



# 電波を用いた 次世代の衛星通信技術の取組み

情報通信研究機構  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
宇宙通信研究室  
高橋 卓

Email: [takashi@nict.go.jp](mailto:takashi@nict.go.jp)

# 講演内容

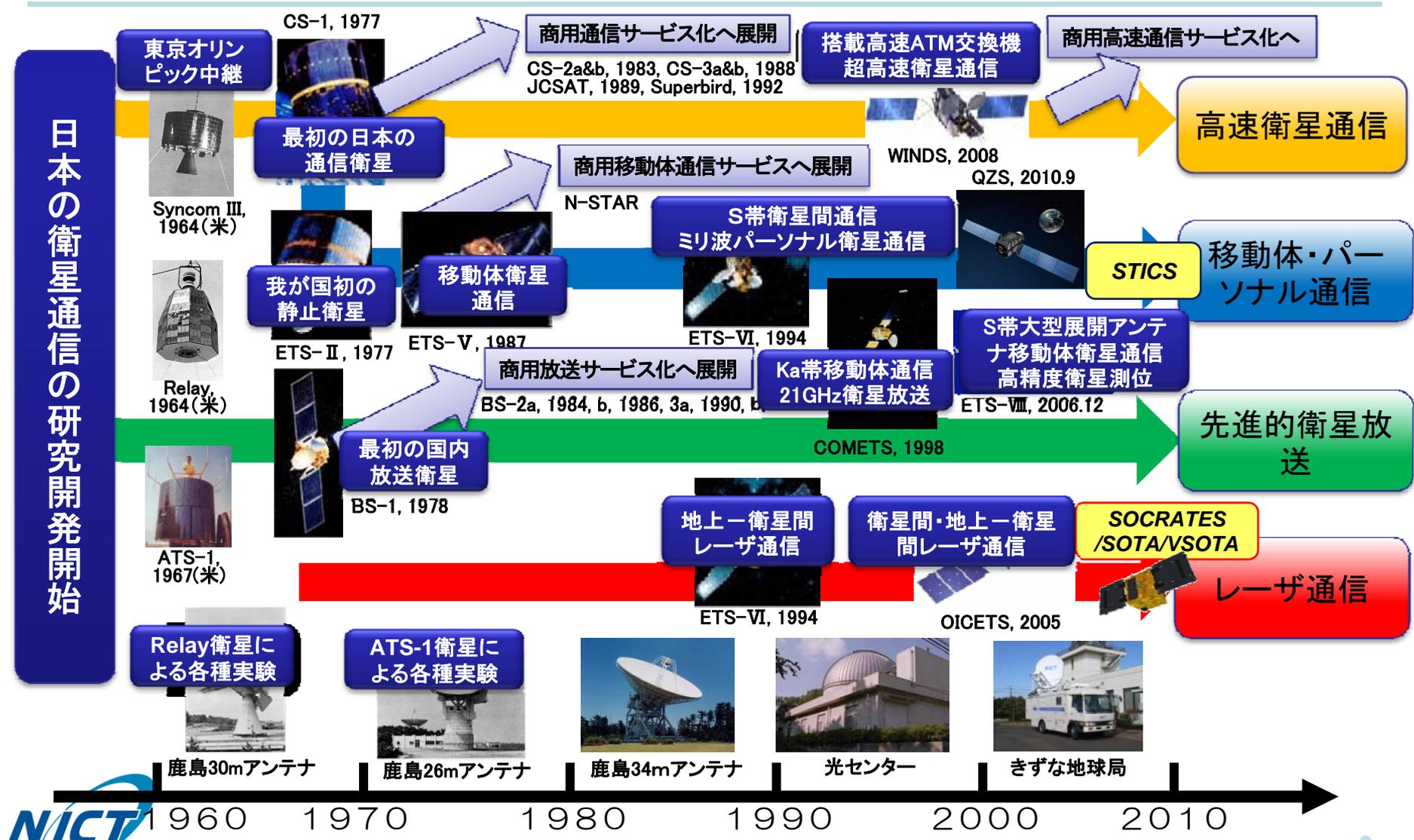
---

- ・ 電波を用いた衛星通信の研究開発
  - 「きずな」を使用した衛星通信実験
  - 次期技術試験衛星の検討状況
- ・ まとめ



# 電波を用いた衛星通信の研究開発

# NICTに関連する通信衛星等の開発の歴史





# 「きずな」を使用した衛星通信実験

# 「きずな」 (WINDS) による超高速衛星通信プロジェクト

・マルチビームアンテナにより、日本本土の大部分とアジア主要都市をカバー

・電子走査ビームアンテナにより、アジア・太平洋全域をカバー。離島や海洋域でもブロードバンド通信が可能。



衛星搭載交換機



変復調器

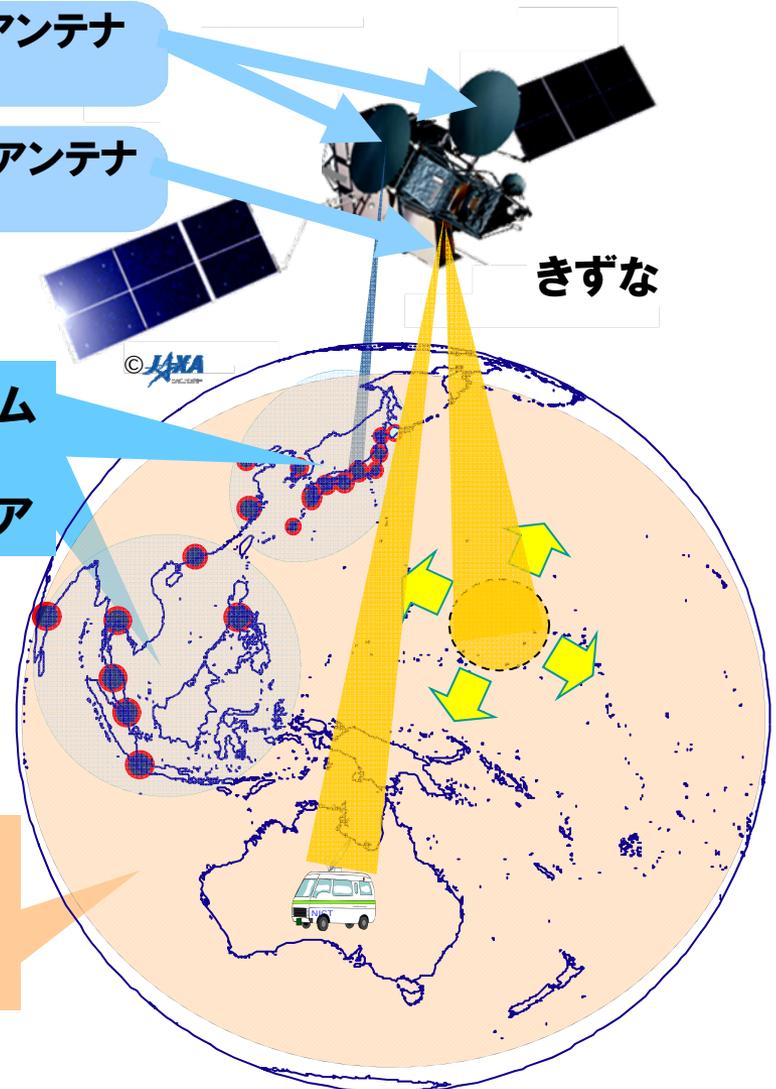


マルチビームアンテナ

電子走査ビームアンテナ

マルチビーム  
アンテナ  
カバーエリア

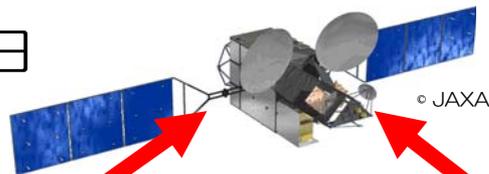
電子走査ビーム  
アンテナ  
カバーエリア



# 【東日本大震災】

## (1) 東京消防庁の要請に基づく支援

2011年3月15日～19日



HDビデオ会議  
ファイル伝送等の提供



気仙沼市災害対策本部

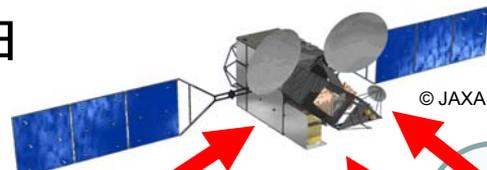


東京消防庁

# 【東日本大震災】

## (2) 航空自衛隊の要請に基づく支援

2011年3月20日~4月5日



HDビデオ会議  
インターネット接続等の提供



航空自衛隊松島基地



NICT鹿島

鹿島宇宙技術センター  
からISPへ接続

INTERNET



航空自衛隊入間基地

# 災害時に有効な衛星地球局の開発

開発中の衛星地球局		特徴
フルオート可搬局		<ul style="list-style-type: none"><li>・ ボタン一つでフルオートで動作し、専門家でない人でも動作可能。</li><li>・ 再生交換中継回線： 上り：1.5、6、24、51Mbps 下り：155Mbps</li></ul>
フルオート小型移動体用車載地球局		<ul style="list-style-type: none"><li>・ 走行中にもブロードバンド通信が可能</li><li>・ アンテナは取り外して船舶等に搭載可能</li><li>・ 再生交換中継回線 上り：1.5、6、24Mbps 下り：155Mbps</li></ul>
大型（2.4m級）車載型地球局		<ul style="list-style-type: none"><li>・ 限定付中型免許で運転可能</li><li>・ 発電を搭載（7kVA以上）</li><li>・ 再生交換中継回線 上り：1.5、6、24、51、155Mbps 下り：155Mbps</li></ul>

# 【熊本地震】2016年4月19日～20日 応急ネットワーク支援派遣（高森町）

熊本県高森町役場において、災害対策本部（総務課）に行政用としてAPを1箇所、町役場入り口付近に住民用としてAPを1箇所に応急ネットワークを構築しインターネット回線を提供し、最大18Mbpsを記録



行政用ネットワークの利用状況



災害対策本部（総務課）



町役場入り口付近

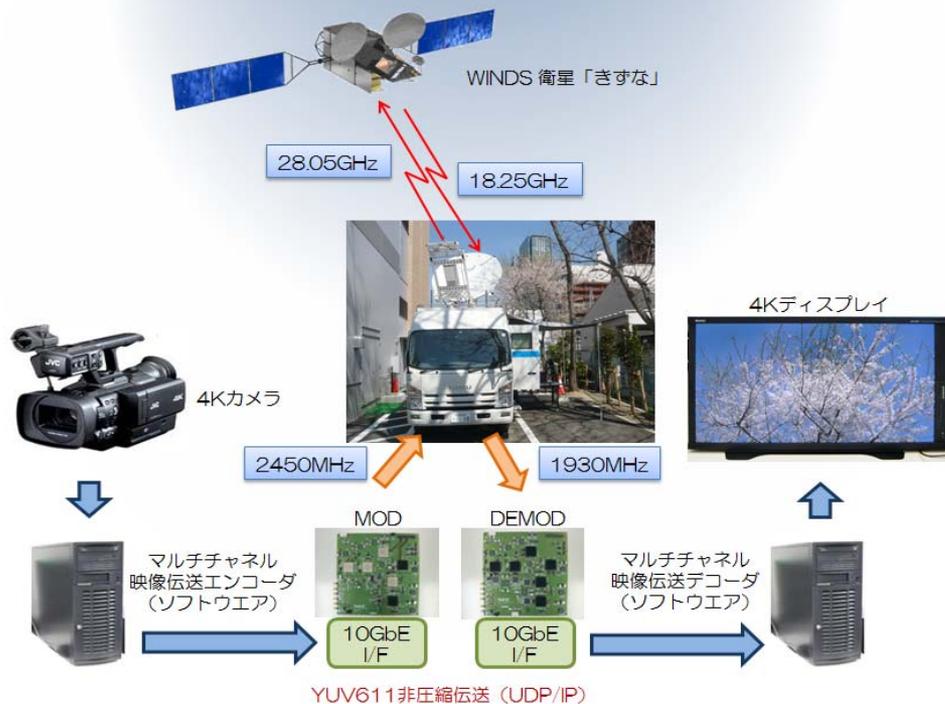


住民用ネットワークの利用状況

アクセスポイント（AP）

# 世界最高速の3.2Gbps衛星通信実験

- WINDS衛星回線において16APSK-OFDM方式で、多値変調周波数多重によるRF信号ダイレクト変復調装置を開発し、**世界最速の3.2Gbpsを目指しWINDS衛星回線を通すことに成功**
- 10GbEインタフェースを介して**4K超高精細映像を通すWINDS衛星通信実験に成功**



## 主要諸元

	Specification
Modulation:	16APSK-OFDM (radius ratio $\gamma=R2/R1=2.73205$ ), GI=2.5ns
Signal Mapping:	DVB-S2 conformity
Data Rate:	3200Mbps=50Msps x 4bit/symbol x 16ch
Error Correcting Code:	LDPC code
Interleave:	interleave between subcarriers (every eight waves)
Randomizer:	Generating polynomial $h(x)=x8+x7+x5+x3+1$ (CCSDS)
10GbE external interface:	10GbE SFP+ interface Internet protocol: UDP/IP

WINDS基本実験: 3.2Gbps伝送実験

# Ka帯航空機地球局諸元



航空機地球局  
(送受信アンテナ部+衛星追尾用駆動装置+低雑音増幅器)

アンテナ	カセグレン形式、口径 45cm $\Phi$
アンテナ利得	送信：38.7dBi、受信 36.1dBi
アンテナ駆動方式	Az-EI方式
送信EIRP	60.7dBW[設計値]
受信G/T	13.2dBK
追尾方式	プログラム追尾
追尾範囲	方位角：360deg 仰角：22~68deg
追尾精度	<0.5deg
追尾速度	>25deg/sec

# 航空機との衛星通信の技術実証

- WINDSを用いた航空機実験を実施
  - 航空機搭載地球局を開発
  - 航空機はダイヤモンドエアーサービス
    - ・ガルフストリームに搭載



航空機搭載用アンテナ



自治体等の危機  
管理センター



# 航空機衛星通信実験

## ■伝搬測定

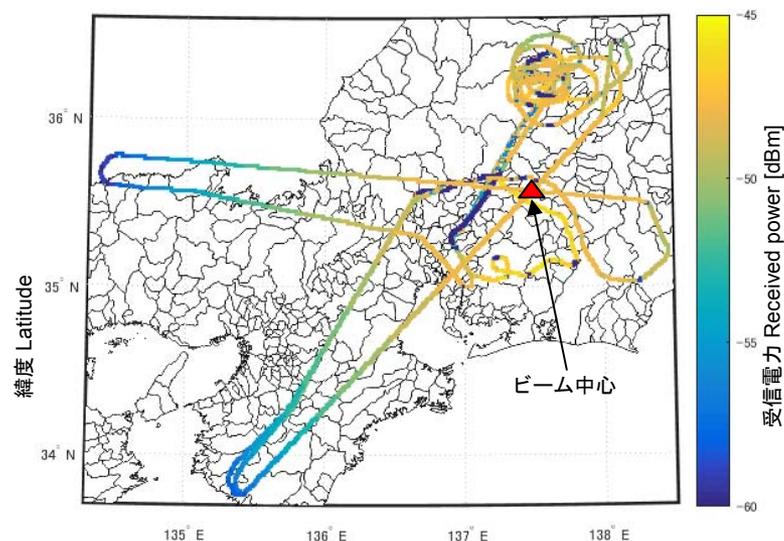
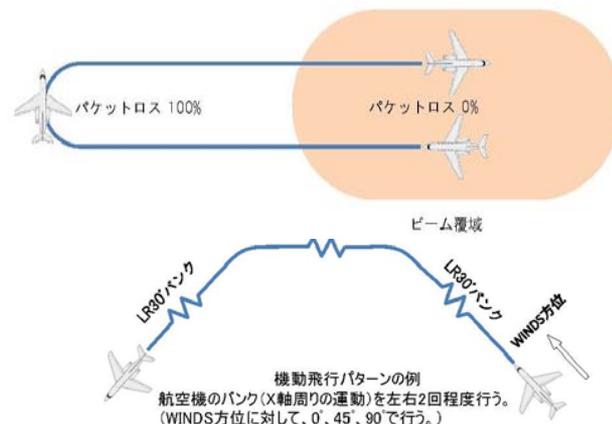
MBA中部ビームのアンテナパターンの測定  
→ビーム中心より約170 kmの地点まで通信可能

## ■アンテナ追尾特性の取得

8の字飛行及び機体を傾けての飛行実験  
→ 追尾範囲内での自動追尾を確認  
アンテナが追尾範囲を超えた場合には信号の停止を確認（インターロック機能）

## ■データ伝送実験

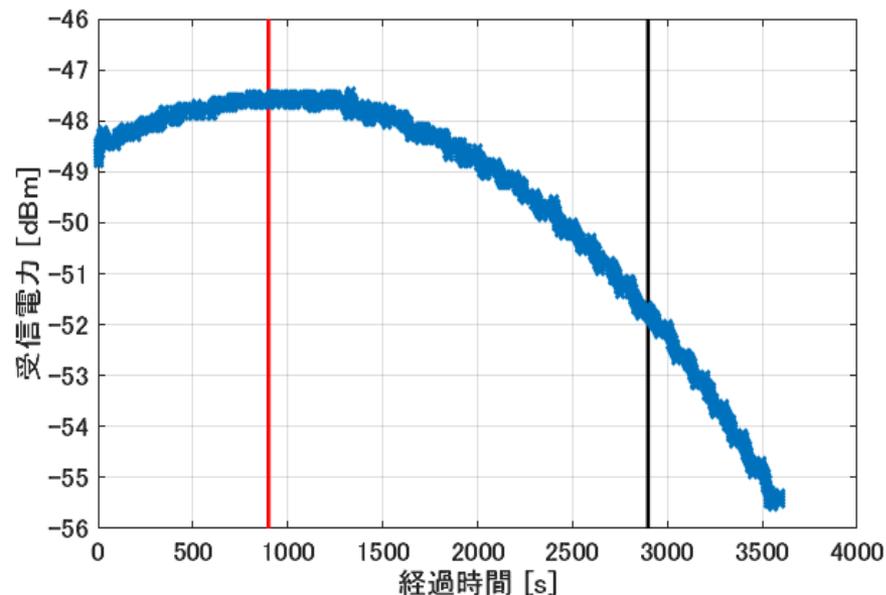
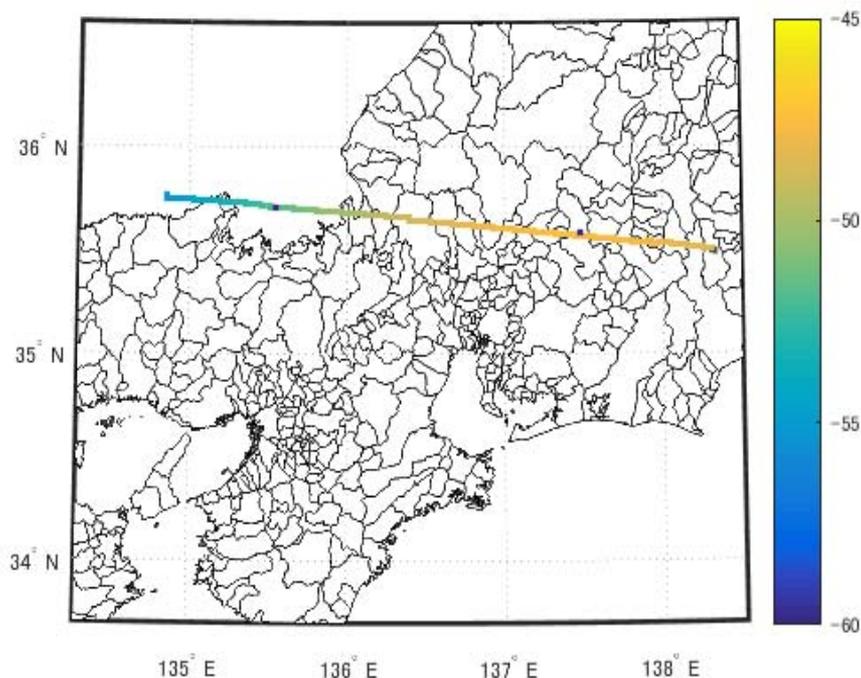
飛行中UDPによるデータ伝送を実施、PERの有無を測定  
大容量ファイル伝送  
→UDP通信において38 Mbpsの伝送速度を達成  
400MBのファイル送信に成功



経度 Longitude  
受信電力マップ(飛行経路)  
Received power map (route of Flight)

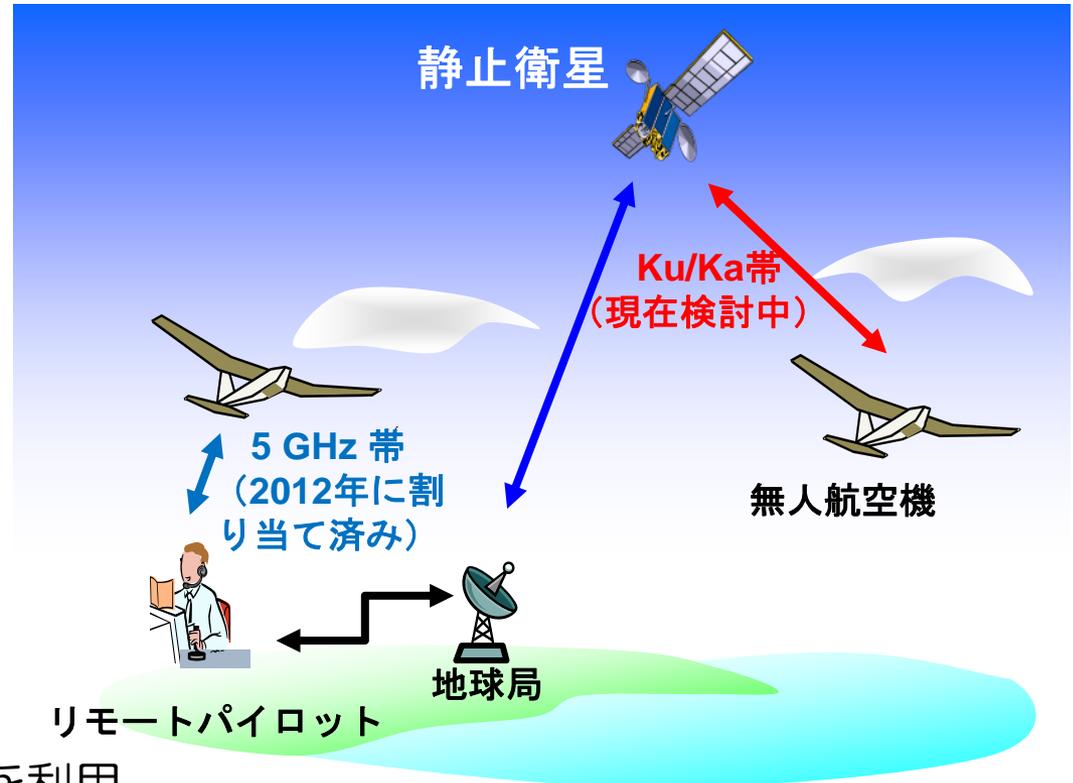
# 実験結果例

- ・ 高度5300mにおいて直線飛行した際の受信レベルの変動
- ・ ビーム中心付近で受信レベルのピークを記録
- ・ 受信レベルが約-52dBmとなる地点で通信が途切れた



# 無人航空機（UAV）との衛星通信

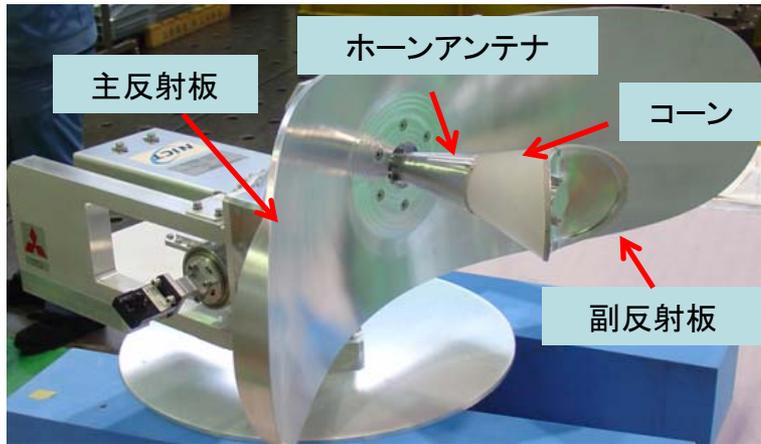
- 無人航空機（UAV: Unmanned Aerial Vehicle）を世界規模で運用するための検討が国連機関等で検討中
  - 国際電気通信連合（ITU）
    - ・ 無人航空機に利用する周波数割り当てを検討
  - 国際民間航空機関（ICAO）
    - ・ 無人航空機の運航方法を検討
- 近距離の制御には全世界で5GHz帯の電波の利用が決定済み
- 海上や遠距離での制御は衛星を利用
  - 周波数や運用方法は現在検討中



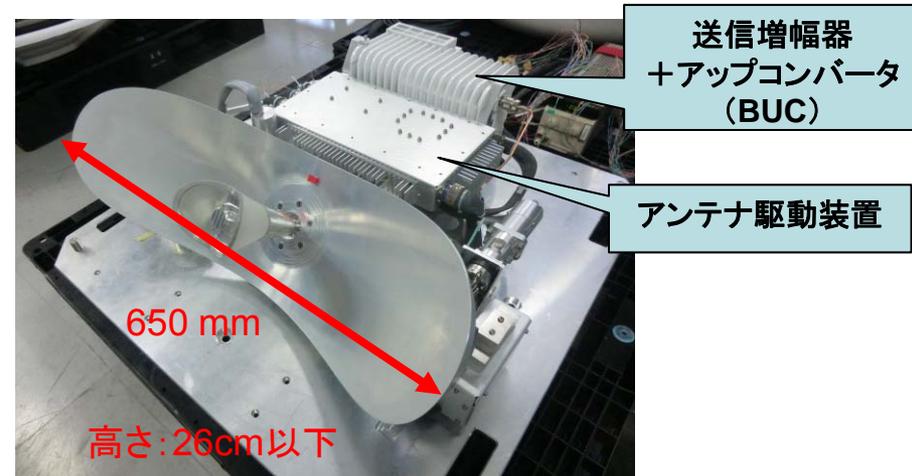
本研究は総務省の研究委託「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発」により実施した。

# NICTが開発中の無人航空機搭載用 Ka帯衛星追尾アンテナ

アンテナ放射部



無人航空機搭載用アンテナユニット完成図



- アンテナ仕様は国際基準に適合するとともに無人航空機に適した性能を考慮
  - 低アンテナ高（空気抵抗を削減）
  - 軽量化
  - 広帯域化

主要諸元

No.	項目	値
1	送信周波数	27.5-30.0 GHz
2	受信周波数	17.3-20.2 GHz
3	偏波	送信: 右旋円偏波 受信: 左旋円偏波
4	G/T	10.0dB/K@18.9GHz 以上
5	EIRP	46.8dBW以上

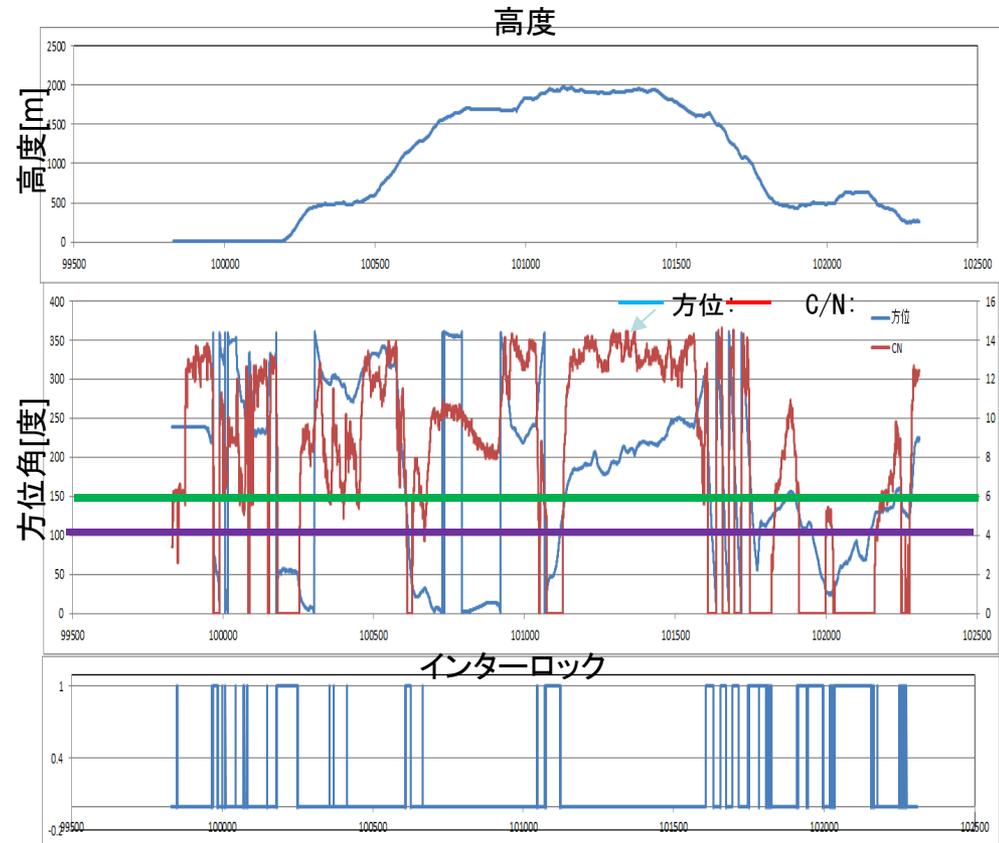
アンテナユニット総重量: 約30 kg

H27年12月小型航空機とWINDS衛星間で総合評価試験を実施



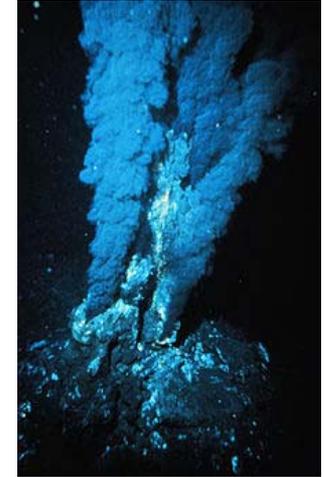
# 評価試験結果例

- 飛行機の離陸から安定した高度(2000m)に達し、旋回しながら高度を下げる試験で得られた結果例
  - 航空機の高度
  - 受信C/N, 航空機の方位
  - インターロック
    - 追尾誤差の許容範囲超過(±0.2度以上)が発生したときの制御出力の結果
    - 及びC/N=4dB以下の時に作動
  - 横軸は時間(秒)
- 方位とC/Nの関係より機体の方位が0度(真北)から150度までの方位においてC/Nの低下
  - WINDS衛星の位置(東経143度)と実験場所(北緯21度, 西経157度)の位置関係から, 機体の進行方向に対して±75度以上の範囲となる。この結果は, 機体の遮蔽部分と一致する
- 受信可能な範囲にアンテナの指向性がある場合は, ほぼ理論値通りのC/Nが受信できていることを確認



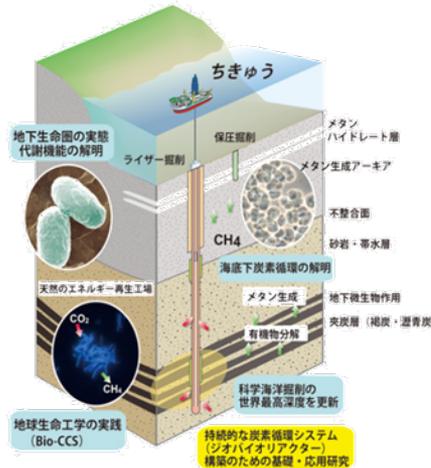
# 海洋研究開発機構（JAMSTEC） における海洋資源調査

- ・ 海底資源・エネルギー資源調査
  - メタンハイドレート
  - 熱水噴出孔（熱水鉱床）
- ・ 海底地震・津波メカニズム
  - 地震・津波観測監視システム（DONET）
- ・ 地球環境への影響
  - 海中環境調査（BIO-CCS\*）



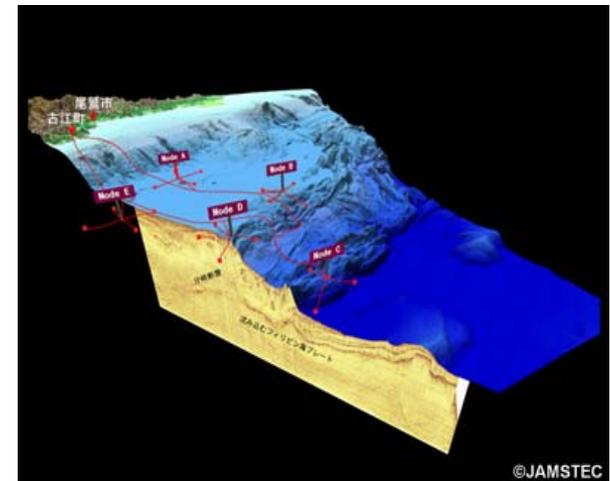
出典：<http://ja.wikipedia.org/wiki/熱水噴出孔>

出典：<http://ja.wikipedia.org/wiki/メタンハイドレート>



出典：<http://www.jamstec.go.jp/shigen/j/organization/gbet.html>

\*生態系機能や無機・有機化学反応を利用したエネルギー再生・循環型の二酸化炭素地中隔離法（バイオCCS：Carbon dioxide Capture and Storage）



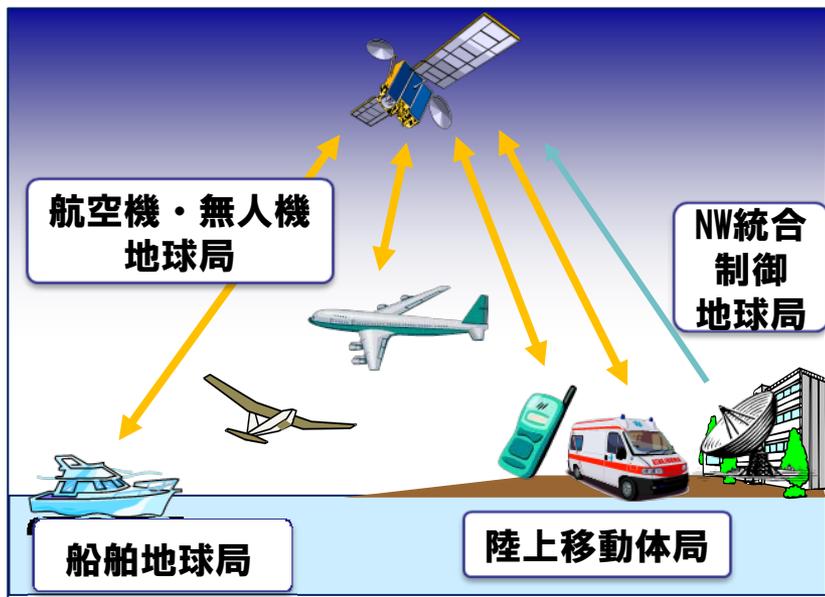
出典：<http://www.jamstec.go.jp/donet/j/donet/>

# 深海探査機「おとひめ」の衛星遠隔操作実験 (2013年10月6日)



# マルチプラットフォーム対応Ka帯地球局技術の必要性

- 海洋・宇宙 broadband 衛星通信では、ユーザーニーズに応じた対応が必要（航空機、無人機、船舶、車両、端末）
- 高効率運用制御方式に適したNWを統合的に制御する高機能な地球局が必要

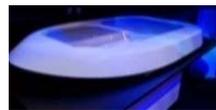


## 地球局用コンポーネント戦略：

- SSPA（GaNの高効率MMIC合成技術等）
- APAA用小型素子ユニット（ASICによる小型化等）

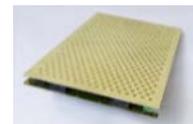
## <求められる機能例>

- 航空機用→低プロファイル化（Ku→Ka帯へ）



高さ: 7cm  
(2016年)

Panasonic Avionics\*1



高さ: 3cm

Phasor\*3 (2017年)



高さ: 12cm

Thinkom\*2



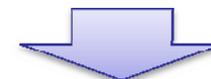
高さ: 5cm

Kymeta\*4 (2018年)

- 海洋利用→耐水性・大振幅動揺対策（Ka帯）



- 無人機利用  
自律制御技術・遠隔運用技術、遠隔メンテナンス等が必要



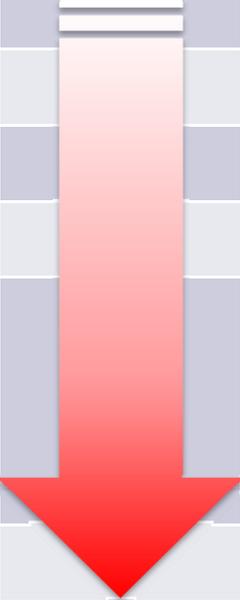
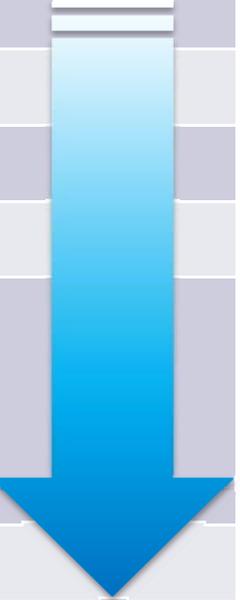
- ユーザーニーズに合わせた小型で高機能な移動体地球局の研究開発
- 高効率運用制御方式に適した地球局の研究開発

\*1) <http://www.satellitetoday.com/telecom/2014/10/08/panasonic-boeing-lightweight-antenna-to-offer-ifc-reduced-emissions/>  
 \*2) <http://concourse.gogoair.com/technology/onboard-technology-makes-inflight-connectivity-possible>  
 \*3) <http://www.satellitetoday.com/technology/2013/10/18/phasor-solutions-demonstrate-ku-band-flat-satellite-antenna-system>  
 \*4) <http://www.getconnected.aero/2015/09/just-will-kymetas-meta-material-antenna-work/>



# 次期技術試験衛星の検討状況

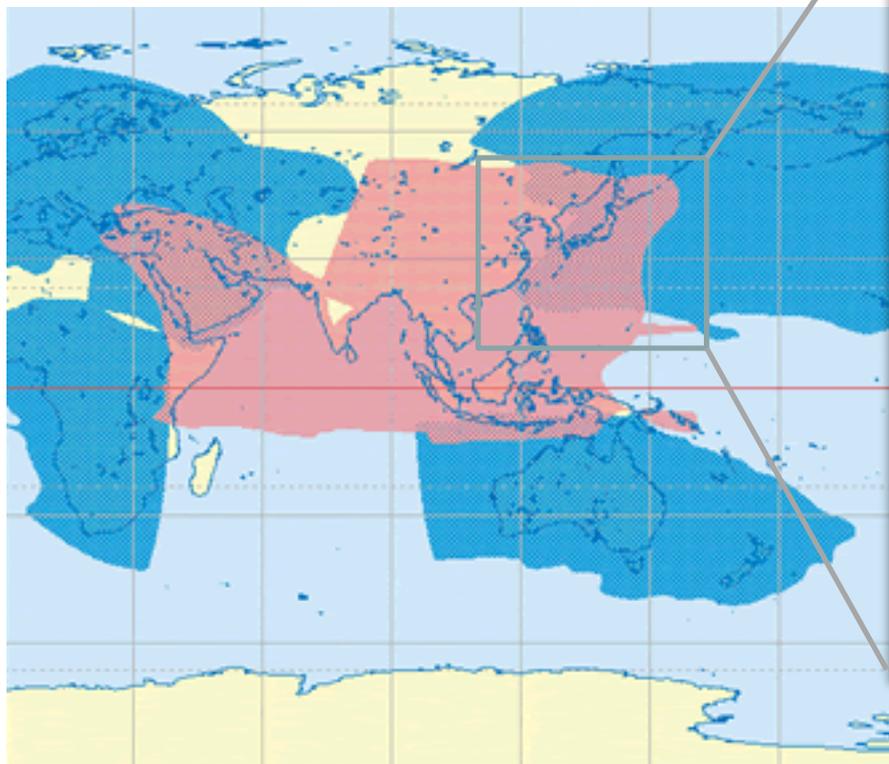
# 日本周辺での衛星通信サービス

呼び方	衛星に使用される周波数帯	衛星通信のサービス名	通信容量	降雨減衰
Lバンド	1.2～1.7GHz	・インマルサットBGAN ・イリジウム衛星携帯電話	小さい	少ない
Sバンド	1.7～2.7GHz	ワイドスターII サービス		
Cバンド	3.4～7.0GHz			
Xバンド	7.0～8.5GHz			
Kuバンド	10.6～15.7GHz	・IPSTAR衛星インターネット 接続サービス ・OceanBB, ExBirdサービス		
Kバンド	18～26GHz			
Kaバンド	17.3～31GHz	・IPSTARゲートウェイ回線 ・インマルサット5 (アジアエリアは未サービス)	大きい	大きい

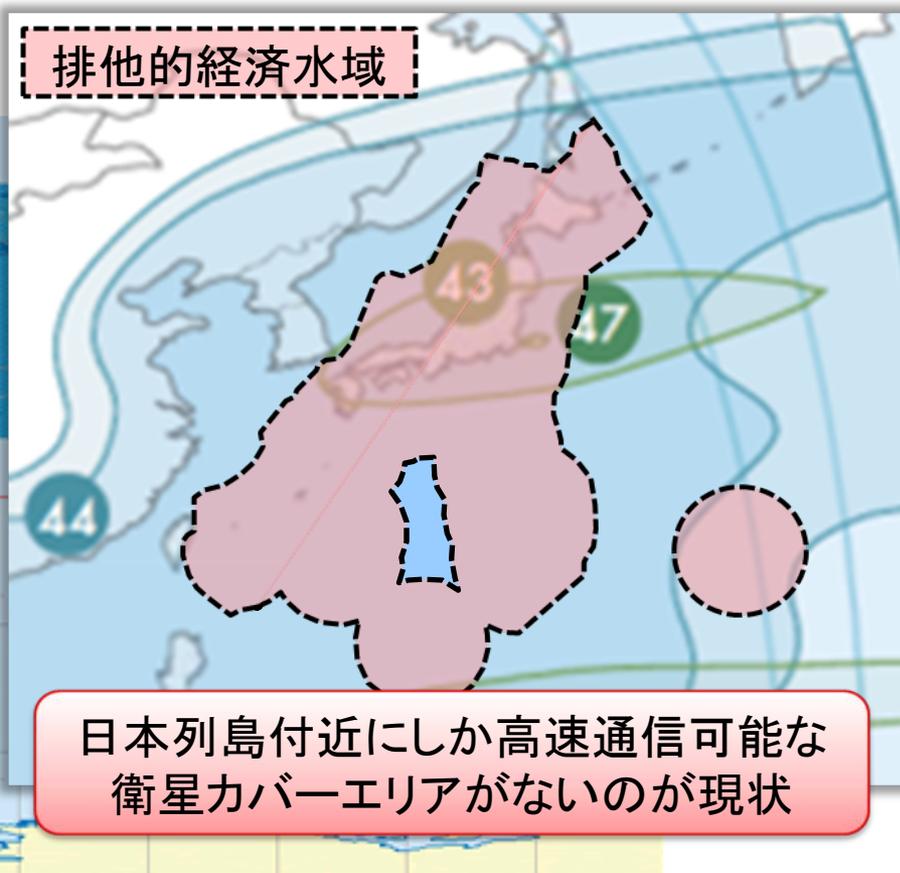
# 排他的経済水域でのサービスエリア例

スカパーJSAT OceanBBサービスの例

下り(陸→船)回線速度最大1Mbps  
上り(船→陸)回線速度最大512Kbps



衛星のカバーエリア(JCSAT-85の例)



スカパーJSATサービスエリア

海外事業者ローミングエリア

※2012年10月現在

出典: [http://www.jsat.net/jp/satellite/oceanbb/ocbb\\_area.html](http://www.jsat.net/jp/satellite/oceanbb/ocbb_area.html)

# 次世代の高速衛星通信技術の開発課題

## ● 地球局に対する技術開発

- 洋上中継器（ASV）に搭載するため、**小型・低消費電力**、かつ、通信能力の向上が必要
- 波浪に耐え、**無人運用**に耐える必要



**厳しい条件の中で衛星地球局の高性能化が必要**

## ● 衛星に対する技術開発

- 日本列島から離れた海洋上では、**約1/10以下の性能**の通信ビームしかカバーできていない
- **陸→船**の通信は高速だが、現状**船→陸**への通信は低速なものしかない



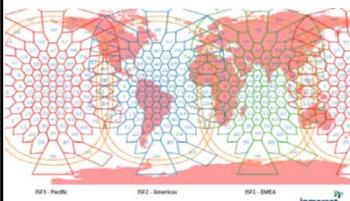
**さらに高速通信が可能な新しい通信衛星の開発が必要**

**次世代には衛星側と地球局側の両面での技術開発が必要**

# ハイスループット衛星 (HTS) の世界動向

## Inmarsat-5 (事業者: Inmarsat)

概要: 全世界を3機でグローバルにカバーしKa帯衛星通信サービスを実施、2015年8月から3機体制でフルサービスの予定  
 ビーム数: 89ビーム/1機  
 キャパシティ: 50Gbps  
 伝送速度: Maritimeサービス  
 ・Downlink: 50Mbps(60cm)  
 ・Uplink: 5Mbps(60cm)  
 打上: 2015年8月28日に3機体制  
 用途: 航空機、船舶、車載、固定



## O3b (事業者: O3b Networks)

概要: 新興国市場への3G/WiMAXワイヤレスサービスを提供  
 ビーム数: 10可動ビーム/1機  
 キャパシティ: 84Gbps(8機構成)  
 伝送速度: 大型船舶用の例  
 ・Downlink: 350Mbps(2.2m)  
 ・Uplink: 150Mbps(2.2m)  
 打上: 2014年12月18日に12機を打上げ、現在軌道上運用中  
 用途: 船舶、固定



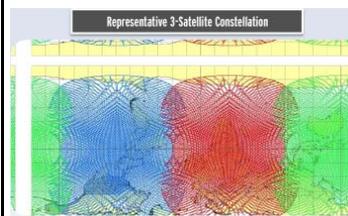
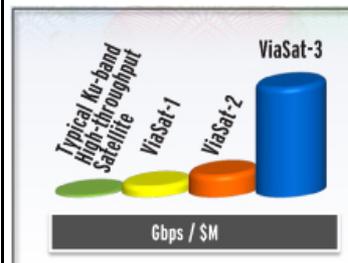
## KA-SAT (事業者: Eutelsat)

概要: 欧州で最初のKaバンドマルチビーム衛星で、衛星ブロードバンド通信サービスを提供  
 ビーム数: 82ビーム/1機  
 キャパシティ: 70Gbps  
 伝送速度: toowayサービスの例  
 ・Downlink: 10.24Mbps(max)  
 ・Uplink: 4.096Mbps(max)  
 打上: 2010年12月26日  
 用途: 航空機、固定、車載



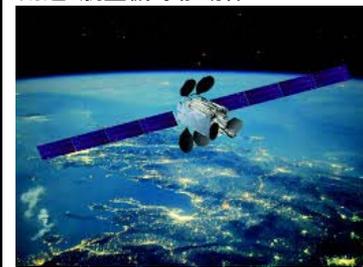
## Viasat-3 (事業者: VIASAT)

概要: 衛星3機で全地球をカバーし、Kaバンドで地上系および移動体(航空機、船舶)の衛星ブロードバンドサービスを提供  
 ビーム数: 1000ビーム/1機  
 キャパシティ: 1Tbps  
 伝送速度: exedeサービス例  
 ・Downlink: 20Mbps(75cm)  
 ・Uplink: 10 Mbps(75cm)  
 打上: Viasat-1は2011年10月19日、Viasat-2は2016年予定、Viasat-3は2019, 2020, 2021年  
 用途: 航空機、固定、車載



## Epic (事業者: Intelsat)

概要: 既存の送受信機を活用できるオープン・アーキテクチャー方式を採用、インテルサット29e、同33eの2機を、2015年から2016年にかけて打ち上げる計画。  
 ビーム数: 10  
 周波数: C, Ku, (Ka)  
 キャパシティ: 25~60Gbps  
 伝送速度: eXConnectサービス  
 ・Downlink: 40~160 Mbps  
 ・Uplink: 1~4 Mbps  
 打上: 2016年予定  
 用途: 航空機等移動体



# 新「宇宙基本計画」の策定

宇宙基本計画(平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定)

- 新「宇宙基本計画」が内閣府宇宙戦略本部で決定。

## 「(2) 具体的取組

### ①宇宙政策の目標達成に向けた宇宙プロジェクトの実施方針

#### iii) 衛星通信・放送

・・・今後の情報通信技術の動向やニーズを把握した上で我が国として開発すべきミッション技術や衛星バス技術等を明確化し、技術試験衛星の打ち上げから国際展開に至るロードマップ、国際競争力に関する目標設定や今後の技術開発の在り方について検討を行い、平成27年度中に結論を得る。これを踏まえた新たな技術試験衛星を平成33年度をめぐりに打ち上げることを目指す。また、継続的な国際競争力強化の観点から、10年先の通信・放送衛星の市場や技術の動向を予測しつつ、次々期の技術試験衛星について先行的に検討を進める。

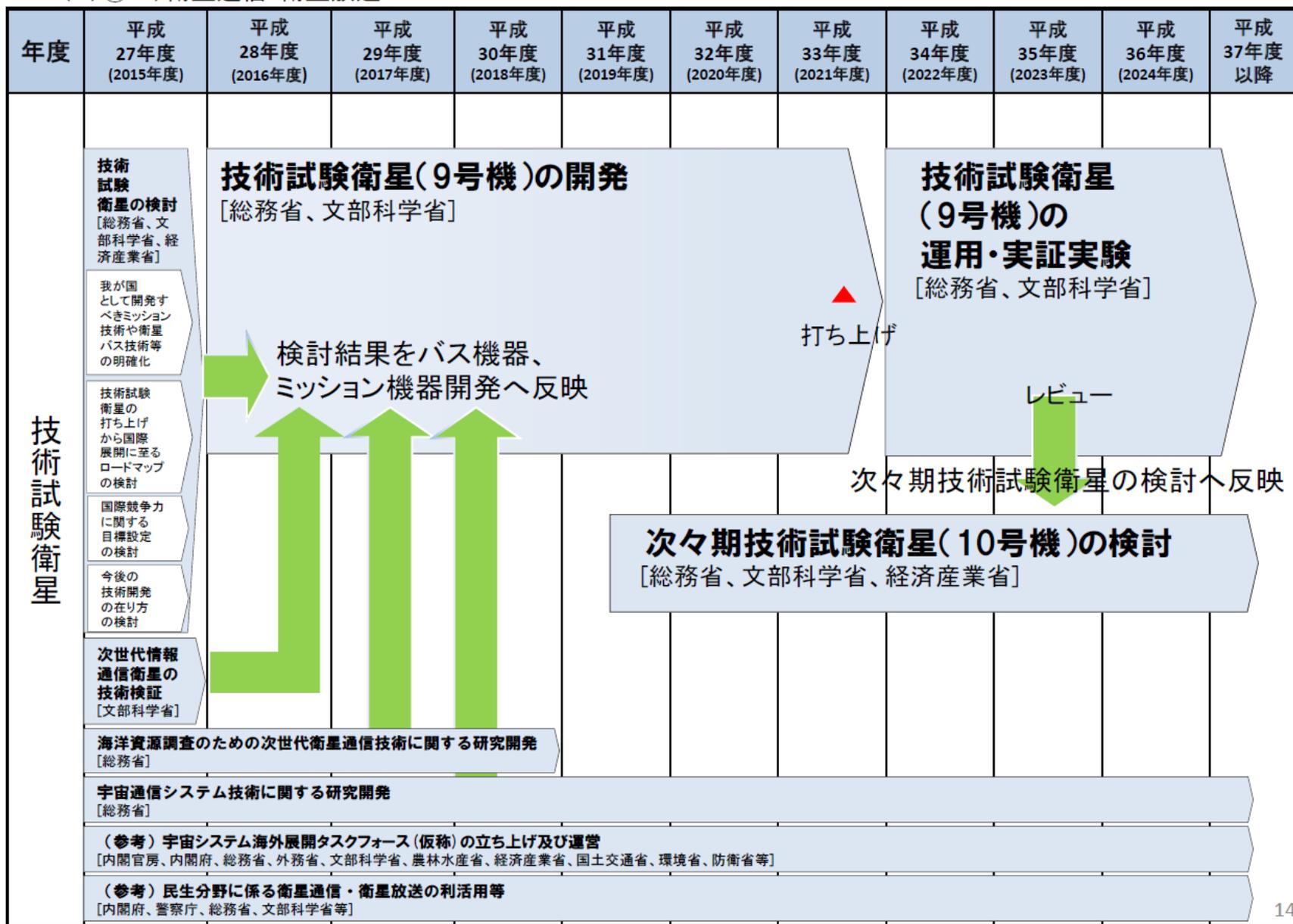
(総務省、文部科学省、経済産業省)

・抗たん性が高く、今後のリモートセンシングデータ量の増大及び周波数の枯渇に対応する光データ中継衛星の開発に平成27年度に着手し、平成31年度をめぐりに打ち上げる。(総務省、文部科学省)」

# 新「宇宙基本計画」工程表

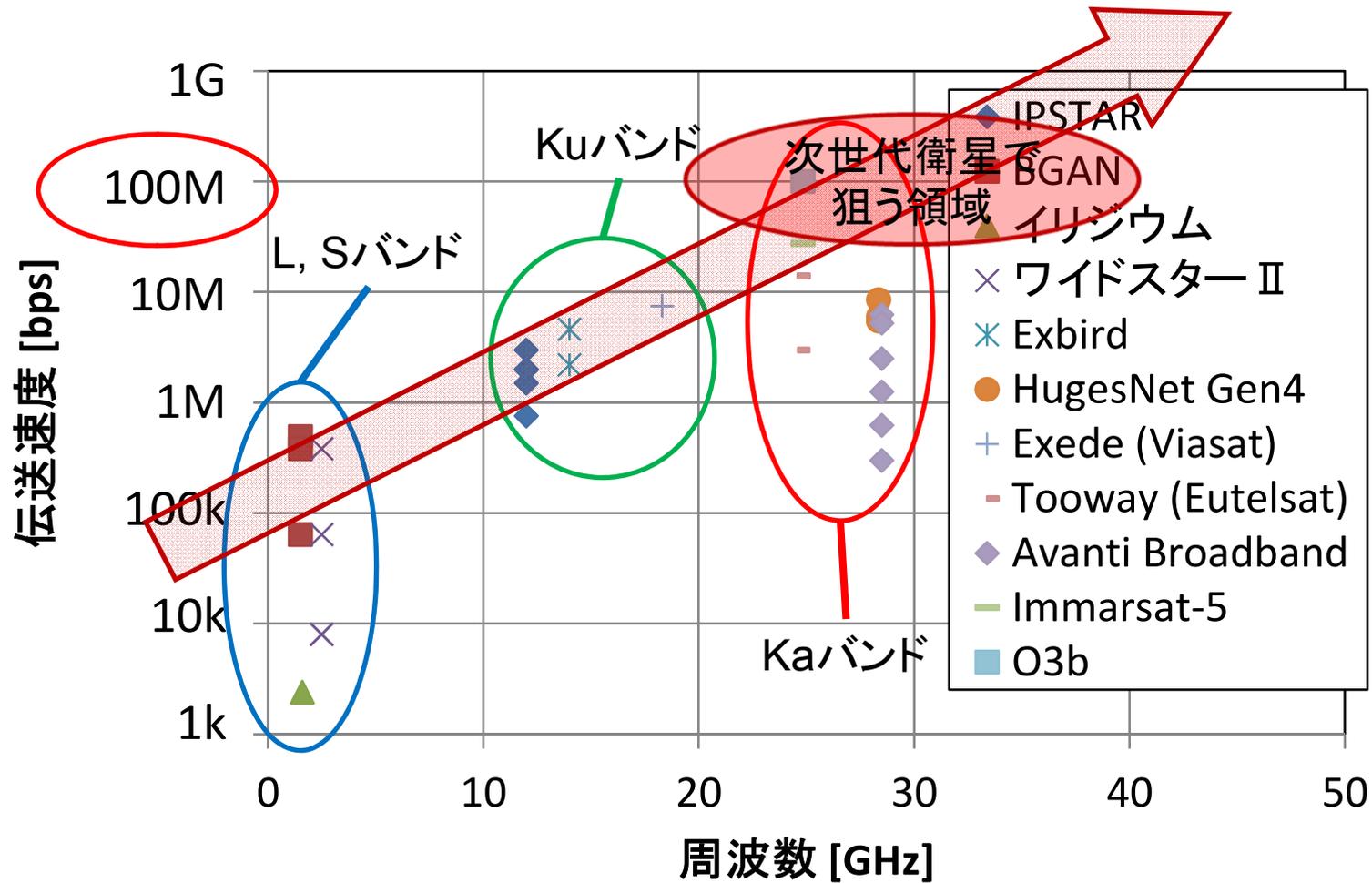
## 宇宙基本計画(平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定)

### 4. (2)①iii)衛星通信・衛星放送



出典: [http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/plan2\\_koutei.pdf](http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/plan2_koutei.pdf)

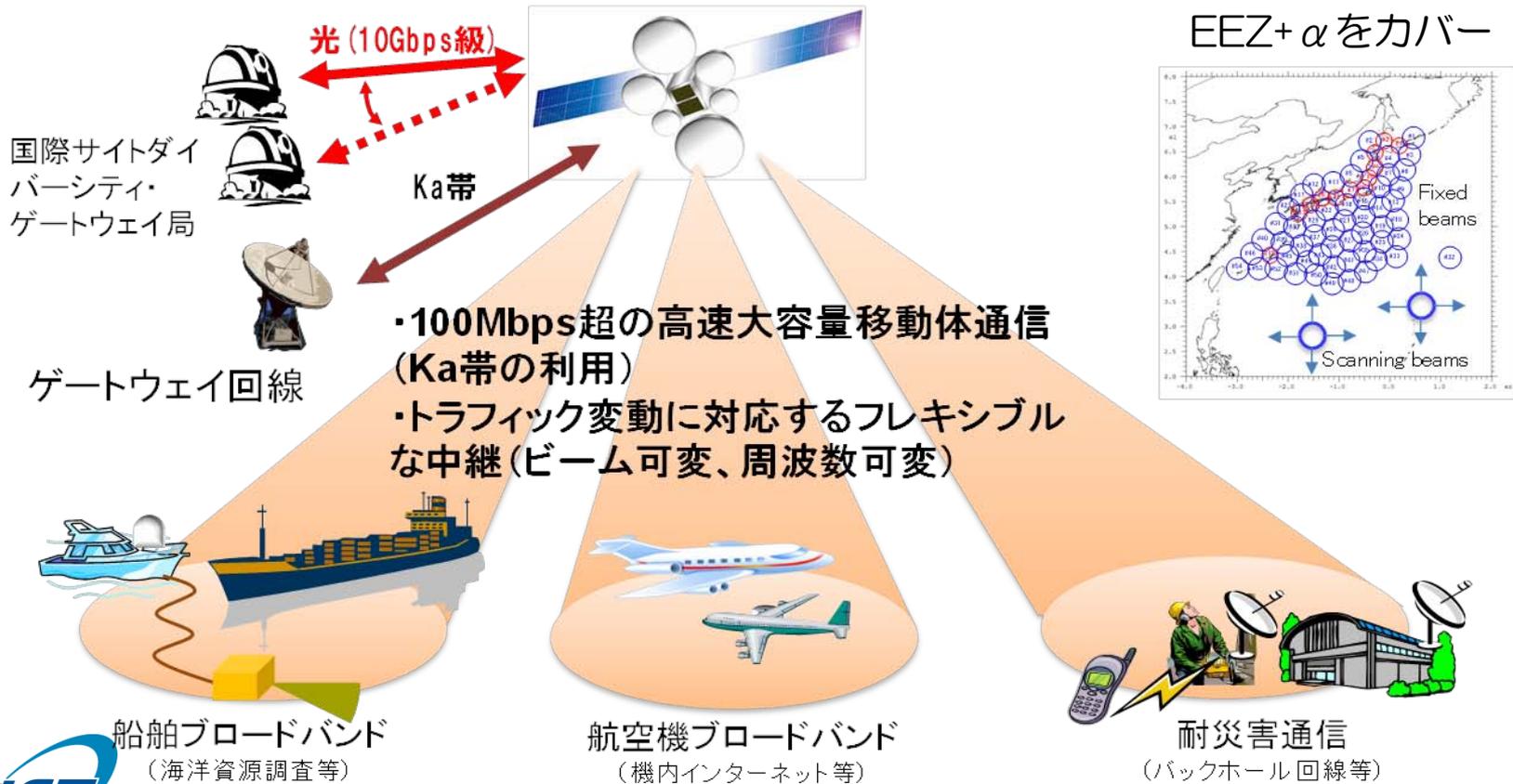
# 次世代の通信衛星に求められる伝送速度



# 海洋・宇宙ブロードバンド衛星通信システムの概要

非常時、海洋、航空を含む宇宙空間に100Mbps級のブロードバンド通信を衛星通信で提供

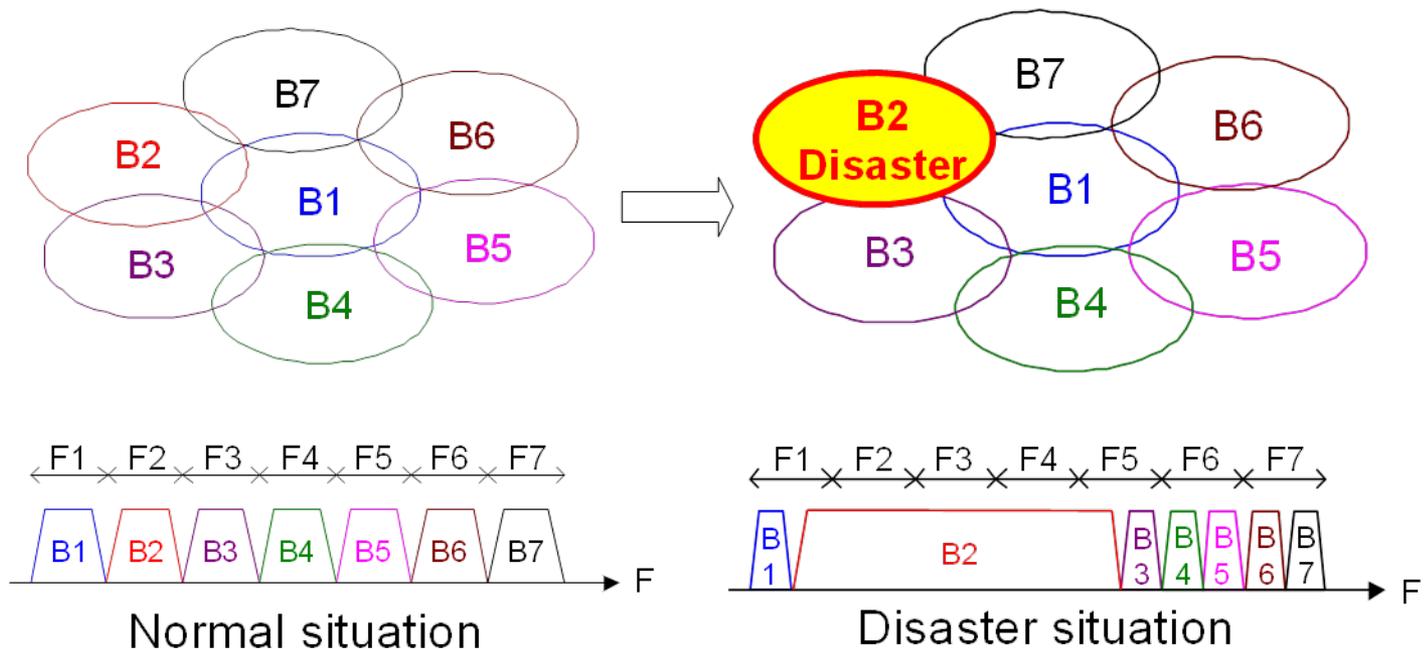
## 次期技術試験衛星



# 次世代高速衛星通信技術の開発課題

## ● 衛星に対する技術開発

- 限りある衛星の通信リソースを効率的に利用するため、トラフィックの変化に合わせたフレキシブルな中継が必要
- 周波数可変（チャネライザ）、ビーム可変（デジタルビームフォーマ）



# 想定する衛星通信サービスの条件（検討中）

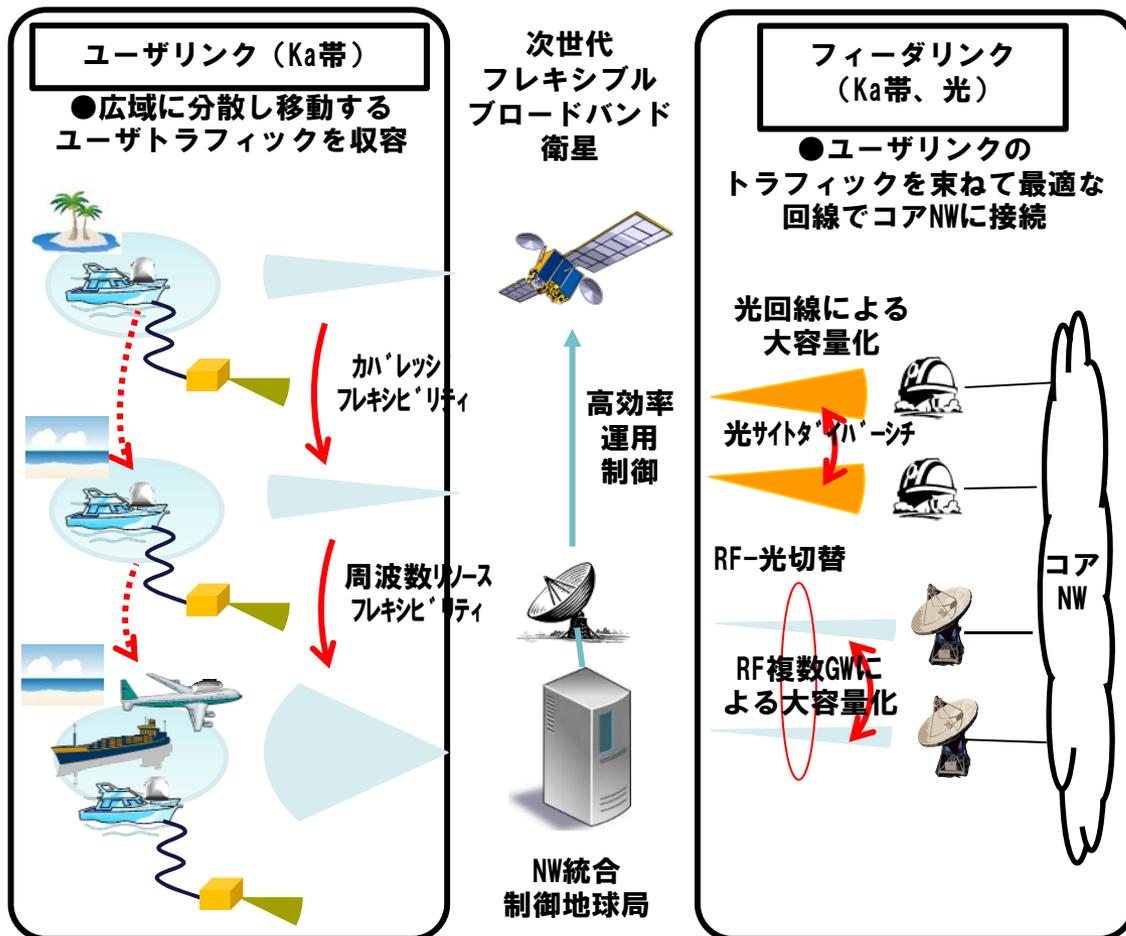
- 100Mbpsクラスの移動体衛星通信
- 日本の陸上、排他的経済水域（EEZ）内を中心とした海洋、国際線の航空路へのサービス

## 目標とする衛星通信サービス

サービスエリア	地球局	伝送速度	回線接続の形態
日本の陸上 (沖縄奄美を含む)	小型移動地球局	最大150Mbps	エリア内で常時接続可能を基本とする
日本のEEZ内	小型移動地球局	最大100Mbps	エリア内で常時接続可能を基本とする
地球視野内	小型移動地球局	50Mbps	エリア内でのスポット的な接続を基本とする
日本発着の国際線の航空路 (地球視野内)	航空機地球局	100Mbps(目標)	国際線の民間航空機のトラフィック要求へ対応できること
アンテナサイズ	φ65cm(送信40W、伝送速度1倍) φ45cm(送信10W、伝送速度1/10倍) □20x20cm(送信5W、伝送速度1/100倍)		

# 海洋・宇宙ブロードバンド衛星通信 ネットワークのキー技術

電波と光を組み合わせることでユーザの変化する通信要求にフレキシブルに対応するネットワークシステム制御技術



# 衛星搭載用超高速光通信コンポーネントHICALIの開発

衛星・地上間において10Gbpsクラスの通信速度で伝送可能な光通信コンポーネント

- 通信速度：10Gbpsクラス
- 利用波長：1.5 $\mu$ m
- 宇宙環境に耐えられる光通信機器としては世界最速
- 天候に左右されにくいサイトダイバーシティを考慮した地上局を検討中



# 小型光トランスポンダ (SOTA) の開発 (Small Optical TrAnsponder)

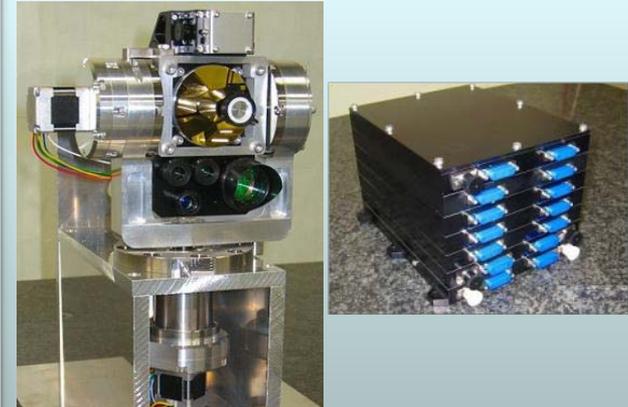
ミッションの目的:

- ・ 軌道上で捕捉・追尾・指向性能の実証
- ・ 様々な波長でレーザービームの伝搬データの取得
- ・ 符号化を用いたレーザー通信実験
- ・ 衛星量子鍵配送 (QKD) の基礎実験
- ・ 世界各国の光地上局を用いた国際共同実験

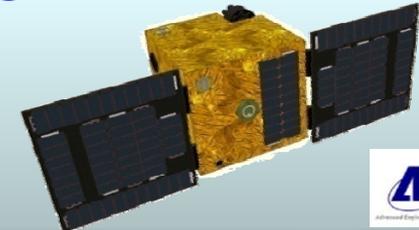
## SOTAの主な諸元

質量	6.2 kg (光学部、電気部含む)			
電力	Tx1	Tx1+Rx	Tx2,3,4	Tx2,3,4+Rx
	28.1W	39.5W	32.5W	37.3W
駆動範囲	Az: >±50deg, El: -22deg~+78deg			
距離	1000km			
波長	Tx1: 976nm			
	Tx2 and Tx3 : 800nm-band			
	Tx4 : 1550nm			
	Rx: 1064nm, 捕捉/追尾: 1064nm and 1550nm			
伝送速度	1Mbps or 10Mbps (選択可能)			

小型光トランスポンダ(SOTA)  
(エンジニアリングフライトモデル)



50-kgクラス超小型衛星バス

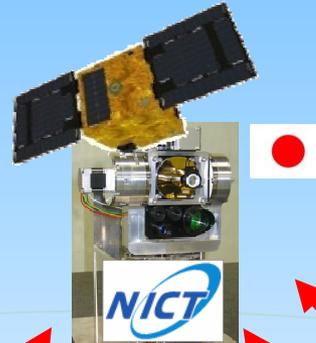


平成26年5月24日打ち上げ成功

# SOTAを用いた国際共同光通信実験

## 小型光トランスポンダ (SOTA)

国際協調型グローバル  
光通信ネットワークの  
確立を目指す



異なる場所でのレーザ大  
気伝搬データの取得

伝搬モデルの構築  
最適な符号化に寄与

宇宙データシステム諮  
問委員会 (CCSDS) で、  
標準化へ  
世界各国で大きな期待



# 次期技術試験衛星の研究開発スケジュール

28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度～
2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年～

## 搭載系システム開発

▲6月 周波数ファイリング事前公表

RF通信  
ミッション系

固定マルチビーム衛星通信システム開発

可動ビーム衛星通信システム開発

光通信  
ミッション系

光通信システム開発

引き渡し

衛星インテ  
グレーション

総合試験

打上

▲

海洋・航空・災  
害など多くの  
ユーザの利用  
へ

軌道上実証

ネットワーク統合制御技術の開発

高効率運用制御方式、リソース可変方式、Ka帯伝搬特性測定とモデル構築

## 地上系システム開発

RF通信  
地球局系

Ka帯地球局システムの開発  
マルチプラットフォーム技術、ゲートウェイ地球局の改修等

光通信用  
地上局系

光地上局システムの開発  
RF-光変換技術、世界唯一の光地上局NW、国際サイトダイバーシティ、補償光学システム

RF・光ハイブ  
リット衛星搭載  
技術・ネット  
ワーク統合制  
御技術

創出

新技術を世界に  
先行して確立

# 宇宙通信システム研究の方向性

## ～海洋・宇宙ブロードバンド実現のための研究開発～



# まとめ

---

- ・ 電波を用いた衛星通信の研究開発
  - 「きずな」を使用した衛星通信実験
  - 次期技術試験衛星に関する検討



海洋・宇宙ブロードバンド通信の確立