

氏名 杉 田 寛 之
 学位(専攻分野) 博士 (工 学)
 学位記番号 工 博 第 1942 号
 学位授与の日付 平成 12 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 研究科・専攻 工学研究科電気工学専攻
 学位論文題目 Numerical Study on Solid-Fueled Pulsed MHD Generator
 (固体燃料パルス MHD 発電機に関する数値解析的研究)

論文調査委員 (主 査)
 教授 奥村浩士 教授 島崎真昭 教授 牟田一彌

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、地殻構造探査や地下資源調査などに用いられる固体燃料のパルス MHD (電磁流体) 発電機ならびに自己励磁過程を含む発電機システムの動作特性を、数値解析的手法を用いて明らかにするとともに、発電機内部の MHD 流れ場における液滴粒子の振る舞いとそれが発電特性に及ぼす影響について考察した結果をまとめたものである。

第 1 章では、アルミニウムを含む固体を燃料としたオープンサイクル方式の一種であるパルス MHD 発電機の用途ならびに研究の歴史的背景を述べ、その現状ならびに問題点に言及している。

第 2 章では、パルス MHD 発電機の数学モデルの構築にあたっての仮定を述べ、それに基づいて気相の基礎方程式、酸化アルミニウム Al_2O_3 を含む液相の作動流体の基礎方程式を示し、これらと電磁流体方程式とを連立させてパルス MHD 発電機の気相と液相との間の相互作用を考慮した気液二相電磁流体の数学モデルを提案している。

第 3 章では第二章で求めた数学モデルを一次元化し、パルス MHD 発電チャンネル内部の気液二相流の基礎的な性質を調べている。次いで、ロシアの高温研究所 (IVTAN) にある 3 チャンネルのパルス MHD 発電機パミール-3 U の一チャンネルについて一次元化モデルを適用し、基本的な動作特性を計算している。その結果、液相の粒子粒径が異なると二相間の相互作用が変化し、電磁流体の速度分布、温度分布などが変化することを明らかにしている。さらに、3 つのチャンネルとコイルから構成される発電機システム全体の自己励磁の様子を調べ、それがパミール-3 U の実験結果と比較しかなりよく一致することを示している。また、運転条件を変えて出力特性、チャンネル電流と磁束密度の関係などを計算し、このシステムが負荷変化に対して比較的定出力特性をもち、大電流を取り出すために最適に設計されていることを明らかにした。さらに、最大の電気エネルギーを取り出すことのできるシステムを提案するとともに、その電圧電流特性など発電機として必要な特性を調べている。

第 4 章では液相の流れにおける粒子に粒径分布の存在を仮定して、液相の流れの中で粒子間の衝突結合と分割の確率を考慮した酸化アルミニウム液滴粒子のより実際に近いモデルを構成し、一つのチャンネルについてパルス MHD 発電機の数学モデルを構成している。次に、これを用いて粒子間の衝突結合と分割が粒径分布に及ぼす影響、粒径分布が気液二相流に及ぼす影響などについて検討し、ノズルの入り口からスロート部において粒子の衝突結合が多く発生することを見出している。

第 5 章ではパルス MHD 発電機のモデルを一次元モデルより実際に近い気液二相流の二次元数学モデルを構成している。この二次元モデルを用いて、はじめに粒子間の衝突結合は考慮せず個々の粒子の振る舞いを考慮して動作特性を解析し、気相と液相の温度分布と速度分布を計算した。すなわち、粒径が 15 ミクロンと 5 ミクロンの粒子モデルならびに気液平衡粒子モデルにより、一つのチャンネルについてその流体的動作の違いを明確にしている。その結果、衝撃波により気液境界層に剥離が生じる電圧において、液滴粒子の粒径が大きくなるほど境界層剥離が小さくなり、垂直衝撃波が生じることを明らかにしている。つぎに、この二次元モデルによりパルス MHD 発電機の運転上問題となる液滴粒子のチャンネル壁への衝突の影響

を調べている。その結果、粒径が15ミクロンの場合、チャンネル部のダクト広がり角が小さくなったところでは液滴粒子の衝突が激しくなることを見出している。さらに、境界層に剥離が発生したときは、液滴粒子の衝突が減少、一方で壁面熱損失が増大することを見出している。

第6章は各章の要約をしている。

論文審査の結果の要旨

本論文は固体燃料パルス MHD 発電機と自己励磁過程を含むシステムの動作特性を明らかにするとともに、発電機内部の MHD 流れ場における液滴粒子の相互作用を含めた二次元的振る舞いと、それが発電特性に及ぼす影響について数値解析的手法を用いて考察した結果をまとめたものである。得られた結果の主なものは次のとおりである。

1. パルス MHD 発電機の気相と酸化アルミニウム Al_2O_3 液相の二相流の相互作用を含む数学モデルを構成した。
2. この数学モデルを用いてロシア共和国の自己励磁式パルス MHD 発電機システム「パミール-U3」の動作解析を行い、その結果とロシアの実験結果との比較を行い、モデルの妥当性を示した。
3. この数学モデルによる解析結果をもとにより大きな電気出力を有するパルス MHD 発電機システムを提案した。
4. 酸化アルミニウム液滴粒子の衝突結合と分割を考慮した粒子モデルを提案し、それを用いたパルス MHD 発電機チャンネルの気液二相流解析を行い、粒径分布が二相流の振る舞いに及ぼす影響を明らかにした。
5. 液滴粒子の大きさによる気液二相間の相互作用が境界層剥離や衝撃波、液滴粒子の発電チャンネル壁への衝突などに及ぼす影響を明らかにした。

以上、本論文は、固体燃料パルス MHD 発電機の数学モデルを提案し、それを用いて発電機の種々の特性を明らかにしたもので、学術的、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年2月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。