

レーザー核融合ロケットにおける磁気スラストチャンバの機能検証に関する研究

齋藤, 直哉

<https://hdl.handle.net/2324/2236280>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 齋藤 直哉

論 文 名 : レーザー核融合ロケットにおける磁気スラストチャンバの機能検証に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

火星の探査は1960年代からアメリカと旧ソ連によって進められてきた。火星は地球に似た惑星であるため、長い間生命の生まれた可能性のある惑星と考えられてきた。これまでの火星探査は、無人探査機によるフライバイ及び周回軌道からの撮影・計測、無人探査車による火星表面の探査により、火星に水の存在を確認することができた。さらに、アメリカは火星内部のコアからサンプルを地球に持ち帰る、サンプルリターン計画を現在計画している。またアメリカは、これまでの無人探査から次のステップとして、2030年代までに宇宙飛行士を火星に送る有人火星計画を発表した。しかし、無人機ではなく人を火星に送るためには、安全面に最大限の配慮が必須であり、現在も技術的課題が山積している。その最大の問題点が宇宙飛行士の宇宙放射線被曝である。火星までの長期飛行で浴びる放射線の被曝量は、NASAが定める許容量に匹敵してしまう。そのため被曝量の低減のためにも、高推力で高効率な推進システムが求められる。その有力な候補の一つとして、エネルギー密度の高い核融合エネルギーを利用した「レーザー核融合ロケット」が提案された。そして、レーザー核融合ロケットの推進システムとして「磁気スラストチャンバ」が有力であり、超電導電磁石とその磁場中で生成された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推進力を発生させる。これまでの磁気スラストチャンバの研究は数値解析を用いた研究が主に行われてきた。数値解析では、「輻射流体コード」を用いレーザーを固体に照射した時のプラズマの生成過程をシミュレーションし、「3DハイブリッドPIC(Particle in Cell)コード」で磁場中でのプラズマの運動をシミュレーションした。またこの推進システムが実際に推力を発生させるかを実験的に実証するために、核融合プラズマの代替としてレーザープラズマを用いたスケールダウンした磁気スラストチャンバの模擬実験を行い、実際に推力が発生したことが実証された。しかし、磁気スラストチャンバ内のプラズマや磁場の時間変化や、それらのレーザー条件などによる影響などといった、磁気スラストチャンバ内の物理現象に関する計測が不十分であるという問題がある。これらの計測は、上記の数値計算コード(輻射流体コード、3DハイブリッドPICコード)の妥当性検証のためにも重要である。そこで本論文では、レーザーアブレーションプラズマを用いて模擬的な高エネルギープラズマを生成し、磁場中のプラズマの振る舞いの磁場強度およびレーザーエネルギー依存を明らかにした。また、磁気スラストチャンバ内の $\sim 1.0\text{T}$ の数 μs で変動する磁場を非接触で計測するために、プロトンバックライト法の改良に取り組み、その検証を行った。

本論文は以下の5章から構成される。

第一章では、これまでの火星探査の歴史および今後の計画を紹介しつつ、将来の有人火星探査に有望なレーザー核融合ロケットおよびその推進システムである磁気スラストチャンバについて解説し、これまでの研究をふまえて本研究の意義及び目的について述べた。

第二章では、アブレーションプラズマにおける素過程の物理モデルを説明した。

第三章では、磁気スラストチャンバ内のプラズマの振る舞いの磁場およびレーザーエネルギー依存性に関して報告した。実験で用いた発光分光法、干渉法、イオン電流計測法が説明され、さらに得られた結果に関して、磁場やレーザーエネルギーの変化とともにプラズマの振る舞いが変化する様子を確認するとともにレーザー強度から見積もられるプラズマのエネルギーと磁場エネルギーの比によって、振る舞いが整理できることを明らかにした。

第四章では、磁気スラストチャンバ内の磁場計測に関して、磁場計測の問題点、解決策、磁場計測の検証に関して述べている。数MeVのプロトンを利用するプロトンバックライト法ではなく、低エネルギープロトンを用いたプロトンバックライト法を新たに提案し、Nd永久磁石が生成する弱磁場(~ 0.1 T)を用いた検証実験を行い、プロトンの軌道が弱磁場によって曲げられたことを示した。

第五章では、本論文の総括を述べた。