

## 論文審査の結果の要旨

氏名 横田 茂

修士（工学）横田茂提出の論文は「ホールスラスタ中空陽極の放電振動抑制機構」と題し、6章から成っている。

電気推進機の一つであるホールスラスタには、アノードレイヤ型とマグネティックレイヤ型があり、アノードレイヤ型はマグネティックレイヤ型に比べ高効率、長寿命の利点を持つため、実用化が望まれている。しかし、電離振動に起因する放電電流の振動が大きく、実用化にはこの抑制が課題となっている。これまでの研究で、陽極内部に大きな中空の推進剤流路を有する中空陽極を用いることで放電振動が低減されてきたが、その放電安定化の物理原理や機構は現在も明らかになっておらず、陽極形状の最適化を目指す上でこの機構を明らかにすることが重要となっている。

本研究では、中空陽極及び放電チャンネル内部のプラズマ及びシース構造と放電振動の関係に着目し、空間2次元、速度場3次元のFully-kinetic PIC DSMC粒子法を用いてプラズマ流の数値解析を行って、中空陽極を用いることによって放電振動が抑制される機構を解明している。

第1章は序論であり、研究の背景及び目的を述べている。アノードレイヤ型とマグネティックレイヤ型では内部のプラズマ構造が異なり、アノードレイヤ型では電離振動が起こりやすい電位分布構造であることを紹介している。

第2章では、本研究で対象とした1キロワット級アノードレイヤ型ホールスラスタの推進機構造、試験環境、及び得られた推進性能と放電電流振動特性について述べている。この推進機の推進効率は、アノードレイヤ型の代表的な開発例の一つであるロシアTsNIIMASH研究所のTAL-55と呼ばれる同出力の推進機と同程度の高いものであること、またその放電電流振動の大きさは、重要な作動パラメータである磁束密度に敏感であり、ある閾値以上の磁束密度で放電電流振動が非線形的に増大することを紹介している。

第3章では、数値解析手法について説明するとともに、中空陽極を用いない場合、すなわち一般的な平面形状の陽極を用いた場合の放電チャンネル内部のプラズマ及びシース構造の数値解析を行なっている。その結果、1次元定常理論解析で得られる結果に相似な、電離振動の起きやすいプラズマ構造が再現されることが示されている。しかし一方で、定常解は存在せず、すべての作動領域において非定常な構造が得られることを明らかにしており、これは第2章の実験結果とも良く一致している。

第4章では、中空陽極を用いた場合のプラズマ及びシース構造の数値解析を行っている。得られた解析結果は、実験で得られた放電電流振動波形、及び閾値磁束密度をよく再現しており、閾値磁束密度以下の安定作動領域では、中空陽極内部にて主たる電離反応・イオン生成が生じ、陽極表面にはイオンシースが形成されること、この電位分布はマグネティックレイヤ型の構造と相似であり、そのため電離振動を回避できていると述べている。一方で、閾値磁束密度よりも大きな振動作動領域では、中空陽極内部でほとんど電離反応・イオン生成が起こらず、陽極表面には電子シースが形成されることが示されている。これは第3章に示した平面陽極を用いたアノードレイヤ型のプラズマ構造と相似であり、中空陽極が機能していない状態であると説明している。また、その振動の有

無の閾値となる磁束密度は、陽極表面に形成されるシース構造がイオンシースから電子シースへと反転する作動条件でもあることも示している。

第5章では、レーザー誘起蛍光法によるプラズマ内部診断を用いて数値解析結果を検証し、また、シース理論モデルを用いて数値解析結果の解釈を試みている。放電チャンネル部の内部診断により得られたイオン数密度・速度分布の計測結果は、数値解析結果と合致することを示している。また、数値解析結果に見られた磁束密度増大に伴う陽極表面のシース電位勾配の反転は、シース理論モデルで表現すると、陽極への電子電流とイオン損失電流の比によってシース電位勾配の正負が変化することに起因すると説明している。さらに、陽極形状の設計指針として、安定な放電作動領域を広げるには電離・イオン生成領域が陽極表面と接する面積の大きな陽極形状が望ましいと結論付けている。

第6章は結論であり、本研究で得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文はアノードレイヤ型ホールスラストの中空陽極が放電を安定化する機構とその限界について、数値解析を用いて明らかにしたものであり、これらの結果は、アノードレイヤ型ホールスラストの設計最適化に応用でき、航空宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。