

## 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30年度(3年間)
- ◆研究開発予算: 総額1200百万円(平成29年度400百万円)

## 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

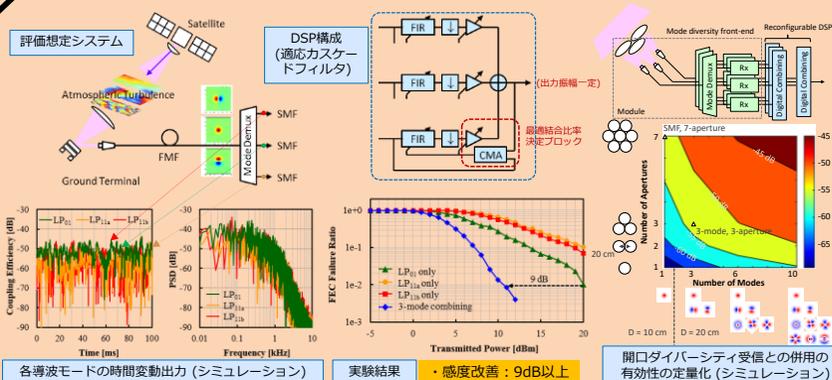
### 項目1 光空間通信コンポーネントの設計と衛星搭載光通信用デバイスの所要明確化

10Gbps双方向(静止衛星-地上間)、40Gbpsダウンリンク(低軌道衛星-地上間)の実現性の向上に向け、以下の2点に取り込む。

・空間多重伝送技術や高感度受信方式を軸に光伝送技術の改善

・通信高位レイヤとの連携を含む計算機シミュレータの機能拡張

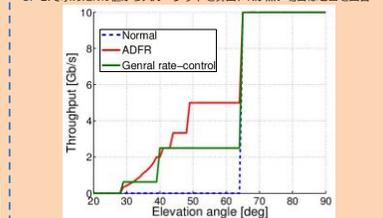
### 研究開発成果:空間多重伝送技術に基づく光伝送技術の改善



- ・光伝搬シミュレータからの受信光強度時間変動情報にもとづくダイバーシティ受信DSPの性能検証、モード/開口ダイバーシティ受信の併用効果の定量的評価
- ・高速変動対応(>10kHz)、複数段構成,多入力(~10port)への拡張

### 研究開発成果:高位レイヤ連携

- 候補となる全ての再送回数(N),間隔(I)に対してADFR適用後のFERを計算
- システムが要求するFER(本検討では0.1%)を満たすNの最小値を抽出
- 2.で求めたNの値からスループットを算出、Nが無い場合はゼロを回答



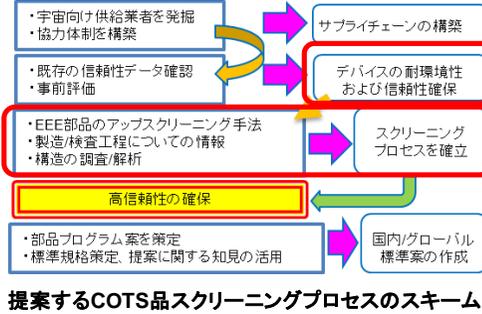
- ・ADFRシミュレータ(上図)の追加実装によるスループット算出の実現
- ・仰角依存性計算結果(下図)

## 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

### ・国内デバイスの耐環境性および信頼性確保

### ・スクリーニングプロセスの確立

宇宙部品プログラム標準非適用の10Gbps光通信用デバイスに対し、選定したデバイスで得られた耐環境性や信頼性情報を基に、追加試験項目の明確化と評価を実施し、信頼性を確保。スクリーニングプロセスを確立する。



## 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

平成28年度の研究により識別された、民生デバイスの耐環境性や信頼性情報の追加評価項目について、平成28年度に実施した放射線試験(重粒子照射、プロトン照射、ガンマ線照射)以外の項目(アウトガス量解析、アウトガス評価、DPA(破壊的物理解析)、ウィスカー対策)を実施。28年度、29年度評価結果により、選択した光デバイス部品の衛星機器搭載部品としての耐環境性を確認。本研究結果はスクリーニングプロセスの確立、及び高信頼性の確保への足掛かりとしての成果となった。

## 研究開発成果: スクリーニングプロセスの確立

機器の製造/検査フェーズ内で確認可能なスクリーニングの評価項目と部品単体で実施すべき項目を識別し、29年度は部品単体でのスクリーニングを実施(気密性/X線写真)。30年度に実施する機器製造/検査フェーズ内でのスクリーニング評価への準備体制を整えた。

No	解析・評価項目	重粒子多量照射(WDM)	Li 照射器	重粒子設計(DLU)	DFB-LD	CDR	FFCA
1	アウトガス量解析	-	-	-	-	-	-
2	アウトガス評価	○	○	○	○	○	○
3	ウィスカー対策	-	-	-	-	-	-
4	DPA 評価	-	-	-	-	-	○

光デバイス部品 耐環境性評価項目

No	スクリーニング項目	DFB-LD1,2	Li 照射器	重粒子多量照射(WDM)	重粒子設計(DLU)	CDR	FFCA
1	Sea(気密性)	○	○	-	-	-	-
2	Radiographic(X線写真)	○	○	○	○	○	○

部品単体でのスクリーニング評価

## 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

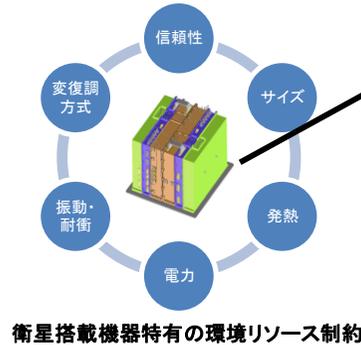
### ・耐環境設計

衛星搭載下で想定される環境条件において機能・性能を維持するために必要な耐性を解析。解析によって導かれた最適な機器構成を光送受信器プロトタイプへの基本設計へ反映する。

基本設計が完了次第、詳細設計への移行を行い、基本設計時に残された課題の解決を実施。プロトタイプ製造・性能評価への移行準備を整える。

### ・送受信評価系の開発

光送受信器プロトタイプの評価、及び通信方式の性能検証のための評価条件の定義、評価系構成の検討を行う。

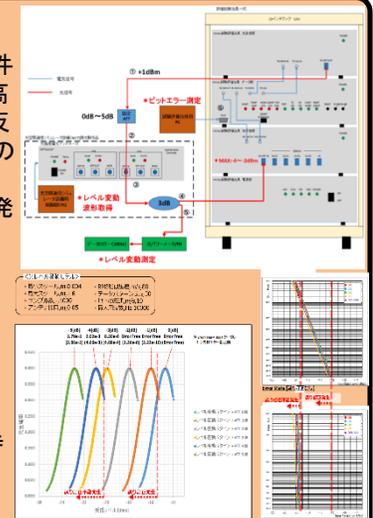


## 研究開発成果: 耐環境設計

平成28年度の研究により導いたETS-9静止衛星の環境条件を鑑みた放射線設計、排熱環境設計、機械環境設計を超高速度光通信コンポーネント(光送受信器)機器の基本設計へ反映、衛星機器開発プロセスに従い、設計内容が次フェーズの詳細設計へ移行できることを確認し、基本設計を完了した。基本設計時に残された技術的課題の解決を実施、機器開発における詳細設計への取り組みを実施した。

## 研究開発成果: 送受信評価系の開発

地上と静止衛星軌道上における光ファイダリンク接続の際に想定される条件に基づき、LNA接続評価(OSNR評価)大気ゆらぎ耐力の事前評価を評価治具上で実施した。光送受信器プロトタイプに実装する機能(ゲインクランプ機能、パフォーマンスモニタ)についての評価治具上での事前確認を行った。本研究内容を光送受信器プロトタイプ製造時における性能評価の検証計画の源泉として活用できることが確認された。



大気揺らぎ耐力の事前評価とパフォーマンスモニタ確認

## 項目4 パフォーマンスモニタリング

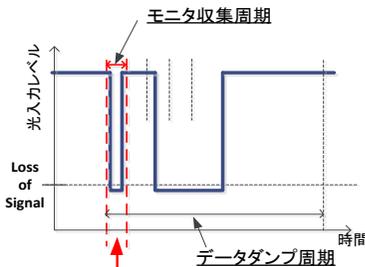
アップリンク信号光の高速な強度変動の通信品質に与える影響の把握、強度変動発生時の通信品質安定化に向けて、以下の3点に取り組む。

・光コンポーネント内部のFEC用FPGA内部へのモニタ機能の実装

・本モニタ信号をもとに制御される、通信不安定性を緩和する通信高位レイヤ機能の有効性検証評価系の構築

・検証評価系の一部の機能に関する有効性の定量的な検証

### 研究開発成果:モニタ機能の実装



- ①誤り訂正不能ブロック有無の判定機能  
モニタ収集周期単位でFECの誤り訂正不能ブロックが発生したかの判定をモニタする機能
- ②誤り訂正ビット数のカウント機能  
モニタ収集周期単位でFECの誤り訂正ビット数をカウントする機能
- ③PRBSエラーディテクタのエラー数カウント機能  
モニタ収集周期単位でPRBSエラーディテクタのエラービット数をカウントする機能

### 研究開発成果:検証評価系の構築



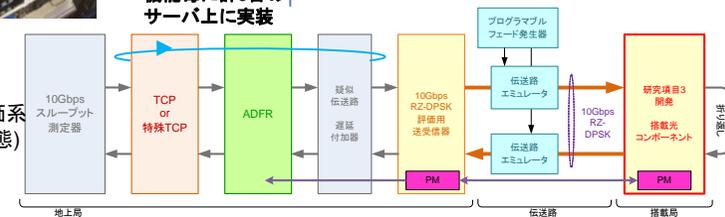
ADFR (2台)  
・再送回数設定  
・再送間隔設定

TCP (2台)  
・TCP-FSO  
・スループット計測

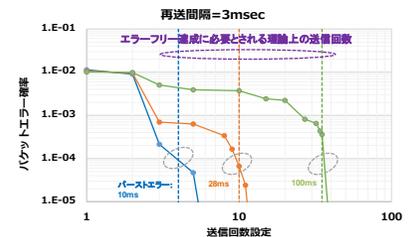
伝送路模擬 (2台)  
・遅延付加  
・エラー付加

機能毎に計6台のサーバ上に実装

検証評価系  
(最終形態)



### 研究開発成果:検証評価系 機能評価



送信回数,再送間隔設定時のスループット実測結果

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
2 (0)	0 (0)	0 (0)	12 (9)	0 (0)	1 (1)	0 (0)

平成29年度 成果内容

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

**(1)WTP2017 (Wireless Technology Park 東京ビッグサイト) 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)European Cinfrence on Optica Communication 査読付き収録論文**

Evaluation of Blind Diversity Combining of Severely Faded Signals for High-Speed Free-Space Optical Communication under Atmospheric Turbulence

**(3)電子情報通信学会ソサエティ大会 (東京/東京都市大学) 一般口頭発表**

衛星-地上間光空間通信における適応反復フレーム送信の再送間隔に関する検討

**(4)宇宙科学技術連合講演会 (新潟/朱鷺メッセ) 一般口頭発表**

- ①大気ゆらぎ環境下における高速光空間通信のためのダイバーシティ受信合成DSPの検討
- ②衛星-地上間光伝搬シミュレーションにおける受信側ファイバ結合光強度の時間変動の適正化
- ③衛星搭載光通信トランスポンダの開発

**(5)Photonics West 2018 査読付き収録論文**

- ①Mode diversity coherent receiver with few-mode fiber-coupling for high-speed free-space optical communication under atmospheric turbulence
- ②Performance improvement in LEO-to-ground free space optical communication systems with adaptive distributed frame repetition

**(6)電子情報通信学会総合大会(東京/東京電機大学)一般口頭発表**

- ①LEO-地上間光空間通信システムへの適応反復フレーム送信の適用による伝送能力改善(1)
- ②LEO-地上間光空間通信システムへの適応反復フレーム送信の適用による伝送能力改善(2)

## 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

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、およびこれまでの研究成果のアピールを通じての同システムの実用性の向上に取り組む。

### ● 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

確立したスクリーニングプロセスを適用したデバイスを衛星搭載機器に搭載し、信頼性試験を行い、デバイスのスクリーニングプロセスの有効性を実証する。  
また、部品プログラムの標準化を検討する。

### ● 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の完了。次フェーズの製造・性能評価へと移行する。  
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環境試験を通して確認する。

### ● 研究項目 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(研究項目3の成果)に実装するパフォーマンスモニタの動作を実験的に確認する。評価の際の入力信号として研究項目1の成果である伝搬後信号光強度変動のデータを使用する。また、パフォーマンスモニタの出力情報を用いた適応レート制御を行い、GEO(静止衛星)-地上間、LEO(低軌道衛星)-地上間の各ケースにおける効果を定量的に評価する。