

衛星測位に関する取組方針 2024

令和 6 年 6 月 1 2 日

内閣府

宇宙開発戦略推進事務局



目次

1. 背景	5
(1) 準天頂衛星システムの概要	5
構想・経緯（開発、整備状況、拡張計画）	6
運用体制	9
利活用（概要）	11
(2) 準天頂衛星システムが提供するサービス（概要）	11
(3) 国際協力	12
(4) 準天頂衛星システムを取り囲む周辺動向	17
世界各国の衛星測位システム（GNSS, RNSS）	17
・米 GPS、露 GLONASS、欧 Galileo、中 BeiDou、印 NavIC、韓 KPS、その他（英）	
周辺動向	24
・SBAS、PPP 補強、低周回衛星（LEO）コンステレーション、SSV	
2. 11 機体制に向けた検討（サービスと性能、コスト）～将来のシステム構成	28
(1) 現状の課題	28
質の高い測位サービスの安定的な供給（抗たん性・精度向上）	28
持続的なサービスに向けたコスト縮減（開発、運用）	31
(2) 今後の検討の進め方（方向性）	32
(3) 各サービスの現状・方向性	33
通常測位サービス（GPS 補完）	34
高精度測位サービス（GPS 補強：CLAS、SLAS、MADOCa-PPP）	39
セキュリティ機能付き測位サービス（公共専用信号、信号認証）	52
災害緊急時メッセージサービス（EWSS）	56
(4) 11 機体制への拡張	61
(5) 低コスト化への努力	63
衛星、打上げ	63
地上システム	64
その他（延命化、等）	65
(6) 今後のシステム開発の方向性	66
今後のシステム開発の方向性	66
開発・運用体制について	66

3. 利活用の推進と基盤の強化 69

(1) 総論 ～ 国内外への展開、経済社会への貢献	69
(2) 国内戦略	73
政府のデジタル系の推進計画	73
制度・標準化	77
(3) 海外戦略	77
海外への提供サービス（高精度測位、災害通報）	78
具体的な国別戦略（個別）	82
(4) 利活用推進の環境整備	85
専用受信機（通信など利用プラットフォーム含む）	85
利活用人材の育成／コミュニティの形成	88
(5) その他（今後の見直し）	92

【参考】 将来の衛星測位システムの方向性（技術開発） 95

宇宙技術戦略（令和6年3月）の「衛星測位」の抜粋

(1) 将来のシステムの方向性（将来像、環境認識、進め方）	97
(2) 妨害干渉に強い高精度な衛星測位システム	98
(3) 利用領域及びユーザの拡大に関する実証や技術の開発	100
別表 衛星測位システムの技術ロードマップ	103
別紙 宇宙技術戦略の概要（衛星測位部分のみ）	104

1. 背景

(1) 準天頂衛星システムの概要

衛星測位システムは、地上において正確な位置・航法・時刻（PNT：Positioning, Navigation and Timing）を得るため、地球を周回する複数の測位衛星からの測位信号を受信する仕組みとなっている。準天頂衛星システム「みちびき」（以下、単独で「みちびき」とする）は、我が国が独自に整備・運用しており、サービスエリアとして日本とアジア・オセアニアに特化した地域衛星測位システムである。

「みちびき」は、2018年11月から、現在の「準天頂軌道（3機）」と「静止軌道（1機）」の4機体制でサービス運用されている。他のGNSS¹（米GPS等）と互換性を持つ信号も発信しつつ（GPS補完機能）、さらに独自の機能としてcm級の高精度測位と災害危機時のメッセージ配信のサービスも開始している。

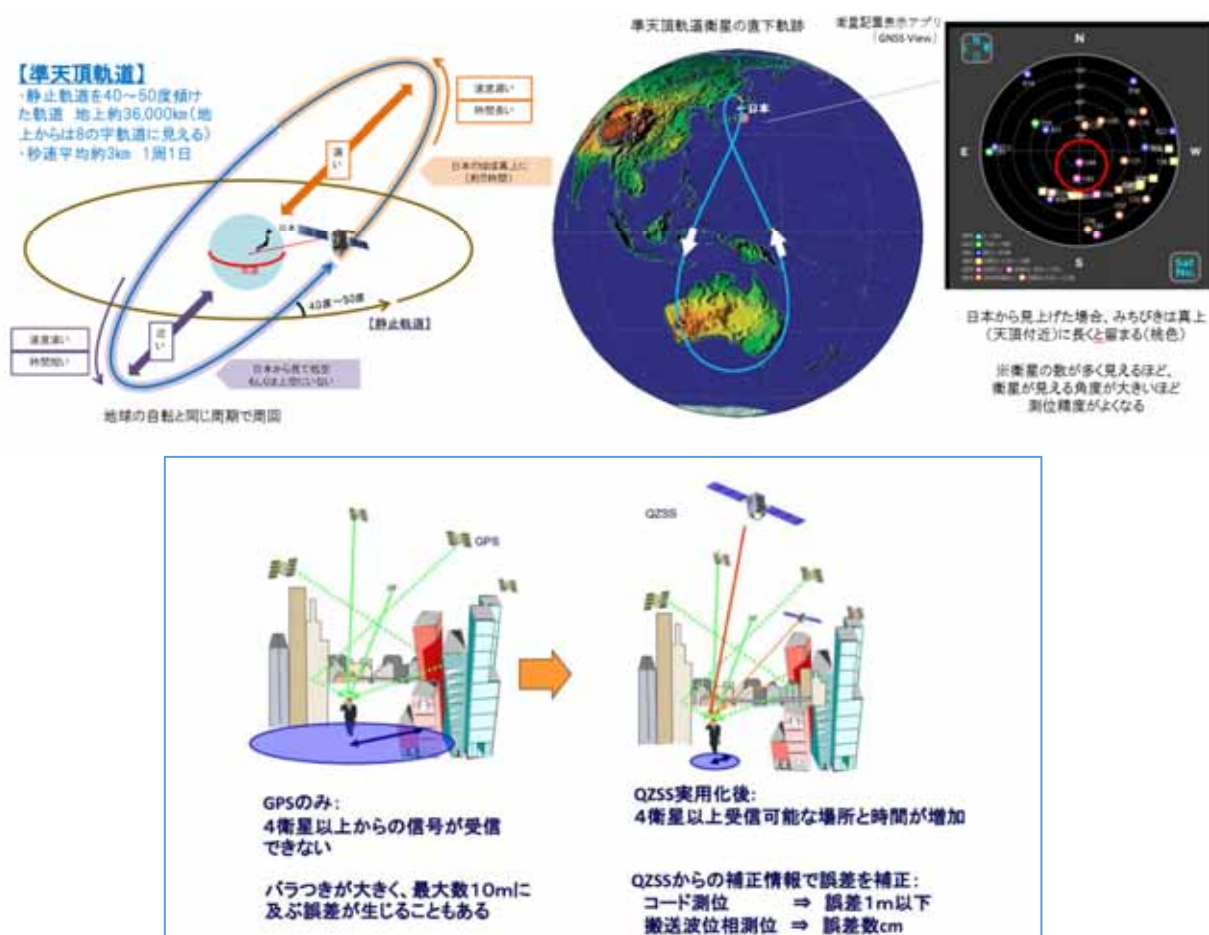


図 準天頂衛星システムの仕組み（軌道、地上軌跡（8の字）、メリット）

¹ Global Navigation Satellite System 全球測位衛星システム

① 構想・経緯（開発、整備状況、拡張計画）

経緯（４機体制の実現）

我が国独自の衛星測位システムである準天頂衛星システムは、産業の国際競争力強化、産業・生活・行政の高度化・効率化等に資する観点から、その構築に係る検討が官民共同により進められてきた。

政府内において「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(2006 年) 3 月 31 日測位・地理情報システム等推進会議決定) が掲げられて、準天頂衛星システムは官が主体となって立ち上げ、準天頂衛星初号機「みちびき」(平成 22 年(2010 年) 打上げ) による技術実証・利用実証を官民双方の参画により行うこととされた。宇宙基本法(平成 20 年法律第 43 号) 及び地理空間情報活用推進基本法(平成 19 年法律第 63 号) 並びにそれらに基づく宇宙基本計画及び地理空間情報活用推進基本計画において、準天頂衛星システムの開発・整備・運用は主要な政策の一つとして位置づけられた。



図 準天頂衛星システムの社会・経済への貢献

7機体制の構築

その後、「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（2011年）9月30日閣議決定）において、まずは4機体制を確立し、将来的には7機体制を目指すとともに、準天頂衛星初号機「みちびき」の成果を活用しつつ実用準天頂衛星システムの開発・整備・運用を内閣府が実施することとされた。

これに基づき、2017年に2、3、4号機の打上げが完了し、2018年11月から4機体制による正式サービスが開始された。その後、2021年10月に、初号機後継機が打ち上げられている（なお、初号機は初号機後継機がサービスを開始する2022年3月まで運用を行い、2023年9月をもって所定軌道から離脱して廃棄された）。

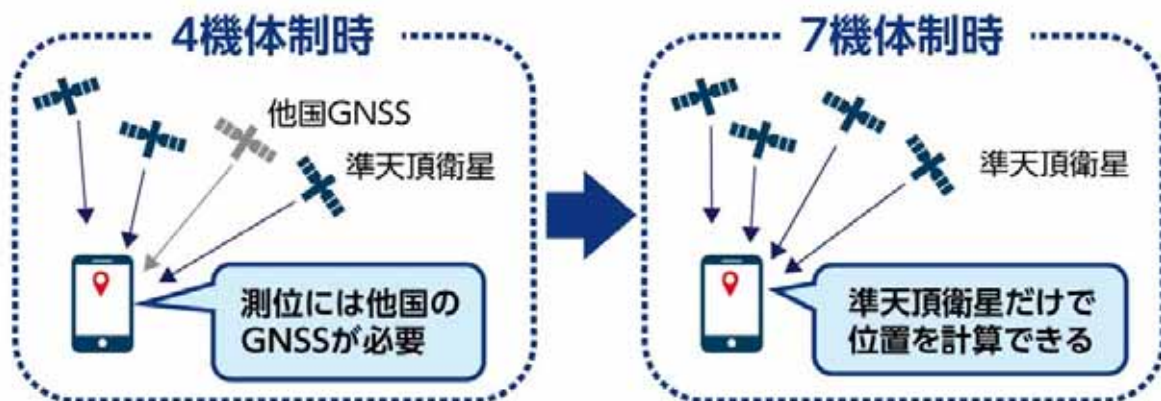


項目	初号機	2号機、4号機	3号機	初号機後継機
外観	 全長：25m L帯ヘリカルアンテナ搭載	 全長：19m L帯ヘリカルアンテナ搭載	 全長：19m L帯パッチアンテナ搭載 S帯通信アンテナ搭載	 全長：19m L帯パッチアンテナ搭載
軌道	準天頂軌道	準天頂軌道	静止軌道	準天頂軌道
発生電力 EOL	5.3kW (3枚構成2翼)	6.3kW (2枚構成2翼)	6.3kW (2枚構成2翼)	6.3kW (2枚構成2翼)
ドライ質量	1800kg	1550kg	1690kg	1550kg
打上げ質量 / 設計寿命	4000kg / 10年以上	4000kg / 15年以上 (H2A202)	4700kg / 15年以上 (H2A204)	4000kg / 15年以上 (H2A202)
信号	L1-C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L6			
	—	L5S		
	—	—	L1Sb, S	—
	—	—	—	L1-C/B [※]

※7機体制確立後に送信予定です。現在はL1C/A信号を送信しています

今後、7機体制の確立は、システムの自立性・安定性の点から一つのマイルストーンとなっている。7機が所定の軌道に配備されれば、仮にGPS等他国の衛星測位システムが喪失しても、我が国の準天頂衛星システム「みちびき」のみで、エリア内の測位機能を含むPNTの維持が可能となる（「持続測位」の実現）。

7機体制の実現に向けて、直近発表された宇宙基本計画工程表（令和5年12月22日 宇宙開発戦略本部決定）においては、今後の打上げスケジュールとして、「H3ロケットの開発状況を踏まえて、2024年度から2025年度にかけて順次準天頂衛星を打ち上げ、引き続き着実に開発・整備を進める」とされており、2026年度からのサービス開始が期待されている。



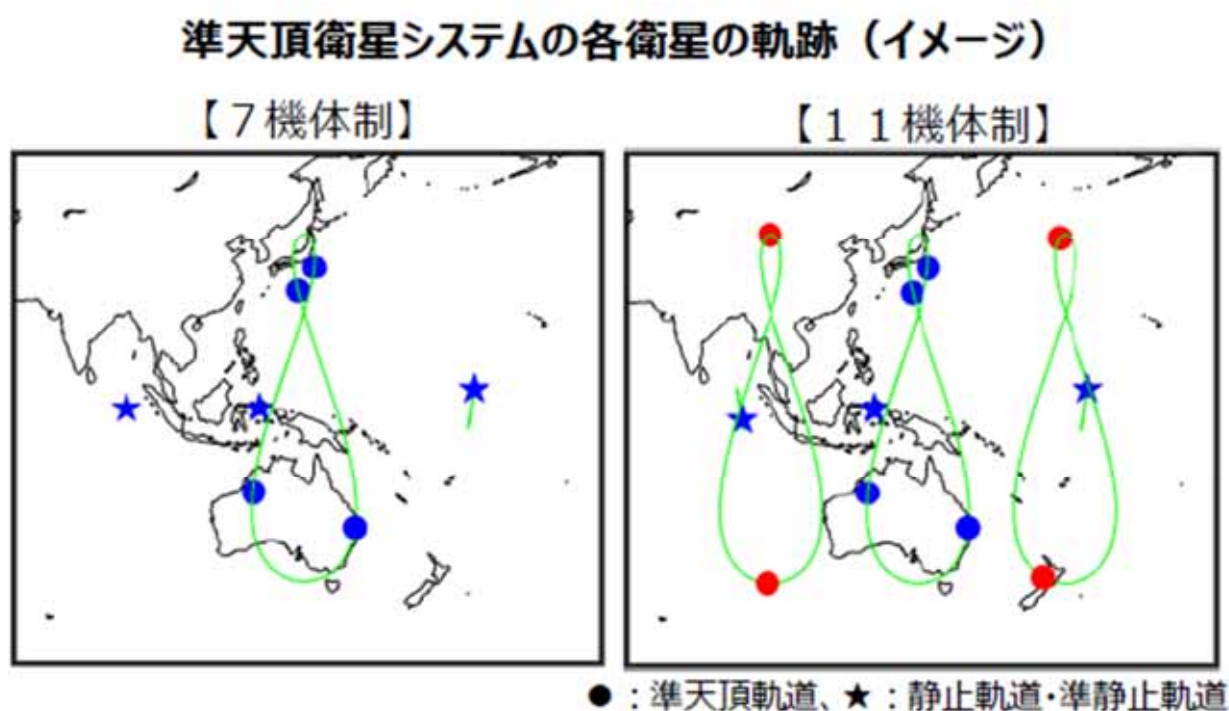
準天頂衛星システムの今後（7機、11機）
※宇宙基本計画工程表（令和5年12月）より抜粋・簡略化

年度	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)	R10 (2028)	R11 (2029)	R12 (2030)	R13 (2031)	R14 (2032)	R15 以降
	4機体制の運用 (GPSと連携した測位サービス)			7機体制の運用(持続測位)							
		▲	▲								
		打上げ									
	11機体制に向けた検討・開発										

※：「▲」は各人工衛星の打上げ年度の現時点におけるめど等であり、各種要因の影響を受ける可能性がある。

1 1 機体制に向けて

しかしながら、7機は持続測位の実現に「必要最低限」の機数であり、1機でも故障すると測位機能を維持できない²。そのため、どの1機が故障しても測位機能を維持できるように、宇宙基本計画（令和5年6月13日閣議決定）において、測位サービスの安定供給を目的としたバックアップ機能の強化や利用可能領域の拡大のため、7機体制から1 1 機体制に向け、コスト縮減等を図りつつ、検討・開発に着手するとされた。



② 運用体制

現在は、2026年度サービス開始を目標とした7機体制の確立に向け、5，6，7号機の開発が進められている。

準天頂衛星システムの運用に関しては、内閣府が平成24年（2012年）に公表した「準天頂衛星システムの運用等事業の実施方針」に基づき、民間の資金、経営能力及び技術的能力の活用により財政資金の効率的活用を図るため、PFI方式による契約を締結した準天頂衛星システムサービス（株）³が運用を行っている。

² 過去に、欧州で、欧州システム Galileo のサービスも1週間にわたり停止したケースもあり混乱・社会経済的な影響が発生した。PNT情報を自国で提供できる能力を維持することは、デジタル社会において必須要件。

³ 準天頂衛星システムサービス（株） <https://qzss.go.jp/qss/>

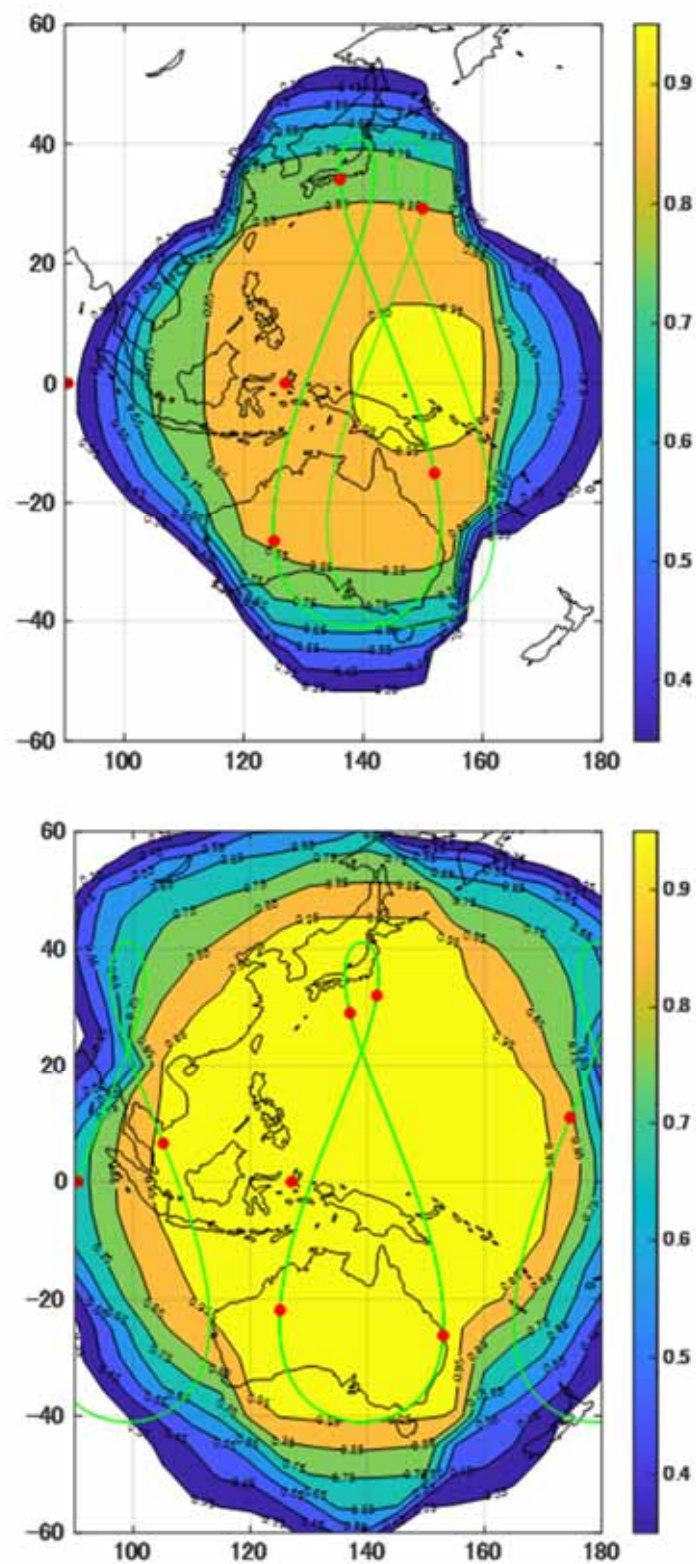


図 準天頂衛星システムのカバーエリアおよび DOP 分布の違い(上:7機、下:11機)

③ 利活用（概要）

運用に加えて、「みちびき」の社会的な利用促進するため利用実証に関わる主な取組を、内閣府・QSS が実施主体となっていて行っている。2014 年から 2024 年現在まで、80 件を超える公募/共同/企画実証が行われている⁴。近年では、様々な分野での取組が見られ、他省庁の施策下での実施も見られている。今後も引き続き、新たな分野での多様な提案を受け付け、利用促進するための取組を実施していく。

（２） 準天頂衛星システムが提供するサービス（概要）

PNT サービス（GPS 補完／補強）

準天頂衛星システムには、GPS 等への互換性をもって補完する機能・サービスに加えて、高精度な測位を可能とする「サブメータ級⁵測位補強サービス(SLAS)」、「センチメータ級測位補強サービス(CLAS)」がある（両サービスとも 2018 年 11 月より提供）ほか、国土交通省が生成した SBAS（衛星航法補強システム）信号を配信する「SBAS 配信サービス」も提供している（2020 年度から）。また、「みちびき」の地上軌跡（8 の字形状）の下部・周辺となるアジア・太平洋のエリアで広範囲で利用可能な高精度測位サービス「MADOCA-PPP⁶」（マドカ・ピーピーピー、デシメータ級⁷）の実用サービスも 2024 年度から開始している⁸。

セキュリティ強化したサービス（公共、信号認証）

また、「みちびき」は、PNT におけるセキュリティ強化を目指すサービスも提供を開始したところである。具体的には、ジャミング（測位信号への妨害電波）やスプーフィング（偽測位信号の送信）への抗たん性を有する、政府または政府が認めた高度な安全保障を担う公的機関だけが利用できる「公共専用信号」の配信、また民生分野でもスプーフィングの一つの対策になるものとして「信号認証」サービスも新たに 2024 年 4 月から開始している⁹。

⁴ みちびきを利用した実証事業の公募（「みちびき」Web）<https://qzss.go.jp/ex-demo/>

⁵ サブメートル（1m程度、以下の）

⁶ MADOCA-PPP： Multi-GNSS ADvanced Orbit and Clock Augmentation - Precise Point Positioning の略

⁷ デシメートル（1/10m、10cm の）。MADOCA-PPP の場合、測位精度 30-50cm

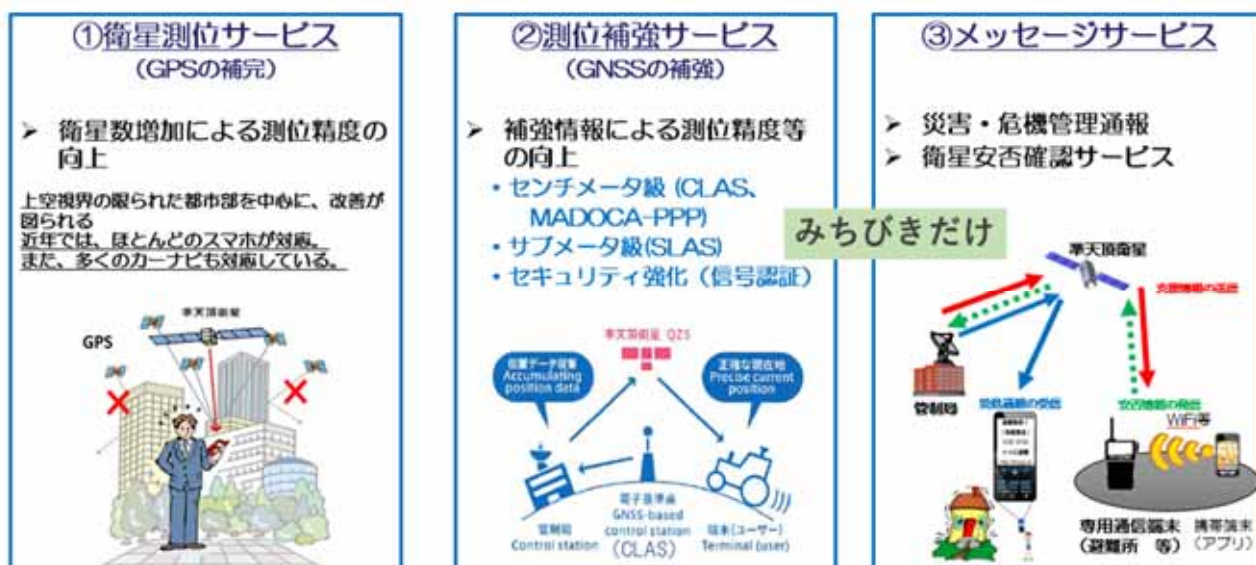
⁸ MADOCA-PPP の運用開始（2024 年 4 月）https://qzss.go.jp/info/information/madoca_240401.html

⁹ 信号認証の運用開始（2024 年 4 月）https://qzss.go.jp/info/information/qznma_240401.html

災害危機対応サービス（メッセージ配信）

加えて、防災・減災・国土強靱化への貢献の観点から、準天頂衛星システムでは防災機関から発表された地震や津波発生時の災害情報などをメッセージとして配信する「災害・危機管理通報サービス（EWSS）¹⁰」、及び、災害時における避難所の情報等を衛星経由で管制局に送信し収集する「衛星安否確認サービス（Q-ANPI）」を提供している。

以上の各サービスの詳細や実績については、本取組方針の後半で説明する。



（３） 国際協力

衛星測位の分野は、衛星軌道や信号周波数の利用にあたって国際協力が前提となる。我が国でも、「みちびき」の運用上で関係する国々と、初号機の打上げ時（2010年）の頃から、多国間（マルチ）／二国間（バイ）の場において調整を実施してきている。

多国間（マルチ）に関しては、国際連合における衛星航法システムに関する国際委員会（ICG）や Multi-GNSS Asia（MGA）をはじめとした国際的な枠組みが存在しており、衛星測位サービスプロバイダ（測位衛星を所有・運用する者）の一員として、他システムとの相互運用性確保や国際標準化に寄与している。

二国間（バイ）に関しては、随時、衛星測位サービスプロバイダとの調整・意見交換を行いつつ、さらに、「みちびき」の運用エリア下であるアジア大洋州の各国・地域

¹⁰ 災害・危機管理通報サービス EWSS：Early Warning Satellite Service

においては、利用促進のため高精度測位サービスや災害・危機管理通報サービスを用いた実証事業、意識啓発等の取組を、当該国の事情を各政府等と相談し協力を得ながら、関係府省庁の協力のもと進めている。

各主体との具体的な調整状況は下記のとおり。

<欧米との二国間協力>

○米国

米国については、1998年の日米GPS共同声明を受け、2002年に準天頂衛星とGPSとの技術的事項を検討するためのワーキンググループ（QZSS-GPS TWG）を設立し、以後、継続的に、2023年にもQZSS-GPS TWGが開催され、GPSと測位衛星の共存性及び相互運用性の技術調整/技術協力を行っている。

一方で、米国とは、技術協力のほかに、準天頂衛星システムの監視局設置における地理的協力も行われている。2018年の「宇宙に関する包括的日米対話」にて、準天頂衛星システムの7機体制に向けて現行の監視局網では十分にカバーできないため¹¹、米国に対して、米国領域内の監視局設置への協力依頼をし、米国、アメリカ海洋大気庁（NOAA）及びアメリカ航空宇宙局（NASA）の協力のもと2023年に米国領土内に監視局を新たに4局開設した¹²。

また、2020年12月に署名された日米政府間のホステッド・ペイロード協力に関する交換公文に基づき、それぞれに、米国防省のホステッド・ペイロード¹³（宇宙状況監視（SSA）センサ）を搭載した準天頂衛星6号機と同7号機の打上げとその後の運用に向けた準備が進められている。

○欧州（EU）

欧州（EU）については、2014年から日欧宇宙政策対話を開催しており、2017年3月に内閣府と欧州委員会との間で「衛星測位に関する日欧協力取決め」を署名、官民ラウンドテーブルの開催を通じて官民双方の協力関係を強化してきている。また、高精度測位に関するE6/L6信号のフォーマット標準化活動、海外向け災害・危機管理通

¹¹ 準天頂衛星7号機は東経190度に配備される予定

¹² アラスカ局、カリフォルニア局、グアム局（以上がNOAA保有施設）、ハワイ局（NASA保有施設）

¹³ ホステッド・ペイロード（Hosted Payload）とは、他国等の人工衛星の中に、装置を相乗りさせること

報サービスの共通フォーマット規格策定、DFMC-SBAS に関する活動¹⁴を実施している。

<アジア太平洋諸国との二国間協力>

アジア大洋州の国・地域において準天頂衛星のユーザ獲得に向けて、デシメーター級の高精度測位補強サービス（MADOCA-PPP）、及び災害・危機管理通報サービス（EWSS）の整備を進めてきた。これらサービスの域内での利活用推進のため、各国における実証、意識啓発等の取組を、相手国政府等の協力も得ながら関係府省庁の協力のもと、進めている。

高精度測位補強サービス MADOCA-PPP については、測位開始から測位精度が安定するまでの時間（収束時間）が長いことが改善点であった（当初の仕様では 1800 秒（30 分））。このままでは、自動運転等のリアルタイム測位を必要とするアプリケーションやシーンにおいて使い勝手が悪いとため、これを改善するため、現地にある測位衛星の観測局（電子基準点等）データを入手して、当地上空の電離層補正情報を提供できるようにすることで、収束時間を 10 分以下にする機能向上を進めてきている。また、電離層以外の補正情報の生成においても、大学や研究者等有志がボランティアで運用している観測局データを多く利用している。現在、より安定した運用のために、こうした各国の観測局データの入手に努め、GNSS 統合データ共有システム「MIRAI: Multi-GNSS Integrated Real time and Archived Information system」を整備している。

この観点から、サービスの利活用推進だけでなく、現地の観測局データ入手という 2 つの主要な目的において以下のような取り組みを継続している。現地の観測局データの入手においては、アジア大洋州地域の各国の電子基準点管理機関との関係構築を進めており、現在、アジア太平洋地域における政府機関等と協力文書を作成し、収束時間短縮の評価を行っている。加えて、タイやベトナムとは、サービス利活用推進のためのトレーニングや実証事業等の実施に関する協力文書を作成し、現地における MADOCA-PPP の性能確認等を進めている。

¹⁴ 現行の SBAS は単一の GNSS（具体的には GPS と GLONASS のいずれか）及び単一の周波数を補強対象としており、静止衛星から補強情報を伝送することとされている。これに対して、DFMC-SBAS（multi-constellation-frequency）と呼ばれている次世代 SBAS は、複数の GNSS 及び周波数信号（L1/L5）に対応している。2024 年 4 月には、新たに高精度測位に係る信号認証の互換性調整を追加した「衛星測位に関する日欧協力取決め」を再署名。

次に、災害・危機管理通報サービス EWSS については、2021 年度から実施している実証事業において、実証について3 か国（タイ・フィジー・豪州）、デモンストレーションについて6 か国（マレーシア・フィリピン・インドネシア・カンボジア・ネパール・バングラデシュ）で実施し、普及を進めている。実証事業では、各国機関と調整し、各国の社会課題や実情に即した実証を行っている。2025 年4 月以降、これまでの実証事業の成果を生かして、同エリアにおける EWSS がより幅広く配信され活用される社会実装を目指して環境整備を進める。

○タイ

タイについては、我が国とタイの宇宙協力は、2015 年2 月の日タイ首脳共同声明に始まった。我が国は、政府と産業界が協力して、リアルタイム高精度測位を活用した高度G 空間社会の構築を目標に、インフラ整備と産業利用の普及拡大の両面から進めてきた。2022 年11 月に行われた日タイ外相会談において林大臣（当時）とドーン・ポラマットウィナイ副首相兼外務大臣とにより署名された「日タイ戦略的経済連携5 か年計画」では、宇宙に係る協力内容として、日本の準天頂衛星システム「みちびき」の地理情報を利用した災害対策と MADOCA-PPP の実証事業、ODA による国家データセンターの能力強化支援を含む電子基準点の運用システム構築及び利用促進に関する協力プロジェクトが盛り込まれた。また、タイでの EWSS 実証においては、現地で大きな社会問題化している森林火災対策の一つとして（地上波のつながらない広大な森林公園内に散らばるレンジャー隊員に山火事の火災発生位置等の情報を同時配信する仕組み）、日本企業と現地の現場機関や研究機関等が連携した実証事業が行われている¹⁵。

○インドネシア

インドネシアについては、2023 年に国立研究革新庁（BRIN）と LOI に署名し、MADOCA-PPP に関するセミナーを実施。また、地理空間情報庁（BIG）とも2023 年に LOI を署名し、MADOCA-PPP に関する実証を行い、インドネシアの電子基準点データをもとに電離層補正情報プロダクトを BIG に生成してもらい、インドネシアにおける広域電離層情報の評価を継続している。

¹⁵ 2024 年3 月のチェンマイ県における実証では、タイ・セター首相が現地視察を行った。

○フィリピン

フィリピンについては、2023 年に国家地理資源情報庁（NAMRIA）と LOI に署名し、MADOCA-PPP に関するトレーニングを実施し、フィリピンの電子基準点データ提供を受けてのフィリピンにおける広域電離層情報評価を継続している。

○ベトナム

ベトナムについては、2023 年にベトナム宇宙庁（VNSC）と LOI に署名し、MADOCA-PPP に関する評価用の試作受信機を貸与し、トレーニングを実施し、協力を継続している。

○カンボジア

国土整備都市計画建設省地籍地理総局（GDCG）と、2024 年に MOC に署名し、カンボジアにおける MADOCA-PPP 広域電離層情報の実現に向けたデータ提供やトレーニング等の協力を進めることとしている。

○豪州

豪州については、2019 年 11 月に内閣府と豪州地球科学局（GA: Geoscience Australia）との間で衛星測位協力に関する協力覚書が署名された。電子基準点データの提供を受けての豪州における MADOCA-PPP 広域電離層情報の評価や、EWSS に関する協力を継続している。

<多国間協力（マルチの場合）>

○ICG、MGA

サービスの相互運用性確保や国際標準化に向けては、国際連合における衛星航法システムに関する国際委員会（ICG）やアジア地域における測位衛星を活用する会合 Multi-GNSS Asia（MGA）をはじめとした国際場裡において、衛星測位サービスプロバイダの一員として他システムとの相互運用性確保や国際標準化による利用促進に寄与している。

(4) 準天頂衛星システムを取り囲む周辺動向

近年、世界の各国・地域で、PNT サービスを独自に整備する動きが進んできている。我が国の衛星測位の将来システムの検討にあたっては、これら海外の政策動向や技術動向を踏まえて検討を行っていく必要がある。

2023年10月現在

	衛星測位システム	測位精度	運用状況
GNSS (グローバル)	 GPS Global Positioning System	5～10 [m]	31機体制で運用中
	 GLONASS	10～25 [m] (補強情報を使って数cm程度を目指している)	24機体制で運用中
	 Galileo	15～20 [m] (補強情報を使って20cm程度を目指している)	28機体制で運用中
	 北斗 (BeiDou)	10～15 [m] (補強情報を使って20cm程度を目指している)	45機体制で運用中
RNSS (リージョナル)	 NavIC Navigation Indian Constellation	～20 [m]	7機体制で運用中 ※11機への拡張計画あり
	 準天頂衛星システム QZSS Quasi-Zenith Satellite System	5～10 [m] 数 cm (6cm) (cm級の補強情報送受信時)	4機体制で運用中 ※7機体制の構築に向け整備中 ※11機体制にむけた検討・開発着手


韓国
計画

① 世界各国の衛星測位システム (GNSS, RNSS)

現在、衛星測位システム (NSS) を整備、運用している国は、米国 (GPS)、ロシア (GLONASS)、欧州 (Galileo)、中国 (BeiDou)、インド (NavIC) と日本 (QZSS) の計6か国である。うち、日本とインドのみ地域衛星測位システム (RNSS; Regional Navigation Satellite System) である。

各国とも、現行サービスを提供するために必要な衛星数を今後も維持し、また更新していくと聞いており、さらにそれぞれ、性能向上やコスト低減を踏まえた次世代機への更新が計画されている。

各国のシステム整備状況、次世代システムの更新及び開発計画の概要として、次ページの表、図に各システムのコンステレーション、構成、サービスをまとめるとともに、各システムの整備状況と計画を示す。

	コンステレーション特性				衛星機数		サービス						備考
	サービスエリア	軌道タイプ	軌道長半径(km)	軌道面数	ノミナル衛星数	運用中衛星機数 (2024年4月時点)	民生PNT	+信号認証	Search&Rescue	+RTNリンク*	高精度補強	災害警報(Short Msg.)	
GPS(米国)	全球	MEO	26560	6	27	31	○						Block III 衛星打ち上げ、III F 開発中
GLONASS(ロシア)	全球	MEO	25510	3	24	26	○		○				K2 シリーズ試験機運用中
		IGSO	42164	3	6	0							2025 年より打上げ 27 年までに 6 機
Galileo(欧州)	全球	MEO	29600	3	24	24	○		○	○			予備・置換衛星群 (Batch3) を 21 年末より打上げ、第 2 世代衛星開発中
BDS(中国)	全球	MEO	27906	3	24	29(26)**	○		○	○		○	第 3 世代衛星群の配備を完了
		IGSO	42164	3	3	10(3)**	○			○		○	ショートメッセージサービスは中国と周辺地域向けとグローバルと 2 種類、双方向通信
		GEO	42164	1	3	8(3)**	○				○	○	高精度補強は中国と周辺地域向けサービスを開始
NavIC(インド)	地域	IGSO	42164	2	4	4	○					○	11 衛星への拡張計画あり、次世代衛星開発中
		GEO	42164	1	3	3	○						
QZSS(日本)	地域	IGSO	42164	4	4	3	○	○			○	○	7 機体制確立に向け、5-7 号機開発中
		GEO	42164	1	2	1	○	○			○	○	
		QGEO	42164	1	1	0	○						
KPS(韓国)	地域	IGSO	42164	4	5	0							2027 年までに初号機、34 年ごろ 8 機体制
		GEO	42164	1	3	0							

○：サービス開始済み

△：今後開始予定

*：Search & Rescue のリターンリンク、欧州 Galileo と中国 BDS は受信した遭難信号発信者に対して受信確認のメッセージを送信する機能を有す

**：BDS の衛星機数は、第 2 世代 (BDS-2) と第 3 世代 (BDS-3) を合わせた機数であり、() 内の数値は、第 3 世代 (BDS-3) の機数を示す。

表 各国システムの構成とサービス一覧



図 各国のシステム整備状況と計画

i) 米国 (GPS)

米国の衛星測位システム GPS(Global Positioning System)は、2023 年でシステム設置 50 年の節目を迎えている。当初計画の衛星機数は 6 軌道面に 4 機ずつ計 24 機構成であったが、2011 年 6 月以降は 27 機をベースラインとして、現状 31 機による運用を維持しつつ、ベースラインを超える数の衛星は待機衛星として、運用中の衛星が故障した際には直ちに復帰できる体制を整えている。

Block-III 衛星の打上げを 2018 年から開始し、2024 年 1 月時点で計画通り 6 機を打上げ済みであり、2026 年までに残り 4 機を打ち上げる計画である。Block-III 衛星は、4 番目の民生信号である L1C 信号の追加、M コード信号の送信電力増強などの機能性能改良を行っているが、地上システム更新 (OCX) が大幅にスケジュール遅延しており、Block0 段階における SV06 までの打上・チェックアウトを完了しつつも、L1C 信号の航法メッセージ (CNAV2) 送信開始や L2C、L5 信号の航法メッセージ (CNAV) の定常運用開始も OCX 完成・納入後の 2024 年以降に予定されている。

また、次世代衛星 (Block-IIIF) については、2018 年に 22 機の製造をロッキードマーチン社と契約し、開発に着手しており、2026 年に初号機を打ち上げる計画とな

っている。信号構成や、電力配分、変調方式などを軌道上で変更可能なデジタルペイロード、有事の際の作戦エリアへ 100 倍の送信電力で M コード信号を送信する耐ジャミング性能向上や、衛星間通信リンクを用いた即時アップリンク機能の追加、原子時計の性能向上、レーザ反射鏡、SAR (Search And Rescue) ペイロードの追加等を行う予定である。

米 GPS での新規開発技術の一部は、2024 年に打上げ予定の Navigation Technology Satellite (NTS)-3 で実証される。NTS-3 は空軍研究所が実施する技術実証プログラムであり、EELV(Evolved Expendable Launch Vehicle)の二次ペイロード打上げ用のアダプターを主構造に用いた低価格の小型静止衛星バスを用いて、将来の PNT 技術実証を行う。再構成可能なデジタル可変信号生成器や、電子走査式フェーズドアレイアンテナ等のハードウェアの軌道上実証、オンボードの可変信号生成に対応したソフトウェア無線 GNSS 受信機の開発、運用自動化、効率化を目的とした自律航法や、CHIMERA(CHIPs MESSage Robust Authentication)と呼ばれる拡散符号認証の実証実験を行うほか、地上システム自動化や、抗たん性向上のための商用追跡管制ネットワークを利用した運用のテストを実施する予定である。

ii) ロシア (GLONASS)

ロシアの GLONASS-M シリーズの衛星 24 機で運用を継続中。FDMA (周波数分割多元接続) 信号のチャンネル数の制約もあり、運用可能な衛星機数に上限 (24 機) があるが、2022 年 10 月現在で次世代衛星である K シリーズの試験衛星 3 機を含むバックアップ機を複数機運用している。K シリーズより、CDMA(符号分割多元接続) 信号の追加(L3 信号)を開始、原子時計の改良などを実施、地上システムの監視局のロシア国外への設置の促進、軌道クロック推定ソフトウェア改修などと合わせて、SIS-URE (Signal-In-Space User Range Error ; 衛星の軌道・時刻に起因するユーザ視線方向の誤差) の性能向上を図っている。

既に衛星間測距は現 M シリーズから搭載済み、K シリーズでも性能改良が図られていると思われる。K シリーズへの置換は、元々2020 年には完了する計画であった (初号機の打上げは 2011 年) が、2014 年の西側諸国による経済制裁に伴いロシアで製造できない部品・コンポーネントが多数を占めた K シリーズ衛星の整備は大幅に遅延し、現時点の計画では 2025 年までに 7 機を製造、打ち上げる計画となっている。

さらに改良を加えた K2 衛星の打上げも 2021 年から開始され、K2 シリーズ最初の 2 機の衛星は、L1、L2 帯にも CDMA 信号を追加し、従来の FDMA 信号とは別アン

テナから送信するものの、2023 年以降に打ち上げられる K2 衛星は、共通のアンテナから FDMA と CDMA の全信号を送信する。

また、高緯度地域をカバーし、高精度な補強情報配信（PPP 方式向けの精密軌道クロック補正）を行うため、準天頂衛星同様の傾斜地球自転同期軌道（IGSO: Inclined Geo-Synchronous Orbit）の高高度 GLONASS-V 衛星 6 機を 2025 年より打ち上げ、2027 年までに配備完了する計画がある。

報道によると 2021 年から 2030 年までの 10 年間に、65.5 億ドル（4840 億ルーブル）の予算が GLONASS プログラムの予算として確保されている。

iii) 中国（BDS）

中国の衛星測位システム BeiDou については、2024 年 1 月時点で、第 2 世代の衛星群 15 機（静止衛星 5 機、IGSO 衛星 7 機、中軌道（MEO: Medium Earth Orbit）衛星 3 機）に加えて第 3 世代衛星群 31 機（静止衛星 2 機、IGSO 衛星 3 機、MEO 衛星 25 機、バックアップ 1 機）によるグローバルサービス提供を実施中。GPS のようなグローバルシステムのほか、準天頂衛星と同様な IGSO 軌道のリージョナルシステムも併せ持っている。

第 3 世代衛星群の展開に先立ち、MEO 衛星 3 機、IGSO 衛星 2 機の計 5 機の試験衛星を打ち上げ、国産原子時計（ルビジウム、水素メーザ）や、新信号生成器、衛星間測距装置の軌道上実証を実施している。

第 3 世代衛星群は、第 2 世代衛星群が送信している測位信号に加えて、新たな民生用と軍用信号を追加した他、MEO 衛星の一部は、SAR ペイロードを搭載、静止衛星は、PPP 補正情報配信（中国及びその周辺地域で利用可能）及び SBAS サービスの配信を行っている。また、双方向通信によるショートメッセージ通信サービスを、静止衛星から中国及びその周辺国で利用可能な地域サービス（ダウンリンク S 帯、アップリンク L 帯）と、MEO 及び IGSO からのグローバルサービス（アップリンク、ダウンリンクとも L 帯でダウンリンクは B2b 測位信号を利用、アップリンクは MEO 衛星のうち 14 機）を提供している。

今後は第 3 世代衛星の軌道上バックアップ機をさらに追加し、33 機ないし 35 機の衛星でサービス提供を行うものと思われる。PPP 補正情報配信については、将来的に中国及び周辺国向けに PPP-RTK サービス（電離層、対流圏遅延補正の追加）、MEO 衛星によるグローバル PPP サービスへの拡張の計画がある。ICG での発表によれば、中国政府は BDS をコアに、屋内、水中などでも利用可能なユビキタス PNT サービスを、地上ネットワークや他のセンサも利用して実現する構想を持っている。

iv) 欧州 (Galileo)

欧州 Galileo は、3 軌道面に 8 機、計 24 機の衛星で構成されるコンステレーションに、軌道上バックアップ 6 機 (2 機/軌道面) を加えた、30 機構成のシステムである。2024 年 3 月末時点で、計 24 衛星 (2020 年 11 月に正式に利用可能になった 2014 年 8 月打上げ時に軌道投入に失敗した 2 衛星を含む) が利用可能である。

現行世代の残り 10 機の衛星製造は完了しており、バックアップ機含むコンステレーションの完成と、現行衛星の更新を実施する予定であるが、打上げは 2024 年以降の予定。

既にサービスを開始した、衛星測位サービス (民生公開測位、公共専用測位) 及び SAR に加えて、HAS (High Accuracy Service, PPP 用の補正情報配信、目標精度 20cm) を第 1 フェーズとして欧州域向けに 2023 年よりサービス開始しており、その後第 2 フェーズとしてグローバル化と欧州域での収束時間短縮等の性能向上を行うほか、OSNMA (民生公開サービスへの航法メッセージ認証サービス: 公開テスト中/2024 年初頭に初期サービス開始の計画)、商用の信号認証サービス (開始時期未定) が開発中。

2014 年頃に検討を開始した第 2 世代システムでは、ユーザ測位性能向上、システム維持運用コスト低減を目標として、オンボードアンサンブルクロックや、水素メーザ原子時計の小型軽量化、光時刻標準、衛星間測距・通信機器、電離層遅延予測、EWS、IoT 機器をターゲットにしたユーザ受信機の低消費電力化に有用な新信号等に関して ESA や欧州各国の宇宙機関、さらには EU の研究開発ファンドである「Horizon Europe」の枠組みを利用した研究開発が進められている。

Galileo の第一世代衛星群の開発においては GIOVE-A 及び B の異なる衛星製造メーカーによる 2 つの実証衛星が打ち上げられたほか、ドイツのバイエルン州に模擬衛星を山の稜線上に配置し、谷間のエリアにおいて、Galileo の新信号を衛星が揃う前に地上でライブ信号を用いて受信機開発の検証が行える「GATE」と呼ばれるシステムが整備された。「Horizon Europe」においても、衛星や宇宙機側の研究開発だけでなく、受信機、地上アプリケーションの研究開発も複数の企業グループによって推進されている。

第 2 世代の衛星群は、2024 年の年末に試験衛星から打上げを開始、2030 年に初期サービス、2035 年に次世代システムの配備を完成する計画である。第 2 世代衛星は、第 1 世代衛星よりも大型、大電力化が図られ、最大 2 トン、発生電力は第 1 世代の 3 ~ 4 倍、設計寿命も 12 年から 15 年に拡張され、電気推進、衛星間通信機能が実装さ

れている。6 個の原子時計を搭載、アンサンブルクロックを構成するとともに、うち 1 個は次世代に向けた実験用の原子時計を搭載する。EU は、第 2 世代の衛星調達にあたっては、単一事業者からの調達ではなくデュアルソース調達の強化を検討している。

v) インド (NavIC)

インドの衛星測位システム NavIC では、IGSO 衛星 4 機と静止衛星 3 機、計 7 機により、インド周辺領域をサービスエリアとする地域衛星測位サービスを構築済み。2023 年 5 月に NVS-01 を打上げ、今後 IRNSS-1G をリプレイス予定。L1 帯、L5 帯と S 帯の 3 周波の測位信号を配信、IRNSS-1A と IRNSS-1G の 2 衛星からはショートメッセージ配信サービスも提供している。

今後、IGSO 衛星 4 機を追加して 11 機にコンステレーションを拡張し、軌道上バックアップと幾何学的配置改善によるサービス性能向上を行う計画がある。また、NavIC に搭載される原子時計は、これまで欧州 Spectratime 社製の RAFS（ルビジウム原子時計）が使用されていたが、2023 年 5 月に打上げた第 2 世代衛星では、インド国産の原子時計が搭載されたこととともに、他の GNSS との相互運用性が高い L1 帯（中心周波数 1575.42MHz）への新信号追加などの機能性能向上も見受けられる。

vi) 韓国

韓国については、現在、韓国政府が「KPS (Korean Positioning System)」と呼ばれる我が国の準天頂衛星システム QZSS と非常によく似た 8 機の衛星で構成される地域衛星測位システムの構築を計画している（5 機の IGSO 衛星と 3 機の GSO 衛星からなり、IGSO 軌道の衛星は、韓国上空に 8 の字型の地上軌跡が描かれる）

2018 年 2 月 5 日に国家宇宙委員会で制定した第三次宇宙開発推進計画に 2035 年までに韓国独自の地域衛星測位システムを整備することが記載されており、2027 年までに初号機を打ち上げて実証を行った後、2034 年までに残り 7 機を打ち上げて初期サービスを開始する計画となっている。韓国 KPS がサービスを予定するエリアとしては、我が国の多くの地域が含まれている。今後の韓国政府の開発や運用計画等について、注視していく。

vii) 英国

2020 年 12 月末をもって EU を離脱した英国では、Galileo の公共専用測位サービスが EU 加盟国として無条件に利用できなくなり、また、英国企業を Galileo の調達に参加させない方針を EU は示している。

2020 年 9 月 24 日に英国政府は、Space-Based Positioning, Navigation and Timing Programme (SBPP)を開始し、従来の MEO 衛星ベースの GNSS にとどまらず、より広範な測位技術、複数軌道衛星の活用も選択肢として、英国のクリティカルインフラや防衛のための国外システムに依存しない独自の衛星測位インフラの検討を行うことを公表している。

また、英国については、（これまでの GNSS 測位衛星のように中高度以上の軌道ではなく）新たに低周回衛星コンステレーションによる PNT サービスについても関心を示している。英国政府は、2020 年 7 月に破産した低周回衛星コンステレーション移動体通信事業者である OneWeb 社をインドの通信事業者とともに買収しており、OneWeb 社の第 2 世代衛星に測位ペイロードを搭載することも SBPP で行う検討の選択肢に含まれているとのことであり、OneWeb 社は、第 1 世代のシステムでも時刻同期サービスを提供すること、第 2 世代衛星には、測位航法ペイロードを追加することをアナウンスしており、我が国としても注視していく。

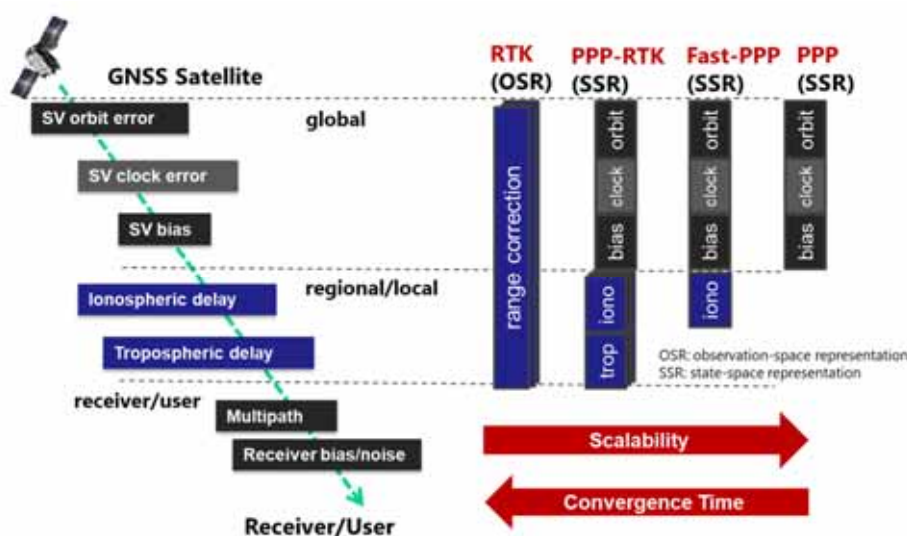
② 周辺動向

SBAS・GNSS 補強システム

SBAS は、国際民間航空機関（ICAO）や航空機搭載受信機規格の国際標準団体（RTCA/EUROCAE）にて国際標準に定められた衛星航法補強システムであり、航空機の離陸から着陸まで利用され運航において必要不可欠なシステムとなっている。現在、運用又は整備中のシステムは世界で 10 システム存在しており、運用中は、米国（WAAS）、欧州（EGNOS）、インド（GAGAN）と日本（MSAS）であり、整備中のものは、ロシア（SDCM）、中国（BDSBAS）、韓国（KASS）、豪州・ニュージーランド地域（SouthPAN）、アフリカ地域（ANGA）、パキスタン（Pak-SBAS）がある。これらのシステムは、国際標準を満足するよう運用又は整備が行われており、補強メッセージのフォーマットは共通化されていることから各国・地域間でシームレスに利用することも可能である。

PPP 補強サービス

PPP 補強サービスはわが国 QZSS でも、デシメータ級の高精度測位サービス MADOCA-PPP として 2024 年 4 月からサービスを開始しさらに性能改善中であるが、欧州 (Galileo)、ロシア (GLONASS)、中国 (BDS)、豪州 SouthPAN でも、PPP 向けの補強メッセージ配信を開始しているほか、計画中の韓国 KPS も類似のサービスを提供する予定となっている。以下の表に各国の PPP 補強サービスの現状をまとめる。



システム	サービスエリア	補強方式	補強対象	信号	開始時期
Galileo(欧)	Global	PPP	GAL, GPS	E6 (1278.75MHz)	2023
	Regional	F-PPP			
GLONASS/ SDCM(露)	Regional	PPP PPP-RTK	GLO, GPS, GAL, BDS	L3C (1202.025MHz)	地上配信を運用中 (PPP-RTK は 2030 年以降)
BDS(中)	Regional	PPP	BDS,GPS	B2b (1207.14MHz)	2020
QZSS(日)	Regional	PPP, PPP-AR, F-PPP	QZSS, GPS, GAL, GLO	L6 (1278.75MHz)	2024 (MADOCA- PPP)
	国内	PPP-RTK			2018 (CLAS)
SouthPAN(豪)	Regional	PPP	GPS, GAL	L1(1575.42MHz) L5(1176.45MHz)	2022(初期サービス)
KPS(韓)	Regional	PPP-RTK	GPS, GAL, KPS	L6(1278.75MHz)	不明

表 衛星測位システム又は補強システムから提供される PPP 補強サービス¹⁶

¹⁶ ICG – WG-S - PPP Interoperability Task Force 「PPP/PPP-RTK Service Providers Report」

低周回衛星（LEO）コンステレーションを利用した PNT サービス

前述「英国」でも記載のとおり、低周回衛星（LEO）コンステレーションを利用した PNT サービスについての検討も行われている。米国の Globalstar、Iridium 等の低軌道通信衛星に測位ペイロードを相乗りさせ、測位信号を配信している事例が多く聞かれるが、一方、米国の Xona Space Systems 社や中国の Geespace 社等のように、低軌道通信衛星との相乗りではなく、低軌道測位コンステレーションを民間主導で構築する事例も見受けられる。

しかしながら、このような低軌道測位コンステレーションを新たに構築するには、サービスを地上にあまねく提供していくためには、十分な数の低軌道衛星や周波数を確保する必要があり、ビジネスモデルとしても成立について容易ではないと考えられている。なお、周波数については、他国にて既存周波数帯との干渉を踏まえて、別の周波数利用（例えば C 帯）を検討する動きも見られる。

衛星測位サービスのサービス領域拡張（SSV: Space Service Volume）

低軌道（LEO）での測位サービスの検討と同時に近年、GPS や Galileo 等の中軌道（MEO）衛星の高度以上の高い軌道、静止軌道衛星においても GNSS 利用が進んでいる。

静止軌道衛星での GNSS 利用では、地球の反対側にある GNSS 衛星からの信号を受信する必要があり、従来よりもハイゲインな指向性アンテナや、微弱な信号を処理するための信号処理技術が必要であるが、GNSS 受信機搭載による軌道制御運用の自動化により運用コストの低減や、中断時間の低減に大きな効果¹⁷があったことが報告されている。今後は火星探査に向けた Gateway や国際協力で進めるアルテミス計画による月近傍・月面での活動などより高高度での GNSS 利用ニーズが高まることが予測されている。

これら新しい GNSS 利用領域は、SSV（Space Service Volume）と呼ばれ、単一の GNSS コンステレーション利用では十分な可視衛星が得られないため、特に GNSS 間の相互運用性が重要であるとされ、ICG では、米国、欧州、中国を中心に検討分科会が結成され、複数 GNSS を用いた SSV 利用の効果をシミュレーションで示し、SSV へのサービスの継続性や性能改善を求める活動を行っている。

NASA、ESA では、Gateway や月周回、月面での GNSS 利用について検討を進めており、2022 年に打ち上げられた Artemis-1 に搭載された GNSS 受信機によるデータ

¹⁷ 例えば、GOES-R 衛星では気象観測の中断時間が低減したとの方向

収集や、2024 年に計画されている CLPS ミッションでの月面に GNSS 受信機を設置しての受信実験を行う検討も行っている。

月面を含む深宇宙での航法、タイミングサービスのためのインフラ構築には、地球周回の GNSS 信号だけでなく、光学センサを用いた航法や、月面や月周回軌道に置いた無線ビーコンやパルサーが発する X 線などを利用した複合航法の研究開発、必要なインフラの検討が必要である。

2.11 機体制に向けた検討（サービスと性能、コスト）～将来のシステム構成

（１） 現状の課題

「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（2011 年）9 月 30 日閣議決定）、「宇宙基本計画」（令和 5 年（2023 年）6 月 13 日閣議決定）及び「宇宙基本計画工程表」（令和 5 年（2023 年）12 月 22 日 宇宙開発戦略本部決定）では、2024 年度から 2025 年度にかけて順次準天頂衛星を打ち上げ、まずは 7 機体制確立に向けて、引き続き着実に開発・整備を進めることとされている。

また、「宇宙基本計画」（令和 5 年 6 月 13 日閣議決定）では、準天頂衛星システムについて、測位サービスの安定性供給を目的としたバックアップ機能の強化や利用可能領域の拡大のため、7 機体制から 11 機体制に向け、コスト縮減等を図りつつ、検討・開発に着手することとされた。

将来 11 機体制の検討にあたっては、機数が増加のため自ずと開発や運用体制の規模が拡大していく懸念があり、衛星・地上システムの双方について精査をしていく。例えば、地上システムでは間欠運用を併用させて追跡管制局数の最適化／監視局削減や運用業務のさらなる自動化、サブシステムの統合化などでコスト削減を狙っていく。

上記をふまえて、2022 年度及び 2023 年度に将来準天頂衛星システムの概念検討を実施し、サービス性能向上・拡張策検討調査、総合システムの実現性検討調査、2～4 号機後継機及び 8 号機を想定した衛星システム等の概念検討調査、現在運用中の準天頂衛星地上システムからの拡張構成検討調査、並びに契約・技術両面での課題識別等を実施した。

識別された主な課題、対応状況等を以下に示す。

① 質の高い測位サービスの安定的な供給（抗たん性・精度向上）

（ア）抗たん性向上

抗たん性を強化するためには、衛星機数の拡張による不具合発生時のバックアップ体制の確立のほか、測位信号の欺瞞耐性向上やサイバーセキュリティの確保など、測位信号そのものの脅威・リスクへの備えが必要となる。

現在、測位信号への妨害・欺瞞としては、①スプーフィング（なりすまし）、②ミーコニング（再送攻撃）および③ジャミング（電波妨害）があり、特に測位信号を欺瞞し自動運転などの活用に影響を及ぼす①スプーフィング（なりすまし）については簡易な装置でも欺瞞が可能であることが分かっており、懸念がより高まってきている。

この問題に対して、準天頂衛星システムでは、暗号技術を活用し、測位信号の発信元を認証する「信号認証」機能を具備し、信号の信頼性を高める方向でシステム検討を進めている。



図 測位信号の欺瞞・妨害（信号認証サービス）

（イ）精度向上

「みちびき」の高精度測位サービスでは最大 cm 級の測位精度の達成・維持を目指している。測位精度の向上のためは、まず上空の衛星それ自体が軌道上のどこにいるのかが正確に規定される必要があり、その精度を確保するために現在、SIS-URE（Signal-In-Space User Range Error；衛星の軌道・時刻に起因するユーザ視線方向の誤差）の向上施策として搭載機器の機能性能向上や搭載時刻基準の安定度改善など様々な角度から取り組む。

加えて、上空の衛星配置による測位精度の低下率に対応していくため、DOP（Dilution of Precision）の改善によるユーザ測位精度向上、精度の高いエリアの拡充、軌道保持制御に伴うサービス休止時間の短縮も合わせたアベイラビリティ向上を目指し、衛星システムの機能性能向上を目指す。

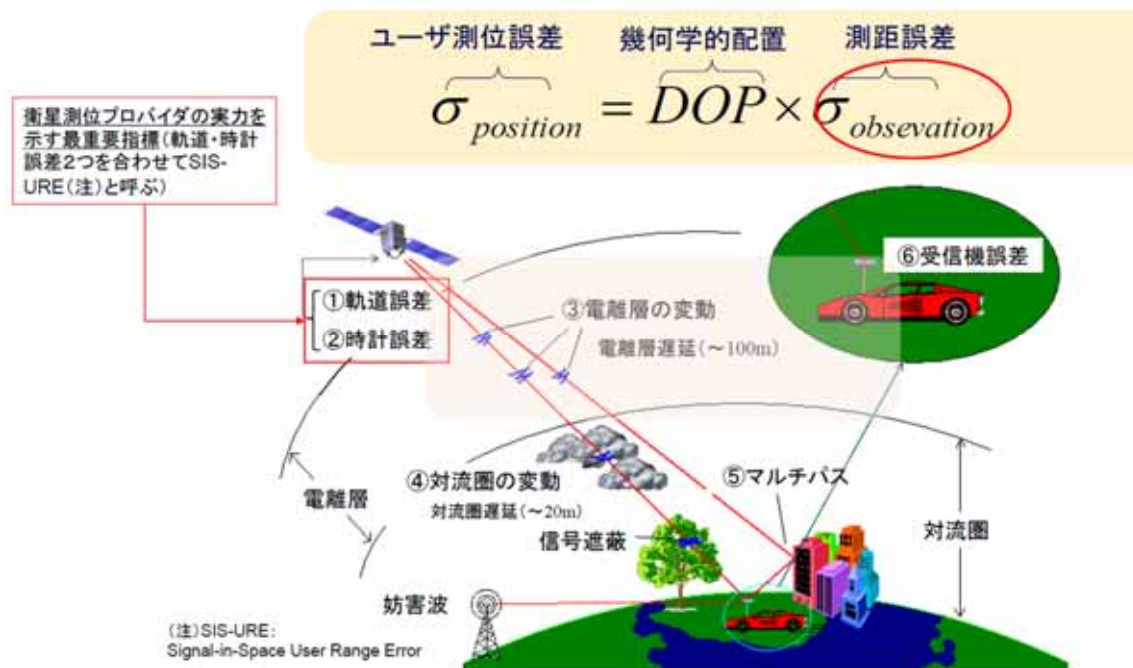


図 測位精度への影響要因

①精度, 安定性, 機能性能向上

- ・SIS-UREの向上
- ・DOPの改善によるユーザ測位精度向上
- ・アベイラビリティ向上(サービス休止時間の短縮等)

②信頼性向上, 抗たん性の強化

- ・衛星機数の拡張や衛星不具合発生時のバックアップ
- ・測位信号の欺瞞耐性向上、サイバーセキュリティ

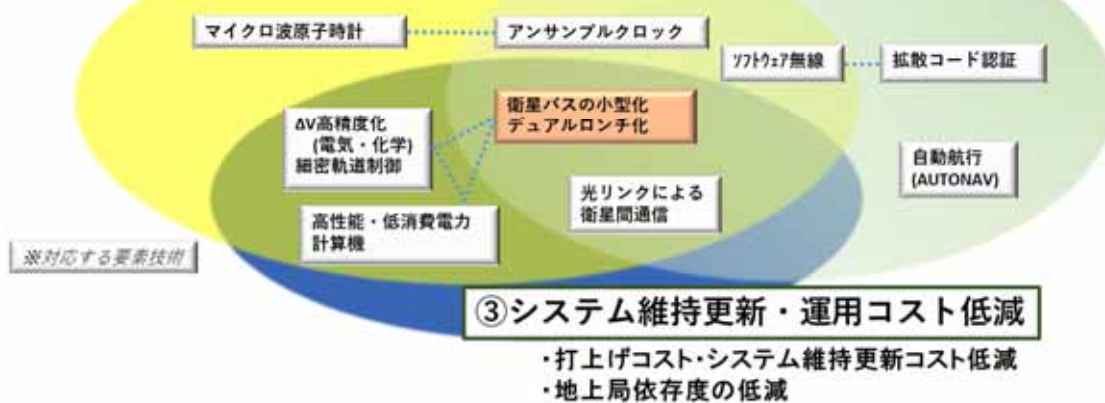


図 測位性能向上の取組(衛星の細密軌道制御、 ΔV 制御など)

② 持続的なサービスに向けたコスト縮減（開発、運用）

衛星測位システムに関しては、コスト抑制を図るため、新型バスと電気推進系採用による衛星小型化をしての２機同時打上げ（デュアルローンチ）、あるいは、既存技術（ルビジウム原子時計やＳ帯衛星間測距等）の採用等を検討した。

しかしながら、衛星バスのコストが為替や経済情勢変動（推薬高騰含む）等により高騰（特にデュアルローンチのコストが大幅に高騰）しており、デュアルローンチによる効果が得られていない、ないしは非常に得られづらい状況となっているため、コストの最新状況やＲ＆Ｄの進捗も見極めた上で概念設計時にトレードオフを進める。

地上システムに関しても、間欠運用併用による追跡管制局数最適化、運用・維持管理の自動化、管制系の統合等の検討を行い、コスト低減策として採用できる見通しを得た。一部の項目については、引き続き、概念設計にて実現可能性を検討する。

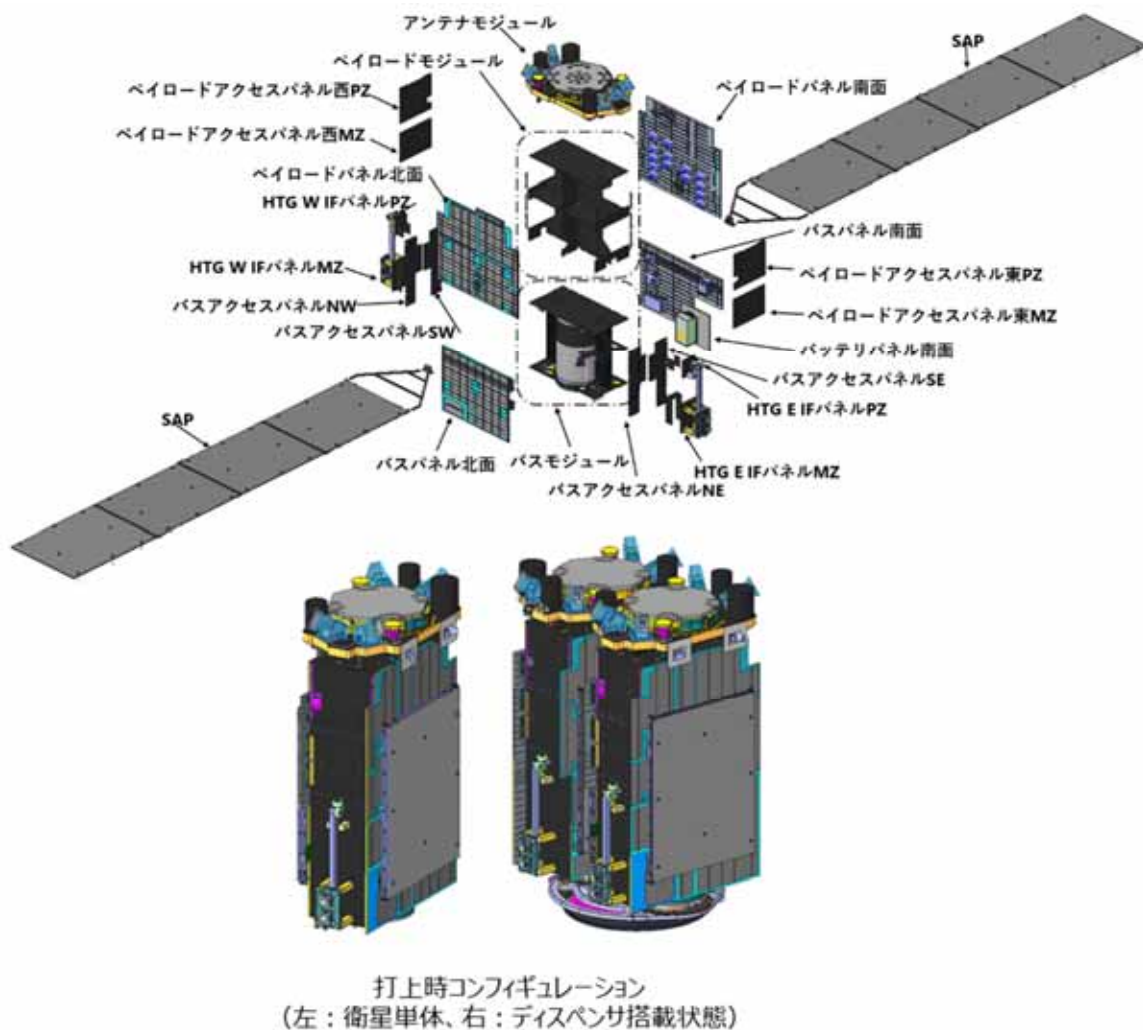


図 衛星システムの低コスト化（新型バス、デュアルローンチ）

No.	項目	ベース		削減案	
		概念検討前の前提		東QZO/西QZOは間欠サービス	
		考え方	局数	考え方	局数
1	サービス衛星				
1-1	中央QZO	1局1衛星	4	1局1衛星	4
1-2	GEO/QGEO	1局1衛星	3	1局1衛星	3
1-3	東QZO	1局1衛星	2	1局2衛星	1
1-4	西QZO	1局1衛星	2	1局2衛星	1
2	Q3	Q-ANPIバックアップ用	1	Q-ANPIバックアップ用	1
3	待機衛星(間欠HK)	1局n衛星	1	1局n衛星	1
4	打上げ対応	1～2局 Dual Launchや2局レンジの場合はNo.2 を利用	1	1～2局 Dual Launchや2局レンジの場合はNo.2 を利用	1
5	デオービット	No.2と兼ねる	0	No.2と兼ねる	0
6	定期保守	1局は保守で使用不可の前提	1	1局は保守で使用不可の前提	1
7	予備局	原則として1局確保	1	原則として1局確保	1
	最終的な追管局数		16		14

図 地上システムの低コスト化（例：追跡管制局数最適化）

（２） 今後の検討の進め方（方向性）

内閣府として、2025 年度末まで、将来準天頂衛星システムの概念設計を実施し、衛星 11 機体制に係る「ミッション要求書」及び「サービス性能・運用コンセプト」に係る実現可能性等の詳細検討を実施する。それとともに、（１）で識別された課題及び（３）に挙げられた各サービスにおける課題に対する解決策を検討していく。また、概念設計の過程においては引き続き、提供サービスの精査（各サービスに係る仕様の確定、各 WG 等を通じたニーズマッチング）を行い、「ミッション要求書」等にフィードバックしていく。

課題の中でも特にコストについては、概念検討時点（2023 年度）での積算を実施したものの、その後の想定以上の為替変動・物価高騰等の影響を受けている状況である。そのため、統合／削減出来るサービスがないか、衛星の開発・打上げ、地上システムの整備・運用・維持管理等において更なるコスト縮減策がないかを検討・精査していく。

なお、準天頂衛星をプラットフォームとして、測位サービス以外のセンサ機器等の搭載を行うホステッド・ペイロード（HP）の要望があった場合は、その搭載の可能性

について検討を行う（搭載する機器のサイズ・重量、使用電力や可動範囲、情報の取り扱い、などについて考慮する必要がある）。

（３） 各サービスの現状・方向性

11 機体制であるべき機能・サービスの検討にあたって、まず現行の４機体制における各サービス（下記リスト）の展開や課題について俯瞰する。

① 通常測位サービス（GPS 補完）¹⁸

② 高精度測位サービス（GPS 補強）¹⁹

- 1) CLAS（センチメートル級）
- 2) SLAS（サブメートル級）
- 3) MADOCA—PPP（デシメートル級）
- 4) SBAS（航空機管制用）

③セキュリティ機能付き測位サービス ※妨害に強く暗号化等

- 1) 信号認証サービス
- 2) 公共専用信号サービス

④災害緊急時メッセージサービス ※地上波未達地域への緊急情報配信

- 1) 災害危機通報サービス（災危通報）
- 2) 災害時衛星安否確認サービス（Q-ANPI）

¹⁸ GPS 等と互換性をもった測位サービス（測位精度の誤差は 5～10m）

¹⁹ GPS 信号を補強した信号をみちびきから同時配信して高精度測位を可能にする（独自サービス）

① 通常測位サービス（GPS 補完）

（ア）システムの概要、利活用の状況など

GPS 補完とは、「みちびき」が GPS と互換性を持つ測位信号を発信して、GPS を補完する役割（「みちびき」が GPS 衛星と同等に）になることである。「みちびき」が準天頂軌道をとっているため、国内ユーザに対しては常にほぼ真上から送信できること（高仰角特性）を利用して、都心部の高層ビル街等の陰で一部の GPS 衛星が不可視となる場合でも、一定の測位精度を得ることが可能になっているなど、国内を含むエリア内のユーザにとって既にメリットを提供している。



図 「みちびき」による通常測位への貢献（右図では経路や角を捕捉）

近年は、各国の衛星測位システムでも GPS との信号互換性の協調が進むなどを背景として、GPS 以外の測位衛星の信号も受信可能なマルチ GNSS 受信機が普及され一般的となっている。その結果、日本上空でも、高仰角の GPS 等測位衛星を複数、視認が可能となっており、以前より、「みちびき」の強み（高仰角特性）は薄れてきているといえる²⁰。

²⁰ 11 機体制検討に向けた関係者への聞き取りでは、高仰角特性以外の点で他の GNSS との差別化を図っていく必要がある、との意見が多くあがっている。

(イ) 今後の方向性

準天頂衛星システム「みちびき」が今後、7機から11機体制に拡大しても、前述のように、著しく高仰角特性のメリットを得られる状況ではなくっており、GPS補完の意義は薄れてきている状況にある。

他方、「みちびき」の通常測位サービスは、国内のみならず、エリア内（アジア・太平洋諸国）のユーザに対して供給責任がある。マルチGNSS受信機の内部では、「みちびき」からの測位信号も含めて処理が行われており、「みちびき」自身の測位信号が他の測位衛星の測位信号（それらが提供する測位制度面）に劣らないことが今後、必要となる。今後の11機体制でのシステムとしての必要な性能については、「みちびき」のエリア内のユーザに影響を与えることがないよう、他国の測位衛星の技術・サービスの動向を踏まえつつ、それらに劣後することのないよう、維持していく。

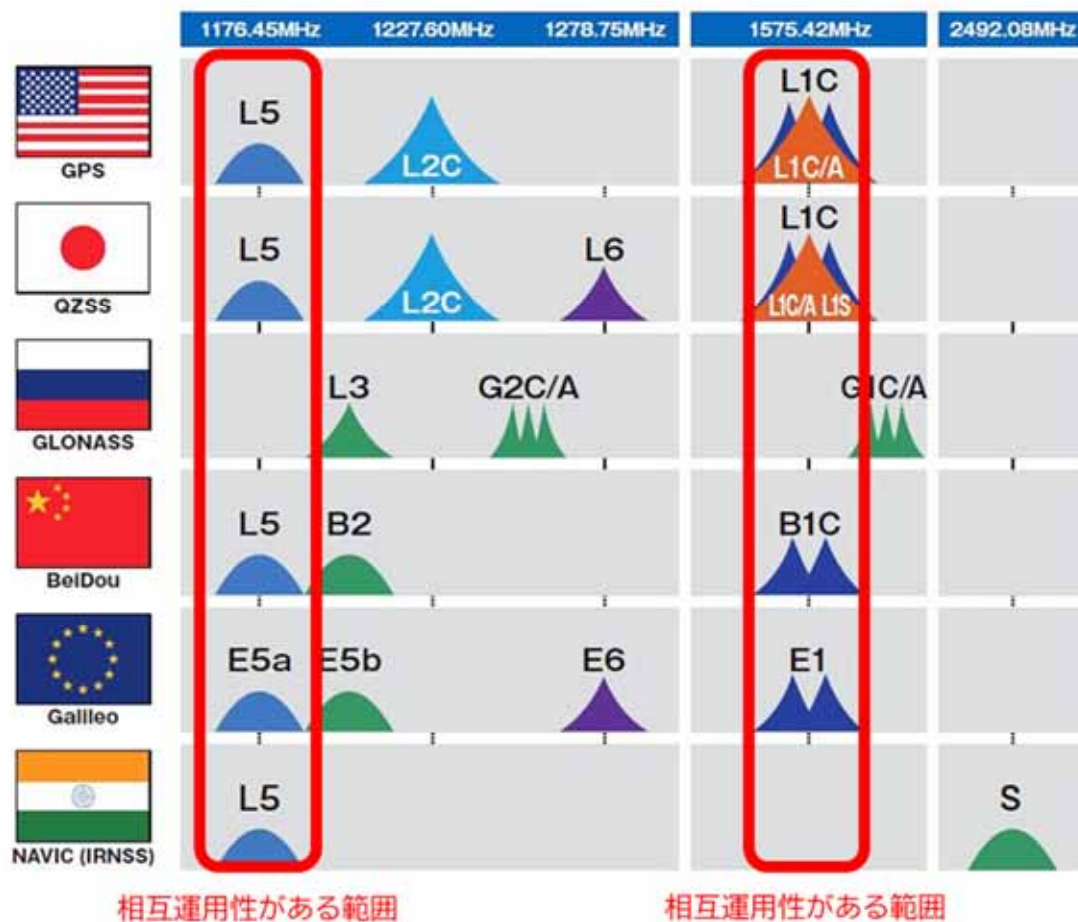


図 各国 GNSS からの測位信号の周波数（イメージ）

具体的には、現在取り組んでいる SIS-URE（Signal-In-Space User Range Error；衛星の軌道・時刻に起因するユーザ視線方向の誤差）の向上施策を継続的に行う。衛星間、

衛星－地上間測距装置の後続衛星への搭載を着実に進めるとともに、主管制局への処理機能の取り込みも順次行う。また、搭載時刻基準の安定度改善、衛星に働く外乱量の正確な把握やモデル改良、精密軌道・クロック推定技術、アベイラビリティをより一層向上させる ΔV 高精度化技術の向上にも継続して取り組む。

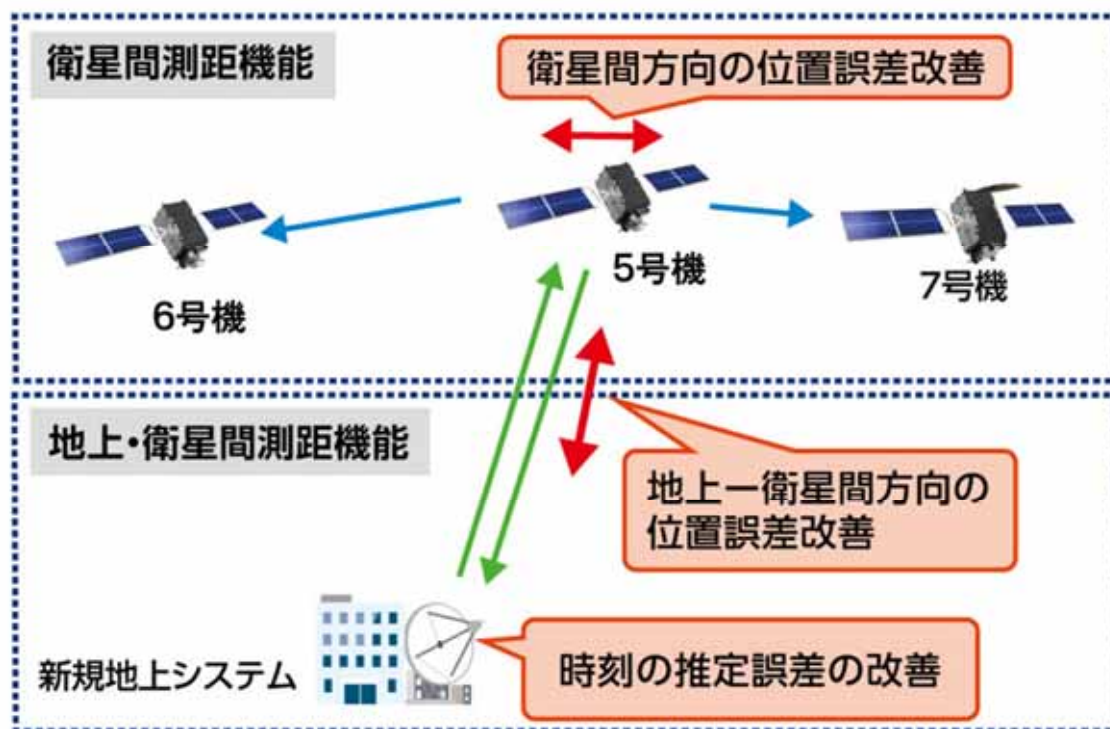


図 測位精度向上のための取組

これらの新しい技術の開発や取り込んだサービスの実現を容易にするため、衛星測位サービスの源泉を生成するサブシステムについては、現行では PFI 方式の元で運用しているが、将来は、国直轄として、柔軟さをもった運用・整備を行えるようにすべきである。

なお、今後の衛星測位サービスの送信信号としては、以下のとおり（現状の送信信号の一覧を次表に示す図）

<今後の送信信号の見直しの方向性>

- ・ 全 GNSS の共通信号である L1C 及び L5 信号を全衛星から送信する。
- ・ L1C/A 信号、L1C/B 信号については、GPS や Galileo との周波数調整の観点からは数を大幅に増やすことは困難である状況であり、後方互換性の観点も踏まえ、中央の準天頂軌道衛星からは L1C/A 信号を、それ以外の衛星からは L1C/B 信号を送信する。

- ・ L2 信号は、QZS5～7 においては搭載していない（将来的には全ての GNSS から L1C/L5 が送信される流れの中で、L1C ないし L5 対応受信機が主流になっていくことや衛星のスリム化を考慮したため）。2020 年のユーザミーティングにおいて、ユーザには将来的には L2C は廃止していく方向であることを伝えている。他方、L6 信号のパイロット信号として L2C が使用されている受信機が自動車搭載受信機に存在する（それ以外の受信機も L1C/A をパイロット信号として使用している(L1C/B は使用できない)）。また、自動車等に搭載する受信機は長期間（10～20 年程度）に渡り利用されることを前提としており、後方互換性を考慮して欲しいとの強い要望があることから、周知期間も踏まえて、2040 年頃までは後方互換性を維持することが必要であり、Q2R、Q3R、Q4R、Q8、Q1RR、Q9 からは L2C 信号を送信する。

信号名称	初号機 後継機	2号機	4号機	5号機	3号機	6号機	7号機	配信サービス	中心周波数
	準天頂軌道				静止軌道		準静止 軌道		
L1C/A	(1)			--		--	--	衛星測位サービス	1575.42MHz
								信号認証サービス	
L1C/B	(1)	-	-		--			衛星測位サービス	
								信号認証サービス	
L1C								衛星測位サービス	
								信号認証サービス	
L1S				-		-	-	サブメータ級 測位補強サービス	
								災害・危機管理通報 サービス	
L1Sb	--	--	--	--				SBAS 配信サービス	
L2C				--		--	--	衛星測位サービス	1227.60MHz
L5								衛星測位サービス	1176.45MHz
								信号認証サービス	
L5S				--				測位技術実証サービス	
L6D						--	--	センチメータ級 測位補強サービス	1278.75MHz
								高精度 測位補強サービス	
L6E								高精度 測位補強サービス	
								信号認証サービス (2)	
Sバンド	--	--	--	--		--	--	衛星安否確認サービス	2GHz 帯

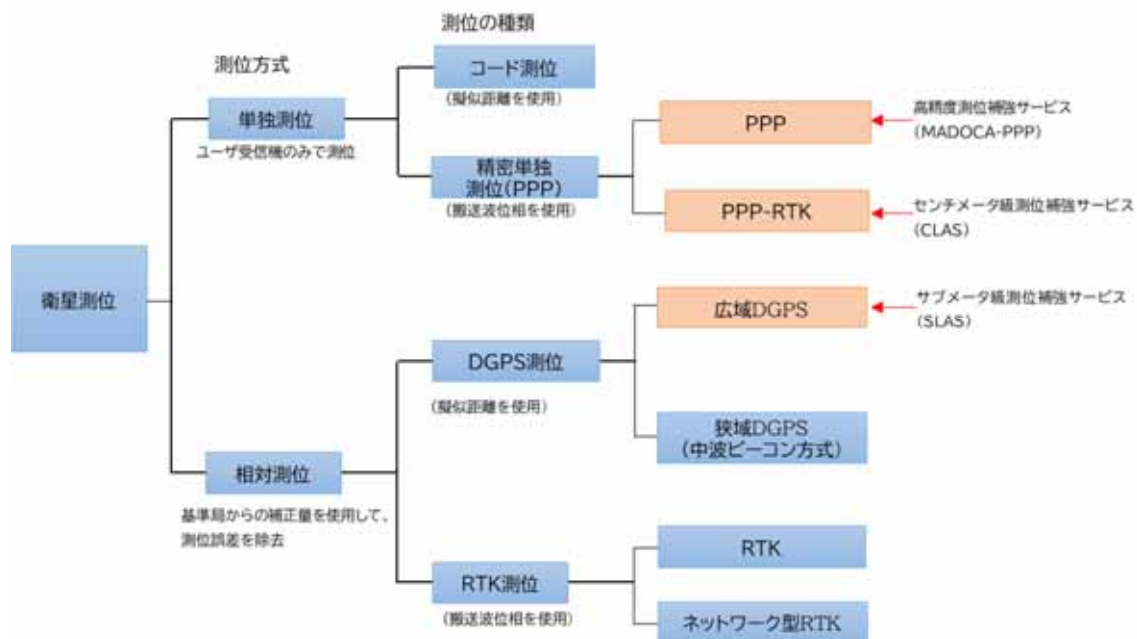
※黄色網掛け：5～7号機の運用開始に合わせて、順次配信を開始する予定です。

※1：5号機の運用開始と合わせて、L1C/B信号の配信を開始し、L1C/A信号の配信は停止する予定です。

※2：GPSのL1C/A, L1C, L5及びGalileoのE5a, E1bの認証データを配信しています。

② 高精度測位サービス（GPS 補強：CLAS、SLAS、MADOCA-PPP）

「みちびき」は、上記 GPS 補完としてのサービスの他、衛星測位における様々な誤差要因を推定した補強信号を同時配信することによって、高精度な測位精度をもつサービス（補強サービス）を提供している（SLAS、CLAS 及び MADOCA-PPP、並びに SBAS）。これは、GPS にはない強みである²¹。



GNSS測位誤差の種類

	SLAS	CLAS	MADOCA-PPP
衛星軌道誤差	疑似距離補正値として提供	✓	✓
衛星時計誤差		✓	✓
信号バイアス		✓	✓
電離圏遅延		✓	(✓) ^{*1}
対流圏遅延		✓	-
受信機誤差	-	-	-
サービスエリア	日本	日本	アジア太平洋
配信信号	L1S	L6D	L6E
配信レート	250bps	2000bps	2000bps
専用受信機の有無	既存の受信機の増設で対応可能	有	有
補強対象GNSS	QZSS, GPS	QZSS, GPS, Galileo	QZSS, GPS, Galileo, GLONASS (BeiDou)
補強対象衛星数	~14	~22	~25 (目安)
典型的な測位精度	~1 m	~6 cm	10cm~ (収束後)
初期収束時間	≤ 30s	≤ 60s	≤ 30 min. ^{*2} (≤ 10 min.) ^{*1,2}
利便性における課題	電離圏擾乱による精度逸脱	電離圏擾乱による精度逸脱/Fix率低下	長収束時間

*1: 広域電離圏情報適用時
*2: 水平30cm, 垂直50cmの精度 (95%) に到達するまでの時間

図 高精度測位サービスの違い（SLAS、CLAS、MADOCA-PPP）

²¹ SBAS のみ、GPS 等各国の GNSS にも搭載され提供されている

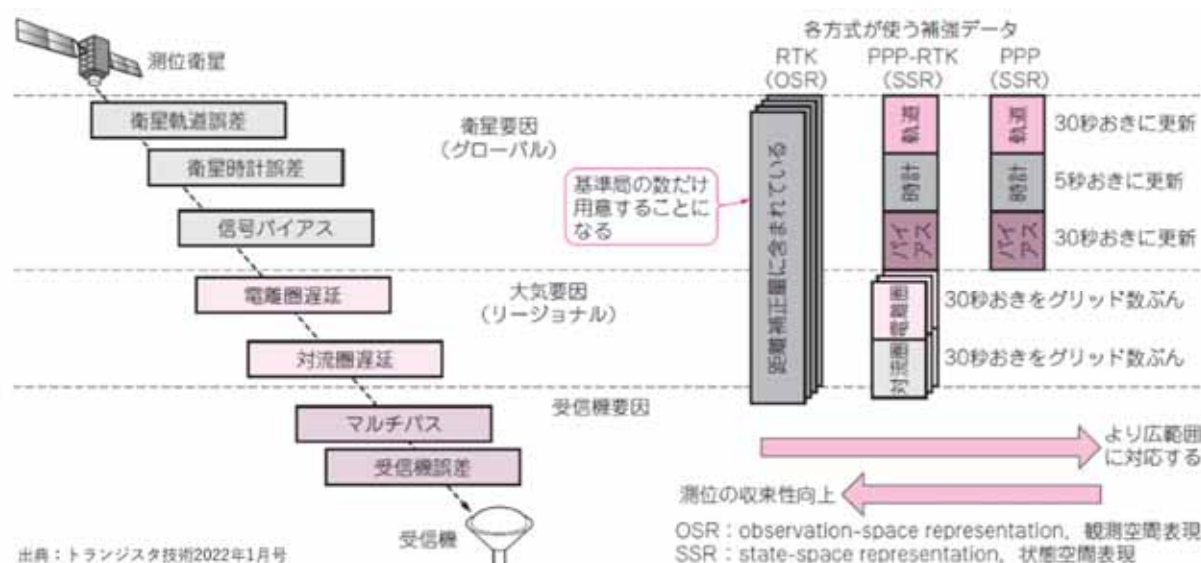


図 高精度測位サービスの違い (SLAS、CLAS、MADOCA-PPP)

これら衛星測位の補強信号による高精度測位サービスに対して、地上においては、別の高精度測位サービス (RTK)²²もビジネス化されており、既に、測量・土木等の分野での利用を中心に普及している。他方、「みちびき」の補強サービスは、RTK が行き届かないエリア²³での利用を可能とし、かつ、低コストな測位手段を実現するものであり、潜在的なニーズは高いといえる。今後、「みちびき」の補強信号を受信できる受信機の普及によって、サービスの利用・ユーザは拡大していくことが期待されている。

以下、各サービスの状況・今後の方針について詳細する。

<センチメートル級測位補強サービス (CLAS)>

(ア) システム概要

CLAS においては、国土地理院が国内に設置している電子基準点 (全国に 1300 点以上) の情報を用いて、衛星起因の誤差、電離圏や対流圏による誤差に関する補正情報を計算し、「みちびき」の L6D 信号として送信している。補強すべき情報が多いことからメッセージ容量が制約となり、現状は、国内向けサービスとしている。また、L6D

²² RTK とは、Real Time Kinematic の略。地上に設置した「基準局」からの位置情報データによって、高い精度の測位を実現する技術。衛星測位システムも活用することから、一般的に「RTK-GNSS」とも表記される。誤差は数 cm 以内。

²³ RTK では補強信号のような情報を基準局や LTE など地上通信から得るところ、そうした通信環境からが整っていないエリアでは利用できない。またそうした地上通信環境を維持するコストも必要。

信号は GPS から配信している信号ではないため、CLAS 専用の受信機が必要となる。CLAS を使った高精度測位においては、いくつかの GNSS を補強できるか（補強対象衛星数）が精度に大きく影響する。現在、メッセージ容量の制約から最大 17 機となっているが、今後、号機別に配信するなど工夫することで最大 22 機まで増やすよう改修を進めている。

今後、ロジスティクスや自動運転に CLAS を適用するにあたっては、その抗たん性も重要になってくることから、L6E 信号を活用した CLAS メッセージの信号認証の機能整備も進めている。

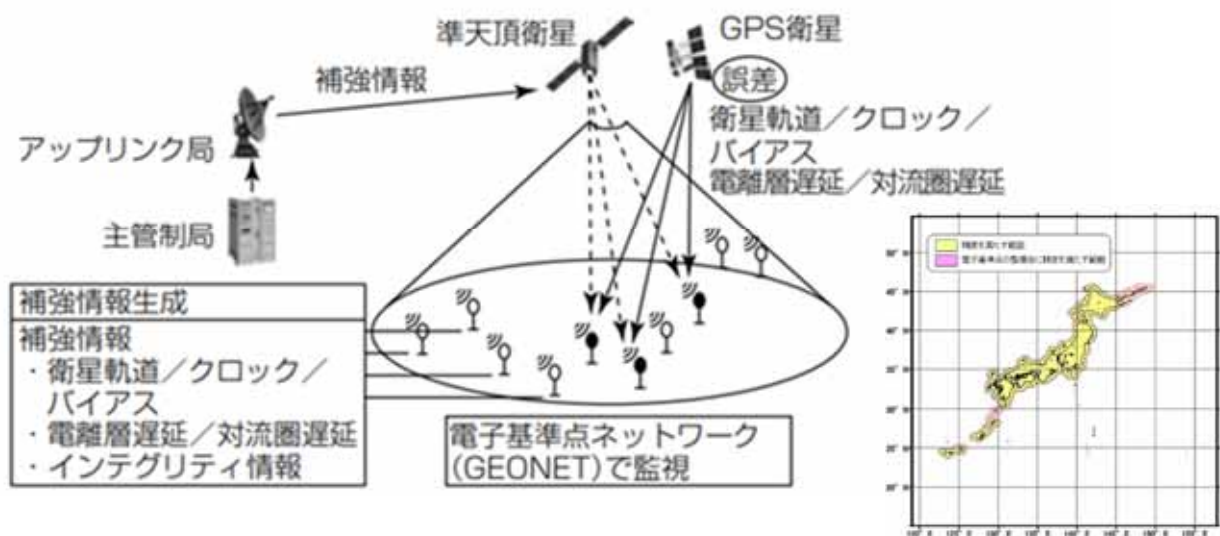


図 CLAS の仕組み

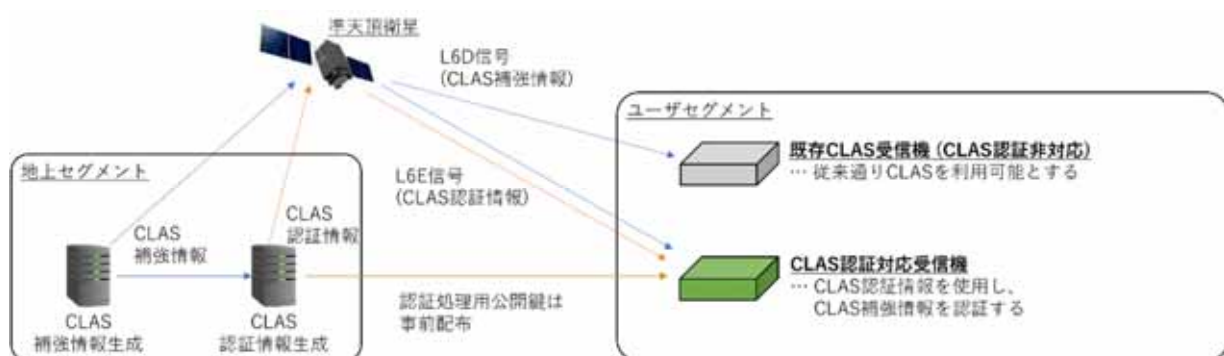
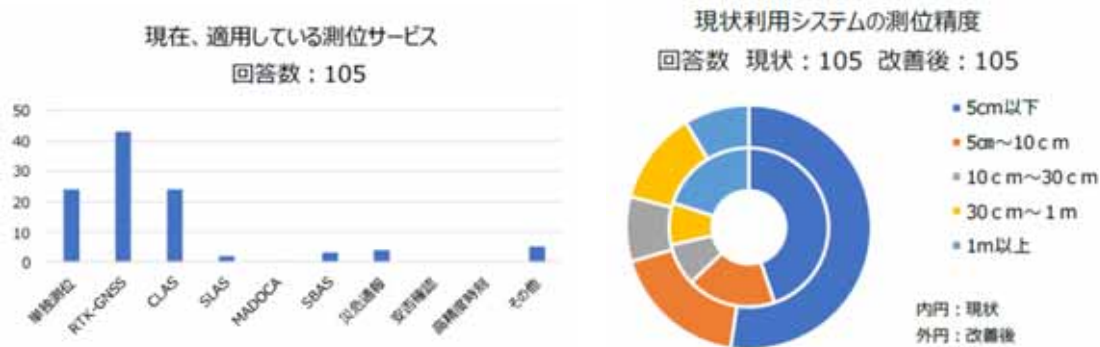


図 CLAS への信号認証の機能整備（将来）

（イ）利活用の現状

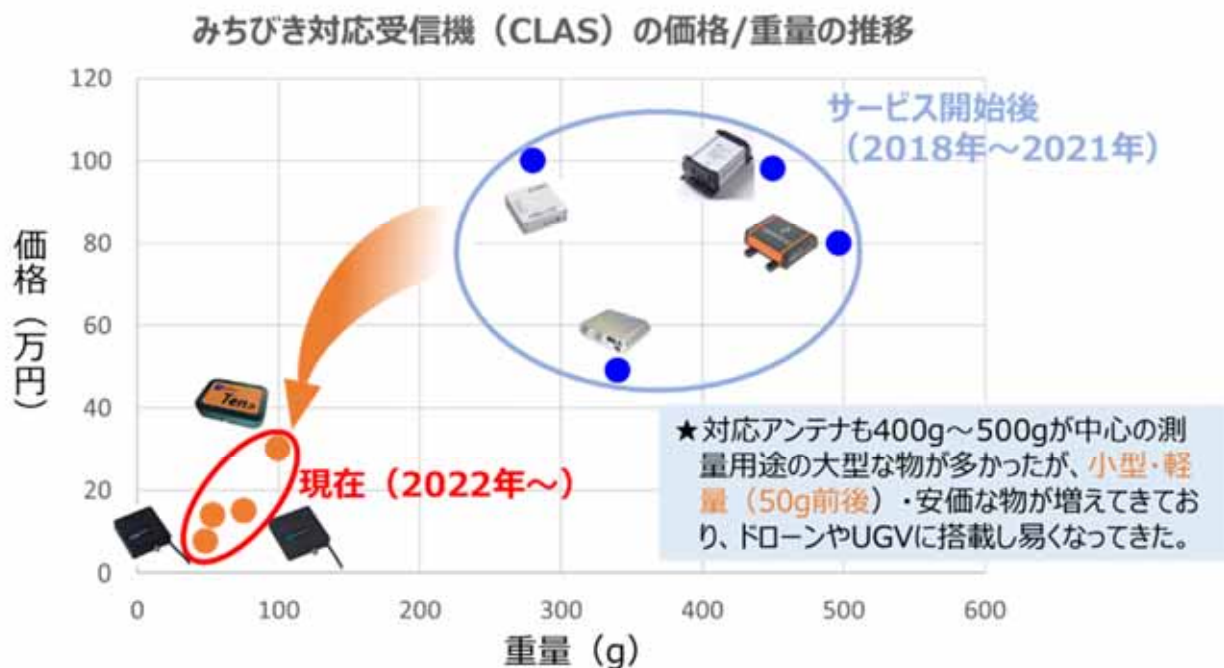
2023 年 3 月に高精度衛星測位サービス利用促進協議会（QBIC）がとりまとめた「みちびき」利活用に係るアンケートでは、「現在利用されているサービス」として単独測位及び相対測位に続いて、CLAS が挙げられている。



CLAS の精度（仕様値）は静止体で水平 6cm（95%）以下となっており、上図右に示す現状の GNSS 利用ユーザが期待する測位精度 5cm 以下が半数を占める状況に対して、性能面で必ずしもユーザ要求を満たしていないことがうかがえる。

他方、71%のユーザが CLAS に対する改善要望はないとも回答しており、かつ CLAS は無償で提供されていること及び RTK のように測位時に基準局を必要としないことが強みである。

しかしながら、現状の RTK が有する長年の実績と信頼度も含めて考えた場合、その代替手段としての地位は未だ確立できていない状況であり、その背景として CLAS 対応受信機が GNSS 受信機と比べて大きく高価だったことも要因であると考えられるが、2022 年度以降、下図のように状況は変化してきている。また、2020 年に補強対象衛星数を 11 機から 17 機へと増加させたことにより、CLAS の Fix の安定性が向上している。



こうした受信機価格の低下・小型化やサービス性能の向上に伴い、CLAS アプリケーションの実証数は増加しており、CLAS を利用した製品も実現してきており現在は、価格低下による普及拡大、それがさらに価格低下を促すという好循環の入口にいとと考えられる（GPS の利活用をみても普及までに一定の時間を要した）。

また他国をみれば、韓国でも類似の方式と思われる PPP-RTK サービスの展開を検討している。高精度測位補強サービスのメッセージ認証という観点では、欧州 Galileo の HAS（PPP サービス）も開発を進めている状況であり、将来の標準的な機能・サービスに至ることも含めて、関係者の動向も追いつけていく。

（ウ）今後の方向性

先述のとおり、国内に cm 級の高精度な測位を提供する CLAS は、GPS にはない「みちびき」の強みであり、RTK が行き届かないエリア（基準局や通信環境が整っていないエリア）等での高精度測位手段としてニーズがあることから、引き続きサービスの提供に取り組んでいく。

しかしながら、さらなる実用化の促進のためには、サービスの改善の必要があり、以下の対応に取り組んでいく必要があると考える。

まず、いくつかの実証において、オープンスカイ（高い物体で遮られることなく空をオープンに見える状況）の環境であっても CLAS での測位精度が Fix しない（収束

しない、落ち着かない) ケースがまだ見受けられる、とのフィードバックを複数得ている。製品における安定的な性能発揮は拡大に向けた前提であり、速やかに解決されるべき重要な技術課題である。

この原因は分析中であるが、一つに近年の太陽活動活性化も含めた電離層擾乱による影響が推察されている。太陽活動は 2024~2025 年にかけてさらに活発化することからも、電離層擾乱に対するロバスト性の向上が望まれる。その有効な対策として、源泉生成手法の見直し、および、補強対象衛星数の増加が挙げられる。まず、源泉生成手法の見直しについては、現状、各測位誤差要因の推定方式の制約のため、電離層擾乱による誤差推定の精度に限界があるが、各誤差要因の推定値が物理量に近くなるように源泉生成手法を見直すことで、電離層擾乱に対してロバスト性が向上する。さらに本手法の見直しは、補強対象衛星数の増加にもつながる。現状の手法では、先述のとおり個々の誤差要因の推定精度が高くないため難しいが、手法の見直しにより究極的には MADOCA-PPP と補正情報を共有することも可能となる。

CLAS と MADOCA-PPP は同じ L6 信号を時分割して使い分けている上に、同じ誤差要因を補正しており、そのメッセージフォーマットはおおむね共通化していることから、MADOCA-PPP と融合することで、メッセージ容量を追加で確保し、補強対象衛星数や配信エリアの最適化を行っていくことが可能となる（ただし後方互換性の担保は検討が必要である）。これにより、ユーザ側で測位手法（PPP、PPP-RTK 等）を自由に選択できるようになり、ユーザ利便性も大きく向上すると考える。

CLAS としては、これにより、電離層擾乱へのロバスト性が向上するのみならず、補強対象衛星群、補強対象衛星数の増加が可能となり、ユーザ利便性が向上する。

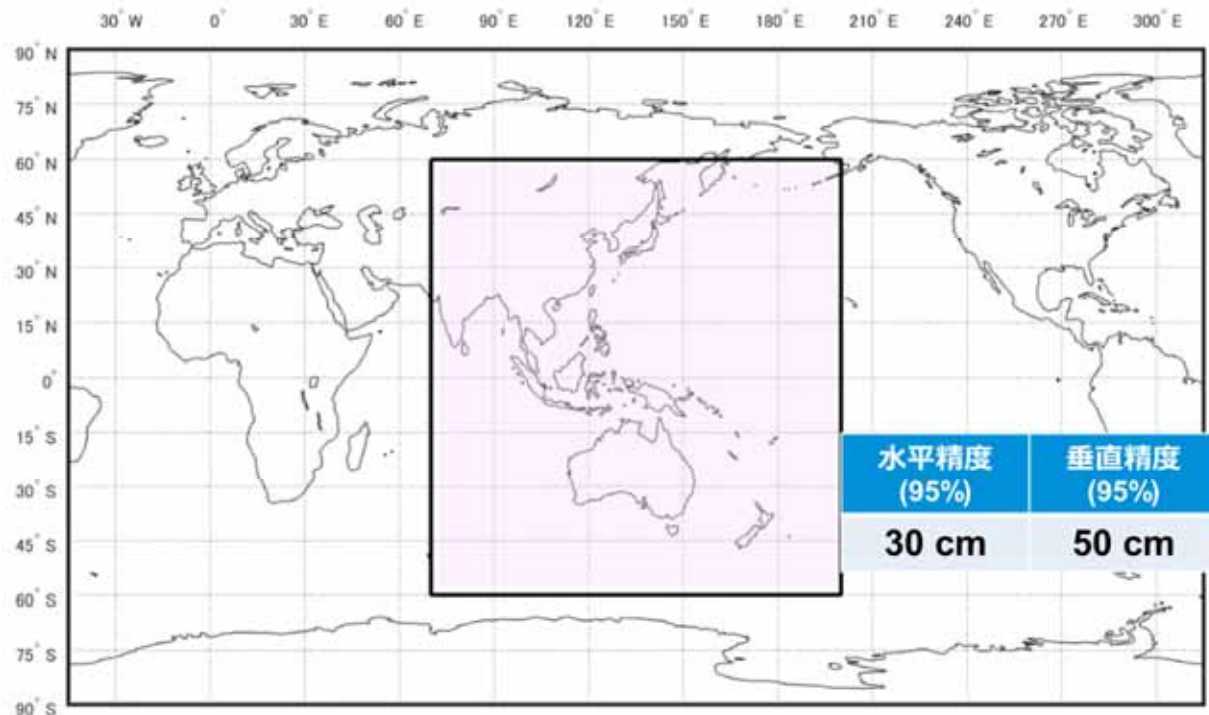
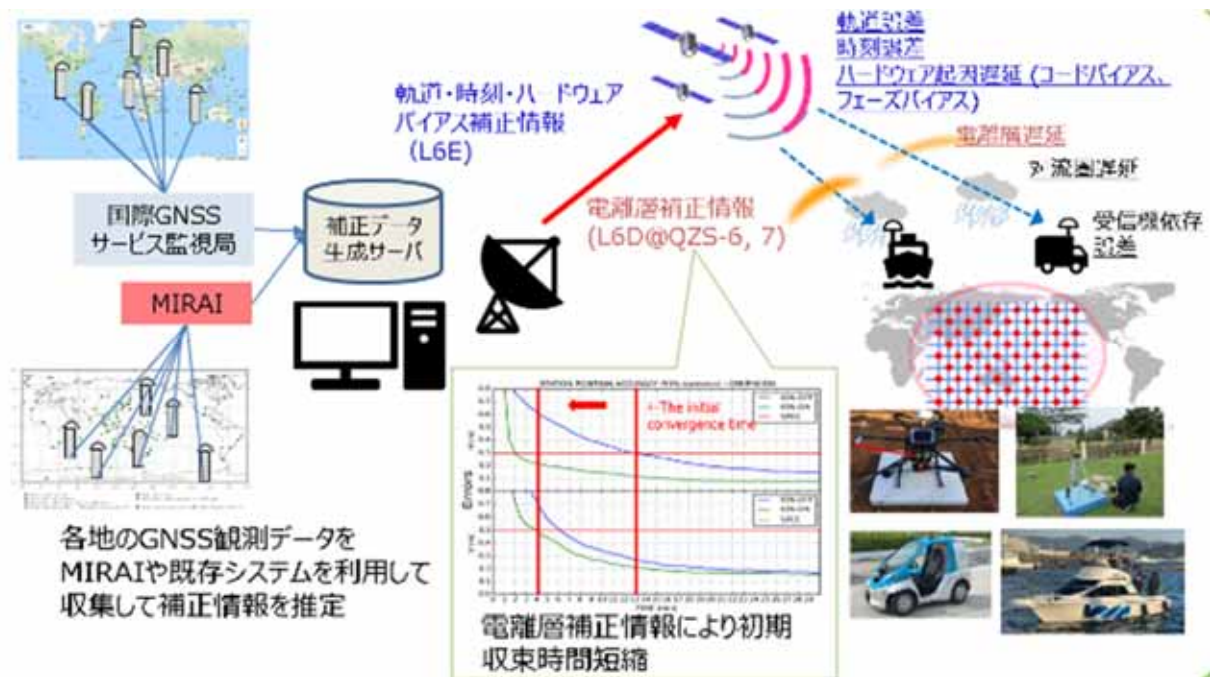
<MADOCA-PPP サービス（デシメータ級）>

（ア）システム概要、利活用の状況

MADOCA-PPP では、各国/研究機関/大学が運用する電子基準点等の観測局のデータをもとに、衛星起因の誤差に関する補正情報を計算し、「みちびき」の L6E 信号として送信している。MADOCA-PPP は、CLAS が国内向けであるのに対して、性能は少し劣るものの、「みちびき」の信号を捉えることができる幅広いエリアをカバーすることから、海外向けサービスとして整備を進めてきた。

「みちびき」4 機体制の下、2018 年より実証信号を配信していたところ、2022 年 9 月末に正式サービスに向けて設備を切替え、試行運用を開始、安定した運用を継続していることから、2024 年 4 月 1 日に本運用に移行した。

現在、衛星起因の誤差の補正だけでは収束時間が長く（仕様値 1800 秒（30 分））、適用できる実現場・アプリケーションに制約を与えてしまうため、広域に適用できる電離層補正情報を配信することで収束時間を 10 分以下に短縮する機能の整備を行い、補正情報生成の源泉となる現地観測局データが得られている地域に関して性能評価を進めている。また、補強対象衛星数が多いほど精度や収束時間が良くなる。



MADOCA-PPP も CLAS 同様に、RTK のように測位時に基準局を必要としないことが強みではあるが、GPS の測位信号とは別の L6 信号を受信できる専用の受信機が必要となる。現在、MADOCA-PPP に対応した市販受信機も増えてきてはいるが、ユーザがまだ少ない状況にある²⁴。

実証ユーザからは、収束時間が長い点についてローカル補正による収束時間短縮がないと利用しにくいという意見があるものの、日本近海の海洋上では CLAS ではカバーできないエリアもあるため、国内においても MADOCA-PPP をローカル補正ありの状態で利用できることに期待する意見もあがっている。

世界をみれば、各国が準天頂衛星に倣って PPP サービスを提供し始めている状況となっている。欧州 Galileo の PPP サービス (HAS) はアジア・オセアニア以外のエリアについては十分な性能が出ていることが確認できたとして既に正式サービスを開始している。Galileo HAS は L6 信号と同じ周波数帯の信号を利用しており、メッセージフォーマットも CLAS や MADOCA-PPP と同じ CSSR 形式をベースにしていることから一定の相互運用性も確保されている。

また、従来、海外事業者による PPP サービスが有償サービスとして行われており、他に先がけて 3 周波を利用した PPP-AR を採用する等し、MADOCA-PPP 以上の高精度・短収束時間を達成している。

(イ) 今後の方向性

CLAS と同様に、主に海外に向けて高精度な測位を提供する MADOCA-PPP は、GPS にはない「みちびき」の強みであり、RTK が行き届かないエリアでの高精度測位手段としてニーズがあることから、引き続き、サービスの提供に取り組んでいく。

しかしながら、実用化に向けては性能と運用性の向上が必須である。まずは、今後 2024 年度、2025 年度に打ち上げられる準天頂衛星 6, 7 号機からの広域電離層情報の配信を着実に進めていくとともに、日本国内も含めたエリアの拡張に向けて、源泉データの入手調整と性能評価を進めていく。

なお、電離層以外の補正情報の生成においても利用している各国/研究機関/大学が運用する電子基準点等の観測局は、ボランティアなネットワーク下で運用されているものも多く、より安定した運用のために、より国家的・組織的に、MIRAI にデータを

²⁴ 2022 年の設備の切替えに伴い、補強対象衛星群を増やす等の工夫を行った一方で、メッセージフォーマットを変更したために受信機のファームウェアアップデート等が必要となったことを踏まえて 2022 年度は公募実証を行わなかったこともあり、現行サービスとしての実証数は、まだ数例にとどまる。

提供してもらうことで冗長を確保していく活動を継続して行う必要があり、関係政府機関の協力を得て進めていく。

また、広域電離層情報提供が無い／得られないエリアでの性能向上に向けて、3、4周波 PPP や PPP-AR といった新しい技術の開拓およびその仕様化、インターネットによる補正情報配信を進めていくことで、更なる収束時間の短縮や精度向上を進めていくことも必要であり、周辺の技術サービス情報の収集に努めていく。

さらに将来的には、CLAS の章で述べた通り、CLAS の源泉生成系の見直しに伴って MADOCA と融合して補強対象衛星数や配信エリアを最適化し、ユーザ側で PPP (MADOCA-PPP)、PPP-RTK (CLAS) を使い分けられるようにすることも検討していく。

<サブメータ級測位補強サービス (SLAS) >

(ア) システムの概要、利活用の状況

一般に、GPS 等 GNSS からの衛星測位 (1 周波) では、その誤差は 5~10m 程度とされるが、SLAS によれば、1m 程度に抑えることが可能となる。また、SLAS は CLAS とは異なり、用いる L1S 信号が L1C/A 信号と同じ形式及び周波数であるため、既存の GNSS 受信機を改良することで受信することが可能となる (CLAS、MADOCA-PPP のように別受信機を用意することはない)。また、L1S 信号には、EWSS を、測位補強信号の隙間にて載せている。

なお、上述のアンケートにおいては、88%のユーザが SLAS に対する改善要望はないと回答している。

(イ) 今後の方向性

これらの状況を踏まえ、2033 年以降の SLAS の補強対象信号としては、3 号機の代替として L1C/B 信号を含めることをベースとしつつ、さらに受信機の対応状況等によりリーズナブルに Galileo 衛星の信号が対応出来ないかの検討を引き続き進めるものとする。

また、SLAS の補強信号の配信を行う衛星については、米 GPS との周波数の調整上、L1S の数を大幅に増やせないこと、補強・防災情報の配信衛星は高仰角に存在すること、の観点から、中央の (日本上空で 8 の字を描く軌道の) 準天頂軌道衛星から配信する。

また、海外への災害危機通報メッセージ EWSS の信号配信については、アジア・オセアニア地域での利用を主としていることから、中央の静止軌道（GEO）の衛星から配信することを検討する²⁵。

<SBAS>

（ア）システム概要

SBAS は、国際民間航空機関（ICAO）の国際標準に定められた衛星航法補強システムであり、補強対象衛星の軌道誤差、クロック誤差、電離圏遅延量を個別に提供することで広域に測位補正を行い、その測位結果に対して 99.99999% のインテグリティ²⁶ 保証を与えるシステムである。SBAS は、何時いかなる時もインテグリティ保証された測位結果が必要とされる移動体において有益であり、航空機においては、航法、周辺航空機の状況認識向上、障害物・対地接近警報装置等に利用されている。SBAS 受信機が標準搭載された航空機の増加、全飛行フェーズでの利用に加え、北米、欧州、日本の空港における着陸での利用が進展しており、更なる利用が進むことが見込まれている。我が国では 2007 年度から導入されており、2020 年度からは準天頂衛星 3 号機より配信をおこなっている。7 機体制では準天頂衛星 6、7 号機からの配信を予定しており、更なる安定したサービスの提供を予定している。

（なお、各国・地域において航空管制用途として整備・運用が進められているが、国際標準として規定されたサービスであり、SBAS 信号が提供されている地域において利用可能であるグローバルなサービスであるため、航空以外にもカーナビゲーションや測量用受信機、農業機器・船舶等の自動運転においても広く使われている。特に欧州（EGNOS）、豪州・ニュージーランド地域（SouthPAN）、アフリカ地域（ANGA）では、サービスとして航空用サービス（SoL: Safety of Life）以外に OS（Open Service）が定義されており、航空以外の利用が進められている。

²⁵ なお、L1 帯は測位信号として認められている周波数帯であるため、L1S を EWSS 単体での使用はできない。

²⁶ インテグリティとは、測位衛星の不具合情報（使用不可又は不具合の程度）等の提供により、測位結果の「正しさ」を航空機に提供する仕組みで、間違った測位結果となる場合はタイムリーな警報にて、測位結果の使用を停止させる能力が含まれる。数字は、間違った測位結果を使用させない確率として要件定義される。



図 MSAS システム (概要)

現行の L1 による SBAS (L1SBAS) は、インテグリティ機能に加え、補強対象とする衛星 (GPS 及び GLONASS) の軌道情報や時刻の補正情報、補強対象エリアの電離層補正情報及び GPS L1C/A 信号と互換性のある測位信号 (SBAS レンジン機能) を提供することが可能である。

また、ICAO では、電離層伝搬遅延による影響軽減やアベイラビリティの向上を目的とし 2 周波マルチコア (GPS, GLONASS, Galileo, BDS) に対応した L5 による次世代 SBAS (DFMC-SBAS) も 2023 年度に国際標準に定められた。DFMC-SBAS では、準天頂衛星を含む非静止衛星からの SBAS 信号の提供及び 2 周波レンジング機能の提供及び認証信号によるなりすまし防止機能の追加が今後行われる計画である。加えて SBAS 機能標準化に係る技術検討を担う SBAS-IWG (Interoperability Working Group) では、SBAS による PPP 及びそのインテグリティ機能についても議論が始まったところである。

日本以外の SBAS は地上で信号生成を行い、衛星で周波数変換を行うベンドパイプ方式を採用している。一方で、日本の SBAS は準天頂衛星の特徴であるオンボードコンピュータによるメッセージ再生方式を採用しているため、帯域が広くレンジングに適した信号波形の提供が可能である。準天頂衛星システムでは、日本における DFMC-SBAS の実用化に向け国際標準に適合した信号を配信可能な初号機後継機のサービスを 2022 年 3 月 14 日に開始するとともに、6, 7 号機からも放送可能となるよう衛星開発が進められている。

運用中の各 SBAS のサービス性能を以下の表に示す。なお、各表に示すサービス性能は航空機の大きさや各飛行フェーズにおける移動速度、目標安全率等から導かれた値であり、規定された測位精度やインテグリティ（警報限界）の値は大きいですが、実際にはサブメータレベルでの測位が可能となっている。

サービス性能 各 SBAS	航空路	ターミナル	非精密進入	LPV 進入	LPV200 進入
WAAS					
EGNOS					
GAGAN					
MSAS					

：宇宙基本計画に基づく測位補強サービスの性能向上後

表 各 SBAS（運用中）のサービス性能

飛 行 フ ェーズ	水平測 位精度	垂直測 位精度	TTA	インテグリティ（※）			コ ン テ イ ニ ュ イ ティ	リ ティ ア ベ イ ラ ビ
				水平警 報限界	垂直警 報限界	確率		
航空路	3.7km	－	5min	7.4km	－	1-10 ⁻⁷ /h	1-10 ⁻⁴ /h ~1-10 ⁻⁸ /h	0.99~0.99999
	740m	－	15s	1.85km	－			
ターミ ナル	740m	－	15s	1.85km	－			
非精密 進入	220m	－	10s	556m	－			
LPV 進入	16m	20m	10s	40m	50m	1-2×10 ⁻⁷ / in any approach	1-8×10 ⁻⁶ / 15s	
LPV200 進入	16m	6~4m	6s	40m	35~ 10m			

：適時な警報を伴わずに測位誤差が警報限界を超えない確率

表 各飛行フェーズにおけるサービス性能要求

近年の環境の変化として、2023 年度に DFMC-SBAS が ICAO の国際標準に定められたことから、各国・地域において対応を計画している。また、航空機搭載受信機規格の国際標準団体である RTCA/EUROCAE による規格化作業が行われていることから、航空以外を含めた DFMC-SBAS 対応受信機が増えていくことが予想される。また、北極の航空・海洋活動が今後も活発化し続けると考えられており、準天頂衛星を含む非静止衛星からの SBAS 信号の提供が行える DFMC-SBAS では、新航路の開拓、地下資源調査やインフラの乏しい北極域に位置する空港への安全な離着陸が実現可能であるため、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所による受信実験が進められている。

SBAS について、国土交通省では SBAS の利活用を複数の交通モードの分野へ拡張することを目的に技術開発も進められていると共に、欧州（EGNOS）では海事利用として ESMAS（EGNOS Safety of Life assisted service for Maritime users）が開始した。

（イ）今後の方向性

SBAS 配信サービスについては、国際民間航空機関（ICAO）の国際標準に定められている必要不可欠な衛星航法補強システムであることから、宇宙基本計画に基づき測位補強サービスの性能向上を、内閣府と国土交通省が連携して着実に進めるとともに、今後の DFMC-SBAS の実用化の検討及び複数の交通モードへの SBAS の利活用の拡張についても、内閣府と国土交通省が密に連携して行う。

また、SBAS レンジン機能による後方互換性の確保についても、オペレータである国土交通省及び利用ユーザを含めて検討を行う。

③ セキュリティ機能付き測位サービス（公共専用信号、信号認証）

コンピュータやスマートフォン、ワイヤレス通信・衛星通信といった ICT・ネットワークの進展で、世界のあらゆるモノ（人、製品、サービス、機関等）が常時接続されて、相互に作用するデジタルでコネクティッドな社会が到来している。その中で、位置・航法・時刻（Positioning, Navigation and Timing）といった PNT サービスは、各客体の活動を支える不可欠な基礎情報・電子インフラとなっている。これまで電子的な攻撃・サイバー攻撃といえ、戦争や紛争が行われている国・地域のことを思い起こされるものであったが、近年は、一般的な経済社会（組織・個人、インフラ）への攻撃も表面化してきており、PNT サービス提供について責任持つ内閣府としても、こうした悪意ある攻撃や GNSS の不測の事態²⁷に備えてセキュリティ（抗たん性）を持ったサービスを提供していく。

現在、準天頂衛星システムにおいては、公共分野、民生分野にそれぞれセキュリティ機能を付与したサービスを展開している。それぞれ以下のとおりである。

【公共分野】 公共専用信号（サービス）

【民生分野】 信号認証サービス

<公共専用信号サービス（公共分野）>

（ア）システムの概要、利活用の状況

近年、安全保障分野において GPS を始めとした PNT サービス（測位、航法、及び時刻サービス）に依存した場面が増加する一方、PNT サービスに対する妨害は近年顕在化しており、スプーフィングやジャミングの事例が増加している状況である²⁸。

準天頂衛星システム「みちびき」が提供している公共専用測位サービスは、政府が認めた高度な安全保障を担う公的機関（防衛省、海上保安庁）だけが利用できる秘匿・暗号化された信号（公共専用信号）である。今後、GPS システムに障害が発生した場合でも、準天頂衛星システムだけで、PNT サービスの提供を継続することができる。

公共専用信号は、今後 2025 年度にかけて打ち上げられる 3 機の「みちびき」（準天頂衛星 5 号機、6 号機、及び 7 号機）から、2 周波で配信が行われる予定である。

²⁷ 太陽活動の急な活性化や深宇宙から強い宇宙放射線の到来など、「宇宙天気」の影響が懸念されている

²⁸ ロシアのウクライナ侵略後、カリーニングラードや黒海、東地中海、フィンランド東部においても、スプーフィングやジャミングが平素から行われている状況が確認されている

（イ）今後の方向性

現在、公共専用信号のユーザとなる防衛省及び海上保安庁において、測位サービスについては主に GPS システムを利用している状況であるが、将来、「みちびき」の公共専用測位サービスを利活用に向けた試作品（受信機等）の開発及び調査研究が実施されている。今後、それらの結果を踏まえて、各現場への装備品への利活用・展開が進められていく予定である。

<信号認証サービス（民生分野）>

（ア）システム概要

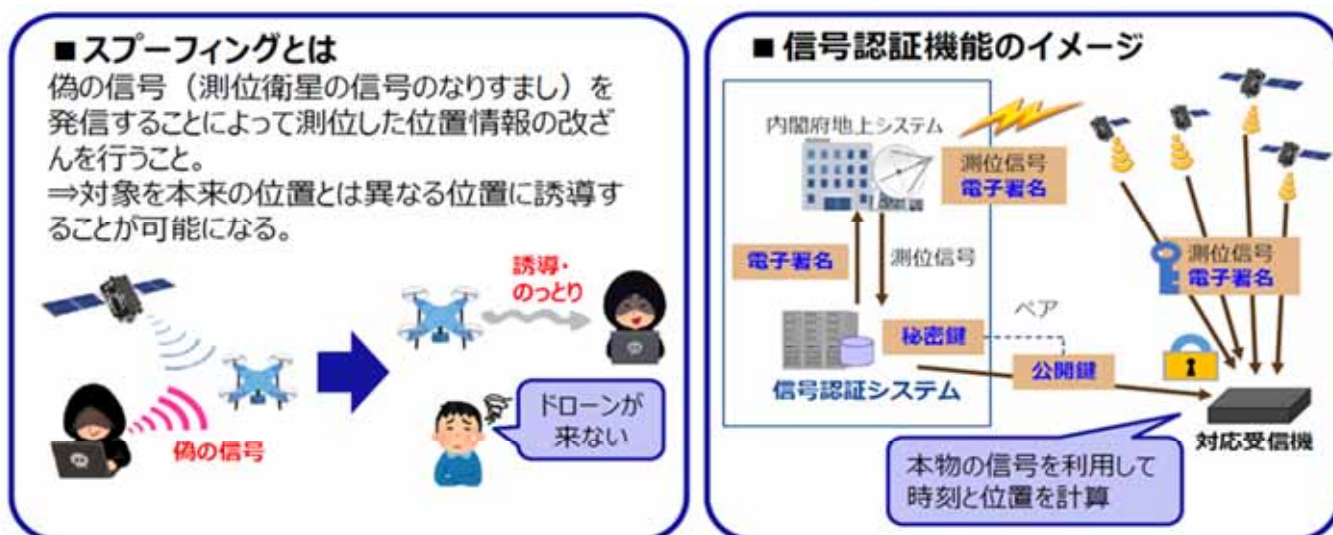
安全保障分野と同様に、民生分野においても、測位信号への妨害・欺瞞としては、「スプーフィング（なりすまし）」、「ミーコニング（再送攻撃）」および「ジャミング（電波妨害）」がありうるが、特に①スプーフィング（なりすまし）については、測位信号の仕様が一般に公開されているため、第三者が容易に偽の信号を生み出すことができ、認証機能のない受信機には測位衛星の正しい信号と第三者による偽の信号を区別する仕組みがない。以下、スプーフィング及びミーコニングへの対策について記載する

スプーフィングへの対策

「スプーフィング」については、専門機関に依らず安価な市販の装置でも可能であることが分かっており、社会・経済への懸念はより高まってきている（特に物流ドローンや自動運転、空飛ぶクルマなど次世代モビリティ分野に加えて、携帯基地局や金融機関など精密な時刻同期を必要とするインフラなど）

準天頂衛星システムでは、暗号技術を活用して、測位信号の発信元を認証する「信号認証」機能を具備し、信号の信頼性を高める機能を具備している。

スプーフィングに対しては、「急激な位置情報のずれの検知」などのアルゴリズムによる欺瞞検知の対策もあるが、信号認証機能では、航法メッセージの内容を電子署名にして認証というプロトコルで欺瞞信号を判別するため、スプーフィングによる攻撃の有無を速やかに検知可能である。



<当初想定される製品>

制御・安全支援（自動運転、農機、建機、ドローン等）、移動記録（デジタルタコグラフ、カーナビ、航海情報記録装置 等）、タイムサーバ など

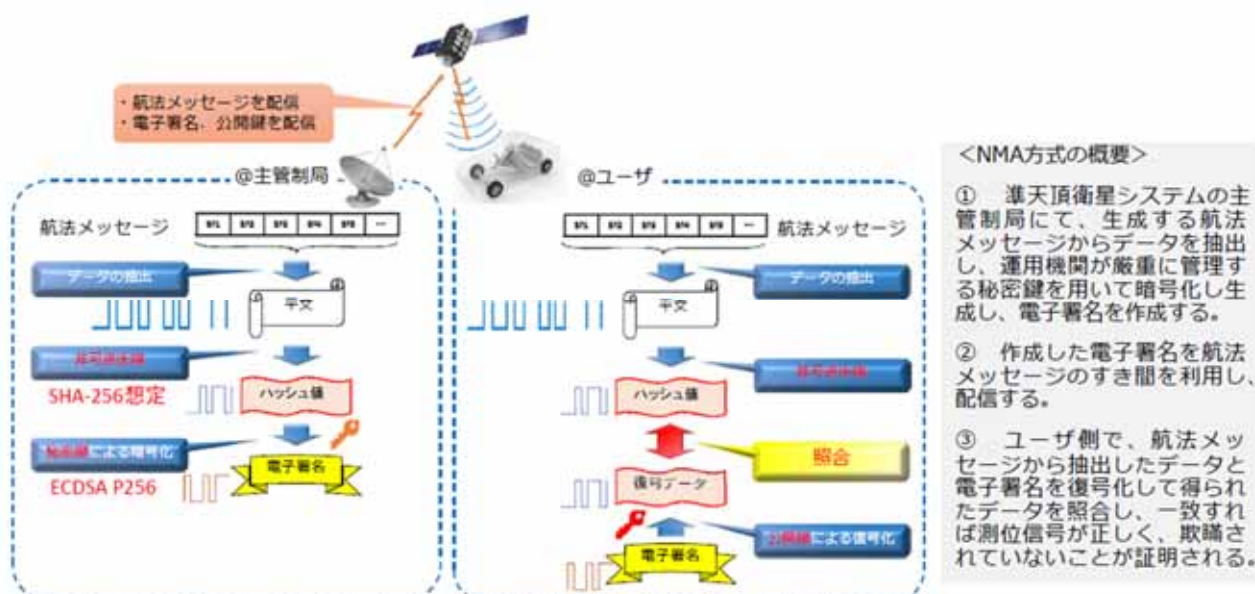


図 認証サービスの認証処理

また、信号認証の対象として、準天頂衛星自身の測位信号（L1C/A(C/B)、L1C、L5）に加えて、現時点、米国 GPS の測位信号（L1C/A、L1C、L5）および欧州 Galileo の測

位信号（E1b、E5a）といったマルチでカバーしていることについて、国内ユーザから評価を受けている。

ミーコニングへの対策

「ミーコニング」(本物の測位信号を記録して再放送する攻撃)は「スプーフィング」とは別の妨害であり、測位信号の擬似距離改ざんがなされるものであるが、「拡散コード認証」という別の認証方法で対処可能である。

拡散コード認証技術は、GPS や Galileo でも研究開発が行われているもので、航法メッセージ自体を保護するデジタル署名や測位信号の生成時間を使用して暗号化し、拡散符号に埋め込むことで再放送攻撃に対抗するものである。拡散コード認証では署名を軌道上計算機で実現するための、各種 LSI への必要演算性能や演算規模の把握と計算機構成の最適化が重要となり、その具備や実証に対して検討を行っている。現時点、GPS 側の信号仕様がいまだ開発中により明確でないため、ソフトウェア無線技術²⁹による軌道上書き換えも念頭に置く。

将来の測位ミッションペイロードでは、これまでハードウェアに依存していた細かな位相調整や帯域制限をデジタル化することで設計の自由度が上がりエンジニアリングコストの削減効果が期待される。加えて変調などの出力信号波形をソフトウェアベースで自由に変更することが可能となり、周波数利用が厳しい状況における電波干渉や周波数共用に柔軟に対応することができるため、この機能の実装のための検討を実施している。

以上のとおり、米 GPS 衛星それ自体にはまだ信号認証機能が具備されていないことから、GPS からの測位信号について、準天頂衛星からの信号認証によりスプーフィング耐性を高めることができ、また、ミーコニングに対する拡散コード認証技術については現在 GPS が実験用に公開している Chimera をベースとした信号仕様によって今後、実現性の軌道上確認が行われる予定であり、日本としても注視していく。

一方、欧州の Galileo では、2024 年より Galileo 衛星自身からの信号認証を配信が開始される。また、高精度測位補強情報（PPP）についても 2026 年度を目途に認証機能

²⁹ ソフトウェア無線（SDR: Software Defined Radio）は、従来の無線機がアナログ電子回路で実現していた信号生成の大半をデジタル処理し、下流のアナログ部を広帯域に対応させることで幅広い信号を同一端末で生成することが可能となる技術である。

の具備を想定している。今後、各国 GNSS を共有して使えるマルチ受信機の開発負担を低減させていくため、準天頂衛星の補強情報の信号認証と、欧州の Galileo とのそのフォーマットの互換性を持たせるための調整を国家間で行っていく。

（イ）今後の方向性

信号認証は、自動車の自動運転やドローン配送、ロードプライシングなどへの応用など将来のスマート社会での活用が期待されている。ユーザへの利活用促進のため、機器に実装するためのガイドラインなどを整備して、信号認証を製品やサービスで用いるメーカーが参入しやすい環境を整える。

そのため、まずは政府のデジタル利活用の体制・WG（デジタル田園都市国家構想、G 空間推進会議やデジタル全国総合整備計画）で進められる各実証や社会実装のプロジェクト・事業の実施環境として、信号認証利用の規定化を進めていく。

また、11 機体制に向けて信号認証サービスを拡大していくにあたり、米国 GPS、欧州 Galileo との相互運用性・互換性についての調整が必要である。欧米でのセキュリティ面の動向や展開中の軌道上実証などの結果も踏まえて、対応をしていく。

④ 災害緊急時メッセージサービス（EWSS）

防災・減災・国土強靱化への貢献の観点から、準天頂衛星システムでは、防災機関から発表された地震や津波発生時の災害情報などを配信する「災害・危機管理通報サービス（略称として「災危通報」「EWSS」ともいう）」及び、災害時における避難所の情報等を衛星経由で管制局に送信し収集する「災害時衛星安否確認サービス（Q-ANPI）」を提供している。

<災害危機管理通報サービス（災危通報）>

（ア）システム概要、利活用の状況

災害危機管理通報サービス（EWSS：Emergency Warning Satellite Services）は、日本の気象庁が発表した情報を基に作成した災害関連情報（津波警報、緊急地震速報、洪水警報、噴火警報など）を、測位信号（L1S）の隙間を利用して国内に配信している。2024 年 4 月からは、これら情報に加えて、ニーズの高い J アラート情報（ミサイル発射情報）及び L アラート情報（避難勧告等）の配信もできるよう機能改善を行っている。

今後、更なる機能向上として、アジア太平洋諸国での災危通報による配信ニーズが高いところ、2025 年 4 月以降は、日本気象庁からの情報のみならず、同エリア現地の防災機関等が作成した災害・避難情報等を、準天頂衛星システムから配信できるように、必要な改修を実施している。

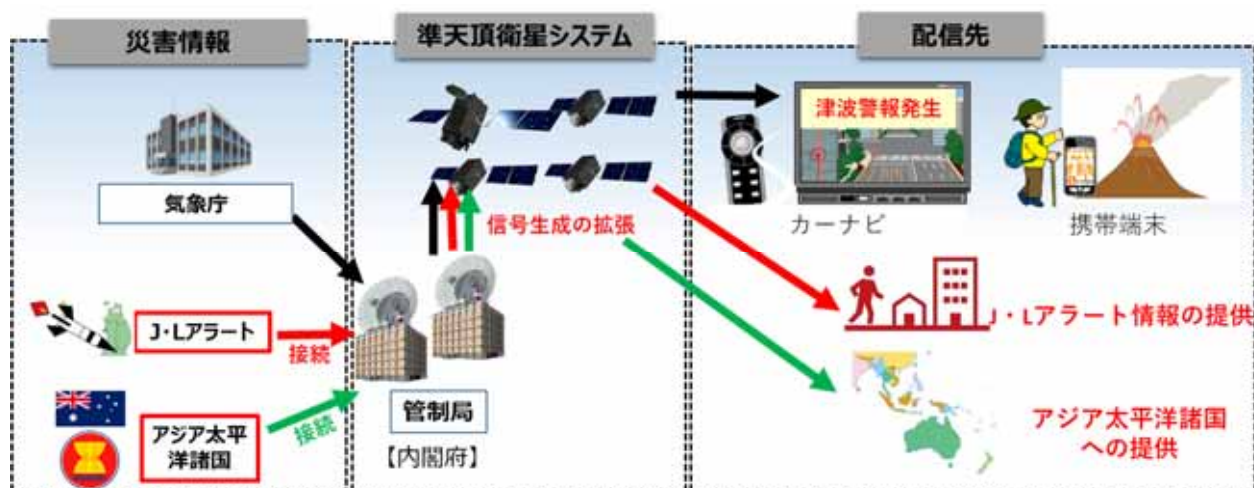


図 災害危機管理通報サービスの概念図

	みちびき (準天頂衛星システム) 災危通報	携帯電話	VICS WIDE (FM多重放送)
配信間隔	4秒に1回	リアルタイム	5分に2回 (情報の更新は5分間毎)
データサイズ (1メッセージ)	250bit	—	100KB/5分
サービスエリア (日本国内)	全域 (トンネル、屋内など衛星 が見えない環境を除く)	山間部を中心に サービスエリア外	FM多重放送エリア内
通信インフラ	人工衛星	基地局	FM放送局
通信料	不要	必要 (毎月)	不要 (端末価格に視聴料300円含む)
備考	・カーナビ用アンテナで受信可能 ・遅延時間 8～14.25秒	最大送信遅延時間 3～4秒	保守点検のために第一、第三 月曜日の午前1時～5時まで の間に、休止する場合あり

図 災危通報、携帯電話、VICS WIDE との比較

本サービスに対応する国内製品は、消防指令システムやサイネージ等、既に多数市場に出回っている状況である。今後、Jアラート/Lアラートの両配信開始に伴って、対応する製品・サービスも増えていくものと予想される。

また 2025 年 4 月以降、本サービスの海外展開に向けて、タイやフィジー等での EWSS 実証事業を実施するとともに、その他の地域でもセミナーやデモンストレーションを実施して普及活動を進めている。

（イ）今後の方向性

昨今、自然災害の世界的な増加もあり、国内・海外問わず全世界的に防災意識が高まってきている。特に、通信網の脆弱な地域や地上インフラの被災により通信が途絶した状況においては、準天頂衛星システムの衛星を通じて、災害情報などをエリア内に迅速に伝えることが可能であり、本サービスへのニーズは高まると考えられる。また、これまでの海外におけるセミナーやデモンストレーションを通じて、東南アジア・オセアニア諸国から高い関心と期待が寄せられてきている。

今後、海外展開に際しては、各国政府機関の協力を得ながら関係府省庁・機関（外務省、JICA、経済産業省、JETRO 等）の協力のもと、アジア太平洋地域における実証やセミナーやデモンストレーションのフォローアップ及び「みちびき」の他のサービス(デシメータ級の高精度測位サービス MADOCA-PPP)と協調によるシステム拡張の検討を行う。

現地での実証については、信号が届く／技術が使えるといった技術実証を超えて、サービスが持続的に現地に提供されていく「社会実装」の実現までを目標とする。そのため規模の拡大や使用感の向上といったシステムの構築自体に加えて、現地での利活用周辺の規制・制度や慣習、効果的に利用できる人材育成の対応といった環境整備も進めていく。

なお、欧州でも同様に、衛星測位システム Galileo を使った EWSS のサービスを開始する予定である。2017 年から、日欧連携のもと、災害・危機管理通報サービスの共通フォーマットの策定を進めており、今後、EWSS サービスの世界的な普及を進めるとともに、日本企業の EWSS に関する製品やサービスへの参入も期待されている。

<災害時衛星安否確認サービス（Q-ANPI）>

（ア）システム概要、利活用の状況

災害時衛星安否確認サービス（Q-ANPI）は、災害時において避難所等に設置した専用端末によって、スマホやタブレットを使って入力した避難者の安否情報（テキストベース）を、静止軌道衛星（準天頂衛星「みちびき」3号機）経由で伝達するサービスである。

仮に、避難所における地上回線や携帯電話通信網が障害となっても、衛星回線によって「最後の手段」として運用可能であり、発災時の道路寸断や通信障害等で孤立しがちな僻地、離島に特に有効なサービスとして導入されていた。

Q-ANPI の専用端末は、2023 年末の時点で、実用サービスとして 19 の自治体と 13 の研究機関等に 154 台、さらに 2020 年から始まった実証事業により 35 の自治体と 11 の研究機関等に 421 台、合計 565 台を貸与している。本実証においては、スマホでリレーを使った避難所外の情報の収集等に関する機能拡張実証を実施している（2026 年度に終了予定）。

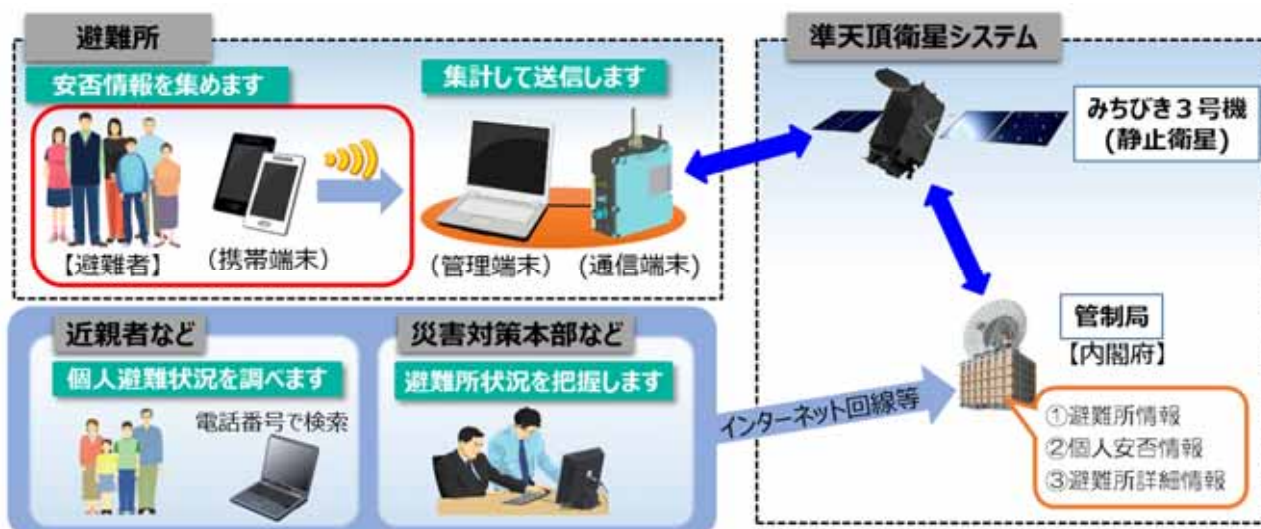


図 災害時衛星安否確認サービス（Q-ANPI）の概念図

利用状況（防災訓練以外での）については、貸与先自治体には実際の発災時の使用を推奨しているが、現在までのところ、使用された実績はない。これは本サービスが、インターネットや電話回線および衛星電話等のあらゆる通信手段が途絶した状況下におけるバックアップの通信手段という稀有なシチュエーションでの利用を想定していることも一因と考えられる（日本各地の防災訓練の間では、準天頂衛星の関係者も同席の下で使用されている）

（イ）今後の方向性

近年、米民間企業などが開発・実用化した低軌道衛星による宇宙通信システムでは普及・低価格化が進んでいる。また、自然災害時における対策への活用が進んでいる。2024 年 1 月に発生した能登半島地震では、石川県内において孤立した避難所において低軌道衛星を介した会話やデータ通信を行っているシーンも見受けられている。今後、低軌道衛星等を活用した宇宙通信サービスは、技術開発やビジネスが加速することによって、さらに安価、高速化・大容量化していくことが見込まれる。

Q-ANPI の導入当時は「地上回線や携帯網が障害となっても、衛星回線により最後の手段として運用可能」として利用シーンが想定されたものの、前述のような利用シーンとサービス提供の面で環境の変化がみられている。今後も、Q-ANPI を、準天頂衛星の基本機能として維持（開発、運用）するには費用対効果の点を踏まえていくことが必要である。

Q-ANPI 端末を既に配布した自治体等に対しては、Q-ANPI サービスを、当面の間（＝現行の Q-ANPI 機能を搭載させている準天頂衛星「みちびき」3 号機が運用されていく予定の 2033 年まで）、維持していく。現状の Q-ANPI 機能を維持した運用（及び、利用度の多少の改善を含む）を最低限のラインとするが、その後（2033 年以降の 3 号機後継機（静止軌道衛星））としては、上述のような環境の変化を鑑み、Q-ANPI サービスの継続の是非について、他組織（官民）へのサービス移管など発展的な見直しも含めて、検討していく。

（仮に、3 号機後継機に Q-ANPI 機能を搭載しないとなった場合、当該機能のための装置の開発・配備・運用が不要となる）

★当面の対応 ※現行 3 号機の運用期間中の対応

○配布先の自治体内で利用が進むような改善（小規模）

1）利用マニュアルの簡易化

2）利用性の向上・改善（これまで専用端末間（避難所や自治体の防災担当間）

同士の通信には、インターネットを介す必要があったところ、それを介することなく、専用端末間で直接、双方向の衛星通信を可能に）

○内閣府防災との連携の強化（避難所の安否情報について、自治体及び SIP4D や次期総合防災情報システムにも提供、救助復旧に活用されるように）

○Q-ANPI 専用端末の再配布（端末が効果的に活用されるべく、発災時に孤立するおそれがより高い地域を調査・再選定して、端末の再配布を行う）

（４） 11 機体制への拡張

準天頂衛星は、他国に依存することなく位置情報及び時刻情報を提供することができる社会インフラとして定着してきている。また、自動走行車やドローン等、米国 GPS 等では対応していない高精度測位を用いた新たな製品・サービスの展開も進んでおり、産業の活性化に貢献している。

2025 年度までに追加 3 機の衛星打上げの後、2026 年度からは 7 機体制でのサービスが開始される。7 機体制となれば、他国の GNSS の測位信号を必要とせずに「みちびき」の測位信号のみで衛星測位を可能とする「持続測位」が実現され、衛星測位システムとして一定のゴールを達成したこととなる。しかしながら、この 7 機の数字について必要・最低限の機数であり、1 機でも故障すると測位機能が維持できなくなる。また、まだ 7 機体制の下では高精度測位のための信号が 1 方向のみからの到来となるため、高層ビルなど障害物により信号が遮蔽され受信不可となった場合には、「みちびき」専用の高精度測位サービスが利用しにくいおそれがある。

このため、内閣府では将来の測位機能の維持・バックアップ機能の強化を目的として機数増加の検討を行い、令和 5 年 6 月 13 日に閣議決定された宇宙基本計画の改定において、「測位サービスの安定供給を目的としたバックアップ機能の強化や利用可能領域の拡大のため、7 機体制から 11 機体制に向け、コスト縮減等を図りつつ、検討・開発に着手する」とされた。将来、11 機体制となることで、どの 1 機が故障しても「みちびき」の高精度な測位機能を維持すること（持続測位）ができるようになり、バックアップ機能を有することができる。これによって、真に GPS 等他国の GNSS に頼らない社会インフラの実現に至ることができる。バックアップ機能の強化とともに、高精度測位のための信号が複数方向から到来するようになり、「みちびき」の信号を受信できるエリア内のより様々な場所で、高精度測位サービスを利用できるようになる。

準天頂衛星 11 機の各配置・軌道について、一般的に、測位衛星は、衛星が天空でお互いに距離を取って散らばって存在する方が、測位精度は向上する（DOP がよい）。

これを踏まえ、11機体制の各軌道は、東西に衛星が広がって配置されるよう、東西に8の字の直下点軌跡を描く準天頂衛星を4つ追加する予定である。

これは、宇宙から見た図を考慮すると、準天頂衛星7機体制の5軌道面（準天頂軌道が4面、静止軌道が1面）の全てに、それぞれ2衛星以上、配備することになる（異なる軌道面に衛星を移動することは、衛星に搭載したスラスターや燃料の面を踏まえると現実的ではないため）。全ての軌道面に、複数の衛星を配置することで、どの衛星が1機故障しても、同一軌道面の他の衛星が軌道内で位置を変えることによりバックアップし、システム全体としては、測位機能を維持できることになる。

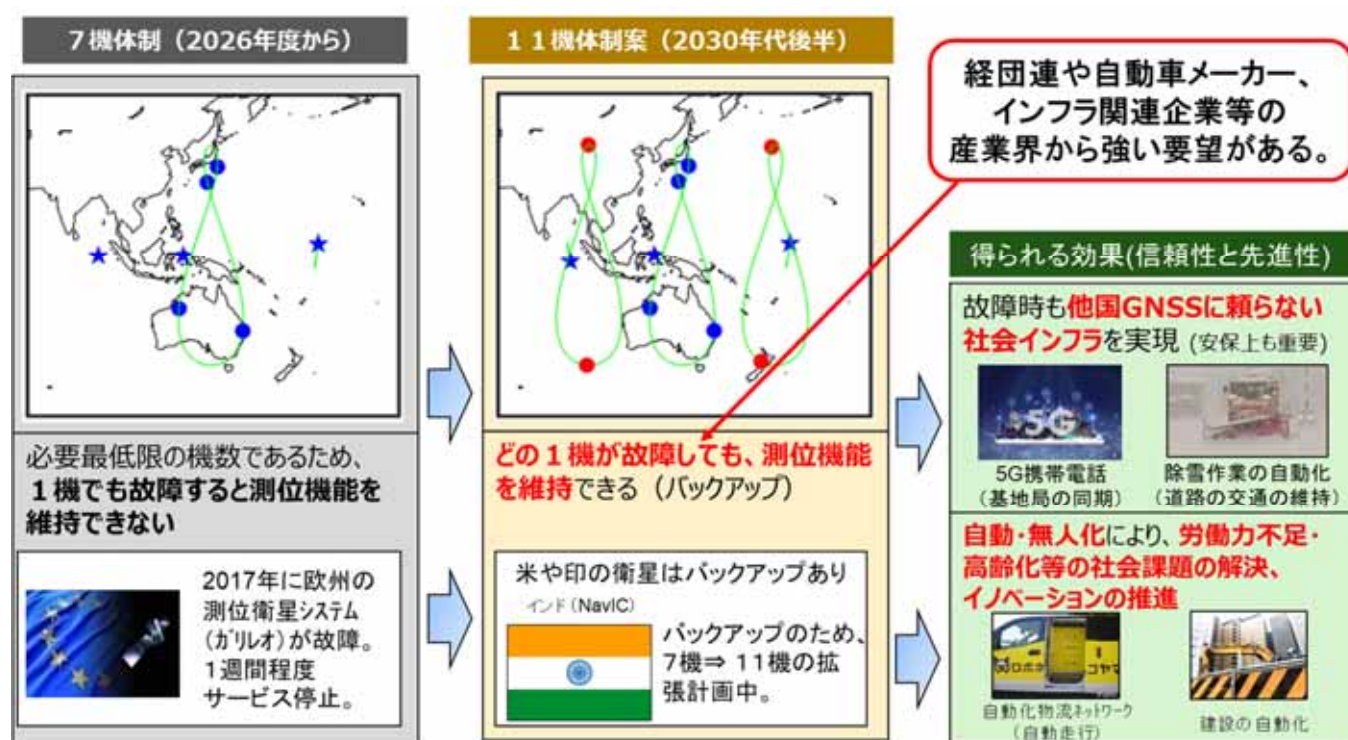
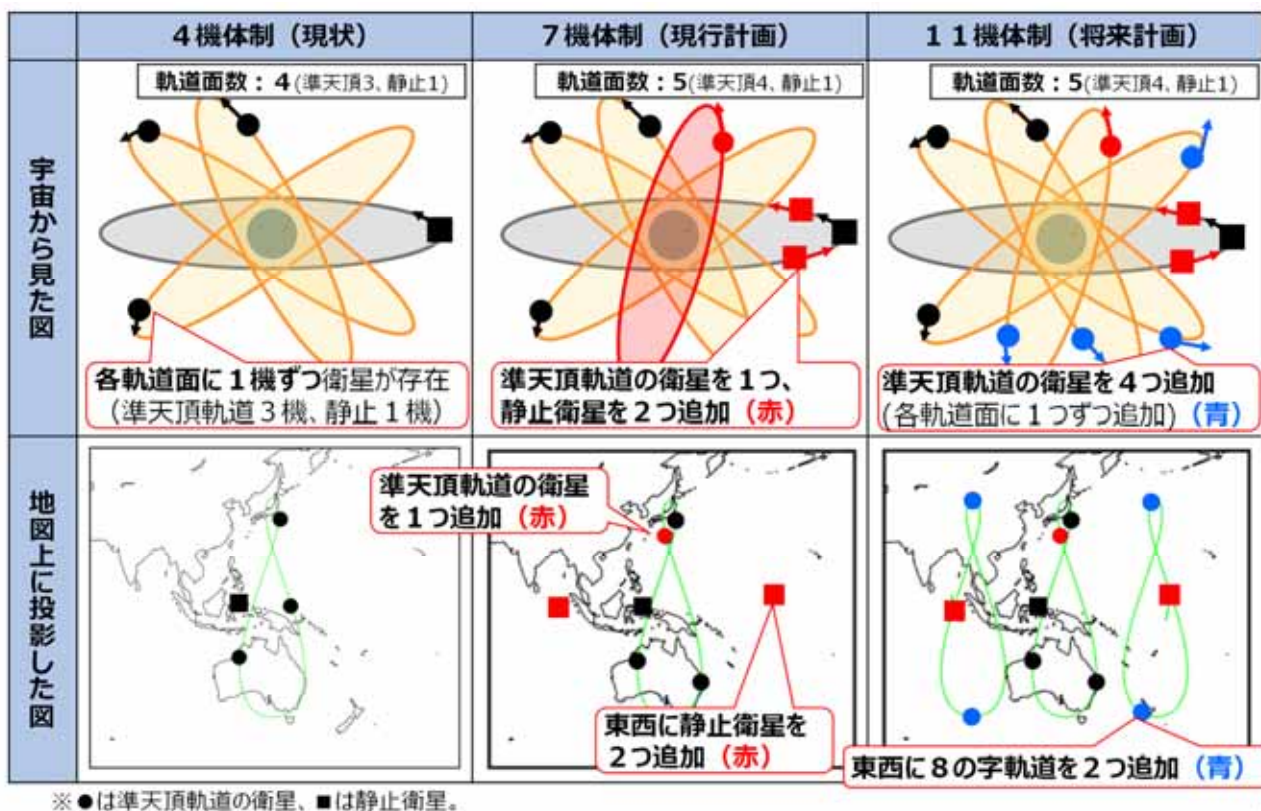


図 準天頂衛星システム「みちびき」の拡張について（7機から11機へ）



13

図 準天頂衛星システム「みちびき」の軌道追加、地上投影イメージ

（５） 低コスト化への努力

① 衛星、打上げ

通常、1回のロケット打上げで1機の衛星を投入するシングルロンチの形態が見られる、2機の衛星を1回のロケットで打ち上げる形態をデュアルロンチという。打上げコストの低減で、衛星運用のトータルなコスト削減に貢献されるものである。

準天頂衛星システムにおける静止軌道面の衛星については、”軌道保持範囲が狭く東西制御・南北制御に要する燃料が多くなるため衛星バスのサイズをコンパクトにすることが難しく、デュアルロンチに適していないとされる。一方、軌道保持範囲の制約が小さく、軌道制御頻度が少ない準天頂軌道の衛星を同一軌道面内に2機の衛星を打ち上げるケースについては将来、電気推進バス化による衛星のコンパクト化ができればデュアルロンチが可能となると想定されている（同じ予算制約の中であれば、衛星機数を増やすことが可能になる）。そのため現在、デュアルロンチ対応の小型衛星バスの開発と衛星分離機構（ディスペンサ）の試作を進めているところである。

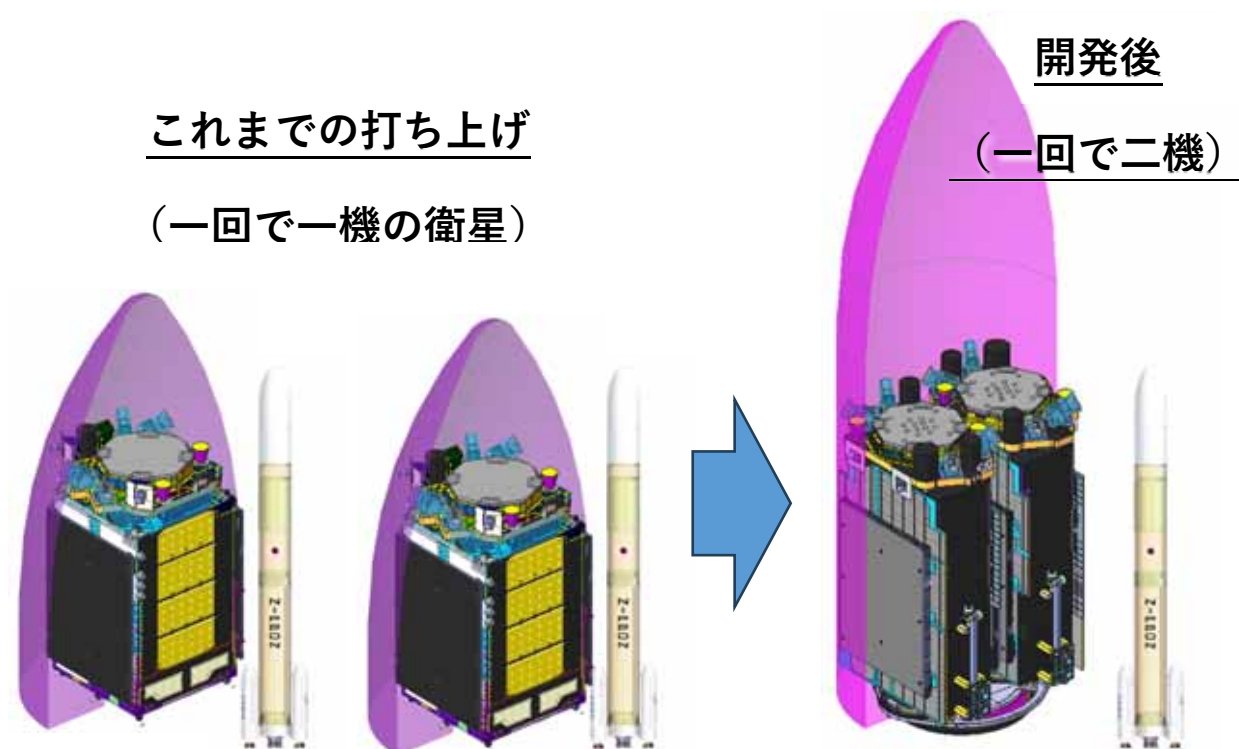


図 準天頂衛星バスシステムのデュアルロンチ化

他方、近年、電気推進に使用する推進剤（希ガスの一つであるキセノン）が高騰している等の状況も発生している。衛星分野における将来、中長期的な技術トレンドとしては電気推進バス化であるが、こうした周辺環境の変化も加味して、当面は、従来の「化学推進バスによる衛星のシングルロンチ」と今後の「電気推進バスによる衛星のデュアルロンチ」の経費見込みの比較を行って、衛星システム全体としての仕様設定を実施していく。

② 地上システム

11 機体制（8 の字を描く衛星直下点軌跡が 3 本）のシステム構築では、そのままでは、現行の 7 機体制（8 の字を描く衛星直下点軌跡が 1 本）より多くの追跡管制局数や運用人員の増加につながる。

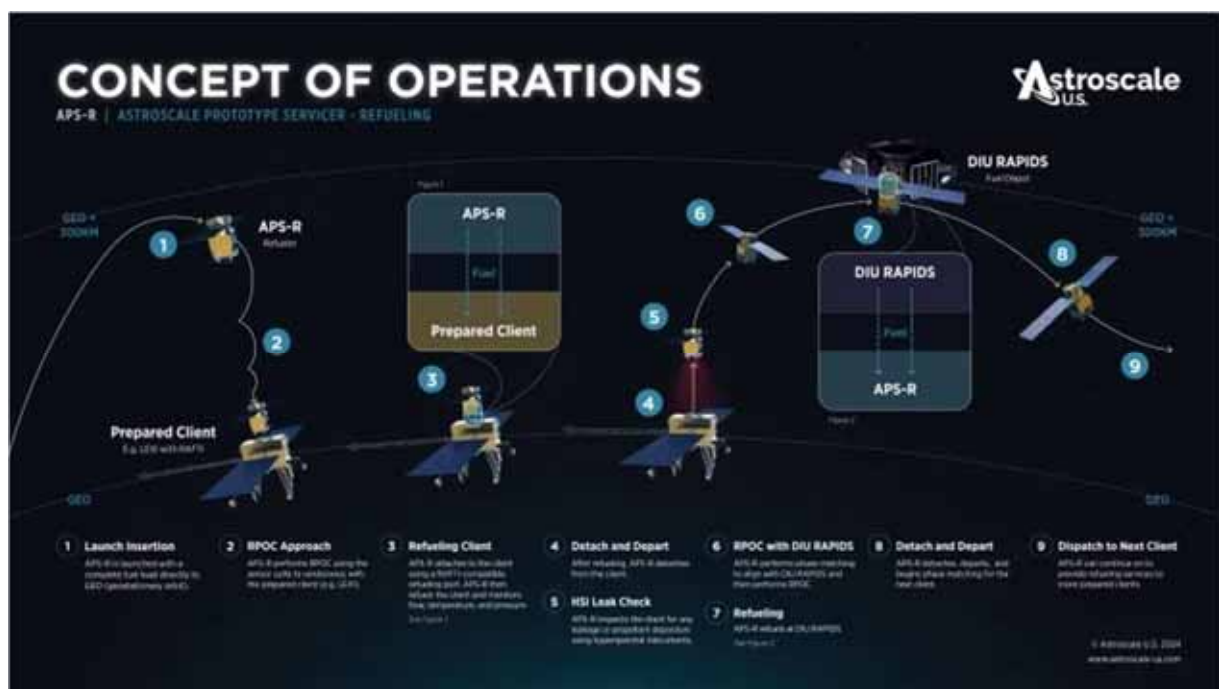
追跡管制局数について、その設置や運用のコストを削減するため、衛星測位サービスにおいて間欠運用（常時アップリンクすることなく、事前に航法メッセージを衛星側に格納しておくようにする方法）を実現することで、追跡管制局数の増加を最小限に留めるよう検討を進める。

また、地上システム運用に関わる人員の全体的な増加を抑えるため、地上システムの自動化等の検討を実施し、運用人員を増やすことなく、衛星やサービスの維持管理運用を進めていく。

③ その他（延命化、等）

測位衛星の寿命について、通常の静止衛星システムであれば設計寿命は 15 年程度である。各機器（主要な原子時計や通信機器）の設計寿命も標準的なものであることから、延長を前提としての運用は難しいが、軌道上において、これよりも寿命が長くなった場合、かつ、衛星バスに故障等がなく所定の残存確率等を満足している場合には、適切な軌道にて後期運用（延長運用）が出来ないかどうか検討を進める。

また、他国の GNSS の動向や衛星測位分野を取り巻く環境変化（技術トレンド）をよく注視していく。例えば、まだ実現されていないが、「動く監視局」（LEO の衛星搭載受信機が「みちびき」対応の場合その観測データを活用することにより、準天頂衛星群の軌道クロック推定精度を向上、或いは地上の監視局数を削減しても軌道クロック推定精度を維持することが可能となる）、や、「軌道上サービス」（衛星軌道上において、修理や燃料補給など多様なサービスを行う衛星についてビジネス化が期待されている）など、準天頂衛星の運用維持や延命化につながる技術・サービスが世に出るようであれば、将来的に、それらの活用の可否や拡張性など検討を進めていく。



参考：<https://astroscale-us.com/new-details-on-the-revolutionary-astroscale-u-s-in-space-refueler-for-the-united-states-space-force/>

図 留意すべき今後の周辺技術・環境（動く監視局、軌道上サービス）

（６） 今後のシステム開発の方向性

① 今後のシステム開発の方向性

上記（１）～（５）で行った整理（＝衛星測位信号については、世界各国に劣後しないよう、また補強信号については後方互換性を確保しつつ、より一層魅力あるサービスとしていく必要があること。我が国の衛星測位システムは 11 機体制が最適な構成であり、軌道上衛星の設計寿命を考慮したリプレースメントを考慮しつつその整備を段階的に進めていく必要があること。そのシステム構築に当たっては予算上の制約を踏まえつつ低コスト化を図ること）を踏まえて、今後のシステム開発の方向性としては、以下の形で進めるべきである。

- i. 2032 年に軌道上の 2～4 号機の設計寿命が到来することから、それまでに後続の後継号機を各打ち上げる。また、11 機体制は一足飛びには完成できないため（現行の衛星寿命が到来すること、衛星企業での衛星製造に一機あたり 4～5 年かかること等）、段階的に 11 機体制を構築していく。
- ii. 予算の制約も考慮して、8 号機を加えた 2～4 号機後継機及び 8 号機の計 4 機を、当面、第 1 期の開発対象として進めていく（＝11 機体制第 1 期）。
- iii. 衛星システムとして、4 機まとめたの開発を実施する。他国の技術動向を睨みつつ、測位機能等を低コストで維持・向上させる新規技術を導入する際には、その技術成熟度を把握し向上させるような研究開発を行う。新規技術において、実証要素が特に大きい場合には、何らかの軌道上実証が出来ないかの検討も行う。
- iv. 地上システムの開発としては、予算平準化に貢献する現行の PFI 方式を大半のパートに適用しつつも、研究開発や実証での改善に向けた要素が含まれているサービス、例えば、軌道時刻推定精度の向上が重要な衛星測位サービスと高精度測位補強サービスについては、国直轄事業として、柔軟に対応しつつ、進めていく。

② 開発・運用体制について

<検討の前提>

米国の GPS では軍が整備、運用を行うことが前提の開発・運用体制であることに對して、我が国の衛星測位システムでは民生中心で、補強や災危など、より多数のステ

ークホルダー向けのサービスを展開していることを踏まえて、同様に民生中心、複合的な付加価値サービスを行っている欧州 Galileo の開発・運用体制が参考となる。

< 欧州 Galileo の開発・運用体制 >

欧州 Galileo の開発・運用体制は、以下の図のとおりである。Galileo に携わる政府関係者は、EC（行政）：約 50 名、EUSPA（運用・利活用）：約 200 名、ESA（欧州宇宙機関）：約 300 名である。EC（行政）においては、プログラムマネジメントを担い、予算要求、各国との調整等を実施し、EUSPA（運用・利活用）においては、Galileo と EGNOS の運用を行うとともに、それらの利活用を実施し、また ESA（欧州宇宙機関）においては、Galileo 衛星の研究開発及び開発を担い、また、将来の研究開発だけでなくリカレント衛星の調達、地上システム整備まで含めて実施している。

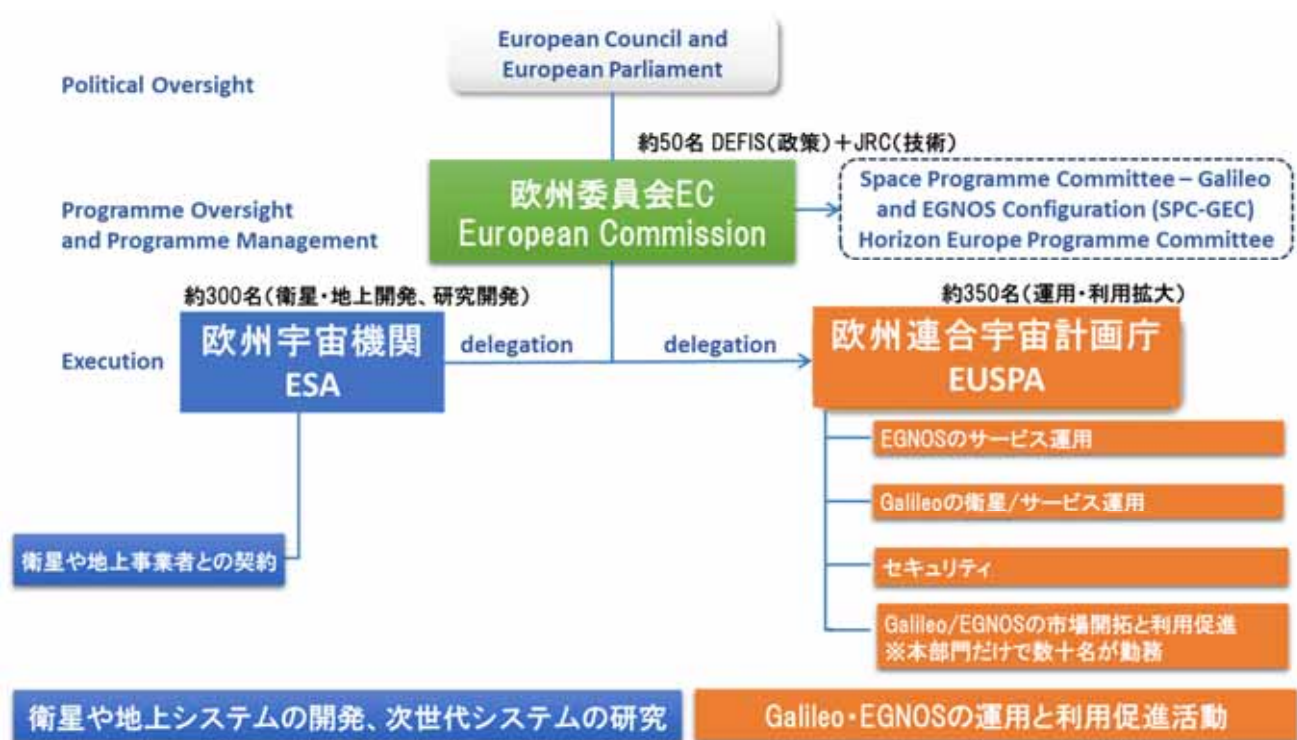


図 欧州 Galileo の政策立案・開発・運用の体制図

< 将来の我が国の開発・運用体制の在り方 >

一方、我が国では、内閣府宇宙開発戦略推進事務局内の準天頂衛星システム戦略室（約 25 名）が、EC と EUSPA の機能に加えて、ESA のうち地上システム開発の機能まで含めて担っている。

今後、我が国の重要なインフラである衛星測位システムが7機から11機として体制が拡大し、継続的に運用の維持・必要な技術の開発等をしていくためには、専門的な技術者などの人数を拡大していく必要がある。その際、欧州 Galileo の開発・運用体制や国内の他の衛星運用組織などを参考にしつつ、将来、予算や人材面で独立したセンター化も視野に、検討していく。

<専門人材の育成（周波数）>

また、準天頂衛星システムの開発・整備・運用に当たっては、衛星や地上局といったハード面のみならず、「みちびき」の測位信号の周波数が、他国または日本国内の他の無線通信網に対し有害な干渉を与えないように、または受けないように、その使用に先立ち、調整を行う必要がある（＝調整されていなければ、サービスを十全に提供できない。）。そのため、国際電気通信連合（ITU：International Telecommunication Union）の定める無線通信規則（RR：Radio Regulations）の規定に基づいた国際調整資料（総称してファイリングということもある）の準備・提出や、国内の無線局免許の取得等の業務への対応が不可欠である。これらの業務は特に専門的な知見や経験が必要となることから、専門人材の育成などを検討していく必要がある。

3. 利活用の推進と基盤の強化

(1) 総論 ～ 国内外への展開、経済社会への貢献

衛星測位システムは、我が国の安全保障や経済・社会活動を支えるとともに、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させた Society5.0 の実現に不可欠な位置と時刻の情報を提供する基盤としても重要性がより一層高まっている。その利活用を産学官が連携して進めていく必要がある。

また、国内のみならず、宇宙基本計画（令和5年6月13日閣議決定）において我が国の宇宙政策の各方面における国際協力が言及³⁰されているが、準天頂衛星システムについても、システムがカバーする「アジア太平洋地域」における展開について官民一体となって戦略的かつ迅速に進める必要がある。

利活用の推進に向けて、システムの機能と課題を踏まえ、下記のとおり、国内及び国外へアプローチしていく。

<準天頂衛星システムのメリット、新しいビジネスニーズ>

現行、GPS 等の衛星測位システムを用いてリアルタイムに得られる位置情報の精度は、一般的にスマートフォンやカーナビゲーションシステムで利用される単独測位では5～10mの精度ではあるが、「無償」で利用できる。一方で、ICT 施工など測量や土木分野で先行して利用されてきている高精度測位サービス RTK³¹では、地上の通信サービスを介して配信される補強情報を併用することで、～2cm 程度の精度に達するものの、民間が提供するサービスのため「有償」となっている。

このような中、準天頂衛星システム「みちびき」が提供する複数の高精度測位サービス（CLAS、SLAS、MADOCa-PPP）は「無償」でありつつ、先に挙げた単独測位と RTK サービスの間の精度であり、両者のギャップを埋める位置づけである。すなわち、従来の位置情報サービスに対して、①単独測位をベースとした従来サービスの高度化や分析精度の向上、②RTK サービス利用のランニングコスト低減あるいは、RTK サービスの利用が困難な領域でのサービス補完等を提供し、多様な分野での新たな製品・サービスの創出を促進するものである。

³⁰ 宇宙技術の海外展開施策の方向性として、「国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現」と「宇宙活動を支える総合的基盤の強化」が述べられている（宇宙基本計画 P29-30）

³¹ Real Time Kinetic

準天頂衛星システムの利活用が普及することによって、社会全体では従来の 5～10 m 程度の単独測位のベースから、サブメータ・センチメータ級の高精度測位にベースが移行することになる。これにより、地球上のあらゆる個々の人やモノの相互の位置関係を時刻情報と共に、そして、フィジカル空間とサイバー空間の両面（デジタルツイン）で、より簡単・確実に分離・識別できることとなる。

例えば、自動制御されたドローンやロボットなどが人々の生活の場の中に当たり前のように入り込み、協調・協働活動する社会への転換を確実に後押しする。2024 年度から開始された「信号認証サービス」は、無償の民生サービスでありながら、位置と時刻に関する測位信号の信頼性を大幅に向上するものであり、そうした未来社会を支える基盤・インフラとなっていくと期待される。



図 位置情報の精度と準天頂衛星システムの範囲



図 高精度測位が普及した社会への転換

分類	製品カテゴリー
受信機	受信機、チップ、モジュール、アンテナ、シミュレータ・信号発生器、RF信号収録・再生
自動車	カーナビゲーションシステム、ドライブレコーダ、レーダ探知機、消防用車載端末、自動車関連機器・サービス
測量・建設	測量支援システム、バックパック型ライダー
情報提供サービス	スマートフォン、タブレット、デジタルカメラ、照明、セットトップボックス、防災・減災情報、位置情報検索サービス
農業	農業機器、ドッグナビ
スポーツ・健康	スマートウォッチ、アウトドア・スポーツ、スポーツ走行解析ツール
安心・安全	見守り、地盤変位観測システム
航空宇宙	複合センサ
海洋・船舶	航法装置、魚群探知機
その他応用	アマチュア無線機、無線関連計測器、高精度位置補正情報配信サービス
時刻同期	タイムサーバ、衛星電波時計

表 主な「みちびき」対応製品カテゴリー（2024年4月現在）

<準天頂衛星システムの利活用での課題>

準天頂衛星システムのサービス開始から5年半が経過した。当初は、民間や大学等はシステムそのものを知り実力値を測ることを目的とした部分的な技術検証の段階であったが、近年では多くの民間が、DX等のキーワードに代表される各分野での業務の省力省人化、自動化・効率化などへのニーズを踏まえた製品・サービスを実現するために、実際に近い環境下で、その利用性や耐久性、ビジネス性等を確認する実証／社会実装の段階へ移行している。

これまでの民間等における様々な実証実験により、用途によってはRTKと比較しても実用上遜色の無い精度が得られている³²。準天頂衛星システムを利用する上で知

³² 準天頂衛星システムのサービス（CLAS等）がRTKと比較して実用上遜色の無い精度が得られている実証例は例えば、「西松建設：準天頂衛星システム「みちびき」測位技術のダム工事への適用性を実証」（<https://www.nishimatsu.co.jp/news/2022/20221222.html>）

るべき利点や課題等、実用の場面における特性等多くの知見が、今や民間や個人にも蓄積されている。

実証で成果を上げた事例については、いち早い社会展開・ビジネスによる収益化が期待される一方で、その後、円滑に実用・事業化に至っていないケースも多々見られている。この要因の一つとして、技術的な課題とは別に、サービス開始当初における「みちびき」専用の受信機の価格・重量等の高止まり、想定された利用分野での実運用ルールや規制等において「みちびき」の扱いに関する記載が無い、あるいは、高精度測位サービスや災害情報メッセージを取り扱うルールそのものが存在しない、といった環境的な課題も要因として考えられている。

例えば、国内では現在、デジタル田園都市国家構想や Society5.0 に代表される、各府省庁が横断的になって取組む様々なデジタル・スマート化の国家計画・施策等があるところ、これまでの「みちびき」に関する実証等の結果・知見を踏まえて、各分野における実運用のルールや規制等に「みちびき」が適用できるよう規定を促すなど検討・実施をしていく。

また、国外において衛星測位を利活用した日本企業の実証も現在、数多く進んでいる。最終的に社会実装につながるよう、実証の企画時から、現地当局を交えて、規制・制度や調達に至るまで円滑にものが進むように体制づくりの支援や促進が重要である。

(2) 国内戦略

準天頂衛星システムの利活用に密接に関連する主な施策は、内閣府の実証事業以外にも、地理空間情報の推進、デジタル田園国家都市国家構想、海洋基本計画といった政府計画の中にもある。今後、より精緻な位置・時刻情報を与える高精度な測位システムが基礎インフラとして積極的な活用されていくように、産学官の幅広い対象に連携していく。

また、企業等が準天頂衛星システムを活用した新しい製品・サービスの開発や実証を支援していくことに加えて、既存の実運用ルール・規制等において「みちびき」を導入しやすいよう規定を追加するなど、新しい分野・製品・サービスへの参入障壁とならぬよう努める。

① 政府のデジタル系の推進計画

＜地理空間情報活用推進基本計画（第4期）³³＞（内閣官房地理空間情報活用推進室）

Society5.0の実現に向けて、地理空間情報（G 空間情報）の活用は不可欠である。衛星測位は地理情報システムと共にその基盤として位置付けである。準天頂衛星は我が国の測位衛星として、位置と時間の情報を提供する重要インフラとして運用されている。

第4期地理空間情報活用推進基本計画の概要（R4年度～R8年度）



³³ 地理空間情報活用推進基本計画（令和4年3月18日閣議決定）

本計画中に掲げられているシンボルプロジェクトの2つに準天頂衛星システムが絡んでいる「①統合型G空間防災・減災システムの構築の推進」「⑩準天頂衛星システムの開発・整備及び測位能力向上の推進」

https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/sokuitiri/r040318/220318_masterplan.pdf

令和4年3月に策定された地理空間情報活用推進基本計画（第4期）における共通の課題としてドローンによる物流事業の実用化など、新時通・物流システムをはじめ、地理空間情報を高度活用し、人々の生活の質を向上させる社会実装を加速することが挙げられている。これらに対して、準天頂衛星システムは、10のシンボルプロジェクトのうち2つに挙げられ、「（高精度な衛星測位の情報は）官民における測位データ利用の課題、推進方策の共有等を図るとともに、自動運転を含め、農業、交通・物流、建設等、国民生活や経済活動の様々な分野における実証事業に取り組み、先進的な利用モデルの創出を通じて、社会実装を更に加速する」とされている。



図 準天頂衛星システムが活用される G 空間社会
(関係省庁との連携、関係者の巻き込み)

<デジタル田園都市国家構想国家戦略³⁴>（内閣官房デジタル田園都市国家構想事務局）

デジタル田園都市国家構想は、「全国どこでも誰もが便利で快適に暮らせる社会」の実現、すなわち新たなサービスの創出、地域社会の持続可能性の向上、Well-beingの実現等を通じてデジタル化の恩恵を国民や事業者が享受できる社会を目指すものであり、このために地域の実情に応じてあらゆる分野でデジタル技術を有効に活用しつつ、デジタルトランスフォーメーション（DX）を強力に推進することが求められている。

地域交通のリ・デザイン	遠隔医療	こども政策
MaaS等のデジタル技術の活用等により、持続可能で利便性の高い地域公共交通ネットワークを再構築します。	医療資源に限られた地域の医療提供体制の選択肢の幅を広げる観点等から、住民に身近な場所を活用したオンライン診療や服薬指導を推進します。	地域間連携、デジタル化・オンライン化などにより、居住地に関わらず、切れ目のない医療と母子保健サービスが受けられる環境の実現を目指します。
		
自動運転バスの運行 — 茨城県境町	医療機器設備の移動診療車 — 長野県伊那市	保健師等とのオンライン相談 — 山梨県富士吉田市
地方創生テレワーク	教育DX	観光DX
地方と都市の差を縮め、活力ある地域づくりにつながる地方創生テレワークの導入・定着、「転職なき移住」を推進します。	地域独自の学習コンテンツの開発、オンラインによる学校間交流・教育活動の実施などの教育DXを推進し、地方の子供の教育への不安を解消します。	大阪・関西万博等の機会を捉え、日本全国への誘客を促進するため、受入環境の整備とともに、移動や購買データ等の高度活用など観光DXを進めます。
		
空き蔵を活用したサテライトオフィスの整備 — 福島県喜多方市	オンラインによる遠隔合同授業 — 鹿児島県三島村	観光アプリを活用した混雑回避・人流分散 — 京都府京都市

図 デジタル田園国家都市構想総合戦略（国が示す重要施策分野の例）

³⁴ <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digitaldenen/sougousenryaku/index.html>

準天頂衛星は、この構想を支えるハード・ソフトのデジタル基盤の一つとして挙げられており、モノやサービスに対して3次元の位置・時刻・防災情報等を取得・提供することから、様々なDXの場面、例えば農業や物流・配送に関わる車両やドローン等の運行や、災害情報を全国どこでも・どのような状況下においても提供をサポートするツールとしての活用等が見込まれる。また、当初から、農業・土木建設業などへの分野展開は想定されてきていたが、近年、海洋がより準天頂衛星システムの機能を発揮できる領域（オープンスカイな状況）として、大いに期待されてきている。

最近では、国家安全保障の高まりから、海洋基本計画においても、準天頂衛星システムの活用も記載されている。

<第4期海洋基本計画³⁵>（内閣府 総合海洋政策本部事務局）

令和5年5月に策定された第4期海洋基本計画では、海洋をめぐる安全保障環境の厳しさの一層の増大、海洋に関する政策課題の複雑化・広域化を背景として、海洋状況の把握取組を強化し、海洋に関する様々な事象を常に把握することが必要とされている。

海洋状況把握（MDA）は、海洋に関する多様な情報を海洋の安全保障のみならず、海洋環境保全、海洋産業振興、科学技術の発展等の海洋政策の推進に活用する包括的な取組である。MDAの前提となる海洋に関する多様な情報を適時適切に収集・集約することは、脅威の早期察知につながり、総合的な海洋の安全保障の強化に貢献する。現在の情報収集体制の「目」に対する現在の課題解決としてのMDA構想では、領海等における情報収集体制の強化の一環として、準天頂衛星を含めた宇宙技術による観測能力の強化等が挙げられている。

また、自律型無人探査機（AUV：Autonomous Underwater Vehicle）³⁶は、今後の海域利用における省人化や海中の可視化に資する海洋科学技術における重要な基盤技術の一つであり、関係国内産業を育成する必要性が高いことから、海域における高精度な位置情報取得の基盤として、準天頂衛星システムを活用した、AUVの水中測位精度向上についての取組を行っていく。

³⁵ https://www.cao.go.jp/press/new_wave/20230526.html

³⁶ 総合海洋制作本部会合（第21回） AUVの社会実装に向けた戦略
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/dai21/21gijisidai.html>

② 制度・標準化

一般に、イノベーションの実現には、技術の進歩（高度な組み合わせを含めて）のみならず、利用分野における環境面（運用ルールや規制・制度との整合）、利用者の受入れ等が必要とされる（＝新技術・サービスが容易に導入され、評価をされ、活用されていく環境づくり）。GPS より優れた高精度な測位サービスを持つ準天頂衛星システムを国内外に広めて活用されていくためには、こうした利用サイド側の検討・分析も行い、対処していく。

直近の取組として、政府（経済産業省等）が進める「デジタルライフライン全国総合整備実現会議」³⁷におけるドローン航路の安全性・信頼性向上に関しては、準天頂衛星システム「みちびき」の信号利用の推奨などを規定すべく進めている。



図 物流ドローンへの「みちびき」活用の規定化（進行中）

（3） 海外戦略

準天頂衛星システム「みちびき」は、地表面で8の字の軌跡を描く衛星軌道の特徴を持ち、利用可能な地域として、日本だけでなくアジア太平洋諸国においても無償で利用することができる。「みちびき」は現行4機体制であるが今後7機となり、さら

³⁷ https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/digital_architecture/lifeline.html

に将来、11 機体制への検討も進んでいる。「みちびき」の利用可能な範囲（信号を受信できるエリア）は更に拡大する見込みである。

利活用に関し海外展開を検討するにあたっては、準天頂衛星がカバーするアジア太平洋地域における展開（提供サービス、支援対象すべき地域）を迅速かつ戦略的に進める必要がある。

① 海外への提供サービス（高精度測位、災危通報）

準天頂衛星システムが海外に提供するサービスは、GPS 等の通常測位サービスに加えて「みちびき」独自のものとして、①高精度測位補強サービス（MADOCA-PPP）と②災害・危機管理通報サービス（EWSS）がある。

これらサービスは、準天頂衛星システムのエリア内であるアジア太平洋地域の国・地域に寄らず、「みちびき」の測位信号を受信できる者は誰でも無償で利用できる。

1) 高精度測位補強サービス（MADOCA-PPP）※デシメータ級

相対測位に比較して基準局や通信環境を用意する必要がなく受信機さえあれば高精度な測位が無償で可能となるため、発展途上国のような測位に関して環境が整わない地域においても、海上や農場等のオープンなエリアにおいて、高精度な測量や自動走行等の実現が可能となる。

2) 災害・危機管理通報サービス（EWSS）

発展途上国を中心に地上通信環境が整わない地域においては、自然災害などへの警報や情報提供が国全体に行えない国々がある。受信機があれば宇宙経路でメッセージを受信できる EWSS のシステムは、各国の防災・減災に寄与するサービスであり、現地の社会・経済が抱える課題解決に日本が示せる貢献となる。

また、2024 年 4 月からは、準天頂衛星システムがアジア太平洋地域に提供する 2 サービスに安全性と信頼性を付加する新機能、「信号認証サービス」（QZNMA）を付与している。

信号認証サービスの用途としては、「みちびき」の高精度測位機能を使えば道路のどのレーンを走行しているかも識別可能であり、レーンごとに料金設定をして、レーンの利用者を限定するなど交通流を制御できるロードプライシングや、世界的に漁業

（水産資源）での管理強化が進んでいるが漁獲した位置情報の欺瞞や詐称に対して有用性があるとされ、今後、信号認証サービスが社会の仕組み・必要な機能として組み込まれていくと見込んでいる。

なお、MADOCA-PPP は L6 信号で配信され、その専用受信機を必要とすることがサービス普及のネックの 1 つとなっていたが、上述の信号認証サービス（QZNMA）も同じく L6 信号を利用していることから、今後、L6 信号対応の受信機普及が両サービスによって相互に促進されることが期待される。

<官民による戦略的な展開>

準天頂衛星システムの海外展開に向けては、そもそも我が国の宇宙産業の全体として、国内市場のみではビジネスの市場規模が限定されるため、官民が一体となって海外展開の施策を検討する必要がある。

その際、展開を行う先の国・地域については、各国政府機関とともに民間企業の協力や最新の情報を得ながら検討を行うことが適当である。例えば、アジア太平洋地域では下記のように、これまで準天頂衛星「みちびき」の実証実施の有無による整理・分類を行い検討することが重要である。

A（既実証グループ）： 既に実証事業が行われ、利活用を促進する現地協力体制が整っている国・地域（例：ASEAN のうちタイ・インドネシア・フィリピン・ベトナム等）

B（未実証グループ）： 今後実証事業を実施していく予定の国・地域（例：東南アジア・オセアニア諸国の途上国）

まず、A（既実証グループ）の国・地域については、現在、リモートセンシングや宇宙通信などダウンストリームでの宇宙利用が活発になりつつある国・地域である。これらの国・地域に対しては、例えば、連携・協力の具体的アクションとしては下記である。

- ・ 衛星データ利用市場の共創
- ・ プロジェクトベースのマスタープランづくりや提案型の協力
- ・ 宇宙機関間の協力による能力構築支援

- ・大規模見本市への出展や国際会議の開催、官民 WS 等の政府がより積極的に仲介に入る形でのビジネスマッチング

一方、B 未実証グループの国・地域については、まだ日本からの多くの技術援助等が必要とされ、当該国・地域の社会課題の解決に対して宇宙技術適用と将来のビジネス化がこれから期待される国・地域といえる。こうした国・地域に対してのアクションとしては、下記が方向性といえる。

- ・政府開発援助を活用した社会課題解決についての宇宙技術利用の案件化
- ・留学生受け入れ等による人材育成・能力構築
- ・将来的なビジネスパートナーの発見・育成

<戦略的な展開①：地域別（二国間／バイ）>

準天頂衛星システムの海外実証などの展開によって、現地政府機関などと連携を深め、両国の産業連携につなげていくよう取り組む。そのためには現地の社会課題をよく把握・分析し、我が国企業が有する技術やサービスをうまく連携させて一つのソリューションとして示していくことが重要となる。

現地における社会課題は、国・地域ごとに異なり、人口問題、貧困・食料、環境・土木と幅広いものである。そのため、我が国内では、内閣府のみならず、関係府省庁を含めて官民一体となった体制を組み、支援対象となる候補国のニーズ、政治的状況、過去の我が国の支援実績、適切なカウンターパート機関の判断及びその実施体制等を考慮することによって、展開先の国・国民の利益にかなうサービスを提供していく。

例えば、日本企業が現地で宇宙の利活用プロジェクトの案件形成時においては、現地のニーズに合った実用的な観点で企画することが重要である。また、現地政府機関との調整や将来の技術移転に向けた人材育成などにおいては、国内の関係省庁各機関が持つ支援スキームを有機的に組み合わせた取組が重要となる。国内の関係省庁各機関では、普段から、お互いに情報共有や意見交換を活発に行う場・機会を設ける等の環境整備が重要である。

特に、発展途上国の多いアジア太平洋地域への準天頂衛星システムの展開については、サービス導入後も継続的かつ安定して現地へのケアを行うことが重要である。外務省、JICA、経済産業省、JETRO との連携を強化し、日本企業が、受信機などハー

ド面の整備支援だけでなく、現地での技術人材育成等のソフト面の支援を併せたパッケージ型の案件提案となるよう促す。

<戦略的な展開②：国際的な場（多国間／マルチ）>

上述地域別（バイ）のアプローチと併せて、我が国企業の海外展開促進のためには、上述地域の多くが参加するような国際的な場（マルチ）の活用も重要である。そういった場において、我が国企業の実証事業の展開の様子やその効果・影響についても広く認知されていく。実証した実施国のみならず、その隣国など市場が拡大することで、企業はより低コストでの展開も可能となるなどメリットもある。

衛星測位分野におけるマルチ会合としては下記の場合が、各国に影響をもって活動中である。今後、多くの官民関係者の参加を促していく。

1) ICG (International Committee on GNSS) ³⁸

国連宇宙局（UN-OOSA）管理下にある GNSS 専門家会合。GNSS を運用する各国代表と関係機関が集合、システム協調や利用推進の調整運用国のほか韓、NZ など関心国も参加。

2) MGA (Multi-GNSS Asia) ³⁹

ICG において提唱された複数 GNSS 実証実験キャンペーンをアジア・オセアニア地域で推進するために設立された国際団体。年 1 回、東南アジアでの GNSS 利活用に関する国際会議を開催、活動状況は ICG プロバイダーフォーラムに定期的に報告。

3) ION (The Institution of Navigation 米国航法学会) ⁴⁰

世界最大の航法に関する学会、GNSS 運用各国の代表や軍関係者も参加

4) APRSAF (Asia-Pacific Regional Space Agency Forum) ⁴¹

宇宙アプリケーションワーキンググループに、測位衛星も範疇

³⁸ <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/icg.html>

³⁹ <https://www.multignssasia.com/>

⁴⁰ <https://www.ion.org/about/>

⁴¹ <https://www.aprsaf.org/>

② 具体的な国別戦略（個別）

準天頂衛星システムは、海外向けの提供サービスとして、デシメータ級の高精度測位補強サービス（MADOCA-PPP）と災害・危機管理通報サービス（EWSS）を持っている。今後もこれら2サービスの海外展開を進めていく。

さらに、令和6年4月からの新サービスとして、信号認証サービス（QZNMA）についても今後、サービスエリア内の各国・地域に対してデモンストレーションなどで紹介を強化し、本サービスへのニーズを把握、展開を具体化していく（2024年2月に開催されたMGA年次会合のGNSSラウンドテーブルでは、アジア各国から「スプーフィングが増えている」との課題共有もあった）

以下、各サービスの個別国の状況・方向性について記載する。

<高精度測位補強サービス MADOCA-PPP>

高精度測位補強サービス（MADOCA-PPP）は、デシメータ級の高精度測位サービスである。当該地域上空の電離層のデータが得られれば、精度や開始までの準備時間の短縮など利用性が向上する。したがって、サービス提供の重要度については、各国の利活用推進に関する協力の程度に加えて、現地の観測局データ入手に関する協力の程度、の2軸で検討していく。後者の現地観測局データの入手においては、各国の電子基準点を管理する機関（測量機関等）を中心に関係を構築が必要となる。観測局データは国によっては安全保障情報の範疇となり提供に至ることが困難なケースもみられている。入手に伴う相手国とのこれまでの二国間関係・関係性、データ提供による相手国が得られるメリットなど深掘したユースケースを創出し、また、そのノウハウは、他国へと波及させていく。なお、現地観測局に関しては、我が国が電子基準点の海外展開を進めている国もあり、現地における高精度測位プラットフォーム（RTK）の展開として協調⁴²することも検討する（次ページ図を参照）。

⁴² RTKはLTEなど地上通信を必要とするが、MADOCA-PPPは測位衛星の信号のみで単独測位であり、地上通信のないエリアで活躍することが期待され、両者は競合するものではない。

利活用推進に関する協力

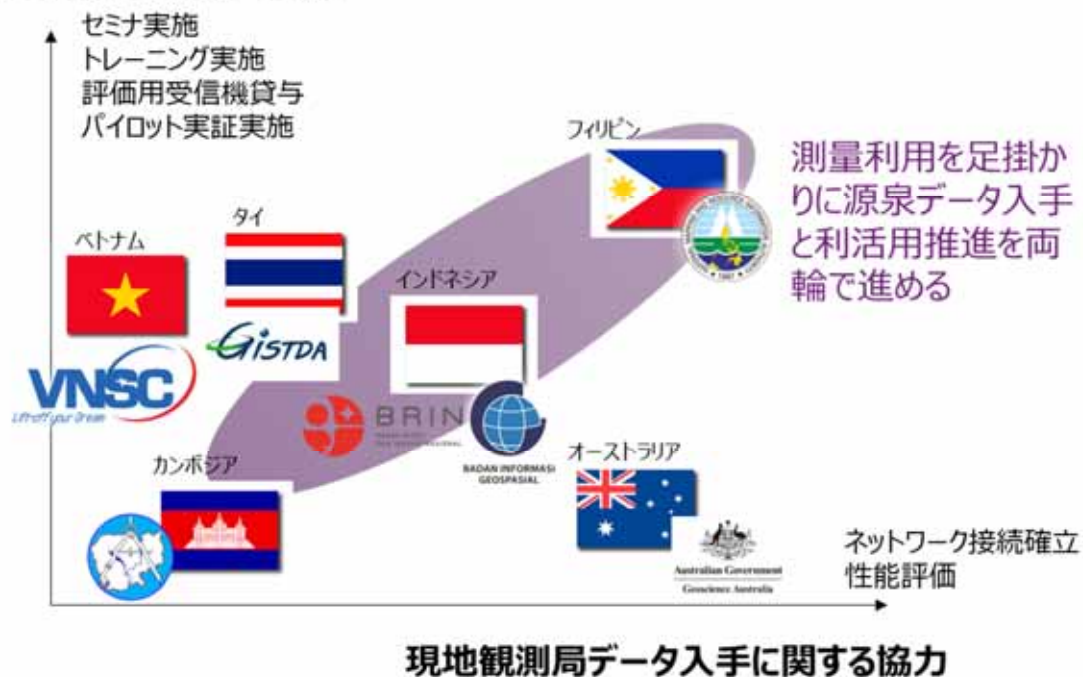


図 各国との協力進展状況と戦略

<災害・危機管理通報サービス EWSS>

実証3か国（タイ・フィジー・豪州）を軸とした展開を進めて行き、併せてデモ6か国（マレーシア・フィリピン・カンボジア・インドネシア・ネパール・バングラデシュ）の中から、次期実証国を3か国ほど選定し実証の準備を進めていく。

●フィリピン、インドネシア

MADOCA-PPP は、基準局や通信環境が無くても高精度な測位が可能という特徴より、海上や離島、農村地域等において特にニーズがあると考えられる。また、その収束時間を踏まえた有力な利活用先として、まずは測量分野が期待される。この観点において、離島を多く抱えるフィリピンやインドネシアにおいては、MADOCA-PPP が離島測量にかかる時間とコストの削減に寄与できると考えられるため、重点的に利活用推進に取り組んでいきたいと考える。具体的には各国の測量マニュアルにMADOCA-PPP を取り入れてもらうようなガイドラインの提供や技術支援を行っていく。

また、このような測量を担う機関は電子基準点⁴³を管理していることから、広域電離層情報の生成に必要な源泉データの協力も合わせて進めていくことで、収束時間の短縮を実現し、他のアプリケーションへの MADOCA-PPP 利用も推進したいと考える。

●フィジー等の太平洋島嶼国

フィジーを含む太平洋島嶼国は気候変動の観点から近年特に注目されている地域である。フィジーは、サイクロンや洪水といった自然災害に例年見舞われており、また今後気候変動の影響により災害の激甚化・頻発化等も懸念される。

準天頂衛星システムの災害・危機管理通報サービスは、これら災害に関する防災・減災に寄与できるサービスであり、現在行われている実証についても継続してフィジーの関係機関と連携しながら進めていき、最終的にはサービスの社会実装を目指す。加えて準天頂衛星システムが海外に提供するもう一方のサービスである高精度測位補強サービス (MADOCA-PPP) の導入検討も進める。フィジーは政府が主導する太平洋島嶼国協力推進会議において重点国とされており、当該国での導入を起点にその他島嶼国における展開も検討していく。

●タイ

日本とタイは、高精度測位に関する共同声明を 2015 年に発表しており、以降宇宙協力に関して連携を深めてきた。現在準天頂衛星システムが提供する高精度測位補強サービス (MADOCA-PPP)、災害危機管理通報サービス (EWSS) に関してはタイ国関係機関と連携して実証等を通じた社会実装を目指し協同して取り組んでいる。災害・危機管理通報サービスは、2023 年 1 月、2024 年 3 月に実証を実施している⁴⁴。

タイは ASEAN の政治経済だけでなく、宇宙技術アプリケーションセンターの事務局の役割も担っており、引き続き、タイ側と連携を強化して両サービスの本格導入・社会実装化を早期に実現すべく、取り組みを進めて行く。それらサービス活用や導入に関する最先端の動きと成果を、タイから周辺国に発信し波及を狙っていく。

⁴³GNSS 衛星のデータを常時受信し、通信装置により受信データをデータセンターに送信する機能を備えた固定局。海外においては、GNSS CORS(GNSS Continuously Operating Reference Station；GNSS 連続観測局)とも呼ばれる。

⁴⁴ 2024 年 3 月には実証現地へセター首相の視察があり、大鷹日本大使との面会も実施

（４） 利活用推進の環境整備

① 専用受信機（通信など利用プラットフォーム含む）

＜開発環境の整備（官民連携、ツール提供）＞

米国の衛星測位システム GPS には 50 年の歴史があり、小型・低廉化が十分に進んでおり、スマートフォンをはじめとした多種多様な用途で広く利用されている（サービス開始当初は、受信機もかなり大型であった）。

準天頂衛星システムの測位信号は、GPS と相互運用性の仕様を持たせており、現在販売されている殆どの関連機器内の受信機は、準天頂衛星システムからの信号を受信することが可能となっている（＝GPS 補完の機能）。

一方、準天頂衛星システム独自の各サービス（高精度測位、メッセージ機能）については、現時点（2024 年 4 月時点）では、既存の GNSS 受信機とは別の専用受信機が必要であり受信機メーカ各社による個別の対応が必要となっている。そのため、例えば CLAS 対応の GNSS 受信機が、RTK 対応機と同程度のサイズ・価格で一般的に販売されるまでには数年を要していた。

他方、CLAS の機能についての周知・理解が一定程度進んだこともあり、受信機に CLAS 機能が予め付加されたチップやデバイスも出回ってきている。ドローンメーカー等のユーザのエンジニアリング企業にとっても手軽に利用できる環境が整っている状況であり、今後いよいよ（GPS の普及時と同様に）、「みちびき」の専用受信機（チップ、デバイス）が小型かつ安価に普及していくことが期待される。こうした専用受信機の普及状況について、受信機等にかかわる企業や業界とコミュニケーションをとり把握していく。

今後も準天頂衛星システムは、MADOC-A-PPP や信号認証サービス等の新しいサービスや、L1C/B 信号への対応、7 機・11 機体制への拡張など随時、仕様の追加・変更が予定されている。今後もサービス開始やシステム展開の拡張を見据えて、タイミングよく受信機メーカが生産・販売を行えるよう、国内外の受信機メーカや国内外の有識者・関係機関に対して、前広かつ時間的な余裕をもって情報提供・周知を行っていく。新しい仕様の策定それ自体、官民でオープンに行うことも想定していく。

また、新サービスの試行運用や正式運用の初期においては、当該サービスの利用を検討しているユーザが容易にアクセスできる環境を整備することが利用拡大の促進に重要な要素であると考えることから、下記のツールや環境の整備を推進する。

- 1) リファレンスソフトウェアの公開
- 2) 配信データのインターネット公開
- 3) サービス性能評価の公開

1)リファレンスソフトウェアの公開

QZSS の各サービスの仕様や性能については、「みちびき」WEB にて IS・PS として公開しているが、ユーザが利用する環境での実力については実際に試してみるほかはなく、特に新サービスの試行運用や正式サービス開始初期においては、対応する受信機を用意することが困難であることが予想されることから、「みちびき」の利用拡大のためには、ユーザが容易に「みちびき」のサービスを試すことができる環境の整備が必要と考える。

これまでも国内関連企業・団体に限って CLASLIB や MADOCALIB といったサンプルソフトウェアを配布していた⁴⁵が、近年では海外の受信機、電子機器、半導体メーカーからの相談が増加しており、「みちびき」が他 GNSS に先駆けて提供するサービスに対する関心の高さが窺える。

これらの状況を踏まえて、当該ソフトウェアをオープンソースソフトウェアとしてライセンスを変更するとともに、配布条件を緩和し GitHub⁴⁶にて公開することで、全世界の企業・団体・学術機関が容易・自由・無償で「みちびき」のサービスを利用できる環境を整える。

なお、本公開の範囲としては、現時点では CLASLIB や MADOCALIB などの測位用ソフトウェアを想定しているが、その他「みちびき」のサービスに関連するサンプルプログラム等についても積極的に公開を検討する。

⁴⁵ みちびき Web <https://qzss.go.jp/>

⁴⁶ GitHub は、プログラムのソースコードを、オンラインで共有・管理するサービスであり、世界中のプログラマーによって使われている。<https://github.com/> 既に他国 GNSS（欧米のほか中国、ロシア）のサービスアプリケーションでも、GitHub 上でオープンされている（令和 6 年 5 月現在）

2)配信データのインターネット公開

ユーザ（開発企業含む）が、「みちびき」の独自サービスを評価・試用するためには、本来、直接、その測位信号を受信する必要があるが、サービス開始前を含む初期段階においては受信環境を整えることの困難が予想される。このため、リファレンスソフトウェアに加えて、配信データについてもインターネット上に公開しユーザが容易にアクセスできる環境を整備する。

現在、これらの配信データもリファレンスソフトウェア同様に、アーカイブファイルとして、「みちびき」WEBにて公開しているが、近年、研究が進んでいるスマートフォンでの活用など新しいユースケースの創出促進のため、Ntrip等を用いたリアルタイム配信での公開に向けた検討を進めこととする。

なお、Ntrip等の配信にあたっては、配信システムの負荷が膨大になる恐れ、従来から「みちびき」対応に取り組んでいる既存メーカへの配慮などを考慮し、利用者や利用期間を限定して進め、利用状況に応じた展開を行っていく。

3)ユーザに有用なサービス性能評価の公開

各サービスの性能評価結果も現在、「みちびき」Webを通じて公開している。半年毎の継続性や精度等について、あらかじめ設定されたサービス性能の仕様値との比較結果である。基本、運用者である内閣府がサービス全体の健全性を評価する指標であって、現状、ユーザが求めるエリア毎の日々の状態の変化を示すものとしては提供されていない。

このため、例えば、あるユーザが実地の環境下で実証等を行う際、測位結果について何かしらの課題が見つかった場合、その原因がユーザ側のデバイス・設置環境に起因するものであるのか、「みちびき」が配信する補強情報等の状態に起因するものであるのか等、原因の切り分けに必要となる情報をユーザが容易に得ることができず、ユーザの開発に支障をきたしている。

「みちびき」が提供するサービスの測位精度や Fix（位置収束）に要する時間等は常々、太陽活動や季節の影響を受けるものであることから、それらサービス性能評価の情報を常時公開して、サービスの信頼性の向上や開発ユーザの作業軽減に努めていく。

② 利活用人材の育成／コミュニティの形成

Society5.0の実現には地理空間情報の整備が必須であるため、衛星測位システムはその基礎インフラとなっており、研究開発・開発整備・運用・利活用を欠けることなく進めていくことが必要である。一方、米国や欧州と比較して、日本における衛星測位に関してそれら活動を行う人材は、産学官の全ての層において著しく不足している。衛星測位の仕組みを理解し活用する側／衛星測位サービスを提供する側の双方の人材確保・育成は重要な課題である。

衛星測位分野での人材確保・育成に向けては、利用市場の活性化や認知向上も併せて行う必要がある（＝将来市場のない分野に人材はこない）。内閣府では、業界全体を盛り上げる必要があるとして、行政が主導する形で「みちびきコミュニティ」を2018年から構成している⁴⁷。

本コミュニティでは、継続的なユースケースを創造し、事業化までの支援を目的とし、「みちびき」の認知拡大に向けた広報、事業アイデアの発掘促進と高度化に専門家の伴走支援を行う Meet UP 活動、事業化支援となる公募実証、そして、開発事業者を投資家や大企業に繋げるマッチングイベント等を実施し、業界全体として「開発→利用→市場拡大→投資拡大」との好循環サイクルを実現するようコミュニティ活動を行ってきた。

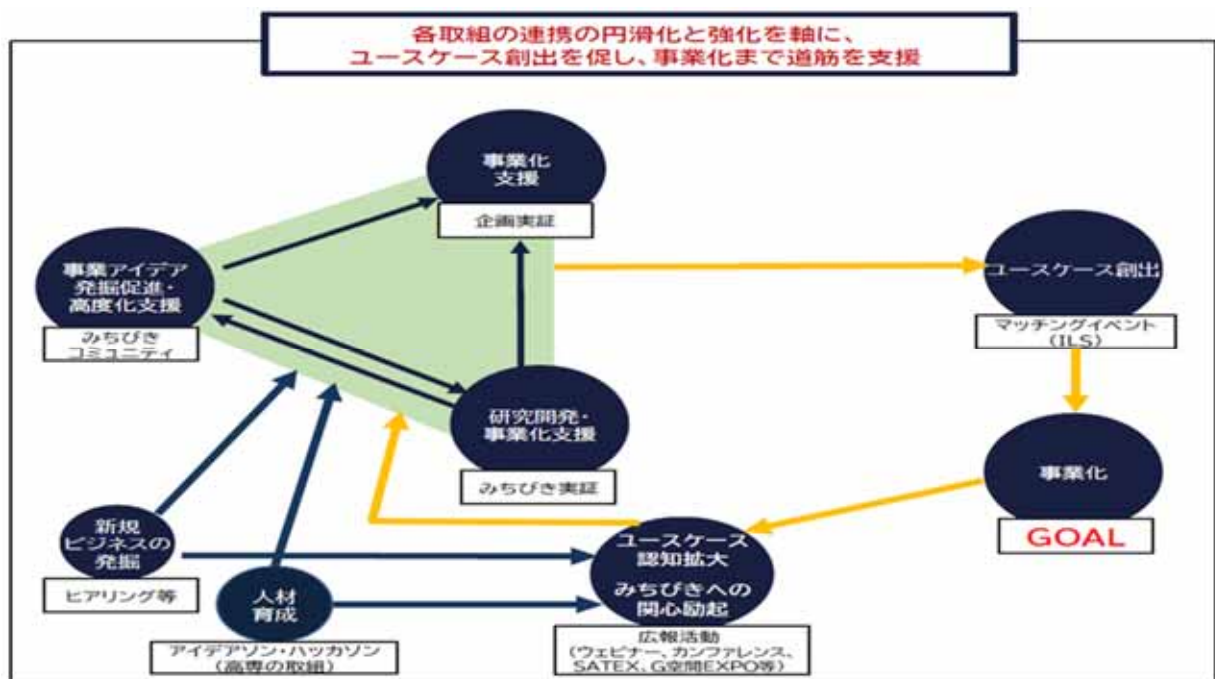


図 みちびきコミュニティ活動の全体図

⁴⁷ みちびきコミュニティのWEBサイト <https://qzss.go.jp/community/>

このような活動の成果として、「みちびき」対応の製品も市場に出回ってきている。今後、さらなる成果を生み出すため、官主導であった本コミュニティの見直しを図る。

例えば、宇宙に関連する他の民間コミュニティや、宇宙・電子電気工学の技術者が多く集まる学会やメディアといった技術者コミュニティと連携を深めていく。2024年度から2025年度にかけて7機体制を構築する時期を機運ととらえて、準天頂衛星システム「みちびき」について積極的に情報発信やイベントを行う。

<コミュニティ・人材育成に関する連携事例>

●将来の技術人材の育成（例：長岡工業高等専門学校との連携）

内閣府では、2020年から長岡工業高等専門学校と連携して、継続的な「みちびき」の専門技術と利活用ビジネスの人材育成を目的とした社会実装教育として学生によるアイデアソンを開始している。

本活動を全国の高等専門学校にも広めていくため、現地での講師が不要となるビデオ教材による授業を導入し、または低学年向けに短期授業のサマースクールを開設するなど、2023年には他の高等専門学校でも本アイデアソン活動に賛同し、各高専での半期授業や夏季授業などで取り組み始めている。今後としては、アイデアソンコンテストなど学生のモチベーション向上に繋がる施策の検討を行っていく。

●内閣府の各プログラム（RPD チャレンジ、S-Booster）

ーRPD チャレンジ： 内閣府は、MGA が2018年から産官学連携にて実施している能力構築プログラム Rapid Prototype Development (RPD)チャレンジを支援している。準天頂衛星の利用促進、GNSS 技術やアプリケーションの認知度向上、アジアのコミュニティとのネットワーク拡大、人材育成を目的としている。GNSS 受信機を提供し、実際に手を動かせる機会を提供し、準天頂衛星システム対応受信機やアプリケーションなどサービスの利用拡大を目指す。RPD チャレンジは、アイデアコンテストを超えた、実践的なハッカソンのプログラムであり、社会問題などをテーマに設定し、チーム毎に GNSS を活用した解決策を提案、専門家からのアドバイスを受けながら、限られたリソースでプロトタイプを短期間で作りあげデモンストレーションを実施している。

ーS-Booster： 内閣府では2017年から宇宙ビジネスアイデアコンテスト S-Booster を主催している。2019年よりアイデア募集をアジア・オセアニア地域まで拡大し、準天頂衛星をはじめとする日本の宇宙アセットの利用促進を行う。関係機関とスポンサー企業で運営し、関係省庁も協力官庁として参画している。単純なコンテストでは

なく、専門家によるメンタリングを通じて、ビジネスアイディアをブラッシュアップし、資金調達につなげ、実証/事業フェーズへつなげることを狙っている。最終選抜会では、投資家や大企業等の前でプレゼンテーションを行い、ビジネスマッチングを促進する。

●地域の社会課題解決に向けたネットワーク（S-NET）

内閣府と経済産業省は、「宇宙」をキーワードに新産業・サービス創出に関心を持つ企業・個人・団体等の連携を促進するため、「スペース・ニューエコノミー創造ネットワーク（S-NET）」を創設し、宇宙ビジネスの創出を主体的・積極的に推進する自治体を「宇宙ビジネス創出推進自治体」を選定している。S-NET に参画している自治体を通じて地域の産学官と連携し、地域の社会課題解決のためのツールとして、「みちびき」による高精度測位・災危情報を活用した取り組みを広げていく必要がある。

また、それ以外の自治体等に対しては、みちびきコミュニティの活動等を通じて他地域での取組事例やこれに関わる事業者の紹介等を行い、各地域における「みちびき」の認知度と利活用の向上に努める。

●国内の民間宇宙ビジネス拠点との連携

近年、日本においても、将来の宇宙関連のビジネス領域を担うスタートアップ（宇宙ベンチャー、ニュースペース）の起業が進んでいることを受けて、それら宇宙ビジネスの起業家と投資をしたい資本家、宇宙分野を新しい領域として見込む非宇宙産業が集まるビジネス拠点が自立的に設立されてきている⁴⁸。一般に、イノベーションの創出には優れた技術・サービスやその組合せ、そして資金のほかに、新たな活用場や解決策を提供する多様性も必要とされており、こうしたビジネス拠点が活性化していくことが期待されている。

このような宇宙ビジネスに関する民間拠点においては、技術・サービスやビジネスに敏い／ネットワークを有する人物が集まることから、準天頂衛星「みちびき」を含む衛星測位に関する技術・サービス動向のトピックを随時紹介し、あるいは、将来ビジネスに向けたアイデアソン・ハッカソンなどのチャレンジなど実施するなどして、認知の拡大や関連ビジネスに調整をしていく

⁴⁸ 国内の民間宇宙ビジネス拠点の例として一般社団法人クロス U <https://www.crossu.org/>、一般社団法人スペースタイム <https://spacetime.jp/> など

●各種メディアとの連携（新聞・雑誌、テレビ、ネット配信）

準天頂衛星システム「みちびき」は、一般的な測位機能として用いられている GPS 等の通常測位サービスのほか、高精度測位（CLAS、MADOCA-PPP 等）や災害危機メッセージ機能など独自のサービスを持っている。これらを有効に活用してもらう、すなわち、手元にある製品やサービスに組み込んでいただくためには、メーカ・ユーザの双方に、広くその存在や価値を知られている必要がある。これまで、準天頂衛星の打ち上げ時を中心に対外広報としての宣伝をしていたが、今後、より効果ある広報を実現していく。

具体的には、様々なメディア（国内外の新聞・雑誌、テレビ、ネット配信等）の影響等を踏まえ、マーケティング等を行い戦略的な広報を行う（伝えたいメッセージ（技術⁴⁹、部品、利活用）からターゲティングした宣伝・周知など）。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">・社会経済での意義・メリット ： 経済誌、経済紙、経済テレビ番組・新しいビジネス ： ビジネス拠点、ネットニュース・新しい技術・部品・サービス、活用法： 科学・技術系の専門誌、日刊紙 |
|---|

⁴⁹ 例えば、エレクトロニクス技術分野では、専門雑誌である「月刊トランジスタ技術」編集部など

（５） その他（今後の見直し）

最後に、準天頂衛星システムは今後の日本の社会・経済の活動や活性化に不可欠な重要なデジタルインフラである。政府は、本システムを、長期的に持続可能かつ効率的になるよう運用する必要がある。

<取組方針の見直し>

準天頂衛星システムは現在、7機運用の体制構築、及び、11機体制に向けた概念設計に取り掛かっているところであるが、開発や整備、及び、運用体制については社会環境の変化に合わせて、適宜、適切に修正を図る必要がある。そのため、本取組方針は今後、毎年度、見直していくこととする。

<有識者の声の取込み>

今後、システムの開発・整備・運用の見直し・検討において、専門の有識者の声をより伺い、深く反映させる体制が重要である。新たに「測位衛星WG（仮称）」を、宇宙政策委員会の下に設ける（例えば、衛星開発・実証小委員会の下に、宇宙工学や人工衛星、通信の専門家、さらに安全保障や経済など社会科学分野の専門家も含めたメンバーとするなど）

<PFI運用の見直し>

運用の面では、2033年3月、準天頂衛星システムの現行の運用に関するPFI契約が終了することに伴ってPFI方式での民間事業者の衛星運用が終了する。今後、次期の運用期間（2033年4月以降）をより柔軟かつ効率的な運用とすべく、現行の運用方式の成果（メリット・デメリット）の検証を、他の運用方式と比較参照しつつ、開始していく。

<公共利用の面>

なお、本取組方針には、準天頂衛星システムの民生利用の側面について主に記載している。公共利用の側面については今後、別途、検討を行う。

宇宙政策委員会／基本政策部会

※ 宇宙政策委員会： 後藤委員長（西武HD会長）
基本政策部会： 白坂部会長（慶応大教授）

衛星開発・実証小委員会

※中須賀委員長（東京大教授）

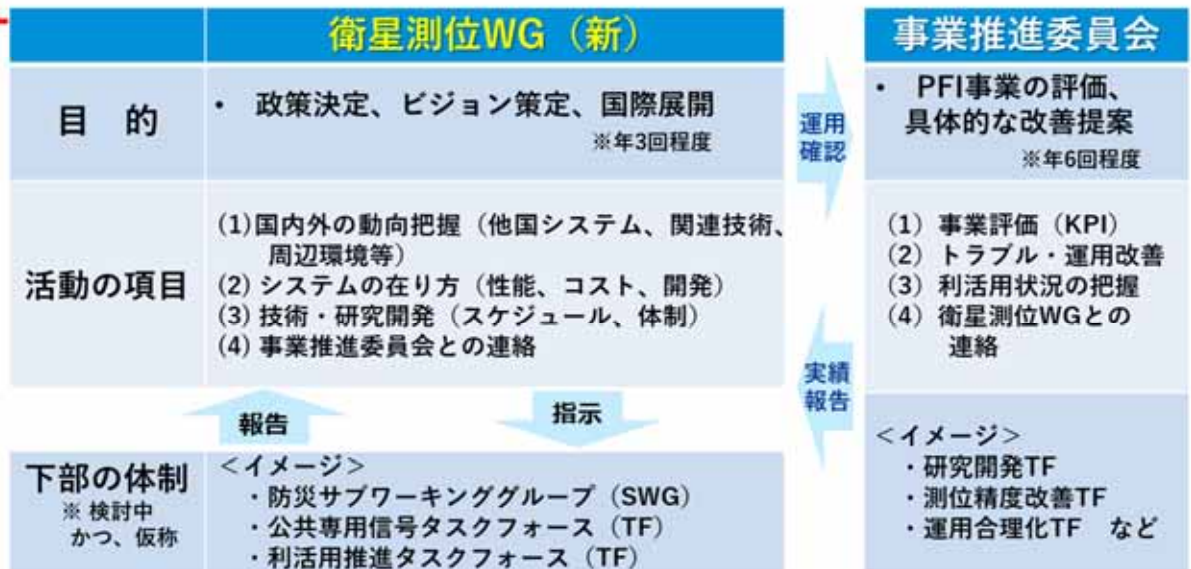


図 今後の有識者の声の取込み

【参考】 将来の衛星測位システムの方向性について

～ 宇宙技術戦略（令和6年（2024年）3月）の「衛星測位」から抜粋

宇宙技術戦略 （抄）

準天頂衛星システム関連のみ

宇宙政策委員会

令和6年3月28日

宇宙技術戦略（抄）

※準天頂衛星システム関連のみ

基本的考え方

策定の趣旨

「宇宙基本計画」（令和5年6月13日閣議決定）に基づき、世界の技術開発トレンドやユーザーニーズの継続的な調査分析を踏まえ、安全保障・民生分野において横断的に、我が国の勝ち筋を見据えながら、我が国が開発を進めるべき技術を見極め、その開発のタイムラインを示した技術ロードマップを含んだ「宇宙技術戦略」を新たに策定した。

本戦略においては、「衛星」、「宇宙科学・探査」、「宇宙輸送」、加えて「分野共通技術」の分野について、安全保障や宇宙科学・探査ミッション、商業ミッション、また、それらミッションに実装する前段階の先端・基盤技術開発に加え、民間事業者を主体とした商業化に向けた開発支援について、開発の進め方や重要性を検討し、可能な範囲で示した。関係省庁における技術開発予算に加え、10年間で総額1兆円規模の支援を行うことを目指す「宇宙戦略基金50」を含め、関係省庁・機関51が今後の予算要求、執行において参照していくとともに、最新の状況を踏まえたローリング52を行っていく。

重要技術の評価軸

開発の道筋を検討するに当たって、必要な宇宙活動を自前で行うことができる能力を保持（「自立性」の確保）するため、我が国の技術的優位性の強化に資する技術開発や、経済安全保障環境の変化を踏まえ、我が国の宇宙活動を支えるサプライチェーンが断絶するリスクを念頭に置いたサプライチェーンの強化（サプライチェーンの「自律性」の確保）に資する技術開発等を推進していく視点が重要となる。

このため、各分野において以下の評価軸に基づき、技術開発の重要性を総合的に評価した。

衛星、分野共通技術

技術的優位性

我が国の衛星産業の競争力の維持・発展の観点での重要性や、国内外市場における勝ち筋につながり得る技術を戦略的に支援していく。具体的には、機能・性能面、コスト・納期面での優位

⁵⁰ 「輸送」「衛星等」「探査等」の3つの分野において、宇宙技術戦略で抽出された技術項目を参照しつつ、技術開発テーマを設定し、スタートアップをはじめとする民間企業や大学等が複数年度（最大10年）にわたって大胆に技術開発に取り組めるよう、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）に新たに基金を設置し、支援するもの。

⁵¹ 内閣府、内閣衛星情報センター、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省、防衛省、JAXA、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）等。

⁵² 宇宙技術戦略において特定された取組を実施しながら、継続的に最新動向等を踏まえた改訂を行うこと。

性、開発ステージにおける先行性、輸出可能性等を評価した。また、当該技術を保有又は保有しようとする企業等が、国際市場で勝ち残る意志と技術、事業モデルを有するかについて評価した。加えて、現在技術成熟度の低い技術であっても将来的に競争力の発展等に重要な技術として先行する研究開発が必要な技術であるかどうか等を評価した。

自律性

我が国がシステムとして衛星開発を継続する上で、サプライチェーン上における重要性の高い技術とそれを支える施設・能力について支援していく。具体的には、当該技術のサプライチェーン上の代替困難度、調達自在性のリスクに加え、衛星システム構築のコア技術であるかどうか、衛星には通信、測位、観測、軌道上サービス、宇宙科学・探査等、ユースケースが広く存在するところ、様々なユースケース実現への影響があるか、現在技術成熟度の低い技術であっても、将来的に上記の自律性の観点から重要な技術として先行する研究開発が必要な技術であるかどうか等を評価した。

ユースケース

安全保障・民生分野横断的に、開発した先に当該衛星技術のエコシステムを支えるのに十分なユースケースや市場等が期待できるかについても評価した。技術的優位性又は自律性の観点で重要性が確認できる技術開発についても、本評価軸も比較衡量の上、支援について検討する。

宇宙科学・探査

(略)

衛星

I. (略)

II. 衛星測位システム

(1) 将来像

我が国が測位能力を自立的に確保するために整備が進められている準天頂衛星システムは、我が国の安全保障の確保、社会課題の解決や産業・経済の活性化、防災・減災、国土強靱化において必要な位置・時刻情報を提供する社会インフラとして、さらに、アジア太平洋地域における社会インフラとして、その役割を果たしていくことが期待されている。今後、7機体制の確立により、我が国の衛星のみで測位が可能となる持続測位を実現することで、必要不可欠な社会インフラとして、一層の活用が期待される。さらに、測位サービスの安定供給を目的としたバックアップ機能の強化や利用可能領域の拡大のため、7機体制から11機体制に向け、コスト縮減等を図りつつ、検討・開発に着手することとしている。

準天頂衛星システムが提供する先進的な高精度測位サービスの活用により、将来的には、除雪や点検といったインフラの維持管理作業の効率化や、自動車やドローン、農機等の自動化・無人

化によるスマートシティ、スマート農業の実現が期待され、人口減少に直面している我が国における労働力不足や高齢化等の社会課題の解決や、イノベーションによる日本経済の更なる活性化に大きく貢献すると見込まれる。このような将来を見据え、より使いやすい高精度測位サービスの提供を行うことで、高精度な地図等の地上側の情報と組み合わせたソリューションが社会実装され、更にそれが様々な分野に広がっていくことが期待される。

（２）環境認識と技術戦略

上記に向け、我が国が測位能力を自立的に確保するため、準天頂衛星システムの整備を進めていく必要がある。その際、システムとしての成立性を担保し、万一の事態が発生した際の供給不安を払拭するため、自律性の観点から、妨害・干渉に強い高精度な衛星測位システムとする技術開発及び開発整備が非常に重要である。（妨害回避機能の強化（ソフトウェア無線等）、時刻・位置決定の高精度化（光衛星間リンク、クロック技術、細密軌道制御技術、補正情報の精度向上・収束時間の短縮）、維持・運用の効率化（デュアルローンチ、運用自律・自動化）、小型・軽量・省電力化等）

さらには、ユーザーの利用端末の高度化や抗たん性やセキュリティ耐性の強化を通じた、利用領域及びユーザーの拡大に関する実証や技術の開発も重要となる。（受信機の信頼性・抗たん性・セキュリティ強化、受信機の高精度化、宇宙用受信機の適用領域拡大等）

妨害・干渉に強い高精度な衛星測位システム

i. 環境認識

衛星測位システムの一つである米国の GPS は、当初は安全保障用途として構築されたが、民間航空機が空路を誤ったことにより撃墜される事件が発生したことを機会に、安全な航行の確保を目的として民間にも一部のサービスが開放された。このため、基本的に測位システムは国家が主導して構築・維持・運用し、民間事業者が無料で提供サービスを使用するという構造になっている。現在は、スマートフォンのアプリケーションから金融取引まで、社会活動に関連する多様なユースケースに利用されており、チップ等を含む利用分野の市場規模は 2021 年時点で \$168B (Euroconsult Space Economy 2021) である。

民生産業においては、各国で様々なサービスに利用されており、衛星測位サービスは社会に根付いたものとなっている。その中でも、我が国は、世界に先駆けてセンチメートル級の高精度測位サービスを提供しており、自動走行や自動農機等への導入が進んでいる状況であり、今後モバイルヘルスや自動運転等の人命に関わるクリティカルなユースケースを実現するために、更なる測位精度やサービス品質の向上、停止期間の短縮が求められている。

安全保障においても衛星測位システムは利用されており、軍事演習等で妨害・干渉事例が顕在化しているに伴い、世界的に、妨害耐性・抗たん性の強化が急務となっている。具体的には、米国において約 50 年ぶりとなる測位分野の技術実証衛星 (Navigation Technology Satellite-3 : NTS-3) を 2024 年に打ち上げ、電子走査アンテナやソフトウェア無線機等を組み合わせて活用することにより、配信信号エリアを限定することによる信号強度強化や周波数を変更することで妨

害を回避すること等の抗たん性向上技術の実証が予定されている。同様の技術は、欧州においても次世代測位衛星に搭載予定であり、2025 年までに打上げ予定である。

一方、民生分野において、米国の Globalstar、Iridium 等の低軌道通信衛星に測位ペイロードを相乗りさせ、測位信号を配信している事例や、米国の Xona 社や中国の Geespace 社等のように、低軌道通信衛星との相乗りではなく、低軌道測位コンステレーションを民間主導で構築する事例も見受けられる。しかしながら、新たにこのような低軌道測位コンステレーションを構築するには、十分な数の低軌道衛星や周波数を確保する必要があることから、容易ではないと考えられる。なお、周波数については他国にて既存周波数帯との干渉を踏まえて別の（例えば C 帯）周波数利用を検討する動きも見られる。

ii. 技術開発の重要性と進め方

現在、世界には、GPS（米国）、GLONASS（ロシア）、Galileo（欧州）、北斗（中国）、NavIC（インド）、準天頂衛星システム（日本）の 6 つの衛星測位システムが存在しており、これらは、継続的に測位精度やサービス品質の向上や停止期間の短縮が進んでいる。例えば、測位衛星の精度の指標の一つである SIS-URE⁵³は、GPS や準天頂衛星では約 0.8m（95%）程度だが、Galileo は約 0.2m（95%）程度と現段階で先行している。測位衛星も国際競争の時代に入っており、精度や安定性等の観点から他国の衛星測位システムに劣後してしまうと準天頂衛星システムが将来的に使われなくなってしまう懸念があるため、我が国も継続的な技術開発やその実証を実施していく必要がある。

例えば、測位精度の更なる向上のためには、衛星が送信する位置・時刻情報を更に正確なものとするのが戦略的に必要である。そのために、光時計やアンサンブルクロック等の超高精度クロックシステム技術や、光衛星間リンク等を用いた高精度軌道時刻推定技術に取り組む必要がある。さらに、高精度測位サービスにおいては、補正情報の精度向上やリアルタイム化が求められる。また、測位サービス品質を高め、停止期間を短くするためには、 ΔV 制御高度化等の細密軌道制御技術が必須となる。加えて、衛星測位システムを継続的に運用していくためには、衛星打上げコストを継続的に削減する必要があり、衛星バス、測位ペイロードの小型・軽量・省電力技術や、デュアルロンチ化技術、運用自律・自動化が不可欠である。

また近年、スプーフィングやジャミングの事例が増加している。例えば、ロシアによるウクライナ侵略後、カーニングラードや黒海、東地中海、フィンランド東部においても、スプーフィングやジャミングが報告されており、安全保障分野を中心に、これらへの対応として、拡散コード認証等による信頼性向上とソフトウェア無線等による抗たん性強化に取り組むことが必須となる。

さらに、主要部品の国産化にも並行して力を入れて取り組むことも戦略的に必要である。例えば、測位衛星の心臓部となる原子時計については、我が国以外の 5 つのシステムは自国製のものを搭載している一方で、現状では、我が国の準天頂衛星には他国製の原子時計を搭載せざるを得ない状況がある。自律性、コスト、調達期間等の観点から、このような状況を解消していく必要

⁵³ SIS-URE: Signal-In-Space User Range Error の略。衛星に起因する衛星とユーザーを結んだ線の方角の誤差。

があり、段階的な国産化を進めるなど、適切なサプライチェーンを構築・維持し、最終的に国産化を可能とする実現可能性が十分にある道筋を作ることが重要である。

これらのことから、準天頂衛星システムについて、7機体制に向けた開発・整備・運用やバックアップ機能等を強化した11機体制に向けて検討・開発に着手することが非常に重要であることに加え、民生・安全保障共通して、測位精度やサービス品質を向上させる時刻・位置決定の高精度化(光衛星間リンク、クロック技術、細密軌道制御技術、補正情報の精度向上・収束時間の短縮)、これに加え衛星開発・打上げコストを継続的に削減する維持・運用の効率化(デュアルロンチ、運用自律・自動化)、小型・軽量・省電力化の開発、安全保障分野を中心に必要となる、妨害・干渉への耐性を強化する妨害回避機能の強化(ソフトウェア無線⁵⁴等)について、上述のとおり自律性等の観点から主要部品の国産化を図りつつ1つのシステムとして推進することで、高精度で妨害・干渉に強い測位システムを実現していくことが、非常に重要である。

利用領域及びユーザーの拡大に関する実証や技術の開発

i. 環境認識

民生分野における受信機のうち、位置・時刻情報に関するものは、マスマーケットでの利用が既に広まっており、スマートフォン等の一部として民生市場の中で利用が進んでいる。この分野は生産数が多いことから、小型・軽量化、低コスト化が進んでいる。一方、準天頂衛星システムが提供する、世界的にも先進的な高精度測位サービスに対応した受信機については、マスマーケットのものより大型・高価であったが、近年は小型化・低廉化が進んでおり、継続的に産業用機器等での利活用が今後も進捗する見込みである。具体的には、準天頂衛星システムに係る国内市場規模は、2021年の約4兆4,039億円から2030年に約18兆8,843億円へ成長することが見込まれるという試算が存在する。⁵⁵また、海外に対しても、準天頂衛星システムという測位システム単体での展開ではなく、例えば農業、工業、測量といった個別のソリューションの提供と一体となって準天頂衛星システムを展開していくことによって、今後、関連市場がより広がっていくことが期待される。

特に、我が国の生活を支える基盤である重要なインフラにおいても、衛星測位システムは必要不可欠な存在となっている。例えば、証券取引所・金融情報サービス企業と証券会社・投資銀行のトレーディング基盤の間や証券会社・投資銀行の拠点間の時間遅延を検知するためには、協定世界時(UTC)との同期誤差が数十ナノ秒レベルであることが必須であり、これを満たすことができる測位衛星が利用されている⁵⁶。航空分野においては、準天頂衛星システムと連携して衛星航法システム(SBAS)が運用され、航空機の航法性能向上が図られている。また、携帯電話におい

⁵⁴ ソフトウェア無線(SDR, Software-defined radio)は、ハードウェアに変更を加えることなく、システムを制御するソフトウェアを変更して無線通信方式を切り替えることを可能とする無線通信技術である。一般的に広い周波数範囲において多くの変調方式が可能となるように、ソフトウェアが汎用性の高いプログラム可能なハードウェア(電子走査式アンテナ等)を制御するものである。

⁵⁵ 内閣府宇宙開発戦略推進事務局調べ。

⁵⁶ 宇宙政策委員会宇宙安全保障部会第29回会合(平成30年9月20日)の三井物産セキュアディレクション株式会社資料。

でも、基地局間の電波発射のタイミングの同期を取るための手段として、衛星測位システムが提供する時刻情報が広く活用されている。仮に、我が国において 30 日間測位衛星が停止してしまった場合、その経済損失は、2021 年時点で 9,057 億円、2030 年時点で 18,950 億円に達するとの試算がある。57 重要なインフラは民間企業等の各主体で運用されているが、GPS のみではなく準天頂衛星も活用するような対策を講ずることにより、万一、GPS が利用できなくなった場合のシステムの安定性を高めることができると考えられる。

これに加え、従来は測位システムの利用対象領域としていなかった静止軌道や月近傍においても、受信機の受信感度の向上や測位衛星の SSV58 における情報が利用できるようになったことで、今後利用の拡大が見込まれており、静止衛星である ETS-9 では測位精度が求められる GPS 航法を基盤とした自律的な軌道制御を試みる予定である。

安全保障分野では、従来から測位システムが国家主導で開発が進められてきた背景から、例えば米国の NTS-3 においては、米国の AFRL59 が主導する形で、ユーザーのソフトウェア受信機と衛星搭載のソフトウェア無線機を統合的に実証するための研究開発が取り組まれており、衛星の打上げと同じく 2024 年ごろに全体システムとして実証される計画である。欧州においても、2016 年から初期サービスを提供している PRS サービス60対応の受信機について、小型化・製造コスト削減に向けて EUSPA61が「ULTRA (Ultra low-cost PRS Receiver)」プロジェクトを推進することで、厳しいセキュリティ制約が課される中でもユーザー利便性の高い受信機となるよう取り組まれており、今後、小型化されたユーザー機器の開発が進む見込みである。

ii. 技術開発の重要性と進め方

衛星測位システムを利用するためには、測位衛星から配信される信号を受信し、位置・時刻を決定する受信機が必要であり、スマートフォンに内蔵されているチップを始め、衛星搭載品や防衛装備品等、様々な製品がユーザーの利用端末となっている。また、衛星測位システムの利用拡大に当たっては、RTK62の代替サービスとしての位置付けも含めた MADOCA-PPP の実用サービスの提供等により地上での利用を加速化させることや、7 機体制における性能向上した SBAS 運用により航空機の航法性能向上を図ることが非常に重要であるが、それにとどまらず、宇宙での活用も有望視されている。例えば近年は、測位衛星より低い軌道の衛星だけでなく、静止衛星による利用や月近傍でも利用が想定されている。静止軌道を含む高高度衛星や月近傍等の新たな

⁵⁷ 内閣府宇宙開発戦略推進事務局調べ。

⁵⁸ Space Service Volume：高高度（GNSS 衛星の近く又は、より高い高度）の軌道にいる GNSS のユーザー、国連により Interoperable GNSS Space Service Volume (SSV)として、低軌道から静止軌道までの基準信号性能を文書化、定義している。

⁵⁹ Air Force Research Laboratory

⁶⁰ Galileo Public Regulated Service：政府公認のユーザーや高い継続性を必要とする機密アプリケーション向けの暗号化されたナビゲーションサービス。

⁶¹ European Union Agency for the Space Programme：2021 年に設立された欧州連合宇宙計画庁(EUSPA)は、当初 2004 年に European Global Navigation Satellite Systems Agency (GSA)として創設された宇宙機関であり、欧州連合宇宙計画を管理する欧州連合の機関である。

⁶² RTK: Real Time Kinematic の略。携帯電話ネットワーク等を用いた高精度測位システム。

領域での利用には、地上での利用とは異なりサイドローブ⁶³のような微弱信号を用いた測位技術を利用することになる。そのため、微弱信号を受信できる機器の開発や、測位信号を受信する衛星側で高精度測位信号を処理できるオンボード PPP(Precise Point Positioning)等に取り組むことが非常に重要である。

また、利用ユーザーの更なる拡大には、実証等を実施し利用者のニーズを把握しそれに対応していくことも含め、測位精度の向上に加え、衛星からの信号になりすまし正常な測位を妨害するスプーフィング等の脅威が増加していることを踏まえた抗たん性やセキュリティ耐性の強化も重要となる。

具体的には、利用ユーザー拡大に必要となる測位精度の向上、抗たん性やセキュリティ耐性の強化及び受信機の小型・低コスト化といった高付加価値化の観点から、高高度・月近傍対応マルチ GNSS 受信機や衛星オンボード PPP、受信機用チップスケール原子時計、アダプティブアレイアンテナ、マルチパス⁶⁴対策に資する信号処理技術、次世代受信技術（アルゴリズム）等の受信機の高精度化と複数情報源に基づく偽情報対策、認証やソフトウェア受信機と電子アンテナを利用した妨害回避等による受信機の信頼性・抗たん性・セキュリティ強化に関する実証や技術開発を実施することが重要である。これに加えて、利用領域拡大に必要となる宇宙用受信機の適用領域拡大の開発を推進することで、利用領域及びユーザーの拡大を実現することが重要である

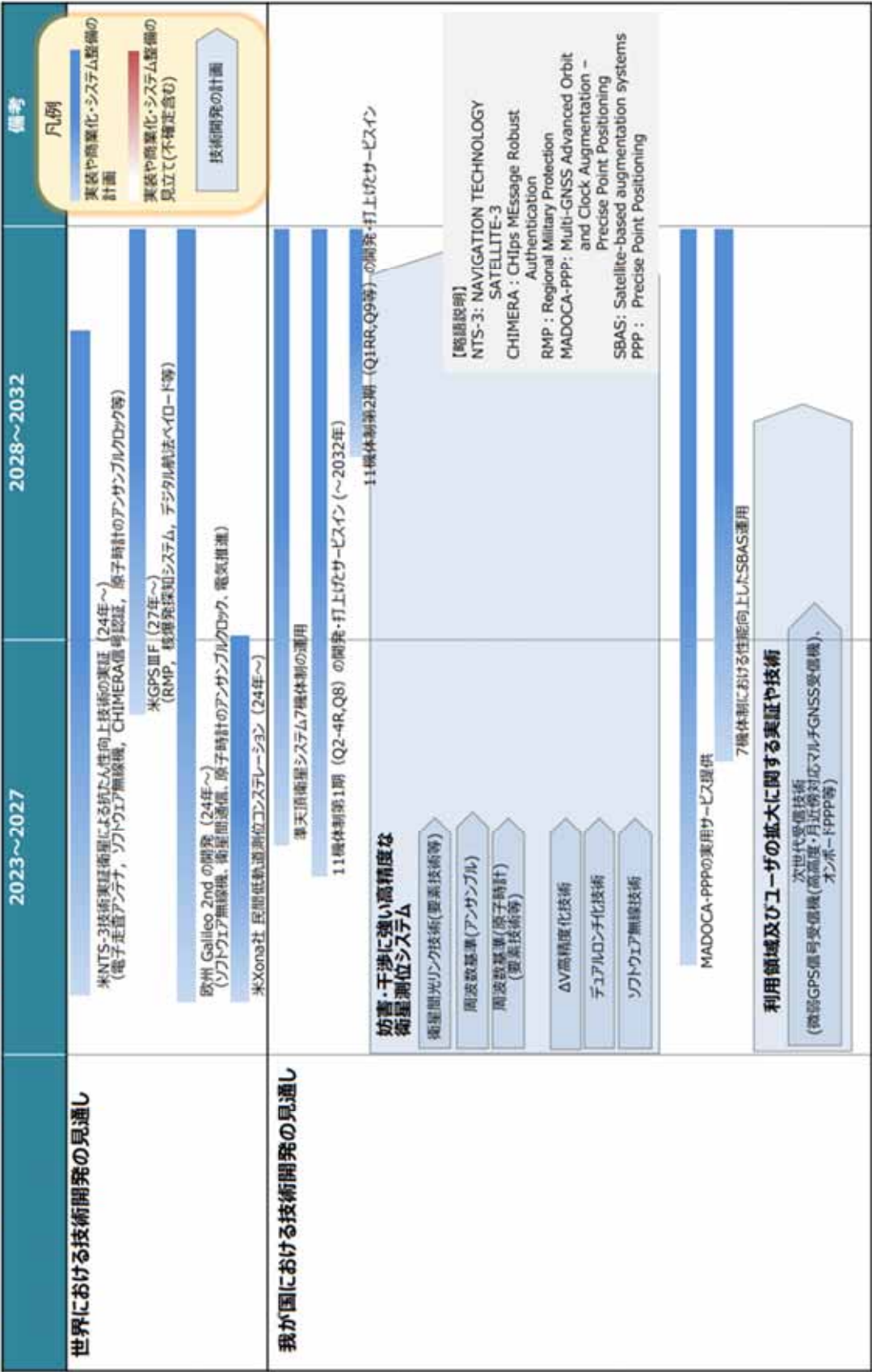
III. リモートセンシング

(略)

⁶³ アンテナの電波を放射状に示した際に、主に使用する信号強度・感度強い部分のメインローブに比して、信号強度・感度がわずかに生じている部分を指す。

⁶⁴ 電波が発信源から受信点まで直進するだけでなく、山やビルなどに反射して複数のルートを通して伝播する。

衛星測位システムの技術ロードマップ



II. 衛星測位システム

- 準天頂衛星システムは、位置・時刻を提供する必要不可欠な社会インフラ。自動化・無人化等により、労働力不足等の社会課題の解決や、イノベーションによる経済の活性化が期待される。
- 我が国が測位能力を自立的に確保するため、必要な技術開発及び開発整備等に取り組む。

妨害・干渉に強い高精度な衛星測位システム

- 自律性等の観点から主要部品の国産化を図りつつ、測位精度やサービス品質を向上させる時刻・位置決定の高精度化等に取り組む。
- 他国の測位システムに劣後しない社会インフラを開発・維持することにより、我が国の測位能力を自立的に確保。

測位衛星に必要な機器の国産化（例：原子時計）

 GPS (米) グラース (露) ガリレオ (欧) 北斗 (中) 北斗 (印) 準天頂衛星 (日本)	自国製の原子時計を搭載
 準天頂衛星 (日本)	他国製の原子時計を搭載

原子時計の国産化が必要

水素メーザー原子時計
【出典】ESA

重要な技術開発：

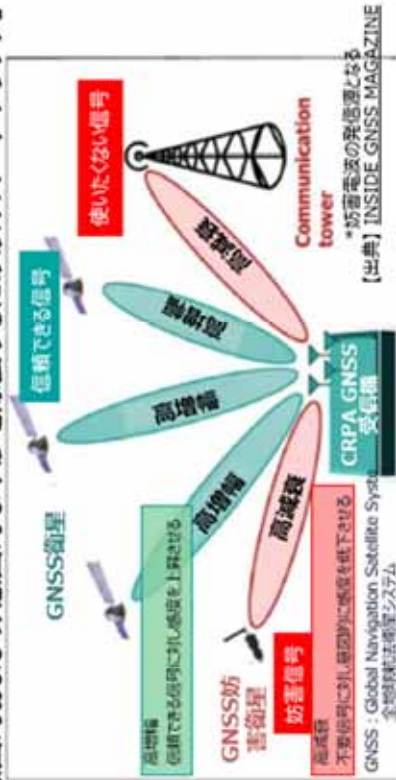
- ✓ 準天頂衛星システムの7機体制に向けた開発・整備運用、11機体制に向けた検討・開発の着手
- ✓ 高精度で妨害・干渉に強い測位システムの実現に向けた技術（時刻・位置決定の高精度化技術、維持運用効率化技術、小型・軽量・省電力化技術、妨害回避機能強化技術等）

利用領域及びユーザの拡大に関する実証や技術の開発

- ユーザーの利用端末の高度化や抗たん性やセキュリティ耐性の強化を通じた、利用領域及びユーザの拡大に関する実証や技術の開発に取り組む。

➢ 今後の関連市場の一層の広がり貢献。

意図的および非意図的な干渉を除去するための「スマートアンテナ」



重要な技術開発：

- ✓ MADOCA-PPPの実用サービス、SBAS運用による航空機の航法性能向上
- ✓ 受信機高精度化、信頼性・抗たん性、セキュリティ強化技術等 8