

# 宇宙技術戦略 測位に関する市場戦略・開発技術について

一般財団法人衛星システム技術推進機構  
Advanced Satellite Systems Technology Center (ASTECC)

2024年 1月

## ▶ 民間：多岐にわたり社会活動の一部（コンシューマ市場と自動運転関連が大半） 衛星測位システム開発の方向性に決定権は現状有していないが、クリティカルなユースケースを実現するため、測位精度・サービス品質の向上、停止期間の短縮を求められる。

	<b>農業</b> ：新しい技術が農業部門を新たなフロンティアへと押し進めている。GNSSは、従来の農業アプリケーションからInternet-of-Things、ブロックチェーン、Agri-fin tech、バリューチェーン管理まで、これらの進化を実現する重要なドライバーであり、イネブリーダーと考えられています。GNSS対応の家畜用ウェアラブルは、動物福祉を向上させるエキサイティングなトレンドとして台頭している。
	<b>航空・ドローン</b> ：COVID-19により世界の航空交通は大きな打撃を受け、航空会社は機材の整理統合を行い、古い航空機は優先的に退役させるという対応をとった。一方、高度化するドローン運用の需要によって強化される、ナビゲーションと監視の標準は進化を続ける。
	<b>生物多様性・エコシステム・自然資本</b> ：生物多様性、生態系、自然資本の分野では、GNSSビーコンは、移動、生息地、行動を監視する目的で動物の地理的位置を特定するために使用されている。これらはより正確になってきており、追加の生物多様性アプリケーション（例：植物マッピング）が出てきています。
	<b>気候サービス</b> ：GNSSは気候サービスの分野では限定的だが重要なアプリケーションを持っている。この技術は、地球の気候に直接影響を与える地球の特性（磁場、大気）を測定する様々な測地アプリケーションをサポートしている。GNSSは、成長する気候モデリング市場において、より大きな役割を果たすと期待されている。
	<b>消費者ソリューション・旅行・健康</b> ：GNSSは、私たちの日常生活を円滑にするためにますます利用されるようになっていく。訪問のピーク時間を監視する状況認識アプリから、非接触型配送や個人用フィットネスアプリ（ウェアラブルデバイスで駆動）まで、ナビゲーションと測位情報は重要な役割を果たしている。
	<b>緊急対応・人道支援</b> ：年間2,000人の命を救うと推定されるGNSSベースのCOSPAS-SARSATプログラムの新しいIMEOSARシステムは、GNSS対応の捜索・救助ビーコンの適切な使用に立脚している。現場では、GNSSは緊急対応や人道支援をコーディネートするための貴重なツールとなっている。
	<b>エネルギー・原材料</b> ：電力網の監視と管理はGNSSのタイミングと同期に大きく依存し、需要と供給のバランスを取り、安全な運用を可能にしている。原材料の分野では、拡張GNSSの利用が増加し、場所の選択、計画、監視、また探掘監視活動や探掘機械のガイダンスをサポートしている。
	<b>水産資源・アクアカルチャー</b> ：GNSSは、VMSやAISなどのアプリケーションを通じて、漁業活動の効率的かつ効果的な監視のために重要な役割を果たしている。これらの活動の持続可能性への注目が高まり、農地が減少し、食料需要が増加するにつれ、GNSSアプリケーション自体の需要が高まっている。

	<b>森林</b> ：GNSSは、森林の持続可能性を監視し維持するための非常に貴重なツールになりつつある。精密な林業管理だけでなく、GNSS対応のUAVやトラッキングデバイスを使用することで、木の健康状態や木材サプライチェーンの効率性を確保することも重要な新興トレンドとなっている。
	<b>インフラ</b> ：GNSSは、インフラストラクチャの運用を適切に機能させることに貢献している。高精度なサービスを提供することで、安全かつ期限内に工事を完了させ、通信ネットワークの同期をサポートします。5Gへの移行に伴い、GNSSタイミング&シンクロナイゼーション機能は、通信ネットワークの運用においてますます重要な役割を果たすと期待されている。
	<b>保険・金融</b> ：金融の世界では、金融取引の正確なタイムスタンプのために、GNSSのタイミングと同期に依存している。一方、保険会社は、より正確で迅速な保険金支払いのため、GNSS対応のUAVに注目している。
	<b>海運・水運</b> ：GNSSは、パンデミック時に世界の海運と港湾活動を監視するためのデータインサイトを提供し、その多用途性を示した。将来を見据えて、自動化と5Gが港湾に技術的な進歩をもたらすと予想される中、GNSSは単にナビゲーション情報を提供するだけでなく、その役割を拡大し続けていくと考えられる。
	<b>鉄道</b> ：GNSSは、非安全関連のアプリケーション（例：資産管理）の基礎の一つになりつつあり、加えて、強化されたコマンド&コントロールシステムなど、安全関連のアプリケーションにGNSSを将来採用することで、鉄道ネットワークの容量を増やし、運用コストを下げ、新しい列車の運行を促進すると期待されている。GNSSがデジタル化の一翼を担っているおかげで、鉄道はより安全で、より効率的で、より魅力的になってきている。
	<b>道路・自動車</b> ：自動車の生産と販売が世界的に減速しているにもかかわらず、より安全な自律走行車のための規制は軌道に乗っており、GNSSが重要な役割を果たしていることは間違いない。車載システムが位置決め、ナビゲーション、タイミングの主要な供給源であり続ける中、公共交通機関がそのサービスを向上させるためにGNSSをますます採用するようになっていることはさらに明らかだろう。
	<b>宇宙</b> ：リアルタイムGNSSデータを絶対および相対宇宙船ナビゲーションに使用することから、そこから地球観測測定を導き出すことまで、GNSSは宇宙空間でのアプリケーションにもその価値を証明している。ニュースペースのパラダイムに後押しされ、宇宙ユーザーの多様化と急増により、スペースベースGNSSベースのソリューションに対するニーズが高まっています。
	<b>都市開発・文化的遺産</b> ：この分野では、GNSSベースのソリューションは、EOと組み合わせ、都市部の正確な測量や地図作成、建築環境の高度な3Dモデル構築に使用されている。人口の56%以上がすでに都市部に住んでおり、この数は増加すると予想されているため、GNSSを利用したデジタルソリューションは、持続可能な成長を支えるためにこれまで以上に必要とされるだろう。

時刻情報が重要

## GNSS(GPS)が停止した場合の経済的影響を試算

➤ 米国だけで、約10億\$ / 1day、30日間継続すると最悪450億\$ 超の損失と試算

Table 14-2. Potential Impact of a 30-Day GPS Outage

Sector	Specific Analytical Focus	Potential Losses (\$ million)
Electricity	Electrical system reliability and efficiency	\$275
Finance	High-frequency trading	Negligible
Location-based services	Smartphone apps and consumer devices that use location services to deliver services and experiences	\$2,859
Mining	Efficiency gains, cost reductions, and increased accuracy	\$949
Maritime	Navigation, port operations, fishing, and recreational boating	\$10,411
Oil and gas	Positioning for offshore drilling and exploration	\$1,520
Surveying	Productivity gains, cost reductions, and increased accuracy in professional surveying	\$331
Telecommunications	Improved reliability and bandwidth utilization for wireless networks	\$9,816
Telematics	Efficiency gains, cost reductions, and environmental benefits through improved vehicle dispatch and navigation	\$4,137
<b>Total, Excluding Ag.</b>	<b>If the outage were not to occur during critical planting seasons</b>	<b>\$30,298</b>
Agriculture	Precision agriculture technologies and practices	\$15,122
<b>Total, Including Ag</b>	<b>If the outage were to occur during critical planting seasons</b>	<b>\$45,420</b>

【位置情報サービス】  
スマホ等を通じたコンシューマサービス

【Maritime】  
航法、港湾管理、漁業等

【通信】  
無線通信、通信を通じた効率化(配車など)

【農業】  
精密の農業等

Note: Range of potential losses is \$16 to \$35 billion, before accounting for losses of about \$15 billion if a 30-day outage were to occur during critical planting seasons for U.S. farmers.

\*NIST試算

出典：“Economic Benefits of the Global Positioning System (GPS)” Final Report, June 2019, Sponsored by National Institute of Standards and Technology, Prepared by RTI International

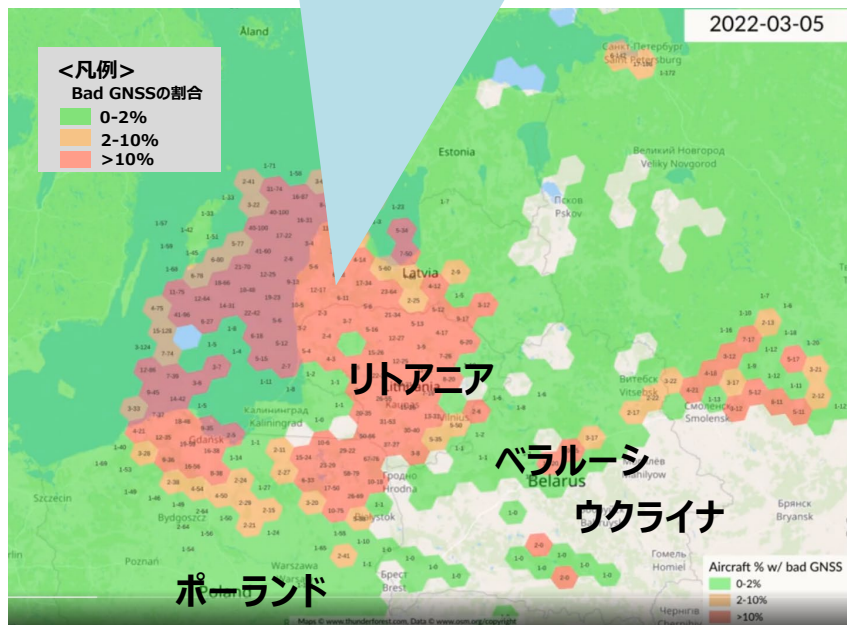
# 測位：市場動向・将来トレンド（安全保障ユースケースの例） 23-001-R-017a

- ◆ ロシアの妨害により、民間航空機等の民間インフラへの影響が顕在化も妨害は検知可能
  - ✓ 安全保障用途への影響は公開されずらいこともあるが、基本的には発生していないとされている
  - ✓ GLONASS(露)の信頼性が低いためロシアもGPSを利用しており、本格的な妨害でない可能性あり

[補足]米国は『Harmonious Rook』(開発:Orbital Insight社)にて開発したシステムを軍事演習で利用

- 妨害の影響でリトアニアの航空会社の航空機が運行中止
- 軍事コードではなく、民生コードへの影響が主とされている

2/24の侵攻に先立ち、GPS干渉が継続的かつ増加していることを指摘



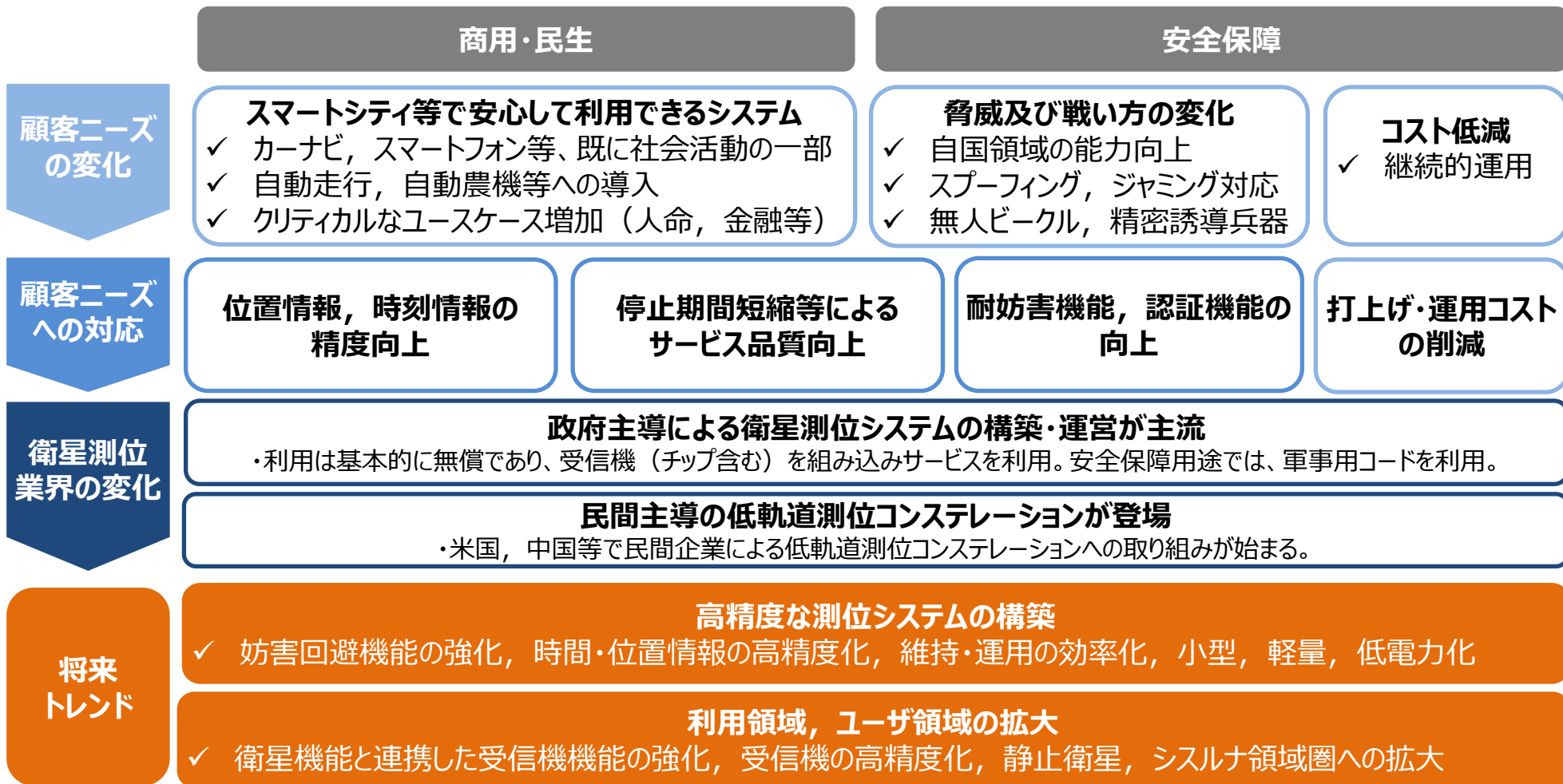
近隣国で発生したGPS干渉（2022年3月5日）



ウクライナ付近で発生しているGPS干渉  
(HawkEye360社(米)発表)

出典) [妨害事例1](#), [妨害事例2](#)

- 社会活動の一部となっている衛星測位サービスは、**継続的な高精度化**が求められる。
- **精度向上，対妨害性の強化**に加え、**可用性，信頼性の向上**も求められる。



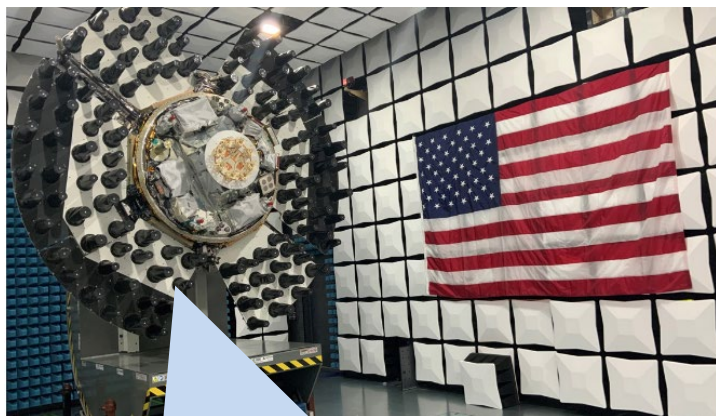
- **米国**は、GPS後継に加え、**NTS-3**\*1により受信機を含めた新規技術の実証を実施
- **欧州**は、Galileo後継に加え、**Galileo第二世代**を推進中

	目的	キー技術	主要なプレイヤー動向
	防護・回避	電子走査アンテナ デジタルペイロード/受信機 アンサンブルクロック	<b>米国NTS-3、欧州Galileo第二世代</b> が推進。信号強度強化、および敵部隊への信号停止など柔軟な運用を志向。また、時刻精度向上・衛星間通信により運用継続性を強化。
	監視・警報	マルチリソース解析 シームレス情報伝達	米国DIUは『Harmonious Rook』にて、Hawkeye360社(米)、Orbital Insight社(米)等の商用技術(民間衛星、マルチリソース解析等)を活用した検出システムを開発(訓練で使用)
	測位精度・ 信号強度	多数機時刻同期 精密軌道決定/制御	<b>欧州Galileo第二世代</b> では電気推進を採用しており、長時間の軌道制御中でも測位サービスの継続が可能となる。軌道決定/制御の精緻化も見込まれる低軌道衛星システムでは、既存システム利用が現実的だが、米国Xona社はオンボード原子時計レスとし独自の分散型時刻アーキテクチャを検討。
	可用性		
	技術革新サイク ルの下支え	SDS/SDP*2	<b>米国NTS-3</b> においては、デジタルペイロードとともにソフトウェア受信機やこれらを統合管理するコントロールセンター(地上)による統合管理技術を実証し、現場のメリット、既存システムとの融合を図る。(民間施設利用や自動化等の効率化も試行)加えて、ESPAStar(米国Northrop社)のような相乗り打上げに特化した衛星バスが技術実証に活用されている。

\*1)Navigation Technology Satellite-3    \*2)Software Defined Satellite/Payload

## ➤ 空軍研究所が開発する“技術実証衛星 NTS-3”は、2024年度打上げ予定

- ✓ 衛星・地上統制システム・ソフトウェア定義端末の連携により、妨害対策強化の技術実証
- ✓ 電子走査アンテナ、デジタルパイロード、原子時計アンサンブルクロック、拡散符号認証信号

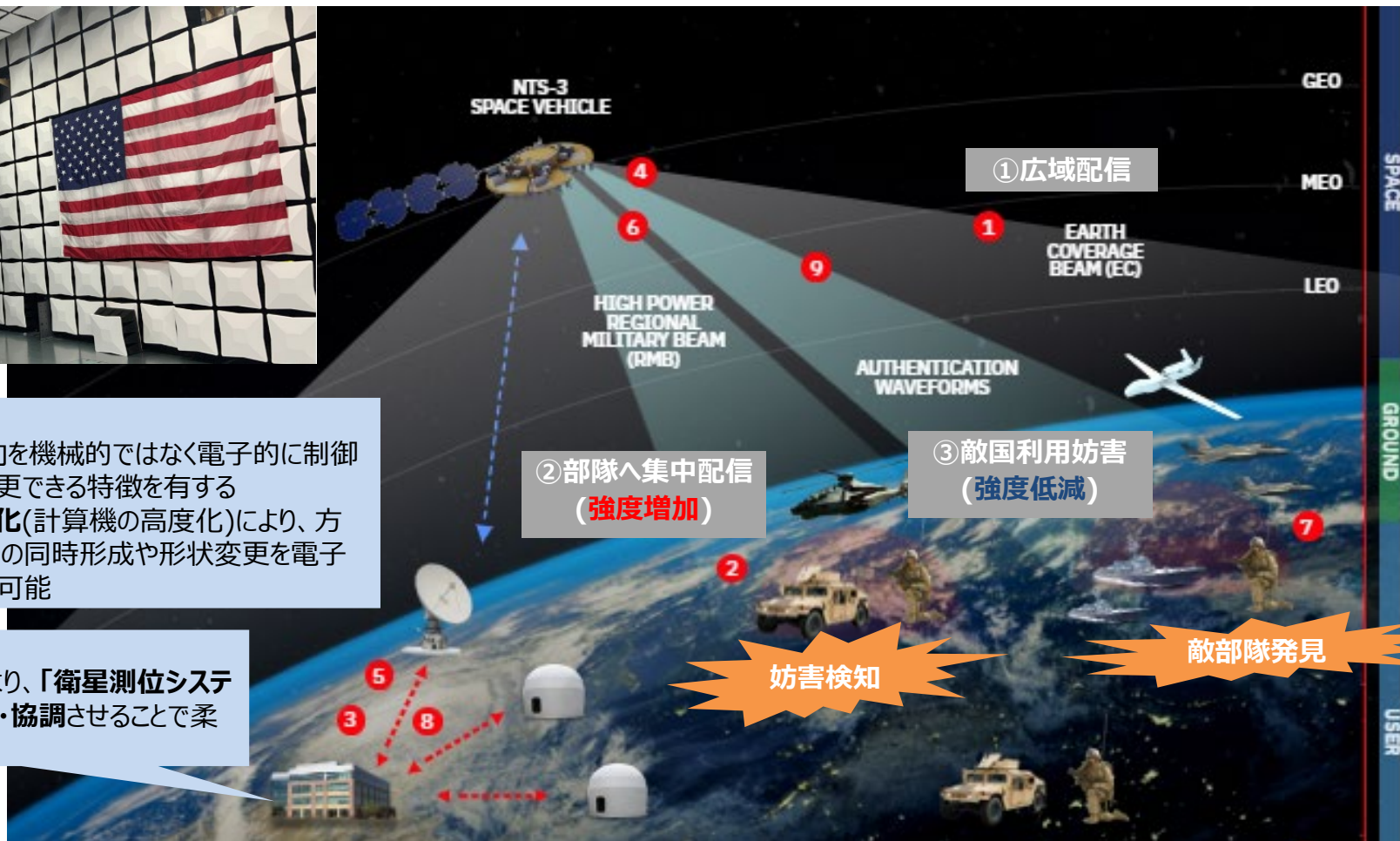


### 電子走査アンテナ

- アンテナの指向方向を機械的ではなく電子的に制御でき、より迅速に変更できる特徴を有する
- デジタルパイロード化(計算機の高度化)により、方向だけではなく信号の同時形成や形状変更を電子的に制御することも可能

### 統合管理

- コントロールセンターにより、「衛星測位システム」と「受信機」を連動・協調させることで柔軟な運用を実現



出典：L3

## ➤ ESAが開発する“Galileo 第二世代”は、2024年度打上げ予定

- ✓ 欧州の戦略的自律性のため、対妨害対策を強化
- ✓ デジタルパイロード，原子時計アンサンブルクロック，衛星間通信，電気推進，スプーフィング対策

### ◆ 欧州のGalileo第二世代の外観イメージ



出典) [Airbus starts Galileo Second Generation satellite production | Airbus](#)



クリーンルームに到着した Galileo 2<sup>nd</sup> (2023年12月)

出典) [Airbus starts Galileo Second Generation satellite production | Airbus](#)



放射性能試験を受けた後に検証されたナビゲーションアンテナ (2023年12月)

出典) [ESA - Galileo Second Generation satellites take shape](#)



# 測位：市場動向・将来トレンド（アンサンブルクロック技術）

23-001-R-017a

- 複数の時刻基準を搭載 + オンボードアンサンブル：精度だけでなく**システムの継続性(安全性)**に係る正確な時計の開発に加え、**原子時計の供給源を多様化**(サプライチェーンの問題解決)も志向

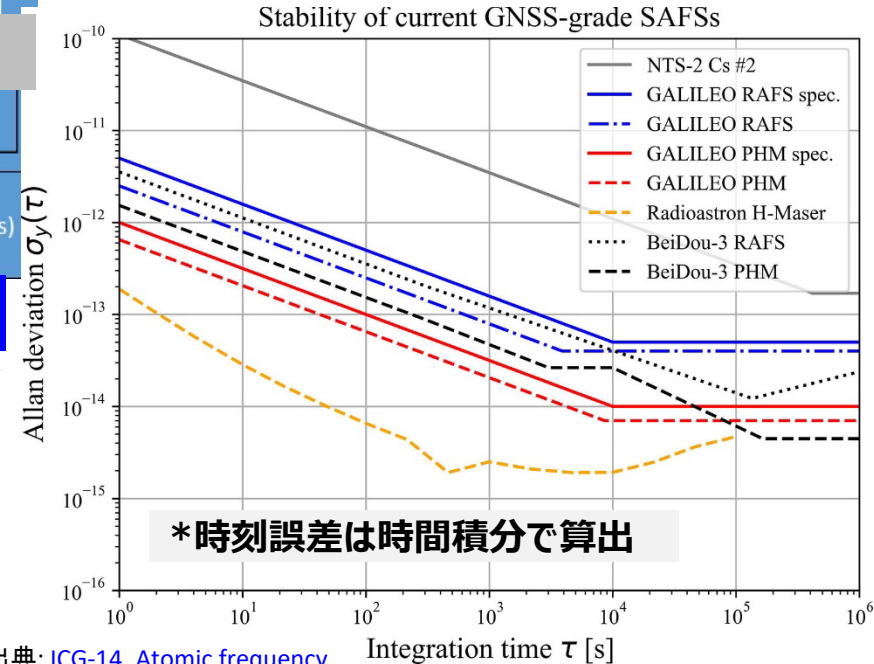
Rubidium Cesium	Hydrogen Maser Rubidium	Cesium H-Maser*	Rubidium (1) Rubidium (2)	Rubidium	Rubidium (1) Rb (indigenous)

日本・インド以外は自国域の製品を使用

経過時間によりクロックのばらつき(精度)には、時計毎の特性があり、長期間安定した時刻源とするには、**アンサンブルクロック技術が必要** (目安として、**地上からの補正なしに1~2週間程度は精度が維持できるように設計されている**)

インドにおいては欧州製品を使用しているが**次号機からはインド製品**(ルビジウム原子時計)を使用する見込み

時刻精度の評価(イメージ)  
縦軸：ばらつき(精度)、横軸：経過時間



出典: ICG-14, Atomic frequency

## ◆ ESPASatプラットフォーム/Northrop Grumman社(米)

- モジュール式でコスト効率を重視した衛星バスプラットフォーム(NTS-3：ESPASat-Dを採用)
  - ロケットのペイロードアダプタリング構造の一部として打上げが可能な構造でEELV標準インタフェース仕様に適合するなどのロケット(Farcon9/SpaceX社(米)等)にも搭載が可能
- ⇒ **柔軟な打上げ機会の獲得と打上げコストの低価格化が可能**

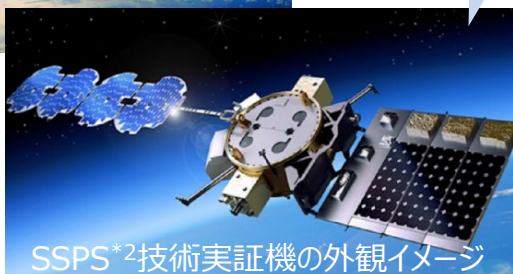
### ◆ 柔軟な実証機会の創出と効率化の両輪が重要

再プログラム可能な衛星(SDS)であることは、「攻撃があった場合、異なる暗号化や周波数変更を行うことができる。結果、ジャミングが発生しても対抗することが出来る」点ともう一つの利点は、**新しいハードウェアを宇宙へ飛ばすことなく変更が可能**とする点がある (Biersgreen氏(NTS-3プロマネ)) 出典) SpaceNews



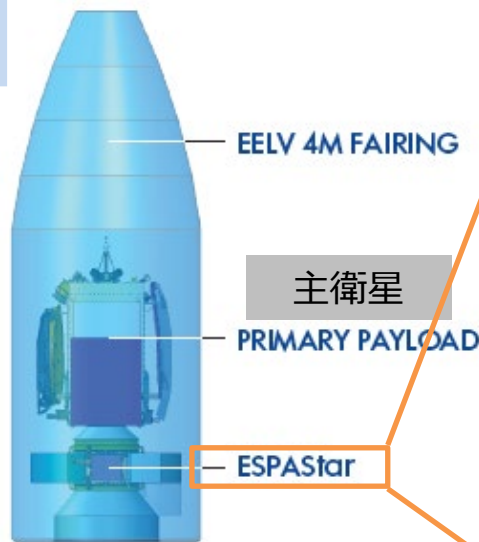
NTS-3の外觀イメージ

両者ともAFRL\*1が中心となり衛星を開発



SSPS\*2技術実証機の外觀イメージ

モジュールの組合せにより多様な技術実証に対応  
(少量多品種指向+相乗り打上げ前提)

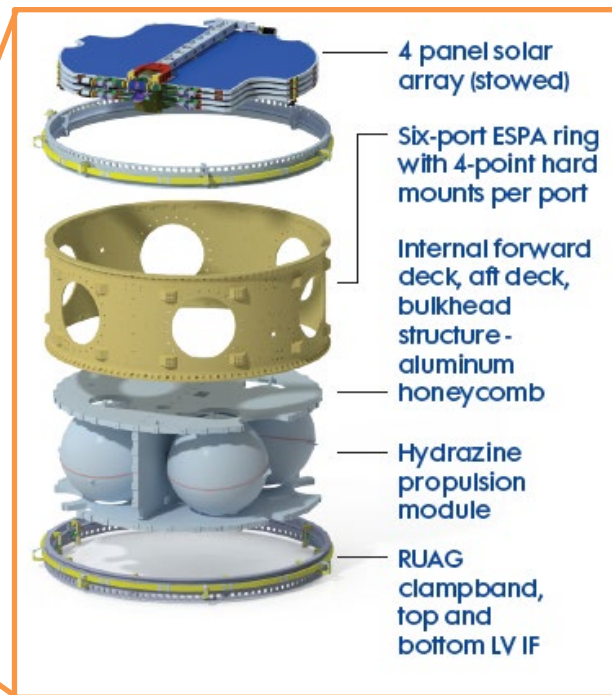


EELV 4M FAIRING

主衛星

PRIMARY PAYLOAD

ESPASat



4 panel solar array (stowed)

Six-port ESPA ring with 4-point hard mounts per port

Internal forward deck, aft deck, bulkhead structure - aluminum honeycomb

Hydrazine propulsion module

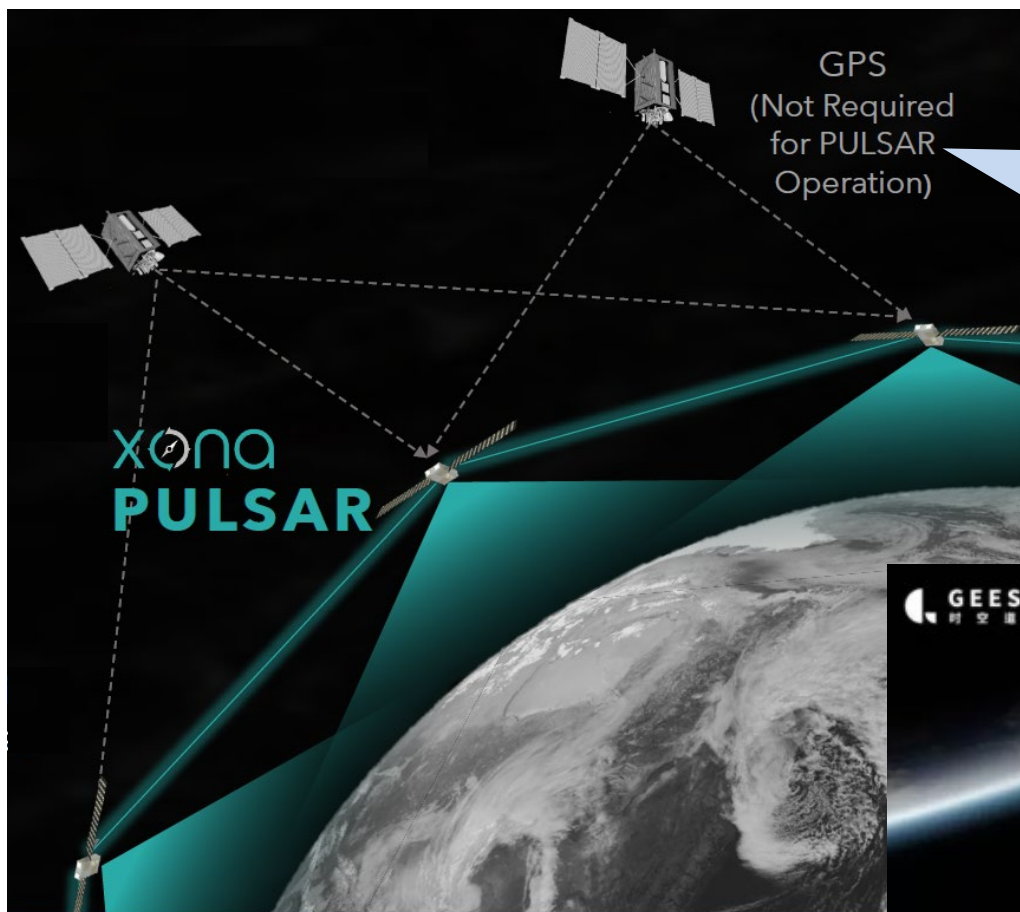
RUAG clampband, top and bottom LV IF

\*1)AFRL : Air Force Research Laboratory(米国),\*2)SSPS : Space Solar Power Systems

## ◆ 民間主導の測位システム構築に向けた動きも顕在化（Xona社(米), GEESPACE社(中)等）

⇒ ターゲットは自動車等の自動運転であり、受信機・自動車メーカーとの提携が特徴

\* 衛星機数・信号強度に加え、既存GNSSが対応しづらいセキュリティの柔軟性が強み(信頼性・可用性向上)



- 2022.5に実証機(1機)打上げ済み
  - 2024年以降に初期サービス(Block I), 2026年以降にフルサービス(Block II)開始を目指す(300機以上)
  - 将来的には代替・バックアップも目指している
- \* GPS Not RequiredとあるがGPS受信機を搭載している模様

- 2022.6に実証機(9機)打上げ済み
- 2025年までに72機、その後168機配備を目指す
- 通信とセットでサービス提供することで自動運転に利用



出典) [XONA1](#), [XONA2](#), [GEESPACE](#)

上記のトレンドから以下のようなニーズが顕在化していると考えられる。

- 測位精度やサービス品質の向上，妨害・干渉への耐性の強化，継続的な運用コスト削減を一体となって実現できる、「**妨害・干渉に強い高精度な衛星測位システム**」
- 利用ユーザの拡大に必要となる、抗たん性やセキュリティ耐性が強化された受信機や、将来の宇宙領域への利用拡大に必要となる、「**利用領域及びユーザの拡大に関する実証や技術**」



(財)衛星システム技術推進機構