

氏 名	沼 野 正 博 ぬま の まさ ひろ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 306 号
学位授与の日付	昭 和 44 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Theoretical Studies of the Performance Characteristics of Magnetohydrodynamic Electrical Power Generators (電磁流体発電機の動作特性に関する理論的研究)

論文調査委員 (主 査)
教 授 岐 美 格 教 授 西 原 宏 教 授 向 坂 正 勝

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は電磁流体電機の動作特性について、理論的に研究した結果をまとめたもので、10章からなっている。

第1章は緒論である。電磁流体発電に関する研究の現状と問題点を述べて、本論文において解析すべき事柄を明らかにしている。以下二部にわけ、第1部ではフェラデー形線発電機を、第2部では渦流形発電機を研究している。

第1部は、第2章から第6章までの5章からなり、フェラデー形線発電機の電極の種々の長さや配置のもので、作動流体の導電率とホール係数を一定と仮定して、磁場（一様に）垂直な平面内で二次元的に解析を行ない、電流分布や電位分布などを求めたものである。

第2章では第一部における理論解析の基礎式を導き、特に、誘導起電力を含んだポテンシャルが二次元プラスの方程式を満足すること、そのポテンシャルに対応する流れ関数を用いると境界条件が簡単に表わされること、さらにこれら二者を組み合わせた複素ポテンシャルから電流の大きさと方向が容易に計算できることを示している。この基礎式を用いて、第3章から第5章までの具体的な問題を、等角写像法によって得られた複素ポテンシャルをもとにして解析している。

第3章は十分長い対向電極をもつ発電機において、ホール効果のために生ずる電流分布や電位分布のひずみを、発電機の入口と出口についてそれぞれ別々に解析したものである。ただし入口では、電極の上流端にシード面を設けてシードを流れに垂直な平面内に一様に混入する。電流は陰極の上流端、陽極の下流端に集中し、入口および出口における電流分布や電位分布のひずみはホール係数とともに増すが、それは電極端からの距離が発電チャンネル幅の程度の範囲に限られる。また電流分布のひずみのために、見かけ上、電極の長さが伸びたようになる。なお、入口における電流分布のひずの方が出口におけるそれよりも大きい、これはシード面を電極の上流端に設けたためである。

第4章はシード面の位置の影響を解析したものである。発電機は一对の対向する有限長の電極をもつも

のとし、前章で述べた入口と出口の電流分布のひずみの相互干渉についても考察している。シード面が電極よりも上流側に移るにつれて、発電機の内部抵抗は減少し、同時に電極面上の電流密度は入口付近で急激に増加する。しかし、シード面が発電チャンネル幅の約半分の距離以上電極から上流側に移ると、もはや発電機の電気特性はほとんど変化せず、シード面が無限に上流にあるとしたときのそれとほぼ等しい。また入口と出口の電流のひずみのために生ずる電極の長さの見かけ上の伸びは、前章で別々に得た入口と出口における伸びの和に等しい。内部抵抗はホール係数とともに増すが、発電チャンネルの中心線上の電流密度の分布の形はホール係数によらない。入口と出口の電流分布のひずみの相互干渉は、電極の長さが発電チャンネル幅の二倍以上のときにはほとんどない。これは前章の結果と一致している。なお本章や次章の解析において、発電チャンネルの幾何学的な形状だけできまる形状係数を導入することによって解析を容易にしている。

第5章は、電極端における電流の集中を緩和するために、有限長の電極を互にずらした場合について解析したもので、シード面の位置の影響もあわせて考察した。電極もずらした場合にも、発電機の内部抵抗は、前章で得られた式と同様の式で求められる。ただし、電極のずれを考慮にいった形状係数を用いる必要がある。また内部抵抗は、シード面の位置が電極の上流側のどこにあって、電極をずらす方向には無関係である。さらに内部抵抗を最小にするような電極のずれが存在し、そのずれはシード面が上流側に移るにつれて小さくなる。そして、シード面が発電チャンネル幅の約半分の距離以上上流側に移ると、それが無限に上流にあるとみなしてよい。さらに電極の種々の大きさや配置のもとで、電流の流線を計算して、電極をずらすことによって、電極端部における電流の集中が緩和され得ることを示している。このことは、分割電極をもつ発電機の場合にもあてはまることを、解析の結果明らかにしている。そしてその場合、電極面上の電流密度分布は一对の電極をもつ発電機のそれとよく類似しているが、発電チャンネルの中心線上では、もっとはるかに一様である。

第6章は、電極面に沿って流れる圧縮性流体の層流境界層内の速度分布を解析し、その結果を用いて電圧降下の大きさを推定したものである。ただし、電流は電極面に垂直に流れる場合を扱い、また温度分布は一様と仮定した。境界層の厚さはうすいので、大型の発電機においては、速度分布は一様と考えてよく、また電極面近くの対流電流は、通常の発電機では伝導電流にくらべてきわめて小さいので、その効果は無視してよい。電圧降下は境界層の厚さに比例し、それと電極間の電圧との比は境界層の厚さと発電チャンネル幅との比のおよそ六割に等しい。

第2部は、第7章から第9章までの三章からなり、内側から外向きに流体が亜音速で流れる渦流形発電機の動作特性を、磁場（一様に）垂直な平面内で二元的に解析したものである。ただし電極は同心円柱状に配置され、また流体の粘性や熱伝導は省略してある。

第7章は、この種の発電機の特性を基礎的に考察するために、非圧縮性流体で、導電率などの物性値も一定な場合を扱っている。発電特性はホール係数と、流体の流入角に依存し、最大の電流とそれに対応する流入角とは、ホール係数が増すと減少する。単位時間に流入する流体の運動エネルギーの電気出力への変換率は、ホール係数が大きくなると、流入角にあまり依存しなくなる。さらに、発電機の内部抵抗は、流体の導電率やホール係数ばかりでなく、流入角にも依存するので、流入角を調節することにより、イン

ピーダンス整合をとることができる」と述べている。

第8章において、電磁場による電子温度の上昇を、ローレンツ近似のもとに、ボルツマン方程式をモーメント法によって解析で求めた。この結果は第9章において用いられる。電子温度の上昇に要する時間はおよそ $10\ \mu\text{S}$ であり、電子温度上昇は、シード率が最適のとき、主ガスとシード物質の換算質量に比例する。また電子温度上昇による導電率の上昇値は、温度がはなはだしく高くないときには、実験結果とよい一致を示す。

第9章は、第7章で扱った発電機について、ガスの圧縮性、ガスの導電率やホール係数の温度、圧力による変化、非平衡電離による電子温度の上昇を順次数値計算にとり入れて、発電特性がどのように変化するかを考察したものである。圧縮性だけをとり入れてその影響を調べると、半径方向の流速が半径方向に急速に減少するので発電特性は劣化する。一方、ガスの温度は半径方向に増すので、導電率が增大することを考慮するとすぐれた発電特性が得られる。さらに非平衡電離を考慮すると、ますます良好な特性が得られ、変換率も増すが、電子温度の上昇分は半径方向に減少する。そして、出力密度は、内側の電極の近くで大きく、半径方向に減少する。流体の流入角は約 45° がよいと述べている。

第10章は、以上の結果を総括して結論としている。

論文審査の結果の要旨

電磁流体発電に関する研究や技術開発は、最近世界の多くの国々で盛んであって、二年おきに開催される国際シンポジウムからもその現状が知られるのであるが、解決すべき問題も数多くある。特に、原子炉との結合において重要な、不活性ガスにアルカリ金属をシードしたガスを作動流体とする密閉サイクル方式の電磁流体発電機においては、作動ガスの低い温度で比較的高い導電率を得る必要がある。そのために、発電チャネルにおける誘起電界による電子温度の上昇を利用することが考えられ、研究されている。しかし、磁束密度を増すと、ホール係数が大きくなるので、ファラデー形線形発電チャネル内の電流分布は一様でなくなり、電極端に電流が集中するようになり、さらにガスプラズマの不安定も生ずるので、発電性能が劣化する。著者はこのような点に注目して、発電チャネル内の電流分布や電位分布を解析することが極めて重要なことと考えて、電極の種々の長さや配置のもとで、一様な磁場に垂直な平面内で二次元的に、発電機の基本的な動作特性を解析した。さらに、線形発電機内に生ずる電流分布などの非一様性をさける形状にするために、渦流形発電機をとりあげ、流体の圧縮性、導電率やホール係数の変化、非平衡電離の及ぼす影響も考慮して、その発電機の基本的な動作特性を解析した。

本研究の主な成果は次の通りである。

- 1) ファラデー形線形発電チャネル内の電流分布を理論的に解析するために基礎式を導き、電極の種々の長さや配置、シード面の位置、対向電極のずれ、電極の分割などが電流分布に及ぼす影響を比較的容易に、かつ統一的に解析できるようにした。
- 2) 対向電極の端に電流が集中するが、電極の長さが発電チャネル幅の2倍以上になると電流分布のひずみの相互干渉はほとんどない。
- 3) シード面が電極端から上流側へ、発電チャネル幅の約半分の距離以上移ると、発電機の電気特性は

ほとんど変化せず、シード面が無限に上流にあるとしたときと同じようになる。

4) 対向電極を互いに適当にずらすと、電極に電流が集中することが緩和される。このことは分割形の電極の場合にもあてはまる。

5) 電極面に沿うて発達する境界層の厚さに比例する電圧降下を生ずるが、境界層の厚さはうすいので、大型の発電機では、通常無視してよい。

6) 亜音速で、外向きに流れる渦流形発電機の発電特性は、ホール係数ばかりでなく流体の流入角に依存する。圧縮性流体の場合に、流体の温度は半径方向に増すので、導電率の変化や非平衡電離を考慮すると、発電特性は良くなる。

7) ローレンツ近似を用いて、ボルツマン方程式からもモーメント法で解析された電子温度の上昇は、シード率が最適のとき、主ガスとシード物質の換算質量に比例する。電子温度上昇による導電率の上昇値は、温度がはなはだしく高くないときには、実験値とよく一致する。

8) 従来、理論的研究のほとんど行なわれていなかった、渦流形発電機の基本的な動作特性が明らかになった。

以上要するに本論文は、電磁流体発電機の基本的な動作特性について理論的解析をない、基礎的知見を与えたもので、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。