

MHD 発電 について

棚 沢 一 郎

MHD 発電は Magnetohydrodynamic Power Generation の訳である。最近、世界各国で盛んに開発されだした各種の熱エネルギー電気エネルギー変換方式の中でも、現在のところもっとも効率がよく、しかも、もっとも大きな出力をまかなうことができると期待されている。すでにアメリカにおいては、基礎的実験の段階を終え、商業規模の発電機の試作にとりかかり、着々と成果を挙げつつある現状である。そこで、以下に MHD 発電について、その原理・開発の現状・将来に残された問題点などを解説してみることにした。

1. ま え が き

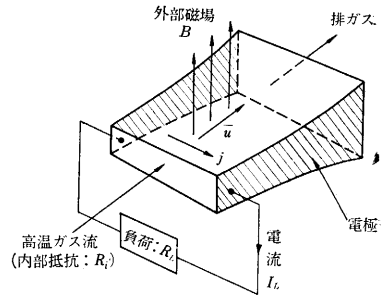
いったい人類のエネルギー資源の将来の見通しは十分に明るいものなのであろうか。現在人類はその利用エネルギーの大部分を、石炭・石油・天然ガスなどの化石燃料にたよっているが、この状態でいつまでももちこたえることができるのであろうか。化石燃料にかわるものとして実用化への努力がつつけられている原子力エネルギー（核分裂および核融合）が、質的にも量的にも完全に信頼できるものとなるのはいつの日のことになるのであろうか。このような疑問がつねにわれわれの念頭から離れない。今世紀に入ってから、人類のエネルギー需要の幾何級数的な膨張の速さを見るにつけても、化石燃料にたよらないで済むようなエネルギー変換法——さしあたっては核分裂反応による原子力、そして将来における制御核融合反応による原子エネルギー——の開発が一日も早く進められるよう望まないわけにはいかない。

ここで述べようとする MHD 発電は、残念ながら上のような大問題を解決するための強力な武器であるとはいえないであろう。しかし、現在ある貴重なエネルギー資源を有効に利用するという意味からは、種々の点で大きな可能性に富むものといえることができる。まだ本格的に開発されだしてから日が浅いので、実用化までには数多くの困難が予想される。いったいどのような問題が最大の障害になっているのか、以下このことを中心に述べることにする。

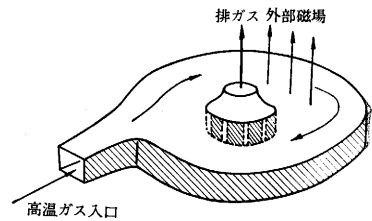
2. MHD 発電の原理

磁場を横切って電気伝導性の物体が動けば、その物体には電流が流れる。これはファラディ効果として知られている現象であって、現在実用されている普通の発電機はこの原理に基づいて作動している。

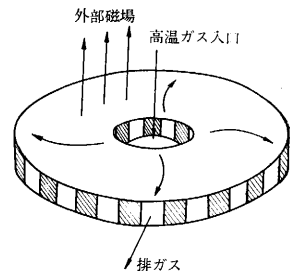
いま、外部から磁場をかけた流路の中に、銅コイルのかわりに電気伝導性のよい流体を流してやると(図・1)、電磁誘導の法則に従って磁場および流れの方向と直角の方向に電位差が生ずる。そこでこの流路の磁場に平行な方の二つの面を電極とし、適当な外部負荷につなげば、流体中を流れる電流をとり出すことができる。この現象は、以前から液体の流量を測定するのに応用されたりしていたが(電磁流量計)、MHD 発電はこれをもっと大規



図・1 MHD 発電の原理



図・2 Vortex 型 MHD 発電機

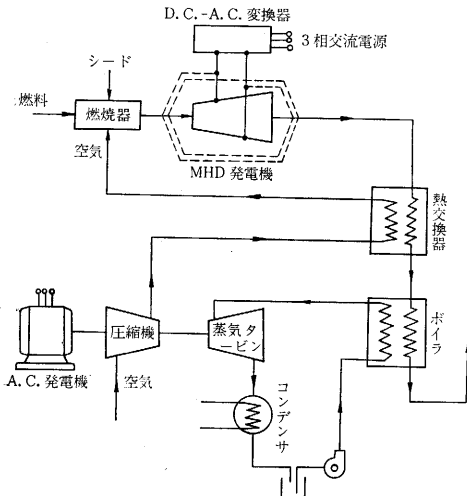


図・3 Radial 型 MHD 発電機

模に利用しようというものである。なお、現在各国で開発されている方式をみると、図・1のようなストレート型の流路がもっとも多いが、原理的には図・2のようなヴォルテックス型、図・3のようなラジアル型も可能である。

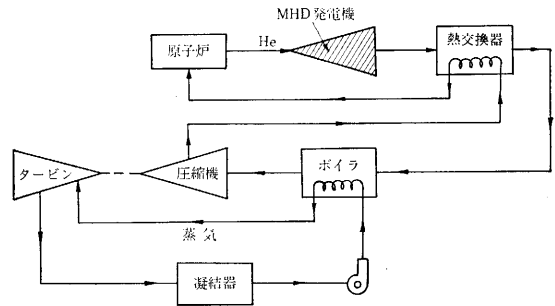
MHD 発電では、普通作動流体として高温の気体を用いられる。一般に気体をある温度以上まで加熱すると電離をはじめ、広い意味でプラズマと呼ばれる状態となり、電気伝導性をもつようになる。MHD 発電は、この高温気体のもっている熱エネルギーおよび速度エネルギーを磁場によって直接とり出すものであるから、可動部分の

ある蒸気機関やタービン等にくらべて、作動流体の温度をかなり高くとることができ、これによって高いエネルギー変換効率が期待される。よく知られているように、熱機関の熱効率の上限は作動流体温度の最高値と最低値でおさえられる。いま MHD 発電機の作動流体の最高温度が $3,500^{\circ}\text{K}$ にとれるとし、低熱源温度が 500°K だとすると (ガス・タービンとの組合せサイクルを考える)、この発電機のカルノー効率は 86% にも達する。もっとも、この効率は MHD 発電機とガス・タービンをうまく組み合わせて $3,500^{\circ}\text{K}$ から 500°K までの温度落差を完全に利用しえた場合の値で、実際には、 $1,800^{\circ}\text{K}$ 以下になると作動気体の電気伝導度が低下して MHD 発電機では使えなくなり、またこの温度のままガス・タービンに入れるわけにもいかないので $1,800^{\circ}\text{K}$ から $1,200^{\circ}\text{K}$ (ガス・タービン入口温度) までの温度落差は無効となり、全体の熱効率は理想的な場合でも 60% 程度まで下がることになる。なお、将来 MHD 発電機で大出力の発電を行なう場合には、上の例のようにガス・タービンや蒸気タービンなどの組合せサイクルが用いられ、MHD 発電機から出てくる高温の排ガスのもっているエネルギーをも有効に利用する方法がとられるものと思われる。このような MHD 発電機の使い方をトッパー (topper) 方式というが、このことは MHD 発電が在来の発電方式と競合するものでなく、むしろそれらの補助をうけてはじめて高い性能を発揮するのだということを意味している。



図・4 オープン・サイクル MHD 発電

MHD 発電の方式としては、オープン・サイクル式とクローズド・サイクル式の二つが考えられている。まずオープン・サイクル式 (図・4) は、在来の火力発電所などと組み合わせる方式が予想され、ふつう石炭・石油などの燃焼ガスが作動流体として用いられる。この燃焼ガスは、一般に多原子分子であるので、熱電離だけでは十



図・5 クローズド・サイクル MHD 発電

分な導電性がえられない。そこで、後に述べるように、アルカリ金属類のシーディングを行なう必要がある。また、燃焼ガスの温度を効率よく高めるために、空気の前熱をしたり、酸素濃度を高めた空気を使って燃焼を行なわせたりする方法も考えなければならない。

クローズド・サイクルの方は、将来の高温原子炉との組合せが有望のように思われる (図・5)。この場合、作動気体は、原子炉で発生した熱を、熱交換器における直接々伝熱によって受けとることになるから、ヘリウム・アルゴン等の非腐食性気体を使うことが望ましい。また逆に、これらの希ガス類は高価であるので、クローズド・サイクル方式をとる場合にのみ、使用可能であるといえる。さらにこれらの気体は、単原子気体であるので、後述の非平衡電離の応用ができるという可能性をもっている。

このような、希ガスを作動流体として用いるクローズド・サイクルのほかにも、最近になって、液体金属 (Na, NaK など) を用いるループが注目されはじめている。液体金属を用いることの利点は、その電気伝導度が気体にくらべてけた違いに大きい (約 1 万倍)、流体の温度や速度がずっと低くても大きな出力密度がえられることである。したがって、何よりも小型・軽量であることが要求される宇宙航行用や船用の電源としてかなり有望視されている。また、将来高速増殖炉の開発が進み、その冷却材として液体金属が用いられることにでもなると、液体金属 MHD 発電はさらに大出力のものにまで用いられるようになるかも知れない。

また現在、MHD 発電は、主として D.C. 型のものの開発が進められているが、A.C. 型についてもいくつかの試みがなされている。どのような形式のものが MHD 発電機として最も有望であるかは、今後どの方面においてすぐれた開発研究がなされるかにかかっているといえる。

3. MHD 発電の理論

MHD 発電の理論的考察を行なうには、電磁流体力学の諸方程式についての知識が必要であるが、それに関する詳しい解説は他の文献^{1)~7)}に譲ることとし、ここでは主要な方程式を単に列挙するにとどめる。

(i) 連続の式:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

(ii) 運動量の式:

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla p + \eta \left(\nabla^2 \mathbf{v} + \frac{1}{3} \nabla \nabla \cdot \mathbf{v} \right) + \mathbf{j} \times \mathbf{B} \quad (2)$$

(iii) エネルギーの式:

$$\rho T \frac{Ds}{Dt} = \frac{j^2}{\sigma} + Q \quad (3)$$

(iv) マクスウェルの方程式:

$$-\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \text{rot } \mathbf{E} \quad (4)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j} \quad (5)$$

(v) オームの法則:

$$\mathbf{j} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (6)$$

ただし、上の諸方程式の記号の意味は、

ρ : 密度, p : 圧力, s : エントロピ, T : 温度, t : 時間, σ : 電気伝導度, η : 粘性係数, Q : ジュール熱以外の外から入る熱量, \mathbf{v} : 流速, \mathbf{j} : 電流密度, \mathbf{H} : 磁場のつよさ, \mathbf{B} : 磁束密度, \mathbf{E} : 電場のつよさ.

である。また MHD 発電機においては、電極のごく近くの空間電荷密度の大きなところを除いては、電磁流体力学的近似¹⁾ がなりたつものとし、さらにホール効果も小さいものと仮定している。

いろいろな発電流路の形状や、高温ガスの状態、外部負荷の条件等に応じて、(1)~(6)式を解けば、流路内の流れの様子や発生電力が求められるわけであるが、紙数の関係上ここではそれを省略し、ただ出力密度に関する重要な関係式のみを出しておくことにしよう。すなわち、図・1のような流路内での1次元定常流を考えると、(6)式から

$$\mathbf{j} = \sigma(\mathbf{E} - \bar{u}\mathbf{B}) \quad (7)$$

である。しかるに出力密度 P は $(-\mathbf{j} \cdot \mathbf{E})$ で与えられるから、(7)式を使えば、

$$P = -\mathbf{j} \cdot \mathbf{E} = \sigma(\bar{u}\mathbf{B} - \mathbf{E}) \cdot \mathbf{E} = \sigma \bar{u}^2 B^2 \xi (1 - \xi) \quad (8)$$

となる。ここで ξ は、

$$\xi \equiv E / \bar{u}B = R_L / (R_i + R_L) \quad (9)$$

で定義され、一般に負荷率と呼ばれる量である。これは負荷 R_L に供給される出力電力と、高温ガスから電気エネルギーの形でとり出される全出力との比をあらわしている。(8)式から、 σ , \bar{u} , B が一定ならば $\xi = 0.5$ のとき P は最大値

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \sigma \bar{u}^2 B^2 \quad (10)$$

をとることがわかる。

(10)式は、高温ガスの電気伝導度 σ 、流速 \bar{u} および外部磁場 B が、MHD 発電機の出力密度にどのように寄与するかをあらわす関係式であり、これを見れば、こ

れら三つの量をできるだけ大きくとることが MHD 発電にとって本質的に重要であることがわかる。その具体的な問題については次の節でふれることにする。

4. MHD 発電の問題点

現在まで、アメリカをはじめとして、ソ連・イギリス・フランスそして日本等において、MHD 発電の開発研究が盛んに行なわれ、基礎固めの段階から実用化へとかなり長足の進歩がとげられたとはいえるものの、本当に経済性・信頼性ともに完全な発電機の完成までには、まだまだ数多くの問題を解決しなければならない。ここではそれらの問題点のうち本質的に重要なものをいくつか選んで考えてみることにする。

(1) 作動流体の電気伝導度の問題

MHD 発電機で、高温気体から有効にエネルギーをとり出すには、まず気体の電気伝導度を高めなければならない。その最も直接的な方法は、何らかの手段によって気体の温度を高め、熱電離を十分に起こさせることであるが、当然これには材料の面からの制限がある。すなわち、発電部の流路は、ふつう絶縁体の壁と電極材料の壁とからなっているが、高温気体が直接これらの壁に接触しながら流れている現在の方式では、気体温度は、これらの材料が溶けてしまったり、酸化したり、絶縁性が劣化したりするような限界を越えてはならない。いまのところ、この限界温度は 3,000°K ぐらいと考えられる。したがって、この温度以下で実用できる程度の電離度がえられるような手段を講じなければならない(適当な方法——

たとえば、しみ出し冷却法など——によって壁を冷却し、壁の温度を気体の主流の温度よりかなり低く保つことはもちろん可能であるし、実際にも行なわれており、MHD 発電の開発研究の中で重要な一環を占めているが、ここでは触れないでおくことにする。

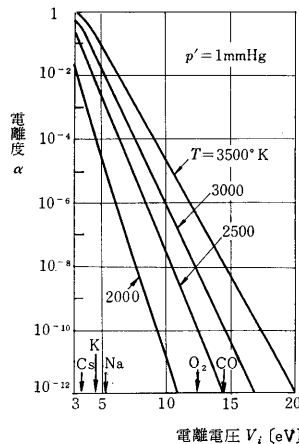
1) シーディング

(seeding) 気体の熱電離については有名なサハの式が成立する。

$$\frac{\alpha \sqrt{p'}}{\sqrt{1-\alpha^2}} = 0.0159 T^{5/4} \exp\left(-\frac{5,820 V_i}{T}\right)$$

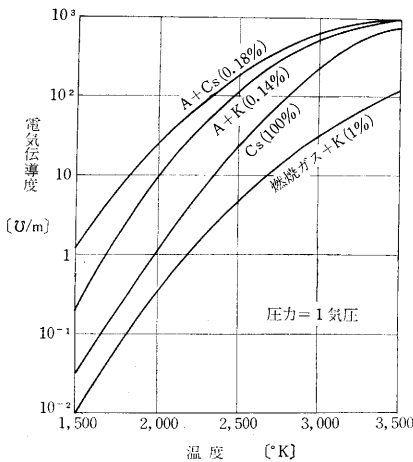
ただし p' : 気体の圧力(mmHg), T : 温度(°K), V_i : 電離電圧(V), α : 電離度

この式で $p' = 1 \text{ mmHg}$ として、電離度 α と電離電圧 V_i との関係を計算すると図・6 のようになる。この図



図・6 電離度曲線(サハの式による)

から、3,000°K 程度の温度では、通常の気体分子は十分には電離しないことがわかる (たとえば酸素分子では $V_i=12.2$ ボルト、窒素分子では 15.5 ボルト、炭酸ガスでは 13.7 ボルト、アルゴンでは 15.7 ボルトである)。そこで、気体中にセシウム、カリウム、ナトリウムなどのアルカリ金属を少量だけ添加してやる。これをシーディングと呼んでいる (シーディングの日本語訳としては、「播種」・「種入れ」等が用いられているが、まだ統一されていない)。よく知られているように、これらアルカリ金属はいずれも電離電圧が低く (セシウムの電離電圧は 3.87 ボルト、カリウムは 4.72 ボルト、ナトリウムは 5.12 ボルトである)、3,000°K ぐらいでも十分に電離するから、かなりの電気伝導度を期待することができる。図・7 は、シード物質によって気体の電気伝導度がどのように変わるかを示したものである。



図・7 各種気体とシード物質の組合せに対する電気伝導度の温度変化

ただ、アルカリ金属はいずれも腐食性がつよく、またセシウムなどはかなり高価なものでもあるので、MHD 発電の商業化を考えるに当たっては、作動気体中に含まれているシード物質を手際よく回収・再生する方法を考えなければならず、いまのところこれが意外にやっかいな問題になりそうである。もし腐食性・経済性に問題がなく、しかも電離電圧の低いシード物質を新しく見つけだすことができれば、MHD 発電の進歩に大きく役立つものとなるであろう。

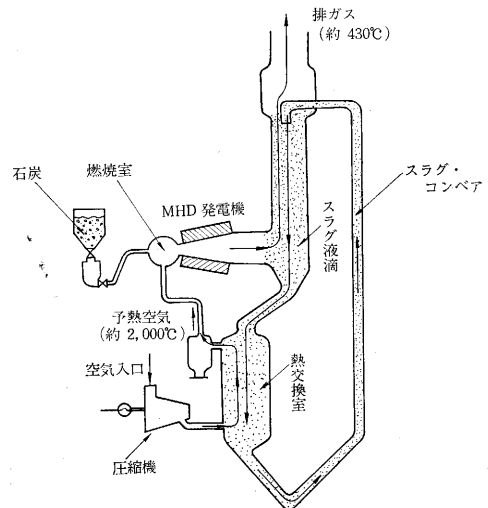
2) 非平衡電離 上述の方法では、作動気体はその温度に応じた熱電離を起こしており、それによって導電性をもつと考えた。しかし、最近、より低い温度でより高い導電性をうるための手段として非平衡電離を利用しようという提案がなされている。すなわち、作動気体が発電流路に流れこむ直前 (あるいは発電部を流れているとき) に、何らかの方法で、温度をあまり上げずにこれを電離させ、ふたたび熱平衡の状態にもどる前に、能率よくこれを発電に利用しようという考えである。非平衡電

離を起こさせる具体的な手段としては、まず強い直流電場による方法が考えられ、これには外部から電場を加える方法と発電流路内の誘起電場を利用する方法とがあるが、実用的には後の方法が有望視されている。この外、高周波電場を加える方法・高エネルギーの電子線やレーザー光などを照射する方法等が提案されている。これらはいずれも現在のところでは予備実験の段階にあるが、理論的には、非平衡電離はアルゴンやヘリウムなどの単原子気体を作動流体として使った場合により有効であるので、前に述べた高温原子炉との組合せによるクローズド・サイクル型 MHD 発電機の場合などに実現の可能性が大きい。

(2) 高温燃焼の問題

化石燃料を燃やして、3,000°K 程度の高温気体を発生させること自体にもいくつかの技術的問題が含まれている。現在までに開発されている MHD 発電用高負荷・高効率燃焼法の問題点として次の二つをとり上げてみる。

1) 高温熱交換器 高温燃焼を行なわせるためにも、また、発電プラント全体としての熱効率を高めるためにも、MHD 発電部からでてくる約 2,000°K の排気から熱を回収し、燃焼用空気の子熱 (約 1,800°K まで予熱する) に利用するための高温熱交換器の開発がぜひとも必要である。現在工業用として実用されているどのような形式の熱交換器を用いるにしても、またどのような耐熱性材料を使うにしても、2,000°K という高温、さらにシード物質や燃焼生成物等による腐食に耐えるようなものを製作することは容易ではない。図・8 は、ソ連のゴ



図・8 Liquid-slag 熱交換器

ークシュタインが提案した熱交換器で、熱媒体として溶融スラグを用いるものである。アメリカでもこれに似たような熱交換器が考えられているが、あるいはこのような新しいアイデアに基づく熱交換器を考えだすことがどうして必要となるかも知れない。

2) 酸素エンリッチ法 高負荷燃焼を行なわせるための方法として、数年前にアメリカで提案された方法に、あらかじめ燃焼用の空気の酸素濃度を高くして用いるという方法がある。この酸素エンリッチ法を用いれば、空気予熱温度は 1,200°K 程度ですむから、熱交換器に大きな負担をかける必要がなくなるわけである。ただし、この方法では空気から酸素を分離するための装置が非常に大規模になってしまい、発電プラント全体の効率・経済性の面ではかなりマイナスにならざるをえない。もし 1,500°K 程度の予熱が可能になれば、酸素をエンリッチしないで十分高温燃焼ができるはずだという反論もでていて、はたしてどちらがより能率的であるかは今後の研究の成果を待つほかはない。

(3) 超伝導マグネットの開発

第3節の(10)式からもわかるように、MHD 発電機で発電流路からとり出すことのできる電力は、ほぼ加えられている磁場のつよさの二乗に比例する。したがって、強力なマグネットを作って外部磁場をつよめることは非常に有力な方法であるといえる。しかしながら、現在用いられているような、常温の銅をコイル材料としたマグネットでは、銅の電気抵抗によるジュール損失が著しい。たとえば、出力が 10 万キロワットの発電機を設計しても、そのうちの 1~2 万キロワットを励磁電力として浪費しなければならない。

これに対する方策として、超伝導性材料を用いたマグネットの開発が注目をあびるようになってきた。現在アメリカで開発中のものは、ニオブ・ジルコニウム (Nb-

25% Zr) の合金で、これを 4.2°K の周囲温度で用いれば、わずか直径 0.25 mm のものでも 20 アンペアの電流を運ぶことができ、約 5 万ガウスの磁場を発生させることが可能になる。もちろん、超伝導材料はほとんど絶対零度に近い温度の下でしか作動しないから、その温度をつくり出すための冷凍機が消費する電力も決して少なくはないが、発電機の全出力が大きければこの電力が占める割合は十分に小さくすることができる。

これまでのところ、超伝導材料の開発・製法・冷却法その他の物理的・技術的問題で未解決のものが多く、完全な実用化にはなお数年を要するものと思われるが、超伝導マグネットによって、これまでの二倍以上の磁場が容易にえられるものとすれば、高温気体の導電性や材料の耐熱性などに対する要求がかなり楽になるはずであるから、それによって MHD 発電機の開発が飛躍的に進展するものと期待される。

5. 結 び

最後に、世界各国における MHD 発電の開発状況のあらましを述べてみたい。

表・1 は、アメリカにおけるオープン・サイクル方式の MHD 発電の実験例をまとめたものである⁷⁾。1965 年現在では、実験の規模はこの表よりももう少し拡大されているようである。たとえば AVCO 社では、Mark-II について、昨年から Mark-V の設計・製作にとりかかっているが、これは熱入力 300 MW、電気出力 35,000 kW (このうち 15,000 kW が電磁石励起用に消費される) という大規模のものである。同社では、これに

表・1 オープン・サイクル型 MHD 発電機の実験例

| | MHD Research | AVCO | | G. E. | | | Westinghouse | |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|---|--|
| | | Mark I | Mark II | Space Sci-Lab | Research Lab. | Research Lab. | Model I | Model II |
| 作動ガス | ケロシンおよびエタノール (+O ₂) | アルゴン (アーク・ヒーター使用) | エタノールまたはケロシン (+O ₂) | N ₂ (プラズマ・ジェット加熱) | プロパン (+O ₂) | H ₂ (+空気) | ディーゼル油 + オクテイト・ソープ (+O ₂ +N ₂) | n-ヘプタン (+O ₂ +0.47N ₂) |
| 温度 (°K) | 3,000 | 2,800 | 3,000 | 3,200 | 2,300 | 2,550 | 2,800~3,000 | 2,570 |
| ガス速度 | 500~1,000m/s | マッハ 0.7 | 1,000 m/s | 700 m/s | 56.8 m/s | マッハ 0.8 | 500~865 m/s | 757 m/s |
| シード | 1% | K ₂ CO ₃ | KOH 粉末 (モル比 7%) | K ₂ CO ₃ | K ₂ CO ₃ | KOH | K-ソープ (モル比 1.5%) | K ₂ CO ₃ スラリー (モル比 0.3%) |
| 発電機寸法 (in) | 1/2 × 2 × 16 | 1 × 3 × 20 | 60 × { 3 × 9 (入口) 3 × 13 (出口) } | 1/2 × 4 × 29 | 1 × 2 × 2 | 2 × 4 × 12 | 5/8 × 4 5/7 × 16 | 3/4 × 3/4 × 16 |
| 電極材料 | タンダステン (SE, 5 個, 長さ 3 m) | ..... | グラファイト (SE) | グラファイト | グラファイト | シリコンカーバイド | C, ZrO ₂ , ZrB ₂ , W など | ZrB ₂ |
| 絶縁材料 | MgO | ..... | 非昇華性材料 | ジルコニア | MgO | MgO | MgO または ZrO ₂ | MgO |
| 磁場の強さ (ガウス) | 20,000 | ..... | 32,000 | 11,000 | 4,250 | 12,000 | 5,000~14,000 | 10,000 |
| 起電力 (D. C. ボルト) | 50~100 | 55 | ~1,400 | 75~90 | 0.7 | 90 | 3~100 (O. C.) | 7.7 (O. C.) |
| 出力 (kW) | 1.03 | 11.6 | 600 | 6 | 0.00002 | 1.9 | 1.5~10.4 | 3 W/in |
| 試運転時間 | 30 分 | 10 秒 | 10 秒 | 5 秒 | 5 分 | 6 分 | 3~50 分 | 40 分 |
| 効率 (熱→電気%) | 0.1 | ..... | 3 | 0.1 | ..... | ..... | ~0.3 | ..... |

(SE: segmented electrode)

表・2 クローズド・サイクル型 MHD 発電機の実験例

| | IRD (イギリス) | Martin (アメリカ) | Westinghouse (アメリカ) | G. M. (アメリカ) | AVCO (アメリカ) |
|------------|--|---|--------------------------------|---|------------------|
| 作動ガス | He | He | He | He | A |
| 温度 (°K) | 1,500 | 850 | (I) 1,220 (II) 1,343 | 1,700 | 1,850 |
| ガス速度 (m/s) | 1,075 ($M=0.48$) | 1,020 ($M=0.6$) | 68 | 1,500 ($M=0.8$) | ($M=0.7$) |
| 流量 (g/s) | 8.8 | 6.1 | 40 | 5 | 150 (100~300) |
| 運転圧力 (Atm) | 0.5 | 0.4 | ..... | 1.3 | ..... |
| テスト部寸法 | 0.5"×1.5"×5" | 0.635cm×5.08cm ×12.4cm | 5.5cm×7cm×40cm | 4.45cm 電極間 1~2cm | ..... |
| 電極材料 | Ta(SE) | イリジウム (SE) | Ta(SE) | Pt ピン (48 本) Pt-Rh (1 本) | W(SE) |
| 絶縁材料 | Al ₂ O ₃ または窒化ポロン | W+Ta Al ₂ O ₃ 被覆 | Al ₂ O ₃ | セラミック Al ₂ O ₃ 被覆 Ta | ..... |
| 磁場の強さ(ガウス) | 10,000 | 10,000 | 17,000 | 14,000 | 14,000 |
| 出力 | 1.15 W | (0.2 mA/cm ²) | ..... | 0.1 W | 5 W |
| 非平衡電離 | × | 有 | × | × | 有 |

つづいて大型超伝導マグネット (約4万ガウス) を装備した出力 5万kW の準実用プラントの建設を計画中で、これの完成予定は 1968 年である。

またイギリスにおいても CEGB (Central Electricity Generating Board) の研究所で、出力 2 万 kW の発電機の建設が開始されており、ソ連・フランス・西ドイツ等においても最近活発な研究活動が行なわれているようである。

わが国では、数年前から大学・民間会社等で小規模な基礎研究が行なわれてきたが、昨年から通産省電気試験所において、産学共同体制の下で、出力 1,000 kW の実験機の製作が始められた。

これに対して、クローズド・サイクル方式のもの研究はかなり立ち遅れているように見える。これは、高温ガス冷却原子炉の開発と密接に結びついているためであるが、昨年パリで開催された MHD 発電シンポジウムに提出された論文を一覧すると¹⁴⁾、この方面の研究もようやく軌道に乗りはじめたようである。表・2 は、主としてその際に発表された論文からまとめたもので、注目の非平衡電離についてアメリカの 2 社の研究が肯定的な答を出しているのが興味深い。

以上ごくおおざっぱに、MHD 発電の主たる問題点について解説した。

前も述べたように、MHD 発電の開発は、始められてからまだ日が浅く、これが人類のエネルギー利用にどれほどの役割を演ずるようなものになるかは確かにまだ疑問である。多くの人々が、このような歴史の浅いものに大きな期待を寄せることに不安を感じている。しかし、この数年間の研究に投資された費用は莫大な額になるであ

ろうし、すでに世界各国で開かれたシンポジウムの回数も、おもなものだけでも 10 回に近い。これだけの実績は決して軽んずることができないと思う。

幸い、現在の日本における MHD 発電の研究水準は、世界のトップ・レベルからそう遠くはなさそうである。わが国の苦しいエネルギー事情を救うためにも、他の国にはまねのできないようなユニークな研究が今後続々と現われることが望まれるが、同時にわれわれの懸命の努力が必要なことも痛感される。(1965 年 11 月 8 日受理)

参考文献

- 1) 今井, 桜井: 電磁流体力学 (現代物理学講座)(1950) 岩波書店
- 2) 玉田: 機械学会誌 63, 498 (1960) 978
- 3) プロンプトン, フェラロ(桜井ほか訳): 電磁流体力学 プラズマ入門 (1963) 東京電機大学出版部
- 4) T. G. Cowling: Magnetohydrodynamics (1957) Interscience Publishers
- 5) S. Pai: Magnetohydrodynamics and Plasma Dynamics (1962) Springer-Verlag
- 6) A. B. Cambel: Plasma Physics and Magnetofluid-mechanics (1963) McGraw-Hill
- 7) G. W. Sutton, A. Sherman: Engineering Magnetohydrodynamics (1965) McGraw-Hill
- 8) 森: 機械学会誌, 64, 512 (1961) 1242
- 9) 高橋, 吹田ほか: エネルギー変換論 (1964) ラティス
- 10) MHD 発電調査研究分科会: 機械学会誌, 63, 557 (1965) 767
- 11) J. Kaye, J. A. Welsh: Direct Conversion of Heat to Electricity (1960) John Wiley & Sons
- 12) C. Mannal, N. W. Mather: Engineering Aspects of Magnetohydrodynamics(1962) Columbia Univ. Press
- 13) N. W. Mather, G. W. Sutton: Engineering Aspects of Magnetohydrodynamics (1964) Gordon and Breach
- 14) ENE: Magnetohydrodynamic Electrical Power Generation (vol. 1~vol. 4) (1964)