



委24-1



# 超高速インターネット衛星「きずな」 (WINDS)の定常段階移行について

平成20年7月9日

宇宙航空研究開発機構  
理事 堀川 康

情報通信研究機構  
理事 大森 慎吾



# 1. これまでの運用経過(1/3)



## (1) 打上げ(平成20年2月23日17時55分)

超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)は種子島宇宙センターからH-IIAロケット14号機により打ち上げられ、ロケットから分離後、所定の静止トランスファ軌道に投入。

## (2) クリティカル運用(平成20年2月23日～3月1日)

- ロケットから分離後、太陽電池パドルの展開を実施(次頁)し、4回のアポジエンジン噴射(AEF)と20Nスラスタ噴射を経てドリフト軌道に投入。
- 2月29日に太陽センサ予備系に出力異常が発生したが、主系を用いてマルチビームアンテナ(MBA)展開(次々頁)及び三軸姿勢確立を予定通り実施。
- 上記2点を確認後、太陽電池パドル回転を開始。これにより、「きずな」は、クリティカル運用期間から初期機能確認運用期間へ移行。

## (3) 初期機能確認運用(平成20年3月1日～6月30日)

- 3月2日に太陽センサ主系の信号処理に異常が発生したが、姿勢制御回路の誤動作によるものであり、太陽センサそのものに異常は無いことから、3月8日から太陽センサ主系を使用した姿勢制御に正常復帰。
- 3月9日から静止化制御を計5回実施。3月14日に所定の静止軌道(東経約143度)に投入。
- 最終静止化までの約2週間は、主にバス系のチェックアウトを実施。最終静止化後の約3ヶ月半では、主にミッション系のチェックアウトを実施。
- 6月30日に定常段階移行前審査を実施し、初期段階から定常段階に移行。



H-IIAロケット14号機打上げ

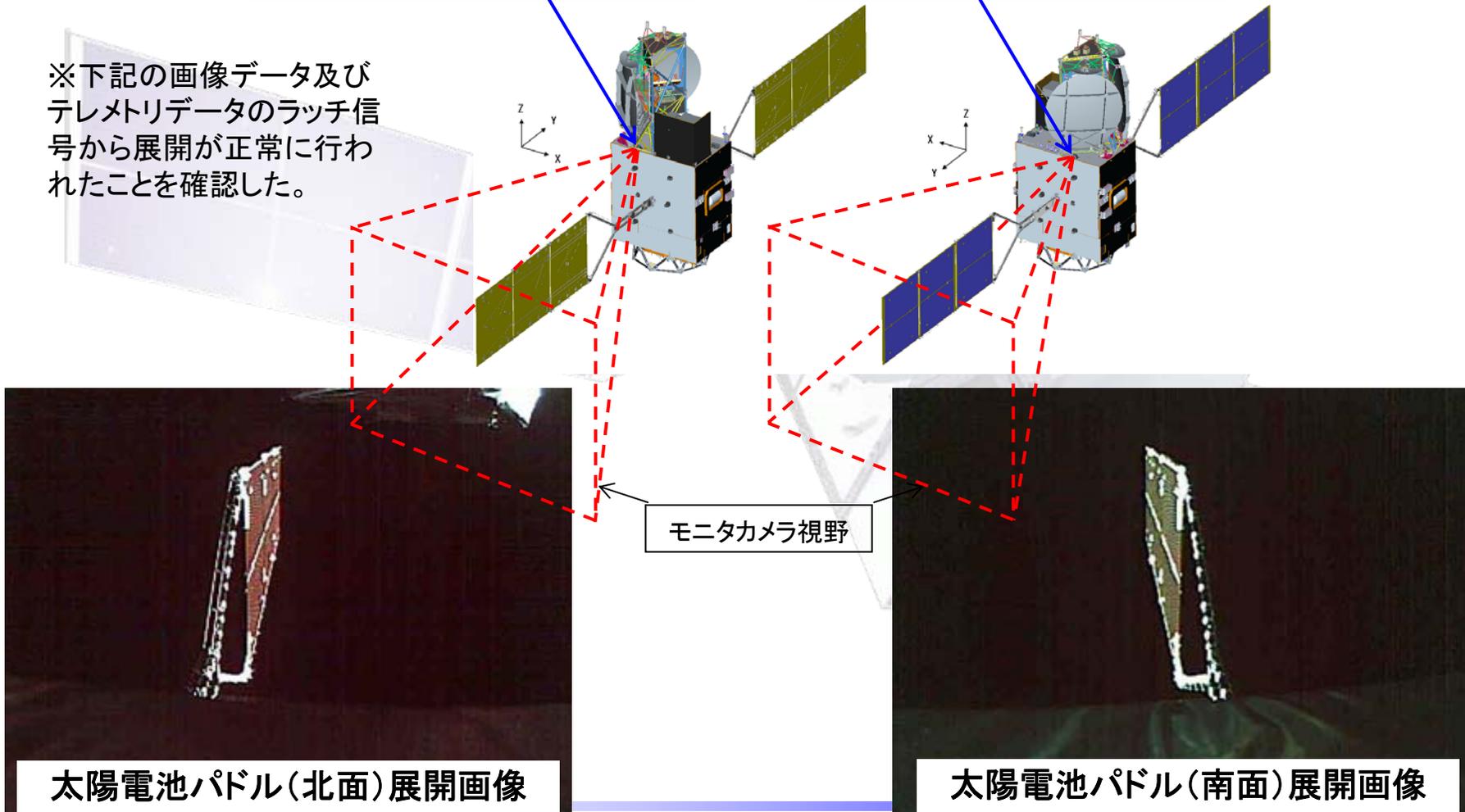
# 1. これまでの運用経過 (2/3)



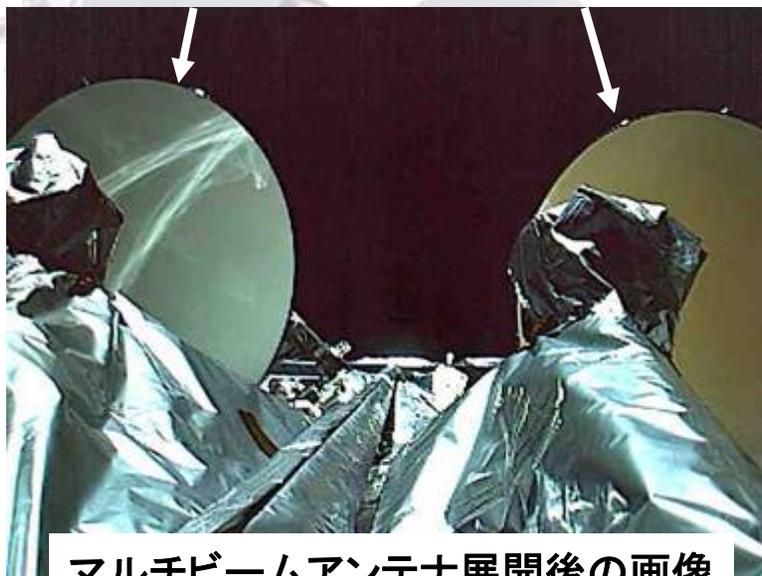
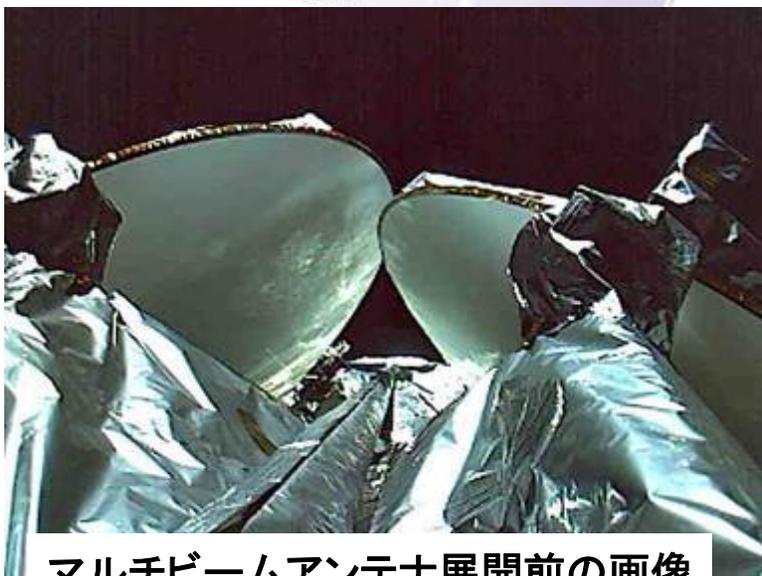
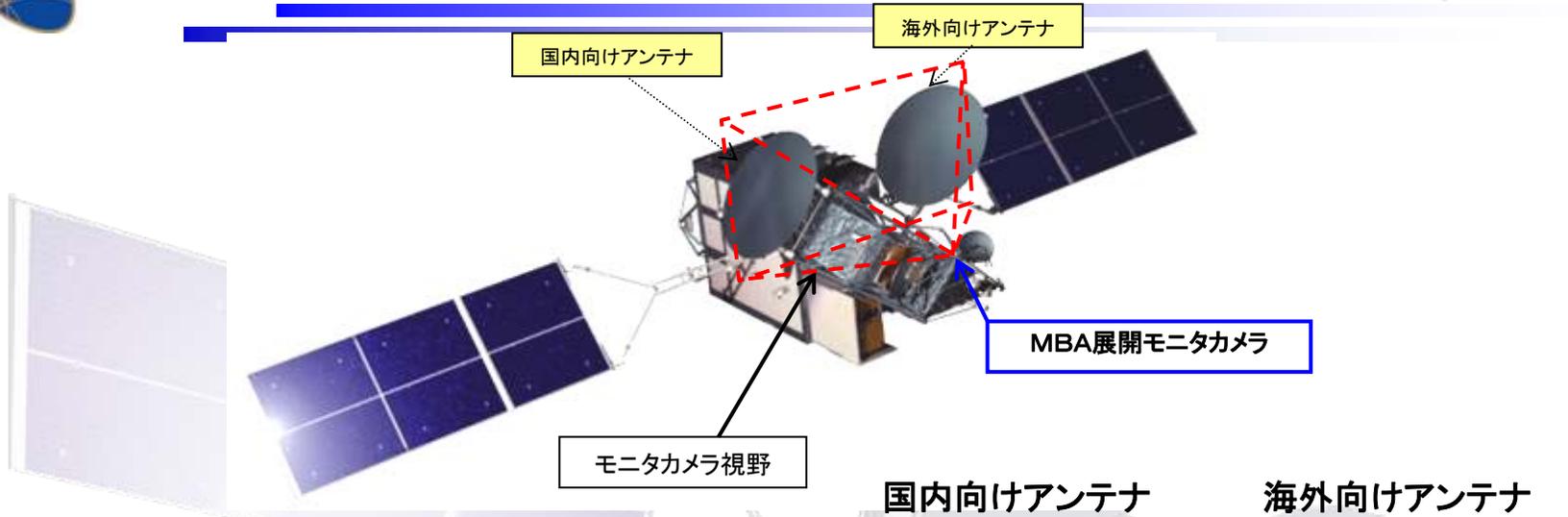
北面パドル用展開モニタカメラ  
「きずな」構体側から  
太陽電池パドル(北)全体を撮像

南面パドル用展開モニタカメラ  
「きずな」構体側から  
太陽電池パドル(南)全体を撮像

※下記の画像データ及び  
テレメトリデータのラッチ信  
号から展開が正常に行わ  
れたことを確認した。



# 1. これまでの運用経過 (3/3)





## 2. 初期機能確認の評価(1/2)



### 【バス系チェックアウト】

- クリティカル運用期間中のデータ評価、及びその後のノミナル運用(軌道制御、食関連運用等)のデータ評価を含めて、チェックアウトを順次実施し、テレメトリ・コマンド系、電源系、太陽電池パドル系、姿勢制御系、統合推進系、熱制御系、モニタカメラの正常動作を確認した。

### 【ミッション系チェックアウト】

- 静止化後の3月17日からNICTと協力してミッション系チェックアウトを開始した。
- 3月26日からABS(ATMベースバンド交換部)機器等のミッション機器の立上げを行い、マルチキャスト等の再生交換中継回線特性確認、マルチビームアンテナ(MBA)パターン測定、非再生交換中継回線特性確認、アクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)特性確認、降雨減衰補償機能確認、タイにおける海外MBAバイアス補正機能確認を順次実施し、いずれも正常動作を確認し、6月27日に全てのチェックアウトを終了した。
- この間、5月1日から16日にかけてマルチポートアンプに使用している8台のTWTA(進行波管増幅器)のうち2台(No.5、No.9)の電源が自動オフになるという事象が発生した。このため、現在は予備のTWTA2台を含む、8台を用いて正常に運用している。現在までの調査からTWTA No.5は電源部の回路故障、TWTA No.9は部品のシングルイベントと推定しているが、継続検討中。

※次頁の表に主要サブシステムのチェックアウト状況を示す。

## 2. 初期機能確認の評価(2/2)



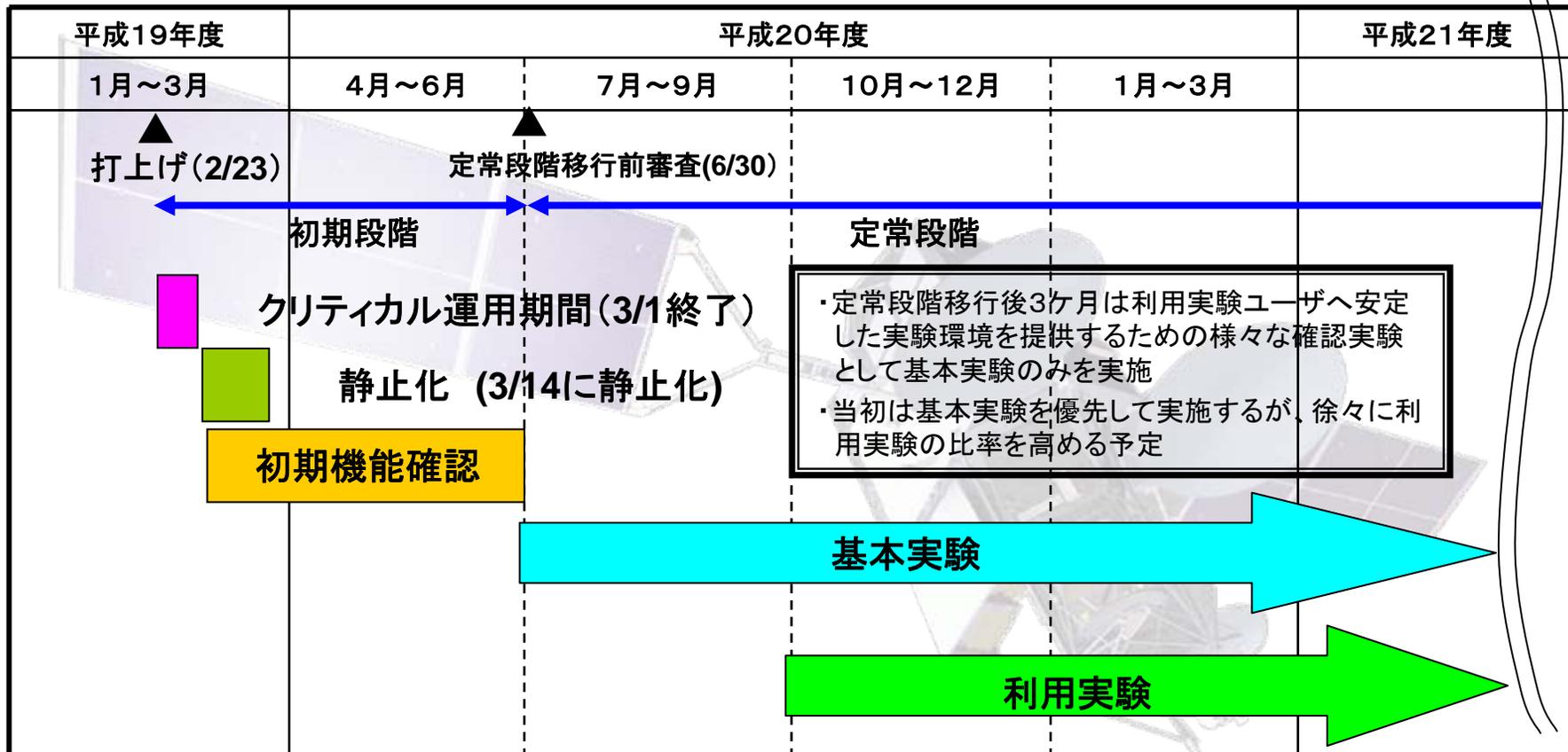
### 主要サブシステムのチェックアウト結果

	項目	実績値	規格値
電源・パドル系	電力制御機能 (バス電圧)	約 50.1 V	50.0±0.5 V
	パドル発生電力	6.0kw以上(現状) EOL予測値約5.8kw	5.2kw以上(EOL)
姿勢制御系	三軸姿勢安定 方式制御機能	ロール:0.04deg ピッチ:0.03deg ヨー :0.04deg	ロール:0.05deg ピッチ:0.05deg ヨー :0.15deg
通信機能	再生交換中継回線特性確認	155MbpsでのIP(インターネットプロトコル)通信 の確認 (平成20年4月8日プレスリリース)	
	非再生交換中継回線特性確認	世界最高速1.2Gbpsの衛星データ通信の成功 (平成20年5月12日プレスリリース)	
	アクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)特性確認	622Mbps衛星データ通信の成功 (平成20年5月16日プレスリリース)	

# 3. 今後の実験運用計画(1/3)



## 軌道上運用スケジュール





# 3. 今後の実験運用計画(2/3)



## 基本実験(テーマ数36(予定))

- 衛星開発機関であるJAXA及びNICTが主体となって実施

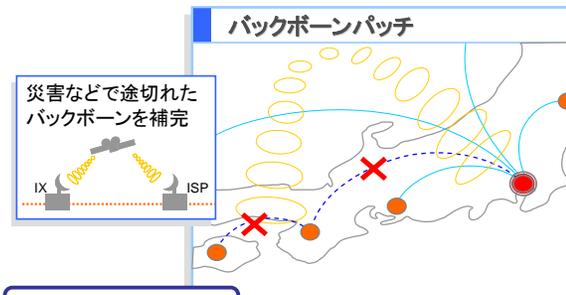
### (1) 基本実験(その1)

- ・搭載機器性能評価実験
- ・WINDS通信網システム基本性能確認実験

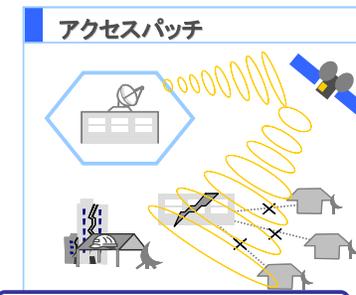
### (2) 基本実験(その2)

WINDS通信網システムの有効性実証実験

- ・地上網との接続実験
- ・スーパーハイビジョン伝送実験
- ・センチネルアジア実験
- ・離島モデル・デジタルデバイド解消実験
- ・Eラーニング実験
- ・ALOSクイックルックデータ配信実験 等



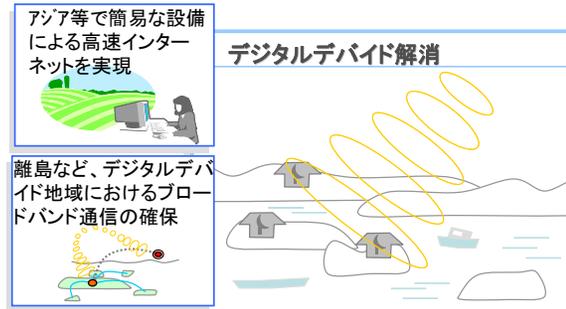
地上網との接続実験



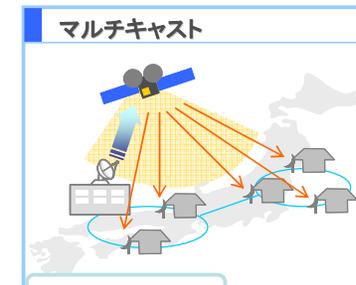
スーパーハイビジョン伝送実験



イベント会場等へ臨時回線の設置



離島モデル・デジタルデバイド解消実験



Eラーニング実験

ALOSクイックルックデータ配信実験



# 3. 今後の実験運用計画(3/3)



## 利用実験(テーマ数53(予定))

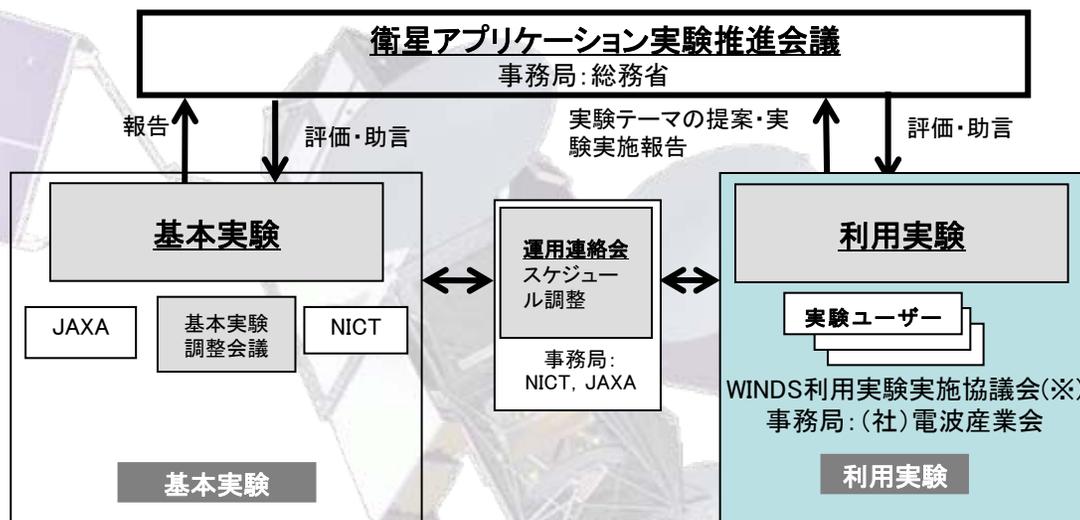
- WINDS利用実験実施協議会(※)が実施

### 【実験体制】

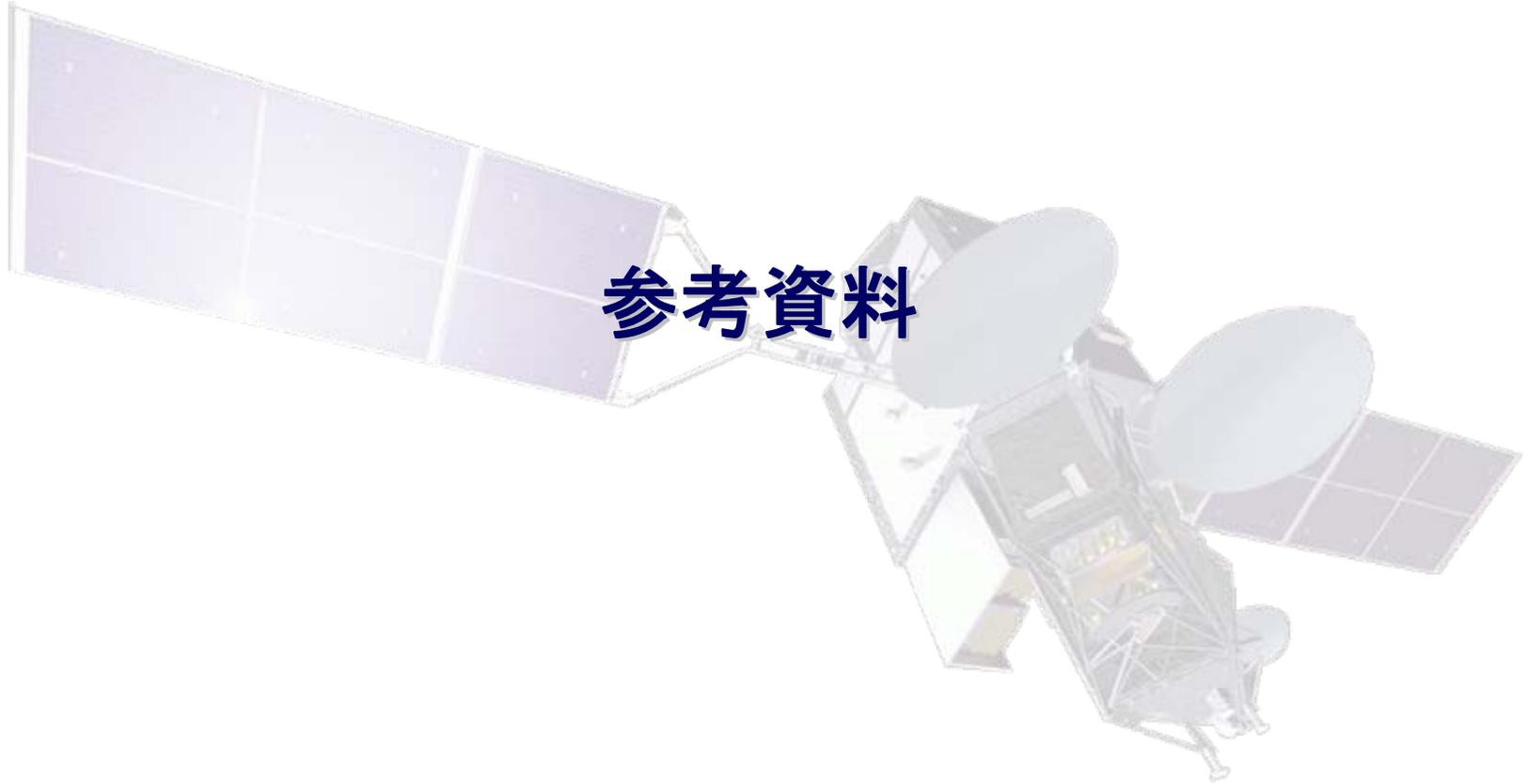
きずなの実験実施体制は右図。

衛星アプリケーション実験推進会議が実験全体をとりまとめる。

JAXA及びNICTが事務局となる運用連絡会を定期的開催し、WINDS利用実験実施協議会と実験スケジュールの調整を実施。

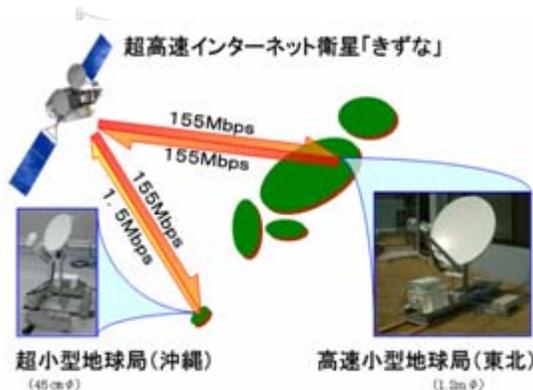


(※): 総務省に設置されたアプリケーション推進会議で採択された利用実験の実施者等で構成され、実験を円滑に実施するための調整及び結果とりまとめ等を行う。



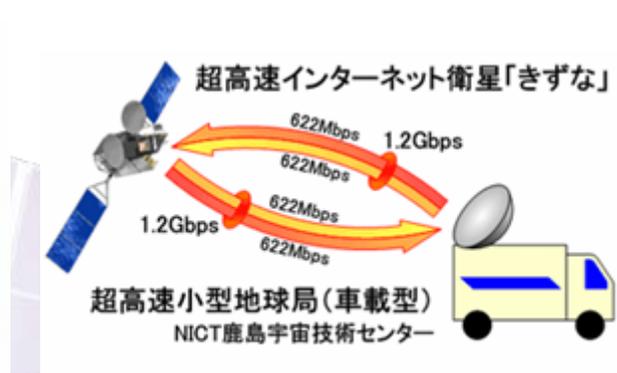


## WINDSを利用した155MbpsでのIP通信確認結果について



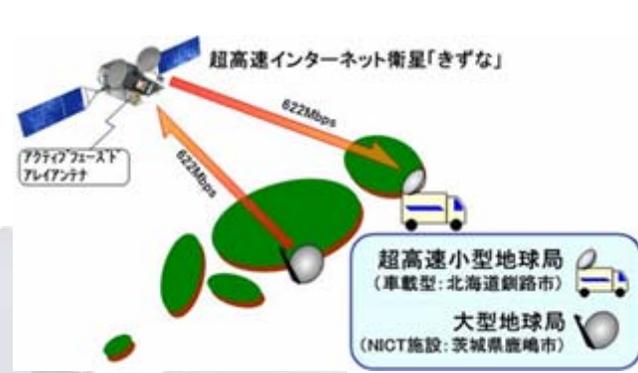
「きずな」のマルチビームアンテナを使用して、超小型地球局(アンテナ直径45cm)と高速小型地球局(アンテナ直径1.2m)との間の再生交換中継特性確認を実施し、毎秒155メガビット(155Mbps)の伝送速度でのIP通信が正常に行われたことを確認した。特に、衛星から45cm直径アンテナの超小型地球局に対する155Mbpsという伝送速度は世界最高速。

## WINDSによる世界最高速1.2Gbpsの衛星データ通信の成功について



「きずな」のマルチビームアンテナを使用し、NICT鹿島宇宙技術センターに設置した超高速小型地球局(車載型:アンテナ径2.4m相当)との世界最高速度となる1.2Gbps(622Mbps×2波)での超高速データ通信に成功した。

## WINDS広域電子走査アンテナによる622Mbps衛星データ通信に成功



「きずな」に搭載した広域電子走査アンテナ(Ka帯アクティブフェーズドアレイアンテナ)を使用したNICT鹿島宇宙技術センター大型地球局(アンテナ径約5m)と北海道釧路市の超高速小型地球局(車載型:アンテナ径約2.4m)との622Mbpsの高速データ通信に成功した。これは広域電子走査アンテナを使用した通信の世界最高速度。



# 「きずな」実験計画(1/10)



## JAXA基本実験項目(その1)

WINDS通信網実験システム基本性能確認実験	総合通信特性を維持し、実験ユーザへ安定した実験環境を提供するための確認実験
スロット割り当てに関する実験 *	WINDSプロトコル実証及び運用条件の確認、基準局パラメータの基本設定
降雨減衰補償実験 *	同上
ABSマルチキャスト実験 *	同上
複数ユーザ局によるネットワーク構成実験 *	同上
災害等特別な運用に向けての実験	同上
WINDS搭載機器性能評価実験	ミッション機器の軌道上での機能・性能を評価し、WINDS運用へ反映するための実験
APAA性能評価 *	APAAの経年劣化、健全性確認等
MPA性能評価	MPAの経年劣化、健全性確認、校正実施等
MBA性能評価	季節によるMBAアンテナ主反射鏡の熱歪による特性変化評価等

MPA: マルチポートアンプ

\* : NICTと共同若しくは同時に実験



# 「きずな」実験計画(2/10)



## JAXA基本実験項目(その2)

テーマ	実験項目	目的
マルチキャスト	マルチキャスト実験	WINDS衛星マルチキャスト機能の応用
	Eラーニング実験[基本実験例4]	WINDS衛星メッシュ型ネットワーク機能の応用
防災 (アクセス パッチ)	センチネルアジア[基本実験例3]	アジア諸国に対する防災システムへの貢献
	非常用通信等伝送実験[基本実験例1]	被災地からの情報発信、通信手段確保及び対策本部などへのALOS画像等提供
	ALOSクイックルックデータ配信実験	陸域観測技術衛星だいち(ALOS)リアルタイム画像の被災地への配信及び地球観測衛星活動の宣伝
	超小型可搬型地球局伝送実験	被災地における機動的通信手段の検証及び報道現場からの映像伝送
	ALOS観測データ配信実験	ALOS観測データ伝送(媒体によるデータ配信の改善)及びALOS災害画像伝送
	小型地球局によるHV(ハイビジョン)伝送実験	ハイビジョンクラスの通信手段の検証及び報道現場からの映像伝送
	可搬型地球局によるHV(ハイビジョン)伝送実験	ハイビジョンクラスの伝送に伴う広帯域伝送の有用性実証(北京オリンピック)
デジタル・ デバイド解消	離島モデル・デジタルデバイド解消実験	小笠原におけるインターネット等によるデジタルデバイド解消の有効性についての検証
	地球深部探査船「ちきゅう」通信実験	洋上船舶からの大容量データ配信



# 「きずな」実験計画(3/10)



## NICT基本実験項目

カテゴリ	実験項目	実験目的
<b>基本実験(その1)に相当</b>		
WINDS搭載機器性能評価実験	レベルダイヤ確認実験	通信回線の評価
	周波数特性確認実験	同上
	APAA性能評価*	APAAの経年変化、健全性確認
	再生交換中継器機能確認実験*	WINDSプロトコル実証及び運用条件の確認
WINDS通信網実験システム基本性能確認実験	TDMA同期実験	高速バーストモデムの同期性能評価
	降雨減衰補償実験*	WINDSプロトコル実証及び運用条件の確認
	ベントパイプ中継伝送特性実験	ベントパイプ中継回線品質評価
	再生交換中継伝送特性実験	再生中継回線品質評価
	ABS輻輳実験	搭載交換機性能評価
	1.2Gpbs伝送実験	高速バーストモデムの同期性能評価
<b>基本実験(その2)に相当</b>		
同上	スター型ネットワーク実験*	WINDSプロトコル実証及び運用条件の確認
将来衛星ネットワーク研究実験	メッシュ型ネットワーク実験*	WINDSプロトコル実証及び運用条件の確認
	プロトコル評価実験	TCPアクセラレータ評価
	ダイナミックデマンドアサイン実験	動的スロット割り当て
	スーパーハイビジョン伝送実験[基本実験例2]	スーパーハイビジョン伝送品質評価
アプリケーション実験	地上網との接続実験[基本実験例1]	JGN(Japan Gigabit Network)等との接続性評価
	医療ICT衛星通信実験	ボディアエリアネットワークとの接続性評価

\* : JAXAと共同若しくは同時に実験



## 【基本実験例1 災害時の非常通信回線実験】

- ・「きずな」(WINDS)の高速データ伝送・小型地球局の特長を活かし、災害時の地上回線網の補完や、避難場所から国民への安否情報等の情報発信及び災害対策本部などへの災害現場画像や高精細の地球観測画像の提供を行う。

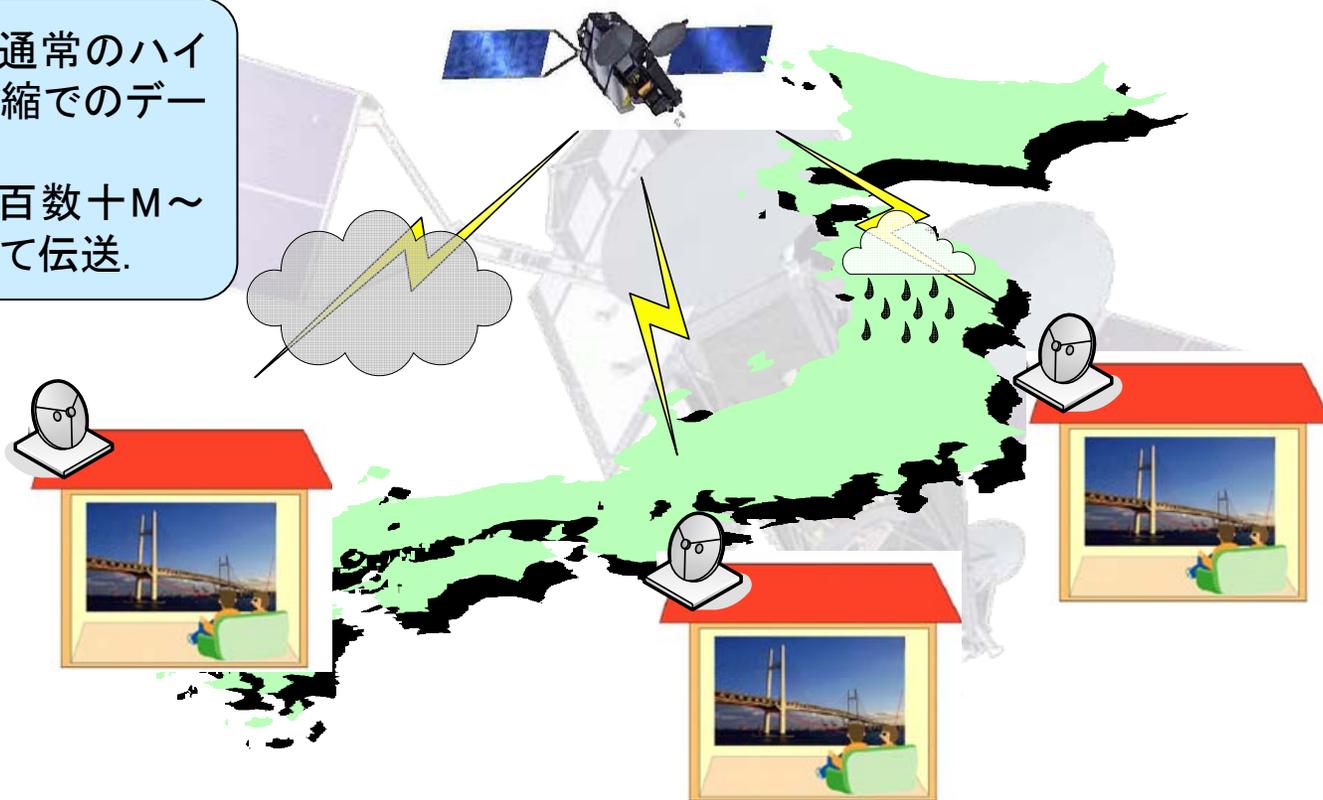




## 【基本実験例2 SHV(Super Hi-vision)伝送実験】

・バンドパイプ中継伝送による1.2Gbps広帯域伝送の特徴を活かし、SHV伝送実験を実施

SHVのデータレートは通常のハイビジョンの16倍：非圧縮でのデータレートは 約24Gbps.  
→SHV 伝送レートは百数十M～600Mbps程度に圧縮して伝送.



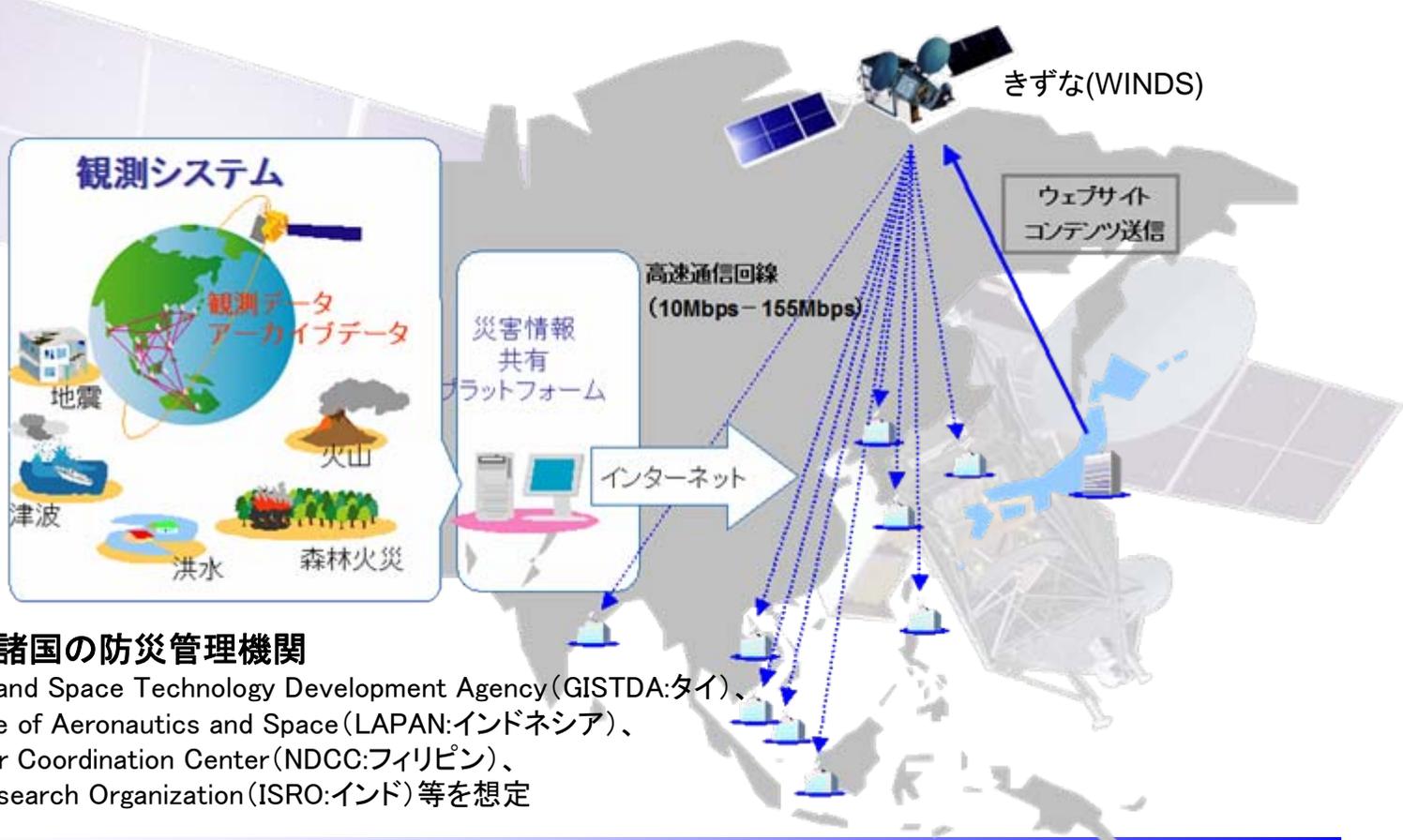


# 「きずな」実験計画(6/10)



## 【基本実験例3 防災(センチネルアジア実験)】

- ・高速大容量である特長を生かし、災害情報をアジア太平洋諸国の防災管理機関へ伝送する。



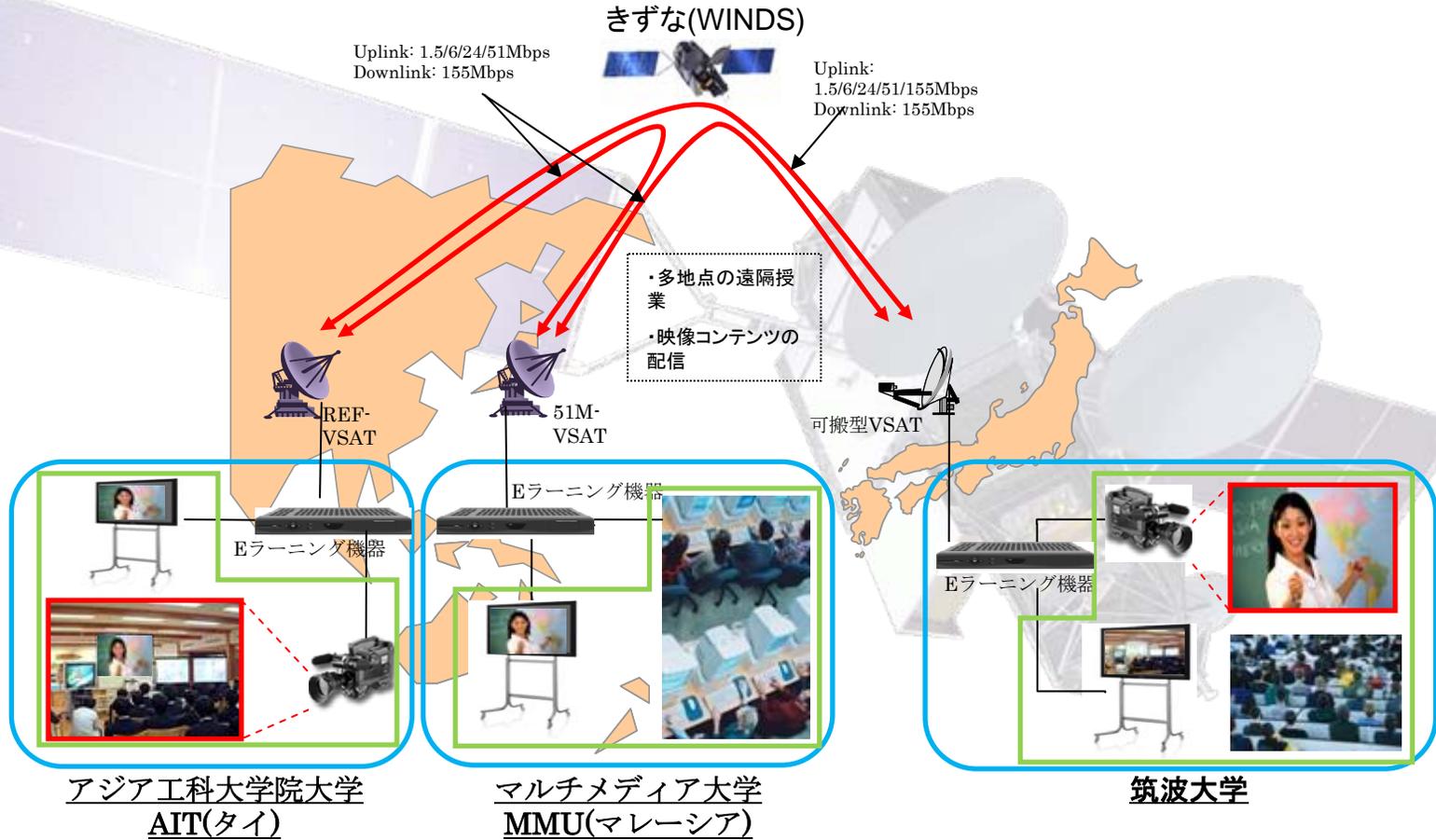
### アジア太平洋諸国の防災管理機関

Geo-Informatic and Space Technology Development Agency (GISTDA:タイ)、  
 National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN:インドネシア)、  
 National Disaster Coordination Center (NDCC:フィリピン)、  
 Indian Space Research Organization (ISRO:インド) 等を想定



## 【基本実験例4 Eラーニング(遠隔教育)】

- ・多地点間で双方向の通信ができる特長を生かし、WEB技術の利用や映像・音声・データ等を組合せたマルチメディア技術を用いた遠隔教育を実施





# 「きずな」実験計画(8/10)



## 利用実験項目

- WINDSに関する利用実験を公募し、53件を採択。
- 初期機能確認等を経て、順次実験を予定。
- アジア・太平洋諸国との共同プロジェクトの推進により、同地域のデジタル・ディバイドの解消等に貢献

全体応募件数(提案代表機関国別件数)

全体	日本	タイ	インドネシア	マレーシア	シンガポール	フィリピン	中国	その他
53	27	11	3	3	2	2	1	4

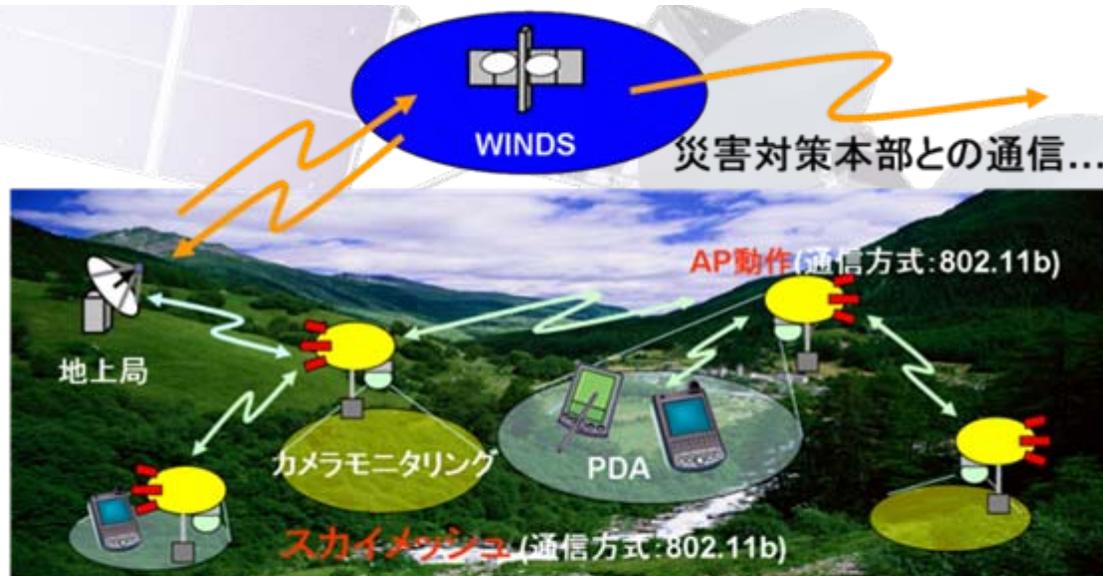
### 【主な提案代表機関】

- 日本：東京大学、新潟大学、NEC東芝スペースシステム(株) 等
- タイ：タイ国国家通信委員会、アジア工科大学、モンクット王立工科大学、タイ電子・コンピュータ技術センター、チュラロンコン大学、タイ国コンピュータ言語学研究所
- インドネシア：バンドン工科大学
- マレーシア：マレーシア工科大学、マレーシア科学大学、マレーシアサラワク大学
- シンガポール：ナンヤン工科大学
- フィリピン：フィリピン大学、高度科学技術研究所
- 中国：香港中文大学
- その他：ハワイ大学、欧州宇宙機関、ミクロネシア連邦政府



## 【利用実験例1 大規模自然災害の通信確保を目的としたスカイメッシュシステムの開発・実証】

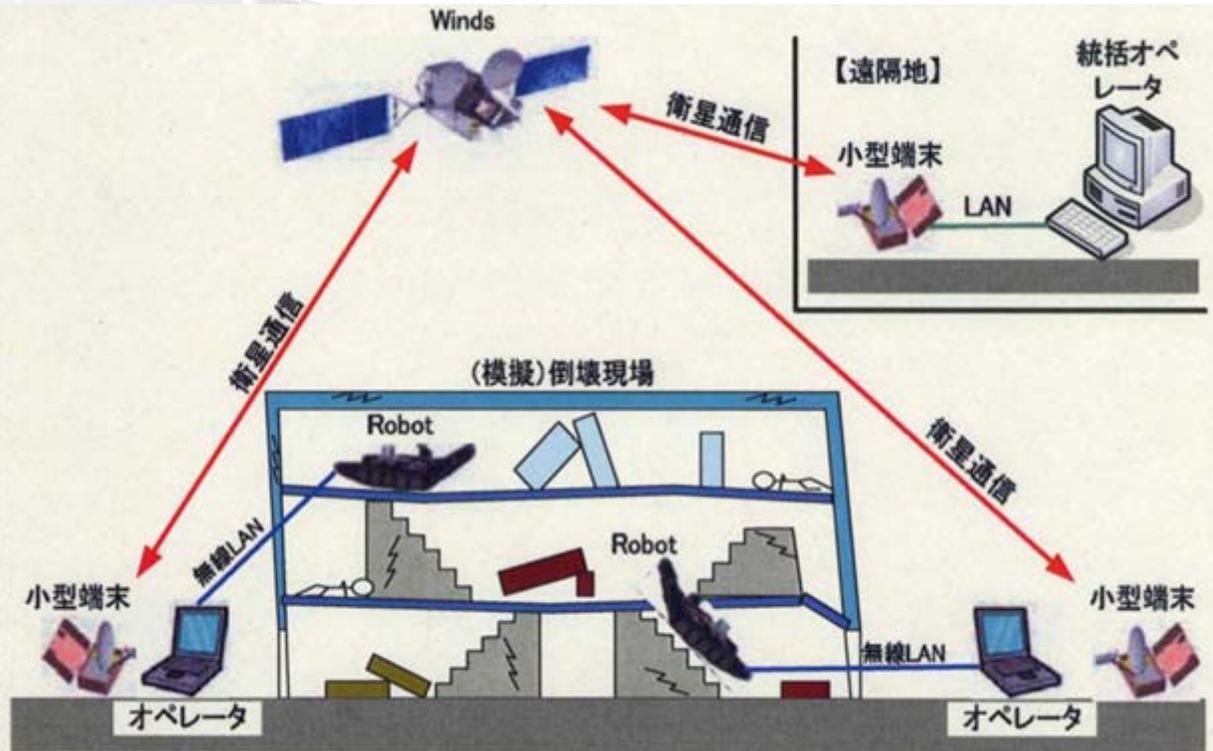
・大規模自然災害等で既存の通信網が不通となった場合を想定し、被災状況の把握など、複数の気球に通信機器及びカメラ、組込PC、GPS受信機を搭載し、衛星経由による動作、映像品質や遅延による影響などの評価を行う。





## 【利用実験例2 衛星通信回線を用いた不整地走行ロボット群による被災情報収集の実験】

・被災地の半倒壊現場内部での被災者探査活動は危険が伴い二次被害の危険があるが、地上通信波が使用困難となる広域災害を想定し、衛星通信回線を利用して、被災地に配備したロボット群により被災者探査活動等の状況情報を収集し本部へ伝送する技術を検証する。





## 【実験使用地球局】

### 【JAXA】

実験に合わせ右図の地球局の整備を進めている。(7/9時点でHDR-VSAT2式とUSAT5式整備済み)

- \*) HDR-VSAT: 高速小型地球局
- USAT: 超小型地球局

地球局設備	高出力 HDR-VSAT	HDR-VSAT	51M-VSAT	REF-VSAT	可搬型 VSAT	USAT	可搬型 USAT
伝送速度 Uplink	1.5/6/24/51 /155Mbps	1.5/6/24/51 /155Mbps	1.5/6/24/51 Mbps	1.5/6/24/51 Mbps	1.5/6/24 Mbps	1.5/6 Mbps	1.5Mbps
Downlink	155Mbps	155Mbps	155Mbps	155Mbps	155Mbps	155Mbps	155Mbps
サービスエリア (MBA or APAA)	MBA/APAA	MBA	MBA	MBA	MBA	MBA	MBA
イメージ	 2.4m φ ANT (参考)	 1.2m φ ANT	 1.2m φ ANT	 1.2m φ ANT	 1.0m φ ANT	 45cm φ ANT.	 45cm φ ANT IATA規格 USATを基にスーツケースに収納
調達台数	1式	2式	3式	2式	5式	5式	1式

### 【NICT】

実験に合せ右図の地球局の整備済み

- \*) LET: 大型地球局
- SDR-VSAT: 超高速小型地球局

地球局設備	LET	SDR-VSAT
伝送速度 Uplink Downlink	622Mbps × 2 622Mbps × 2	622Mbps 622Mbps
サービスエリア	MBA/APAA	MBA/APAA
イメージ		
調達台数	1式	1式



## 【高速バーストモデム(NICT)】

・WINDS非再生交換中継により622Mbps 及び1,244 Mbpsと高速な情報伝送を可能とする通信装置を開発した。衛星交換TDMA方式のバースト送受信を行いデジタル処理により実現するとともに、ターボプロダクト符号化復号方式の誤り訂正を採用して伝送効率の向上を図るなど、最先端のデジタル技術を取り入れている。

主要諸元

IF周波数	2726. 4, 3000, 3273. 6 MHz
変調方式	QPSK
アクセス方法	SS-TDMA
データ速度	622 Mbps or 1.2 Gbps
シンボル速度	412 Msps or 824 Msps
誤り訂正方式	ターボプロダクト符号 (120, 128) <sup>2</sup> 4 ビット軟判定
フィルタ	ルート・ナイキスト・フィルタ ロールオフファクタ = 0.35
データインタフェース	ギガビットイーサ





- (1) WINDSでは海外MBAビームの指向誤差の校正運用のために無変調波を送信する必要がある。そのため送信局としてタイの国家地理情報宇宙技術開発機構(GISTDA)ラッカバン局およびタイ国家電子コンピュータ技術センター(NECTEC)にWINDS実験ユーザ局(REF-VSAT)を設置することとした。またGISTDAとは「陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)観測データの伝送実験」をJAXAとの共同実験として実施する計画を立てた。
- (2) GISTDAと「ALOS観測データの伝送実験」に関して、現行ALOSサブノード協定の下、Implementation Agreementを締結し、WINDS実験ユーザ局の設置ならびにその電波免許の取得を依頼した。(平成19年10月)
- (3) GISTDAが国家電気通信委員会(NTC)に電波申請書を提出し、本年6月19日に電波免許を取得した。
- (4) 6月19日から衛星確認試験を実施し、WINDSのバンコク向け通信ビームが正常に機能することを確認した。これは、10ある海外ビームの機能検証の第一歩であり、今後順次、他の海外局を設置していく。



タイGISTDAラッカバン局に設置したWINDS実験ユーザ局(REF-VSAT)

# 基本実験にて使用される海外局

