

小型・中型ロケットの試案

野村 清英

九州大学物理学科

knomura@stat.phys.kyushu-u.ac.jp

平成 18 年 12 月 22 日

概要

日本の基幹ロケット H-IIA/B はようやく成熟し、今後一段とコストダウンもはかれる予定であり、国際競争力もでてきつつある。

しかし、小型、中型ロケットに関しては、M-V 廃止の議論と、GX プロジェクトの難航で、当面日本には適切な運搬手段がない。

そこで経済性にも配慮して、小型、中型のロケットの提案をする。

1 基本構想

1. さまざまな打ち上げニーズに対して柔軟に対応。
2. 部品の共通化をはかり、量産によるコストダウンを考慮する。
3. 固体燃料ロケットは法律上火薬類に準じ、かつ重量でも輸送上の制約がある。これに配慮する。
4. 発射場の自由度のため、SRB-A のような発射場での燃料充填方式はとらない。
太陽同期軌道打ち上げには、種子島からの発射は損失が大きい。
将来的に北海道、大東島、小笠原諸島なども考慮したい。
5. 新規開発要因を少なくする。
6. 固体ロケットの比推力の制約から 3 段以上の構成。

7. 各段の構成で加速度が過大にならないようにする。
8. 上段には液体水素 / 液体酸素エンジンの使用も考慮する。

安全 / 輸送上の問題を考慮すると、固体ロケットは燃料 40 トン以下に制約される。これ以上になると複数のセグメントに分割する必要があり、製造、輸送、現地での組み立てなどでコスト上昇要因になる。

これを解決するため、M-25 のような燃料 40 トン以下の固体ロケットを使い、必要に応じクラスター化する。

2 試算

以下の試算では低軌道 (LEO) の打ち上げ能力に対応する速度増分 $\Delta V = 9.5 - 9.7$ [km/sec] でペイロードを計算した。データは付録の値を使った。

1. 1 段目 M-25, 2 段目 M-34b, 3 段目 KM-V2
LEO 0.75 - 0.85 トン。
2. ブースター M-25 2 本、1 段目 M-25, 2 段目 M-34b,
2 機のブースターを最初に点火、燃焼終了後して切り離れた後に 真中の M-25 に点火する。実質 3 段構成。
LEO 1.4 - 1.6 トン。
3. ブースター M-25 2 本、1 段目 M-25, 2 段目 M-25, 3 段目 M-34b,
やはり 2 機の M-25 はブースターとして用いる。実質 4 段構成。
LEO 2.1 - 2.4 トン。
4. ブースター M-25 4 本、1 段目 M-25、2 段目 M-25 3 段目 M-34b
LEO 3.5 - 3.9 トン。
5. ブースター M-25 6 本、1 段目 M-25、2 段目 M-34b
ブースターのうち 4 本を最初に点火して燃焼後分離、残りの 2 本のブースターに点火。
LEO 4.3 - 4.7 トン。

6. ブースター M-25 2 本、1 段目 M-25、2 段目 LE-5B
全段固体にこだわらず、上段に液体ロケットを用いる。
LEO 3.4 - 3.8 トン。

このような構成にすると、M-25 の量産効果によりコストダウンが出来るだろう。

3 考慮すべき点

- 一般
 1. 構造、空力、制御には問題がないか？
 2. M-25 のブースターへの改造。支持構造、分離機構。
 3. M-25 ブースター 6 本では、本体への装着と分離に工夫が必要、難しいかも？
 4. 地上設備に対応が必要である。
 5. M-25 6, 7 本構成の場合、保安距離の問題。
 6. LE-5B を使う場合、段間部の開発が必要。
- とくにブースターとコア 1 段目に関する問題点
 1. ブースターとコア 1 段目の配置
コア 1 段目に対しブースターは下にずらして配置してはどうか。
 - (a) このような配置をとると、ブースターのノズルからのガスによる加熱が避けられる。
 - (b) モーメント長の増加で、ブースターの燃焼終了のバラツキによるモーメントのアンバランスに対処しやすくなる。
 - (c) 欠点はブースター分離前のコア 1 段目着火が難しくなる。
 2. ブースターとコア 1 段目の点火のタイミング。
ブースター燃焼終了前にコア 1 段目に点火してはどうか。
 - (a) ブースターの燃焼終了のバラツキによるモーメントのアンバランスに対処しやすくなる。
 - (b) 重力損失の面では有利。

4 可能な改善

1. 上段補助ステージ

太陽同期軌道、遠地点でのキックモータの役割、GTO への投入など。H-IIA/B のデュアルローンチでも有効だろう。

ヒドラジン 2 液式 (例: Vega の 4 段目) など、日本にも 500N 衛星スラスト [1] があるので、これを組み合わせて実現できる。

2. 振動ダンパー

衛星との接合部分にマグネシウム合金を使うと振動・衝撃吸収性の高さで振動ダンパーの役割も兼ねられるかも知れない。

3. M-25 の推薬量をやや増加した方がバランスが良くなる。

4. LE-5B と燃料タンクの改良

(a) LE-5B の燃焼振動の改善、2007 年度にはメドがつく？

(b) LE-5B の比推力 (447 秒) の改善

i. 展開ノズルを使って比推力の改善

アメリカの RL-10B-2 [2](比推力 462 秒) などの例。
日本でも M-34b で展開ノズルを使っている。

ii. 炭素複合材をノズルに使う。

iii. ハイブリッドセラミックベアリング (120,000 rpm) [3] を使ってターボポンプの高速化、高圧化、軽量化。
なお、これはアメリカで開発中のエンジン P&W の RL-60 エンジンにも使われている [4]。

(c) 構造質量比の改善。

i. アルミニウム-リチウム合金を使う。摩擦攪拌接合 (FSW) で可能になった。

ii. 複合材タンク。チタンライナーを使うと、熱膨張率の差が小さく、アルミライナーより問題軽減できるかも知れない。

以上は H-IIA/B の改良にもつながる。

5 GX プロジェクトとの関連

日本で中型ロケット構想としては GX プロジェクトがある。しかし、当初見込みでは 2003 年開発スタート（基礎研究は 1999 年より）、2006 年打ち上げ予定が 2010 年打ち上げ予定（2006 年現在）にまでずれ込んでいる。

そもそもプロジェクト目標に矛盾がある（商用ロケットを目指したのに、世界初の新規開発の LNG エンジン、複合材燃料タンクなど盛り込んだ）ことが一つの原因であろう。他に、開発体制が JAXA、経済産業省、民間（ギャラクシーエクスプレス社、ロッキードマーティン社）にまたがっているため、開発が難航した場合の再調整が難しい。

技術的には、LNG エンジンは比推力は比較的良いものの、液体水素 / 液体酸素系列ほどではない。LNG の密度が液体水素に比べ高いこと、貯蔵性が液体水素よりは良いこと、原料コストの安さなど考慮すると、LNG エンジンはブースターや第 1 段に適しており、2 段目以降は液体水素 / 液体酸素系列のほうが有利である。この意味で GX プロジェクトは打ち上げ手段として最適化されたものではない。将来の転用考えても当初のガス押し式 / アブレーション冷却案では、大型化への発展性に乏しい。

GX プロジェクトは将来に向けての LNG ブースター / 第 1 段エンジンへの実証プロジェクトと位置付け、商用ロケットの路線は棚上げしてはどうか。これにより、研究開発にふりむけるべき時間の余裕が出来る。

当面小型・中型ロケットを固体ロケットの系列で推進することで、新規開発要因を減らし、コストダウンと運用性の向上に集中できる。

A 既存のデータ:M-V

1. M-25
 - (a) 構造質量
燃料 33.0 トンモーターケースの空虚質量 (TVC 含む) 3.4 トン
 - (b) 比推力 292 秒
2. M34-b
 - (a) 構造質量
燃料 10.6 トン、モーターケースの空虚質量 0.8 トン、TVC、アビオニクス、サイドジェット 小計 0.6 トン
 - (b) 比推力 302 秒
3. KM-V2
 - (a) 構造質量
燃料 2.5 トンモーターケースの空虚質量 0.3 トン
 - (b) 比推力 298 秒
4. フェアリング 0.7 トン
5. 段間部 (M-34b - M-25) 0.9 トン
6. 段間部 (M-25 - M-14) 1.8 トン

B 既存のデータ:LE-5B

1. LE-5B
 - (a) 構造質量
燃料 17.0 トンモーターケースの空虚質量 (TVC 含む) 3.0 トン
 - (b) 比推力 447 秒
2. フェアリング 1.4 トン

C 仮定のデータ

1. M-25 ブースター支持構造 1 トン
2. LE-5B - M-25 段間部 1.5 トン

参考文献

- [1] <http://www.ihl.co.jp/ihl/ihitopics/topics/2006/0309-1.html>
<http://www.mhi.co.jp/tech/pdf/425/425250.pdf>
- [2] <http://www.astronautix.com/engines/r110b2.htm>
http://www.spaceandtech.com/spacedata/engines/r110_specs.shtml
- [3] http://www.jaxa.jp/press/archives/nal/20020327_bearing-j.html
- [4] <http://www.ihl.co.jp/ihl/products/space/le-5b.html>