

1. 研究課題・受託者・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 : 日本電気株式会社
- ◆ 研究開発期間: 平成28年度～平成31年度(4年間)
- ◆ 研究開発予算: 総額1200百万円(平成30年度190百万円)

2. 研究開発の目標

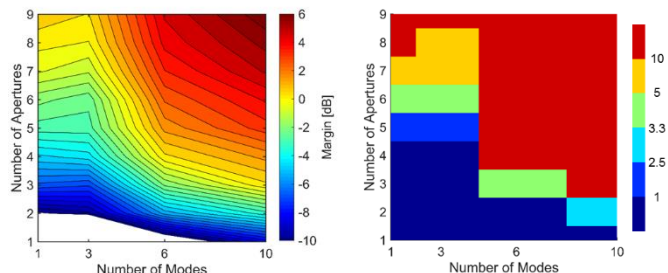
- ・光空間通信コンポーネントの設計および衛星搭載光通信用デバイスの所要について検討し、明確化する
- ・衛星搭載に向けた10 Gbps光通信用デバイスの耐環境性および信頼性確保を実施するとともに、デバイス民生品のスクリーニングプロセス確立を目指す。
- ・静止衛星-地上間10 Gbpsフィーダリンクを想定した超高速光通信コンポーネント(光送受信器)のプロトタイプ試作し、搭載環境下での性能検証を実施する。

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

衛星-地上間光空間通信の伝送能力向上を目的に行ってきた各種検討に関し、これまでの期間の活動を通じて明らかになった不足分の補足、特に受信側入力強度の時間的変化の影響の抑え込みを、これまで開発してきた計算機シミュレーション技術を用いて行う。

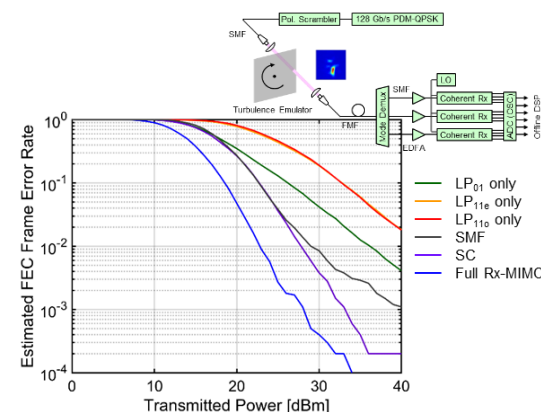
GEO-地上間10Gb/s光ダウンリンク
空間ダイバーシティ受信適用時回線設計結果
左: SNマージン, 右: スループット



	所要開口数	マージン
SMF結合	8	0.1 dB
モードダイバーシティ	4	0.3 dB

空間ダイバーシティ受信による受信能力拡張を実現し、10Gb/s回線成立に向けた開口数、モード数の依存性および最適組み合わせを明確化。

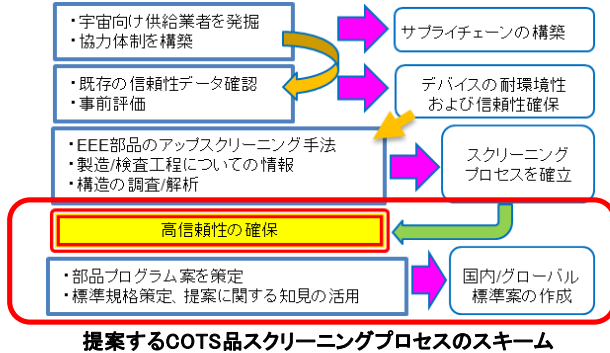
モードダイバーシティ受信の
偏波多重100G級信号への適用実験結果



偏波多重信号のモードダイバーシティ受信時に適した合成DSP構成を提示、レーザー拡散版を用いた実験で確認。

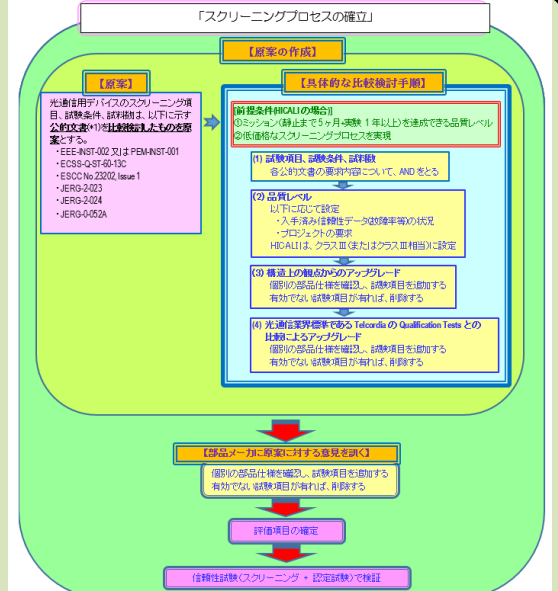
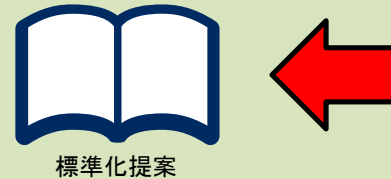
項目2 衛星搭載光通信デバイスの選定および信頼性確保

確立したスクリーニングプロセスを適用し、品質保証されたデバイスを使用した衛星搭載光送受信器にて評価試験を行い、品質やコストの観点からデバイスのスクリーニングプロセスの有効性を評価・実証し、民生光通信デバイスの低コストな宇宙利活用を目的とした国内標準の制定を目標として、指針を日本航空宇宙工業会(SJAC)等に提案する。



研究開発成果: 国内/グローバル標準の制定

提案及び方式として、光通信デバイスのスクリーニングプロセス制定に関する作業の詳細をまとめた。今後、国内の業界団体への提案を行う事を考え、社内にいる国際標準化委員に提案し調整を開始した。提案を行う予定の業界団体は、「一般社団法人日本航空宇宙工業会」(The Society of Japanese Aerospace Companies (SJAC))。「委託研究 課題186 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」は、今年度で終了となるが、今後も増え続ける光通信デバイスに関して、新たなスクリーニングプロセスの国際標準化に向けた調整を行っていく。



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

前年度までの成果を基に「研究項目3-4光送受信評価系の開発」のうち光増幅部(OAMP)を除く評価系の開発、及び「研究項目3-5プロトタイプの製造」のうち光送受信器プロトタイプを構成する基板の製造を、NECが保有する衛星搭載機器製造プロセスにより行い、H31年度に実施する基板レベルでの評価、及び衛星搭載用筐体への組み込みと信頼性評価(環境評価)を実施する前までの準備を完了する。

研究開発成果: 耐環境設計

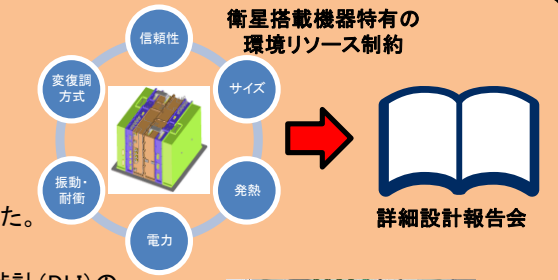
昨年度に実施した基本設計報告会から、実際にモノを製造するために、必要な各種情報(想定するETS-9静止衛星の環境条件や各I/F条件)を更に組み込み、詳細設計へ反映した。これら各情報を、詳細設計資料に落とし込み、光送受信器プロトタイプの詳細設計報告会を行うことができた。

研究開発成果: プロトタイプ製造、信頼性評価

基板へ実装する前に高精度の温度制御を要する光遅延干渉計(DLI)の評価を行った(耐環境性能を維持できるかを真空チャンバにて評価した)。DLIは、真空環境下でもスムーズに動作することを確認できた。他にも、ロケットの振動に耐えられるかを確認するために構造モデルの製作と評価を行った。

研究開発成果: 送受信評価系の開発

「光送受信器プロトタイプ」の機能・性能評価を行うための試験装置として「光通信データ処理装置(HDU: HICALI DATA UNIT)」の開発を行った(想定する上位システムを「技術試験衛星9号機(ETS-IX)」とした)。



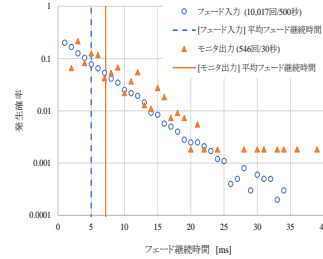
遅延干渉計(DLI) 真空評価

項目4 パフォーマンスモニタリング

衛星搭載光送受信器プロトタイプに実装するパフォーマンスモニタの動作、具体的には高速サンプリングする符号誤りの発生状況の精度と取得情報の送信側(地上局相当)への伝達能力の確保、を実験的に確認する。

上記のパフォーマンスモニタの出力情報、または伝送路状態の実時間推定を可能とする代替手段を用いた適応レート制御を行い、各種運用ケースにおける通信能力安定化の効果を定量的に評価する。

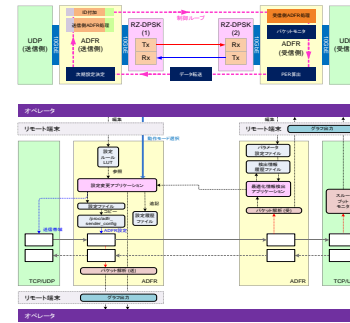
FEC内モニタを用いた伝送路フェード状態推定 実験評価結果



推定誤差:
平均フェード継続時間: 36%
フェード率: 10%

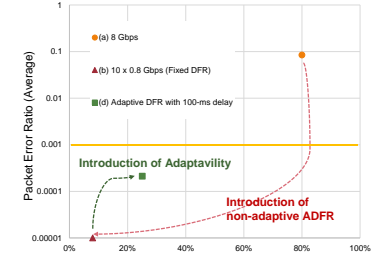
狭帯域戻り回線にあわせ衛星搭載FEC内モニタ結果を1ms単位に間引いた上で地上局に転送。ADFR適応制御に十分な精度を確認。

ADFRを用いた適応レート制御の評価装置への機能実装 構成図



ADFRレイヤ内で完結する適応制御実現に向けた、到着パケット情報をベースにした制御ループ構造。送/受に分散した7機能の連携で実現。

固定/適応ADFRの適用によるPER,通信帯域の改善 実験評価結果



測定結果:
PER: 0.1 → 0.0 (非適用→固定ADFR)
帯域: 0.8G → 2.4G (固定→適応)

ADFRレイヤ内完結の適応制御ループ、ADFR起因遅延を管理した設定変更ルールを用い、PER(1/100),スループット(3倍)の改善を達成。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

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
6 (3)	2 (0)	1 (1)	32 (20)	0 (0)	2 (1)	2 (1)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

平成30年度 成果内容

(1) ワイヤレス・テクノロジー・パーク(WTP)2018 (東京ビッグサイト西展示ホール) 展示会

委託研究課題186「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」の研究成果を展示

(2) 電子情報通信学会 フォトニックネットワーク研究会 (北海道ノホテル大平原) 一般口頭発表

フューモードファイバを用いたモードダイバーシティ受信による大気ゆらぎ環境下高速光空間通信

(3) 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (金沢市ノ金沢大学) 一般口頭発表

衛星搭載用10Gbps級光空間通信コンポーネントの設計検討、衛星搭載用途に向けた光通信デバイスの放射線耐性評価
ADFR評価装置 特性評価(1) パケットエラー率改善効果、ADFR評価装置 特性評価(2) 設定変更時の連続動作

(4) Optics Express 研究論文

Performance of mode diversity reception of a polarization-division-multiplexed signal for free-space optical communication under atmospheric turbulence

(5) International Conference on Space Optics (ギリシャノハニア) 査読付収録論文

Experimental evaluation of Adaptive Distributed Frame Repetition at 10 Gbps for the satellite-to-ground optical link

(6) 宇宙科学技術連合講演会 (久留米市ノ久留米シティプラザ) 一般口頭発表

大気ゆらぎ環境下における偏波多重信号モードダイバーシティ受信合成DSPの検討
適応反復フレーム送信技術の宇宙光通信への適用に向けた実験的検討、衛星搭載用10Gbps級超高速光通信コンポーネントの設計検討、
衛星搭載用途に向けた光通信デバイスの放射線耐性評価、衛星搭載用途に向けた光通信デバイスのスクリーニング手法の検討

(7) SPIE Photonics West (サンフランシスコ) 査読付き収録論文

Optimization of the settings of the adaptive distributed frame repetition to the time-changing transmission line conditions
Design and verification of a space-grade 10 Gbit/s high-speed transponder for an optical feeder link
Study on a screening test process for quality assurance of optical communication devices for satellite

(8) 電子情報通信学会 衛星通信研究会 (鹿児島県ノJAXA種子島宇宙センター) 一般口頭発表

光空間通信向け長距離光トランスポンダを用いた適応反復フレーム送信
超高速TCPと適用反復フレーム送信技術を用いた光空間衛星通信のデータ転送性能モデル
光ファイダリンクシステム向け衛星搭載用10 Gbit/s級光空間通信コンポーネントとテレメトリコマンドデータユニットの設計

(9) Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences 機関誌論文

Design and Verification of a Space-Grade 10 Gbit/s Free-Space Optical Communication Component for an Optical Feeder Link*

(10) 電子情報通信学会総合大会 (東京ノ早稲田大学) 一般口頭発表

光通信デバイスの衛星搭載用途スクリーニング手法の検討
適応反復フレーム送信のための伝送路状態推定技術の比較

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**

本研究項目は、平成30年度で終了した。

- **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**

本研究項目は、平成30年度で終了した。

- **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**

平成31年度では、前年度までの成果を基に「研究項目3-4光送受信評価系の開発」のうち光増幅部(OAMP)の開発、及び「研究項目3-5プロトタイプの製造、信頼性評価」のうち製造した光送受信部プロトタイプに対して基板レベルでの評価、及び衛星搭載用筐体への組み込みと信頼性評価(環境評価)を実施し完了する。

信頼性評価により、NECが保有する衛星搭載機器製造プロセスにより製造された光送受信器プロトタイプが衛星搭載環境下において機能・性能を維持し、十分な環境耐性、信頼性を有することを機械環境試験、熱環境試験、電磁適合性試験等の試験を通して確認する。

そして、信頼性試験により、デバイスのスクリーニングプロセスの有効性を最終検証する。

また、光送受信器プロトタイプに関し、衛星搭載を目的としたプロトタイプの開発を完了するとともに、衛星搭載機器として必要な文書を整備する。

- **研究項目 4 パフォーマンスモニタリング**

本研究項目は、平成30年度で終了した。