

4-2 ETS-9 通信制御システムと固定・可変ビームミッション管制システム

4-2 ETS-9 Communication Control System and Fixed/Variable Beam Communication Subsystem Control System

内田 繁 草野 正明 須永 輝巳 角田 聡泰 坂井 英一 堀江 延佳

UCHIDA Shigeru, KUSANO Masaaki, SUNAGA Terumi, TSUNODA Toshiyasu, SAKAI Eiichi, and HORIE Nobuyoshi

本稿では、デジタル化／フレキシブル化に対応した次世代通信衛星の衛星搭載機器を効果的に管理・制御する衛星通信管制システム技術の確立を目的に開発・試験を進めている、ETS-9 固定・可変ビーム通信サブシステム向けの衛星通信管制システムについて、研究開発内容及び試験状況を説明する。

This paper describes the research and development status and test status of the satellite communications subsystem control system for the Fixed / Variable beam communication subsystem on the Engineering Test Satellite-9 (ETS-9), which effectively manages and controls onboard digitalized / flexible equipment for next-generation communications satellites.

1 まえがき

近年、ハイスループット衛星 (HTS) の導入により衛星通信システムの通信容量が増加している [1]。HTS の技術的課題は、通信容量の更なる向上とその効率的な利用である。これを一つの目的として、日本では、技術試験衛星 9 号機 (ETS-9) プロジェクトが実施され、Ka バンド／大容量通信技術とデジタルフレキシブルペイロード技術の検証が進められている [2]。

ETS-9 では通信の大容量化と通信のフレキシブル化に向けた技術開発を進めることが求められていることから、総務省・NICT が開発する固定・可変ビーム通信サブシステム (以降、固定・可変ビームと略する)、光ファイダリンク通信サブシステム及び共通部通信サブシステムを搭載する。

従来の HTS 通信ペイロードは、複数ビームの各ビームに対して固定通信容量としているが、ETS-9 に搭載される固定・可変ビームはビームごとに Ka 帯の通信容量を柔軟に変更できるデジタルチャネライザ、柔軟にエリアを変更できるデジタルビームフォーマ (DBF) を備えており、衛星・通信ペイロードの運用期間中の通信需要の変化に対応可能である。

本稿では、次世代通信衛星のデジタル化／フレキシブル化に対応する衛星通信管制システム技術の確立を目的に開発・試験を進めている ETS-9 固定・可変ビーム向けの衛星通信管制システムについて、これらの研究開発状況を説明する。

2 衛星通信管制システムの研究開発 [3][4]

2.1 地上・衛星統合ネットワーク管理・制御システム構成検討

衛星通信における多様なユースケースに対して、通信トラヒックの変化や気象の変動の分析結果に応じた最適かつ柔軟な衛星通信システムのリソース制御が重要である。

例えば、欧州では衛星 5G 連携の開発プログラムである SaT5G にて、衛星ネットワークへの SDN (Software Defined Network) / NFV (Network Function Virtualization) 導入や統合ネットワークマネージメント・オーケストレーションを調査の柱 (Research Pillars) として挙げている。これらを実現するには、地上のネットワーク機器のみならず、衛星の通信リソースを含め統合的かつ柔軟に制御する必要がある。図 1 に筆者らが想定する地上・衛星統合ネットワーク管理・制御システムの構成を示す。

本システム構成において、NOC (Network Operation Center) では、BSS (Business Support Systems) / OSS (Operation Support Systems) や NMS (Network Management System) からの要求や情報を基にシステムリソースマネージャにて通信トラヒックの変化や気象の変動等を分析・考慮した上で、衛星通信に関わる地上ネットワーク機器 (Gateway、ハブ、ルータ、スイッチ等) と衛星の通信リソースを SDN コントローラ経由で管理・制御する。一方、SOC (Satellite Operation

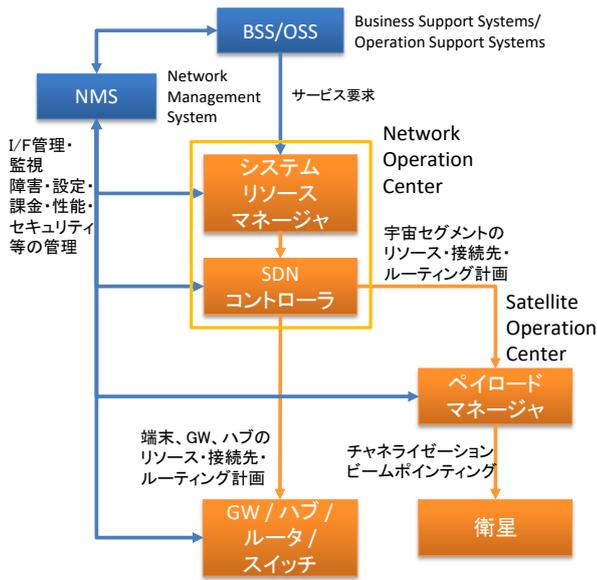


図1 地上・衛星統合ネットワーク管理・制御システム構成

Center) では、NOC からの要求に従い、衛星の通信ペイロードへの設定変更を使用するコマンドを自動的に生成/送信するとともに、テレメトリで受信した通信ペイロードの状態・情報を必要に応じて NOC に通知する。

2.2 ETS-9 固定・可変ビーム向け衛星通信管制システム概要

2.1 に記載する地上・衛星統合ネットワーク管理・制御システムの将来的な実現を目標に、ETS-9 実証実験に向けて各ミッション機器を柔軟に管理・制御する衛星通信管制システムの開発・試験を進めている。その中で筆者らは、固定・可変ビームを管理・制御する固定・可変 SOC 及び NOC の衛星通信システム制御機能の開発を担当している。NOC には光ファイダリンク通信サブシステム及び共通部通信サブシステムを管理・制御する光・共通部 SOC の制御機能も含まれるが、本稿では詳細を割愛する。

固定・可変ビーム関連の ETS-9 衛星通信管制システム構成を図 2 に示す。

2.3 固定・可変 SOC/NOC 開発

図 2 に示すシステム構成において、NOC は運用計画作成機能部 (以降では NOC-P と称す) と衛星通信システム制御機能部 (以降では NOC-C と称す) を備えており、それぞれ 2.1 (図 1) 記載のシステムリソースマネージャと SDN コントローラの一部機能に相当する。

本システムにおける NOC-C 及び固定・可変 SOC の構成図・外観を図 3 に示す。図 3 は NOC-C 及び固定・可変 SOC を同一拠点に配置する場合に機器を集約し



図2 ETS-9 衛星通信管制システム構成 (固定・可変ビーム関連)

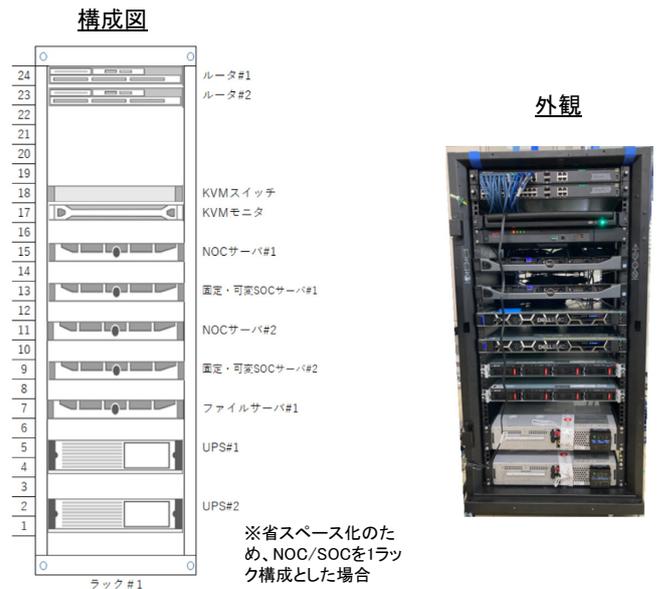


図3 NOC-C 及び固定・可変 SOC 構成図・外観

た構成であるが、NOC-C と固定・可変 SOC 間は REST API (HTTP プロトコル/JSON フォーマットボディ) にてインターフェースを取っており、運用形態に応じて NOC と固定・可変 SOC の位置を物理的に分けて配置することも可能である。

また、本システムにおいて、NOC-P は別計算機により構成し、NOC-P と NOC-C 間は SFTP (SSH File Transfer Protocol) による JSON フォーマットファイル授受によりインターフェースを取っている。

本開発において特徴となる、衛星運用計画変更時のコマンド生成・送信の自動化及び衛星運用計画変更処理の流れについて、以下に詳細を説明する。

(1) コマンド生成・送信の自動化

従来の通信衛星システムにおいては、衛星運用計画の変更に伴い衛星の設定等を変更する場合、運用手順 (SOP : Satellite Operation Procedure) をあらかじめ定義し、SOC オペレータが SOP を実行することにより、あらかじめ定義されたコマンドの送信、テレメトリ受信・解析が行われていた。

本開発では、2.1 に記載する将来的な SDN/NFV へ

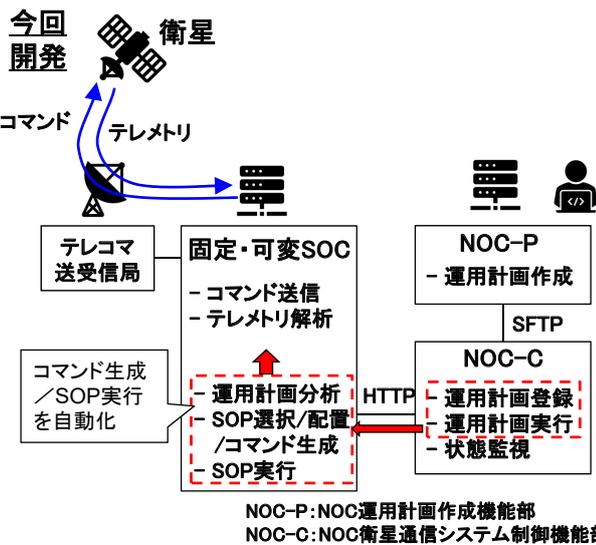
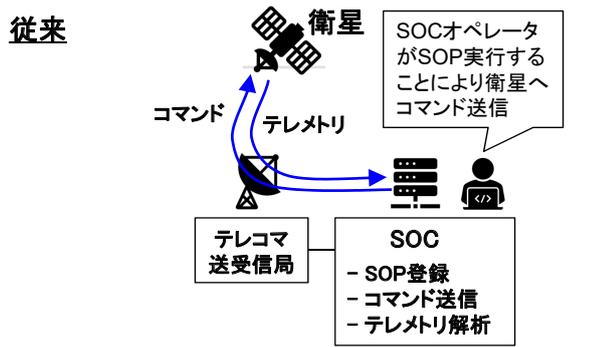


図4 コマンド生成・送信の自動化

の対応を考慮し、通信ペイロードに対する高頻度の運用計画変更に対応する仕組みとして、固定・可変SOCに、NOCから渡される運用計画情報を分析する機能、運用計画情報の分析結果に基づきSOPの選択/配置を行い、各SOPで送信するコマンドのパラメータを自動的に書き換え、新たなコマンドを生成する機能、選択/配置したSOPを自動実行する機能を追加した(図4)。

具体的には、想定される様々な制御内容を部品化した単位でSOPに定義し、図5に示すように、実行内容に応じて自動でSOPの選択と順序配置後、パラメータ値を設定することでコマンドを生成する。

(2) 運用計画変更処理の流れ

ETS-9衛星通信管制システムにおける固定・可変ビームの運用計画変更処理の流れについて詳細を説明する。

NOC-Pでは通信トラヒックの変化や気象の変動等を考慮の上、固定・可変ビームのUplink/Downlinkビーム設定情報(フィーダリンク/ユーザーリンク情報、可変ビームの場合は励振係数関連情報を含む)とUplink/Downlinkビーム間接続設定情報を固定・可変

| 処理項目 | 処理内容 | 判断情報 |
|------------|--------------------------|--|
| SOP選択 | 判断情報に基づき、各運用実施に必要なSOPを選択 | ①実験ビームモード(固定or可変) ②実験ビームモード切替え ③運用モード移行(ミッションオフ⇄スタンバイ⇄実験スタンバイ) ④使用ルート(機器接続構成) ⑤使用ルート切替え ⑥使用ビーム ⑦設定変更(実験スタンバイモード中) ⑧送信ONビーム(実験実施モード移行) ⑨設定変更(送信中) ⑩送信OFFビーム(実験スタンバイモード移行) ⑪実験終了(スタンバイモード移行) |
| SOP配置 | 選択されたSOPを順番に配置 | ⑫実行タイミング ⑬SOP配置の順番 |
| SOPパラメータ設定 | 各SOPに必要なパラメータを設定 | ⑭設定テーブルパラメータ ⑮その他のパラメータ |

図5 コマンド生成の自動化の仕組み

```

{
  "root": {
    "header": {
      "data_type": "OPEPLAN",
      "satellite_name": "ETS-9",
      "ss_code": "NOC-P",
      "cal_flag": false,
      "creation_time": "2023-01-12T08:50:00Z"
    },
    "data": {
      "ope_plan_id": "PLN01120900",
      "ope_plan_info": {
        "exe_time": "2023-01-12T09:00:00Z",
        "ope_resource": "var",
        "co_ope_plan_id": "PLN01120901",
        "check_flag": "need"
      },
      "fix_var_info": {
        "uplink_beam_info": [
          {
            "uplink_beam_index": 0,
            "uplink_kind": "Beam1",
            "uplink_var_beam_id": "VRU00000015",
            "uplink_degenerate_flag": "normal",
            "uplink_polarization": "RHCP",
            "uplink_band_lower_limit": 29500, "uplink_band_upper_limit": 29625,
          }
        ],
        "downlink_beam_info": [
          {
            "downlink_beam_index": 0,
            "downlink_kind": "Beam1",
            "downlink_var_beam_id": "VRD00000007",
            "downlink_degenerate_flag": "normal",
            "downlink_polarization": "LHCP",
            "downlink_band_lower_limit": 19700, "downlink_band_upper_limit": 19825,
          }
        ],
        "beam_connect_info": [
          {
            "connect_id": 0,
            "uplink_beam_index": 0,
            "uplink_band_lower_limit": 29500, "uplink_band_upper_limit": 29600,
            "downlink_beam_index": 0,
            "downlink_band_lower_limit": 19700, "downlink_band_upper_limit": 19800,
            "gain_control": 0.0,
          }
        ]
      }
    }
  }
}
    
```

図6 運用計画情報例

ビームの運用計画情報として作成する。JSONフォーマット形式の運用計画情報の一例を図6に示す。この運用計画情報をファイル化し、SFTPプロトコルにてNOC-Cに渡す。次に、NOC-Cは、リソースの整合性をチェックした上で、この運用計画情報をほぼ同様なフォーマットでHTTPプロトコルにて固定・可変SOCに渡す。

NOCでは衛星のUplink/Downlinkビームを通信リソースとして扱うことができ、実際の衛星コマンド送信において必要となる衛星機器の詳細な仕様(設定テーブル情報等)や衛星機器の状態(機器異常等)の管

4 ETS-9 地上系設備の研究開発

理はSOC側で隠蔽し、NOCでは衛星機器自体を管理するのではなく、ビームの設定情報やビームの障害情報等により管理できる。これにより、衛星を含めた衛星通信ネットワーク機器の統合管理が容易となる。一方、固定・可変SOCでは、(1)に記載のとおり、コマンドを自動的に生成する。

本手順により生成されたコマンドは、図2に示す固定・可変ビーム関連のETS-9衛星通信管制システムでは衛星バス用SOC(バスSOC)、テレコマ送受信局、衛星バスを経由して固定・可変ビーム通信サブシステムに送信し、フレキシブルな設定変更を実現する。

2.4 固定・可変SOC/NOC試験状況

衛星システム試験におけるPFT(Proto-Flight Test)に向け、固定・可変SOC/NOCを運用場所である鹿島宇宙技術センター(NICT施設)に設置し、地上総合評価として初期運用システムまたは定常運用システム(バスSOC)、NICT担当機器(NOC-P、光・共通部SOC)とのオンライン接続により以下に示す試験を実施済みである。鹿島宇宙技術センターへの固定・可変SOC/NOCの設置状況を図7に示す。

(1) 初期運用システムネットワークシステム試験

初期運用システムの拠点と鹿島宇宙技術センターの



図7 固定・可変SOC/NOCの設置状況

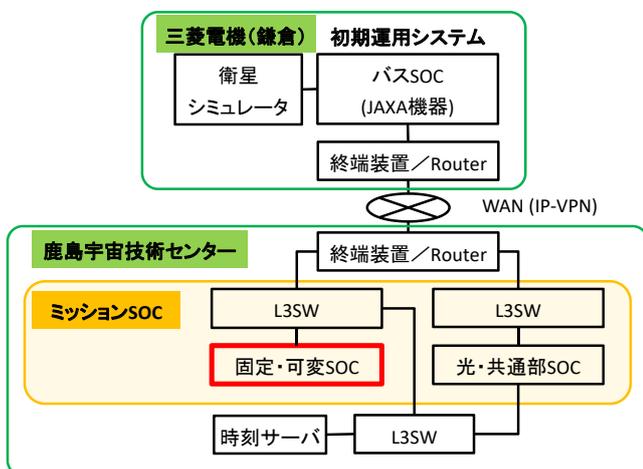


図8 初期運用システムインターフェース試験構成

拠点間を結ぶIP-VPNを介した機器間疎通確認試験を実施した。

(2) 初期運用システムインターフェース試験

衛星搭載した固定・可変ビームを監視制御するため、固定・可変SOCが扱うテレメトリ・コマンド(テレコマ)は、初期運用フェーズでは初期運用システム(バスSOC)を介して伝送する。そこで、バスSOC側では衛星搭載機器のテレコマ送受信動作を模擬する衛星シミュレータ(初期運用システムの機器)を利用し、バスSOC-固定・可変SOC間インターフェースの整合性を確認した。試験構成を図8に示す。

固定・可変SOC側での試験結果確認の一例として、テレメトリ受信画面を図9に、コマンド送信画面を図10に示す。

(3) H/W 接続評価

衛星搭載した固定・可変ビームに対して、運用中にビームの周波数帯域幅やビーム位置/形状を変更する設定を行うためには、NOC-PからNOC-Cへ運用計画情報を入力し、衛星通信システム内のリソース状態との整合を確認した後、運用計画情報を固定・可変SOCへ設定することで、固定・可変ビームを制御するコマンド群を自動生成する。自動生成したコマンド群は、

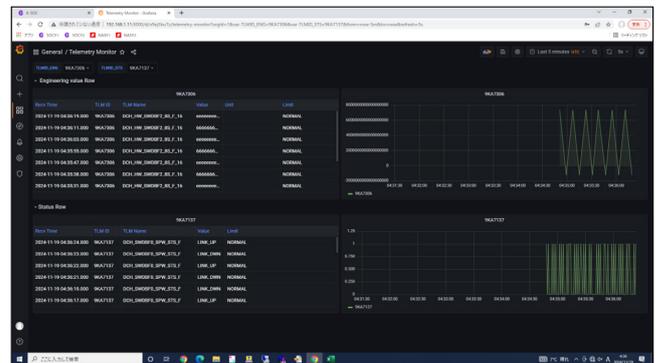


図9 テレメトリ受信画面

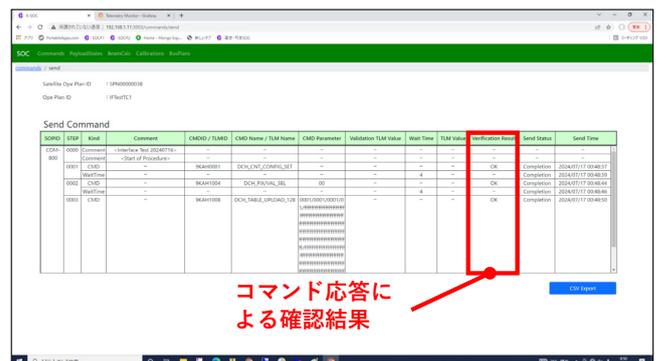


図10 コマンド送信画面

NOC-P / NOC-C からの実行要求を受けると固定・可変ビームに対する制御が実行される。

H/W 接続評価では、このような一連の衛星通信システムの動作を各ミッションSOC及びNOCを接続して意図した制御ができることを検証した。H/W 接続評価構成を図 11 に示す。

(4) 初期運用システムインテグレーション試験

初期運用システムと固定・可変SOCが関わる代表的な運用フローについて、問題無く連携動作できることを確認した。試験構成を図 12 に示す。

(5) 定常運用システムネットワークシステム試験・インターフェース試験・インテグレーション試験

ETS-9の定常運用段階において適用される定常運用システムとの試験である。前述の初期運用システムとの試験と同様な各試験について、定常運用システムの拠点と鹿島宇宙技術センターの拠点間を結ぶIP-VPNを介し実施した。

3 おわりに

本稿では、ETS-9に搭載される固定・可変ビーム通信サブシステムを柔軟に制御することを可能とする衛星通信管制システムである固定・可変SOC/NOCについて、研究開発内容及び試験状況を説明した。今後、この固定・可変SOC/NOCを用いてETS-9による軌道上検証を進めていく予定である。

謝辞

本研究の一部は、総務省「電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254)」の「多様なユースケースに対応するためのKa帯衛星の制御に関する研究開発」で実施しました。また、本研究開発の遂行にご指導いただいたNICTに感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1 High Throughput Satellites: On Course for New Horizons, A Euroconsult Executive Report, 2014.
- 2 A. Miura et al. "Activity of R&D and In-Orbit Verification by Engineering Test Satellite 9 on Communications Technology of Next Generation HTS," Joint Conference on Satellite Communications (JC-SAT), SAT2018-56, Oct. 2018.
- 3 内田 繁, 堀江 延佳, 草野 正明, 須永 輝巳, 角田 聡泰, 中本 成洋, 坂井 英一, "ETS-9 衛星通信管制システムの開発状況," 第 68 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2024-1C07, Nov. 2024.
- 4 内田 繁, 草野 正明, 須永 輝巳, 角田 聡泰, 坂井 英一, 堀江 延佳, "ETS-9 衛星通信管制システムの試験状況," 第 69 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2025-2I10, Nov. 2025.

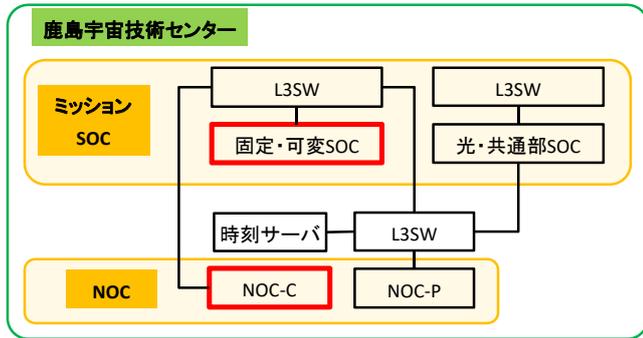


図 11 H/W 接続評価構成

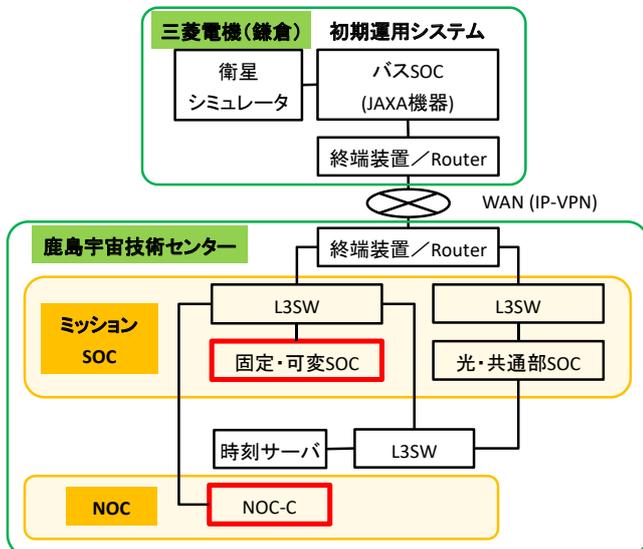


図 12 初期運用システムインテグレーション試験構成



内田 繁 (うちだしげる)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
副センター長
広帯域無線通信システム、ホームネットワーク、衛星通信システム



草野 正明 (くさの まさあき)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
課長代理
データ通信技術、移動体通信システム、衛星通信システム



須永 輝巳 (すなが てるみ)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
課長代理
博士(工学)
移動体通信技術、衛星搭載機器

【受賞歴】
1997年 電子情報通信学会 平成9年度学術
奨励賞



角田 聡泰 (つのだ としやす)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
課長代理
衛星搭載用通信機器



坂井 英一 (さかい えいいち)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
アンテナ／望遠鏡制御システム、地球観測
システム、衛星搭載通信システム



堀江 延佳 (ほりえ のぶよし)

三菱電機株式会社
防衛システム事業部
防衛宇宙事業推進部 システム技術課
音声コーデック、デジタル信号処理、
衛星通信システム