

## 平成 28 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 : 18601

課 題 名 : 衛星搭載光通信用デバイスの国産化及び信頼性確保に関する研究開発

副 題 : 衛星搭載用超高速光通信コンポーネントの研究開発

## ( 1 ) 研究開発の目的

本研究開発の目的を以下に示す。

- ・国産光通信用デバイス個々の耐環境性及び信頼性確保における技術的適合性を確認し、国内標準、さらにはグローバル標準の規格制定を目標として、デバイスのスクリーニングプロセスの確立を目指す。
- ・これらのプロセスを経て耐環境性及び信頼性を確保したデバイスを用いて、確立した製造プロセスによる高速高性能な光通信コンポーネント(光送受信器)のプロトタイプを試作し、環境試験を実施した衛星搭載機器として市場への先行投入を目指す。
- ・試作する光通信送受信器と送受信評価系による対向通信実験により総合評価を行う。
- ・本取り組みにより、宇宙光通信における課題の先行把握、宇宙通信における光空間通信技術の適用先拡大を目指す。

## ( 2 ) 研究開発期間

平成 28 年度から平成 30 年度 ( 3 年間 )

## ( 3 ) 実施機関

日本電気株式会社 / 宇宙システム事業部

## ( 4 ) 研究開発予算 ( 契約額 )

総額 1200 百万円 ( 平成 28 年度 500 百万円 )  
百万円未満切り上げ

## ( 5 ) 研究開発項目と担当

- 研究項目 1 : 光空間通信コンポーネントの設計と衛星搭載光通信用デバイスの所要明確化  
日本電気株式会社
- 研究項目 2 : 衛星搭載光通信用デバイスの選定および信頼性確保  
日本電気株式会社
- 研究項目 3 : 衛星搭載光送受信器プロトタイプにおける性能検証  
日本電気株式会社
- 研究項目 4 : パフォーマンスモニタリング  
日本電気株式会社

## ( 6 ) これまで得られた成果 ( 特許出願や論文発表等 )

		累計 ( 件 )	当該年度 ( 件 )
特許出願	国内出願	2	2
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	3	3
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

## (7) 具体的な実施内容と成果

## 研究項目 1：光空間通信コンポーネントの設計と衛星搭載光通信デバイスの所要明確化

目標	10Gbps 通信@GEO-地上間、40Gbps 通信@LEO-地上間を実現する光空間通信方式の検討のベースとなる大気伝搬シミュレーション技術の確立。光通信デバイス/コンポーネントの性能に関し、静特性、動特性の両方についての伝送技術改善による要求の緩和と明確化。
実施内容	光空間通信システムのコンポーネント設計の基盤となる大気伝搬の計算機シミュレータを構築し、更に計算精度および計算速度の向上を図る。開発した計算機シミュレータを使用し、10Gbps/40Gbps システム(静止・低軌道衛星 地上)についてコンポーネントの設計例を複数提示、衛星搭載側の受信部の現実的な所要を明確化する。 空間通信特有の不安定性の緩和・解消に関する、光学的アプローチと高位通信レイヤの連携の可能性、および同課題における世界標準を調査し、上記のコンポーネントの設計結果とあわせて実現可能な安定度を示す。
成果	研究開発成果：光伝搬計算機シミュレータ 機能追加 GEO-地上間 10Gbps 双方向、LEO-地上間 40Gbps ダウンリンクシステムの設計用に、空間多重伝送技術の効果を推測可能な広範囲伝搬解析機能、精追尾能力を考慮した光ファイバ結合効率機能を追加した。6 モード FMF 結合評価系を使用して結合効率の実測結果とシミュレーション結果との比較を実施し、良好な結果を取得。 研究開発成果：高度システム設計技術 機能追加を行った光伝搬計算機シミュレータを用いて、GEO-地上間 10Gbps 双方向システムの設計を実施。ダウンリンクシステムについては、モードダイバーシティ受信、空間ダイバーシティ受信併用における、受信開口系と開口数の関係および回線成立のための所用品を明示、アップリンクに関しては光行差の影響を考慮した上での複数望遠鏡送信方式における所用品の明示。 研究開発成果：光空間通信コンポーネントの所用品明示： 複数望遠鏡送信方式への対応により所用品が複雑化する搭載側受信部への要求を、シミュレーションおよび実測により明確化。

## 研究項目 2：衛星搭載光通信デバイスの選定および信頼性確保

目標	光通信デバイスの宇宙向け供給業者を発掘し、既存の信頼性データ確認や事前評価等により宇宙適用が可能と判断された物に対し、確立されたスクリーニングプロセスを適用することで、高信頼性を確保する。また、光通信デバイスの部品プログラム案を策定し、標準化への足掛かりをつくる。
実施内容	宇宙部品プログラム標準非適用の 10Gbps 光通信デバイスに対し、供給メーカの製造管理、供給能力、信頼性情報の入手容易性も十分考慮にいたしたデバイス選定をすると共に、未知な耐環境性や信頼性情報について、追加試験項目を明確化と評価を実施し、信頼性を確保する。
成果	研究開発成果：協業デバイスメーカの選定 衛星搭載利用を前提とした協業デバイスメーカとの調整を行い、国内サプライチェーン構築の推進を実施し、レーザ光源や光変調器、受信器などのコア光デバイスにつき、衛星搭載への利用許可を出すメーカを選定。一方、国内メーカでは調達できない部品（特に FPGA、クロックデータリカバリ等高周波デバイス部品）については、計画を変更して海外製品を選定。 研究開発成果：国内デバイスの耐環境性および信頼性確保 衛星搭載利用の許可を得た民生デバイスの耐環境性や信頼性情報を調査し、衛星搭載化へ向けた追加評価項目を識別。追加評価項目の中で、民生デバイスの放射線試験（重粒子照射、プロトン照射、ガンマ線照射）を実施し、高周波部品一品目のみを除き、超高速光通信コンポーネントを構成するデバイスの耐環境性（放射線）を確認。

## 研究項目 3：衛星搭載光送受信器プロトタイプにおける性能検証

目標	市場に先行投入できる技術の確立に向けて、宇宙実証を可能とするために、10Gbps 級の衛星搭載用光送受信機プロトタイプを開発するとともに、高信頼性確保に関するプロセスを確立する。
実施内容	衛星搭載機器に対する環境条件の定義を明確化し、その条件下で機能・性能を維持するために必要な耐性を解析する。また、衛星搭載機器特有のリソース制約を鑑みた衛星搭載化における最適な機器構成の光送受信器プロトタイプ設計に反映する。通信可変レート実現性の調査、回線設計、実現可能な機器構成の明確化。
成果	<p>研究開発成果：光送受信器の最適構成検討</p> <p>静止衛星からの 10 Gbps 光フィーダリンクを実現に向けた、超高速光通信搭載機器プロトタイプの基本設計を実施。低ノイズ光増幅器を用いた差動位相変調 (DPSK-DD) 送受信方式と誤り符号訂正方式 (AFEC) の組み合わせで、1 波長、11.1 Gbps (OTU2e)における理論限界付近の受信感度 (&lt; 20 フォトン/ビット)を確認した。また、本構成は、光リンク設計ならびに搭載リソース制約の両面から最適な機器構成であることを示した。また、通信可変レート方式のトレードオフを実施し、異なる伝送レートの信号光を波長多重合成する運用方式の有効性を示した。</p> <p>研究開発成果：耐環境設計</p> <p>ETS-9 の静止衛星の環境条件を鑑みた超高速光通信コンポーネント (光送受信器) 機器の放射線設計、排熱環境設計、機械環境設計を実施した。10Gbps 送受信機能として、高速 I/O マクロを有する SRAM 型 FPGA 高周波電気デバイスを採用し、懸念であったコンフィギュレーションメモリ部の SEU 発生に対し、Anti-Fuse 型 FPGA による常時監視/検知/上書き訂正機能を付加するといった対策で、回路データとその機能維持を確認した。</p>

## 研究項目 4：パフォーマンスモニタリング

目標	大気揺らぎおよび再送制御プロトコルの性能から要求される観測における時間分解能の明確化、衛星搭載によるリソース制約を考慮しての現実的アプローチの決定と一部試作、将来的な適応変調 / 通信レート可変の実現に向けたビジョンの策定、光通信コンポーネントとの組み合わせによる基本動作確認
実施内容	大気揺らぎおよび再送制御プロトコルの性能から要求される観測における時間分解能の明確化する。
成果	<p>研究開発成果：適応反復フレーム送信方式 提案</p> <p>フェード周期と信号速度とをパラメータとした各種無線システムにおけるフェード対策技術マップを作成。10 Gbps GEO-地上間システムでは、bit 単位の符号訂正技術とパケット単位の再送制御技術の間に、フェード対策技術の不在領域があることを示した。その補完アプローチとして、適応反復フレーム送信方式を提案し、反復フレーム送信回数が多くなるに従って、フレームエラーの減少を確認。</p> <p>研究開発成果：高速 FEC モニタ / 低速テレメトリ項目抽出</p> <p>反復フレーム送信における最適再送回数決定の制御信号として受信側 FEC のモニタ情報に着目し、高速モニタ情報の抽出、地上への情報伝送に関する H/W 制限を調査し、搭載化可能性を確認。また、搭載側光コンポーネント動作やアップリンク信号受信状況の把握するための搭載側モニタ項目の抽出。</p>