

災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発 Satellite Communication Network R&D against Big Disaster

代表研究責任者 末松 憲治 所属機関 東北大学
研究開発期間 平成 24 年度～平成 25 年度

【Abstract】

VSAT systems are quite important to be used in the event of great natural disasters. As for the current satellite communication, dedicated earth station devices are required because various communication methods are used by different operators' services and different management organizations. Therefore earth stations (VSATs) are not compatible between different communication systems. In addition the generated capacity was limited in the situation of large-scale electric power failure. In order to secure communications line smoothly to meet the needs by satellite communications in areas where the communication infrastructure is destroyed by earthquake or tsunami, the technologies to make one VSAT compatible with multiple communication methods have been developed. This R&D focused on resolving the following issues of satellite communications:

1) Shortage of VSATs required for disaster area

Target: Multi-mode SDR VSAT technology

2) Prolonged electric power failure causes deactivation of VSAT equipment

Target: Low-power consumption VSAT technology

3) Satellite network traffic jam

Target: Bandwidth optimization control technology

1 研究開発体制

- 代表研究責任者 末松 憲治 (東北大学 電気通信研究所)
- 研究分担者 江口 茂† (㈱アイ・エス・ビー†)
黒田 幸明†† (㈱サイバー創研††)
小熊 博††† (富山高専†††)
笹沼 満†††† (スカパーJSAT(㈱)††††)
- 研究開発期間 平成 24 年度～平成 25 年度
- 研究開発予算 総額 2,432 百万円

(内訳)

平成 24 年度当初	平成 24 年度補正
969	1,463

2 研究開発課題の目的および意義

東日本大震災においては、大地震・大津波により、広域にわたり地上系の通信手段は甚大な被害を受けた。しかし、地震による影響を受けにくい衛星通信は可搬・車載地球局による被災地から災害対策機関等への映像伝送、臨時公衆電話や携帯電話仮設・車載基地局のエントランス回線、市役所や避難所等におけるインターネットアクセス等の幅広い分野において活躍し、衛星通信は被災地における通信の確保に必要な不可欠な状況であった。こうしたことから災害に強い衛星通信の重要性が再認識されている一方で、被災地における衛星通信ネットワークの臨時構築に必要な不可欠な存在である小型地球局 (VSAT) の設置に際しては、被災地の通信ニーズに応じた衛星システム用の VSAT 機器の確保が困難な状況が生じたこと、大規模な停電が生じた中で発電機の電源容量が限られた状況であったこと等から、どこでも地球局を設置するだけで通信が可能という衛星通信の特長を必ずしも活かすことができなかつたという課題も顕在化したところ。

このような課題を技術的手段によって速やかに解決するため、被災地においてニーズに応じた衛星回線の円滑な確保を図るため、複数の衛星システムに対応可能な可搬地球局、限られた電力容量で運用可能な可搬地球局及び衛星ネットワーク回線の収容効率の向上を実現する。

3 研究開発成果

被災地においてニーズに応じた衛星回線の円滑な確保を図るため、複数の衛星システムに対応可能とするための技術、地球局の消費電力を低減させるための技術及び衛星回線の収容効率を向上させるための技術の研究開発を実施した。

3. 1 マルチモード地球局技術

東日本大震災においては、VSAT の設置に際し、通信ニーズに応じた衛星システム用の VSAT 機器の確保が困難な状況が生じた。これは、現在の衛星通信は、衛星システム毎に通信規格が異なり、それぞれ専用の地球局設備を必要とすることに起因するものである。このため、災害時において被災地のニーズに応じた衛星回線の円滑な確保を図るべく、地球局の無線機能をソフトウェアで実現すること等により、複数の通信方式を切り替え可能とし、複数の衛星システムに対応可能とするマルチモード地球局技術を開発する必要があり、以下の開発を実施する。

- ・ 1 種類の衛星通信システムに対応可能な、可変情報速度 (32k~8Mbps) 衛星通信用変復調/回線制御処理ソフトウェアの評価試験装置の試作機の評価を行い、そこで得られた成果を基に、複数の衛星通信システムに対応可能な、情報速度の変えられる衛星通信用変復調/回線制御処理ソフトウェアの評価試験装置の試作機の評価により、地上のソフトウェア無線技術の地球局への適用性を評価する。

- ・ 衛星系/地上系統合ソフトウェア無線機の 1 次試作及び 2 次試作、アーキテクチャの設計により衛星系/地上系統合システムへのソフトウェア無線機の適用性を評価する。

- ・ 信号帯域幅の異なる複数の衛星通信方式を想定した可変サンプリングレート変換回路の LSI 設計・製作を行い、小型化・低消費電力化のフィジビリティを確認する。

- ・ EsBird (スカパーJSAT社の商用衛星通信サービス) システム相当、LASCOM (地域衛星通信ネットワーク) 相当の擬似衛星システムに接続し、発呼可能状態に移行することを、シミュレータを用いて確認することで、複数衛星システム接続制御のフィジビリティを確認するとともに、動作検証を実施する。

- ・電磁界数値解析を行い、アンテナ全体に対する最適な構造を設計しアンテナサイズと利得特性を評価することで超小型Ku/Ka帯共用アンテナの実現性を確認する。
- ・東北大学に設置したソフトウェア無線技術を用いたマルチモード地球局、省電力可搬地球局、総務省委託研究開発「災害時に簡易な操作で設置が可能な小型地球局（VSAT）の研究開発」にて開発した自立式小型地球局とHUB局を用いて、EsBirdを含む通信システムのフィールドでの実証実験により、本研究開発課題の災害時に有効な衛星通信ネットワークの実証を行う。さらに、地上系のコグニティブルータ機構と組み合わせて、災害時のみならず、平時においても地上系と衛星系を組合せた利用を可能とするよう、ソフトウェアの開発及び動作検証、評価試験装置を用いた評価試験を実施する。
- ・宮城県山元町における研究開発運営委員会の開催等により、地元自治体や地域住民へのアピールを行い、当該自治体への早期導入を促す。さらに、山元町での事例をパイロットモデルとして他の地域への展開を図るため、最終的には図1に示すイメージのデモンストレーションを実施する。

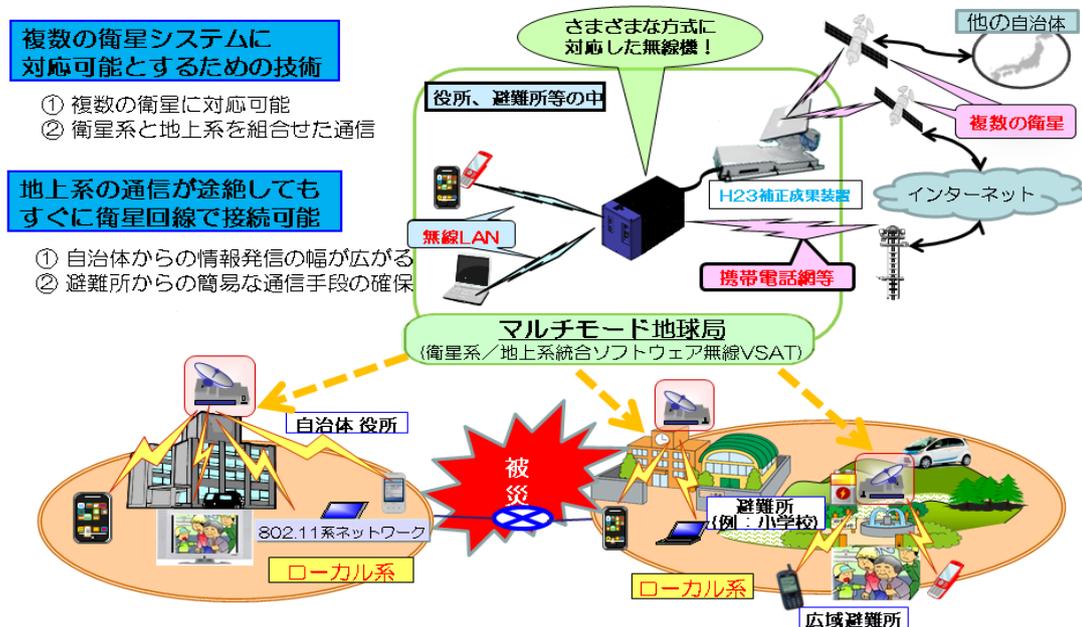


図1 デモンストレーションのイメージ

以下に実施した研究開発の内容を詳細に説明する。

3. 1. 1 課題ア-1) 衛星通信ソフトウェア無線技術に関する研究開発

1 種類の衛星通信システムに対応可能な、可変情報速度（32k～8Mbps）衛星通信用変復調／回線制御処理ソフトウェアの評価試験装置の試作機の評価を行い、そこで得られた成果を基に、複数の衛星通信システムに対応可能な、情報速度の変えられる衛星通信用変復調／回線制御処理ソフトウェアの評価試験装置の試作機の評価により、地上のソフトウェア無線技術の地球局への適用性を評価する。

衛星系/地上系統合ソフトウェア無線機の 1 次試作及び 2 次試作、アーキテクチャの設計により衛星系/地上系統合システムへのソフトウェア無線機の適用性を評価する。

本課題ア-1 は、主に衛星系部分である課題ア-1-1 と地上系部分である課題ア-1-2 に分けられる。以下に実施した研究開発の内容を詳細に説明する。

3. 1. 1. 1 課題ア-1-1) マルチモード衛星通信用ソフトウェア無線技術の研究開発

複数の衛星システムに対応可能とする地球局を実現するために、平成 24 年度（当初予算）では、地上系ソフトウェア無線機を参考に 1 種類の衛星通信システムに対応可能な衛星通信用変復調／回線制御処理ソフトウェアの開発、情報速度 32k～8Mbps を満たす評価試験装置の 1 次試作を実施する。さらに、平成 24 年度補正においては、平成 24 年度（当初予算）に行った 1 次試作の成果を反映させ、可変伝送レートおよび複数衛星通信システムへの対応を可能とする変復調／回線制御処理ソフトウェアの開発ならびに評価試験装置の 2 次試作、評価を行い、マルチモード衛星通信用ソフトウェア無線技術確立を確認する。

課題アでは複数の衛星通信システムに対してソフトウェアの切り替えなどで対応可能とするソフトウェア無線技術を用いたマルチモード VSAT 屋内装置 (IDU: indoor unit) を開発した。図 2 に開発したマルチモード VSAT IDU を用いたシステムの概要図を示す。本装置は、災害時には避難所となる公民館や学校の屋内に設置され、平常時は携帯電話などの地上系の有線・無線回線を用いてインターネットにアクセスできる無線 LAN アクセスポイントとしての使用を想定している。また、災害時には VSAT IDU として複数の衛星通信回線経由で外部へ接続できる機能を有しており、ハイブリッド自動車や電気自動車にある家庭用電源コンセントから給電を受けて動作できる。

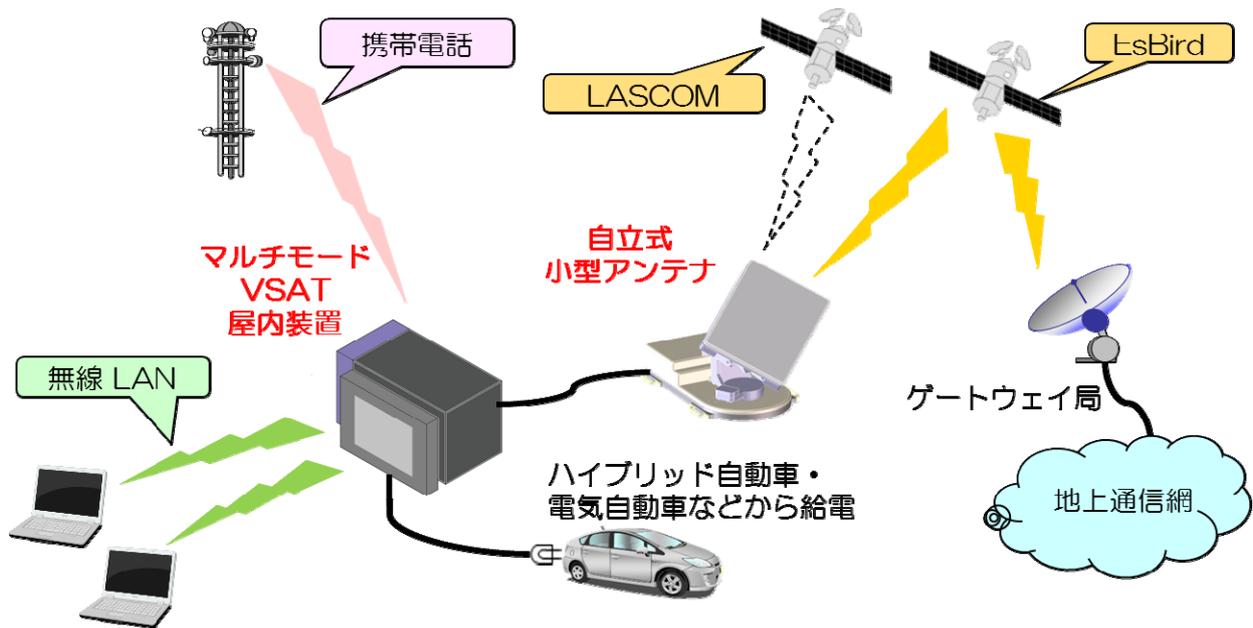


図 2 課題ア-1 で試作したマルチモード VSAT IDU の機能概要

図 3 に開発したマルチモード VSAT IDU（評価試験装置）の写真と構造図をそれぞれ示す。マルチモード VSAT IDU の前面にはタッチパネル式のディスプレイがあり、災害時にはこのディスプレイを用いて安否情報の入力や検索を行うことができる。

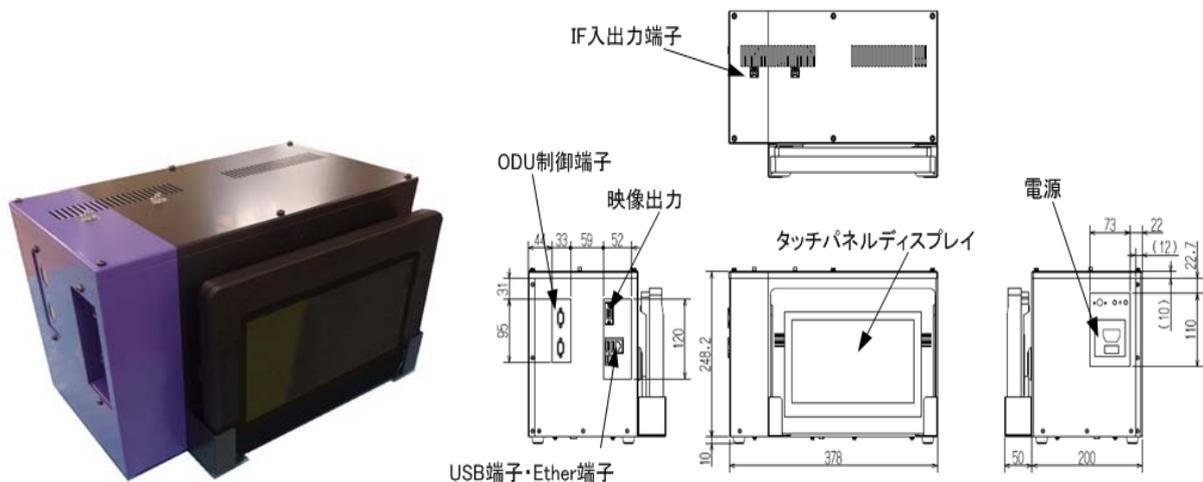


図3 マルチモード VSAT IDU (評価試験装置)

表1に開発したマルチモード VSAT IDU の主要諸元を示す。開発したマルチモード VSAT IDU はスカパー JSAT EsBird サービスと自治体衛星通信機構 (LASCOM) の衛星通信システムに接続できる機能を有している。具体的には以下の機能を有している。

- ▶ EsBird 1:1 IP 型データ伝送: 衛星実通試験で 2Mbit/s までの IP 通信を確認
- ▶ LASCOM 1:1 IP 型データ伝送: 室内で 2Mbit/s の ping 通信を確認
- ▶ 通信サービス切り替え: ソフトウェアの切り替えにより EsBird と LASCOM を切り替える機能を実装
- ▶ 通信サービスのインストール: 各機能部ソフトウェアをインストール可能
- ▶ ブラウザ表示: タッチパネルディスプレイでウェブページを閲覧可能
- ▶ 地上回線・衛星回線切替機能: Ethernet/LTE と EsBird を自動切替可能 (課題ア-1-2 の成果)
- ▶ 自立式可搬型 VSAT (アンテナ装置) との接続機能: アンテナ展開・格納を遠隔制御可能

表1 マルチモード VSAT IDU: 主要諸元

基本仕様	
寸法 (mm)	378 (W) × 250 (D) × 258.2 (H) (突起物を除く)
重量	10 kg
消費電力	300 W
衛星通信機能	
対応サービス	EsBird 準拠 (1:n IP 通信は開発中) LASCOM 準拠 (開発中)
対応通信速度	32 kbit/s ~ 2 Mbit/s (最大 8 Mbit/s まで拡張可能)
チャンネル数	CSC 1 チャンネル, CSC/IP 1 チャンネル

上記試作の評価試験装置が、異なる複数の衛星通信方式 (変復調方式、誤り訂正方式、回線制御方式、

信号帯域幅等) 対応可能であることを評価するために、衛星通信ソフトウェア無線端末用の評価シミュレータ装置を開発し、図 4 に示す室内での環境において評価試験を実施した。

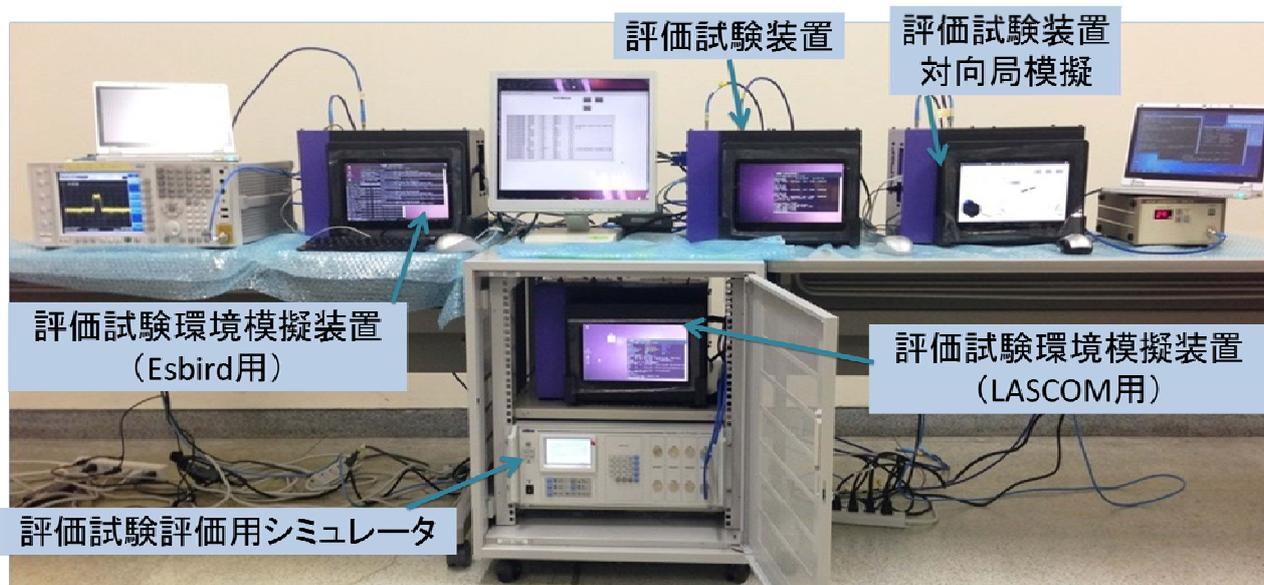


図 4 室内での試験評価環境

上記試験環境において、変復調における BER 測定、回線制御ログデータ等の測定を実施し、規定内の特性が得られた。

3. 1. 1. 2 課題ア-1-2) 衛星系/地上系統合ソフトウェア無線技術

災害時において、ネットワーク接続が途切れた場合に、1つの無線機のみで衛星系/地上系のインターネット接続が可能なネットワーク環境を自動で選択し、ユーザに対して提供することを実現する。

地上系無線機においては、複数の無線通信システムを同一無線機内で利用できる機能が実現されているが、これを衛星系システムと統合することで、災害時などにより有効なネットワーク環境をユーザに提供することができる。

この無線機は、無線機1台で、各種地上系ネットワークを介してインターネットに自動的に接続する広域ネットワーク部、ユーザに対して通信を行うローカルエリアネットワーク部からなり、2-3種類の通信システムを同一無線機内でソフトウェア無線技術により実現できる機能を具備しているが、広域ネットワーク部においては、複数の衛星系の通信システム、および、地上系無線通信システムを選択できる機能を実現する。

平成 24 年度は、独立行政法人情報通信研究機構 (NICT)・ワイヤレスネットワーク研究所スマートワイヤレス研究室の協力のもと、既に地上系で実現されているソフトウェア無線機を更に発展させ、地上系/衛星系を統合したソフトウェア無線機を実現するために必要となる技術の研究開発を行った。

最終目標である衛星系/地上系統合ソフトウェア無線機を実現するために、地上系ソフトウェア無線機のプラットフォームを調査し、基盤となる衛星系通信システムを収容可能な無線機アーキテクチャの設計を行った。また、当該無線機アーキテクチャを搭載したソフトウェア無線機の試作機である「衛星系/地上系統合ソフトウェア無線基礎試験装置一次試作機」の製造と評価を行った。試作機の外観を図 5

に示す。



図 5 衛星系/地上系統合ソフトウェア無線基礎試験装置 試作機

図 5 の試作装置は、PHY/MAC の通信方式を再構築可能なデバイスを最大 2 つ搭載することが可能である。衛星通信部とは Ethernet により接続しコントロールするためのソフトウェアインタフェースを内蔵している。また、USB 接続により、LTE、WiMAX、3G、PHS のようなデータ通信デバイスを接続してインターネットへの接続する手段とすることが出来る。さらに、IEEE802.11a/b/g/n のデータ通信デバイスを搭載しており、これは装置が無線 LAN アクセスポイントとして動作する場合に使用する。

本装置は独立行政法人情報通信研究機構（NICT）にて開発された、地上系のソフトウェア無線機能と、複数の無線アクセス方式の中から最適なものを選択することが出来るコグニティブ無線機能を搭載している。

本装置と課題ア-1-1 の成果物である、マルチモード衛星通信ソフトウェア無線評価試験装置試作機を接続して、状況により地上系通信と衛星系通信が切り替わることを図 6 に示す実証試験により確認を行った。

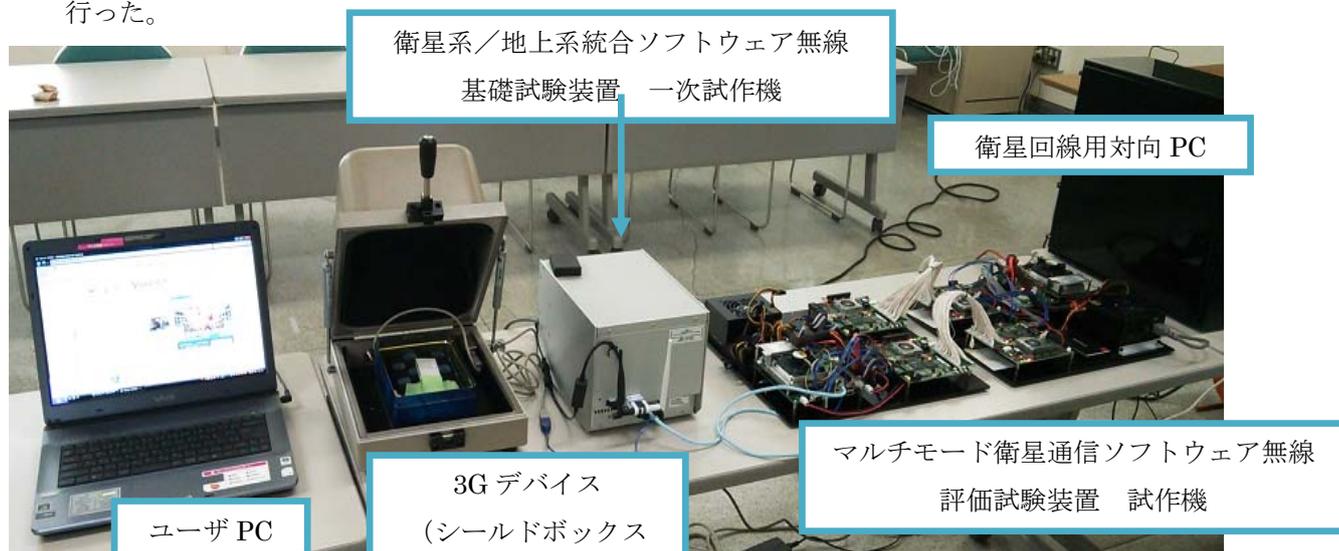


図 6 実証試験時に使用した装置類

平成 25 年度では、平成 24 年度の成果物の試作モデルを発展させ、課題ア-1-1 及び課題ア-1-2 の無線機を統合した、衛星系/地上系統合コグニティブ無線機モデルの試作、評価を行い、衛星系/地上系統合ソフトウェア無線技術確立の確認を行った。(前述 3.1.1.1 のマルチモード VSAT IDU(評価試験装置)) 図 7 に平成 25 年度の開発システムを示し、以下に本課題ア-1-2 について述べる。

平成 24 年度においては衛星系/地上系システムは別々の無線機となっていたが、平成 25 年度の開発で

は別々の無線機を一つの装置に集約し、地上系システムとして docomo 3G 回線、docomo LTE 回線、Ethernet 回線と衛星系無線システムが状況において切り替わることを実証試験にて確認を行った。

複数の無線通信システムを状況において切り替えるコグニティブ無線技術に衛星系無線通信システムを考慮したアルゴリズムを設計、製造し、今年度開発した装置に実装した。上記機能の動作検証を行い、アルゴリズムが正常に動作することを確認した。

ローカルエリアネットワークからインターネット環境へアクセスすることが可能となるようにルータ機能を実装した。また、衛星系回線及び地上系回線（docomo 3G 回線、docomo LTE 回線、Ethernet 回線）すべてにおいて、ユーザ端末からインターネット接続出来ることを確認した。

また、既に NICT 開発システムの無線状況のモニタリングとコントロールをするネットワーク資源マネージャに衛星系無線システムを追加し、ネットワーク資源マネージャとマルチモード地球局間の通信量の最適化を行い、動作検証を行った。

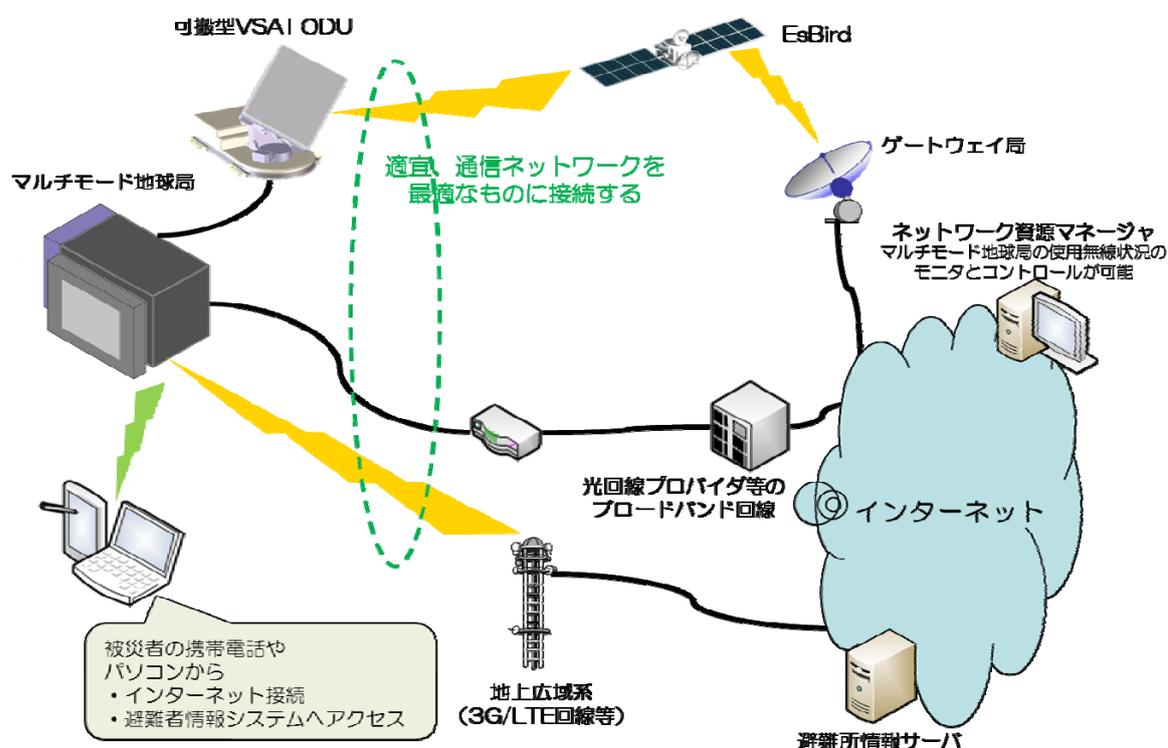


図 7 平成 25 年度開発システム構成

3. 1. 2 課題ア-2) デジタル・フロントエンド技術

信号帯域幅の異なる複数の衛星通信方式を想定した可変サンプリングレート変換回路の LSI 設計・製作を行い、小型化・低消費電力化のフィジビリティを確認する。

具体的には以下の 2 項目について実施する。

- ・地上系を統合したシングルモード地球局の実現を目標とし、そのためのソフトウェア無線コアを採用したシングルモード衛星通信用ソフトウェア無線 LSI の設計・製作・評価を行い、同時に LSI に対応したソフトウェア技術を確認する。またソフトウェア無線コアを採用した LSI 用ソフトウェア開発環境を開発する。

- ・信号帯域幅の異なる 2 種類の衛星通信方式を想定した可変サンプリングレート変換回路の LSI 改良設計・製作・評価を行い、専用 IC 化技術の確立を確認する。

図 8 に本デジタル・フロントエンド技術の概要を示す。今回、図 9 に示すようにダイレクト RF サンプリングによるマルチモード化技術(特許出願中)を開発し、可変サンプリングレート変換回路の LSI を試作、評価し、EsBird と LASCOM の IF 受信系を一体化できる可変サンプリングレート受信機の専用 IC 化技術の確立を確認した。

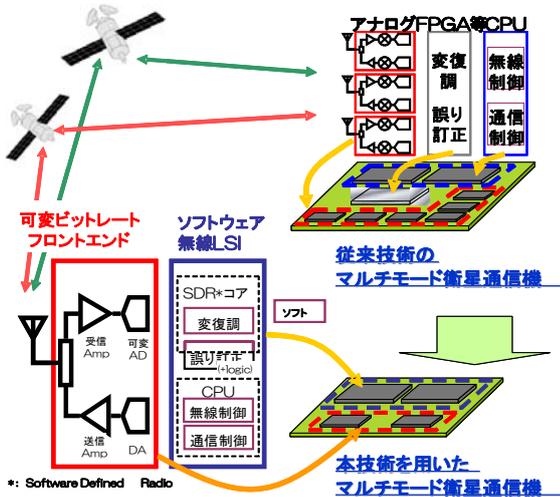


図 8 デジタル・フロントエンド技術の概要

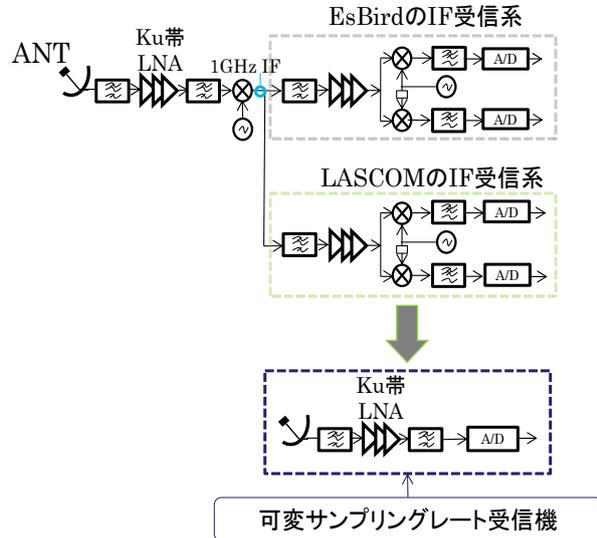


図 9 可変ビットレートフロントエンド技術

地上系を統合したシングルモード地球局の実現を目標とし、そのためのソフトウェア無線コア (CEVA 社製 DSP) を採用した。図 10 に示す EsBird/LASCOM 対応の通信方式に関わる変復調部を実装したマルチモード衛星通信ソフトウェア無線 LSI の設計・製作・評価を行うとともに、本 LSI を搭載した衛星端局装置 (IDU: In Door Unit) を試作し、マルチモード地球局におけるソフトウェア無線機の動作を確認した。

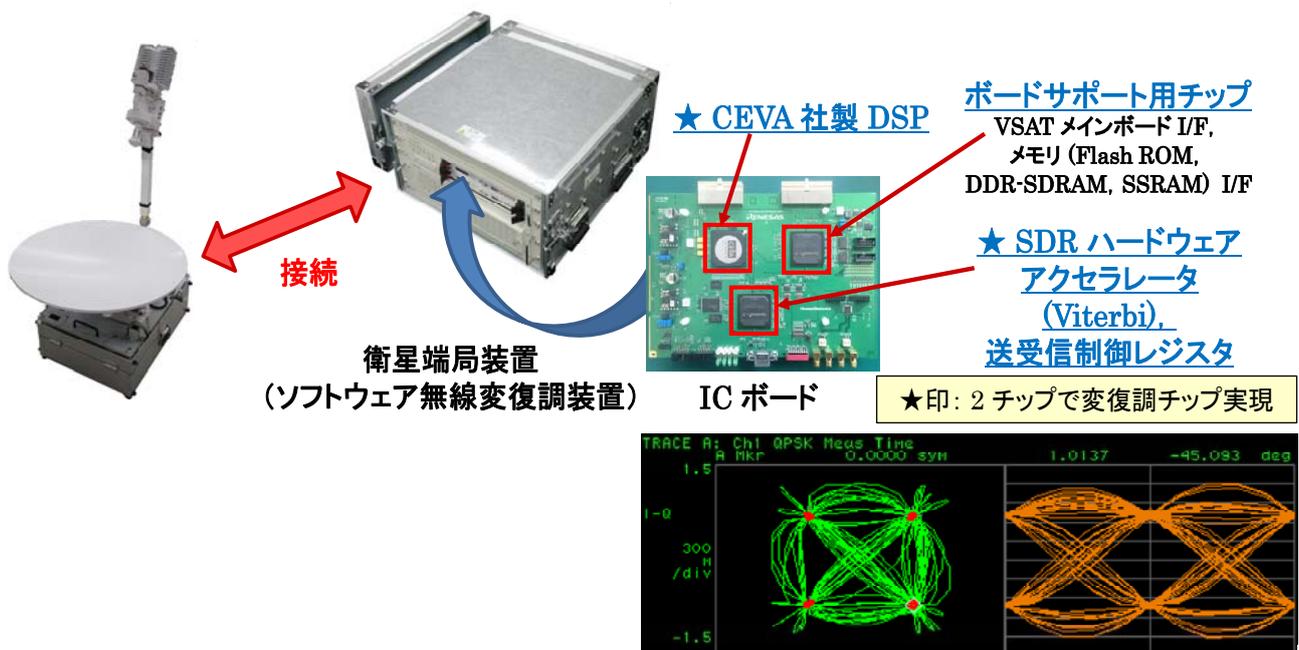


図 10 ソフトウェア無線 LSI コアの VSAT 適用

図 10 に示すように、開発した IC チップは CEVA 社製 DSP 1 チップを含む 3 チップの構成である。そのうち、2 チップ（図中★印）の組み合わせで変復調チップを構成している。

3. 1. 3 課題ア-3) 複数衛星システム接続処理技術

多数の衛星が存在する中で、予め設定された複数の衛星情報に基づいて、複数の衛星と自動的に通信を確立させる制御アルゴリズムと回路を実現する。特に、誤った衛星へのアクセスを防ぐために各衛星からの基準信号・識別信号を自動的に解析して正確な衛星アクセスを行うための複合的な制御を実現する。

複数の衛星として国内でサービスが提供されている EsBird 及び LASCOM（地域衛星通信ネットワーク）を予め設定し、これらのシステムの中から、目的とするシステムを誤りなく検出し通信を確立するアルゴリズムを実現する。さらに課題ア-5-2) において、このアルゴリズムを搭載する回路を実現するためのマルチモード地球局制御技術の設計要件を提供する。

まず、本研究開発の前提として、予め設定された複数の衛星システムに関する情報のベースとして、EsBird と LASCOM の 2 種類の衛星システムを想定した。

これらの複数の衛星システムと自動的に通信を確立するための制御アルゴリズムの研究開発を行うために、次の 3 つの課題を設定した。

- ・ 複数の衛星システムへ接続するための制御アルゴリズム
- ・ 接続しようとしている衛星システムが所望の衛星であることを確認するシステム認識技術
- ・ 複数の衛星システムと自動的に通信を確立するための自動処理技術

これらの課題に関して、それぞれ以下に説明するような研究開発を行った

(1) 制御アルゴリズム

予め衛星通信地球局に登録した衛星情報やシステム（EsBird システムおよび地域衛星通信ネットワークの 2 システムを想定）情報に基づいて、目的の衛星やシステムを正しく選択することができるアルゴリズムを開発した。

(2) システム認識技術

誤った衛星へのアクセスを防ぐために、衛星からの基準信号・識別信号を自動的に解析して、正確な衛星アクセスを行うための衛星捕捉と衛星回線制御に関する複合的な制御を実現した。

(3) 複数衛星通信方式自動処理技術の構築

制御アルゴリズム、衛星システム認識技術を用いて、複数の衛星またはシステムと自動的に通信を確立させるための自動処理技術を確立した。この過程で、誤った衛星へのアクセスを防ぐために各衛星からの基準信号・識別信号を自動的に解析して正確な衛星アクセスを行うための複合的な制御方法について検討し、解決方法を提案した。

これらの技術について、シミュレーションで確認すると共に、図 11 に示すような試験環境を構築して、複数システムが存在している環境での、マルチモード VSAT 擬似装置の稼働実験を行い、研究開発成果である複数の衛星システムへ接続するための制御アルゴリズムにしたがって制御することにより、試験

環境が正しく動作することが確認できた。これにより制御アルゴリズムが正しいことが確認された。

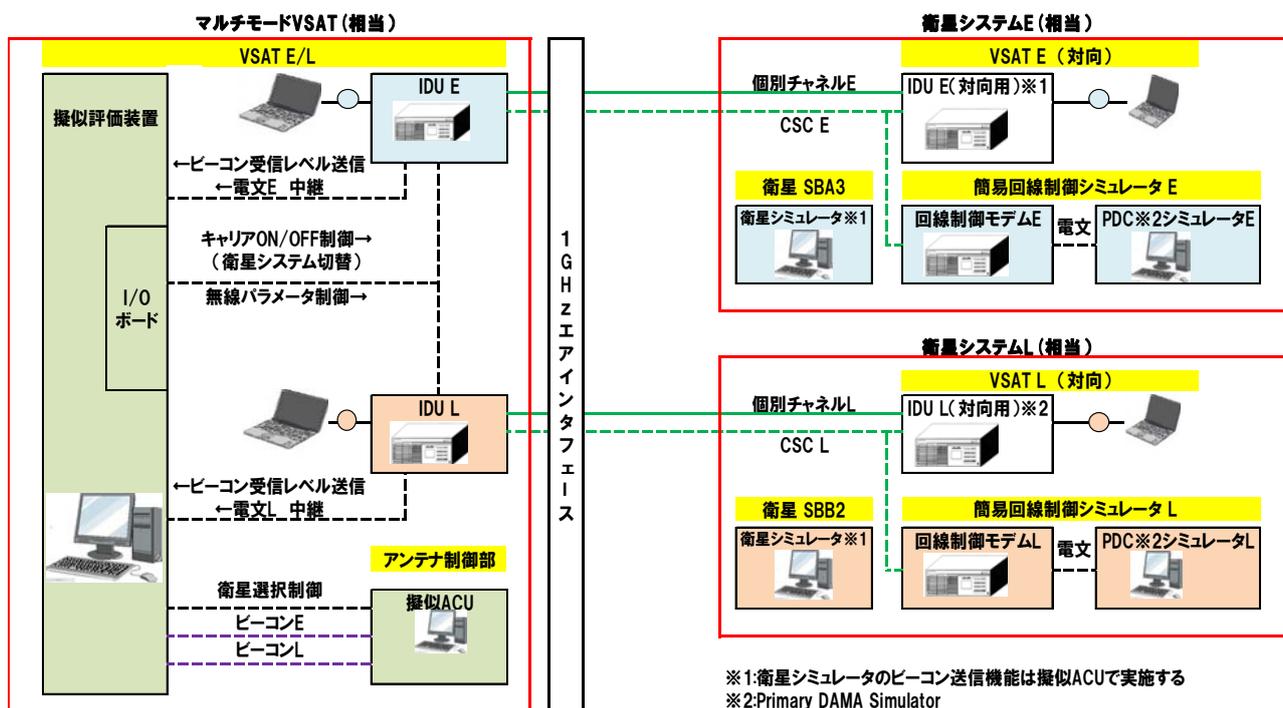


図 11 複数衛星システム接続処理技術の試験環境

なお、これらの研究開発は図 12 に示す日程により実施した。試験環境の構築費用を抑えるために、マルチモード VSAT の擬似評価装置を市販されている VSAT を複数組み合わせることにより実現することにより、調達費用の低減と納期の短縮のために工夫した。

項目	H24年度								
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
(1) 仕様検討									
仕様決定	→								
(2) 設計									
要件定義									
・課題洗い出し	→								
・基本検討	→								
・設計概要検討	→	→							
基本設計	→	→	→	→	→				
・基本設計書									
ソフトウェア仕様				→	→				
・ソフトウェア設計						→	→	→	
(3) 手配・製造									
(4) 単体試験									
結果報告書									
(5) 総合試験									
結果報告書									
(6) 評価試験									
(7) 試験結果取り纏め									

図 12 複数衛星システム接続処理技術の研究開発スケジュール

3. 1. 4 課題ア-4) 超小型Ku/Ka帯共用アンテナ放射部、給電部

電磁界数値解析を行い、アンテナ全体に対する最適な構造を設計し、アンテナサイズと利得特性を評価することで超小型Ku/Ka帯共用アンテナの実現性を確認する。具体的には、以下の2項目を実施する。

- ・アンテナの放射部、給電部と放物面反射器を一体化したモデルに対して、電磁界数値解析を行い、アンテナ全体に対する最適な構造を設計することにより、アンテナの開口効率の最大化を図る。
- ・アレーアンテナを用いた設計法による電磁界シミュレーションを行い、本設計アンテナと比較することにより、アンテナサイズと利得特性における本設計アンテナの特性を検証する。

以下の図13及び図14に示す一次放射器と給電部をそれぞれ試作し、各々の装置と一次放射器と給電部の組合せについてシミュレーションと評価測定を実施し、超小型Ku/Ka帯共用アンテナの実現性を確認できた。

(1) 一次放射器

- ・Ku/Ka帯の電波の同時送信が可能
- ・Ku帯の送信周波数帯は14.0GHzから14.5GHzを含む範囲以上
- ・Ka帯の送信周波数帯は17.7GHzから31GHzを含む範囲のうち、比帯域幅4%以上
- ・直交偏波アイソレーションが25dB以上
- ・スカパーJSAT(株)Es-Birdサービスで使用されている仕様に準拠した1:1双方向回線向け無線信号の送受信が可能
- ・大きさ:縦18cm以内、横18cm以内、高さ35cm以内

(2) 給電部

- ・給電部本体を交換することなくKu帯/Ka帯に分波可能
- ・Ku帯の送信周波数は14.0GHzから14.5GHzを含む範囲以上であり、受信周波数は11.9GHzから12.75GHzを含む範囲以上
- ・Ka帯の送信周波数帯は17.7GHzから31GHzを含む範囲のうち、比帯域幅4%以上
- ・Ka帯において右旋/左旋円偏波に分波
- ・大きさ:縦30cm以内、横30cm以内、高さ13cm以内

(3) 一次放射器と給電部の組合せ

- ・Ku帯において直交直線偏波の送受信をKa帯において円偏波(左旋、右旋)の送受信が可能
- ・EsBirdサービスで使用されている仕様に準拠した1:1双方向回線向け無線信号の送受信が可能
- ・Ka帯が円偏波であるときKu/Ka帯の電波の同時受信が可能
- ・送信信号の受信帯域への漏れ込みの阻止及び帯域制限機能によるKu/Ka帯間干渉の影響の阻止が可能



図 13 一次放射器(クロスタイプリッジホーン)



図 14 給電部

3. 1. 5 課題ア-5) 衛星通信ソフトウェア無線 制御技術・実フィールド評価

・東北大学に設営したソフトウェア無線技術を用いたマルチモード地球局、省電力可搬地球局、総務省委託研究開発「災害時に簡易な操作で設置が可能な小型地球局 (VSAT) の研究開発」にて開発した自立式小型地球局と HUB 局を用いて、EsBird を含む通信システムのフィールドでの実証実験により、本研究開発課題の災害時に有効な衛星通信ネットワークの実証を行う。さらに、地上系のコグニティブルータ機構と組み合わせて、災害時のみならず、平時においても地上系と衛星系を組合せた利用を可能とするよう、ソフトウェアの開発及び動作検証、評価試験装置を用いた評価試験を実施する。

・宮城県山元町における研究開発運営委員会の開催等により、地元自治体や地域住民へのアピールを行い、当該自治体への早期導入を促す。さらに、山元町での事例をパイロットモデルとして他の地域への展開を図るため、最終的には以下のイメージのデモンストレーションを実施する

本課題ア-5 は、以下の課題ア-5-1～課題ア-5-3 に分けられる。以下に実施した研究開発の内容を詳細に説明する。

3. 1. 5. 1 課題ア-5-1) 衛星通信ソフトウェア無線端末制御技術・実フィールド評価

東北大学に設営したソフトウェア無線技術を用いたマルチモード地球局、省電力可搬地球局、総務省委託研究開発「災害時に簡易な操作で設置が可能な小型地球局 (VSAT) の研究開発」にて開発した自立式小型地球局と HUB 局を用いて、EsBird を含む通信システムのフィールドでの実証実験により、本研究開発課題の災害時に有効な衛星通信ネットワークの実証を行う。さらに、地上系のコグニティブルータ機構と組み合わせて、災害時のみならず、平時においても地上系と衛星系を組合せた利用を可能とするよう、ソフトウェアの開発及び動作検証、評価試験装置を用いた評価試験を実施する。

課題 ア-1-2 で開発したコグニティブ再構築マネージャとインタフェースし、地上系/衛星系切替を考慮した衛星側の制御シーケンスを検討し、衛星通信ソフトウェア無線端末制御技術を確立した。

また、総務省の平成 23 年度補正予算で委託研究を実施した「災害時に簡易な操作で設置が可能な小型地球局 (VSAT) の研究開発」により開発した、自立式可搬型地球局 (自立式小型アンテナ) の技術を適用するため、地上系/衛星系切替、アンテナの手動及び自動展開を含めた制御シーケンスを適用し、実衛星回線を使用した動作検証を実施し、正常に動作することを確認できた。実フィールドにおける試作システム評価 (実証実験) の実験系を以下の図 15 に示す。

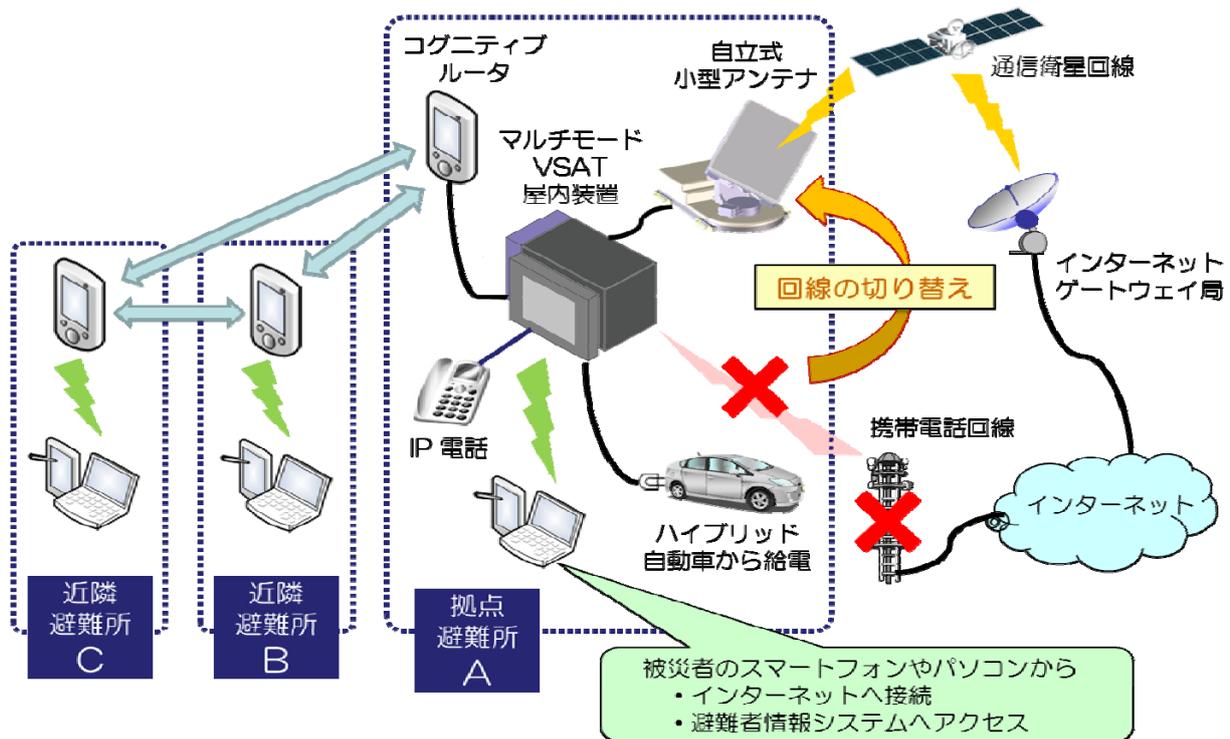


図 15 実フィールドにおける試作システム評価 (実証実験)

図 16 に、平成 25 年 3 月 25 日に東日本大震災で大きな津波被害を受けた宮城県山元町にて本研究開発成果の社会実装を踏まえた実証実験を実施した風景を示す。

本実証実験では、被災地における複数避難所を想定した。拠点避難所 A は比較的大規模な避難所で公民館や学校を想定している。平常時からマルチモード VSAT IDU が設置してあり、無線 LAN 環境を提供している。近隣避難所 B・C は比較的小規模な避難所で地域の集会場などを想定しており、拠点避難所からは数 km 程度の範囲にあるとする。各装置へは、すべてハイブリッド自動車の家庭用電源コンセント (最大 1500W) から電力供給している。衛星回線接続時は IP 電話が利用可能であり、一般のアナログ電話や携帯電話との発着信が可能である。避難所間の通信には NICT が開発したコグニティブ無線ルータを利用する。



図 16 実証実験風景 (宮城県山元町)

実証実験には報道機関、通信事業者、宮城県山元町・宮城県などの自治体関係者などが参加した。避難所となる公民館や学校などにおいて、平常時、大規模災害発生時、携帯電話回線復旧時に実際にどのように活用されるかを以下の各シーンの順序で説明を行い、アンケートにより意見聴取を行った。

■ シーン 1: 平常時

災害時に避難所となる公民館や学校などにマルチモード VSAT IDU を設置し、携帯電話回線を用いてインターネットへのアクセスができる無線 LAN アクセスポイントとしてサービス提供する。利用者は自身のスマートフォンなどを用いてインターネットを利用できる。

■ シーン 2: 大規模災害発生時（発災直後～1日）

大規模災害発生時に屋内装置が携帯電話回線の切断を検知すると、自立式小型アンテナが自動的に起動してアンテナが動き始め通信衛星を探し始める。通信衛星が見つかり衛星回線が開通し、再びスマートフォンなどからインターネットへアクセスできるようになる。停電の場合には、ハイブリッド自動車により通信装置全体へ給電できる。

■ シーン 3: 複数隣接避難所開設後（1日～1週間）

マルチモード VSAT がない小規模の近隣避難所にコグニティブルータ（NICT 開発）を設置する。コグニティブルータは他のコグニティブルータを経由することで、マルチモード VSAT へ接続できる。これにより、利用者は自身のスマートフォンなどで避難所に設置されたコグニティブルータを経由してインターネットを利用することができる。

■ シーン 4: 地上回線復旧後（1週間程度～）

マルチモード VSAT が携帯電話回線の復旧を感知すると、衛星回線が自動的に切断され、自立式小型アンテナが自動的に収納される。マルチモード VSAT は平常時と同様に携帯電話回線を用いてインターネットへのアクセスができる無線 LAN アクセスポイントとして利用できる。

3. 1. 5. 2 課題ア-5-2) 衛星通信ソフトウェア無線端末制御技術

多数の衛星が存在する中で、予め設定された複数の衛星情報に基づいて、複数の衛星と自動的に通信を確立させる制御アルゴリズムと回路を実現する。特に、誤った衛星へのアクセスを防ぐために各衛星からの基準信号・識別信号を自動的に解析して正確な衛星アクセスを行うための複合的な制御を実現する。

課題ア-3の複数衛星システム接続処理技術を用い、複数の衛星またはシステムと自動的に通信を確立させる制御技術と、衛星回線だけではなく、地上回線を含めたネットワーク全体において円滑な通信が確保できるマルチモード地球局側の制御方式を検討し、方式仕様を決定する。

上記検討結果に基づき、制御ソフトウェア機能・構成法の検討、プロトタイプへの実装、ソフトウェアの単体試験・結合試験等を実施する。

課題ア-3において開発された「複数衛星システム接続処理技術」は、その際に用いたマルチモード VSAT 擬似装置は、既存の単一衛星システムに対応する VSAT 装置を複数組み合わせで構築された擬似装置であり、本アルゴリズム及び制御方式の確立のためには、実際にマルチモード VSAT を用いてこのアルゴリズムを使用して確認を行う必要がある。これを実現するために、次の様な課題を設定した。

- ・複数の衛星システムへ接続するための制御シーケンスの確立
- ・プロトタイプの試作と室内評価系による機能確認
- ・実衛星回線を利用した確認

上記の課題を実施状況について以下に説明する。

(1) 複数の衛星システムへ接続するための制御シーケンスの確立

マルチモード地球局が、複数の衛星システムから所望の衛星通信システムを選択し接続するための制御シーケンスを、H24年度（当初）成果をベースに決定した。

- ・ Esbird と LASCOM の両システムのうちいずれかを選択し接続するための複数衛星選択接続制御機能を衛星通信ソフトウェア無線端末に搭載できるインタフェースを確立した。
- ・ 衛星通信ソフトウェア無線端末が、Esbird と LASCOM を制御する複数の DAMA 各々との間で回線制御ができる方式を確立した。そして、これらの制御シーケンスを次に説明するマルチモード VSAT のプロトタイプに実装するための条件や、方式について明らかにした。

(2) プロトタイプの試作と室内評価系による機能確認

制御ソフトウェアを衛星通信ソフトウェア無線端末回路に搭載したプロトタイプ（評価装置）を試作し、H24年度（当初）の成果である HUB 相当装置と組み合わせた室内評価系を構築し、機能確認を行った。

- ・ 地上系／衛星系切替え機能
- ・ 複数衛星システムから所望のシステムを誤りなく選択する機能
- ・ 複数衛星システムでの通信機能

(3) 実衛星回線を利用した確認

実衛星回線を利用し、以下の確認を実施し、本研究開発成果の導入を運用中のシステムに影響を与えずに可能であることを確認した。

- ・ 複数衛星選択機能を模擬的（衛星システムの再選択）に確認
- ・ 通信品質の確認

以上、今回実施した研究開発により、マルチモード VSAT における複数衛星選択制御技術、衛星通信ソフトウェア無線端末制御技術を確立することができた。さらに、これらの技術を適用した装置に関して、実衛星回線を使用した通信システムに適用しても運用中のシステムに影響を与えないことを確認することができた。

評価装置の構成を図 17 に示す。図 17 に示すように、通信相手の複数衛星システムとしては、H24 年度において開発した試験環境を利用し効率化が図れるように工夫した。

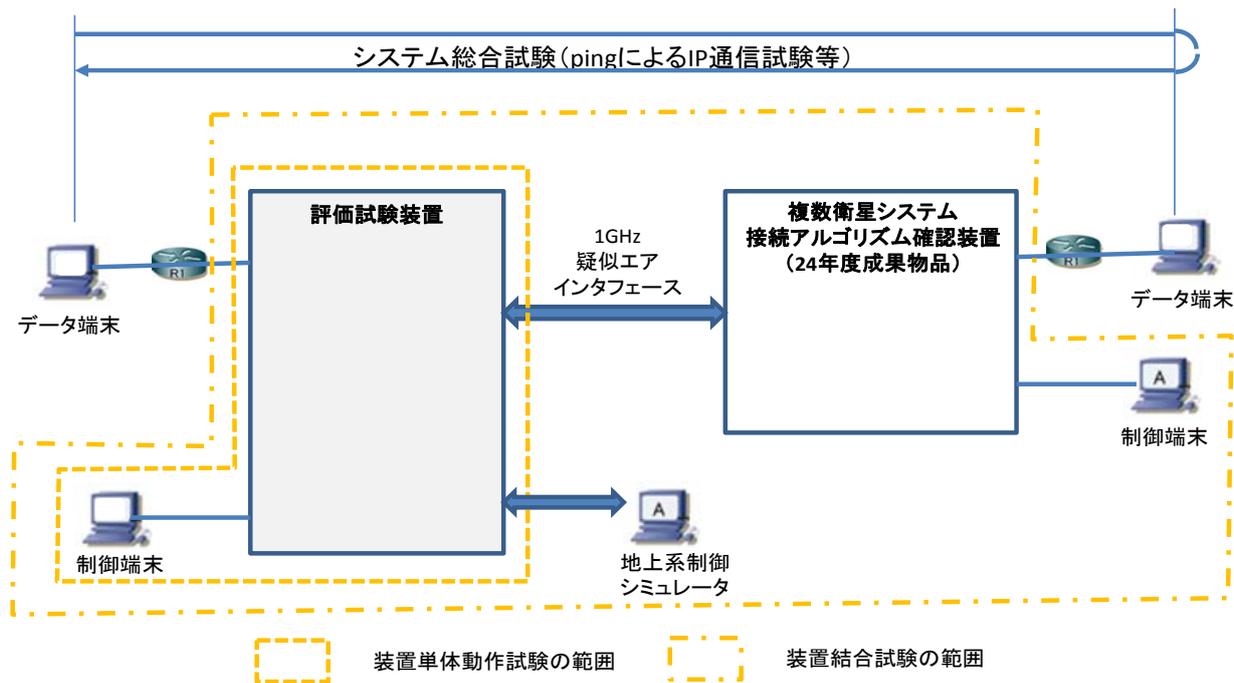


図 17 室内評価装置の構成

図 18 に本研究課題の開発スケジュールを示す。評価装置で述べたとおり、本開発を実施する際に平成 24 年度の試作装置を利用したことから、効率よく実施でき計画どおりのスケジュールであった。

項 目	H25年度												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
サイバー創研	制御方式												
	基本検討	→	→	→									
	詳細検討			→	→	→	→	→	→	→			
	評価確認装置												
	装置仕様		→	→	→	→	→	→	→	→			
	ベンダー選定							→	→				
	▲発注												
	試験・評価手法												
	手法検討							→	→	→	→		
	試験・評価												
	試験・評価実施										→	→	→
	フィールド評価試験												
開発へのフィードバック		▲山元町											
▲盛岡市・土佐町													
環境構築・試験									→	→	→	→	
成果報告書													
報告書作成											→	→	
受注者	設計・製造								→	→	→	→	
	▲納入												
	単体試験								→	→	→	→	
	結合試験									→	→	→	
	総合試験										→	→	
評価試験補助										→	→	→	

図 18 課題ア-5-2 の研究開発スケジュール

3. 1. 5. 2 課題ア-5-3) 実フィールドにおけるユーザ視点での評価用アプリケーションの開発と評価

東日本大震災時において被災自治体において実施された安否確認の観点における教訓を基に自治体と避難所等が情報交換可能なユーザインタフェースの仕様検討を基にアプリケーション開発と評価を実施する。さらに、課題ア-5-1 で実施する衛星回線を利用した評価検証等との合同の評価実験を実施する。

本研究課題では、図 19 に示す VSAT 経由の避難者情報管理システムを開発し、マルチ OS に対応した端末上でシンプルな操作で避難者リストを作成可能なシステム技術を確認した。また、ソフトウェアの品質はエミュレータ及び実機試験により評価実験を実施し動作することを確認できた。



図 19 避難者情報管理システム

図 19 に示した避難者情報管理システムの特徴を以下に示す。

(1) 利用端末を特定しないアプリケーション

図にアプリケーションの登録画面を示す。被災地では、特定の OS を搭載した端末を用意できるとは限らないため、避難者情報を登録するアプリケーションは、OS などのプラットフォームにかかわらず利用可能であることが重要である。そのため、避難者情報を登録するためにハイブリッドアプリケーションを作成した。

ハイブリッドアプリケーションとは通常のアプリケーションとしてモバイル端末にインストールできるが、Web 技術 (HTML、JavaScript、CSS) によってサーバ側で動作が実装されている HTML アプリケーションである。

作成したアプリケーションは Android OS 向けのアプリケーションであるが、Web 技術によって実装されているため、標準的な Web ブラウザが使用できる端末であれば、Windows PC や iPad などの端末でも利用できる。また、一つのソースで複数の OS、端末に対応できる利点もある。

(2) 入力方式の統一

HTML アプリケーションは、様々な OS から利用することが出来るが、OS の数だけ異なる入力方式が存在することとなる。Android 端末は国内外でトップシェアを誇るものの国外仕様の端末や、初期状態では日本語入力が出来ない端末なども存在するため、避難者情報の入力を OS の入力方式に依存しない入力は非常に有効である。

本避難者情報登録アプリケーションでは、入力する文字種をカタカナ、数字のみに限定したことにより、OS に依存しないソフトウェアキーボードを実装可能とした。

ソフトウェアキーボードにより、情報を登録する職員は入力方式の習得や文字変換などを行う必要は無くなる。システム側も、予期しない文字の入力を未然に防止することが可能となる。

(3) GPS を利用した避難場所の特定

避難者の情報を扱う際には、避難者がどこの避難所に避難しているかをあわせて管理する必要がある。通常であれば、予め指定されている避難場所に避難所が開設されるが、被災状況によっては、異なる場所を避難所としたり避難者の増加に応じて避難所を新設したりする可能性もある。

避難者登録アプリケーションでは、モバイル端末に備わる GPS 機能や Wi-Fi による位置特定技術などを利用して取得した位置情報を、避難者の情報とともに記録することで、避難所の変更や新設に対応した。

さらに、図 20 に示すとおりソフトウェアの品質について、エミュレータ及び実機試験により評価実験を実施した。図 20 にエミュレータによる評価結果及び角田で実施されたデモの際に修得したデータをプロットしている。1.5sec 程度と良好な応答速度となっていることがわかる。100kbps より低データレート条件において応答速度が劣化している点については、Apache JMeter によるデータの送信の際のデータの設定が大きすぎた（例えば、姓に 256byte（全角で 128 文字相当）としたためであり、実運用上ではほぼ直線の特性を示すと推察する。

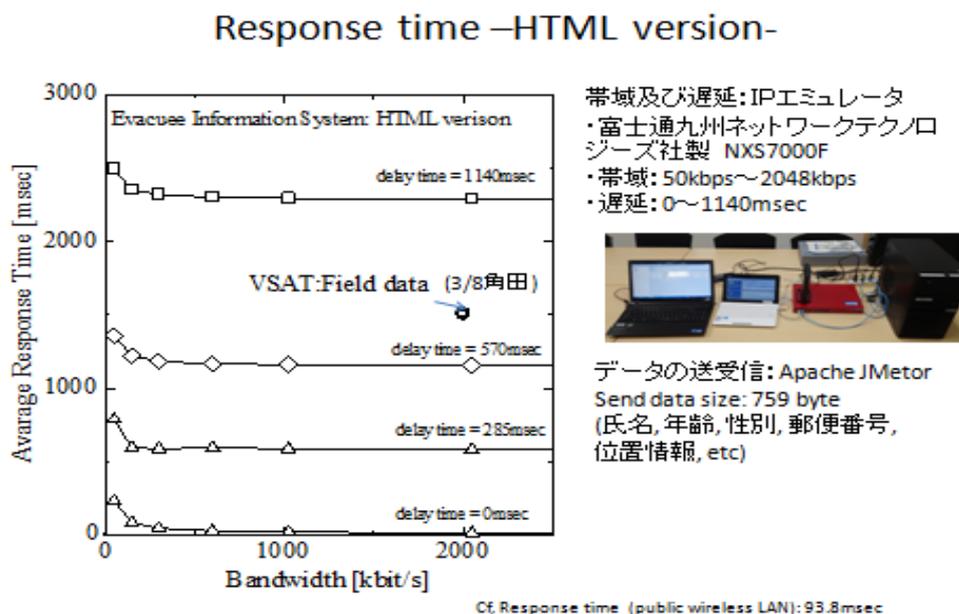


図 20 ソフトウェアの評価実験環境と実測結果

本アプリケーションを以下の日時にデモするとともに意見を伺った。また宮城県小松室長、山元町高橋課長はじめ自治体関係者に随時ご評価いただき開発にフィードバックを実施した。

① 平成 25 年 9 月 25 日 高知県土佐

土佐町で VSAT と接続して説明した。アプリケーションを説明しつつ土佐町の職員に対し、震災時の説明及び時間経過に伴い発生することを説明した。

② 平成 26 年 3 月 3 日 宮城県仙台市 耐災害 ICT シンポジウム

耐災害 ICT シンポジウムで、デモンストレーションを実施した。

③ 平成 26 年 3 月 8 日 宮城県角田市

3 月 8 日の角田市を会場に実施された地域情報通信ネットワーク強靱化セミナーの際に VSAT に接続させて角田市及び市民に対し説明した。その際に、

- ▶ 避難者情報管理システムは GPS 機能を活用した位置情報が便利
- ▶ 手書きで避難者リストを作成するよりも早くてよい。
- ▶ Map により見やすい

との評価を得た。

一方で、「避難者リストは OCR で読み込むなどもできないか？」との質問もあり、平成 24 年度補正の前半で検討した結果を紹介すると納得された。

④ 平成 26 年 3 月 25 日 宮城県山元町

研究開発運営委員会と併設したデモンストレーションに参加した。

3. 2 省電力可搬地球局技術

東日本大震災においては、VSAT の設置に際し、大規模な停電が生じた中で発電機の電源容量が限られた状況であったことにより、どこでも地球局を設置するだけで通信が可能という衛星通信の特長を活かした設置が困難な状況が生じた。これは、現在の VSAT 機器は、商用電源が安定供給されることを前提としていることに起因するものである。このため、災害時における限られた電源容量の下で通信の確保を図るべく、間欠受信等の電力制御や回路の低消費電力化・高効率化等による省電力地球局技術を開発する必要がある。

地球局の消費電力を低減させることにより、災害時に発電機等の電力容量が限られる中での VSAT の設置・運用の円滑化を図る。具体的には、無送信時における送信系の低消費電力化のタイミングと制御内容を最適化し、送信開始時には、遅延なく瞬間的に安定動作状態への復旧制御を行う制御アルゴリズムと回路を開発し、送信系の電源 ON 時に即時レベルを安定させるとともに、間欠受信に整合した回線節電制御を実現することで、消費電力の低減を実現する。

また、ODU/IDU 一体化のための各構成部の小型一体化構造・実装技術及び増幅部の高効率化技術の確立により、従来の分離型構成に比較し消費電力の低減を実現する。

本研究課題の省電力可搬地球局技術では、災害時における通信の確保を図るべく、発電機等の電力容量が限られる中での VSAT の設置・運用の円滑化を目指し、地球局の消費電力の低減化を実現するため、「課題イ-1 地球局の省電力化」と「課題イ-2 ODU/IDU 一体化」の 2 課題を設定した。

まず、「課題イ-1 地球局の省電力化」では、送信すべき信号がない場合に消費される無効電力の低減を、伝送される信号の品質に影響を与えることなく実現するために、伝送信号に対応して送信部に供給する電力のオン/オフを制御する技術を開発した。

次に、「課題イ-2 ODU/IDU 一体化」では、送受信用基準信号発信部の共通化や発熱対策、および干渉対策など、一体化のための構造・実装技術ならびに効率化技術を確立し、従来の分離型設備と比較し、小型化・軽量化を実現するとともに、一定時間の消費電力を約 36%（目標値 20%以上）削減できること、および課題イ-1 の成果とを組み合わせることにより、従来設備と比較し、一定時間の消費電力を約 54% 削減（目標 40%以上）できることを、試作機により確認した。

図 21 に本課題のスケジュールを示す。研究開発実施にあたっては、課題イ-1 とイ-2 の検討結果をフィードバックさせながら、両課題を組み合わせることで最大の効果が得られるよう工夫した結果、図 21 に示すように期間内で開発が終了した。

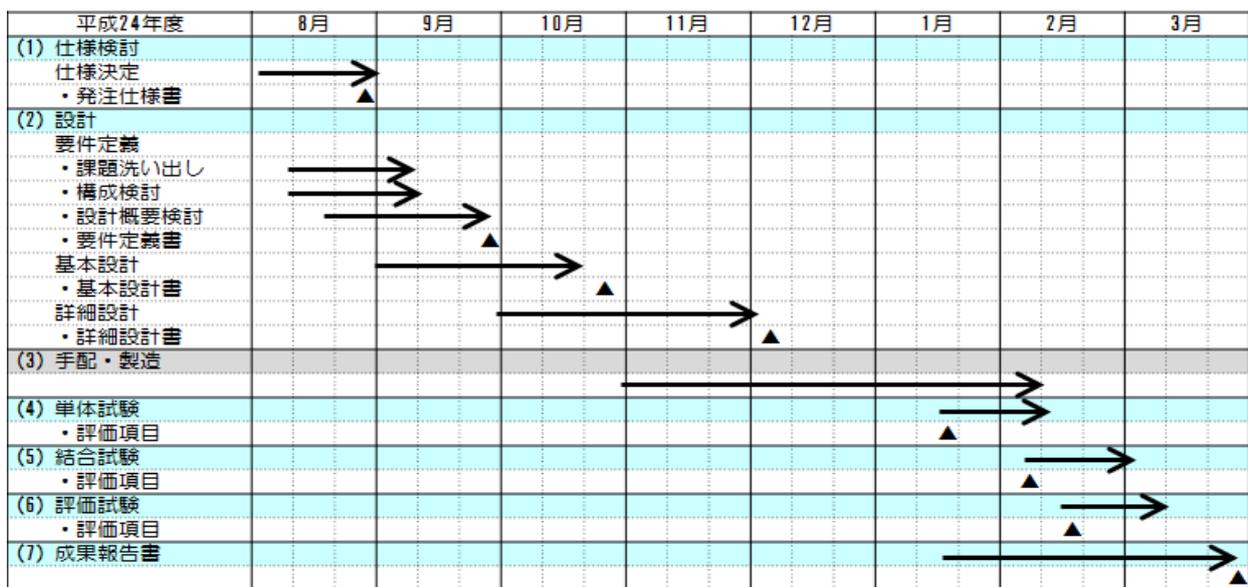


図 21 省電力可搬地球局技術の研究開発スケジュール

表 2 に省電力可搬地球局装置の主要諸元を示す。

表 2 省電力可搬地球局装置の主要諸元

No.	項目	性能
1	送信系	
1-1	送信周波数	14.0GHz~14.5GHz
1-2	送信周波数ステップ	25kHz
1-3	送信出力レベル	4W相当
1-4	送信情報速度	IPチャンネル 32kbps,64kbps,128kbps,256kbps, 384kbps,512kbps,768kbps,1024kbps 1536kbps,2048kbps
2	受信系	
2-1	受信周波数	12.25GHz~12.75GHz
2-2	受信周波数ステップ	25kHz
2-3	受信情報速度	IPチャンネル 32kbps,64kbps,128kbps,256kbps, 384kbps,512kbps,768kbps,1024kbps 1536kbps,2048kbps
3	消費電力	約75VA

表 2 で示した諸元の決定にあたっては、国内で使用される VSAT システムの諸元に準拠することにより、実用化に近い装置を開発するよう工夫した。

3. 3 通信帯域最適化制御技術

東日本大震災においては、地上系通信インフラが広域にわたり甚大な被害を受けたことから、衛星回線のトラフィックが急増した状況が生じた。今後、課題ア及び課題イの技術が開発されるとともに、衛星捕捉等が簡易に実施可能な VSAT が開発された際には、災害時に可搬型地球局が多数臨時設置されることにより、衛星回線のトラフィックは更に急増することが想定され、衛星回線容量の逼迫が懸念される場所である。これは、平常時の通信は少ないが、災害時に重要な通信が集中するという衛星通信の特徴に起因するものである。このため、災害時に衛星通信による回線確保を円滑に図るべく、限られた容量の衛星回線について収容効率の向上を図る必要がある。

具体的には、現在の帯域要求割当方式では、上位プロトコル（WEB、メール、ファイル転送、電話、映像伝送等）をシステムとして把握できていないことから、災害発生による衛星回線帯域の逼迫時に上位プロトコルに応じ、帯域割当を最適制御することができないという課題が存在する。このため、衛星回線のみならず地上回線等を含めたネットワーク全体における円滑な通信の確保も考慮しつつ、回線上に流れている上位プロトコルを把握した上で、全体の帯域利用状況から最適な帯域の割当制御が可能となる技術を開発する必要がある。

トラフィックの種別に応じた送信帯域の制御を実現する。具体的には、衛星回線上に流れている上位のプロトコルを解析する方式及び解析した上位のプロトコルを制御局側の制御装置に通達するシーケンスを確立する。

また、衛星回線上に流れている上位のプロトコルの状況と全体の帯域利用状況を踏まえて割当帯域を最適化する回線制御方式を確立する。

これらの方式の開発により、上位の通信プロトコルに適応的な帯域割当を行うことにより、現在の使用プロトコルを特定できない帯域要求割当方式による帯域割当に比べて収容効率の向上を実現する。

なお、帯域制御については、衛星回線の状況のみならず、接続される地上回線等を含めたネットワーク全体において円滑な通信が確保されるよう考慮したものとする。

東日本大震災のようなトラフィックが急増した状況であっても迅速な情報収集や通信手段の確保を衛星回線によって可能とするための技術として、下記(1)～(4)の研究開発を行った。

- (1) プロトコル解析・通達アルゴリズム
- (2) 割当帯域最適化アルゴリズム
- (3) BOD処理手順最適化アルゴリズム
- (4) プロトコル死活監視アルゴリズム

研究成果を集約した可搬型制御局のプロトタイプの製造し、これを用いて実証実験を行った。実証実験により、実際に利用されている静止衛星を使用した場合においても、研究開発が達成されていることを確認した。具体的には、以下の成果を得た。

(1) プロトコル解析・通達アルゴリズム

プロトコル解析・通達アルゴリズムの実衛星回線を使った検証について、可搬 VSAT4 局 (A 局、B 局、C 局、J 局) を用いて行った。実験により、実際のアプリケーション (TV 会議/VoIP 通話/FTP ファイルダウンロード) においても、利用状況変化を VSAT 局から DAMA 装置へ通達できることを確認した。

(2) 割当帯域最適化アルゴリズム

割当帯域最適化アルゴリズムの実衛星回線を使った検証について、DAMA 装置および可搬 VSAT4 局 (A 局、B 局、C 局、J 局) を用いて行った。表 3 及び図 22 に概略結果を示す。表 3 及び図 22 から、通常時および発災時において、可搬 VSAT 局から通知された上位プロトコルの利用状況に基づき、DAMA 装置が適切に帯域割当を行うことと、災害時の対応として TCP プロトコルの帯域制限上限を制御局での設定とすることで全体の帯域割当効率が向上し、以下に示す計算結果より、合計使用帯域が最大 56%の改善が確認できることがわかる。

$$(5900 - 2600) \div 5900 \times 100 \approx 56 (\%)$$

表 3 割当帯域最適化アルゴリズムの実衛星回線使用による検証結果 (概略)

条件	TCP全帯域	RTP全帯域	合計使用帯域	TCP帯域縮減率
通常時(制限なし)	3450 kHz	2300 kHz	5900 kHz	0%
TCP上限256k	1200 kHz	2300 kHz	3650 kHz	65.2%
TCP上限128k	600 kHz	2300 kHz	3050 kHz	82.6%
TCP上限64k	300 kHz	2300 kHz	2750 kHz	91.3%
TCP上限32k	150 kHz	2300 kHz	2600 kHz	95.7%

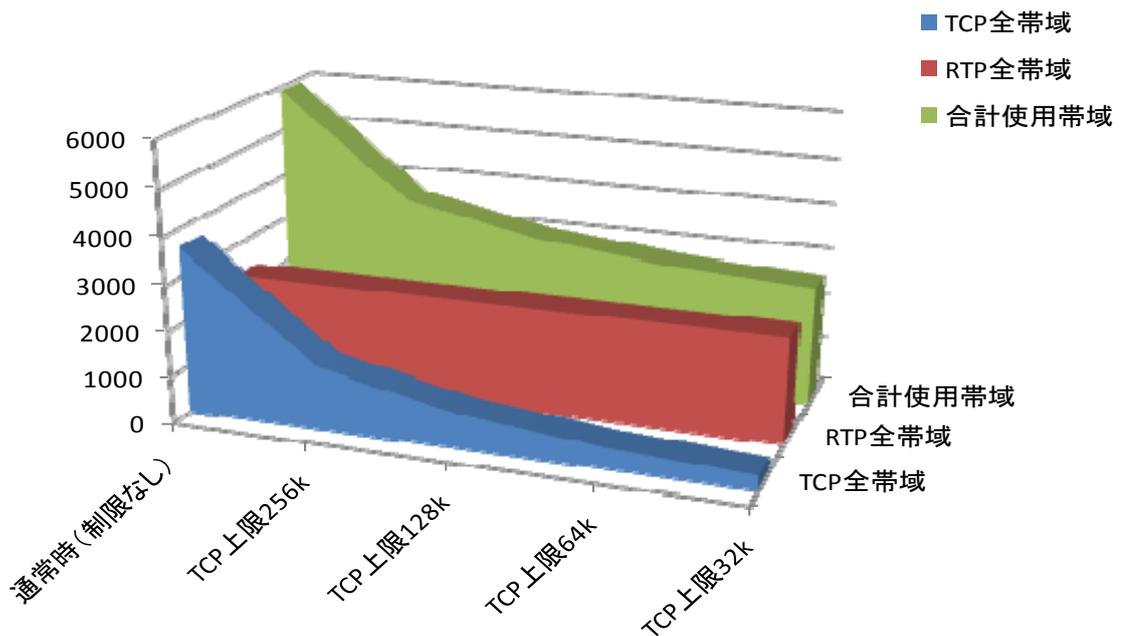


図 22 割当帯域最適化後の改善グラフ

(3) BOD 処理手順最適化アルゴリズム

BOD 処理手順最適化アルゴリズムの実衛星回線を使った検証について、可搬 VSAT2 局 (A 局、B 局) を用いて行った。実験により、VoIP 通話や TV 会議のような RTP (UDP) のストリーム系のアプリケーションにおいては、高速シーケンスにより、BOD 処理動作時の瞬断時間を短縮することで、通話や会議への影響を減らせることが確認できた。

(4) プロトコル死活監視アルゴリズム

プロトコル死活監視アルゴリズムの実衛星回線を使った検証について、可搬 VSAT2 局 (A 局、B 局) を用いて行った。実験により、従来のトラヒック量 BOD による減速 (標準モデル) に比べ、アプリケーションの種類によらず、概ね 70~80% 程度 帯域占有×時間 の量が改善されることが確認できた。

以下の図 23 に上記(3)BOD 処理手順最適化アルゴリズム及び(4)プロトコル死活監視アルゴリズムの検証結果を示す。

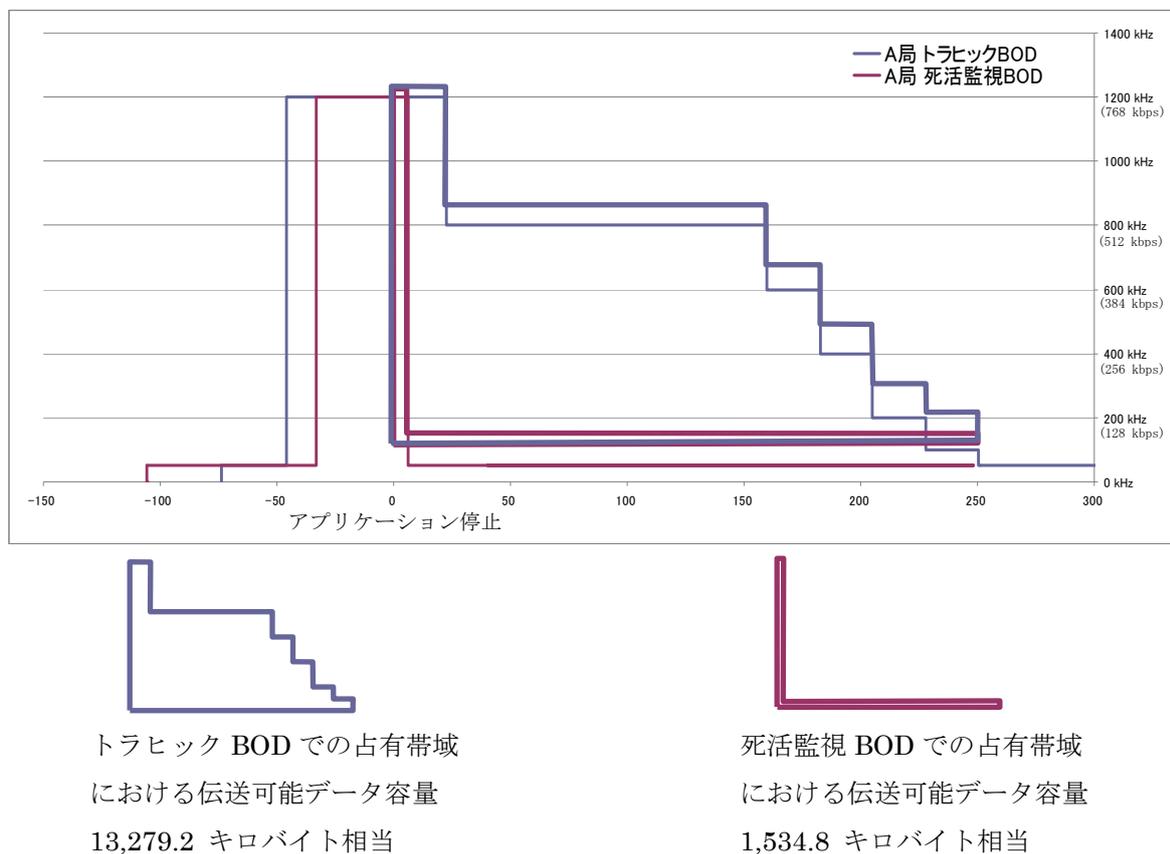


図 23 BOD 処理手順最適化アルゴリズム及び死活監視アルゴリズムの評価結果

上記図 23 で示した結果から、データ伝送有無を監視する機能と通達する手順、また通達された情報に基づき最適な帯域を割当または解放する手順が効率的に機能し、アプリケーションの停止後には速やかに占有する帯域を開放することが確認できた。本試験のケースでは、アプリケーション停止後の占有

帯域の割合が 88.4%の余剰帯域の削減を実現している。(占有帯域おける伝送可能容量で約 11,744 キロバイト相当)

上記の通り、研究開発目標を達成したことにより、災害時の利用局数やトラフィックが増加した状況であっても衛星回線の有効利用を図り最適な帯域割当を実現できることを確認した。

4 研究開発成果の社会展開のための活動実績

(1) 展示会

- [1] 東北大学電気通信研究所 末松・亀田研究室、マイクロウェーブ展 (MWE2013) 大学展示、横浜、Nov. 2013.

(2) 一般向け講演

- [1] 末松 憲治、“災害に強い無線通信ネットワークの構築 ～市町村や民間事業者と連携した研究成果～、” 宮城県主催「平成 25 年度地域高度情報化セミナー ～迅速な震災復興・再生期を支える ICT 利活用の動向～」、Feb. 2014.

(3) 他の協議会等との連携

- [1] 平成 24 年 10 月 26 日 第 2 回耐災害 ICT 協議会で研究開発に関してプレゼンテーションの実施
- [2] 平成 25 年 2 月 7～8 日 ITU-T Focus Group で論文の発表と研究開発に関してのパネル展示
- [3] 平成 25 年 2 月 26 日 第 1 回衛星通信技術の普及に向けたより一層の取組みのための調査検討会でプレゼンテーションを実施
- [4] 平成 25 年 3 月 25～26 日 耐災害 ICT 協議会にてプレゼン、展示・デモンストレーションを実施
- [5] 平成 25 年 3 月 27 日 衛星通信技術の普及に向けたより一層の取組みに関するシンポジウムでプレゼンテーションを実施
- [6] 平成 26 年 3 月 3 日 耐災害 ICT センター開所式においてパネル・ビデオ、IDU の展示
- [7] 平成 26 年 3 月 8 日 耐災害 ICT 協議会関連の事案で宮城県角田市にてデモンストレーションの実施

(4) 自治体への展開活動

- [1] 平成 25 年 4 月 25 日 第 1 回 研究推進 WG を山元町で開催および Step 0 のデモンストレーション実施
- [2] 平成 25 年 6 月 27 日 高知県土佐町を訪問し、南海トラフ対応への衛星通信ネットワークの適用をプレゼンテーション
- [3] 平成 25 年 9 月 17 日 岩手県総務部総合防災室主催「広域防災拠点整備アドバイザー会議」でプレゼン及びデモンストレーションを実施
- [4] 平成 25 年 9 月 27 日 高知県土佐町で Step 0 のデモンストレーションを実施
- [5] 平成 26 年 3 月 25 日 研究開発の成果発表を兼ねて山元町でデモンストレーションを実施

(5) 基本計画書の特記条件に係わる取り組み

① 具体的な評価項目等の提案

本研究で実証された成果はスカパーJSAT 社の衛星通信サービスでの応用を目指す。新サービスの企画立案や現行サービスの次世代開発において、本成果の有用性、効果、市場需要を勘案して機能実装について検討してきた。具体的には、次世代 EsBird システムの開発において仕様に盛り込み、実運用に供することを目指した。

② 独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) との連携等

NICT と本研究の代表機関の東北大学は、2012 年 1 月に包括的な「連携・協力に関する協定」および「耐災害性強化のための情報通信技術の研究に関する基本協定」を締結しており、これを基に課題ア

「マルチモード地球局技術」を中心に、NICT ワイヤレスネットワーク研究所スマートワイヤレス研究室と、研究開発運営委員会及び研究推進 WG を通して連携を実施した。特に平成 26 年 3 月 25 日に宮城県山元町で実施した実証実験では、NICT が開発したコグニティブ無線ルータを地上系回線として使用し、連携したネットワーク構築を実証した。

③ 研究開発運営委員会等の体制構築等

本研究開発の実施に当たっては、研究開発の方針、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方、研究開発のプロジェクト管理等について助言をいただくため、以下の外部の学識経験者、有識者、行政機関等で構成する研究開発運営委員会を設置し、年 3 回、合計 6 回の会合を実施した。

川崎 繁男 (独立行政法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)教授：委員長)

堀 豊 (宮城県 経済商工観光部 新産業振興課 技術副参事兼技術補佐(総括担当))

平野 晃*1 (岩手県政策地域部 地域振興室 地域情報化担当課長
(ICT地域振興支援センター副センター長))

古舘 慶之*2(岩手県政策地域部 地域振興室 地域情報化担当課長
(ICT地域振興支援センター副センター長))

原田 博司 (独立行政法人 情報通信機構(NICT)
ワイヤレスネットワーク研究所スマートワイヤレス研究室 研究室長)

豊嶋 守生 (独立行政法人 情報通信機構(NICT)
ワイヤレスネットワーク 研究所 宇宙通信システム研究室 研究室長)

浜 真一 (財団法人 自治体衛星通信機構 技術部長)

*1：平成 24 年度、*2：平成 25 年度

④ 国際展開、人材育成への取組等

国際展開としてはシステム・インフラ輸出活動を展開している。共同研究者であるスカパー JSAT 株式会社は 2010 年 10 月より、打ち上げ輸送サービス会社の三菱重工株式会社、衛星製造メーカの日本電気株式会社、三菱電機株式会社、衛星地球局メーカの日本無線株式会社、株式会社東芝（日本電気、三菱電機は衛星地球局も製造）、チリ共和国に拠点を有する商社の伊藤忠商事株式会社の 6 社とコンソーシアムを立ち上げ、チリ共和国に対し通信衛星の製造から打ち上げ、衛星通信システムの構築、運用、運用技術供与までパッケージで売り込む、システム・インフラ輸出活動を展開している。チリ共和国では、2010 年 2 月に発生した大地震による甚大な被害を受け、同年 4 月、地震災害時の警報インフラ整備計画と並行して自国衛星の調達を計画し、関係省庁でタスクフォースを組成、防災利用を核とした通信衛星と衛星通信システムの導入につき検討を進めている。また、トルコ共和国の政府高官訪日を機に、同様のシステム・インフラ輸出活動を現在行っている。

本研究開発による技術や方式を衛星地球局製造メーカに開示することで、製品、サービスに結実させ、上記体制によるシステム・インフラ輸出につなげられるよう、積極的な活動を展開する。

人材育成への取り組みとしては、研究代表者、共同研究者が所属する大学あるいは高専の研究室に配属される学生が研究開発に積極的に参加し、衛星通信をはじめとする無線通信の技術者として、人材育成を図った。さらに、本研究開発成果を、積極的に国内外の学会、論文誌に投稿することで、国内外に本成果をアピールするとともに、発表する学生の技術、研究能力の向上を図った。さらに、毎年 12 月に横浜で開催される電子情報通信学会 APMC 国内委員会が主催する Microwave Workshops and Exhibition (MWE) の大学展示に出展し、マイクロウェーブ展に参加する企業、研究機関等へもアピー

ルするとともに、学生のスキルアップも図った。

⑤ 研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術については、原則希望するメーカーに公開することで、実用に向けた普及啓発を行ってきた。

山元町において 2 回行った実証実験については、東北大学の Website などによるプレスリリースを実施し、新聞社やテレビ局など各種報道機関からの取材を受けた。また、学会発表による成果報告を積極的に実施した。

5 研究開発成果の社会展開のための計画

上記 4 研究開発成果の社会展開のための活動実績項で記載した活動の中で、自治体衛星通信機構 (LASCOM) の実衛星回線での運用実施の要望が強いことが判明した。今後の社会展開・社会実装に向けては、実証実験が必要であると認識し、当面以下の検証・実証実験を計画する。

- (1) 実 LASCOM 衛星対応装置: 実衛星接続のための信頼性確認 (6 月末)
- (2) 上記(1) 装置の技術適合申請・認証 (7 月中旬)
- (3) EsBird 及び LASCOM 対応のマルチモード地球局技術の IDU の開発
(機能確認 7 月下旬完了目標、8 月下旬フィールド検証終了目標)
- (4) 成果発表会でのマルチモード地球局のデモンストレーションの実施

また、EsBird/LASCOM 両対応のマルチモード地球局の製品化に向けて、本研究開発の成果・ノウハウ等を製造メーカー等に開示し、技術支援を実施するとともに、マルチモード地球局の採用に向けた働きかけを LASCOM 及び自治体等の関係者に実施する。

6 査読付き誌上発表論文リスト

該当なし

7 査読付き口頭発表論文 (印刷物を含む) リスト

- [1] K. Konno, Q. Chen, K. Sawaya, S. Kameda, N. Suematsu, "Reflectarray Design by Induced Electromotive Force Method," IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, June 11, 2014.
- [2] N. Suematsu, S. Kameda, H. Oguma, M. Sasanuma, S. Eguchi, K. Kuroda, "Multi-Mode SDR VSAT against Big Disasters," 43rd European Microwave Conference (EuMC2013), NNC Nuremberg, Germany, Oct. 2013 (招待講演).
- [3] D. Banda, O. Wada, S. Kameda, N. Suematsu, K. Tsubouchi, "Direct RF Under Sampling Reception Method with Lower Sampling Frequency," 2013 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2013), Seoul, Korea, Nov. 2013.
- [4] K. Konno, Q. Chen, S. Kameda, N. Suematsu, "Design of Finite FSS-backed Reflectarray by Using BDP-CG Method," International Workshop on Antenna Technology, March 2014.

8 その他の誌上発表リスト

- [1] N. Suematsu, S. Kameda, H. Oguma, M Sasanuma, S. Eguchi, K. Kuroda, S. Ueno, "Satellite

Communication Networks Valid for Disaster Recovery," IEEE Satellite and Space Communications (SSC) Technical Committee, News Letter, vol.23, no.1, June 2013.

9 口頭発表リスト

- [1] 末松 憲治、亀田 卓、小熊 博、笹沼 満、江口 茂、黒田 幸明、“災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発 (1) –研究開発のねらい–”、信学技報、SAT2012-48 (那覇市) (平成 25 年 2 月 21 日)
- [2] 末松 憲治、亀田 卓、高木 直、坪内 和夫、上野 晋、中根 秀樹、吉川 憲昭、小熊 博、内山 浩、“災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発 (2) –マルチモード小型地球局の設計コンセプト–”、信学技報、SAT2012-49 (那覇市) (平成 25 年 2 月 21 日)
- [3] 末松 憲治、亀田 卓、高木 直、坪内 和夫、中根 秀樹、木戸 参二、青木 誠、内山 浩、“災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発 (3) –マルチモード小型地球局の制御方式の検討–”、信学技報、SAT2012-50 (那覇市) (平成 25 年 2 月 21 日)
- [4] 末松 憲治、亀田 卓、高木 直、坪内 和夫、藤木 孝司、青木 誠、吉川 憲昭、内山 浩、“災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発 (4) –マルチモード小型地球局の衛星回線設計法の検討–”、信学技報、SAT2012-51 (那覇市) (平成 25 年 2 月 21 日)
- [5] 今野 佳祐、陳 強、澤谷 邦男、亀田 卓、末松 憲治、“起電力法によるリフレクタレー設計法の一検討”、信学技報、AP2012-164 (神奈川県湯河原町) (平成 25 年 3 月 14 日)
- [6] 今野 佳祐、陳 強、澤谷 邦男、亀田 卓、末松 憲治、“起電力法を用いた線状素子リフレクタレーの設計、” 信学総大、B-1-138 (岐阜市) (平成 25 年 3 月 21 日)
- [7] 小熊 博、大場 由太、小泉 敦、亀田 卓、末松 憲治、高木 直、坪内 和夫、“VSAT を用いた避難者情報管理システムの基礎検討、” 信学総大、B-3-6 (岐阜市) (平成 25 年 3 月 21 日)
- [8] D. Banda, O. Wada, T. T. Ta, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, "Zero IF Direct RF Under Sampling Reception with Lower Sampling Frequency," IEICE General Conference, B-17-30 (岐阜市) (平成 25 年 3 月 21 日)
- [9] バンダ ダリソー、和田 平、タ トアン タン、谷藤 正一、亀田 卓、末松 憲治、高木 直、坪内 和夫、“低サンプリング周波数を用いたダイレクト RF アンダーサンプリング受信方式、” 信学技報、SR2013-11、(広島市) (平成 25 年 5 月 24 日)
- [10] 末松 憲治、亀田 卓、小熊 博、笹沼 満、江口 茂、黒田 幸明、“災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発、” 第 11 回全国高専テクノフォーラム (名古屋市) (2013 年 8 月 20 日)
- [11] D. Banda, O. Wada, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, “Direct RF Under Sampling Reception with Lower Sampling Frequency,” 信学ソ大、C-2-21 (福岡市) (平成 25 年 9 月 17 日)
- [12] 中根 秀樹、吉川 憲昭、青木 誠、亀田 卓、末松 憲治、“Web トラヒックにおける DAMA 帯域割当制御の一考察、” 信学ソ大、B-3-26 (福岡市) (平成 25 年 9 月 20 日)
- [13] 黒田 幸明、上野 晋、中根 秀樹、亀田 卓、末松 憲治、“マルチモード小型地球局の適用法に関する考察、” 信学ソ大、B-3-27 (福岡市) (平成 25 年 9 月 20 日)
- [14] 藤木 孝司、上野 晋、吉川 憲昭、亀田 卓、末松 憲治、“マルチモード小型地球局の回線設計に基づく設計法に関する考察、” 信学ソ大 (福岡市) (平成 25 年 9 月 20 日)
- [15] 坂下 剛誠、中根 秀樹、辻 久雄、亀田 卓、末松 憲治、“マルチモード小型地球局の回線制御に関する考察、” 信学ソ大、B-3-29 (福岡市) (平成 25 年 9 月 20 日)

- [16] N. Suematsu, S. Kameda, H. Oguma, M. Sasanuma, S. Eguchi, O. Nakane, "Satellite Communication Networks Valid for Disaster Recovery," 信学技報、SAT2013-38 (福岡市) (平成 25 年 10 月 24 日)
- [17] 今野 佳祐、陳 強、“高次の CBFM を用いた誘電体近傍アンテナの数値解析”、信学技報、EST2013-77、(仙台市) (平成 25 年 10 月 25 日)
- [18] 小熊 博、小泉 敦、亀田 卓、末松 憲治、高木 直、坪内 和夫、“災害時における VSAT 経由の避難者情報管理システムの検討”、日本災害情報学会学年大会 (群馬県桐生市) (平成 25 年 10 月 26 日)
- [19] 亀田 卓、小熊 博、笹沼 満、江口 茂、黒田 幸明、末松 憲治、“災害時に有効な衛星通信ネットワーク ~ 地上系・衛星系融合マルチモード小型地球局の開発 ~、” 信学技報、RCS2013-244 (高松市) (平成 25 年 12 月 20 日)
- [20] 小泉 敦、 小熊 博、 亀田 卓、 末松 憲治、 高木 直、 坪内 和夫、 "災害時に有効な避難者情報管理システムの開発、" 電気学会通信研究会、CMN-14-007 (那覇市) (平成 26 年 1 月 23 日)
- [21] N. Suematsu, D. Banda, O. Wada, T. T. Ta, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, "Direct RF under sampling receiver for portable VSAT application", Thailand-Japan MicroWave (TJMW2013) (タイ・バンコク) (平成 25 年 12 月) (招待講演)
- [22] 横川佳、今野佳祐、陳強、亀田卓、末松憲治、“対数周期ダイポールアレー素子を用いたリフレクタアレーの設計”、信学技報、AP2013-185 (福島県郡山市) (平成 26 年 3 月 10 日)
- [23] 今野 佳祐、陳 強、“任意のブロック分けにおける高次の CBFM の精度に関する一検討”、信学総大 B-1-130 (新潟市) (平成 26 年 3 月 19 日)
- [24] 横川 佳、今野 佳祐、陳 強、亀田 卓、末松 憲治、“対数周期ダイポールアレー素子を用いたリフレクタアレーの広帯域化”、信学総大 B-1-145 (新潟市) (平成 26 年 3 月 19 日)
- [25] 松浦 草太、小熊 博、小泉 敦、亀田 卓、末松 憲治、“Android タブレットによる次世代 VSAT 経由の避難者情報管理システムの開発”、信学総大、B-3-30 (新潟市) (平成 26 年 3 月 20 日)

10 出願特許リスト

- [1] 発明者：末松 憲治、亀田 卓、高木 直、坪内 和夫、バンダ ダリソー
 発明の名称：可変ビットレート対応 RF フロントエンド
 申請国：日本、特願 2013-39311
 申請年月日：平成 25 年 2 月 28 日
- [2] 発明者：上野晋、中根秀樹、吉川憲昭、青木誠、笹沼満、内山浩
 発明の名称：衛星システムの制御方法
 申請国：日本、特願 2013-48235
 申請年月日：平成 25 年 3 月 11 日
- [3] 発明者：中根秀樹、上野晋、吉川憲昭、青木誠、笹沼満、内山浩
 発明の名称：衛星システムの制御方法
 申請国：日本、特願 2013-48236
 申請年月日：平成 25 年 3 月 11 日
- [4] 発明者：末松 憲治、亀田 卓、高木 直、坪内 和夫、バンダ ダリソー
 発明の名称：サンプルホールド回路および高周波受信装置

申請国：日本、特願 2014-43413

申請年月日：平成 26 年 3 月 6 日

[5] 発明者：中根秀樹、上野晋、藤木孝司、吉川憲昭、坂下剛誠、黒田幸明

発明の名称：パケット遅延時間測定装置、パケット遅延時間測定方法、パケット遅延時間測定プログラム及び通信ノード

申請国：日本、特願 2014-63071

申請年月日：平成 26 年 3 月 26 日

[6] 発明者：中根秀樹、上野晋、藤木孝司、吉川憲昭、坂下剛誠、黒田幸明

発明の名称：地球局装置

申請国：日本、特願 2014-73097

申請年月日：平成 26 年 3 月 31 日

[7] 発明者：中根秀樹、上野晋、藤木孝司、吉川憲昭、坂下剛誠、黒田幸明

発明の名称：通信ノード、帯域割当方法及び帯域割当プログラム

申請国：日本、特願 2014-89896

申請年月日：平成 26 年 4 月 24 日

1 1 取得特許リスト

無

1 2 国際標準提案・獲得リスト

無

1 3 参加国際標準会議リスト

[1] ITU-T Focus Group on Disaster Relief Systems, Network Resilience and Recovery、東京都、平成 25 年 2 月 7～8 日

1 4 受賞リスト

無

1 5 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

[1] “避難所で簡易に使える衛星通信技術—宮城県山元町でデモンストレーション—”（平成 26 年 4 月 25 日）

[2] “携帯電話回線と衛星回線を簡単に切り替えられる通信システムを開発 — 宮城県山元町において災害時に有効な衛星通信ネットワークの実証実験を実施 —”（平成 26 年 3 月 18 日、ホームページ掲載：平成 26 年 3 月 25 日）

(2) 報道掲載実績

[1] “簡単操作で衛星通信”（河北新報・平成 25 年 4 月 26 日朝刊）

[2] “災害に強い“新”通信システム 東北大学が開発”（仙台放送・平成 26 年 3 月 25 日・スーパー

ニュース)

- [3] “大規模災害時は衛星回線で 東北大などシステム開発” (河北新報・平成 26 年 3 月 26 日朝刊)
 [4] “東北大、携帯電話回線と衛星回線を簡単に切り替えられる通信システムを開発” (日本経済新聞
 ホームページ プレスリリース・平成 25 年 3 月 18 日)

研究開発による成果数

	平成 24 年度	平成 25 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0 件 (0 件)	4 件 (4 件)	4 件 (4 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	1 件 (1 件)
口頭発表数	8 件 (0 件)	1 7 件 (1 件)	2 5 件 (1 件)
特許出願数	3 件 (0 件)	4 件 (0 件)	7 件 (0 件)
特許取得数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
国際標準提案数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
国際標準獲得数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
受賞数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
報道発表数	0 件 (0 件)	2 件 (0 件)	2 件 (0 件)
報道掲載数	0 件 (0 件)	4 件 (0 件)	4 件 (0 件)

注 1 : 各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2 : 「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等 (Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む)を計上する。

注 3 : 「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集 (電子媒体含む)に掲載された論文等 (ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。)を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等 (電子情報通信学会技術研究報告など)は、「口頭発表数」に分類する。

注 4 : 「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等 (査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む)を計上する。

注 5 : PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分 1 件として記入。(何カ国への出願でも 1 件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注 6 : 同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数

(印刷物を含む)」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。