

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

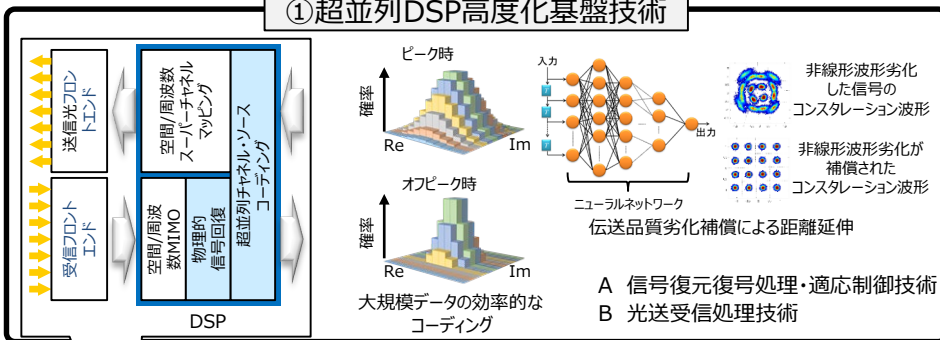
- ◆研究開発課題名：超並列型光ネットワーク基盤技術の研究開発
- ◆副題：大規模データを省電力・オープン・伸縮自在に収容する超並列処理光技術
- ◆実施機関：三菱電機(株)、(国研)産業技術総合研究所、(株)KDDI総合研究所、(国)香川大学、(学)慶應義塾
- ◆研究開発期間：平成30年度～平成33年度(4年間)
- ◆研究開発予算：総額280百万円(平成30年度70百万円)

2. 研究開発の目標

2030年頃の空間多重システムに資する、光運用波長当たり現行比10倍の大容量性を実現する超並列DSP高度化基盤技術と、並列度現行比従来比1000倍、伸縮度現行比100倍の超並列性・伸縮自在性・オープン性を実現する超並列光ネットワーク基盤技術をそれぞれ確立する。

3. 研究開発の成果

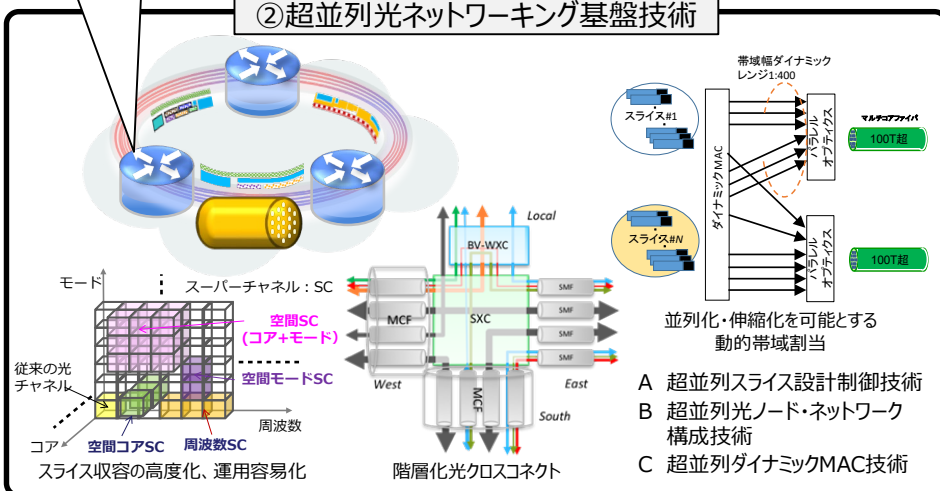
①超並列DSP高度化基盤技術



研究開発成果A 信号復元復号処理・適応制御技術
超並列光信号を収容するDSPの低電力化が課題。
・本研究開発では、情報圧縮と確率的信号点配置シェイピングにより、情報源有効領域50%の場合に符号処理機能の電力効率5倍改善に成功。

研究開発成果B 光送受信処理技術
非線形波形劣化補償に有効なアルゴリズムを見出すことが課題。
・本研究開発では、機械学習処理によって非線形波形劣化補償を行うためのソフトウェアの開発を実施し、基本的な動作の確認に成功。

②超並列光ネットワーク基盤技術



研究開発成果A 超並列スライス設計制御技術
品質を考慮した空間軸のスライス収容効率向上とオープンIFのSDM対応が課題。
・本研究開発では、収容効率向上手法の提案(出願)とオープンIFの基本検証に成功。

研究開発成果B 超並列光ノード・ネットワーク構成技術
階層化光クロスコネクタ(HOXC)のモジュール性向上が課題。
・本研究開発では、考案したHOXCアーキテクチャと従来技術のモジュール性をシミュレーションにより定量的に比較し、考案したHOXCが初期費用が少なく、トラフィック需要の増加に応じて、設備を柔軟に増設可能であることを実証。

研究開発成果C 超並列ダイナミックMAC技術
100多重級の光空間多重と10Tbps級のスーパーチャネルを使いこなすMACが課題。
・本研究開発では、多段ラウンドロビンを最適化することで、100Gbps級で400レーン並列(=40Tbps)を提供可能なダイナミックMACアーキテクチャの考案に成功。

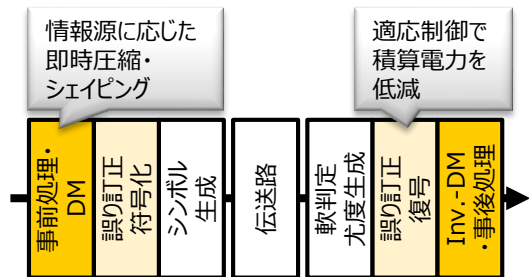
①A 信号復元復号処理・適応制御技術

・最終目標：先進の情報理論を活用した信号の復元復号処理技術と、各機能を連携させることで適応的に性能・電力を最適化する技術を探求する。2030年頃の社会実装を想定した半導体プロセス・論理回路技術の進化(4.2倍見込み)を前提とし、現行1Tbpsの伝送容量を10倍の10Tbpsに増加させるとともに、25倍の電力効率化を可能とする基盤技術を確認する。方式・アルゴリズムのみで電力効率6倍改善を達成する。

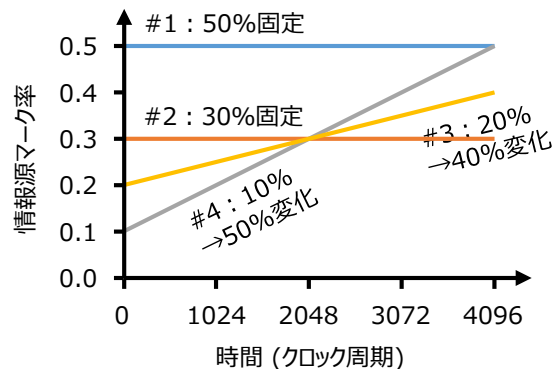
・2018年度目標：信号復元復号処理およびスーパーチャネル内外での適応制御について、候補となるアルゴリズムの原型を抽出完了する。

・2018年度実施内容：確率的信号点配置シェイピングと情報圧縮の利用を前提とした信号復元復号処理の基本検討、スーパーチャネル連携制御機能の基本検討、2つの基本検討から抽出したアルゴリズム原案の要素評価、にそれぞれ取り組んだ。

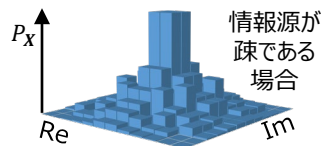
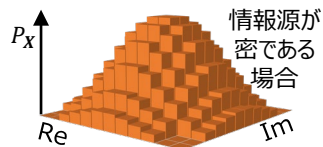
・結果：シェイピングと圧縮を組み合わせ、誤り訂正復号繰り返し数を動的制御することにより、情報源の有効領域が50%(情報源マーク率30%)である場合に、電力効率を5倍改善できることを要素評価(シミュレーション)により明らかにした。方式・アルゴリズムのみでの改善目標6倍に向けて予定通りの進捗である。



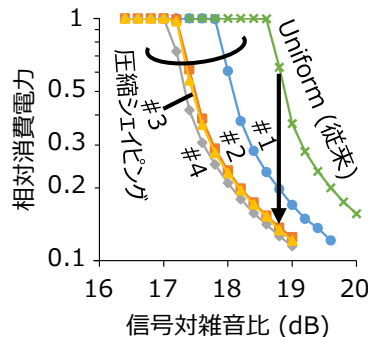
図①A-1：検討したシステムのモデル



図①A-3：情報源の動的変化のモデル化



図①A-2：情報源変化時のシンボル確率分布



図①A-4：適応制御による電力低減効果(#1で1/3、#2~#4で1/5)

①B 光送受信処理技術

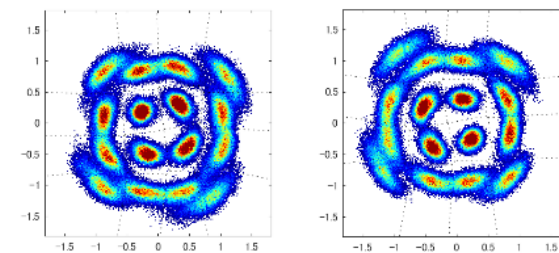
・最終目標：ニューラルネットワークを用いて、信号の非線形波形劣化を補償する送受信信号処理方法の開発を行う。波長多重された、周波数利用効率が10bit/s/Hz以上である高次QAM信号について、伝送後に発生する非線形波形劣化の補償を行い、非線形波形劣化補償を行わない場合と比較して60%以上伝送距離を延伸する。

・2018年度目標：機械学習技術による非線形波形劣化補償を実施するためのアルゴリズムの調査および基礎検討を行い、採用するアルゴリズムの大枠を定める。また光伝送評価系を用いた実験による検討を翌年度以降実施するために、必要な機材を先行的に導入して、システムの構築を開始する。

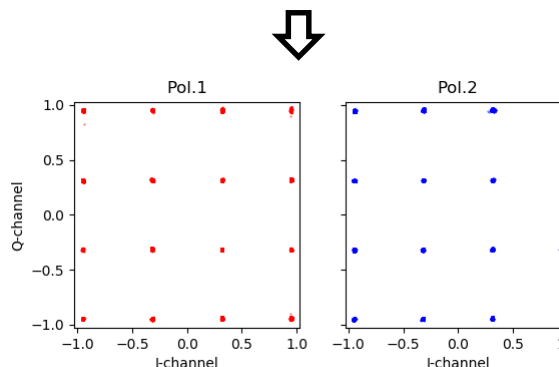
・2018年度実施内容：様々なニューラルネットワークの方式を調査し、効果を発揮し得るアルゴリズムの候補を調査した。また、平成31年度以降に光伝送評価系を用いた実験による評価を実施するために必要な準備として機材・消耗品を購入し、評価系の構築作業を進めた。

・結果：調査の結果、機械学習を用いた非線形波形劣化補償を目的として、畳み込み型や再帰型などの複雑な形状を持つニューラルネットワークが特段有効に動作する例は報告されていないことがわかった。そこで本研究では、最も単純な全結合型を用いて検討を続ける。

光伝送評価系の構築を進めると同時に機械学習処理のための信号処理ソフトウェアを作成し、基本的な動作が可能であることを確認した。ただし、信号のパターンに疑似ランダムビット列を用いた場合は、そのパターンを過学習してしまっているため、ランダムパターンに対して動作する方式を確立する必要があることがわかった。



図①B-1：伝送により歪んだDP-16QAM信号のコンスタレーション波形



図①B-2：オフライン信号処理でニューラルネットワークを適用後のコンスタレーション波形

②A 超並列スライス設計制御技術

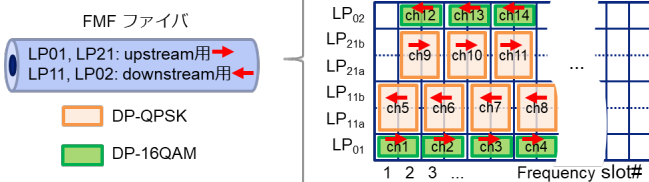
・最終目標：現行比1000倍相当の信号並列度を確保する。また、課題内連携により、並列度1000倍相当、伸縮度100倍相当の基盤検証を実施する。

・2018年度目標：モード間クロストークを考慮したスライス設計手法の検討を行う。また、フレキシブルなスライス設計・構築技術の基本検証を実施する。

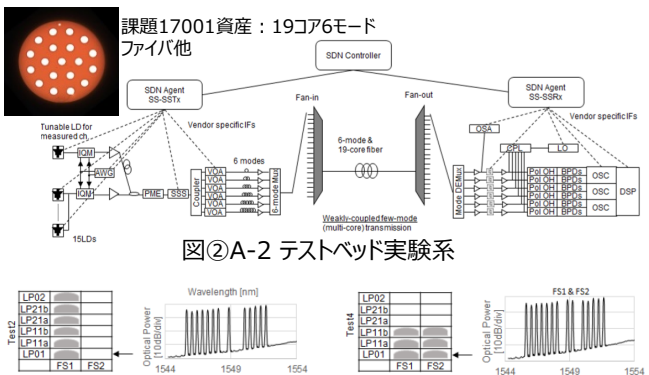
・2018年度実施内容：効率的な空間軸・周波数軸のチャンネル割当を検討し、品質も考慮したスライス設計手法を検討した。課題170の知見・資産である100以上空間多重実験系を利用して、フレキシブルなスライス設計・構築技術の基本検証を実施した。また、テストベッドの構築を進めた。

・結果：品質劣化も考慮した空間軸・周波数軸のスライス割当てに関して、空間軸の品質劣化を抑制しつつスライス収容効率を高める新しい手法を提案(特許出願)すると共に、空間軸・周波数軸のチャンネル割当て設計技術を検証するテストベッドを構築し、基本的な設計・監視動作(Point-to-Point構成、モードグループ数2相当の制御、OSNR監視)を確認した。

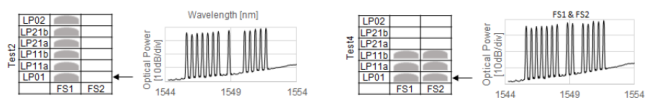
使用する伝搬モード・変調方式を最適化することにより信号劣化要因であるモード間クロストークを抑制・均一化



図②A-1：空間軸・周波数軸の割り当てイメージ



図②A-2 テストベッド実験系



図②A-3：空間軸・周波数軸割り当て試験1

図②A-4：空間軸・周波数軸割り当て試験2

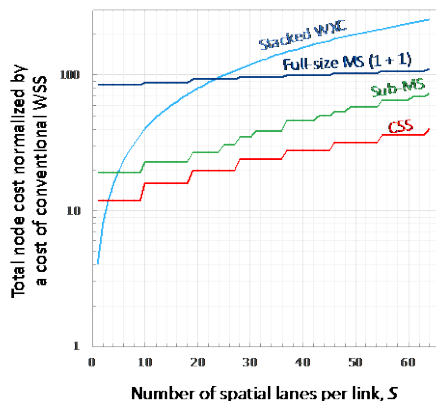
②B 超並列光ノード・ネットワーク構成技術

・最終目標：空間軸/周波数軸を駆使した伸縮度現行比100倍の転送帯域を可能とする超並列光ノード・ネットワーク構成技術を確認する(現行は32GBaud 偏波多重BPSKによる50Gbpsから32GBaud 偏波多重16QAMによる200Gbpsまでの4倍の伸縮度)。

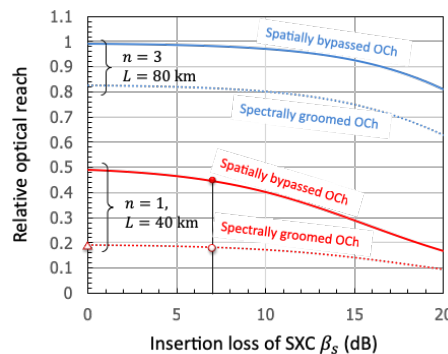
・2018年度目標：超並列階層化光ノード構成技術と超並列階層化光ネットワーク設計技術に関し、コアスイッチアーキテクチャ、転送特性解析モデル、RCA(Routing and Core Assignment)アルゴリズムの一次検討を完了する。

・2018年度実施内容：モジュール性に優れた階層化光クロスコネクタ(HOXC)を考案し、シミュレーションにより従来方式と定量的に比較した。HOXCにおける光信号転送特性定式化とRCAアルゴリズムの一次検討を実施した。

・結果：提案した2つのHOXCは、トラフィック量の増加に対して初期コストと終局コストを抑制することが可能であることを明らかにした(図②B-1)。光パイプによる伝送距離延伸の可能性を示した(図②B-2)。RCAアルゴリズムの基本設計を完了した。



図②B-1：空間レーン数に対する光ノードコストの関係



図②B-2：SXC挿入損失に対する伝送可能距離の関係

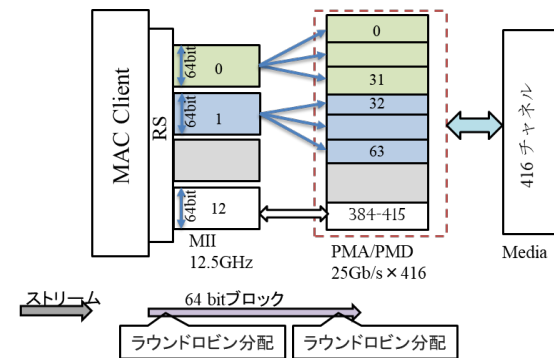
②C 超並列ダイナミックMAC技術

・最終目標：100多重級の光空間多重と10Tbps級のスーパーチャネルを前提とした大規模光ネットワーク実現をサポートするために、ダイナミックに帯域幅を変更可能なMAC技術のエミュレータによる原理確認により基盤技術を確認する。

・2018年度目標：ダイナミックMACの基本検討を行い、基本機能を確認するためのエミュレータを作成する。

・2018年度実施内容：MACアーキテクチャの要素技術として、現状比100倍の伸縮度400を実現可能なダイナミックMACのアーキテクチャを検討。マルチレーン振分の動作確認用エミュレータの構築を実施。

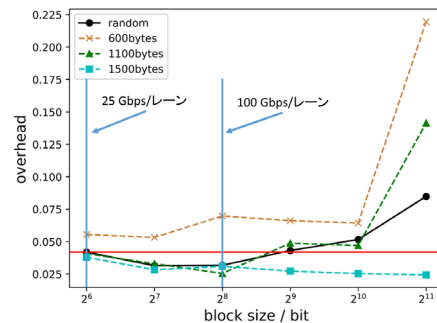
・結果：MACのMIIクロックの8倍化(12.5GHz)、2段階ラウンドロビンにより、最大416レーンまでの伸縮度を実現可能なMAC構成を考案。シミュレーションにより、100Gbps/レーン動作の実現性を確認し、40Tbps級MACの基本構成を提示。



図②C-1：提案ダイナミックMAC構成例



図②C-2：エミュレータ外観



図②C-3：シミュレーション評価結果

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 (2)	1 (1)	1 (1)	5 (5)	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)スタートアップミーティングを開催
2019年1月25日、NICTにて。評価委員・専門委員、総務省担当課、NICT関係者、受託者間で研究開発の前提条件、進め方、到達目標等の認識共有
- (2)受託者間調整会議を開催
2019年2月15日、三菱電機にて。受託者間で2018年度研究開発の進捗状況を共有
- (3)主要成果を国内外の論文・学会にて発表
OSA論文JOCN 3月号
国際会議OFC2019: 2019年3月3日～3月7日、米国サンディエゴ(ワークショップ)
電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会: 2019年3月14日～15日、宮古島
電子情報通信学会総合大会: 2019年3月19日～22日、早稲田大学

5. 今後の研究開発計画

- ①A 信号復元復号・適応制御技術: 2018年度に行った基本要素を基に具体化を進め、アルゴリズムをFixする。検討したアルゴリズムの性能と電力の見積と改良を繰り返し、方式・アルゴリズムのみで電力効率6倍改善を目指す。
- ①B 光送受信処理技術: ランダムビットパターンを持つ信号の非線形波形劣化補償に対応できる方式を確立する。並行して、長距離伝送実験が可能な測定系の構築を続行する。
- ②A 超並列スライス設計制御技術: 2018年度に構築したテストベッドの拡張(NWTポロジをPtoPからRing/Meshへ)を行うと共に、モード間クロストークを抑圧しながら管理するモードグループ数を現行比3倍以上に増やし、最終目標(現行比1000倍相当)に向けて信号並列度の増大を目指す。また、オープンIFを用いて、モニタリング結果を基にしたスライス制御の検証を行う。
- ②B 超並列光ノード・ネットワーク構成技術: HOXCアーキテクチャの実現性実証実験を実施するとともに、コア間クロストークと非線形雑音を考慮した転送特性の明確化に取り組む。また、RCAアルゴリズムを用いて、SCNのパフォーマンスを定量評価する。
- ②C 超並列ダイナミックMAC技術: 2018年度に行った基本要素を基にスキュー吸収手法、レーン故障対応等のMAC構成具体化を進める。エミュレータによる動作検証と机上検討より、チャンネル数1000倍、伸縮度100倍のダイナミックMAC実現方式の基盤技術確立を目指す。