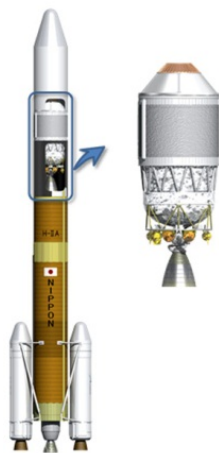


# H-IIA ロケットの高度化開発 — 2段ステージ改良による衛星長寿命化への対応 —

H-IIA Launch Vehicle Upgrade  
- Upper Stage Enhancement to Extend the Life-time of Satellites -



新津 真行\*<sup>1</sup>  
Mayuki Niitsu

安井 正明\*<sup>2</sup>  
Masaaki Yasui

志村 康治\*<sup>3</sup>  
Koji Shimura

矢花 純\*<sup>4</sup>  
Jun Yabana

田辺 義慶\*<sup>5</sup>  
Yoshichika Tanabe

石川 佳太郎\*<sup>5</sup>  
Keitaro Ishikawa

三菱重工業(株)(MHI)宇宙事業部は、H-IIA 及び H-IIB ロケットの打上げ輸送サービスを2007年に開始し、これまで連続成功を続けている。2013年9月に、カナダの通信放送衛星オペレータであるテレサット社(TELESAT)から、初の商業衛星の打上げ輸送サービスを受注した。これは、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)のもと開発を進めてきた、H-IIA ロケットの2段ステージを改良した高度化開発の成果を活用し、受注に至ったものである。本稿では、衛星をより静止軌道に近い軌道に投入し、運用寿命の延長を可能とする高度化開発について、述べる。

## 1. はじめに

2014年10月時点、日本の基幹ロケットとして、H-IIA ロケットは19機連続、H-IIB ロケットは4機連続して、人工衛星の打上げに成功しており、世界のトップレベルの運用実績を上げている。MHI は打上げ輸送サービス業者として、ロケットの製造から、ロケットと衛星間のインターフェース調整、プログラム・マネージメント、そして打上げまで“一貫したサービス”を提供している。

H-IIA/H-IIB ロケットの打上げ輸送サービスと並行し、MHI は JAXA とともに、日本の宇宙利用の促進及び商業衛星受注における競争力確保に向け、基幹ロケットの発展に継続して取り組んでいる<sup>(1)</sup>(図1)。

その中で、打上げシステムを刷新する新型基幹ロケットの開発に2014年4月に着手している。新型基幹ロケットは2020年代の主力ロケットとなるが、それまでの期間は現行のH-IIA/H-IIB ロケットを改良し、打上げ輸送サービスを継続する計画である。

改良開発の一つとして、ミッション対応能力の拡大を目的とした、H-IIA ロケットの2段ステージの改良開発(高度化開発と呼ぶ)を2011年度に開始し、2013年度末までに設計/地上での開発試験を完了した。

本稿では、現行H-IIA ロケットの課題を示した上で、H-IIA ロケットの高度化開発の目的、飛行プロファイル、及び、開発内容について述べる。

\*1 防衛・宇宙ドメイン 宇宙事業部宇宙システム技術部 主席プロジェクト統括

\*2 防衛・宇宙ドメイン 誘導・推進事業部エンジン・機器技術部 主席プロジェクト統括

\*3 防衛・宇宙ドメイン 宇宙事業部宇宙システム技術部 課長

\*4 防衛・宇宙ドメイン 誘導・推進事業部エンジン・機器技術部

\*5 防衛・宇宙ドメイン 宇宙事業部宇宙システム技術部

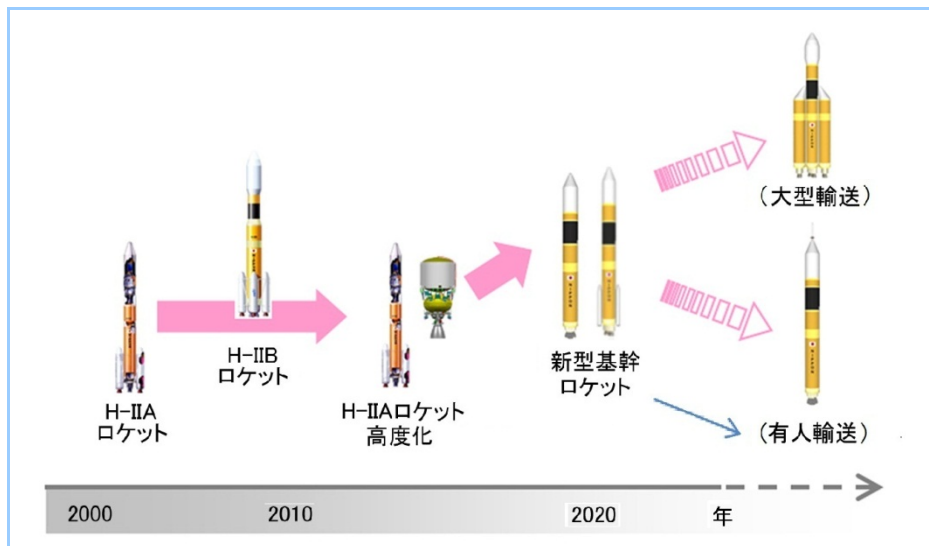


図1 基幹ロケットの継続的な発展

## 2. H-IIA ロケット打上輸送サービスの状況と課題

H-IIA 及び H-IIB ロケットの打上げ実績(2014 年 10 月時点)を図2に示す。これまでの成功率は、H-IIA 96%, H-IIB 100%であり、ミッションも地球観測, 気象/通信/放送, 惑星探査, 国際宇宙ステーション (ISS) への物資輸送と幅広い宇宙活動に貢献している。

高度化開発以前, 海外からの衛星打上げの実績は H-IIA F21 号機の1機(韓国の官需衛星)のみであり, 商業衛星打上げはなかった。

商業衛星の受注活動における課題の一つに, 商業衛星打上げ市場で大きなシェアをもつ欧州 Ariane 5ロケットと比較し, H-IIA ロケットで打上げた衛星の運用寿命が短くなることがある。これは, H-IIA/H-IIB ロケットの打上げ射点が北緯約 30 度の種子島にあり, 静止衛星を投入する軌道が赤道面から傾いていることに起因する。

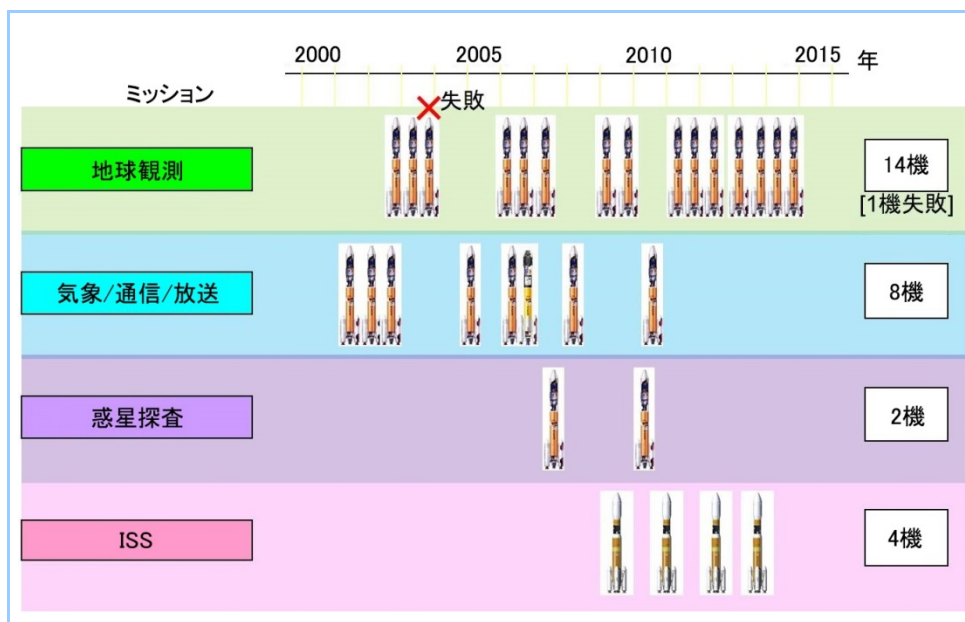


図2 H-IIA, H-IIB ロケットの打上実績

図3に種子島からの静止衛星の打上げイメージを示す。静止衛星は, ロケットにより静止遷移軌道(GTO; Geostationary Transfer Orbit)に投入され, 遠地点で衛星の推進系により静止軌道(GEO; Geostationary Earth Orbit)に軌道変更する。

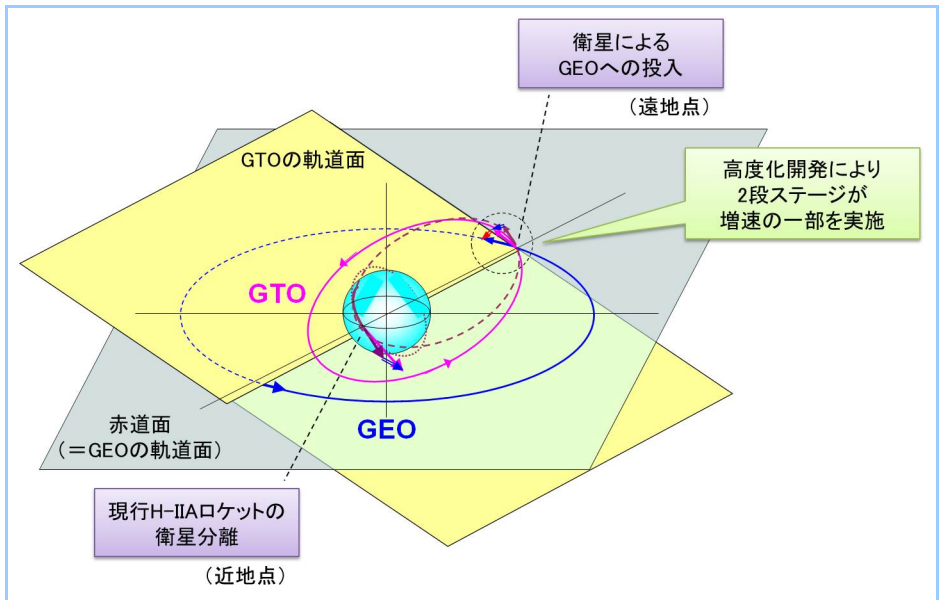


図3 現行 H-IIA ロケットの飛行プロフィール

現行の H-IIA ロケットは、近地点高度 200~300km/遠地点高度 36000km の GTO の近地点付近に衛星を投入する。この GTO は打上げ射点の緯度に関係で赤道面から傾いており、衛星が静止軌道投入に必要な増速量  $\Delta V$  は 1800m/s となる。

一方, Ariane 5 の場合は、射点が赤道付近(フランス領ギアナ, 北緯約 5 度)にあり, GTO は赤道面に近く, 静止軌道投入のための増速量は  $\Delta V$  1500m/s と小さい。この差は静止軌道投入後の衛星の運用寿命数年分に相当する。

この課題を解決するため, 2 段ステージを遠地点まで飛行させ, 衛星を静止軌道に投入するために必要な増速の一部を衛星に代わり実施する機能を 2 段ステージに追加することとした。

### 3. H-IIA ロケットの高度化開発

#### 3.1 開発目的

高度化の開発要求を表1に示す。より良い打上げ輸送サービスを提供できるよう, 静止衛星の静止化増速量が世界標準レベルの  $\Delta V$  1500m/s の軌道への打上げに加え, 衛星分離衝撃を世界最高水準の 1000G 以下とすることも開発要求とした<sup>(2)</sup>。

MHI が担当した静止衛星の静止化増速量低減に関する開発について以下に述べる。

表1 高度化開発の要求

項目	H-IIA(高度化)	H-IIA(現行)
打上げ能力 (静止化増速量 $\Delta V$ 1500m/s)	H-IIA 202 型: 2.9t H-IIA 204 型: 4.6t	( $\Delta V$ 1800m/s への 打上げのみ )
衛星衝撃環境	1000Gsrs	4100Gsrs

#### 3.2 飛行プロフィール

静止化増速量  $\Delta V$  1500m/s の軌道に衛星を打ち上げる, 標準的な飛行プロフィールを図4に示す。

高度化機能を適用したミッションでは, 2 段ステージが衛星の静止化増速の一部を担う。飛行プロフィールは, 2 段ステージの第2回燃焼までは, 通常の GTO ミッションと同じである。第2回燃焼後に慣性飛行(長秒時コースト)を行い, 遠地点付近で第3回燃焼を行った後に, 衛星を分離する。そのため, このミッションを GTO 長秒時コーストミッションと称する。

GTO 長秒時コーストミッションの場合, ロケットのミッション時間(打上げから衛星分離まで)は, これまでの 7200s から 20000s と大幅に増加する。

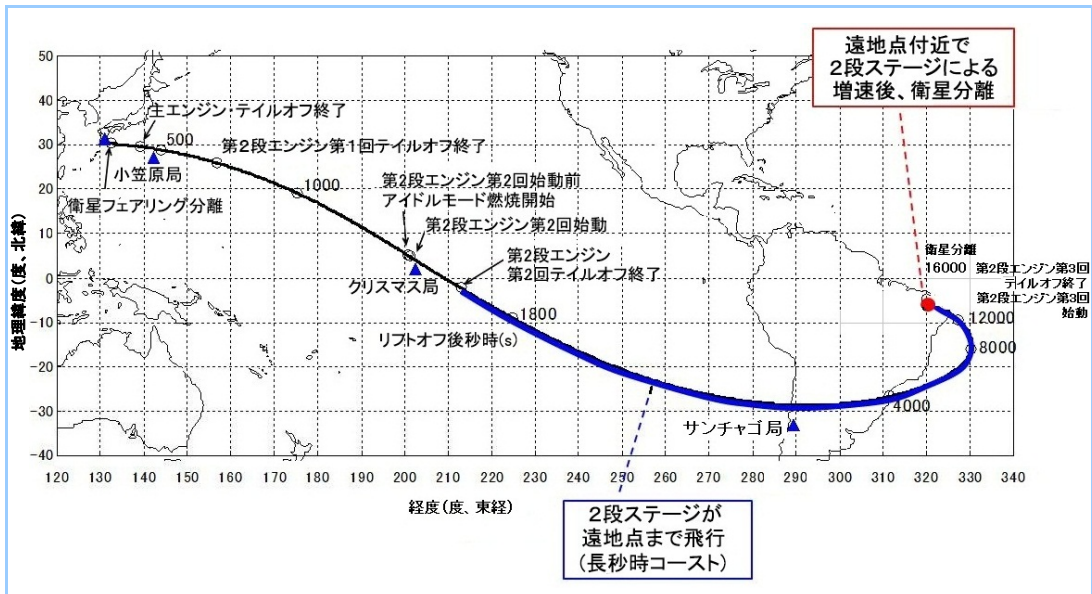


図4 GTO 長秒時コーストミッションの飛行プロファイル

### 3.3 開発内容

打上げ輸送サービスの衛星顧客は、打上げロケットの選定基準として、信頼性に重きを置く。そこで、高度化開発では、H-IIA/H-IIB ロケットで培った技術やこれまでの飛行成果を活用し、信頼性を維持したまま機能を追加することを開発方針とした。具体的には、機体のサイジングやエンジンの設計は変更せず、また、搭載機器は現行品を流用することとした。

この開発方針に基づき、長秒時コースト後に遠地点近傍でエンジン再々着火を行うため、図5に示す3種類の開発を行った<sup>(3)</sup>。

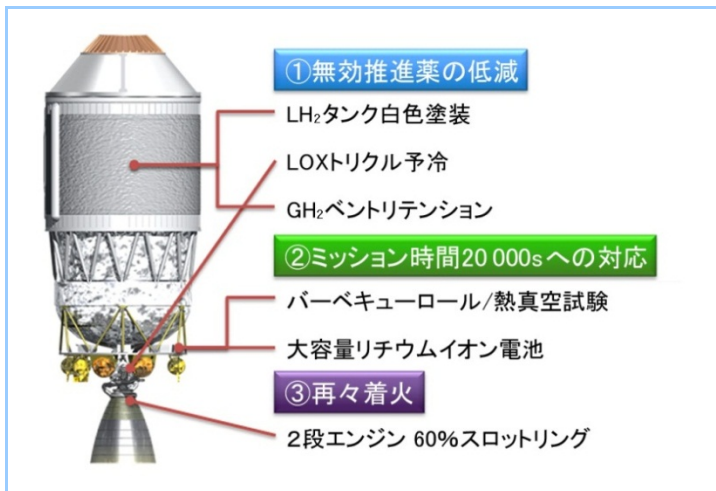


図5 高度化開発の開発項目

#### (1) 無効推進薬の低減

2段階ステージのコンフィギュレーションを変更せず、打上げ能力要求を達成するため、エンジン燃焼に使用できない無効推進薬を低減する改良を行った。液体水素(LH<sub>2</sub>)/液体酸素(LOX)に加え、姿勢制御等に使用する小推力のRCS(Reaction Control System)用ヒドラジンも対象とした。

#### (a) LH<sub>2</sub>

LH<sub>2</sub>は、長秒時コースト中に、太陽光の入熱により蒸発する。この蒸発量を低減するため、タンクの断熱材に白色塗装を行うこととした。

要素試験による特性把握/工作試験による施工プロセス設定の後、H-IIA F21号機(2013年5月打上げ)で LH<sub>2</sub> タンクに白色塗装を施し(図6)、飛行実験を行った。衛星分離後2段



ステージを地球 1 周回させ取得したデータに基づき、 $\text{LH}_2$  蒸発量が予測と整合しており、特性モデル/施工プロセスを含む設計が妥当であることを確認した。



図6  $\text{LH}_2$ タンク白色塗装(H-IIA F21 号機)

(b) LOX

LOX については、エンジン着火前に LOX 推進薬を用いてターボポンプを冷却する、予冷システムについて改良を行った。ポンプを冷却するのは、コースト後の着火時にポンプの温度が高いと、LOX がガス化し LOX を吸い込めなくなるのを防ぐためである。

現行エンジンの予冷システムは、エンジン着火前の予冷を対象に設計されており、流量が多い。高度化開発では、コースト中に少量の LOX で効率的にターボポンプを冷却する系統(トリクル予冷系統と呼ぶ)を新たに追加(図7)し、予冷シーケンスも見直した。予冷流量及びシーケンス設定のため、これまでの H-IIA ロケットの飛行データに加え、真空チャンバ内に実ターボポンプを含むトリクル予冷システムを設置して試験を行い、特性データを取得した。

トリクル予冷系統も、H-IIAF24 号機(2014 年5月打上げ)で実験を行い、予測通りの特性であることを確認した。

(c) RCS 用ヒドラジン

RCS は、姿勢制御以外に、コースト中に推進薬をタンク底部に保持するためにも使用している(リテンションと呼ぶ)。長秒時コースト中の、リテンション用ヒドラジンの消費量を節約し、ヒドラジン・タンクの追加搭載を避けるため、蒸発した水素( $\text{GH}_2$ )をリテンションに有効活用する、 $\text{GH}_2$  ベントリテンションシステムを追加した(図8)。

$\text{GH}_2$  ベントリテンションシステムについては、リテンションスラスタの推力を試験で評価した上で、推進薬揺動(スロッシング)解析を行い、コースト中推進薬をタンク底部に保持できることを確認した。

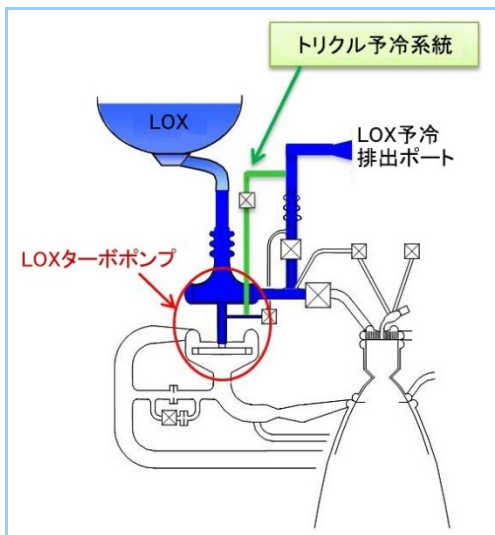


図7 2 段エンジン LOX トリクル予冷系統

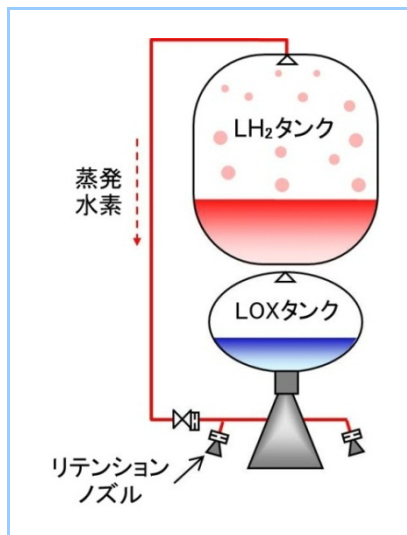


図8  $\text{GH}_2$  ベントリテンション系統

## (2) ミッション時間 20000s への対応

ミッション時間を従来の 7200s から 20000s に延ばすための課題として、コースト中の温度環境維持と電力リソース確保がある。

## (a) 温度環境維持

機器の温度環境を維持するため、コースト中は機軸周りに機体を回転させ(バーベキュー・ロールと呼ぶ)、太陽光が機軸の垂直方向となる姿勢で飛行する。これは、機体及び衛星の温度分布を均一化させるとともに、衛星がコースト中最低限の機能を維持するための電力確保(太陽電池発電)の観点でも望ましい。

バーベキュー・ロールにより、既存の H-IIA ロケット搭載機器の制約内に温度を維持できるか確認するため、熱解析モデルの精度向上を目的に熱真空試験を行った。機器を搭載する部分の実機構造体を用いて、JAXA つくば宇宙センターの8mφ真空チャンバにて、熱平衡時のデータを取得し、熱解析モデルに反映した(図9)。その結果、数点のフライトヒータ追加のみで、温度維持が可能なことを確認した。

## (b) 電力リソース確保

ロケットの2段ステージには太陽電池を装備していないので、ミッション時間延長に伴う必要電力量の増加に対応するため、大容量のリチウムイオン電池を採用した。

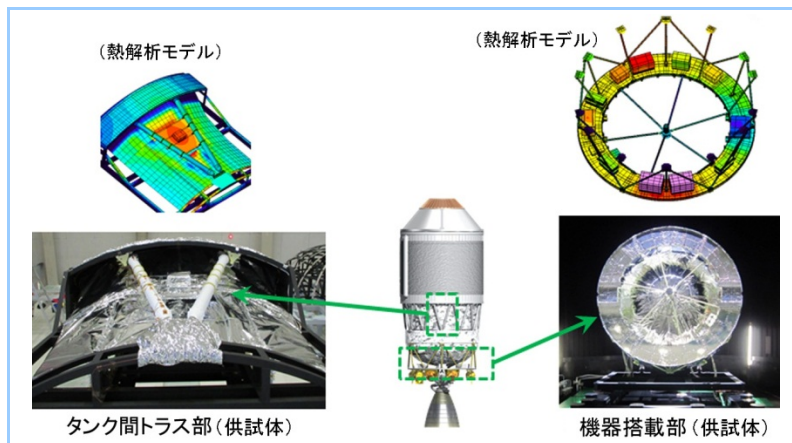


図9 実機大部分構造モデルでの熱真空試験

## (3) エンジン再々着火

遠地点近傍で行うエンジン再々着火は、増速量が 300m/s と小さい。軌道投入精度の観点から、スロットリングにより推力を下げ、燃焼時間を延ばすことが望ましい。2段エンジン LE-5B は、初度開発時に 60%スロットリングの設計を行い、H-IIA TF2(2002年打上げ)での飛行実験により、フィービリティの確認まで実施していた。高度化開発では、60%スロットリング機能を実用化するため、改めて 60%スロットリングの作動点を設定し、JAXA 角田宇宙センターの高空燃焼試験設備(HATS)での認定試験を完了した(図10)。



図10 2段エンジン高度化認定試験(60%スロットリング)

## 4. まとめ

H-IIA ロケットの2段ステージを改良する高度化開発により、静止衛星の長寿命化に対応可能となる。これにより、国際競争力が増し、初の商業衛星受注を得るに至った。地上での開発は既に完了しており、2015 年秋に初号機を打上げる予定である。

### 謝辞

H-IIA ロケットの高度化開発は、JAXA からの契約に基づき実施したものである。開発において、多大な貢献を頂いた JAXA 宇宙輸送ミッション本部 基幹ロケット高度化プロジェクト関係者に謝意を表す。

## 参考文献

- (1) Tanouchi H., et al., Current status and future prospect of Japanese flagship launch vehicle, IAC-14-D2.1.4
- (2) JAXA 基幹ロケット高度化, <http://www.jaxa.jp/projects/pr/brochure/pdf/01/rocket08.pdf>
- (3) Hamasaki K., et al., The propulsion system development of H-IIA upgrade program, Space access international conference, 2014