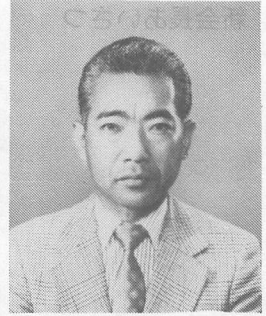


■ 展 望 ■

開放型MHD発電の現状と将来

Present Status and Future Aspect of Open Cycle MHD Power Generation

大 竹 一 友*
Kazutomo Ohtake



1. はじめに

MHD発電は、在来の発電機の銅線輪の代りに導電性流体を磁場中に流し、電磁誘導の原理により発生する電力を、流体に接触させた電極を通して取り出す方式のものであり、熱エネルギーにより動作流体を加速し、その運動エネルギーを直接電気エネルギーに変換する、直接エネルギー変換の一種である。

MHD発電は、体積形の発電であるため、大容量発電に適しており、各国で鋭意研究開発が進められて来た。我が国でも、昭和41年に通産省大型プロジェクトの一環として取り上げられて以来¹⁾ 現在のムーンライト計画プロジェクトに至るまで、第一、第二期合せて

17年間の長期にわたり、開放型MHD発電に関する研究開発が進められ、総額で100億円の投資が行なわれた。昭和57年度はこの最後の年にあたり、このような時期に、開放型MHD発電の現状と将来に関し触れさせていただくことの意義を感じている。

2. 開放型MHD発電開発の現状

MHD発電では、導電性流体を動作流体として用いる。燃焼ガスに電離電圧の低い、カリウムなどをシード物質として加え、熱電離させて気体を導電化させ、これを動作流体として用い、発電後最終的には大気に排出するものを開放型MHD発電という。この方式では、図-1に示すごとく、MHD発電機の排ガスで、汽

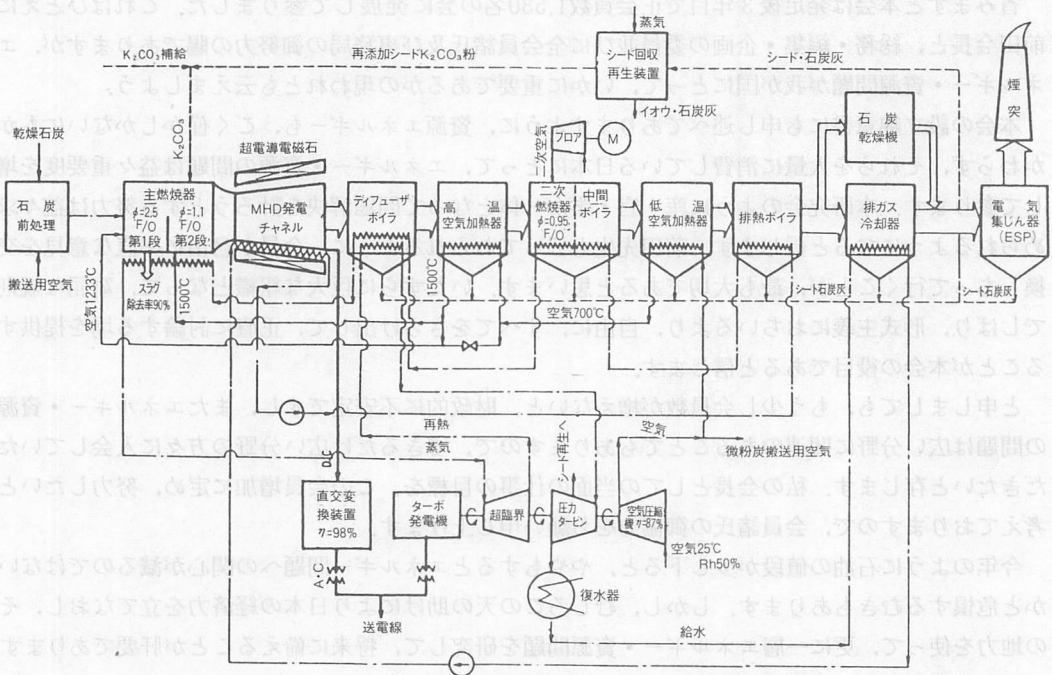


図-1 石炭燃焼2,000MW級 MHD-汽力組合せ発電プラントのシステム構成図²⁾

* 豊橋技術科学大学エネルギー工学系教授
〒 440 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

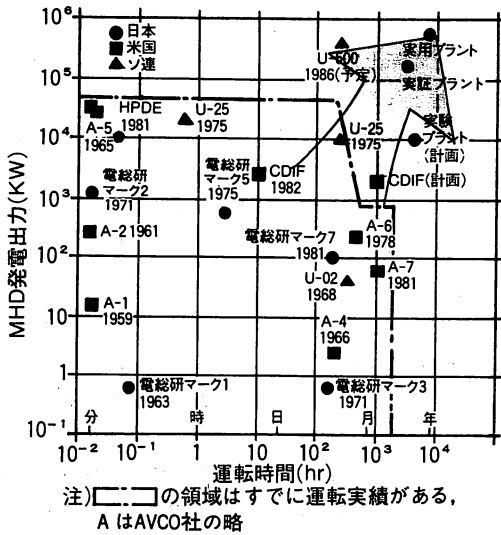


図-2 内外のMHD発電の開発状況³⁾

力発電を行なわせる組合せプラントとし、総合熱効率を、現在の新鋭火力発電所の40%から約50%に上昇させることを当面の目標としている。同図のものは、熱入力2000MWt級、電気出力1000MWe級（MHD部643MWe、汽力部354MWe）の石炭燃焼方式のものであり、総合熱効率は、送電端で高発熱量基準49.85%である。現在この種の実用プラントに向けて、図-2に示すように、発電出力および運転時間の二軸接近で開発が行なわれており、出力・時間ともに目標に1~1.5桁程度のところまで来ている。

開放型MHD発電では、以下に示すように、燃料の種類により、開発テンポに大きな差がある。

2.1 天然ガスを燃料とするもの

ソ連では、豊富に産出する天然ガスを燃料として、独特の開発手法により、現在世界最大の実験プラントU-25機(MHD発電部20MWe級、蒸気発生部50MWt級)により、積算で500時間以上の発電実績を持っており、すでにかんがりの技術を修得し、実用への自信を強めている。ソ連ではこれの成果をもとに、同じく天然ガス燃焼のU-500機(MHD発電部250MWe級、汽力発電300MWe級)を現在建設中であり、1986年には完成の予定とのことである。しかし、このところソ連からの情報がほとんどなくなり、詳細を把握することが困難となっているため、この9月にモスクワで開催される、第8回MHD発電に関する国際会議が待たれるところである。いずれにせよ、天然ガスを用いることにより、ソ連ではかなり容易に開発を進め、MHD発電の出力を、電力網に本格的に供給する最初の国に

なる見通しが濃厚である。

2.2 石油を燃料とするもの

世界の開放型MHD発電は、最終的には次項に述べる石炭燃焼方式に的を置いているが、それに至る道筋で、燃焼性にすぐれている石油を燃料として用い、MHD発電機の問題点を洗い出す研究を行なっている。

1960年代の初め、米国でMHD発電の大規模開発が始められた動機は、MHD発電をトッピングした汽力発電所により熱効率を上昇し、枯渇しつつある石油資源を、少しでも永続きさせることにあった。しかし、第1次石油ショック以来、MHD発電が燃料に対する適合性にすぐれていることから、米国内産炭を用いるよう方針が変えられた。このため、現在石油を用いているものでも、石炭灰を加え、石炭燃焼ガスを模擬するなど、最終目標を石炭燃焼に設定しており、石油燃焼方式を最終目標に設定しているものはほとんどない状況にある。

現在、石油系燃料を用いている大型のものは、米国のHPDE機(High Performance Demonstration Experiment, 電気出力30 MWe級)および電子技術総合研究所(以下電総研と略記)のMark VII機(電気出力100kWe級、熱入力15MWt級)である。前者は後述するようにMHD発電の出力レベル増加に伴うエンタルピー抽出効率(MHD発電出力/MHD発電機入口エンタルピー)の推移を確認するためのものであり、無冷却の熱容量型発電チャネルであるため、数秒間で大出力発電実験を行なう特殊仕様発電機である。後者は本年度中には、石炭灰を添加して、石炭燃焼ガスを模擬した実験を行なう計画であり、大型実験機で石油系燃料を用いるものは、HPDE機以外ほとんどなくなる見込みである。

2.3 石炭を燃料とするもの

世界中のMHD発電は最終目標を石炭燃焼方式に置いていると言っても過言ではない。これは、先にも述べたごとく、MHD発電が燃料の適合性にすぐれていることから、将来、必ず到来するであろう石油資源の枯渇にそなえて、次の燃料と目されている石炭を燃料とする発電方式の一つとして考えられているからである。このため、石炭燃焼型MHD発電は、他の石炭利用エネルギー技術と競合関係にあり、これらの技術と同様、その得失が問われている。

現在、米国では、石炭燃焼に的をしぼり、開発が進められている。すなわち、CDIF機⁴⁾(Component Development and Integration Facility)では、これまでの石油燃

焼方式から、TRW社の開発した熱入力20MWtのサイクロン燃焼器をとりつけて、石炭燃焼に切り換え、主としてMHD発電プラントの上流機器の開発を行っている。さらにTRW社では、次期の熱入力50MWtに向けて燃焼器の開発を行なっている。一方、CFFF機⁵⁾(Coal Fired Flow Facility)では、当初より熱入力20MWtの微粉炭燃焼方式を採用して、石炭スラグを100%下流に流す方式で、スラグが発電プラント下流機器に与える影響を調べてきた。これらとは別に、主として長時間耐久性のあるMHD発電チャンネルの開発が、AVCO社において行なわれ、石油燃焼ガスに石炭灰を添加した、石炭模擬燃焼ガスによって1000時間以上の耐久性が実証された⁶⁾。また、熱回収・シード回収の実験として、熱入力20MWtの装置⁷⁾が、B&W社、ミシシッピ大学、Buyns&Roe社の協同プロジェクトとして1985年の完成に向けて建設されており、発電プラントを特徴的な部分に分け、石炭燃焼に対処するための研究が行なわれている。

ソ連でも、現在の大型開発への導火線の役割を果たした天然ガス燃料のU-02機(MHD発電出力2MWe級)を、すでに石炭燃焼に切り換えて実験を行っており、本年中にはその一段上のU-25機をU-25G機として石炭燃焼型に改造し、本格的な石炭燃焼型大規模実験を行なう計画である⁸⁾。

3. 石炭燃焼MHD発電が克服すべき問題

石炭を燃料とし、これを直接燃焼できることが、本発電プラントの特徴であるが、このとき生成される石炭スラグにより、発電プラントの各構成機器が影響される。以下構成機器別に現状と問題点を述べる。

3.1 MHD発電機

MHD発電機は、MHD発電プラントの主要部分であり、これの性能が十分確保されなければ、発電プラントは成立しない。

発電機がそなえるべき性能は、第一にエネルギー変換効率が高いこと、第二に十分な耐久性のあること、である。MHD発電サイクルは、基本的にはガスタービンと同じく、ブレイトンサイクルであり、発電機のエンタルピー抽出効率20~25%、タービン断熱効率60~80%が要求される。先述したように、MHD発電は体積形の発電方式であり、高出力を得るためには、発電機の体積を大きくし、かつ動作流体に高導電度と高速度を与えなければならない。発電機が小さいうちは、流路壁面上に形成される境界層により、導電度、速度

が低下する割合が大きく、上述の要求が満足されにくい。ため、電気出力で400~1,000MWeの大規模の発電機が目標となる。

MHD発電機は、発電チャンネル、超電導電磁石、直流交流変換装置などから構成され、上述の性能を実現するためには、高性能の燃焼器およびディフューザーの実現が条件となる。発電チャンネルの動作条件としては、磁束密度5~6T、ガス導電度2~10S/m(ガス温度2,000~2,500°Cに対応)、ガス流速~800m/s、ガス圧力0.1~0.6MPa、などが必要であり、これらの厳しい条件下で、長時間耐久性のある発電チャンネルを開発することが要求される。これらの動作条件により、発電チャンネルの動作パラメータは、流れと直角方向のファラデー電界25~40V/cm、同電流密度0.5~1.0A/cm²、流れ方向のホール電界25~35V/cm、壁面熱流束200~300W/cm²などが実現される。

以上の目標値に対して、現状はどのようであろうか。MHD発電チャンネル単位体積当りの抽出エネルギー量を表わすスケールパラメータに対するエンタルピー抽出効率の関係を、種々の発電機に対して示すと図-3のようである。現在最大の抽出効率は、先述した米国のHPDEによる出力30.5MWeで11%が記録され、設計点で15%が期待されている。しかし、図からもわかるように、実用機に比しスケールパラメータで約1/2、出力規模では1/30~1/50であり、我が国のものは1/500~1/1,000と極く小さく、ソ連におけるU-500機(実用機レベル)の建設と実績が待たれるところである。現在得られている最大抽出効率は上述のように実用機の25%に比べれば、まだ1/2程度であるが、現在までのところ、大型化に伴うエンタルピー抽出効率の増加を阻止するような現象は見出されていない。

さて、MHD発電機の性能を理論的に正確に予見す

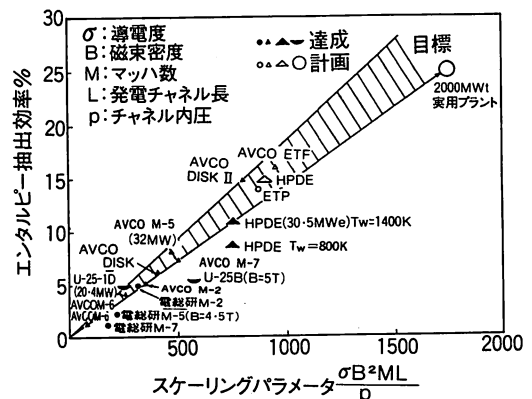


図-3 エンタルピー抽出効率の現状⁹⁾

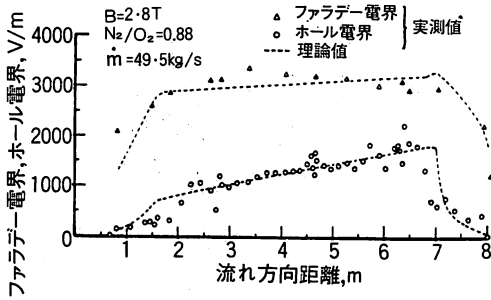


図-4 HPDE機におけるファラデー電界とホール電界の実測値と準一次元理論値との比較¹⁰⁾

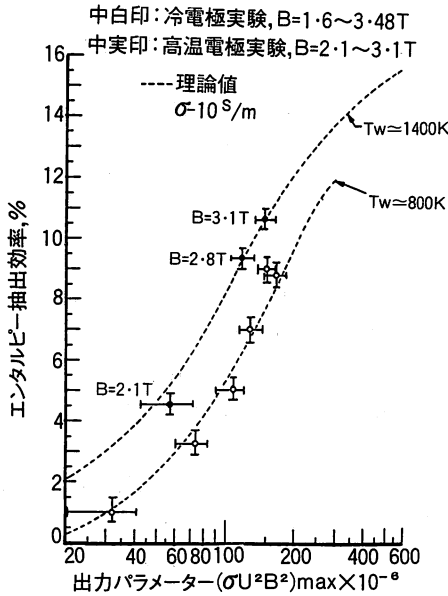


図-5 HPDE機におけるエンタルピー抽出効率の実測値と準一次元理論値との比較¹⁰⁾

ることは、装置が大型化するにつれ、その次の規模を予測する上できわめて重要である。図-4はHPDE機における実測値を準一次元理論と比較したものであり、両者の一致はきわめて良好である。また、エンタルピー抽出効率に関しても、図-5のように、二種類の壁面温度に対し、準一次元理論で実測値を良く説明している。先述した設計点において、15%の抽出効率が期待されているのは、本図からいわれたものである。

同様な成果は電総研Mark VII機においても得られており、実測値が準一次元理論により、十分正確に予測できることが示されている¹¹⁾。今後同様な検討を石炭燃焼方式についても行ない、準一次元理論を適用する上で必要な各種実効物性値を明らかにして行くことが必要である。

次に第2の要請である耐久性に関し触れよう。これ

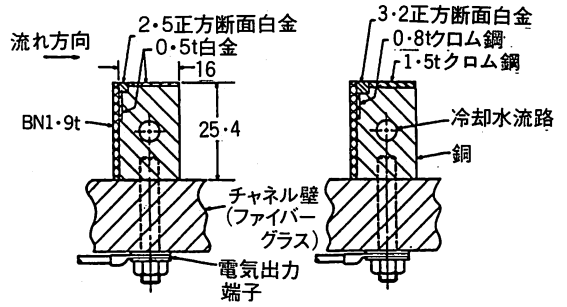


図-6 AVCO社Mark VII機により1,000時間耐久試験が行なわれた陽極構造⁶⁾

まで行なわれた耐久実験のうち、石炭燃焼ガス条件のものは、米国AVCO社Mark VII機による石炭模擬ガスによるもので、55kWe×1,000時間の耐久性が実証され、7,500時間以上の寿命予測⁶⁾がなされている。このほか、石油燃焼条件では、電総研Mark VII機による100kWe×200時間の耐久性試験を2回、天然ガス燃焼のものでは、ソ連U-25機による11.6MWe×250時間の連続運転などがある。AVCO社の成果は石炭燃焼MHD発電機の耐久性の上からは、越えるべき障害を一つ越したかに見えるが、次に述べるように材料的な面で、改良されるべき問題を残している。

燃焼器で除去されなかったり、あるいは酸化したスラグは、発電チャンネルの壁に附着し、ある程度の厚さになると、表面が溶けてガス流にひきずられながら下流に流れ、発電機後流で器外排出される。スラグで被覆されたチャンネル壁は、被覆されない場合に比し、熱損失量が低下する利点はあるが、電極近傍に生じる強い電界により、スラグ成分が分極を起し、陽極と陰極とで異なったふるまいをする。

陽極側では、O⁻やS⁻などの陰イオンが電荷を運ぶため、これが電極材料と反応し、陽極を酸化・消耗する。図-6に示すAVCO社の電極や、電総研でテストされた白金や高クロム鋼キャップの水冷銅電極は、このイオン電導に代って、故意にアーク放電を起させ、O⁻やS⁻による酸化・腐蝕性雰囲気、白金や高クロム鋼により耐え、銅基部によりアーク放電による熱入力を除熱する方式である。

陰極では、陽極とは異なり、陽イオンが陰極に移動するので、還元雰囲気となり、鉄、カリウム、カルシウムなどの金属が蓄積されやすいが、陽極のような耐久性に関する問題はなく、銅-タングステン合金や、モリブデンをキャップした水冷銅電極などで十分耐久性のあることが実証されている。

スラグにシード物質が溶解して導電性が増加すると隣接電極間や対向電極間が絶縁壁上で短絡し、発電性能を劣化させる可能性がある。MgOに白金ロジウムのキャップを施し、電極表面を高温化し、スラグを流動させて、陰極での金属析出を抑え、隣接電極間の短絡を極力抑えるような構造の電極も試験¹²⁾され、好成績をおさめている。

いずれにせよ、現在のところ、耐スラグ性にすぐれている材料が、白金などの稀少資源であり、このような材料を電極として用い消耗してしまうことは、資源的な意味から大いに問題であり、新しい材料の発見、電極や絶縁壁の構造の開発を行なわなくてはならない。添加物により、スラグのイオン輸率、導電率、粘性などを制御し、性能を改善する研究¹³⁾も行なわれている。

開放型MHD発電の研究は、このほか中国、インドなどでも行なわれており、その模様は文献¹⁴⁾に触れているので参照されたい。

MHD発電機と超電導電磁石は密接な関係にあり、その開発テンポがMHD発電の開発に及ぼす影響は大きい。しかし、超電導電磁石に関する技術は、形式は異なるが、核融合用電磁石の技術開発により、かなりのスケールのところまで来ており、技術的な点でMHD発電の開発に支障を与える原因にはならないと考えられている。

一方、MHD発電出力は直流のため、これを商用電力系統に接続するためには、直流交流変換装置が必要である。動作流体の流れと直角方向の電極対から出力をとり出す、ファラデー形発電機では、本装置が総建設費に占める割合が約9%と大きく、発電特性、制御性などの点も含めて、経済的に有利な電極結線法を、種々検討しなければならない。

3.2 石炭燃焼器

燃焼器は、MHD発電機の仕様に合う動作流体を発生させる、重要な機器である。MHD発電機をはじめ、他の構成機器の性能は、石炭スラグにより大きく影響されるため、極力燃焼器においてスラグを除去することが望ましい¹⁵⁾。また、シード経済のためには、除去されたスラグの中に、シードが混入しないことが要請される。一方、燃焼温度が高いことから初期生成NO濃度が高く、これをできるだけ低く抑えるためには、燃料過濃燃焼が必要となる。以上の要求を満足させるために、燃焼器を二段とし、第一段目では、当量比(燃料酸化剤比/理論燃料酸化剤比)が2~3程度のかなり燃料過濃燃焼を行ない、主として石炭中の可燃成分を

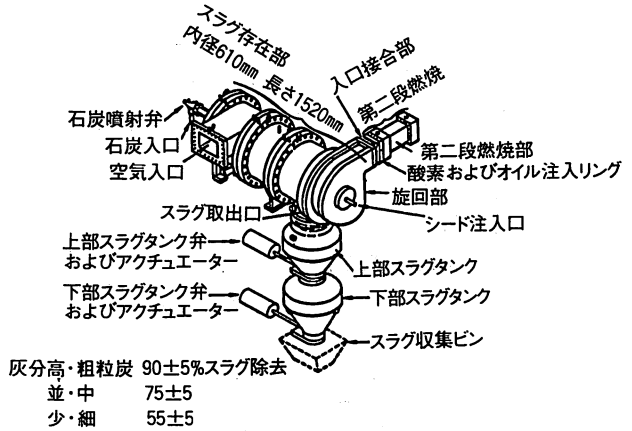


図-7 TRW社の20MWt微粉炭燃焼器¹⁶⁾

ガス化するとともに、スラグを80%以上除去する。このためには、第一段目をサイクロン方式とし、遠心力によりスラグを壁面にたたきつけ、器外に流動させる方式がとられる。燃焼温度は1,800°C程度でスラグ成分が気化しない温度が一つの目安となる。第二段目では、さらに加熱空気を加え、当量比1.1程度のやや燃料過濃状態において、さらに燃焼をすすめてガスを高温化し、これにシードを加えて導電性ガスにする。第二段目では、燃焼温度が2,500°C以上になるため、第一段目から持込まれた石炭スラグのほとんどの成分は蒸発し、微小滴のものも合わせて10~20%程度のスラグが下流機器へと運ばれる。発電チャンネル内で、ガスに旋回があることは望ましくないので、第一段目で与えた強い旋回は、第二段目で消去することが必要であり、かつここで空間的・時間的に均一なシードを行なうなど、難しい要求が課せられている。図-7はTRW社が開発した、熱入力20MWtの石炭燃焼器であり、図中に示すごとく、石炭の性状、粒径によりスラグ除去率に差が生じる。この燃焼器は前述のごとく、現在CDIF機の燃焼器として稼働している。この程度のスケールでは燃焼器の寸法も比較的小さく製作が容易であるが、実用の燃焼器は、直径約1.5mのオーダーにならうから、空間的均一性の点で設計にかなりの配慮を必要とするだろう。

3.3 空気加熱システム

MHD発電機の要請から2,500°C以上の高温燃焼ガスを発生させる必要があり、このために、図-8のエネルギーフロー図に見るごとく、石炭熱入力の約35%もの熱を、空気加熱器により燃焼用空気を加熱することにあて、再循環しなければならない。このため、空気加熱システムは低温で発電可能な方式が開発されない

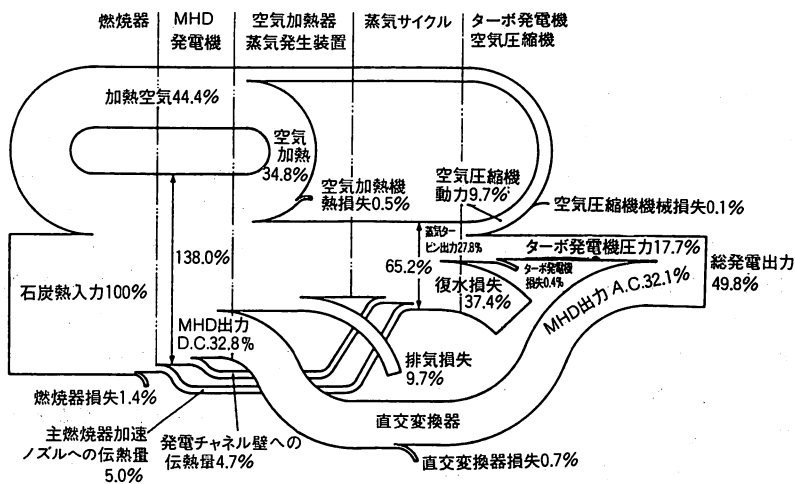


図-8 実用発電プラントにおけるエネルギーフロー⁹⁾

限り、燃焼方式のMHD発電プラントに欠かすことのできない重要な機器である。図-1に示したごとく、通常低温領域での金属管空気加熱器と、高温領域の蓄熱形空気加熱器を組み合わせて用いる。前者は連続運転のため、加熱管のピッチを適当に選べば、シード・スラグ混合物による目詰りについてはさほど問題はないが、後者は加熱、放熱サイクルを交互に行なう間欠サイクルであるため、シード・スラグ混合物による目詰り問題が深刻である。すなわち、空気を加熱する放熱サイクル時に、蓄熱体の温度が下がると、次の燃焼ガスによる加熱サイクル時の始めに、冷却された蓄熱体表面にシードやスラグが凝縮して液膜や固体層を形成し、これが成長すると蓄熱体であるペブルや、パーフォレートの孔を塞ぎ、目詰りを起すことになる。シードだけのときは、さらに高温化されると融解し流下するが、大きなスラグが何らかの原因で付着すると、融解しにくいいため、目詰りの原因として問題となっている。このため、目詰りの防止法と、一たん目詰りした部分からシードやスラグを除去する方法を開発しなくてはならない。

高温空気加熱器には、本体のほかに、加熱・放熱サイクルを切り換えるために、高温で耐シード、耐スラグ性に富んだ洩れ量の少い、耐久性のある大型切替弁の開発も必要となる。

このように空気加熱器は、MHD発電プラントの中で最も重要でかつ難しい構成機器の一つであり、同時に総建設費の15%を占める機器であるため、技術的・経済的な面から、その負担を軽減することのできる技術開発が、燃焼温度の低下を許す発電方式の開発も含め

て、ぜひとも必要である。

シードやスラグの問題を回避するために、MHD発電の排気を用いずに、別置燃焼器により高温空気加熱器を加熱する方式も、仮の方式として考えられ、ソ連で採用されている。しかしながら、これを行なうと、熱効率が前述の49.85%から46.4%に低下してしまう。また、酸素を燃焼用空気に添加することにより燃焼ガスを高温化し、高温空気加熱器を省くことも考えられる。この場合には、空気分離プラントの動力が必要となり、熱効率はさらに下って45.9%となってしまふ。これらの方式は、高温空気加熱器の技術が成熟するまでのつなぎとして、MHD発電プラントシステムの性能を確認するための開発過程で用いられるべきものであり、最終的段階では、直接式高温空気加熱器に代わられなければならない。

3.4 ボイラー部分

シード・スラグ混合物に関連した機器に、汽力発電用ボイラー部分がある。ここでは、ガス温度もかなり低下し、シード・スラグ混合物が水管に付着堆積し、ボイラー管の熱抵抗を増大させ、目詰りを起す可能性が生じる。したがって、シード・スラグ混合物の熱抵抗、流動特性、堆積物の除去法などに関連した物性値と挙動を十分に把握することが必要である。

3.5 微粒子とその捕集

石炭燃焼MHD発電プラントから排出される微粒子は、石炭の灰分、すすなどの未燃分、およびシード物質などにより構成される。このうち、すすなどの未燃分については、燃焼温度が高いこと、高温での滞在時間が長いことなどにより、現在ほとんど問題にされな

い段階にあり、灰分とシード物質が対象となる。

MHD発電プラントにおける微粒子の生成に関する研究が、理論、実験の両面^{17) 18)}からなされ、その性状が次第に明らかになってきた。発電プラント内での粒子を生成する成分は、石炭スラッグの粒子、液滴および酸化した成分、それにカリウム化合物として K_2SO_4 、 K_2CO_3 、 KOH などである。MHD発電機からの排出ガスは、下流機器中で冷却され、それぞれの成分の分圧が飽和蒸気圧よりも高くなると既存の粒子を核として凝縮が開始される。凝縮速度が遅いときは過飽和度が大きくなり、一緒に凝縮核を生成し、既存の粒子とこの凝縮核に対して凝縮が生じる。その結果、既存のものはますます凝縮性成分の濃度を増加し、凝縮核を中心とするものは、その成分だけの粒子を形成する。主流から粒子への有効拡散係数は、粒子径が小さいほど大きいので、粒径の小さい粒子への濃縮が生じる。温度が低下すると次の凝縮成分が同様な過程で凝縮するため、微粒子ほど後から凝縮する成分で満たされ、大きな粒子は全ての成分を持っていることになる。この性状は、実験、理論の両面より説明され、電気集塵器により微粒子を捕集する上で重要な示唆を与える。

在来の微粉炭燃焼火力発電所における電気集塵器の運転条件、および灰の性状に対しては、 $1\mu m$ 以下の微粒子の捕集効率は急激に低下する。上述の研究によると、MHD動作条件では、 $1\mu m$ 以下に相当量の粒子が形成される可能性があり、これらが特にシード物質を多く含んでいることから、シード経済上できるだけ凝縮を促進し、粒子の成長を助け、粒子径を $1\mu m$ 以上にするための動作条件を見出す必要がある。しかし一方で、電総研Mark VI, VII機の実験では、電気集塵効率が99%以上の値を示しており、シード物質により微粒子の導電度が上昇し、石炭灰のみの場合に比し容易に集塵ができる可能性も考えられる。

微粉炭燃焼では、石炭の種類により、微粒子の性状が決定されるが、この場合には、シード物質により性状が最適化される可能性もあり、電気集塵器による微粒子の捕集、すなわち低温シード回収効率を向上する技術の確立が可能であると考えられる。

3.6 石炭スラッグに関する研究

以上、石炭スラッグが発電プラント構成機器の性能に及ぼす影響に関して述べ、石炭スラッグの性状を明らかにすることが、いかに重要であるかを述べてきた。石炭スラッグとシード物質との干渉、あるいは相互作用は炭種によってもかなり差があるが、最近米国を中心と

して、MHD発電プラントにおける各種性能を検討する上で重要な物性値が測定され、その性状が徐々に明らかになりつつある。これまでに測定された物性値には、導電度、スラッグ・シード混合物と平衡するカリウム蒸気圧、熱電子放射特性、熱伝導率、熱拡散率、粘性係数、臨界粘性温度、接触角、複素屈折率、線膨張係数、活量係数などであり、30近い報文¹⁹⁾が発表されている。現在、我々はこの未経験の分野でいささかとまどっているが、このような研究データにより新しい突破口が開かれるものと期待している。

4. 実用プラントとして備えるべき条件

MHD発電プラントの開発は、上述のごとく現在かなりのスケールまで進んできたが、それでもまだ基礎研究の域を出ていない部分が多い。このような時に実用プラントとして備えるべき条件を、本プラントが具備しているか否かを言及することは、やゝ問題もあるが、本節でこれに触れることとする。

石炭燃焼MHD発電は、他の石炭利用発電方式と競合する新発電技術であり、実用面から評価する場合、まず発電効率が他に比して有利か、発電コストの低減が可能か、燃料の多様化に対応できるか、環境立地の面で有利か、電力供給信頼度・負荷変動対応・省力化の面から見た系統運用、運転保守特性の向上等の効用が期待できるか、などが本プラントを採用するための動機付けとして重要となろう。また、開発上のリスクについても、開発投資の回収効率はどの程度期待できるか、なども判断基準となる。

MHD発電の性能および経済計算については、通産省工業技術院の委託研究業務として(社)電気協同研究会がこの17年間にわたり、極めて真剣な検討を行って来、プラントの熱効率や発電コストなど信頼度の高い数値を算出しており、その結果から上述の要請はかなりの部分満足され得ると判断できる。しかし、前節まで述べてきたように、まだ不明な点も多々あり、これらが全て明らかになったとき、上掲の条件に対するより信頼度の高い回答が可能になる。

5. MHD発電の将来

すでに述べたように、MHD発電プラントには、石炭燃焼の有しているあらゆる問題と、気体を動作流体とする電磁流体力学的な問題など、在来の発電所には見られない、直接発電特有の問題が多々ある。また、体積形の発電方式であるため、実用プラントでは、入

口1m×1m, 出口2.5m×2.5m, 長さ20m, 電極400対の発電チャンネルと, これに磁場を与える超電導電磁石, 直流交流変換装置, これらと組み合わせる空気加熱システム, および汽力発電システムなど, そのスケールは極めて大きなものとなり, これの建設には大きなリスクが伴う。したがって, 既存の実験機, あるいは要素研究により, スケールアップへの自信ある成果が得られた時, 実用プラント建設の可能性を判断できる。最小規模の実験プラントを建設し, 発電性能, 運用などの試験を十分行ない, 本発電プラントが実用に供されるか否かを慎重に判断することが必要となる。実験プラントの規模は, 先に示したMHD発電機の動作パラメータが模擬できるスケールでなければならず, 熱入力100MWt程度が選ばれよう。この実験プラントでは, MHD発電部の発電性能, 後流機器との干渉, 起動, 緊急停止などの過渡特性の研究, 部分負荷や負荷変動追従性など系統運用の特性把握, シード・スラッグの性状やシード回収・再生・再使用, 環境保全技術の確認などが行なわれる。

一方, 各構成機器にはその開発テンポに大幅な差があり, 現在二, 三年で実験プラント仕様のものの建設に着手できる程度に成熟しているものから, 燃焼器のように8~10年もの開発期間が必要なものまでまちまちである。したがって経済的な面, あるいは開発時期の点などから, 各構成機器の特徴に合せて単独, あるいは二, 三の機器と組み合わせた要素開発を行ない, できるだけ早い時点で, まず実験プラントの成否を判断することが特策である。

米国のCDIF機は, 実用の1/100のスケールでありながら, 現在相当の規模である。また電総研Mark VII機もかなりの大きさである。しかし, 両者ともまだ基礎実験の段階であり, これらが開発研究の段階に移るとき, 相当額の投資が必要となり, この場合の経済的リスクが議論を呼ぶだろう。このような背景から, 各国で個別に開発をするのではなく, 国際協力により投資効率を上げ, リスクを軽減しようとする呼びかけが絶えず行なわれており, すぐれた運用により, 実を結ばせることが, ぜひとも必要である。

自由世界の経済的低迷により, 特に米国での新エネルギー開発投資の縮少をきっかけに, 各国が影響を受け, 我が国でもMHD発電については, 昭和58年度は, 電総研Mark VII機の運転費が計上されたにとどまり, 厳しい情勢にある。しかし, 米国では31M\$(約75億円)が, 本年度実験機の運転費を中心に投資されてお

り, MHD発電開発への努力が続けられている。

石炭は石油に次ぐ将来の燃料であり, これを直接燃焼できる高効率発電所として, MHD発電が評価されるよう, 現有的実験機を活用してポテンシャルの高い研究開発を行ない, 将来について行く努力を続けて行かなくてはならない。

6. おわりに

以上, 種々の面から開放型MHD発電を眺めてきた。MHD発電は, 電磁流体力学, 電気工学, 熱工学, 燃焼工学, 化学工学など, きわめて多岐にわたる学問分野を含む総合技術として完成されるべきものであり, 学際的な技術が結集されねばならぬ良い例である。

我が国における, 開放型MHD発電の第二期開発が終るにあたり, あらためて, 大学・国立研究所・企業の協力を一層深め, 新しい経済情勢下で, 能率良く研究開発をすすめることのできる協力体勢作りが, 今こそ望まれる。

近い将来, 建設が完了するソ連のU-500機の成果などを注目しつつ, 大型開発への判断をあやまらないよう, 全ゆる資料を蓄積するための真剣な研究開発を, 息長く続けなければならない。

参考文献

- 1) 電気協同研究会, MHD発電システム (昭54-3)
 - 2) Takano, S. et al, Spec. Meet. Coal Fired MHD Pow. Gen. (1981) 1・3
 - 3) 通産省工業技術院ムーンライト計画推進室, MHD発電, (昭57)
 - 4) Lightner, R. G. 7th IC MHD EPG (1980) 40
 - 5) Dicks, J. B., Spec. Meet. Coal Fired MHD Pow. Gen. (1981) 1・5
 - 6) Hruby, Y. J. et al, 20th SEA MHD, (1982) 4・3
 - 7) Alexander, K. C. et al, 19th SEA MHD, (1981) 4・1
 - 8) Shelkov, E. M. et al, Spec. Meet. Coal Fired MHD Pow. Gen. (1981) 1・1
 - 9) 高野氏 (電総研) より提供
 - 10) Felderman, E. J. et al, 20th SEA MHD, (1982) 4・5
 - 11) Mark VII MHD発電機実験研究検討グループ, 昭和56年度ETL Mark VII MHD発電機の実験研究成果報告 (昭57)
 - 12) Nelson R. M. et al, J. Energy, 6 (1982) 210
 - 13) Cadoff L. H. et al, 7th IC MHD EPG, (1980), 254
 - 14) 大竹, 日本機械学会誌, 84, 757 (昭56-12), 1357
 - 15) 大竹, 化学工学, 46, 5, (昭57-5), 290
 - 16) Bauer, M. et al, 20th SEA MHD (1982) 3・3
 - 17) Im, K. H. et al, 20th SEA MHD, (1982) Lated paper
 - 18) Ohtake K. et al, 8th IC MHD EPG, (1983) 投稿中
 - 19) 5th IC MHD EPG, 15th SEA MHD 以後のシリーズなどを中心に発表されている。
- 注) IC MHD EPG: Int. Conf. MHD Elec. Pow. Gen. の略