

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 高橋 晶世

修士（工学）高橋晶世提出の論文は、「ハイブリッドロケット推進薬に係る保安距離の定量評価に関する研究 **Research on the quantitative evaluation of safety distance for hybrid rocket propellants**」と題し、本文6章と補遺よりなっている。

ハイブリッドロケットは固体燃料と液体酸化剤を搭載することから、高い安全性、制御性、環境適合性、低コスト性等の利点が指摘されており、近年では、サブオービタル宇宙機スペースシップ2の主エンジンとして開発が進められるなど、有人宇宙輸送への利用にも期待が寄せられている。しかしその一方で、実用上の観点からは今後検討を要する事が残されており、その一つにハイブリッドロケット推進薬に係る保安距離の問題がある。本質的に非爆発性の推進系であるハイブリッドロケットは、従来の固体ロケットや液体ロケットと比べ、保安距離が緩和されると期待されるが、その定量的な評価法が確立されていないため、真偽の程は不明である。現在国内には、ハイブリッドロケット推進薬の保安距離評価に関して具体的な評価基準はなく、米国において限定的な実験データに基づいた TNT 換算率基準が存在するのみである。

本論文では、このような現状を背景に、ハイブリッドロケット推進薬の保安距離の定量的な評価法の獲得を目指した研究が為されている。まず、ハイブリッドロケットの爆発ハザードに至るシナリオを吟味した上で、ハイブリッドロケットに特有の現象として固体燃料の粉塵化に着目し、外的エネルギーが与えられた時に粉塵となる燃料質量の推定を可能とする無次元量とそれらの相関式を得ている。次に、爆発ハザードに至るシナリオとして、いくつかの過程を想定し、そこでの未知効率パラメータを既存の爆風圧計測データによって同定し、その妥当性を検証している。さらに得られた数理モデルを用いて種々のハザードシナリオと燃料・酸化剤の組に対してケーススタディを行い、幾つかの有意義な示唆を得ることに成功している。

第1章は序論であり、研究の背景として宇宙輸送の安全に関する社会の要請やハイブリッドロケットの安全評価に関する現状と課題を纏めている。

第2章ではハイブリッドロケットの爆発ハザードとその数学モデルを記述し

ている。爆発ハザードのシナリオとして、外部爆発と衝突を考え、それらに共通する物理現象として、印加エネルギーの発生、タンク・燃焼器の破損、酸化剤漏洩と蒸発、燃料の粉塵化と蒸発、可燃性混合気の燃焼、大気中への圧力伝播を取り上げている。つぎに次元解析により粉塵化質量比、材料靱性と体積、印加エネルギーから2つの無次元量を導き、ポリプロピレン、PMMA、ワックス等、靱性の異なる種々の材料の燃料破碎実験データを用いて具体的な無次元相関式を得て、色々な燃料の粉塵化質量を推定することを可能としている。さらにタンク破損、粉塵燃料気化、液体酸化剤気化の過程が固定された体積内で一斉に起きるとの安全側の仮定の下、それらの過程のエネルギー効率を未知パラメータとして導入している。

第3章では、これらのパラメータの値をハザードシナリオ毎に同定している。そのために、Wiltonの爆風圧実験を模擬して球対称1次元数値流体解析を実施し、その結果得られるピーク過圧と過圧インパルスを数個の評価点で求め、Wiltonの爆風圧実験データをよく再現するようにパラメータ値を定めている。その後、同定したパラメータを用いて酸化剤の異なる実験を模擬して解析し、計算結果が実測データと良い一致を示すことを確認している。

第4章では、得られた効率パラメータと数理モデルを用いて、ハザードシナリオと推進薬の色々な組み合わせについて保安距離を評価し、燃料や酸化剤の違いによる保安距離の特性を調べている。その結果、靱性の小さい燃料や、燃焼特性のO/Fに関する感度が低い酸化剤の使用によってTNT換算率と保安距離が顕著に大きくなること等の新たな警告的示唆を得ることに成功している。

第5章では、保安距離評価の手順をまとめた上で、推進薬にHTPB/LOXを用いたAMROC SET-1の打上げ、ポリエチレン/LOXを用いたCAMUI 500-Pの打上げ、ワックス/LOXを用いた首都大学東京の燃焼試験について保安距離を求め、実際の警戒区域設定の妥当性を吟味している。

第6章は結論であり、本研究の成果をまとめ、今後の課題を述べている。

以上、要するに、本論文は、ハイブリッドロケット推進薬の保安距離を定量的に評価するための全体的なフレームワークを初めて示すと共に、燃料粉塵化現象について無次元相関式を提示して、限られた実験データを活用し異なる燃料に拡張するための手法を提案し、これを用いて保安距離特性のケーススタディを行うことによって、これまで見過ごされていた重要な示唆を浮き彫りにしており、宇宙輸送工学、安全工学、宇宙航空工学に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。