

## 2. 研究会の内容

### (1) 第33回定例研究会

#### (a) フランスにおける水素エネルギーに関する研究について

prof. C. Gleitzer ( Université de Nancy )

本日ここで進んだ技術を持つ日本の皆様と話し合える機会が設けられてたいへんうれしく思っています。日本とフランスはエネルギー関連の科学、技術の面で似ている点が多くあります。その第一としては共にエネルギー資源を持たない事です。ガソリンの消費についても両国で同程度であり、価格の高い点でも共通しています。

フランスでは1974年にエネルギー開発委員会が政府の下に成立してから、このガイドラインに従って政策が進められています。原子力エネルギーが将来のエネルギーの中心になる政策がとられてきましたが、化石燃料等についても忘れられている訳ではありません。更にこの政策についても最近起った政権の交代により今後どうなるか予想できない面もあります。最近の日本の新聞に載った敦賀の原子力発電所からの放射性廃棄物のもれ事件など原子力エネルギーの将来には多くの問題点がある事も事実です。フランスは日本と異り国勢が農業に依存する事大ですので、メタノール合成、木材のガス化、石炭のガス化にも大くの興味があります。しかし将来は原子力と石炭が中心のエネルギー政策となるでしょう。遠い将来に向けての地熱、太陽エネルギーの利用も重要な課題です。

将来におけるエネルギー価格、需給の最適化を予想してみました。ここで全エネルギーシステムについて予想をたてて計算してみた訳ですが注目しましたのが需給関係とコストです。もちろんここでは燃料の種類、生成効率、エネルギーバランス、物質収支等300以上の一次方程式を結びつけて考えた複雑なものになりました。基礎になるデータは1977年の物を用い、目的の年に外捜して求めました。ここで問題は需要がどれ位になるかという点であり、この点に関しては政府の政策も大きく影響します。一つのシナリオに従うと20年後には二次エネルギーとして水素は石油より大量に消費される結果もでています。

私の所属する研究グループ "Cooperative Research Organization For Hydrogen Vector" には44の研究機関、200人のメンバーが加わっており、水素の製造、使用、貯蔵それにデータバンクのグループに分けられています。ほとんどは大学関係で他の会社、大学、研究所と協力しながら研究を進めています。経済的な援助は少く、例えばC N R Sからの援助は我々の消費額の数%にしかすぎません。

この会は2年前に結成したのですが年一回の研究会を開いてお互の研究室の現状と今後の展望を発表し、議論し合っています。

これからフランスにおける水素エネルギー研究の具体的なお話をします。まず製造法ですが主な課題として新水電解法が研究されています。この内KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液を用いた高温・高圧水電解が主力です。SPE電解は既に日本、アメリカで研究が進んでいるので今更研究を始めても遅いと考えました。実際の研究としては電極に関する基礎的なものが多く、アノードは白金、ニッケル、ランタンコバルト等が、カソードとしてはニッケルが中心に研究されています。隔膜としてはPTFEが有望視されています。実機としては5KWの電解槽が120℃で5,000時間以上運転されました。120KW, 200℃のものも運転中です。更に500KW規模のセルも計画中です。これらはいずれもEDF (Electricity de France) で進行中で1990年には商業プラントの稼働をねらっています。価格は電力が0.04フラン/Kwhなら水素を0.30フラン/m<sup>3</sup>にする事が可能だとしています。これは原子力のオフピーク時の安い電力を期待しているものです。

ジルコニアセルを用いた水蒸気電解についてはグルノーブルの原子力研究所で行われています。ここでは850℃で作動する安価なアルミナをドーブしたジルコニアに期待しています。自動車メーカーのシトロエンは当初自動車用の燃料電池の研究をしていましたが、この技術を用いてアノードにインジウムをドーブしたジルコニア、カソードにニッケル-ジルコニアのサーメットを使う電解技術を開発中です。

熱化学法による水素製造技術の研究についてはフランスではあまり活発ではありません。例えば3,000 MW (Th) の高温ガス炉を使用して水素を作るコストを熱化学法、水電解法、ハイブリッド法について検討してみました。熱化学法については7種の元素(鉄, 銅, ニッケル, 塩素, 臭素, ヨウ素, 硫黄) それに水素と酸素からなる25,000サイクルから5段以下の反応サイクルであるもの、反応速度が充分なもの、副反応のないもの、エンタルピーの変化が良いもの、分離し易いもの等を考えて2,000サイクルに絞りました。これらのサイクルの熱効率を損失を小さく見積った楽観的な仮定で計算し、更に経済的評価を加えました。ここで熱化学法プラントは全世界で動いているものがないので無機合成工場の値を参考にしました。結果は熱化学法は否定的で電解法が優れている事が判りました。投資コストだけを見ても熱化学法プラントには電解法の2倍のコストがかかる事が判りました。

貯蔵法に関する研究は水素化物の物性、拡散についての研究が主でありマグネシウム、鉄-チタン、マグネシウム-セリウムの系について行われています。

金属の脆化についても研究は進んでいます。同一パイプにヘリウムと水素を流して同一条件下の破壊挙動を調べるとガス中、鉄網中に含まれる不純物酸素の影響が大きい事が判りました。水

素による割れには物理的な割れと化学的な割れのある事も判りました。

燃料電池については高温型を中心に石油公社等で研究されていますが設備が3,000フラン/KW以下にできるなら将来可能性があると思われています。ここでは off-peak の電力を利用した電解プロセスと組合せて考えています。

以上、全ての研究については、紹介できなかったし、いずれも簡単に述べただけで充分ではないと思われまふ。現在水素はアンモニア合成用に主に使用されており、これは肥料の原料であり将来も需要が伸びると予想されます。更に燃料電池に、製鉄・製鋼用に、石炭の転換用に多量の水素が将来必要になってきます。フランスの小説家チャールズ・ラム(?)は1874年の本「神秘の島」の中で次の様に書いています。潜水艦の艦長ミスが「水は未来のエネルギーなんだ」というと船員が「そんな時代を見たいものだ。」と質問しました。艦長は「君は早く生まれすぎたのさ。」と答えました。水素文明は今とはともかく将来は必ず実現されるように思います。

訳 太田健一郎(横浜国大)

## (2) 第43回定例研究会

### (a) 省エネルギーと材料問題

大阪工業技術試験所 上 野 力

#### 1. はじめに

我が国のエネルギー問題に対処するため、エネルギーの供給面での安定化と共に、エネルギー消費の合理化、高度利用などの省エネルギーを強力に進めることが必要で、これに対する関心が高くなっている。昭和54年に「エネルギー使用の合理化に関する法律」が施行され、工場、建築物、機械器具に係わる措置や研究開発が推進されている。工業技術院のムーンライト計画もこれの一環として発足した。

現在のエネルギーシステムでは、一次エネルギーに化石燃料を使用することが多く、その内蔵する化学エネルギーを利用するには、燃焼により熱にするのが最も簡単である。この熱が仕事をなし得る潜在能力は高温ほど大きいので、例えば熱機関の効率の向上を図ろうとすれば可能な限りの高温を指向することになる。したがって、熱の有効利用には高温に耐える材料が必要となる。そこで本講では、省エネルギーに利用される種々の材料のうち、耐熱性の高ものについて、当所に関連の深い課題を中心に、その概要を紹介する。

#### 2. 高温断熱用セラミックファイバ

エネルギーを効率よく利用するには、低熱伝導度、低熱容量の材料を用いた断熱を徹底して行うことが重要な手段となる。特に多量のエネルギーを使用する高温工程では、断熱による省エネルギー効果が著しい。

高温断熱材には、断熱れんがのような気孔質のものと、繊維質のものがあり、その熱伝導率は材料そのもののそれよりも $1/20$ 以下に下げたものである。一般に気孔質よりも繊維質のものの方がかさ比重が低く、熱伝導率も低いので、セラミック質のファイバがよく使用されるようになった。

約 $600^{\circ}\text{C}$ よりも高温では、 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 系のセラミックファイバが用いられる。これは $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ の重量比がほぼ1になるように配合した原料を、高温の電気炉で熔融し、流出させて繊維化したものである。金属処理炉や窯業関係炉に積極的に用いられ、1) 炉壁の厚さが従来の炉材を用いた場合の約 $1/2$ でよい、2) 同じく重量は $1/5 \sim 1/10$ となり、バッチタイプの炉では昇温冷却をスピードアップでき、蓄熱量減少による省エネルギーが著しい。3) 基礎や炉構造材料を節約でき、4) れんがが積に代わり、施行容易、施行の時間、費用の節減となる、5) プレハブ式筑炉可能、などの利点が認められている。

ところが、熔融物から得られる非晶質繊維は、1,200℃付近の長時間加熱で結晶化が始まり、繊維の収縮と劣化が起こる。施工法に工夫を加えても1,300℃が使用限界と見られている。

上記よりも高温の断熱には、非晶質にかわり、結晶質の繊維が用いられる。アルミニウム化合物の溶液に有機高分子を加えたものを繊維化し、これを加熱して有機物を分解させ、最終的にはアルミナの微結晶からなる繊維としたものである。

1,300～1,500℃での断熱には非晶質と結晶質のファイバを混ぜ合わせた製品がある。炉内ガスの流速が大きく、断熱材表面の繊維が運び去られるような部位にはコーティング層をつけることも行われる。

1,500℃以上の断熱には、結晶質ファイバのみからなるボードが用いられる。

### 3. ガスタービン用セラミック材料

ムーンライト計画の一部である高効率ガスタービンの研究開発では、ガス入口温度を、従来のものより数百℃高い1,500℃とし、熱効率を高めると共に、廃ガスによる汽力発電と複合させ、総合効率を一層高くすることが検討されている。このような高温運転では、タービンの部品に従来の耐熱合金にかわり、セラミック材料を用いる必要がある。

高温で高強度を保持する材料には、固体内での共有結合性が強く、したがって、構成元素の電気陰性度が類似したものからなり、結合電子数が多く、結合距離が小さいことが必要である。一方、低比重の方が有利であるので、構成元素の原子量が小さいことが望まれる。これらを考慮すると、有望な材料は窒化物、炭化物に限られる。実際に開発が進んでいるのは、窒化ケイ素、サイアロン、炭化ケイ素である。

窒化ケイ素 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) は、構造的に低温高酸素雰囲気安定な $\alpha$ 型と、高温低酸素雰囲気安定な $\beta$ 型をとる。1,850℃から昇華する。酸化物に比べると成形は困難で、以下のような方法がある。

ホットプレス (HPSN) :  $\alpha$  型  $\text{Si}_3\text{N}_4$  微粉末に  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  などを焼結促進剤として加え、1,750℃付近で100～300  $\text{Kg/cm}^2$  の圧力で成形 (ホットプレス) する。焼結体の強度、その温度による変化、靱性などは、原料の純度、添加物の量と種類ホットプレス条件により影響を受ける。本法によるものの曲げ強さは他法よりも高い。

焼結 (SSN) : HPSN と同様に焼結促進材を加えて、常法で形成し、1,750℃で常圧下で焼成する。曲げ強さはHPSNに比べて低い。目標形状と寸法差の小さい精密成形が可能で、最終研磨工程を短くする利点がある。今後の製造の主流を占めると考えられる方法である。

反応焼結 (RBSN) :  $\text{Si}$  粒子を各種成形法を用いて成形した後、 $\text{NH}_3$  又は窒素気流中で

加熱し、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  焼結体を得る。窒化前後で成形体寸法に変化が起きない。気孔が残るので曲げ強さは他の方法によるものより小さいが、焼結助剤を含まないので、 $1,400^\circ\text{C}$ でも低下しない。

サイアロン：サイアロンは  $\text{Si}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{N}$  からなり、 $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  の固溶体である  $\beta$ -Sialon である。焼結体の強度は  $\text{SSN}$  ぐらいであり、耐酸化性、クリープは  $\text{HPSN}$  よりも優れている。

炭化ケイ素 ( $\text{SiC}$ ) にも、 $\alpha$ ,  $\beta$  型があり、後者が低温型である。 $2,200^\circ\text{C}$  付近から昇華する。

ホットプレス ( $\text{HPS}$ )： $\text{SiC}$  微粉末に  $\text{B}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  などを加え、 $2,000 \sim 2,100^\circ\text{C}$  でホットプレスする。 $\text{HPSN}$  よりも、高温での強度低下が少ない。

焼結 ( $\text{SSC}$ )： $\text{B}$ ,  $\text{C}$  を添加して成形、低酸素分圧下で  $2,100^\circ\text{C}$  で焼結する。曲げ強さは  $\text{SSN}$  と同程度。 $\text{SSN}$  と同様に今後の主流と考えられている。

反応焼結 ( $\text{RBS}$ )： $\text{Si}$ ,  $\text{C}$  を混合、成形し、 $1,400^\circ\text{C}$  で加熱、又は  $1,450^\circ\text{C}$  で熔融  $\text{Si}$  を成形体中含浸させ、内部で  $\text{SiC}$  に転化させる。量産容易、強さは  $1,400^\circ\text{C}$  まで変化がない。

そのほか、 $\text{CVD}$  による方法や、セラミックスのもろさを改善するため、 $\text{SiC}$  のウィスカーなどと  $\text{Si}_3\text{N}_4$  との複合体とすることも、当所で開発が進んでいる。

#### 4. MHD 発電用セラミック材料

熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換して、その効率を高める方法の一つに MHD (電磁流体力学) 発電があり、その研究開発もムーンライト計画で推進されている。このシステムでは約  $2,500^\circ\text{C}$  の火炎流を磁場と直角の方向に高速で移動させ、電磁誘導により直接電流を取出す。この場合、火炎の導電性を  $R$ 、その流速を  $V$ 、磁場の強さを  $B$  とすると、発電の出力密度は定性的に  $\alpha v^2 B^2$  に比例することが知られている。出力密度を大きくするために、 $\alpha$  については火炎の温度を高くするとともに、カリウム化合物を添加する (シード物質)。 $v$  については火炎通路であるダクトの最適設計を行い、 $B$  を高くするために超電導マグネットが用いられる。

ダクトの壁面は発電効率の点からは、高温であるほど有利であるが、火炎温度に耐える材料がないので、通常は壁の背面を冷却する。しかし、火炎中のシード物質が凝縮して液体状態で壁を移動すると、材料の侵食が甚しく、また絶縁壁での電気漏洩が増すので、 $\text{K}_2\text{CO}_3$  や  $\text{K}_2\text{SO}_4$  となったシード物質が液相に凝縮する  $900 \sim 1,300^\circ\text{C}$  の領域に壁面温度をおくことを避ける。したがって、壁温度は  $900^\circ\text{C}$  以下のコールドと、 $1,300^\circ\text{C}$  以上で材料の劣化が目立つ約  $1,600^\circ\text{C}$  を上限とするセミホットに分けられる。

コールドでは材料の耐食性に問題が少ないが、通電によりアークが発生し、損傷が甚だしくなる。

セミホットではアークの問題は減少するが、金属材料は利用できず、耐熱、耐食、耐熱衝撃性を持ち、絶縁、通電の性能をも示す材料が必要となる。更に、冷却管との接合技術、異種材料との接触部での化学的、電気的不整合による劣化の恐れもある。

セミホット用絶縁材料として有望であるのはマグネシアで、電融塊から結晶軸の明らか多結晶体を一定方向に切り出したものが、適合性が高かった。しかし、熱膨張係数が高く、熱衝撃抵抗が低いので、これにBN、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ などを添加し、特性の向上が図られている。

セミホット用電極材料としては、酸化物系が有力である。この材料にはシード物質の部分的凝縮によるアルカリ侵食のほか、直流が加わるので電気分解に似た変化を起こし、アノード側では、酸素イオンによる酸化、発生した酸素ガスの気泡による機械的侵食、陽イオンの溶出などが考えられる。またカソードでは、高濃度のカリウムイオンによるアルカリ侵食、酸素不足による還元作用、被還元材料の再酸化に伴う膨張破壊などが考えられる。そのため、極性による材料の使い分けが必要である。

適合材料の選択には、 $\text{K}_2\text{SO}_4$  融液に通電しながら長時間浸漬し、重量や外観の変化を調べるテストが用いられる。その結果によると、アノードには、導電性と耐アルカリ性に優れる $\text{SnO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ を比較的少量の $\text{CeO}_2$ で安定化した系などが良結果を示した。また、カソード側ではほとんどの材料が膨張破壊を示し、わずかに $\text{CeO}_2$ 含有率の高い $\text{ZrO}_2 - \text{CeO}_2$ 系が有力視される程度で、優れたカソード材の開発が重要である。当所では、このような電極材料のほか、水冷管の接着に必要なセラミックスと金属との接着についても、MHD発電に有望な処方を見いだしている。

### (3) 第35回定例研究会

#### (a) 光合成微生物による水素生産

～瀬戸内海で発見された光合成細菌～

広島大学生物生産学部 太田 欽 幸

石油代替エネルギーの開発を行うには、安価で豊富に供給されることは勿論のこと、現在あるエネルギー消費システムが、可及的そのまま使え、かつ自然環境を汚染しないものでなければならない。さらに、現在未利用資源を利用して、しかも他の資源たとえば食糧資源などと競合しないものからエネルギーを生産することが必要であろう。

この様な上記の要求を少しでも満たすものとして、四方を海で囲まれた我が国は、この海と無限の太陽エネルギーとを利用してエネルギーを生産する方法が望まれる。その一つの方法として、海洋性光合成微生物に太陽エネルギーを固定させて、クリーンエネルギーである水素を生産させることが考えられる。

幸い、1979年から約1年間海洋性光合成微生物による水素発生の研究では世界的な先駆者で、権威者でもある米国フロリダ州マイアミ大学海洋気象学部の三井旭教授の招きで、海洋性光合成細菌による水素生産の基礎的研究を行う機会が与えられた。この間、使用した光合成細菌は、バハマ諸島などの海域から分離された亜熱帯性および熱帯性の菌種であった。帰国後、日本において光合成微生物を用いて水素を生産させるには日本の気候に合った、日本の海洋から分離した温帯性の海洋性光合成微生物を用いる必要があると考えた。

そこで、古来製塩業が盛んであった、つまり少雨な瀬戸内海で海洋性の光合成微生物を検索した。今回は、主として光合成微生物の内、その生育に還元性イオウを必要とする光合成イオウ細菌の分離を試みた。

すなわち、紀伊水道から豊後水道にかけて15地点から海水、海草、あるいは底質土などの試料を約150種類採取した。採取した試料は直ちにスクリュキヤップ付き試料瓶に口一杯に入れ嫌気状態にして実験室に持ち帰った。そして、直ちに  $\text{NH}_4\text{Cl}$  およびリンゴ酸をそれぞれ窒素源および炭素源とする Pfennig らの境地に適当量接種した。培養はスクリュキヤップ付き試験管中で、光照射下、 $30^\circ\text{C}$ で行った。この様にして7～10日間、集積培養を行い、生育してきた約40の培養液について同上の培地に1.5%の粉末寒天を入れて平板培地を作り、その上に塗抹培養を行った。培養は嫌気ジャー内で行い、酸素の除去にはガスパックを使用した。この様にして、嫌氣的に光照射下で、 $30^\circ\text{C}$ で培養した。5～7日間後、生育して来た単集落を釣菌し、さらに上記と同様の方法で、塗抹培養を行った。この単集落分離をさらに2～3回くり返し、最終



的に生育した単集落を液体培地に移して培養した。この様にして、純粋な菌株を約50種類分離することができた。これらの純粋菌株について、次に示す様な方法で水素発生能の高い菌株をスクリーニングした。すなわち、上述の Pfennig らの培地から、窒素源を除き、窒素源として  $N_2$  ガスを用いて生育させた。 $N_2$  ガスに生育した菌体を集菌し、無窒素培地で2回洗浄し、洗浄菌体を得た。この菌体を用いて嫌気条件下、光照射下で水素を発生させ水素発生能をスクリーニングした。その結果、生育は良いが、水素発生能の低い菌株、逆に生育は悪いが水素発生能がすぐれている菌株があった。結局、生育も水素発生能もすぐれている  $\mu 41$  菌株を選択した。この  $\mu 41$  菌株は、運動性があり、 $1 \sim 1.2 \times 2 \sim 2.5$  の桿菌で、菌体の先端がやゝ尖っていた。そして、この菌株は生育に還元性のイオウ源を必要とし、生育中に細胞内に無機イオウを顆粒状に沈積するのが顕微鏡下で観察された。

まず、この菌株について、リンゴ酸および  $NH_4Cl$  をそれぞれ炭素源および窒素源とする Pfennig らの培地を用いて生育条件について検討した。Fig 1に示す様に、生育至適 pH は 8.0 附近

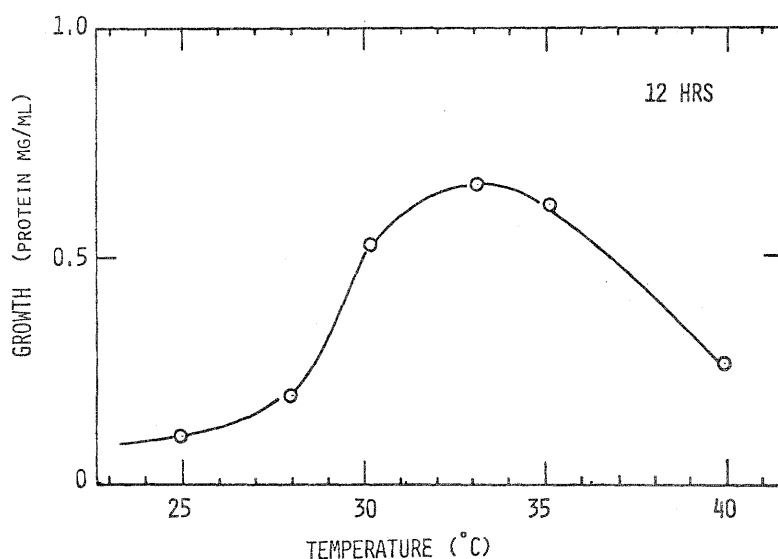


FIG. 1. EFFECT OF TEMPERATURE ON GROWTH

にあり、pH 7.0 以下および pH 8.8 以上ではほとんど生育しなかった。このことは海水の pH とほぼ一致した。生育の至適温度は  $30^{\circ}C \sim 35^{\circ}C$  であり、 $20^{\circ}C$  以下および  $45^{\circ}C$  以上ではほとんど生育しなかった。つまり、この菌は中温性の細菌であることが分った。ついで、培地中の食塩濃度を変えて、その生育に及ぼす影響を調べた。その結果、塩濃度  $20 \sim 40 \text{ ‰}$  で最も良く生育した。 $10 \text{ ‰}$  以下および  $60 \text{ ‰}$  以上ではほとんど生育できなかつた。また塩濃度  $0 \text{ ‰}$  では菌体は溶解した。照度の生育に及ぼす影響では、 $5,000 \text{ Lux}$  までは、照度の増加と共に生育が増加したが、 $5,000 \text{ Lux}$  で飽和に達した。試験した最高の  $12,000 \text{ Lux}$  では生

育は阻害されなかった ( Fig 2 )。

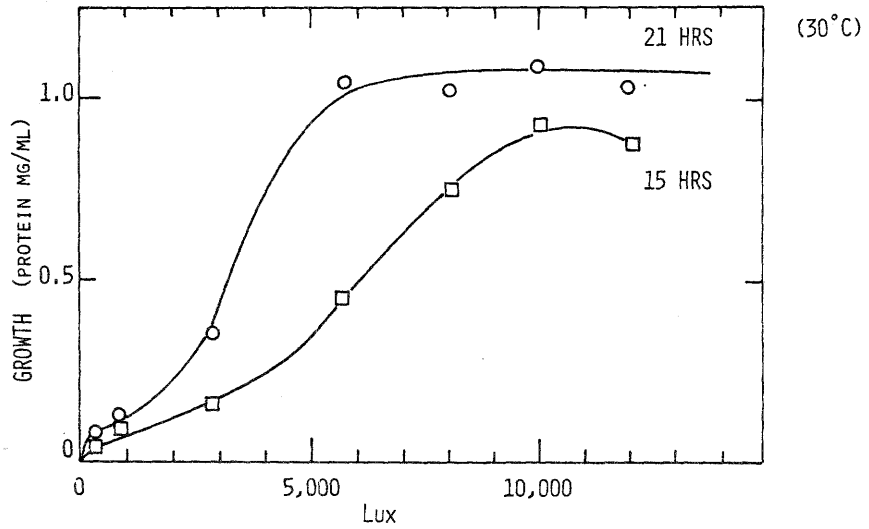


FIG. 2. EFFECT OF LIGHT INTENSITY ON GROWTH

しかし、全く光がないと本菌株は生育しなかった。また、光合成細菌は嫌気性である。そこで、酸素に対する抵抗性を検討した。その結果、完全な嫌気状態よりも2~3%の酸素分圧があった方が生育が良かった。また、酸素分圧が10%の場合でも無酸素の場合の約70%程度生育し、20%の酸素分圧でも生育がみられた ( Fig 3 )。本菌株は前述した様に、生育に還元性のイオウ源を必要とする。基本培地に用いた  $\text{Na}_2\text{S}$  の他に、 $\text{Na}_2\text{O}_3$  および  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  を利用したが、その他の無機態イオウは利用できなかった。また、 $\text{Na}_2\text{S}$  の添加量は2 mMで良く、7 mM以上では阻害的になった。つぎに、利用される窒素源の形態について調べた。その結果、本菌株はア

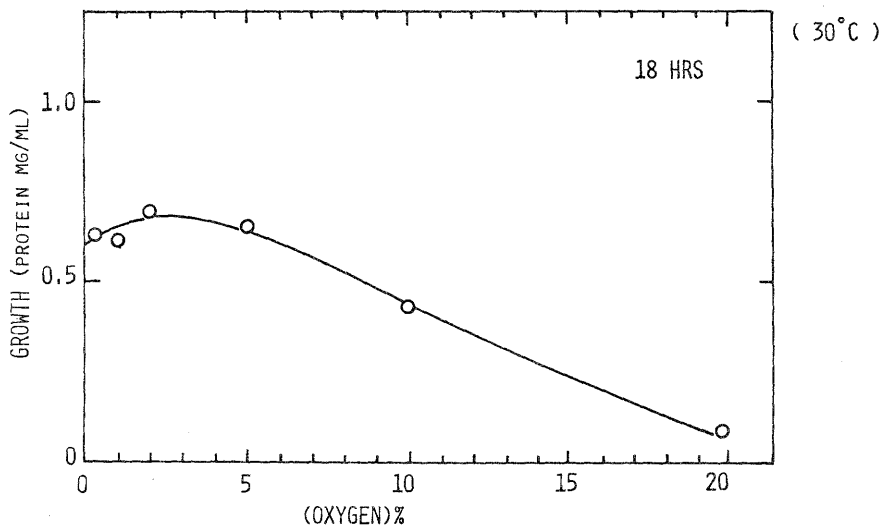


FIG. 3. EFFECT OF PARTIAL PRESSURE OF OXYGEN ON GROWTH

アンモニア態、硝酸態、および尿素態のそれぞれの窒素を利用できたが、亜硝酸態は利用できなかった。アンモニア態窒素は培地中に 0.2 mM で飽和に達し、4 mM 以上では生育阻害が生じ始め、9 mM では至適濃度の約  $1/3$  の生育しか示さなかった。また、炭素として、酢酸、フマル酸、リンゴ酸などの有機酸やフェノール、レゾルシンなどを利用した。しかし、糖類やアルコール類は利用されなかった。

以上検討した生育条件の内、至適条件つまり、pH 7-8, 33°C, 塩濃度 30 ‰ で、10,000 Lux 光照射下で、十分量の炭素源（リンゴ酸）と  $\text{Na}_2\text{S}$  を与えて培養した。その結果、

Fig 4 に示す様に、接種（接種量 2%）後、2~3 時間の Lag phase の後、増殖を開始し約 10 時間で最も盛んになり、14~15 時間で生育量が最大になった。この生育曲線から、本菌株の最も生育が速やかな時期で、その doubling time は約 45 分間であった。

一般に、光合成細菌において水素発生に関与する酵素系はニトロゲナーゼとヒドロゲナーゼであるとされている。これらの酵素系は、培地中の窒素源の形態や添加量によってその生成量や割合が変わってくる。そこで、水素発生に用いる菌体

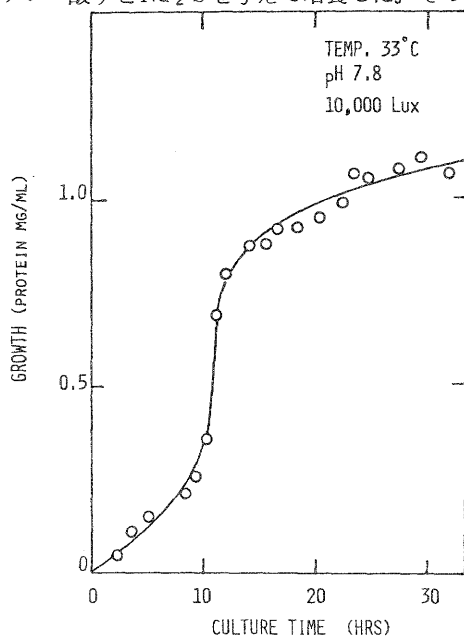


FIG. 4. GROWTH CURVE.

はどのような窒素の形態で生育させた菌体が最も良いかについて検討した。すなわち、過剰および制限量の  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、グルタミン酸、あるいは  $\text{N}_2$  ガスをそれぞれ窒素源として使用した。その結果、過剰の  $\text{NH}_4\text{Cl}$  の培地では多量の菌体が生育したが、水素発生能はほとんど無かった。また、ニトロゲナーゼ活性もほとんどみられなかった。つぎに、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  制限量の培地では、菌体の生育は非常に悪かったが、生育の途中で培地中に水素を発生した。その菌体の水素発生に関与する酵素は殆んどがヒドロゲナーゼであると推定された。つぎに、グルタミン酸を窒素源として生育させると、生育中に水素の発生がみられたが、菌体は余り生育しなかった。この菌体でも主として、ヒドロゲナーゼが水素発生に関与していると推定された。ついで、 $\text{N}_2$  ガスを窒素源とした場合、生育は良好であり短時間に多量の菌体を得られた。しかも、この菌体の水素発生能は非常にすぐれていた。この実験から、生育が良くしかも水素発生能の高い菌体を得るには窒素源として、 $\text{N}_2$  ガスを用いた方が良かったことが分った。

そこで、次に  $\text{N}_2$  固定条件について検討した。基本培地から、窒素源を除き、25 ml 容の三角フラスコ内で培養した。つまり、フラスコ内の気相を  $\text{N}_2$  ガスに置換し、光照射下で振とうした

から水槽中で培養した。その結果、 $N_2$  固定に最も適した条件は、pH 8.0~9.0、温度は25℃~35℃、光は5,000 Luxで飽和し、塩濃度は15~50<sup>0</sup>/00であった。また、 $Na_2S$  は4 mMで十分であった。炭素源として、酢酸、フマル酸、グルタミン酸、リンゴ酸などの有機酸が利用された。この様な最適条件下での doubling time は約90分間であった。

以上分った生育および窒素固定のための物理的環境条件は、海洋のそれと一致するものが多く海水がそのまま培地として用いられる可能性がある。つぎに、 $N_2$  固定条件下の各培養時間毎の菌体の水素発生能を調べた結果、対数期の菌体が最も良く水素を発生した。対数期を過ぎると急速に水素発生能が劣えるので、水素生産には対数増殖期に菌体を保つ様な培養の工夫が必要であろう。また、水素発生に際し、密閉容器内で水素を発生させると、その発生速度が鈍化することが分った、発生した水素は逐次排出した方が良いと思われる。

光合成細菌では、光合成系Ⅱが無いので、ラン藻の様に水を分解して水素を発生できない。そこで、電子供与体として、有機物の添加が必要である。この有機物を如何に安価にするかが、光合成細菌による水素発生の重要なポイントになるであろう。この有機物として、未利用資源を利用し、食糧などの資源と競合しないことが必要である。その可能な原料の一つとして、農畜産廃棄物がある。これは多量の有機質を含有しているにもかかわらず、埋立てや焼却によって処理されている。これが光合成細菌の電子供与体として利用できれば、環境の防除および省エネと共にエネルギー開発の原料となる。われわれの研究室では長年、家畜ふんや余剰汚泥あるいは厨芥などの農畜産廃棄物を微生物を用いて簡単に、迅速に、かつ経済的に無臭化および乾燥化する方法を開発している。この無臭化物を嫌気発酵させると、前述した光合成細菌にとって電子供与体として可能である酢酸、プロピオン酸、酪酸などが多量に生成する (Fig-5)。現在、リンゴ酸を用いて水素を発生させているが、これら低級脂肪酸を電子供与体として水素を発生する優良な菌の検索が必要である。また、水素発生を長時間保ちつづける様な工夫や、生育しつつ水素を多量に発生させる様な菌株の分離も必要であろう。

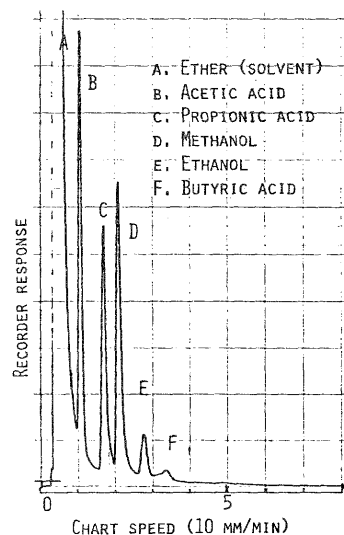


Fig. 5. ACID FERMENTATION OF LIVE STOCK WASTES.

## (b) 水素軽油二元燃料ディーゼル機関の研究

船舶技術研究所 塩 出 敬 二 郎  
野 村 雅 宣

### 1. まえがき

近年石油燃料の消費量が増加していて、このままの調子で石油の消費が続けば近い将来には石油資源は枯渇するといわれている。また我国においては、今後石油あるいは核燃料のような一次エネルギーを大量に使用することは、環境汚染防止の面からも大きな制約を受けることが予想される。

したがって将来は環境汚染が生じにくく、リサイクルが可能で、貯蔵が可能な二元エネルギーを使用することが求められている。

このような要求に充分応えられるものとして最近注目を集めているものに水素がある。

水素は完全リサイクルが可能であるし、環境汚染の心配はないし、原料となる水も地球上には大量に存在するので理想的な将来の燃料と考えられている。船舶技術研究所においては、船用機関—ディーゼル機関、蒸気タービン機関、ガスタービン機関—への水素利用の可能性及び水素利用上の問題点の調査を目的とした研究を行ってきた。ディーゼル機関への水素利用の研究では、現在使用されている機関をできる限り仕様の変更、改造等をしないで、どの程度まで燃料を水素化できるかについて実験を中心とした研究を行ってきた。以下、水素軽油二元燃料ディーゼル機関による実験結果について説明する。

### 2. 水素軽油二元燃料方式

現在一般に使用されているディーゼル機関で、水素軽油二元燃料運転する場合、いろいろな方式のものが考えられるが、最も簡便な方式は吸気管内に水素を噴射し、吸気管内で可燃混合気を作り、これをシリンダ内に吸入、圧縮し、圧縮行程の終り頃に軽油を噴射して着火を行うものである。この方式だと現在のディーゼル機関をあまり改造しなくとも利用できる。

それゆえ、このたびの実験ではこの方式のディーゼル機関を使用した。

### 3. 実験に使用したディーゼル機関及び計測装置

この研究のために使用したディーゼル機関は2台で、1台は単気筒、4サイクル、予燃焼室式機関（シリンダ直径95mm、ストローク115mm、排気量815cc、圧縮比20:1、定格出力6PS/1,400RPM）であり、もう1台は燃料耐爆性試験機（CFR機関）を改造した単気筒、4サイクル、渦流室式機関（シリンダ直径82.5mm、ストローク114.3mm、排気量

6 1 1.3 cc, 圧縮比 6.8 ~ 2 0.6 : 1 ) である。

これらの機関には、二元燃料運転するために吸気管内に水素ガスを噴射するためのノズル (吸気弁の上流側約 1 2 cm のところに) を取付けた。軽油はこれらの機関に元から装備されていた噴射系統をそのまま利用して噴射した。水素は高圧ボンベ ( 1 5 0 Kg/cm<sup>2</sup>, 7 Nm<sup>3</sup> ) から調圧弁 (ここで約 2 Kg/cm<sup>2</sup> に減圧される) を通り、フロート式流量計を径で吸気管内に噴射した。シリンダ内での燃焼状況を調べるために主及び副燃焼室内の圧力をストレインゲージ・タイプの指圧計とストレイン・アンプで計測し、シグナルプロセッサで燃焼波形データの処理と収集を行った。

#### 4. 実験方法及び実験結果

4.1 運転条件と水素添加量の限界 前述したような方式 (水素の吸気管内噴射) で水素軽油二元燃料運転した場合、異常燃焼 (過早着火, ノッキング, 逆火など) なしに水素をどの程度まで添加できるか, また運転条件によってそれがどのような影響を受けるかを調べるために次のような実験を行った。

まず決められた実験条件 (機関回転数, 出力, 軽油噴射時など) で軽油だけで運転しておく。機関回転数を最初に設定した値に保ちながら, 水素の添加量を少しずつ増やしてゆく。燃焼波形をブラウン管オシロでモニターして, 燃焼が正常であれば水素の添加量を増やす。このような操作を繰返し行い, 異常燃焼が発生するようになるまで水素の添加量を増やす。そして異常燃焼が発生するようになる時の水素の添加量を, その運転条件における添加量の限界とした。水素添加量の限界は, 機関回転数にはあまり影響されないが, 軽油の噴射時期によっては影響を受ける。つまり噴射時期が早い方が水素添加量の限界は多くできる。しかし, 軽油の噴射量による影響はほとんどみられなかった。

圧縮比については, 圧縮比が高くなれば水素添加量の限界も多くなる。水素添加量の限界を水素-空気相当比 (空気過剰率の逆数で表わされ当量比ともいう) で表わせば, 0.2 ~ 0.4 程度である。

4.2 水素の添加量と機関性能 水素軽油二元燃料運転で水素の添加量によって機関性能がどのように変化するかを調べるために次のような実験を行った。まず軽油だけで運転していて, 機関回転数, 出力を一定に保ちながら水素の添加量を増やし, 軽油の噴射量を減らしてゆく。この操作を繰返して, 水素の添加量を少しずつ増やししながら, 機関性能の変化を測定した。軽油だけの運転から水素の添加量を少しずつ増やしてゆくと, 燃焼最高圧力はゆるやかに上昇してゆくが, 水素添加量がある値をすぎると急激に上昇するようになる。さらに水素添加量を増やすと, 過早着火 (軽油による着火よりも早い着火) を発生するようになる。過早着火

も始めのうちは間欠的に発生するし、燃焼最高圧力もあまり高くないので機関性能の低下はほとんどない。しかし、水素添加量が多くなると過早着火の発生頻度も高くなり、発生する時期もすでに圧縮行程の始めの方に移動してゆき、ついには吸気弁の開いている間に着火するようになる。これが吸気管内への逆火である。正味熱効率についてみると水素添加量が少ないうちは、軽油のみの運転の場合とあまり変わらないが、水素添加量が多くなると急激に低下するようになる。しかし、機械効率は水素添加量によって影響をほとんど受けていない。このように水素添加量が多くなると燃焼最高圧力が上昇し、正味熱効率が低下してくるようになる。内燃機関の熱サイクル論では、燃焼速度が速ければ等容度が大きくなるので熱効率は向上するはずである。しかし、実際の機関の運転では等容度が大きすぎると燃焼ガス温度、圧力が急上昇するので熱損失の増大、熱解離の発生、燃焼による分子量の減少（水素-空気の場合、理論混合比で約14.8%減少する）などのために必ずしも熱効率は向上せず、この実験結果のように低下することもある。

4.3 過早着火と吸気管内への水噴射 ディーゼル機関で吸気管内に水素を噴射する方式で二元燃料運転を行う場合、水素添加量を多くしようとすると過早着火や吸気管内への逆火などが発生することを前に述べた。

それ故、このままではある量以上に水素添加量を増やすことはできない。水素の添加量を増やすためには、まず過早着火の発生を抑制することが必要である。過早着火の発生する原因は、燃焼室内面の局所的な過熱面、浮遊粉じん、残留ガスの再圧縮による局所的な高温ガスなどに可燃混合気が接触して着火するためであるといわれている。

そこで、過早着火の発生を抑制するために吸気管内に水を噴射して、水の蒸発熱によって吸気を冷却し、燃焼室の温度レベルを下げることを試みた。過早着火が間欠的に発生しているような運転状態のところに水を少量吸気管内（吸気弁直前のところ）に噴射すると、過早着火の発生する頻度が大幅に減少する。さらに水の噴射量を増やすと過早着火は発生しなくなる。過早着火の発生を抑制するために必要な水の噴射量は、機関運転条件、燃焼室の汚れの度合などによって多少異なるが、通常水素の質量流量の1～2倍程度であった。

4.4 吸気管内への水噴射と機関性能 過早着火が間欠的に発生しているような運転状態で吸気管内に水を噴射し、水の噴射量によって機関性能がどのように変わるかを調べた。燃焼最高圧力は水を噴射すると過早着火が抑制されるために始め急激に低下するが、その後は水の噴射量が増えてもあまり低下しなくなる。また正味熱効率は水の噴射量が少ないうちは、水の噴射量が増すと上昇するが、ある所で最高となり、それを過ぎると低下するようになる。これは水の噴射量が少ないうちは過早着火が抑制されて燃焼最高圧力が低下するために熱損失が減

少するためである。しかし、水の噴射量が多くなると着火時期が遅れすぎると、燃焼が始まるまでに全部の水が気化しないで燃焼熱の一部を吸収するためであろう。

4.5 水噴射と熱発生率 実験機関を水素軽油二元燃料運転しておき、これに水噴射を行い、水噴射量により熱発生率が変わるかどうか調べた。水を噴射することによって着火時期は多少遅れるが、熱発生率はほとんど変わらなかった。

## 5. まとめ

ディーゼル機関の吸気管内に水素を添加する方式での水素軽油二元燃料運転の実験を行い次のことが明らかになった。

a) 水素の添加割合が少ないうちは、軽油だけで運転した場合と比較して燃焼最高圧力、正味熱効率などほとんど変わらない。

b) 水素の添加割合が多くなると燃焼最高圧力の上昇、圧力上昇率の増加が顕著になってくる。これは水素の燃焼速度が軽油のそれに比較して非常に速いためである。

c) 水素の添加割合がさらに多くなると（水素－空気相当比で0.3～0.4位）、過早着火が発生するようになる。過早着火の発生する条件は主として水素－空気の混合比（相当比）によってきまる。

d) 過早着火は水素添加割合が少ないうちは、発生する頻度も少なく、発生する時期も正常な着火時期（軽油の着火時期）に近いところであるが、水素添加割合が多くなるにしたがって、圧縮行程の始めの方に移動してゆく。

e) 過早着火の発生する時期がさらに早くなると吸気管内への逆火を起こすようになる。吸気管内への逆火がはげしくなると機関は停止する。

f) 吸気管内に水噴射を行うことによって過早着火の発生を抑制することができる。

過早着火を抑制するために必要な水の噴射量は、水素の質量流量の1～2倍程度である。

g) 吸気管内に水噴射を行っても熱発生率はほとんど変えることはできない。しかし、着火時期は遅らすことができる。



#### (4) 第36回定例研究会

##### (a) 界面活性剤とエネルギー

横浜国大工学部 篠田 耕三

エネルギー危機にさいして、石炭・原子力・太陽熱・地熱・核融合などの研究が盛んであるが、現実的にすぐに役立つものとしては石油三次回収やCOM燃料（石炭と重油混合燃料）などがある。地中に採り残された石油を効率よく回収するには原油とかん水の界面張力を極めて小さくし、油滴が岩からはがれかつ細隙を通りうるようにする事が必要かつ充分な条件である。耐硬水性でかつ親水性親油性が与えられた油とかん水に対しほど釣合った界面活性剤を用いればよく、この方法で石油採取量は倍加すると考えられている。また、重油燃焼装置のまゝで重油に石炭微粉を50wt%含むCOMを使用すれば重油の消費がほぼ半分ですむ。このためには水にも重油にもとけず、水をより多く膨潤して微粉表面に吸着液晶相を作る界面活性剤が必要でこれによってCOM型燃料が可能となった。

(5) 第37回定例研究会

(a) 2025年までのエネルギー需給構造

電子技術総合研究所 若松清司

1. はじめに

1975年を起点とし、2025年までの50年間のマクロなエネルギー需給シミュレーションを行った。サンシャイン計画の一環として太陽エネルギー等の新エネルギーの導入を評価するため、日本全体のエネルギー供給から需要に至る全エネルギーシステムを社会、自然等の制約を考慮に入れて設計し、その中での新エネルギー技術の効果を調べ、開発指針決定の参考とすることを旨とした。

そのため、まず検討のための解析モデルを開発し、併行して進めたデータ収集とシナリオをもとにダイナミック・シミュレーションを行った。以下にその概要と結果の一例を御紹介する。

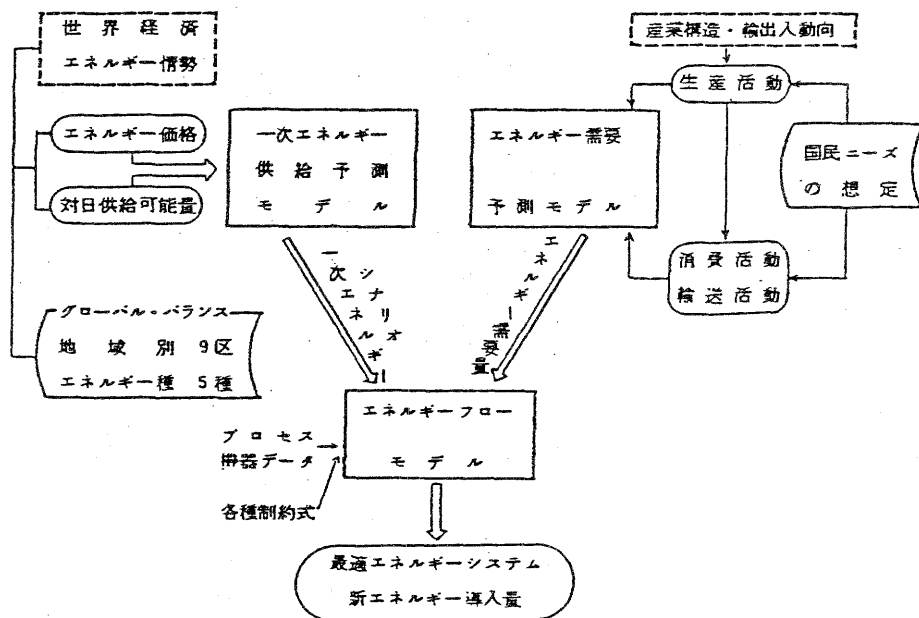


図1 本調査研究のモデルと分析

全体は図1のような三つのサブモデル、すなわち供給予測モデル、需要予測モデル、ならびにフローモデルで構成されている。

## 2. 供給予測モデル

このモデルは、世界全体のエネルギー需給状況を考慮して、我が国が将来入手可能なエネルギーの量と価格の概略値の推移を求めようとするS-Dモデルである。主な前提条件は次のようである。

- (1) 石油生産量の推移はシナリオで与える。
- (2) 代替エネルギーの生産量は市場メカニズムによる。
- (3) 需要側でのエネルギー選択は市場メカニズムによる。
- (4) 経済成長はエネルギー価格により影響される。
- (5) 世界を9地域（日本、北米、中東、中国、東南アジア、大洋州、EC、その他の西側諸国及び中国を除く共産圏諸国）に分ける。
- (6) 対象一次エネルギーは、石油、天然ガス、石炭、オイルシェール、タールサンド、原子力、新エネルギー等とした。

基本的論理フローは、以下のようになっている。

- (a) 中東石油生産量と対中東石油需要量から石油ギャップが生じそれにより、中東石油価格が変動する。
- (b) 石油価格等は各地域の経済成長を支配し、その結果としてエネルギー需要量が決まる。
- (c) このエネルギー需要量と石油の国内生産量、代替エネルギー生産量等の差から対中東石油需要量が決まることにより一つの基本閉ループが構成されている。
- (d) 一方各地域の各種エネルギー価格はそれぞれのエネルギー需要量と生産量との需給ギャップにより変動する。

## 3. 需要予測モデル

このモデルは我が国の将来における平均的な国民生活レベルをマクロに定量化し、それを支えるのに必要なエネルギー需要を予測するモデルである。幾つかの前提をあげると、まず第1にエネルギー需要を予測するにあたって、GNPなどの代りに国民の生活レベル、生産レベル

表1 国民ニーズ

	国民ニーズ
1	食生活
2	衣生活
3	住生活
4	一般生活
5	社会の維持・統合

を表1のような5つのニーズによって表現し、このニーズの動向を把握しつみ上げたものを基礎とした。

すなわち、我が国全体の最終消費部門（金額）をこれらの5つのニーズに分類し将来シナリオに基づいて経済規模を推定し、これをエネルギー需要量に変換した。

エネルギー需要は熱（冷房、暖房、ボイラ等）、照明、動力（工業用動力、鉄道、自動車等）等の機能に細分している。

需要予測のためのシナリオとしては次の3つのケースを考えた。

①トレンドケース ②飽和高ケース ③飽和低ケース

(イ)トレンドケース；今後もある程度の経済成長とそれに伴いエネルギー需要が増大すると考えるケースである。

(ロ)飽和高ケース；今後の国民ニーズは次第に飽和化し、それに伴ってエネルギー需要にも飽和現象が起こると考えたシナリオである。

(ハ)飽和低ケース；飽和現象が比較的レベルの低い時期から現われると考えるもので、他の2ケースに比べてより低い経済成長でも今後の国民生活はやって行けると考えたシナリオである。

4. フローモデル

このモデルは、石油、天然ガス、石炭、太陽エネルギーといった一次エネルギーから、電力、都市ガス、石油製品等の二次エネルギーを経由し、最終的に熱や動力・照明などで利用されるまでの流れを全体として一つのネットワークとして扱ったダイナミック・LPモデルである。一次エネルギーの数は約40、二次エネルギーの数は約60、最終需要としての機能の数約50となっており約400のプロセスによって結ばれたネットワークとなっている。

5. 結果の一例と提言

(1) 供給予測結果より

解析は①中東諸国の石油生産政策、②原子力の導入程度、③エネルギー需要の電化率の程度などを、パラメータとして行った。

まず日本での石油価格の推移は図2のように2025年で2.3～3.5程度となっている。一方、石炭の価格については1975年の0.8程度から2025年の1.4～2.0程度へと上昇するものの比較的安定しており、石油価格の上昇を下廻っている。

提言1 「エネルギー価格（特に石油）は今後とも上昇は続けるものの代替エネルギーの導入、省エネルギーの進展等の結果、大幅な上昇はなく実質価格では、2025年頃でも現状の2倍程度とみられる。」

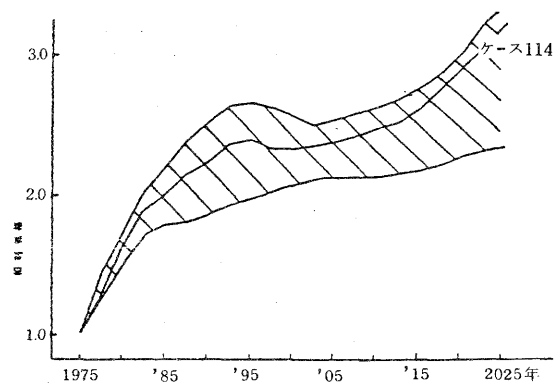


図1 石油価格のシミュレーション結果

提言2 「その結果、エネルギーR・D&Dの開発に当っては実質的なエネルギー価格は変わらないものとして、そのような状況でも価格競争力が生ずるような積極的な目標設定を行う必要がある。」

次に世界におけるエネルギー供給量の推移をみると、計算例では石油は1990年頃をピークに供給量は減少して行き、同じく天然ガスも2010年過ぎには頭打ちとなってくる。これに代って石炭及び原子力・新エネルギー等は2025年には1975年の10倍前後の供給量となってくる。

提言3 「今後の世界のエネルギー供給のかなりの部分は、石炭になって行くものと考えられ、そのため積極的な炭鉱開発、関連インフラストラクチャーの整備、更には需要部門における石炭利用の拡大が必要である。」

提言4 「原子力、新エネルギー等は石炭に次いで重要なエネルギー源となるが、これらの多くは電力発生型のエネルギー源であるため、エネルギー需要部門における電力化も合せ開拓する必要がある。」

提言5 「ボイラやその他の熱需要など比較的石油から他のエネルギー源に転換しやすい分野ばかりでなく、自動車等の現状の技術では転換が困難と考えられる石油需要分野においても積極的な転換の方策をいまから準備しておく必要がある。」

提言6 「同時に石油に直接代替すると考えられる液化石炭、タールサンド、オイルシェール等の開発がより重要になり、これらは、石油生産が頭打ちになる前に生産を軌道に乗せなければならない。」

## (2) 需要予測結果より

衣・食・住ニーズについてはすでに現状でかなり高いレベルにあるとの認識から、一人当たりのニーズの大きさを2025年でも2倍前後であるとした。一方、社会資本の遅れや生活の高度化を考慮して社会の維持・統合、一般生活ニーズは2025年で3～6倍程度になるとした。このようなニーズのレベル設定に基づいて計算を行った結果、第2次産業の比率は1975年4.27%から2025年の4.10%へと減少しており、代って、第3次産業のウエイトは1975年5.15%から2025年54.7%へと拡大している。

提言7 「今後産業構造はサービス産業、高付加価値型産業中心になると言われるが、国民ニーズからの積上げでも同じ事が言え産業構造の省エネルギー化が進む。」

エネルギー需要量は、2000年で1975年の2倍、2025年で3倍前後となっている。

提言8 「需要予測からは従来各方面の予測よりも低い量(2025年で石油換算8億kl)でこのため我が国は将来のエネルギー需要に選択の道に幅がかなり出て来るとも言える。それ故今こそより適切なエネルギー需給構造の展開を図る必要がある。」

尚別に行った省エネルギーに関する分析から次のようなことが言える。

提言9 「今後とも省エネルギーの果す役割りは大きく、50年後には40%程度の省エネルギー達成も可能であり、特に民生用等においては建屋の断熱向上が期待され、そのため民生部門でのエネルギー需要の拡大幅は予想よりも小さいと考えられる。」

(3) フロー解析結果より

エネルギー産業、とくに電力の動向をみると、現在の主力である原油・重油火力は急激に減少し、代って原子力(2025年で60%)が主力となっていく。一方石炭火力は、2000年頃までに拡大するものの、それ以後は頭打ちとなっている。LNG火力についても同様の傾向がみられる(図3参照)。

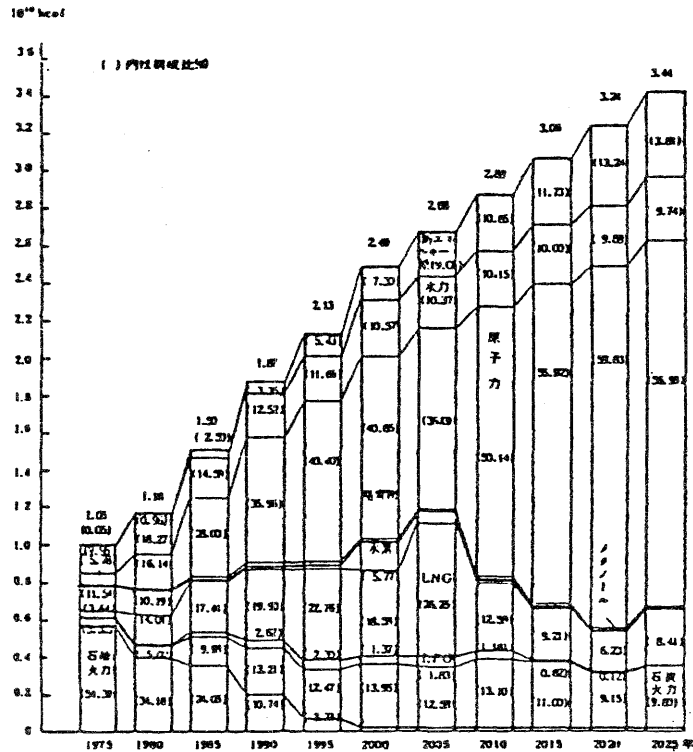


図3 電源構成の推移 (飽和高ケース)

次に最終エネルギー需要部門の例としてボイラ及び工業炉のエネルギー種別供給量の推移をみると、特に特徴的なことは石炭の需要が電力と同様2000年頃までは拡大するものの、その後は頭打ちになっている。これは、大型機器に対する石炭導入が2000年頃までに終了するものの小型器では高コストになるとの見方を反映している。他のエネルギー需要分野においても同様の傾向が見られている(図4参照)。以上から

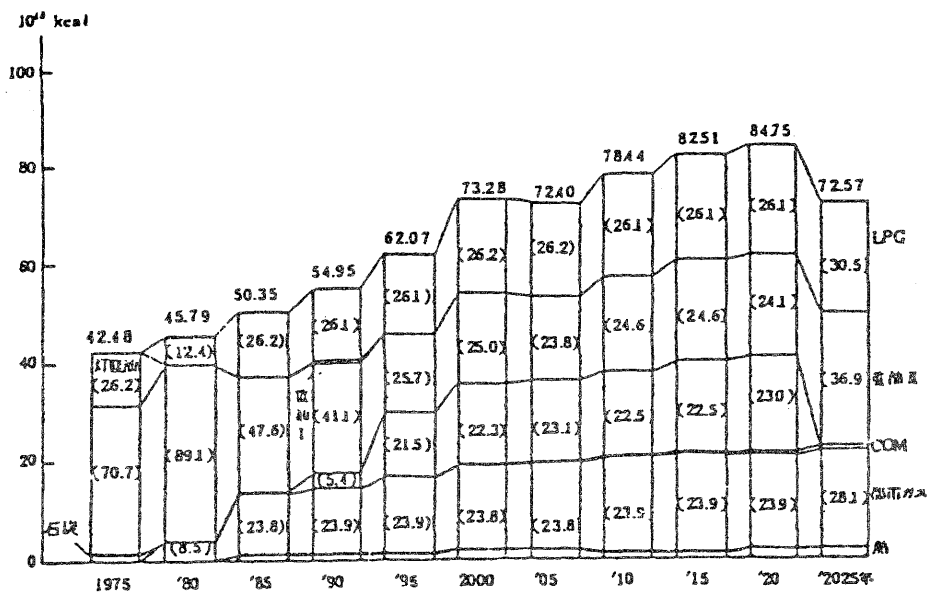


図4 ボイラのエネルギー種別需要量(飽和高ケース)

提言10 「石炭利用,特に塊炭等については,利用可能な分野では2000年頃までに転換が終了し,それ以降は石炭利用の拡大は頭打ちとなる。このため,①ガス化等による使い易いエネルギーへの変換,②石炭利用のための技術開発を行うなどの対策が必要である。」

提言11 「エネルギー需要の形態から見て,電化には限界があり,かつ電力供給は原子力を中心とした低コストのエネルギー源に代って行く。それ故新エネルギー技術の供給力を一層拡大するためには電力以外の,例えば高温の熱を発生するような技術開発をも図ることが必要であろう。」

(b) 燃料電池発電について

東京電力株式会社 小林 道夫

1. 燃料電池とは何か

燃料のもつ化学エネルギーを、等温のもとで、連続的に直接電気エネルギーに変換する装置を燃料電池と呼んでいる<sup>(1)</sup>

実際の燃料電池発電装置は、安定でかつ高効率の運転を行うために必要な熱の処理制御、空気圧縮、水処理、燃料前処理、などの機能を持つ付属機器の外に、炭火水素やメタノールなどの燃料を改質して水素を作る改質装置や、電池本体で発生した直流電力を交流に変換するインバータさらに、交流電力を電力系統に届けいして送電するのに必要な変圧器、全体の機器を監視・制御するコンピュータなどから構成される発電プラントである。これらの機器構成の概略を図1に示す。

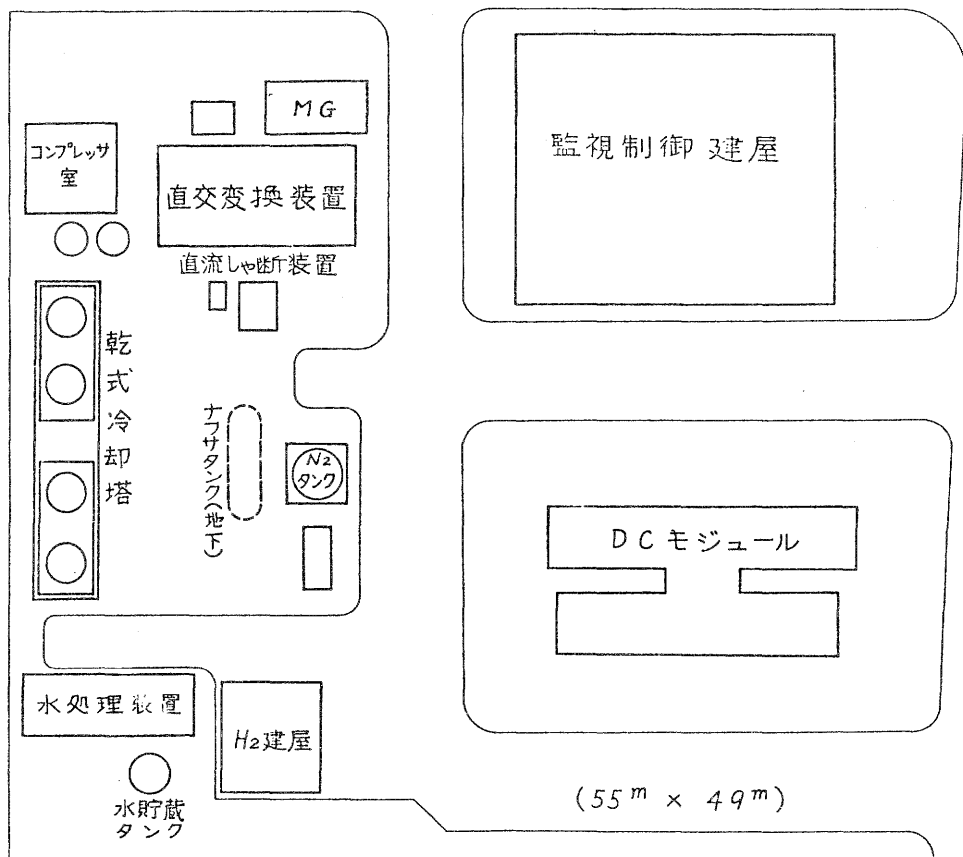


図1 4.5 MW実験プラントの材器構成(東京電力)



## 2. 燃料電池の特徴

### (1) 燃料電池の効率

燃料電池本体のエネルギー変換効率は理論的には25℃で83%と非常に高い。しかし実際に発電装置としてみると、電池本体では、オーム損、改質系での改質効率、交直変換系での損失などがあって、現在実用に供し得るプラントとしては、36～40%である。電池本体の電圧電流特性<sup>(2)</sup>から、電池の電流密度を下げると端子電圧が上昇し、結果的に電力変換効率が向上する。また、改質器の廃熱を利用した動力回収による圧縮空気の製造、電池本体の発生熱利用による改質用水蒸気の製造などプラント各部での熱損失を有効に利用して効率向上を図るとともに、電池本体や改質系の一層の改良によって、プラント効率をさらに向上させることが検討されている。りん酸電解質燃料電池の効率は、現在では45～46%が限界であるといわれているが、前述したように、電池本体の効率を上げるために、電流密度を下げることは、電池の面積を増加させることにもなり、プラントの経済性が低下することにもなるので、この効率は、プラントの価格と、燃料の価格との見合いによって決定されることになる。東京電力の昭和55年度における燃料消費量は、石油換算で約2,000万kl、金額にして約1兆1,000億円に達しており、効率を0.1%改善することによって、年間で約30億円の燃料費節減が可能であると試算されている。従って、効率向上の効果は極めて大きく、省資源の観点からも送電線など電力輸送設備を含む発電効率の向上方策が電気事業として重点課題の一つであり、燃料電池が、注目される理由である。

### (2) 使用燃料について

燃料電池の使用燃料は、純水素を始めとして、メタン、ブタン、プロパン、ナフサなどの炭火水素（ハイドロカーボン）系の燃料やメタノール、石炭ガス化ガスなどが使用出来る。炭火水素系の燃料、メタノール燃料などは、従来石油化学工業が水素製造に使用している水蒸気添加改質装置をプロセス内に設置して、水素リッチなガス作り、これを燃料として使用する。コールガスの場合は、すでに石炭ガス化炉において水素、一酸化炭素などのガスに改質されているので、燃料電池側では、一酸化炭素変成器以下が燃料プロセスとして付加されることになる。このように、燃料電池が、各種の燃料を使用することが出来ることは、脱石油、燃料の多様化、燃料の安定確保などの面で魅力的な特徴であると思われる。

### (3) 環境性能について

発電所は、その立地に際して、廃棄物、騒音、振動などについて法律や、自治体の条令によって厳しく規制されている。現在の規制の実態では、硫黄酸化物および窒素酸化物についてその濃度および排出量の制約の下で、脱硝設備の設置、バーナーの改良、ボイラーの二段燃焼方式の採用、などの努力によって排出量を抑制している。燃料電池プラントは第2図に

も示すように、窒素酸化物の発生源と考えられる改質器は、その主燃料が、電池本体の余剰水素を燃焼する方式が採用されている。そのため、燃料全量を燃焼し、化学エネルギーを発電に利用するボイラータービン方式に比べて、窒素酸化物の生成に寄与する熱量の約30%と想定されており、又、水素の燃焼温度は、炭火水素系燃料の直接燃焼の場合に比べて、その燃焼温度は低いので、いわゆるサーマルノックス量は従来のボイラーに比べて10~30%程度ではないかと想定される。第一表は、窒素酸化物などの排出量を燃料電池と、従来型

第一表 燃料電池排ガスの米国における比較

(単位: kg/10<sup>6</sup> kWh)

	燃料電池 1MWプラント 実測値 (定格出力時)	燃料電池 4.8MWプラント 設計値 (定格出力時)	米国環境保護庁規制値(1971)		
			火力発電所 (天然ガス)	同左 (石油)	同左 (石炭)
NO <sub>x</sub>	31	31	310	465	1,085
SO <sub>x</sub>	2.3	0.05	規制なし	1,240	1,860
煤塵	検出できず	0.005	155	155	155
スモーク	なし	なし	不透明度20%	不透明度20%	不透明度20%

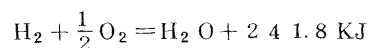
(注) 1. 1980 CIGRE (SC-41) 資料等による。

2. 単位は原資料の LBS/MIL BTU を kg/10<sup>6</sup> kWh に換算

発電所とを比較したものである。また大型の回転機や、燃焼器がないので騒音、振動などの面でもその対策は容易であろう。

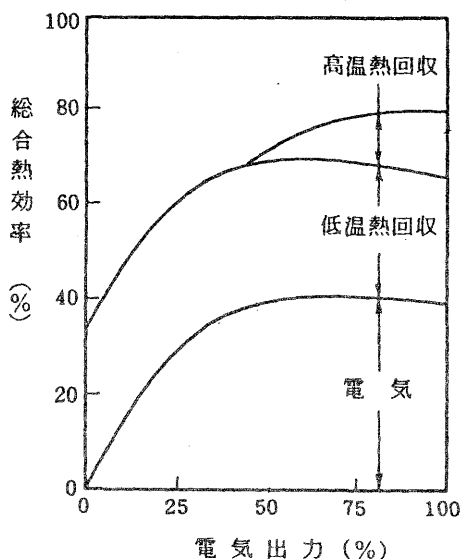
(3) 熱の供給について

燃料電池は、発熱反応であり、燃料を水素とすると



のように熱エネルギーを得ることが出来る。また、電極、電解液、電柱、セパレーター、冷却板など、電池構成要素各部の接触抵抗などによるオーム損によって発熱し、これを所定の運転温度に維持するため、水又は空気によって外部に取出している。この排熱は、普通100℃以上の極めて高位のものと熱湯の状態のものと2種類があって、これを冷暖房、給湯などに利用すれば、総合的なエネルギー利用効率は極めて高く、第2図に示すようにUT社製40

● 性 能



● 仕 様

定格出力	40KW
発電効率	40%
総合熱効率	80%
電 圧	120/208V, 3相4線
電圧変動	±5%
周波数	50Hz
周波数安定性	±0.0002%/年
応答速度	0~全負荷まで瞬時(2サイクル以下)
高調波歪	8%以内
起動時間	5時間
燃料消費量	天然ガス8.6 m <sup>3</sup> /時間
操作方式	自動
設置場所	屋内, 屋外

図2 40KW燃料電池の性能<sup>(3)</sup>

KWの燃料電池実験プラントの設計例では、これが80%にも達すると云われている。ただし電気の需要と、熱の需要とは時系列的に必ずしも一致せず、燃料電池の発電力と発熱量とはほぼ比例するので、電力、熱の最適なエネルギー供給システムとしての燃料電池の位置づけについては、例えば蓄熱装置、ボイラー給水加熱装置などを含めた総合システムとしての最適化について今後一層の研究が必要であろう。

3. 電力系統との関連について

(1) モジュール化

現在実験設備として設計されている燃料電池プラントは、いずれも出力単位、機能別にモジュール構造となっている。従って、建設工期が短かく、必要に応じ、モジュールを追加して行くことが出来るので、設備投資の面では、先行投資を節減する効果を持っている。

(2) 送変電設備の節減

燃料電池は前述のような特徴があるので、電力の消費地の近傍に立地出来る可能性を持っている。従って、他の地域から電力を供給する必要性が減少するので、その分だけ送変電設備の量を節減することが出来る。

(3) 供給信頼度の確保

第3図は、過去に東京電力において建設された発電所の運転開始年度と都心との距離を示

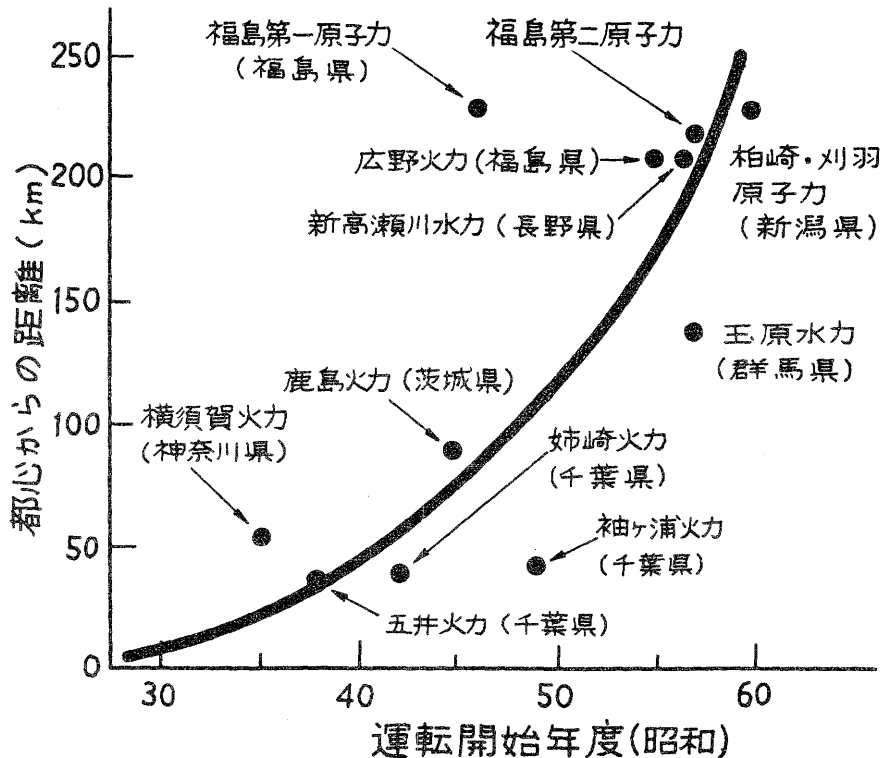


図3 電源の遠隔化（東京電力）

す。東京電力の電力需要の70～80%は東京を含む首都圏に集中しており、一方この地域に電力を供給する発電所は、年々遠隔化している。交流電力系統は、負荷と発電所との距離が長くなる程、送電の安定性が低下する。燃料電池発電所など、需要地近傍への電源立地が可能となると、上述の送変電設備の節減と同時に、電力系統の安定化が図られ、一層良質な電力が確保出来ることになろう。

(4) 故障電力の抑制

燃料電池は直流発電装置であり、交流系統との関係にはインバータが設置されている。このため、電力系統の故障時に発生する大量の故障電力が抑制され、しゃ断器などの負担を軽減することが可能である。

4. 経済性について

燃料電池プラントはまだ技術開発途上の設備であって、実用化の時点での建設費などを推進することは、現時点では困難である。そこで、従来型の発電設備と比較して燃料電池発電設備

の損益分岐点を検討すると、例えば天然ガス火力発電設備との分岐点はKW当りで約20万円と予想される。また全建設費のうち、電池本体、改質系（燃料プロセス）、その他がそれぞれ1/3づつと考えられる。従って、電池本体自身のコストダウンはもちろん、スケールメリットが期待出来る改質器や電気機器などについても標準化、モジュール化を徹底的に追求し、全体のコストダウンを行う必要がある。

電池本体については、電柱の素材、加工電柱の新しい構造の採用、触媒量の低減、合金触媒の採用、電解液保持量の増加、電池運転温度、圧力の上昇などの技術開発によって低コスト、高性能、長寿命化が達成されれば、プラントの経済性は更に向上することになる。

#### 5. 4.5 MW実験プラントの概要

東京電力は、前述した燃料電池の種々の特徴に注目し、将来の電源としての可能性を実証によって確認し、実用材として必要な運転性能、保守性能、などに関するデータを取得するため、昭和55年、米国のUT（ユナイテッド・テクノロジー）社と契約して、4,500KW実験プラントの導入を決定した。同年8月より、花内五井火力発電所（出力176万KW）の構内の一部を使用して、建設着工し現在機器の据付工事および、併行して、機器の単体試験、プロセスや制御系の試験を行っている。第4図は、このプラントの完成予想図、第5図は全体の試験計画を示したものである。また第6図はこのプラントの総合系統概念図。

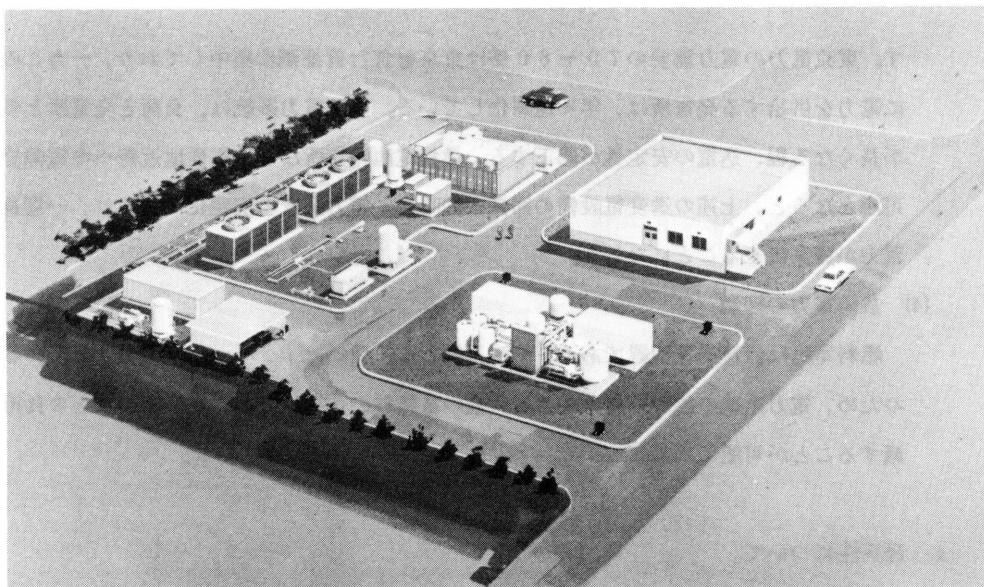


図4 4.5 MW 燃料電池実験プラント完成予想図

4.5 MW燃料電池実験プラント工程表

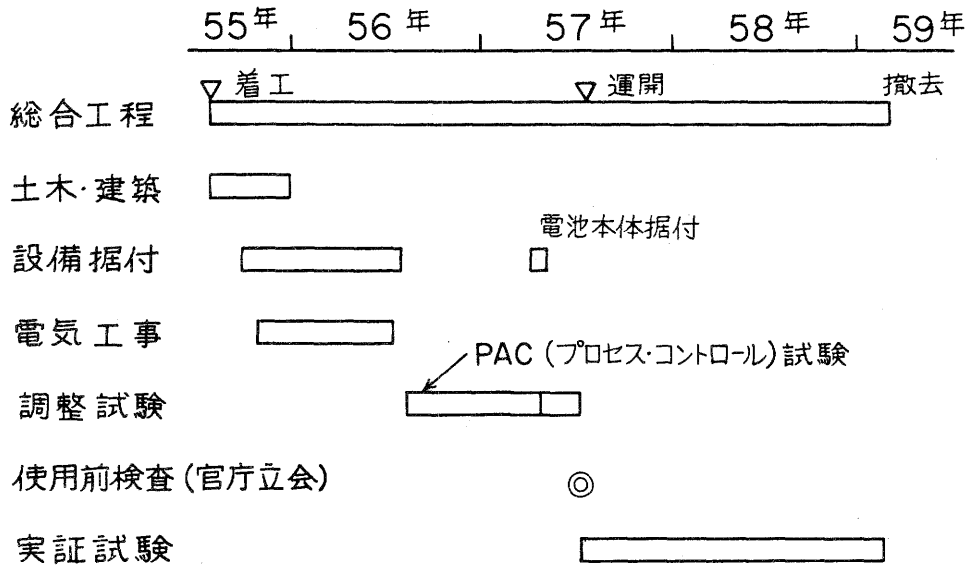


図5 試験計画

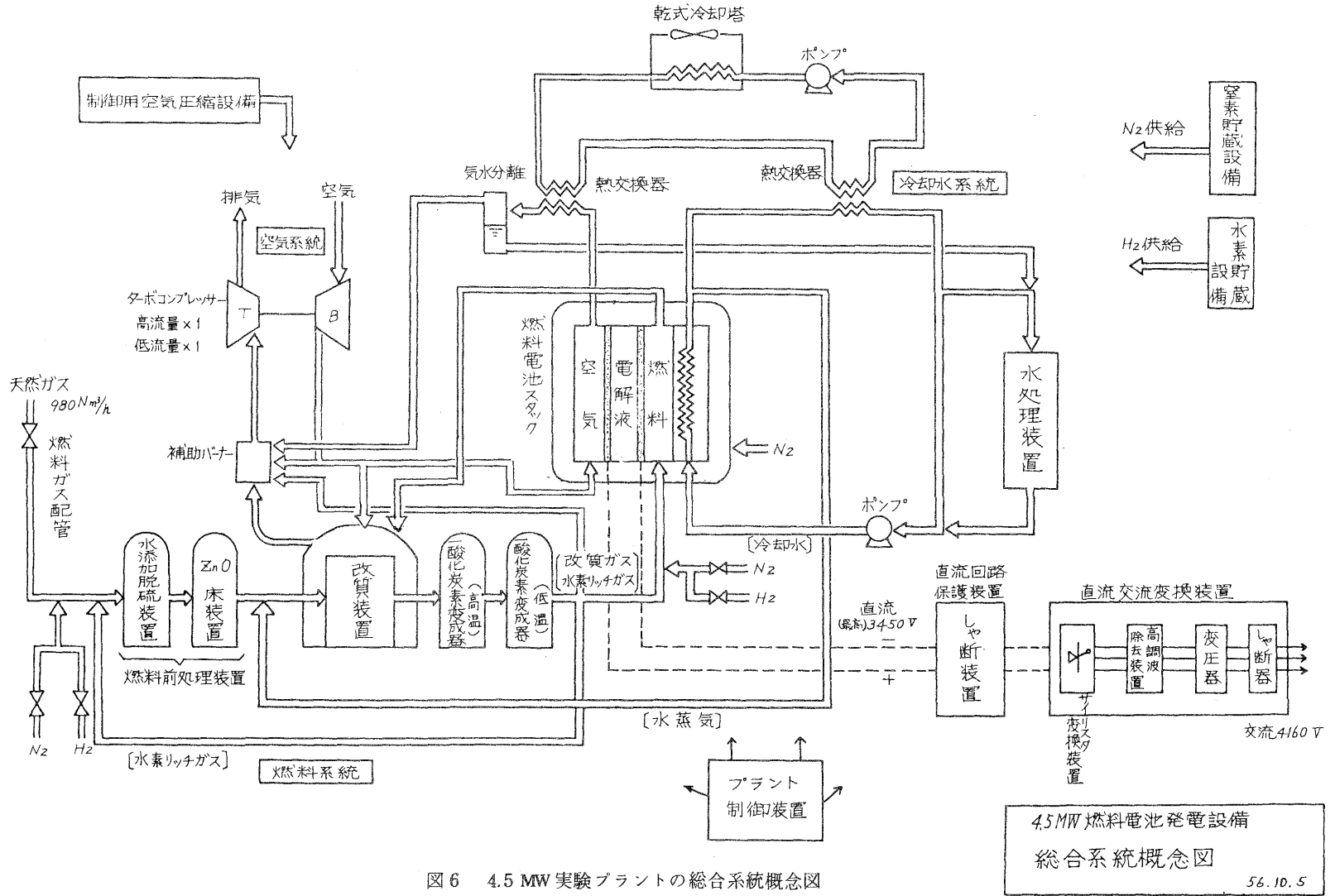


図6 4.5 MW 実験プラントの総合系統概念図

4.5 MW 燃料電池発電設備  
総合系統概念図

## 6. むすび

工業技術院の大型プロジェクトとして、昭和56年度より、りん酸型を含む燃料電池の技術関係研究が発足した。りん酸型については昭和61年度に1 MWの実証研究を行うプログラムが設定され、現在、NEPO（新エネルギー開発機構）の下に、関係メーカーに開発委託が行われ、鋭意研究が進められている。電気事業としては、その成果を大いに期待している。

### （参考文献）

- (1) 高橋；燃料電池の原理と特徴および将来展望 昭57-3 電学誌
- (2) 例えば IGT；Fuel Cell Handbook
- (3) 東京ガス；天然ガス燃料電池 PC-18型