

参考資料

1. 測位衛星と準天頂衛星の概要	1
2. 準天頂衛星システムが有する機能	9
3. 世界の測位衛星の現状	16
4. 我が国の測位衛星システムの構成イメージ	21

平成23年4月22日

準天頂衛星開発利用検討WG

1. 測位衛星と準天頂衛星の概要

測位衛星(GPS)の利用状況

今日、GPSの利用は、様々な省庁(所管産業界等を含む。)で広く行われている。



* 現在我が国が運用中の航空支援衛星による航法補強システム (MSAS)も活用

準天頂衛星システム

- (1) 準天頂衛星とは、米国が運用するGPS衛星の補完・補強を目的として、我が国が独自に開発を進める測位衛星
- (2) 具体的には、以下のような効果あり。
 - ① 少なくとも3機の運用により常に天頂付近(準天頂)に衛星が存在することから、GPSに比べ、測位が可能な場所や効率性が大幅に向上。
 - ② 現在のGPS衛星の精度が時に数10mであるのに対し、1m程度に測位精度が向上。
- (3) ただし、準天頂衛星1機が天頂付近に滞在するのは8時間程度であるため、24時間運用には3機が必要 (メンテナンス時間等を考慮すると、365日24時間運用には4機必要。また、静止軌道と組み合わせて7機により、持続的な測位が可能なシステムを構築。)
- (4) なお、準天頂衛星は、測量、交通・運転ナビゲーション、遭難救助、危機管理等多くの公共・民間サービスへの利用が期待されている。



「みちびき」の打上げ

平成22年9月11日夜、打上げ。9月27日朝、日本上空を通る中心経度約135度の準天頂軌道への投入に成功。10月19日より測位信号の送信の機能確認を開始し、12月中旬より技術実証・利用実証を始めている。



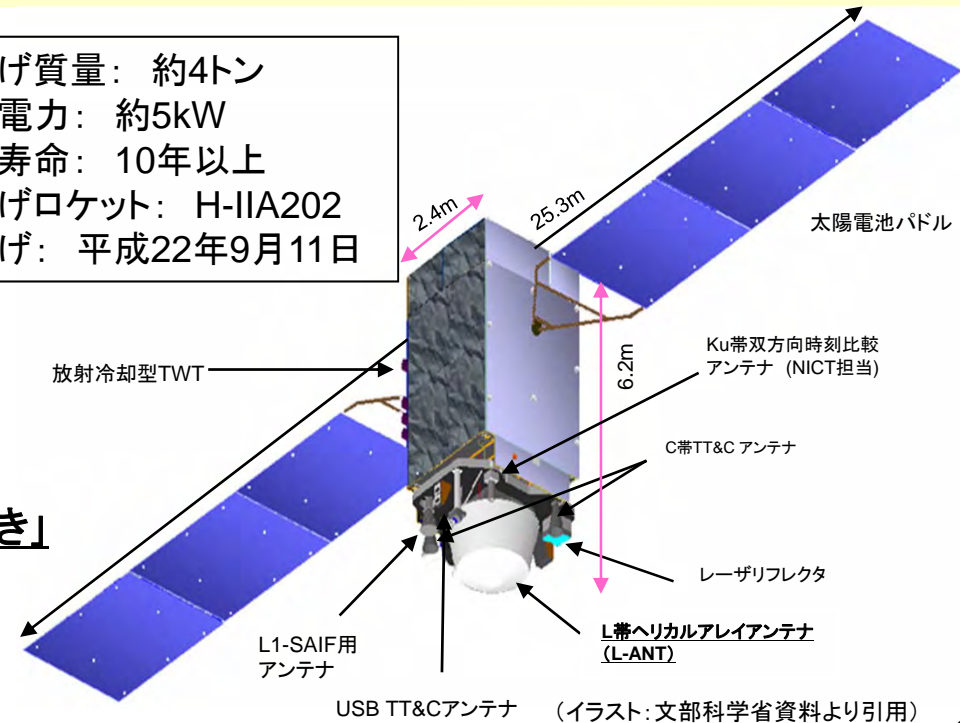
「みちびき」の分離
(宇宙空間への放出)

どちらの写真もJAXAウェブサイトより引用

(©三菱重工業株式会社)

準天頂衛星初号機「みちびき」

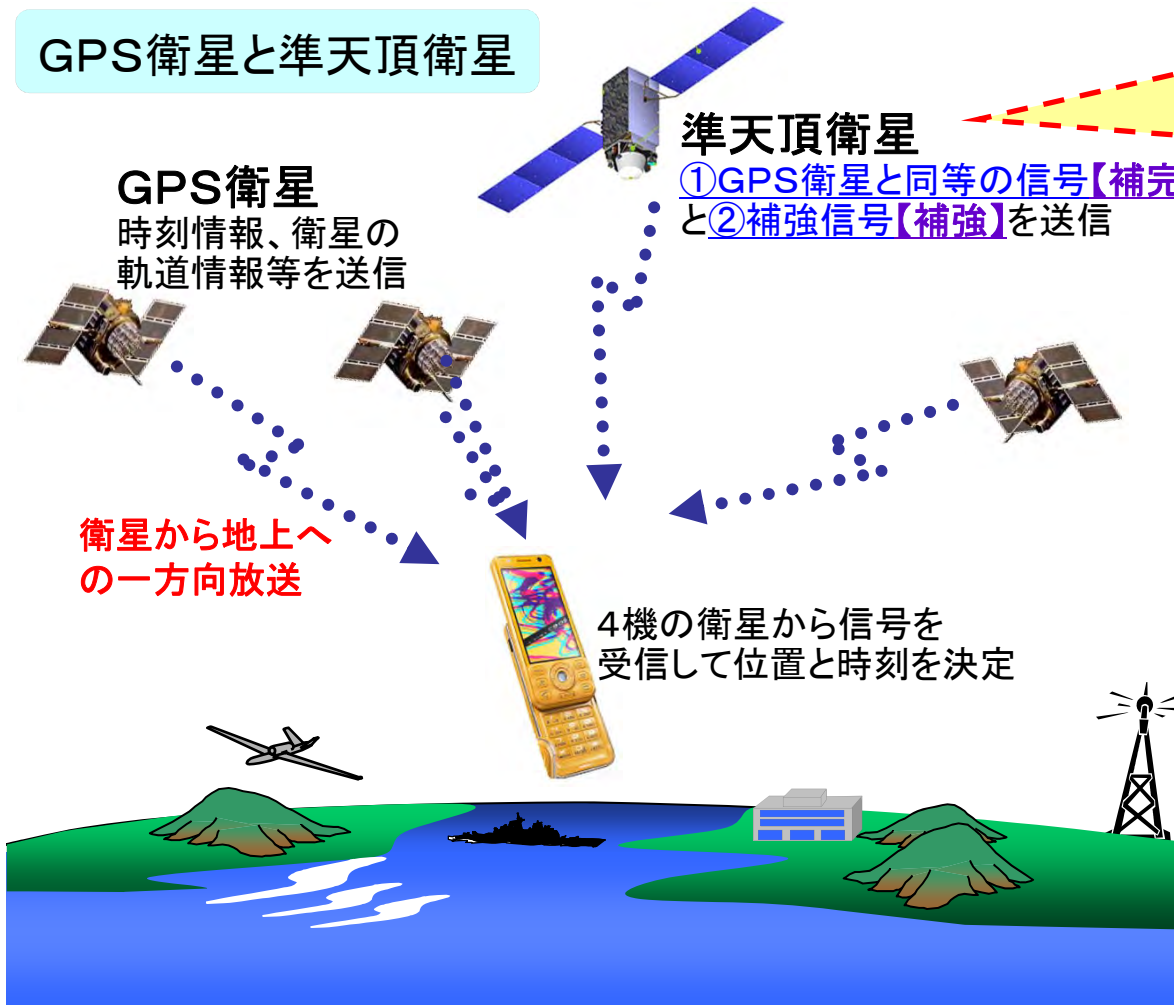
- ・打上げ質量： 約4トン
- ・発生電力： 約5kW
- ・設計寿命： 10年以上
- ・打上げロケット： H-IIA202
- ・打上げ： 平成22年9月11日



準天頂衛星システムの意義

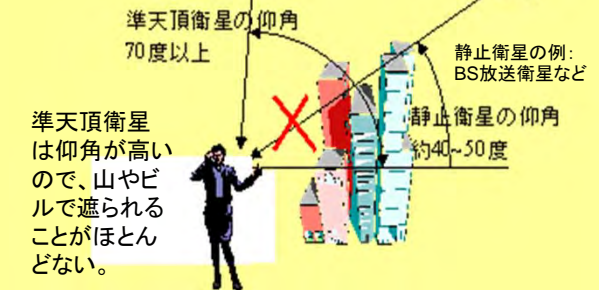
- 準天頂衛星とは、米国が運用するGPS衛星の補完・補強を目的として、我が国が独自に開発を進める測位衛星
- 山間部やビル陰などの場所でもGPS衛星の補完（代替）が行え、またGPSの測位精度を向上させる補強信号の提供にも、準天頂衛星は非常に効果的
- ただし、準天頂衛星1機が天頂付近に滞在するのは8時間程度であるため、24時間運用には3機が必要（メンテナンス時間等を考慮すると、365日24時間運用には4機必要。）

GPS衛星と準天頂衛星



(準天頂衛星の効果)

①補完効果



②補強効果

地上局で作成する補強信号を準天頂衛星経由で現地の端末に送信することにより、測位精度を向上させる。

(補強効果なし) 精度約10m → (補強効果あり) 約1m※

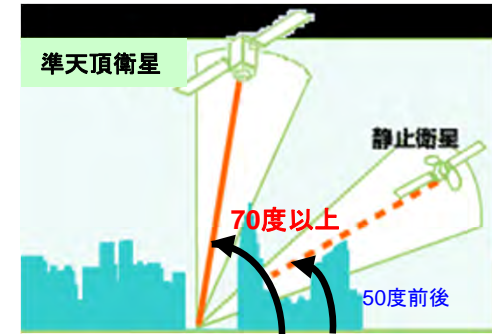
※測量用受信機への高精度補正では数cm



準天頂衛星の軌道の特徴

- ① 静止衛星は、赤道上空約36,000kmの周回軌道(静止軌道)を地球の自転と同じ速度で運行。(地上からは、常に上空の1点で止まっているように見える。)
- ② 静止軌道を約45度傾けた周回軌道とし、日本上空では高度約39,000kmを、反対側では約33,000kmを通過するような楕円軌道(準天頂軌道)で地球の自転と同期して運行させると、日本の天頂(真上)付近(おおむね仰角70度以上)で約8時間の滞在時間を確保可能。
→ この準天頂軌道を地表に投影すると、ちょうど「8の字」を描くように見える。
- ③ 赤道面との交点を120度ずらした3つの準天頂軌道を配置し、それぞれの軌道上の衛星を8時間ごと順番に日本上空に来るように運用すると、24時間いつでも天頂付近に衛星を滞在させることが可能。

(ただし、メンテナンス時間等を考慮すると、365日24時間運用には4機必要。)



日本付近での衛星の高度(仰角)

① 静止軌道

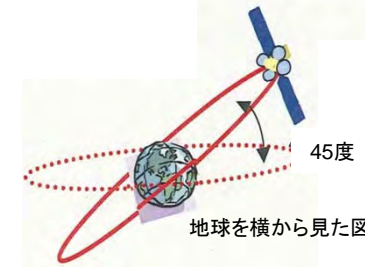
一般的な通信・放送衛星や気象衛星(「ひまわり」)が利用。



地球を横から見た図

② 準天頂軌道

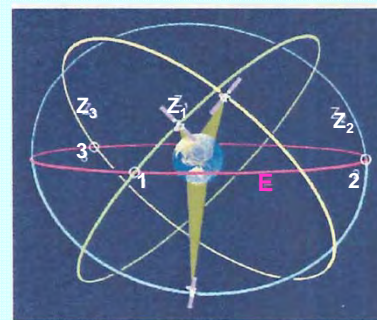
準天頂衛星1機で、日本上空に約8時間滞在。



地球を横から見た図

③ 3つの準天頂軌道

異なる3つの準天頂軌道に衛星を1機ずつ配備することにより、日本上空に24時間常に衛星が滞在するようになる。



(本図作成: MELCO)

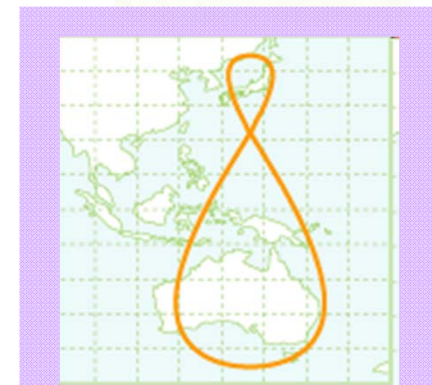
記号の説明

E = 赤道面

Z₁, Z₂, Z₃ = 3つの準天頂軌道

1, 2, 3 = 各準天頂軌道と赤道面との交点(北行)

※ 1, 2, 3の各点は、地球を中心にして120度ずつずれて配置される。



準天頂軌道を地表に投影した形(いわゆる「8の字」)

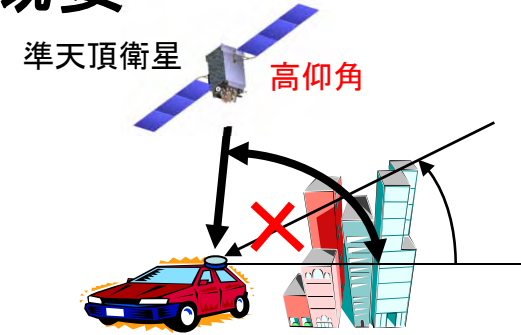
研究開発4省の技術実証の概要

技術実証項目

①「GPS補完」

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

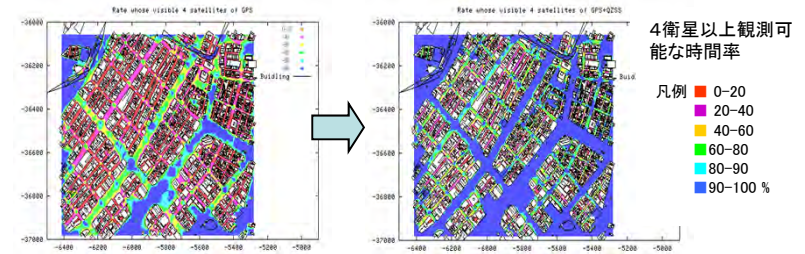
- ◆ 文部科学省
 - (独) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
 - 高精度測位実験システム開発とりまとめ —
- ◆ 総務省
 - (独) 情報通信研究機構 (NICT)
 - 時刻管理系の開発及び実証実験 —



②「GPS補強」

基準点で受信したGPS信号の誤差情報やGPS信号の使用可否情報等を送信して、測位の精度の高精度化や高信頼性を図る。

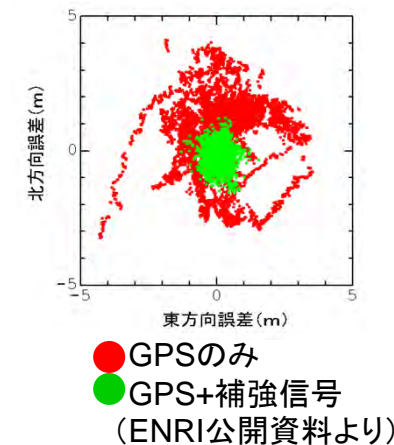
- ◆ 国土交通省
 - (独) 電子航法研究所 (ENRI)
 - L1-SAIF信号による高精度補正技術の実証実験 —
- ◆ 国土交通省
 - 国土地理院 (GSI)
 - LEX信号を用いた高精度測位補正の技術実証実験 —



③「次世代基盤技術修得」

実験用信号 (LEX) による衛星測位実験や擬似時計技術の研究開発及び軌道上実験を行う。

- ◆ 文部科学省
 - (独) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
 - 実験用信号による衛星測位基盤技術実験 —
- ◆ 経済産業省
 - (独) 産業技術総合研究所 (AIST)
 - 測位用擬似時計技術の開発・実証 —



準天頂衛星開発等に関する関係省庁別予算

(単位：億円)

	平成15年度 予算	平成16年度 予算	平成17年度 予算	平成18年度 予算	平成19年度 予算	平成20年度 予算	平成21年度 予算	平成21年度 補正予算	平成22年度 予算	平成23年度 予算	合計
内閣官房	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	1.0 (0)
文部科学省	27.0	33.0	33.0	23.5 (7.0)	33.0 (22.1)	74.2 (57.0)	93.0 (75.6)	37.1 (37.1)	81.1 (69.9)	12.9	447.8 (268.8)
総務省	15.0	25.4	23.9	15.7 (0.0)	13.5 (1.5)	12.0 (5.8)	15.3 (7.7)	—	10.6 (0.0)	6.4	137.8 (15.0)
経済産業省	18.9	21.0	23.6	21.8 (0.0)	18.7 (5.3)	12.6 (6.7)	8.6 (7.9)	—	4.0 (2.8)	—注2	129.2 (22.7)
国土交通省	4.0	5.4	5.9	5.8 (0.0)	5.3 (0.4)	5.4 (2.5)	3.9 (2.4)	—	3.9 (2.3)	3.0	42.5 (7.6)
合計	64.9	84.8	86.4	66.8 (7.0)	70.5 (29.3)	104.2 (72.0)	120.7 (93.6)	37.1 (37.1)	99.6 (75.0)	23.3	758.3 (314.1)

注)1 ()内は各省庁に共通する経費(打ち上げ費用等)で内数。

注)2 平成22年度予算を継続して利用。

◆準天頂衛星開発等の概要

文部科学省：準天頂衛星初号機の開発(測位用搭載機器(ペイロード)の測位信号生成送信部、追跡管制局、モニタ実験局等の地上システムを含む)・打上げ・運用【JAXA】

総務省：測位ペイロードの基準時刻管理部、地上系の時刻情報管理【NICT】

経済産業省：衛星本体(衛星バス)の軽量化・高度化・長寿命化、測位用疑似時計技術の開発【USEF、NEDO、AIST】

国土交通省：測位補強システムの開発(開発した補強信号を準天頂衛星から送信)【ENRI、GSI】

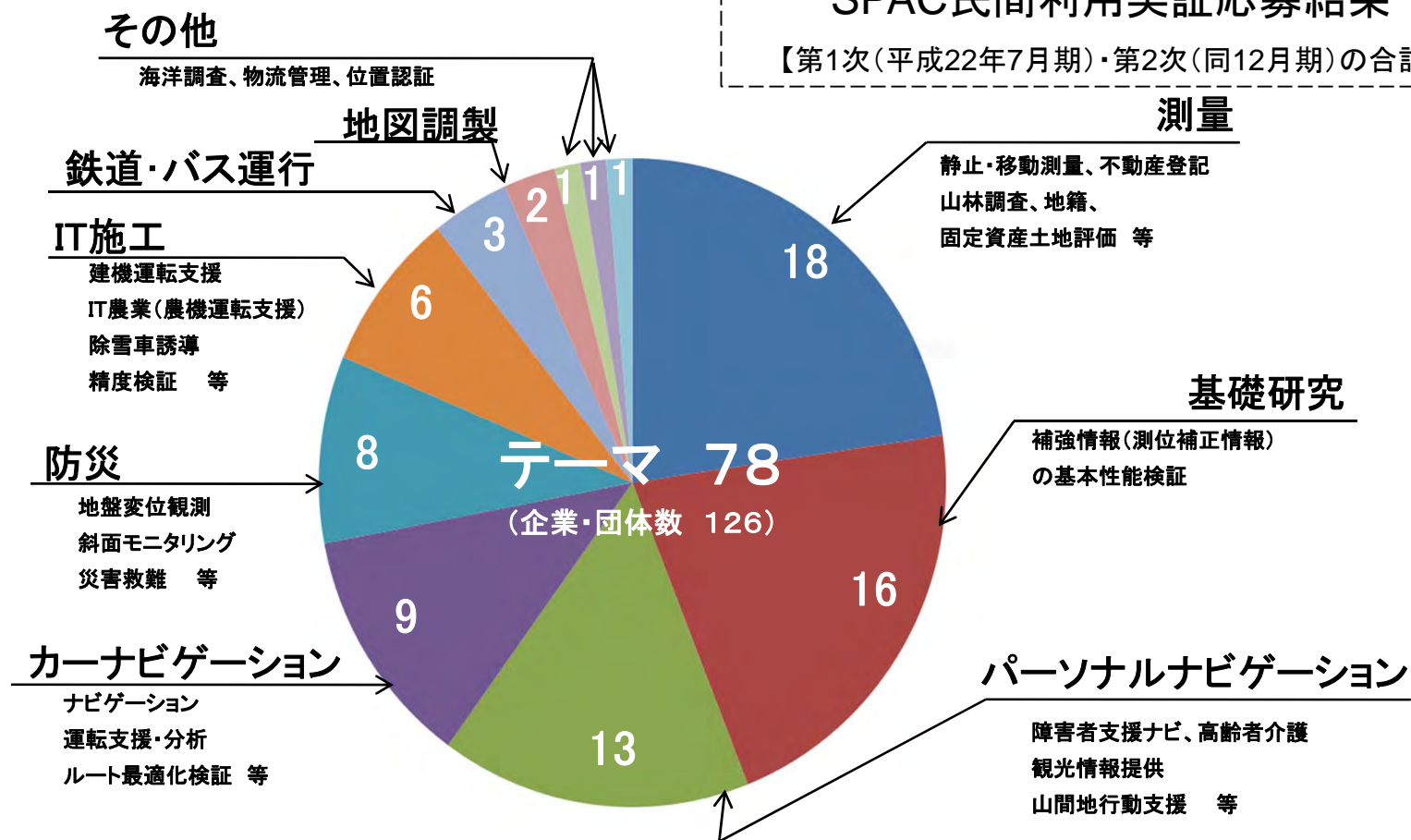
※ JAXA=(独)宇宙航空研究開発機構、NICT=(独)情報通信研究機構、USEF=(財)無人宇宙実験システム研究開発機構、
NEDO=(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、AIST=(独)産業技術総合研究所、ENRI=(独)電子航法研究所、GSI=国土交通省国土地理院

「みちびき」利用実証 — 民間の参加状況 —

- 準天頂衛星初号機による利用実証は、民間も参画して実施し、今後の事業化判断の材料とすることとなっている。
- このため、(財)衛星測位利用推進センター(SPAC)が中心となって、民間が実施する利用実証の取りまとめを進めている。
- SPACでは、平成22年7月及び12月の2度にわたり広く参加者を募った結果、**延べ126に上る企業・団体等から応募**があり、**計78のテーマ**(分類は下図のとおり)の利用の提案がなされた。
- SPACで開発した受信機を各参加者に貸与する等の支援を通じ、「みちびき」が昨年12月から送信を開始した補強信号を活用して、企業・団体による各種の利用実証を実施中。

SPAC民間利用実証応募結果

【第1次(平成22年7月期)・第2次(同12月期)の合計】



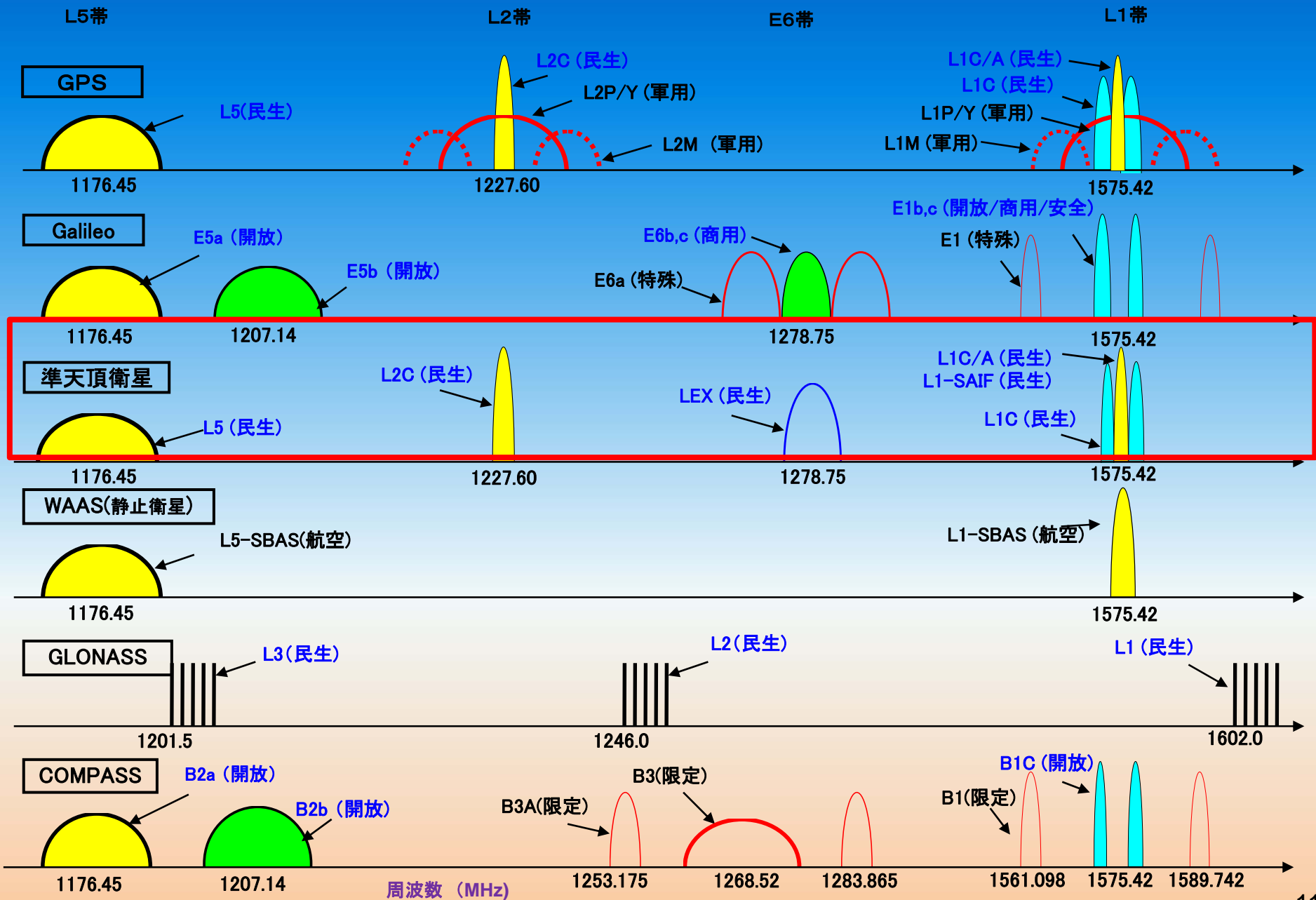
2. 準天頂衛星システムが有する機能

1. GPS補完

- 準天頂衛星システムは、必ず衛星が天頂付近にあることから、他に3機のGPS衛星と合わせて活用することにより、測位可能な場所と効率性が大幅に向上。
- 準天頂衛星が存在しない場合(現状のGPSのみの場合)は、山陰・ビル陰による遮断や偏った衛星配置等により、測位が困難になることがある。
- 準天頂衛星3機*により24時間のサービス提供が可能となり、よって、他に3機のGPS衛星活用により、高度な測位が可能となる。
* ただし、メンテナンス時間等を考慮すると、365日24時間運用には4機必要。
- また、準天頂衛星と静止衛星を組み合わせるとして7機とすることにより、持続的な測位が可能なシステムの構築も視野。
- 準天頂衛星が発する航法信号は、GPSと共存性及び相互運用性を有する必要があるため、GPSと同様にL1-C/A、L1-C、L2-C、L5の各信号を提供する必要がある(次ページ参照)。



【参考】 各国測位衛星システムの信号 (SPACまとめ)



2. GPS補強

- 現在のGPS衛星のみによる測位精度は数10mになることもあるが、準天頂衛星システムの補強信号を利用することで、測位精度を1m程度（一般ユーザーの場合※）へ向上させることが可能。（※測量用受信機への高精度補正では数cm程度）
- これにより、以下のような測位衛星利用分野の拡大が見込まれている。

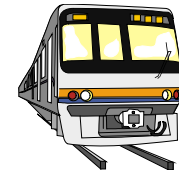
◆IT農業

農機の自動運転により、生産性の向上が期待
(豪州では我が国の準天頂衛星の活用に関心あり)



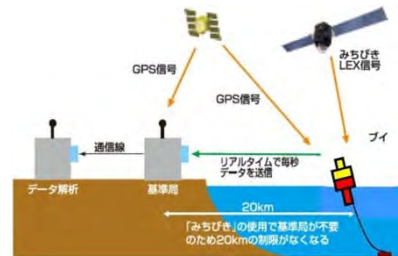
◆交通ナビゲーション

測位の信頼性情報も充実させることにより、陸・海・空を問わず、今後様々な交通ナビゲーションの支援に活用できる可能性



◆防災

陸から遠く離れた海洋に津波検知用ブイ（衛星測位対応）を設置することで、より早く正確な津波の検知が行える可能性



◆測量

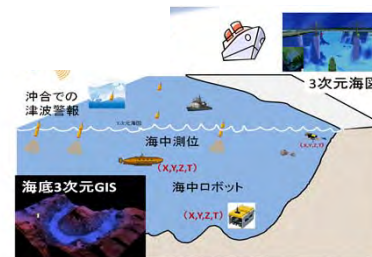
場所を問わずに精度の高いGPS測量が実施できる可能性

(現在は補強情報を携帯電話で配信するため、国土の4割弱を占める携帯電話不通地域では、即時・高精度の測量は行えない)



◆海底資源探査

目印のない海上でも、海底資源の探査位置が正確に把握できる可能性



(参考) 準天頂衛星が具備する補強信号

準天頂衛星初号機「みちびき」は、以下の2種類の補強信号を有している。

OL1-SAIF (L1-Submeter-class Augmentation with Integrity Function)

- GPSと合わせて使うことで、測位の[水平位置精度を1m](#)程度で得られる。【[GPS単独よりも10倍程度の向上](#)】
- 航空機用の衛星航法補強システム(MSAS)の信号をベースに、精度向上が図られるように設計。
- 航空局及び国土地理院によるGPS連続観測データを用いて、独自の補強信号を作成。これを準天頂衛星経由でユーザーに配信する。
- 現在は実証実験の一環として、独立行政法人電子航法研究所(ENRI)及び(財)衛星測位利用推進センター(SPAC)の2者が、若干異なる仕様の補強信号を時間帯を変えて提供している。

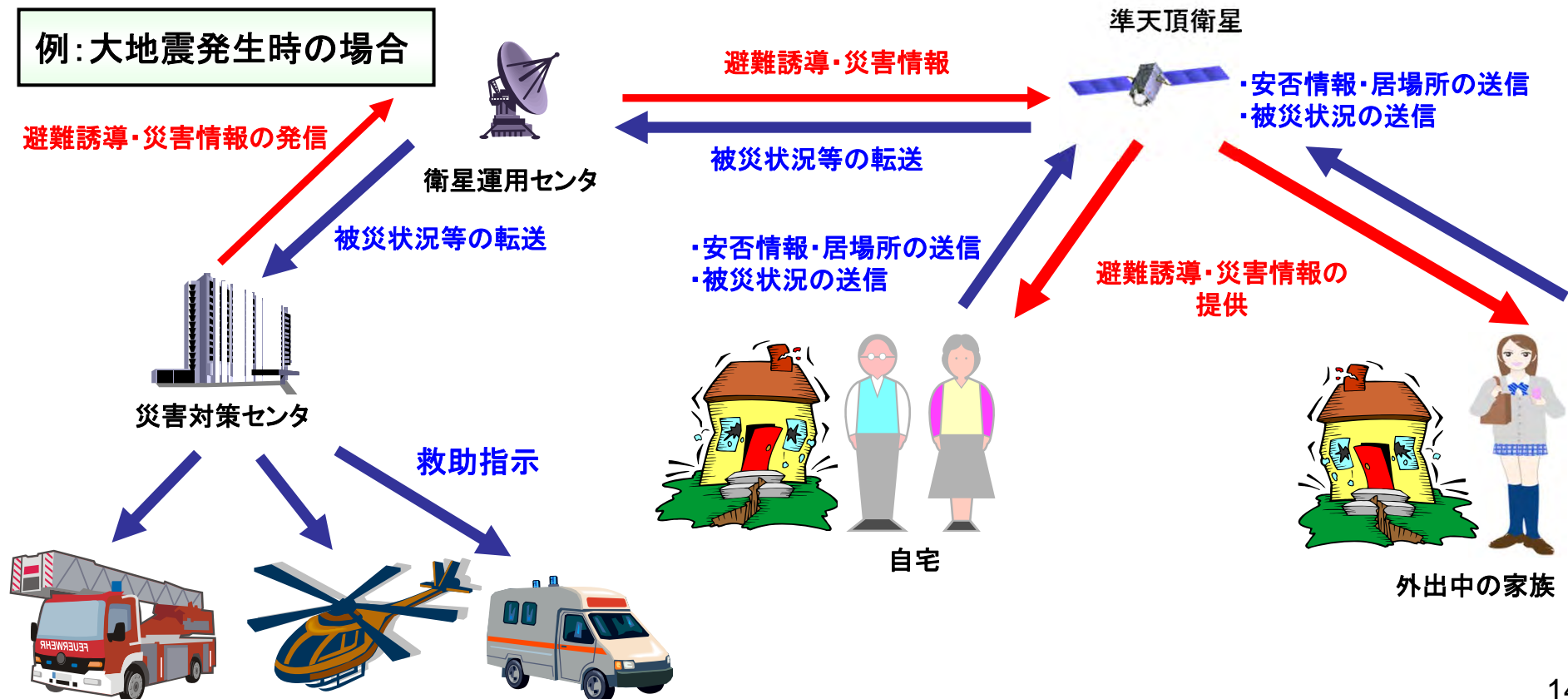
OLEX (L-band Experimental Signal)

- GPSと合わせて使うことで、[測量用](#)や[移動体用](#)測位の[水平位置精度を数cm程度](#)で得られる。
- 国土地理院によるGPS連続観測データを用いて、独自の補強信号を作成。これを準天頂衛星経由でユーザーに配信する。
- 同種のデータ配信を携帯電話等でも行えるが、国土の4割弱(山地等)は携帯不通地域。[準天頂衛星経由により全国サービスが実現](#)する。
- 現在は実証実験の一環として、国土交通省国土地理院、SPAC及び独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)の3者が、それぞれ若干異なる仕様の補強信号を時間帯を変えて提供している。

3. 災害時の情報提供や安否確認等に係る機能

- 地上からの信号の中継器を準天頂衛星に新たに搭載することにより、大規模災害時の家族間の安否確認やお互いの居場所の送受信等が可能になる。
- また、安否確認と同時に各地点における被災状況を準天頂衛星経由で収集することにより、効率的な被災状況の把握や救助活動等が可能になる。

※ 我が国の準天頂衛星への本機能の付加については、衛星搭載系、送受信端末(携帯電話等の携帯端末(携帯電話での活用については、実現可能性を含めた技術的な検討が必要。))を想定)などについて詳細を詰める必要あり。
また、災害時の準天頂衛星を活用した本機能のメリットについては、他の衛星との比較において検討する必要あり。



<参考>

災害時の情報伝達のイメージ

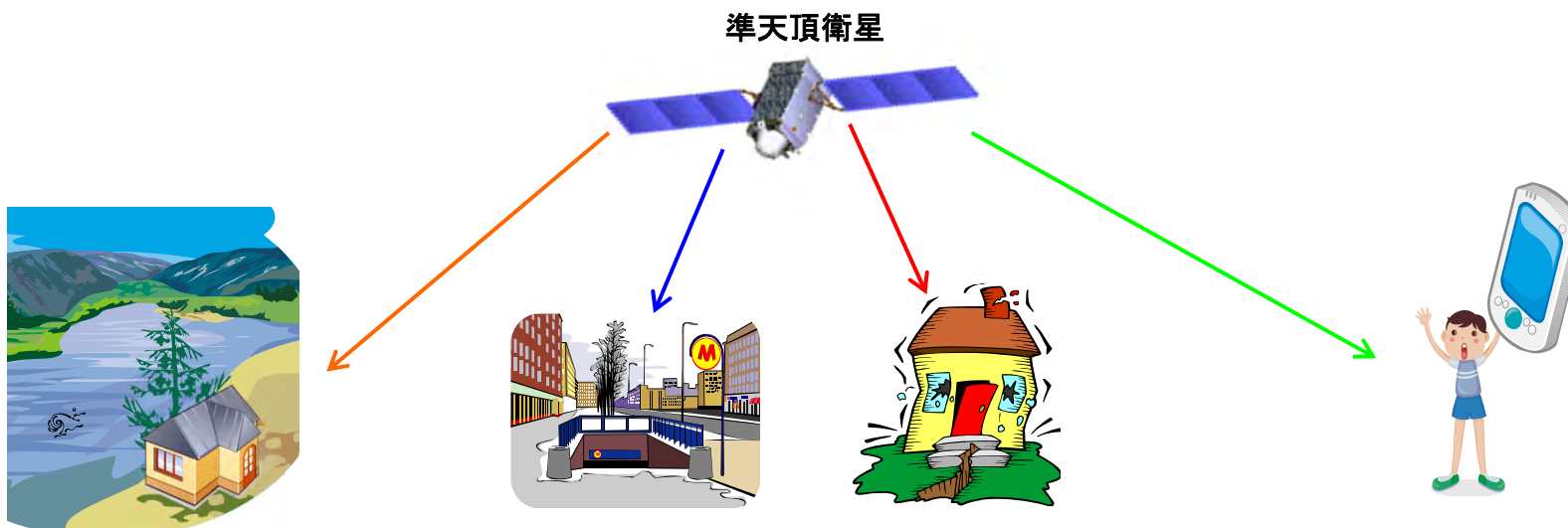
- 準天頂衛星システムでは、補強信号を送信する“すき間”を利用して、簡単なメッセージを地上（携帯電話等の携帯端末（携帯電話での活用については、実現可能性を含めた技術的な検討が必要。））に送ることが可能。

端末に予め準天頂衛星からの信号に応じたデータを表示できるようにしておくことで、
約43億(=2³²)通りまでの対象者の個別指定や避難場所の指定等が可能になると見込まれる。

- よって、このメッセージ送信機能を活用し、「特定の地域・対象に対する個別のメッセージ送信」や「広範な地域・対象に対する一斉送信」を行うことが可能。

(例) 広域災害時の情報提供

大震災のような広域災害発生時に、携帯端末の所有者の居場所に応じ、災害情報や避難情報をきめ細かく提供できる可能性



3. 世界の測位衛星の現状

世界の測位衛星の現状 (ICG*加盟国・地域)

* ICGとは、International Committee on Global Navigation Satellite Systems (グローバル衛星航法システムに関する国際委員会)の略。2006年の国連総会において、国連宇宙空間平和利用委員会(UN-COPUOS)の下に設立することが承認され、各国間の連絡・調整・連携強化などが図られている。表の6か国・地域は、測位衛星を運用(予定を含む。)するプロバイダー国と位置付けられている。

	GPS (米国)	Galileo (EU)	GLONASS (ロシア)	北斗(Beidou,Compass) (中国)	IRNSS (インド)	準天頂衛星 (日本)
サービス提供範囲	グローバル(全世界を対象)				リージョナル(特定地域を対象)	
衛星機数・軌道	1978年初号機打上げ。2011年4月現在、6軌道面で31機を運用中。	2005年実験機打上げ。2011年4月現在、2機の実験機を打上げ済み。3軌道面で計30機を配備予定	1982年初号機打上げ。2011年4月現在、3軌道面で23機を運用中。	2000年実験機打上げ。2011年4月現在、6機(推定、初期実験機は含まない)を運用中。静止衛星と中高度軌道衛星の合計35機を配備予定	3機の静止衛星と4機の地球同期軌道衛星の計7機を配備予定 (インド周辺のみへのサービス提供)	2010年9月初号機「みちびき」打上げ成功。準天頂軌道(高度3.3万~3.9万km)で初号機を運用
主なサービス目的と目標測位精度	・軍事的 ・民生一般(測位精度10m程度)	・民生一般(測位精度4m以下) (特に、交通ナビ、警察・消防、遭難救助等を意識)	・軍事的 ・民生一般(現在の測位精度5~7m程度、衛星更新に伴いさらに精度向上を目指す)	・軍事的 ・民生一般(測位精度10m、広域補強サービスとの併用により1mを目標)	測位精度20m以下を目標	・GPSの補完 ・GPSの補強(2種類の補強信号で、測位精度を1m~数cmに向上)
計画・運用主体	米国国防総省 開発・運用予算は国が負担。	欧州連合(EU)欧州委員会(EC)企業・産業総局 開発予算は加盟各国が負担。	ロシア連邦宇宙局グロナス部 開発・運用予算は国が負担。	中国国家航天局(CSN:中国衛星航法プロジェクトセンター) 開発・運用予算は国が負担。	インド宇宙研究機関(インド政府) 開発予算は国が負担。	初号機はJAXA(2号機以降は未定) 初号機の開発・運用予算は国が負担。 実用システムについては未定。
経費、予算	年間経費 約7.5億米ドル(約650億円、研究開発経費を含む) (2007年6月現在)	2007年~2013年にかけてシステム構築予算 約34億ユーロ(約4千億円)をEUとESAが折半	今後1年半で480億ルーブル(約1300億円)を投入(2010年9月2日付け報道による)	(不明)	初号機開発に160億ルピー(約300億円)	2003年~2010年にかけて約735億円(研究開発経費を含む)
今後の予定	次世代型の衛星(発信電波の種類を増やし、より多用途に対応)への更新を順次進めている。	2011年に実証機を4機打上げ、2014~2015年までに18機を運用し、限定的にサービス提供、2016~2017年までに計30機を配備し、フルサービスを提供。	2010年末に追加投入機の打上げに失敗するも、今後予備機打上げにより、全世界にサービス提供予定。また、ロシア国内の国産新車等にグロナス受信機の搭載を検討との報道あり。	2010年に5機、本年4月に1機を打上げ、急ピッチで配備が進む。2012年以降2018年を目途でアジア・太平洋地域をカバーし、2020年以降に全世界をカバーする計画。	2011年に初号機を打上げ、2014年までに全体システムを整備予定	2号機以降の配備方針について、本年中に結論を得る。

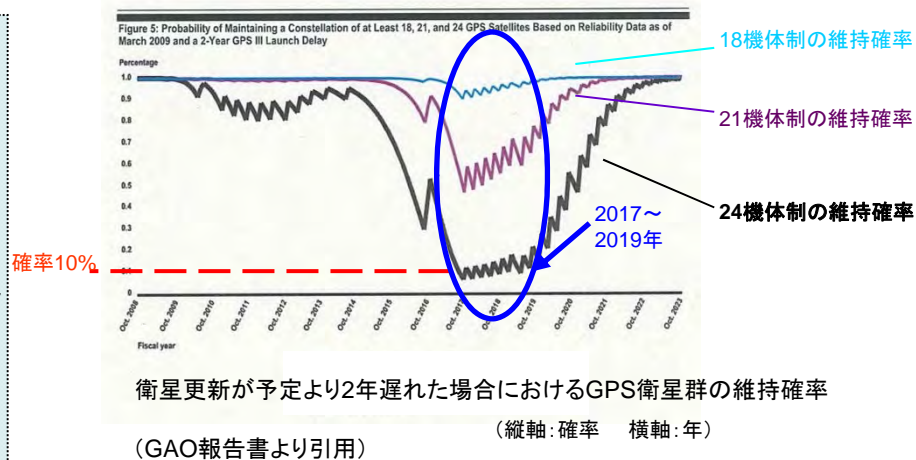
運用中

① GPS(米国)

- 1970年代後半から、米国が軍事目的で測位衛星システムの開発・導入を開始。
- 暗号化された軍事用信号とは別に、民生用信号が全世界に無料で開放されており、世界で最も利用されている測位衛星システムとなっている。
- 現在31機を運用中。GPSの維持管理に係る予算措置を巡る米国内での議論があるものの、現在、第2世代、第3世代の衛星への更新計画が進行中。
- GPSの民生用信号については、有事の際に使用不可となるリスクがあるとの指摘もある。

GPSの維持管理に関する 米国内での議論

- 米国会計検査院(GAO)は、2009年4月、GPSに関するレポートを公表。これによると、運用主体の米空軍の予算不足により、GPS衛星(設計寿命10年弱)の更新が計画どおり行われない恐れ。
- 仮に、衛星更新のスケジュールが2年遅れると、「2018年頃に24機の衛星群を維持できる確率が10%にまで低下」と警告。
- これに対し、米国議会の聴聞会において、米国国防総省や米空軍は、「予算措置は十分であり、打上げも予定どおり」と反論。



GPS衛星

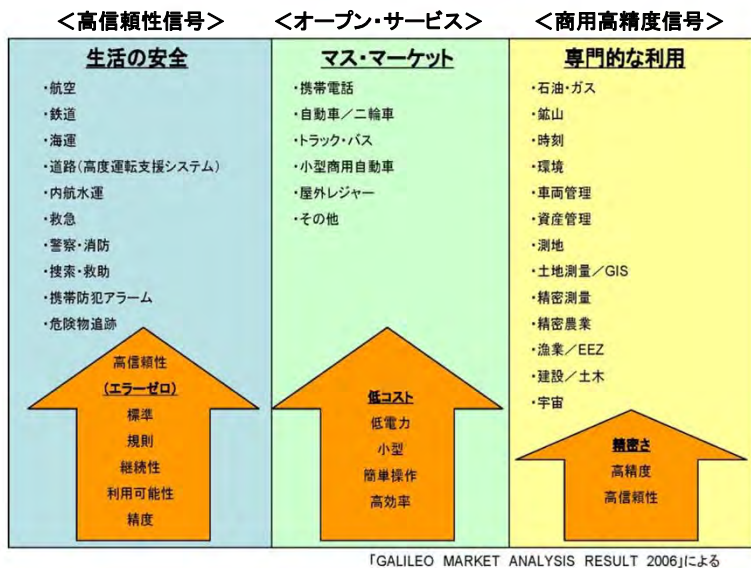
GPS衛星のモデルチェンジ

- 1978年の初号機打上げ以来、幾度かのモデルチェンジ(「ブロック××」と呼ばれる。)を行いながら機能強化された。
- 現在は、ブロックII A(1997年まで打上げ)、ブロックII R(2004年まで打上げ)、ブロックII RM(2009年まで打上げ)、ブロックII F(2010年から打上げ)が共存。
- ブロックII RMからは軍用のMコードや民生用のL2C信号を搭載。ブロックII Fでは民生用L5信号や衛星の長寿命化を実現。
- 2014年から第3世代といわれるブロックIIIを打ち上げ予定。準天頂衛星と共通のL1C信号を搭載。

開発中

② ガリレオ(EU)

- 欧州(EU)は1990年代後半から、軍用目的を有する米国のGPSとは独立したシステムとして、測位のほかナビゲーションや時刻参照等、民生用に広く活用できる社会インフラ整備を目的として検討開始。
- 2000年頃を境に、欧州のガリレオ計画は官民連携(PPP)から国際協力(加盟各国による資金負担)で進められたが、民間出資が見込めなくなった2007年9月にPPP方式の中止を正式に発表し、同年11月、EU予算での整備を決定。国際協力による整備からEU独自の財源での整備へと転換。
- 最終的には30機体制を予定。現在は2機の実験機を用いて試験運用中。
- 基本的に民生利用を意識。誰でも利用可能なサービス(Open Service)のほか、運輸事業用の信頼性を増強した信号や商用目的の高精度な測位信号を有料で提供するサービスも予定。
- 捜索・救助用の双方向メッセージ中継機能も搭載予定。また、秘匿化されたコードを備えた政府専用信号も予定。



EUによるガリレオの利用検討分野

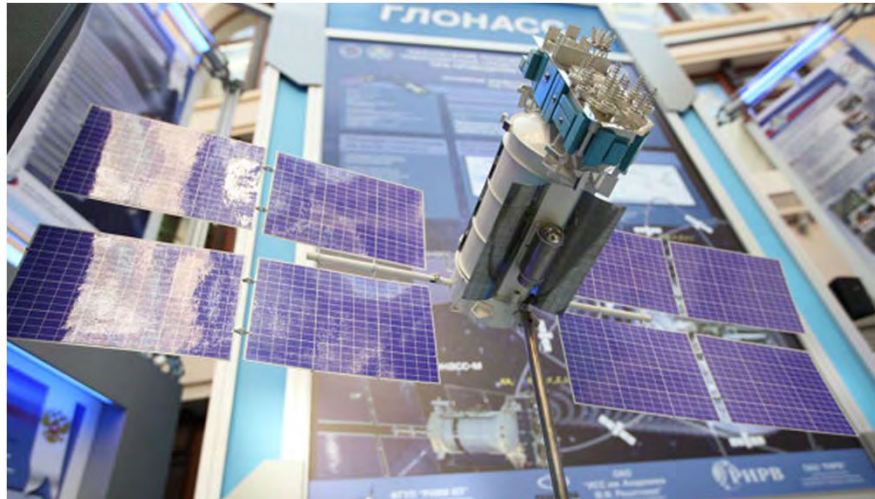
ガリレオ及びEGNOS(航空管制用衛星)による提供予定サービス

システム	サービス種別	提供内容
ガリレオ	航法	オープン・サービス: 大規模市場向け単純測位データ提供 (無料サービス)
	航法	商用サービス: 暗号化、高精度、保証データ提供 (有料サービス)
	航法	高信頼性サービス (Safety of Life): オープンサービス+信号の完全性と高信頼性
	航法	政府専用サービス: 暗号化、完全性、連続性
ガリレオ	SAR	捜索救助サービス: ニアリアルタイム性、精密、双方向通信
EGNOS	航法	オープン・サービス: 大規模市場向け単純測位データ提供 (無料サービス)
	航法	商用サービス: 暗号化、高精度、保証データ提供 (有料サービス)
	航法	高信頼性サービス (Safety of Life): オープンサービス+信号の完全性と高信頼性

運用中

③ グロナス(ロシア)

- 1980年代初頭から軍事目的として、米国のGPSに対抗した測位衛星システムの整備に着手。(GLONASS=Global Navigation Satellite System)
 - 1991年のソ連崩壊後の予算不足で数機のみしか稼動しない時期もあったが、現在、システム再構築を順次進めている。2010年末に追加投入機の打上げに失敗するも、今後予備機の打上げにより、全世界にサービス提供予定。
 - 軍事目的で構築されたが、近年民生利用も進めようとしている模様。
 - ・プーチン首相は、2012年からすべての国産新車等にグロナス受信機の搭載検討を指示。
- 【2010年8月10日付 ロシア通信社ノーボスチの記事(電子版・英語)による。】



グロナス衛星 (ロシア通信社ノーボスチウェブサイトより)

開発中
(一部運用中)

④ 北斗(中国)

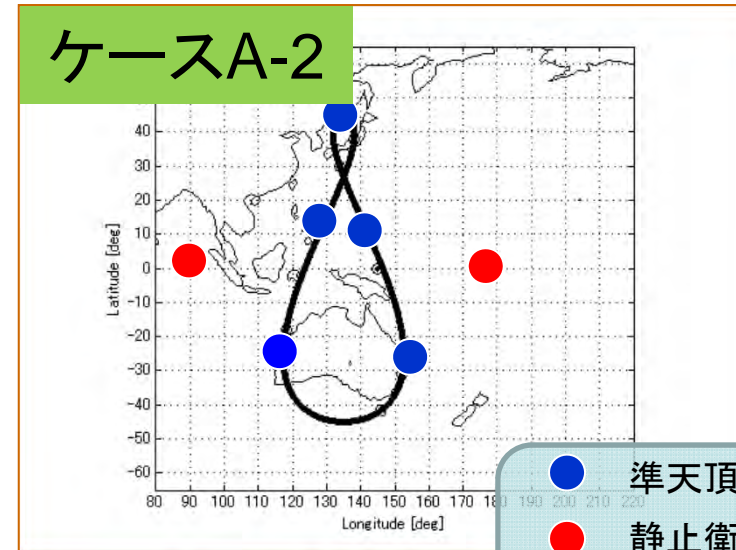
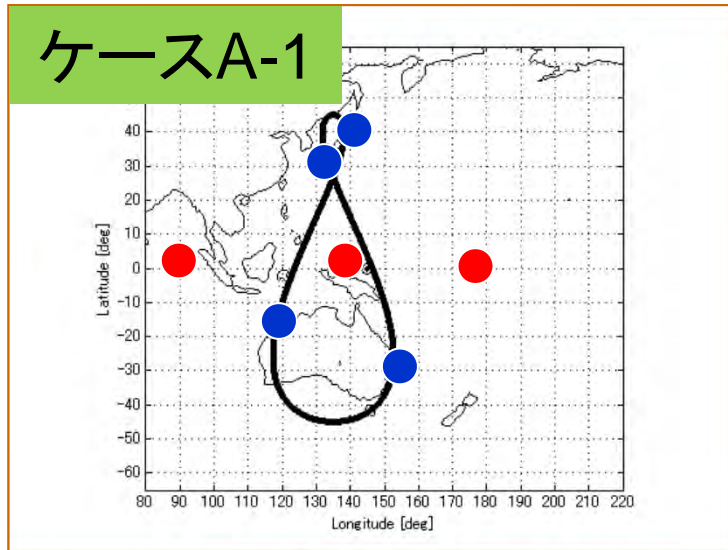
- 軍事用システムとして開発され、中国のみを対象とする地域システムとして2000年から実験が始められた。
- 2007年以降、全世界を対象とする測位衛星システムとしての整備を進め、民生用にも開放。2011年4月現在、6機(推定、初期実験機は含まない)を運用中。
- 2012年以降2018年を目途に中国を中心としたアジア周辺地域に限定したサービス提供。2020年以降に全世界を対象としたサービス提供を予定。



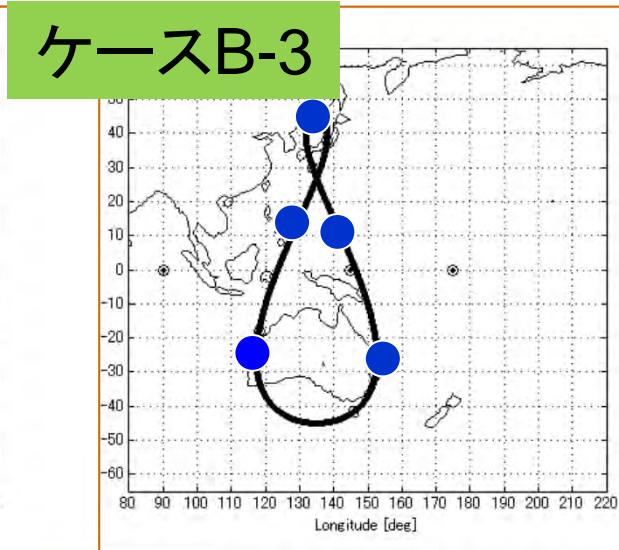
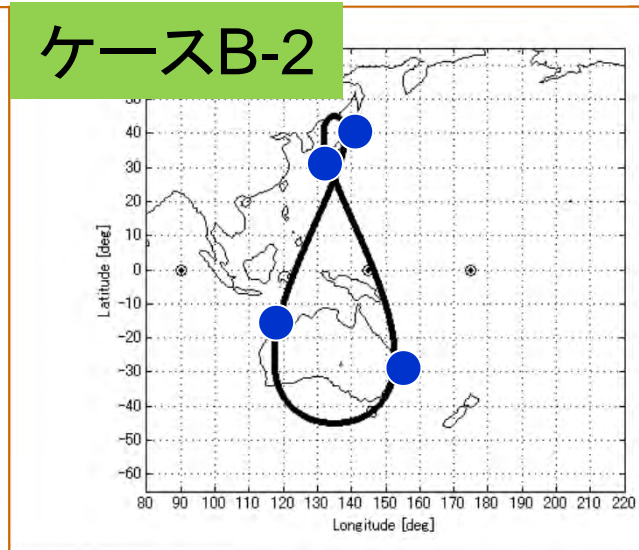
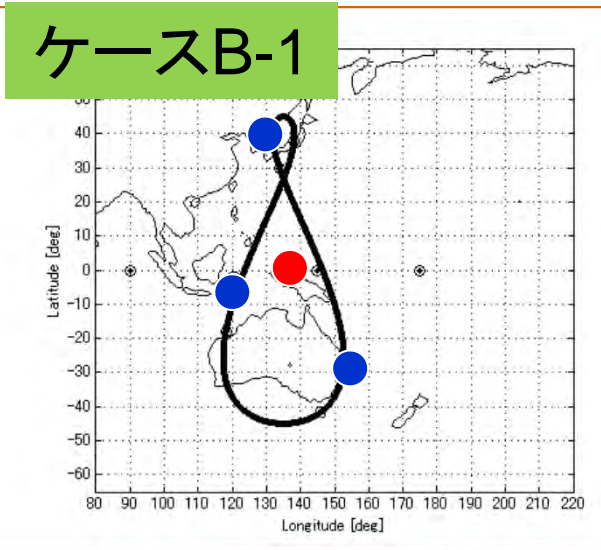
2010年8月1日の「北斗」打上げ
(新華社ウェブサイトより)

4. 我が国の測位衛星システムの構成イメージ

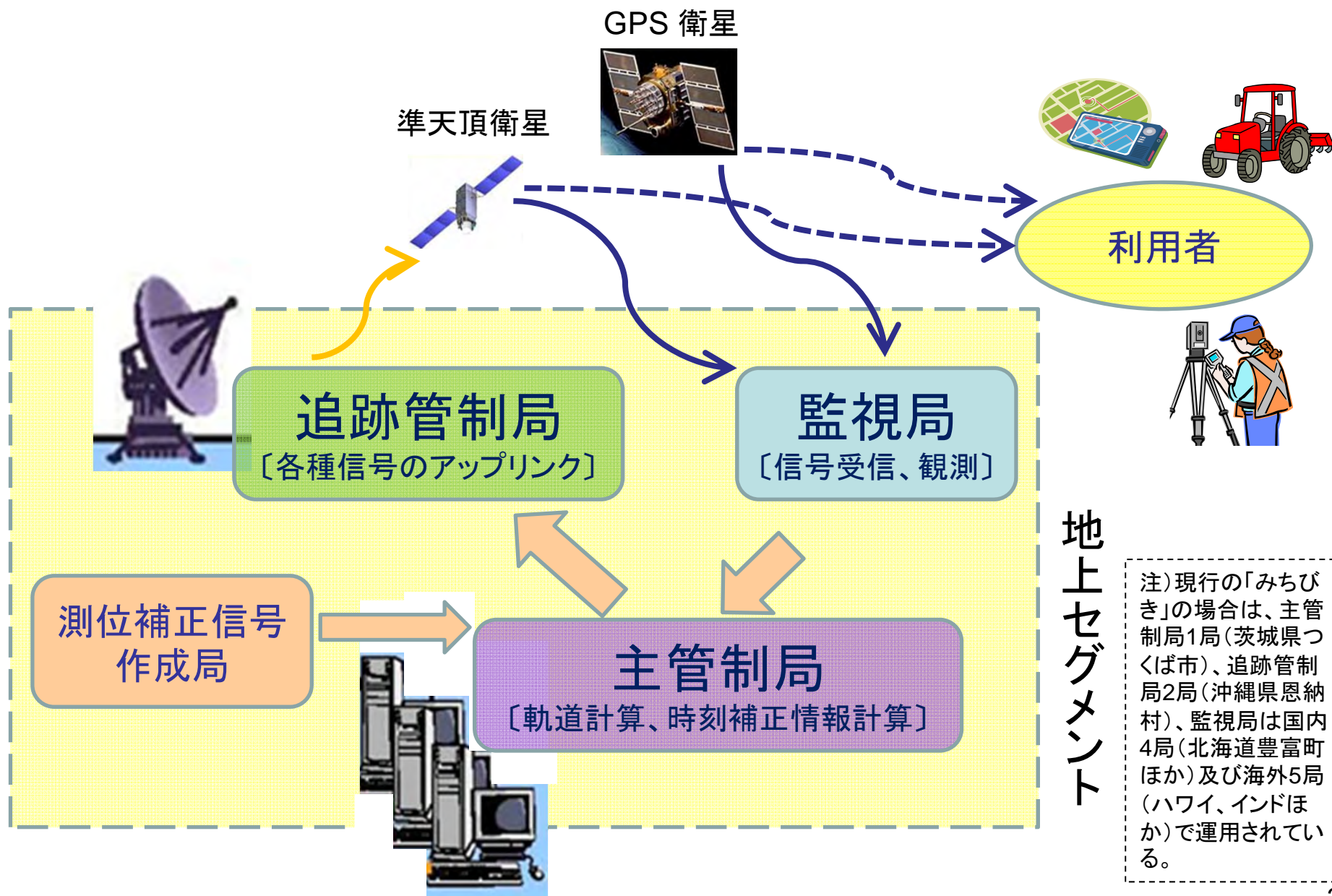
5つのケースの衛星配置イメージ



● 準天頂衛星
● 静止衛星
(静止衛星の位置は概念的なものである。)



地上セグメントの構成イメージ



地上セグメント

注) 現行の「みちびき」の場合は、主管制局1局(茨城県つくば市)、追跡管制局2局(沖縄県恩納村)、監視局は国内4局(北海道豊富町ほか)及び海外5局(ハワイ、インドほか)で運用されている。