

「超低消費電力型光エレクトロニクス 実装システム技術開発」(中間評価)

(平成24年度～平成33年度 10年間)
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO IoT推進部

平成29年9月28日

発表内容

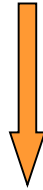
I. 事業の位置づけ・必要性



II. 研究開発マネジメント



III. 研究開発成果



IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

NEDO
(梅田)

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

荒川PL

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

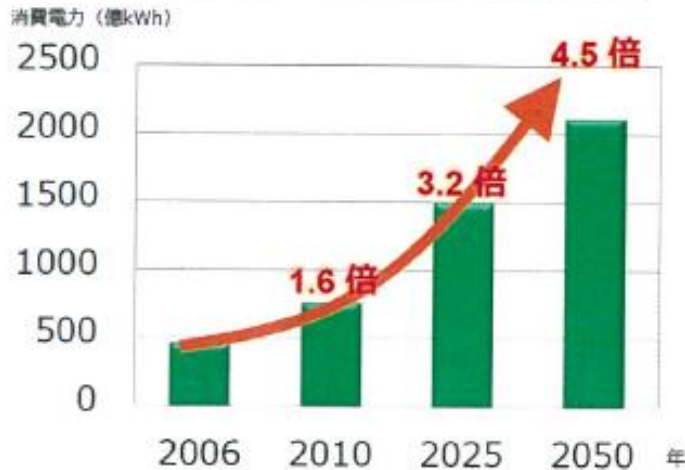
- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

I. 事業の位置付け・必要性(1)事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景

- 情報化社会の進展に伴うIT機器の普及により、社会生活で扱う情報量は爆発的に増大し、情報を処理するIT機器の台数および各機器毎の情報処理量が急増。
- 国内のIT機器による電力消費量は急増し、2025年には2010年の2倍に達する可能性がある。
- 電気配線の限界を迎えつつありIT機器の省エネルギー化は喫緊の課題。

日本国内のIT機器の消費電力量見込み



出典: 経済産業省 平成24年度 我が国情報経済社会における基盤整備 (IT機器のエネルギー消費量に係る調査事業 報告書)

配線技術と帯域密度向上のトレンド



*PEGST:

内閣府・総合科学学術会議の下で、日本学術振興会が進めた最先端研究開発支援プログラム (FIRST) におけるフォトニクス・エレクトロニクス融合システム基盤技術開発事業

I. 事業の位置付け・必要性(1)事業の目的の妥当性

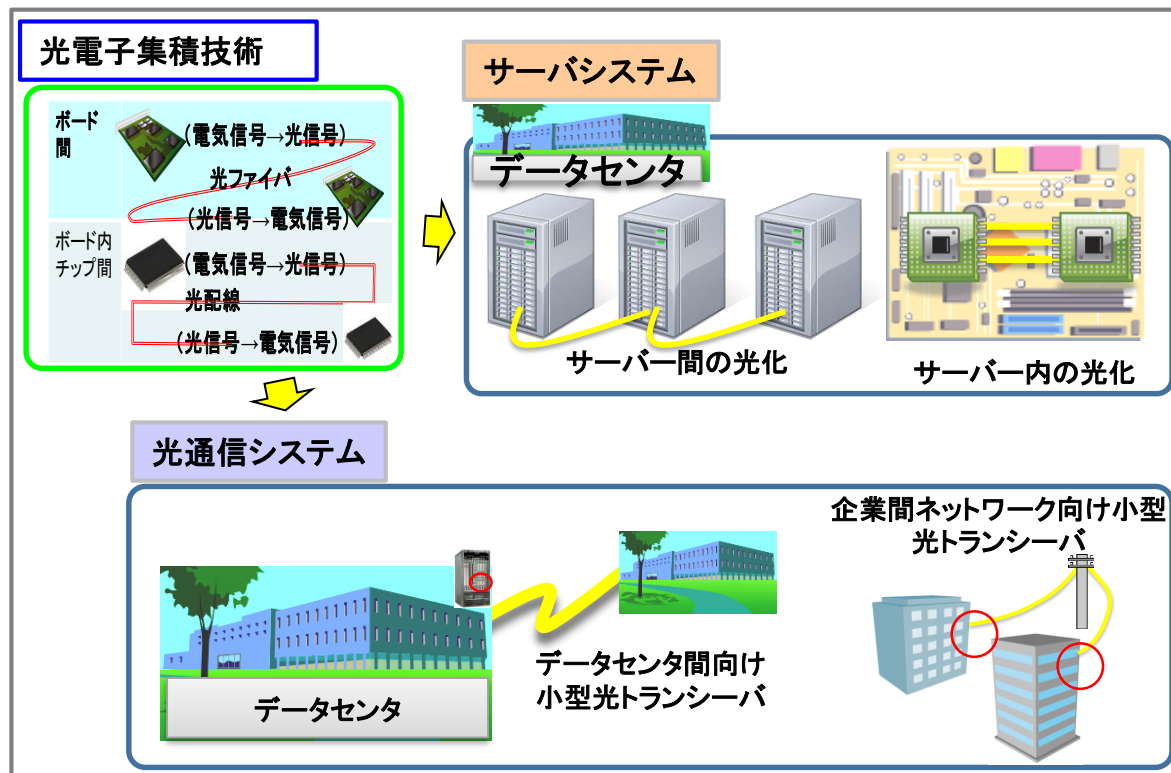
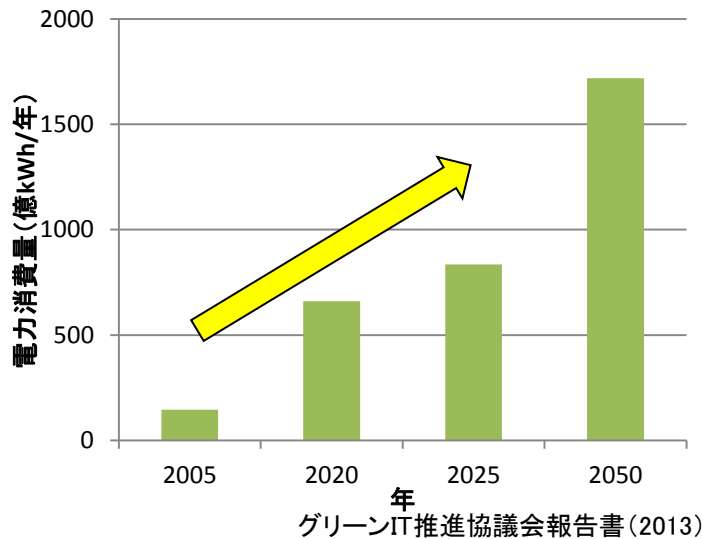
◆事業の目的

サーバ、ルータ等のIT機器で構成されるデータセンタにおいても電力消費量が急増

光電子集積技術を軸にデータセンタ等におけるサーバシステム、光通信システム向けIT機器の省電力化技術を開発

本プロジェクト:「超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発」

国内データセンタにおける
電力消費量推計



I. 事業の位置付け・必要性(1)事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

産業技術政策

第5期科学技術基本計画
(内閣府 2016年1月)

科学技術イノベーション
総合戦略2017
(内閣府 2017年5月)

- 「**超スマート社会**」(Society 5.0)の実現のために、情報通信基盤技術の開発強化が掲げられている。
- 新たな価値創出のコアとなる基盤技術として、「**光・量子技術**」が重きを置くべき取組として挙げられている。
- 大規模データを高速に、リアルタイムにかつ少ない消費電力で処理するための**デバイスおよびネットワーク**実現が求められている。

経済産業省研究開発プログラム

省エネルギー
技術戦略2016

- 世界一の省エネルギー国家を目指す。
- 2030年時点で確実にエネルギー消費量を削減する省エネルギー技術開発と着実な社会実装、及び国際展開を進める。
- IT機器の**省電力化・小型化・低コスト化**のための光通信技術開発の推進が重要。

未来開拓研究
プロジェクト

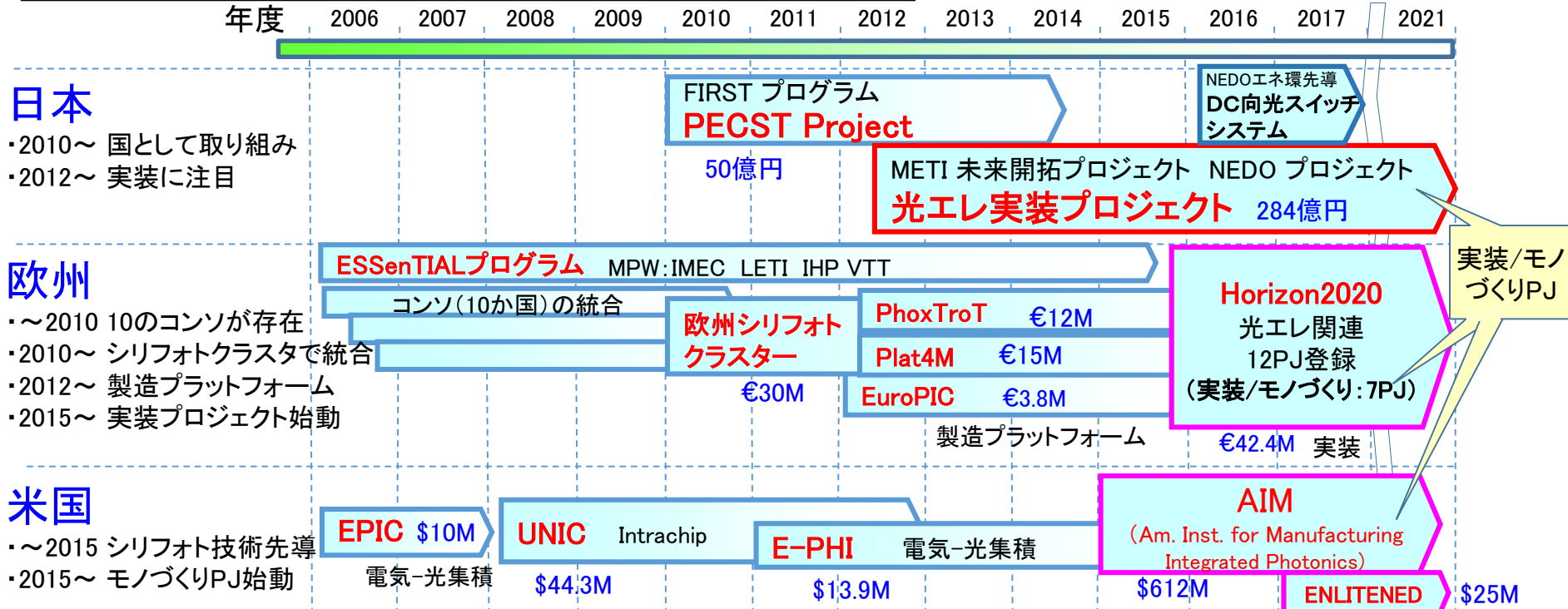
- 優れた技術及び知見を有する国内外の企業・大学、公的研究機関等で構築した研究体制で、**中長期的観点の研究開発**を推進する。
- 環境・エネルギー問題・少子高齢化問題の解決、エネルギー需給安定化及び日本の産業の成長に貢献する。
- 「超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発」プロジェクトを**2012年**に開始

- ◆ 本プロジェクトは、産業技術政策を実現する事業と位置付けられる。
- ◆ 2012年経済産業省立上げのプロジェクトを2013年よりNEDOで継続実施中。

I. 事業の位置付け・必要性(1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較

- ◆ 技術レベルでは日本が先行中。
- ◆ 米国が短期で実用化を目指している。



- ◆ 日本: 実装主体のPJの先駆け
欧州・米国が追随PJ発足
- ◆ 欧州: 国家間連携を主導
製造プラットフォーム
マルチ・PJ・ウェーハ
- ◆ 米国: 技術開発で先導
雇用確保のためモノづくりへ舵取り

	日本 (PETRA)	米国 (AIM)	欧州 (Horizon2020)
ファブ	構築中	Albany	STMicro他
目標値	容量 : 10Tbps 消費電力: 1mW/Gbps	製造のためのPDK提示 消費電力: <1mW/Gbps	容量 : 2Tbps 消費電力: 2mW/Gbps コスト : 0.2€ /Gbps
Founding 金額 (期間)	METI/NEDO 委託 284億円 (2012-2021)	MFG USA マッチング 502+110M\$ (2015-2019)	Horizon H2020 委託 42.4M€ (2015-2020)

I. 事業の位置付け・必要性(2)NEDOの事業としての妥当性

◆NEDOが関与する意義

CO₂排出量削減という国家的な取り組み、情報通信技術の公共性、民間企業だけでの開発の困難性、技術的英知結集の必要性からNEDOプロジェクトとして取り組むことが必要

■IT機器の省エネ化によるCO₂削減には国家的な取り組みが必要

国民生活の中に浸透しつつあるクラウドコンピューティング、ライフラインとなっているデータセンタ、ネットワーク等に係る情報通信機器の消費電力量を削減し、CO₂排出量を削減することは、地球温暖化対策として非常に重要。**公益性**高い取り組み。

■我が国のエレクトロニクス産業を支える技術の国際競争力強化

IT機器の省電力化と高速化を両立すると期待されている光電子集積技術は、次世代の情報通信機器分野における**中核的な技術になりうるポテンシャル**を秘めている。国際的な開発競争も激しい技術分野で、欧米では国家的な取り組みを進めている。我が国のIT産業のプレゼンスを確保するため、光電子集積技術開発における**国内企業間の連携や技術の共通化**が重要。

■個々の民間企業では技術開発は困難

従来にない光電子集積技術を実現するには、難度の高い技術開発を広範囲に亘って開発し統合する取り組みが必要。**民間企業単独ではリスク**があり、市場原理のみで技術開発の推進を図ることは困難。

NEDOが関与し推進すべき事業

I. 事業の位置付け・必要性(2)NEDOの事業としての妥当性

◆実施の効果（省エネルギー効果）

年度	CO ₂ 削減量(試算) (万トン/年)	普及率(%)
2030	1500	50

【試算方法】

成果が適用される製品群と削減率の推定： ルータ80%、サーバ31%、PC35%、TV10%

COP21パリ会議(2015)

- 日本の温暖効果ガス排出量は約14億トン／年
- 2030年までに26%の削減が求められている

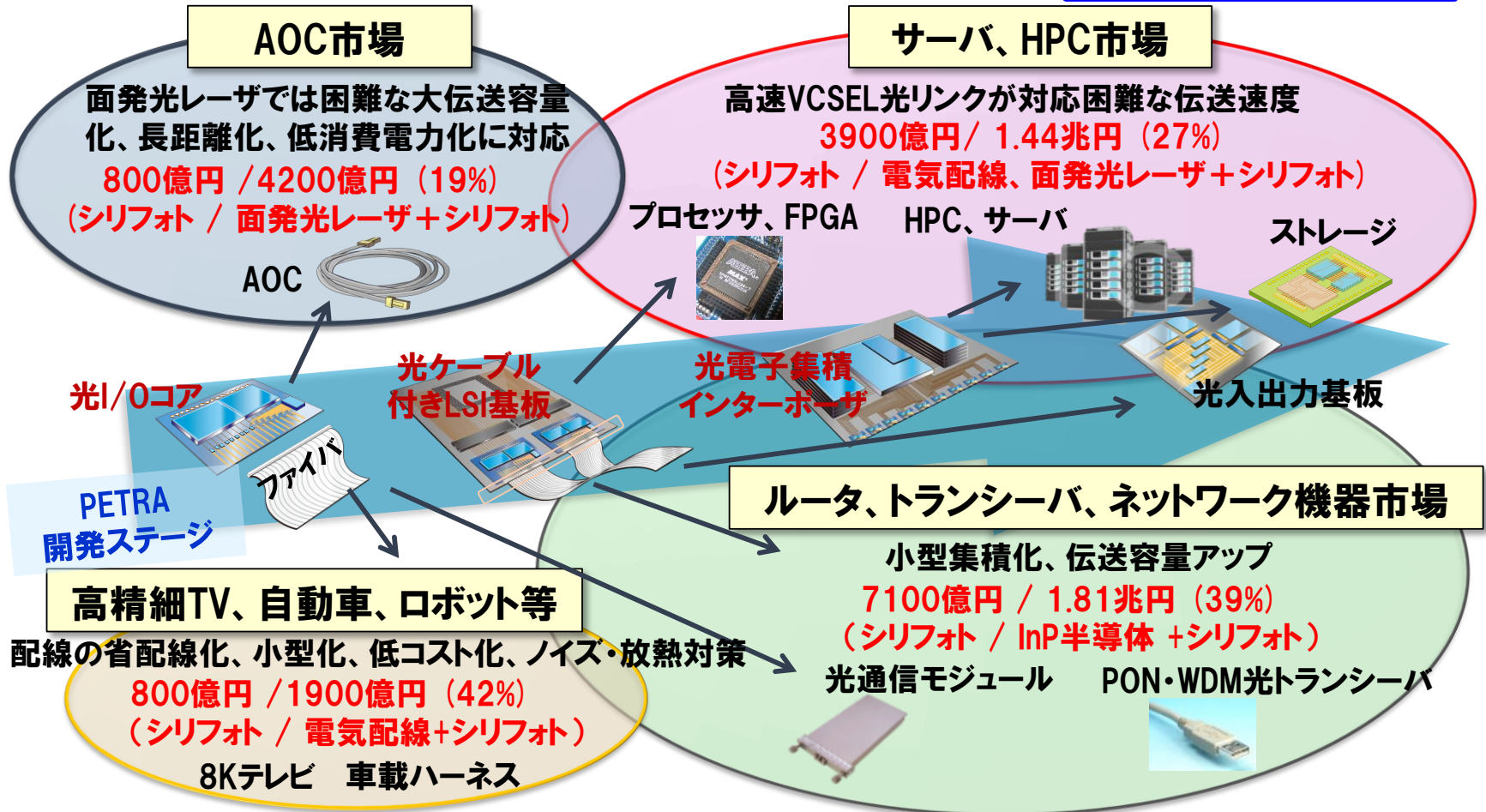
本プロジェクトの成果は、環境改善にも有意義な効果をもたらすと期待される。

I. 事業の位置付け・必要性(2) NEDOの事業としての妥当性

◆実施の効果（経済的効果）

未来開拓研究プロジェクト事業費(想定): 284億円(10年間)
2012年度～2017年度 事業費合計 : 160億円

期待される経済効果
約1.26兆円
(2030年・グローバル)



発表内容

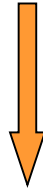
I. 事業の位置づけ・必要性



II. 研究開発マネジメント



III. 研究開発成果



IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

NEDO
(梅田)

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

荒川PL

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

Ⅱ. 研究開発マネジメント(1)研究開発目標の妥当性

2021年度末性能目標
(電気配線比)

- ・光電子集積デバイス: 低消費電力 1mW/ Gbps (1/10)、小型(1/100以下)
- ・光電子集積サーバボード要素技術: 低消費電力(3割減)、多種LSI集積、DCで運用可能

①光エレクトロニクス実装基盤技術

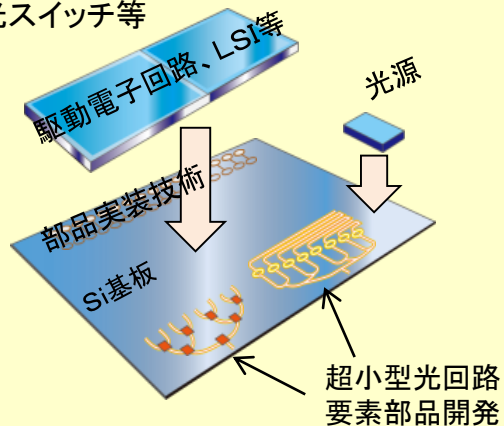
- 基盤要素技術: 光電子集積インターポーザ(回路基板の光化)を実現するための基盤技術開発
- 革新的デバイス: 光電子集積インターポーザ性能を大きく高めるデバイス技術開発

i. 基盤要素技術

- 光エレクトロニクス実装技術
- 光エレクトロニクス集積デバイス技術
- 光エレクトロニクスインターフェース技術
- 光エレクトロニクス回路設計技術

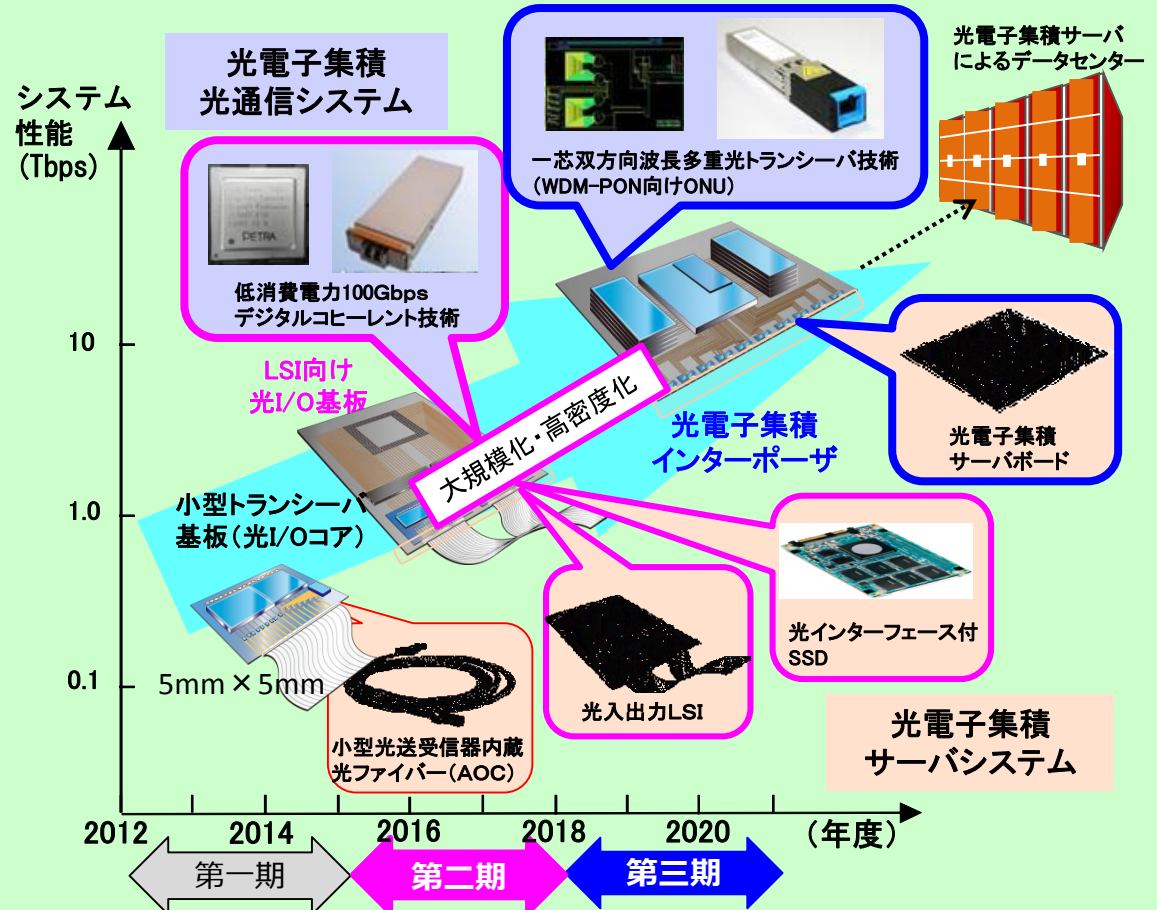
ii. 革新的デバイス技術

光源、受光器、変調器、配線、増幅器、光スイッチ等



②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

光電子集積サーバ等の実現に向けた**最適なアーキテクチャの明確化**、および**統合化技術の開発**



Ⅱ. 研究開発マネジメント(1) 研究開発目標の妥当性

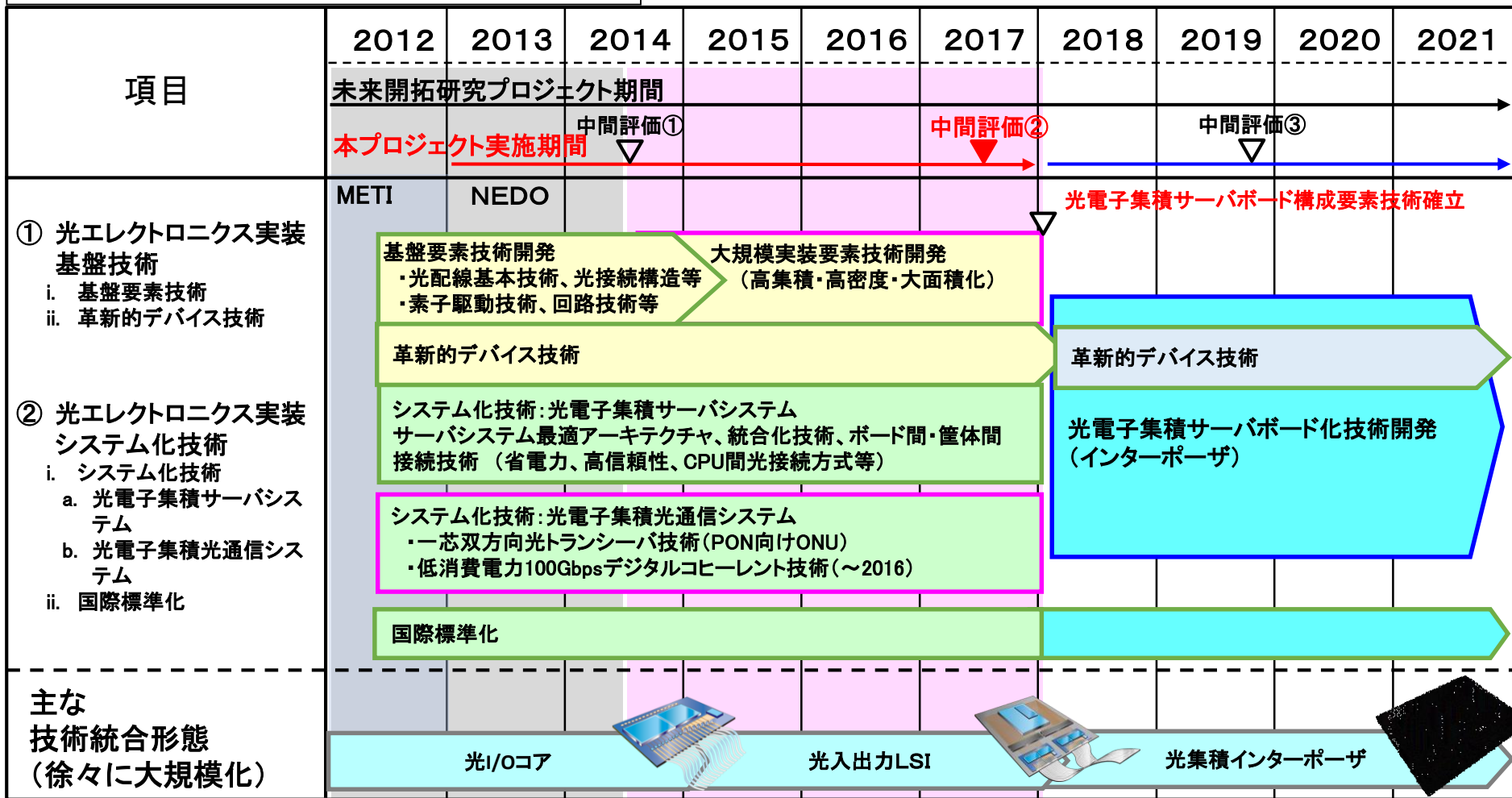
2021年度末性能目標
(電気配線比)

- ・光電子集積デバイス: 低消費電力 1mW/ Gbps (1/10)、小型(1/100以下)
- ・光電子集積サーバボード要素技術: 低消費電力(3割減)、多種LSI集積、DCで運用可能

課題	テーマ	研究開発目標(2017年度末)	設定根拠
① 実装基盤技術	基盤要素技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 上記性能を発揮する光電子集積デバイスの実現に目処を立てる要素技術を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 全世界の情報創出量推計から、2020年代にはデータ伝送電力1mW/ Gbps以下、配線ピッチ0.1mm以下のサーバボードが必要と推定。 ◆ プロジェクト終了4年後に複数のLSIが搭載された上記光電子集積サーバボードを実現するには、プロジェクト期間中に要素技術の確立が必要。
	革新的デバイス技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 光電子集積サーバボードの非連続的な小型化・低消費電力化・高性能化を可能とする先進性の高い光制御技術、デバイス技術を研究開発する。 ◆ 光電子集積サーバボードへの適用見通しと適用時の課題を明確にする。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 開発成果が持続的に競争力を保つためには、非連続的な省エネ化、高性能化を可能にする研究開発を推進すべき。
② 実装システム化技術	システム化技術 ・ 光電子集積サーバシステム ・ 光電子集積光通信システム	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 上記要件を満たす光電子集積サーバボードを実現するためのシステム化技術を開発し、性能目標達成の目処を得る。 ◆ 波長多重一芯双方向トランシーバ技術、データセンタ間通信向け低消費電力型デジタルコヒーレントトランシーバ技術を確立する(2016年度末)。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 上記基盤技術を用いた光電子集積サーバボードの運用可能性を検証し目標実現の見通しを得るためには、システム化技術が必要。 ◆ 情報通信トラフィック増加に対応する技術が必要。
	国際標準化	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 光インターコネクトに関する標準化団体参画 ◆ 「キーメンバーコミュニティ」におけるプレゼンス確立 ◆ 研究開発成果の普及促進に必要な標準化提案を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ シリコンフォトニクス分野の技術開発競争が激化する中、開発技術を普及し省電力化や国内産業の活性化を図るためには、国際標準化を推進することが有効。

Ⅱ. 研究開発マネジメント(2) 研究開発計画の妥当性

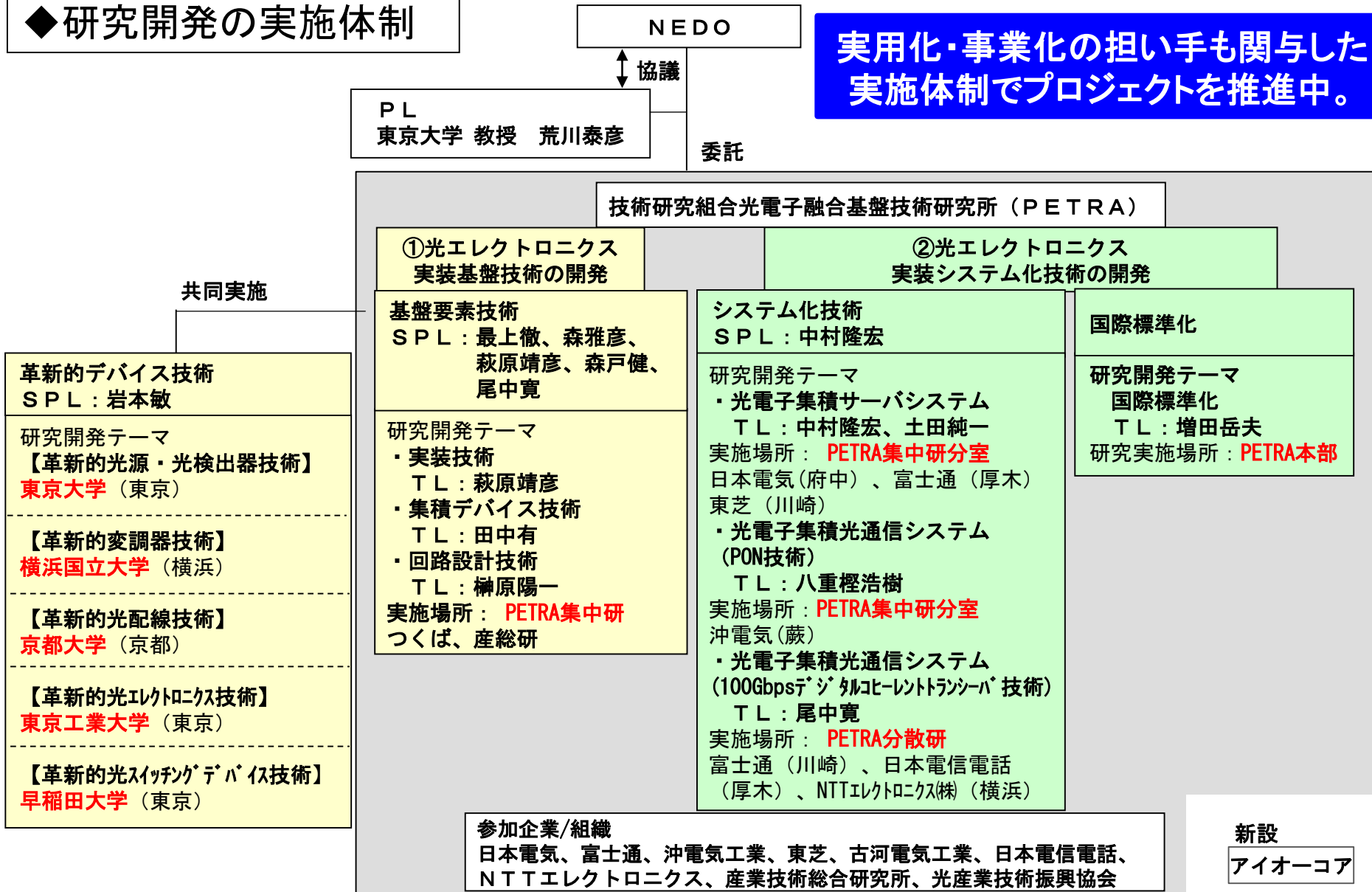
◆ 研究開発のスケジュール



- ◆ 立上げ当初から2021年度末まで10年間の研究開発を計画し、推進中。
- ◆ 本中間評価は、2014年中間評価から現在までの達成度と最終目標を確認する。

Ⅱ. 研究開発マネジメント(3) 研究開発の実施体制の妥当性

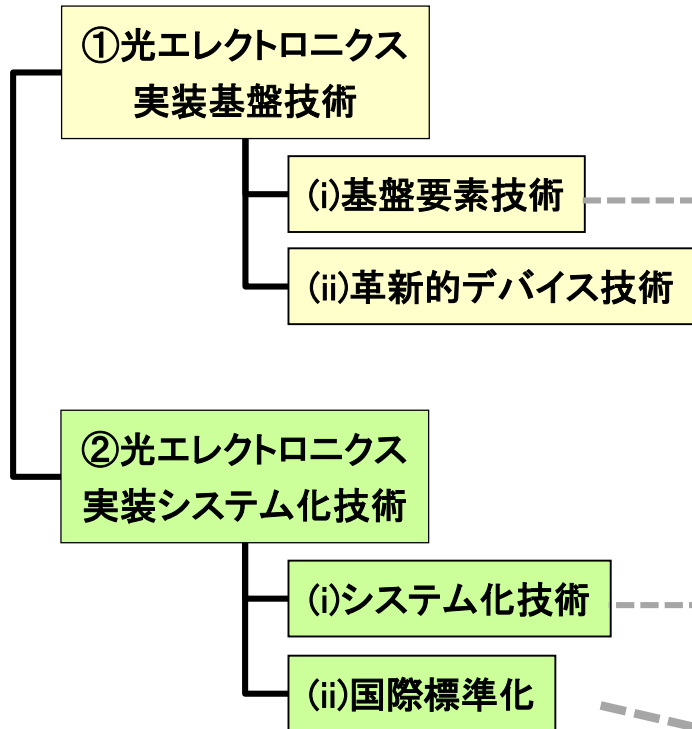
◆ 研究開発の実施体制



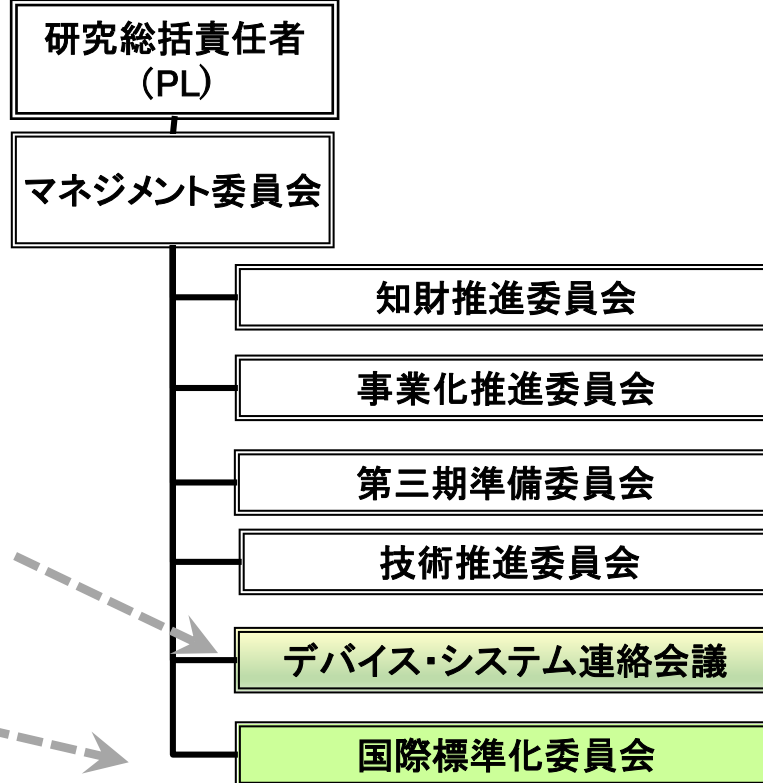
Ⅱ. 研究開発マネジメント(3) 研究開発実施体制の妥当性

◆ 研究開発の運営体制

<テーマ構成>



<委員会構成>



<開催実績>

開催回数 (第二期)
5
2
月1回以上
2
1
月1回以上
4

- ◆ PL、及びマネジメント委員会で全体を統括する運営体制
- ◆ プロジェクト全体の課題解決・個別テーマ推進のための委員会を運用

Ⅱ. 研究開発マネジメント(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 動向・情勢の把握と対応

2021年度末性能目標
(電気配線比)

・光電子集積デバイス: 低消費電力 1mW/ Gbps (1/10)、小型(1/100以下)
・光電子集積サーバボード要素技術: 低消費電力(3割減)、多種LSI集積、DCで運用可能

2021年度末の
性能目標は妥当

項目	テーマ	研究開発目標(2017年度末)	情勢の変化	目標の妥当性と対応
① 実装基盤技術	基盤要素技術	◆ 上記目標性能を発揮する光電子集積デバイスの 実現に目処を立てる要素技術を確立	◆ モバイル通信、クラウドコンピューティング、IoT・AIの進展により、通信量がさらに増加すると予測 ◆ データセンタ間通信技術開発スピード加速	<u>実施事項を追加(2015年)</u> ◆ 大口径ウェハによる新デバイス技術実用化開発(目標:光回路として2015年度末に3mW/Gbps実証)
	革新的デバイス技術	◆ 非連続的な小型化・低消費電力化・高性能化を可能とする 先進性の高い光制御技術、デバイス技術を研究開発		<u>目標は妥当</u>
② 実装システム化技術	システム化技術	◆ 上記要件を満たすサーバボード実現のための システム化技術を開発し、性能目標達成の目処を得る。 ◆ 波長多重一芯双方向トランシーバ技術、低消費電力型デジタルコヒーレントトランシーバ技術を確立(2016年度末)	◆ シリコンフォトニクス技術の開発競争激化 ◆ 競合各社が相次ぎ光接続サーバ、データセンタの高度化を提案	<u>目標前倒し(2014年)</u> ◆ 大容量LSI周辺に世界最小光トランシーバ(光I/Oコア)を搭載 <u>実施事項を追加(2015年)</u> ◆ サーバアーキテクチャの検討(目標: 800Gbps/cmの高密度光I/Oの動作検証)
	国際標準化	◆ 研究開発成果の 普及促進に必要な標準化提案 を行う。		<u>実施事項を追加(2015年)</u> ◆ 小型トランシーバ(従来比1/2)開発
③	成果普及活動	◆ ビジョン形成を含む教育カリキュラムへ展開 ◆ 周辺領域の調査・基礎研究を応用研究へ展開	◆ データセンタの消費電力削減を目指した海外プロジェクト立上げが進行	<u>項目③を追加(2015年)</u>

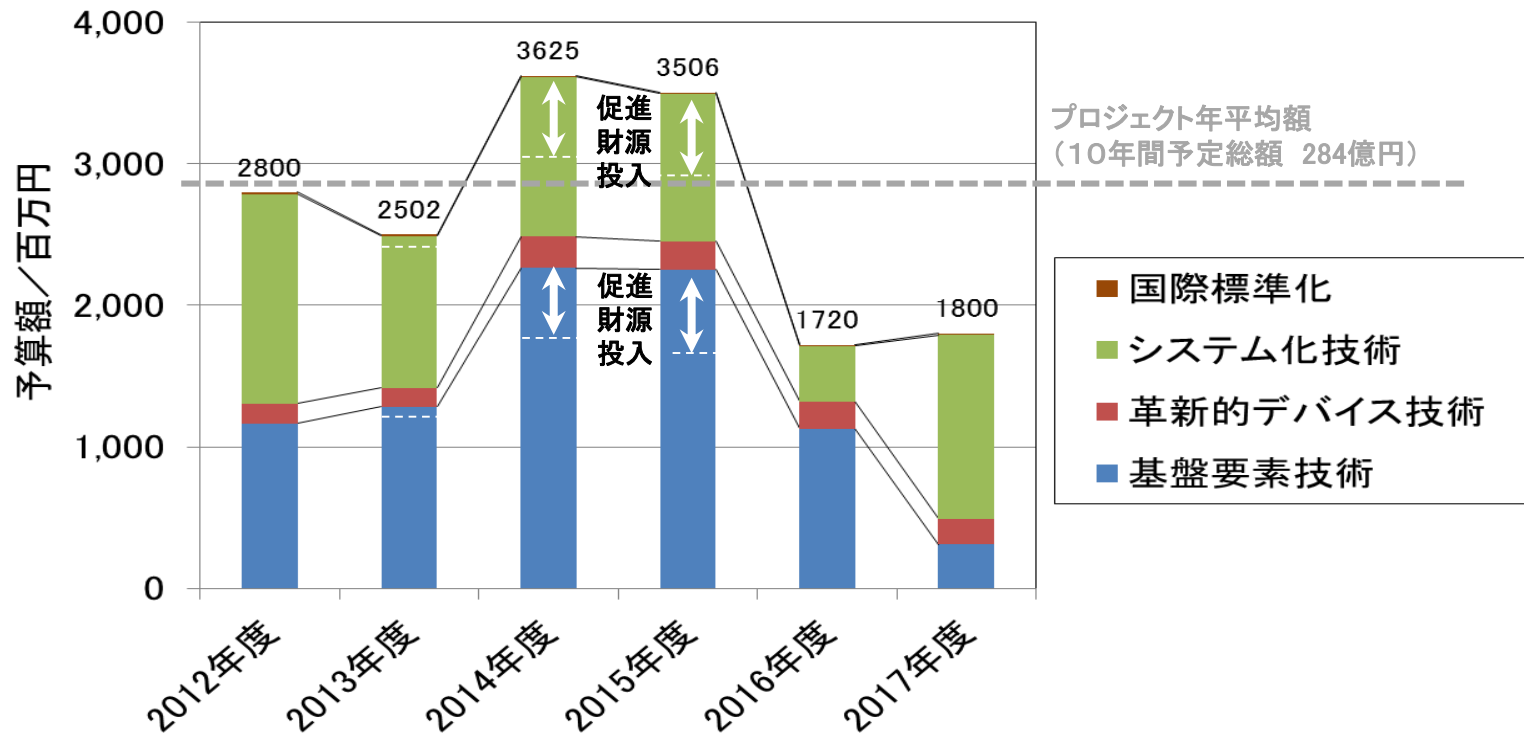
Ⅱ. 研究開発マネジメント(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 中間評価結果への対応

2014年中間評価 指摘事項		第二期 対応と進捗
1	<p>実用化・事業化に向けては、マーケットにおける競争実態や顧客動向に熟知したメンバーの参画が望まれる。</p>	<p>実用化・事業化戦略を策定のためのロードマップを作成</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内主要企業から情報を収集 コンサルタントを利用して国内外のマーケット状況の把握 <p>国内・海外企業との直接対話により情報を収集</p> <ul style="list-style-type: none"> サンプル提供、標準化活動を通じて対話機会を創出
2	<p>シリコンフォトニクスは、国際的にも開発競争が熾烈で進展も早いので、早期の実用化・事業化につながるように、研究開発を一層加速することが必要である。</p>	<p>促進財源を投入して技術開発・実用化を加速</p> <ul style="list-style-type: none"> 2014年度、2015年度、計18.5億を投入 世界最高性能の達成、目標達成前倒し、国際標準化の主導的立場確立、など 事業化案件 2件
3	<p>多くの優れた学術的成果に比して、学術誌等の論文発表の数が少ないと思われる。</p>	<p>技術開発の進捗に伴い、公開・アピール方法をシフト</p> <ul style="list-style-type: none"> 基礎技術の特許出願(第一期)から学会・論文発表活用した成果アピール(第二期)へ 論文3報/年→12報/年、学会29件/年→70件以上/年
4	<p>今後は、取り組み計画、事業化までのマイルストーン、事業化する製品・サービス等を一層具体化することが必要である。</p>	<p>マイルストーンの下、製品・サービスを具体化して2件を事業化</p> <ul style="list-style-type: none"> 2016年 デジタルコーヒーレントラシシーバ関連4製品を事業化(富士通、富士通オプティカルコンポーネント、NTTエレクトロニクス) 2017年4月 光I/Oコア事業化のための新会社を設立

2014年中間評価の指摘事項に対し、対策を進めている。

Ⅱ. 研究開発マネジメント(4) 研究開発の進捗管理の妥当性



<情勢の変化>

- ・ シリコンフォトニクス技術の開発競争激化
- ・ 類似の海外プロジェクト立上がり
- ・ 競合各社による光接続サーバ、データセンタ高度化

3項目に促進財源を投入

- ・ 製造技術の確立
- ・ 技術利用の促進
- ・ 標準化を主導

基本計画をベースに、プロジェクト期間中も進捗・情勢に合わせて予算を配分している。

Ⅱ. 研究開発マネジメント(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

開発促進財源投入実績				
件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果
光によるLSI間データ伝送技術のリーディングポジション確立	2014	828	サーバ応用に向けた光I/Oコアの高性能化、LSIの光入出力技術開発を前倒しし、サーバシステムの検討を早期に着手する	Intel社に先駆け世界最高伝送速度を実現 (従来の10倍、25Gbps/ch) <ul style="list-style-type: none"> 大容量LSI周辺に世界最小光トランシーバ(光I/Oコア)を搭載 大容量LSI・光I/Oコア間のデータ伝送で信号の反射、減衰をコントロール
開発動向の把握、及び技術ロードマップ策定	2014	20	産業・市場創出を含め中長期的な動向を俯瞰して方針・目標を設定する	中長期的な動向を俯瞰できる ロードマップを策定 <ul style="list-style-type: none"> 2030年までの市場ニーズと光電子技術の製品展開・必要な要素技術を分析
低電力光電子融合サーバに向け高性能デバイスの早期実証試作	2015	966	3分野を補強しプロジェクト全体を加速する A) 製造技術: 300mmライン早期立上げ B) 開発技術の活用促進: 「Siフォトニック」コンセプトデザイン開発 C) 業界標準化の主導: デジコヒトランシーバの小型化	3分野で設定した目標を達成 A) 産総研100mmラインの製造技術をA社300mmラインへ展開し、低消費電力動作を実証(3mW/Gbps、 計画を1年前倒し) B) オンチップ型光I/O搭載CPUモジュールを試作し 世界最高の高密度動作 を実証(エンベディド型、800Gbps/cm、従来の3倍) C) 従来の1/2の小型化トランシーバを開発し、 業界標準化団体OIFにおける主導権 を確立
成果普及活動	2015	40	人材育成と周辺領域の調査・研究を通じて、開発した共通基盤技術の幅広い普及を図る	東京大学で 人材育成プログラムを確立 し、実践中 <ul style="list-style-type: none"> 学内院生を対象とした光電子教育カリキュラム 学外学生・社会人向け集中セミナー・ワークショップ 周辺技術領域の調査・研究 を実施 <ul style="list-style-type: none"> シリコン上超小型光源 光TSV等配線技術、 超小型・超低消費電力コンピューティング技術、等
合計		1,854		

促進財源を投入してプロジェクト全体を効率的に加速

Ⅱ. 研究開発マネジメント(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

NEDOプレスリリース(2015~2017年で7件)

- 2015.2.23 CPU間的高速伝送を世界最小5mW・Gbpsの電力効率で実現
- 2015.3.19 100ギガ動作の小型デジタルコヒーレント光トランシーバを開発
- 2015.3.23 世界最小5mm角の超高速・低消費電力光トランシーバを開発
- 2015.9.30 超小型光トランシーバを搭載した実装ボードを開発
- 2016.3.22 米国の展示会で超小型光トランシーバの最新技術を紹介
- 2017.4.17 NEDOプロジェクト成果の事業化に向け新会社を設立
- 2017.7.25 世界最高性能の半導体光変調器を開発

News Release

NEDOプロジェクト成果の事業化に向け新会社を設立
 ー世界最小、指先サイズの光トランシーバ「光I/Oコア」を製品化へー

2017年4月17日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 技術研究組合光電子融合基盤技術研究所

NEDOと技術研究組合光電子融合基盤技術研究所(PETRA)が開発した、世界最小、指先サイズの光トランシーバ「光I/Oコア」の事業化を進めるため、PETRAは光I/Oコアを生産・販売するアイオーコア株式会社を設立しました。同社は、技術研究組合から研究成果の知的財産権と技術の一部を承継して新設分割された株式会社の初めての事例となります。
 光I/Oコアは、情報通信機器の低消費電力化と高速化を両立し、データセンター等が直面する電力や通信の限界を打破する革新的なキーコンポーネントとして、幅広いエレクトロニクス産業への貢献が期待されます。

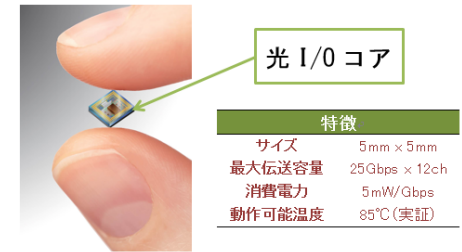


図. 光I/Oコアのイメージと特徴

News Release

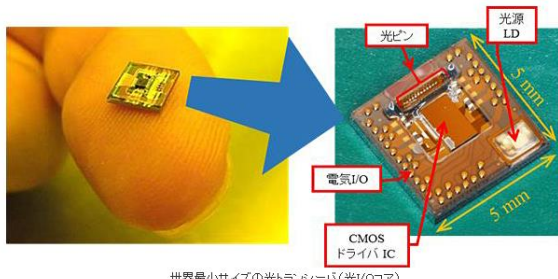
世界最小5mm角の超高速・低消費電力光トランシーバを開発
 ー世界最高仕様25Gbps/chの伝送速度を実現ー

2015年3月23日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 技術研究組合光電子融合基盤技術研究所

NEDOと技術研究組合光電子融合基盤技術研究所(PETRA)は、シリコンフォトニクス技術を用いた、世界最小5mm角の超小型光トランシーバ(光I/Oコア)を開発、1ヶ月ビット毎秒(Gbps)あたり5mWの消費電力、1チャンネルあたり25Gbpsの伝送速度を実現するとともに、マルチモードファイバを用いて伝送距離300mの高速度データ伝送を実現しました。

この技術開発により、消費電力を抑えながら大容量データの高速な送受が可能となり、サーバなどの情報通信機器の小型、低消費電力、高速化とともにデータセンターの省エネ化が期待されます。



世界最小サイズの光トランシーバ(光I/Oコア)

News Release

超小型光トランシーバを搭載した実装ボードを開発
 ー大容量LSI間で伝送速度25Gbpsを実現ー

2015年9月30日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 技術研究組合光電子融合基盤技術研究所

NEDOと技術研究組合光電子融合基盤技術研究所(PETRA)は、大容量LSI用光インタフェースに向け、大容量LSI間に開発したシリコンフォトニクス技術を用いた、世界最小5mm角の超小型光トランシーバ(光I/Oコア)を搭載した実装ボードと大容量LSIと光I/Oコア間のデータ伝送で課題となっていた信号の反射、減衰をマネジメントする高速技術を新たに開発、チャンネルあたり25Gbpsの高速伝送を実現しました。

この技術を用いて、大容量LSI間の接続において消費電力を従来比1/3以下に抑えながらボード全体で最大24Tbの大容量伝送の実証試験を進めることにより、サーバなどの情報通信機器の小型化、省電力化、高速化とともに省エネコンパクトなデータセンターの実現が期待されます。



図1 大容量LSI間に光I/Oコアを搭載した実装ボード

News Release

世界最高性能の半導体光変調器を開発
 ー従来比で光損失を10分の1に低減、変換効率5倍を達成ー

2017年7月25日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 国立大学法人東京大学
 技術研究組合光電子融合基盤技術研究所

NEDOプロジェクトにおいて、東京大学は、技術研究組合光電子融合基盤技術研究所(PETRA)との共同研究により、従来と比較して光の損失を10分の1に低減し、5倍の効率で電気信号を光信号に変換できる世界最高性能の半導体光変調器の開発に成功しました。この光変調器は、膨大な情報を高速で通信するデータセンターやIoT、人工知能といった分野で重要なシリコン光集積回路の大幅な省電力化と小型化に貢献できます。
 本成果は、2017年7月24日(英国時間、英国科学雑誌「Nature Photonics」)のオンライン版に公開されました。

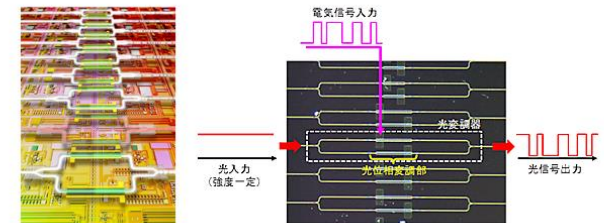


図1 光変調器のチップのイメージ図(左)と顕微鏡写真(右)

Ⅱ. 研究開発マネジメント(5)知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆知的財産権等に関する戦略

戦略	オープン			ブラックボックス
考え方	<ul style="list-style-type: none"> 先進的技術の開発をアピール 先進技術の利用技術開発を促進 業界標準獲得により技術利用を促進 			<ul style="list-style-type: none"> 業界内優位性を確保、維持継続 競合他社が追従できないようキーとなる情報を秘匿
対象となる成果物・手段	<情報公開> <ul style="list-style-type: none"> 学会・論文発表、プレスリリース 外部へサンプル提供・評価 人材の育成 	<知財出願> <ul style="list-style-type: none"> 特許化:デバイス構造・アーキテクチャ等 	<規格化> 国際標準提案により採択を目指す <ul style="list-style-type: none"> デジュール標準 フォーラム標準 	<ul style="list-style-type: none"> 実装方法 装置 ノウハウ
プロジェクト実施事項	<ul style="list-style-type: none"> 学会・論文発表促進 サンプル提供して外部評価 大学等で人材育成活動を実施 	<ul style="list-style-type: none"> コア技術の特許化(シリフォト回路・実装構造等) 	フォーラム標準化活動を展開(OIF、COBO、Open Compute Project等) <ul style="list-style-type: none"> 光電子集積インターポーザの標準を提案 	<ul style="list-style-type: none"> 実装方法・ノウハウを装置内に封じ込め リバースエンジニアリングでも模倣困難なレベル
その他	<ul style="list-style-type: none"> PECST知財を他社より有利な条件で使用可能 			

有利な事業化を目指し、オープン・ブラックボックス戦略を具体化して活動中

Ⅱ. 研究開発マネジメント(5)知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆国際標準化の戦略

	開発カテゴリ	標準化対象	標準団体(標準種)	規格名
上流標準 ↓ 下流標準	コンピュータネットワーク	通信方式	IEEE(フォーラム)	IEEE802.3 (イーサネット)
	光通信	光モジュールの電気 インターフェース	OIF(フォーラム)	
	データセンタ用 オンボード光トランシーバ	光通信方式・ 機械仕様	COBO(フォーラム)	MSA(COBO)
	光部品・デバイス	機械仕様・性能	IEC(TC86/SC86C) (デジュール)	IEC 62148 IEC 62149

フォーラム標準化を通じて、IEC規格化を進める。

超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム 技術開発プロジェクト(公開)

プロジェクトリーダー

東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構長
東京大学生産技術研究所
光電子融合研究センター長・教授

荒川 泰彦

Ⅲ. 研究開発成果
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

①光エレクトロニクス実装基盤技術

1-1 基盤要素技術

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス実装技術

1-2 革新的デバイス技術

②光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積サーバシステム

2-2 光電子集積光通信システム

2-3国際標準化

③成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

技術開発項目の関係

Ⅲ. 研究開発成果
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた
取組及び見通し

①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発 ②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

1-1 基盤要素技術

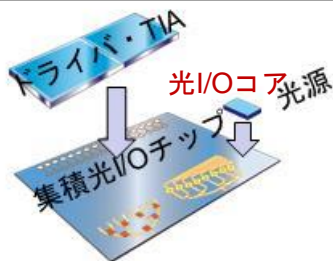
1-1-1 光エレクトロニクス
集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス
実装技術

1-1-3 光エレクトロニクス
回路設計技術

1-2 革新的デバイス技術

1-2 革新的デバイス技術



2-3 国際標準化



アクティブ光ケーブル
(AOC)

2-1 光電子集積
サーバシステム

2-2-2 企業間ネットワーク接続



光電子集積サーバ
によるデータセンター

2-2 光電子集積
光通信システム



PON・WDM
光トランシーバ

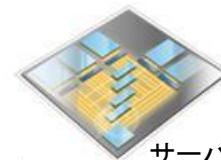
2-2-1 データセンタ間
ネットワーク接続



デジタルコヒーレント
トランシーバ

光電子集積
インターポーザ

2-1-2 サーバボードシステム化/
(CPU間光インターコネクト)



サーバボード

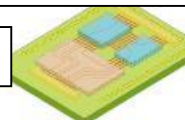
光ケーブル
付きLSI基板

小型光トランシーバ
基板 (光I/Oコア)

光I/O付LSI

2-1-2 サーバボードシステム化/
(CPU/記憶素子間接続)

2-1-1 ボード間・筐体間接続



光インターフェイス付
SSD

③成果普及

【成果一覧】

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2) 成果の最終目標の達成可能性

Ⅲ. 研究開発成果
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた
取組及び見通し

テーマ	H29年度末中間目標	主な成果状況	達成度
①光エレクトロニクス実装 基盤技術の開発 1-1 基盤要素技術	<ul style="list-style-type: none"> 多数の光素子を集積した大容量光電子集積インターポーザの基盤集積技術を確立。 光トランシーバの伝送容量1.2Tbps以上の基本動作を実現。 5cm□程度の光電子ハイブリッド基板上にLSIモジュールの高速光インターコネクトを実現。 低消費電力光トランシーバとして3mW/Gbpsを目標。 	<ul style="list-style-type: none"> シリフォト統合化集積プロセスを開発し、大容量化(4波WDM、56G-PAM4)の基盤技術を確立。 5mm□に25Gbps 12chの集積光I/Oチップを完成し、帯域密度1.2Tbps/cm²を実現。 1.3μm帯で低損失(0.29dB/cm)なポリマー光導波路を5cm□基板上に実現。 SiGe光変調器の高速動作実証(28Gbps)など3mW/Gbps超低消費電力デバイス技術確立。 	◎
①光エレクトロニクス実装 基盤技術の開発 1-2 革新デバイス技術	<ul style="list-style-type: none"> 光電子集積デバイスの小型化・低消費電力化・高性能化を非連続的に実現できる革新的デバイス技術を開発。 	<ul style="list-style-type: none"> シリコン導波路結合型量子ドットレーザの高速直接変調を達成。 SiGe変調器など各種光デバイスを高性能化。 	○
②光エレクトロニクス実装 システム化技術の開発 2-1 光電子集積サーバシステム 2-2 光電子集積光通信システム	<ul style="list-style-type: none"> 光電子集積サーバボードにおける送受信部を試作し、スペックを満足する光伝送を実証。 小型、低消費電力を満たす100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバを実現(H28年度末)。 一芯双方向波長多重動作をシリコンワンチップ上で実証。 	<ul style="list-style-type: none"> LSIと集積光I/Oコアを搭載したボードで、FPGA間を1.2Tbps(25Gbpsx24ch)で接続、また、800Gbps(25Gbps x16ch 送受)を1cm²に収容。 CFP-DCO、CFP2-ACOタイプの100 Gbpsデジコヒトランシーバを試作し、従来比/2以下の小型化と従来比1/3の約30Wの低消費化を実現。 10Gbps×4波×上り/下りの一芯双方向多重動作をシリコンワンチップ上で実証。 	◎
②光エレクトロニクス実装 システム化技術の開発 2-3 国際標準化	<ul style="list-style-type: none"> 光実装部品における各種インターフェース等の標準化提案活動を行い、実用化する開発成果の事業化に必要な標準の提案。 	<ul style="list-style-type: none"> OIFで小型光トランシーバ等の光部品の標準化活動を行い、IECでのデジュール標準化提案。 CFP4級デジタルコヒーレントトランシーバの超小型光送受信デバイスの標準化を推進。 	○
③成果普及	<ul style="list-style-type: none"> 成果普及等のためのプログラムを実施し、イノベーション創出に向けた周辺研究、人材育成、ビジョン形成等の活動を推進。 	<ul style="list-style-type: none"> 大学院生向け教育カリキュラム、学生や社会人を対象としたフォトニクス・イノベーションセミナーやビジョンワークショップを継続。 	○

※ 3mW/Gbpsを達成しているため、最終目標(1mW/Gbps)を達成見込み

達成度: ◎大幅達成、○達成(年度内達成見込みも含む)、
△達成遅れ、×未達

(3) 成果の普及と(4) 知的財産権の取得

(平成24年9月25日～平成29年8月末日集計分まで)

年度 (平成)	特許	外国出願 (内数)	論文等	国際/国内学会発表 (解説記事を含む) ()は招待講演	標準化 寄与文書	新聞発表	主要展示会
計	135	57	44	280(109)	72	19	-
24～26 年度	63	38	8	87(30)	50	13	CEATEC、OFC ICEP、SSDM SEMICON
27年度	35	15	12	85(32)	10	2	SEMICON OFC2016
28年度	33	4	12	62(29)	11	2	CEATEC OFC2017
29年度	4	0	12	46(18)	1	2	

The 7th International Symposium on Photonics and
Electronics Convergence (ISPEC2017)の
東京大学との共同開催予定:2017年12月11－12日

(3) 成果の普及と(4) 知的財産権の取得

1-2 革新的デバイス技術分

(平成24年9月25日~平成29年8月末日集計分まで)

年度 (平成)	特許	外国出願 (内数)	論文等	国際/国内学会発表 (解説記事を含む)	標準化 寄与文書	新聞発表	主要展示会
計	5	1	76	628	0	54	0
24~26年 度	0	0	30	262	0	23	0
27年度	1	0	16	155	0	15	0
28年度	3	1	22	159	0	12	0
29年度	1	0	8	52	0	4	0

(1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

【成果詳細】

プロジェクトにおける技術開発の概要

① 光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

光電子集積サーバ向け光電子集積インターポーザ(回路基板の光化)を実現するために必要な集積光部品・回路技術、実装技術、設計技術等の**基盤要素技術**と光電子集積インターポーザ性能を大きく高める**革新的デバイス**を開発

② 光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

光電子集積サーバ等の実現に向けた**最適なアーキテクチャの明確化**、およびその**統合化技術の開発**

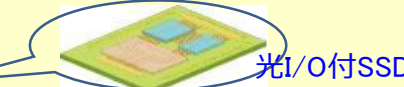
分室

2-1 光電子集積サーバシステム

光電子集積サーバ
データセンタ



CPU/記憶素子間光接続



光I/O付FPGAボード

CPU間光インターコネクト

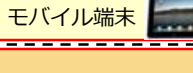
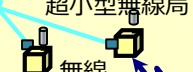
光I/O付LSI



2 システム化技術

2-2 光電子集積光通信システム

IoT向けトランシーバ



デジタルコヒーレントトランシーバ

データセンタ間ネットワーク接続

2-3 国際標準化

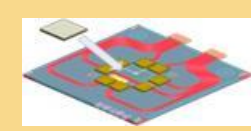
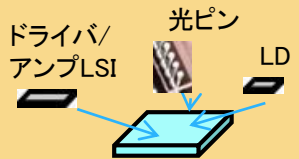
③ 成果普及活動

つくば集中研

1-1-2 光エレクトロニクス実装技術

超小型光トランシーバ技術

光電子ハイブリッド回路基板



回路設計技術

1-1 基盤要素技術

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

PECST成果

プロセス統合化基盤技術

多重化・高密度デバイス技術

1-2 革新的デバイス技術

大学

革新的デバイス

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1-1 基盤要素技術

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス実装技術

1-2 革新的デバイス技術

② 光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積サーバシステム

2-2 光電子集積光通信システム

2-3 国際標準化

③ 成果普及活動

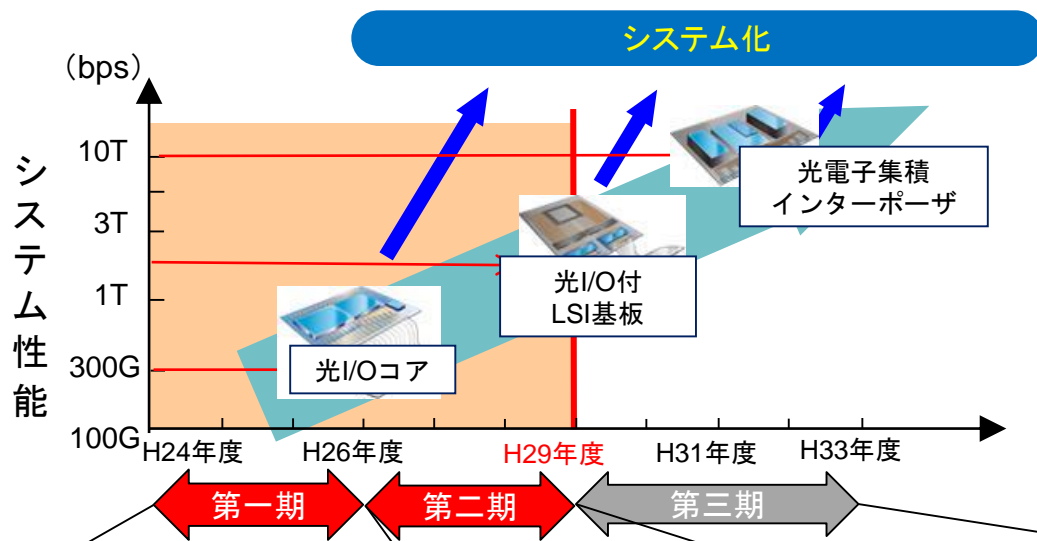
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

実装基盤技術開発目標

公開

要素技術を組み合わせ実装システムとして確立し、光電子集積インターポーザに向けた見通しを得る

研究開発の
全体計画



開発	チップ型光トランシーバ (光I/Oコア)	光I/O付LSI基板	光電子集積インターポーザ
構造			
伝送帯域	300Gbps	~2.4Tbps	~10Tbps
消費電力	5mW/Gbps	3mW/Gbps	1mW/Gbps
開発技術	多並列(多ch)技術	多重化技術 超低消費電力デバイス技術	超高速光回路技術 インターポーザ実装技術

1-1 基盤要素技術

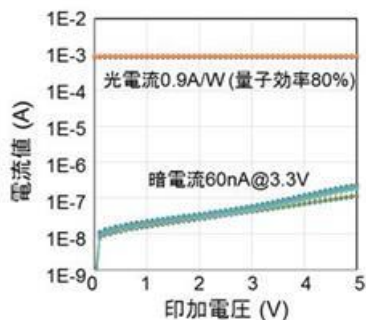
Ⅲ. 研究開発成果
 IV. 成果の実用化・事業化に向けた
 取組及び見通し

1-1-1 光エレクトロニクス
集積デバイス技術

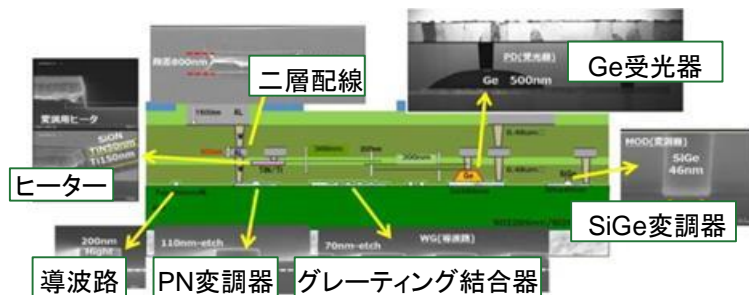
プロセス統合化基盤技術

300mmウェーハCMOSプロセス
Siフォトニクス集積光I/Oチップ

低欠陥成長技術による低リークGe受光器



全チップで暗電流
 $< 100\text{nA}$ 以下

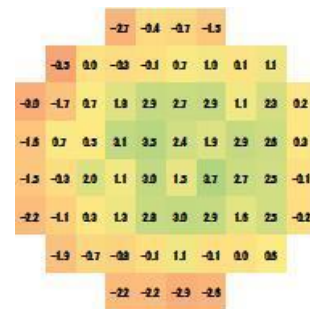
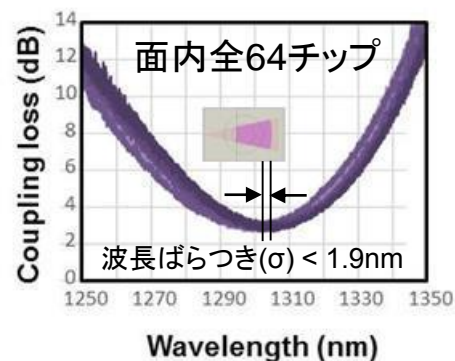
光集積回路に必要なデバイス要素の統合
化達成

集積素子の特性高均一化/低損失化

300mmCMOSプロセスによる高均一グレーティング結合器

液浸ArFによる超低損失導波路形成プロセスを適用

中心波長ばらつき(σ) $< 1.9\text{nm}$ **世界最高レベル**

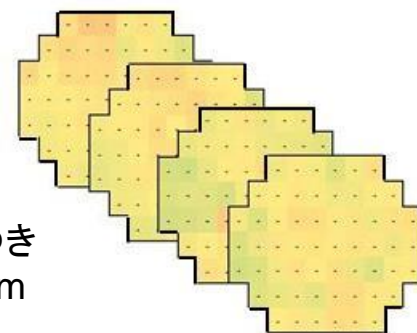


低損失・高再現性

再現性の高い300mm
 プロセス構築

世界最高レベル

導波路
 伝搬損失ばらつき
 $\pm 0.03(\sigma)$ dB/cm



H29年度中間目標：300mmウェーハでの統合化集積プロセス確立 **目標を達成**

事業化の見通し：システムに組み込まれるシリコンフォトニクスデバイスのプロセスに適用し、事業化を推進

1-1 基盤要素技術

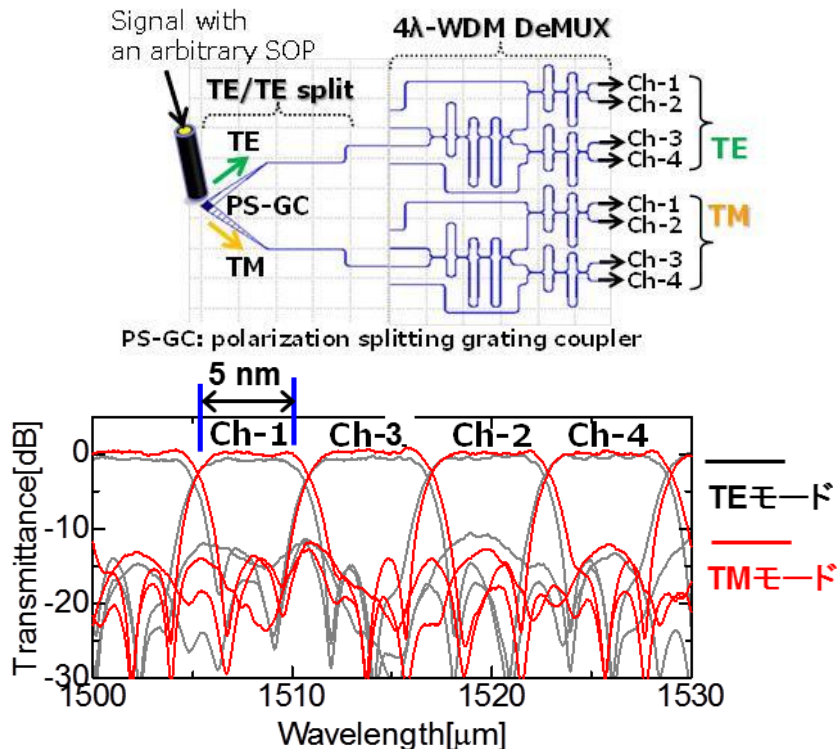
Ⅲ. 研究開発成果
 IV. 成果の実用化・事業化に向けた
 取組及び見通し

1-1-1 光エレクトロニクス
 集積デバイス技術

多重化デバイス技術

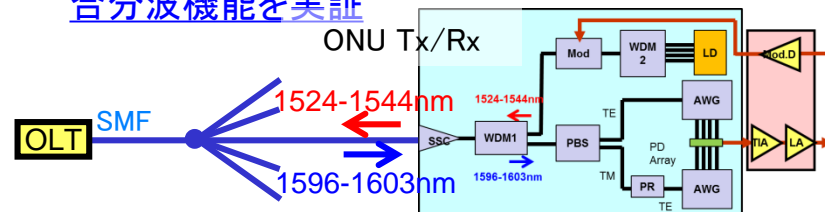
偏波無依存WDM分波器

偏波無依存WDM分波器構造と特性



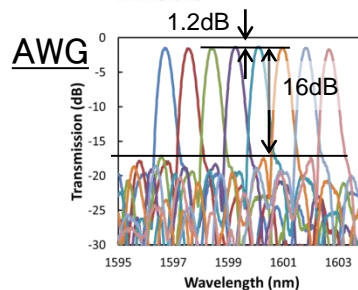
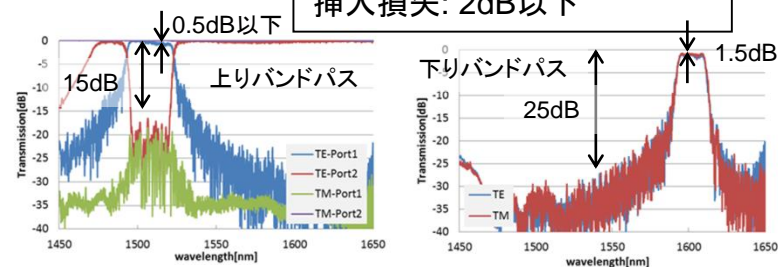
偏波無依存WDM受信器の構造を確立
 広波長帯域5nmで偏波無依存達成 (世界最高レベル)

一芯双方向WDM分波器

TWDM-PONに必要な4波多重×一芯双方向
 合分波機能を実証

一芯双方向WDM

上リアイソレーション: 40dB
 挿入損失: 2dB以下



世界最高

波長間クロストーク:
 -16dB
 挿入損失: 1.2dB

H29年度中間目標: 4波WDMの基盤技術を確立 **目標を達成**
 事業化の見通し: TWDM-PON等の各種光ランシーバに適用し、事業化を推進

1-1 基盤要素技術

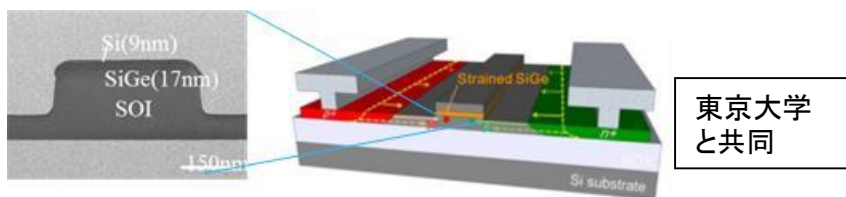
Ⅲ. 研究開発成果
 IV. 成果の実用化・事業化に向けた
 取組及び見通し

1-1-1 光エレクトロニクス
 集積デバイス技術

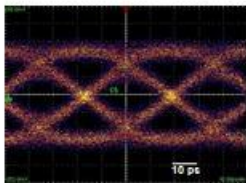
低消費電力・高密度デバイス技術

低消費電力SiGe光変調器

低消費電力で高速動作する光変調器の実現



東京大学
と共同

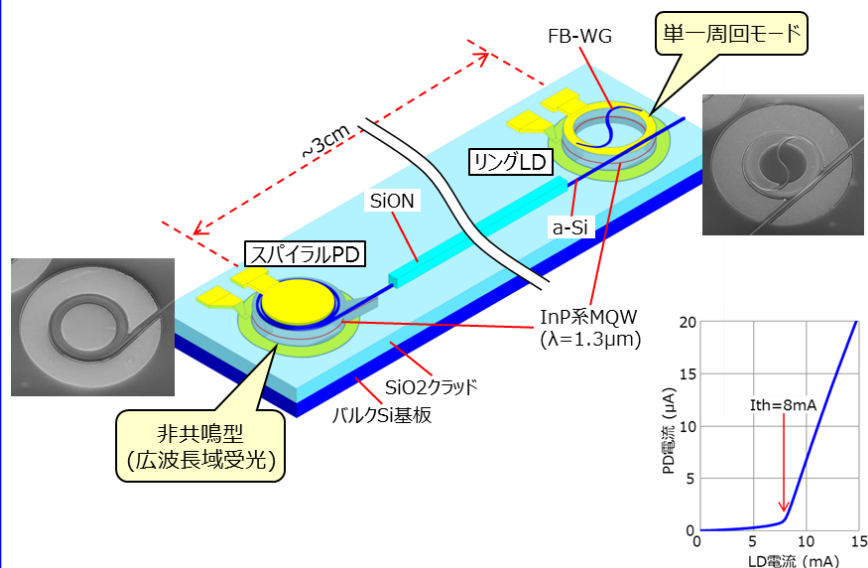


低電圧(2.0V_{pp})、
高速(28Gbps)動作

材料	接合タイプ	駆動電圧 (V _{pp})	電気容量 (pF)	消費電力* (相対値)
Si	MOS	1.0	2.5	1 (実測値: 3.1mW)
SiGe	PN	2.0	0.3	0.5: (計算値1.55mW)

低コストⅢ-V/Si 光電子集積デバイス

バルクSi基板上の化合物半導体レーザ/受光素子



バルクSi基板に集積した1.3 μm帯小型LD/PD
 ⇒ 世界初の高密度光電子集積インターポーザ

H29年度中間目標：低消費電力(3mW/Gbps) 向け
 光変調器の動作実証 **目標を達成**
 事業化の見通し：光I/O付FPGAボードに適用し、
 事業化を推進

H29年度中間目標：>25Tbps/cm²相当のオンシ
 リコン高速光伝送を達成。 **目標を達成**
 事業化の見通し：光I/O-SSDに適用し事業化
 推進に活用予定

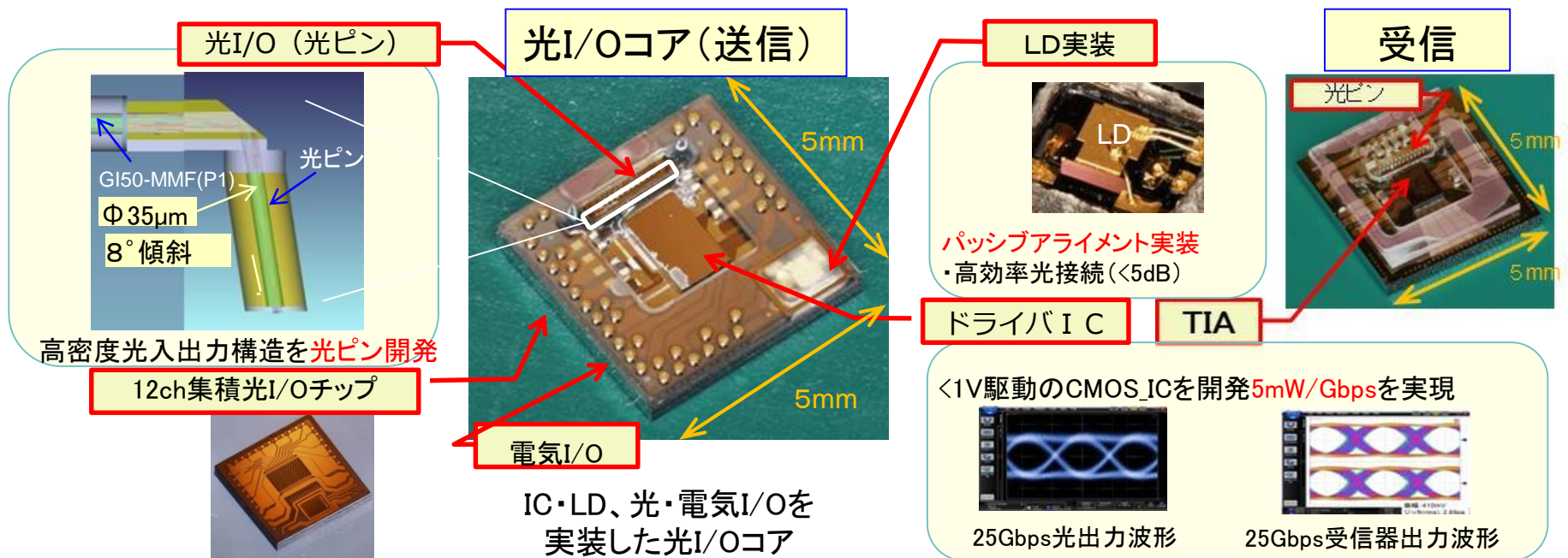
1-1 基盤要素技術

Ⅲ. 研究開発成果
 IV. 成果の実用化・事業化に向けた
 取組及び見通し

1-1-2 光エレクトロニクス
実装技術

超小型光トランシーバ技術(1)

超小型光トランシーバ技術(光I/Oコア)



- ・サイズ5×5mmの25Gbps×12chの光トランシーバを実現(世界一の帯域密度1.2Tbps/cm²)
- ・消費電力5mW/Gbps実現、他で発表の光トランシーバの1/3の低消費電力化達成
- ・量子ドットレーザの適用で、高温安定性と反射耐性の向上(革新的デバイス技術の適用)

H29年度中間目標：小型の高速・低消費電力光トランシーバを開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立。 **目標を達成**

事業化の見通し：新設分割会社で、事業化開始

1-1 基盤要素技術

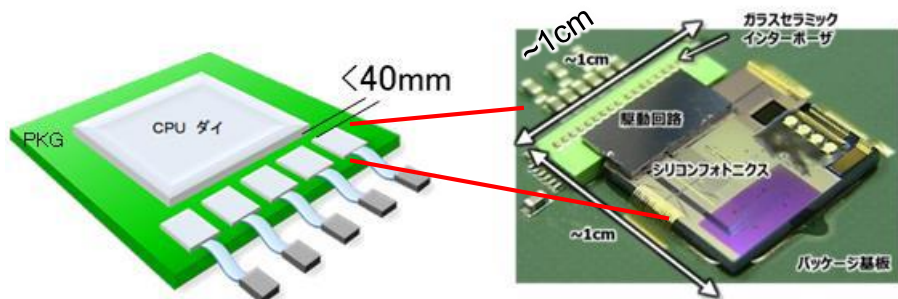
Ⅲ. 研究開発成果
 IV. 成果の 実用化・事業化に向けた
 取組及び見通し

1-1-2 光エレクトロニクス
 実装技術
 1-1-3 光エレクトロニクス
 回路設計技術

超小型光トランシーバ技術(2)/回路設計技術

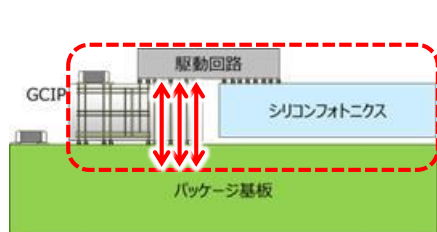
高密度光I/Oコア実装

CPU間接続光I/Oコア開発



狙い: 電気伝送短尺化による電力削減
 ⇒ 高密度実装技術がキー

高密度光IOコア実装技術 (ブリッジ接続構造)を開発



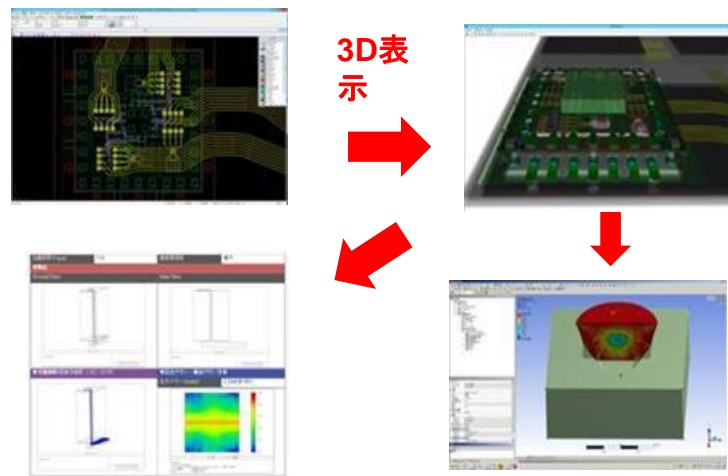
- ・高速信号、電源の高密度・高品質接続可能に
- ・CPUと光I/Oの最短距離接続で リタイマ不要、省電力化可能に

H29年度中間目標: 高密度光IOのCPU基板上への搭載技術を実証 **目標を達成**

事業化の見通し: ハイエンドサーバCPU間光接続に適用し、事業化を推進

実装回路設計技術築

マルチフィジクス対応の統合設計環境基本構成を構築



光源・光路解析ソフトウェア、構造・伝熱・熱流体解析ソフトウェア等との連携

H29年度中間目標: 統合設計環境基本構成を構築し、光デバイス設計ツールを開発 **目標を達成**

事業化の見通し: 光エレ実装システムの回路設計に適用し、事業化を推進

1-1 基盤要素技術

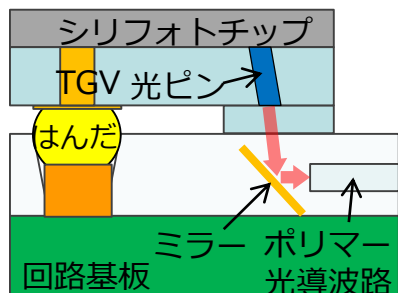
Ⅲ. 研究開発成果
 IV. 成果の実用化・事業化に向けた
 取組及び見通し

1-1-2 光エレクトロニクス
実装技術

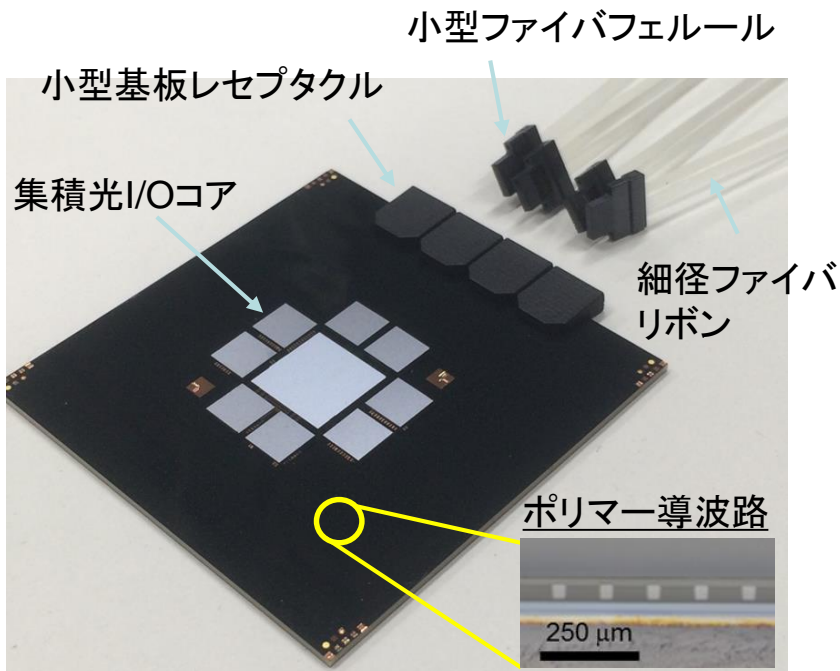
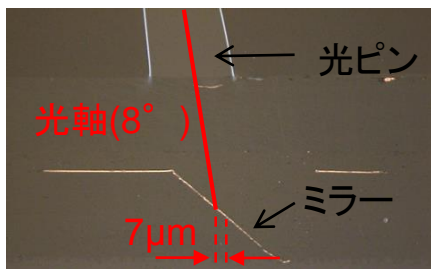
光電子ハイブリッド回路基板技術

集積光I/Oコアを搭載し、ロジックLSIから
 2.4Tbpsの光配線技術を実現する基板

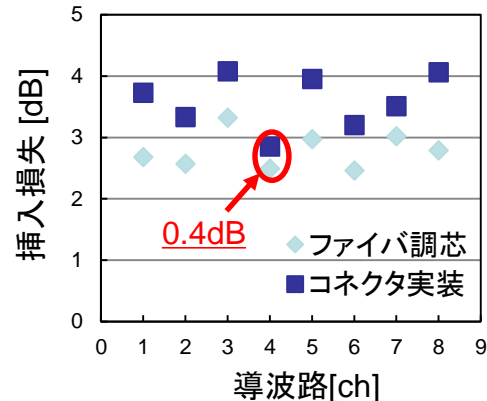
集積光I/Oコアの高精度実装



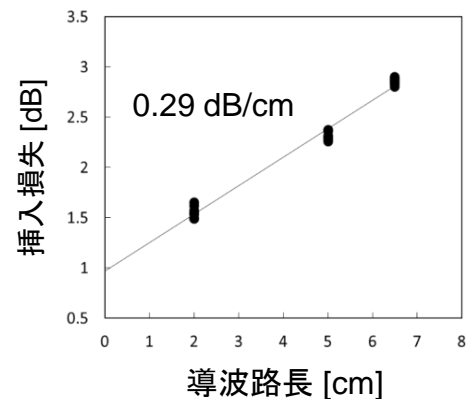
実装断面写真



小型光コネクタ接続特性



ポリマー導波路伝搬損失特性



H29年度目標： 光リンクロスの低減を行った光電子ハイブリッド回路基板へ集積光I/Oコアを搭載技術
 を確立し、光電子ハイブリッド回路基板からの2.4Tbps高速光I/Oの基本特性を実証

目標達成

事業化の見通し： FPGA等の光I/O付LSI基板に適用し事業化を推進

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1-1 基盤要素技術

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス実装技術

1-2 革新的デバイス技術

② 光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積サーバシステム

2-2 光電子集積光通信システム

2-3 国際標準化

③ 成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

1-2革新的デバイス技術

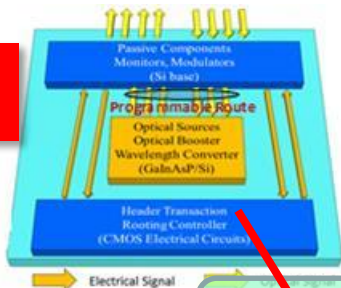
Ⅲ. 研究開発成果
Ⅳ. 成果の 実用化・事業化に向けた
取組及び見通し

革新的光エレクトロニクス回路技術

機能可変型光エレクトロニクス
回路基盤技術

- ・回路規模の小型化
- ・超高速信号処理

東工大

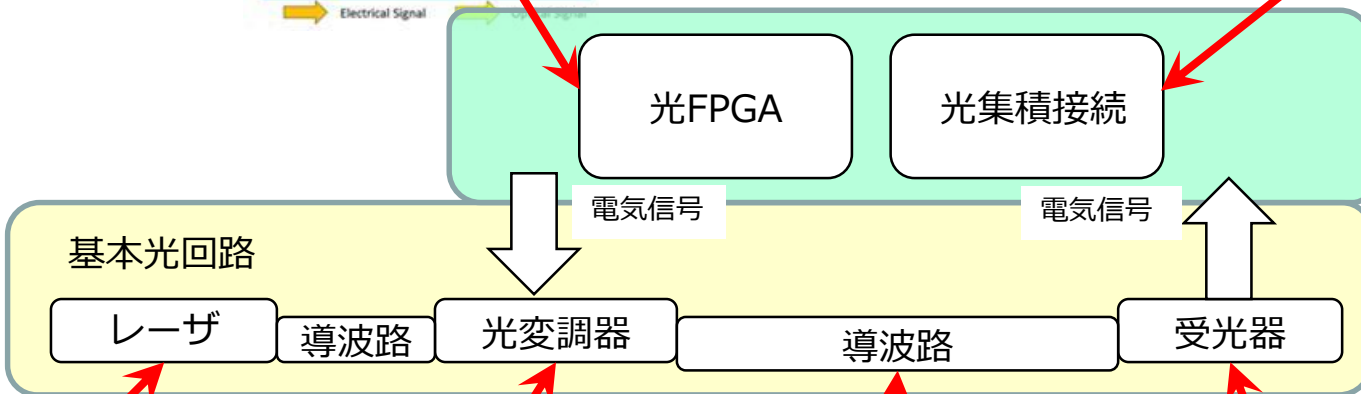
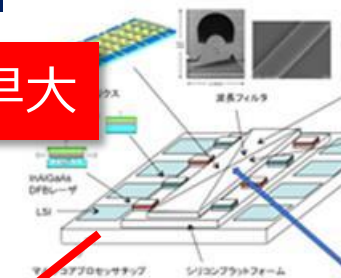


革新的光スイッチングデバイス技術

ハイブリッド集積光スイッチングデバイス技術

- ・エクサスケールのプロセッサでホップ数の大幅削減

早大



東大

革新的光源技術

シリコン上量子ドットレーザ技術

- ・高温での安定動作
- ・超小型化、超高密度化が可能

横国大

革新的光変調器技術

ナノ光制御デバイス技術

- ・変調器の超小型化
- ・多波長、多値伝送対応

京大

革新的光配線技術

ナノスケール光配線
基盤技術

- ・光可変遅延・再生増幅
- ・3次元の多層配線技術

東大

革新的光検出器技術

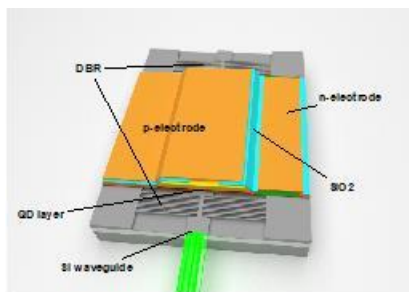
IV族フォトニック
デバイス技術

- ・超高感度化
- ・超小型化

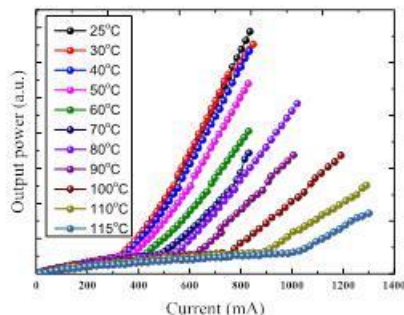
1-2革新的デバイス技術

革新的光源技術(東京大学・荒川Gr)

シリコン導波路上貼り合わせ量子ドットレーザ
高温安定動作(110 °Cまで)の実現

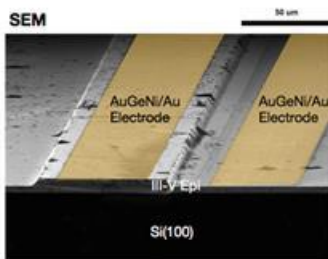


シリコン導波路上
量子ドットレーザ

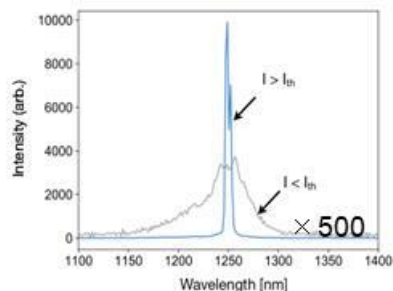


動作特性の温度依存性

シリコン基板上直接成長型量子ドットレーザの実現



直接成長量子ドットレーザ

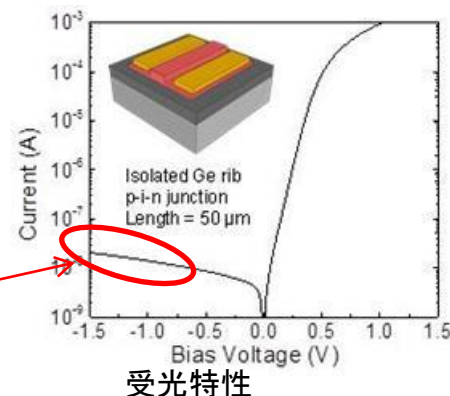


発光スペクトル

- ・H26年度目標(50°Cまでの安定動作)達成
 - ・H29年度目標(直接成長型量子ドットレーザ試作)達成
- 光電子集積サーバ搭載用の光源としての有用性を実証

革新的検出器技術(東京大学・竹中Gr)

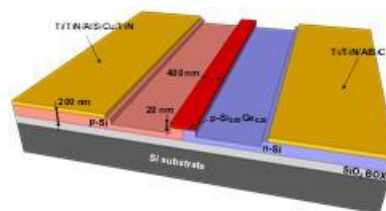
貼り合わせGeOI基板に低暗電流Ge受光器を実現



暗電流

受光特性

空乏型およびMOS型光変調器の動作実証にも成功



空乏型SiGe光変調器



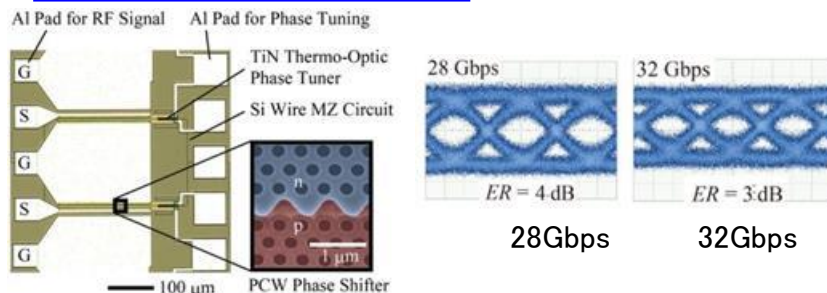
ハイブリッドMOS型光変調器

- ・H29年度目標(Si上低暗電流導波路Ge受光器)達成
 - ・H29年度目標(高効率変調動作)達成
- 受光器、変調器としての有用性を実証

1-2革新的デバイス技術

革新的変調器技術(横浜国立大学)

超小型化を可能とするスローライト変調器のLN
変調器を凌駕する実用性能



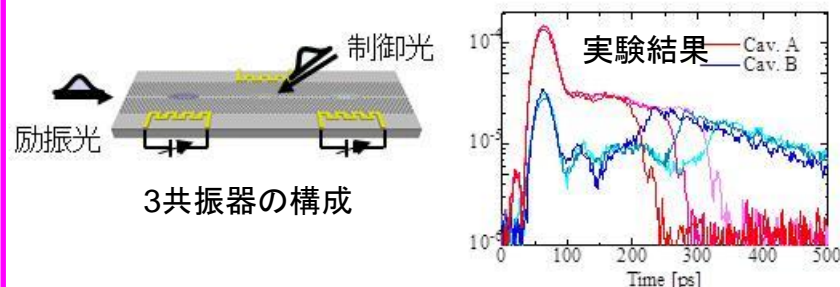
格子シフト導波路+波形接合

- ・ H29年度目標(小型高速動作)達成

光電子集積サーバ搭載用の変調器としての有用性を実証

革新的光配線技術(京都大学)

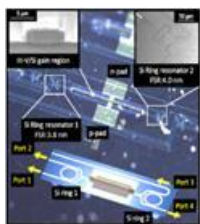
3共振器を用いた高効率断熱的光転送を実証



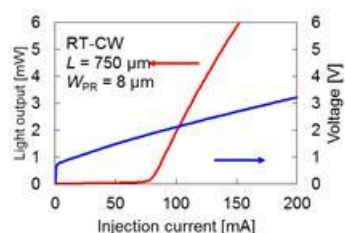
- ・ H29年度目標(層間方向への伝搬機能を実現)達成
 - ・ Q値1100万(目標700万)も達成(世界最高値を10%更新)
- 光バッファ・光配線の基盤技術としての有用性・将来性を実証

革新的光エレクトロニクス回路技術(東京工業大学)

プラズマ活性化接合を利用したによるハイブリッド
インラインSOA/LDアレイの実現



インラインSOA/LDアレイ



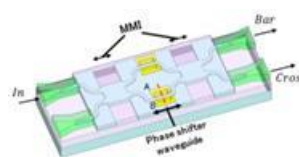
ハイブリッドレーザのI-L特性

- ・ H29年度目標に向けた回路設計をほぼ完了

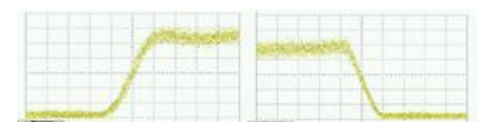
光電子集積サーバの高機能化に資する光FPGA実現
に向けた基盤技術

革新的光スイッチングデバイス技術(早稲田大学)

シリコン光スイッチ高速低電流動作の実現
偏光無依存構造の提案



シリコン光スイッチ



$t_r \sim 650$ ps, $t_f \sim 520$ ps

スイッチング動作特性

- ・ H29年度目標(サブナノ秒高速動作)達成
 - ・ H29年度目標(10Gbps光論理ゲート動作)達成
- 電子集積サーバ搭載用の光スイッチングデバイスとしての有用性を実証

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

①光エレクトロニクス実装基盤技術

1-1 基盤要素技術

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス実装技術

1-2 革新的デバイス技術

②光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積サーバシステム

2-2 光電子集積光通信システム

2-3国際標準化

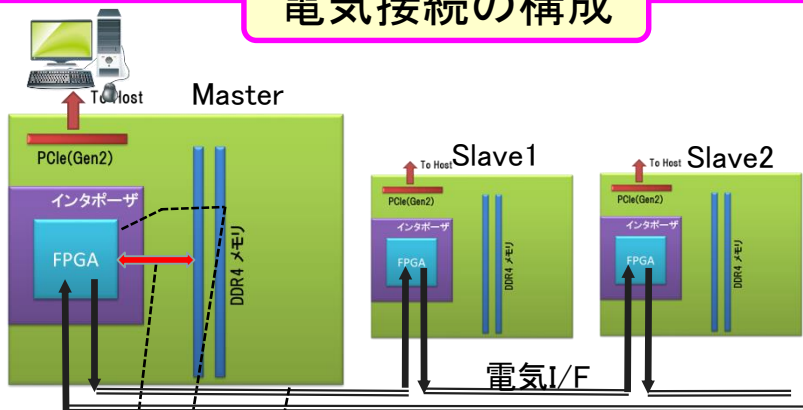
③成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

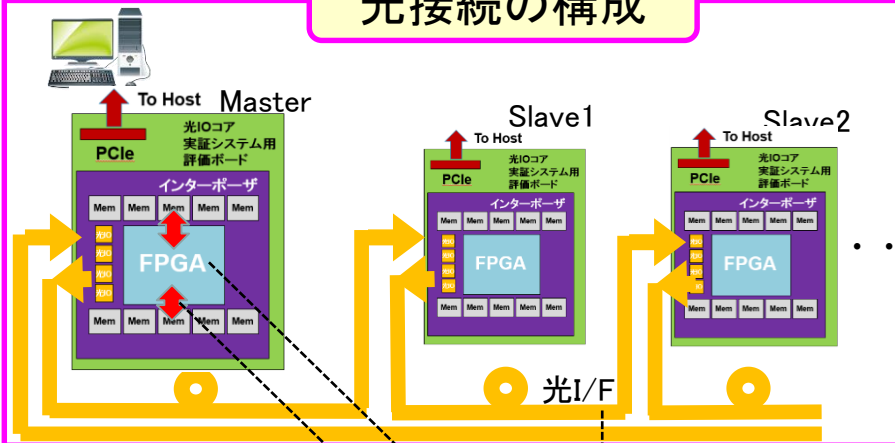
光電子集積サーバシステム(光化の意義)

■ 実効性能向上のためにはシステム全体の帯域確保が重要

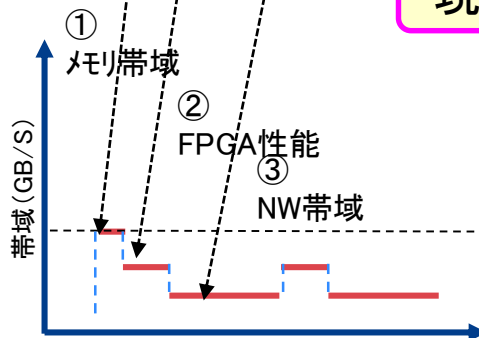
電気接続の構成



光接続の構成



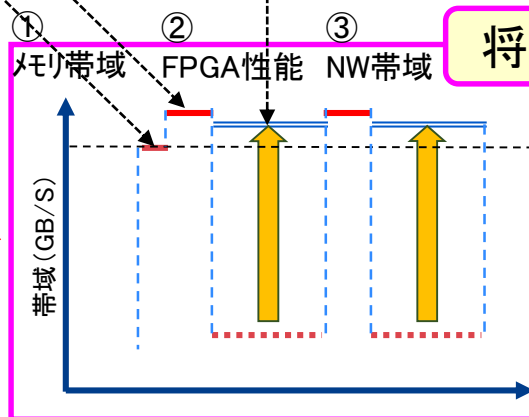
現在



- ① メモリ帯域は次世代メモリ(HBM等)採用により向上
- ② FPGA性能はコア並列化により向上
- ③ NW帯域がボトルネック

HBM : High Bandwidth Memory

将来



多ch電気接続による広帯域化の課題

- 実装制約(電気ケーブルのサイズ)
- NW部消費電力

光化



光化による課題解決

- 光集合ケーブルにより小型化を実現
- 光I/OコアをLSIに近接配置し1/3に低減

2-1 光電子集積サーバシステム

2-1 光電子集積サーバシステム

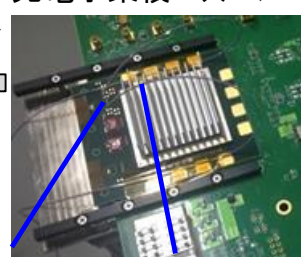
光I/O付FPGAボード

ボードでの伝送実証

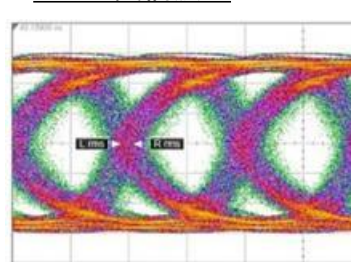
- 波形成型回路 (CDR: Clock Data Recovery)レスで接続
- 300mファイバでエラーフリー確認
- OFC2016, CEATEC2016動展示

直近配置の効果

光電子集積パッケージ



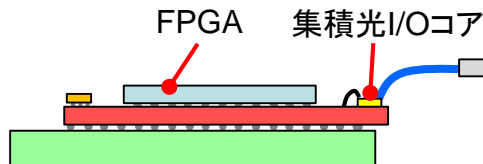
FPGA受信波形



FPGAエラーカウンタ

Checker	
Number of bits tested:	1.0853E13
Number of error bits:	0
Bit error rate (BER):	0

BER < 1e-12



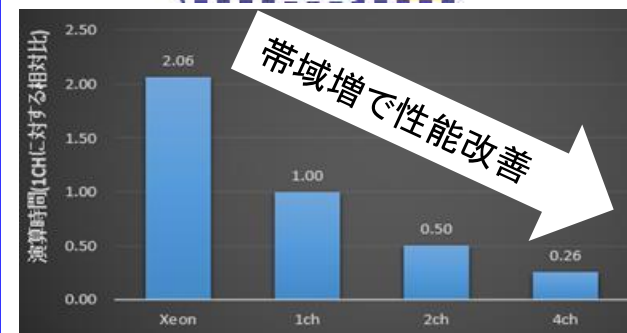
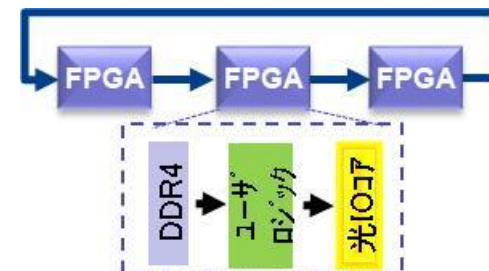
300mファイバ



✓OFC2016

システム化

- 複数FPGA間を集積光I/Oコアで接続 (I/Fネック解消)
- 実アプリでS/W比10倍超高速



目標の達成度

H29年度中間目標(スペックを満足する光伝送実証)達成

多ch光電子集積サーバボードのシステム化の有効性を実証できる見込み

事業化の見通し

LSI間を高帯域幅で接続できる光電子集積パッケージ等の成果を事業部門に展開し、採用を検討中

2-1 光電子集積サーバシステム

2-1 光電子集積サーバシステム

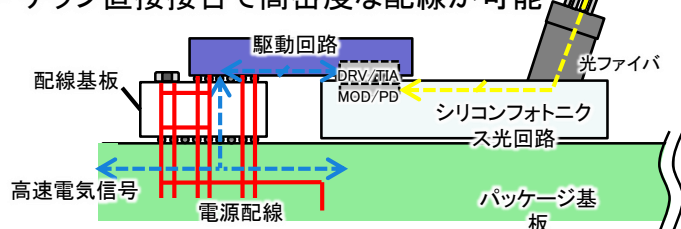
CPU間光インターコネク

システム開発

CPU搭載光IO実装技術の開発

実装構造の開発: ブリッジ実装構造

- ・チップ直接接合で高密度な配線が可能



CPU搭載光IO設計技術の開発

高密度・省電力を実現する光IO設計技術

- ・高密度でも低雑音な電源・信号配線

配線基板での低雑音信号配線



低雑音電源配線設計

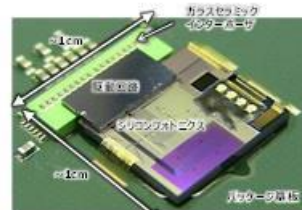


- ・高速・省電力な光・電子回路の協調設計
- ・シリコンフォトニクス自律制御回路

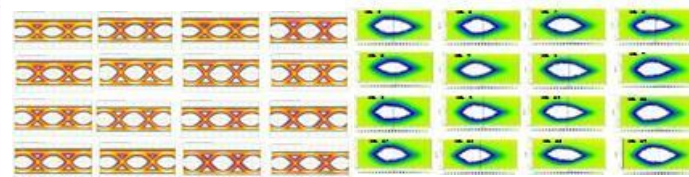
伝送実証

高密度 (800Gbps/cm) CPU間光インターコネクの実証

高密度光IO設計技術により25Gbps x 16chを1cm²に収容



光IOコア試作



送信波形

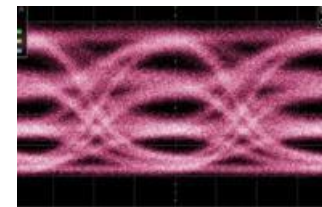
受信波形

1.6mW/GbpsでのPAM4動作実証

光電子の協調設計により1chあたり50Gbpsを省電力に実現



PAM4送受信チップ



50G-PAM4光送信波形

目標の達成度

H29年度中間目標(CPU間の高密度・多重化伝送を可能とする光インターコネクの基本機能)を達成。

事業化の見通しと取組み

早期製品化に向け光モジュールとしての事業化をグループ会社の事業部門と議論中。

2-1 光電子集積サーバスシステム

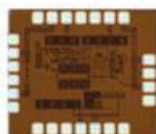
Ⅲ. 研究開発成果
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた
取組及び見通し

2-1 光電子集積サーバスシステム

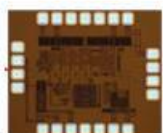
CPU/記憶素子間光接続

光I/O付SSD用光インターフェース

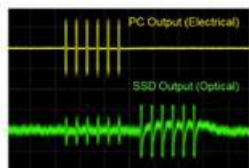
標準ストレージインターフェース (SAS) 規格
互換光I/Fの検証と低消費電力化



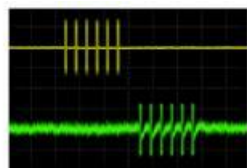
ドライバIC



レシーバIC

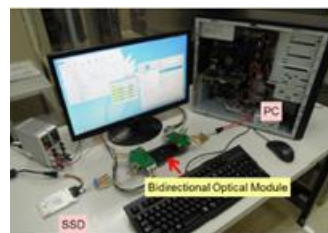


改善前



改善後

SATA-OOB信号

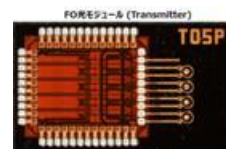


評価系

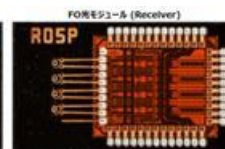
- 標準ストレージインターフェース向け光素子駆動ICを試作、
- PC/SSD間をSAS規格で光I/O接続

低コスト光I/Oモジュール技術

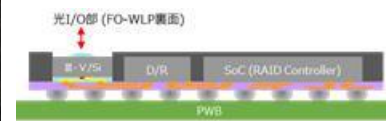
FO-WLPによる光I/Oとエレクトロニクスの
低コスト集積を提案、実現技術を実証



送信チップ

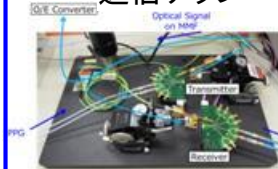


受信チップ

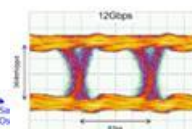


裏面光射出型Fan-Out光モジュールの想定構造

FO-WLPの提案



伝送特性評価系



光信号



裏面光入出力機構

- FO-WLP集積モジュールによる光伝送を実証
- III-V/Si光I/O裏面露出プロセス実証
- 汎用性の高い低コスト光・電子集積技術を実現

目標の達成度

光I/O付きSSDを試作し、**H29年度中間目標(標準ストレージインターフェースによる光接続動作)**を検証
FO-WLPによる光I/O集積を提案、実証し、**H29年度中間目標(低コスト光I/Oモジュール技術確立)**を達成

事業化の見通し

PJ開発成果を光I/O-SSDの事業化推進に活用予定。

2-2 光電子集積光通信システム

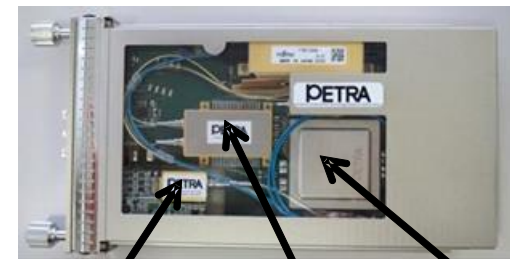
Ⅲ. 研究開発成果
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた
取組及び見通し

2-2 光電子集積光通信システム

データセンタ間ネットワーク接続

デジタルコヒーレントトランシーバ

- ・開発したDSP-LSI、送受信光デバイスを搭載した4インチx5インチMSAトランシーバ、プラグブルCFP-DCO 100Gbpsデジタルコヒーレントトランシーバをそれぞれ試作。データセンタ間相当距離を伝送し、エラーフリー動作を確認
- ・CFP-DCO向けに開発したOIF準拠の光部品を適用し、CFPの1/2の実装サイズとなるCFP2-ACOデジタルコヒーレントトランシーバを開発。外付けとなるDSP-LSI間との超高速アナログ信号接続の特性補償技術を開発し、良好な動作を確認
- ・CFPの1/4の実装サイズとなるCFP4級デジタルコヒーレントトランシーバを設計を行い、モックアップ試作により超小型集積化パッケージの実装性などの確認を行い、基本技術を確立



光送信デバイス 光受信デバイス DSP
CFP-DCO 100Gデジタルコヒーレントトランシーバ



CFP2-ACO デジタルコヒーレントトランシーバ

目標の達成度

- ・CFPタイプの100Gbpsトランシーバを試作し、従来比で容積1/2以下の小型化と従来比1/3となる低消費電力化を実現。さらにCFP2-ACOトランシーバの開発にも成功: **H26年度中間目標を達成**
- ・モックアップ試作によりCFP4級トランシーバの基本技術を確認: **H28年度最終目標を達成**

事業化の見通し

100G DC間接続の市場動向を鑑み、早期事業化を決定。PETRAの成果をグループ会社に移転し、信頼性確認や量産性向上等の事業化に向けた開発を行い、**4インチ×5インチMSA、CFP-DCOは平成27年1月から、CFP2-ACOについては平成27年9月からそれぞれ事業化を開始**

2-2 光電子集積光通信システム

Ⅲ. 研究開発成果
 IV. 成果の実用化・事業化に向けた
 取組及び見通し

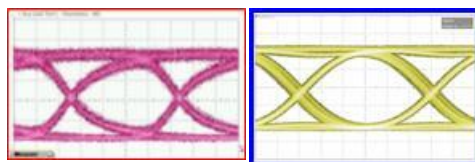
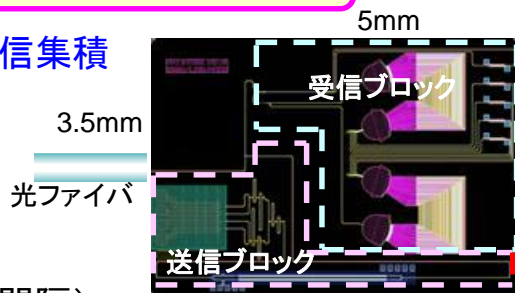
2-2 光電子集積光通信システム

企業間ネットワーク接続機器

TWDM-PON送受信集積チップ

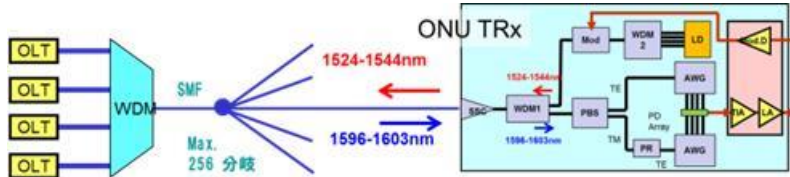
TWDM-PON規格準拠の送受信集積チップとして世界初

- ・一芯双方向多重
(上り1530nm/下り1600nm)
- ・10Gbps × 4波長多重(100GHz間隔)
- ・偏波無依存受信
- ・アイソレータフリー送信光源



送信パターン 受信パターン

TWDM-PON



目標の達成度

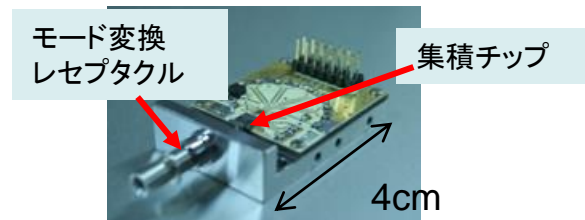
- ・要素デバイスのTWDM-PON規格対応にめど。H29年度中に集積チップ搭載のトランシーバプロトタイプ試作。H29年度中間目標達成見込み。

事業化の見通し

5Gモバイルネットワーク向けONUに用いるTWDM-PON双方向光トランシーバとして、H34年度製品投入を目指して実用化開発を進める。

TWDM-PON
トランシーバモジュール

TWDM-PON送受信集積チップを小型モジュールに実装
 モード変換レセプタクルによる高効率光結合



ワンチップONU
(イメージ)



従来のTWDM-PON ONU (例)

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1-1 基盤要素技術

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス実装技術

1-2 革新的デバイス技術

② 光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積サーバシステム

2-2 光電子集積光通信システム

2-3 国際標準化

③ 成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

国際標準化

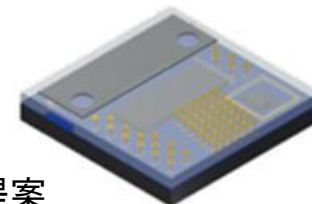
成果のポイント

・プロジェクトで製品化を推進している仕様を、戦略的に国際標準仕様(OIF、IEEE、COBO、IEC)へ反映させ、国際市場での競争力を高める。

光電子集積サーバシステムに関連する標準化

活動内容

- ・ IECで光I/Oコアパッケージを欧州に先んじて提案
- ・ OIF/COBOでオンボードパッケージ仕様の策定と提案
- ・ IEEE802.3でデータセンタ向け400G/100Gイーサのインターフェース仕様策定
- ・ 成果： 寄書12件(OIF7件、IEC5件)

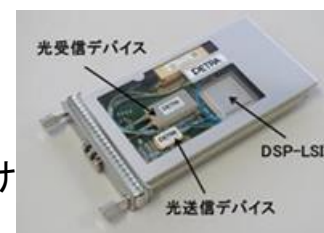


IEC提案
チップスケールパッケージ

光電子集積光通信システム(デジタルコヒーレント・トランシーバ)標準化

活動内容

- ・ 100Gデジコヒトランシーバ(データセンタ、メトロ向け)
- ・ 100Gデジコヒ用DSP、光送受信デバイス(データセンタ、メトロ向け)
- 成果： 標準化文書(Implementation Agreement)：1件
- 寄書： 68件(先導研究時の寄書15件を含む)



目標の達成度

光電子集積サーバシステム：標準化に参加し、提案活動を通じてPETRAのプレゼンスを確立
 デジコヒ光トランシーバ：OIFにおいて4インチ×5インチトランシーバの標準化・提案
 同文書の発行(2013年8月)により標準化に成功

③成果普及

人材育成・成果普及活動



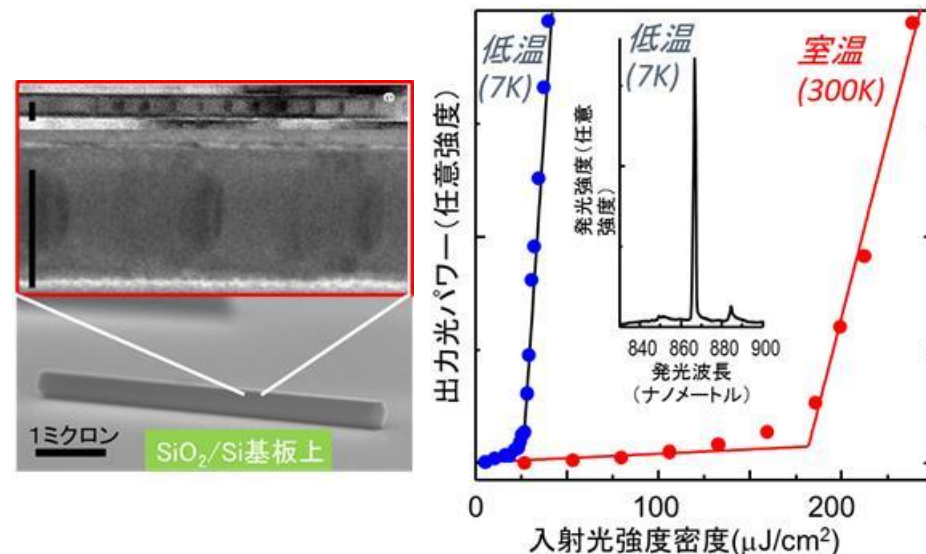
- ナノ量子情報エレクトロニクス特論の開講
- フォトニクス・イノベーションセミナーの開催
- ビジョンワークショップの開催

光電子集積技術分野の将来ビジョン形成、
人材育成に貢献

目標の達成度

本プロジェクトの成果普及に大きく貢献

周辺研究



- ナノワイヤ量子ドットの室温発振、高い特性温度(133K)を実現
- 高品質Ag薄膜によるナノワイヤ量子ドットプラズモンレーザを実現

J. Tatebayashi, Y. Arakawa *et al*, Nature Photonics **9**, 501 (2015).

J. Ho, Y. Arakawa *et al*, Nano Lett. **16**, 2845 (2016).

光電子集積回路用高性能ナノレーザ光源として期待

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1-1 基盤要素技術

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス実装技術

1-2 革新的デバイス技術

② 光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積サーバシステム

2-2 光電子集積光通信システム

2-3 国際標準化

③ 成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

「実用化・事業化」の考え方

Ⅲ. 研究開発成果
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた
取組及び見通し

新会社と組合員企業により、実装部品とシステムの二方向から事業化を推進

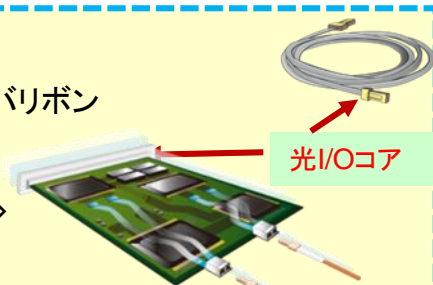
＜PETRAの一部を分割し新会社による事業化＞ ＜技術開発成果を用いた組合員企業による事業化＞

新会社が関係業界と連携して事業化

第一期: 光I/Oコア

電気コネクタ+ファイバリボン
⇒マイクロAOC

プリント基板内展開 ⇒



第二期: 光ケーブル付きLSI基板

専用LSIを実装して
⇒光ケーブル付きLSI

プリント基板内展開 ⇒

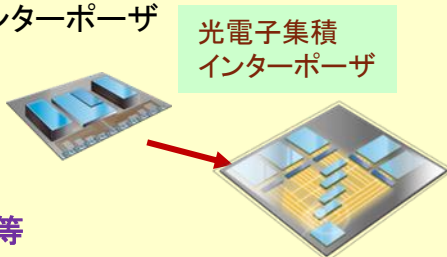


⇒ 高速・大容量FPGA等

第三期: 光電子集積インターポーザ

高速LSI出力を光化してボードへ出力
⇒光電子集積インターポーザ

規模の拡大 ⇒



⇒ サーバボード等

新会社が供給する実装部品を活用した装置を事業化

データセンタ用ストレージ/サーバ
光ネットワークユニット

超小型ONU

光I/O付SSD

サーバ等

分散研で開発した信号処理LSI、光デバイス、トランシーバをH27年から**事業化中**

低電力デジタルコヒーレント信号処理LSI
集積形送受信デバイス/100Gトランシーバ



DSP-LSI



CFP



CFP2

高速、小型、低消費電力、低コストの光電気信号変換素子(光I/Oコア)を開発・設計・製造・販売する

・商号: アイオーコア株式会社(英文名: *AIO Core Co., Ltd.*)

・所在地: 東京都文京区関口一丁目

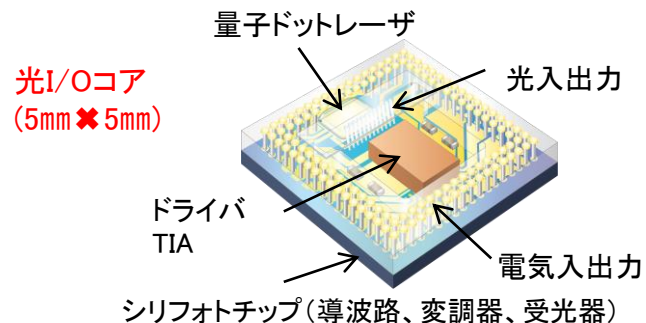
・資本金: 40百万円(設立時, 資本準備金を含む)

・設立時資産: PETRA所有知財の一部を継承取得

・事業内容: PETRAが開発した光電気信号変換素子(光I/Oコア)技術を承継し、生産・販売

・社長: 藤田 友之(前PETRA専務理事)

・設立日: 2017年4月17日



(2017年7月1日現在)

* 本新会社は、光電気変換素子(光I/Oコア)の技術を、技術研究組合法に基づき、PETRAから新設分割、知財継承し、設立したものである。

以上