

【 42 】

氏名	平 本 立 躬 ひら もと たつ み
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 105 号
学位授与の日付	昭 和 40 年 9 月 28 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	Nonequilibrium Characteristics of the Working Plasmas for Magnetoplasmadynamic (MPD) Generators (電磁流体力学発電器作動プラズマの非平衡特性)
論文調査委員	(主 査) 教 授 四 手 井 綱 彦 教 授 小 林 稔 教 授 林 忠 四 郎

論 文 内 容 の 要 旨

MPD 発電の方式を原子力発電に応用する場合には、作動ガスとして希ガスにアルカリ蒸気を混合したものを使用できるので、発電器内での誘導電場、あるいは外部からの印加電場でその電子温度がガス温度より高くなり、非平衡状態が実現され、低いガス温度にもかかわらず高い導電率、したがって高出力密度の発電が期待できる。

この論文は MPD 発電器の作動プラズマが、電場内でのどの程度の非平衡電離をし、またそれが発電器の特性にどのような影響をおよぼすかを理論的に調べたものである。

この問題についての基礎的実験は数年前より諸外国の研究者ならびに申請者等(参考論文その6)によって行なわれているが、それらの実験結果は、簡単な理論ではよく説明できない。実験の結果によると、1) 電子のエネルギー損失は、ガス分子との運動量輸送衝突の過程のみとしたものより可なり大きい。2) j (電流密度) - E^* (電子系より見た電場) 曲線は条件によっては単調増加曲線とならない。

申請者は、これらの諸問題を解明するため、再結合と電離とで電子密度が定常に保たれるという事実より、非平衡状態での電離式を導いた。再結合および電離の過程については、希ガスとアルカリ蒸気の混合ガスで考えうるすべての過程を検討した。まず考えうる6過程について再結合係数を求め、ここで考えているような混合ガスについては、三種の three body recombination が主要な役割をもつことを示した。つぎに電離度を求めるには、熱平衡状態で成立する詳細約合の原理を適用して、非平衡状態にまで一般化した Saha の式を導いた。

この一般化した Saha の式によると、原子-原子の衝突による電離過程の存在により、電離度は電子温度 T_e の低いところでは T_e への依存性は弱く、従来取り扱われていたように Saha の式で $T = T_e$ とした場合の計算結果程には増加しないことが知られた。ただし T_e が高くなると、Saha の式で $T = T_e$ としたもので充分近似しうることもわかった。

電子エネルギー収支式に関しては、MPD ガスの輻射の測定値よりえた輻射損失が無視し得ないという

実験結果より(参考論文その6), 申請者は, 運動量輸送衝突時のエネルギー損失の他に, 共鳴線と再結合による輻射損失を考慮に入れている。

結局一般化した Saha の式より $Te-Ne$ (電子密度) の関係が, またエネルギー収支式より $Te-E^*$ の関係がえられる。この二つの関係より E^*-Ne, σ (導電率)- j の諸特性が導かれる。これらの関係式を, 発電機に実際に使用する $He+Cs, Ar+K$ に適用すると, 従来の実験結果とよい一致を示した。

また数値計算の結果, 希ガス+アルカリ蒸気を作動ガスとする MPD 発電機では, その誘導電場により非平衡電離が可能となる条件が明らかになった。たとえば $He+1\%Cs$ の大気圧ガスでは, ガス温度が $1000^\circ K$ では $j-E^*$ 曲線は単調増加とならず, E^* の極大値 E^*_M が現われる。これが従来このような低温で非平衡電離がうまく生じなかった一つの理由である。しかし約 $1500^\circ K$ 以上のガス温度では E^*_M は現われない。また E^*_M が現われたとしても, たとえば印加電場により導電率を上昇させれば, 非平衡電離が MPD 発電機の誘導電場内で保持し得ることも示された。

結局申請者がはじめて導いた一般化された Saha の式と, 電場中でのエネルギー収支式をつかって, 非平衡特性をもつ発電機の基本設計をするための条件, および発電機の諸特性を与える式がえられた。またそれらの式が, 従来の実験結果と比較してよい一致を示すことが確かめられた。

参考論文その1は, 拡散炎の安定限度と流体力学的条件との関係を実験的に求め, 理論的考察を加えたものである。参考論文その2は, ボルツマン方程式をつかって, 不完全電離プラズマの導電率を論じ, MPD 発電法の原子力発電への利用について検討したものである。参考論文その3では, $1000\sim 2000^\circ K$ のシードされた希ガスに瞬間的に電場を加えて電離度を上昇させる方法を理論的に検討し, 非平衡電離プラズマを MPD 発電に利用する可能性があることを結論している。参考論文その4では, MPD 発電に利用しようとする立場から, Ionization Freezing が生ずる条件を検討している。参考論文その5では, MPD 発電の原子力発電への利用についての基礎的諸問題を検討し, 非平衡電離法の利用が有利であると結論した。参考論文その6では, $A+K$ の混合ガスの導電率を測定し, 導電率の上昇を左右する因子を論じた。参考論文その7では, $A+Na$ の混合ガスの電子温度を分光学的に測定するとともに, $Te-j$ の関係を求めた。その結果, 主論文で得た輻射損失の項を入れたエネルギー収支式が, 非平衡電離度の推定に利用し得ることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は, MPD 発電に応用される希ガス中にセシウム等の電離しやすい単原子をふくむプラズマの非熱平衡状態のエネルギーバランスを, 電離と再結合の諸過程の詳細釣合から出発して取り扱ったもので, 電磁場中にあるプラズマの電離度, 導電率, 輻射損失などの基本的性質を明らかにする上で重要な意義をもつものである。

MPD 発電の方法には, 熱平衡プラズマを用いるものと, 非平衡プラズマを用いるものがあるが, 後者については, プラズマの基本的な性質がまだ十分明らかではない。

これまでは, 非平衡プラズマの電離度は, Saha の式で, 平衡ガス温度のかわりに電子温度を用いて電離度が与えられるものとされていた。しかし申請者は一般に電離と再結合の各過程を詳細に検討し, 詳細

釣合の原理を適用して、一般化された Saha の式を導くことができた。上述の電子温度を用いた Saha の式は、電子一原子の衝突による電離が主体となるときには正しいが、非平衡 MPD 発電で問題となる 1500°K という温度では原子一原子衝突電離がきいてくるので、申請者の導いた一般化された Saha の式を用いねばならないことを示した。これに類する取り扱い、Talast によってもなされているが、詳細釣合を考慮していないので、熱平衡に近づけた極限では Saha の式に一致しないという不合理を生じている。本論文では、この点は矛盾なく形式化されている。これが申請者の得た第一の成果である。

つぎにこの事実をもとにして、プラズマ中の電子系のエネルギーバランスが考察されている。電子エネルギー損失としては電子一原子間の弾性衝突の他に輻射損失が研究された。すなわち、共鳴線と再結合における輻射損失が定量的に導かれ、エネルギー損失が明らかにされた。この取り扱いは一般的なもので、今後この方面の研究に広く応用し得るものと考えられる。

また、理論的取り扱いのみでなく、数値的な計算の例も示されており、たとえば、米国の Kerrebrock 等の実験で測定された、非平衡プラズマ中の電流一電圧曲線に現われた原因不明のピークをはじめ説明している。また、申請者等が行なった実験結果（参考論文その 7）は、この理論を用いて満足に示すことができ、この理論の妥当性を示している。

これらの結果は非平衡 MPD 発電の研究を進めてゆくために必要な理論計算の基礎をつくったものであるとともに、非平衡状態が発生するための“しきい値”ともいべき電圧を定量的に与えるものであって、実用上も極めて有用である。

参考論文は、いずれも MPD 発電を目標とする、プラズマの基本的な諸性質についての、理論的ならびに実験的研究であり、価値ある結果を得ている。

以上のように、申請者の研究は、プラズマ物理学の分野の重要な問題を解明し、その分野の基礎的、実用的両方面の進歩に貢献するところが大きい。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。