

|         |                                 |        |       |
|---------|---------------------------------|--------|-------|
| 氏名      | 畑井 啓吾                           |        |       |
| 学位の種類   | 博士（工学）                          |        |       |
| 学位記番号   | 博甲第 10816 号                     |        |       |
| 学位授与年月日 | 令和5年3月24日                       |        |       |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当                    |        |       |
| 審査学術院   | 理工情報生命学術院                       |        |       |
| 学位論文題目  | 低毒自己着火二液式推薬の創出とその着火及び燃焼特性に関する研究 |        |       |
| 主査      | 筑波大学 教授                         | 博士（工学） | 西岡 牧人 |
| 副査      | 筑波大学 教授                         | 博士（工学） | 石田 政義 |
| 副査      | 筑波大学 准教授                        | 博士（工学） | 金子 暁子 |
| 副査      | 筑波大学 准教授                        | 博士（工学） | 横田 茂  |
| 副査      | 宇宙航空研究開発機構 専任教授                 | 工学博士   | 堀 恵一  |

## 論文の要旨

人工衛星の軌道変換や姿勢制御に用いるスラスタの自己着火二液式推薬としてヒドラジンやMMH（モノメチルヒドラジン）とNTO（四酸化二窒素）の組み合わせがよく用いられるが、これらの物質は高い毒性を有しているため、安全性や経済性の観点から低毒性の推薬の開発が望まれている。本論文では酸化剤として過酸化水素に的を絞り、先行研究において開発されている様々な低毒自己着火推薬用燃料の特性について調べた上で、独自の低毒燃料としてMAPA（3-メチルアミノプロピルアミン）を選定し、それに添加剤としてNaBH<sub>4</sub>（水酸化ホウ素ナトリウム）を溶解させたものを用いて自己着火実験を行った。その結果、現行のMMH/NTO系推薬と比較して、同等な自己着火性と比推力が得られる一方で、許容濃度と蒸気圧の観点から非常に高い安全性が得られることが明らかになった。続いて混合比、濃度、温度などを変化させた滴下実験により着火遅れや火炎成長の様子を観察した結果、混合比によらず早期に着火するモードと混合比に応じて着火遅れが増大するモードが存在すること、また高い混合比条件では火炎成長が停滞することが明らかになった。そしてこれらの実験結果を受け、本論文ではこの推薬について、化学反応や伝熱、ガス発生などの基本現象に基づく自己着火モデルを構築した。そのモデルに基づき、未反応過酸化水素が、着火過程の初期には熱を奪う一方、温度が上昇すると一転して自己分解による加熱源になる可能性を示した。

続いて実用形態である衝突型インジェクタを用いた実験により着火特性を調べた。その結果、酸化剤を先行噴射する場合に着火と失火を繰り返す不安定な現象が観察された。それに対し、スラスタ噴射初期の過渡的な平均混合比に基づいて実験結果を整理することで、安定着火領域を定量的に示した。そして最後に燃焼室、スロート、超音速ノズルを装備した実スラスタ形態での実験を行い、この二液式推薬の安定的な自己着火および燃焼が可能であることを示した。

## 審査の要旨

### 【批評】

本論文では低毒自己着火二液式推進剤として、燃料が $\text{NaBH}_4$ （水酸化ホウ素ナトリウム）を溶解させたMAPA（3-メチルアミノプロピルアミン）、酸化剤が過酸化水素という組み合わせを新たに提案し、自己着火実験を行ってその着火特性と火炎成長特性を調べている。その結果、現行の有毒な二液式推進剤と同等な自己着火性や比推力に加えて、非常に高い安全性を同時に満たすことに成功している。更に、実験で観察された複雑な着火特性に対して、化学反応や伝熱、ガス発生などの基本現象に基づく新たな自己着火モデルを提案して現象を説明している。また実際のスラスタに使われる衝突型インジェクタを用いた実験も実施し、安定着火領域を定量的に示すことにも成功している。本論文で提案された二液式推進剤は斬新なものであり、安全性や経済性の面で人工衛星の開発に多大な効果をもたらすことが期待できる。また本論文で提案された自己着火モデルも、この推進剤に限らず、今後の新たな二液式推進剤の開発に大きく貢献する可能性がある。

### 【最終試験の結果】

令和5年1月20日、理工情報生命学院において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とシステム情報工学研究群構造エネルギー工学学位プログラムにおける達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。