

「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）

（2012年度～2021年度 10年間）
プロジェクトの概要（公開）

NEDO IoT推進部

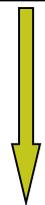
2019年9月27日

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
(栗原)

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

- (1)研究開発計画の妥当性
- (2)研究開発目標の妥当性
- (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

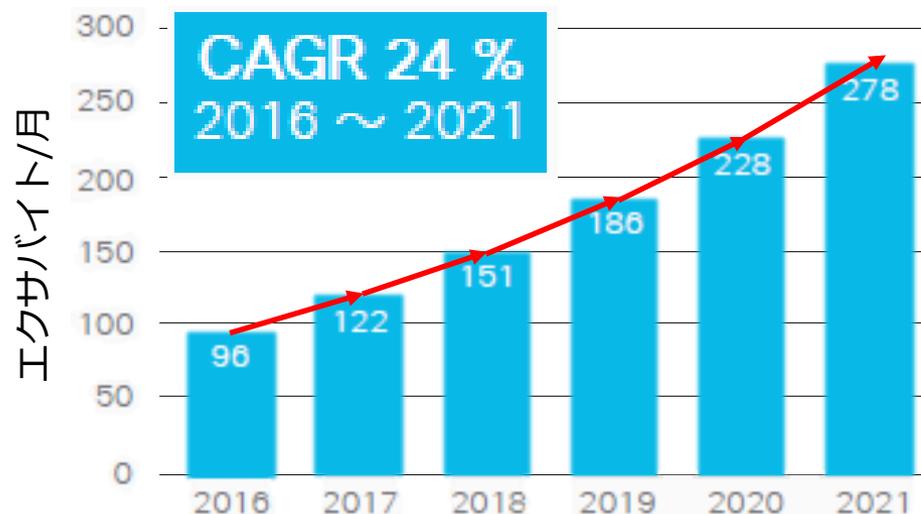
- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

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

- クラウドコンピューティングやIoT（もののインターネット）の利用拡大、AI（人工知能）の活用が急速に進んでおり、データセンタなどにおける**情報処理量や情報通信トラフィックが増大**している。
- データセンタ内の電力消費量も急増しており、2030年には**2010年に比べて消費電力量の1.5倍程度**に達する見込みもなされている。

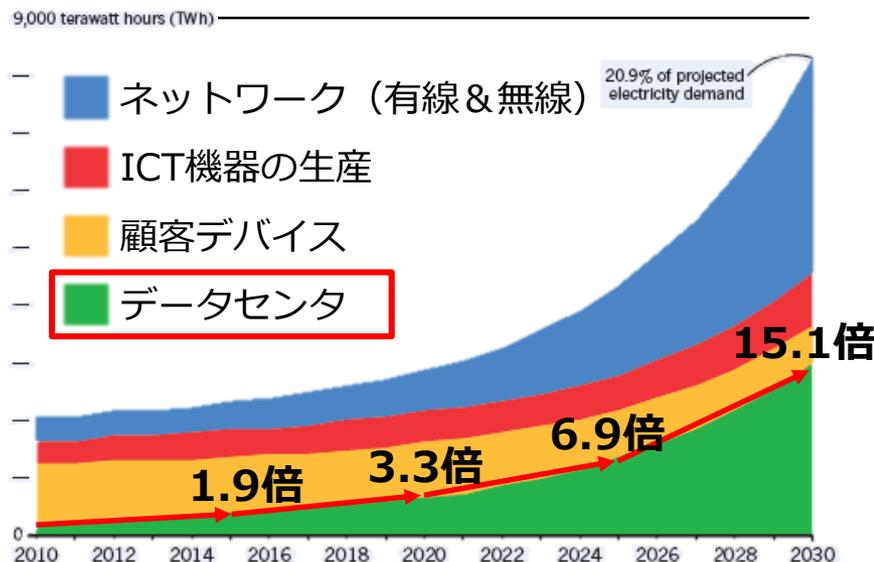
情報通信トラフィック@データセンタの現状と予測



(出典) Cisco VNIによる世界のIPトラフィック予測、2016~2021年

ICT機器の高速化・省エネ化は喫緊の課題

ICT機器における消費電力量の内訳と見込み

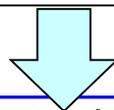


(出典) N. Jones, Nature 561, 164 (2018).
THE INFORMATION FACTORIES

I. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

新たなICT技術の開発・実用化により、データセンタ等で電力消費量が急増

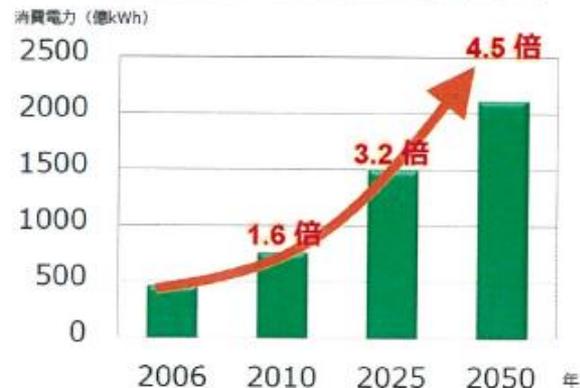


光電子集積技術を軸に、データセンタなどにおけるサーバシステム、
光通信システム向け I T 機器の省電力化技術を開発

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」

日本国内の I T 機器の消費電力量見込み

<プロジェクトの目標>

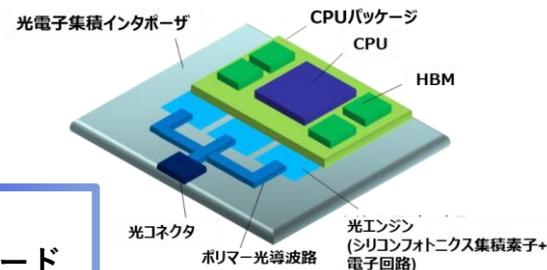


(出典) 経済産業省 平成24年度
我が国情報経済社会における基盤整備
— I T 機器のエネルギー消費量に係る
調査事業 報告書—



帯域幅：
10 T b p s / ノード
消費電力：1/10
実装面積：1/100

光電子融合サーバボード



光配線による情報伝送により、サーバー消費電力量を3割削減する技術を構築する。

I. 事業の位置付け・必要性(1)事業の目的の妥当性

◆政策上の位置付け

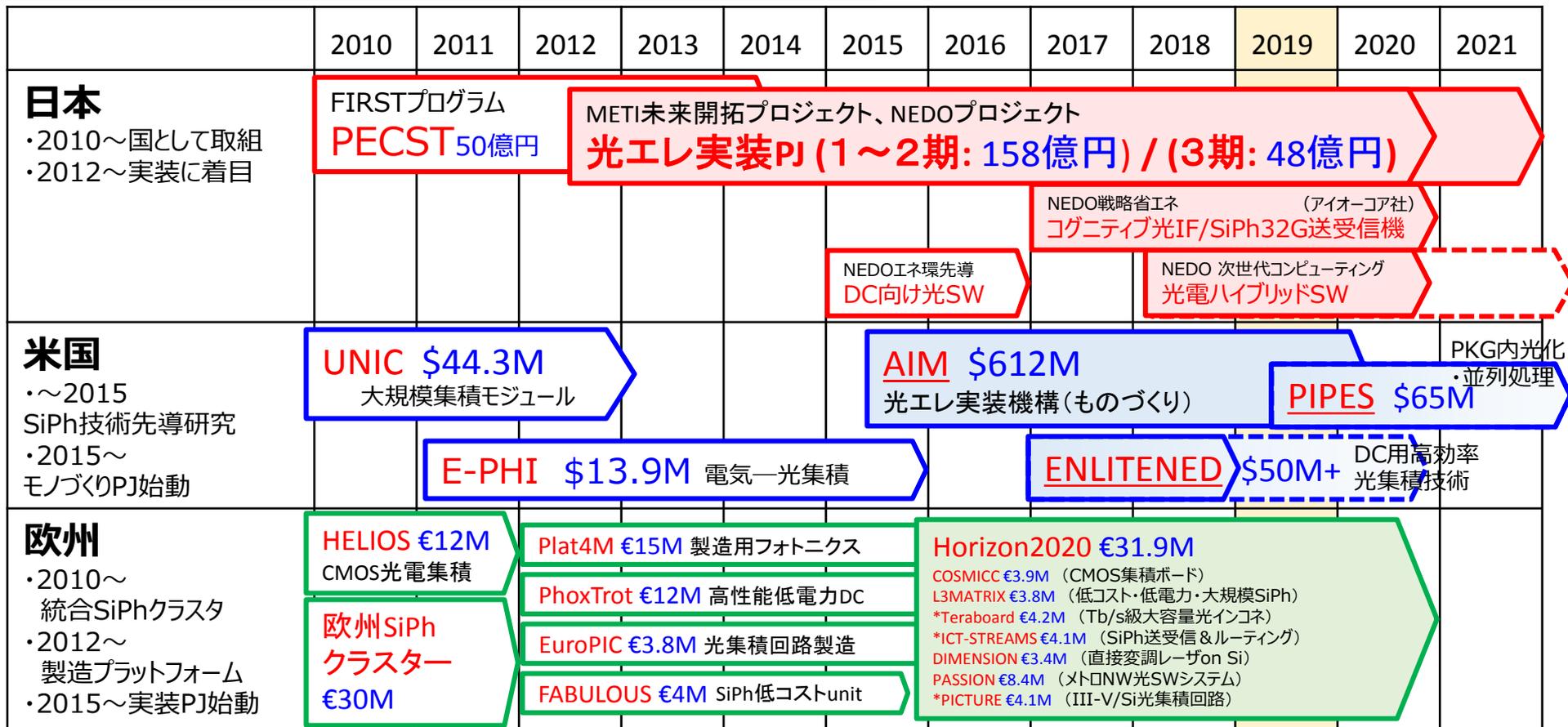
科学技術政策	第5期科学技術基本計画 (2016)	「Society 5.0」「データ駆動型社会」の共通インフラとして、 <u>次世代コンピューティング技術の開発、IT人材の育成、イノベーションを生み出す産学官連携</u> を掲げている。未来の産業構造と社会変革のためのプラットフォームとなる <u>ネットワーク技術、光・量子技術等の強化</u> に取り組むことを掲げている。
	未来投資戦略(2018)	
	科学技術イノベーション総合戦略、統合イノベーション戦略 (2019)	
産業技術政策	世界最先端デジタル国家創造宣言 官民データ活用推進基本計画 (2019)	IT活用社会のためには、 <u>高速処理が可能なデジタル環境</u> が不可欠。基盤技術としては、クラウド、エッジにおける <u>コンピューティング能力</u> や <u>大容量・超高速データ送受信</u> 、記録性向上の技術が挙げられる。
研究開発プログラム 経済産業省	省エネルギー技術戦略2016 (エネルギー基本計画2017)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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<u>省電力化・小型化・低コスト化</u>のための光通信技術開発の推進が重要。 ■ 2030年までに25%の温暖化ガス排出削減を目指す。
	未来開拓研究プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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、<u>中長期的観点の研究開発</u>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」PJを<u>2012年</u>に開始。

- 本プロジェクトは、科学技術・産業技術政策を実現する事業と位置付けられる。
- 未来開拓研究プロジェクトとして開始され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

日本は実装技術のグローバル開発を先導



- ◆ 日本: 実装主体のPJの先駆け
- ◆ 米国: 技術開発で先導
- ◆ 欧州: 国家間連携を主導

	日本 (PETRA)	米国 (AIM、PIPES)	欧州 (Horizon2020)
目標値	容量 : 10Tbps 消費電力: 1mW/Gbps (～2022/3)	容量 : 100Tbps 消費電力: 1mW/Gbps (～2022/12)	容量 : 2Tbps 消費電力: 2mW/Gbps コスト : 0.2€ /Gbps

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

■ICT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/エッジ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**の高い取り組み。

■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

ICT機器における省電力化と高速化の両立が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を担う**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・欧州では国家的な取り組みが進行している。我が国のエレクトロニクス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、難度の高いデバイス実装システム化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。

N E D O 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）

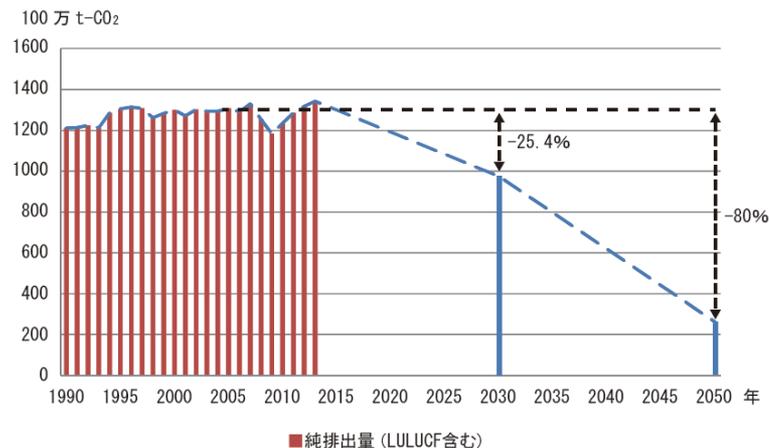
年度	CO ₂ 削減量(試算) (万トン/年)	普及率(%)
2030	1500	50

【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



出典：みずほ情報総研レポート Vol.10(2015)

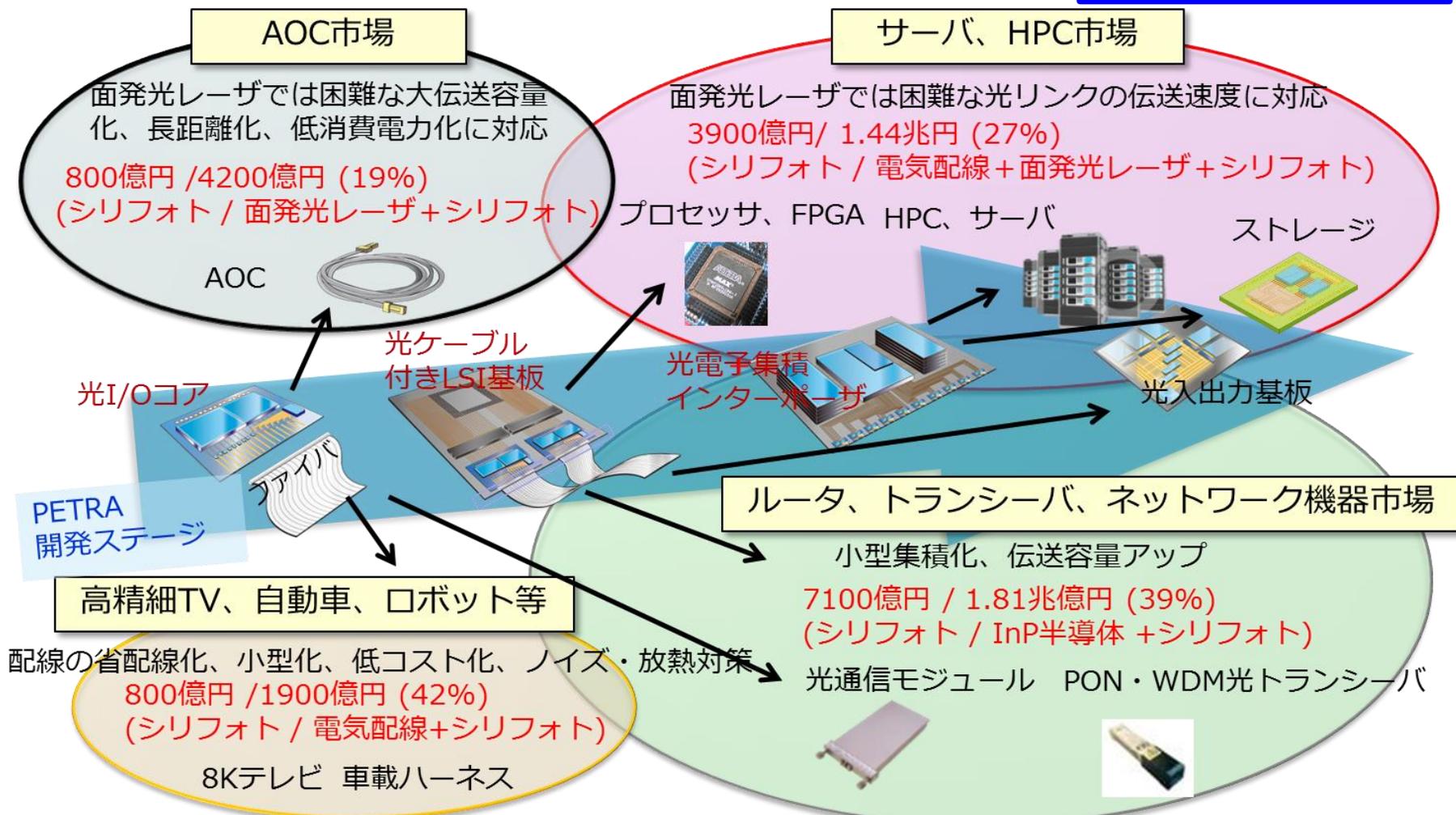
本プロジェクトの成果は、環境改善にも有意義な効果をもたらすと期待される。

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）

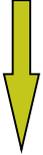
2012年度～2019年度 事業費合計 : 191億円

期待される経済効果
約1.26兆円
(2030年・グローバル)

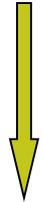


発表内容

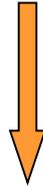
I. 事業の位置づけ・必要性



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
(栗原)

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

- (1)研究開発計画の妥当性
- (2)研究開発目標の妥当性
- (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

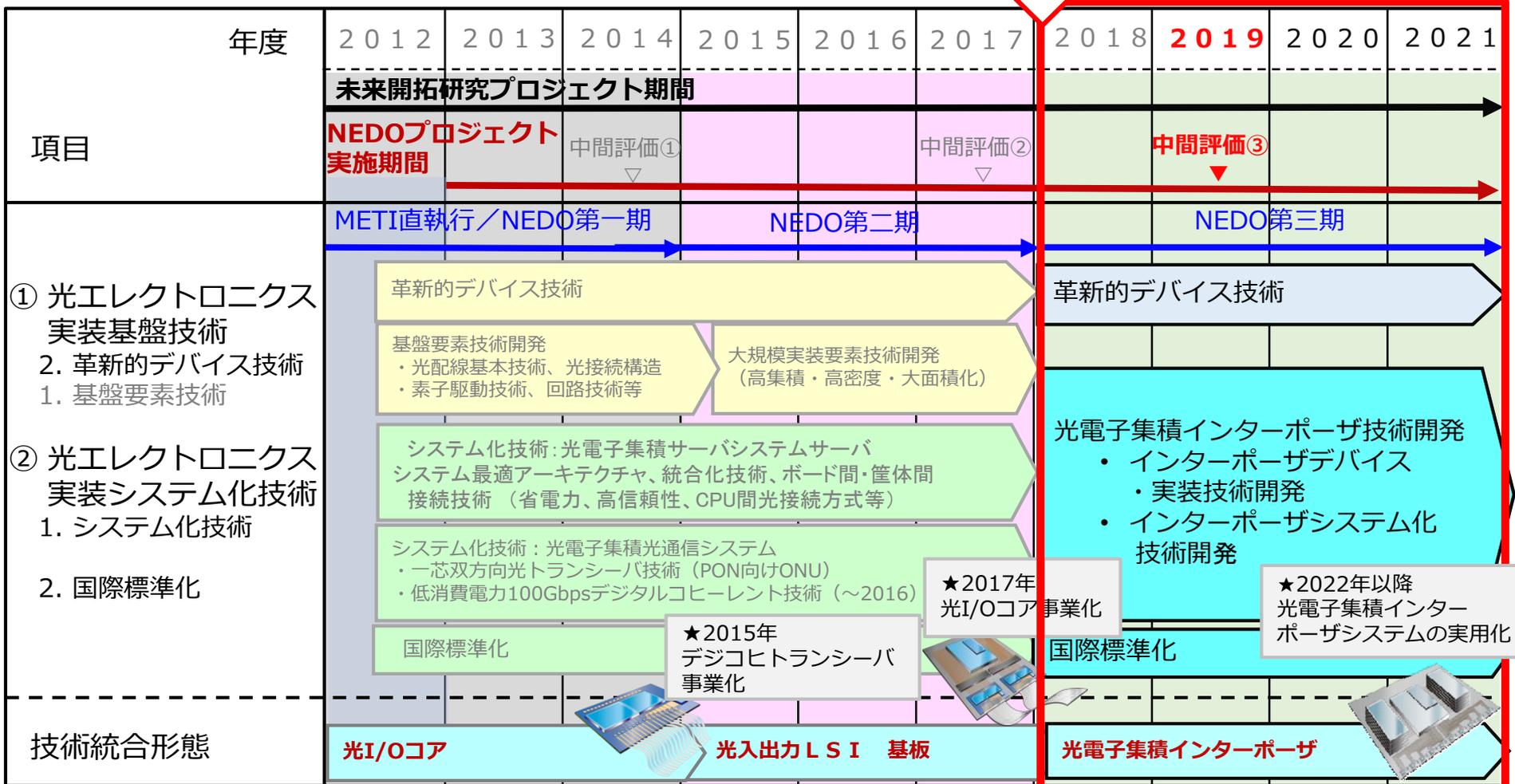
- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

- (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) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

公募にて
第三期を開始



Ⅱ. 研究開発マネジメント（１）研究開発計画の妥当性

- ◆ 2017年度中間評価では、必要性を評価され研究開発10年継続となった。
(事業の位置づけ・必要性 (3.0) 、研究開発マネジメント(2.9)、研究開発成果(3.0)、実用化・事業化(2.6)) ※
- ◆ 公募を実施し、第二期までの研究開発を成果発展させ第三期の研究開発を実施

※内は、評価点です。満点は、3.0点。

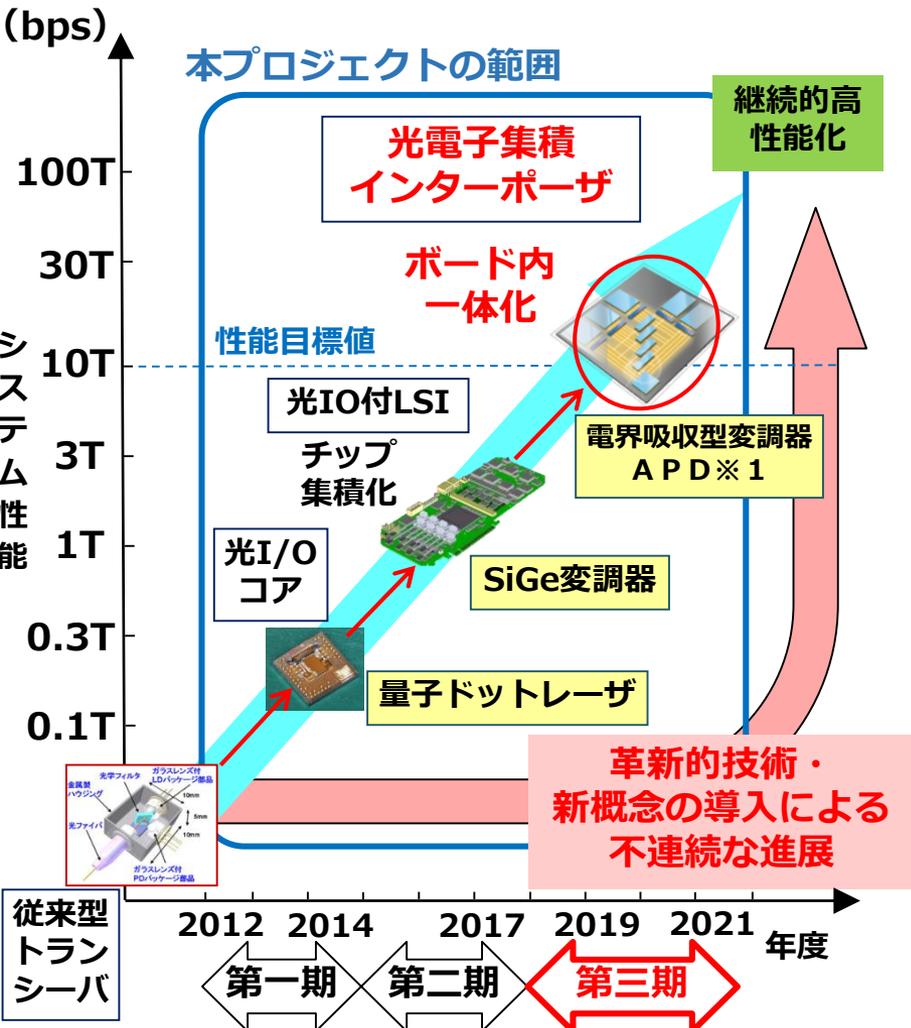
<第三期計画に反映した中間評価の提言>

2017年中間評価の提言		第三期計画への反映
1	革新的デバイス技術研究において、技術推進委員会での情報交換や討論などを通じて 大学と企業間の連携をより一層強化 して、本プロジェクト成果としての貢献を明確化することを期待する。	開発テーマ個別の進捗と同時に テーマ間の整合性・連携状況を四半期に一度確認し必要な対策を講じる ことにより、大学・企業等実施者間の連携強化を図り推進。（基本計画「研究開発の運営管理」の項に反映）
2	コストパフォーマンスを意識して情勢変化へ機敏な対応をしつつ、 時代のスピードに乗って柔軟に製品を送り出すなど、更に多くの実用化・事業化を実現 することを期待する。	<ul style="list-style-type: none">・光電子集積インターポーザの低コスト化、接続性向上のため、ポリマー導波路、曲面ミラー、光コネクタを活用した異種導波路接続技術の効率化。・技術動向調査「ICT機器における情報伝送高速化技術に関連する」を実施。コストを考慮しつつ、現状の電気配線を光配線に置き換え、省電力化に貢献できる市場を把握。

Ⅱ. 研究開発マネジメント（２）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：大容量 10Tbps/ノード、低消費電力 1mW/Gbps (1/10)、小型化(1/100以下)
- ・光電子集積システム化：低消費電力 (3割減)、DCで運用可能、通信モジュール超小型化



光電子サーバクラスター

超高速・大容量分散処理システム応用

- ・サーバシステム
- ・ストレージシステム
- ・センサシステム

第三期：光電子集積インターポーザで情報通信機器を中心に広くシステム化

- ・サーバの消費電力量30%減

LSI光出力

光出力FPGA

光出力CPU

光出力SSD

第二期：光I/Oコアを集積化し大容量LSIを光接続

- ・H30年度以降に事業化し、親会社製品他に適用予定

筐体間

ボード間

画像機器

医療機器

...

第一期：基盤デバイスである光I/Oコアを開発

- ・H29年度組合の新設分割により新会社で光I/Oコアの事業化開始

三期に分けた開発成果の具現化に加え、将来の不連続な進展のための研究開発を進める。

Ⅱ. 研究開発マネジメント（２）研究開発目標の妥当性

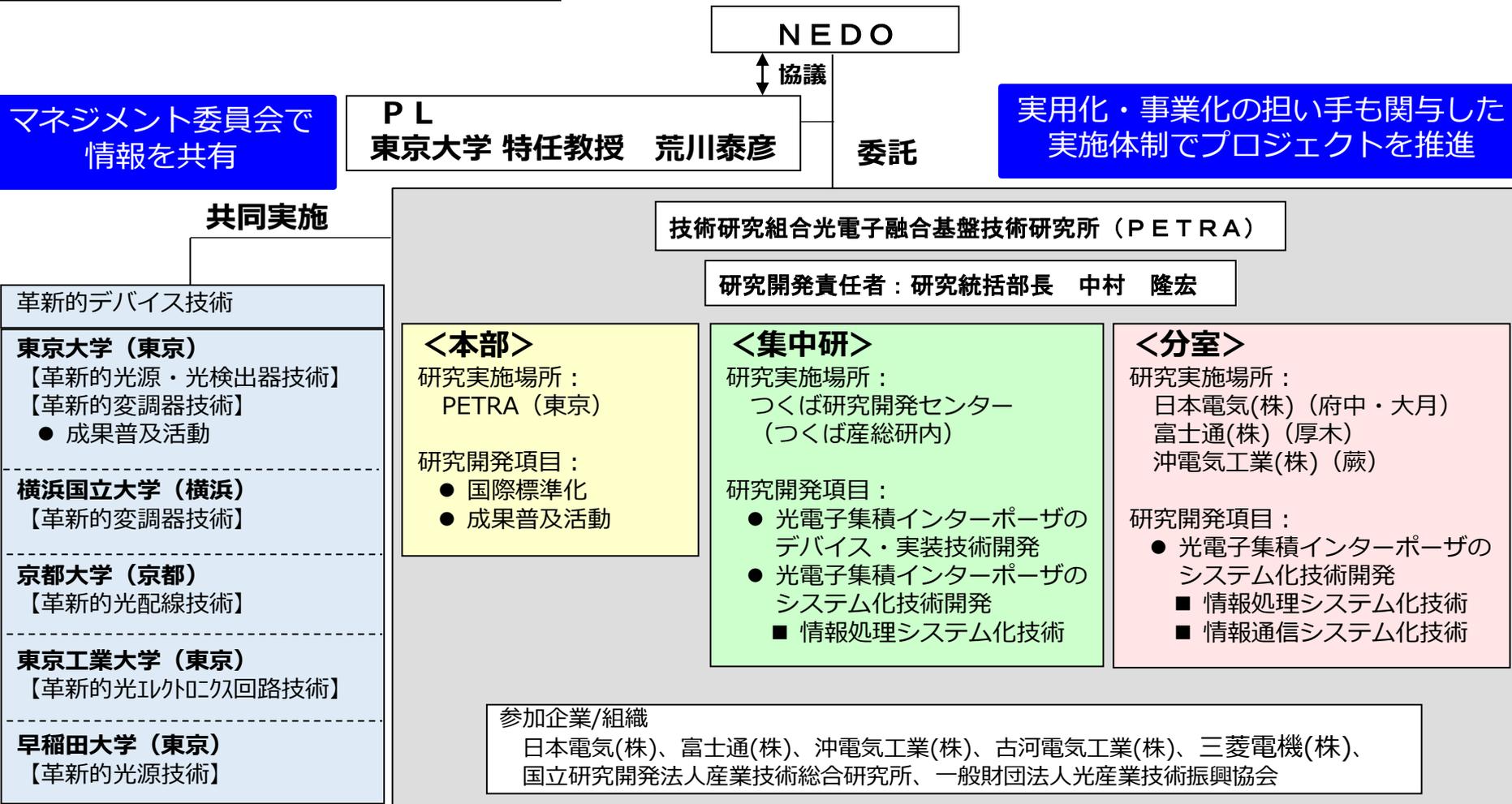
2021年度末性能目標
(電気配線比)

- ・光電子集積デバイス：大容量 10Tbps/ノード、低消費電力 1mW/Gbps (1/10)、小型化(1/100以下)
- ・光電子集積システム化：低消費電力(3割減)、DCで運用可能、通信モジュール超小型化

課題	テーマ	研究開発目標（2019年度末）	設定根拠
① 実装 技術	革新的デバイス技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 光電子集積インターポーザの継続的高性能化を可能にする、革新的基盤技術：光源、光検出器、光変調器、光導波路のデバイス技術や機能可変な光回路システム技術、を開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ コスト競争を回避し、長期的な技術的優位性を確保し続けるためには、継続的な性能向上に加えて、革新的技術や新概念の導入などによる不連続的な進展が必要。
② 実装 システム 化 技術	<ul style="list-style-type: none"> ・システム化技術光電子集積インターポーザデバイス・実装技術 ・システム化技術光電子集積インターポーザシステム化技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 光配線の消費電力を2mW/Gbps以下にする要素技術を開発。（光集積インターポーザの異種導波路接続技術と高集積コネクタを開発し、損失の少ないシングルモードファイバとの光リンクを実現する。） ◆ 光電子融合サーバボードの基本構造を試作。動作検証とシミュレーションを併用し、10Tbps伝送へ向けた課題を抽出する。 ◆ 波長多重による光接続技術を開発。光電子集積インターポーザ技術と合わせ、サーバ電力量を30%削減可能であることをシミュレーションにより示す。 ◆ 一芯双方向波長多重トランシーバに光電子集積インターポーザを実装し動作検証する。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 上記、2021年度末性能目標を達成するため。 ◆ 第二期までの研究開発成果を集約し、上記目標を達成するためには、光電子集積インターポーザのデバイス技術・実装技術・システム化技術を開発する必要がある。
	国際標準化	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 光電子集積インターポーザの物理仕様（サイズ、入出力構成）、電気・光インターフェースに関する各種標準化団体に参画し、実用化する開発成果の事業化に必要な標準の提案を行う。 	<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（3）研究開発の実施体制の妥当性

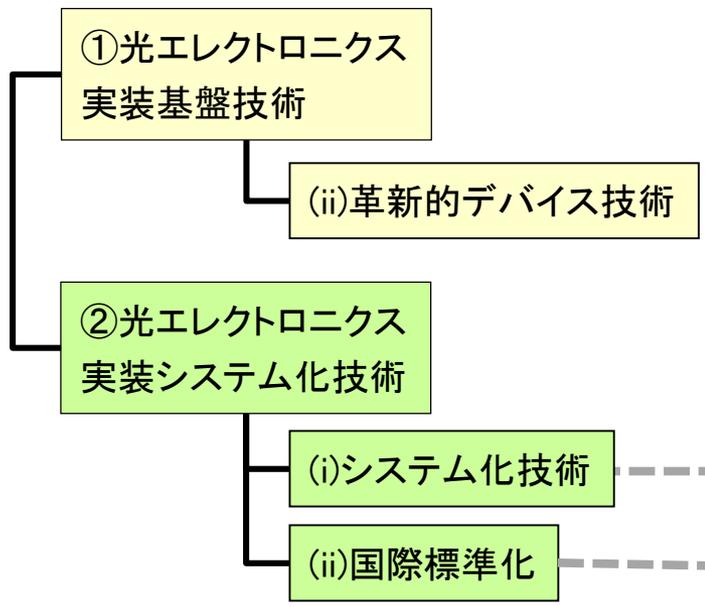
◆研究開発の実施体制



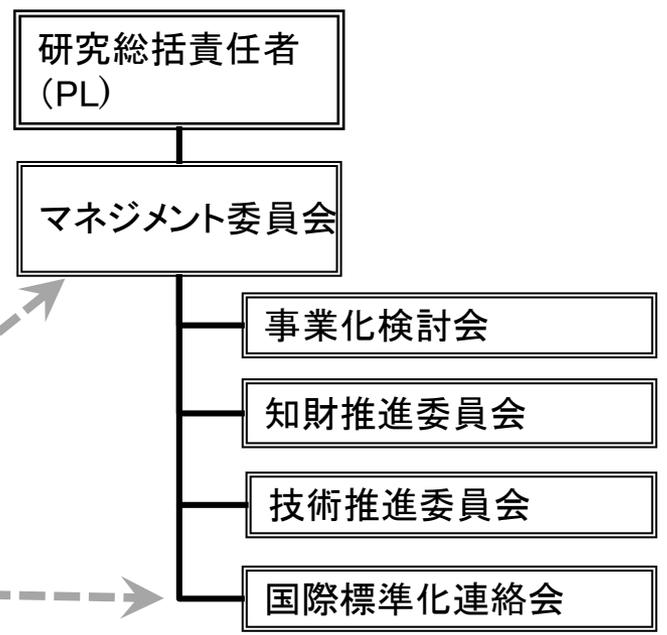
II. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 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 (第三期)
4
9
1
1
2

◆ 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

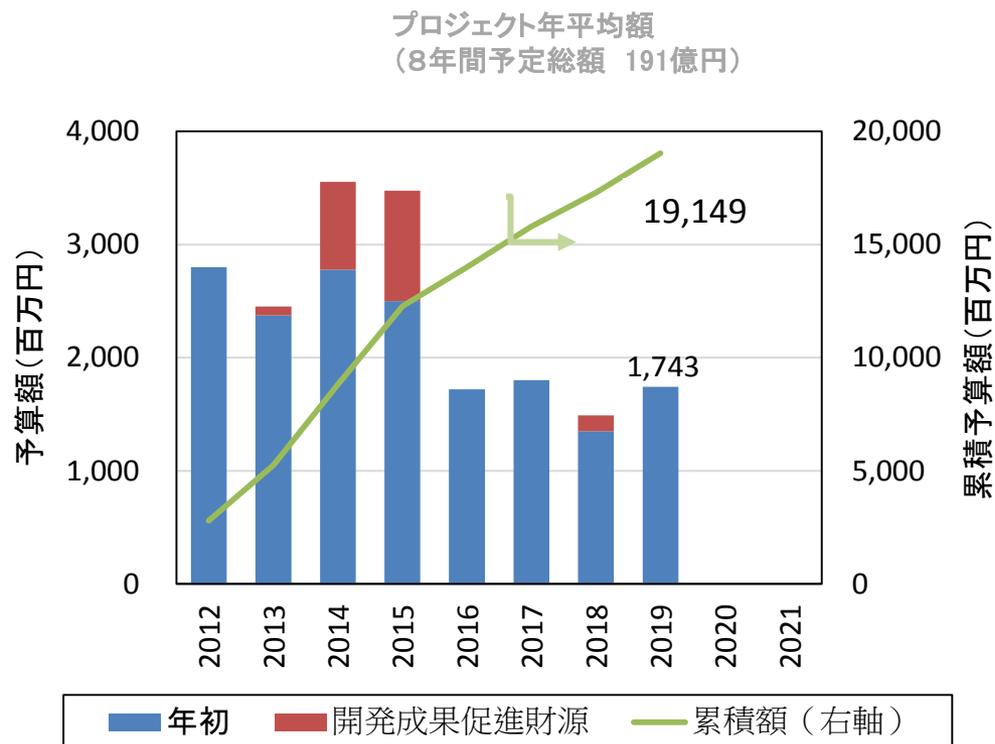
2021年度末の
性能目標は妥当

2021年度末性能目標
(電気配線比)

・光電子集積デバイス：大容量 10Tbps/ノード、低消費電力 1mW/Gbps (1/10)、小型化(1/100以下)
・光電子集積システム化：低消費電力 (3割減)、DCで運用可能、通信モジュール超小型化

項目	テーマ	研究開発目標（2019年度末）	情勢の変化	目標の妥当性と対応
盤 技 術	① 実装基 革新的 デバイス 技術	◆ 光電子集積インターポーザの継続的高性能化を可能にする、革新的基盤技術：光源、光検出器、光変調器、光導波路のデバイス技術や機能可変な光回路システム技術、を開発する。	◆ 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	目標は妥当
	技 術 シ ス テ ム 化	② 実装システム化技術	◆ 光集積インターポーザの異種導波路接続技術と高集積コネクタを開発し、損失の少ないシングルモードファイバとの光リンクを実現する。 ◆ 光配線による10Tbps伝送へ向けた課題を抽出し、サーバ電力量を30%削減可能であることをシミュレーションにより示す。	◆ 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 ◆ 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
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。	◆ 電気配線の技術も進展し、1レーン20Gbps伝送を超える技術の報告も相次ぐ	目標は妥当
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	◆ 北米5Gの立ち上がり	目標は妥当

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
- ・ 海外プロジェクトの立上がり
- ・ 競合各社による光接続サーバ、データセンタ高度化

開発成果促進財源を投入

- ・ 製造技術の確立
- ・ 技術利用の促進

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

◆ 開発成果促進財源投入実績

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果
ウェハプローバの開発	2018	102	ウェーハ段階で光・電気特性を評価し、設計にフィードバックして、 高性能化、実装評価の効率化を図る。	ウェーハレベルアクティブ素子評価 ・ファイバプローブと電気プローブを併用し、変調器、受光器をウェーハレベルで評価 ・300mm試作デバイスの高い面内均一性を確認
光コネクタ実装技術の開発	2018	50	光コネクタ技術の開発を 前倒して国際的優位性を確実なものにする。	インターポーザ基板の上にアレイ接続可能な光コネクタの位置決め構造を形成する検討を行い、簡便な操作でシングルモード光ファイバとの光接続が可能な構造を確立した。
合計		152	-	-

開発成果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（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			クローズ
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） <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/クローズ戦略を具体化して活動中

「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）

（2012年度～2021年度 10年間）
プロジェクトの概要（公開）

NEDO IoT推進部

PL 東京大学特任教授 荒川泰彦

2019年9月27日

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

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 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3 国際標準化

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

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

【成果一覧】

(1) 研究開発目標の達成度

テーマ	中間目標（2019年度末）	主な成果状況	達成度
革新的デバイス技術	光電子集積サーバの継続的な高性能化を可能とする光電気集積デバイスの更なる小型化・低消費電力化・高機能化に向け、光源、光検出器、光変調器、光導波路のデバイス技術開発や機能可変な光回路システム技術の開発を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・シリコン基板上直接量子ドットレーザの高温(101℃)での発振に成功 ・シリコン基板上InGaAs薄膜構造で、受光器の1fF以下の寄生容量を実証。 	◎
光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術開発	光配線の消費電力を2mW/Gbps以下にするための要素技術を開発する。また、光電子集積インターポーザの異種導波路接続技術と光コネクタを開発し、損失の少ないシングルモードファイバとの光リンクを実現する。	<ul style="list-style-type: none"> ・変調器の50Gbaudと受光器の50Hz帯域を実証。 ・16波長合分波を可能とする光素子を動作実証。 ・EA変調器を開発し、今年度中に2mW/Gbps以下を達成見込み。 ・三次元造形ポリマミラー形成技術を開発し、シリフォトチップからのシングルモード光の入出力を確認。 	◎
光電子集積インターポーザのシステム化技術開発	波長多重技術を用いた接続技術を開発し、消費電力の少ない光電子集積インターポーザ技術と合わせることでサーバ電力量を30%削減可能であることをシミュレーションにより示す。	<ul style="list-style-type: none"> ・システム化実装の課題抽出に向けた検証用サーバボードの構成を決定サーバ消費電力見積と上記実行時間の短縮見込みから、サーバ消費電力量の30%以上削減可能性を確認した。 ・TWDM-PON ONU用光電子集積インターポーザの基本構造を設計 	○
国際標準化	光電子集積インターポーザの物理仕様（サイズ、入出力構成）、電気・光インターフェースに関する各種標準化団体に参画し、標準化動向を踏まえ、実用化する開発成果の事業化に必要な標準の提案を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・フォーラム標準化機関において、インターフェース標準化を推進 ・デジュール標準化機関（IEC）において、光集積回路パッケージの標準化を推進し、最終文書段階に進展。 	○
成果普及活動	プロジェクト内で共有されてきた研究開発成果の共通基盤技術を一般ユーザ、研究者、学生等へ幅広く普及させる。ニュースリリースを計画的に進める。	<ul style="list-style-type: none"> ・フォトリクス・イノベーションセミナーは、2018年度に4回のセミナーを開催した。 ・プレスリリース 3件 	○

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

(2) 成果の最終目標の達成可能性

テーマ	最終目標（2021年度末）	達成見通し
革新的デバイス技術	各デバイスの最終目標を達成するとともに、光電子集積インターポーザへの技術展開の見通しと事業化に対する課題を明確化する。	中間目標の達成性をさらに展開するとともに、PETRA研究員との議論を重ね、サーバ技術への展開を図ることによって目標達成の見込み。
光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術開発	光配線の消費電力を1mW/Gbps以下とするための要素技術と、電気配線と比較し通信速度あたりの面積で1/100すなわち100倍の帯域密度を実現するための要素技術、およびシリコンフォトリソグラフィ技術による波長多重シングルモード光回路を開発することにより、10Tbps/ノードの帯域幅を持つ光電子集積インターポーザ技術を実現する。	<ul style="list-style-type: none"> ・新規の光デバイス（変調器、受光器）開発による高速化と省電力化、波長多重合成分波器による高密度化で消費電力と帯域密度の目標達成の見込み。 ・ポリマー技術を活用した高精度な光実装技術の開発による低損失化により、10Tbps/ノードの帯域幅の目標達成の見込み。
光電子集積インターポーザのシステム化技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・消費電力の少ない光電子集積インターポーザ技術と波長多重技術を用いた接続技術を組合せた光電子融合サーバボードを試作し、試作機とシミュレーションを用いてサーバ電力量を30%削減可能であることを示す。 ・光電子集積インターポーザを用いた一芯双方向波長多重トランシーバを搭載することにより、光加入者端末装置を10cm×2cm×2cm以下のサイズに小型化するための実装技術を開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーションから見積もったサーバ消費電力と実行時間から、サーバ消費電力量の30%以上削減可能性を見出しており、上記のデバイス・実装技術開発の成果を盛り込んだ試作機とシミュレーションにより、目標達成の見込み。 ・基本構造の設計を完了しており、上記のデバイス・実装技術開発の成果を盛り込んだ試作機により、目標達成の見込み。
国際標準化	光電子集積インターポーザの物理仕様（サイズ、入出力構成）、電気・光インターフェースに関し、提案した標準化案の採択推進活動を行う。	フォーラム標準化機関(COBOに等)において、インターフェース標準化を推進するとともに、デジタール標準化機関(IEC)において、光集積回路パッケージの標準化を推進することで、目標達成の見込み。
成果普及活動	光エレクトロニクス技術を、一般のユーザ、研究者、学生等へ幅広く普及させるために、成果普及、人材育成に向けたプログラムを実施する。プレスリリース、展示会への出展等の取組みを通じて情報発信、普及促進を推進する。	フォトリソグラフィ・イノベーションセミナー、International Symposium on Photonics and Electronics Convergenceの継続的な開催、並びにプレスリリース、展示会を継続的に推進することで目標達成見込み。

(3) 成果の普及と (4) 知的財産権の取得

(2018年4月1日~2019年9月17日までの集計)

年度	特許国内登録	特許海外登録	論文・学会発表	ニュースリリース	主要展示会
合計	44	21	97	4	-
2018年度	27	16	67	2	OFC2019
2019年度	17	5	30	2(予定)	CEATEC(予定) OFC2020(予定)

European Conference on Optical Communication (ECOC) 2019において16波長多重フィルタの論文が「**HIGHLY SCORED**」 (=Top 3)に認定

(1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

【成果詳細】

【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

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 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3 国際標準化

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

③ 成果普及活動

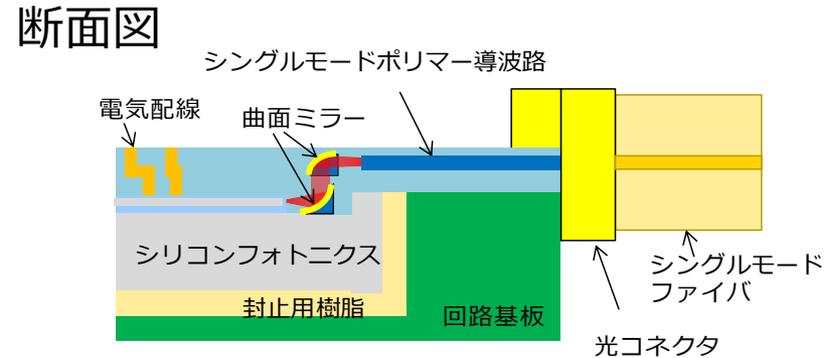
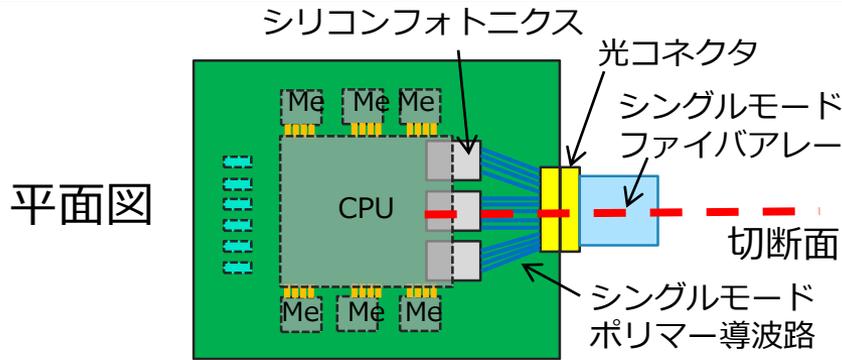
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

開発計画

- ✓ 前半は、デバイス・実装技術開発に注力
- ✓ 後半は、開発した要素技術をシステム化し、成果の事業化につなげていく

	開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
2 システム化技術の開発 2-1 デバイス・実装技術開発	2-1-1デバイス技術開発	56Gbps素子・電子回路基本動作	112Gbps素子・電子回路基本動作		
	2-1-2集積化プロセス技術	新規素子プロセス設計	56Gbps集積光回路試作	112Gbps集積光回路試作	
	2-1-3 光実装技術	3.6Tbps伝送密度光リンク		10Tbps伝送密度光リンク	
2-2システム化技術開発	2-2-1光電子融合サーバボード	4チャンネル基本動作		16チャンネル動作	10Tbps実証
	2-2-2ラックスケール並列分散システム	リンク設計	FPGA/ボード1次試作・評価	波長多重動作検証	システムリンク検証 電力量30%削減の実証
	2-2-3情報通信システム化技術	基本構造設計	基本動作検証	パッケージ設計	パッケージ試作・実証 10x2x2cm以下の小型化
1 基盤技術の開発	1革新的デバイス技術開発		基本動作検証	実用化に向けた課題の明確化	

2-1 デバイス・実装技術開発目標



光電子集積インターポーザ

1シリコンフォトリクスチップ当たり 112Gbps x 16波 x 送受(2) = **3.6Tbps**



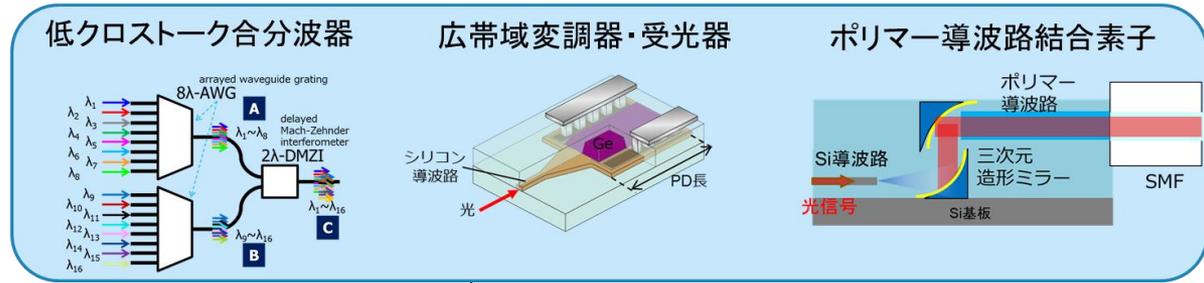
1 LSI 当たり 3シリコンフォトリクスチップで、3.6Tbps x 3 ≙ **10Tbps**

第一期の技術目標 第二期の技術目標 第三期の技術目標

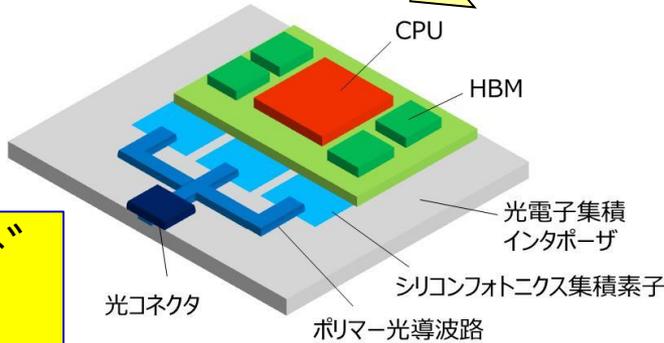
	第一期の技術目標	第二期の技術目標	第三期の技術目標
デバイス技術開発	高速デバイス	25Gbps/Si変調器	50Gbps/PAM4
	低電力デバイス	5mW/Gbps /Si変調器	3mW/Gbps /高性能材料 (SiGe)変調器
	波長多重デバイス	4波長/アレイ導波路型回折格子 (AWG) (素子)	8波長/AWG(素子)
実装技術開発	光の入出力 (広帯域密度)	10mmレベル目合わせ精度/ グレーティングカプラ+縦型ポリマー導波路 (0.5Tbps/mm ²)	
	電気配線構造	平面構造	
			112Gbps/56GBaud + PAM4 1mW/Gbps /小型導波路埋込型 SiGe変調器 16波長/AWG+バンドパスフィルタ (集積回路) 1mmレベル目合わせ精度/ 3次元ミラー+横型ポリマー導波路 (20Tbps/mm²) インターポーザ構造

2-2 システム化技術

(e) 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

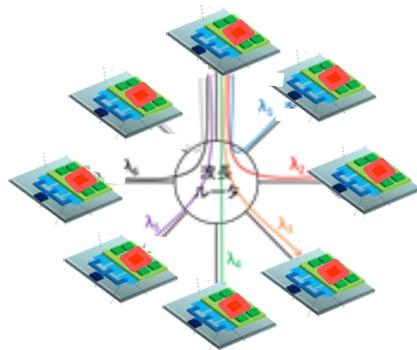


(f-1) 情報処理システム化技術
① 光電子融合サーバボード



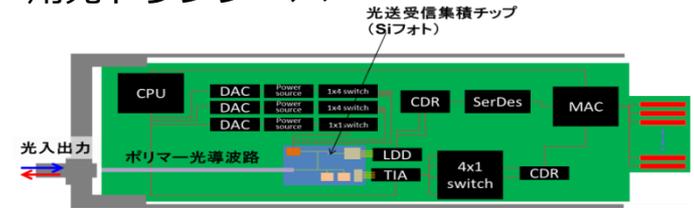
10Tbps/ノードの実現

② ラックスケール並列分散システム



通信時間50%以上短縮
⇒消費電力量3割削減

(f-2) 情報通信システム化技術
5Gモバイルのsmall cellアンテナ用光トランシーバ

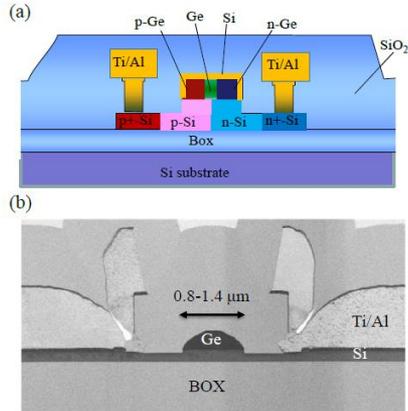


10x2x2cm以下の小型化

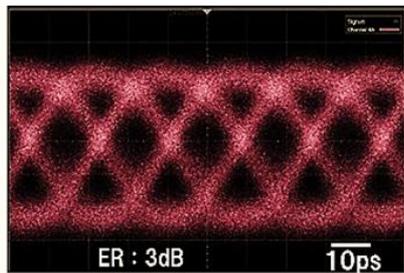
進捗状況 (デバイス・実装技術)

小型電界吸収型変調器 —112Gbps実現に向けて—

GeSi電界吸収型光変調器を開発し、56Gbaud動作を確認



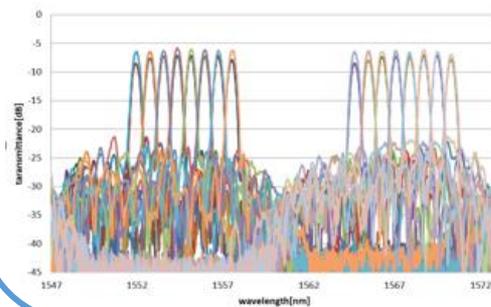
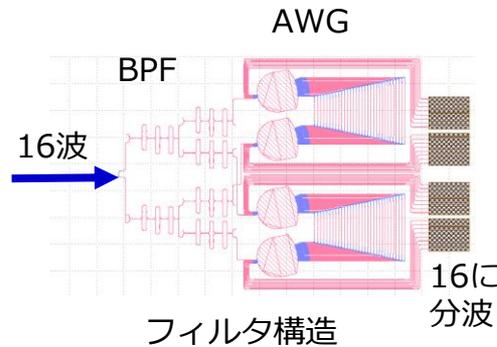
GeSi電界吸収型光変調器の断面構造



56Gbpsアイパターン@1550nm

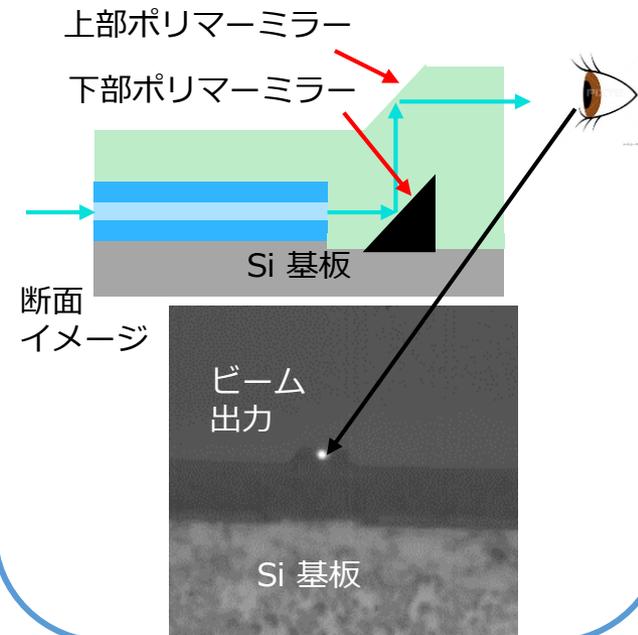
16波長多重フィルタ —WDM実現に向けて—

初段で大きな波長括りで合分波した後、AWGで細分化する16波長多重フィルタを開発し、波長分波を確認



三次元ポリマミラー形成 —低コスト実装実現に向けて—

シリフォトチップからのシングルモード光の入出力として、三次元造形ポリマミラー形成技術を開発し、上面ミラーからの光束出力を確認



主な成果状況

- ・変調器の56Gbaudを実証。
- ・16波長合分波を可能とする光素子を動作実証。
- ・三次元造形ポリマミラー形成技術を開発し、シリフォトチップからのシングルモード光の入出力を確認。

達成度

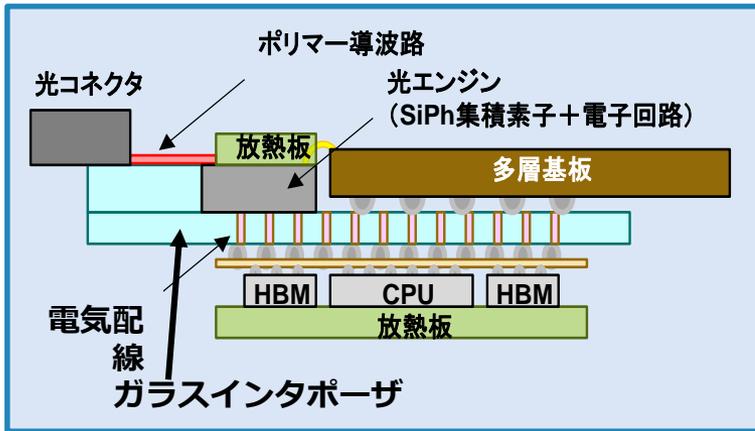


進捗状況 (システム化技術)

光電子融合サーバボード

—10Tbps実現に向け基本構造を決定—

- ✓ ガラスインタポータを用いたテラス構造に光エンジンを実装
- ✓ 光エンジンとインタポータの熱膨張係数差を抑制
- ✓ 両面実装構造により電気配線を短尺化



電子融合サーバボードの基本構造

主な成果状況

- ・ 10Tbps実現に向け、ガラス基板を用いたサーバボードの基本構造を決定
- ・ 従来型ネットワークに比べて、提案した光ハブは、並列計算ベンチマークの実行を5倍～1桁以上高速化(実行時間の短縮)し、サーバの消費電力量を30%以上削減可能であることを確認した

達成度

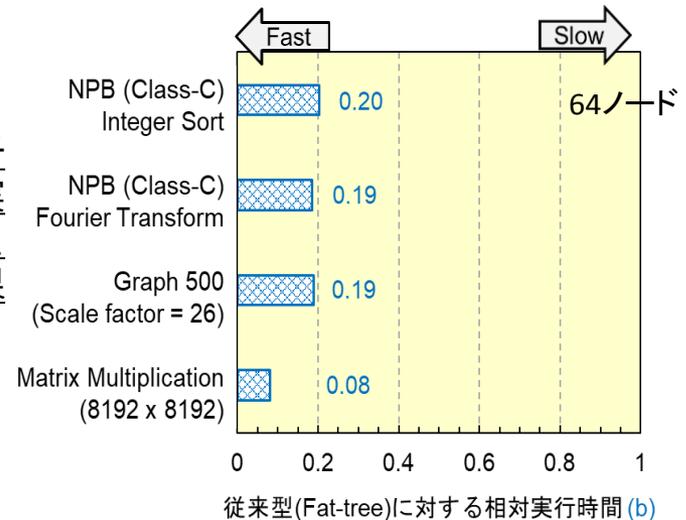
○

並列分散システム

—消費電力量の削減に向けて—

- ✓ サーバ消費電力量の削減率： $1 - a \times b$
 a :電気配線と光ハブの場合のサーバ電力比
 B :電気配線と光ハブの場合の相対実行時間
- ✓ 光ハブの相対実行時間 b を複数の並列計算でシミュレーションし、 b は0.2以下になることを確認。サーバ電力比 a はほぼ等しいと想定できるので、多くの並列計算で、サーバの消費電力量は30%以上の削減が可能

並列計算ベンチマークの相対実行時間のシミュレーション結果



【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

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 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3 国際標準化

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

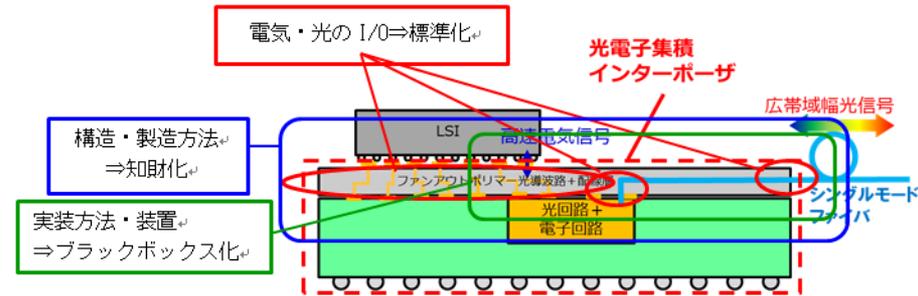
③ 成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

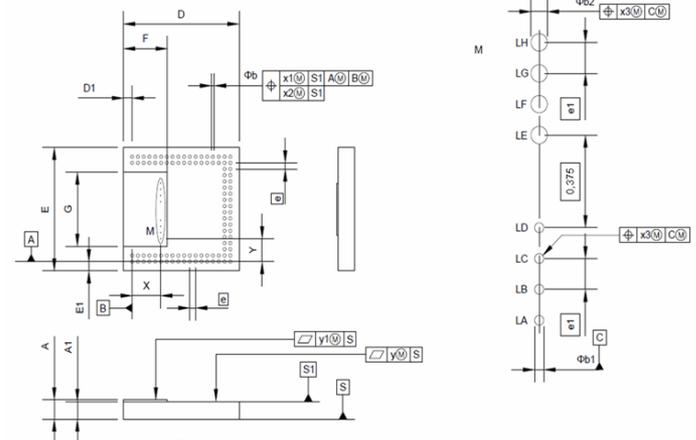
2-3 国際標準化（知財戦略）

- オープン
 - ✓ 知財化：インターポーザの外観、性能、製造方法等
 - ✓ 標準化：電気・光の入出力に関わるインターフェース部
- クローズ： 実装方法、装置仕様等を**ブラックボックス化**
- 動きの早いフォーラム（OIF、IEEE、COBO等）で迅速に標準化

オープン・クローズ戦略



- 成果
 - ✓ 光集積回路（PIC）パッケージのプロジェクトリーダーとして集積パッケージの標準化推進
 - ✓ 光I/Oコアをベースとしたパッケージ標準は最終文書段階に進展。



パッケージ標準 SC86C/WG4
Photonic chip scale package

主な成果状況

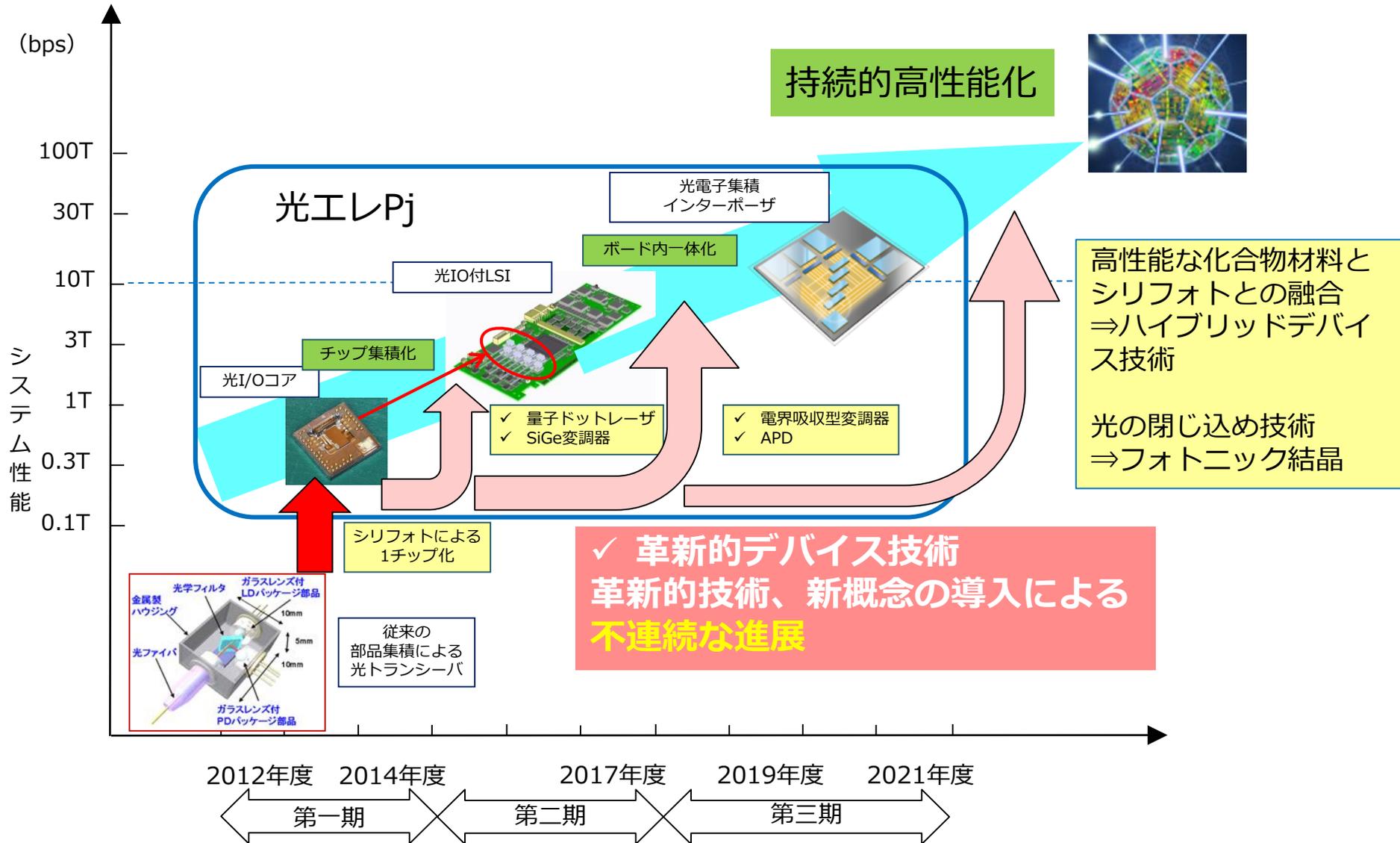
- ・フォーラム標準化機関において、インターフェース標準化を推進
- ・デジュール標準化機関（IEC）において、光集積回路パッケージの標準化を推進し、最終文書段階に進展。

達成度

○

1 革新的デバイス技術

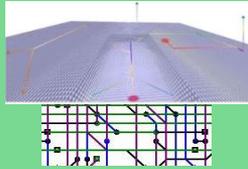
◆ 持続的高性能化を可能にする技術の不連続な進展に資する



革新的デバイス技術の開発テーマ

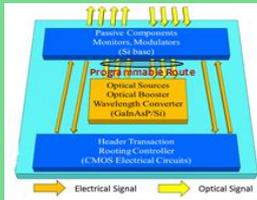
新概念の導入
・新原理に基づく要素デバイスの先駆的開発

光配線技術



京大

光エレクトロニクス回路



東工大

光バッファリング

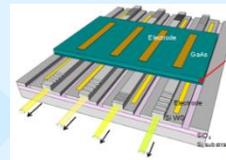
光回路の再構成



持続的高性能化

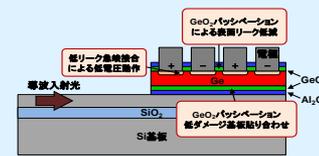
小型、高速、省エネ

光源技術



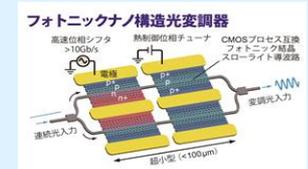
東大、早大

光検出器器技術

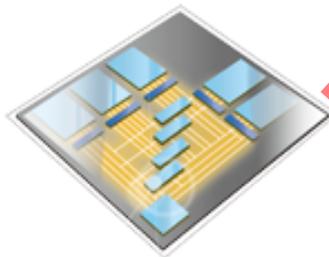


東大

光変調器技術



横国大、東大



光電子集積
インターポーザ

革新的技術

・PETRAで光電子集積インターポーザに向け開発中のデバイスに、新たなコア技術を融合することで飛躍的に高性能化

革新的デバイス技術の成果例：光源技術

● 2019年度中間目標：

- ✓ シリコン上量子ドットレーザの高温動作と高速変調動作の実現
- ✓ InAs量子ドットの1.4 μm 以上の長波長化の実現

● アプローチ

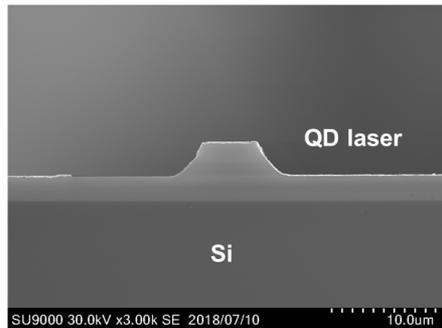
- ✓ 低閾値電流密度、高温動作特性、温度安定動作や高速変調特性などの特徴を有する量子ドットレーザをシリコン光回路上に実現する

● 成果

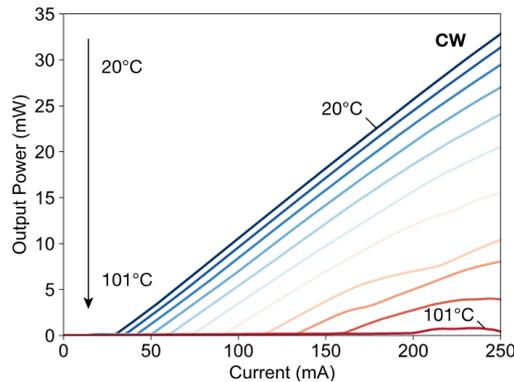
シリコン基板上直接量子ドットレーザの高温(101 $^{\circ}\text{C}$)での発振に成功

1.4 μm 以上の発光波長を有するGaAs基板上InAs量子ドットの形成に成功

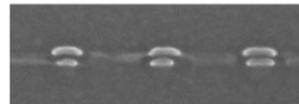
レーザ素子電子顕微鏡写真



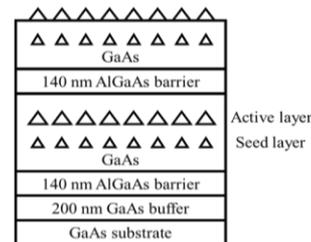
発振特性



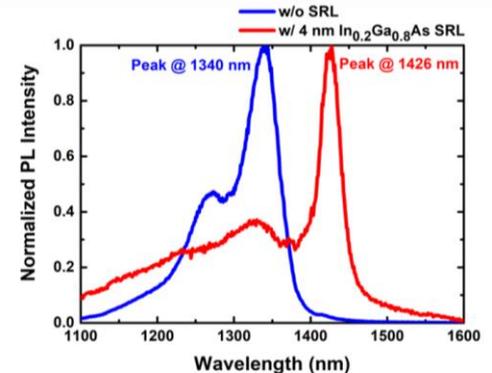
形成構造電子顕微鏡写真



層構造



フォトルミネッセンス発光特性



主な成果状況

- ・シリコン基板上直接量子ドットレーザの高温(101 $^{\circ}\text{C}$)での発振に成功
- ・シリコン上量子ドットレーザの室温10Gbps直接変調動作に成功

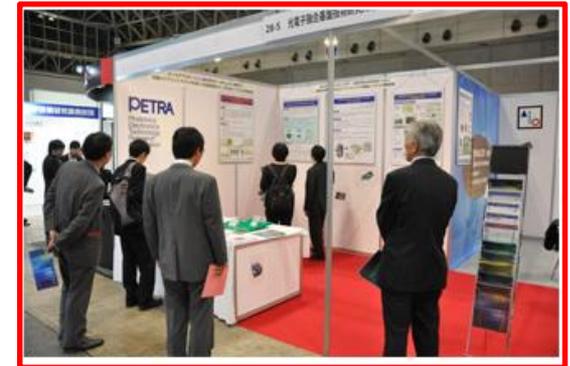
達成度

◎

人材育成・成果普及

- ナノ量子情報エレクトロニクス特論開催（夏学期）
- フォトニクス・イノベーションセミナーを開催
 - ✓ 2018年度に第12回～第15回を開催
 - ✓ 地方での開催も実施（10月京都大学、2月東北大学）
 - ✓ 2019年度も4回の開催を予定
- ISPEC2018開催（12月）
 - ✓ 国内外より約250名の参加者による議論
- InterOpto2018で展示（10月）

ISPEC2018でのKimerling教授、荒川 P L から基調講演



【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

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 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3 国際標準化

① 光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

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

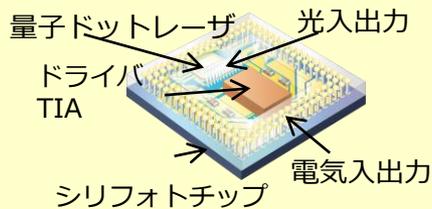
IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

第一期、二期の成果の事業化

- ⇒ **PETRAの一部を分割し新会社化**
- ⇒ **新会社が組合員企業と連携して事業化**

光I/Oコア

- ・サイズ5×5mmの25Gbps/chの光トランシーバを実現
- ・消費電力5mW/Gbps
- ・量子ドットLDの適用で高温安定性と反射耐性の向上



アイオーコア株式会社 (AIO Core Co., Ltd.)

- ・事業内容：光I/Oコア技術を承継し、生産・販売
- ・設立日：2017年4月17日
- ・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

組合員企業

- ・事業内容：光I/Oコアを集積化し大容量LSIを光接続
- ・2018年度以降に組合員企業にて製品化

第三期の成果

- ⇒ **技術開発成果を用いて組合員企業による事業化**

富士通：次世代AIサーバ

AIアクセラレータに光インターコネクト技術を適用し、大規模ニューラルネットワーク処理を可能にする。



NEC：AI基盤向け常時接続FPGAクラスタ

複数のFPGAを常時接続でアルゴリズム全体をHW化し、大量のデータを高速処理



FPGAアクセラレータ&サーバ

OKI：5Gモバイル向けTWDM-PON ONU

スモールセルアンテナに組み込み可能な超小型ONU

