

## 4-7 光・RF 計測データ収集システム

### 4-7 Optical and RF Measurement Data Collection System

鈴木 健治 Koley Dimitar 川崎 和義 谷内 宣仁 高橋 卓 三浦 周

SUZUKI Kenji, KOLEV Dimitar, KAWASAKI Kazuyoshi, TANIUCHI Nobuhito, TAKAHASHI Takashi, and MIURA Amame

技術試験衛星 9 号機 (ETS-9) を用いて、ETS-9 に搭載する光通信機器及び Ka 帯通信機器の機能性能確認実験を始めとして各種衛星通信実験を実施する予定である。その中で光・RF フィーダリンク回線について途切れなく回線を確立させるためにサイトダイバーシティを活用することを検討している。そのため雲の動きや降雨状況を推定するための計測データを収集する光・RF 計測データ収集システムを構築した。実際の運用において、サイトダイバーシティ効果を確認するため、光・RF 計測データ収集システムで収集したデータを用い、雲や降雨時にどの局を選択すべきかを決定する分析を行う予定である。本稿はこの光・RF 計測データ収集システムについて報告する。

The National Institute of Information and Communications Technology (NICT) plans to use the Engineering Test Satellite-9 (ETS-9) to carry out various satellite communications experiments, including an experiment to verify the functionality and performance of the optical and Ka-band communications equipment to be installed on the ETS-9. In order to establish an uninterrupted optical and RF feeder link line, the National Institute of Information and Communications Technology (NICT) is considering the use of site diversity. To this end, an optical and RF measurement data collection system has been developed to estimate cloud movements and rainfall conditions, and measurement data is being continuously accumulated and used to advance research.

#### 1 まえがき

近年、世界的にハイスループット衛星 (High Throughput Satellite: HTS) と呼ばれるマルチビーム大容量通信静止衛星や低軌道衛星群によるメガコンステレーションなど多様な非地上系ネットワーク (Non-Terrestrial Network: NTN) が登場し、地上系通信網から NTN へ拡張した 3 次元的なネットワークの構成が期待されている。我が国でも次世代 HTS の技術実証に向け、技術試験衛星 9 号機 (Engineering Test Satellite 9: ETS-9) の開発が進められている [1]。ETS-9 では世界市場においても競争力のあるミッション技術の獲得を目指し、Ka 帯周波数及び光通信による衛星通信の大容量化、チャネライザ/デジタルビームフォーマによるフレキシブル化、通信システムの統合的な運用制御を開発している。ETS-9 に搭載する光通信機器及び Ka 帯通信機器の機能性能確認実験を始めとして各種衛星通信実験を実施する予定である。その中で光・RF (RF: 電波 Ka 帯) フィーダリンク回線について図 1 のとおり複数局準備することによって使える局を選択するサイ

トダイバーシティを構成し、光回線の場合雲で遮られることによる回線断、RF 回線の場合豪雨による降雨減衰による回線断が生じても途切れなくするため、雲の動きや降雨状況を推定するための計測データを収集する光・RF 計測データ収集システムを開発した [2]。計測データを継続的に蓄積し、これらを用いてサイトダイバーシティの研究を進めて、例えば 90 分後にフィー

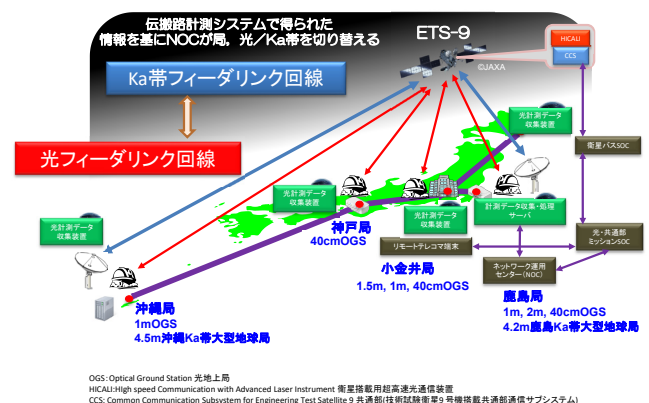


図 1 光・RF サイトダイバーシティ全体像

ダリンク局としてどの局を選択すべきか推定し、実際の運用においてサイトダイバーシティ効果を実証する予定である。光回線がフィーダリンク局として使えば広帯域(アップリンク、ダウンリンク共に 1 Gbps)な回線を確保できるが、光回線が使えない場合は RF 回線を利用することとなる。本稿はこの計測データ収集システムについて報告する。

## 2 光・RF 計測データ収集システム

全国 5 か所:大樹町(北海道広尾郡大樹町)、鹿島(茨城県鹿嶋市)、NICT 本部(東京都小金井市)、神戸(兵

庫県神戸市)、沖縄(沖縄県国頭郡恩納村)に光計測データ収集装置を設置した。沖縄の光計測データ収集装置の外観を図 2 に示す。光計測データ収集装置では可視光全天カメラによる  $640 \times 480$  ピクセルのカラー画像(Skypot)、近赤外カメラによる全天画像、赤外放射計による天頂及び東西南北の全 5 方向をカバーする雲量・雲高計(ICS-1)と高分解能(全天を  $16 \times 20$  分割)雲量・雲高計(ICS-2)に加え各種気象データ(温度、湿度、風向・風速、気圧、全天日射量)を 1 分間隔で取得する。RF 計測データ収集装置は Ka 帯大型地球局のある鹿島と沖縄のみ[3]に設置した。図 3 に示すとおり RF 計測データ収集装置では衛星から送信される Ka 帯無変調信号(ビーコン信号)を受信し伝搬路の状況で変化するレベル変動及び各種気象データを収集する。これらの収集した計測データはネットワークを通じて鹿島サーバ(図 4)に送りデータベース化しネットワーク運用センター(NOC)に対して回線を途切れなくするため使用できるフィーダリンク回線を選択のために必要となる計測データを提供する。光・RF 計測データ収集システム全体構成図を図 5 に示す。状態監視画面にて光計測データは図 6 に、RF 計測データは図 7 に示すとおり死活状況等を確認することができる。

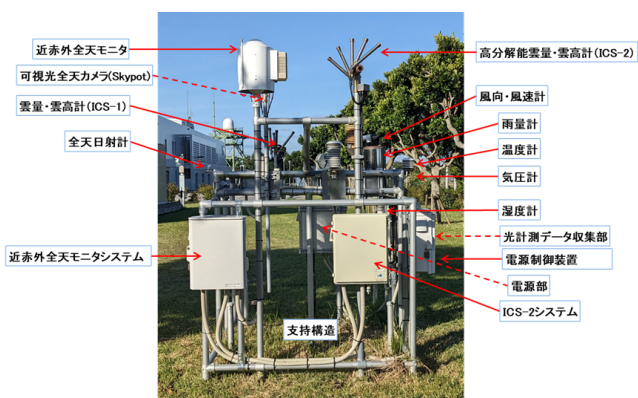


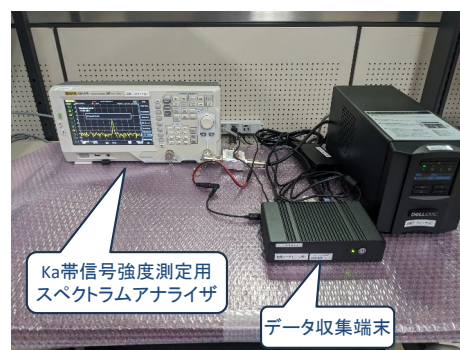
図 2 光計測データ収集装置



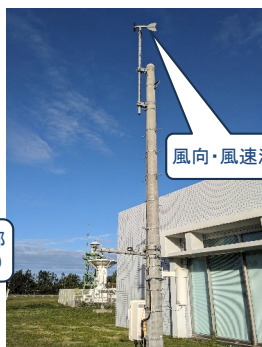
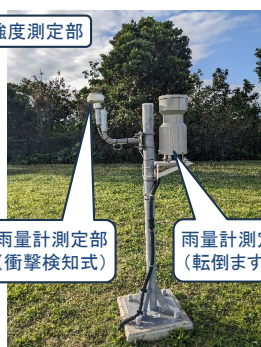
Ka帯信号強度測定部(鹿島)



環境センサー部(鹿島)



データ収集室内装置(鹿島)



Ka帯信号強度測定部及び環境センサー部(沖縄) データ収集室内装置(沖縄)

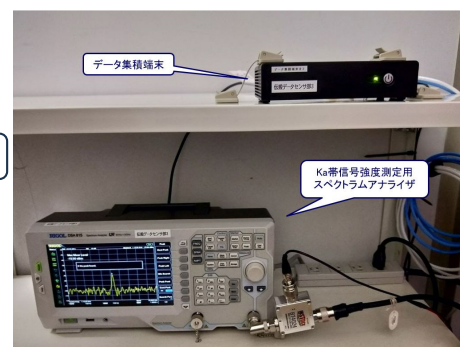


図 3 RF 計測データ収集装置



### 3 光のサイトダイバーシティ効果例

光衛星通信可能とされる南方向雲量 35 % 未満とされているが、2024 年 11 月 5 日 9:00 ~ 7 日 9:00(JST)

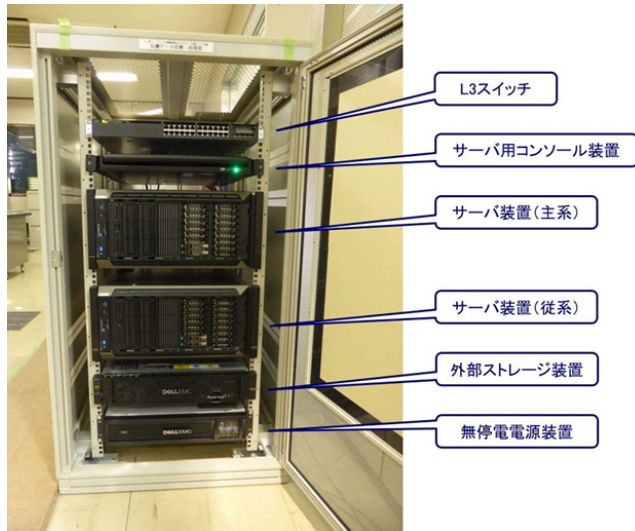


図 4 光・RF 計測データ収集・処理サーバ(鹿島サーバ)

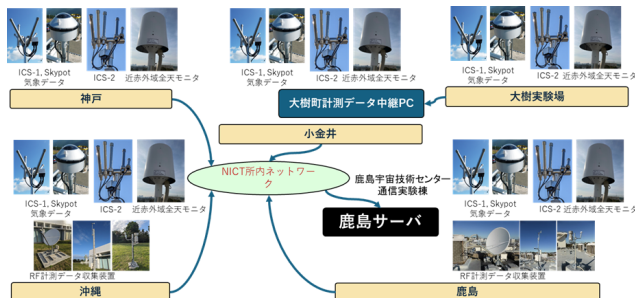


図 5 光・RF 計測データ収集システム全体構成図

の 2 日間においてそれぞれ単独で大樹町の南方向雲量が 35 % 未満となる時間率は 36.60 %、沖縄の南方向雲量が 35 % 未満となる時間率は 54.39 %であった(図8)。2局のどちらかを使用して光回線が確立できる時間率は 81.72 %と大幅に改善されることが分かる。この 2 局で雲量がどちらも 35 % 以上となる赤枠で囲った期間について鹿島局の南方向雲量データのグラフ(図 9)の同期間では鹿島局が 35 % 未満であり鹿島局を加えれば更に改善効果が得られる。



図 6 光計測データ状態監視画面



図 7 RF 計測データ状態監視画面

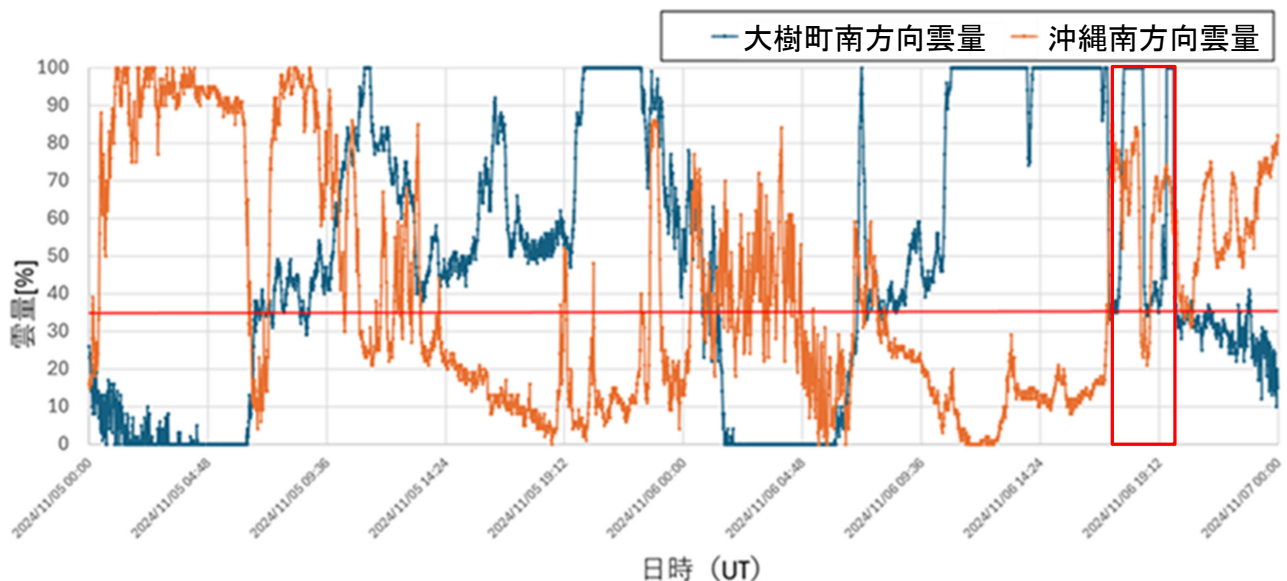


図 8 大樹町×沖縄の 2 日間の雲量変化

## 4 RF のサイトダイバーシティ効果例

例えば、回線計算上降雨マージンを 14 dB とした通信方式を考えた場合に、通信が途切れない年間時間率を 99.98 % と仮定した場合、許容できる降雨減衰による通信断の年間時間率は 0.02 % であり年間通して 1 ～ 2 時間程度ということになる。近年多く発生する線状降水帯に見舞われた場合、長時間に渡って回線断が生じることも考えられる。2024 年 11 月 10 日 (日) 9:40 ～ 10:40 [JST] の間に沖縄において総雨量: 111 mm を記録する豪雨が発生した。その間 Ka 帯ビーコン信号受信電力が 20 dB 以上の降雨減衰を受けた(図 10) [4]。同時刻に鹿島では降雨減衰は発生せず(図 11)安定して受信できていたため事前に雨による影響がない鹿島局に地球局を切り替えることができれば通信を継続させる

サイトダイバーシティが成立することになる(図 12)。

## 5 おわりに

本報告では、地上-衛星間の光・RF 衛星通信回線を途切れなく確立するための複数の光地上局・RF 地球局を用いたサイトダイバーシティを構成し制御するために必要となる光・RF 計測データの収集システムの概要を述べた。また、一例として降雨減衰時の RF サイトダイバーシティ効果について紹介した。今後は打上げ後の ETS-9 衛星を用いてサイトダイバーシティ効果を実証する予定である。

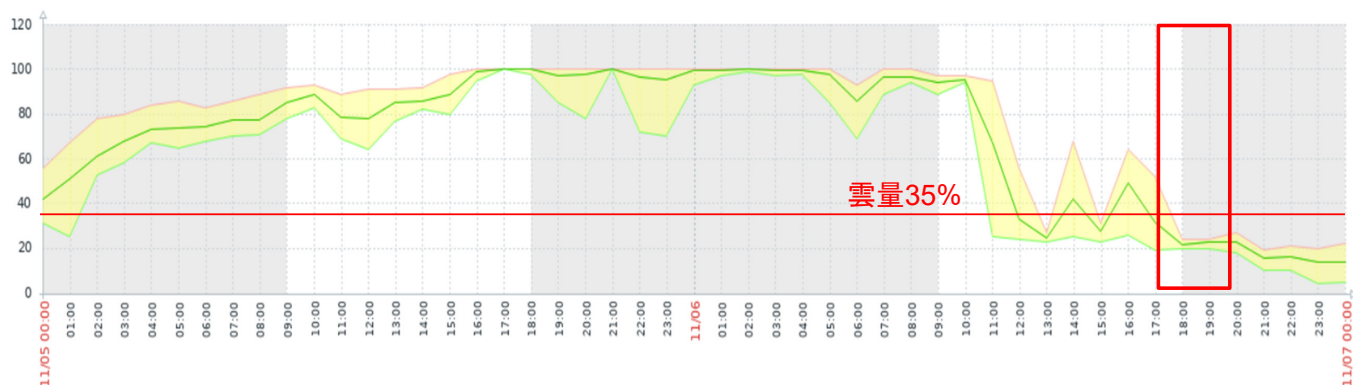


図 9 鹿島の雲量変化

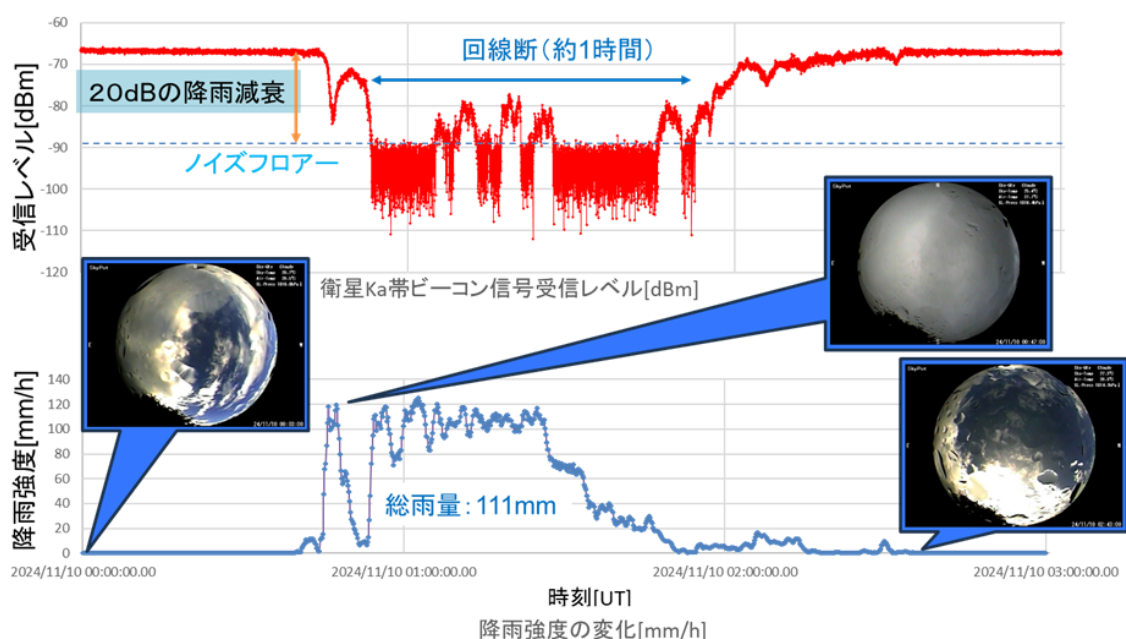


図 10 沖縄豪雨時における降雨減衰状況

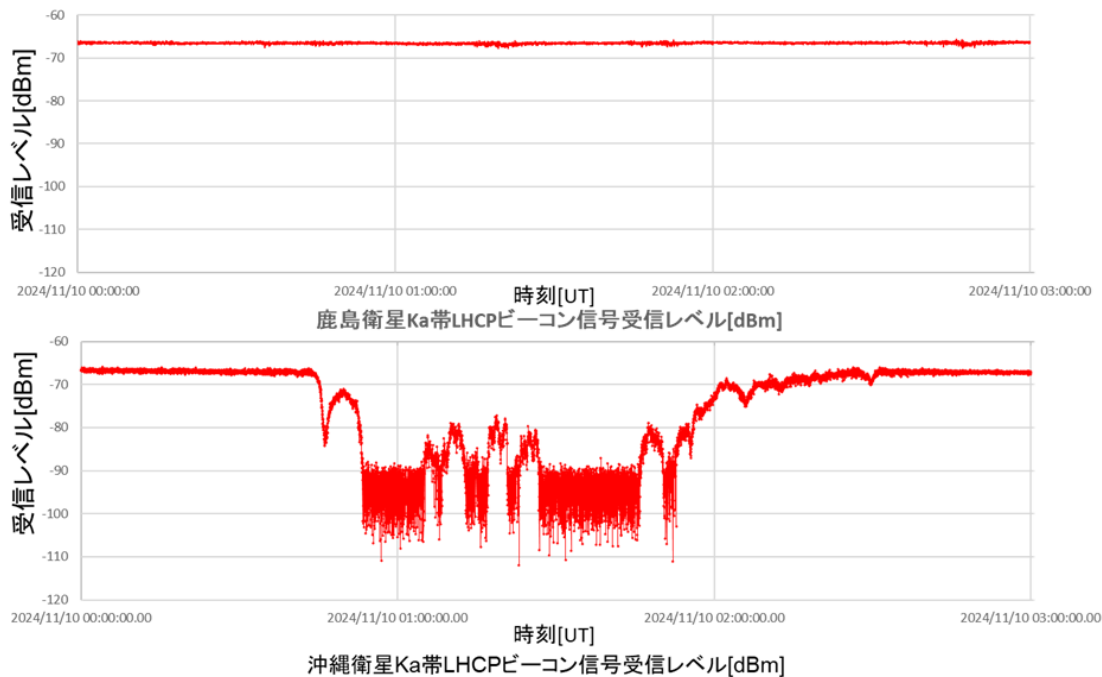


図 11 沖縄豪雨時における鹿島の受信状況

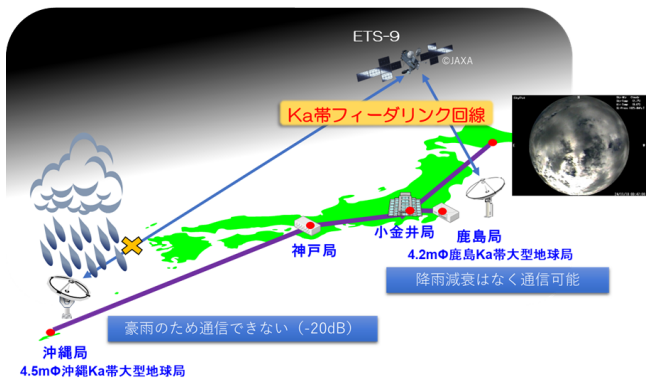


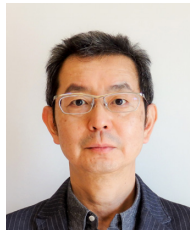
図 12 鹿島と沖縄サイトダイバーシティ

## 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」で実施している。関係各位に感謝する。

### 【参考文献】

- 1 三浦 周, 久保岡 俊宏, 坂井 英一, “技術試験衛星 9 号機による次世代ハイスループット衛星の通信技術確立に向けた取組み,” 信号処理学会誌, vol.102, no.12, pp.1080-1084, Dec. 2019.
- 2 鈴木 健治, 川崎 和義, 布施 哲治, 吉村 直子, 高橋 卓, 三浦 周, “フィードリンク局選択のための観測データ収集システムの構築,” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会講演集, vol.2022, no.4086, 1F07, pp.1-5, 2022-11.
- 3 菅 智茂, 鄭 炳表, 川崎 和義, 鈴木 健治, 高橋 卓, 吉村 直子, 辻 宏之, “ETS-9 用 RF 地球局の研究開発状況,” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会講演集, vol.2022, no.4084, 1F05, pp.1-5, 2022-11.
- 4 鈴木 健治, コレフ ディミタル, 川崎 和義, 谷内 宜仁, 高橋 卓, 三浦 周, 辻 宏之, “光・RF 計測データ収集システム,” 信号処理学会 2025 年総合大会, B-3-22, p.201, 2025-03.



鈴木 健治 (すずき けんじ)

ネットワーク研究所  
ワイヤレスネットワーク研究センター  
宇宙通信システム研究室  
衛星通信

【受賞歴】  
2020 年 電子情報通信学会通信ソサイエティ活動功労賞  
2017 年 2016 年度 電子情報通信学会 衛星通信研究賞  
1996 年 第 63 回通信記念日大臣表彰 団体 (業務優績)



Kolev Dimitar (これふ でいみたる)

ネットワーク研究所  
ワイヤレスネットワーク研究センター  
宇宙通信システム研究室  
主任研究員  
博士 (国際情報通信学)

宇宙通信システム、光アンテナ、光宇宙通信、大気揺らぎ



川崎 和義 (かわさき かずよし)

ネットワーク研究所  
ワイヤレスネットワーク研究センター  
宇宙通信システム研究室  
衛星通信

【受賞歴】  
2023 年 第 37 回電波技術協会賞  
2014 年 2014 年度 電子情報通信学会 衛星通信研究賞

**谷内 宣仁** (たにうち のぶひと)

ネットワーク研究所  
ワイヤレスネットワーク研究センター  
宇宙通信システム研究室  
主任研究技術員  
宇宙通信システム



**高橋 卓** (たかはし たかし)

ネットワーク研究所  
ワイヤレスネットワーク研究センター  
宇宙通信システム研究室  
副室長  
高速衛星通信、移動体衛星通信  
【受賞歴】  
2019 年 電子情報通信学会 活動功労賞  
2017 年 電子情報通信学会 衛星通信研究賞



**三浦 周** (みうら あまね)

ネットワーク研究所  
ワイヤレスネットワーク研究センター  
宇宙通信システム研究室  
室長  
博士(情報科学)  
衛星通信システム、アンテナ  
【受賞歴】  
2017 年 日本 ITU 協会賞 奨励賞受賞  
2016 年 電子情報通信学会通信ソサイエティ  
活動功労賞  
2016 年 電子情報通信学会通信ソサイエティ  
優秀論文賞