

再使用型二段式垂直離着陸宇宙輸送機 の概念検討

学生証番号 47-146056 氏名 武田 研恒
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Reusable Rocket, Mission Design, Vertical Take-Off and Landing, Two-Stage-To-Orbit

1. 緒言

宇宙機の打ち上げコストの低減化のために、再使用型機 (Reusable Launch Vehicle, RLV) の研究開発が行われている。RLVは当初、理想型として観光丸^[1]等の単段式 (Single-Stage-to-Orbit, SSTO) 宇宙機が開発されていたが、厳しい機体軽量化要求を達成できず、実現には至っていない。解消法として、既存の使い捨て機を発展させた垂直離着陸型 (Vertical Take-Off and Landing, VTOL) の二段式 (Two-Stage-to-Orbit, TSTO) 輸送機がある。近年では米SpaceX社によるFalcon9^[2]のBooster段再使用化の動きがあり、既存機の流用が今後の主流になる可能性がある。しかし、TSTO-RLVはSSTOに対して段数が増えて高コスト化する^[4]ため、機体システム構成を改良する必要がある。そこで本研究では、ほぼ研究事例のないVTOL型TSTO-RLVに対して、現在の技術レベルで開発可能な新コンセプトを提案し、SSTOの代替可能性を示す。また、提案コンセプトに対してコスト推算を行い、SSTOと同レベルかそれ以下の低コスト機体を構築できることを示す。

2. 機体コンセプト

使い捨て機から完全再使用型へアプローチする過渡的段階として、部分再使用型機を考慮する。本研究で提案するコンセプトは、観光丸をベースにしたものであり、Orbiterを完全再使用、Boosterを使い捨てとして、高価な機器は、すべてOrbiterに搭載して、Boosterコスト低減を図っている。Orbiter中心軸にBoosterを内蔵して再使用性を追及したものと、既存ロケット技術を流用してRLV化する実現性を重視した2種類を検討する。Booster推進系の種類を複数用意して、サイズダウン・低コスト化および性能のバランスに優れた機体を選出できるようにする。

3. 手法

提案機体に対して、ロケットの軌道および機体構成の複合最適化を行う。問題設定は、“速度 $V=7701$ [m/s]の制約条件を満たしながら、高度200kmの低軌道へ投入する”と定める。目的関数は、機体総質量

またはBooster質量最小化とする。最適化問題はHybrid-GA^[3]を用いて解く。次に、最適化された機体システムのうち、有力な候補に対してコスト推算を行い、SSTO-RLVや既存使い捨て機との比較を行う。コスト推算には、TRANSCOST^[4]という推算モデルを使用する。

4. 結果および考察

既存の構造設計技術でRLVを設計可能とするために、構造比を既存使い捨て機の数値より不利な値 (0.14) に設定して最適化計算を行った。結果として、全機体においてミッション要求を達成しながら、観光丸より軽くかつ既存使い捨て機よりは重い機体構成をとり、本最適化で用いた機体構造モデルの妥当性を確認できた。コスト推算を行った結果、提案システムのうち、機体中心軸にLNG推進系Boosterを内蔵させた機体がSSTO-RLV (観光丸) と同レベルのコストまで削減できることが分かった。更に、従来の多段ロケットに近い構成であり推進剤にLOX/LH₂を用いた機体が、SSTO-RLVのコストより低くなる結果となった。

5. 結言

本研究では、SSTO-RLVの機体質量軽量化問題に対して、ほぼ研究事例のないVTOL型TSTO-RLVを採用して最適化した結果、SSTO-RLVで定めたミッション要求、機体設計要求を満足しながらSSTO-RLVよりも無理のないシステムが構築できた。また、コスト評価結果より、提案システムはRLV-SSTOと同程度またはそれ以下のコストであることがわかり、このシステムが現状の技術レベルでは有力なRLV構成となることが示された。

参考文献

- [1] Isozaki, K., *et al.*: Vehicle Design for Space Tourism, J. Space Technology and Science, 10 (1994), pp. 22-34.
- [2] SpaceX, <http://www.spacex.com/falcon9>
- [3] 今村 他: Hybrid-GA を用いた二段式スペースプレーンの最適設計, 日本航空宇宙学会論文集, 54 (2006), pp. 279-287.
- [4] Koelle, D.: Handbook of Cost Engineering for Space Transportation Systems with TRANSCOST 7.2.