

人工衛星について

衛星一般(衛星軌道、通信/放送衛星、地球観測衛星、測位衛星など)

衛星測位利用推進センター

2011年1月18日

1. 衛星のミッションと軌道
2. 衛星の概要
 - (1) 衛星の構成
 - (2) 衛星の製作から打ち上げ
3. 代表的な衛星例
 - (1) 通信衛星: Superbirdなど
 - (2) 観測衛星: ALOSなど
 - (3) 測位衛星: GPS、GALILEOなど

1. 衛星のミッションと軌道



1. 衛星のミッションと軌道/衛星の分類

| ミッション | | 代表的な衛星 | 備考 |
|---------|----------|---|-----------------------------|
| 衛星通信・放送 | 固定衛星通信 | Intelsat, Echostar, DirecTV, Superbird | リジョナルなサービス |
| | 移動体衛星通信 | Globalstar, Iridium | グローバルサービス |
| | DARS | XM | Digital Audio Radio Service |
| | データ中継 | TDRS, DRTS | 低軌道衛星のデータを中継 |
| 航行・測位 | | NAVSTAR, GLONASS, QZSS | グローバルとリジョナルサービス |
| 軍事 | 通信 | Milstar, DSCS III | |
| | 早期警戒 | DSP | |
| | インテリジェンス | KH, Lacrosse, | |
| 地球観測 | | Landsat, EOS-PM, Jason, ALOS | |
| 気象 | | GOES, MTSAT | |
| 技術試験 | | WINDS | |

赤字: 我が国の衛星

資料: “世界の宇宙インフラデータブック 衛星編”(SJAC)

1. 衛星のミッションと軌道/代表的な軌道

代表的な軌道

静止軌道

・軌道半径42,000km(軌道高度36,000km)/軌道傾斜角ゼロの正円軌道を選ぶと、衛星が地球の回転(24hr/rnd)と同期し赤道上空にあたかも静止しているかのように見える。常時、地上局との交信可能。

⇒固定通信・放送衛星、気象観測衛星の多くが静止軌道を利用。ただし、高緯度となるに従い仰角が低くなる。

・準天頂軌道はほぼ同じ軌道半径で傾斜角を45°つけることにより時間の制約はあるものの天頂付近に位置する。

太陽同期軌道

・同じ地方時で軌道面が赤道と交わる特徴を持つ。地上への太陽入射角が一定のため地球観測衛星や気象観測衛星に都合が良い。さらに軌道半径や軌道傾斜角を適切に選ぶことにより一定周回後に衛星が同じ地点上空を通過するように設定することができる。地上との交信には地理的、時間的な制約(⇒データ中継衛星を利用)

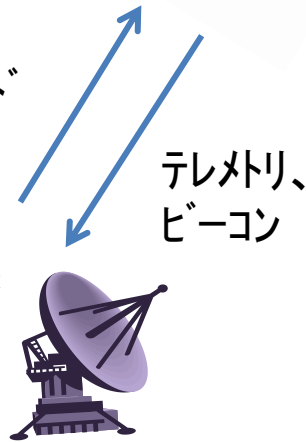
・軌道高度は400~1000kmが一般。

2. 衛星の概要 (1)衛星の構成

宇宙系



コマンド



衛星システム

宇宙系

1. ミッション系
 - 通信機器、観測機器 (光学カメラ、レーダなど)
2. バス系

地上系

1. 追跡管制局
2. ユーザー局
 - 観測衛星データ受信局
 - 衛星通信中継局
 - VSAT (小型衛星通信端末)
 - 衛星放送受信端末 (アンテナ、チューナー)

追跡管制局

ユーザー局あるいはユーザー端末



副局：茨城ネットワーク管制センター (SPE)



2. 衛星の概要 (1) 衛星の構成

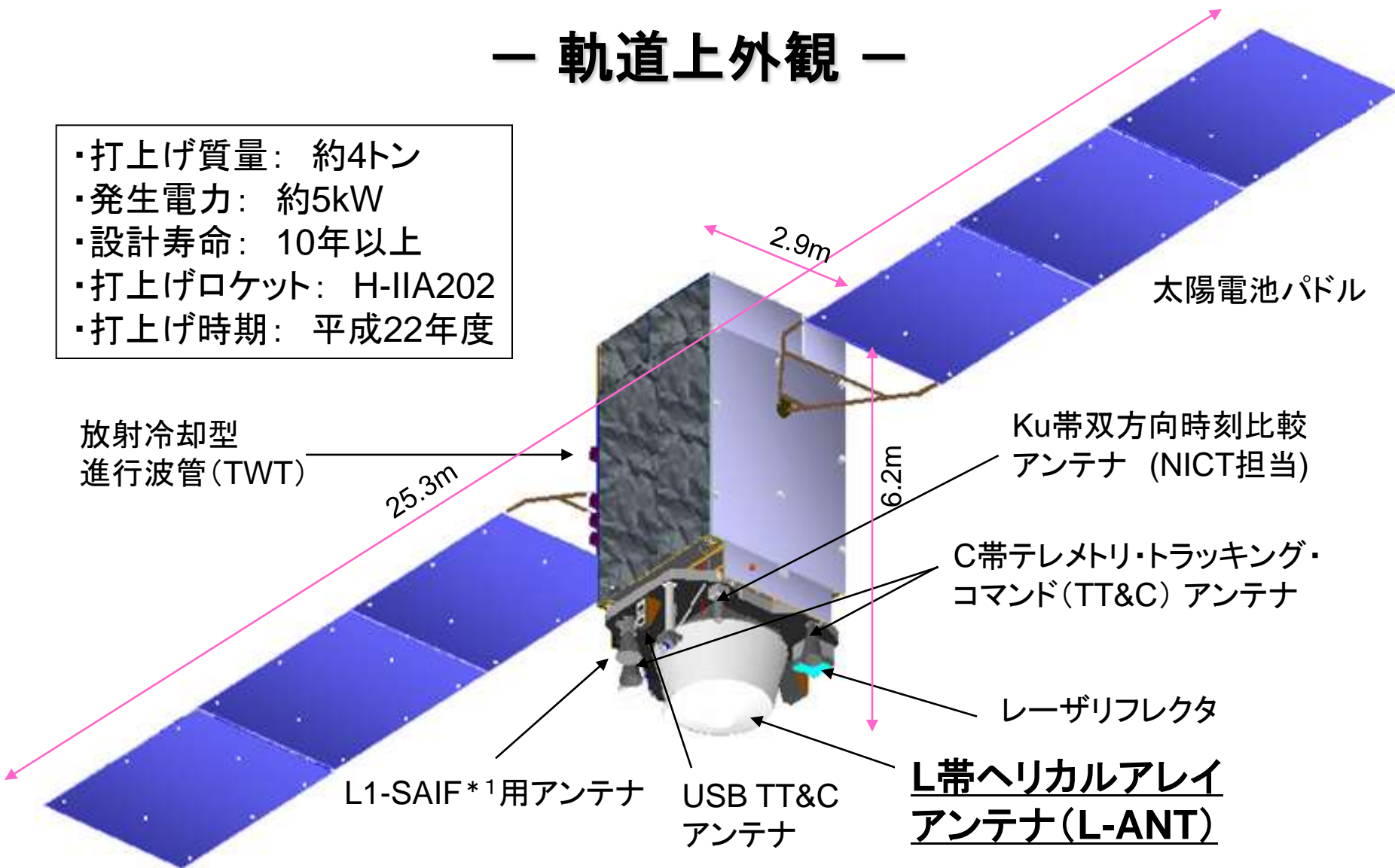
衛星バスの構成

| サブシステム | 機能 | 主な構成要素 | 備考 |
|-------------|---|------------------------------------|--------------------|
| 通信系 | 衛星と地上局または他の衛星の間における情報の中継をする | アンテナ、送信機、受信機など | |
| テレメトリ・コマンド系 | 地上局から受けたコマンドを適当なサブシステムに中継する。衛星の状態*を測定し地上に送る | テレメトリユニット、コマンドユニットなど | * 電流/電圧、温度、圧力... |
| 電源系 | 衛星内のすべてのサブシステムに電力を供給する | 太陽電池パドル、バッテリー、電力制御ユニットなど | |
| 姿勢・軌道制御系 | 姿勢を安定化し必要に応じ変更する。軌道を維持し必要に応じ変更する | 太陽センサー、地球センサー、姿勢制御ユニット、モーメントホイールなど | |
| 熱制御系 | 機器や構体*の温度を所定の環境に維持する | ヒーター、ヒートパイプ、塗装、断熱材、温度センサー | * 熱変形の抑制 |
| 構体系 | 衛星打ち上げ時を含む所定の機械的負荷に対して衛星形状を維持する | 中央円筒、構体パネル、ストラット | 打ち上げ時の加重：加速度、音響、振動 |
| 推進系 | 軌道変更、ステーション維持などを目的とした推力を発生する | 推進剤タンク、配管、弁、圧力センサー、スラスタ | |

準天頂衛星初号機「みちびき」

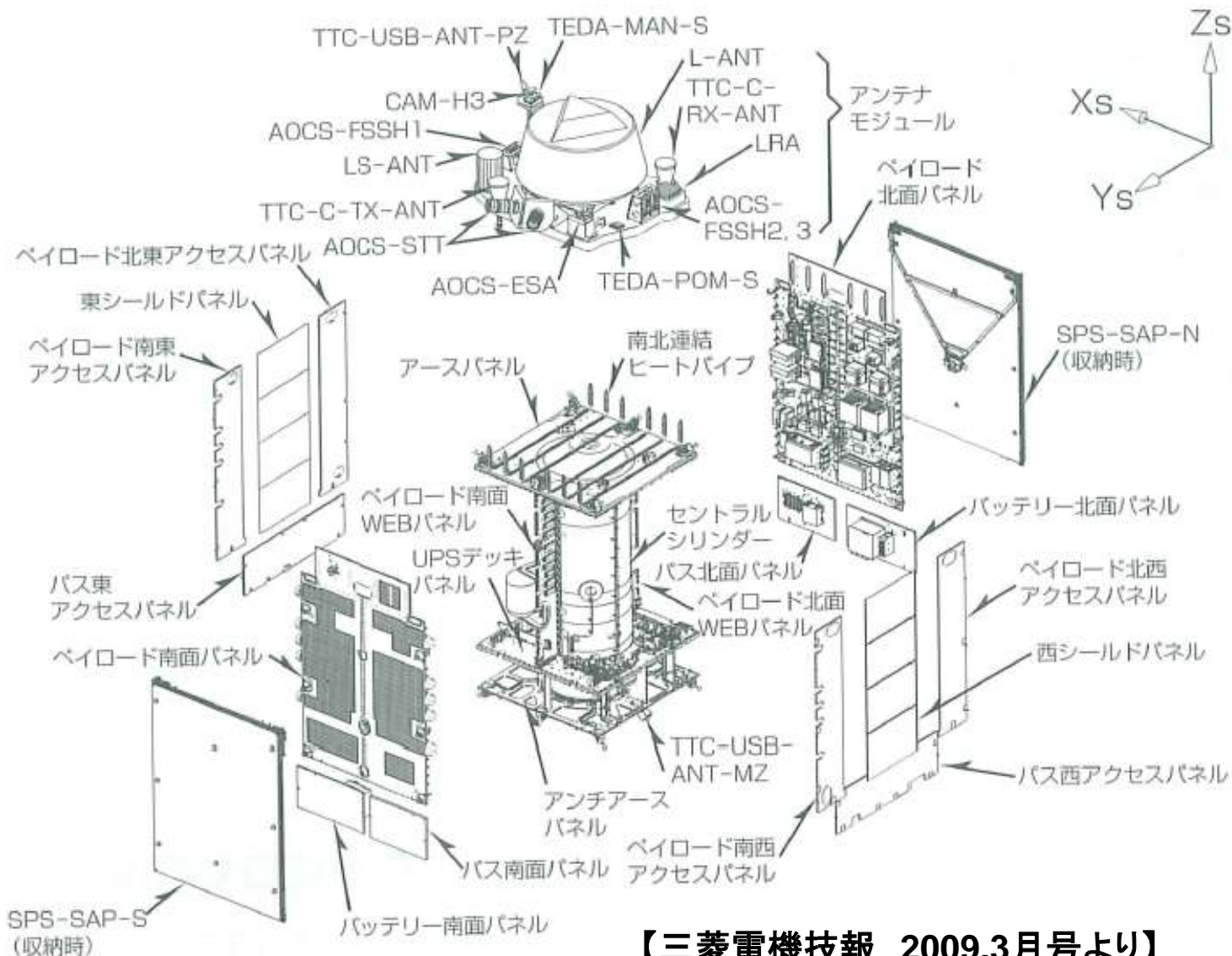
— 軌道上外観 —

- ・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
- ・打上げ時期： 平成22年度



* 1 L1-SAIF; 高速移動体向け補強信号

準天頂衛星初号機の構成(分解図)



「みちびき」の開発状況 (1/2)

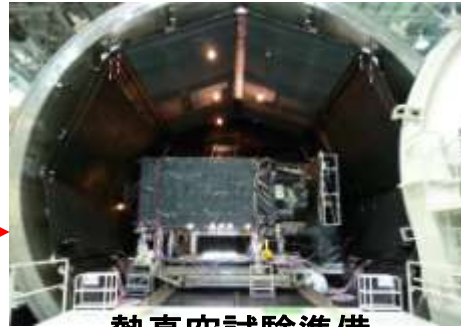
衛星システム試験



初期電気性能試験
(2009.8.20-9.3)



初期アライメント調整
(2009.9.5-9.10)



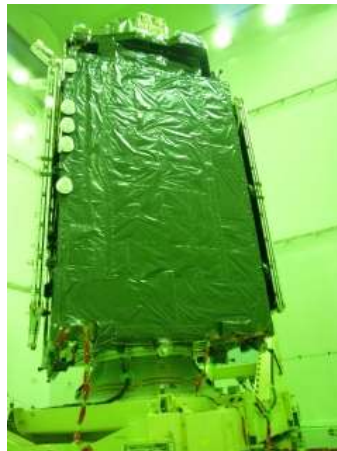
熱真空試験準備
熱真空試験
(2009.10.1-10.30)



衛星組立後電気性能試験
(2009.11.21-11.22)



正弦波振動試験
(2009.12.8-12.29)



音響試験
(2010.1.7-1.8)



分離衝撃試験
(2010.1.13-1.14)

最終推進系試験
(2010.1.26-2.4)

最終電気性能試験
(2010.2.5-2.19)

総合システム検証
(2010.2.20-3.9)

アンテナ干渉/RFプレセンス試験
(2010.3.10-3.16)

衛星最終組立
(2010.3.17-3.31)

衛星最終組立後電気性能試験
(2010.4.1-4.2)

「みちびき」の開発状況 (2/2)

衛星システム試験



機械環境試験後
アライメント
(2010.4.3-4.6)



質量特性試験
(2010.4.7-4.9)



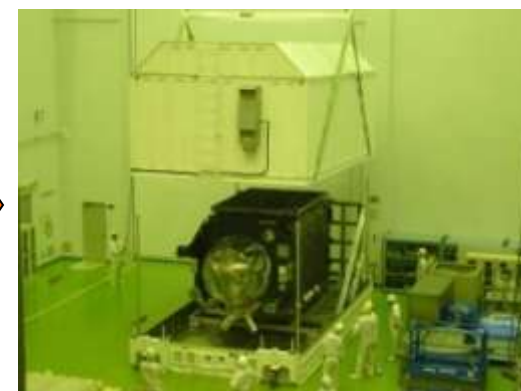
最終外観検査
(2010.4.12)



記者公開
(2010.4.23)



種子島に到着
(2010.5.8)



第2衛星組立棟@TNSC
(2010.5.9)

打上げまでの道のり

- 5月8日～ 種子島宇宙センターに搬送、射場搬入後試験
- 6月25日～8月6日 リアクションホイールの取外し～再取付け
- 8月8日-22日 酸化剤／燃料の衛星への充填、最終組立て、最終外観検査
- 8月24日 衛星とPAFを結合
- 8月26日 衛星とフェアリング結合
- 8月31日 衛星／フェアリングとロケット結合



打上げから衛星分離へ



9月11日 20:17 打上げ
@種子島宇宙センター

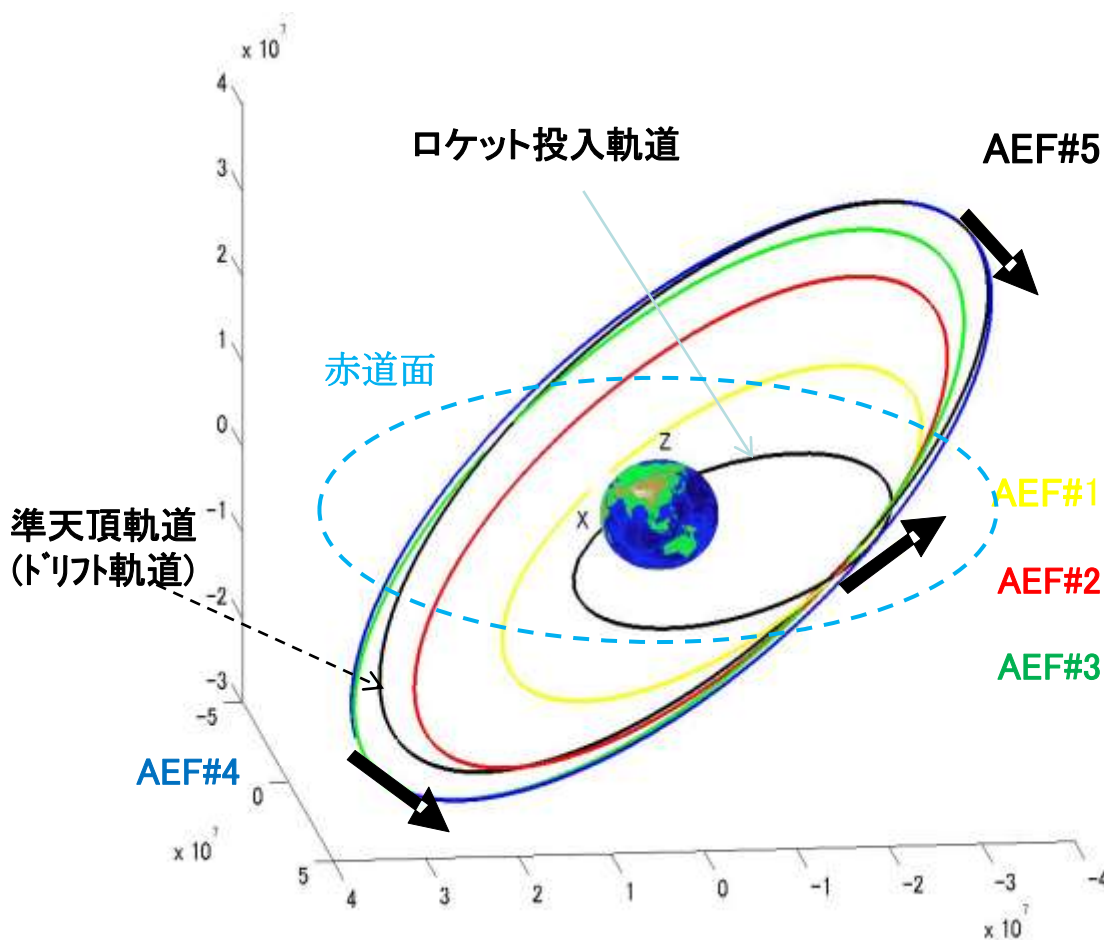


9月11日 20:45 衛星分離
(ロケット搭載カメラより)

【第8回衛星測位と地理空間情報フォーラム/JAXAプレゼン資料より】

衛星分離から準天頂軌道へ

- 第1～3回AEFにより、目標軌道面内(軌道傾斜角41度)の円軌道に投入
- 第4回AEFで遠地点高度(日本上空高度)を上げ、第5回で近地点高度(オーストラリア上空高度)を下げ、楕円軌道であるドリフト軌道に投入
- 1週間程度かけて、小型エンジンを1日1回噴射させ、東経135度付近を中心とし日本上空で8の時を描く「準天頂軌道」に投入



3. 代表的な衛星例 (1) 通信衛星/Superbird-B2



Superbird-B2
Ku-band Japan Beam EIRP

- 56.0dBW
- 54.0dBW
- 48.0dBW



Superbird-B2は80ワット超のKuバンド中継器を23本、Kaバンドは100MHzおよび200MHzという広帯域で50ワットの高出力中継器を6本搭載した衛星。高機能の性能をもつ可動スポットビームを搭載している点も特長。

| | |
|-------------------|--|
| 軌道位置 | 東経162度 |
| 打ち上げ日 (日本時間) | 2000年 2月18日 |
| 打ち上げロケット | アリアン 4 |
| 衛星バス | Boeing 601HP |
| 設計寿命 | 13年以上 |
| 周波数帯 | Kuバンド Kaバンド |
| 中継器本数 (帯域幅x本数) | Ku: 36MHz x 23 Ka: 100MHz x 5 200MHz x 1 |
| 増幅器出力 | Ku: 82W Ka: 50W |
| 形状及び寸法 | 3軸姿勢制御型 南北: 26m 東西: 7m |

3. 代表的な衛星例 (1)通信衛星/ N-SAT-110



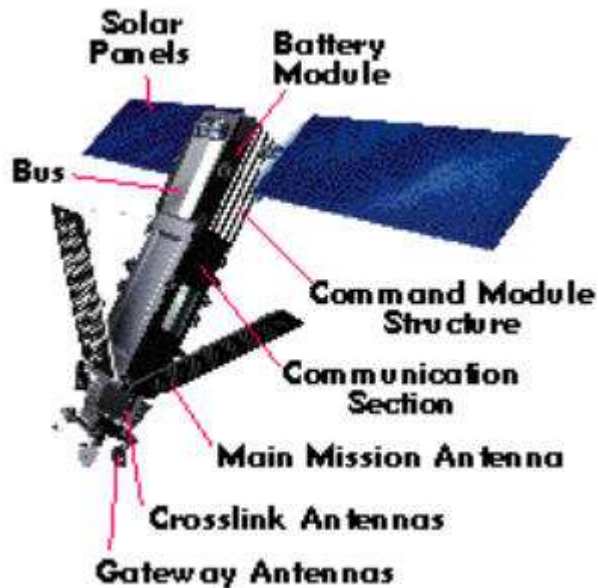
N-SAT-110はBS衛星と同じ軌道に位置し、デジタル放送サービス「スカパー！e2」に利用。
120ワットの高出カトランスポンダと円偏波によるダウンリンクを採用している点が特長。

N-SAT-110
Ku-band EIRP



| | |
|-------------------|----------------------------------|
| 軌道位置 | 東経110度 |
| 打ち上げ日 (日本時間) | 2000年 10月7日 |
| 打ち上げロケット | アリアン 4 |
| 衛星バス | A2100AX |
| 設計寿命 | 15年 |
| 周波数帯 | Kuバンド |
| 中継器本数 (帯域幅x本数) | 36MHzx24 |
| 増幅器出力 | 120W |
| 形状及び寸法 | 3軸姿勢制御型 南北: 26.4m 東西: 8.3m |

3. 代表的な衛星例 (1)通信衛星/移動体通信



イリジウム

イリジウム社は周回型低軌道衛星群を用いた世界初の衛星電話サービスを1998年から提供開始

【衛星システム】

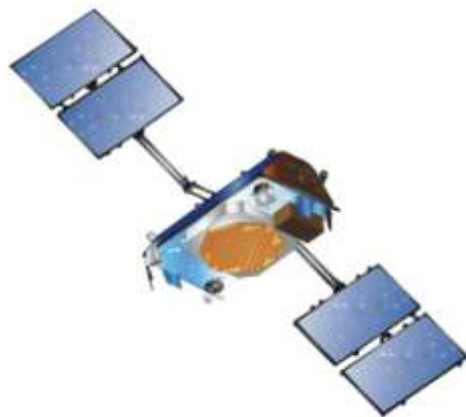
軌道高度:780km

衛星数:66

周波数帯:Lバンド

重量:725kg

電力:1400W



イリジウム次世代衛星システム

【次世代衛星システム】

○2015年以降打上げ予定の66機の衛星で全世界をカバー

○現行システムよりも高速化を実現

○投資規模は、18億ドル(約1,500億円)

3. 代表的な衛星例 (2) 観測衛星/ALOS

【陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS: Advanced Land Observing Satellite)】



【世界最大級の地球観測衛星】

- ・日本国内やアジア太平洋地域など諸外国の地図の作成・更新
- ・地球環境と開発との調和を図るための地域観測
- ・国内外の大規模災害の状況把握
- ・国内外の資源探査

【観測センサ】

- ・標高など地表の地形データを読みとる「パナクロマチック立体視センサ(PRISM)」、
- ・土地の表面の状態や利用状況を知るための「高性能可視近赤外放射計2型(AVNIR-2)」、
- ・昼夜・天候によらず陸地の観測が可能な「フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ(PALSAR)」

主要諸元

| | |
|------------|----------------------------|
| 打ち上げ日時 | : 2006年1月24日 10:33 |
| 打ち上げロケット | : HIIA @ 種子島宇宙センター |
| 本体 | : 約6.2m × 3.5m × 4.0m |
| 太陽電池パドル: | : 約3.1m × 22.2m |
| PALSARアンテナ | : 約8.9m × 3.1m 質量 約4,000kg |
| 軌道 | : 太陽同期準回帰軌道(回帰日数46日) |
| 軌道高度 | : 約690km(軌道長半径7,070km) |
| 軌道傾斜角 | : 約98度 軌道周期 約99分 |
| 姿勢制御方式 | : 三軸姿勢制御方式(高精度姿勢軌道決定機能) |

「だいち」搭載の3つのセンサー～



© JAXA

PALSAR

マイクロ波の電波を発射し、地表で跳ね返ってきた電波の強弱によって、地形や地質を観測する合成開口レーダー。電波を用いるため、悪天候でも夜間でも観測可能。

PRISM

可視光で地表を2.5mの分解能で観測する光学センサー。3組の光学系をもち、3方向から同時に観測するので、地表面を立体的にとらえることが可能。高度700kmから民家や列車などを識別できる。

AVNIR-2

可視光から近赤外光で地表を10mの分解能で観測し、カラー画像を作成するセンサー。首振り機能によって観測領域を変更し、被災地のデータをすばやく取得できる。

NEC資料より

「だいち」の成果

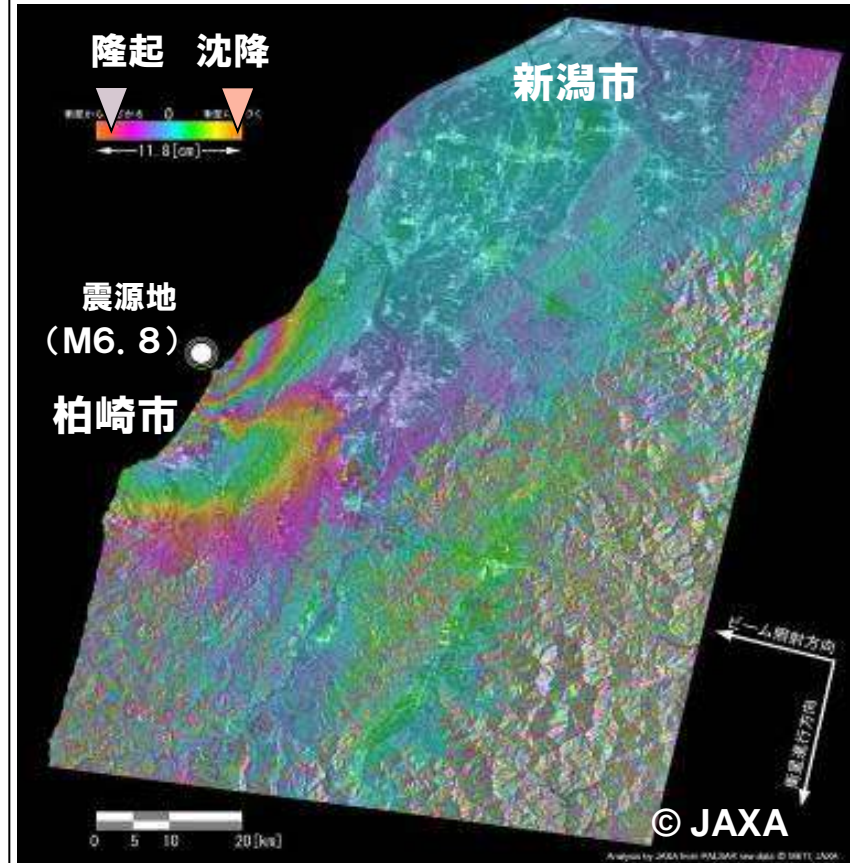
立体視センサーによる立体視画像



© JAXA

《富士山付近の立体視画像》
 詳細な地形図、地図用データに活用

レーダーセンサーによる地殻変動図



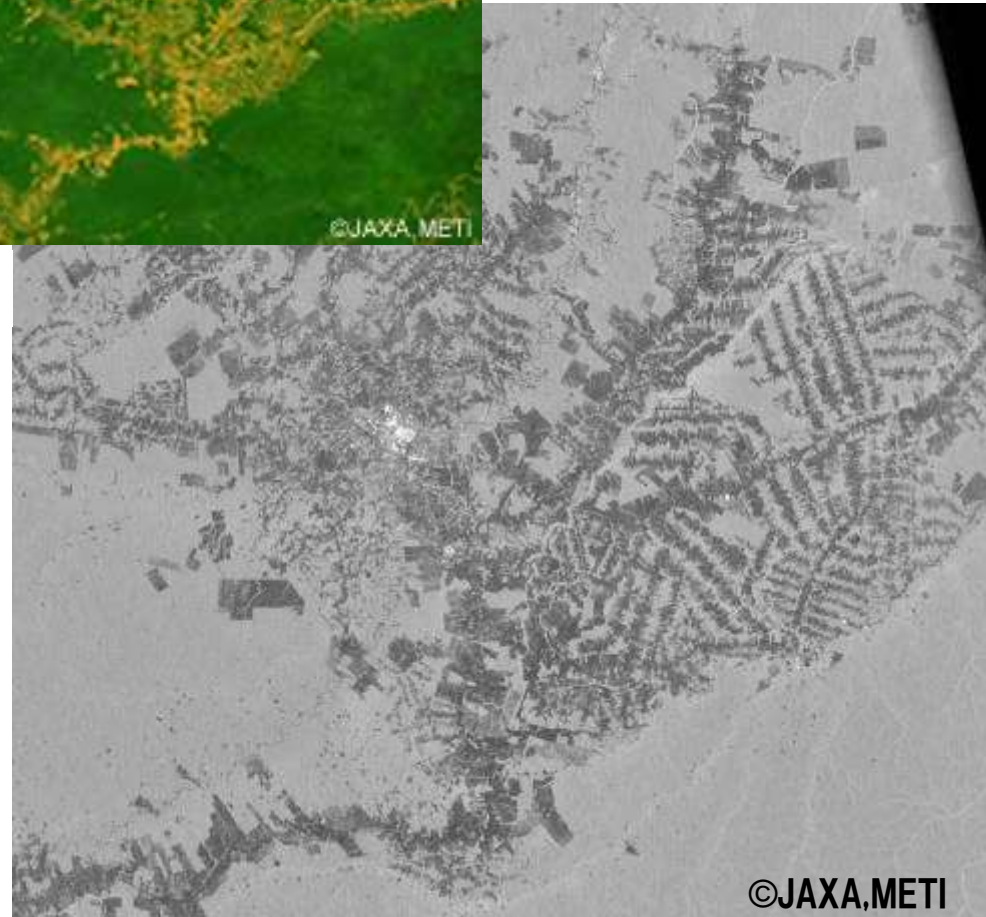
© JAXA

《新潟県中越沖地震の地盤隆起状況》
 災害の規模、被災地の状況確認

「だいち」の環境利用



ブラジル ロンドニア地方
(2006年)

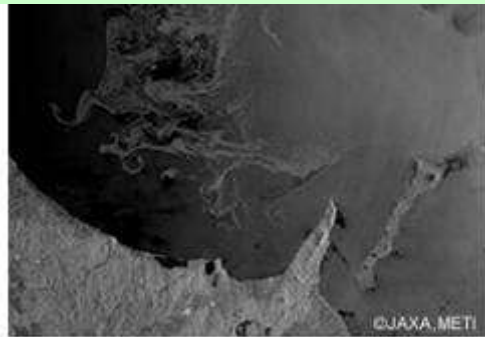


「だいち」が観測したアマゾンの森林伐採のあと

- 地上から見えにくい森林の実態を宇宙から把握
- 増加している違法伐採把握も一目瞭然。
- 1haあたりの木の本数と高さからCO2吸収量を推定する技術にも「だいち」のデータを活用。

海水、氷河の観測

温暖化



北海道に流氷が近づく様子もリアルタイムに観測



氷河の後退が心配されているフェドチェンコ氷河

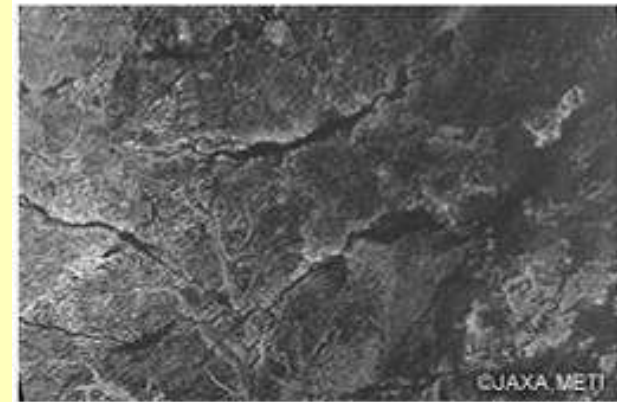
- ・ 海水に影響
- ・ 流氷の動きがわかりにくい



- ・ 悪天候でも観測可能
- ・ リアルタイムに流氷の動きをつかめる
- 船舶の航行安全に貢献
- ・ 温暖化が北極の海水へ与える影響を観測

平成19年度
水路技術激励賞
受賞
JAXA/RESTEC

水脈や油田など地下資源の探査



マイクロ波が砂を透過するため、砂漠の地下構造も解析可能

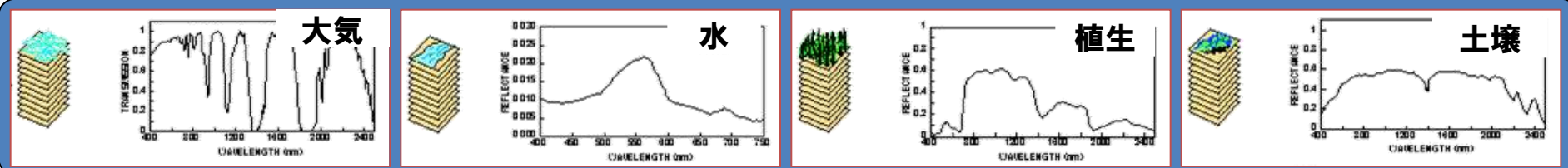
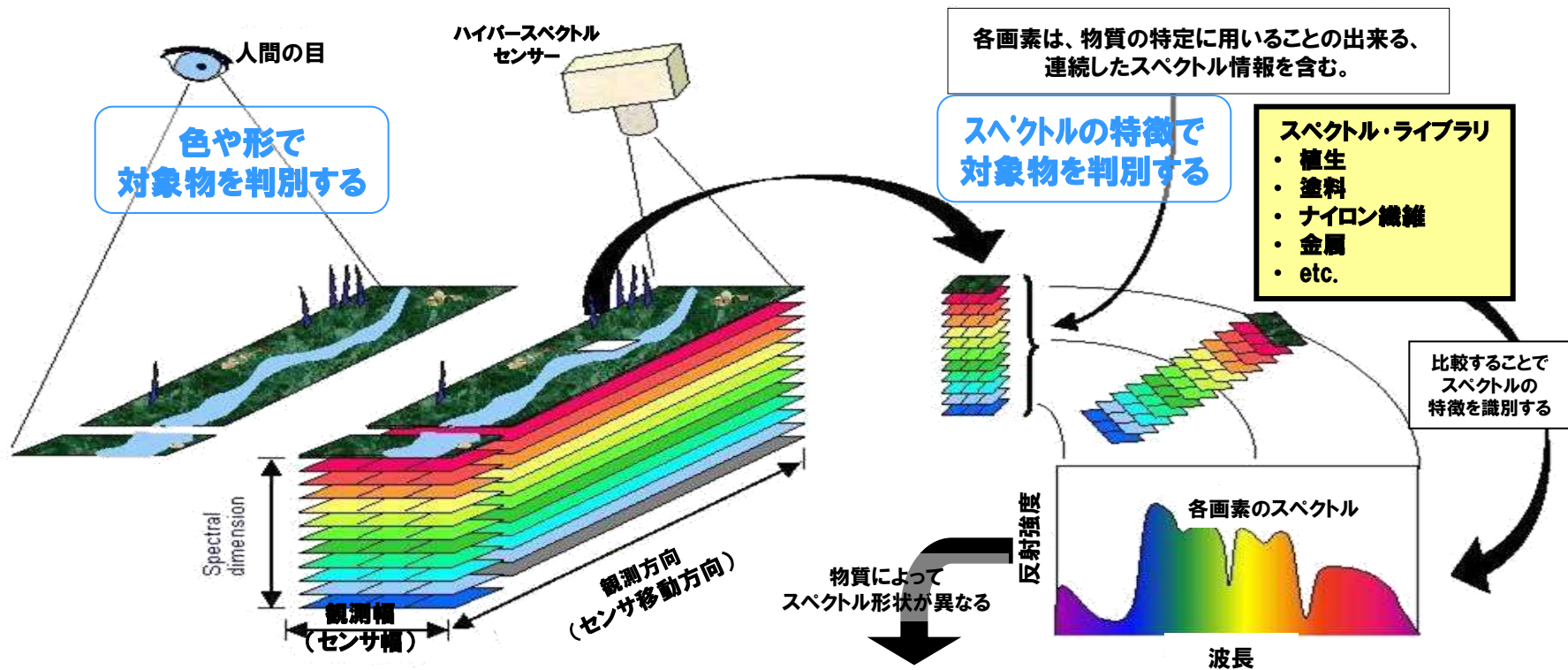
- マイクロ波の電波
- 砂漠を透過
- 海上の油膜をとらえる



- ・ 地中の水脈を発見
- 砂漠の緑化、灌漑農業への効果
- ・ 大陸棚の海底油田の発見
- 資源探査への貢献

新技術の紹介 ハイパースペクトルセンサー

物体を、その形状だけでなく、“スペクトル情報”を用いて、探知・識別する



<http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.concept.html>

3. 代表的な衛星例 (2) 観測衛星/GOSAT

【温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)】



【地球温暖化をもたらす二酸化炭素の濃度分布を高精度で推定】

・宇宙からの高頻度でグローバルな観測データと地上観測データ、シミュレーションモデルを組み合わせることにより、二酸化炭素濃度分布を高精度で推定

【観測センサ】

・温室効果ガス観測センサ(短波長赤外・熱赤外フーリエ変換分光計)

・雲・エアロゾルセンサ(紫外・可視・短波長赤外イメージャ)

主要諸元

打ち上げ日時

: 2009(平成21)年1月23日 12:54

打ち上げロケット

: HIIA@ 種子島宇宙センター

形状

: 2翼式太陽電池パドルを有する箱形
3.7m×1.8m×奥行2.0m(太陽電池パドル両翼端間13.7m)

質量

: 約1,750kg(打ち上げ時)

軌道

: 太陽同期準回帰軌道

軌道高度

: 約667km

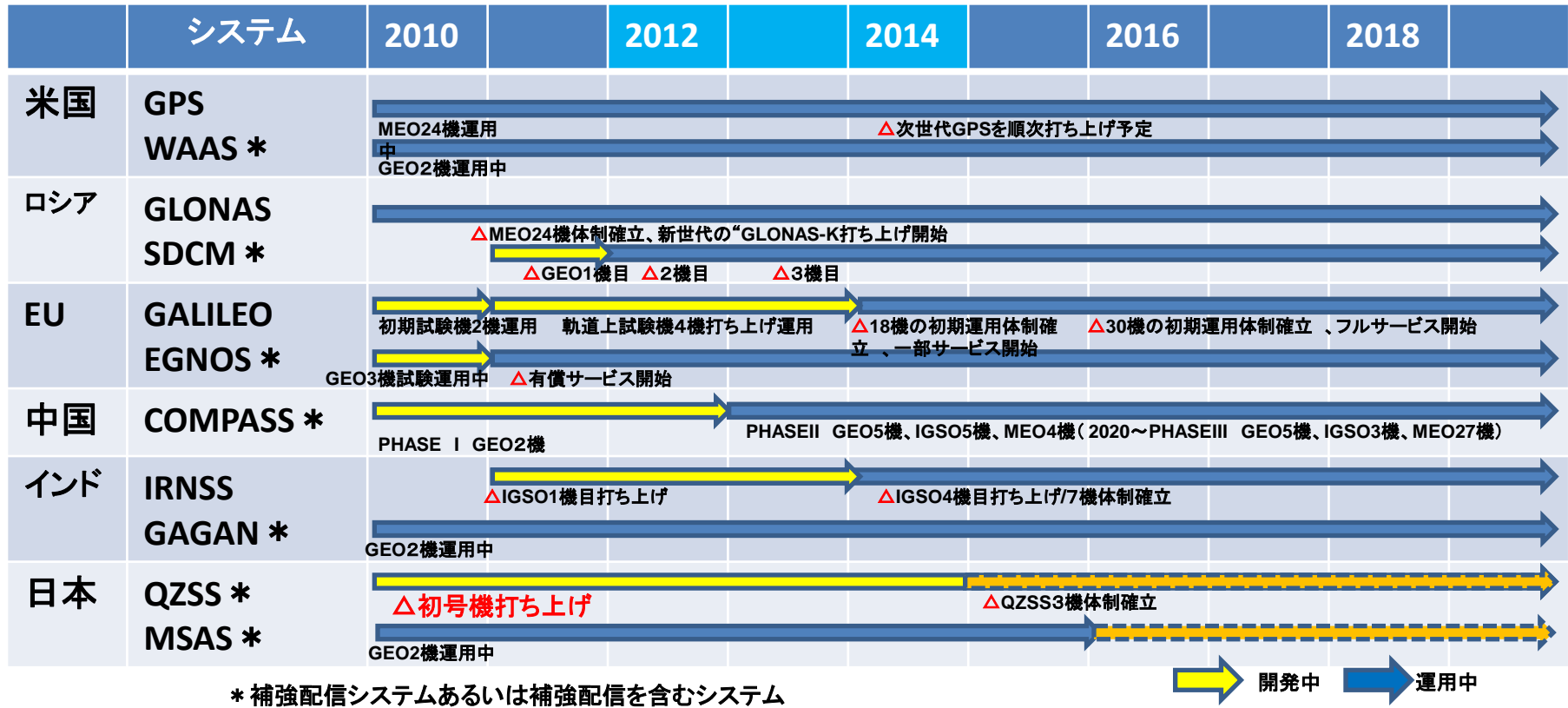
軌道傾斜角

: 約98度

軌道周期

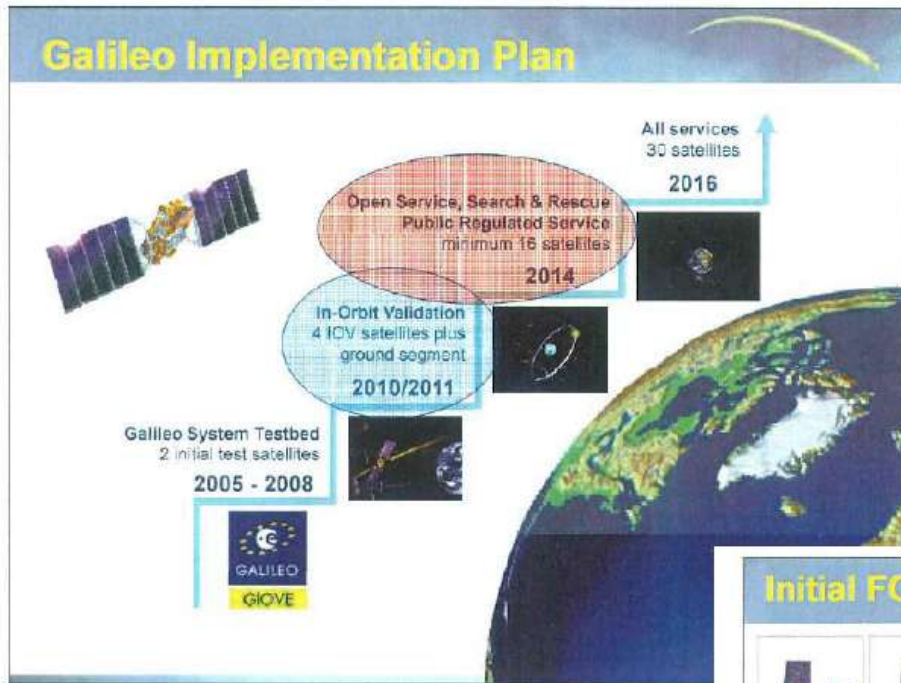
: 約98分

3. 代表的な衛星例 (3)測位衛星/世界の測位衛星システム



・グローバルな測位衛星 (GNSS) とリジョナルな補強配信衛星 * との組み合わせ
 * 基準点 (既知) における測位によりそれぞれの測位衛星の持っている誤差を検出、補正情報を作成して、測位精度を10m程度⇒1m程度 (QZSSでは数センチメートル) へ改善。静止通信衛星などにより特定地域に配信。

3. 代表的な衛星例 (3)測位衛星/Galileo+EGNOS

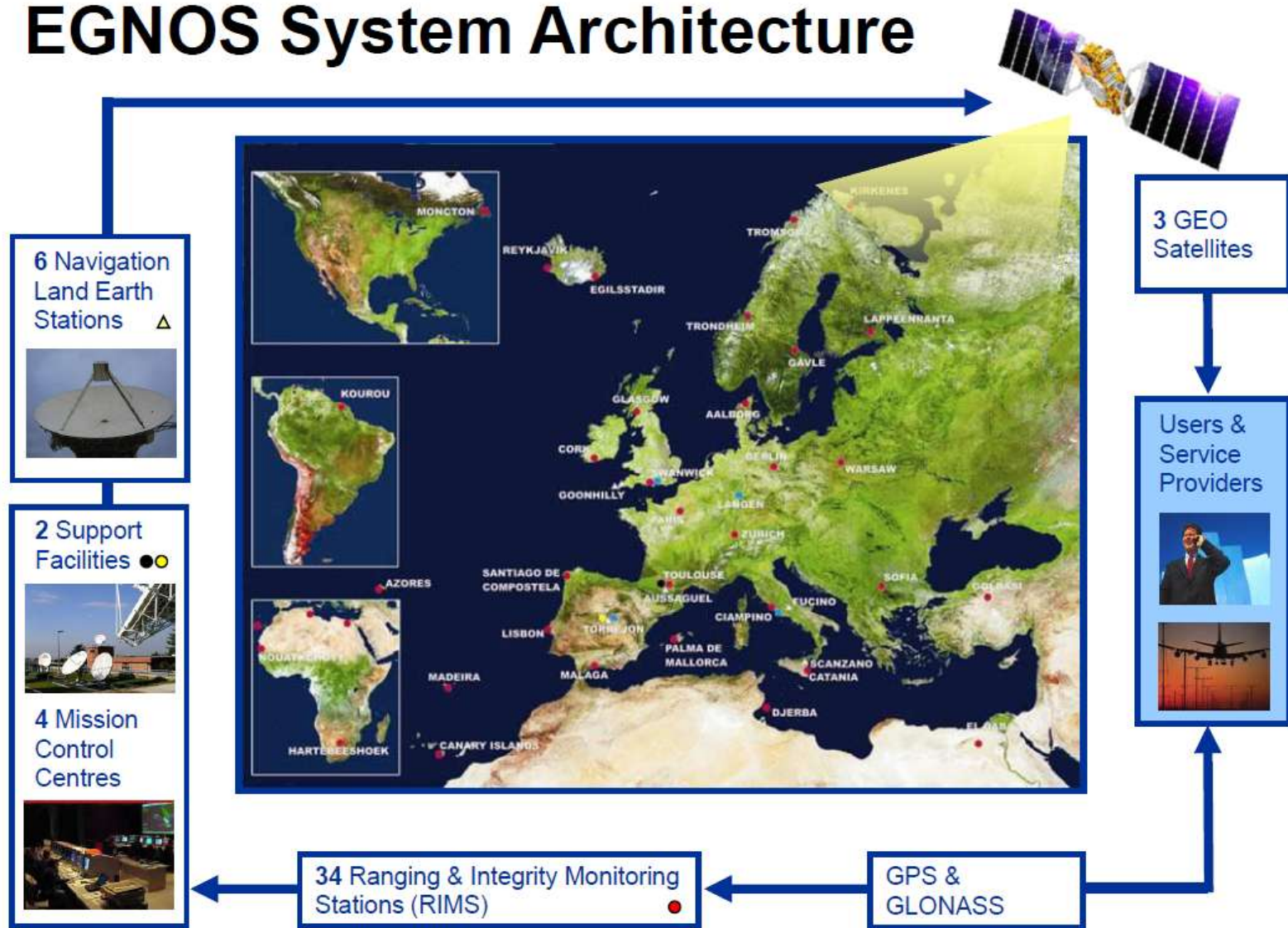


- 2010-2011、4機の軌道実証機を打ち上げ
- 2014までに16機を打ち上げ、Open Service, Search & Rescue, Public Regulated Service を開始
- 2016年までに30機にて全サービス提供



3. 代表的な衛星例 (3)測位衛星/Galileo+EGNOS

EGNOS System Architecture



3. 代表的な衛星例 (3)測位衛星/Galileo+EGNOS

Galileo Services

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| Open Service | Free to air; Mass market; Simple positioning | |
| Commercial Service | Encrypted; High accuracy; Guaranteed service | |
| Safety of Life Service | Open Service + Integrity and Authentication of signal | |
| Public Regulated Service | Encrypted; Integrity; Continuous availability | |

GPS同様のオープンサービス

GALILEO独自サービス

- ①商用サービス(高精度有償・補償付き)
- ②高信頼性サービス(航空など安全に関わる利用を前提)
- ③公的規制サービス

Galileo Performance Requirements (Dual Frequency)

| Service | Horizontal Accuracy (95%) <small>(incl. system margins)</small> | Vertical Accuracy (95%) <small>(incl. system margins)</small> | Availability for global coverage | Integrity |
|--------------------------|--|--|----------------------------------|--------------|
| Open Service | 4 m | 8 m | > 99.5% | NO |
| Commercial Service | Detailed performance requirements under elaboration | | | |
| Safety of Life Service | 4 m | 8 m | > 99.5% | YES (LPV200) |
| Public Regulated Service | 4 m | 8 m | > 99.5% | YES |

3. 代表的な衛星例 (3)測位衛星/Galileo+EGNOS

EGNOS Services

| Service | Transmission Means | Typical User Communities | Guarantee of Service |
|---------------------------|--------------------|--|---|
| Open Service | L1 frequency | Pedestrian, in-car navigation | None |
| Safety of Life Service | L1 frequency | Aviation, maritime, railway | Compliance with ICAO standards (certification) |
| Commercial Service (EDAS) | Ground network | Pedestrian, in-car navigation, research (e.g. atmospheric, tectonics), high-accuracy | Compliance with SLA when commercialisation will start |

• パーソナルナビ、カーナビ

• 航空、海事、鉄道

• パーソナルナビ、カーナビ、研究、高精度

EGNOS Services – Current Status

| Service | Accuracy | Service Status | Expected Lifetime |
|---------------------------|---|--|-------------------|
| Open Service | Typical vertical and horizontal positioning accuracy in the centre of Europe around 1m <small>(spec: 3m horizontal, 4m vertical)</small> | SIS available, declaration of "entry into service" planned for late 2009 | 20 years |
| Safety of Life Service | Same accuracy as Open Service. SoL service levels compliant to ICAO SARPS definition for APV1 | Test SIS available, declaration of "entry into service" planned for mid-2010 | 20 years |
| Commercial Service (EDAS) | Corrections provided by terrestrial network allow for sub-meter accuracy locally or regionally through additional processing | Experimental service available since 2008 | 20 years |

測位精度 1m
2009.10よりサービス開始

2011.よりサービス開始予定

終わり

ご清聴ありがとうございました