

Study of energy recovery for laser fusion rocket using pick-up coil

池邊将暉¹⁾, 山本直嗣¹⁾, 森田太智¹⁾, 伊勢俊之²⁾, 矢木一博²⁾, 難波慎一³⁾, 中島秀紀¹⁾, 児島富彦¹⁾, 蔵本英祐¹⁾

IKEBE Masaki¹⁾, YAMAMOTO Naoji¹⁾, MORITA Taichi¹⁾, ISE Toshiyuki²⁾, YAGI Kazuhiro²⁾, NAMBA Shinichi³⁾, NAKASHIMA Hideki¹⁾, KOJIMA Tomihiko¹⁾, KURAMOTO Eisuke¹⁾

(1) 九大 2) (株) IHI エアロスペース 3) 广大工

(1) Kyushu Univ. 2) IHI Aerospace Co., Ltd. 3) Hiroshima Univ.

1. はじめに

近年、探査機による観測など多くの宇宙開発が行われており、次のステップとして有人火星探査が計画されている。その宇宙船の動力として大推力・高比推力が特徴のレーザー核融合ロケット(LFR)の使用が検討されている。

しかし、LFRはレーザー照射によって生成したプラズマを磁気ノズルで押し出すことで推力を得ており、連続して稼働させるにはレーザーシステムに膨大なエネルギーを継続的に供給する必要がある。そこで、今回は電磁誘導則を利用した比較的軽量のピックアップコイルの使用を想定し、シミュレーションによって回生エネルギー量の見積もりを行った。また、回収エネルギー量と推力(力積)の関係も調べた。

2. エネルギー回収原理

2.1. LFR推進原理

LFRの推進原理を図1に示す。超電導コイルによって生成された磁場中で、固体ターゲットにレーザーを照射し慣性核融合プラズマを生成する[図1(a)]。膨張するプラズマは、圧縮され磁気圧が高まった外部磁場によって減速され[図1(b)]、磁場の復元力によって後方へと排出される。この反作用によりLFRは推力を得る[図1(c)]。

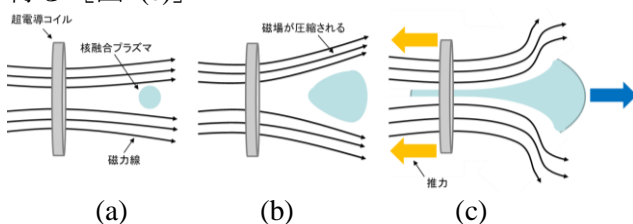


図1 LFR推進原理

2.2. ピックアップコイル

LFRが推力を得る時、プラズマの膨張によりプラズマ周辺では磁束が変化する。この現象を利用して、プラズマ-超電導コイル間に新たなコイル(ピックアップコイル¹⁾)を設置し、磁束変化で生じる誘導電流の回収によってエネルギー回生を行う。

3. シミュレーション手法

初めに、ピックアップコイル領域の磁束の時間変化を計算し、誘導起電力を算出する。次に、エネルギー回収回路の回路方程式から電流を計算し、回収エネルギー量の見積もりを行う。このコードを3次元ハイブリッドコードに組み込み、回収エネルギー量の時間変化やエネルギー回収による推力への影響を調べた。3次元ハイブリッドコードは、プラズマ中のイオンは粒子、電子は慣性を無視した流体として扱い、主に磁場中のプラズマの挙動を計算するコードである。

4. シミュレーション結果

図2にピックアップコイルの位置と回収エネルギー量及び力積の関係を示す。縦軸は回収エネルギー量と力積、横軸はピックアップコイルと初期のプラズマとの距離を表している。

本研究では、プラズマの初期運動エネルギーを4MJ、ピックアップコイル半径を超電導コイル半径(1m)よりも小さい0.9mに設定し計算を行った。

回収エネルギー量は距離が近くなるほど増加し、距離0mではプラズマの運動エネルギーの約4%を回収できることが分かった。

力積は回収エネルギー量に反比例し、距離が近くなるほど減少した。

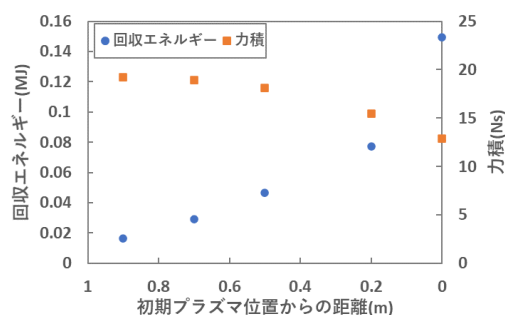


図2 コイル位置と回収エネルギー量及び力積の関係

6. 参考文献

1) H. Nakashima, et al., Design Study of Laser Fusion Rocket, 研究開発ノート, 1991