

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	MPDスラスタの電磁流体・熱連成シミュレーション
Title(English)	Coupled Plasma Flow and Thermal Simulation of a Magnetoplasmadynamic Thruster
著者(和文)	川崎 央
Author(English)	Akira Kawasaki
出典(和文)	学位:博士（工学）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10209号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:奥野 喜裕,堀岡 一彦,堀田 栄喜,長崎 孝夫,赤塚 洋
Citation(English)	Degree; Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10209号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		川崎 央	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	奥野 喜裕	教授	審査員	赤塚 洋	准教授	
	審査員	堀岡 一彦	教授				
		堀田 栄喜	教授				
		長崎 孝夫	准教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は，“Coupled Plasma Flow and Thermal Simulation of a Magnetoplasma-dynamic Thruster”（MPD スラスタの電磁流体・熱連成シミュレーション）と題し、英文で書かれ、全 6 章から構成されている。

第 1 章“Introduction”では、本研究で対象とする定常作動自己誘起磁場型同軸形状 MPD スラスタの特徴と開発課題について述べている。スラスタの実用化には性能予測の向上だけでなく、寿命の観点から適切な熱設計が不可欠であり、その際スラスタへの投入電力の見積には印加電圧の評価が、またスラスタ構成要素の温度分布の見積には熱流束の評価が必要となるが、いずれも電極や絶縁壁近傍の静電シースを介しての荷電粒子束を正確に評価する必要があるとし、静電シースを介した電磁流体・熱連成シミュレーションの必要性を述べ、本研究の意義と目的を明確にしている。

第 2 章“Coupled Plasma Flow and Thermal Model”では、本研究で用いた静電シースを介した電磁流体・熱連成シミュレーションのモデルについて述べている。モデルは、スラスタ放電室内のバルクプラズマ領域、電極・絶縁壁領域、そしてそれらをつなぐ静電シース領域に分けて構築され、お互いが矛盾なく整合するように統合している。静電シースは、無衝突平面シースモデルを基本とし、陰極シースでは熱電子放出を考慮している。ただし、その内部の電界や荷電粒子束などの諸量は解析的に求め、プラズマ流れと電極・絶縁壁面をつなぐと同時にそれらの境界条件として与えている。

第 3 章“Plasma Flow Behavior Including Electrostatic Sheath”では、陰極に既往実験で計測された温度分布を与え、プラズマ流れと静電シースのみが連成したシミュレーションを行い、実験結果との比較からモデルの妥当性を検討している。特に、境界条件としてシースモデルを適用する場合としない場合との比較を行うとともに、放電電流のプラズマ諸量やその経路に与える影響を検討している。その結果、静電シースの存在によりイオン数密度が電極近傍で低下し、そのことがホールパラメータを増加させ、陽極出口端への電流集中を助長すること、また陰極ではその温度分布に従って電流集中が生じることを指摘している。またシースモデルを適用することにより、実験結果に近いシース電圧や電極への熱流束を見積ることができ、推進効率や熱負荷のより正確な予測が可能になったとしている。

第 4 章“Thermal Characteristics Coupled with Plasma Flow”では、陰極根元温度のみに実験値を与えた陰極熱モデルを考慮した完全な連成シミュレーションを行っている。陰極に実測された温度分布を与えた第 3 章での結果と比較すると、わずかに実験結果からのずれは大きくなるものの概ね一致したとしている。放電電流を増加させると、陰極先端では電流密度や熱流束が概ね一定となるように放電の集中領域や高温領域が陰極根元方向に広がること、そこでの電流は主に陰極からの熱電子放出が担う一方で、熱流束は陰極へのイオン束が担うことを示している。一方温度分布は、主に流入熱流束と放射による損失で決まることを示している。これらのことは、すべてを自己無撞着に評価できる電磁流体・熱連成シミュレーションにより初めて得られたとしている。

第 5 章“Design Study Based on Plasma Flow and Thermal Coupling”では、実用 MPD スラスタの熱設計に向けた基礎的な検討を行っている。ヒートパイプを利用した 100kW 級の放射冷却形スラスタにおいて、陰極の半径や長さ、陰極根元温度が推進性能および熱的特性に与える影響について検討している。その結果、陰極を細くすると推進性能は向上し、細く長くすると陰極ラディエータによる冷却量を減少させるが、極端に細い場合はジュール熱による加熱が、また極端に長い場合は陽極端への電流集中が懸念されるとしている。また陰極根元温度を低く設定することは、陰極の最高温度の低下には繋がらない上に陰極ラディエータによる冷却量を増加させることを指摘し、陰極の設計における留意点を明確にしている。

第 6 章“Concluding Remarks”では、本研究での電磁流体・熱連成シミュレーションにより得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

以上要するに、本論文は、MPD スラスタにおいて、電磁流体・熱連成シミュレーションモデルを開発し、実用化に不可欠な性能予測の向上と熱設計指針の明確化に向けた新たな知見をまとめたもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

