九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

Study on Experimental Demonstration and Numerical Simulation of Magnetic Thrust Chamber System

前野, 旭弘

https://doi.org/10.15017/1485068

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏　　名：前野　旭弘

論文題名：
Study on Experimental Demonstration and Numerical Simulation of Magnetic Thrust Chamber System
（磁気スラストチャンバーシステムの実験的実証と数値シミュレーションに関する研究）

区　　分：甲

論　文　内　容　の　要　旨

先日，アメリカ航空宇宙局（NASA）は火星無人探査機「Curiosity」の調査によって太古の火星に微生物の生存活動に適した環境があったことを発表した.今後もNASAは火星探査を継続する方針で,さらにNASAだけではなく各国の宇宙機関や民間組織も将来的な有人火星探査を計画している．このような惑星間有人探査の最大の課題は宇宙船搭乗員の宇宙放射線被爆量を低減することである．そのためには宇宙滞在期間を短くすることが効果的で，そのためには高推力で高効率な宇宙推進システムが必要である．その有力な候補の一つが核先進国としてアメリカを牽引しているロスアラモス国立研究所やローレンスリバモア国立研究所によって提案されたレーザー核融合ロケットである．レーザー核融合ロケットの推進システムとしては磁気スラストチャンバーシステムが有望であり，超伝導電磁石が発生する磁場とその磁場中に生成されるレーザー核融合プラズマの反磁性電流との相互作用によって力積を生成して宇宙船を前進させる．過去，磁気スラストチャンバーシステムに関する研究は数々行われてきたが，主にレーザー核融合ロケットを対象としたもので，レーザー核融合プラズマの磁場中での三次元挙動解析を行う3D Hybrid PIC (Particle In Cell)コードによる数値シミュレーションが中心であった．また，本システムの実現可能性については原理通りに力積が生成されないのではないかという指摘もあり，その実験的な実証が求められてきた.

そこで本研究では，大阪大学レーザーエネルギー学研究センター（阪大レーザー研）と共同研究を行い，ネオジウム永久磁石とプラスチックターゲットによるレーザー生成プラズマを用いた磁気スラストチャンバーシステムが力積を生成することを実験的に初めて実証した．また，実験結果をより精度良く数値シミュレーションするために，砂原らが開発したレーザー生成プラズマの生成過程を計算する一次元放射流体コード（Star-1D）と3D Hybrid PICコードをカップリングした数値シミュレーションコード（改良コード）を構築し，レーザー生成プラズマの生成過程を考慮していない数値シミュレーションコード（オリジナルコード）より改良コードのほうが精度

良く実験結果を再現できることを明らかにした．加えて，実験結果と数値シミュレーション結果から得られた各種レーザーパラメータのレーザー生成プラズマを用いた磁気スラストチャンバーシステムの力積への依存性について明らかにした．

本論文は以下の７章から構成されている．

第１章では，将来的な有人火星探査における推進システムの有力な候補であるレーザー核融合ロケットの概要と研究の進展について整理することで，レーザー生成プラズマを用いた磁気スラストチャンバーシステムの実験的な検証と数値シミュレーションにおけるレーザー生成プラズマの生成過程の考慮の必要性について言及し，本研究の意義及び目的を明示した．

第２章では，プラスチックターゲットにレーザービームを照射することによって生成されるレーザー生成プラズマのレーザービームエネルギーの吸収過程の物理について述べ，その吸収過程を取り入れた Star-1D の概要について解説した．

第３章では，レーザー生成プラズマの磁場中での三次元挙動解析を行うために改良した 3D Hybrid PIC コードの基礎方程式，計算アルゴリズム及び数値シミュレーションの時間発展の詳細について述べた．

第４章では，阪大レーザー研と共同実施した力積測定実験について述べた．本実験では力積を測定することに初めて成功し，磁気スラストチャンバーシステムを実験的に実証した．加えて，レーザーパルス幅，レーザー波長及びレーザーエネルギー等の各種レーザーパラメータのレーザー生成プラズマを用いた磁気スラストチャンバーシステムの力積への依存性について明らかにした．また，オリジナルコード，改良コード及び力積測定実験の結果を比較することによって，オリジナルコードより改良コードのほうが精度良く実験結果を再現できることを明らかにした．

第５章では，阪大レーザー研と磁場中のイオン膨張速度測定実験を共同実施した結果について述べた．磁場はネオジウム永久磁石ではなくコンデンサーバンクとコイルを用いて生成した．測定にはチャージコレクターを使用した．その結果，改良コードの結果とイオン膨張速度測定実験の結果が一致していることを明らかにした．

第６章では，第４章と第５章のオリジナルコードと改良コードの両数値シミュレーションの結果が異なる原因を明らかにするために，初期プラズマをラーマ半径がコイル半径より小さいか否かによって低速度領域と高速度領域に分割し，両数値シミュレーションにおける低速度領域及び高速度領域の速度領域の挙動を解析した．その結果，改良コードでは，高速度領域が推進性能に与える影響は少ないが，高速度領域が形成した反磁性キャビティの中を低速度領域が拡がることによって低速度領域が推進性能を向上させることを明らかにした．また，今後の実験の指針となる力積と磁場強度の依存性について両数値シミュレーションを用いて解析し，磁場強度を大きくすることによってラーマ半径が小さくなり推進性能が向上することを確認した．

第７章では，本論文の総括を述べた．