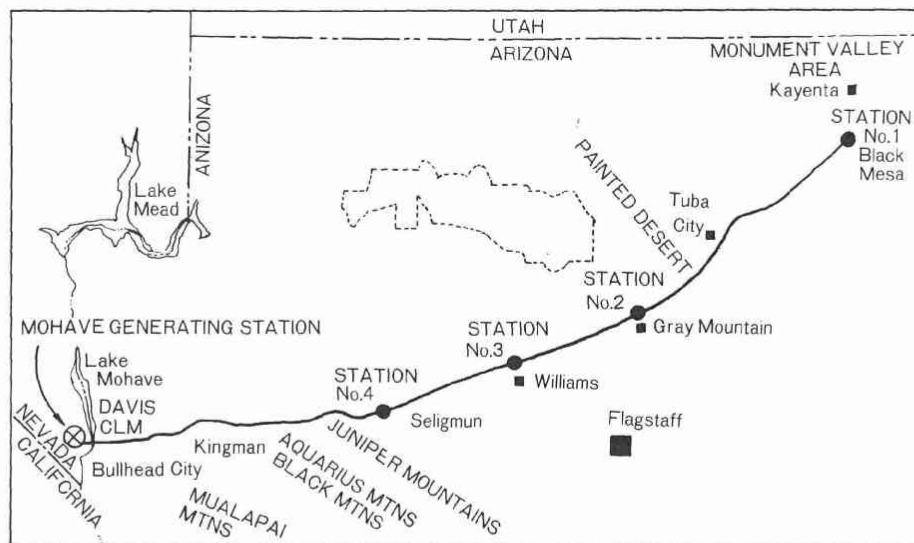


図 4 ブラック・メサ〜モハブ発電所間スラリーパイプライン

メートルの網目を通る大きさまで砕いて水スラリーにする。

スラリーの石炭濃度は約50%（重量）に調整し、3槽の攪拌タンクに貯蔵する。

- ④ 第1から第4のポンプ基地（図4参照）を介しモハブ発電所までパイプライン輸送する。輸送圧は、各基地で異なるが42～112気圧であり、パイプ内の流速は1.5～1.7メートル/秒に維持されている。

石炭の積み出し港の視察は、ロスアンジェルス港とロングビーチ港について行ない、その結果は、表4にまとめている。

5. おわりに

石油ショック後の一時的な石炭ブームが終り、その後訪れた世界的な不況のためにエネルギー需要が依然低迷しており、濠州、米国といった主要産炭国の石炭生産はなおも減産を強いられている。このためか各炭鉱とも活

気が感じられなかった。

米国の西部炭が鉄道運賃が高いため濠州炭よりも高く、輸入に際して不利との話をよく耳にするが、この話を山元によると、日本の鉄鋼、セメント、電力などの大口需要家の購入方式のほとんどは、スポット買いであり、ユニットレインの手配もままならず割高とならざるを得ないとのことで、もし長期にわたり大口の契約が出きるのであれば、鉄道の運賃だけでも3割程度安くなるとの話が、各炭鉱の関係者から返ってきた。

この話のとおりだとすれば、米国からの石炭の輸入もスポット買いではなく、濠州からの石炭と同様長期契約方式を取り入れるのが望ましいと思われる。

最後に、今回の調査にご協力下さいました伊藤忠商事㈱、住友商事㈱、日商岩井㈱、丸紅㈱、三井物産㈱、三菱商事㈱、各社の関係者に深く感謝の意を表します。（かたやま ゆくお 主管研究員）

アメリカにおける燃料電池技術開発の現状と展望

——J. P. Ackerman 博士の講演から——

石 川 力 雄
児 玉 皓 雄

本（昭和59）年3月26日、当研究所主催により、東海大学校友会館で、米国アルゴンヌ国立研究所の John P. Ackerman 博士の表題の講演会を開催した。（通訳：アルゴンヌ国立研究所 H. Shimotake 博士）本稿は、当日の講演内容を、石川、児玉両氏にお願いして、とりまとめていただいたものである。

1. 燃料電池発電の特性

米国政府が支援開発中の3つの燃料電池、すなわち、りん酸型、熔融炭酸塩型、固体電解質型を比較した表を表1に示す。この他にも宇宙開発用などのものがあるが、それらは含まれていない。この中の数字は注釈にもあるように、かなり期待値も含まれている。特に注(3)は J. Ackerman の予想値であり、必ずしも完全なものではない。この表には効率、重量、大きさなどの違いは示しているがコスト、経済性の違いは含まれていない。しかしながら、プラントの複雑さがコストに比例すると考えれば、プラントの複雑さの中にコストが含まれていると考えてよい。

りん酸型燃料電池の動作温度は460 °Kであり、熔融炭酸塩型および固体電解質型の燃料電池はそれよりさらに高い温度である。この

温度の差は普通の燃料を使うものと新型燃料を使うものとの差によることが大きい。高温というのは、一つには開発が高価につくものであるが、その反面、プラントが単純化されるので、新型セルでは初期運転コストは安くなる。

各燃料電池のセル当りの最大運転電圧とその制約要因、出力密度、内部改質の可能性などを表2に示す。現在の時点では各燃料電池の電圧は違っているが、この電圧によって、効率が決ってくる。固体電解質型は熱力学的なものからの制約により限界がある。りん酸型の場合は電極反応の速さと触媒の寿命に支配される。熔融炭酸塩型はこれら2つの燃料電池の中間にあたり、電極反応によって支配されるが、一方では電圧そのものは寿命に影響することはない。この限界を追求していくと、熱力学的な限界に近づいたものが達成されよう。燃料電池を電気自動車用などの交通手段に使おうと考える人がいる。しかし、これはパワーがでない、容量、重さなどから問題がある。3つの燃料電池での出力密度の差は表2に示すようにほとんどない。固体電解質型では出力密度の高いものが、理論的には考えられるが、これを達成することは大変難しい。燃料を内部改質することが大変重要である。

表 1 CHARACTERISTICS OF FUEL CELL POWER PLANTS

Cell Type	Liquid H ₃ PO ₄	Liquid CO ₃	Solid O ⁼
Plant Efficiency, Electrical natural gas, light hydrocarbons (no bottoming cycle)	40%(1)	60%(2)	50%(3)
coal (with bottoming cycle)	35%(3)	50%(2)	50%(3,5)
Heat Rejection Temperature, K (cogeneration)	460(4)	870	1170
Plant Complexity gas, light liquids (no bottoming cycle)	moderate(1)	low(2)	very low(3)
coal (with bottoming cycle)	high(3)	high(2)	moderate ² (3,5)
Probable Mass and Volume (transportation)	high(2)	high(3)	low (3,5)
Status Development	near commercial	lags acid 5-10 years	lags acid 10+ years

(5) with extensive development

(4) some heat available at higher temperature from fuel processing

(3) author's estimate

(2) calculated, based on plant analysis

(1) demonstrated

表 2 CHARACTERISTICS OF FUEL CELL POWER SECTIONS

Cell Electrolyte and Mean Temperature (K)	Liquid H ₃ PO ₄ 460	Liquid CO ₃ 925	Solid Oxide 1225
Maximum Practical Operating Voltage Per Cell Limiting Factor	0.75 Catalyst Life	0.85 Efficiency (overpotential)	0.73 Efficiency (thermodynamic)
Approximate Power Density, Stack Only MW/m ²	~0.2	~0.2	~0.2 (conventional) 20 (advanced)
Internal Processing Capability	CH ₃ OH ?	CH ₃ OH, CH ₄ ? Light Hydrocarbons and Alcohols?	CH ₃ OH, CH ₄ Light Hydrocarbons and Alcohols, Fuel Oil?
Cell Poisons	CO ~ 3 % S ~ 10 ⁻² % ~ Trace	S ~ Trace Cl ~ Trace	S ~ 10 ⁻² % Other?

この理由はプラントの複雑さを単純化するために必要なことである。りん酸型ではメタノールを内部改質することは簡単にできよう。熔融炭酸塩型ではメタノールから、さらにメタン、ナフサ、メチルアルコールなどの経済的に重要な燃料まで内部改質できる。さらに温度の高い固体電解質型では、メチルアルコール、メタンなどの炭化水素の他に、ケロシン、

ディーゼルオイル、JP4、航空用オイルなどの燃料油も使用可能となる。しかしながら、燃料油はかなり純粋なものが要求される。各燃料の純度に対する反応はそれぞれ違っている。りん酸型では一酸化炭素が2~3%で影響がでてくる。これらは温度や触媒でも変わってくる。りん酸型は硫黄、塩素のようなハロゲンに対しても被毒する。熔融炭酸塩型では、

そういうものがゆるやかとなる。一酸化炭素は燃料であり、被毒することはない。3つの燃料電池用にクリーンアップするのは0.1~0.3ppmまでクリーンアップすればよい。実際に使ってみるとクリーンアップはあまり関係ない。

2. 固体電解質型燃料電池

固体電解質型燃料電池はウェスティングハウス社が設計・製作している。単セルは直径1cmであり、ジルコニアの多孔質の材料で作られている。空気極はポーラスランセラム・マンガネードで作られている。多孔質のところを空気が通り、そこで電極反応がおこる。セルをつなぐのにはランセラムクロマイドを使っている。(図1) 電解質が2つの電極をつないでいる。燃料が入ってきて、電解質のインターフェイスに水ができる。二酸化炭素(CO₂)と一酸化炭素(CO)と水ができる。また hidrocarbon もできる。燃料のエレクトロードは多孔質のサーマックを使っている。これはイットリアとジルコニアの固体の物質であり、ニッケルやコバルトも入っている。

固体電解質型燃料電池の1つ1つは30cmぐらいの大きさで10~20ワット(W)のもので

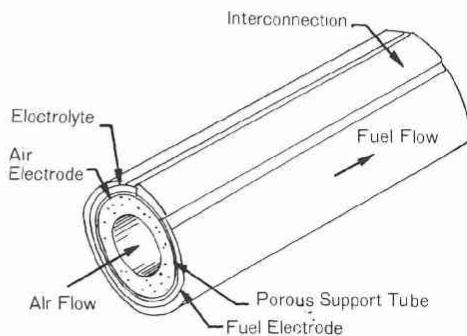


図1 SCHEMATIC OF SOFC-SINGLE CELL

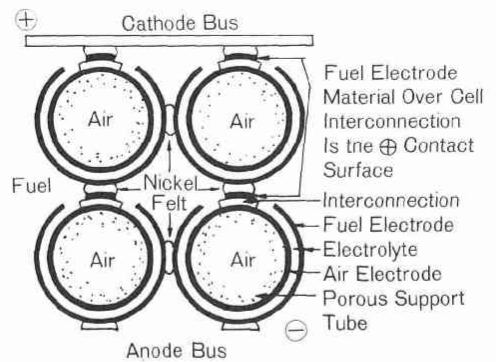


図2 SCHEMATIC OF SOFC-CELL BUNDLE

あり、チューブ型をどのように接続するかが問題である。セルとセルの間をニッケルフェルトのようなもので、直並列に接続するようにしている。(図2) 現在、モジュール内のセル数をどれぐらいにするかは決っていない。各チューブにはガスが入ってくるパイプがつけられ、各セルの外側は燃料ガスが充満しているような構造とされるので、集電体などは腐食されることはない。セルとセルの間には接続用の金属として、ジルコニアサーメットが入っている。この選定理由は熱膨張が一致するものであるからであり、熱的、化学的に安定であることが実証されている。燃料はチューブの外側を充満する形で入ってくるが、反応に寄与しない使用済み燃料は空気と混合され、燃焼され1,000℃に保つような構造が取られる。入ってくる空気を予熱する熱交換器として使われる。流体力学的構造は、入ってくる空気の量を決定することから、大変重要な問題である。しかしながら、まだ開発が始まったばかりで初歩の実験しかしていない。ウェスティングハウス社はこれをもとにDOE(エネルギー省)から資金援助してもらおうとしている。ウェスティングハウス社は5kWのモジュールを今年の12月までに作るこ

とを考えていたが、セルの再現性がないことから、だいたい12ヶ月延期せざるをえなくなっている。

3. 熔融炭酸塩型燃料電池

図3は大変古い図であるが、J. Ackerman博士が最初に考えたものである。カソードには、二酸化炭素 (CO_2) と酸素 (O_2) が入ってきて、炭酸イオン CO_3^{2-} をつくる。このできた炭酸イオンは多孔質の電解質を通してアノード側へ移っていく。この電解質の部分は、歴史的な意味から“タイル”と呼ばれている。

アノードのところで炭酸イオンは水素や一酸化炭素と反応をおこす。カソードはポーランニッケルオキシド、アノードは普通ニッケルである。カソード材は NiO の溶解があることから現在 Li_2MnO_3 や LiFeO_2 などに替りつつある。次の段階で考えた構造が図4のものであり、実際のものに近いもの

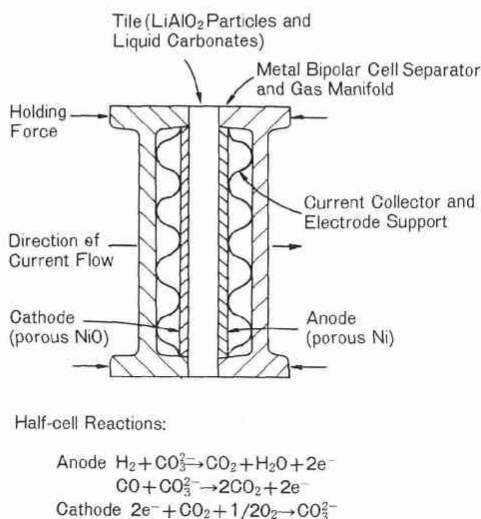


図3 熔融炭酸塩型燃料電池

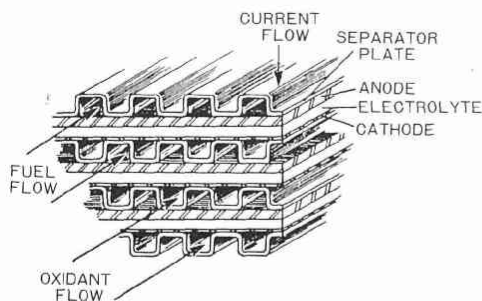


図4 SCHEMATIC SECTION OF STACK OF CARBONATE CELLS

ではあるが、同時に混乱をおこしやすいものでもある。

図5は実験終了後の電子顕微鏡写真である。一番左側の写真はカソードであり、球形のものがニッケルオキシドであり、固まって凝縮したところが見える。それがガスの通路によって囲まれている。ニッケルオキシドは電解質によってすっかり包みこまれている。中央の写真は電解質であり、アノードはニッケルクロミウム合金である。

電解質はホットプレスしたものからテープと呼ばれるものに変ってきている。これを使って商用化の積層を考えている。簡単に作れるもので、ホットプレスとは比べようもなく簡単に製造できる。商業化時のサイズは1 m四方であるが、実験に使ったものは約30 cm角 (1 フィート角) のものである。

セルを大型化することについてはYESともNOとも言える。難しいということは電極板の溶接技術が難しいということである。一方、NOというのはシールの長さが面積に比べてみて小さい方がはるかに大きい。大きい面積のものはシールが少なくなる。同じシールの長さで大きな面積のものが取れるので、大きい方が簡単であると言える。また、温度

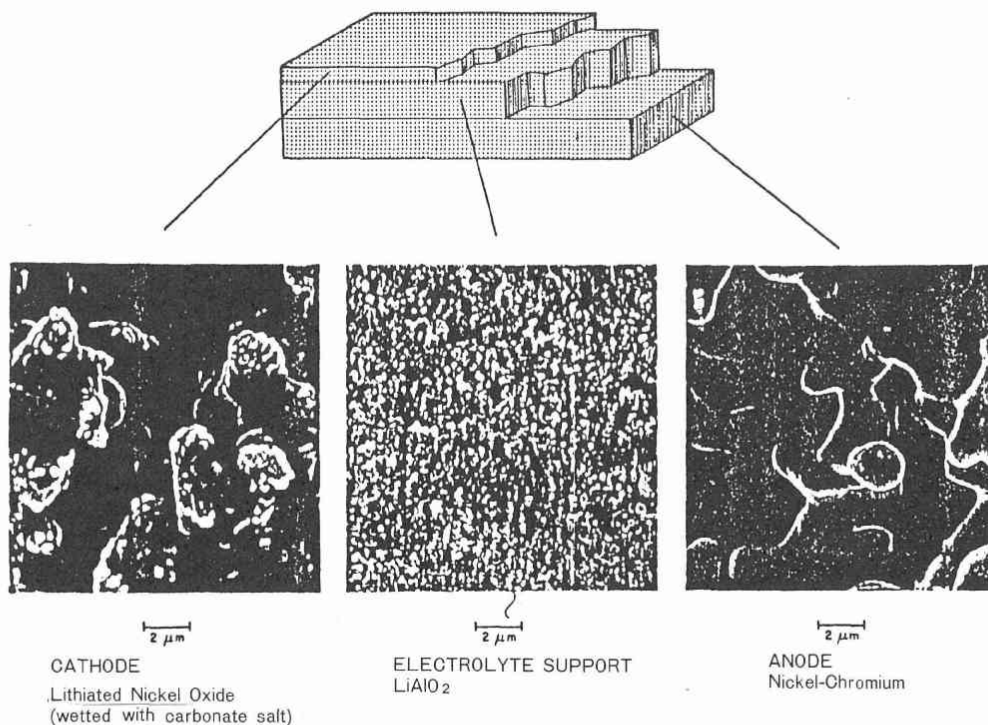


図 5 MICROGRAPHS OF MOLTEN CARBONATE FUEL CELL
ELECTRODES AND ELECTROLYTE SUPPORT

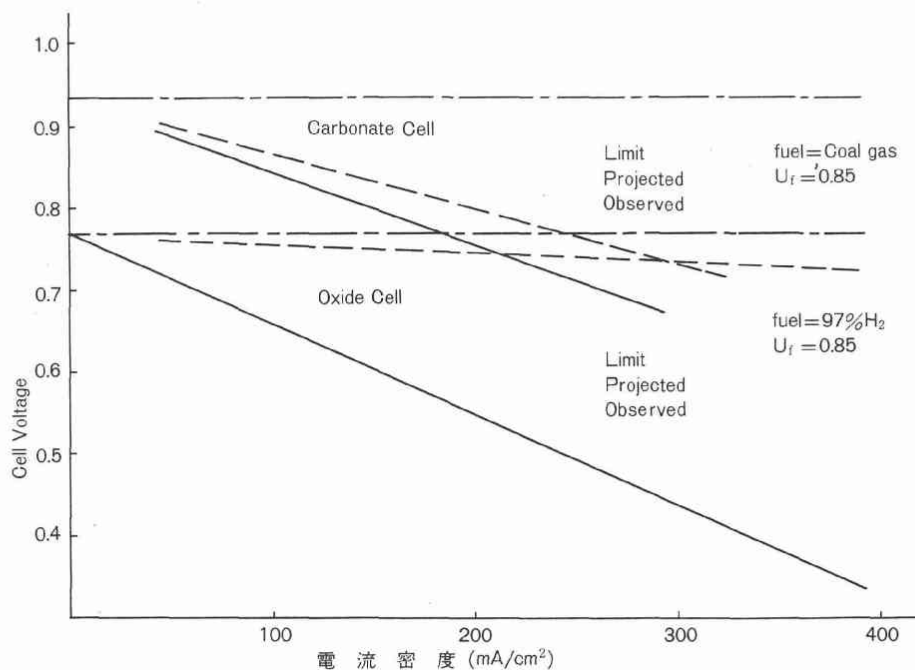


図 6 溶融炭酸塩型と固体電解質型との比較

差は端と中央部では小さいものも大きいものもガスクーリングのため、あまり変らない。大きい方が温度差が少く均質であることもありうる。2 cm四方から100平方センチメートル、1,500平方センチメートルのものを作った経験から、大きくしたほうが作りやすくなっている。面積を大きくすることはできるが、積層することは難しい。

4. 溶融炭酸塩型と固体電解質型の比較

溶融炭酸塩型と固体電解質型との比較を図

6に示す。理論値（一点鎖線）、期待値（点線）、実測値（実線）が示されている。溶融炭酸塩型の実測値は現在ではもう少しよい値が得られている。この図の値は1年半前に得られたものである。一つの単位量の燃料については出力は電圧に比例するので、そういうことを固定した条件のもとで作られたものである。実線は現在のセル性能であり、この傾斜は理論値の方へ近づくとと思う。固体電解質型は熱力学的制約から溶融炭酸塩型のものより低い。

図7は実際のデータである。溶融炭酸塩の

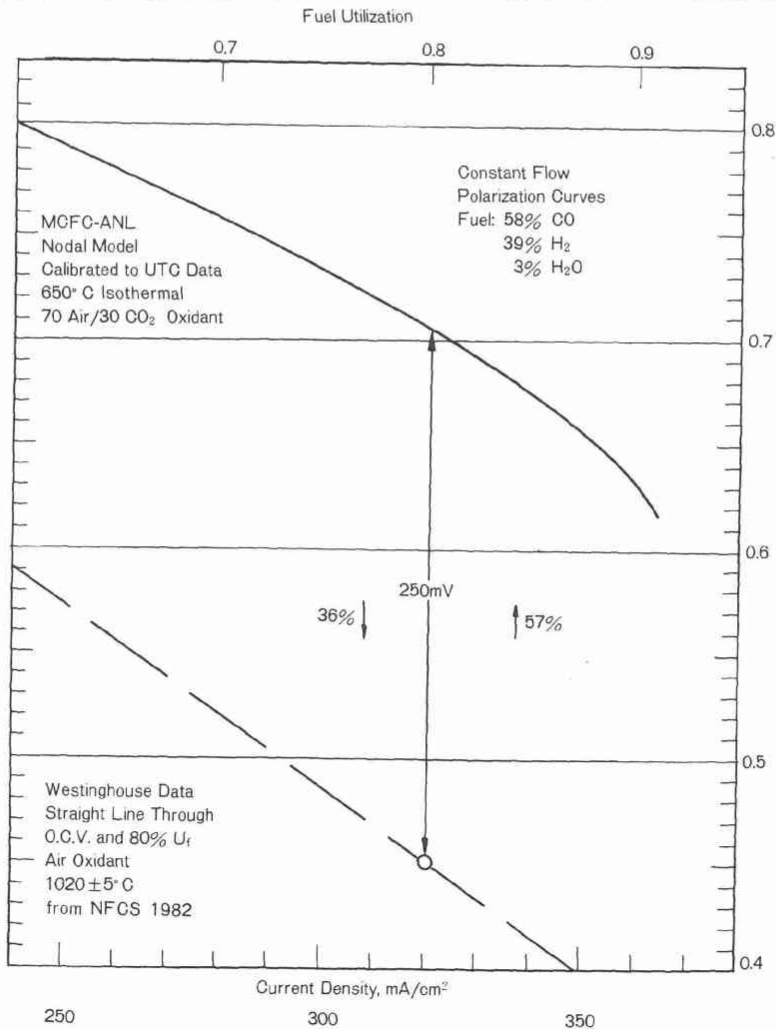


図7 実際のデータに基づく溶融炭酸塩型と固体電解質型との比較

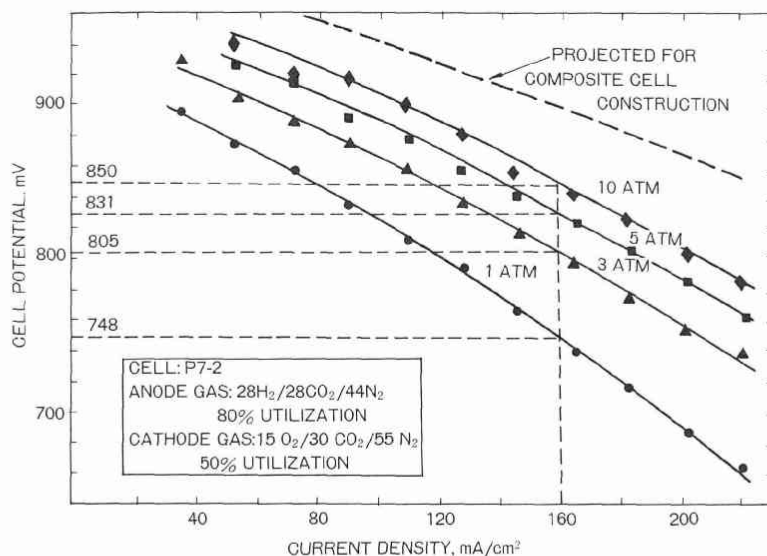


図 8 圧 力 の 影 響

データはUTC社の2年前のデータをもとに、アルゴンのモデルを使って計算したものである。固体電解質型はウェスティングハウス社のデータを使ったものである。燃料の組成は実際のものとは違うが、データがあったのでそれを使ったものである。250mVと大きな差がある。

図8は電池性能に対する圧力の影響を示したもので、ERC社の6ヶ月前のデータである。圧力を上げれば効率は上昇するが、圧力が上昇するとともに、その効率の向上効果は少なくなっている。燃料の組成は標準化したもので試験をしており、これは実際の組成に近いものである。

GE社では5セル積層の試験をしており、各セルはほぼ同じ特性を示した。

図9は160mA/cm²の電流密度の時に、電圧が時間的にどのように変ったかを示す図である。何故電圧が減少していくのかというと、電解質が消耗するらしいということがわかってきた。これを防ぐことができれば、1,000

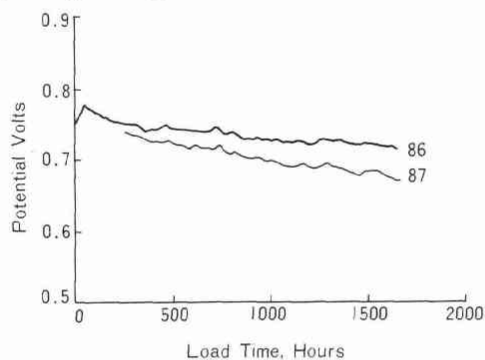


図 9 電圧の変化(電流密度=160mA/cm²)

時間当たり5mVの低下まで改善できると考えている。

図10はUTC社の積層電池のデータである。UTC社のやっているのは積層技術の完成であり、その中で問題としているのは寿命の改善である。1979~80年のスタックは20セルであり、各セルのバラツキが大きかった。また、熱的にもコントロールが難しかった。今日の時点で考えてみると、これは寿命はほとんどなかったものと考えてよい。1980年に作った8セルスタックはフレキシブルな電解質のテープで作った最初のスタックである。性能とし

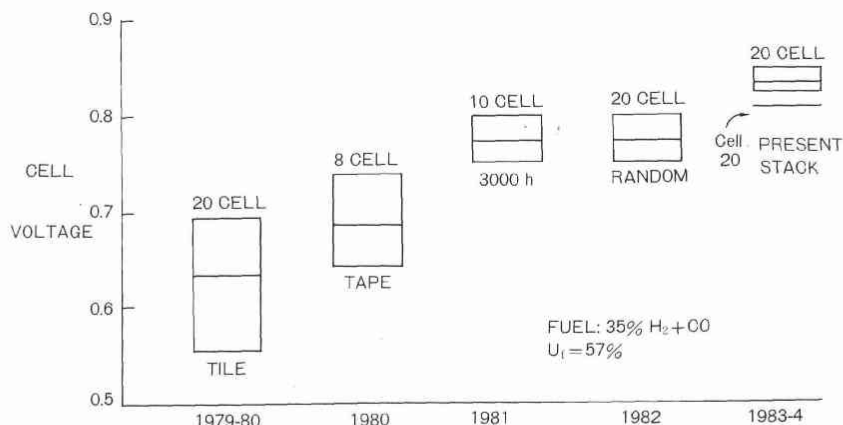


図10 CARBONATE STACK PERFORMANCE

では悪く、セルのバラツキも大きかった。1981年に作った10セルは実際には2つのスタックから成り、3,000時間もった。これは、さらに4,000時間までもったが、電解質がなくなったため、そこで実験を終了させた。1982年の20セルはセルの作り方もランダムなコンポーネントから作られている。これは全部できた部材をランダムに選んで積層したものである。またマニホールドも変えてある。この結果、マニホールドが悪いことがわかったので、それを変更した。82年に作ったものは81年に作ったものに比べ、寿命が短かったのはマニホールドが悪かったことが原因である。ランダムに作ったことについては成功であった。ショートライフがでたことは不幸中の幸いであった。1983～84年の積層スタックは全部よい結果が得られている。トップセルは短絡しているけれども、このスタックは現在でも運転している。

図11は20セル積層電池のピーク時データと運転終了時との差を比較した図である。No. 1セルが性能が落ちている。

将来のスタック試験のステップを図12に示す。スタック内のセル数は予算の関係で変る

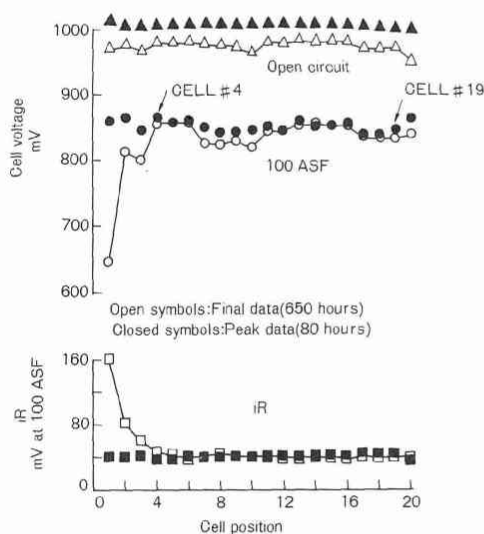


図11 DOE Stack No.2 INITIAL vs FINAL PERFORMANCE COMPARISON (1,200F, 5 atmospheres)

が、現在の時点では、積層スタックによる運転試験をもう一度行い、その結果をもとに100セルの積層電池の試験を行う予定である。100セルの試験が終わったら、また小さなセルを作る予定である。その目的は、カソードのニッケルオキシドに替るものを試験するためである。その次に、積層の数は少いが面積の大きなセルを作ってみようと思う。もし、

改質器はメタンと水を混ぜて使い、燃料の一部を使って加熱している。できた水素と一酸化炭素が燃料電池に入り、酸素と反応を起す。

そこで、熱と電気が発生する。できた排気がガスタービンを回し、常温に下る。これは、一番何もなく単純で効率も悪い方法である（効率は50%程度）。改質器に使う熱は燃料の一部が燃料電池からでたガスの残りをを使う。この温度は高いほうが効率が良いので、高くするよう努力が必要だが、それには限界がある。単純化および性能向上にも限界がある。もう少し改善した方法として中央に示す方式がある。改質器はパックスルターである。ここでは、ガスも燃料も排気も、すべてリサイクルしている。アノードガス、カソードガスもリサイクルしている。これによると効率は60%以上がでると考えられている。いいデザインではあるが、ガスの平衡が難しく、常にガスを適正化することが必要である。高いもの

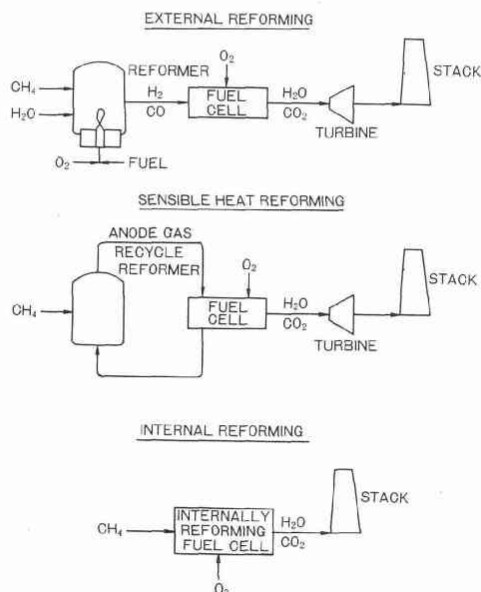


図14 天然ガスを燃料とする燃料電池システム 3種の概念図

ではないが、計器の監視、制御等に費用が要る。この他に、タービンからもかなりの出力が得られる。

内部リフォーミングは上述のものに比べ、大変簡単である。燃料と空気を入れれば、電気が出てくるものである。しかし、実際には、これはそんなに簡単ではない。天然ガスを使う場合でも、脱硫は必要である。脱硫するには、水溶液を使い、さらに酸化亜鉛を使う方法が取られるが、1つの脱硫器で済むと思われる。この場合、硫化水素を作るために水素が必要である。水素は水電解して作る。この時できる水素は燃料電池でも燃料として使われる。

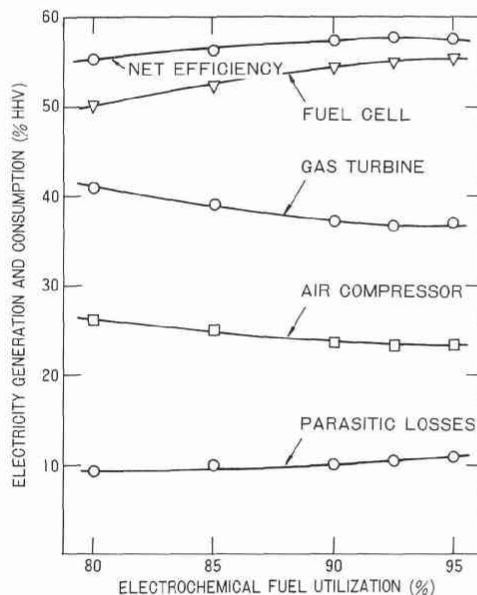


図15 効率の計算結果

図15は効率の計算結果を示すものである。ガス利用率を95%まで計算してあるが、85～90%以下で運転するのがよく、そうでないと、大きな電圧降下がおきると考えている。全体の効率は燃料電池およびガスタービンによる発電電力から空気圧縮器の動力やその他の動

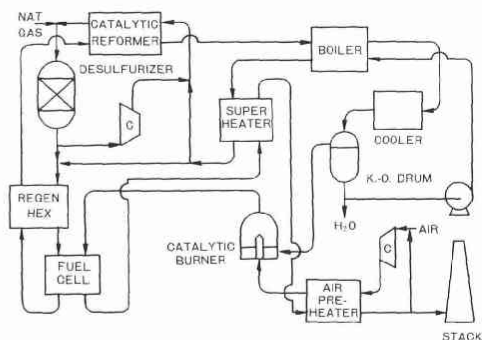


図16 MCFC-INTERNAL REFORMING SYSTEM

力に用いたものを差し引いたもので、60%近くに達する。計算では60%以上のものもある。

図16は内部リフォーミングについて示したものであり、見たところ複雑に見えるがそうではない。見かけの複雑さとして、脱硫器のループがある。また、キヤタリティックリフォーマは水電解装置よりも簡単であり、脱硫器用水素を作るためにある。これについては、脱硫器よりも吸収器のようなもので脱硫したほうが装置として簡単であるという意見もあった。もう一つの複雑に見えるのは、カソードとアノードに水蒸気を送る装置を作らねばならないからである。これは熱交換器の必要性をなくすためである。

アノードガスを再循環することにより、同様の効果が得られる。

図17の外部リフォーミングについて話をしたい。燃料は天然ガスである。天然ガスは改質器のガスと混ざり、コンプレッサを通りプレヒータ、脱硫器を通り、リフォーマに入り水蒸気とまざる。リフォーマは排気からでた燃料を使って温められる。改質器からでたガスは燃料電池に入り、そこから熱が取られる。また、プレヒータを通り、スチームタービンに入り、コンプレッサを通り、最

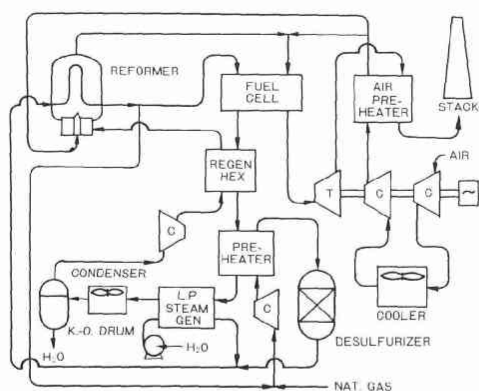


図17 EXTERNAL REFORMING SYSTEM

後に改質器で燃やされる。改質器からでたガスはカソードに入ってくるガスと混ざられ、その排気はまたガスタービンを通り、全体の電気出力を得る。排気は、最終的にプレヒータを通り煙突に入る。空気はコンプレッサより入ってくる。プレヒータを通り一部は改質器に、一部は燃料電池に供給される。カソードガスの再循環は入っていない。電気出力の半分は燃料電池から、また後の半分はガスタービンから得られ、コンプレッサの動力等を引くと、総合効率は49%ぐらいとなる。

(図18)

外部リフォーミングではガスの利用率が低い。致命的なことは、改質器に使う熱に燃料電池から出た熱を再利用することが難しいことである。もう少し、うまい熱交換器を使えば効率は向上でき、利用率も上る。しかしながら、コストも同時に上昇する。

次に、石炭を使った熔融炭酸塩型燃料電池発電プラントについて話をしたい。石炭を利用するシステムは50MWとか100MWとかのサイズで話をすることになる。すでに、石炭を使った熔融炭酸塩型燃料電池発電プラン

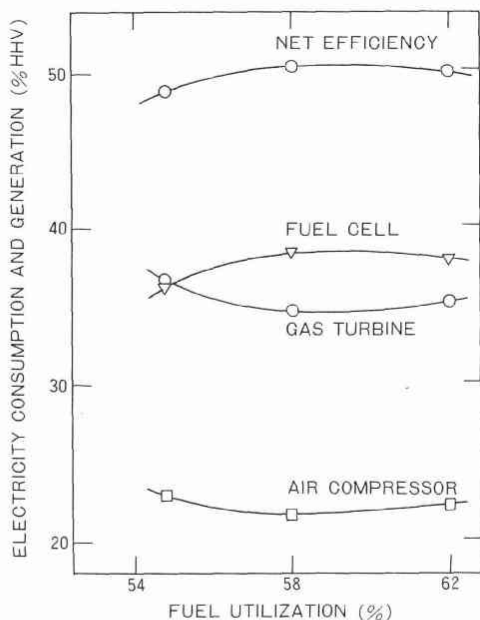


図18 EXTERNAL REFORMING at 6.8 atm WITHOUT CATHODE GAS RECYCLE

トを考えており、効率が50%以上を考えている。

図19に示すものは60%の効率のプラントである。石炭が入ってきて、まず、前処理を行う。ガス化器は触媒により行い空気は入っていない。効率のよい一つの理由は石炭を燃や

さず燃料電池からでてくる排熱を利用しているからである。これは、アドバンストな設計であり、高温脱硫器が入っている。脱硫器を通ったガスは酸化亜鉛を使った小さな脱硫器を通る。石炭ガスは燃料電池のアノードで使われる。アノードガスは再循環する。余剰の水素はキャタリティックガスファイヤで燃やされる。水素を使ってメタノール化することになる。ガスはほとんど100%のメタンである。これはE P R Iより受注したUTC社の設計であり、信頼のおける設計である。結果的には、効率は約60%ぐらいになる。

7. ま と め

りん酸型燃料電池が熔融炭酸塩型燃料電池に比べ一歩進んでいるのと同じように、熔融炭酸塩型燃料電池は固体電解質型燃料電池に比べ一歩進んだものである。

熔融炭酸塩型および固体電解質型燃料電池の現状を表3、表4に示す。現時点で、熔融炭酸塩型燃料電池は、寿命は10,000時間であり、1,000時間につき10mVの電圧低下が現

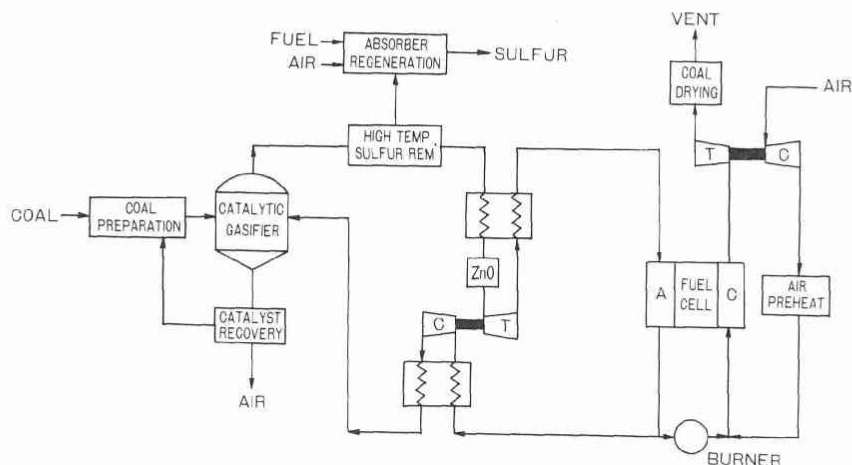


図19 CENTRAL STATION WITH ADVANCED COMPONENTS

表 3 STATUS OF SOFC AND MCFC

Longevity

	MCFC	SOFC
Longest Significant Cell Test	●10,000 hr pair of cells, boilerplate tile, ~10 mV/1,000 hr decay, terminated for analysis ●6,000 hr tape, <2 mV/1,000 hr decay until electrolyte loss	●Present design 1,500 hr ~33%/11,000 hr degradation in current density (open both end tile) ●Old Design 4,000 hr 17 mV/1,000 hr, low Uf
Other Cell Tests	~40,000 hr lab cell (prehistoric) 16,000 hr boilerplate (early 70's)	~50,000 hr lab cell Brown-Boveri, 70's
Longest Significant Stack Test	3,000 hr, voluntary termination, 4 mV/1,000 hr decay	None
Known Longevity Problems	●Electrolyte loss from stack ●Cathode dissolution	Cathode/Electrolyte Compatibility

表 4 STATUS OF SOFC AND MCFC

Scale of Tests

	Carbonate	Oxide
Cell Size Anticipated	~1 m ²	50 cm ² Closed End
Largest to Date	1,500 cm ²	80cm ² Open End
Most Common	1-300 cm ²	50 cm ²
Approximate Number to Date	1,000	50 (New Design)
Cell Scaleup Problems	No	No
Stack Size Anticipated	500 cell×1 m ²	Roughly 250 cell×80 cm ²
Largest to Date	20 cell×1,000 cm ²	None
Most Common	10-20 cell×1,000 cm ²	None
Stacks Run to Date	~10	None
Stack Scaleup Problems	Yes	Probably
Primary Concerns	Longevity	Performance, Fabrication, Stacking

状である。スタックにすると1,000時間当たり4 mVに下る。

電解質のロスがあるということがわかったので、単セルで10mV、スタックで4 mVの低下ということが理解できる。時間をかければ2 mV/1,000時間まで下げられよう。

電解質のロスや、ニッケルオキシドの溶解という問題点が残っている。しかし、電解質のロスについては、多分回答が得られたと

考えている。また、ニッケルオキシドの溶解については1年以内に解決すると予想している。来年には新しい酸化物の材料を使ったカソードが設計され、セルが運転できるものと考えている。セルからスタックへの積層技術は大変難しい。熔融炭酸塩型では性能は問題なく、寿命が問題とされている。内部リフォーミングが成功すれば、熔融炭酸塩型燃料電池は安いものができよう。この場合も寿命が

表 5 FUEL CELL BUDGET HISTORY
(In Thousands of Dollars)

Fiscal Year	DOE	Fossil	Fuel Cell	Acid	Carbonate	Oxide
1984	11,660	330.0	39.2	28.0	9.2	2.0
1983	10,938	309.9	27.6	17.6	7.5	2.5
1982		440.4	32.4	20.6	9.6	2.2
1981		711.4	31.0	21.0	9.0	1.0

問題である。また、内部リフォーミングが成功するかしないかが、溶融炭酸塩型燃料電池の将来にかかっている。これについては経験が浅いので、どこに問題点があるかは十分な理解はできていない。複雑な問題があり、設計には十分な時間が必要である。

積層については、まだ始まったばかりであり、詳しく話すことはできない。

米国における過去4年にわたるDOEの燃料電池に関する予算を表5に示す。燃料電池

の予算はりん酸型、溶融炭酸塩型、固体電解質型の予算に分けられている。化石燃料部の予算は大幅な削減があり、83年度では約半分に減らされているものの、燃料電池については増額されていることは注目に値する。

(いしかわ りきを (財)電力中央研究所 研究開発本部新エネルギー部：こだま てるお 工技院大阪工業技術試験所第一部燃料電池研究室)

研究所のうごき

(昭和59年4月1日～6月30日)

◇ 理事会開催

第16回理事会

日 時：5月23日(水)12:00～13:30

場 所：経団連会館ビル(9F)906号室

議 題：

- (1) 昭和58年度事業報告書および収支決算書(案)について
- (2) 日本自転車振興会からの昭和59年度自転車等機械工業振興事業に関する補助金の受入ならびに補助事業の実施について

◇ 月例研究会開催

第12回月例研究会

日 時：4月27日(金)14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F)1303会議室

議 題：

- (1) エネルギー技術データベースの開発(調査部長 大森栄一)
- (2) 石炭ガス化について(主任研究員 菅野孝悦)

第13回月例研究会

日 時：5月25日(金)14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F)1303会議室

議 題：

- (1) 電力貯蔵用バッテリーの技術動向(電子技術総合研究所主任研究官 野崎 健氏)
- (2) 自然エネルギー利用住宅(ハッシュソーラハウス)開発構想(主任研究員 安藤順康)

第14回月例研究会

日 時：6月29日(金)14:00～16:00

場 所：ダイヤモンドビル(10F)トレーニングセンター

議 題：

- (1) 高効率ガスタービンの開発(工技院ムーンライト計画推進室 渡辺武夫氏)
- (2) メタノール改質の応用(主任研究員 竹下宗一)

◇ 主なできごと

4月17日(火) 「燃料電池の需要量調査」第3回委員

会開催

18日(水) 「先端技術を応用した原子力発電プラント検討」第11回委員会開催

25日(水) 「FBR大型炉国際シンポジウム実行委員会」第1回開催

27日(金) 第12回月例研究会開催

5月2日(水) 「FBR大型炉国際シンポジウムプログラム委員会」第1回開催

8日(火) 「ウラン濃縮事業化調査」第5回専門委員会開催

9日(水) 「先端技術を応用した原子力発電プラント検討」第12回委員会開催

10日(木) 「燃料電池の需要量調査」第4回委員会開催

11日(金) 「原子力プラント運転の信頼性に関する研究会」開催(第35回)

14日(月) 「新種電池技術の調査研究—電池システム検討」第7回委員会開催

22日(火) 「ウラン濃縮事業調査専門委員会開催(第7回)」

23日(水) 第16回理事会開催

24日(木) 「FBR大型炉国際シンポジウム組織委員会」第1回開催

25日(金) 「先端技術を応用した原子力発電プラント検討」第13回委員会開催
第13回月例研究会開催

28日(月) 「FBR大型炉国際シンポジウムプログラム委員会」第2回開催

30日(水) 「FBR大型炉国際シンポジウム幹事会」第1回開催

6月13日(水) 「SPS」第1回委員会開催

15日(金) 「ガスタービン高効率発電調査」第1回委員会開催

20日(水) 第1回「揮発油問題技術研究会」開催

29日(金) 「フルサーマル」第1回委員会開催

第14回月例研究会開催

「ガスタービン高効率発電調査」

第2回委員会開催

◇ 人事異動

○4月1日付

(採用) 谷口 武俊 研究員に任命、プロジェクト試験研究部兼企画部配属

(採用) 蓮池 宏 研究員に任命、プロジェクト試験研究部兼調査部配属

(採用) 姫野 睦子 研究員に任命, 業務部配属
 (採用) 落合紀久江 経理部配属
 プロジェクト試験研究部主管研究員
 高倉 毅 グループリーダーに任命
 プロジェクト試験研究部主管研究員
 松井 一秋 グループリーダーに任命
 プロジェクト試験研究部主管研究員
 片山優久雄 グループリーダーに任命
 ○4月21日付
 (採用) 青木 伸 主管研究員に任命, プロ
 ジェクト試験研究部配属
 ○5月31日付
 業務部 高岡 朋代 依願退職
 経理部 佐藤 綾子 依願退職
 ○6月1日付
 (採用) 伊藤 正彦 主任研究員に任命, プロ
 ジェクト試験研究部配属
 ○6月3日付
 副主席研究員 上村 雅一 依願退職
 ○6月4日付
 (採用) 並木 徹 副主席研究員(海外調査
 担当)に任命, 海外電力
 調査会の業務担当
 ○4月1日付
 嘱託の委嘱, 任期は昭和60年3月31日まで
 東京大学工学部教授
 近藤 駿介 研究嘱託

東京大学工学部助教授

鈴木 篤之 研究嘱託
 小杉 英一 非常勤嘱託

◇ そ の 他

外国出張

- (1) 西川毅主管研究員は, 「欧米におけるウラン濃縮の技術動向及びマーケティング活動に関する調査と意見交換」のため, 4月6日から同月22日の間, 英, 仏, 米国に出張した。
- (2) 片山優久雄主管研究員と福井文彦主任研究員とは, 「海外立地CWMのフィージビリティスタディとCWMの製造及び輸送に関するフィージビリティスタディにおける炭田と港湾調査」のため, 4月15日から同月25日の間, 米国に出張した。
- (3) 竹下宗一主任研究員は, 「米国における燃料電池需要家の動向把握」のため, 5月12日から同月23日の間, 米国に出張した。
- (4) 松井一秋主管研究員は, 「Energy for Survival and Developmentセミナーに参加」のため, 6月9日から同月18日の間, イタリア及びブエノスアイレスに出張した。
- (5) 下岡浩主任研究員は, ICSU主催「第9回 Int'l CODATA Conference への参加」のため, 6月22日から7月2日の間, イスラエルに出張した。

季報エネルギー総合工学 第7巻第2号

昭和59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 東京都港区新橋1-1-13

東新ビル(7F)

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