

平成24年度研究開発成果概要書  
 エラスティック光アグリゲーションネットワークの研究開発(160701)  
 課題ア エラスティック光リンク技術  
 副題 多様なサービス、多様なネットワーク構成を実現する  
 伸縮自在光リンク技術

(1) 研究開発の目的

エラスティックな光パスおよび複数のサービスへの対応が可能な新たな光メトロ・アクセス統合ネットワークの光リンクを実現する上でキーテクノロジーとなる、プログラマブルな物理層技術、OFDM 光送受信器、エラスティック光スイッチ、光リンク構成技術の研究開発を推進し、エラスティック光リンク技術を確立し、エラスティック光アグリゲーションネットワークを世界に先駆けて実用化する。

(2) 研究開発期間

平成24年度から平成28年度(5年間)

(3) 委託先

株式会社日立製作所<幹事者>、  
 沖電気工業株式会社、古河電気工業株式会社、株式会社 KDDI 研究所

(4) 研究開発予算(百万円)

平成24年度	150 (契約金額)
平成25年度	140 ( " )
平成26年度	132 ( " )
平成27年度	124 ( " )
平成28年度	116 ( " )

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：エラスティック光リンク技術  
 ア-1 プログラマブル PHY 技術の開発 (株式会社日立製作所)  
 ア-2 プログラマブル光送受信器の開発 (沖電気工業株式会社)  
 ア-3 エラスティック光スイッチの開発 (古河電気工業株式会社)  
 ア-4 エラスティック光リンク構成技術の開発  
 (株式会社 KDDI 研究所)

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計)件	(当該年度)件
特許出願	国内出願	6	6
	外国出願	2	2
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	4	4
	プレスリリース	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

## 具体的な成果

### (1) プログラマブル PHY 基本方式の決定と検証機ハードウェア作製

光区間の伝送品質に応じて ONU 毎に誤り訂正符号を動的に変更可能なプログラマブル PHY の基本方式を決定した（2012 年 12 月国内特許出願、2013 年 3 月外国特許出願、2013 年 3 月電子情報通信学会総合大会にて発表）。また、プログラマブル光送受信器の制御が可能なインタフェース仕様を決定した。さらに、基本方式を検証可能なハードウェアを設計し、機能検証機を作製した。

### (2) プログラマブル光送受信器の基本方式の決定

プログラマブル光送受信器の基礎技術となる、光パラメータ固定のリアルタイム OFDM 送受信器の基本方式設計を実施した。その機能の一つである伝送歪補償の要否を判断するために、伝送路の波長分散歪みが通信帯域に与える影響を算出した。OLT と ONU 間の距離を考慮して適切に副搬送波を割り当てることで、その影響を回避できることを示した（2013 年 3 月電子情報通信学会総合大会にて発表）。またエラスティック化を見据えて、送信側の OFDM 信号パラメータが変更になった場合でも、受信側で一部パラメータを自動推定し、正常に受信する方式を提案し、基本実証を行った（2013 年 2 月国内特許出願、2013 年 3 月電子情報通信学会総合大会にて発表）。

### (3) エラスティック光スイッチの試作と特性評価

出力ポート 30 以上の多ポートエラスティック光スイッチの開発に向けて、光学構成の検討とその基本特性の評価について取り組んだ。多ポート化に伴うスイッチ角増加を抑制するために、ポートの間隔が狭いコリメータアレイを採用することとし、そのコリメータのビーム径に適する光学系を検討した。その結果、1548.52 nm（C バンドの帯の略中心波長）で 9 dB 以下の挿入損と、帯域幅 50GHz の設定にてフラットトップなスペクトルを確認した。そして、更なる特性改善のための光学構成に関する国内特許出願（2013 年 1 月）をした。

## (7) 研究開発イメージ図 別紙参照

# 平成24年度「エラスティック光アグリゲーションネットワークの研究開発(課題A:エラスティック光リンク技術)」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

## 1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

実施機関	株式会社日立製作所(幹事者)、沖電気工業株式会社、古河電気工業株式会社、株式会社KDDI研究所
研究開発期間	平成24年度から平成28年度(5年間)
研究開発費	総額661百万円 (平成24年度:150百万円、平成25年度:140百万円、平成26年度:132百万円、平成27年度:124百万円、平成28年度:116百万円)

## 2. 研究開発の目標

平成26年度末までに、プログラマブルPHY技術、プログラマブル光送受信技術、エラスティック光スイッチ技術、エラスティック光リンク構成技術の各基本技術を開発して、各部の連携動作を部分的に検証し、波長や伝送容量等が可変なエラスティック光信号の伝送の実現に向けた課題を抽出する。

平成28年度末までに、抽出した課題を解決する技術を開発し、試作したOLTやONU、エラスティック光スイッチを接続して、エラスティック光信号の伝送を検証し、エラスティック光リンク技術を確立する。

## 3. 研究開発の成果

### 研究概要と平成24年度(当年度)目標

エラスティック(伸縮自在)な光パスおよび複数のサービスへの対応が可能な新たな光メトロ・アクセス統合ネットワークを実現する上でキーテクノロジーとなるエラスティック光リンク技術を、下記4つのサブ課題に分けて研究開発し、エラスティック光アグリゲーションネットワークを世界に先駆けて実用化することを目指す。

#### 課題A-1 プログラマブルPHY技術の開発

サービスや光ネットワーク条件毎に誤り訂正方式、符号化方式をダイナミックに選択・構成する技術

**【平成24年度目標】**プログラマブルPHYの基本方式決定、光送受信器とのインターフェイス仕様の決定、検証機ハードウェアの作製  
(株)日立製作所

#### 課題A-2 プログラマブル光送受信器の開発

パラメータを変更可能なOFDM光送受信器技術

**【平成24年度目標】**固定レートのOFDM送受信器の設計完了、プログラマブルPHYとのインターフェイス仕様の決定  
沖電気工業(株)

#### 課題A-3 エラスティック光スイッチの開発

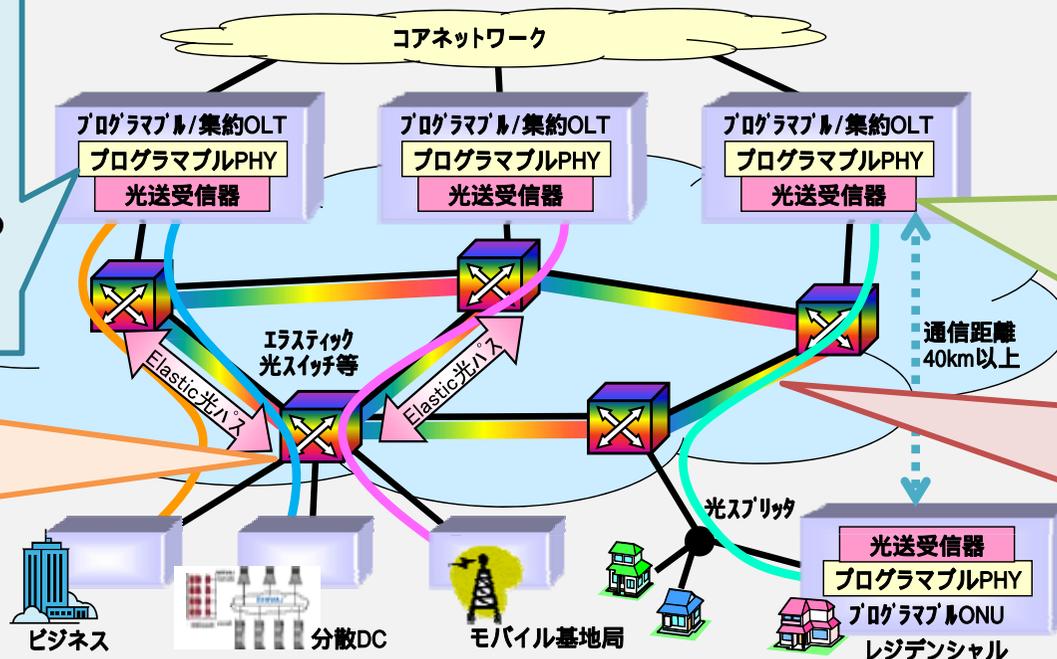
フレキシブルグリッド対応光スイッチ技術

**【平成24年度目標】**光学定盤上での試作及び開発課題抽出、評価系の構築、制御回路の考案  
古河電気工業(株)

#### 課題A-4 エラスティック光リンク構成技術の開発

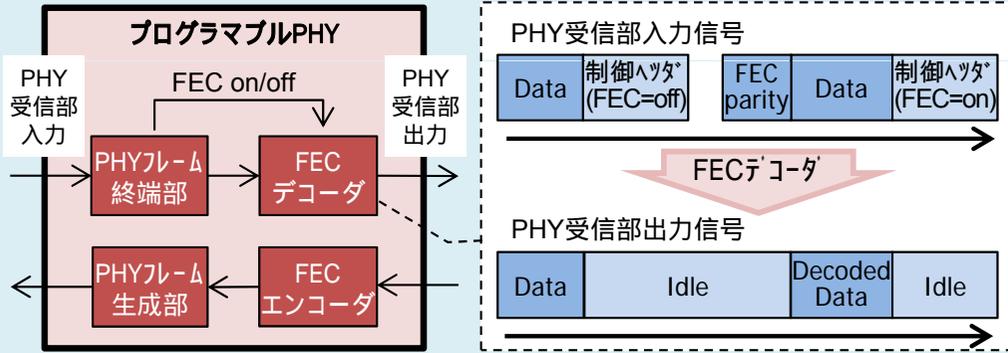
エラスティックな物理的、論理的な光リンクを構成設計する技術

**【平成24年度目標】**デジタル信号処理アルゴリズムの明確化、リンクシミュレータ構築の立ち上げ  
(株)KDDI研究所



■ プログラマブルPHY機能部の基本方式を決定

- 光区間の伝送品質に応じてONU毎に誤り訂正符号を動的に変更可能な基本方式を検討し、検討結果をまとめた仕様書を作成
- FECエンコーダ・デコーダ部の論理設計を完了



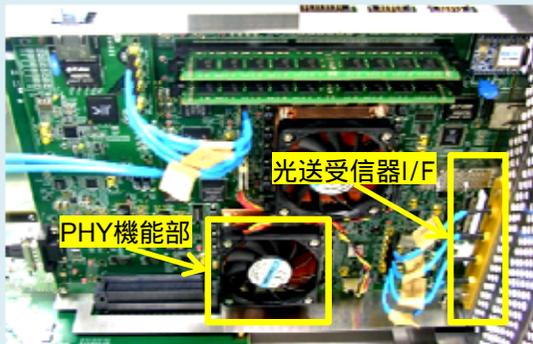
< PHY機能部のFECデコーダ動作イメージ >

■ 光送受信器とのインタフェース仕様を決定

- プログラマブル光送受信器の制御に必要なインタフェース仕様を検討し、インタフェース仕様書を作成

■ ONU機能検証機ハードウェアを製作

- PHY機能を検証可能なハードウェア仕様を検討し、設計・製造後に、基本動作を検証



< ONU機能検証機ボード外観 >

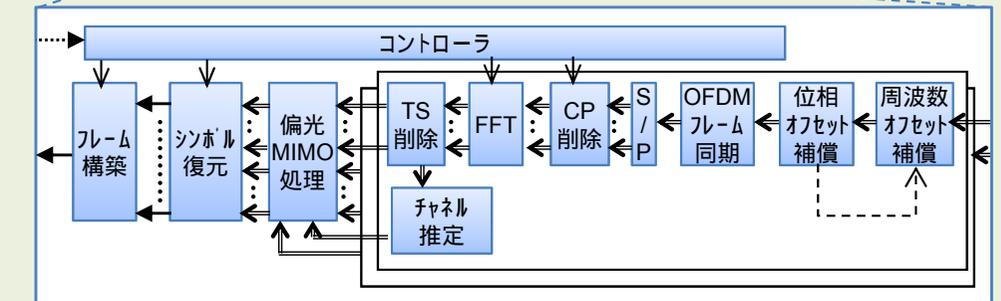
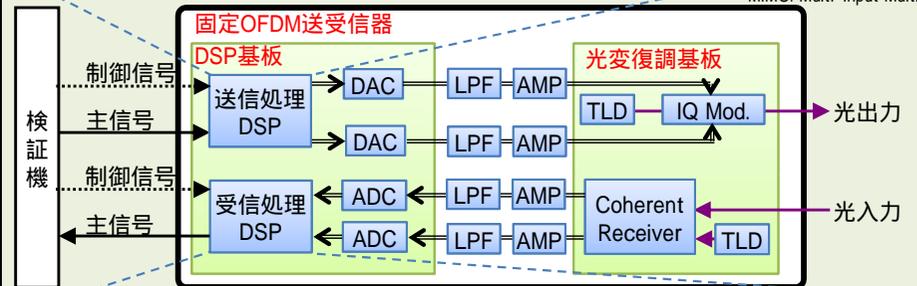
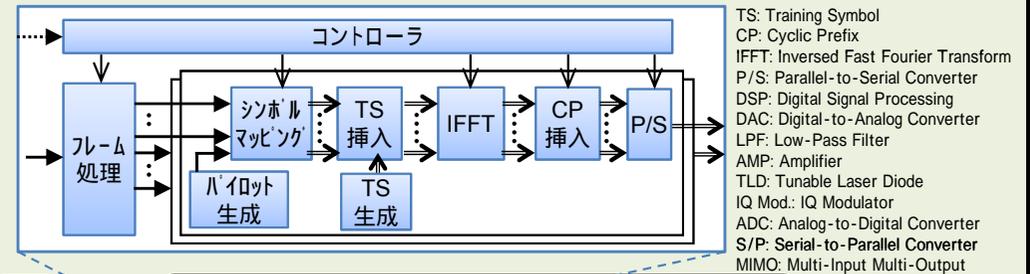
信号分類	番号	信号の内容
主信号	1	10G主信号 (送信, ポジ)
	2	10G主信号 (送信, ネガ)
	3	10G主信号 (受信, ポジ)
	4	10G主信号 (受信, ネガ)
制御信号	1	送信レーザーOFF/ON制御
	2	10G/1G受信選択
	3	受信側LOS検出
	4	RSSIモニタ用のトリガー信号
	5	モジュール未接続表示
	6	I2Cのクロック信号
	7	I2Cのデータ信号
	8	送信波長選択 (bit0)
	9	送信波長選択 (bit1)
	10	送信波長選択 (bit2)
	11	送信波長選択 (bit3)
	12	受信波長選択 (bit0)
	13	受信波長選択 (bit1)
	14	受信波長選択 (bit2)
	15	受信波長選択 (bit3)
	16	送信サブキャリア数
	17	受信サブキャリア数
	18	送信シンボルレート
	19	受信シンボルレート
	20	送信変調方式
	21	受信変調方式
...		(以下、省略)

< PHY-光送受信器インタフェース仕様 >

■ リアルタイム処理可能な固定OFDM送受信器の基本方式を決定

プログラマブル光送受信器の基礎技術となる、光パラメータ固定のリアルタイムOFDM送受信器の基本方式設計を実施した。具体的にはハードウェア機能ブロックを検討し、主要デバイスの要求仕様設定および選定を行った。また送受信のデジタル信号処理(DSP)の機能ブロックを検討し、方式検証を行った。設計した固定OFDM送受信器の主な特徴を以下に示す。

- アナログ帯域を圧縮するために偏波多重方式を採用
- DSP設計変更に対応するためにFPGAを採用
- 評価実施の容易性の観点から、光送受信器全体を2つの基板に分割

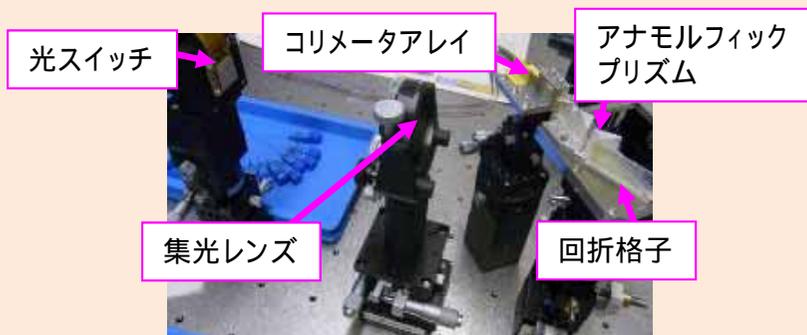


< 設計した固定OFDM送受信器のブロック図 >

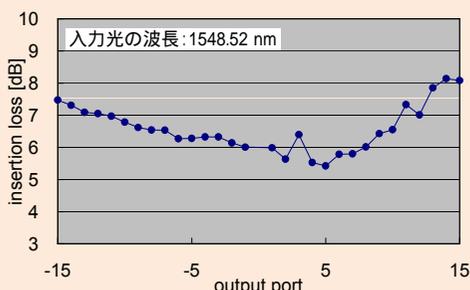
■ **エラスティック光スイッチを試作**

出力ポート数30の多ポートエラスティック光スイッチの光学系を設計し、試作した光学系を用いて基本特性を確認。

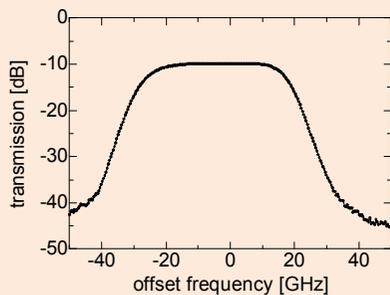
- 多ポート化に伴う光スイッチのスイッチ角増加を抑制するため、光ファイバのピッチ間隔が狭いコリメータアレイを採用し、コリメータの特性に適した光学系を設計。
- 1548.52 nm (Cバンド帯の略中心波長)の入力光に対して、各出力ポートにスイッチしたときの挿入損失が9 dB以下であること、50GHz帯域幅設定でスイッチしたときのスペクトル形状がフラットトップであることを確認。



< 試作したエラスティック光スイッチの外観 >



< 各出力ポートへスイッチしたときの挿入損失 >



< 50GHz帯域幅設定でスイッチした際のスペクトル >

■ **エラスティック光スイッチの評価系を構築**

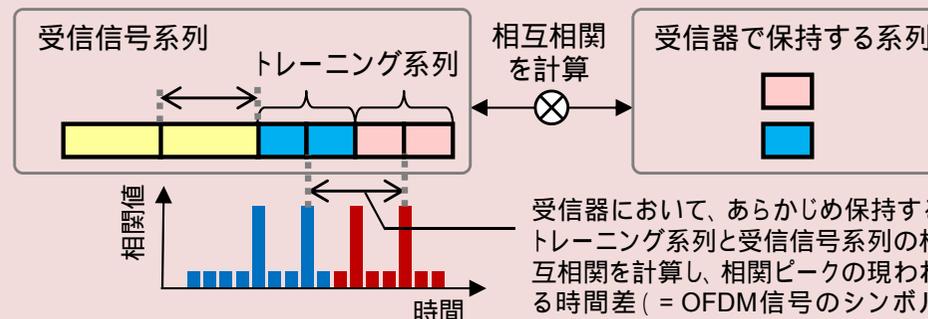
光スイッチの制御と連動して多ポートの挿入損を測定する系と、スペクトルを高速に測定する系を構築。

■ **エラスティック光スイッチの制御回路の構成を決定**

動的な帯域可変に必要なインターフェース仕様について通信方式やフォーマットを検討し、光スイッチの制御回路作製に向けたハードウェア構成を決定。

■ **OFDM信号の高速フーリエ変換サイズ推定技術を考案**

- 光OFDM信号の各種パラメータをエラスティックに変更する場合、変更後のパラメータの情報を送信器、受信器間で共有することが不可欠。光OFDM信号のパラメータの一つである高速フーリエ変換(FFT)サイズに着目し、受信器において受信信号系列からそのFFTサイズを推定する技術を考案。
- 提案方式を用いることにより、送信器がFFTサイズを変更した場合も、受信器はその変更後の値を推定し、正常に信号を復調できることを計算機シミュレーションにより実証。

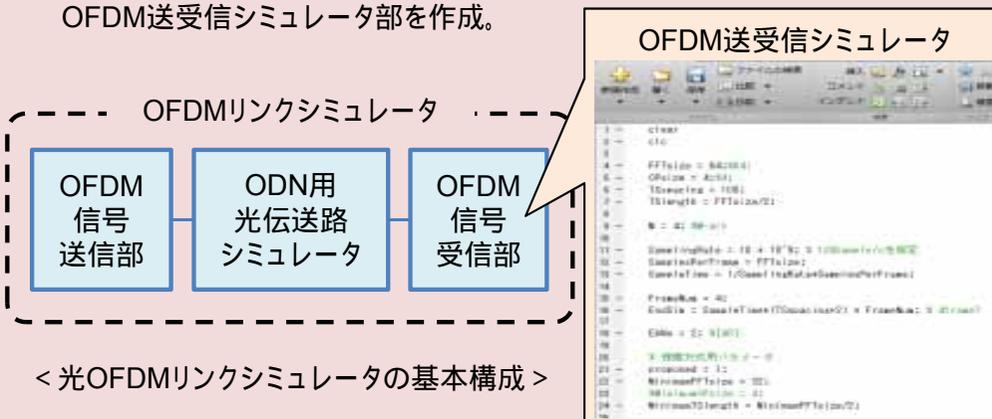


受信器において、あらかじめ保持するトレーニング系列と受信信号系列の相互相関を計算し、相関ピークの現われる時間差 (= OFDM信号のシンボル長に相当)よりFFTサイズを推定

< OFDM信号の高速フーリエ変換サイズ推定技術の概要 >

■ **光OFDMリンクシミュレータのシステムアーキテクチャの決定とその構築**

- 光OFDM信号およびエラスティック光スイッチの各種パラメータの最適設計を行うための光OFDMリンクシミュレータのシステムアーキテクチャを明確化。光リンクの品質シミュレータ部分はOFDM送受信シミュレータ及びOptical Distribution Network(ODN)用光伝送路シミュレータにより構築する計画とし、OFDM送受信シミュレータ部を作成。



< 光OFDMリンクシミュレータの基本構成 >

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

成果数は累計件数と( )内の当該年度件数です。

	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	展示会	標準化提案
エラスティック光アグリゲーションネットワークの研究開発 (課題A:エラスティック光リンク技術)	6 (6)	2 (2)	0 (0)	4 (4)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

5. 研究成果発表会等の開催について

(1) 電子情報通信学会 2013年総合大会 (2013年3月)・発表

- ・EPLAN向けプログラマブルPHY及びMACの提案 (株式会社日立製作所)
- ・波長分散歪みを考慮したCO-OFDM-PONのサブキャリア割当に関する検討 (沖電気工業株式会社)
- ・エラスティック光アグリゲーションネットワークのための光OFDM信号の高速フーリエ変換サイズ推定方法に関する一検討 (株式会社KDDI研究所)

(2) IEEE Globecom 2012 Workshop (2012年12月)・招待講演

- ・Control Plane Techniques for Elastic Optical Networks: GMPLS/PCE vs OpenFlow (株式会社KDDI研究所)

6. 今後の研究開発計画

この成果により、今後、どのような研究を行うのかを例示を上げながら、具体的、かつ簡潔に記載して下さい。

- 各課題において、引き続き各種方式を決定し、中間年度(平成26年度)の実証実験に向けて、課題毎に試作機やシミュレータを構築し、基本動作を検証する。
- 【課題A - 1】本年度に開発したFECエンコーダ・デコーダに続き、PHY機能部に必要となるFEC ON/OFF制御が可能なPHYフレーム生成・終端部を開発し、論理シミュレーションで動作検証する。また、本年度に決定したインタフェース仕様を基に、4種以上の送受信波長を設定可能な波長可変光送受信器とのインタフェース部を開発し、電気信号により動作検証する。さらに、本年度に開発したPHY機能部のFECエンコーダ・デコーダの入出力動作を実機にて検証する。
  - 【課題A - 2】本年度に設計した結果をもとに、固定OFDM光送受信器の試作機開発を行う。この試作機開発を通じて、ハードウェア製造上の課題を抽出する。出来上がった試作機を用いてリアルタイムOFDM送受信実験を行う。このとき伝送も同時に行い、伝送路歪み補償の要否を見極める。DSPに必要な機能を精査し、DSP開発にフィードバックする。以上の研究開発から得られた知見をもとに光送受信器のプログラマブル化を検討し、最適なアーキテクチャを模索する。
  - 【課題A - 3】本年度に確認したエラスティック光スイッチの挿入損とスペクトル特性の更なる改善を実現する。そのために、エラスティック光スイッチの光学構成と光スイッチの制御方法の両面からの検討をし、実験による検証を行う。また、統合実験での動作検証に向けて、制御回路も含めたエラスティック光スイッチのモジュール化の開発を進める。
  - 【課題A - 4】本年度に考案した光OFDM信号のFFTサイズ推定技術に加え、サブキャリア数や多値数などFFTサイズ以外の各種パラメータがエラスティックに変更される場合においても、適応的かつ正常に受信可能な光OFDM送受信アルゴリズムの開発を行い、簡易テストベッドにより実現性検証を行う。また、光OFDMリンクシミュレータを開発し、光OFDM信号のマルチパラメータと受信信号品質の関係性を明らかにし、設計パラメータ表を確立する。