

資料29-4

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第29回H28.7.14)



H-IIAロケット高度化プロジェクト 終了審査の結果について

平成28年7月14日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

理事 山本静夫

執行役 布野泰広

基幹ロケット高度化プロジェクトチーム 川上道生

本資料の位置づけ

- ◆ 我が国の基幹ロケットについて、国際競争力を強化し、かつ惑星探査ミッション等の打上げに、より柔軟に対応するため、平成23年度に基幹ロケット高度化プロジェクトとして開発を開始し、平成27年度の飛行実証の成功をもって開発を完了したものである。
- ◆ 基幹ロケット高度化プロジェクトの開発完了を踏まえ、平成28年5月にJAXAとしてプロジェクト終了審査を実施した。審査項目は以下の通り。
 - (1)プロジェクト目標の達成状況
 - (2)社会的/政策的/国際的貢献状況や波及効果(アウトカム)
 - (3)プロジェクト終了後に移行する事業計画
 - (4)投入した経営資源、実施体制、スケジュール実績
 - (5)教訓や知見の継承状況
 - (6)人材育成結果
- ◆ 審査の結果、基幹ロケット高度化プロジェクトは、所期の目的を達成しており、プロジェクトを終了してよいと判断された。
- ◆ 本資料では、基幹ロケット高度化プロジェクトが「宇宙開発利用部会における研究開発課題等の評価の進め方について」(平成25年4月4日宇宙開発利用部会決定)における「文部科学省が重要と判断するもの」に該当するとされたことを踏まえ、JAXA自らが評価実施主体となって実施した終了審査の結果を報告する。

報告内容

1. 基幹ロケット高度化プロジェクトの概要
2. プロジェクト目標と達成結果
3. プロジェクト実施結果
4. プロジェクト終了審査判定

1. 基幹ロケット高度化プロジェクトの概要

- 長期的な視点に立った輸送システムの発展構想の下、第2段機体を高性能化し、機能・性能面での世界標準との格差を是正し国際競争力を高めることとともに、打上げ事業基盤の維持を図る。
- 今後老朽化更新を迎えるレーダ局の代替として機体搭載型の飛行安全用航法センサを開発し、運用基盤の強化を図る。

基幹ロケット高度化プロジェクト

ロケットの機能・性能の向上

(1) 静止衛星打上性能の向上

<29号機に適用・技術実証>

- ロケットの飛行時間とエンジン着火回数を増やすことにより、従来よりも柔軟な飛行を可能にし、静止衛星の打上げ能力を向上。

(2) 衛星搭載環境の緩和

<30号機にて技術実証>

- 火工品によらないメカニズムによる低衝撃型衛星分離部により、衛星の搭載環境を世界最高レベルまで引き上げ。

ロケット運用基盤の強化

(3) 地上レーダ設備の不要化

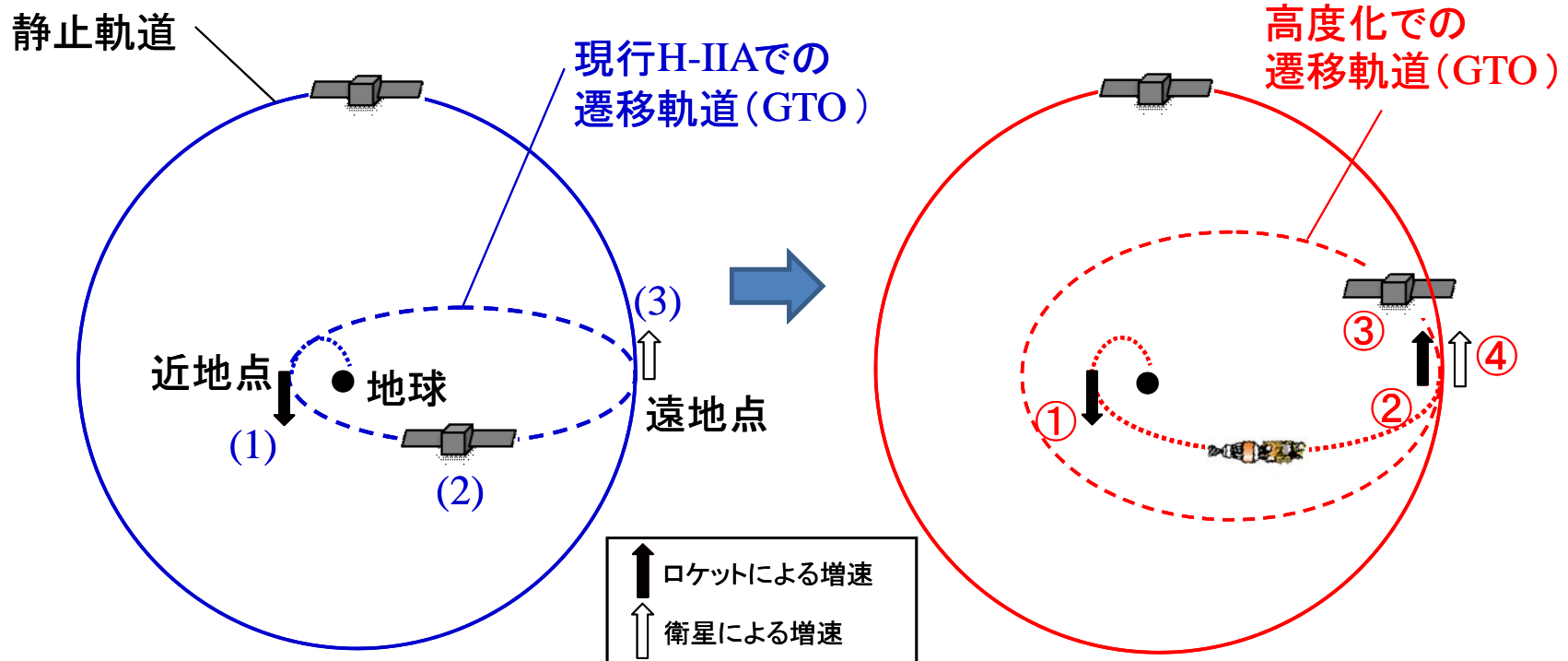
<29号機にて技術実証>

- 機体搭載型飛行安全用航法センサを開発することで、地上レーダ設備を不要化。



高度化開発の目的 -静止衛星打上性能の向上-

基幹ロケット高度化で実現させる「ロングコーストGTO」では、速度の遅い遠地点で増速し、効率的に近地点高度引上げ／軌道傾斜角低減を行うことにより、静止化増速量を世界の標準レベル(1,500m/s)以下に低減する。



<現状の「標準GTO」>

- (1)近地点で2段エンジンを再着火して増速
- (2)衛星を分離して遷移軌道に投入
(リフトオフから衛星分離まで最大3,000秒)
- (3)遠地点で衛星が増速して静止軌道に投入

<高度化で実現させる「ロングコーストGTO」>

- ①近地点で2段エンジンを再着火して増速
- ②ロングコースト後、遠地点で再々着火(低推力)して効率的に増速※1
- ③衛星を分離して遷移軌道に投入
(リフトオフから衛星分離まで最大20,000秒)
- ④遠地点で衛星が増速して静止軌道に投入

※1) 近地点よりも遠地点の方が速度が低く、遠地点の方が効率的に静止化増速量 ΔV を低減可能

図1 静止化増速量低減のための方策

高度化開発の目的 衛星搭載環境の緩和(低衝撃型衛星分離部開発)

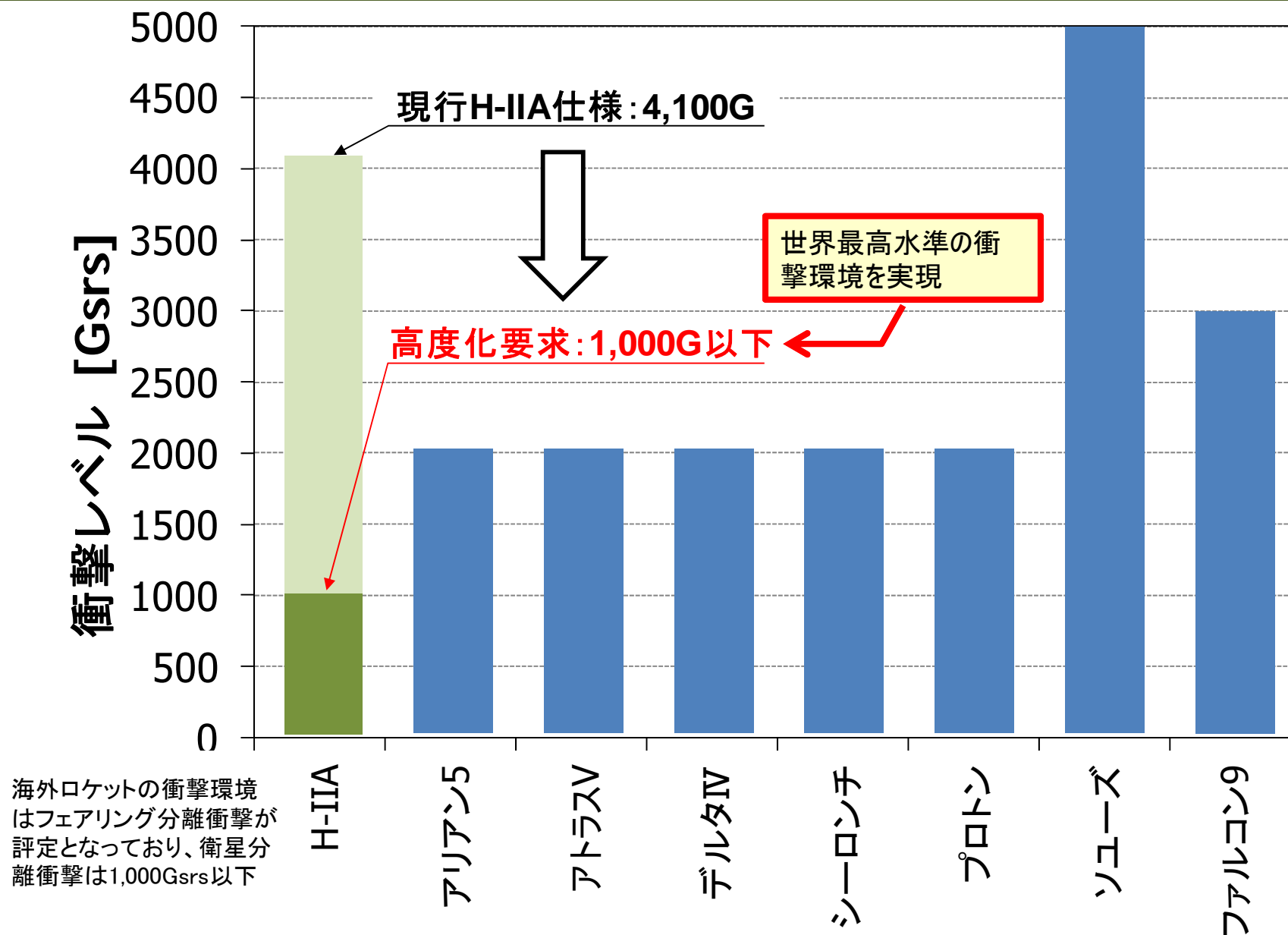


図2 主要ロケット 衛星搭載衝撃環境の比較と高度化システム要求



衛星

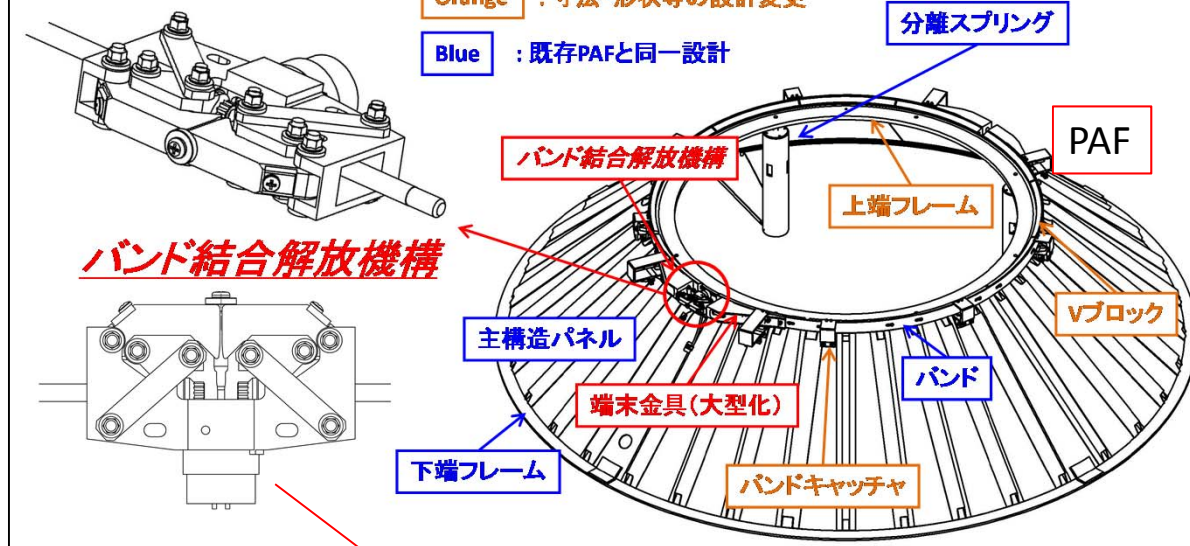
衛星分離部
(PAF)

低衝撃PAF概要

Red : 主要な新規開発要素

Orange : 寸法・形状等の設計変更

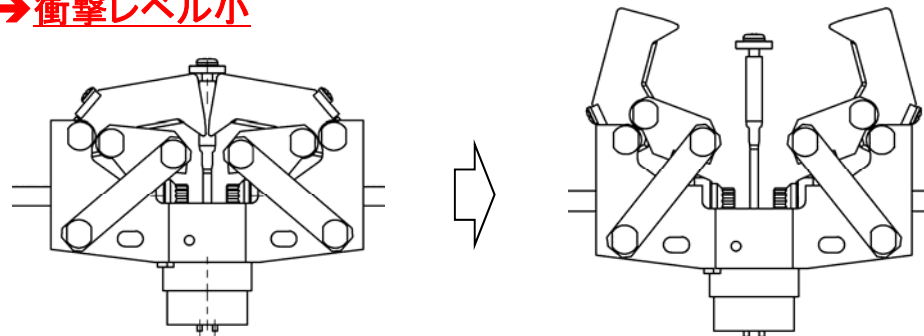
Blue : 既存PAFと同一設計



【新方式】

非火工品デバイスをトリガとしリンクによりボルト拘束解除

→ 衝撃レベル小



【従来方式】

火工品ボルトカッターにより
結合ボルトを切断

→ 衝撃レベル大

図3 低衝撃型衛星分離部の開発内容

高度化開発の目的 地上レーダ設備の不要化(航法センサ開発)

- ▶ H-IIAロケットは、機体に搭載するレーダトランスポンダ(電波中継器)と地上レーダ局により位置情報を得て、飛行安全管制を行っている。
- ▶ 高精度の飛行安全用航法センサ※1を開発・搭載することにより、ロケット機体単独で位置情報を送信し、老朽化が進む地上レーダ局を不要化する(レーダの大規模な老朽化更新・維持費用の削減効果大)。

※1)リフトオフ直後から適用可能なよう、測位衛星による測位に加え安価な慣性センサユニット(IMU)を用いた複合航法を適用。

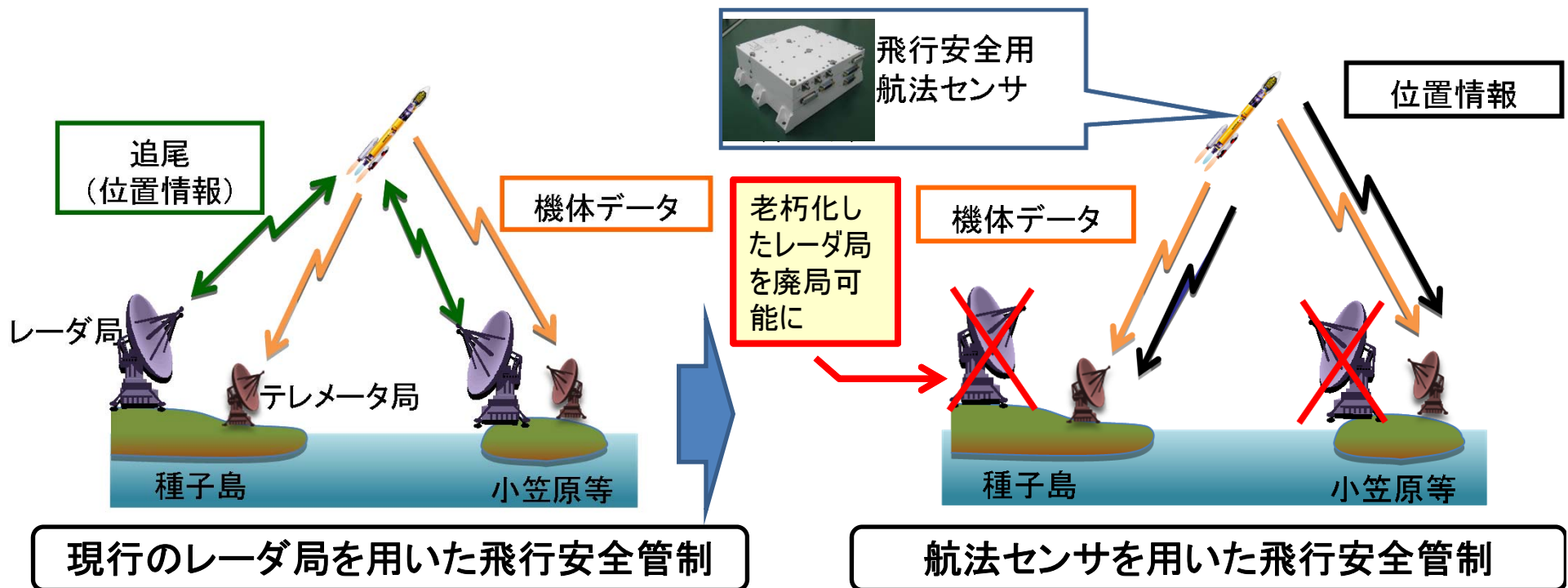


図4 飛行安全用航法センサを用いた飛行安全管制概念

2. プロジェクト目標と達成結果

- 基幹ロケット高度化開発の各ミッション要求を達成したことを確認し、開発成果を民間に技術移転した。これにより、基幹ロケットは機能・性能面での世界標準との格差を是正し、国際競争力を高めた。また、H3やイプシロンに共通的に適用する技術の先駆けとして、技術実証を完遂した。

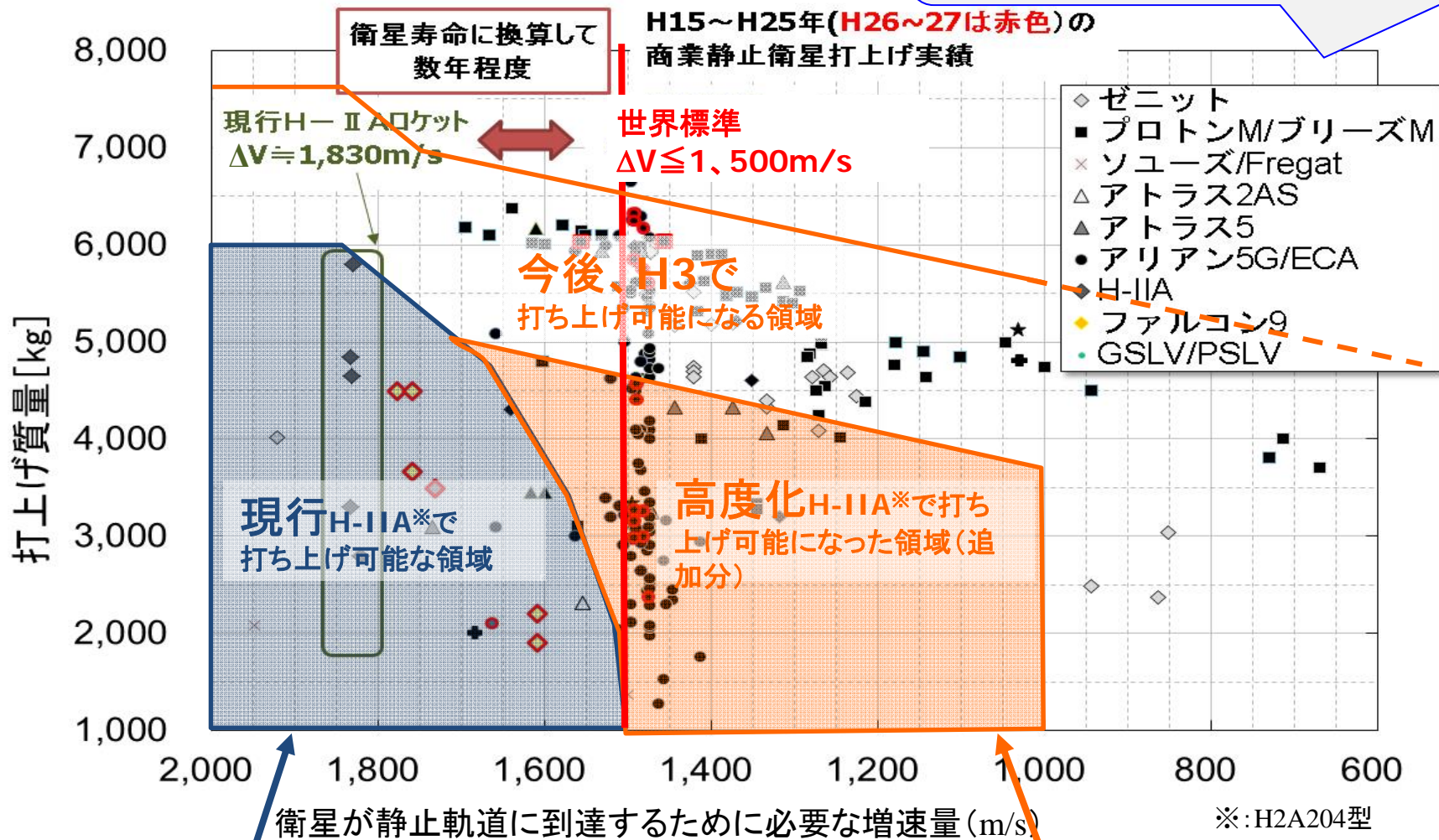
表1 ミッション要求・成功基準と達成結果

ミッション要求		サクセスクライテリア	達成結果	
1. 静止衛星打上性能の向上 (静止化 $\Delta V=1,500\text{m/s}$ 、 遠地点高度約36,000km)	202型GTO 打上能力	2.9ton以上 (エクストラサクセス3.0ton以上)	○	3.05 ton
	204型GTO 打上能力	4.6ton以上 (エクストラサクセス4.7ton以上)	○	4.90 ton
	デブリ防止 対策技術	第2段機体のデブリ防止に 必要な技術の獲得	○	ロングコースト技術、 60%スロットリング技術を獲得
2. 衛星搭載環境条件 の向上	低衝撃型 衛星分離 部の開発	1,000Gsrs以下	○	1,000Gsrs以下を達成
3. 運用基盤の強化	飛行安全 用航法セン サの開発	飛行フェーズにおいて所要の 性能を達成する(現レーダ局の 代替置換対応)	○	飛行実証の結果、 左記を満足することを確認。

静止衛星打上性能の向上の成果

—世界の衛星打ち上げ市場に対応—

縦軸は打ち上げる衛星の質量、
横軸は軌道到達のための衛星側燃料負担を表し、
過去に打ち上げられた衛星について整理



現行のH-IIAロケットでは、商業静止衛星の
7%程度しか打ち上げられなかった。
(過去に打ち上げられた商業静止衛星の機数での換算)

高度化

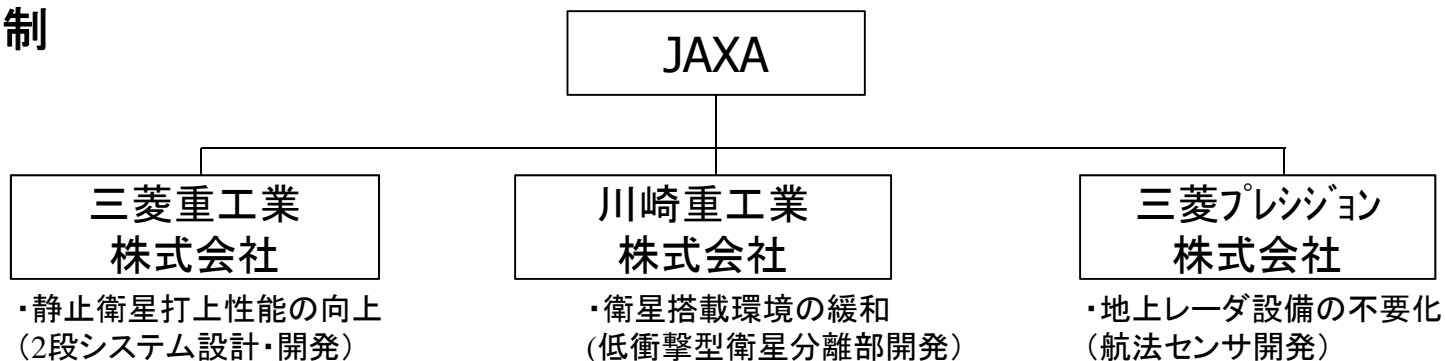
基幹ロケット高度化対応により、
約50%の静止衛星を打ち上げ可能とした。

2. プロジェクト目標と達成結果～アウトカムについて～

- 基幹ロケット高度化開発による商業衛星打上げの成功により、高緯度に位置する種子島射場の打上能力のハンディキャップを克服し、H-IIAは本格的な国際市場への参入が可能となった。
- この結果、三菱重工に対し海外顧客から応札要望が増加するとともに、本年3月には基幹ロケット高度化の開発成果を用いたH-IIAロケットによるアラブ首長国連邦(UAE)の火星探査機の打上げを受注するなど、平成27年度は日本の基幹ロケットの商用化元年となった。
- 航法センサの開発により、老朽化更新および運用維持経費の大幅な削減が可能な目途を得た。また、開発の機会に合わせて部品枯渇にも対応することで、基幹ロケットの安定的な打上げが可能となった。
- H-IIAロケットの性能向上による需要拡大は、産業基盤の強化につながり、日本の宇宙産業の弾みとなるとともに、H3を含めた基幹ロケットの発展に向けた大きな布石となった。

3. プロジェクト実施結果(1/2)

(1) 実施体制



(2) 資金

本プロジェクト総資金は92億であり、計画通り完了した。

(3) 開発スケジュール

	FY23	FY24	FY25	FY26	FY27	FY28
主要 マイルストーン	プロジェクト移行				実証(F29)	プロジェクト終了
① 静止衛星 打上性能の向上	基本設計	詳細設計	維持設計			
② 衛星搭載環境の緩和	基本設計	詳細設計	維持設計			
③ 地上レーダ設備の不要化	基本設計		詳細設計		維持設計	

3. プロジェクト実施結果(2/2)

(4) 教訓や知見の継承状況

- 後続事業へ継承されるべき教訓・知見及び組織横断的に継承されるべき教訓・知見をまとめた。
- 本プロジェクトで得られた教訓や知見は、今後のロケット開発にフィードバックを行う。

(5) 人材育成結果

- プロジェクト体制が小規模であったことから、プロジェクトメンバ個々が技術検討からマネジメントに至る範囲を所掌する必要があった。結果、本プロジェクトを通して、特に若手職員のロケット開発における技術力やマネジメント力の向上を図ることが出来たものとする。
- H-IIA/Bロケットの民間移管以降、打上げ時のロケット機体系へのJAXA職員の関わりが限定的となっていたが、本開発を通じて、射場整備から打上げに至る経験の蓄積を図る機会となった。
- 飛行実証機体の射場作業には、プロジェクトチーム員以外の職員も参加させ、そこでの経験はH3開発にも生かされるものとする。
- 開発に携わった企業においても、高度化開発に従事した人材がH3開発のキーマンとなって活躍するなど、技術継承・人材育成がはかられロケット技術者の維持に貢献したものとする。

4. プロジェクト終了審査判定

本プロジェクトは、「長時間慣性飛行・再々着火技術の獲得」、「低衝撃衛星分離部の開発」、及び「飛行安全用航法センサの開発」に取り組み、設定した総資金とスケジュールの範囲内で飛行実証を行い、設定した目標を達成した。また、追尾系の高度化など後継事業に引き継ぐ内容が明確となっている。

打上げサービス事業者の要望と世界の市場動向を踏まえた新しい技術開発を行ったことにより、UAE火星探査機の受注などH-IIAロケットの打上げサービスの受注拡大など、アウトカム目標の達成に向けた成果が表れている。また、惑星探査ミッションへの拡張や相乗りミッションを含む多様な投入軌道への対応、推進薬低減による衛星設計自由度の増加といった衛星側への新たな価値の提供が可能となり、今後のJAXAミッションへの貢献も期待できる。

さらに、本プロジェクトで得られた技術は、H3ロケットやイプシロンロケットに継承される計画であり、日本の基幹ロケットの技術維持・発展、技術者の維持・育成にも貢献している。

以上のように、本プロジェクトは所期の目的を達成し、後継事業も明確にしていることから、プロジェクトを終了してよいと判断する。なお、要処置事項を期限まで処置すること。また、外部評価により得られた意見に対して適切に対応すること。

本プロジェクトで得られた技術と人材がH3開発に継承され、国際打上げ市場の動向を踏まえた競争力のあるロケット開発が推進されることを期待する。

平成28年5月31日
審査委員長 山浦雄一

外部評価

【外部評価委員】(50音順:敬称略)

三菱重工業株式会社 防衛・宇宙ドメイン 宇宙事業部 営業部長	小笠原 宏	打上げサービス事業者 の視点からの評価
株式会社サテライト・ビジネス・ネットワーク 代表取締役社長	葛岡 成樹	国際衛星打上げビジネス の視点からの評価
三菱電機株式会社 鎌倉製作所 主管技師長	関根 功治	衛星開発事業者の視点 からの評価
株式会社放送衛星システム 衛星管制センター長	服部 嘉人	衛星運用事業者の視点 からの評価

【プロジェクト終了審査構成員】

理事(プロジェクト終了審査 審査委員長)	山浦 雄一
理事	川端 和明
理事(第一宇宙技術部門長)	山本 静夫
理事	浜崎 敬
理事	今井 良一
執行役	布野 泰広
執行役	上野 精一
技術参与(信頼性統括)	武内 信雄
技術参与(統括チーフエンジニア)	本間 正修

※プロジェクト終了審査に先立ち、プロジェクト終了審査の構成員が参加した形で外部評価を実施

プロジェクト終了審査(経営審査)

【審査委員長】

経営推進担当理事 山浦 雄一

【審査委員】

理事	川端 和明
理事	山本 静夫
理事	浜崎 敬
理事	今井 良一
執行役	布野 泰広
執行役	上野 精一
技術参与(信頼性統括)	武内 信雄
技術参与(統括チーフエンジニア)	本間 正修

【審査補助者】

経営推進部長	寺田 弘慈
人事部長	鈴木 和弘
総務部長	佐藤 明生
安全・信頼性推進部長	泉 達司
チーフエンジニア室長	岩田 隆敬

別紙2(1/3) 外部評価結果

基幹ロケット高度化プロジェクトについて、JAXAより提示された評価対象文書に基づき以下のA)、B)の観点で評価を行った。評価結果を以下に示す。

評価の総括として、本プロジェクトで達成した目標と達成時期は、国際ベンチマークの観点、打上げサービス利用者の観点で適切であったと評価する。また、本プロジェクトの成果とアウトカムについては、打上げサービス利用者・事業者の視点からみた成果最大化の観点から妥当であると評価する。

H-IIAの開発完了からH3の開発が開始されるまでの期間において、打上げサービス事業者の要望と世界の市場動向を踏まえた新しい技術開発を行い、打上げ受注の拡大につながった。さらに、JAXA及びロケット開発企業の技術者の維持・育成にも貢献した。

本プロジェクトで得られた技術がH3に継承され、次世代の基幹ロケットとして我が国の自律的宇宙アクセスを確保するとともに、国際競争力のあるロケットとなることを期待する。

平成28年6月7日
外部評価委員

<評価の観点>

- A) 本プロジェクトで達成した目標とその達成時期は、国際的なベンチマークの観点、打上げサービス利用者の観点を含め、適切であったか。
- B) 本プロジェクトがもたらすアウトカムは打上げサービス利用者、及びサービス事業者(ステークホルダ)の視点で成果の最大化の観点から妥当か。

別紙2(2/3) 外部評価結果

外部評価委員の意見	JAXAの対応
<ul style="list-style-type: none"> 本プロジェクトの開発により獲得した長時間慣性飛行・再々着火の技術により打上げ能力が向上し、JAXAを含む打上げサービス利用者にとって打上の選択肢が広がったことは大きな成果であり評価できる。 打上げサービス事業者の今後の受注活動にこの技術が活用され、更なる顧客獲得やJAXA事業の発展に繋がることを期待する。 	<ul style="list-style-type: none"> 本プロジェクトで得られた成果をH3開発に適用し、さらなる基幹ロケットの発展につなげる。 長秒時慣性飛行・再々着火の技術により可能となった衛星投入軌道の柔軟性という利点を念頭に、惑星探査衛星など将来のJAXAミッションの検討をより広範に行う。
<ul style="list-style-type: none"> 本プロジェクトの成果としてH3開発につながる長時間慣性飛行・再々着火の技術を早期に獲得できたことは、H3の国際ベンチマークにおける優位性を高めるものであり評価できる。 本プロジェクトの成果が打上げサービスの国際競争力向上に向けてH3開発にどのように継承されているのかを丁寧に説明し、国民の理解を深めていくことを期待する。 	<ul style="list-style-type: none"> ご意見の通り、国民の理解が進むよう努める。(次頁参照)
<ul style="list-style-type: none"> 長時間慣性飛行・再々着火で獲得した技術は、将来の宇宙探査で必要となる軌道間輸送にも適用できるものである。 また、長時間慣性飛行を実現した推進薬の効率的使用に資する技術のように探査機の性能向上といったロケット以外の分野にも活用できる可能性の有る技術もある。 本プロジェクトで獲得した技術がより広範に活用されるよう、JAXAのリーダーシップに期待する。 	<ul style="list-style-type: none"> 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会第2次とりまとめにおいても、重点的に取り組む技術課題の1つとして、深宇宙補給技術が識別されていることから、本プロジェクトで獲得した技術を次世代の深宇宙補給機に取り入れるよう研究開発を進めていく。

別紙2(3/3) 外部評価結果

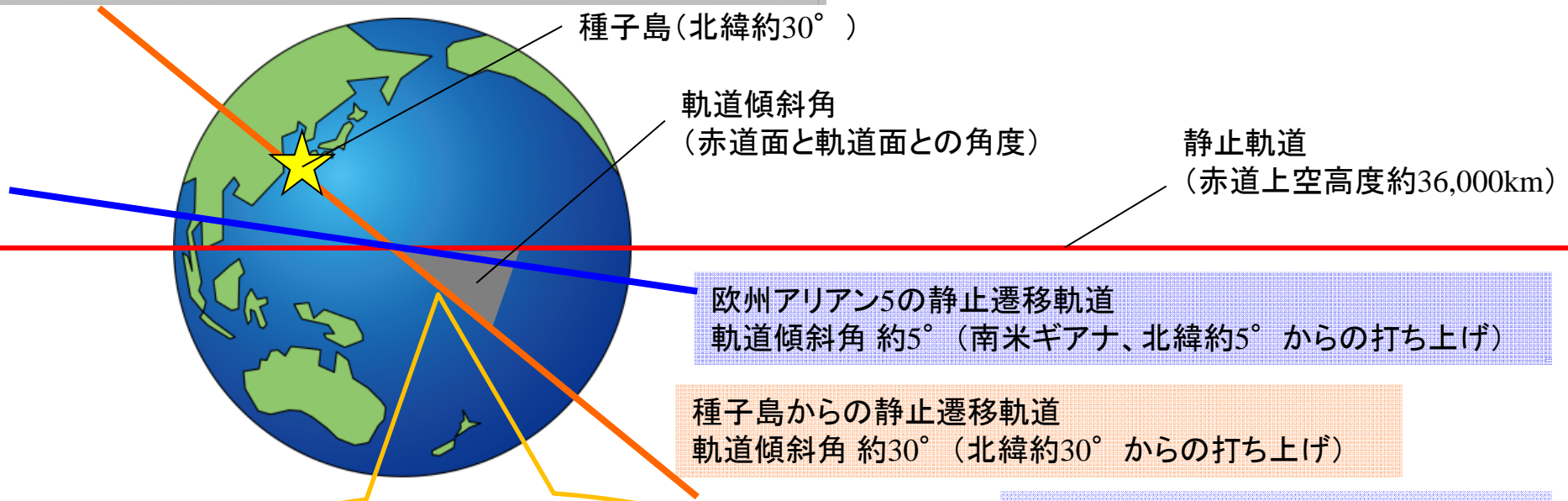
長時間慣性飛行・再々着火の技術の継承について

得られた技術	H3へ継承する内容
長秒時慣性飛行技術	高精度化した極低温推進薬マネジメント技術を用いた打上能力向上 <ul style="list-style-type: none"> •蒸発量評価技術 •エンジン予冷予測技術 •スロッシング抑制技術効果効果（タンク内バブルによる液面挙動制御技術）
	大容量電力供給技術（高度化で開発したセルをサイジング） <ul style="list-style-type: none"> •高効率なLiイオン電池のセル製造技術 •耐環境技術（振動環境）
	高精度化した熱制御・解析技術を用いたロバスト性の拡大
再々着火技術	2段エンジンの再々着火

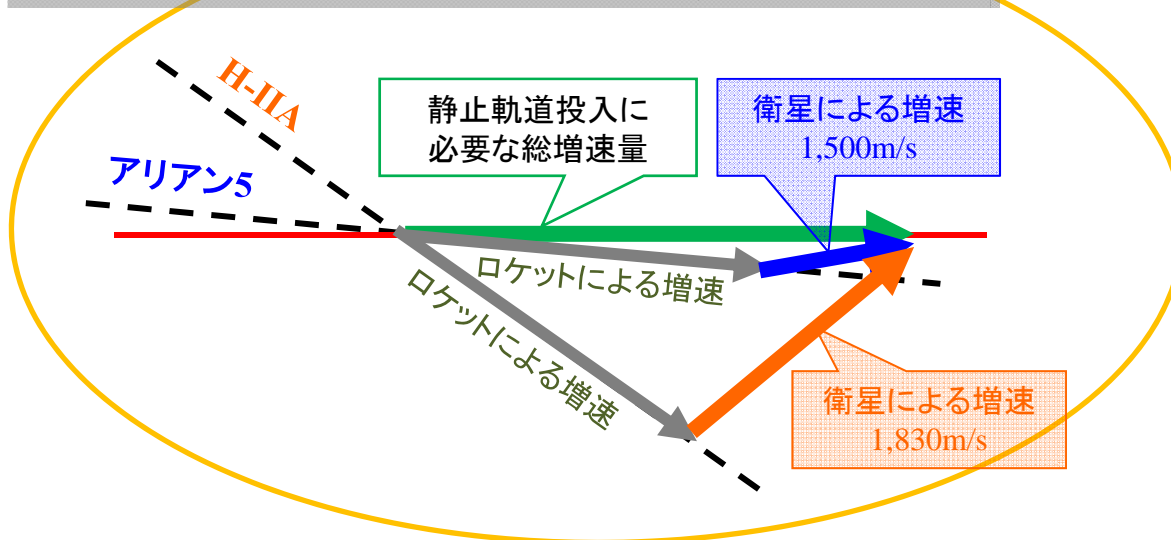
特に、H-I ロケット2段極低温推進系の自主開発以来、輸送系基盤技術のコアとして培った推進系技術が、一段高い技術レベルで継承されたことは、H3ロケットの開発に向けて貴重な成果である。

別紙3 高緯度に位置する種子島射場の打ち上げ能力のハンディキャップ

▶ 打ち上げ射場による静止遷移軌道の違い



▶ 静止遷移軌道の違いからくる衛星負担の違い



▶ **アリアン5ロケット(ギアナ打ち上げ)**
より静止軌道に近い赤道付近の射場から打ち上げることで、衛星側の増速量負担(≒軌道投入のための燃料負担)は小さくなる。

▶ **H-IIAロケット(種子島打ち上げ)**
種子島(北緯約30度)から打ち上げるため、アリアン5で打ち上げる場合と比較して、衛星が負担する増速量(≒軌道投入のための燃料負担)が大きい(約330m/s)。
⇒**衛星にとっての負担大。**