

高効率 MHD 発電とその応用

高効率 MHD 発電と応用に関する調査専門委員会編

目次	
1. はじめに	3
2. MHD 発電技術と各種電力システムへの応用	4
2.1 希ガスプラズマ MHD 発電技術の展開	4
2.2 パルスレーザ駆動 MHD 発電技術の基礎研究	8
2.3 無電極電力取り出し型 MHD 発電システム	12
2.4 風力高度利用を志向した トルク変換型 MHD 発電応用	15
2.5 液体金属 MHD 発電の性能シミュレーション	18
2.6 実用規模大型非平衡 MHD 発電機の 性能予測解析	22
2.7 火星有人探査用低比質量 核分裂炉 MHD 発電システム	25
2.8 CO ₂ 増進回収と組み合わせた MHD 発電システム	28
3. MHD 応用技術	30
3.1 ダイアゴナル接続 MHD 加速の基礎的実験	30
3.2 パルス MHD 加速機の実験及び数値解析	34
3.3 MHD 技術を利用した惑星大気突入技術	36
3.4 宇宙用 MPD スラスタの放電電流経路 と推進性能	39
4. MHD 応用関連技術	44
4.1 大気圧プラズマの応用	44
4.2 遮断器のプラズマ消弧技術	45
5. 高効率 MHD 発電と応用の展望	47

高効率MHD発電と応用に関する調査専門委員会委員

委員長 原田 信弘(長岡技術科学大学)
幹事 佐々木 徹(長岡技術科学大学)
幹事 藤野 貴康(筑波大学)
委員 乾 義尚(滋賀県立大学)
沖中 憲之(北海道大学)
奥野 喜裕(東京工業大学)
菊池 崇志(長岡技術科学大学)
小林 宏充(慶應義塾大学)
佐宗 章弘(名古屋大学)
末包 哲也(東京工業大学)
杉田 寛之(JAXA)
高奈 秀匡(東北大学)

委員 竹下 慎二(和歌山工業高専)
中村 翼(大島商船高専)
田中正志(茨城大学)
角田和巳(芝浦工業大学)
丹羽 芳充(株式会社東芝)
原田 亮(INPEX)
船木 一幸(JAXA)
前田 哲彦(産業技術総合研究所)
松尾 哲司(京都大学)
村上 貴裕(電力中央研究所)
村上 朝之(成蹊大学)

1. はじめに

MHD(電磁流体力学)発電は、原理的には磁界中での導電体の運動による起電力(ファラデーの電磁誘導)を利用したもので、通常の磁界中でコイルを回転させる回転型の発電機と同様です。しかしながら、特に MHD 発電と呼ぶのはコイル(固体の電線)の代わりに液体金属やプラズマなどの導電性流体を流して発電する仕組みで、タービンなどを使わないことから「直接発電」の一種とも呼ばれています。プラズマを使う場合の最大の特徴は、小型で高出力密度、さらに 2000~3000℃という高温の動作温度が可能となることです。

この高温動作は高効率化に非常に重要で、熱力学が教えるところによると、発電システムあるいは広く熱機関の効率はシステムの高温動作温度と余分な熱を捨てる低温域との温度差によって上限が決まります。既存の蒸気タービンでも蒸気条件をできるだけ高温にして高効率化を図っていますし、最近の最も効率の高い発電システムは、高温域をガスタービンで、低温域は蒸気タービンで発電するという複合サイクル発電も実用化されて高効率化に貢献しています。

しかしながら、複合サイクルでも高温動作温度は材料の耐熱性から 1600℃程度が上限とみられており、我が国で発電量のおよそ 87%を占める火力発電で利用される化石燃料の燃焼温度 2000℃以上とはまだまだ隔たりがあります。この意味において、化石燃料の燃焼温度と現状で利用されている温度の間を利用できるのは MHD 発電が最も有力と考えられていて、例えば高温動作温度の上昇によって 10%程度の効率向上が可能であれば我が国の電力供給に非常に大きなインパクトを与えることが可能となりますし、温室効果ガスの排出削減にも大きな貢献が可能となります。MHD 発電と組み合わせ、高温域を MHD 発電、低温域をガスタービンや蒸気タービンで発電することや、さらに高温域を MHD 発電で、中温域、低温域をそれぞれガスタービン、蒸気タービンで発電するトリプルコンバインドサイクルでさらなる高効率化に向けたアイデアも提案されています。

MHD 発電技術は、1970~1980 年代にかけて活発に研究開発が進められてきました。アメリカ、ロシア、インド、中国では、石炭燃焼を熱源とするいわゆるオープンサイクル MHD 発電によって、高効率化とともに石炭燃焼による NO_x や SO_x の排出削減によって環境負荷の軽減を目指したものです。もう一つの方向としては、アルゴンやヘリウムなどの希ガスを高温熱交換器で加熱して閉じた系で発電を行うクローズドサイクル MHD 発電方式です。この方式は日本、オランダ、イタリアを中心に研究が進められ、導電率の高いプラズマを実現して、高効率で高出力密度が期待され、商用発電所のみならず宇宙用発電や極超音速機への搭載なども検討されてきました。これらの 2 方式の MHD 発

電研究はまだ商用には至っていませんが、一定の研究成果が得られ、プラントの設計や予想される効率、また現状の電力ネットワークへの接続方法、さらに接続した場合の動作や系統故障時の対応などが明らかになっています。

残念なことにアメリカエネルギー省 (DOE) の大型プロジェクトが終わり、我が国でも東日本大震災での原子力発電プラントの停止など電力業界への逆風があり、新しい技術の導入への迫及意欲が弱くなっているのは将来のエネルギーと環境問題に対する解決に関して、危惧の念を抱かざるを得ません。しかしながらエネルギーと環境の問題はこれから我が国のみならず世界の最重要関心事項になるのは必然であって、本当に問題解決を模索することになると、この分野の研究が再認識されるはずで

す。この電磁流体力学という学問分野は、流体力学と電磁気学の融合分野であり、広くプラズマの運動と電界、磁界と相互作用を研究する分野です。MHD 発電のみならず、MHD 加速・推進、液体金属 MHD 発電、電磁ポンプ、遮断器、核融合プラズマの安定性など多くの分野でこれまでの知見が応用されています。

本技術報告書では、昨今の MHD 発電技術や MHD 関連技術について、高効率 MHD 発電と応用に関する調査専門委員会が協力してまとめたものです。環境負荷の低減や再生可能エネルギーとの連携など新たな方向から MHD 発電と関連技術を検討する委員会に活動を引き継ぎます。若い研究者や学生が本技術報告書を読んでいただいて、意欲を持ってこの分野の研究を進めていただければ、この分野の研究の活性化にもつながり、筆者にとってもこれに勝る喜びはありません。