T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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)	川﨑央
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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	創造エネルギー　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	川﨑　央	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	奥野　喜裕
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

近年の深宇宙ミッションの大規模化に伴い，将来的には宇宙機の主推進としての電気推進の更なる大型化が見込まれるが，その様な状況下において，将来技術の１つとして，電気推進の一種であるＭＰＤ（magnetoplasma-dynamic）スラスタの開発研究が活発に継続されてきた．本研究では，大電力作動の観点から特に定常作動自己誘起磁場型のＭＰＤスラスタに着目した．本スラスタは，通常，ノズル状陽極および棒状陰極を同軸配置し，その間に大電流放電を生じさせることで，主として Lorentz 力により推力を発生させる．この様な作動原理に起因して，投入電力から推進仕事への十分に高い変換効率と，宇宙空間での作動を意図した実用的な熱設計とを両立させる最適設計が実用化の上での重要な課題となっている．そこで本研究においては，数値シミュレーションの活用による最適設計の加速を標榜した．推進性能の見積もりに必要な投入電力，およびスラスタ構成要素の温度分布の見積もりに必要な壁面熱流束に関する確度の高い予測のためには，電極や壁近傍の静電シースを介しての荷電粒子束の評価が重要となることから，本研究においては，既往の数値モデルを統合，拡張することで，新たに静電シースを介した電磁流体・熱連成シミュレーションモデルを構築し，その妥当性を検証するとともに，スラスタの設計指針の確立へ向けた検討へ応用した。

第 2 章においては，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が説明される。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，互いが互いの境界条件を与えることにより，整合的に統合している。静電シースは，無衝突平面シースモデルを基本とし，陰極シースに関しては熱電子放出を考慮した。特に，バルクプラズマと静電シースの境界（シース端）では，そこでの荷電粒子束，およびそれから決まる熱流束ならびに電位を与える点が重要である．

第 3 章においては，陰極に既往実験で計測された温度分布を与えて，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。加えて，境界条件としてのシースモデルの適用の有無，および放電電流増加のプラズマ諸量や放電構造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電極近傍でイオン数密度が低下し，そのことが Hall 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，また陰極では概ねその温度分布に従って電流集中が生じることが分かった。またシースモデルを連成することで，これまで実験的な経験値が仮定されることが多かったシース電圧や電極への熱流束に関して，数値シミュレーション上で実験と整合的な見積もりを実現した．

第 4 章においては，陰極根元温度のみに仮定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た。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，わずかに実験結果との差異は大きくなるものの，ここでも実験との概ねの整合が確認された。放電電流を増加させると，陰極先端では電流密度や壁面熱流束は概ね増加せずに，放電の集中領域や壁温の高い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が示唆された。また，陰極温度分布は，主に熱負荷と放射による放熱のバランスで決まることが示唆された。これらのことは，電磁流体現象と熱現象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結果である。

第 5 章においては，実用 MPD スラスタの熱設計に向けた基礎的な検討を行った。ヒートパイプを利用した 100 kW 級の放射冷却型スラスタにおいて，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た。その結果，陰極を細くすると推進性能は向上し，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こと，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が示唆され，電極の設計における留意点が明らかとなった。

第 6 章においては，以上を総括するとともに，今後の課題ついて述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	創造エネルギー　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	川﨑　央	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	奥野　喜裕
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

A steady-state, self-field magnetiplasmadynamic (MPD) thruster is one of the prospective candidates of future high-power electric propulsions. In development process of an actual MPD thruster, adequately high thrust performance and an appropriate thermal design must be attained at the same time. This is difficult and has not been completed yet. Hence in this thesis, utilization of numerical simulation is attempted for acceleration of the development processes.

To assess thrust performance and thruster temperature accurately in numerical simulation, appropriate evaluation of input electric power and wall heat flux are required, and these quantities are known to be affected significantly by electrostatic sheaths in the electrode vicinities. Thus in this thesis, a conventional simulation model of plasma flows in thrusters are extended to a coupled plasma flow and thermal simulation model by incorporating phenomena relevant to electrostatic sheaths. In the model, a bulk plasma region and wall regions are coupled through electrostatic sheath regions, which are presumed to have infinitesimally small thicknesses.

By the coupling, numerical simulations reproduced thrusts, discharge voltages, and wall heat loads consistent with previous experiments for some operation conditions. Besides, more realistic flow fields, discharge structures, and cathode temperature distributions, in which interactions between plasma flows and walls are reflected, have been obtained.

Additionally, simulations suggested some design guidelines for electrodes under sufficiently small Joule heating. That is, a thin cathode is advantageous for thrust performance. A long cathode is advantageous to lower requirements for cooling at its root. A low cathode root temperature does not contribute to reduce cathode tip temperature.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).