

宇宙航行用アノードレイヤー型ホール推進機の作動特性

XXX 所属 XX

○AA 名前 AA、BBBBBB

XXX 所属 XX

CC 名前 CC、DDDDDD

Operational Characteristics of Anode-Layer-Type Hall Thrusters for Space Propulsion

○aaa 英文 aaa*, bbb 氏名 bbb* and ccc 氏名 ccc**

*XXXXXXXX 英文所属 XXXXXXXXXXX

** XXXXXXXXXXX 英文所属 XXXXXXXXXXX

1. まえがき

アノードレイヤー型ホールスラスタは、安定作動領域が狭いなどの理由により、現在主流となっているマグネティックレイヤー型ホールスラスタに遅れを取っているが、その構造上の特徴から高効率・高耐久性のスラスタとして期待されている。特に 1kW 級のアノードレイヤー型ホールスラスタは人工衛星の軌道制御・遷移用のスラスタに適していると考えられ、作動の安定化と高効率化がその実用化に向けて求められている。これまでの研究により、ホローアノード内部の磁場強度を低下させることで推進性能を向上させられることが明らかになった。本研究では更なる推進性能の向上を目指し、末広がり状の推進剤流路を有するホローアノードを適用した。流路形状を末広がり状にすることでアノード内部でのイオン生成効果が高まることが期待される。またアノード内部の磁場強度低下による性能向上が、イオン生成・加速過程のどのような変化によるものかは検証されていない。そこで本研究では、アノード内部の磁場強度の低下と、それに加えて、推進剤流路形状の変化がイオン生成・加速過程に与える影響を推察するために、噴出イオンビームの計測も行った。

2. 実験装置

図 1 に実験装置の全体構成を示す。スラスタの作動はステンレス製水冷ジャケット式真空チェンバの中で行った。真空チェンバの直径は 1200mm、長さは 2250mm で、2 台の油回転ポンプとターボ分子ポンプ（総排気量 10000 l/s）により排気を行う。到達真空圧は 0.8×10^{-2} Pa、作動時の真空圧は推進剤流量 3.0mg/s で 3.5×10^{-2} Pa であった。スラスタはアルミニウム製の振り子型スラストスタンドに取り付けられる。推力は、渦電流式の非接触微小変位計を用いて、剛体振り子方式により測定する。噴出イオン電流密度の空間分布をファラデープローブにより測定し、推進剤利用効率とビーム発散角を見積った。また RPA を用いて噴出イオンビームのエネルギー分布を測定し、電圧利用効率を見積った。

推進剤流路が末広がり形状のホローアノードを有するアノードレイヤー型ホールスラスタ TALT-2A の断面図を図 2 に、その放電チャンネル中心軸上における径方向磁場強度の軸方向分布を図 3 に示す。放電チャンネルの外径は 65mm、内径は 45mm で、チャンネル壁はステンレス製である。スラスタには磁気シールドと Trim-coil が設置されており、これらを用いることで図 3 に示すように径方向磁場強度の軸方向分布を変化させられる。カソードにはホローカソードを使用し、推進剤およびカソード作動ガスにはキセノンを使用した。通常型ホローアノードの直線状流路の幅は 4.0mm で、出口付近の 3.0mm は傾斜角 45° の末広がり形状になっている。末広がり状ホローアノードの直線部は 15mm で、それより下流部の 15mm が末広がり形状となっている。

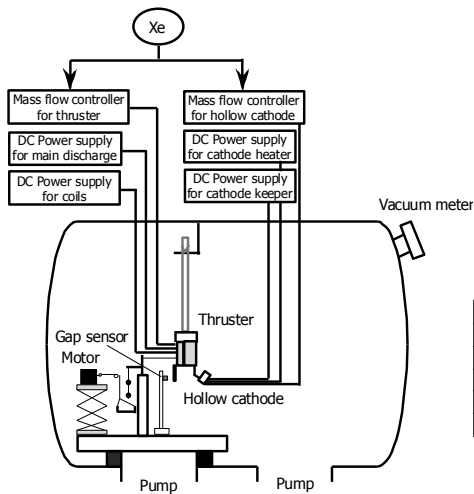


図1 実験装置

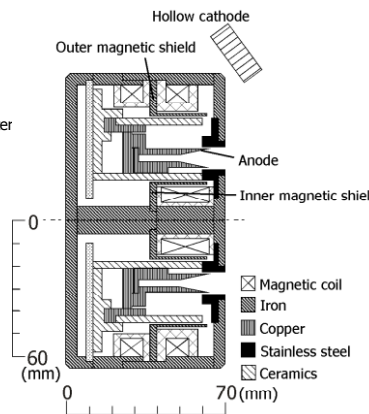


図2 TAL断面図

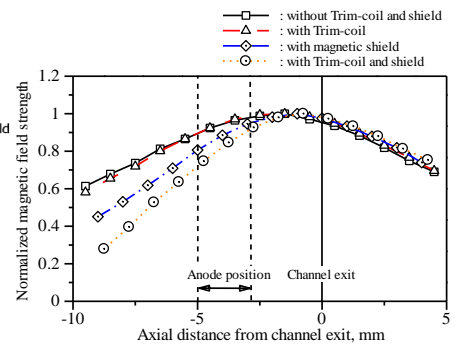
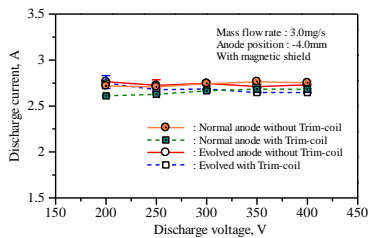


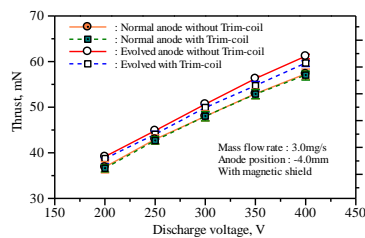
図3 磁場強度分布

3. 実験結果と考察

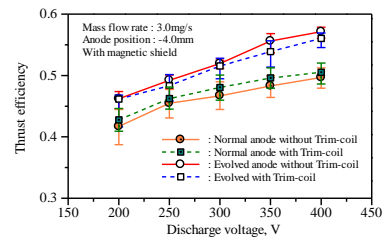
末広がり状のホローアノードを用いた作動実験を行った。放電電圧を 200~400V の間で変化させ、放電チャンネル長さは 4.0mm、推進剤流量は 3.0mg/s とした。またスラストは磁気シールドを用いた状態で作動させた。図4に通常型ホローアノードを用いた場合の作動特性と、末広がり状のホローアノードを用いた場合の作動特性の比較を示す。図4 (a) に示されるように、放電電流は末広がり状のホローアノードを用いた場合が若干大きいものの、大きな差はない。また末広がり状ホローアノードの場合の放電電流は、放電電圧に



(a) 放電電流



(b) 推力・比推力



(c) 推進効率

図4 各作動特性の放電電圧依存性の比較

対してほぼ一定である。アノード流路を末広がり形状にしたことでプラズマがアノード内部に浸入しやすくなり、電位変化が緩やかになって電場が弱くなると考えられる。つまり電圧増加による電場の上昇を緩和できるようになると推察される。また電場の上昇が抑えられるため電子温度が高くなり、そのため2価電離の割合も減り高電圧の作動域で放電電流が増加しなくなったと考えられる。推力・比推力は図4 (b) のように、末広がり状のホローアノードを用いると 4~7%程度増加する。推力が増加するのはアノード中空部が末広がり形状になったことでアノード内部での電離領域が大きくなり、またそこで生成されたイオンがアノード表面に損失されることなく加速・噴出されるようになるためと考えられる。結果として、アノード中空部を末広がり形状にすることで推進効率は上昇し、放電電圧 400V で、比推力 2080sec、推進効率 57%にまで推進性能を向上させることに成功した。