

資料13-1

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13回)H25.12.24



準天頂衛星システムプロジェクトの 終了審査の結果について

平成25年12月24日

宇宙航空研究開発機構

理事 山本 静夫

第一衛星利用ミッション本部 衛星測位システム技術室長 平林 毅



本資料の位置づけ

- ◆ 準天頂衛星初号機「みちびき」は、JAXAが関係機関と協力して開発し、運用している測位衛星である。平成18年度に開発を開始し、平成22年9月に打ち上げた。
- ◆ 「みちびき」の技術実証終了を踏まえ、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)投入した経営資源、実施体制、スケジュール実績の妥当性
 - (3)人材育成結果
 - (4)プロジェクト終了後に実施する事業
 - (5)機構横断的に継承すべき教訓・知見等の識別状況
- ◆ 審査の結果、準天頂衛星システムプロジェクトの終了は妥当と判断した。今後は「みちびき」の国への移管に向けて関係機関との調整を進める。
- ◆ 本資料では、「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)における基本的な考え方を踏まえ、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。

(*) 宇宙開発委員会(平成24年7月に廃止)における評価基準「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針(平成19年4月23日宇宙開発委員会推進部会決定)」及びJAXAプロジェクトマネジメント規程に準じて設定した。



プロジェクト終了に係るこれまでの審査経緯

• 技術実証確認会の実施

- 技術実証確認会は、サクセスクライテリア達成度の確認を行うことを目的とし、JAXA内外の有識者を委員として段階的に実施した。
 - 技術実証中間確認会 (H23.4)、技術実証確認会 (H23.7)、技術実証最終確認会 (H25.5)

• プロジェクト終了審査【社内審査会】（平成25年11月18日）

- 社内審査員により、プロジェクト実施結果を確認し、プロジェクト終了審査【本審査】への移行可否を判断した。

• プロジェクト終了審査【本審査会】（平成25年11月21日）

- JAXA外の有識者・関係者を審査委員として、プロジェクト実施結果を確認し、機構としてプロジェクト終了の妥当性を判断した。（また、「みちびき」を内閣府へ移管するにあたってのJAXAの準備状況を確認した。）

• JAXA理事会での報告（平成25年12月3日）

- 平成25年12月3日理事会にて、プロジェクト終了審査結果を報告し、承認された。

宇宙開発利用部会での報告



報告内容

1. プロジェクトの概要及び経緯
2. プロジェクト目標の達成状況
3. 投入した経営資源、実施体制、スケジュール実績の妥当性
 - 3.1 資金
 - 3.2 人員・実施体制
 - 3.3 スケジュール実績
4. 人材育成結果
5. プロジェクト終了後に実施する事業
6. 機構横断的に継承すべき教訓・知見等の識別状況
7. まとめ



1. プロジェクトの概要及び経緯



1. プロジェクトの概要及び経緯(1/4)

■ プロジェクトの主な経緯

- ・平成15年5月 高精度測位実験システムの研究を開始
 - ・平成15年6月 宇宙開発委員会にて、開発研究が了承
 - ・平成16年12月～17年1月 高精度測位実験システム研究確認会
(平成18年2月 民間が通信・放送の事業化を断念)
- ・平成18年3月 「準天頂衛星システム計画の推進に係る基本計画(測位・地理情報システム等推進会議)」により、第1段階の準天頂衛星システムの整備・運用は、(独)宇宙航空研究開発機構が担当となる。(補足1参照)
 - ・平成18年～22年: 準天頂衛星初号機「みちびき」の開発
 - ・平成18年11月 宇宙開発委員会にて、開発移行が了承
 - ・平成18年11月 プロジェクト移行審査
 - ・平成19年5月 プロジェクト移行審査(その2)
 - ・平成22年9月 準天頂衛星初号機 打上げ
 - ・平成22年～25年: 技術実証を実施 (補足2参照)
 - ・平成23年4月 技術実証中間確認会
 - ・平成23年6月 測位信号の提供開始、同年7月 技術実証確認会
 - ・平成25年5月 技術実証最終確認会
- ・「技術実証最終確認会」にて、すべてのサクセスクライテリアを達成していることを確認した。
- ・独立行政法人評価委員会による平成23、24年度及び第2期中期目標期間の評価結果として、衛星測位プログラムはS評価であった。

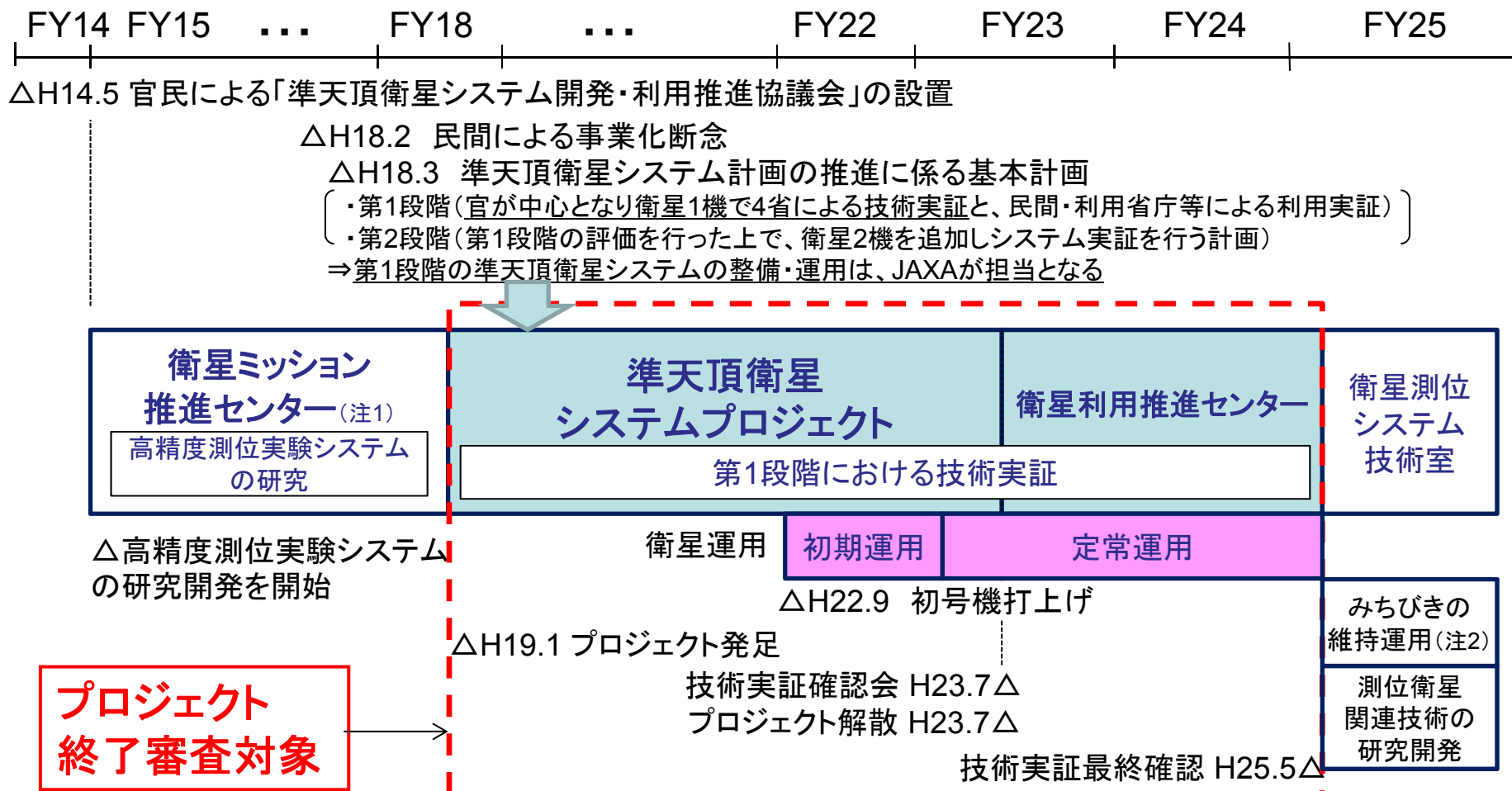


打上げ(平成22年9月11日)



1. プロジェクトの概要及び経緯 (2/4)

■ プロジェクトの主な経緯 (続き)



注1: 高精度測位実験システムの研究着手は「衛星ミッション推進センター」にて実施。その後、「通信・測位利用推進センター」、「測位衛星システム室」と変遷後に、プロジェクトが発足。

注2: 「みちびき」は、内閣府において実用準天頂衛星システムの運用の受入れ準備が整い次第、内閣府に移管。移管までの間、JAXAは「みちびき」を維持。詳細は後述。





1. プロジェクトの概要及び経緯 (3/4)

■ 準天頂衛星システム第1段階のミッション概要

準天頂衛星システム 第1段階のミッション要求

項目	概要
(1) GPS 補完・補強技術の開発及び軌道上実証	準天頂軌道を利用して衛星の幾何学的配置を改善することによる、都市部や山間部における測位可能エリア・時間を増大、GPS 近代化相当の測位信号を送信することによる、測位精度の向上に関する実験を行う。【GPS 補完】 また、測位補正情報の送信による高精度化、インテグリティ監視関連情報の送信による高信頼性化に関する実験を行う。【GPS 補強】
(2) 次世代衛星測位システムの基盤技術の開発及び軌道上実験	実験用信号による衛星測位実験や擬似時計技術(AIST*担当)の研究開発及び軌道上実験を行う。

(平成18年8月宇宙開発委員会推進部会資料より抜粋)

⇒上記ミッション要求に基づき、次ページに示すプロジェクトの目的が設定された。

*AIST(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology:産業技術総合研究所)



1. プロジェクトの概要及び経緯(4/4)

■ プロジェクトの目的 (平成18年8月宇宙開発委員会推進部会資料より抜粋)

日本付近で常に天頂方向に1機の衛星が見えるように複数の衛星を準天頂軌道に配置した衛星システムにより、山間地、ビル陰等に影響されず、全国をカバーする高精度の測位サービスの提供実現に向けて、まず、第1段階として、準天頂測位衛星初号機を用いて以下の衛星測位技術に関する技術実証を行う。

- (1) GPS 補完・補強技術の開発及び軌道上実証
- (2) 次世代衛星測位システムの基盤技術の開発及び軌道上実験



2.プロジェクト目標の達成状況



2.プロジェクト目標の達成状況 (1/4)

① ミッション要求、プロジェクト目的に基づくサクセスクライテリアの達成状況:

準天頂衛星システムプロジェクトは、目標としたすべてのミッションを遂行し所定の目的を達成した。(詳細は、補足3を参照)

クライテリア			達成状況
GPS補完システム技術	ミニマムサクセス	GPS補完信号を送信して都市部、山間部等で可視性改善が確認できること (日本国内で仰角60度以上で8時間以上準天頂衛星が見えること)	達成 (参照 P33,34)
	フルサクセス	近代化GPS(*1)民生用サービス相当の測位性能が得られること。 〔①1周波コード:21.9m(95%)、2または3周波コード:7.5m(95%)〕 〔② SIS-URE (*2):±2.6m以内 (95%)〕	達成 (参照 P35-39)
	エクストラサクセス	電離層遅延補正等の高精度化により目標を上回る測位性能が確認されること。	達成 (参照 P40-42)

* 1 近代化GPS: 米国で計画されている次世代の高精度化、高信頼性化衛星測位システム

* 2 Signal in Space User Range Accuracy: 測位衛星とユーザ間の距離の計測値うち、宇宙部分(衛星内部の信号遅延、衛星軌道とクロックオフセットの推定・予報)の誤差。衛星測位システムの性能指標



2.プロジェクト目標の達成状況 (2/4)

クライテリア			達成状況
次世代衛星測位基盤技術	ミニマムサクセス	—	—
	フルサクセス	将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の機能が確認されること。(実験計画制定時に、目標の具体化を図る。)	達成 (参照 P43)
		技術実証実験計画書制定時(平成21年12月)に以下のように目標を具体化した。 ・2kbpsのデータ伝送速度を有する我が国独自のLEX信号について、IS-QZSS(※1)に規定する信号の機能(RF信号特性、メッセージフォーマット)を有することを確認すること。	
	エクストラサクセス	将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の性能が確認されること。(実験計画制定時に、目標の具体化を図る。)	達成 (参照 P43-45)
技術実証実験計画書制定時及び改訂時に以下のように目標を具体化した。 ①「みちびき」独自に構築した電離層遅延補正モデルにより、1周波測位において3m(95%)以下の測位精度を実現すること。(※2) ②実験用信号(LEX)を利用した単独搬送波位相測位により、地上基準点によらず、水平30cm、垂直60cmの誤差(rms)の測位精度を実現すること。(※3)			



※1: ユーザの意見を取り込んでJAXAが制定した文書

※2: 平成21年12月に具体化を図り、開発完了審査会(平成22年4月)にて、性能目標として設定した。

※3: 技術実証実験計画書改訂時(平成24年3月)に、性能目標を設定した。



2.プロジェクト目標の達成状況 (3/4)

- 開発当初からの環境の変化(複数GNSS整備の進展)や精密測位利用に対するニーズの広がりなどを踏まえ、当初設定したサクセスクライテリアを越える新たな目標として、ユーザニーズを踏まえ、下記の目標を設定し(平成22年10月)、これを達成した。

<p>次世代衛星測位基盤技術</p>	<p>モニタネットワークの拡充、軌道・クロック推定の高精度化、複数GNSS対応、LEXメッセージの改良等により、LEX信号のJAXAメッセージを用いて、以下のユーザ測位精度を達成できることをクライテリアとする。“2周波搬送波位相測位(LEX-PPP実験)において水平方向精度10cm(RMS)以下、垂直方向精度10cm(RMS)以下”</p>	<p>達成 (<u>後処理解析では達成を確認</u>) (<u>参照P46</u>)</p>
--------------------	---	---

複数GNSS(GPS, GLONASS, Galileo, QZSS)に対応したネットワークモニタ局網(MGM-net)の構築及び軌道・時刻を高精度に推定するツール(MADOCA)を整備したことにより、地上基準点によらず、目標とした水平10cm、垂直10cmの誤差(rms)のPPP精度を達成できることを後処理解析にて確認した。リアルタイムでの検証を今後実施予定。

注) GNSS: Global Navigation Satellite System (全地球航法衛星システム)

MGM-net: Multi-GNSS Monitoring Network (複数GNSSネットワークモニタ局網)

MADOCA: Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis (複数GNSS高精度軌道時刻推定ツール)

PPP: Precise Point Positioning (単独搬送波位相測位)



2.プロジェクト目標の達成状況 (4/4)

② 政策的／社会的／国際的貢献状況や波及効果

● 政策的側面

－準天頂衛星初号機「みちびき」の技術実証の成果を受けて、我が国として実用準天頂衛星システムの整備に取り組む旨の閣議決定がなされた(平成23年9月)。

● 社会的側面

－「みちびき」の高仰角特性を活用した受信機(カーナビ等)が徐々に発売されてきている。(補足4参照)

－技術実証の一環として進めている単独搬送波位相測位(PPP)技術は、基準局に依存しない絶対測位により、後処理で水平・垂直10cmの精度を達成できることを確認した。都市部や山間部においても、精密測位サービスがリアルタイムで安定して可能となる環境の実現は、生活を進化させるなどのインパクトを与える潜在性を有しており、今後も継続して研究開発を行う必要がある。

● 国際的側面

－アジア・オセアニア地域における「みちびき」を含む複数衛星測位システム(GNSS)を利用する取り組みとして、JAXA主導で「複数GNSS実証実験」を立ち上げ、アジア・オセアニア7か国12機関と共同実験を進めている。(補足5参照)

－当該活動を通し、国連の「衛星航法システムに関する国際委員会」(ICG)が目指すGNSSシステム間の共存性と相互運用性の推進に貢献した。



3.投入した経営資源、実施体制、 スケジュール実績の妥当性



3.1 資金

【妥当性評価】

- 準天頂衛星システム第1段階の整備・運用に係る総予算493億円(総務省、国土交通省、経済産業省からの受託分45億円含む)に対し、予算内でシステム整備、運用及び技術実証を実施し、すべてのプロジェクト目標を達成することができた。

3.2 人員・実施体制

【妥当性の評価】

- 人材の活用及び技術の継承
 - 準天頂衛星システムプロジェクトは、以下に示す人材及びこれまでの研究開発で蓄積した技術を積極的に活用することにより、短い開発期間(プロジェクト発足から打上げまで3.8年)においても、限られた人的リソースの中でプロジェクト目標を達成することができた。
 - 技術試験衛星VIII型(きく8号)で培った衛星バス技術や衛星測位基盤技術からの技術知見及び人材の活用
 - 設計、開発フェーズにおける技術研究本部専門技術グループからの効果的な技術支援
 - 統合追跡ネットワーク技術部が開発してきた高精度軌道決定技術の活用



3.2 人員・実施体制(続き)

• 衛星プライム契約の適用と測位システムの衛星・地上一体開発

- 衛星システム開発の契約においては、JAXAでは初めて衛星プライム契約※を適用したことにより、責任の明確化と効率的な開発につなげることができた。また衛星の納入をリフトオフ時点にしたことにより、JAXAの射場業務が軽減でき、リソースを運用準備作業に充てることができた。
- 高精度測位実験システムの開発については、衛星測位システムが搭載機器と地上システムトータルで性能を担保するシステムである特徴を捉え、衛星搭載機器と地上設備を一つの契約で行うことにより、確実なシステム開発を行うことができたと考える。

※ 衛星プライム契約検討委員会の検討結果に基づく、プライム契約書雛形を初めて適用

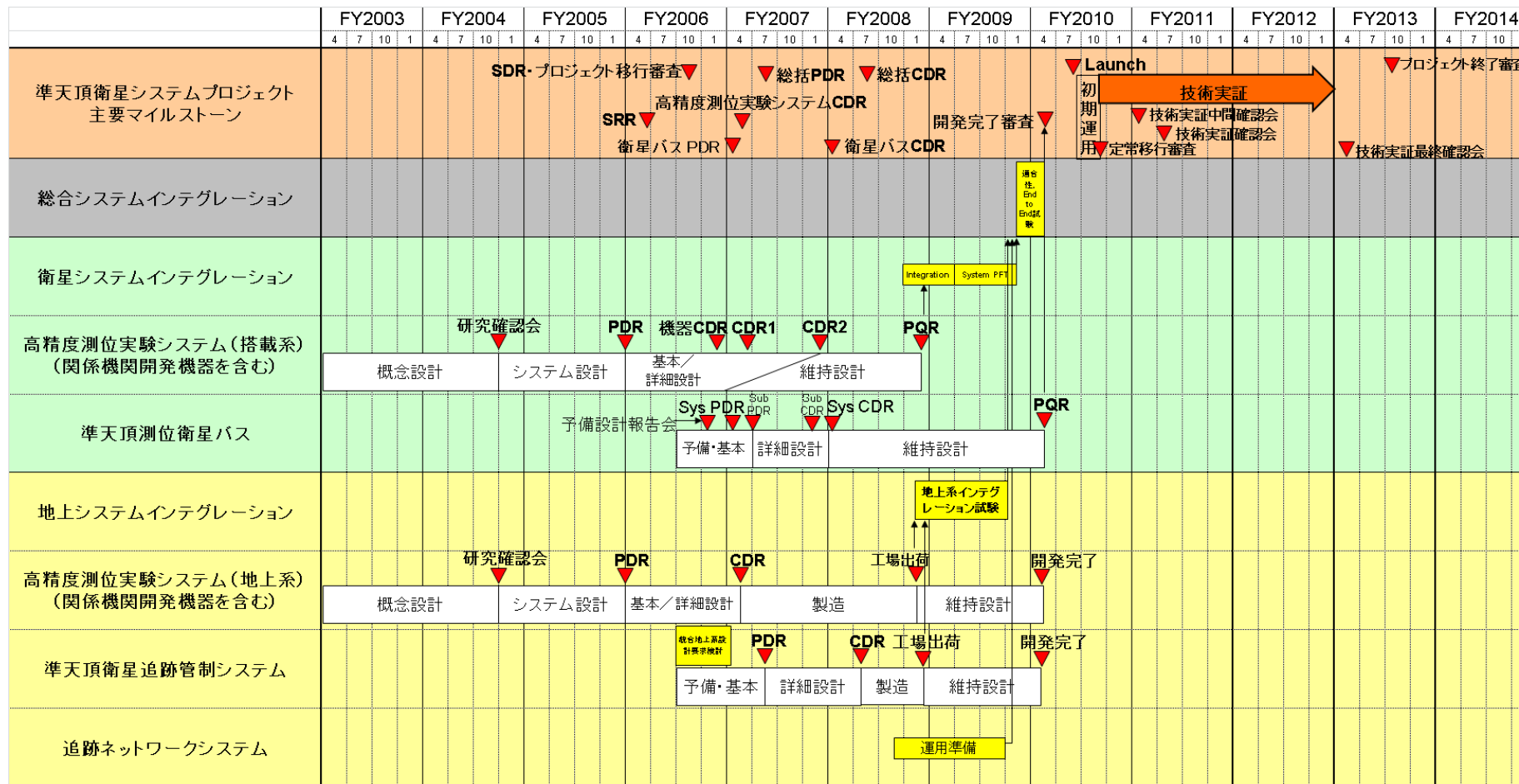
【今後の課題】

• 衛星測位分野における専門家の継続的な育成

- ー リモートセンシング分野に比べ、歴史が浅い衛星測位分野の担当者数はプロジェクトチームの中でも限られている。宇宙基本計画においても衛星測位分野は最優先事業として位置づけられており、中長期的な計画として国が推進する中、JAXAは政府全体の宇宙開発利用を技術で支える中核的な実施機関に位置付けられていることから、衛星測位分野の専門家の継続的な育成が必要と考える。



3.3 スケジュール実績 (1/2)





3.3 スケジュール実績 (2/2)

【妥当性の評価】

- 計画時(プロジェクト発足時)に設定された、打上げを含むすべてのスケジュールをほぼ変更することなく、当初計画通りにプロジェクトを遂行した。
- フルサクセス達成を約2か月程度前倒して、測位信号の校正検証を完了。現在、所定の精度を満たす測位信号の提供を継続中。

項目	計画時期	実績
基本設計審査会(システムPDR)	平成19年第1四半期	平成19年4月
詳細設計審査会(システムCDR)	平成20年第1四半期	平成20年4月
システムPFTの開始	平成21年第2四半期	平成21年8月
測位実験システム地上系の完成	平成21年度末	平成22年6月 (インドモニタ局整備の遅延によるが、 全体計画への影響なし)
追跡管制システムの完成	平成21年度末	平成22年3月
システムPFTの完了	平成21年度末	平成22年4月
打上げ	平成22年夏期	平成22年9月11日
定常運用開始(初期機能確認の終了)	(打上げ後3ヶ月)	平成22年12月13日
フルサクセスの達成	(打上げ後1年)	平成23年7月21日



4. 人材育成結果



4. 人材育成結果

- 準天頂衛星システムプロジェクトでは、立ち上げからシステム整備・運用、更には衛星測位に関わるユーザコミュニティの構築に至るまで一貫して、開発・運用を行った。
- 上記活動を通じて、プロジェクトメンバー(含む若手職員)は衛星測位システムの構築・運用等に係る能力・知見を獲得するとともに、国内外の組織との企画・調整能力を醸成した。
- 外部表彰として以下を受賞した。
 - 文部科学大臣表彰 科学技術賞(開発分野)
 - 日本航空宇宙学会技術賞[プロジェクト部門]
 - GPS World衛星部門
 - 「第42回世界情報社会・電気通信日のつどい」国際活動奨励賞受賞
- 準天頂衛星システムプロジェクトでの人材育成は適切に実施されたと判断する。
なお、3.2項の人員・実施体制の評価での課題にあげたように、今後も継続的な衛星測位分野の人材育成が必要である。



5. プロジェクト終了後に実施する事業



5.プロジェクト終了後に実施する事業

- 4章までに示したように、プロジェクト開始時に設定されたすべての目標について、技術実証が完了している。
- プロジェクト終了後は、第3期中期計画に基づき、以下の作業を実施する。
 - ① 「みちびき」維持および移管に係る作業
 - 初号機「みちびき」については、内閣府において実用準天頂衛星システムの運用の受入れ準備が整い次第、内閣府に移管する。
 - 移管までの期間、初号機「みちびき」を維持する。
 - ⇒ 維持については5.1項、移管については5.2項
 - ② 今後もJAXAが継続する業務
 - 世界的な衛星測位技術の進展に対応し、利用拡大、利便性の向上を図り、政府、民間の海外展開等を支援するとともに、初号機「みちびき」を活用した利用技術や屋内測位、干渉影響対策など測位衛星関連技術の研究開発に引き続き取り組む。
 - ⇒ 5.3項



5.1 「みちびき」の維持

- 内閣府に移管するまでの間、JAXAは「みちびき」を維持する。
 - 内閣府への「みちびき」移管時期について、現状、国からの具体的な指示がなく、引き続き国と調整する。

5.2 内閣府への移管に係る作業

- JAXAにおける移管に向けた現状と今後の対応
 - JAXAでは、計画した技術実証を完了し、技術的には「みちびき」の移管が可能な状態となっている。
 - 一方、移管される資産の範囲(衛星／関連地上設備)、移管の時期、移管条件等について、現状、国の具体的な方針が示されていない。今後、具体的な国の方針が明らかになった段階で調整の上、関係府省への手続きを進めることとする。(補足6参照)

5.3 今後もJAXAが継続する業務

- 中期計画に基づき、衛星測位技術に関する研究開発業務及び利用促進活動を実施する。これに係る資金の確保が必要。





6. 機構横断的に継承すべき 教訓・知見等の識別状況



6. 機構横断的に継承すべき教訓・知見等の識別状況

- 準天頂衛星システムの開発段階、運用段階、並びに技術実証の活動を通じて得られた教訓等については、機構横断的に引き継ぐべき知見としてまとめた。
- これらの教訓・知見等は、内閣府からの受託業務の中でフィードバックを行っている。今後も実用準天頂衛星システムの整備進捗に応じて、提言、反映を適宜行う予定である。



7. まとめ



7. まとめ

◆ 準天頂衛星システムプロジェクトの終了審査を実施し、評価結果は以下のとおり。

(1) プロジェクト目標の達成状況

- ・ プロジェクト目標はすべて達成した。
- ・ 政策的には実用準天頂衛星の整備計画が閣議決定されたこと、社会的には「みちびき」対応の受信機が販売されていること、国際的にはJAXA主導でアジア・オセアニア各国と共同実験を進めるなどの成果をあげた。

(2) 投入した経営資源、実施体制、スケジュール実績の妥当性

- ・ 当初設定した計画の範囲で適切にプロジェクトが遂行されており、いずれも妥当。

(3) 人材育成結果

- ・ プロジェクトの人材育成は適切に行われた。
- ・ なお、引き続き測位技術に関する人材育成を着実に進めることの必要性が確認された。

(4) プロジェクト終了後に実施する事業

- ・ 国に移管する事業について、技術的には準備が整っており、今後関係機関との調整が必要である。

(5) 機構横断的に継承すべき教訓・知見等の識別状況

- ・ 適切に識別されている。一方、実用準天頂衛星に継承すべき事項については、内閣府からの受託業務の中で、引き続きフィードバックを図っていくことが必要。

◆ 審査においては、外部委員から本プロジェクトの範囲を超える高い視点からの意見をいただいております、その議論も要約した判定結果は次ページに示す。

◆ 今後、移管までの「みちびき」の維持及び衛星測位技術に関する研究開発業務を引き続き実施する。但し、このためのリソース確保が継続的に必要となる。



＜準天頂衛星システムプロジェクト終了審査判定＞

準天頂衛星システムプロジェクトの実施結果について、審査対象文書により確認し審査した結果、準天頂衛星システムプロジェクトの終了は妥当と判断する。

今後は、「みちびき」の国への移管に向けて関係機関との調整を進める。

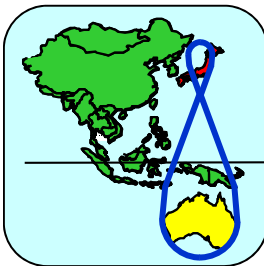
審査の中で、本JAXAプロジェクトの範囲を超えた高い視点からの意見が多数出された。今回審査会の主な議論を要約すると、以下のとおりである。

- ① 衛星測位技術分野は測位の相互運用性が確保された形で、各国の測位システムの整備が進んでいる中、「みちびき」の成果を基に淡々とシステム整備を進めるのみでは、日本の衛星測位システムの優位性を維持できなくなる恐れがある。日本独自の特徴ある衛星測位技術を維持し、さらに発展させるためには、JAXAを含む測位技術者コミュニティを強化して先導的研究開発に取り組むとともに、人材育成を着実に進めることが必要である。
- ② ソリューション提供やサービスの事業化を実現し、準天頂衛星利用の社会への定着を図っていく上では、測位を利用した事業展開を考えているコミュニティと測位技術者コミュニティ(測位システム整備・運用者、研究開発実施者)との連携に加え、測位情報に他の技術・情報・システムを組み合わせることが不可欠であり、これら全体を糾合する取組みが必要である。そのためには、それぞれのコミュニティの一層の拡充に加え、JAXAにはその中で技術の強みを活かし、橋渡しとしての必要な役割を果たしていくことを期待する。
- ③ 将来に亘り我が国が準天頂衛星システムを維持し、さらに発展させていくためには、将来に向けたグローバルなビジネス展開や複数衛星測位システム利用を視野に入れた取組みを進めることが必要である。
- ④ 準天頂衛星システム初号機「みちびき」開発において、目標仕様を大きく上回り、世界水準を超える測位精度を実現できたことは、それ以前の技術試験衛星Ⅷ型(きく8号)を含む様々な研究開発の成果を集約した結果である。当該技術をさらに高めるためには不断の技術開発が必要であり、今後も研究開発成果を着実に積み上げていくことが重要である。

平成25年11月21日
審査委員長 山浦 雄一



補足説明資料



【補足1】 準天頂衛星システム計画（閣議決定まで）

日本付近で常に天頂方向に1機の衛星が見えるように複数の衛星を準天頂軌道に配置した衛星システムにより、山間地、ビル陰等に影響されず、全国をほぼ100%カバーする高精度の測位サービスの提供を実現



準天頂衛星システム計画の推進体制と計画

（地理空間情報活用推進基本法（平成19年5月成立、同8月施行））

国の技術開発

H15 研究開始
H16～ 開発研究
H18～ 開発

【宇宙開発委員会】

- ・H18.8 開発移行の審査・了承（目標・目的・方針・体制）
- ・H18.11 具体的開発計画の審査・了承

第1段階（技術実証・利用実証）

H22 初号機打上げ予定
H22～ 実証・結果の評価

第2段階（システム実証）

官民の協力により
追加2機の準天頂衛星を打上げ

宇宙基本計画（平成21年6月宇宙開発戦略本部決定）においても測位衛星システムに位置付けられている

地理空間情報活用推進会議（平成17年9月 内閣に設置、平成20年6月名称変更）

文部科学省
準天頂高精度測位実験技術

総務省
高精度衛星測位技術

経済産業省
衛星の軽量化・長寿命化技術

国土交通省
高精度測位の補正技術
移動体に対する高精度測位技術

「準天頂衛星システム計画の推進に係る基本方針」（平成18年3月31日測位・地理情報システム等推進会議）
「地理空間情報活用推進基本計画」（平成20年4月15日閣議決定）

第1段階 文部科学省取りまとめ

研究開発4省による技術実証

文部科学省

総務省

経済産業省

国土交通省

利用実証への参加

民間
（（財）衛星測位利用推進センター（注））

関係府省庁

システムの整備・運用 JAXA

第2段階 国は、技術実証・利用実証の結果を評価した上で、民間と協力してシステム実証段階（追加2機）に移行
民間は、事業化判断を行い、事業内容、事業規模等に相応な資金を負担することで計画に参加

（注）平成19年2月5日関係4省共管にて設立

関係機関による連携・適切な分担
準天頂衛星システム開発・利用推進協議会
（関係省庁、関係研究開発機関、民間代表）

システムの成果

- ◎ 離島・山間部を含め、広く日本全体を対象とした測位サービスの提供
- ◎ GPSの情報を補完・補強*することによる高精度測位を実現

*補完（測位補完）：GPS互換信号を送信し、GPSとの組み合わせによって、利用可能エリアの拡大や利用可能時間を増加させること。

*補強（測位補強）：基準点で受信したGPS信号の誤差情報やGPS信号の使用可否情報等を送信して、測位の精度の高精度化や高信頼化を図ること。



【補足2】 技術実証確認会の位置づけと確認範囲

技術実証確認会は、サクセスクライテリア達成度の確認を行うことを目的とし、本部長を委員長、JAXA内外の有識者を委員として段階的に実施した。

最終確認会(2013年5月)にて達成を確認した範囲

エクストラサクセスを含む、全てのサクセスクライテリアを達成したことの確認。

中間確認会(2011年4月)にて達成を確認した範囲

クライテリア	GPS補完システム技術	次世代衛星測位基盤技術(*2)
ミニマムサクセス	①GPS補完信号を送信して都市部、山間部等で可視性改善が確認できること	—
フルサクセス	近代化GPS(*1)民生用サービス相当の測位性能が得られること。	②将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の機能が確認されること。
エクストラサクセス	電離層遅延補正等の高精度化により目標を上回る測位性能が確認されること。	将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の性能が確認されること。

*1 近代化GPS: 米国で計画されている次世代の高精度化、高信頼性化衛星測位システム

*2 将来の高度化に向けた基盤技術とは、実験信号(周波数・コード・メッセージ)等による測位精度の更なる高精度化、高信頼性化を目指した技術開発を計画中である。

技術実証確認会(2011年7月)にて達成を確認した範囲



【補足3】GPS補完システム技術ミニマムサクセスの達成状況

クライテリア : GPS補完信号を送信して都市部、山間部等で可視性改善が確認できる こと。

確認結果 : 都市部、山間部での測位衛星の可視性改善のための以下の条件を満足することを確認した。

「日本国内で仰角60度以上で8時間以上準天頂衛星が見えること。」

⇒日本及びその近傍域において天頂に8時間以上の滞在を確認。(次頁参照)

⇒測位可能時間率の改善を確認(下図参照)。

1周波コード測位における測位可能時間率の改善(新宿の例)

- 走行軌跡
- GPSのみで測位ができた地点
(衛星4機以上が可視)
- GPS+「みちびき」で測位ができた地点
(衛星4機以上が可視)



測位可能時間率:

- GPSのみ 28.5%
- GPS+「みちびき」 70.0%

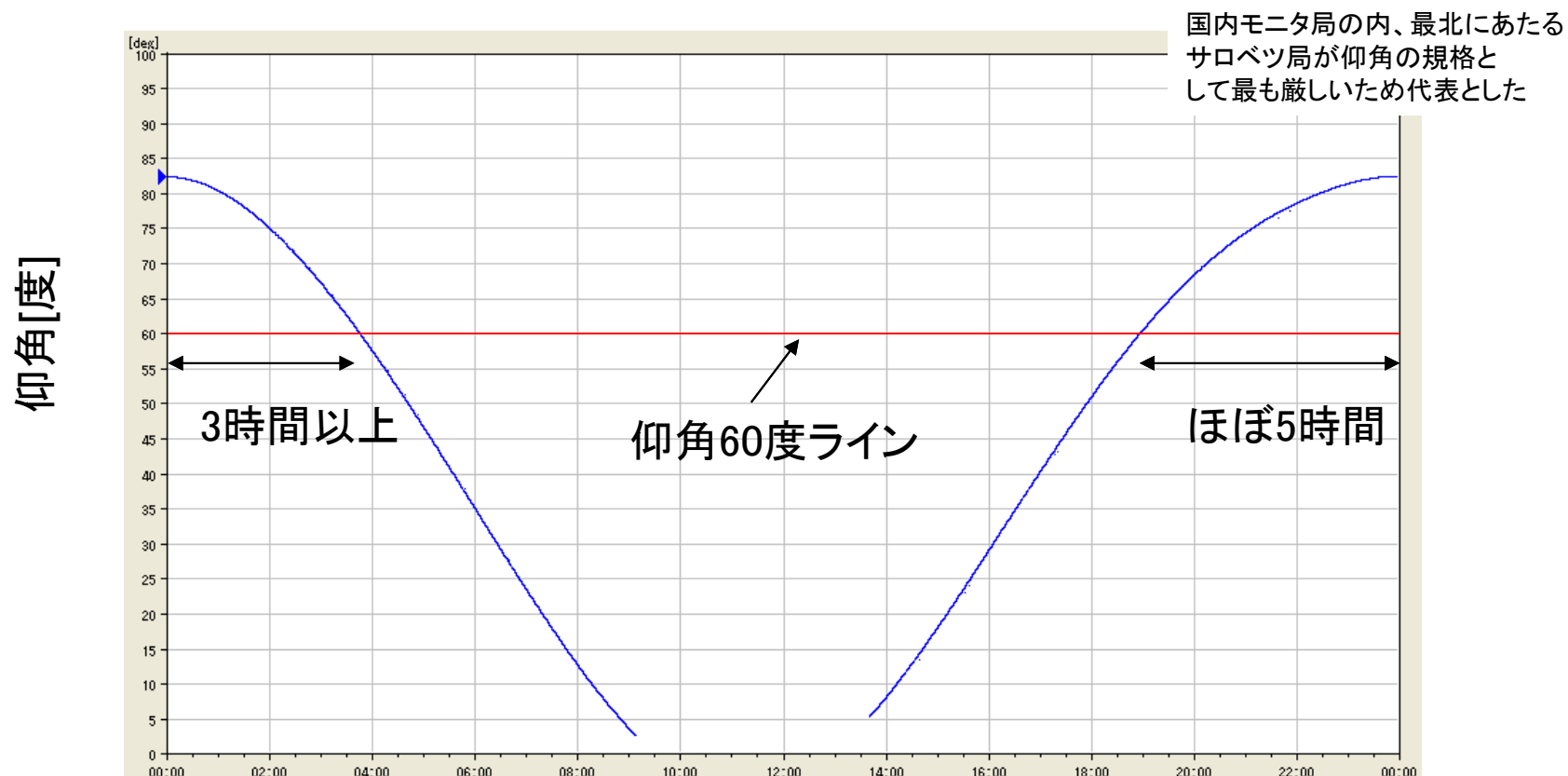
「みちびき」を組み合わせると新宿のようなビル谷でも測位可能時間率は70%に達し、**2.5倍の改善率**。高架下や樹木の陰を除けば、ほとんどの場所での測位が可能。

クライテリアを満足



【補足3】 高仰角特性 補足資料

- 「日本国内で仰角60度以上で8時間以上準天頂衛星が見えること」を、JAXA測位モニタ実験局の内、日本の最北にあたるサロベツ局(最も厳しいケース)で評価し、要求に合致することを確認した。



2011.02.28@JAXA測位モニタ実験局(サロベツ)



【補足3】GPS補完システム技術フルサクセスの達成状況(1/5)

クライテリア：近代化GPS(*1)民生用サービス相当の測位性能が得られること。

(*1)近代化GPS:米国で計画されている次世代の高精度化、高信頼性化衛星測位システム

確認結果

(1) **精度** :GPSと組み合わせて測位を行ったときのユーザ水平方向測位精度を、以下①の通り、GPSの仕様値と同等とする。また、測位誤差の内、宇宙セグメント分(軌道推定誤差、時刻推定誤差のトータル)をクライテリアの必要条件として以下②の通りとする。

① 1周波コード:21.9m(95%)、2または3周波コード:7.5m(95%)

② SIS-URE (*2):±2.6m以内 (95%)

⇒ 上記①、②を満足していることを確認した。(下表参照)

[ユーザ水平方向測位精度 (95%値)]

項目	1周波 コード測位	2周波 コード測位
仕様値 [m]	21.9	7.5
実績 [m]	4.7	1.4

注)2011年7月~2013年4月におけるJAXA測位モニタ実験局
9局分のデータを集計(アラート設定期間除く)

[SIS-URE (95%値)]

項目	値
仕様値 [m]	±2.6
実績 [m]	±0.8

注)対象期間は、2011年7月~2013年4月

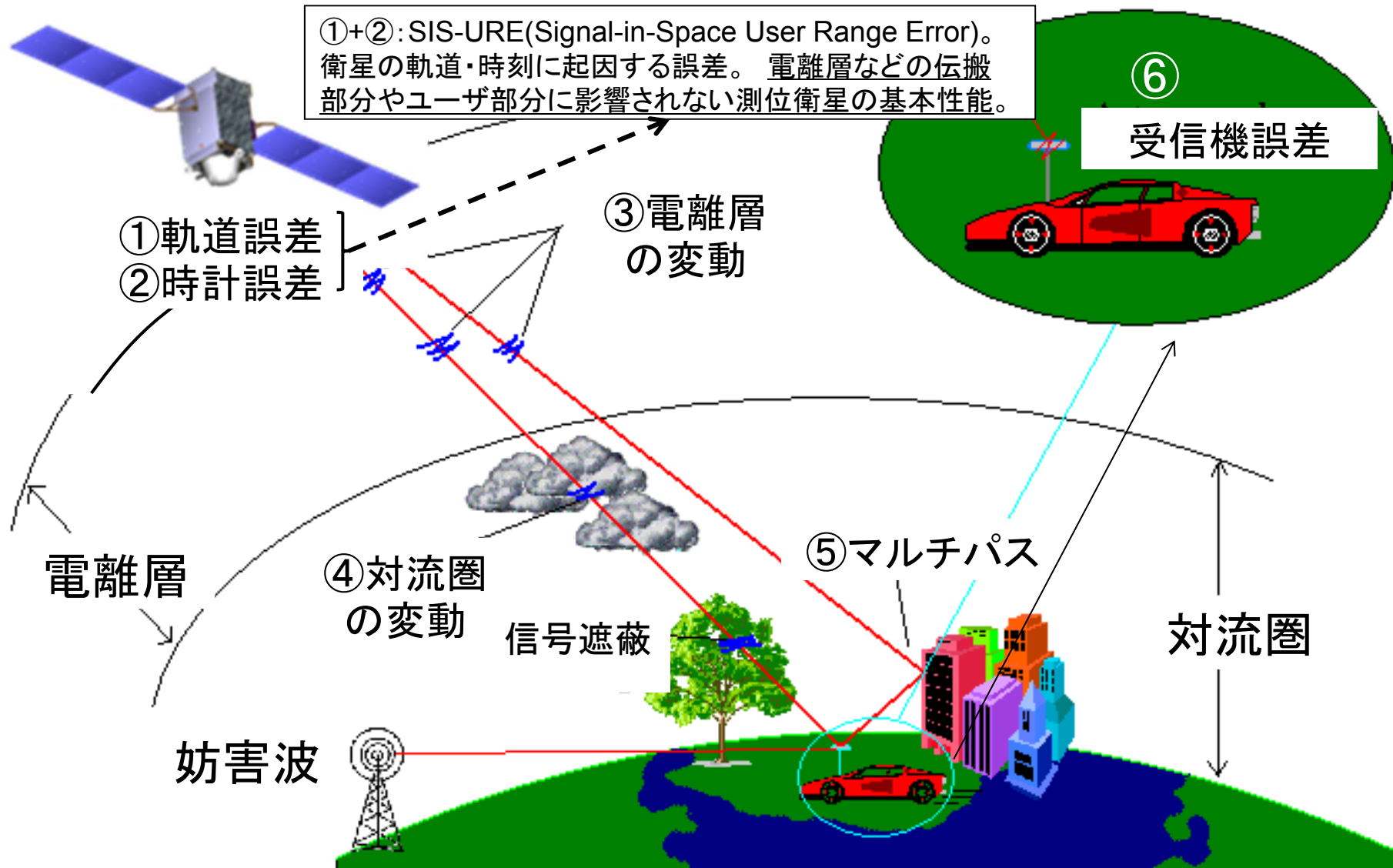
(*2) SIS-URE(Signal-in-Space User Range Error):

測位精度を劣化させる誤差の一部であり、測位信号・信号の伝搬路・ユーザ受信機で発生する誤差の内、測位信号に起因する誤差。測位信号に含まれる衛星の軌道・時刻情報等の誤差であり、測位信号の基本性能を示す指標となっている。



【補足3】GPS補完システム技術フルサクセスの達成状況(2/5)

測距精度に悪影響を与える誤差要因





【補足3】GPS補完システム技術フルサクセスの達成状況(3/5)

■ 測位の誤差源の配分について

「みちびき」では、近代化GPS(*)の精度を参考に、以下のように誤差配分を行った。

誤差源		標準ユーザ (1周波)	標準ユーザ (2周波)
宇宙	①軌道予報誤差	2.6m	2.6m
	②時刻予報誤差		
伝搬	③電離層遅延誤差	14.0m	0.2m
	④対流圏遅延誤差	0.4m	0.4m
	⑤マルチパス誤差	3.0m	3.0m
地上	⑥受信機誤差	1.2m	3.0m
ユーザ測距誤差(95%)		14.5m	4.6m
HDOP		1.5	1.5
水平位置誤差(95%)		21.9m	7.5m

測距誤差

幾何学的配置誤差

宇宙部分の誤差は、測位の基本性能。

1周波ユーザは、GPSもしくは「みちびき」のパラメータを元に補正。2周波は原理的に除去可能。

ユーザが受信する場所や時間等によって変動する誤差源

ユーザ側で衛星仰角情報を元に補正

誤差配分は、近代化GPS相当(*)

*) Michael Shaw, et al., "Modernization of The Global Positioning System",
Proceedings of GPS symposium 2002, Tokyo, Nov. 2002.



【補足3】GPS補完システム技術フルサクセスの達成状況(4/5)

(2)アベイラビリティ:精度等、所定の要件を満足して準天頂衛星システム全体が稼動する確率

確認結果 ⇒ 平成23年6月22日(アラート解除)~平成25年5月4日(5/1軌道制御実施の週末までを評価)までの実績において要求を満足(下表参照)。

項目		要求	実績
準天頂衛星システム全体のアベイラビリティ		0.95以上	0.9869
内 訳	$T_{\Delta V}$: 軌道制御によるサービス停止時間	間隔は平均150日、 アラート付加時間36時間以下	0.9927 平均間隔180日
	T_{UL} : アンローディングによるサービス停止時間	間隔は平均40日以上、 アラート付加時間12時間以下	0.9961 平均間隔92日※1
	A_{SAT} : 衛星バス稼働率	0.995以上	0.9999 ※2
	A_{GRD} : 追跡管制システム稼働率	0.995以上	0.9997 ※3
	A_{NAV} : 高精度測位実験システム稼働率	0.99以上	0.9984 ※4
A_{ACC} : 誤警報を出さない確率		0.995以上	0.9999

※1 アンローディング時の角運動量のバイアス設定によりアベイラビリティ向上

※2 シンチレーション(空間伝送障害)によるアップロードエラーによるサービス停止

※3 台風による沖縄-筑波間の回線切断によるサービス停止

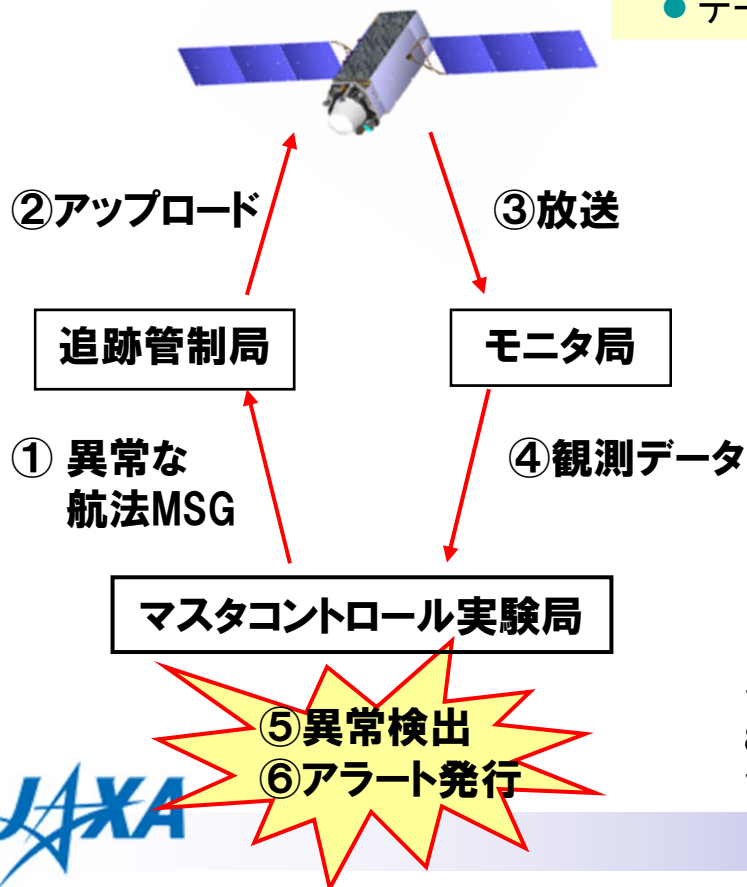
※4 原子時計のオフ事象、原子時計の異常、水晶発振器(VCOCXO)の位相跳びによるサービス停止



【補足3】GPS補完システム技術フルサクセスの達成状況(5/5)

(3) インテグリティ: 「みちびき」およびGPSの状態をモニタし、異常検出時に早期にアラート情報をユーザへ通知する機能

- [モニタ項目]
- SIS-URE : 航法メッセージの精度のモニタ
 - コードロック : 信号品質のモニタ (アラートの自動発行は、「みちびき」のみを対象として実施)
 - 受信電力 : 送信電力のモニタ
 - データフォーマット : 航法メッセージフォーマットのモニタ



アラート通知時間計測結果

信号	仕様 [s]	実験時の通知時間[s]	最大通知時間(フレーム長考慮)[s]
L1C/A	30	13	19
L2C	40	13.5	25.5
L5	30	12.8	18.8
L1C	90	36.0	54.0

※左図の③の異常信号を受信してマスタコントロールが異常を検知してからアラートが発行され、①、②、③の経路でモニタ局でそのアラートが受信されるまでの時間を計測した。

全測位補完信号のアラートが解除となった平成23年7月14日以降、計8回の事象発生時においてもインテグリティ機能/性能が正常に動作していることを確認。



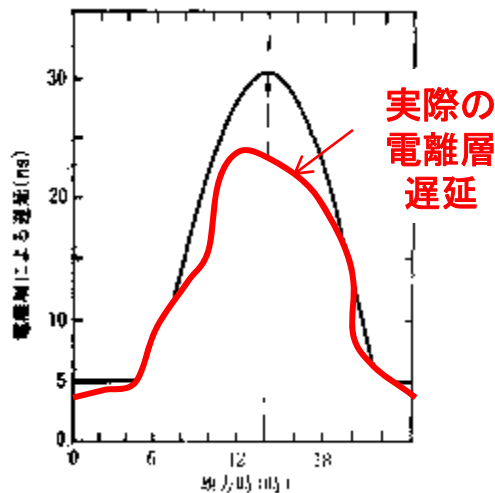


【補足3】GPS補完システム技術エクストラサクセスの達成状況(1/3)

- エクストラサクセス設定目標：
「電離層遅延補正等の高精度化により目標を上回る測位性能が確認されること。」

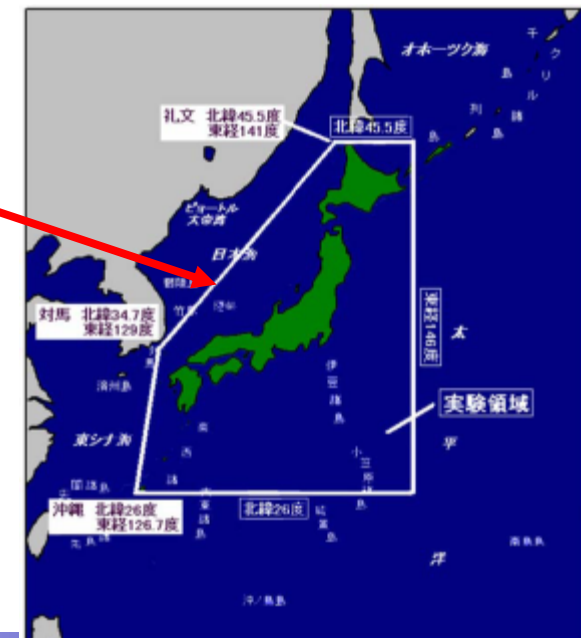


- 上記の目標を達成するために、電離層補正パラメータについて、モニタ実験局及び電子基準点情報を元に、日本近傍域にフィッティングしたモデルを生成した。



Klobucherモデル

右図の日本近傍域に対してフィッティングした電離層補正情報を生成し、みちびきから送信することにより、ユーザ測位精度の改善を図る。(本領域以外は、GPSが送信する電離層情報、または、みちびきが再送信するGPSの電離層情報を使用)



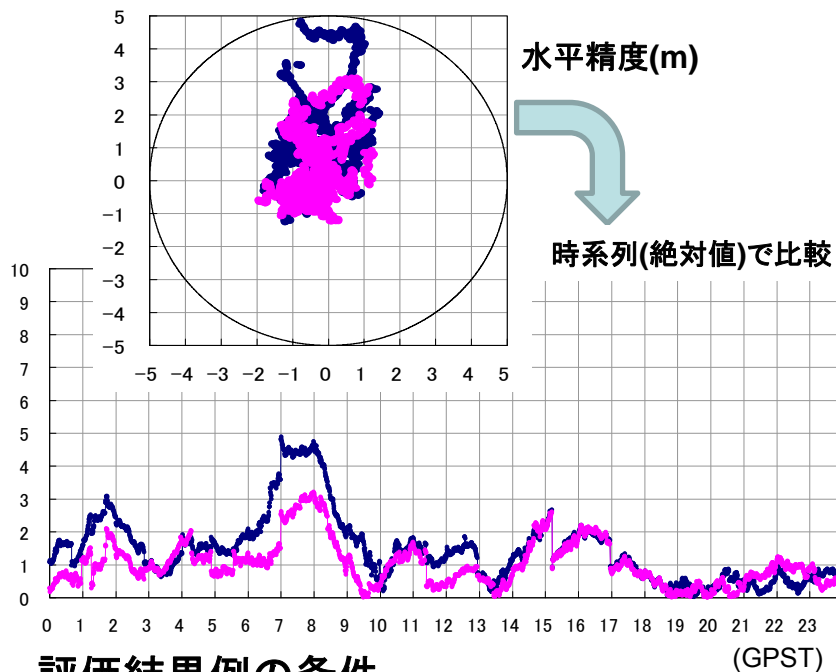


【補足3】GPS補完システム技術エクストラサクセスの達成状況(2/3)

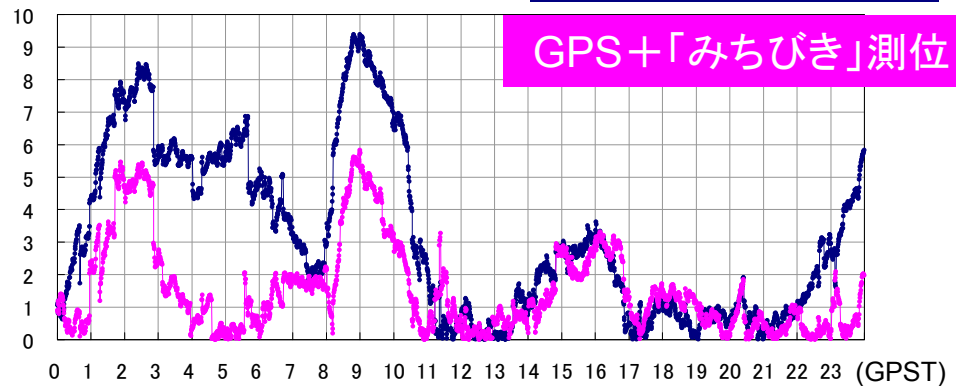
1周波組み合わせ測位 (「みちびき」電離層モデル使用)

場所: 東京(小金井モニタ局)

■「みちびき」とGPSの組み合わせ測位精度は、IS-QZSSの仕様(水平方向21.9m (95%))を満足するとともに、「みちびき」の補完効果、及び電離層遅延補正精度の向上により、**GPS単独測位と比較して、測位精度が向上することが確認できた。**



垂直精度(m) ※絶対値で比較



評価結果例の条件

- ・ 評価地点 : 東京(小金井モニタ局)
- ・ 日時 : 2011/06/03 00:00:00-23:59:30 (GPST)
- ・ マスク角 : 10度
- ・ 電離層補正
 - GPS単独測位 : GPS電離層パラメータによる補正
 - GPS+QZS測位 : みちびき電離層パラメータによる補正

測位精度(m)		GPS単独測位	GPS+「みちびき」測位
水平方向	平均	1.5	1.0
	RMS	1.8	1.2
	最大	4.9	3.2
垂直方向	平均	3.2	1.5
	RMS	4.1	2.1
	最大	9.4	5.8

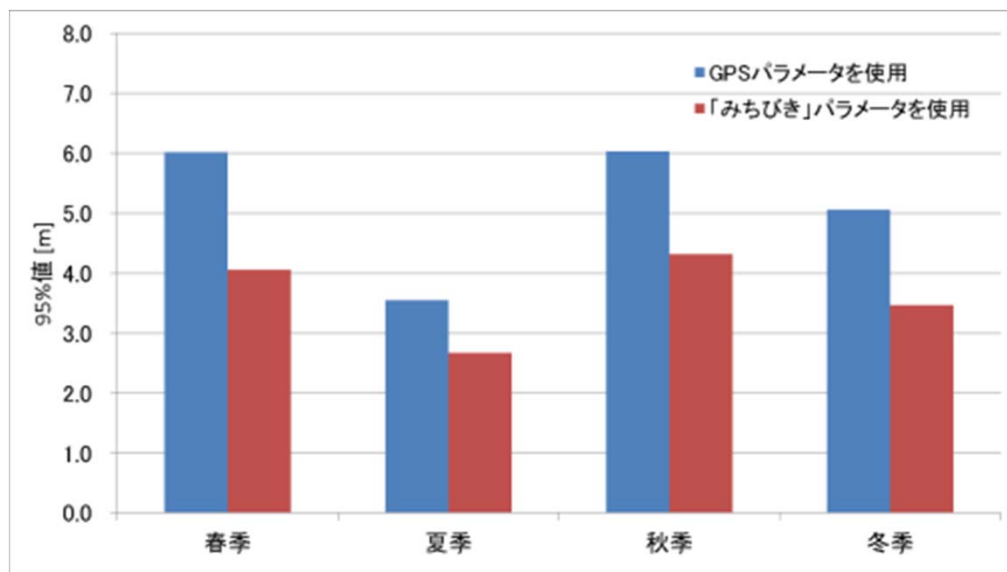


【補足3】GPS補完システム技術エクストラサクセスの達成状況(3/3)

クライテリア：電離層遅延補正等の高精度化により目標を上回る測位性能が確認されること。

確認結果：GPSの電離層遅延補正モデルを日本近傍域を対象に合わせこむことにより、日本近傍域においてGPS(水平測位精度:21.9m(95%)以下)を上回る測位精度(3.6m(95%))を達成した。以下に季節ごとの精度改善効果を示す。(GPSのパラメータを使用した場合と比較して30~40%程度と大きく向上していることがわかる)

[GPS+「みちびき」による1周波コード測位の水平位置誤差] (国内のJAXA測位モニタ実験局4局における測位誤差)



**クライテリアを
満足**

注:

- ・前頁の測位精度評価は、夏期のデータであり、RMS値で水平方向1.2mの誤差である。95%精度に換算すると、おおよそ2.4mとなることから、本頁の夏期の長期評価結果とも合致している。
- ・電離層の補正パラメータは、毎日一時間毎に、推定情報に基づき、フィッティングしたものをデータ生成・送信をしている。簡単なモデルのため、電離層擾乱の場合など全てにフィッティングすることは難しいが、いずれの季節もGPSが送信する補正パラメータに比べて30%~40%程度向上している。

※ 電離層状態の季節変化に配慮し、2011年8月~2012年4月にかけて季節毎に約2週間分のデータで評価した。





【補足3】次世代衛星測位基盤技術に関するサクセスクライテリアの達成状況 (1/3)

フルサクセス : 将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の機能が確認されること。

確認結果 : 2kbpsのデータ伝送速度を有する我が国独自のLEX信号について、「準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書」(IS-QZSS)に規定する信号の機能(RF信号特性、メッセージフォーマット)を有することを確認した。

⇒ LEX信号のコード、メッセージなどの測位信号生成・送信機能は正常動作し地上モニタ局においても継続して正常に受信しており、RF特性を含む信号特性が正常であることを確認。なお、LEX信号について一部被干渉が見られたが、サクセスクライテリアの達成条件であるLEX信号の機能は確認できた。

クライテリアを満足

エクストラサクセス : 将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の性能が確認されること。

確認結果

- ①GPSのモデルとは異なる「みちびき」独自に構築した電離層遅延補正モデルにより、1周波測位において目標(3m(95%)以下)を上回る測位精度(2.9m(95%))を達成した。
- ②高精度な衛星軌道・時刻情報を搭載したLEX信号を利用した単独搬送波位相測位により、地上基準点によらず、水平30cm、垂直60cmの誤差(rms)の測位精度を実現できること確認した結果、目標の精度を達成した。

クライテリアを満足

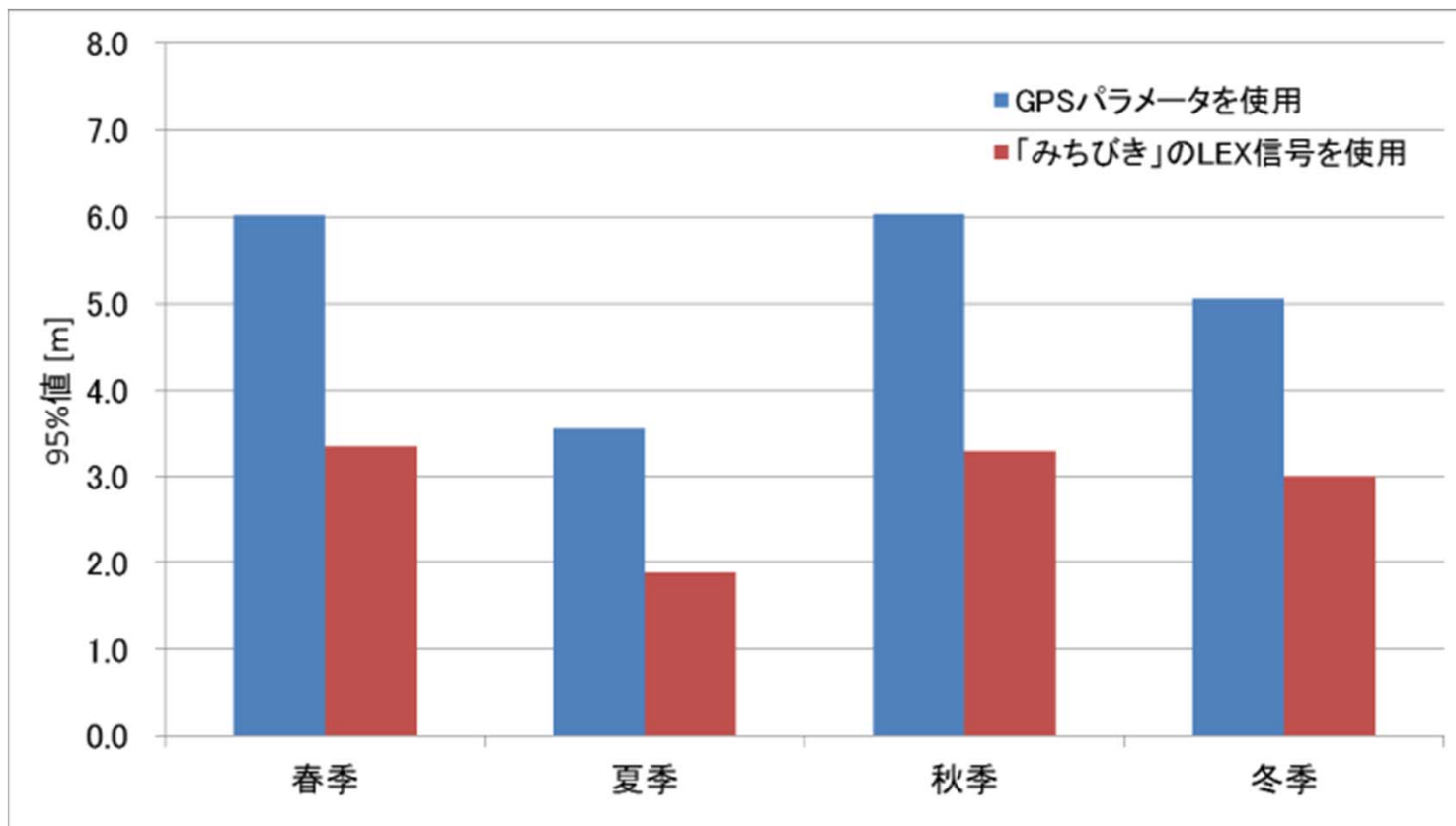




【補足3】次世代衛星測位基盤技術に関するサクセスクライテリアの達成状況 (2/3)

[GPS+「みちびき」による1周波コード測位の水平位置誤差]

GPSパラメータを使用した場合と「みちびき」のLEX信号のパラメータを使用した場合を比較
(国内のJAXA測位モニタ実験局4局における測位誤差)



※ 電離層状態の季節変化に配慮し、2011年8月~2012年4月にかけて季節毎に約2週間分のデータで評価した。

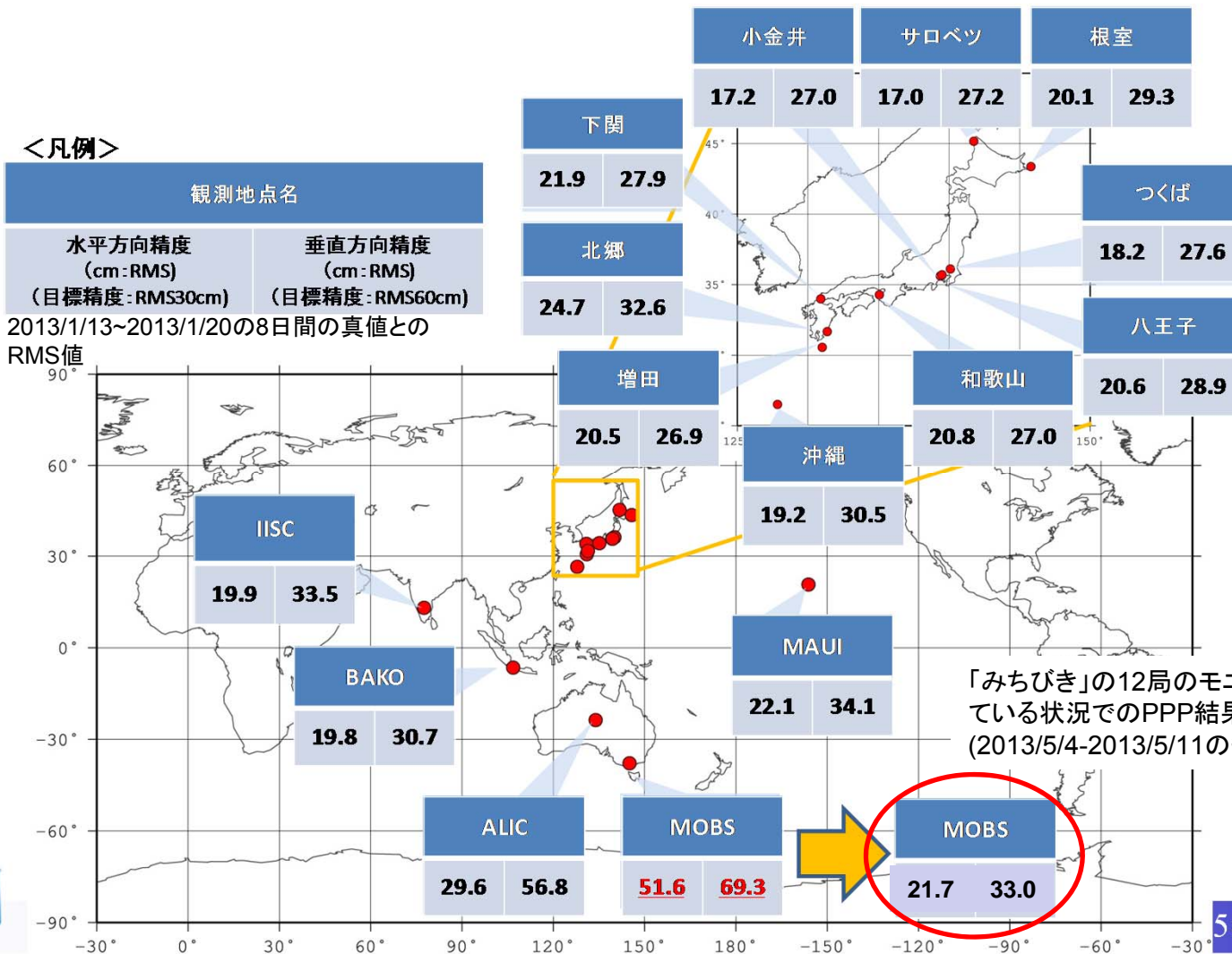


「みちびき」のLEX信号のパラメータを使用した場合の測位精度は、2.9m(95%)となり、**目標の3m(95%)を達成し、クライテリアを満足。**



【補足3】次世代衛星測位基盤技術に関するサクセスクライテリアの達成状況 (3/3) 単独搬送波位相測位 (PPP) の実験結果

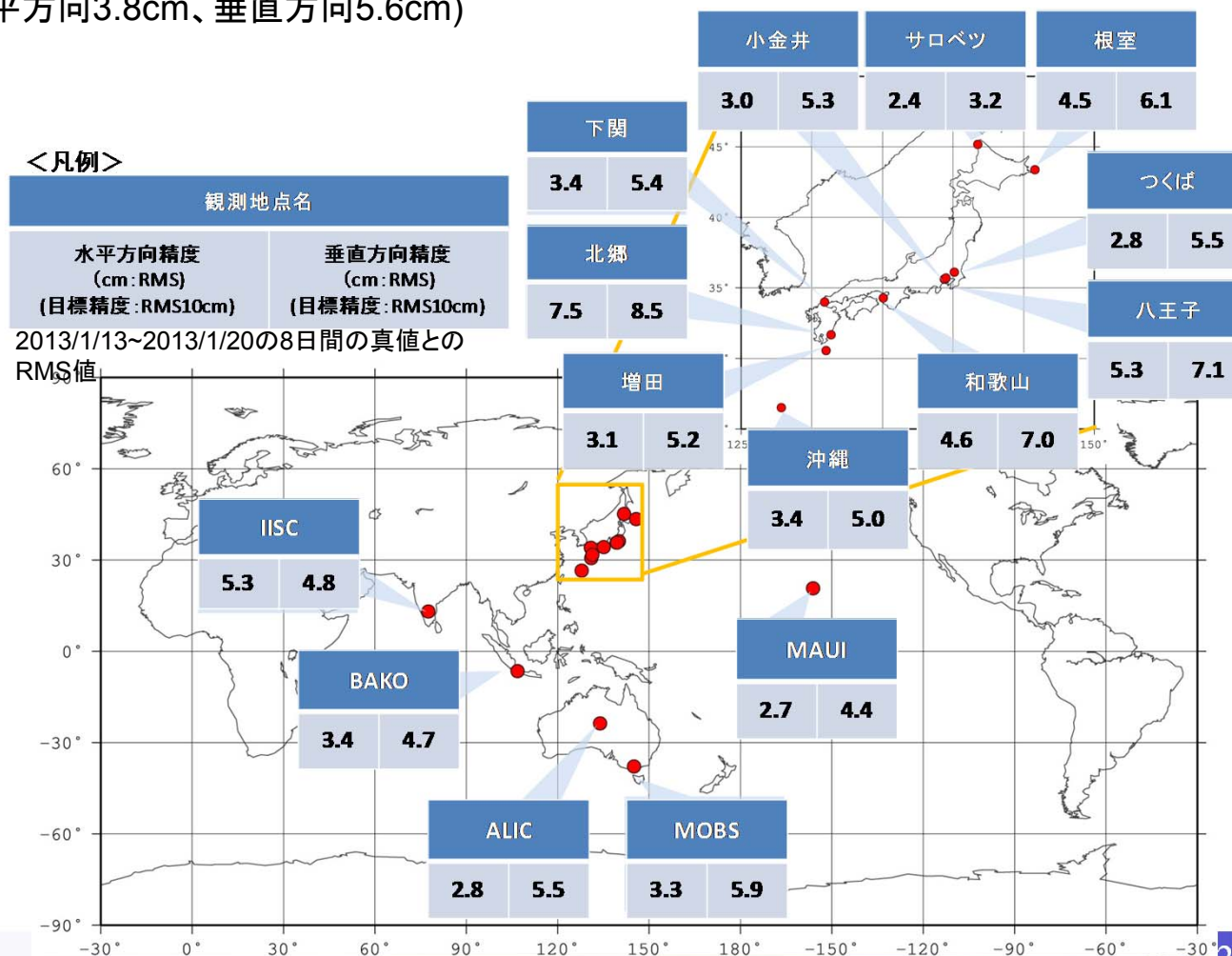
2013/1/13~1/20の8日間を評価対象期間とし、「みちびき」の可視範囲である15地点について、MCSにてリアルタイム生成した軌道・時刻情報を用いて後処理PPP解析を実施した結果、目標値を達成した。





【補足3】MADOCA後処理PPP精度の達成状況

JAXA-LEXによる後処理PPPと同様に、2013/1/13~1/20の8日間における「みちびき」の可視範囲にある15局について、IGS観測局89局の観測データからMADOCAにより後処理生成した軌道・クロック情報を用いて後処理PPP解析を実施した結果、評価を行った全15局で目標精度を達成、リアルタイム処理でも目標値を満足できる目途が得られた。
(15局平均で水平方向3.8cm、垂直方向5.6cm)





【補足4】「みちびき」対応受信機 (1/2)

1. 世界の主要な受信チップベンダーの動向(2013)

みちびきの成果を踏まえて実用準天頂衛星システムの整備が決定されたことを受けて、世界の主要なチップベンダー(12社)の7割以上がみちびき対応を行っており、利用が拡大してきている。

	QZSS対応	GALILEO対応	GLONASS対応
2012	36%	45%	73%
2013	75%	67%	83%

※チップベンダーメーカー数(2012年11社、2013年12社)を母数とする。

“GPS World RECEIVER SURVEY2012/2013”のデータおよびWebの情報を基に作成

2. エンドユーザー向け「みちびき」対応製品の動向(2013)

「みちびき」対応のGPSチップの普及に伴い、市販のエンドユーザー向けの製品において、カーナビ(GARMIN: nuviシリーズ、Panasonic: Gorilla CN-GP530D等)、小型端末(Googleタブレット端末NEXUS7等)などで「みちびき」対応製品が増えつつある。



「みちびき」受信中の表示



【補足4】「みちびき」対応受信機 (2/2)

- 技術実証結果を適切に反映したユーザインタフェース仕様書を公開することにより、JAXAの資金援助無しに民間企業(Garmin社、PND市場で36%のシェアを誇る出荷台数No1の受信機メーカー)が独自に開発を進め、カーナビ等のコンシューマ向け「みちびき」対応受信機が一般に市販されることとなった。



「みちびき」受信中の表示

Gorillaシリーズ(カーナビ)

© Panasonic Corporation 2013



NEXUS 7

© Google



nuviシリーズ(カーナビ)



eTrex Jシリーズ(ハンディ受信機)



ForeAthlete 10J
(ジョギングサイクリング用ロガー)



Copyright Garmin Corporation ©1996-2012



【補足5】 複数GNSS実証実験キャンペーン概要

- 国連ICGのサポートを受け、以下3つの活動を推進している。

①複数GNSS監視ネットワークの構築

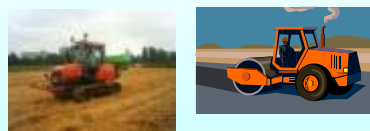


②利用実証※

防災・減災



精密測位



ITS



LBS



その他：電離層観測など

③地域ワークショップ

第5回ワークショップ
2013年12月、ベトナム、ハノイ



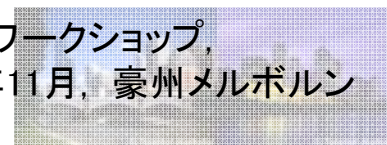
第4回ワークショップ
2012年12月、マレーシア、
クアラルンプール



第3回ワークショップ
2011年11月、韓国 済州島



第2回ワークショップ
2010年11月、豪州メルボルン



第1回ワークショップ
2010年1月、タイ バンコク





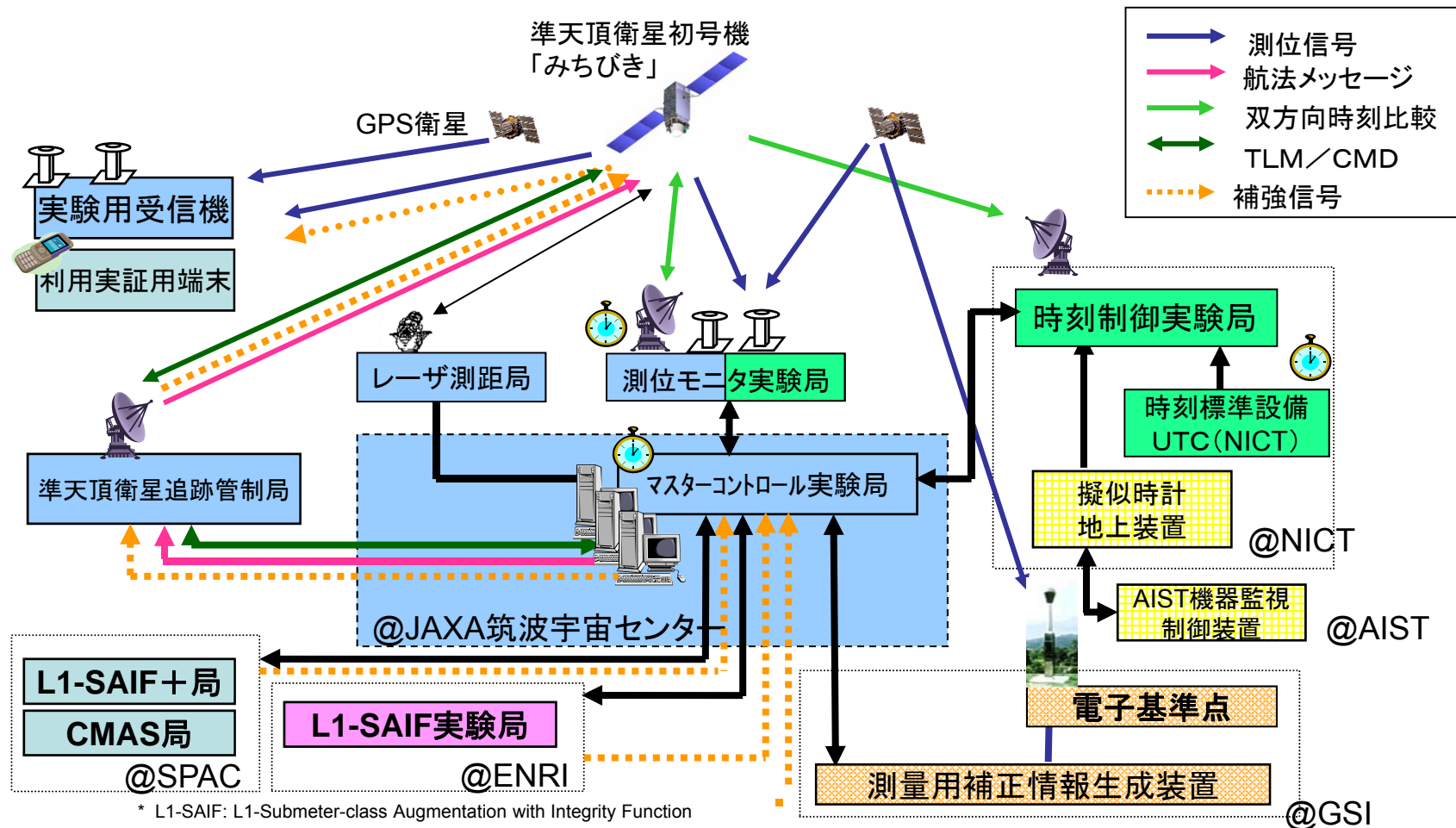
【補足6】 準天頂衛星初号機「みちびき」の運用移管について

■ 「みちびき」の内閣府への移管に向けた今後の作業（JAXA想定）

- ① 人工衛星「みちびき」の移管手続き
 - 移管の時期に合わせて、JAXA内関連部署と連携の上、関係府省と手続きを行う。
- ② 「みちびき」から実用準天頂衛星システムへの知見の継承
 - 「みちびき」の開発・運用で得られた知見は、実用準天頂衛星事業に継承する。「みちびき」の運用文書は、要請に基づき、所定の手続きに則って開示を行う。開発・運用に係る留意点については、内閣府からの受託業務である「準天頂衛星システムの技術監理等調査」の中でフィードバックを実施する。
- ③ 運用業務移管及び運用支援
 - 以下に示す業務を含む「みちびき」の運用業務については、「PFI事業者」に移管する。
 - » 測位ミッション運用、追跡管制運用、「みちびき」の健全性維持、評価作業
 - » IS-QZSS維持管理等のユーザ窓口対応業務等
 - ※移管対象品目、手続き等については、国もしくはPFI事業者からの具体的な条件とともに検討・調整する。
 - PFI事業者からの要請があれば運用訓練等を実施し、運用を移管する。また、事業者から要請に応じて、JAXA内関連部署と調整の上、運用支援を行う。
- ④ 無線免許（移管後）
 - 実用準天頂衛星関連（移管後の「みちびき」を含む）の無線免許局は、国（内閣府）が開設する予定である。このため、移管に伴い不要となるJAXAの無線免許は廃局手続きを取る。



【参考1】 準天頂衛星システムの全体概要

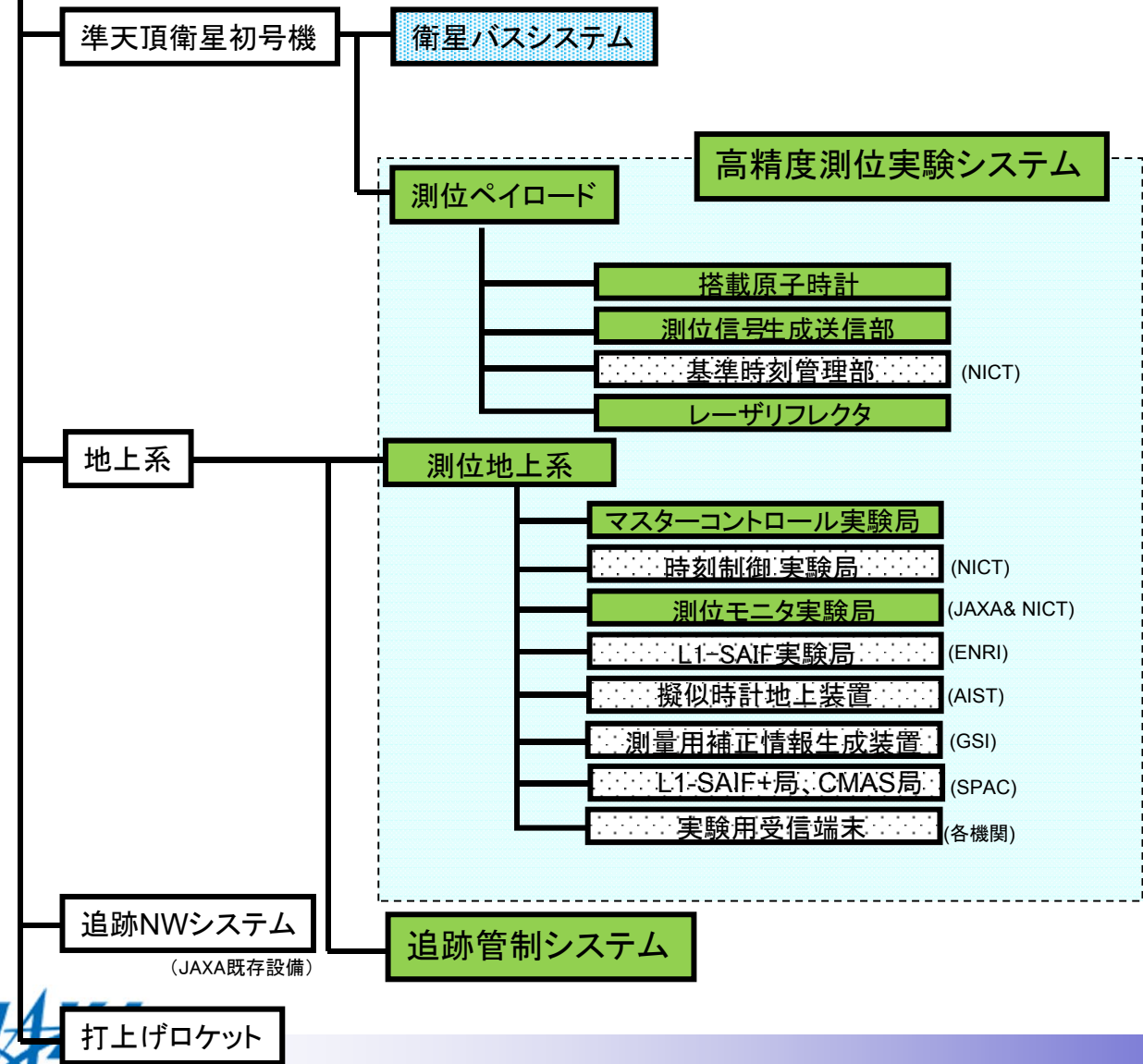


* L1-SAIF: L1-Submeter-class Augmentation with Integrity Function



準天頂衛星システム

【参考2】「みちびき」の開発体制



- 衛星システム担当企業
- 高精度測位実験システム及び追跡管制システム担当企業
- 開発機関がJAXA以外のもの
括弧内は開発担当機関。

打上げロケット



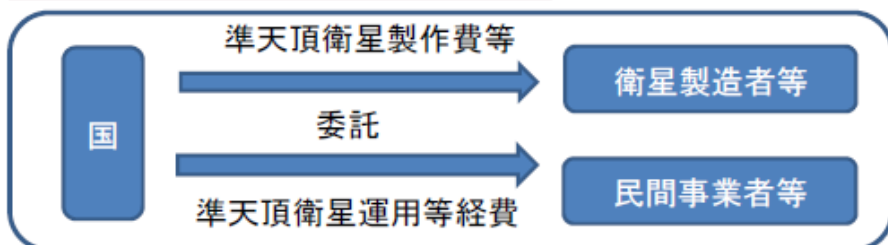
【参考3】 実用準天頂衛星システムの整備・開発・運用の概要

事業概要・目的

- 測位衛星の補完機能（測位可能時間の拡大）、測位の精度や信頼性を向上させる補強機能やメッセージ機能等を有する実用準天頂衛星システム※を開発・整備します。
※準天頂衛星1機が日本の天頂付近に滞在するのは8時間程度で、メンテナンス時間を考慮すると、24時間運用には最低4機が必要→準天頂衛星システム
- 開発・整備・運用に伴い、①準天頂衛星システムの運用に必要な周波数の獲得に向けた衛星運用国との周波数調整（国際周波数調整）を行うとともに、②全体の事業管理に係る技術的アドバイザー業務、③利用促進に係るアドバイザー業務（受信機の量産化に向けた標準化への取組）等を行います。

- 「実用準天頂衛星システム事業の推進の基本的な考え方」（平成23年9月30日閣議決定）において、
- ①実用準天頂衛星システムの整備に可及的速やかに取り組む
 - ②2010年代後半を目途にまずは4機体制を整備し、将来的には持続測位が可能となる7機体制を目指す
 - ③実用準天頂衛星システムの開発・整備・運用は、準天頂衛星初号機「みちびき」の成果を活用しつつ、内閣府が実施することとされています。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ・具体例

- 3機分の開発・整備を本事業で行います。
- 国際周波数調整、衛星と地上の両システム間連携、準天頂衛星に対応した受信機の標準化等を行います。
- 地上システムの整備・運用は、民間資金を活用したPFI事業で行います。（別途予算措置済み）



期待される効果

- 産業の国際競争力強化
- 産業・生活・行政の高度化・効率化
- アジア太平洋地域への貢献と我が国プレゼンスの向上
- 日米協力の強化
- 災害対応能力の向上等広義の安全保障

注：内閣府資料から抜粋



【参考4-1】 準天頂衛星システムプロジェクト終了審査(社内審査)出席者

【審査委員長】

経営企画担当理事 山浦 雄一

【審査委員】

理事 加藤 善一

理事 山本 静夫

理事 中橋 和博

理事 常田 佐久

執行役 伊東 康之

執行役 須田 秀志

執行役 岩宮 敏幸

執行役 井澤 一郎

技術参与 本間 正修

技術参与 富岡 健治

【監事(オブザーバ)】

監事 城野 宜臣

監事 高橋 光政

【審査補助者】

経営企画部長 浜崎 敬

人事部長 有賀 輝(代理出席:佐藤 寿晃)

総務部長 倉崎 高明(代理出席:松山 卓靖)

【審査補助者(有識者)】

(元測位衛星システム室) 吉富 進

広報部長 寺田 弘慈



【参考4-2】 準天頂衛星システムプロジェクト終了審査(本審査) 出席者

【審査委員長】

山浦 雄一 JAXA経営企画担当理事

【審査委員】

山本 静夫 JAXA理事

本間 正修 JAXA技術参与

【監事(オブザーバ)】

城野 宣臣 JAXA監事

高橋 光政 JAXA監事

【審査補助者】

浜崎 敬 JAXA経営企画部長

有賀 輝 JAXA人事部長

【外部審査委員】

<第三者委員>

安田 明生 東京海洋大学 名誉教授

(JAXA第1衛星利用ミッション本部 技術実証最終確認会 外部確認委員)

末松 安晴 高柳健次郎財団 理事長

(元CSTP準天頂衛星システム評価検討会座長)

高柳 雄一 多摩六都科学館 館長

(元SAC推進部会 特別委員)

柴崎 亮介 東京大学 教授

(宇宙開発利用部会 臨時委員)

<主務府省>

斎藤 康弘 文部科学省 研究開発局 宇宙開発利用課
宇宙連携協力推進室長

久恒 達宏 総務省 情報通信国際戦略局 宇宙通信政策課長

武藤 寿彦 経済産業省 製造産業局 航空機武器宇宙産業課
宇宙産業室長

<利用実証実施機関>

桜井 也寸志 衛星測位利用推進センター 第3事業部長