

WINDSを用いた 海洋ブロードバンド衛星通信の研究

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

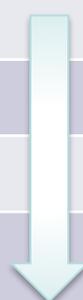
○菅智茂, 吉村直子, 高橋卓, 豊嶋守生

アウトライン

1. 背景
2. 開発した洋上地球局について
3. ASV用地球局用いた洋上実証実験
4. RV用地球局を用いた洋上実証実験
5. WINDS用いた洋上以外での実験紹介
6. 宇宙通信研究室の取り組み

背景

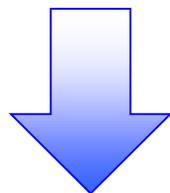
日本周辺での衛星通信サービス

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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・IPSTAR衛星インターネット接続サービス ・OceanBB, ExBirdサービス 		
Kaバンド	17.3～31GHz	<ul style="list-style-type: none"> ・IPSTARゲートウェイ回線 ・インマルサット5 	大きい	大きい

海洋上での衛星通信環境の現状

海洋上での主要通信サービス

	Lバンド Inmarsat FB等	Kuバンド スカパーJSAT OceanBB等	Kaバンド Inmarsat GX等
伝送速度(洋上→衛星)	400kbps程度	500kbps程度	4Mbps程度



陸上移動体と比較してデジタルデバイド状態

海洋上における衛星通信の適用領域

- a) 海洋環境調査
- b) 海洋資源調査
- c) 貨物船モニタリング・制御
- d) 津波監視
- e) 安全保障

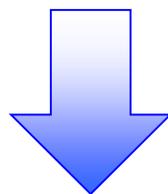
ダウンリンク(衛星→海洋上)だけでなく
アップリンク(海洋上→衛星)の高速化が必要

NICTにおける海洋ブロードバンド通信への取組

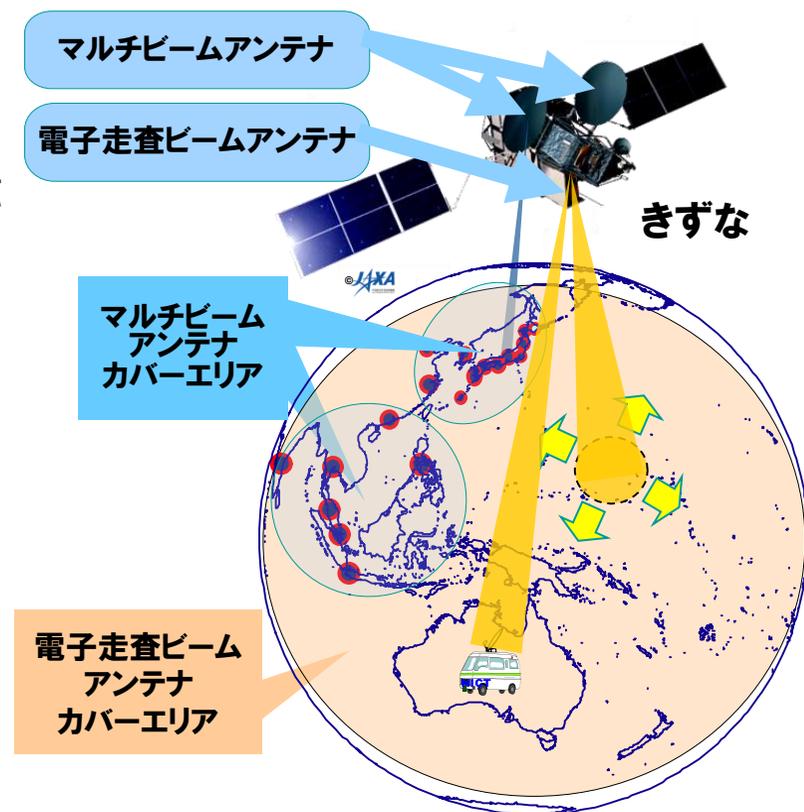
- 小型船舶等から**10Mbps級**の伝送速度実現

- ◆ Ku帯→Ka帯
- ◆ 海洋域をカバーするKa帯衛星システム

超高速インターネット衛星「きずな」
(Wideband InterNetworking engineering test
and Demonstration Satellite : WINDS)



WINDSの成果を活用・発展

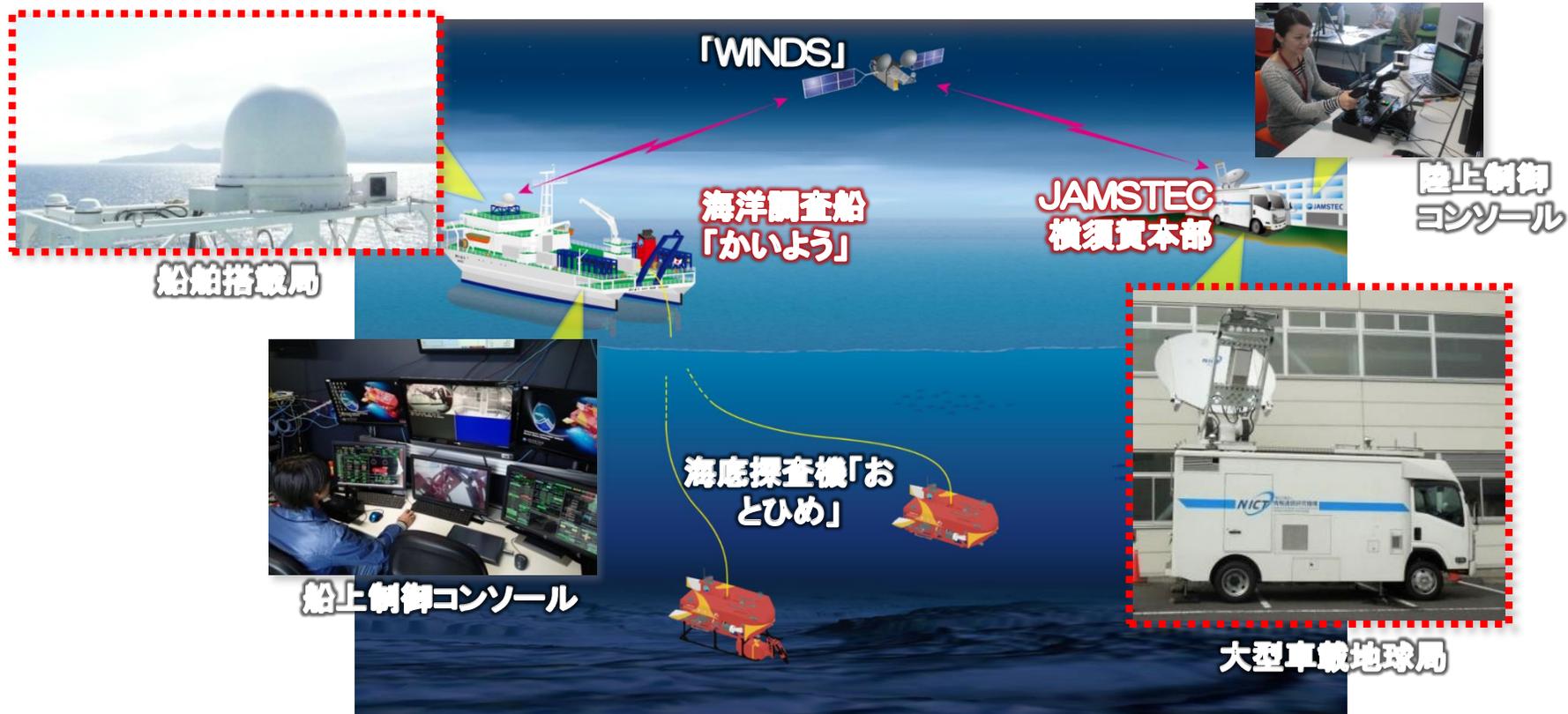


【これまでの成果】 陸上用衛星地球局

開発した衛星地球局		特徴
フルオート可搬局		<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・再生交換中継回線： <ul style="list-style-type: none"> 上り: 1.5、6、24、51Mbps 下り: 155Mbps
大型(2.4m級)車載型地球局		<ul style="list-style-type: none"> ・限定付中型免許で運転可能 ・発電を搭載(7kVA以上) ・再生交換中継回線 <ul style="list-style-type: none"> 上り: 1.5、6、24、51、155Mbps 下り: 155Mbps
小型移動体用車載地球局		<ul style="list-style-type: none"> ・走行中にもブロードバンド通信が可能 ・アンテナは取り外して船舶等に搭載可能 ・再生交換中継回線 <ul style="list-style-type: none"> 上り: 1.5、6、24Mbps 下り: 155Mbps

深海探査機「おとひめ」の遠隔操作実験

- ・JAMSTEC海洋調査船「かいよう」に搭載した WINDS船舶局を使用して、JAMSTEC横須賀本部に設置した大型車載局との間でMBAを使用して**24Mbps**通信を確立
- ・横須賀からWINDS経由で**深海探査機「おとひめ」のテレオペレーション**を実施
- ・HD映像、TV会議等も同時に伝送



■ JAMSTECとの共同研究(2013年実施)

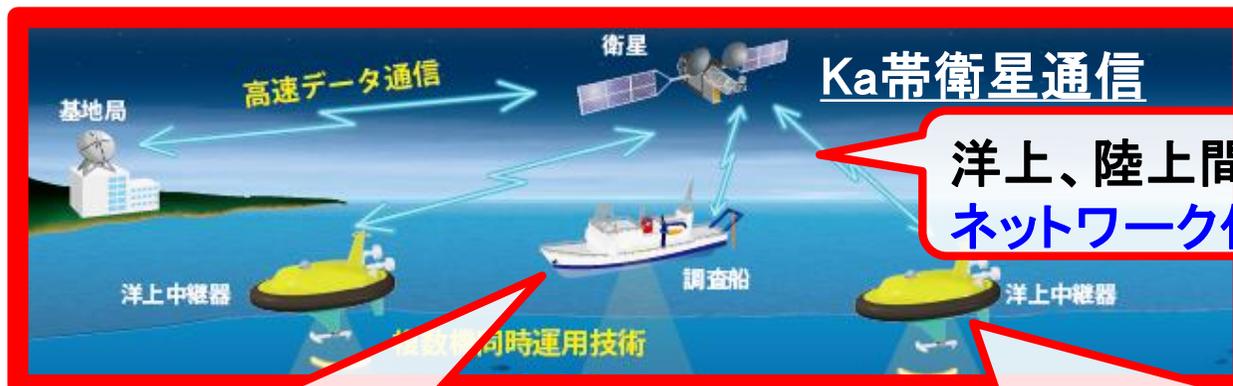
開発した洋上地球局 について

NICTにおける海洋ブロードバンド研究開発プロジェクト

- 内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代海洋資源調査技術」
 - 海上無人中継器(ASV)用小型地球局(5Mbps級)
- 総務省「海洋資源調査のための次世代衛星通信技術に関する研究開発」
 - 海洋資源調査船(RV)用小型地球局(10Mbps以上)

※いずれも伝送速度はEEZ内で実現することを想定

次世代海洋資源調査技術イメージ



Ka帯衛星通信
 洋上、陸上間を高速衛星通信でネットワーク化

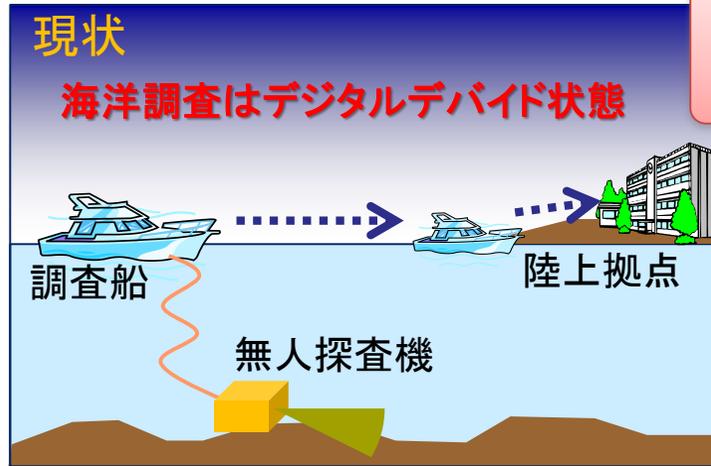
調査船(RV)に搭載可能な小型・軽量、省電力化を進めた高速衛星通信装置の開発

洋上中継器(ASV)に搭載可能な小型・軽量、省電力化を進めた高速衛星通信装置の開発

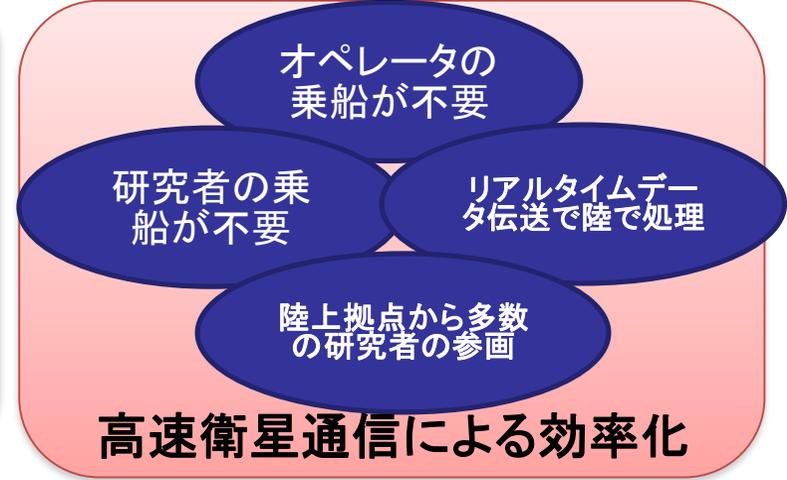
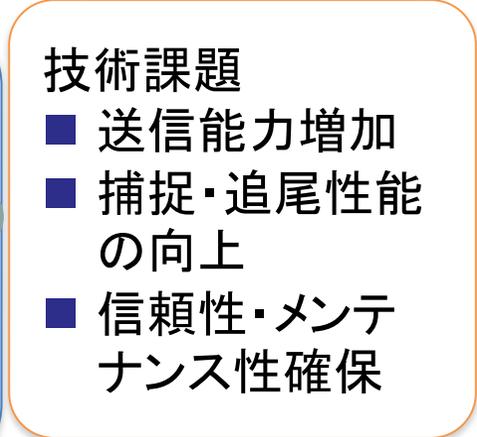
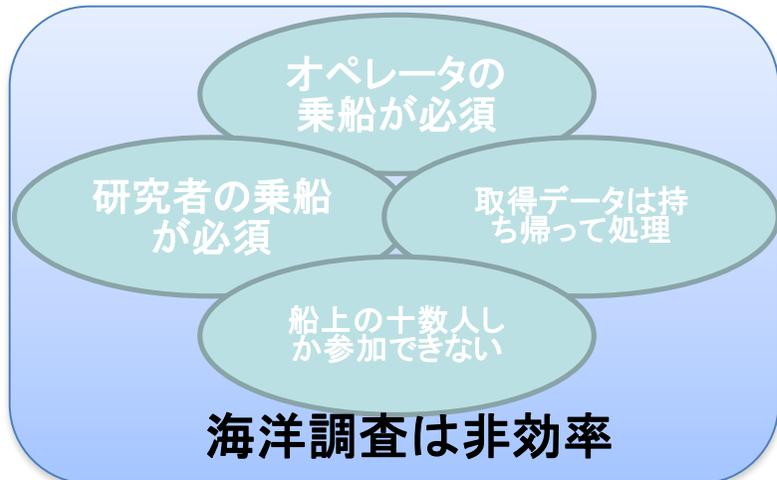
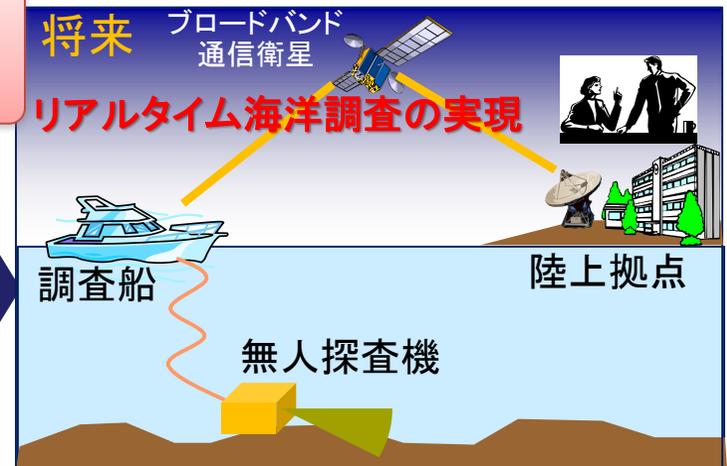
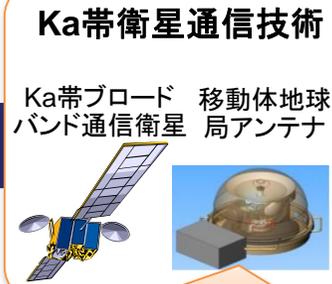


調査船搭載用地球局の開発

世界第6位の広い排他的経済水域を有する日本にとって、
海洋資源調査、海洋産業の高度化、海洋安全保障等は重要課題



衛星通信の高速化による 海洋ブロードバンド化



衛星通信装置開発の課題

小型・軽量化、省電力化、追尾性能向上、耐環境性等への取り組み

1. GaNを用いたBUCの開発

→省電力化、熱対策

2. 熱交換システムの開発

→省電力化、小型化

3. アンテナ可動範囲拡大

→衛星捕捉・追尾性能向上

4. リモートアクセスシステム

→無人運用・安全運用対策

5. 防水、湿気対策

→耐環境性能

調査船/海上無人中継器用地球局開発プロジェクト

開発した衛星地球局の外観

カセグレンアンテナ

Cassegrain Antenna

アンテナサイズ: $\Phi 0.80\text{m}/0.54\text{m}$

GaN採用BUC

BUC using GaN

送信出力: 20W

熱交換システム

Heat exchanging system

BUC [冗長化]

BUC redundant

ASV用小型地球局
(正面)

調査船用小型地球局
(正面)

ASV用小型地球局
(背面)

調査船用小型地球局
(背面)

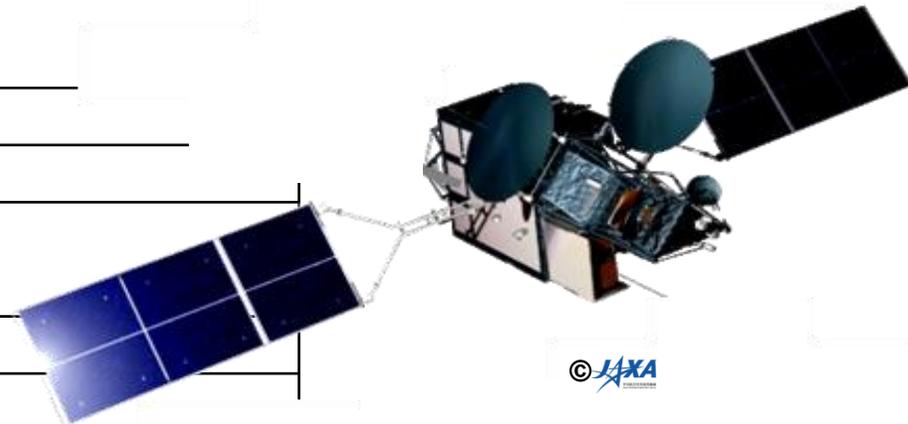
既開発陸上移動局との比較

	既開発小型車載局	ASV用小型地球局	調査船用小型地球局
設置寸法	0.99×0.99×0.8 [m] (別途エアコン設置スペース必要)	0.75×0.75×0.83 [m]	0.99×0.99×1.1 [m]
アンテナ径	65cm	54cm	80cm
伝送速度	6.5Mbps (WINDS APAAエリア内)	>5Mbps (WINDS APAAエリア内)	>10Mbps (WINDS APAAエリア内)
EIRP	>55.5dBW	>53.3dBW	>58.2dBW
重量	117kg (エアコン24kg含む)	59kg	84.5kg
駆動範囲	Az:360° 連続 El:20° ~160° X-El: ±15°	Az:360° 連続 El:-20° ~160° X-El: ±15°	Az:360° 連続 El:-20° ~160° X-El: ±15°
指向精度	±0.2° 以内	±0.2° 以内	±0.2° 以内
消費電力	約1,000W (運用時、エアコン含む)	約500W (運用時)	約500W (運用時)

ASV用地球局用いた 洋上実証実験

WINDS概要

静止軌道位置	東経143度
周波数	27.5-28.6 GHz(アップリンク)
	17.7-18.8 GHz(ダウンリンク)
	18.9 GHz (Beacon信号)
偏波	直線偏波(V/H)
アンテナ	マルチビームアンテナ(MBA) オフセットカセグレンアンテナ 国内ビーム:12ビーム 東南アジアビーム:7ビーム
	電子走査アンテナ(APAA) 直接放射型フェーズドアレイ 2ビーム
EIRP,G/T	MBA: >68 dBW, >18 dB/K
	APAA: >55 dBW, >7 dB/K
中継方式	再生交換中継方式 1.5, 6, 24, 51, 155 Mbps(アップリンク) 155 Mbps(ダウンリンク)
	非再生中継方式 最大3.2 Gbps



WINDS概要

・高速通信が可能な19のMBAが、日本本土の大部分とアジア主要都市をカバー

・APAA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。

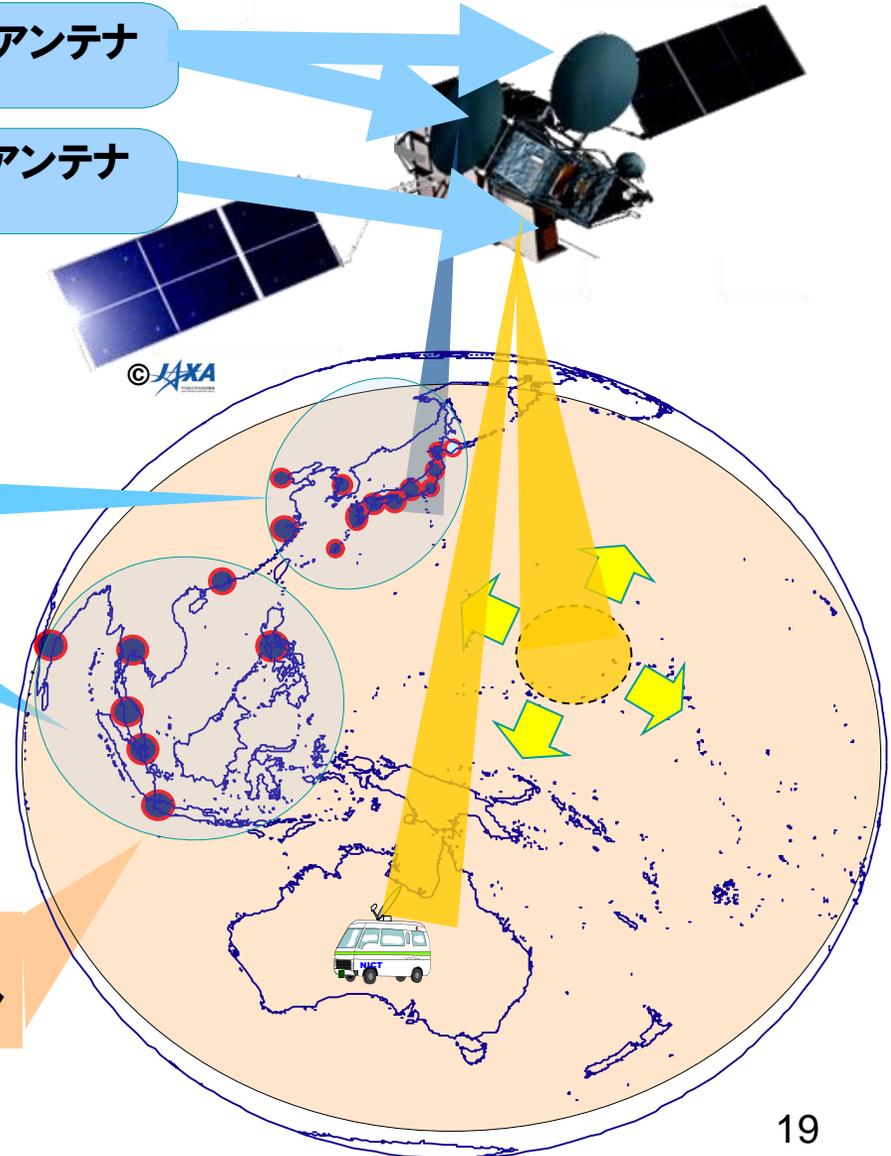
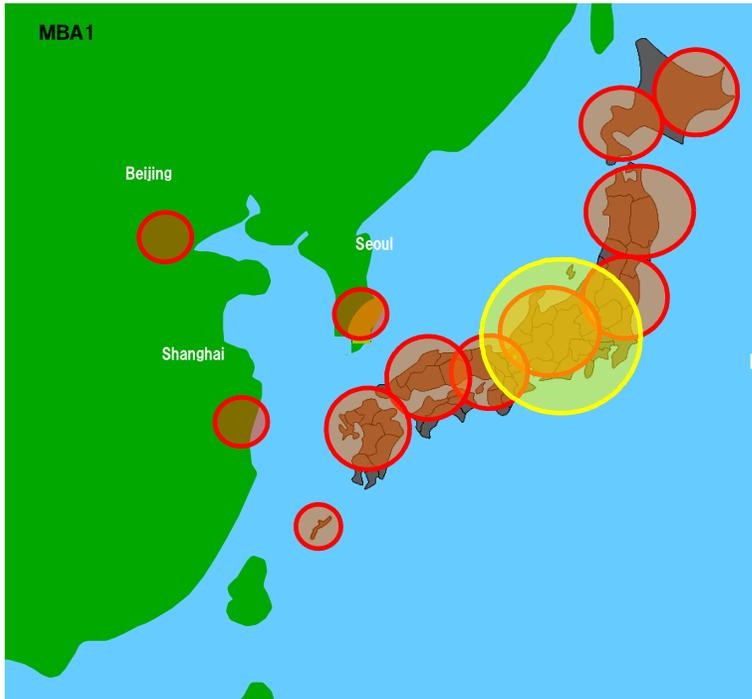
マルチビームアンテナ
MBA

電子走査ビームアンテナ
APAA

MBA
カバーエリア

MBA2
Bangalore
Hong Kong
Bangkok
Manila
Kuala Lumpur
Singapore
Jakarta

APAA
カバーエリア

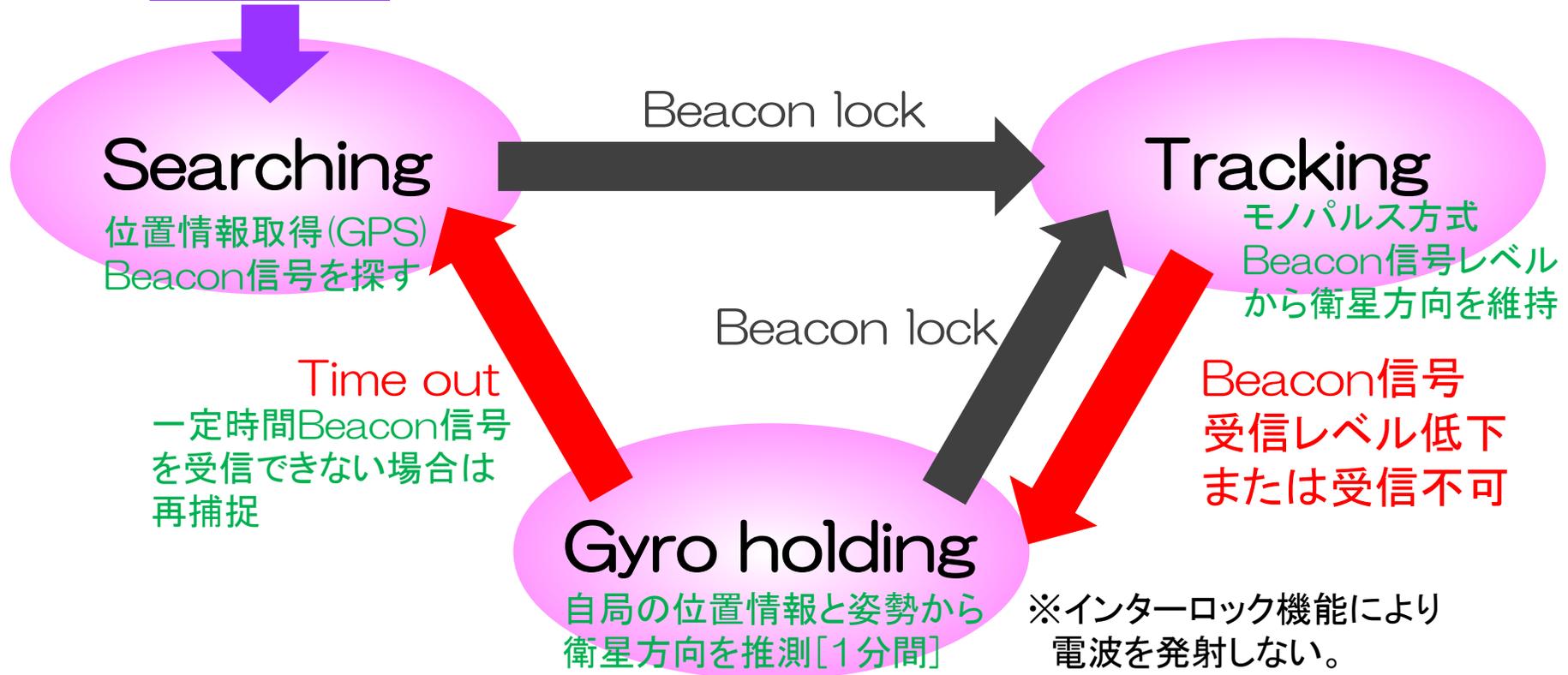


ASV用衛星通信装置

衛星捕捉と衛星追尾のモード遷移

※超高速インターネット衛星「きずな」
(WINDS)に対する捕捉と追尾

電源ON
START



ASVは無人運用

ASV用衛星通信装置

【目的】

- ・映像伝送
- ・制御信号伝送
等

ASV概要

サイズ: 全長4m, 幅2m

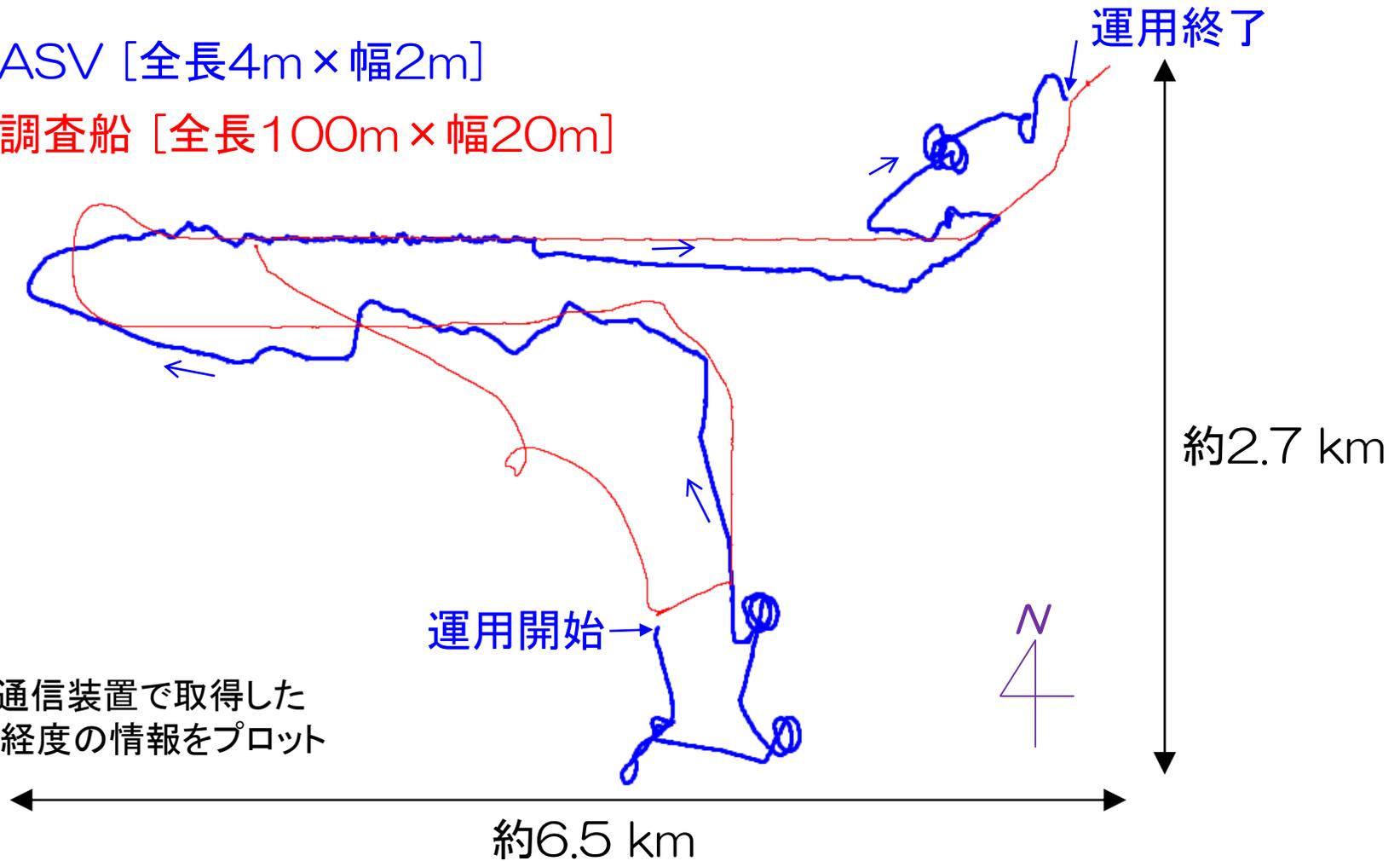
速力: 最大5ノット

海底を探査する装置を
複数監視・制御

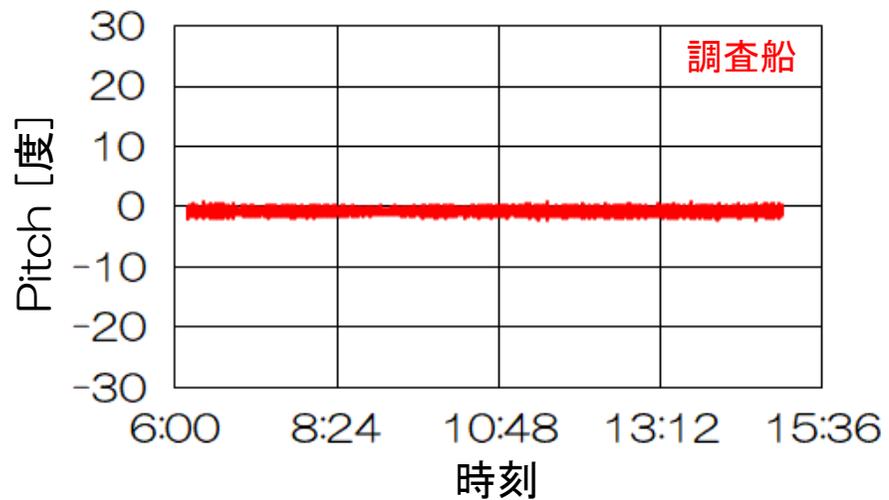
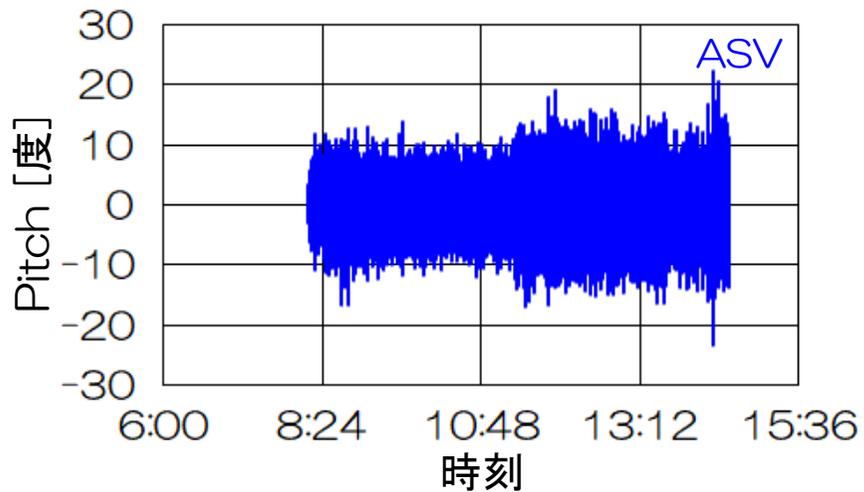
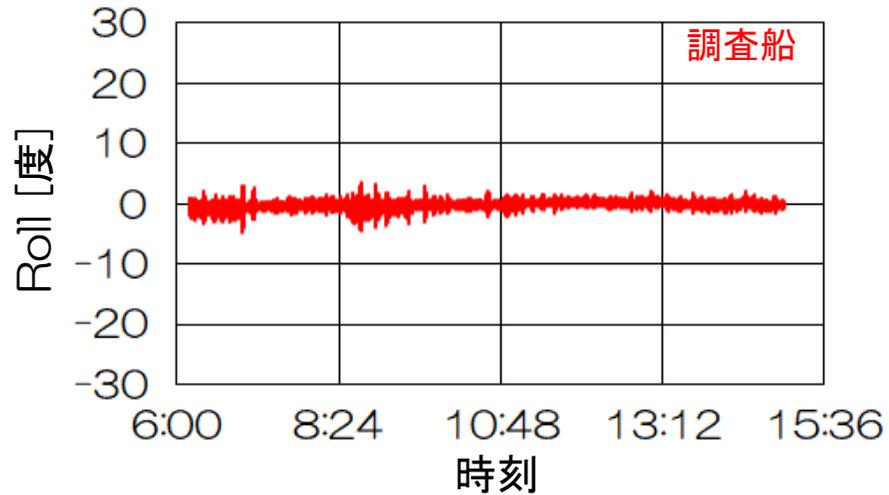
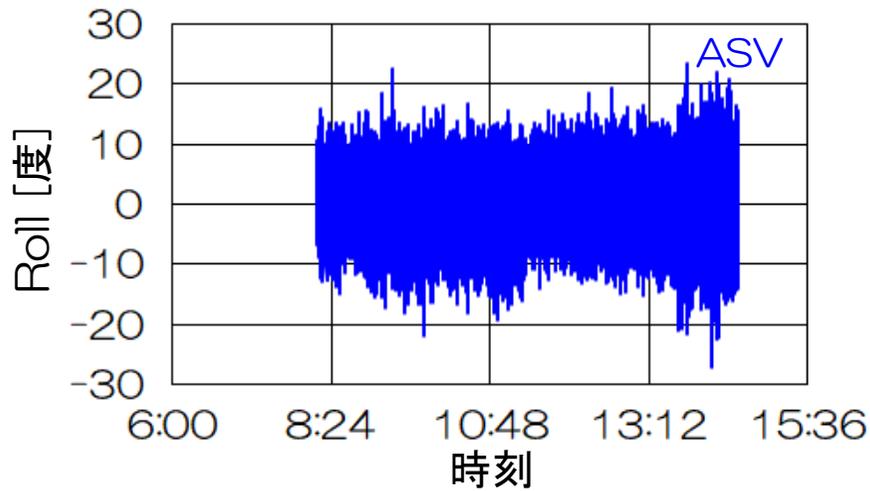
【運用例】ASVと調査船の移動の軌跡

青線: ASV [全長4m × 幅2m]

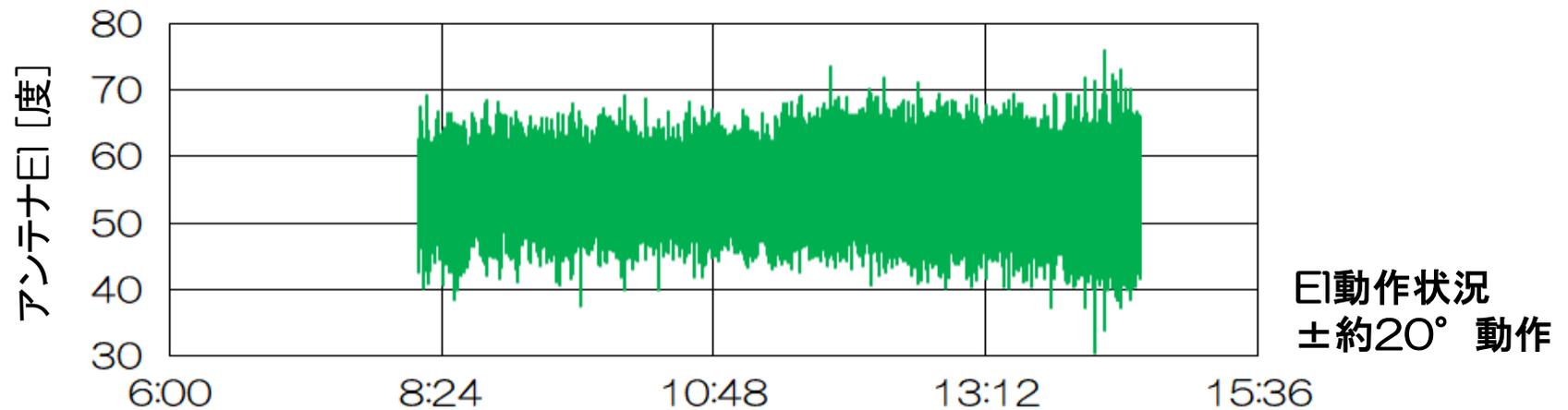
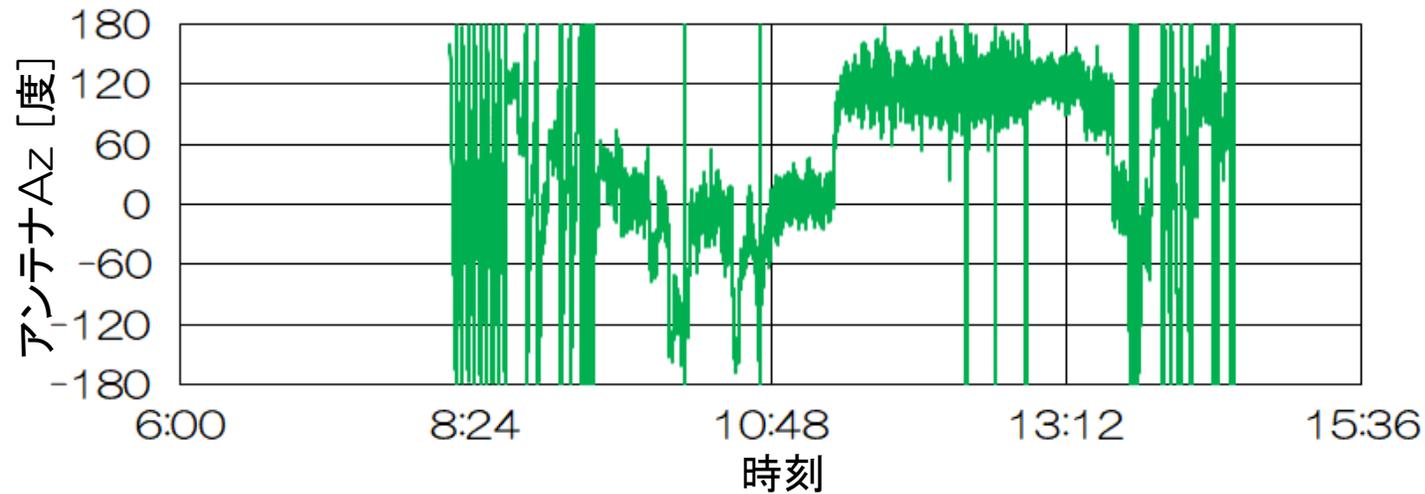
赤線: 調査船 [全長100m × 幅20m]



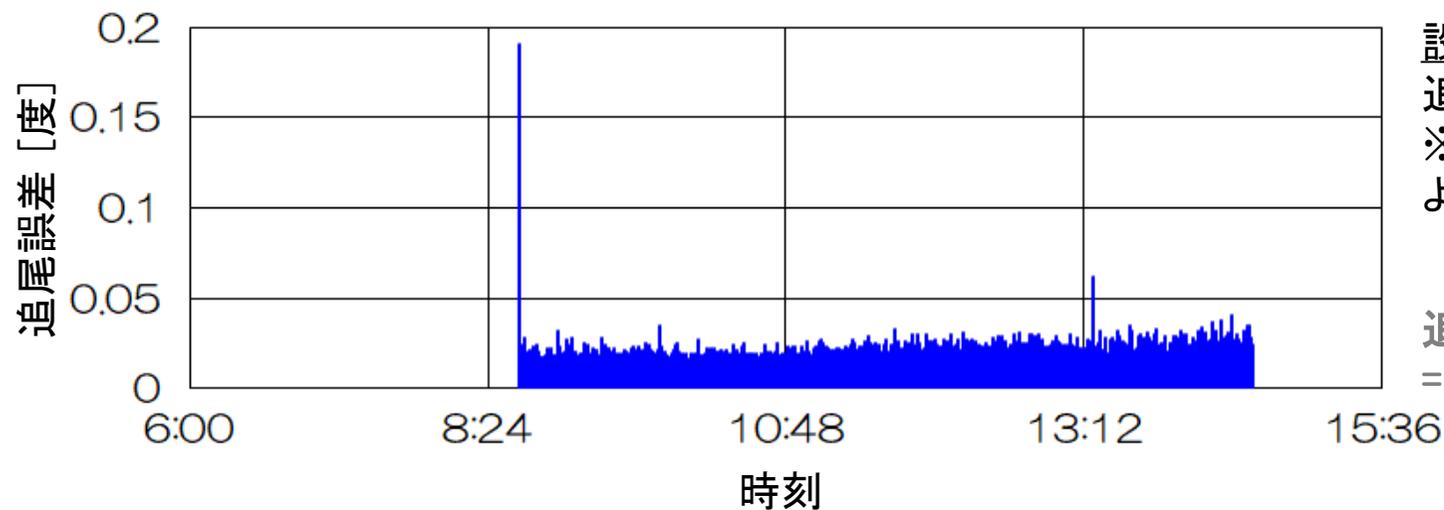
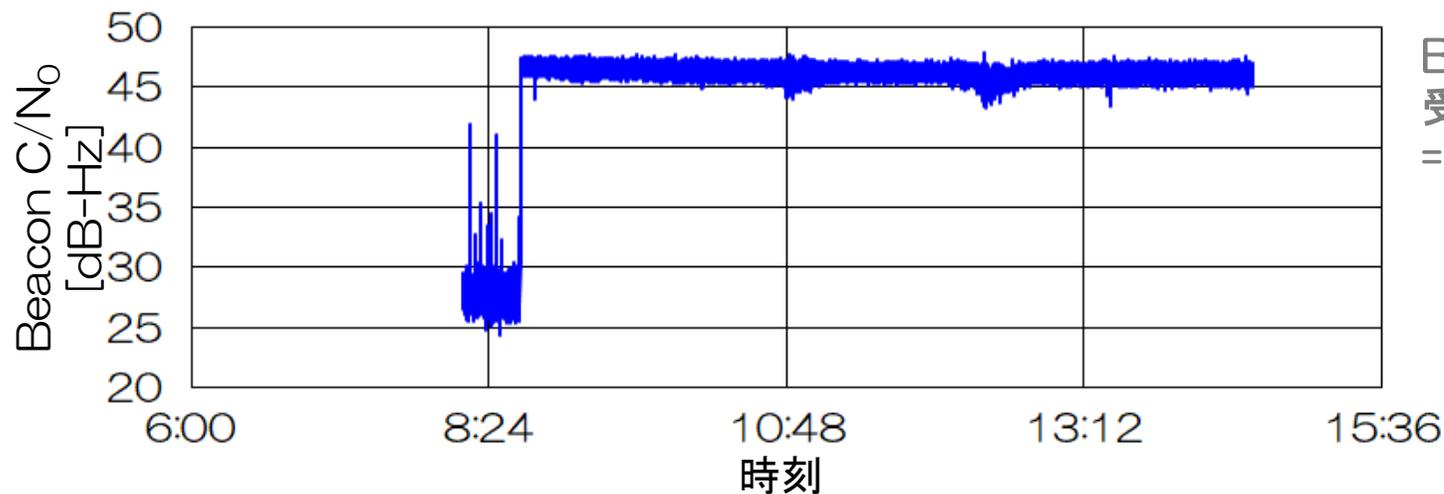
【運用例】洋上におけるASVと調査船の動揺比較



【運用例】ASV用衛星通信装置のアンテナ動作



【運用例】 Beacon C/N0受信状況と追尾精度



ASV用高速衛星通信装置実証モデル を用いた技術実証



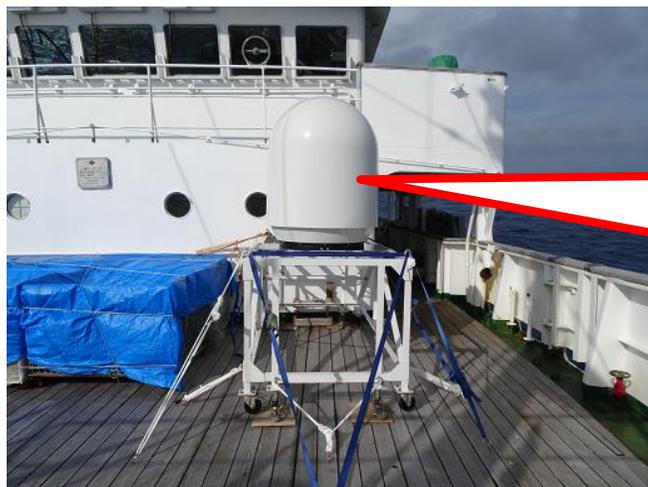
小型のASVへ搭載し、5Mbpsの回線を構築。
海上の動揺に対して衛星の追尾が外れることはなく、安定した通信を実現。



ASVの制御やASVからの動画伝送等を調査船上で確認。
※ASV搭載カメラからの映像

海洋研究開発機構様が実施した海域試験で運用

ASV用高速衛星通信装置ベータモデル を用いた技術実証



調査船の移動や動揺に対して正確な衛星追尾を実現。安定したインターネット環境を船上で構築。

利用者アンケート結果一例

- ✓ 82%の方が回線速度に満足
 - ✓ 91%の方が同等のインターネット環境の利用を希望(PCやスマートフォンを使用)
- 主な利用方法はWEB閲覧、メール、LINE、Skype、動画閲覧



観測データや観測結果等を早期に共有し、調査活動を効率化。
※TV会議による調査状況の報告

ASVは洋上の波に対して非常に速く、大きく、不規則に動揺

- ✓ 衛星からのBeacon C/N₀の受信レベルは安定
→ 追尾誤差は0.04° 以下
- ✓ 安定した衛星追尾

実績

平成29年度～30年度にかけて16航海に参加
航海日数合計:324日

※降雨や遮蔽以外で通信断は発生していない

洋上で安定した衛星回線を構築

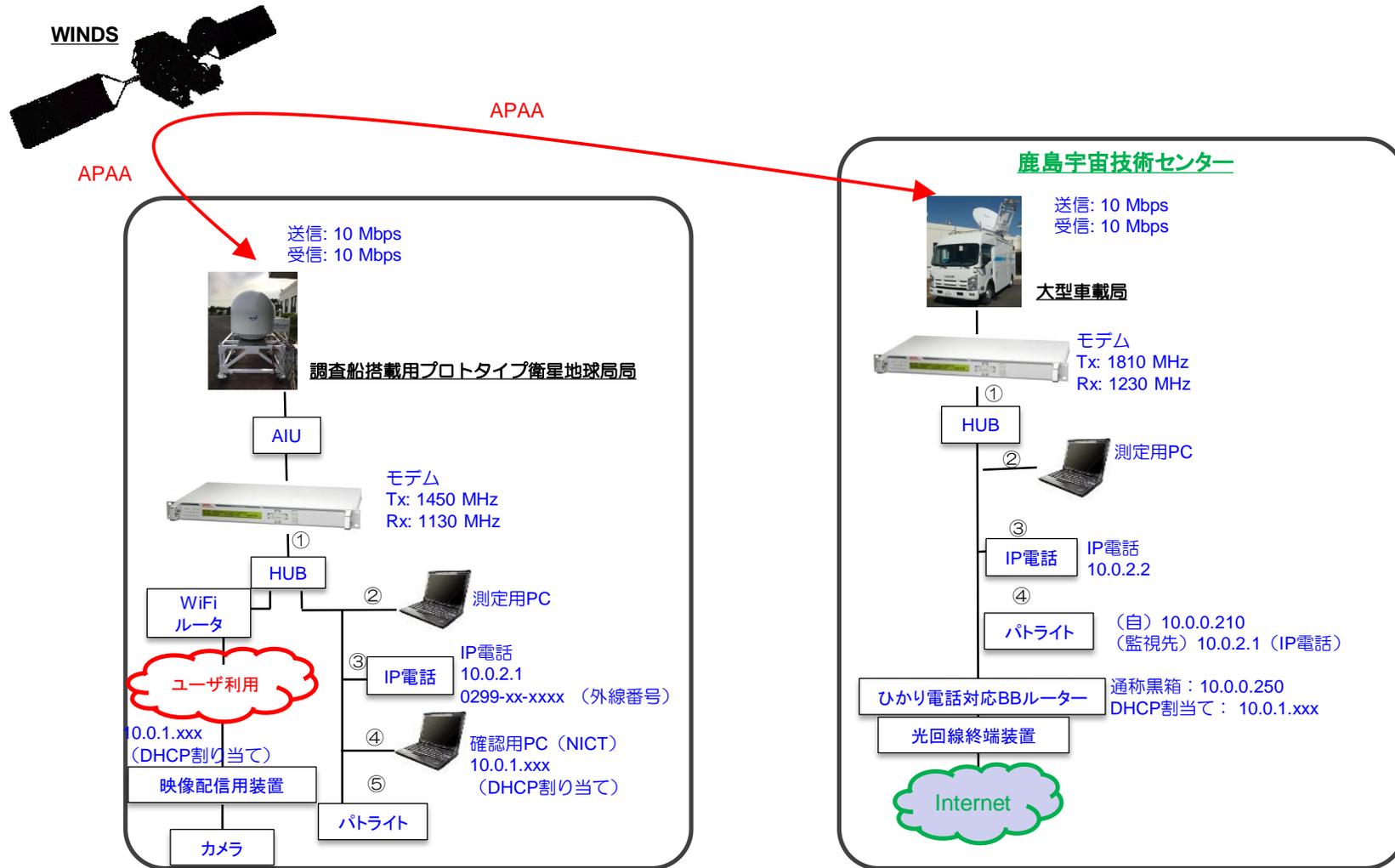
RV用地球局を用いた 洋上実証実験

概要

- NICTでは総務省の委託研究「海洋資源調査のための次世代衛星通信技術に関する研究」の一環として、調査船搭載用プロタイプ衛星地球局(RV地球局)を開発
- 開発した地球局を底曳網漁船に搭載し、船舶-陸上拠点の地球局と衛星回線を構築
- 小型の漁船搭載時の追尾性能について検証
- 若狭湾にて行われた潜水艇探索調査の映像の衛星伝送実験を実施. またインターネット配信による双方向通信の確立



ネットワーク構成図

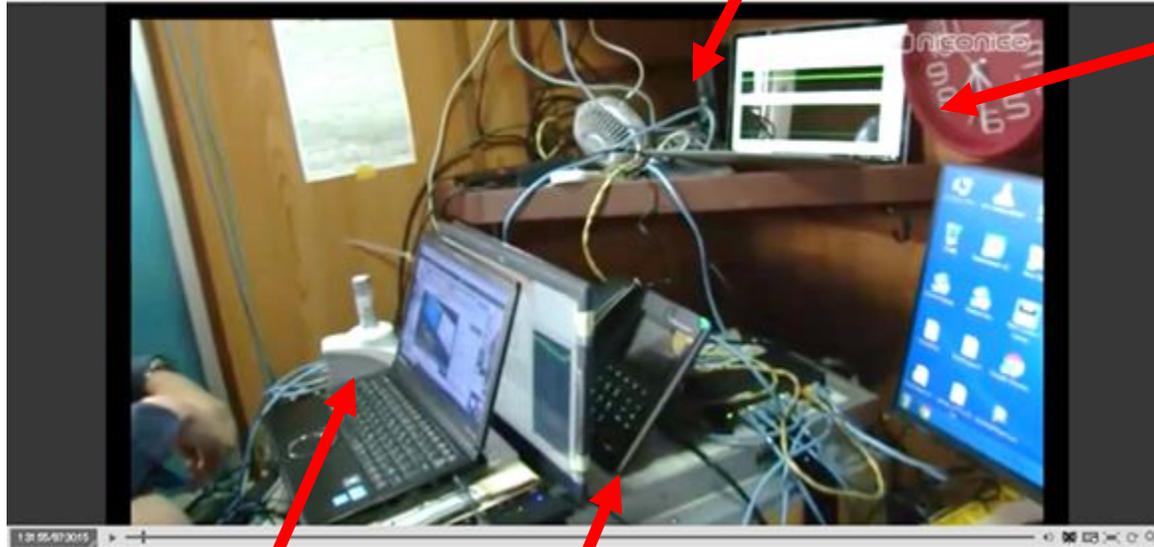


船内様子

Wi-fiルーター

ログ用PC

AIU
モデム
UPS



パトライト

IP電話



呂500探索調査について(1)

- 1946年4月30日に連合軍によって若狭湾沖合に海没処分された日本軍潜水艦三艦(呂号第500潜水艦, 伊号第121潜水艦, 呂号第68潜水艦)をマルチビームソナーを使って探索し, 三艦すべてを発見. 遠隔操縦式無人潜水機(ROV)を使ってそのうち二艦をビデオ撮影し, 各艦の名称特定.
このうち「呂500」はもともと, 1941年にドイツ海軍の潜水艦「U-511」と建造. 1943年5月10日にヨーロッパを出港後, 大西洋～喜望峰～インド洋と航行し, 90日間・約3万キロを経て広島・呉港に到着

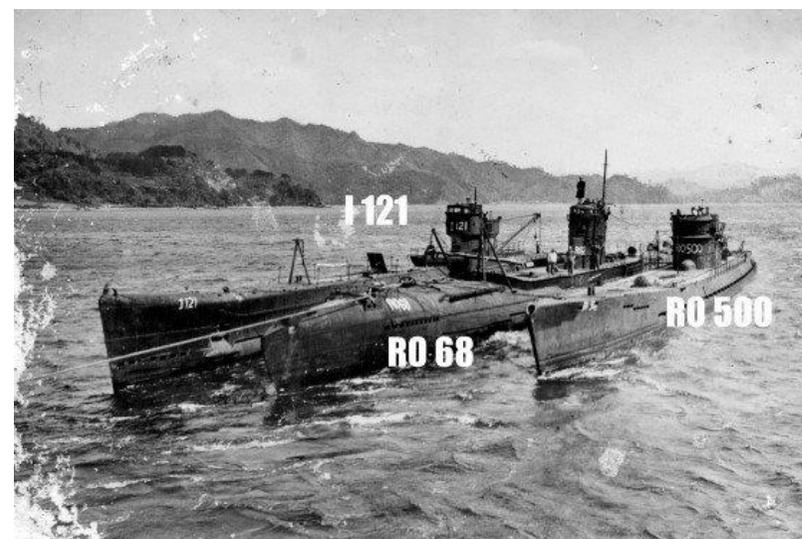
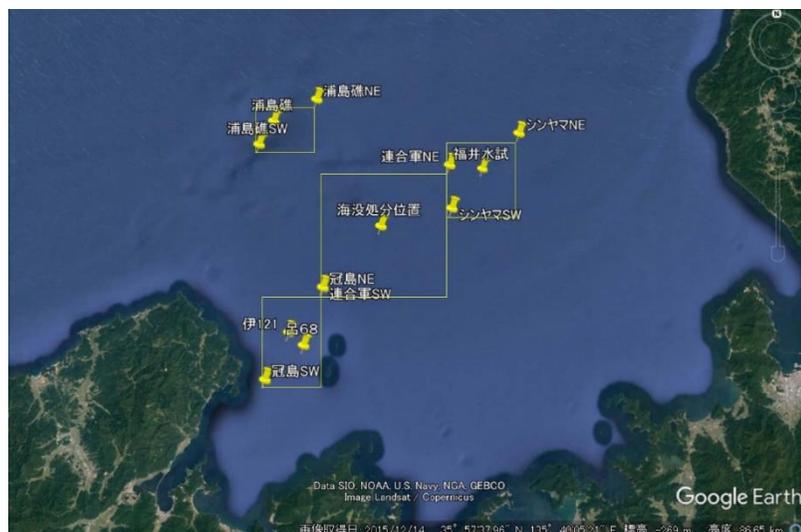


写真:一般社団法人ラ・プロンジェ深海工学会

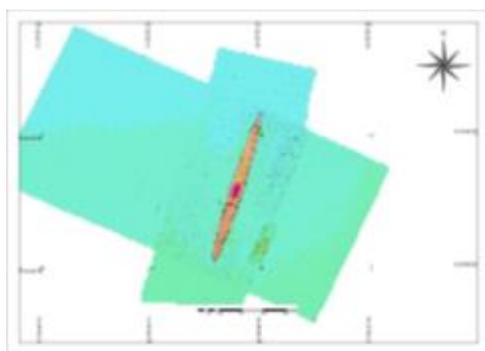
呂500探索調査について(2)



地球局搭載船舶



マルチビームソナー
(株)ウィンディネットワーク



ソナー画像

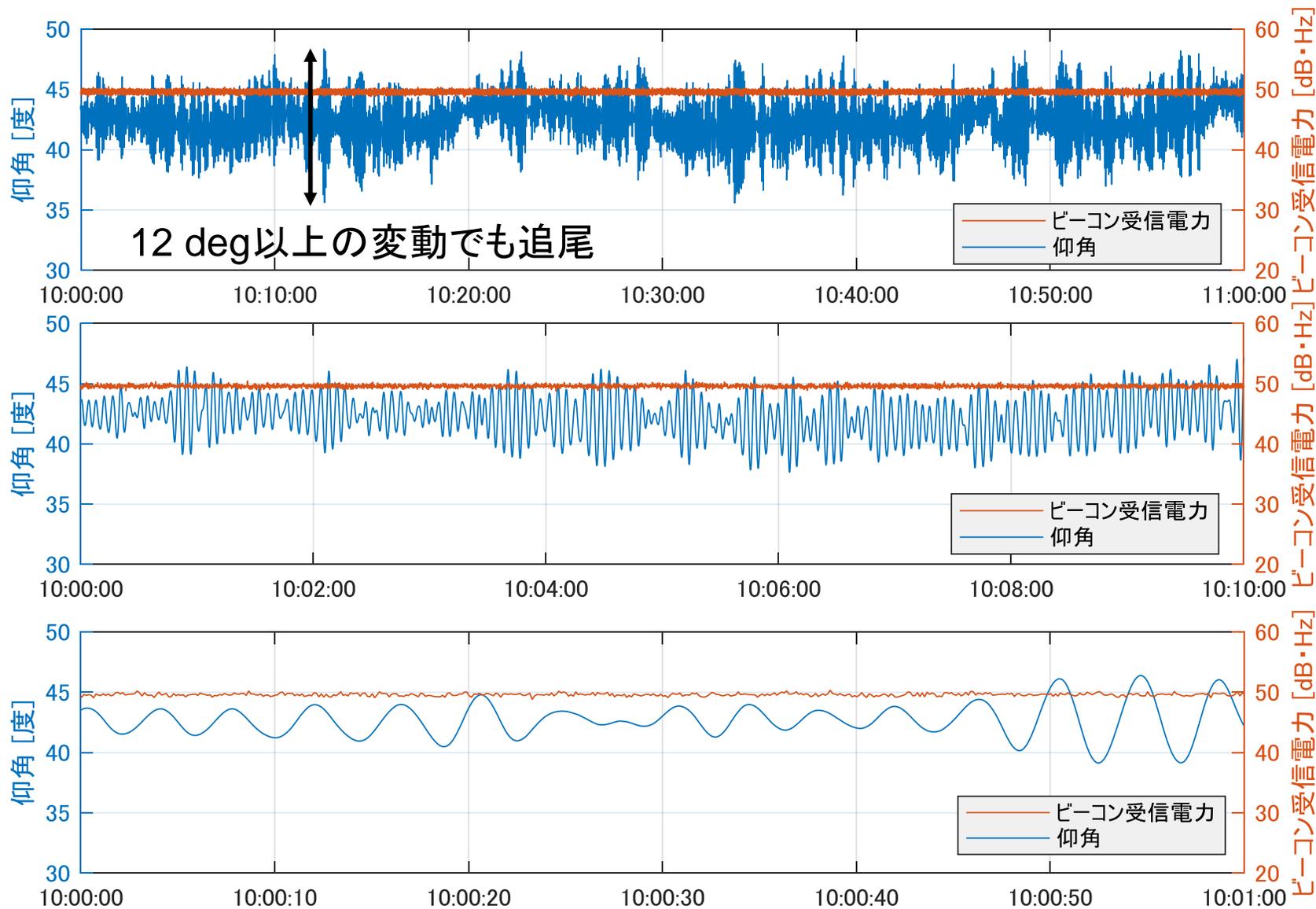


ROV
(株)いであ



水中カメラ映像

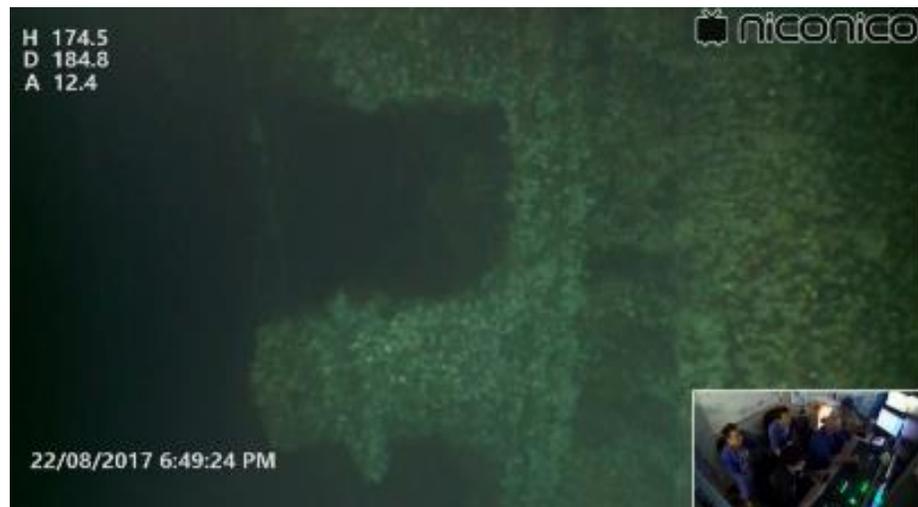
小型漁船の動揺中での追尾状況



- 若狭湾沖での映像伝送実証実験を実施
- 小型漁船においても安定した衛星追尾性能を確認
- 海洋上にて10Mbpsの通信回線を確立
- 海洋調査に求められている
 - リアルタイムデータ伝送で陸で処理
 - 陸上拠点からの多数の研究員の参画を実現

【参考】ニコニコ生放送の視聴及びコメント数

- H29.8.20~26 みんなで特定しよう！旧日本海軍「伊58」潜水艦 水中ロボによる海底探査を生中継
 視聴数：562,920 コメント数：437,140
- H30.6.18~21 ドイツ生まれの潜水艦・旧日本海軍「呂500」を追い！日本海より探索調査を生中継
 視聴数：393,848 コメント数：220,212
- H30.8.23~28 太平洋戦争で沈んだ悲劇の客船「大洋丸」を追い！東シナ海から海底探査を生中継
 視聴数：268,356 コメント数：128,860



洋上衛星通信ネットワークによる将来像

100Mbps級の伝送回線

- 動画リアルタイム伝送
- Internet接続
- 自動運航



- 作業の効率化
- 洋上活動の安全をサポート
- 乗船者の生活環境向上

Ka帯衛星通信
ネットワーク

洋上

陸上



船舶や洋上施設から
多くの情報伝送が可能

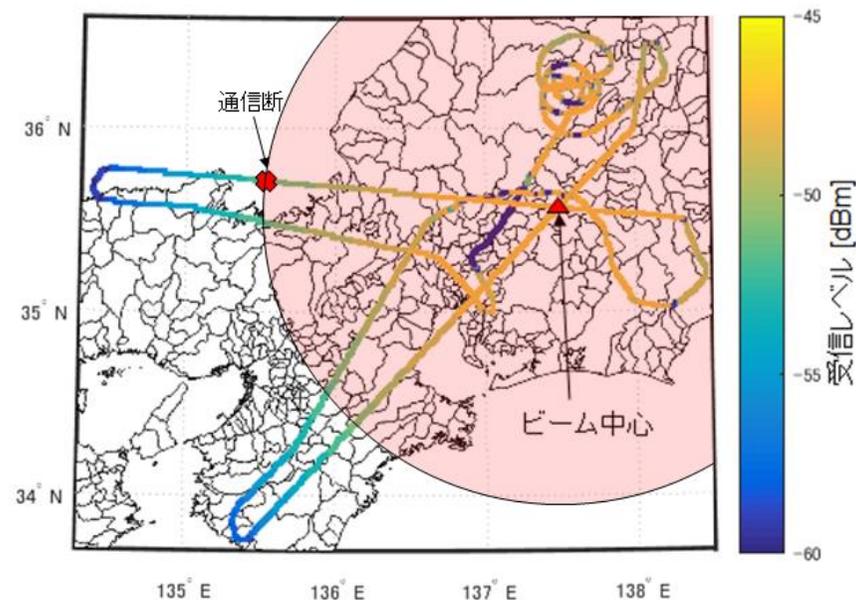
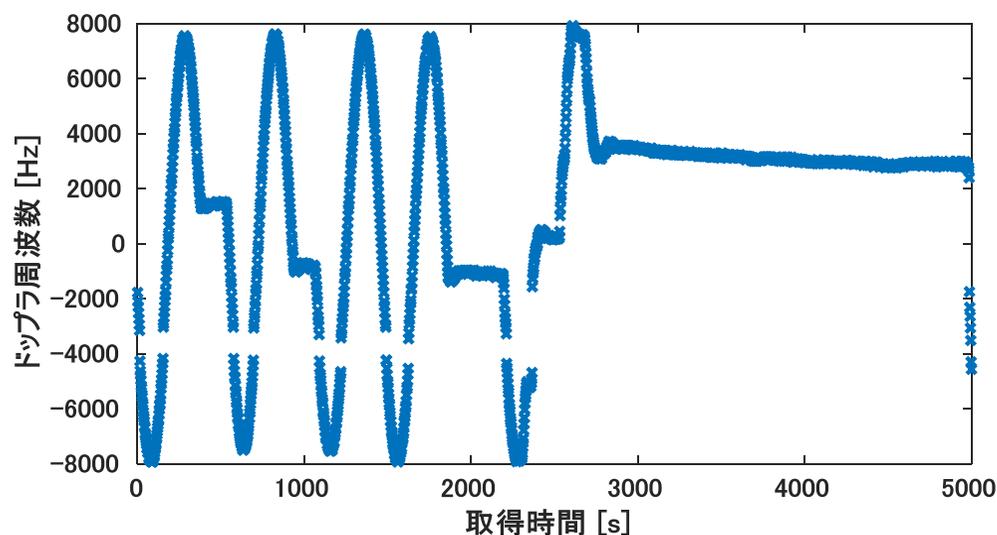
リアルタイムに
洋上の状況を把握

洋上と陸上が身近に！

WINDS用いた洋上以 外での実験紹介

測定結果(ドップラシフト特性)

- 2秒毎にBeacon信号(中心周波数:18.9 GHz)の中心周波数と電力を記録
- 中心周波数との差分によりドップラ周波数を導出
- 最大ドップラ周波数: 7.9 kHz (理論値8.2 kHz@720 km/h)
- 誤差 4 %程度で理論値と同程度の値となることを確認
- 高速移動体用のモデムを設計する際には移動体の速度より周波数追尾性能を設計可能

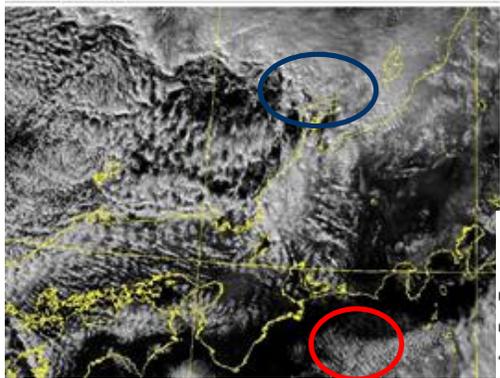


測定結果(雲による減衰)

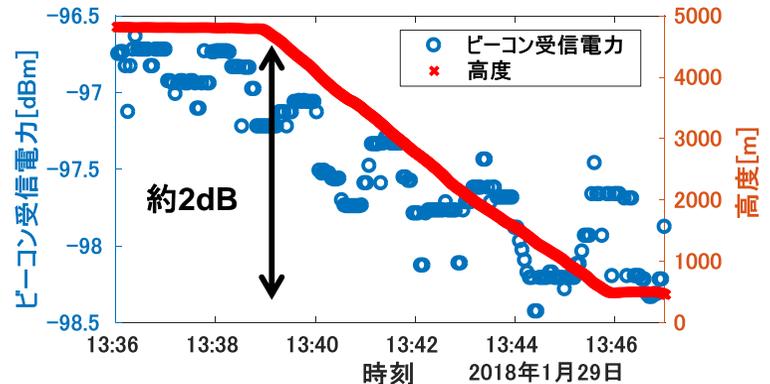
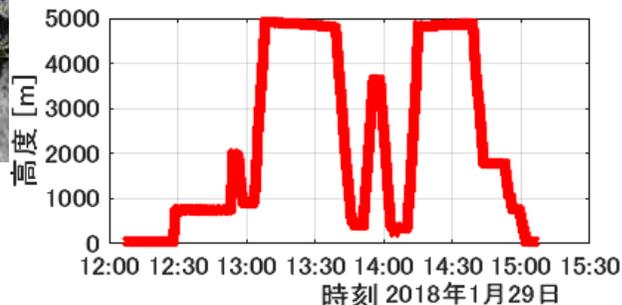
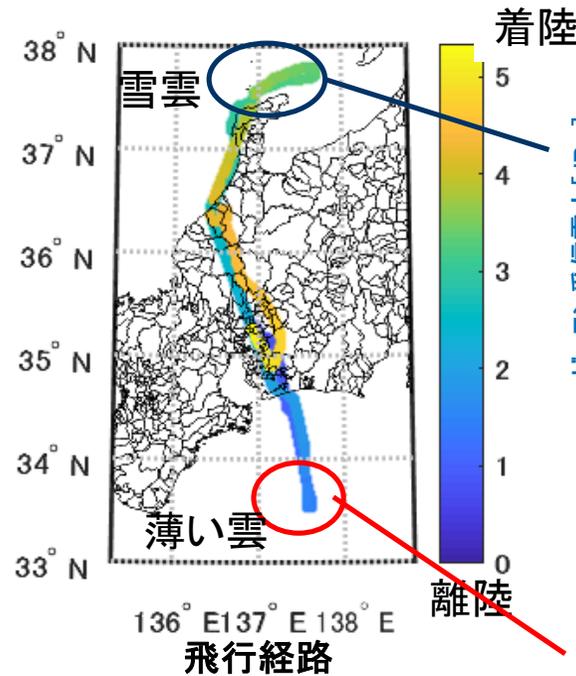
- 紀伊半島沖にある低層の薄い雲(厚さ670m)及び能登半島周辺の雪雲(厚さ2165m)の上空および下面飛行時のレベルの変動を測定



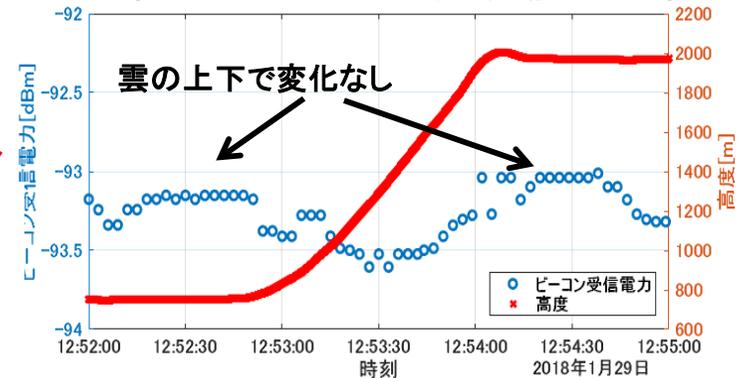
衛星画像(可視)
2018/01/29 04:30 GMT



13:30のエコー画像(雨雲)
および雲写真



雪雲(2165m)通過時の受信レベル変化



薄雲(670m)通過時の受信レベル変化

小型航空機に搭載可能な電子走査アレイアンテナの開発

今後増加する航空機内インターネットアクセスを小型航空機でも利用できるアンテナシステム

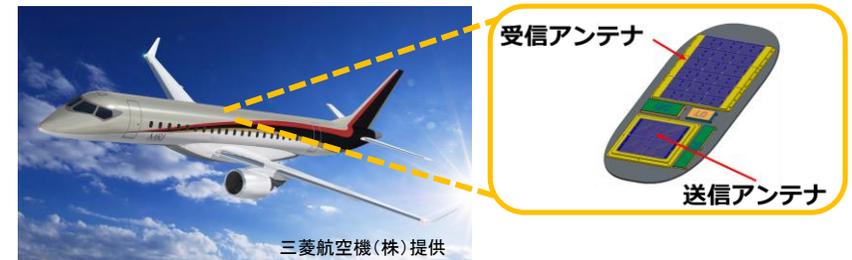
特長

- 今後増加する航空機内インターネットアクセスに向けて、小型・中型航空機でも搭載できる電子走査型平面アンテナを開発中
 - ✓ 2017年度は送信用薄型電子走査評価用16素子アレイアンテナを開発
- Ka帯の衛星に対応し、高速化と大容量化の実現
- 多値変調に対応し周波数の有効利用に貢献
- 所要性能に応じてアンテナ開口サイズをスケラブルに変更可能な薄型化に適した電子走査アレイアンテナ

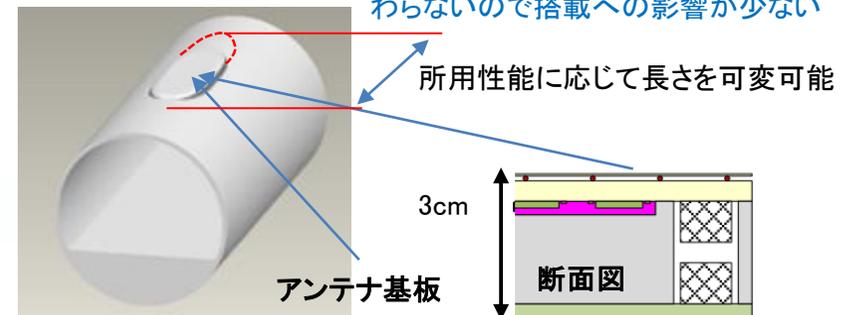
応用例・利活用シーン

- リージョナルジェットでの機内インターネットアクセス
- 小型船舶での衛星通信利用

開発するアンテナシステムの利用イメージ

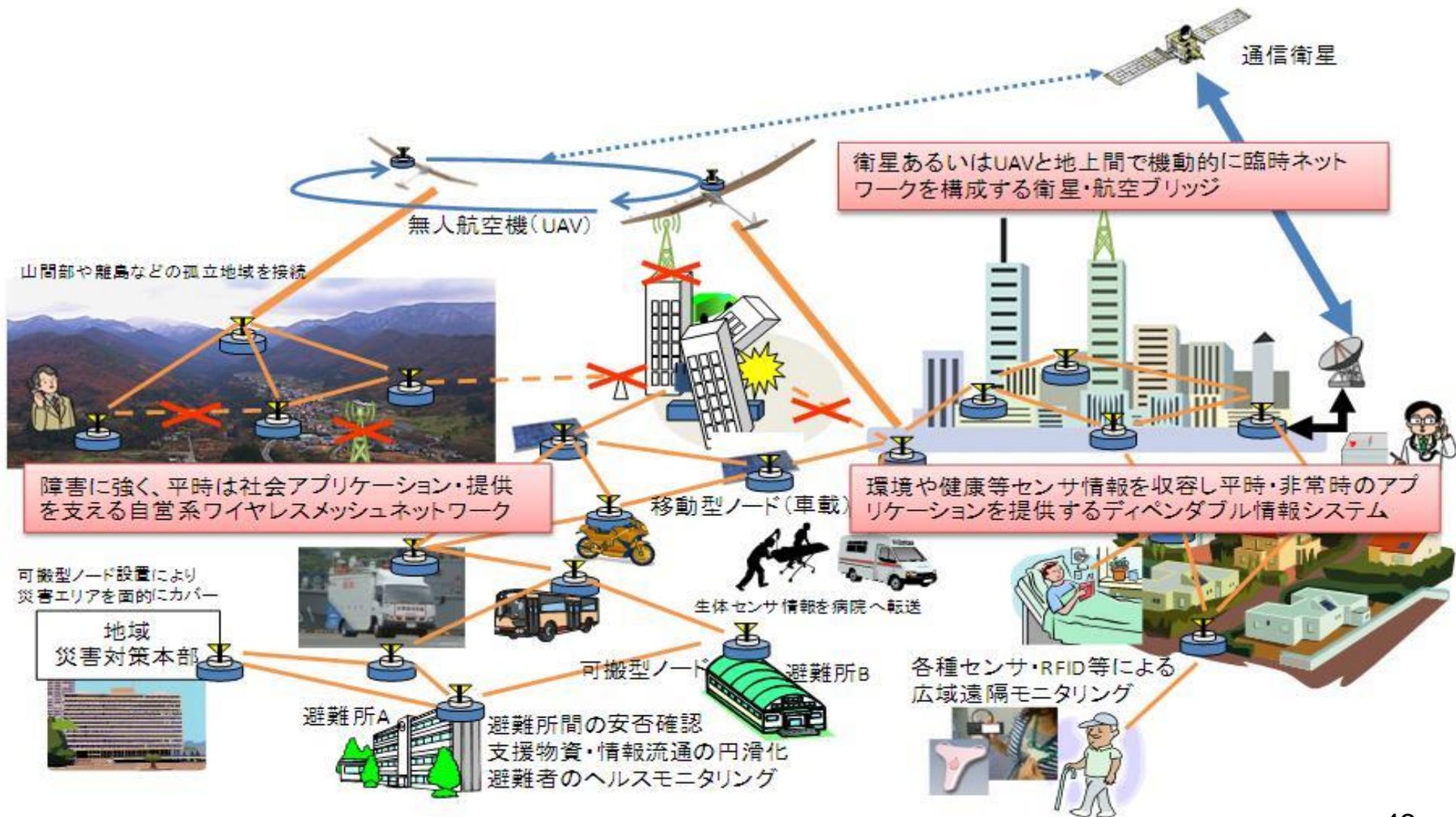


機体搭載イメージ



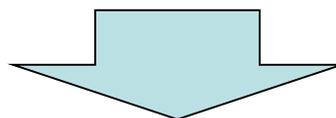
* 本研究開発は総務省の「電波資源拡大のための研究開発」の「小型旅客機等に搭載可能な電子走査アレイアンテナによる周波数狭帯域化技術の研究開発」の一環として実施しました。

災害に強いネットワークの構築

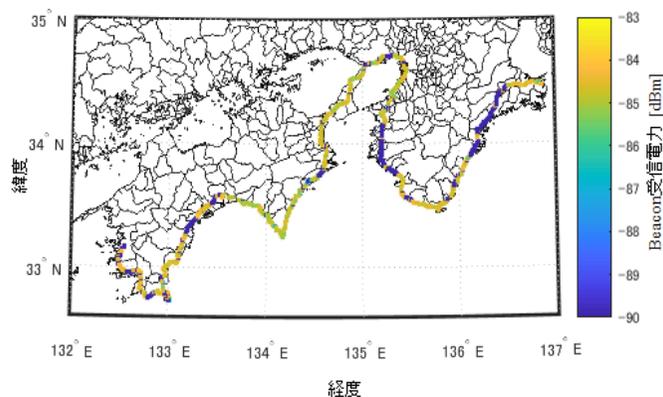


WINDS用車載局を用いた実験

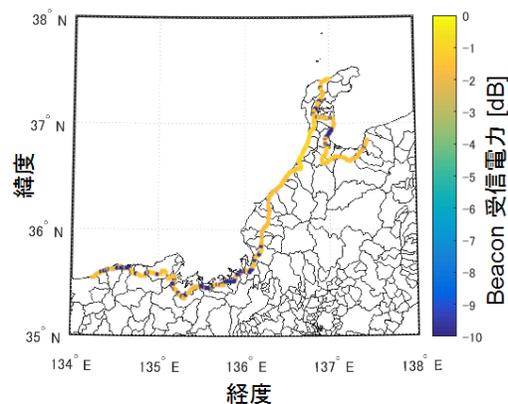
- Ka帯の移動体伝搬測定として今まで小型車載局を用いて主に西日本エリア広域において伝搬測定を実施
- 指向性アンテナを用いていること、Ka帯であることから衛星-地球局間の見通しの有無が通信に影響することを確認
- 遮蔽物としてはトンネル、建物、電柱、樹木等が主
- 樹木については季節の変動により葉の付き具合に変化が起こるため、年間を通して変動が異なると推測



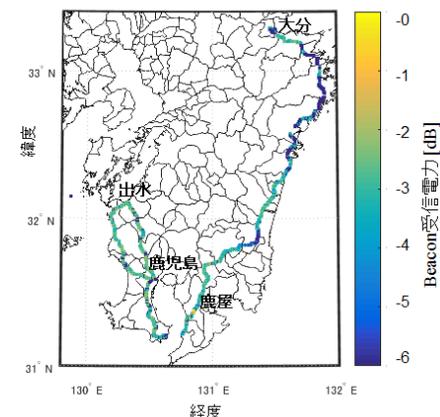
定期的に測定を行うことで樹木による減衰の季節変動を測定



<四国近畿エリア>



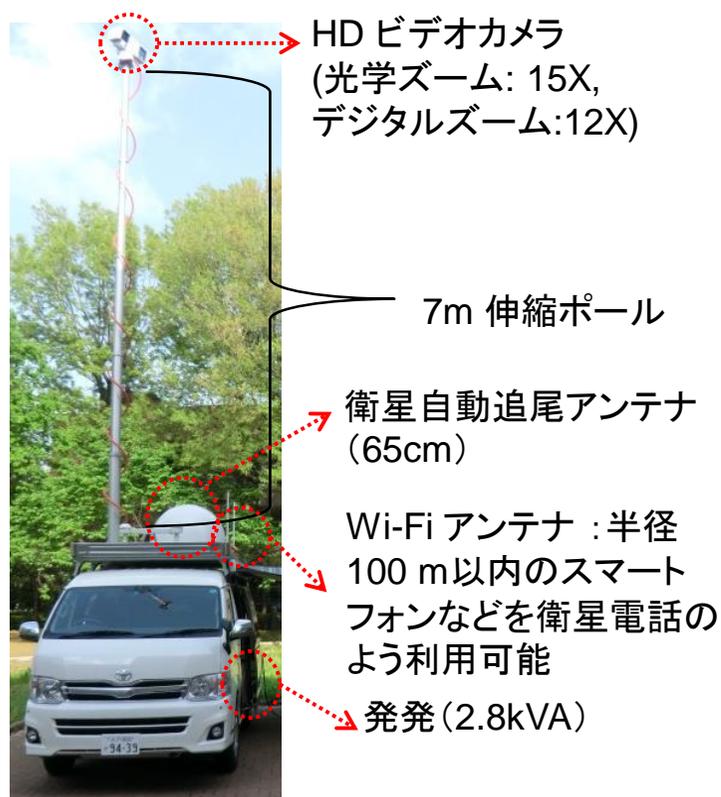
<西日本日本海沿岸エリア>



<九州エリア>

小型車載地球局概要

移動中に収集した災害情報(映像や道路被害情報など)を災害対策本部とリアルタイムで共有可能とする小型車載地球局を開発



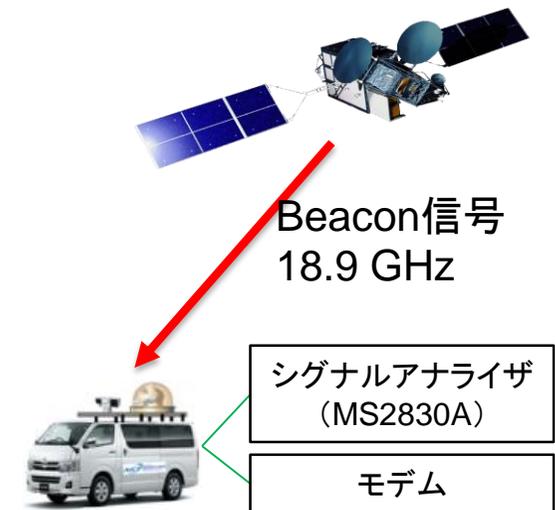
送信周波数	27.5-28.6 GHz
受信周波数	17.7-18.8 GHz, 18.9 GHz (Beaconを受信)
偏波	直線偏波 (V/H)
アンテナ	カセグレンアンテナ 開口径: 65 cm
アンテナ駆動範囲	EI : 20-90 deg Az: 無限回転
追尾精度	< ±0.2 deg
追尾方式	モノパルス追尾方式
HPA	20W
データレート	再生中継方式 (TDM) Tx: 1.5, 6, 24 Mbps Rx: 155 Mbps 非再生中継方式 20Mbps (QPSK, 1/2誤り訂正)
ユーザーインターフェース	Ethernet (1000base-T)
発電能力	2.8 kVA以上

伝搬測定実験

- MBA九州ビームの特性を検証するため、九州地区広域において測定

測定方法

- 衛星からのBeacon信号を小型車載局において走行しながら受信（Beacon信号はMBA, APAAとは別のアンテナで地球上をグローバルにカバー）
- シグナルアナライザにて100 ms毎に受信電力のピーク及び中心周波数を測定
- モデムに出力されるMBA再生中継回線リファレンスバースト信号受信C/N₀と位置情報を10分毎に測定
- 最大100 km/hで移動しながら測定



落葉樹(トウカエデ)の葉の付き具合の変化

- 3月は葉が出てない状態
- 4月から中旬には葉が付きはじめ、時間が経つほど葉の量は増加



March



April



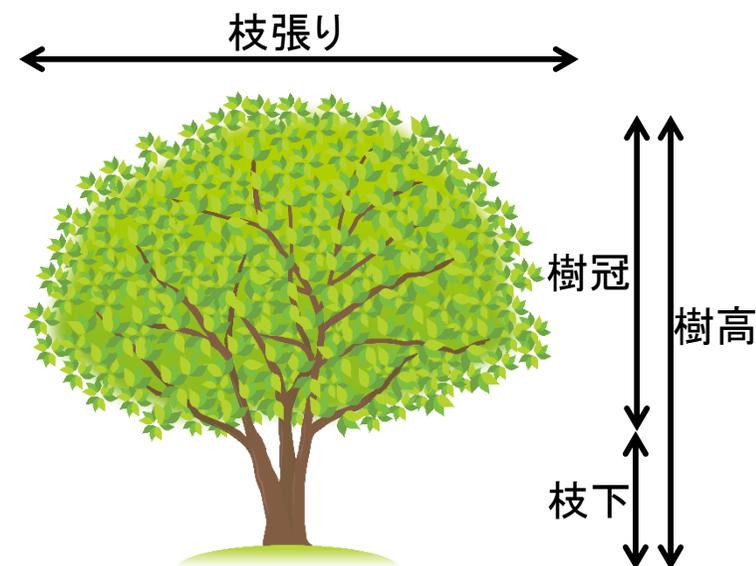
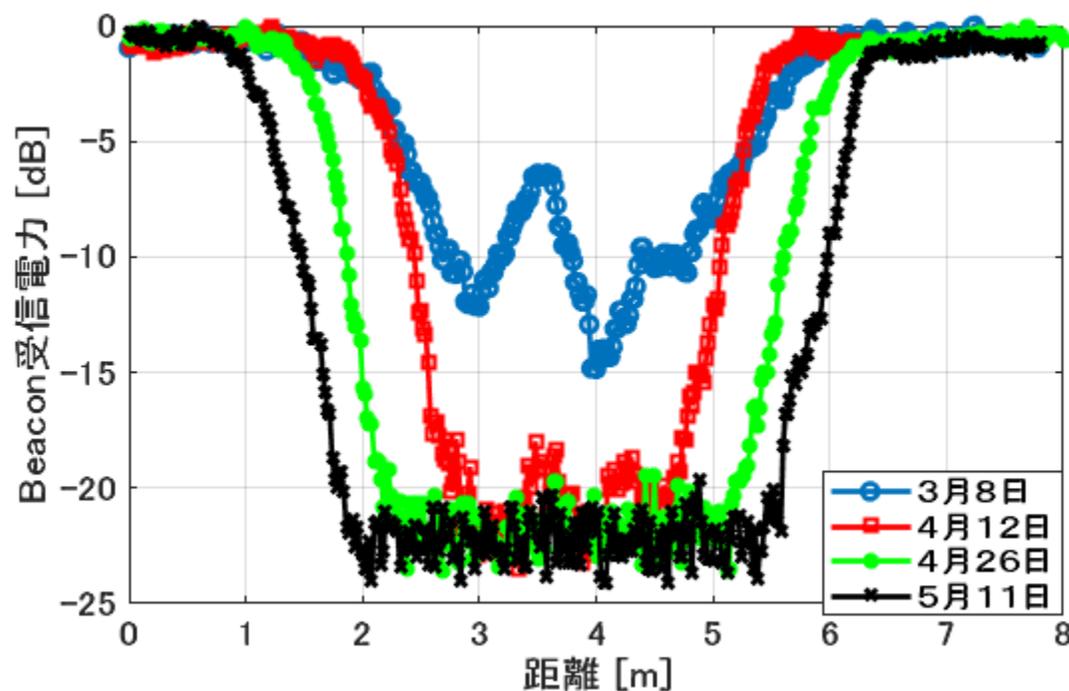
Mid-April



May

実験結果：落葉樹（トウカエデ）による減衰

- 冬から春にかけて葉が増えることで、減衰量及び減衰する区間が増加
- 減衰量は最大で10 dB程度増加
- 減衰している区間も増加



枝張り	3.6	4.4	5.1	5.2
樹高	7.5	8.3	8.7	9.0
樹冠	5.5	6.0	6.7	6.7
枝下	2.0	2.3	2.0	2.3

宇宙通信研究室の取 り組み

最新の衛星通信技術開発動向と将来展望

HTSによるサービスコストの低廉化が進展

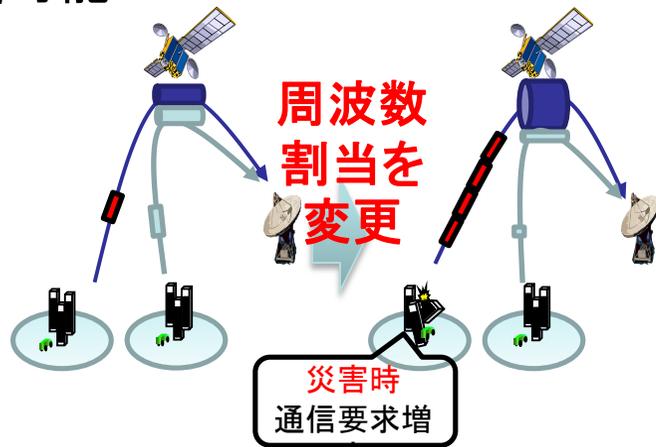
Epic (事業者: Intelsat)	Inmarsat-5 (事業者: Inmarsat)	O3b (事業者: O3b Networks)	KA-SAT (事業者: Eutelsat)	Viasat-3 (事業者: VIASAT)
<p>概要: 既存の送受信機を活用できるオープン・アーキテクチャー方式を採用、インテルサット29e、同33eの2機を、2015年から2016年にかけて打ち上げる計画。</p> <p>ビーム数: 10 周波数: C, Ku, (Ka) キャパシティ: 25~60Gbps 伝送速度: eXConnectサービス ・Downlink: 40~160 Mbps ・Uplink: 1~4 Mbps 打上: 2016年1月27日(I-29e) 用途: 航空機等移動体</p>	<p>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</p> <p>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</p>	<p>概要: 新興国市場への3G/WiMAXワイヤレスサービスを提供</p> <p>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</p>	<p>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toowayサービスとして提供</p> <p>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</p>	<p>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</p> <p>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</p>

搭載中継器のキー技術(フレキシビリティ)

■ トラフィック変動に対応するフレキシブルな中継技術

・デジタルチャネライザ (Digital Channelizer)

ユーザの通信要求の変化に応じて衛星ビームの周波数割当を柔軟に変更可能

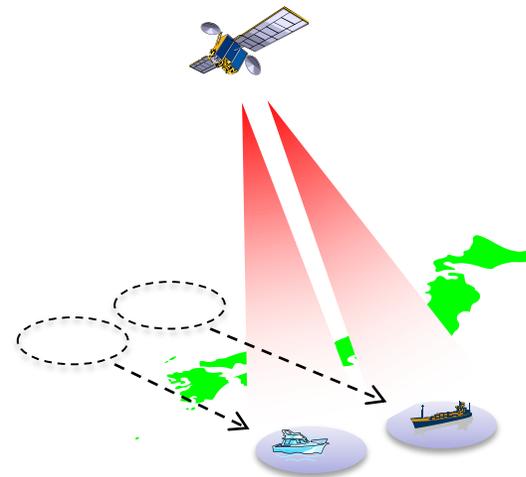


トラフィック要求の変
動

デジタルチャネライザによる
周波数割当変更のイメージ

・デジタルビームフォーマ (Digital Beam Former)

ユーザの通信要求の変化に応じてカバレッジを柔軟に変更可能

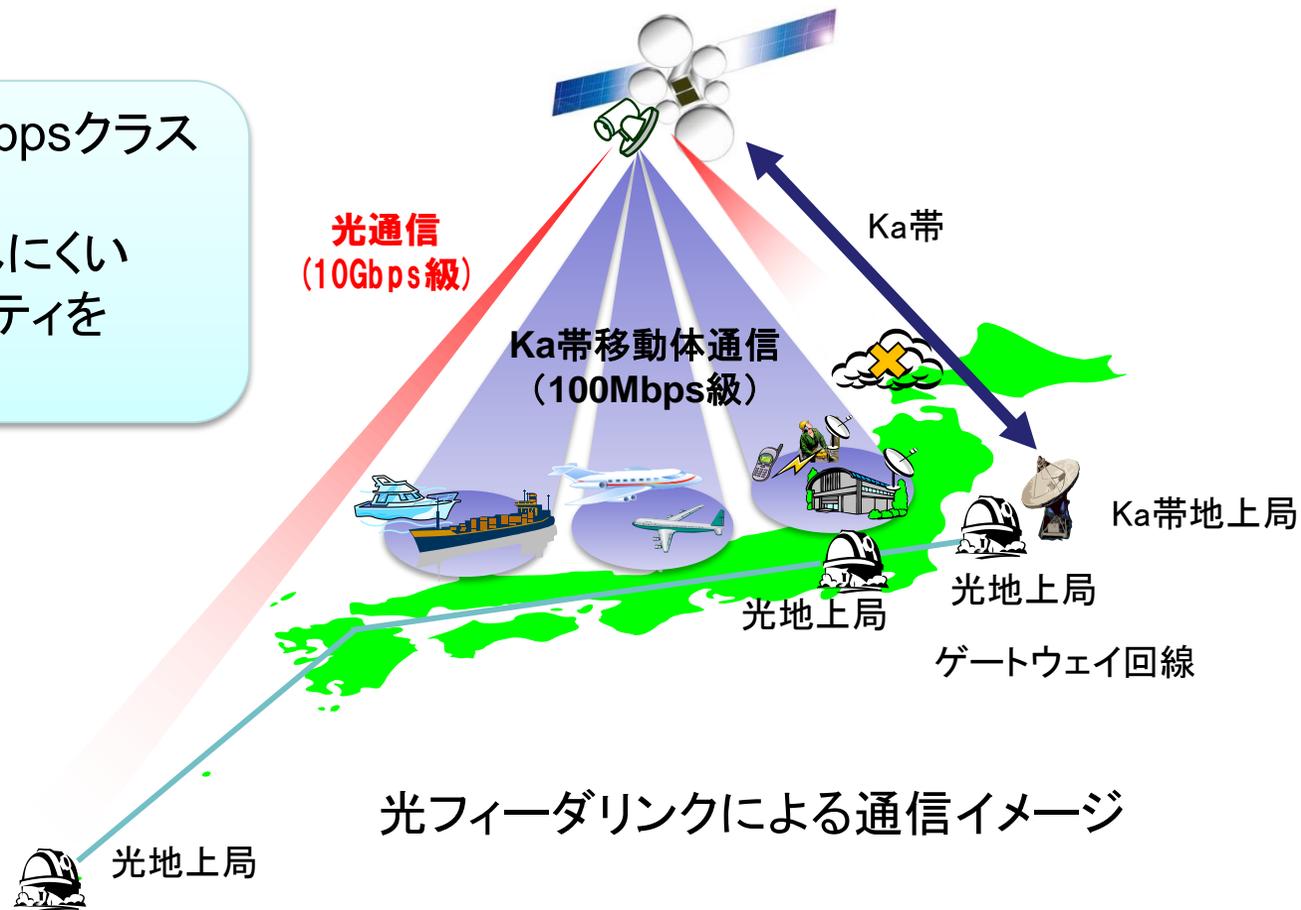


DBFによる
カバレッジ変更のイメージ

搭載中継器のキー技術(光衛星通信)

- 衛星・地上間において超高速の光ファイダリンクを実現するための衛星搭載用光通信技術

- 通信速度: 10Gbpsクラス
- 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



次世代通信衛星の利用イメージと 想定全体ネットワーク

