L帯を用いた衛星測位の動向とこれまでの準天頂衛星初号機「みちびき」の実験結果

平成25年4月16日

(独)宇宙航空研究開発機構

説明内容

1. L帯を用いた衛星測位の動向
   - ① L帯のRNSSの概要
   - ② 各国の測位システムの状況

2. 「みちびき」の実験結果
   - ① 「みちびき」の経緯と技術実証実験の結果概要
   - ② 「みちびき」で抽出された課題

3. まとめ

1. L帯を用いた衛星測位の動向

1. L帯を用いた衛星測位の動向

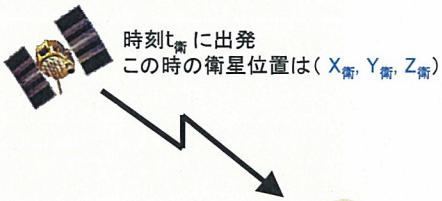
① L帯のRNSS概要

- 無線航法衛星サービス RNSS (Radio Navigation Satellite Service)
  - カーナビに代表されるように、宇宙空間を飛行する人工衛星からの信号を受信し、各利用者が位置情報と時刻を算出
  - 位置、時刻の算出にあたっては、同時に4衛星以上を受信することを必要とするが、衛星の幾何学的配置等により位置誤差が10数メートルになる場合がある。
  - これまでのRNSSは米国が整備したGPS(Global Positioning System)中心であったが、GPS以外の無線航法衛星サービスが提供されつつあり、今後も測位衛星は増加する傾向。
  - RNSSの利用形態はカーナビに限らず、測量、航空管制、物流、農業、観光、防災、金融分野にも拡大している。

1. L帯を用いた衛星測位の動向

① L帯のRNSS概要　－衛星測位の原理－

- 既知の情報をもとに、未知の情報（利用者が知りたい位置と時刻）を計算
  - 既知の情報・・・衛星の位置と時刻
  - 未知の情報・・・利用者(受信機)の位置と時刻
- 数式で書くと、
  - 衛星の位置（3次元）と時刻を
    - $X_{衛}, Y_{衛}, Z_{衛}, t_{衛}$　とし、
  - 受信機の位置（3次元）と時刻を
    - X, Y, Z, t　とすると、
  - 衛星と受信機の距離　は、



$$\sqrt{(X-X_{衛})^2+(Y-Y_{衛})^2+(Z-Z_{衛})^2}=c\cdot(t-t_{衛})$$

（ここで、cは光速）

  - 上記のとおり、$X_{衛}, Y_{衛}, Z_{衛}, t_{衛}$は、衛星からのメッセージ(測位信号)の中に存在する

- よって、未知数4つ（X, Y, Z, t）を解く（＝衛星測位が可能となる）ためには、4つの測位衛星が同時に可視となることが必要
- 結果として、受信機が得られる情報は、「位置」と「時刻」となる。

1. L帯を用いた衛星測位の動向

② 各国の測位システムの状況（1/5）

衛星測位システムの重要性と将来性から、世界の宇宙先進国で開発や計画が進行中

米国：GPS（運用中）
(Global Positioning System)

システム構成：
6軌道面×各4機の計24機+軌道上予備の衛星で構成（2013年4月現在、31機運用中）

ロシア：GLONASS（運用中）
(Global Navigation Satellite System)

システム構成：
3軌道面×各8機の計24機の衛星で構成
（2013年4月現在、29機運用中（うち利用可能な衛星23機））

欧州：Galileo（実験中）

システム構成：
3軌道面×各10機の計30機の衛星で構成
（2005年12月に1機目、2008年4月に2機目の実験機を打上げ。2011年10月に1/2号機を打上げ。 全体システムの整備完了は2016～2019年の予定。）

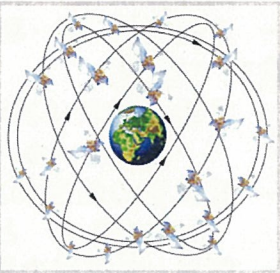
中国：COMPASS（北斗）（一部運用中）
(Compass Navigation Satellite System)

システム構成：
静止衛星5機、地球同期軌道衛星3機
中高度軌道衛星27機（3軌道面×各8機）
（2000年10月の初号機以降、4機の試験衛星を打上げ。第2世代の衛星を2007年4月から13機打上げ。2012年に中国及び太平洋地域へのサービス開始。グローバルシステム完成は2020年予定。）

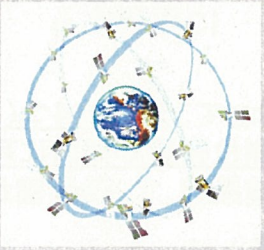
インド：IRNSS（開発中）
(Indian Regional Navigation Satellite System)

システム構成：
静止衛星3機、地球同期軌道衛星4機
インド周辺をカバーする地域システム
（初号機を2012年後半に打上げ予定であったが、2013年4月現在、打上げたとのアナウンスは無い。全体システムを2014年までに整備予定。）

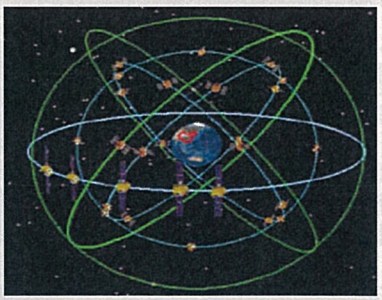
1. L帯を用いた衛星測位の動向
② 各国の測位システムの状況 (2/5)
(1) GPS (米国)

GPS	米空軍が運用する軍民デュアルユースシステム	軌道上概念図
軌道	高度約20200Km円軌道、軌道傾斜角 56度	
コンステレーション	6軌道面×4衛星の24機+軌道上予備機→2011年6月以降27機ノミナルに移行	
測位信号	(民生)L1C/A, L2C, L5, L1C(Block III~) (軍事)L1P, L2P, L1-M, L2-M	
運用状況	2013年4月現在で31衛星が運用中	
近代化	現行Block IIF衛星の後継機として、Block III衛星開発中(Block III初号機でのサービス開始は2014年を予定)。また地上系の更新を合わせて実施中。	

(2) GLONASS (ロシア)

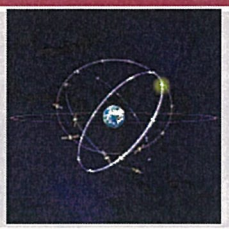
GLONASS	ロシア軍が運用する軍民デュアルユースシステム	軌道上概念図
軌道	高度約19100Km円軌道、軌道傾斜角 64.8度	
コンステレーション	3軌道面×8衛星の24機+軌道上予備機	
測位信号	(民生)L1OF, L2OF, L3OC(GLONASS-K~) (軍事)L1SF, L2SF,	
運用状況	2011年末に24機体制に復帰。 2013年4月現在で29衛星が運用中(うち利用可能な衛星23機)	
近代化	GLONASS-KシリーズによるCDMA信号追加	

1. L帯を用いた衛星測位の動向
② 各国の測位システムの状況 (3/5)
(3) Beidou(COMPASS) (中国)

Beidou (COMPASS)		軌道上概念図
軌道	MEO:高度約21500Km円軌道、軌道傾斜角 55度 IGSO: 高度約36000Km円軌道、軌道傾斜角 55度 GSO: 東経60, 84, 110.5, 144.5, 160度	
コンステレーション (Phase III)	MEO:3軌道面×9衛星の27機 GEO:5衛星 IGSO:3衛星 合計35機システムが最終構成	
測位信号 (Phase III)	(民生)B1-C, B2a, B2b (軍事)B1, B3, B3-A	
運用状況	2012年11月現在で16衛星が運用中。 2012年に中国及び太平洋地域へのサービス開始(Phase-II)	
近代化	2020年までにPhase-IIIとしてグローバルにシステム拡張予定	

1. L帯を用いた衛星測位の動向
② 各国の測位システムの状況（4/5）

(4) Galileo（欧州）

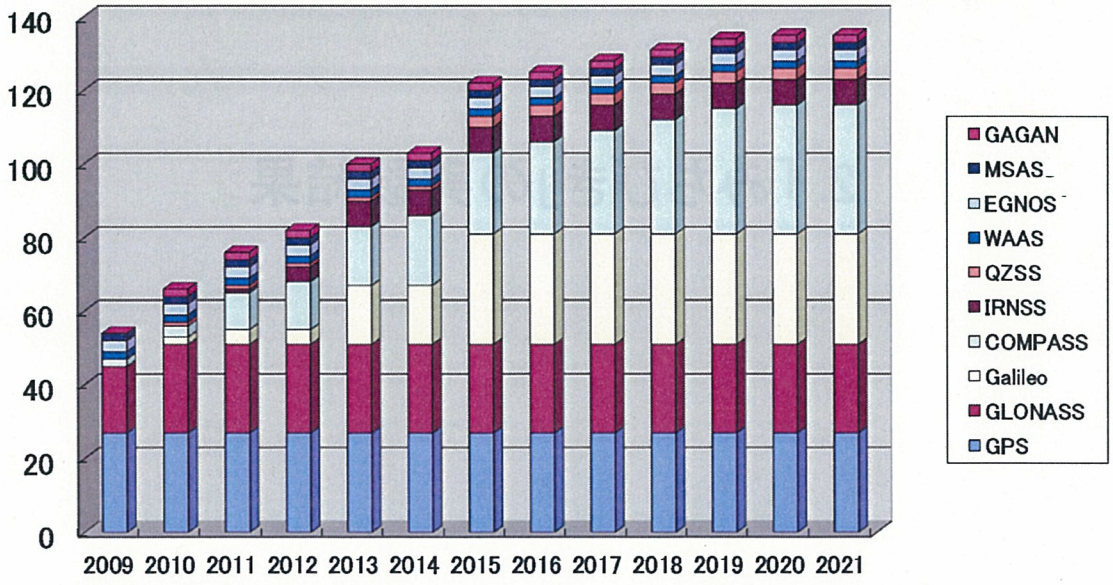
Galileo	ECが所有する民生システム(ESAが調達・整備を、GSAが利用促進・運用を実施)	軌道上概念図
軌道	高度約23222Km円軌道、軌道傾斜角　56度	
コンステレーション	3軌道面×9衛星の27機＋軌道上予備3機の30機で構成	
測位信号	(民生)OS:E1, E5a, E5b、CS: E1, E5a/bE6 (公共)PRS:E1, E6	
運用状況	2013年4月現在、軌道上試験機(IOV衛星)4機	

(5) IRNSS（インド）

IRNSS		軌道上概念図
軌道	IGSO: 高度約36000Km円軌道、軌道傾斜角　29度 GSO: 東経32.5, 83, 131.5度	
コンステレーション	GEO:3衛星、IGSO:地上軌跡2×2衛星　4機 合計7機構成	
測位信号	(民生/公共)　L5、Sバンド	
運用状況	ICG-6時点(2011年9月)には、2012年の第2四半期に初号機を打上げ、2015年までに7機システムを完成する計画であったが、2013年4月現在、初号機打上げたとのアナウンスは無し	

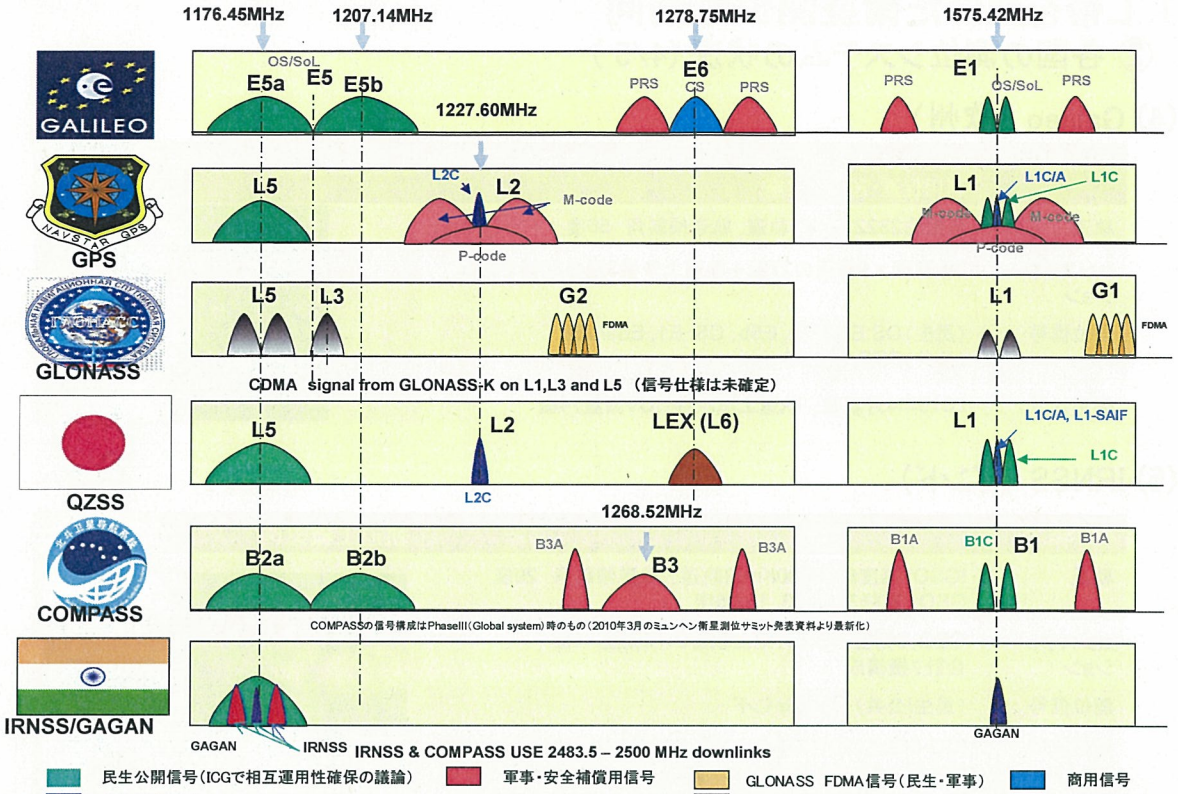
1. L帯を用いた衛星測位の動向
② 各国の測位システムの状況（5/5）

GPSを含む無線航法衛星サービスを行う人工衛星数の変移（予想図）



【参考】静止衛星からの補正データを利用した測位システムを総称して静止衛星型衛星航法補強システムSBAS(Satellite-based Augmentation System)と呼ばれる。
各システム名称は、GAGAN(GPS And Geo Augmented Navigation、印)、 MSAS(MTSAT Satellite-based Augmentation System、日本)、EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service、欧)、 WAAS(Wide Area Augmentation System、米)。

各衛星測位システムの送信信号周波数分布



2.「みちびき」の実験結果

2.「みちびき」の実験結果

「みちびき」の経緯と技術実証実験の結果概要（1/6）

(1) プロジェクトの経緯

- ✓ 2006年10月：宇宙開発委員会推進部会において、「宇宙開発に関する重要な研究開発の評価」として、準天頂高精度測位実験の事前評価結果について最終とりまとめ。
- ✓ 2006年11月：宇宙開発委員会において、上記とりまとめ了承。
- ✓ 2007年1月：JAXA宇宙利用推進本部（現、第一衛星利用ミッション本部）において、準天頂衛星システムプロジェクトチームを発足し、準天頂衛星システム（第1段階）の整備・運用に着手。

(2) 打ち上げ後の経緯

- ✓ 2010年9月11日20時17分にH-IIAロケット18号機により打ち上げ。
- ✓ 同年12月13日に定常運用に移行。12月15日から技術実証・利用実証を開始。
- ✓ 2011年6月22日にGPS補完信号の一部（L1C/A、L2C）、7月14日に残りの全てのGPS補完信号（L5、L1C）について、測位演算に使用できる健全な測位信号の提供を開始。
- ✓ 以降、技術実証・利用実証は順調に実施。

「みちびき」軌道上外観

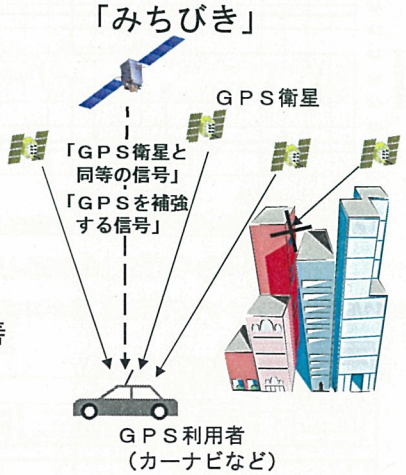
打上げ@種子島宇宙センター

「みちびき」の諸 元	
質量	4020kg（ﾄﾞﾗｲ質量1802kg）
発生電力	約5kW
姿勢	三軸安定 ／ 測位アンテナを地心方向指向
測位用信号等	測位信号：GPS相互運用信号＋独自信号（LEX信号） 時刻比較：Ku帯
寿命	10年（ﾊﾞｯﾃﾘ、太陽電池、推薬：12年）
軌道	準天頂軌道 （軌道傾斜角：約45度、離心率：約0.1、 周期：23時間56分、 軌道長半径：約42,000km）

2.「みちびき」の実験結果

「みちびき」の経緯と技術実証実験の結果概要（2/6）

「みちびき」により改善される測位サービス



- ■ 測位可能時間の向上
  - ➢ 準天頂衛星が常に天頂付近にあることから、他の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。山陰、ビル陰による遮断により測位が困難になる場合や偏った衛星配置により精度の劣化を補うことが可能
- ■ 測位精度の向上
  - ➢ 補強信号の送信等により、測位精度が1m、cm級に改善
- ■ 測位信頼性の向上
  - ➢ 準天頂衛星やGPS衛星の異常を数10秒以内で通知
- ■ 捕捉時間の短縮
  - ➢ 捕捉支援情報を送信することで、GPSでは30秒から1分程度必要とする補捉時間を、受信機の電源投入後の初期立上げから15秒程度に短縮
- ■ メッセージを地上に送信
  - ➢ 現在のGPSでは、位置と時間しか知ることができないが、「みちびき」は測位信号や補強信号に災害情報などの緊急情報を付加して一斉に送信することが可能

2.「みちびき」の実験結果

「みちびき」の経緯と技術実証実験の結果概要（3/6 ）

- 準天頂衛星システムの技術実証・利用実証
  - 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実験を実施する。
  - 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化を行う。
  - 次世代衛星測位基盤技術：実験用信号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。

    ⇒JAXAは、GPS補完、次世代衛星測位基盤技術に関する技術実証を実施する

- サクセスクライテリア （各サクセスクライテリアの達成状況の詳細は補足資料を参照）

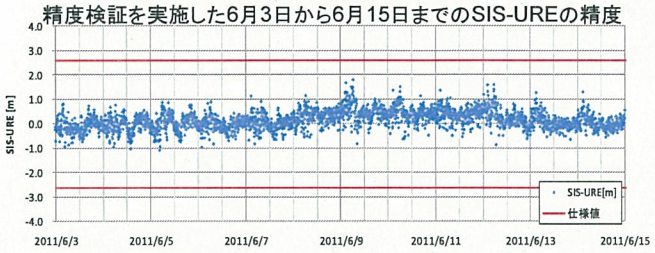
クライテリア			達成状況
GPS補完システム技術	ミニマムサクセス	GPS補完信号を送信して都市部、山間部等で可視性改善が確認できること	達成
	フルサクセス	近代化GPS(*1)民生用サービス相当の測位性能が得られること。	達成
	エクストラサクセス	電離層遅延補正等の高精度化により目標を上回る測位性能が確認されること。	達成
次世代衛星測位基盤技術(*2)	ミニマムサクセス	－	－
	フルサクセス	将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の機能が確認されること。（実験計画制定時に、目標の具体化を図る。）	達成
	エクストラサクセス	将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実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

＊1 近代化GPS：米国で計画されている次世代の高精度化、高信頼性化衛星測位システム
＊2 将来の高度化に向けた基盤技術とは、実験信号（周波数・コード・メッセージ）等による測位精度の更なる高精度化、高信頼性化を目指した技術開発を計画中である。

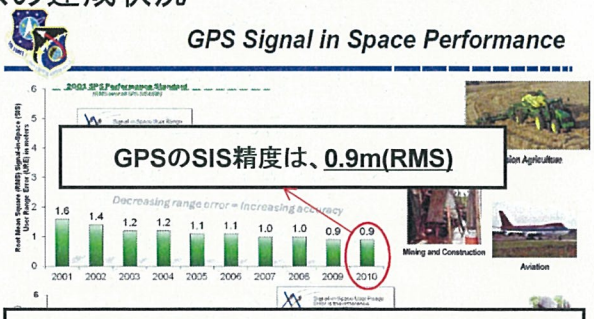
「みちびき」の経緯と技術実証実験の結果概要（4/6 ）
－ GPS補完システム技術 フルサクセスの達成状況－

平成23年 CGSIC資料から抜粋

精度検証を実施した6月3日から6月15日までのSIS-UREの精度

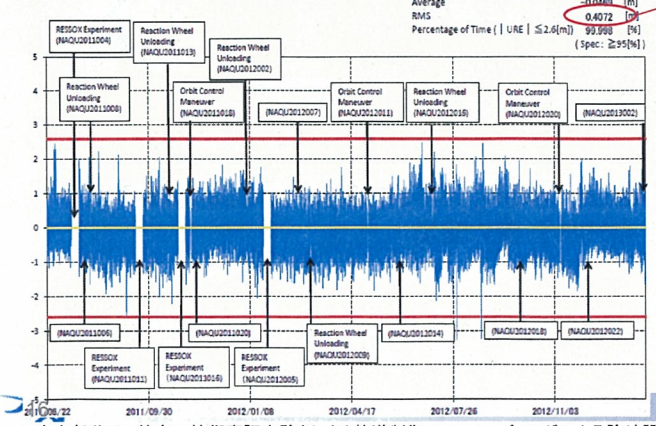


「みちびき」の要求仕様値：±2.6m以内（95%）を時間率100%で達成

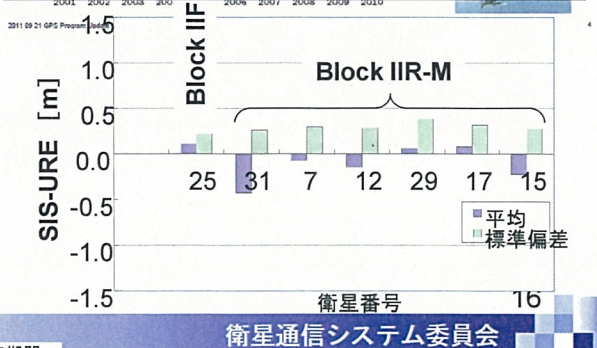


「みちびき」のSIS-URE

2011/6/22のアラートフラグ解除後、約2年に渡り継続的に精度を満足



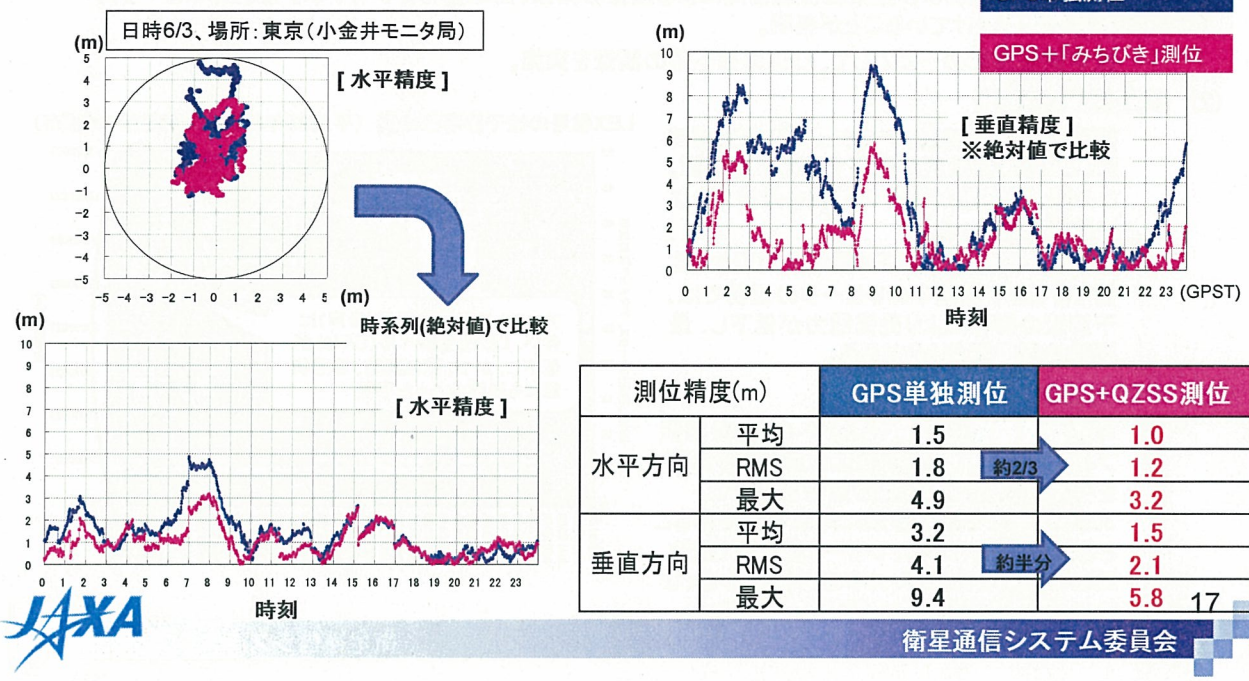
「みちびき」のSIS精度は、0.4m(RMS)であり、GPSのSIS精度を上回っている。また、下記の最新型GPSであるBlock IIR-MやIIFと比較しても同等の精度を有しており、世界トップレベルを達成



空白部分は、特定の技術実証実験もしくは軌道制御・アンローディングによる除外設定期間

「みちびき」の経緯と技術実証実験の結果概要（5/6）
－GPS補完システム技術 エクストラサクセスの達成状況－

電離層補正パラメータについて、モニタ実験局及び電子基準点情報を元に、日本近傍域にフィッティングした高精度補正モデルを生成した。 この電離層遅延補正の高精度化により、**「みちびき」を加えたときの測位精度が大幅に向上**することを確認した。



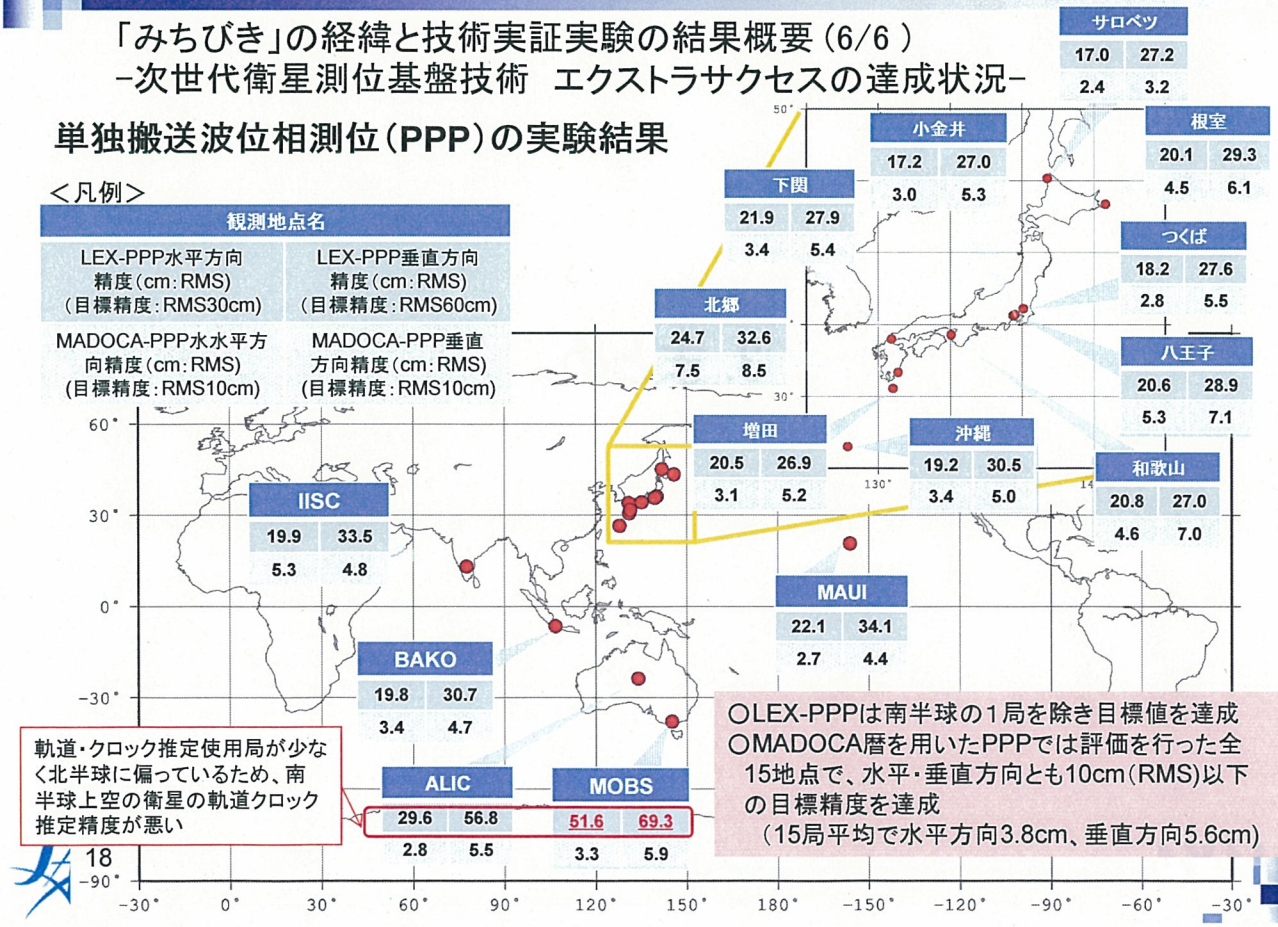
測位精度(m)		GPS単独測位	GPS+QZSS測位
水平方向	平均	1.5	1.0
	RMS	1.8	1.2
	最大	4.9	3.2
垂直方向	平均	3.2	1.5
	RMS	4.1	2.1
	最大	9.4	5.8

約2/3

約半分

「みちびき」の経緯と技術実証実験の結果概要（6/6）
－次世代衛星測位基盤技術　エクストラサクセスの達成状況－

単独搬送波位相測位（PPP）の実験結果



2.「みちびき」の実験結果
「みちびき」で抽出された課題

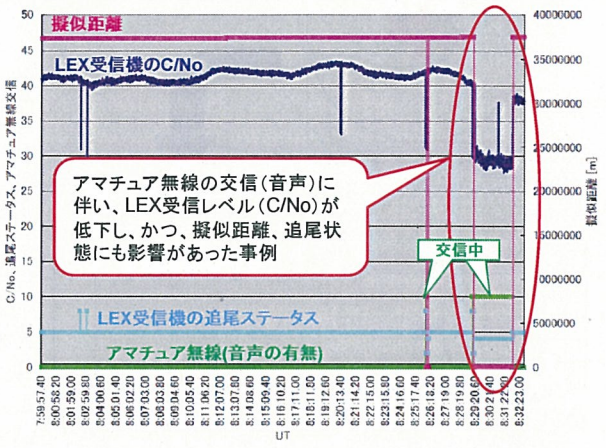
- LEX信号の被干渉事象

(1) 被干渉事象に関わる主な経緯
- 初期機能確認および関東総合通信局による調査の結果、LEX信号がアマチュア無線のレピータ局から干渉を受けていることが判明。
- 技術実証実験の一環として、LEXの被干渉の調査を実施。

(2) 調査結果の概要
- 被干渉調査の結果、アマチュア無線交信時にLEXの受信強度が低下する事象を確認。この際、受信機が信号の捕捉を維持できない時間帯もあった。
- ほとんどの場所ではLEX信号は問題なく受信できるが、交信中のレピータの近傍では、干渉波の影響により受信電力が低下し、最悪時は受信不能となりえる。

(3) 干渉対策案
- 可搬型受信機に内蔵できるサイズの共振型フィルタを試作し、測位性能にほとんど影響を与えることなく、希望波/妨害波電力比-30dB程度までの干渉波に対応可能であることを確認した。しかし、レピータ設置付近(約200m以内)では本フィルタの効果が小さくなり、干渉回避不可となる解析結果となった。

LEX信号の被干渉事象の例 （平成23年3月9日　茨城県つくば市）



3. まとめ

3. まとめ

- 衛星測位システムはGPSから多様性のGNSSへ
  - 世界の宇宙先進国が競って衛星測位システムを整備を推進
    - GPSの近代化（米国）、GLONASSの復活（ロシア）
    - Beidou（COMPASS）の躍進、Galileo（欧州）の推進
    - 地域測位システムのインドのIRNSS、そして日本の準天頂衛星システム

- 「みちびき」の達成状況
  - JAXAがこれまで実施してきた技術実証実験は、エクストラサクセスを含む全てのサクセスクライテリアを達成。
  - 一方、一部のL帯測位信号については、今後議論すべき技術課題(LEX信号の被干渉)も抽出されてきている。

補足説明資料

【補足1】各サクセスクライテリアの達成状況

- GPS補完システム技術ミニマムサクセスの達成状況

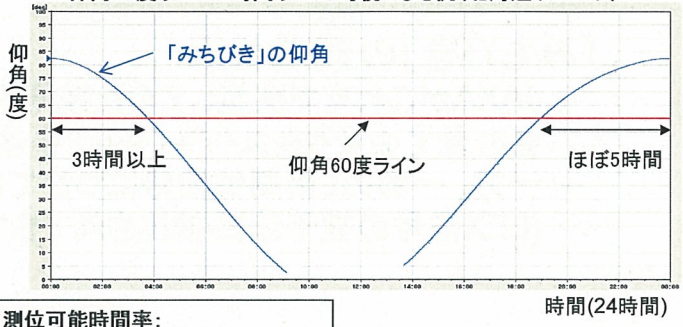
【クライテリア】 :GPS補完信号を送信して都市部、山間部等で可視性改善が確認できること。

【確認結果】 :都市部、山間部での測位衛星の可視性改善のための以下の条件を満足することを確認した。
「日本国内で仰角60度以上で8時間以上準天頂衛星が見えること。」

⇒日本及びその近傍域において天頂に8時間以上の滞在を確認。(下右図参照)
⇒測位可能時間率の改善を確認(下左図参照)。

1周波コード測位における測位可能時間率の改善(新宿)

仰角60度以上で8時間以上の可視となる例(北海道サロベツ)



測位可能時間率:
・GPSのみ 28.5%
・GPS+「みちびき」 70.0%

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

【補足1】各サクセスクライテリアの達成状況

- GPS補完システム技術フルサクセスの達成状況

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

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

【確認結果】

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

① 1周波コード:21.9m(95%)、2または3周波コード:7.5m(95%)
② SIS-URE (*2):±2.6m以内 (95%)

⇒ 上記①、②を満足していることを確認した。(下表参照)

(*2) SIS-URE(Signal-in-Space User Range Error):
測位精度を劣化させる誤差の一部であり、測位信号・信号の伝搬路・ユーザ受信機で発生する誤差の内、測位信号に起因する誤差。測位信号に含まれる衛星の軌道・時刻情報等の誤差であり、測位信号の基本性能を示す指標となっている。
精度に悪影響を与える誤差要因については、補足2を参照

① ユーザ水平方向測位精度(95%値)

項目	1周波コード測位	2周波コード測位
仕様値 [m]	21.9	7.5
実績 [m]	4.45	1.35

※2011年7月~2013年2月におけるJAXA測位モニタ実験局9局分のデータを集計(アラート設定期間除く)

② SIS-URE(95%値)

項目	値
仕様値 [m]	±2.6
実績 [m]	±0.8

※1:対象期間は、2011年7月~2013年2月

【補足1】各サクセスクライテリアの達成状況

- GPS補完システム技術フルサクセスの達成状況

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

⇒ 平成23年6月22日~平成25年2月28日までの実績において要求を満足（下表参照）。

項目	要求	実績
準天頂衛星システム全体	0.95以上	0.9868

アベイラビリティを下げる主要因となっている衛星マヌーバ運用は、以下の通り、要求を満足している。

①軌道制御によるｻｰﾋﾞｽ停止時間間隔 ： 平均150日、アラート付加時間36時間以下 [要求]
平均182日に1回（アラートフラグ付加時間:平均30時間）[実績]

②ｱﾝﾛｰﾃﾞｨﾝｸﾞによるｻｰﾋﾞｽ停止時間間隔 ： 平均40日以上、アラート付加時間12時間以下 [要求]
平均78日に1回（アラート付加時間: 平均12時間） [実績]

なお、他の要因についても要求を満足している。（補足3参照）

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

⇒初期機能確認試験において意図的なSIS-URE異常を発生させ、異常検知からアラート通知までの時間計測を実施し、通知時間の要求を満足していることを確認 （補足4参照）

信号	仕様 [秒]	最大通知時間 [秒]
L1C/A	30	19
L2C	40	25.5
L5	30	18.8
L1C	90	54.0

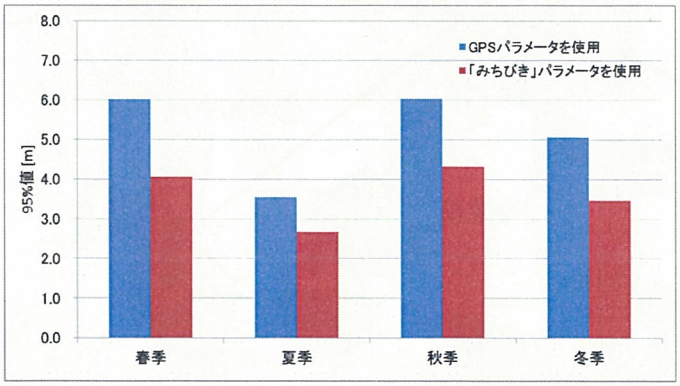
【補足1】各サクセスクライテリアの達成状況

- GPS補完システム技術エクストラサクセスの達成状況

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

【確認結果】 ： GPSの電離層遅延補正モデルを日本近傍域を対象に合わせこむことにより、日本近傍域においてGPS（水平測位精度：21.9m（95%）以下）を上回る測位精度（3.63m（95%））を達成した。以下に季節ごとの精度改善効果を示す。（GPSのパラメータを使用した場合と比較して30～40%程度と大きく向上していることがわかる）

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



※ 電離層状態の季節変化に配慮し、2011年8月~2013年2月にかけて季節毎に約2週間分のデータで評価した。

【補足1】各サクセスクライテリアの達成状況

- 次世代衛星測位基盤技術に関するサクセスクライテリアの達成状況

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

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

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

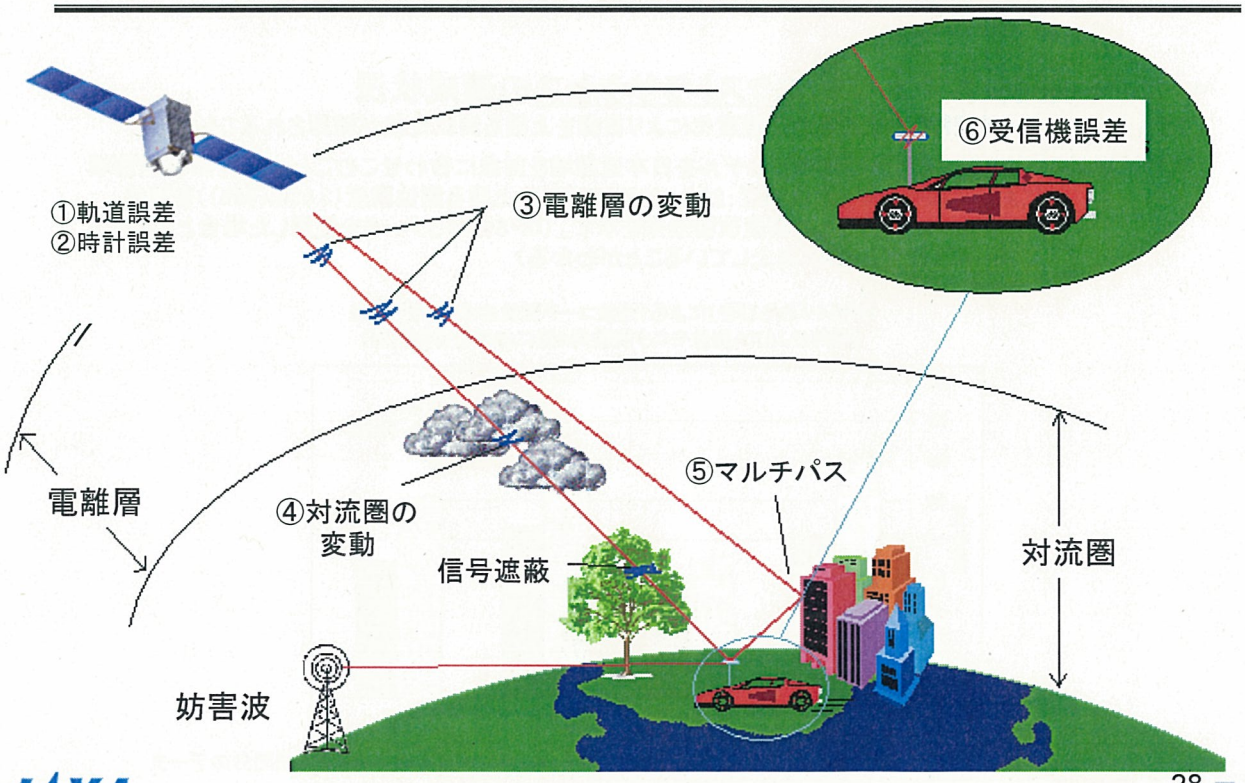
【エクストラサクセス】: 将来の測位システム高度化に向けた基盤技術実験により所定の性能が確認されること。

【確認結果】

① GPSのモデルとは異なる「みちびき」独自に構築した電離層遅延補正モデルにより、1周波測位において目標(3m(95%)以下)を上回る測位精度(1.40m(95%))を達成した。

② 高精度な衛星軌道・時刻情報を搭載したLEX信号を利用した単独搬送波位相測位により、地上基準点によらず、水平30cm、垂直60cmの誤差(rms)の測位精度を実現できること確認した結果、目標の精度を達成した。

【補足2】精度に悪影響を与える誤差要因 ー概念図ー



【補足2】精度に悪影響を与える誤差要因　ー誤差源の配分ー

誤差源		標準ユーザ（1周波）	標準ユーザ（2周波）	高精度化手法例(*) (*下線はQZSSにおける高精度化)
測距誤差 宇宙	①軌道予報誤差	2.6m	2.6m	・高精度軌道・時刻推定予報のためのMCSアルゴリズムの継続改良 ・良好なモニタ局配置（海外展開） ・高精度な原子時計の搭載
	②時刻予報誤差			
伝搬	③電離層遅延誤差	14.0m	0.2m	・電子基準点を用いた日本に最適化した電離層遅延モデルの生成・配信 ・2周波利用／広域DGPS利用による除去
	④対流圏遅延誤差	0.4m	0.4m	・モデルの改良、広域DGPSによる除去
	⑤マルチパス誤差	3.0m	3.0m	・BOCによるマルチパス耐性の強化 ・可視衛星数の増大(取捨選択) ・受信機の技術改良(相関幅を狭く)
地上	⑥受信機誤差	1.2m	3.0m	・受信機の技術改良
ユーザ測距誤差(95%)		14.5m	4.6m	-
HDOP		1.5	1.5	・衛星配置の改善
水平位置誤差(95%)		21.9m	7.5m	-

幾何学的配置誤差

誤差配分は、近代化GPS相当(*2)

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

【補足3　アベイラビリティの確認結果】

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

平成23年7月~平成25年2月までの実績

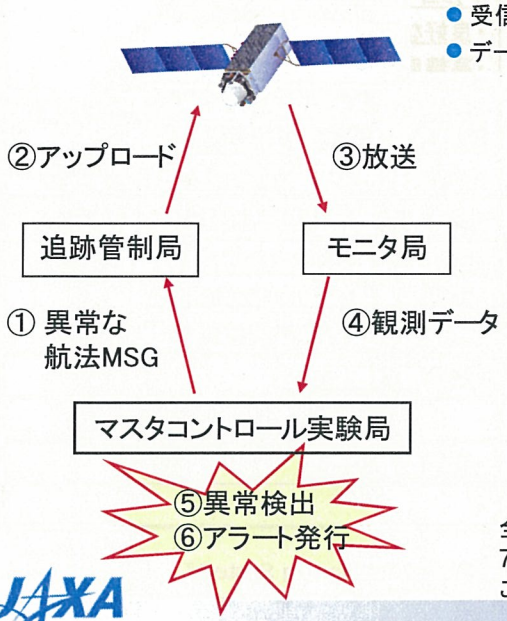
項目		要求	実績
準天頂衛星システムのアベイラビリティ		**0.95以上**	**0.9868**
内訳	$T_{\Delta V}$：軌道制御によるｻｰﾋﾞｽ停止時間	間隔は平均150日、 アラート付加時間36時間以下	0.9933
	T_{UL}：ｱﾝﾛｰﾃﾞｨﾝｸﾞによるｻｰﾋﾞｽ停止時間	間隔は平均40日以上、 アラート付加時間12時間以下	0.9957
	A_{SAT}：衛星ﾊﾞｽ稼働率	0.995以上	0.9999
	A_{GRD}：追跡管制ｼｽﾃﾑ稼働率	0.995以上	0.9997
	A_{NAV}：高精度測位実験ｼｽﾃﾑ稼働率	0.99以上	0.9983
	A_{ACC}：誤警報を出さない確率	0.995以上	0.9999

①軌道制御によるｻｰﾋﾞｽ停止時間間隔：平均180日に1回（アラートフラグ付加時間36時間以下）［実績］
②ｱﾝﾛｰﾃﾞｨﾝｸﾞによるｻｰﾋﾞｽ停止時間間隔：平均75日に1回（アラート付加時間12時間以下）　［実績］

【補足4　インテグリティの確認結果】

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

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



アラート通知時間計測結果

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

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

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