

(様式2)

## 学位論文の概要及び要旨

氏 名 杉森 活彦 印

題 目 姿勢制御エンジンから漏出する推進薬の凍結凝固挙動

### 学位論文の概要及び要旨

人工衛星の推進系(タンク、配管、エンジン)に関するハザード(有人に対する危険要素)について、1) 弁故障時による推進薬漏洩 2) 推進薬凍結時の配管破損 3) 推進薬投棄時の衛星へのコンタミネーションがあげられる。本研究は1)の推進薬漏洩に対し、漏洩した推進薬の挙動を調査することで、人工衛星の安全航行に対する基礎データとする。一般に真空環境である宇宙空間に液体である推進薬が漏洩し放出された場合、放出量がある一定の量を超えると、気化熱により液体の一部が凍結固化して放出され、気体と固体の混相状態で放出されることが知られている。取扱注意物である推進薬が凍結すると、密度が増加し、推進薬が宇宙服に付着し、空気の限られた宇宙船内にそのまま持ち込まれることで、安全航行上問題になる場合がある。なお推進薬が気体であれば付着したとしても、ごく低濃度であり問題になる可能性は少ない。このような問題に対し、どの程度の漏洩量であれば液体燃料が固化せず気体のままで放出され、付近の人間に付着する危険性が少なくなり危険を回避できるかを把握する必要がある。また最終的にはエンジンをその漏洩量以下となるように設計し、危険を回避する必要がある。本研究の目的は、真空環境に液体推進薬が放出された際の挙動を把握し、有人の人工衛星の推進薬が漏洩した際の安全航行への基礎データを得ることである。一般に人工衛星の推進系のエネルギー源となる推進薬は、酸化剤および燃料の2種類を使用し、酸化剤としては長期貯蔵性および自己着火性の点より、四酸化二窒素( $N_2O_4$ )または酸化窒素混合物(MON-3)、燃料としてはヒドラジン( $N_2H_4$ )またはモノメチルヒドラジン( $N_2H_3CH_3$ )がそれぞれ使用されており、目的により選択されている。本研究の対象はMON-3およびモノメチルヒドラジンを使用する2液式衛星推進系とする。

本研究によって得られた成果は以下のとおりである。

まず微小流量を計測する装置として熱式流量計を選定し、MON-3を流し別途質量法にて流量を計測することで、直接の流量校正を実施し以下の結果を得た。

(1) 熱式流量計の流量校正としてMON-3を流し、重量法にて算出した質量流量と流量計の電圧出力値を比較することで、各計測点での偏差 $\sigma$ がノミナル流量の約5%と小さいことが確認され、流量計の再現性が十分あることを確認した。

(2) 熱式流量計の流量校正としてMON-3の重量法にて算出した流量と、予め水にて製造メーカーにて校正した流量を比較し、両者が十分一致していることを確認し、流量計の精度が十分であることを確認し

た。

これらより、MON-3の約 $10^{-5}$  kg/sの微小流量の流量計測を、熱式流量計にて計測しても、精度・再現性等観点から問題ないと評価する。

つぎに、2種類の穴径のオリフィスを使用し、MON-3流量 $0.347 \times 10^{-5} \sim 4.45 \times 10^{-5}$  kg/sにおいて漏洩状態の確認実験を行い、実際の宇宙空間での推薬の漏洩を模擬した実験を実施し、以下の結論を得た。

(1)漏洩量が $0.347 \times 10^{-5} \sim 4.45 \times 10^{-5}$  kg/sであれば、一部MON-3が凍結固化しノズル部より真空に放出される。

(2)凍結は主にMON-3の気化熱によって発生し、オリフィス出口付近で発生していると推定される。

(3)凍結しない漏洩流量は $0.2 \times 10^{-5}$  kg/s以下であると推定される。

以上より、MON-3の凍結する流量限界を推定し、安全へのベースデータが得られたと評価する。

最後に、エンジンノズルより放出されたMON-3の拡散状態の評価を、希薄モデルにて計算を実施・推定し、以下の結果を得た。

(1)放出されたMON-3はエンジン燃焼室内では連続流域となるが、ノズル出口以降は遷移流であり、希薄な流れとなっている。

以上より、ガスの状態で放出されたMON-3はさらに密度が小さくなり、汚染する可能性は小さいと言える。

以上の結果から、真空環境に液体推薬が放出された際の挙動を把握し、有人の人工衛星の推薬が漏洩した際の安全航行への基礎データを得ることができた。また本データを使用し推進系の設計に反映することが期待された。