

## 巨大データ流通を支える次世代光ネットワーク技術の研究開発

# The research and development project for the Tera-bit optical network technologies towards big data era

代表研究責任者 富澤 将人 日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所

研究開発期間 平成 27 年度～平成 29 年度

### 【Abstract】

This paper describes the results of the research and development project for the Tera-bit optical network technologies towards big data era. In this project, digital-coherent optical transmission technologies for 1Tbps-class capacity per lamda were successfully developed.

Adaptive transmission technologies were employed to adapt the varying transmission circumstances such as traffic, distance and transmission characteristic. In order to reduce the power consumption, digital signal processing circuit was optimally designed and successfully verified.

The following technologies were established for 400Gbps per channel transmission with low power consumption and for reducing the network power consumption to one quarter of conventional one.

- (1) Adaptive modulation/demodulation and error correction technologies.
- (2) Static equalization and adaptive equalization technologies.
- (3) Design optimization techniques of low power ditigal signal processing circuit.
- (4) Integrated verification technology for low power digital signal processing circuit.

## 1 研究開発体制

- **代表研究責任者** 富澤 将人（日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所）
- **研究分担者**
  - 岡村 敦†（三菱電機株式会社 情報技術総合研究所†）
  - 津村 聡††（日本電気株式会社 システムプラットフォーム研究所††）
  - 寺原 隆文†††（富士通株式会社 ネットワークプロダクト事業本部†††）
- **総合ビジネスプロデューサ** 日比野 善典（NTTエレクトロニクス）
- **ビジネスプロデューサ**
  - 西沢 秀樹（日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所）
  - 下笠 清†（三菱電機株式会社 通信システム事業本部†）
  - 田島 勉††（日本電気株式会社 コンバージドネットワーク事業部††）
  - 塩田 昌宏†††（富士通株式会社 ネットワークプロダクト事業本部†††）
- **研究開発期間** 平成 27 年度～平成 29 年度
- **研究開発予算** 総額 1,634 百万円

(内訳)

平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
598 百万円	537 百万円	499 百万円

## 2 研究開発課題の目的および意義

超高精細映像やビッグデータ等の流通、移動通信トラヒックの急激な増加や、機器同士、端末同士など人間が介在しない通信トラヒックの増加の本格化が想定されることなどから、我が国の通信トラヒック量は増加を続け、今後も基幹ネットワークを支える光ネットワークに要求される伝送容量はますます大きくなることが予想される。現在、100Gbps 級の光伝送技術が普及しつつあり、これに続く 400Gbps 級光伝送技術の開発が進められているが、さらなる高速大容量化と低消費電力化を進めた光伝送技術が要求されている。このようなネットワークに対する大容量化の要求と低消費電力化の要求を同時に満たすためには、これまでの延長線上の技術としての高速化と省電力化に加えて、トラヒック量や伝送距離・伝送路特性といった変動要因に適応的に対応できる機能が必要となる。

本研究開発は、基幹ネットワークの長距離伝送に適したデジタルコヒーレント方式において、より高度な光伝送技術や低電力デジタル信号処理技術を導入し、1 波長あたり 1Tbps 級の容量を有し、トラヒック量や伝送距離・伝送特性といった変動要因に適応的に対応することが可能な適応伝送技術を確立し、これら技術を適用した送受信信号処理回路全体構成の最適化を行って、消費電力を従来比 1/4 に削減する技術を確立し、巨大データ流通を支える次世代光ネットワークの実現を目指す。

## 3 研究開発成果（アウトプット）

### 3. 1 1 テラビット級高速大容量光伝送技術

100Gbps 級光伝送技術に対し、送受信機（実装サイズ）当たりの伝送容量を 10 倍にするため、以下の到達目標を設定する。

#### ア) 適応変調符号化技術

上記 10 倍の伝送容量の実現に資する適応変調符号化技術として、以下の基本技術を確立する。

##### a) 適応変復調基本技術

伝送距離（100～2,000km 程度）、伝送路の種別（ITU-T 勧告 G.652～655）に応じて、伝送効率を最大にできる伝送路推定アルゴリズム及び変復調方式選択アルゴリズムの基本技術を確立する。

##### b) 誤り訂正基本技術

1 Tbps を実現するために必要なキャリア数や適用する変調方式、信号品質等に対して、伝送効率を最大にできる誤り訂正処理アルゴリズムおよび尤度生成アルゴリズムの基本技術を確立する。

#### イ) 伝送システム内歪み補償技術

上記 10 倍の伝送容量の実現に資する伝送システム内歪み補償技術として、以下の基本技術を確立する。

##### a) 静的等化基本技術

最大 1 Tbps となるキャリア成分の復調において、静的な線形歪みの補正を可能とするアルゴリ

ズムの基本技術を確立する。

b) 動的等化基本技術

キャリア数と変復調方式の適応的な可変に対応した上で、最大数 kHz 程度の偏波変動速度と 100ps 程度の偏波モード分散により動的に生じる波形歪みの補正を最も少ない演算規模で実現するための信号処理アルゴリズムの基本技術を確立する。

ア) 適応変調符号化技術

a) 適応変復調基本技術 (NTT)

平成 27 年度および平成 28 年度に実施した基本機能評価結果に基づき、外部の伝送特性補償機能との連携動作を考慮した信号処理アルゴリズムの動作確認を完了し、1Tbps 級伝送における伝送路推定方式および信号点制御方式を確立した。

具体的には、伝送路推定方式に関しては、平成 28 年度の検討結果に基づき自己相関方式を最良方式として選択し、偏波状態、波長分散、偏波モード分散など様々な負荷条件において、同期感度、同期位置検出誤差、周波数オフセット誤差、波長分散推定精度などの基本性能を評価し、また、動作モード依存性も評価した。その結果、全ての負荷条件において動作モード全体に渡って正常な機能動作を確認した。信号点制御方式に関しては、平成 27 年度および平成 28 年度に制御精度、回路規模、消費電力の観点から考慮して選定した方式について、伝送路推定方式の評価と同様に実用システムを模擬した様々な負荷条件における性能評価を行った。変調器消光比、IQ 振幅ずれ、IQ スキューずれ等の様々な負荷条件下で、外部の伝送特性補償機能との連携動作を考慮した信号処理アルゴリズムの動作確認を完了し、1Tbps 級伝送における信号点制御方式を確立し、到達目標を達成した。

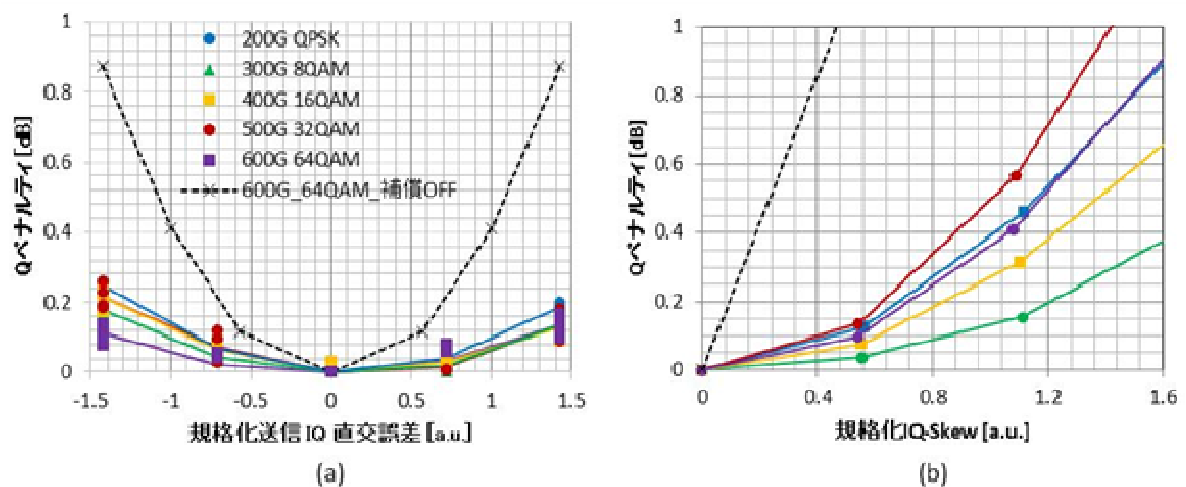


図 1 信号点制御による送信器歪み補償効果評価結果

b) 誤り訂正基本技術 (三菱電機)

最大 1Tbps 級を実現するために必要な様々なキャリア分割数や変調方式に対して、適応的に対応可能な符号化・復号処理アルゴリズムおよび尤度生成アルゴリズムを開発、他の機能との連携を考慮した検証によりアルゴリズムの妥当性を実証し、誤り訂正基本技術を確立した。

平成 27 年度に誤り訂正フレーム構成方法および尤度生成方法の検討を行い、符号化・復号処理アルゴリズムおよび尤度生成アルゴリズムの方式仕様を策定、平成 28 年度にそれに基づきハードウェア実装も視野に入れて方式を選定し、基本機能試作を行い、機能動作を確認した。

平成 29 年度には、基本機能試作に基づき、フレーム構成や演算ビット精度、歪補償後の信号波形な

ど、課題 I -ア)-(a) 適応変復調基本技術および課題 I -イ) 伝送システム内歪み補償技術における各機能との連携を考慮した入力信号に対して、本課題の符号化・復号処理および尤度生成の性能検証を行うことでアルゴリズムの妥当性を実証した。DP-QPSK (100Gbps/サブキャリア) から DP-64QAM (600Gbps/サブキャリア) まで総計 19 個、いずれのキャリア分割数と変調方式の組み合わせにおいても、所望の誤り訂正後 BER の特性が得られた。以上より従来の 100Gbps 級光伝送技術に対し、送受信機あたり 10 倍の伝送容量を実現することを目的として、最大 1Tbps 級光伝送を実現するために必要なキャリア数や適用する変調方式、信号品質等に対して、伝送効率を最大にできる誤り訂正基本技術を確立し、到達目標を達成した。

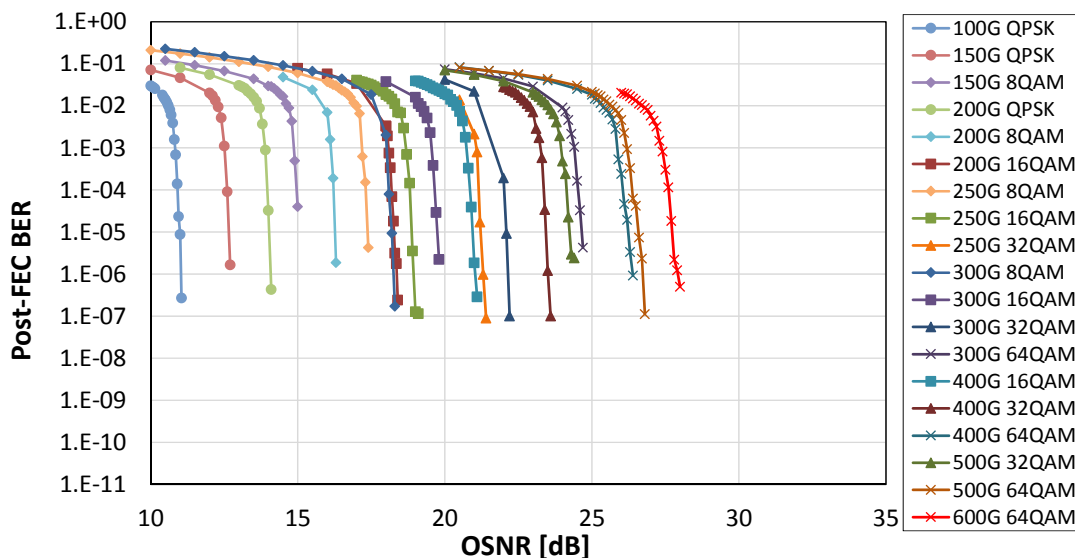


図 2 OSNR に対する誤り訂正後 BER の連携動作検証結果

#### イ) 伝送システム内歪み補償技術

##### a) 静的等化基本技術 (NEC)

最大 1Tbps となるキャリア成分の復調において、静的な線形歪みの補正を可能とするアルゴリズムの基本技術の検討を行い、64QAM 等の高多値度の変調方式やキャリア分割数が変化する場合にも対応可能とした上で、従来技術 (100Gbps 級光伝送技術) に比べて、同一多値度の変調方式に対して、周波数利用効率を 30%以上向上するサブキャリア多重・分離技術について、他の機能と連携を考慮した信号処理アルゴリズムの動作確認を完了し、静的等化基本技術を確立した。具体的には、シンボル間の符号間干渉を許容した上でナイキスト方式よりも更に信号帯域幅を狭窄化する狭帯域フィルタリングと MMSE (minimum mean square error) 規範に基づく高精度な線形等化の組み合わせにより、周波数利用効率を向上可能なスーパーナイキスト方式について提案を行い、64Gbaud の高速信号、および、64QAM 等の高多値度の変調方式において、商用周波数グリッドを考慮した際の機能モデル検証を実施した。検討した全変調方式において、NRZ (Non Return to Zero) 波形を用いる従来方式に比べ、30%以上の周波数利用効率改善を確認した。さらに、提案方式の効果を検証するため、従来技術で実用化されている 32Gbaud の信号に対して、その 1.5 倍となる 48Gbaud の信号を用いて、光伝送オフライン実験評価系を構築し、回路実装レベルで記載した統合モデルを用いて信号生成および受信信号の復調を行い、オフライン処理による実機特性評価を実施した。6.25GHz グリッドの波長多重システムを想定し、実際のシステムで必要になるサブキャリア多重間隔の周波数シフトバラつき 1GHz を加味した評価を実施したところ、スーパーナイキスト方式では NRZ 方式に比べて最大 37.5%の改善効果が得られる事を

実験的に確認した。以上の結果により、周波数利用効率を 30%以上向上するサブキャリア多重・分離技術について、他の機能と連携を考慮した信号処理アルゴリズムの動作確認を完了し、静的等化基本技術を確立し、到達目標を達成した。

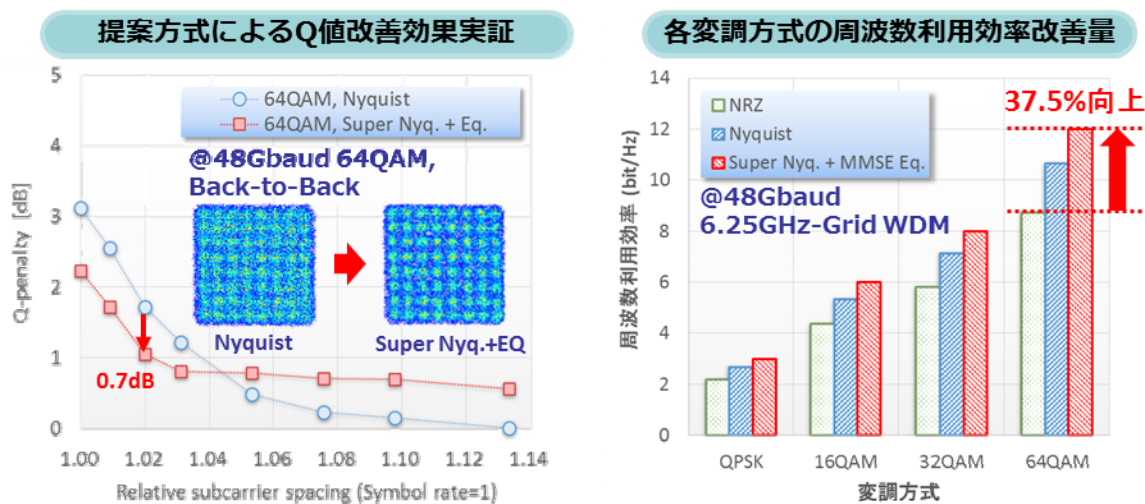


図 3 静的基本等化技術によるオフライン実証結果

b) 動的等化基本技術（富士通）

最大 1Tbps を実現し、最大 64QAM 等の高い多値度の変調方式まで、同一の信号処理回路で対応可能な方式を提案し、方式検討および性能評価を行うための機能モデルの作成を完了した。この機能モデルを用いて、偏波変動、偏波モード分散を付加した評価条件において、複数の変調方式で動作確認を行い、偏波変動速度 30kHz 以上、100ps 程度の偏波モード分散に対応できる性能が得られることを確認し、動的等化基本技術を確立した。

具体的には、位相変調信号支援型の処理方式を提案・採用し、処理構成と制御パラメータの最適化を実施することで、64QAM の信号に対して 100ps 程度の偏波モード分散耐力（図 4）、100ps の偏波モード分散が存在する条件下において 30kHz 程度の偏波変動追従性が得られることを確認した（図 5）。さらに、近年要求が高まっている数 100kHz 以上の非常に高速な偏波変動を想定して、高速な偏波変動に対する追従限界性能も評価し、偏波変動の追従・補償を行う適応等化の制御パラメータであるステップサイズを最適化することで、高精度な偏波追従処理が必要な 64QAM の信号に対しても、数 100kHz の偏波変動に追従可能であることを確認し（図 6）、到達目標を達成した。

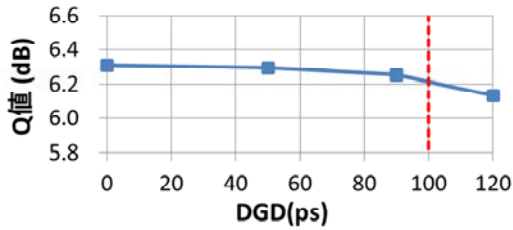


図4 400Gbps 64QAM 偏波モード分散耐力

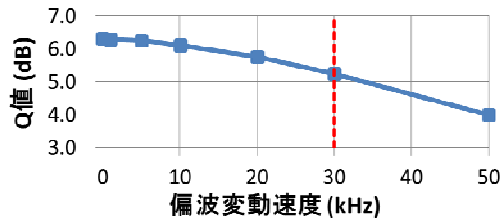


図5 400Gbps 64QAM 偏波変動耐力

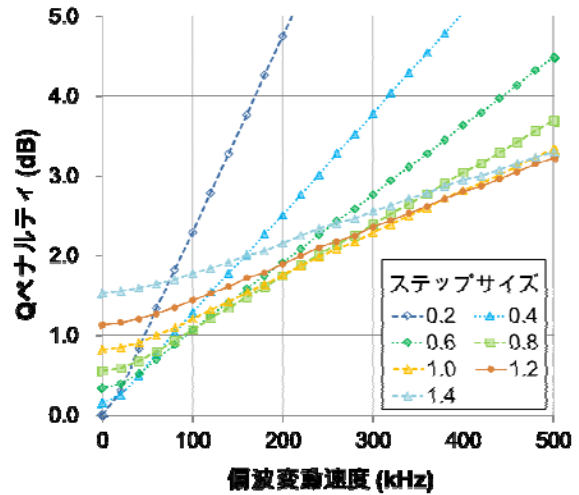


図6 600Gbps 64QAM 偏波変動追従性

### 3. 2 1テラビット級低消費電力光伝送技術

1 波長あたり最大 1Tbps の通信処理速度を持つ信号処理回路を 100Gbps 級の信号処理回路に対し同一通信処理速度と比較して 1/4 以下の電力で実現するために必要な以下の到達目標を設定する。

#### ア) 信号処理回路最適設計技術

上記 1/4 以下の消費電力の実現に資する信号処理回路最適設計技術として、以下の回路基本技術を確立する。

##### a) 適応変復調回路基本技術

適応変復調機能として、高速伝送路品質推定機能、推定品質に従って適切な変復調方式を選択する機能、適切なデータマッピングを行う機能等の最適回路設計に向けた基本技術を確立する。

##### b) 誤り訂正回路基本技術

誤り訂正機能として、伝送距離や伝送路種別による伝送特性に応じた信号の変化に対して、最適な処理を行う誤り訂正符号化機能および軟判定誤り訂正復号機能等の最適回路設計に向けた基本技術を確立する。

##### c) 静的等化回路基本技術

線形等化機能として、キャリアが受けた静的な線形歪みを所定の通信処理速度で補正する機能等の最適回路設計に向けた基本技術を確立する。

##### d) 動的等化回路基本技術

動的等化機能として、偏波変動追従機能、偏波モード分散補償機能、搬送波位相再生機能を有する回路の最適設計に向けた基本技術を確立する。

#### イ) 低消費電力信号処理統合検証技術

ア-a) ~d) で開発した各要素技術を統合するとともに光送受信器や光伝送路等のモデル化を行い、全機能アルゴリズムの統合検証を行うことで、100Gbps 級の信号処理回路に対し同一通信処理速度と比較して 1/4 以下の電力で動作可能であることを実証する。

#### ア) 信号処理回路最適設計技術

##### a) 適応変復調回路基本技術 (NTT)

1Tbps 級の適応変復調伝送を実現する伝送路推定方式および信号点制御方式の検討において、ハード

ウェア記述言語および性能評価モデルによる評価結果について等価性を評価し、消費電力・回路規模、そして推定・検出精度について最適化を実施し、適応変復調回路基本技術を確立した。

具体的には、伝送路推定方式に関して、伝送路推定機能の性能評価モデルとハードウェア記述言語モデルの等価性を評価した。実用システムの運用時に非常に近い信号波形が入力される評価系において、クライアント容量 100Gbps~600Gbps、変調方式として QPSK、8QAM、16QAM、32QAM、64QAM までの 5 変調方式を組合せた動作モードに対して評価を行い、全動作モード、及び全負荷条件において、特性差分がクライテリアに適合する結果を得られた。また、信号点制御方式に関して、ハードウェア記述言語モデルを作成し、性能評価モデルとの等価性を確認した。ハードウェア化の演算ビット精度制限による信号品質劣化、及び係数制御誤差が性能クライテリアを満たすことを確認した。最後に、伝送路推定方式および信号点制御方式に関して、最先端 CMOS テクノロジライブラリを用いてハードウェア記述言語をハードウェアに合成して、CMOS 回路実装性を評価し、そのタイミング収束性、回路規模、消費電力を評価し、実回路へ実装可能であること、及び回路規模・消費電力が目標を満たしていることを確認した。これらを通じて、適応変復調回路基本技術の信号処理回路最適設計技術を確立し、到達目標を達成した。

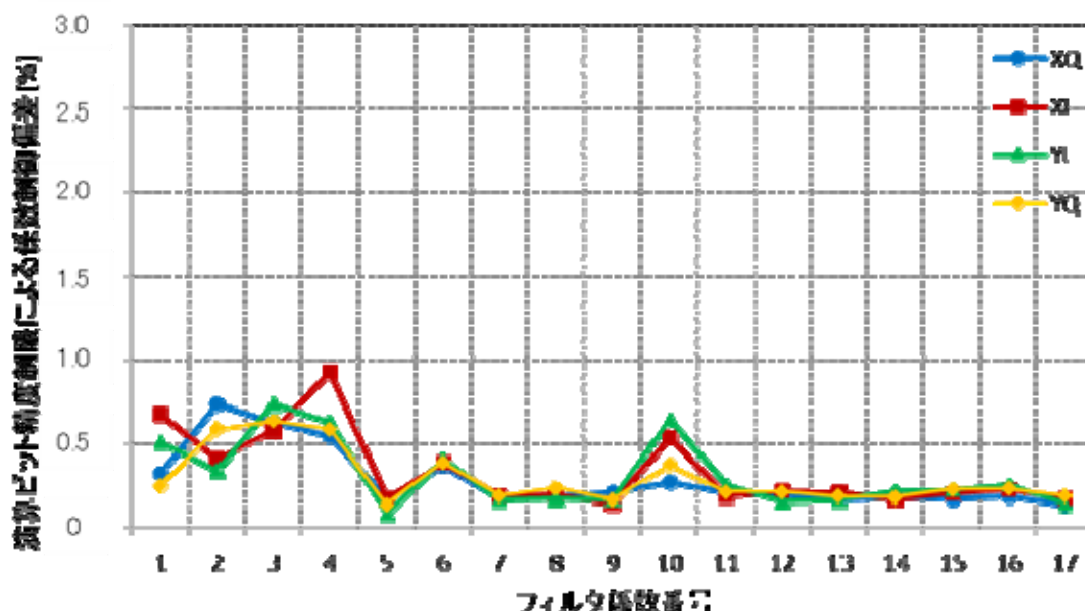


図7 ハードウェア演算ビット精度制限によるフィルタ係数制御誤差評価結果

#### b) 誤り訂正回路基本技術（三菱電機）

伝送距離や伝送路種別による伝送特性に応じた信号の変化に対して、最適な処理を行う誤り訂正符号化機能および軟判定誤り訂正復号機能について、設計した基本回路に基づき、最先端 CMOS 技術を適用した場合の回路規模と消費電力を合成ツールおよびシミュレーションにより算定した。さらに符号化利得と消費電力とを最適化する電力スケージングの効果を確認し、誤り訂正回路基本技術を確立した。

最大 1Tbps 級を実現するためのキャリア分割数や多値度に対して最適な処理を行うための符号化回路・復号回路アーキテクチャとして、マルチコア誤り訂正演算制御方式を適用し伝送速度、キャリア分割数や多値度に応じて、誤り訂正符号の演算処理を複数の誤り訂正演算コアへ振り分けるとともに、演算回数を適応的に調整して処理することにより、誤り訂正機能として最適な処理を実現した。

本研究成果による誤り訂正基本回路の 100Gbps 当たりの消費電力は、従来に比べて 75.6%低減されて

おり、従来の 100Gbps 級光伝送技術における誤り訂正回路に対し同一通信処理速度と比較して 1/4 以下の消費電力を実現した。

また符号化利得と消費電力とを最適化する電力スケージングの効果を確認するため、入力 SNR に対する軟判定 FEC デコーダの動作率を算出し、デコーダの繰り返し回数の制御により消費電力の抑制が実現可能であることを示した。

これらにより伝送距離や伝送路種別による伝送特性に応じた信号の変化に対して、最適な処理を行う誤り訂正符号化機能および軟判定誤り訂正復号機能の最適回路設計に向けた基本技術を確認し、到達目標を達成した。

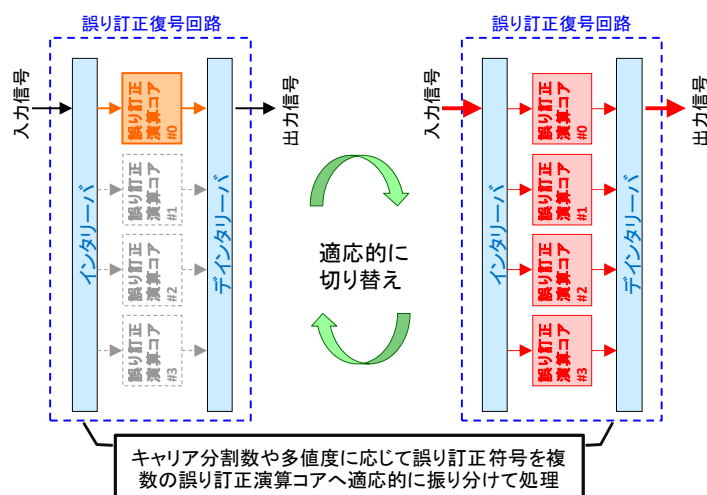


図 8 マルチコア誤り訂正演算制御方式

### c) 静的等化回路基本技術 (NEC)

1Tbps 級の通信処理速度を実現するための歪み補償処理に向けた静的等化回路について、適応的パラメータ制御 FDE (frequency domain equalization) 方式による線形適応等化回路に対して、演算精度、回路規模、消費電力の観点から回路最適化を実施した。具体的には、設計効率化方式による回路記述の自動生成環境を適用して生成した複数の回路バリエーションの回路記述から、適応的パラメータ制御 FDE 回路の回路記述を生成した。つぎに、検証容易化設計方式による期待値モデルの自動生成環境を適用して生成した複数の回路バリエーションの回路記述に対応する期待値モデルから、適応的パラメータ制御 FDE 回路の期待値モデルを生成した。これら回路記述と期待値モデルを用いて、回路規模や消費電力の観点で評価し、回路最適化を実施した。この際、回路最適化の方式として、データビット幅やパイプライン数、パイプライン位置の最適化などに加えて、データ符号化形式や線形歪補償フィルタ回路による IQ レーン個別補償機能及び周波数オフセット補償機能の動作制御の最適化による低電力化を図った。動作シミュレーションから得た回路のトグル率をベースに評価した結果、これらの最適化により、最大 27.2%の電力削減が可能であることを確認した。さらに、回路記述の妥当性を確実なものとするため、レイアウト工程まで考慮したゲートレベル回路記述を部分試作した。この部分試作により、最先端の微細 CMOS プロセスの適用により、適応的パラメータ制御 FDE 回路が実用的な回路面積、及び消費電力で実現可能であることを確認した。以上の回路最適化の実施、及び評価により、静的等化回路基本技術を確認し、到達目標を達成した。



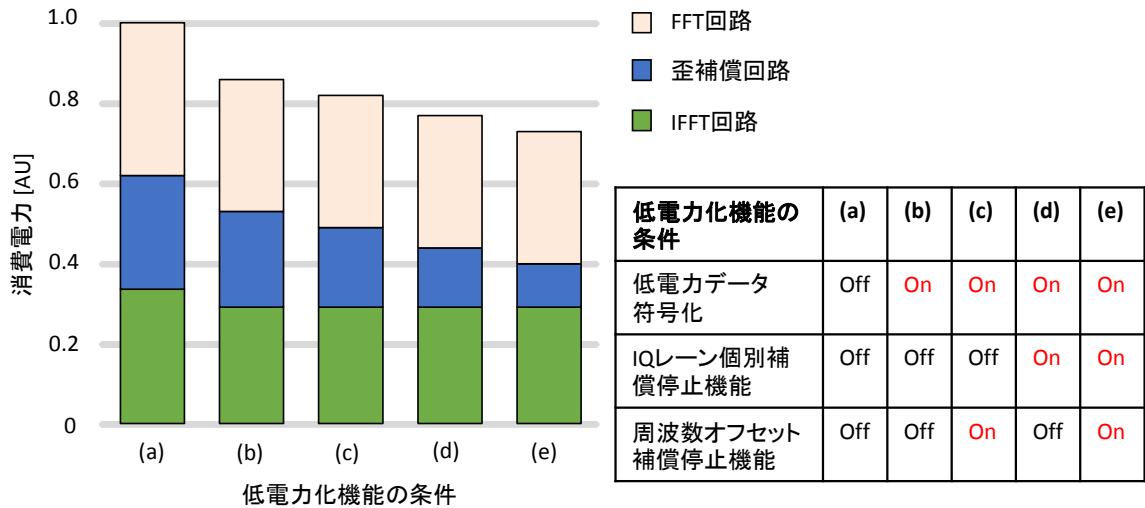


図9 適応的パラメータ制御による低電力化機能の評価結果

d) 動的等化回路基本技術（富士通）

最大 1Tbps を実現し、最大 64QAM 等の高い多値度に適応的に対応するために、複数の変調方式を実現可能な論理構造設計を行い、RTL を作成した。次に、機能モデルと RTL の等価性検証および消費電力見積もりを実施し、動的等化回路の基本技術を確立した。

具体的には、適用を想定する 16nm プロセス CMOS の伝播遅延特性及び電力特性から、500MHz～600MHz 動作が最適と判断して基本的な回路構成を決定し、複数の変調方式に対応した共通回路化を検討して論理構造の設計を行った。この設計結果を用いて System C による高位言語コーディングを行い、高位合成ツールを使用して RTL を作成した。次に、機能モデルと RTL の等価性検証を実施した。偏波変動追従、偏波モード分散補償、搬送波位相再生の諸性能について、伝送容量 100Gbps から 600Gbps、変調方式 QPSK から 64QAM までの組み合わせで機能モデルと RTL の等価性検証を実施し、雑音波形の統計揺らぎの範囲内ではほぼ完全に一致することを確認した。図 10 に、OSNR に対する受信 Q 値特性の偏波変動依存性の等価性検証結果を示す。さらに消費電力見積もりを実施し、適用する CMOS テクノロジーへの配置配線処理後の回路を元に消費電力値を算出した。100Gbps 当たりの消費電力は、600Gbps 64QAM 伝送において従来比 13%と大幅な削減を達成し（図 11）、到達目標を達成した。

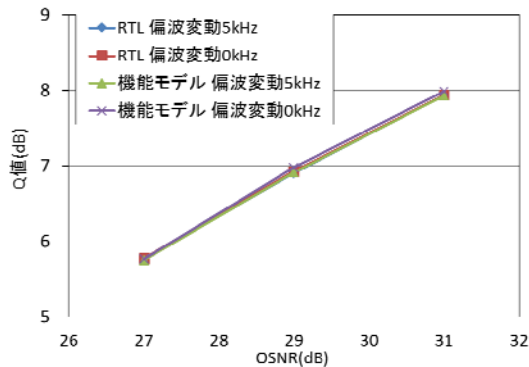


図 10 機能モデルと RTL の一致結果 (600Gbps 64QAM)

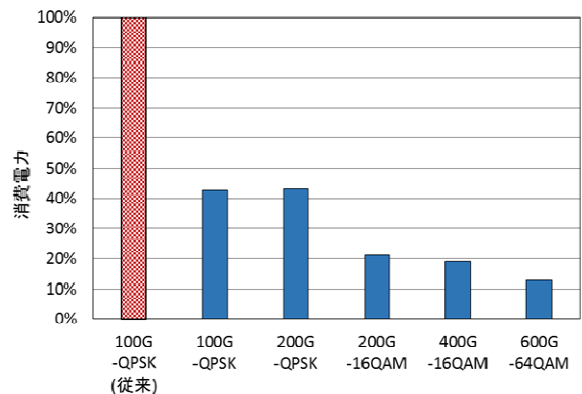


図 11 従来回路との消費電力比較 (100Gbps あたりの消費電力値)

#### イ) 低消費電力信号処理統合検証技術 (NTT)

機能ブロック毎に作成した RTL レベルの回路モデルを統合し、統合検証プラットフォーム (検証エミュレーション環境) を開発した。この統合検証プラットフォームを用いた RTL レベルの統合検証により、基本回路動作および消費電力評価を行い、基幹ネットワークの消費電力を単位伝送速度 100Gbps の伝送方式と比較して 1/4 以下 (「単位伝送速度×単位伝送距離」を単位として消費電力を比較した場合) に削減できることを確認し、低消費電力信号処理統合検証技術を確立した。

具体的には、機能ブロック毎に作成した RTL レベルの回路モデルを統合した統合検証プラットフォームを開発し、光増幅器による雑音に対する耐力 (OSNR 耐力) 特性並びに FEC 耐力特性について 200G QPSK、300G 8QAM、400G 16QAM、500G 32QAM、600G 64QAM 信号モードに対して性能評価モデル統合検証プラットフォームとの等価性を評価し、両者がほぼ同等の特性となることを確認し、本回路設計手法の妥当性が確認できた。また、性能劣化を抑えつつ規模削減可能な内部ブロックへの構成変更、条件によって利用しない機能の制限等様々な電力削減施策を行い、機能及び回路の改良を行うことにより電力の削減を実施した。その結果、100Gbps あたりの見積り消費電力は従来の 100G 伝送方式に比較して 1/4 以下を実現したことにより、低消費電力信号処理統合検証技術を確立した。さらに、一部機能を実装したプリプロトタイプの開発により、実機での機能動作検証を実施し、技術検証レベルを向上させた。高ボレート動作の確認として、600G 64QAM 信号の信号疎通を確認し、適応等化・搬送波位相再生ブロックのロジック回路が正常動作していることを確認した。さらに 32Gbaud-100G QPSK 信号、65Gbaud-200G QPSK 信号、32Gbaud-200G 16QAM 信号並びに 65Gbaud-400G 16QAM 信号に対して信号疎通を確認し、ボレート、変調方式に依らず動作することを確認した。また、32Gbaud-100G QPSK 信号、65Gbaud-200G QPSK 信号並びに 32Gbaud-200G 16QAM 信号においても、雑音環境下における性能評価モデルとの等価性を評価した。その結果、性能評価モデル統合検証プラットフォームで得られた結果と非常によく一致し、雑音付加時にもボレート、変調方式に依らず、良好な動作が確認し、到達目標を達成した。

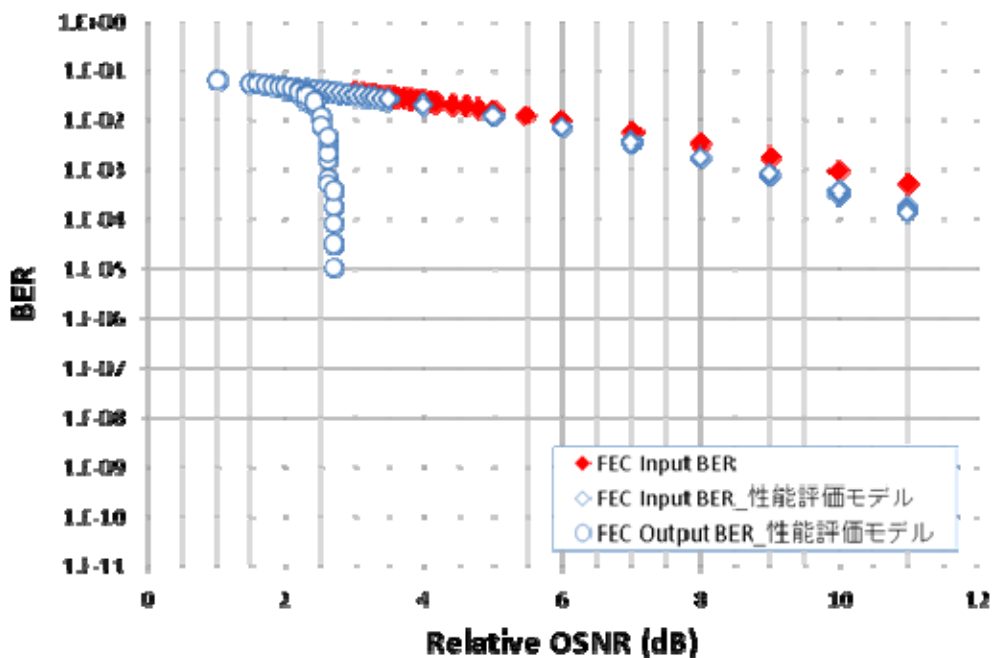


図 12 32Gbaud-200G 16QAM 信号の雑音耐力特性における等価性評価結果

## 4 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた取組みの実施状況

### 4. 1 実用化、事業化

アウトカム目標の達成に向けた取組みとして、ビジネスプロデューサの統括に基づき、事業化に向けて実効的な計画に取り組んだ。

- ・成果に基づいて製品化されたデジタル信号処理 LSI を用いて、小型光トランシーバを製品化。（三菱電機）
- ・成果に基づいて製品化されたデジタル信号処理 LSI を用いて、光伝送装置（DW7000）の小型ラインアップを 2017 年 2 月に製品化。（NEC）
- ・成果に基づいて製品化されたデジタル信号処理 LSI を用いて、光伝送装置（トランスポンダ／マックスポンダ／イーサネットスイッチ）を製品化。（富士通）
- ・上記光伝送装置である 1FINITY T300, 1FINITY T310 を、国内外ユーザが導入済み。（富士通）

### 4. 2 標準化活動

International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) SG15 Q11/15 並びに Q6/15 会合に継続的に参加しており、Q11 では、100G-OTN (OTU4)、B100G-OTN における Enhanced FEC に対する要求条件（2016/6/6～6/11 中国、深圳並びに 2016/9/18～9/30 スイス、ジュネーブ）に関する寄書提案を行い、100G-OTN の新規勧告（G.709.otu4r 2017/6/19～6/29 スイス、ジュネーブ）が標準化された。さらに同会議にて B100G-OTN に対する要求条件に関する寄書提案を行い、標準化に向けた議論を推進している。Q6 では、100G 物理リンクに対する OSNR 要求条件（2015/10/12～10/15 イタリア、トリノ並びに 2017/10/16～10/20 中国、杭州）に関する寄書提案を行い、100G 物理リンクの勧告化を推進中である。これらの寄書を参考に議論が進められ、2018/10 に開催される本会合にて、勧告化される予定である。

### 4. 3 知財確保

知財権獲得に関しては、本研究開発の成果を含むコア技術ならびに周辺技術について国際競争力を確保する厳選として特許出願を中心として権利化に注力し、国内出願、国際出願ともに当初目標を大幅に上回る特許出願を行った。関連通信機器の国際競争力を向上させるため、重要技術の特許化によりライセンス化、デファクト化を図るべく取得した特許は原則として適正な条件で公開し、技術の普及に貢献する。また、秘匿化・ライセンス化・オープン化からもっとも適切な形態を選択して活用し、周辺技術を含めたエコシステムの構築を目指すことで、通信産業分野における国際競争力の向上を推進している。

### 4. 4 アドバイザリ委員会

適宜学識経験者、有識者による指導、意見を受けながら研究開発を推進するため、アドバイザリ委員会を設置し、初年度は 1 回、2 年目以降は各年度 2 回開催した。

- ・平成 27 年度 第 1 回（平成 28 年 1 月 18 日 情報通信研究機構 小金井本部）
- ・平成 28 年度 第 1 回（平成 28 年 7 月 19 日 ステーションコンファレンス東京）
- ・平成 28 年度 第 2 回（平成 29 年 1 月 6 日 ステーションコンファレンス東京）
- ・平成 29 年度 第 1 回（平成 29 年 7 月 31 日 トラストシティカンファレンス・丸の内）
- ・平成 29 年度 第 2 回（平成 30 年 2 月 26 日 トラストシティカンファレンス・丸の内）

#### 【アドバイザー委員】

- ・神谷 武志 名誉教授 東京大学 「超高速光デバイス技術」
- ・浅見 徹 代表取締役社長 国際電気通信基礎技術研究所 「通信ネットワークとその応用技術」
- ・菊池 和朗 教授\* 東京大学 「デジタルコヒーレント光通信技術」
- ・北山 研一 特任教授 光産業創成大学院大学 「フォトリックネットワーク技術・伝送劣化補償技術」
- ・中沢 正隆 教授 東北大学 「超高速光通信技術・変復調技術」
- ・松澤 昭 教授 東京工業大学 「超高速アナログ・デジタル変換回路技術」

※平成 27 年度のみ



アドバイザー委員会の様子

#### 4. 5 成果発表会・展示

以下の国際会議やシンポジウム開催等を通して、受託各社の得られた成果とその意義について積極的に発表してきた。

- ・OFC (2016 アナハイム、2017 ロサンジェルス、2018 サンディエゴ)
- ・フォトリックネットワークシンポジウム (2016~2017 NICT 小金井)
- ・信学会総合大会 (2016 九州大学、2017 名城大学、)
- ・信学会ソサイエティ大会 (2016 札幌、2017 東京)
- ・OECC (2016 新潟、2017 シンガポール)
- ・ECOC (2016 デュッセルドルフ、2017 ヨーテンボリ)

#### 4. 6 報道発表

得られた成果については、国内・海外にむけ各社からタイムリーにマスメディアを通して情報発信をし、日本の国際競争力のアピールを行った。

- ・「NTT エレクトロニクス社、超低電力な業界初の 16nm 100G/200G コヒーレント DSP を発表 -100Gb あたり 10W以下の超低消費電力化で 1Tbps 超級の光トランスポンダ・ブレードが可能 -」平成 27 年 3

月 21 日 (NTT エレクトロニクス)

- ・「光伝送システム「1FINITY」シリーズのラインアップを大幅拡充 ディスアグリゲーション構成を採用し、各機能をブレードとして提供」平成 27 年 3 月 23 日 (富士通)
- ・「NEC、都市の通信を支えるメトロネットワークの構築に適した小型のパケット光統合トランスポート装置を発売」平成 28 年 2 月 24 日 (NEC)
- ・「データセンター間を接続するネットワークへ超大容量 400 ギガビット伝送装置を導入」平成 29 年 4 月 7 日 (NTT、NTT コミュニケーションズ)
- ・「世界初、マルチアプリケーションに対応した 1.2Tbps DCO Daughter Card の開発に成功」平成 30 年 3 月 7 日 (富士通、富士通オプティカルコンポーネツ)

## 5 政策目標 (アウトカム目標) の達成に向けた計画

### 【日本電信電話株式会社】

#### ○社会展開に向けた取組方針や計画

国際標準化については、OIF および ITU-T に本研究開発成果に関連する寄書提案を行ってきたが、今後本開発成果の国際展開に向けて引き続き寄書提案等に取り組んでいく。1T 級デジタル信号処理 LSI の商用化に向けては、100Gbps 級デジタル信号処理 LSI の顧客との関係を活用して引き続きグローバル展開を図っていく。今後はシステムベンダと協力して技術の完成度を高めて、実際にネットワークを構築・運用する事業会社に対して本研究開発成果技術の利点と実現性を継続的にアピールし、数年内に実ネットワークへの導入を目指す。

#### ○アウトカム以外に期待される波及効果

最大 64QAM 等の高度な適応変復調技術の採用により、従来は限定的な変調方式と伝送容量であったものが、様々な変調方式をより高いレベルでフレキシブルに変えることにより伝送容量と伝送距離を飛躍的に柔軟に変化させることが可能となる。これにより、トラヒック需要や要求伝送距離に応じて、周波数利用効率と伝送距離のフレキシブルな最適化をより高い自由度で実現するエラスティック光トランスポートネットワークの実現が可能となると考えている。ITU-T でもフレキシブルグリッドとして一部の概念が標準化されており、今後の光ネットワーク研究の大きな流れの一つとなっていくと考えられる。

### 【三菱電機株式会社】

#### ○社会展開に向けた取組方針や計画

これまでに進めた顧客マーケティング活動および OIF、ITU-T 等の標準化動向調査を元に実用化に向けた研究開発、商用化開発を行う。成果の実用化を前提として関連事業部との連携を図りつつ研究開発を進め、主要ベンダおよび顧客との情報交換を積極的に実施し、平成 32 年度までの事業化を視野に、当社の海底ケーブルシステムや陸上波長多重光伝送システムに本開発成果を搭載して行くことにより、社会展開を図る。

#### ○アウトカム以外に期待される波及効果

当社では光伝送技術、誤り訂正技術やデジタル信号処理技術を専門性として持つ研究者が研究員として従事し、本研究開発を推進してきた。計画立案の段階より光通信システム、装置に関わる事業部と連携して、成果の実用化を前提とした研究開発を進めてきたが、今後も社内関連事業部門における製品化開発に研究員も広く参画することで、本研究の開発技術及び波及技術を含む製品化が期待される。

【日本電気株式会社】

○社会展開に向けた取組方針や計画

1Tbps 級の光伝送装置や光モジュールを平成 32 年までに製品化することを目指し、実用化に向けた技術開発を平成 30 年度から進める。これら装置やモジュールに対して、本研究開発の成果を適用することによる伝送容量増大あるいは更なる伝送能力向上を検討すると共に、これらの実導入に積極的に取り組み開発技術の社会展開を図る。本研究開発で得られた知財については、特許成立に向けたフォローを継続して進める。得られた権利はライセンスやデファクト化を含めた活用を検討し、通信産業分野における国際競争力の向上を図る。

○アウトカム以外に期待される波及効果

本研究開発を通して得られた静的等化技術および静的等化回路技術は、64QAM を含む高い多値度の変調方式や高ボーレートの伝送システムに対しても周波数利用効率の向上および消費電力低減に効果があることが確認された。従ってこれらの技術は、1Tbps 級およびそれを上回る超大容量伝送を実現する際の基本技術として波及すると考えられ、長距離大容量の基幹系光伝送システムのみならず、今後大幅な大容量化が求められるメトロ/アクセス系やデータセンター間通信等にも展開されることが期待される。

【富士通株式会社】

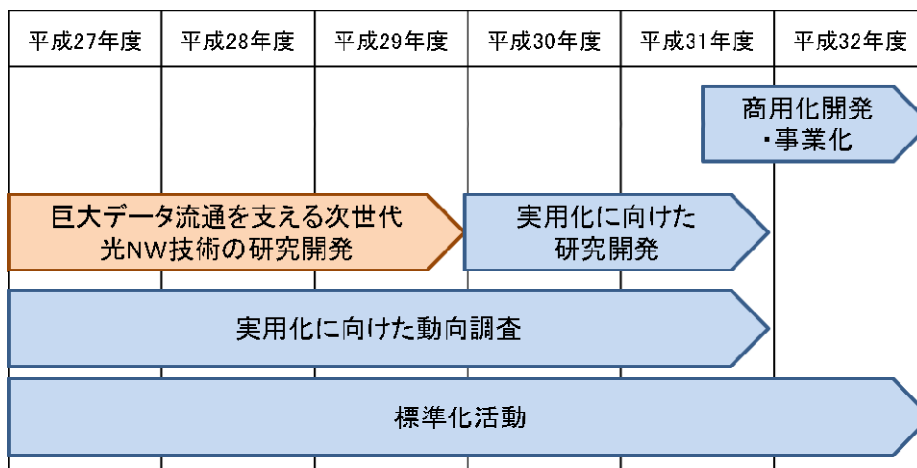
○社会展開に向けた取組方針や計画

今後は 1Tbps 級の伝送速度を実現する光伝送装置の製品化に向けた取り組みを進める。具体的には、平成 30 年度より実用化に向けた研究開発を開始し、これと並行して国内外の競合情報の収集、市場要求の動向の調査、標準化動向の調査を行う。これらの活動を元に光伝送装置の事業化の検討を行い、平成 32 年度を目処に市場投入を行うことで、本研究開発成果の社会展開を図る。

○アウトカム以外に期待される波及効果

動的等化基本技術（課題Ⅰ）における高多値度かつ複数の変調方式に対応可能な信号処理方式に関しては、短距離伝送分野の大容量化への貢献が期待され、具体的には Cable MSO (Multiple System Operator) や、データセンター間通信 (DCI : Data Center Interconnect) などへの適用が考えられる。また、より高効率な伝送を必要とされる無線分野における伝送容量向上への寄与も期待される。

動的等化回路基本技術（課題Ⅱ）における回路の低消費電力化に関しては、多値変復調信号処理技術を適用する無線通信分野への応用が可能であり、光通信分野だけではなく通信分野全体の低消費電力化へ貢献する技術として期待される。



## 6 査読付き誌上発表論文リスト

[1]秋濃俊昭、小島啓介、David Millar、Kieran Parsons (Mitsubishi Electric Research Laboratories)、吉田剛、杉原隆嗣 (三菱電機株式会社)、“Pareto Optimization of Adaptive Modulation and Coding Set in Nonlinear Fiber-Optic Systems”、Journal of Lightwave Technology, Vol.35, NO.4, pp.1041-1099, (平成 28 年 9 月 8 日) :

## 7 査読付き口頭発表論文 (印刷物を含む) リスト

[1]Toshiaki Koike-Akino, Keisuke Kojima, David Millar, Kieran Parsons, Tsuyoshi Yoshida, Takashi Sugihara、“Pareto-Efficient Set of Modulation and Coding based on RGMI in Nonlinear Fiber Transmissions”、OFC 2016 (アナハイム) (平成 28 年 3 月 24 日) :

[2]Xiaofei Su, Liang Dou, Zhenning Tao (Fujitsu R&D Center) Takeshi Hoshida (Fujitsu Limited) Jens C. Rasmussen (Fujitsu Laboratories Ltd)、“QPSK Assisted Carrier Phase Recovery for High Order QAM”、OECC2016 (新潟市) (平成 28 年 7 月 3 日) :

[3]吉田剛、土肥慶亮、松田恵介、久保和夫、宇藤健一、杉原隆嗣 (三菱電機株式会社)、小島啓介、秋濃俊昭、David Millar、Kieran Parsons (Mitsubishi Electric Research Laboratories)、“Crossover Block Modulation with Complementary Codes Superposition”、OECC 2016 (新潟市) (平成 28 年 7 月 5 日) :

[4]Tomofumi Oyama, Takahito Tanimura, Jens. C. Rasmussen (Fujitsu Laboratories Ltd) Takeshi Hoshida, Hisao Nakashima, Yuichi Akiyama (Fujitsu Limited)、“Linewidth-Tolerant Carrier Phase Estimation for N-PSK Based on Pilot-Assisted N/2th-power Method”、ECOC2016 (デュッセルドルフ) (平成 28 年 9 月 22 日) :

[5]亀谷聡一郎、久保 和夫、石井健二、土肥慶亮、杉原隆嗣、“Green Optical Networks via Coherent DSPs”、Photonics in Switching 2017 (OSA Advanced Photonics Congress) (ニューオリンズ) (平成 29 年 7 月 25 日) :

[6]Tomofumi Oyama, Hisao Nakashima, Yohei Koganei, Yuichi Akiyama, Takeshi Hoshida、“Nonlinear Transmission Performance of 3-bits/symbol Modulation Formats in Dispersion-Unmanaged Link”、OECC201 (シンガポール) (平成 29 年 8 月 3 日) :

[7]亀谷聡一郎、久保和夫、石井健二、土肥慶亮、杉原隆嗣、“Significance of Adaptive Co-operation of Modulation Format and FEC for Energy Saving in Optical Networks”、ECOC2017 (ヨーテンボリ) (平成 27 年 9 月 20 日) :

[8]佐藤正規、野口栄実、ル・タヤンディエ・ドゥ・ガボリ エマニュエル、松井淳一郎、安部淳一、“Transmission of 200G PM-16QAM Subcarriers with Reduction of Penalty from Linear Crosstalk Using Super-Nyquist Filtering and Low Complexity MMSE”、Asia Communications and Photonics Conference 2017 (ACP2017) (広州) (平成 27 年 11 月 23 日) :

[9]中村政則、濱岡福太郎、松下明日香、山崎裕史、長谷宗彦、小林孝行、木坂由明、宮本裕、“Advanced DSP Technologies with Symbol-rate over 100-Gbaud for High-capacity Optical Transport Network”、OFC 2018 (サンディエゴ) (平成 30 年 3 月 12 日) :

## 8 その他の誌上発表リスト

- [1]杉原隆嗣、“誤り訂正符号技術”、O plus E 2016年8月号(第441号)(平成28年7月25日) :
- [2]石井健二、斧原聖史、備海正嗣、飯島理、大浦崇靖、“CFP MSA 準拠版 100Gbps デジタルコヒーレント トランシーバ”、三菱電機技報 2017年6月号(平成29年6月1日) :

## 9 口頭発表リスト

- [1]富澤将人、“巨大データ流通を支えるデジタルコヒーレント技術”、フォトニックネットワークシンポジウム 2016(東京都)(平成28年2月26日)
- [2]久保和夫、高山、亀谷聡一郎、杉原隆嗣、“OTNにおけるレート適応型 FEC に向けたマルチキャリア伝送フレームの検討”、2016 信学会総合大会(福岡市)(平成28年3月16日)
- [3]高山、亀谷聡一郎、久保和夫、杉原隆嗣、“拡張レート適応型 FEC を用いた光パス構成手法”、2016 信学会総合大会”、2016 信学会総合大会(福岡市)(平成28年3月16日)
- [4]土肥慶亮、杉原堅也、久保和夫、杉原隆嗣、“軟判定誤り訂正処理における対数尤度比生成処理の演算精度に関する検討”、2016 信学会総合大会(福岡市)(平成28年3月16日)
- [5]平野進、杉原堅也、吉田英夫、久保和夫、宮田好邦、峯岸孝行、杉原隆嗣、“高速光通信向け FEC のマルチ演算コア化の検討”、2016 信学会総合大会(福岡市)(平成28年3月16日)
- [6]石田修、武井和人、山崎悦史(NTT エレクトロニクス)“Power Efficient DSP Implementation for 100G-and-Beyond Multi-Haul Coherent Fiber-Optic Communications”、OFC 2016(アナハイム)(平成28年3月23日)
- [7]久保和夫、亀谷聡一郎、吉田英夫、杉原隆嗣、“OTNにおける3重接続 FEC の電力スケーリングに関する検討”、電子情報通信学会 OCS 研究会6月研(札幌市)(平成28年6月24日)
- [8]土肥慶亮、杉原堅也、久保和夫、杉原隆嗣、“軟判定誤り訂正を考慮した多値 QAM における量子化の影響”、電子情報通信学会 OCS 研究会6月研(札幌市)(平成28年6月24日)
- [9]亀谷聡一郎、“Forward-error correction for Tbps optical transport network”、OECC 2016(新潟市)(平成28年7月5日)
- [10]中島久雄、“光ファイバ通信の信号処理とその実装技術”、OCS Summer School 2016(東京都)(平成28年7月29日)
- [11]富澤将人、“400G/100G/Beyond に見るグローバルな研究開発”、OCS Summer School 2016(東京都)(平成28年7月29日)
- [12]中村隆彦、吉田英夫、久保和夫、杉原隆嗣、“誤り訂正符号化技術の光通信分野への応用”、電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会(札幌市)(平成28年9月21日)
- [13]石井健二、久保和夫、杉原 堅也、平野進、杉原隆嗣、“Beyond 100G に適したマッシュアップパラレル FEC 方式の提案”、電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会(札幌市)(平成28年9月22日)
- [14]久保和夫、亀谷聡一郎、吉田英夫、杉原隆嗣、“多重空間結合型 FEC の電力スケーリングに関する検討”、電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会(札幌市)(平成28年9月22日)
- [15]富澤将人、宮本裕、“400G/1T および超多重度光通信ネットワーク技術の最新動向”、超高速フォトニクスシンポジウム(東京都)(平成28年12月7日)
- [16]菅本真陸、前田泰三、中島久雄、小山智史、小牧浩輔、寺原 隆文、“非線形補償のパラメータ最適化に向けた制御方式の実証実験”、OCS シンポジウム 2016(三島市)(平成28年12月20日)
- [17]土肥慶亮、石井健二、久保和夫、吉田英夫、杉原隆嗣、“軟判定誤り訂正における多値シンボル配置の



影響”、OCS シンポジウム 2016（三島市）（平成 28 年 12 月 20 日）

[18] 渋谷真、“Transport Network Infrastructure”、Mobile World Congress 併設展示会（バルセロナ）（平成 29 年 2 月 27 日）

[19] 平野進、久保和夫、吉田英夫、石井健二、杉原堅也、杉原隆嗣、宮野鼻晃士、苗崎浩秀、峯岸孝行、“高速光通信向け FEC の集積回路実装検討”、電子情報通信学会 VLD 研究会 3 月研（那覇市）（平成 29 年 3 月 3 日）

[20] 富澤将人、“5G 時代のアプリケーションを支える 1Tbps 級光伝送技術”、フォトニックネットワーク シンポジウム 2017（東京都）（平成 29 年 3 月 10 日）

[21] 野口栄実、ル・タヤンディエ・ドウ・ガボリ エマニュエル、藤田定男、中村達也、松本恵一、安部淳一、“2 サブキャリア信号一括受信における LO 光周波数制御方式の検討”、2017 年電子情報通信学会総合大会（名古屋市）（平成 29 年 3 月 22 日）

[22] 小山智史（富士通研）、星田剛司、中島久雄（富士通）、谷村崇仁（富士通研）、秋山祐一（富士通）、“位相雑音耐力向上に向けたパイロット援用 N/2 乗法による N-PSK 用位相推定手法”、2017 年電子情報通信学会総合大会（名古屋市）（平成 29 年 3 月 23 日）

[23] 石井健二、藤森崇文、土肥慶亮、久保和夫、吉田英夫、杉原隆嗣、“位相スリップ緩和による 3 重接続 FEC の受信性能向上”、2017 年電子情報通信学会総合大会（名古屋市）（平成 29 年 3 月 23 日）

[24] 秋山祐一、星田剛司、中島久雄、“光伝送システムの技術動向について”、2017 年電子情報通信学会総合大会（名古屋市）（平成 29 年 3 月 25 日）

[25] 富澤将人、“次世代超高速 DSP とのその周辺技術動向”、第 17 回光通信技術展（東京都）（平成 29 年 4 月 6 日）

[26] 亀谷聡一郎、久保和夫、石井健二、土肥慶亮、杉原隆嗣、“電力スケーリング誤り訂正による光通信網の構成”、電子情報通信学会 PN 研究会 6 月研（秋田市）（平成 29 年 6 月 15 日）

[27] 土肥慶亮、石井健二、久保和夫、吉田英夫、杉原隆嗣、“光通信向け可変レート三重接続誤り訂正符号の性能評価”、電子情報通信学会 2017 年ソサイエティ大会（東京都）（平成 29 年 9 月 12 日）

[28] 富澤将人、“5G・IoT を支える次世代光通信ネットワークの研究開発”、電子情報通信学会 2017 年ソサイエティ大会（東京都）（平成 29 年 9 月 13 日）

[29] 富澤将人、西沢秀樹、“Coherent DSP meets open transport SDN”、OFC 2018（サンディエゴ）（平成 29 年 3 月 15 日）

## 10 出願特許リスト

[1] 柴山充文、デジタルフィルタ回路、日本、平成 27 年 12 月 2 日

[2] 久保和夫、フレーム生成方法、光伝送装置および光伝送システム、日本、平成 28 年 2 月 9 日

[3] 中島久雄、星田剛司、葛毅、誤り訂正回路および光伝送システム、日本、平成 28 年 2 月 25 日

[4] 中村政則、吉田光輝、米永一茂、平野章、光伝送システム、日本、平成 28 年 3 月 24 日

[5] 土肥慶亮、尤度生成回路および尤度算出方法、日本、平成 28 年 3 月 28 日

[6] 前田和佳子、信号処理装置、光受信機、光通信システムおよび光源周波数誤差推定方法、日本、平成 28 年 3 月 30 日

[7] 柴山充文、デジタルフィルタ装置、デジタルフィルタ処理方法およびデジタルフィルタ処理プログラム、日本、平成 28 年 4 月 19 日

- [8]中島久雄、野村義孝、小山智史、葛毅、秋山祐一、廣瀬佳生、星田剛司、デジタル信号処理回路および複数のデジタル信号処理回路を含む信号処理装置、日本、平成28年4月22日
- [9]吉田剛、光伝送方法および光伝送システム、PCT、平成28年6月13日
- [10]中島久雄、小山智史、野村義孝、星田剛司、谷村崇仁、信号処理装置および信号処理方法、日本、平成28年7月27日
- [11]石井健二、久保和夫、杉原堅也、誤り訂正復号装置及び光送受信装置、PCT、平成28年9月1日
- [12]星田剛司、小山智史、中島久雄、受信装置及び位相誤差補償方法、日本、平成28年9月9日
- [13]柴山充文、デジタルフィルタ、フィルタ処理方法及び記録媒体、PCT、平成28年12月1日
- [14]野口栄実、受信装置、送信装置、光通信システムおよび光通信方法、日本、平成28年12月28日
- [15]野口栄実、受信装置、送信装置、光通信システムおよび光通信方法、日本、平成28年12月28日
- [16]中島久雄、星田剛司、葛毅、誤り訂正回路および光伝送システム、米国、平成29年1月31日
- [17]石井健二、久保和夫、杉原堅也、吉田英夫、誤り訂正復号装置及び光送受信装置、PCT、平成29年2月2日
- [18]前田和佳子、信号処理装置、光受信機、光通信システムおよび光源周波数誤差推定方法、PCT、平成29年2月27日
- [19]野口栄実、光通信システム及び光周波数制御方法、日本、平成29年3月6日
- [20]吉田英夫、久保和夫、石井健二、杉原堅也、杉原隆嗣、誤り訂正装置および誤り訂正方法、PCT、平成29年3月9日
- [21]星田剛司、小山智史、野村義孝、中島久雄、不平衡補償装置、送信装置、受信装置、及び不平衡補償方法、日本、平成29年3月30日
- [22]濱岡福太郎、岡本聖司、中村政則、松下明日香、木坂由明、偏波状態推定方法及び偏波状態推定装置、日本、平成29年3月31日
- [23]鈴木昌弘、岡本聖司、堀越健吾、木坂由明、吉田光輝、SNR推定方法、光伝送装置及び光伝送システム、日本、平成29年3月31日
- [24]柴山充文、デジタルフィルタ装置、デジタルフィルタ処理方法およびデジタルフィルタ処理プログラム、PCT、平成29年4月14日
- [25]中村達也、光送受信装置、システム、及び送信周波数制御方法、日本、平成29年5月16日
- [26]柴山充文、高速フーリエ変換装置、データ並べ替え処理装置、高速フーリエ変換処理方法およびプログラム、システム、及び送信周波数制御方法、日本、平成29年5月16日
- [27]中島久雄、野村義孝、小山智史、秋山祐一、星田剛司、光受信装置、光送信装置、光通信システム、およびスキュー調整方法、日本、平成29年6月26日
- [28]土肥慶亮、尤度生成装置、PCT、平成29年6月27日
- [29]久保和夫、誤り訂正装置及び光送受信装置、PCT、平成29年11月27日
- [30]柴山充文、信号処理装置、方法、プログラム、日本、平成30年1月11日
- [31]中島久雄、小山智史、信号処理装置及び信号処理方法、日本、平成30年1月11日
- [32]鈴木昌弘、岡本聖司、堀越健吾、木坂由明、吉田光輝、信号対雑音比推定方法、光伝送装置及び光伝送システム、PCT、平成30年3月26日

## 1 1 取得特許リスト

[1]中村政則、吉田光輝、米永一茂、平野章、光伝送システム、日本、平成 28 年 3 月 24 日、平成 29 年 1 月 20 日、特許 6077696

## 1 2 国際標準提案・獲得リスト

- [1]ITU-T SG15 Q6・Interim meeting、WD06-11、OSNR requirement based on the black-link in G.698.2、平成 27 年 10 月 15 日
- [2]ITU-T SG15 Q11・Interim meeting、WD11-11、OSNR requirement based on the black-link in G.698.2、平成 27 年 10 月 16 日
- [3]ITU-T SG15 Q11・Interim meeting、WD11-21、Proposal to standardize the Staircase FEC for metro application、平成 28 年 6 月 10 日
- [4]ITU-T SG15 Q11/6・Interim meeting、COM15-C2156、Proposal to modify procedural agreement between Q11 and Q6 regarding strong HD-FEC、平成 28 年 9 月 30 日
- [5]ITU-T SG15 Q11/6・Interim meeting、COM15-C2148、Staircase FEC as a candidate for standard OTU4 MV IaDI metro application、平成 28 年 9 月 30 日
- [6]ITU-T SG15 Q11/15、C.40、Request to consent Draft new Recommendation G.709.otu4lr、平成 29 年 6 月 19 日
- [7]ITU-T SG15 Q11/15、C.41、Specification of the SC-FEC for 100G FlexO-LR、平成 29 年 6 月 19 日
- [8]ITU-T SG15 Q6・Interim meeting、WD06-16、OSNR requirement based on the black-link in G.698.2、平成 29 年 10 月 16 日

## 1 3 参加国際標準会議リスト

- [1] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 Q11/15&Q6/15 中間会合、イタリアトリノ、平成 27 年 10 月 12 日～10 月 16 日
- [2] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 本会合、スイスジュネーブ、平成 28 年 2 月 15 日～2 月 26 日
- [3] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 Q11/15 中間会合、中国深圳、平成 28 年 6 月 6 日～6 月 11 日
- [4] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 Q6/15 中間会合、イタリアピサ、平成 28 年 6 月 20 日～6 月 23 日
- [5] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 本会合、スイスジュネーブ、平成 28 年 2 月 18 日～2 月 29 日
- [6] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 Q11/15 中間会合、カナダバンクーバー、平成 29 年 2 月 20 日～2 月 24 日
- [7] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 Q6/15 中間会合、アメリカサニーベール、平成 29 年 1 月 16 日～1 月 20 日
- [8] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 本会合、スイスジュネーブ、平成 28 年 6 月 19 日～6 月 30 日
- [9] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 Q11/15 中間会合、スイスジュネーブ、平成 29 年 2 月 23 日～2 月 27 日

[10] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 Q6/15 中間会合、中国杭州、平成 29 年 10 月 16 日～10 月 20 日

[11] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)・SG15 本会合、スイスジュネーブ、平成 30 年 1 月 29 日～2 月 9 日

## 1 4 受賞リスト

## 1 5 報道発表リスト

### (1) 報道発表実績

[1]“NTT エレクトロニクス社、超低電力な業界初の 16nm 100G/200G コヒーレント DSP を発表 –100Gb あたり 10W以下の超低消費電力化で 1Tbps 超級の光トランスポンダ・ブレードが可能–”、平成 28 年 3 月 21 日

[2]“光伝送システム「1FINITY」シリーズのラインアップを大幅拡充ディスプレイアグリゲーション構成を採用し、各機能をブレードとして提供”、平成 28 年 3 月 23 日

[3]“NEC、都市の通信を支えるメトロネットワークの構築に適した小型のパケット光統合トランスポート装置を発売”、平成 29 年 2 月 24 日

[4]“データセンター間を接続するネットワークへ超大容量 400 ギガビット伝送装置を導入”、平成 29 年 4 月 7 日

[5]“世界初、マルチアプリケーションに対応した 1.2Tbps DCO Daughter Card の開発に成功”、平成 30 年 3 月 7 日

### (2) 報道掲載実績

[1]“NEL、低消費電力デジタルコヒーレント DSP の新製品を発表”、マイナビニュース、平成 28 年 3 月 23 日

[2]“コヒーレント SDP で革新”、電経新聞、平成 28 年 3 月 28 日

[3]“NEC、都市の通信を支えるメトロネットワークの構築に適した小型のパケット光統合トランスポート装置を発売”、日経新聞、平成 29 年 2 月 24 日

[4]“NEC、小型パケット光統合トランスポートを発売”、OPTRONICS ONLINE、平成 29 年 2 月 24 日

[5]“NEC がメトロ向けパケット光統合トランスポート装置、従来比約半分に省スペース化”、business network.jp、平成 29 年 2 月 24 日

[6]“NEC launches compact converged packet optical transport system for constructing metro networks”、Telecom TV Tracker、平成 29 年 2 月 25 日

[7]“NTT コムなど、データセンター間を接続するネットワークへ超大容量 400 ギガビット伝送装置を導入”、日本経済新聞、平成 29 年 4 月 7 日

[8]“NTT Com、データセンター間を接続する超大容量 400Gbit 伝送装置を導入”、マイナビニュース、平成 29 年 4 月 7 日

[9]“NTT Com、データセンター間をより高速に結ぶ超大容量 400Gbit 伝送装置を導入開始”、ASCII、平成 29 年 4 月 11 日

[10]“データセンター間を接続するネットワークへ超大容量 400 ギガビット伝送装置を導入”、NTT 技術ジャーナル、平成 29 年 6 月 1 日

## 研究開発による成果数

	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
査読付き誌上発表論文数	0 件 ( 0 件)	1 件 ( 1 件)	0 件 ( 0 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	1 件 ( 1 件)	3 件 ( 2 件)	5 件 ( 5 件)
その他の誌上発表数	0 件 ( 0 件)	1 件 ( 0 件)	1 件 ( 0 件)
口頭発表数	6 件 ( 1 件)	1 8 件 ( 2 件)	5 件 ( 1 件)
特許出願数	8 件 ( 3 件)	1 7 件 ( 8 件)	7 件 ( 3 件)
特許取得数	0 件 ( 0 件)	1 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)
国際標準提案数	2 件 ( 2 件)	3 件 ( 3 件)	3 件 ( 3 件)
国際標準獲得数	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)
受賞数	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)
報道発表数	4 件 ( 2 件)	2 件 ( 1 件)	4 件 ( 2 件)
報道掲載数	2 件 ( 0 件)	4 件 ( 1 件)	4 件 ( 0 件)

	合計
査読付き誌上発表論文数	1 件 ( 1 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	9 件 ( 8 件)
その他の誌上発表数	2 件 ( 0 件)
口頭発表数	2 9 件 ( 4 件)
特許出願数	3 2 件 ( 1 4 件)
特許取得数	1 件 ( 0 件)
国際標準提案数	8 件 ( 8 件)
国際標準獲得数	0 件 ( 0 件)
受賞数	0 件 ( 0 件)
報道発表数	1 0 件 ( 5 件)
報道掲載数	1 0 件 ( 1 件)

注 1 : 各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2 : 「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの)) のある出版物に掲載された論文等 (Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のあ

る小論文、研究速報、レター等を含む)を計上する。

注3 : 「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集 (電子媒体含む) に掲載された論文等 (ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。) を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等 (電子情報通信学会技術研究報告など) は、「口頭発表数」に分類する。

注4 : 「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等 (査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む) を計上する。

注5 : PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。(何カ国への出願でも1件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6 : 同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。