

1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆実施機関 : 日本電気 (株)
- ◆研究開発期間 : 平成28年度～平成30年度 (3年間)
- ◆研究開発予算 : 総額1200百万円 (平成28年度500百万円)

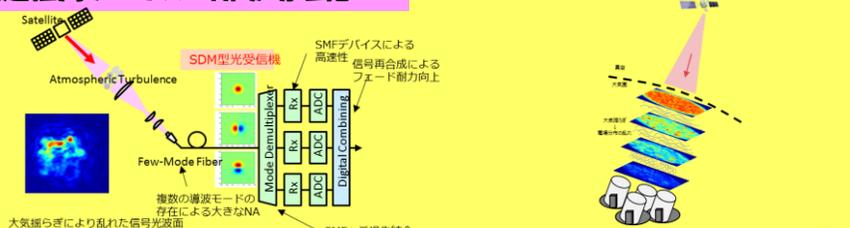
2. 研究開発の目標

- ・光空間通信コンポーネントの設計および衛星搭載光通信用デバイスの所要について検討し、明確化する
- ・衛星搭載に向けた10 Gbps光通信用デバイスの耐環境性および信頼性確保を実施するとともに、デバイス民生品のスクリーニングプロセス確立を目指す。
- ・平成30年までに、静止衛星-地上間10 Gbpsフィーダリンクを想定した超高速光通信コンポーネント (光送受信器) のプロトタイプ試作し、搭載環境下での性能検証を実施する。

3. 研究開発の成果

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

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とともに、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。

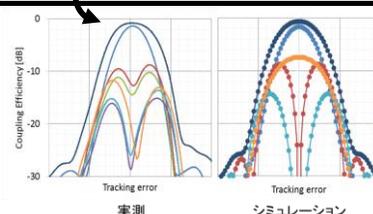


Downlink SDM型FMF光受信機のイメージ

複数望遠鏡システムのイメージ

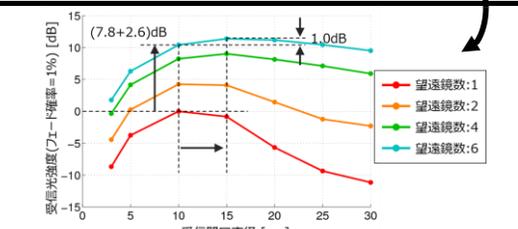
研究開発成果: 光伝搬計算機シミュレータ 機能追加:

GEO-地上間10Gbps双方向、LEO-地上間40Gbps ダウンリンクシステム的设计に、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(図1-1)。**



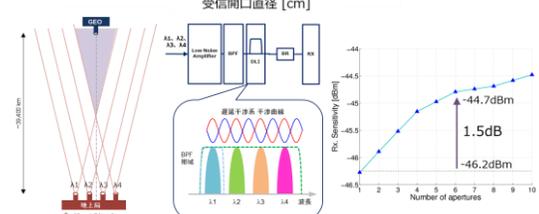
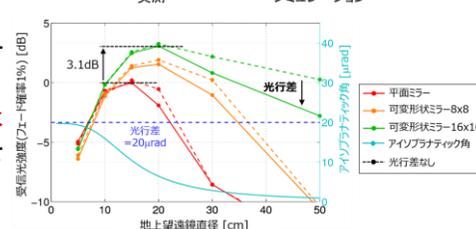
研究開発成果: 高度システム設計技術:

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双方向システム的设计を実施。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を明示(図1-2)、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の明示(図1-3)。**



研究開発成果: 光空間通信コンポーネントの所用明示:

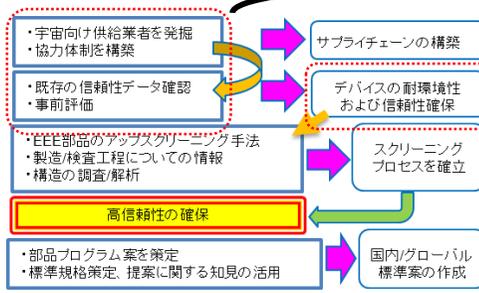
複数望遠鏡送信方式への対応により所用が複雑化する**搭載側受信部への要求を、シミュレーションおよび実測により明確化(図1-4)。**



(左上) 図1-1 6モードFMF光ファイバ結合強度 実測&シミュレーション比較結果例 (右上) 図1-2 GEO-地上伝送設計最適受信開口径と所用望遠鏡数の関係 (左下) 図1-3 地上-GEO伝送設計 光行差の影響の地上望遠鏡直径依存性 (右下) 図1-4 搭載側受信器仕様検討結果 送信側望遠鏡数と受信感度劣化量の評価結果

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

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れ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。



提案するCOTS品スクリーニングプロセスのスキーム

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**。

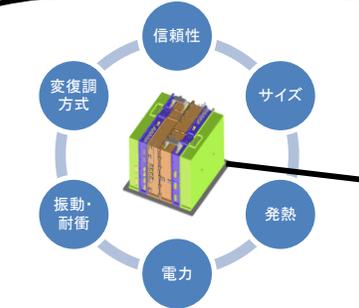
追加評価項目の中で、民生デバイスの放射線試験(重粒子照射、プロトン照射、ガンマ線照射)を実施し、高周波部品一品目のみを除き、**超高速光通信コンポーネントを構成するデバイスの耐環境性(放射線)を確認**。

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

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



衛星搭載機器特有の環境リソース制約

研究開発成果: 光送受信器の最適構成検討

静止衛星からの10 Gbps 光ファイ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(<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**。

研究開発成果: 耐環境設計

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。

項目4 パフォーマンスモニタリング

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。

大気揺らぎのフェード周期と信号速度を軸としたフェード対策技術マップ

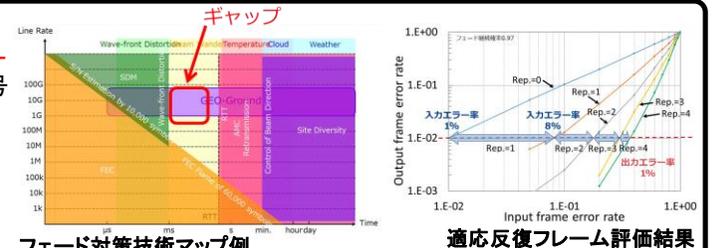
伝送品質、伝送路状態の把握(受信側の観測量推定)

研究開発成果: 適応反復フレーム送信方式 提案:

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増えるに従って、フレームエラーの減少を確認**。

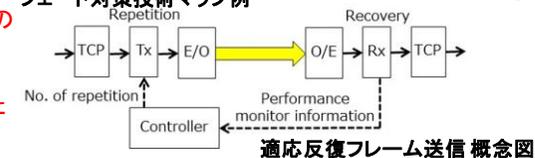
研究開発成果: 高速FECモニタ/低速テレメトリ項目抽出:

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**。



フェード対策技術マップ例

適応反復フレーム評価結果



適応反復フレーム送信概念図

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
課題 186 に 関する研究開発	2 (2)	0 (0)	0 (0)	3 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1)国内出願

- 特願2016-240898 H28.12.13
- 特願2017-028058 H29.2.17

(2)名古屋市 / 名城大学 電子情報通信学会 総合大会 一般口頭発表

- ① 超高速衛星光空間通信における適応反復フレーム送信の適用可能性に関する検討
- ② 大気伝搬シミュレーションに基づく衛星-地上間光空間通信システムの設計(1)
複数受信望遠鏡方式における最適な受信開口直径
- ③ 大気伝搬シミュレーションに基づく衛星-地上間光空間通信システムの設計(2)
送信波面補償を用いたアップリンク光伝搬における光行差の影響

5. 今後の研究開発計画

次年度以降の研究開発計画を研究項目毎に以下に示す。

- **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**
開発した計算機シミュレータを使用し、伝送能力改善検討を行い光コンポーネントに対する要求検討を実施する。
- **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**
放射線環境評価を行ったデバイス及びその他搭載候補部品に対して温度環境と機械環境試験を実施する。この耐環境性結果を踏まえてスクリーニングプロセスの確立、国内/グローバル標準案の作成に着手する。
- **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**
光送受信器プロトタイプの詳細設計を行い、プロトタイプの製造に着手する。
- **研究項目 4 パフォーマンスモニタリング**
パフォーマンスモニタ 評価試験系の検討を行い製作する。無線通信システムにおける劣化要因の時定数と対策技術の関係を整理し適応変調、通信レート可変のビジョン策定を行う。