

「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」

事業原簿

公開

担当部室	独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
------	---

－目次－

概要

プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について	1
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	1
1. 1 NEDOが関与することの意義	1
1. 2 実施の効果（費用対効果）	8
2. 事業の背景・目的・位置づけ	10
2. 1 事業の背景	10
2. 2 事業の目的	12
2. 3 事業の位置づけ	12
II. 研究開発マネジメントについて	13
1. 事業の目標	13
2. 事業の計画内容	13
2. 1 研究開発の内容	13
2. 2 研究開発の実施体制	22
2. 3 研究の運営管理	25
2. 4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	27
3. 情勢変化への対応	29
4. 評価に関する事項	29

Ⅲ. 研究開発成果、及びⅣ. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 事業全体の成果	31
2. 研究開発項目ごとの研究開発成果と実用化・事業化に向けての見通し及び取組 について	36

(添付資料)

- (A) プロジェクト基本計画
- (B) 未来開拓研究プロジェクト実施要綱および実施に関する基本方針
- (C) 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事前評価報告書、
総合科学技術会議が実施する国家的に重要な研究開発の評価結果

概要

最終更新日 平成 26 年 9 月 8 日

プログラム (又は施策) 名	未来開拓研究プロジェクト						
プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P13004				
担当推進部/ 担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部/井谷 司、波佐 昭則（平成 26 年 9 月現在） 電子・材料・ナノテクノロジー部/井谷 司、松岡 隆一（平成 25 年 4 月～平成 26 年 8 月）						
0. 事業の概要	クラウドコンピューティングの進展によりデータセンタなどにおける情報処理量や通信トラフィックが指数関数的に増大しており、データセンタ内の情報処理機器（サーバ、ルータ等）においては、情報処理の高速化の進展に伴い、ボード間、ボード内のチップ間の電気配線の損失が飛躍的に増加し、性能向上の大きなボトルネックになるとともに消費電力増大の大きな要因になりつつある。本プロジェクトでは、前記課題を解決する革新的技術として、電気配線を用いるより省電力で高速データ通信が可能な光配線を用い、高速・大容量処理が必要な情報機器の大幅な省電力化を実現するための光電子融合システムの構成要素技術を確立する。						
I. 事業の位置付け・必要性について	光電子融合システム技術の開発により、データセンタ等における情報処理量・通信量の増加とそれに伴う国内消費電力の増加に対応する。また、光半導体分野における我が国の競争優位を維持するとともに、光電子融合システムによる新たなコンピューティング市場において競争力を獲得し、半導体産業、回路基板産業やそれらをシステム化したサーバ、ルータ等の情報通信機器産業など幅広いエレクトロニクス産業の活性化に資する。						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	超小型の光素子、電子機器の電気配線を光化する光配線技術を開発し、電気配線によるボード間、集積回路チップ間のデータ通信を光通信化する光エレクトロニクス実装システム技術を開発する。具体的には、平成 29 年度までに光電子集積インターポーザ、光電子ハイブリッド回路基板、および、それぞれの要素技術を組み込んだデバイスの集積化技術を開発することにより、電気配線の 1/10 の低消費電力化・高速化（1mW/Gbps）を達成する目処を得るとともに、1/100 以下の小形化実現のための要素技術を確立し、光電子融合サーバボード実現のための目処を得る。また、機器間光インターフェースにおいて、100Gbps/ch の高速伝送及び現状の光トランシーバモジュールの消費電力（300W 程度）を 1/5～1/10 まで低減できる低消費電力化技術を実現する。						
事業の計画内容	主な実施事項	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy
	①光エレクトロニクス実装基盤技術						
	(i)実装基盤技術						
	(a)光エレクトロニクス実装技術	→					
	(b)光エレクトロニクス集積デバイス技術	→					
	(c)光エレクトロニクスインターフェース技術	→					
	(d)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	→					

	②光エレクトロニクス 実装システム化技術							
	(i) システム化技術							
	(a) サーバーボード のシステム化技術 開発							
	(b) ボード間接続機 器、筐体間接続 機器のシステム 化技術開発							
	(c) データセンタ間 接続機器のシス テム化技術開発							
	(d) 企業間ネットワ ーク接続機器の システム化技術 開発							
	(ii) 国際標準化							
	会計・勘定	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	総額
開発予算 (会計・勘 定別に事 業費の実 績額を記 載) (単 位: 百万 円)	一般会計	—	—	—	—	—	—	—
	特別会計 (需給)	2,800 (実績)	2,375 (実績)	2,778 (予定)				
契約種類 : ○をつける (委託○) 助成() 共同研究 (負担率 ())	開発成果促進財源	—	78 (実績)	222 (実績)				
	総予算額	2,800 (実績) 【経済産 業省執行】	2,453 (実績)	2,999 (予定)				
	経産省担当原課	商務情報政策局 情報通信機器課						
	プロジェクトリーダー	東京大学教授 荒川 泰彦						
開発体制	委託先 (* 委託先が管理 法人の場合は参加企業 数及び参加企業名も記 載)	技術研究組合光電子融合基盤技術研究所 (参加企業7社 (NTT エレクトロニクス (株)、沖電気工業 (株)、(株) 東芝、 日本電気 (株)、日本電信電話 (株)、富士通 (株)、古河電工 (株))、産 業技術総合研究所、光産業技術振興協会) 再委託 (京都大学、東京工業大学、東京大学、横浜国立大学、早稲田大学)						
情勢変化 への対応	世界的なシリコンフォトニクス技術への注目の高まりと競争激化への対応として、大規模光回路技術開発 と省電力化技術を前倒しで着手した。また、データセンタ間接続機器システム技術について、技術の実用 化トレンドの加速に対応し、現状成果の一部を活用した先行事業化を実施するとともに、トレンド変化に 対応する目標に開発計画を変更。							
中間評価 結果への 対応	—							
評価に関 する事項	事前評価	平成 23 年度 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 (7 月)、総合科学技術 会議の評価専門調査会 (12 月) 担当: 経済産業省						

	中間評価	平成 26 年度 中間評価実施予定 担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部
	事後評価	平成 29 年度 評価実施予定
III. 研究開発成果について	<p>研究開発項目ごとの成果と平成 26 年度末までの成果目標を以下にまとめる。(未達の場合は、達成の課題と方針を記載)</p> <p>研究開発項目①「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」</p> <p>(i) 実装基盤技術</p> <p>(a) 光エレクトロニクス実装技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小型の高速、低消費電力光トランシーバと数十 mm 角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つ LSI を実現するための基盤技術を確立する。 <p>(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光信号の並列化技術、多重化技術を開発し、大容量信号伝送を実現するための基盤要素技術を確立する。また、低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確立する。 <p>(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・100Gbps 動作に対応する DSP-LSI と集積光送受信デバイスの試作を行い、基本性能評価と問題点の抽出を行う。 <p>(d) 光エレクトロニクス回路設計技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境の基本構成を構築し、統合設計を行うための基本的なフローの実証を行う。また、光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携 TCAD の基本構造を確立する。 <p>(ii) 革新的デバイス技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シリコン導波路結合型単チャンネル量子ドットレーザを実現する。 ・受光器における暗電流抑制効果を実証する。 ・超小型光変調器技術として、新原理に基づく 10Gbps 程度の光変調動作を可能とする。 ・3次元光配線技術として、層間方向への光伝搬機能が可能であることを実証する。 ・ハイブリッド回路基板上における半導体レーザの高効率化を行うとともに複数の光増幅器が並ぶアレイデバイスを実現する。 ・導波路クロスバー型超小型光スイッチを試作し、スイッチング動作を実証するとともに、基本的な論理動作を実現する。 <p>研究開発項目②「光エレクトロニクス実装システム化技術の開発」</p> <p>(i) システム化技術</p> <p>(a) サーバボードのシステム化技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サーバボード実現に向けた光インターコネクショに要求される伝送スペック、および、光電子インターポーザの回路冷却に関する基本要件を明らかにする。 ・光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ実装基盤からなるハイブリッド型光インターフェース付 SSD を試作し、標準ストレージインターフェースによる光接続を検証する。 <p>(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小型光トランシーバを搭載したアクティブ光ケーブル (AOC) を完成させ、筐体間接続における実用性を実証する。 ・光トランシーバとロジック LSI 間の電気伝送に関するインターフェース仕様を決定する。 <p>(c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一次試作の光デバイスおよび DSP-LSI を用いたトランシーバを試作し、デバイス制御動作を検証するとともに改良・完成度向上に向けた指針・フィードバック事項を抽出する。 <p>(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シリコン導波路による波長合分波器を持ちいて、1.25Gbps の一芯双方向光トランシーバを実証する。 <p>(ii) 国際標準化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光インターコネクトに関する標準化団体に参画し、「キーメンバーコミュニティ」におけるプレゼンスを確立する。また、100Gbps デジタルコヒーレント光トランシーバに関する標準化を推進する。 	
	投稿論文、学会発表等	「査読付き論文」6 件、「発表 (解説記事含む)」52 件
	特許	「出願済」36 件、(うち国際出願 13 件) 特記事項：事業開始から平成 26 年 8 月末まで
	その他の外部発表 (プレス発表等)	7 件
	IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>日本の光デバイス、ネットワーク関連企業の集まりで実施しているプロジェクトであり、早期に実用化の目処が立ったデバイスについては、プロジェクトの終了を待たずに実用化・事業化を進める。また、後年度の研究開発を含め、計画終了後は多くの開発技術については必ず実用化・事業化を進める。このためには、標準規格獲得には必須要件である。</p>

V. 基本計画 に関する 事項	作成時期	平成 24 年 5 月 「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」実施 計画作成（経済産業省） 平成 25 年 3 月 作成（NEDO）
	変更履歴	無

プロジェクト用語集（公開版）

用語	説明
光電子集積インターポーザ	電子回路（LSI）と光入出力部が実装されたインターポーザの総称。本プロジェクトでは、インターポーザの材料として Si を使ったものを指す。
光電子ハイブリッド（回路）基板	インターポーザ材料にプリント基板を用いた、光電子集積インターポーザ。特にプリント基板上にポリマー光配線を用いることにより、複数の LSI を搭載した大型光電子基板が実現できる。
AOC	Active Optical Cable の略：信号伝送ケーブルの一種であり、伝送部分に光ファイバを用いた物。外部インターフェースは電気信号であり、コネクタ内部に電気/光変換、光/電気変換部が内蔵されている。光ファイバ伝送のため、電気ケーブルに比べ高速/長距離伝送が可能。
光 I/O コア	光信号の送受信（トランシーバ）機能をもつ機能ブロックを光 I/O コアと総称している。光 I/O エンジンとも呼ばれる。
（集積）光 I/O チップ	光 I/O コアの主要部品の 1 つ。シリコンフォトニクス技術を用い、光変調器、受光器、合分波器、光入出力部、などの要素光素子を SOI 基板上に集積したチップ。
光 I/O 付き LSI 基板	LSI (CPU, FPGA) の高速の入出力信号を光伝送するため、LSI の直近に小型光 I/O コアを配置した構造の基板
掲載済 SOI	Silicon On Insulator の略：シリコン基板上にシリコン酸化膜と更にその上にシリコン層が形成された基板構造で、CMOS 電子回路やシリコンフォトニクスのウェハ基板として使用されている。
Tx、Rx	Tx：Transmitter の略称、Rx：Receiver の略称
CMOS 回路	Complementary Metal Oxide Semiconductor) の略：p チャネルと n チャネルの MOSFET を相補的に配置した回路構成を有する半導体デバイス。論理が反転する時にのみしか充放電電流が流れないため、消費電力の少ない論理回路が構成できる。
TIA	Trans-Impedance Amplifier の略：受光ダイオードの光電流を電圧に変換して出力する増幅器
SiGe 回路	シリコンに少量のゲルマニウムを添加した半導体材料。MOS 型トランジスタではなくバイポーラトランジスタに用いられるため、CMOS 回路と対比してバイポーラトランジスタ回路の意味で用いられる。バイポーラトランジスタを使って電流モード回路を構成する 경우가多く、常時電流が流れ続けるため CMOS 回路に比べて消費電力が大きくなる傾向にある。
光ピン	垂直方向へ伝送する光導波路。有機材料で構成されておりフォトリソグラフィ技術で形成可能である。Optical Pillar とも呼ばれる。
MMF	Multi Mode Fiber の略： 多数のモードの光が伝搬する光ファイバ。
SMF	Single Mode Fiber の略： 単一光モードのみ伝播可能な光ファイバ。

Mux	multiplexing あるいは multiplexer の略：複数のパラレル信号をシリアル信号に変換すること。この動作を実行するデバイス/装置。
Demux	demultiplexing あるいは demultiplexer の略：シリアル信号を複数のパラレル信号に変換すること。この動作を実行するデバイス/装置。Mux の逆の動作。
SerDes	Serializer/Deserializer の略：シリアル信号、パラレル信号を相互変換する電子回路。
LD	Laser Diode の略：半導体レーザ。
LD テラス	LD を実装するため、Si 基板の端面に深溝構造の方形状（テラス）のステップを形成し、その部分に LD チップを実装する。この構造を LD テラスと呼んでいる。
位置合せトレランス	光ファイバと光デバイス、半導体レーザ素子等との位置合わせ精度の許容幅（トレランス）のこと。
PD	Photo Diode の略：フォトダイオード
SSC : スポットサイズ変換器	Spot Size Converter の略：Si 導波路とファイバや半導体レーザのサイズ差による光の結合損失を少なくする変換器。導波路の幅を徐々に変えていく方法等いろいろな構造がある。
2重コア SSC	2種類の屈折率の異なるコアを設け、光の結合損失が少なくなるような構造を持つ SSC。
FPGA	Field Programmable Gate Array の略：論理回路構成が書き換え可能なプログラマブルロジックデバイス。最近は大規模化、入出力速度の高速化の進展が著しい。
WDM	波長多重分割（Wavelength Division Multiplexing）の略：光ファイバ通信において、波長の違う複数の光信号を同時に利用する（多重化）ことで、波長数だけ伝送容量を拡大する技術。
PON	Passive Optical Network の略：光ファイバ網の途中に分岐装置を挿入して、1本のファイバを複数の加入者間で共有することで、効率的な光通信を実現するネットワーク方式の一形態。FTTH(Fiber To The Home)の基盤技術。
ONU	Optical Network Unit の略：加入者通信網において、パソコンなどの端末機器をネットワークに接続するための装置。加入者宅に設置される。
APD	Avalanche Photo Diode の略：半導体におけるなだれ（Avalanche）現象を用いて、通常の PD よりも高感度化した受光素子であり、長距離光通信に用いられる。
DFB	Distributed Feedback の略：半導体レーザの光共振器構造の一種。共振器内部に回折格子が作りこまれており特定の波長だけが正帰還を受けるので、単一モード発振が得られる。
Gbps	Giga bit per second の略：データ通信速度の単位の一つ。1Gbps は一秒間に十億ビットのデータを送れることを表す。
NRZ	non-return-to-zero の略：ビットの値 0 または 1 に応じて、{電圧、電流または光強度} が低いまたは高い信号を出力する信号変調方式。

Back-to-Back	送信機と受信機を直接に（もしくは、極短距離で）接続した状態。途中の信号伝送媒体（光導波路、光電子変換デバイス等）の評価をする際の参照データとなる。
アイパターン	信号波形の遷移を多数サンプリングし、重ね合わせてグラフィカルに表示したもの。上下左右に大きく開いたパターンほど良好な信号伝送ができていることを表す。
BER	Bit Error Rate の略：通信で用いられる符号誤り率で、一定の時間内での送信される符号総数に対する、誤って受信された符号数の比率で示される。
FDTD	Finite-difference time-domain の略：電磁場解析の一手法であり、空間・時間領域での差分方程式に展開して電場・磁場を求める方法
TCAD	Technology CAD の略：プロセスシミュレータとデバイスシミュレータと回路シミュレータを統合したもの。
SSD	Solid State Drive の略：ハードディスク（HDD: Hard Disc Drive）に代り、記憶媒体に半導体不揮発性メモリ素子（NAND FLASH MEMORY）を用いた記憶装置。小型化可能でデータ書込み/読出し速度も速く、急速に普及しつつある。
SATA	Serial Advanced Technology Attachment の略：データ記憶装置（HDD、SSD など）と CPU を接続する規格の一つ。
NAND 型 FLASH MEMORY	電荷蓄積層を持つゲート電極 MOS トランジスタを直列に接続した構造の不揮発性メモリ。USB メモリ、SD カード等幅広く使われている。
LA/TIA	Limiting Amp / Trans impedance Amp の略：受光素子からの微弱な電気信号強度を増幅するための増幅器。
SOA	Semiconductor Optical Amplifier（半導体光増幅器）の略
VSR	Very Short Reach の略：2km 程度までの短距離用光トランシーバ。LAN などに多用される。
波長合分波器	異なる波長の光信号を合波したり分波する機能を有する光素子。断面サイズの小さな Si 細線導波路で良好な特性を得るには高精度加工が必要となる。
消光比	波長合分波器の任意の出力ポートにおいて、そのポートに出力される波長の信号光強度と、それ以外の波長のノイズ光強度の比率。
暗電流	PD に光の入射がない場合にも流れている電流のこと。光信号の受信における雑音となるため、暗電流が小さいことが望まれる。
液浸 ArF 露光技術	露光装置の投影レンズとウェハーの間に液体を満たして露光する技術。液体として純水を用いた場合、空気に比べて開口数が 1.44 倍に増加するため、解像度を大幅に向上することが出来る。45nm 技術世代以降の半導体加工に用いられている。
偏波	光や電磁波の電界の振動方向の状態を示すものであり、断面が矩形形状のシリコン導波路では、基板の面内方向に電界が振動する TE 偏波と、基板に垂直方向に電界が振動する TM 偏波とが伝搬可能である。
偏波依存損失	スポットサイズ変換器や波長合分波器などで、偏波ごとに損失が異なる場合の損失の差異を示す。一般的に、この差異が小さいことが望ましい。

リング光共振器	リング状に形成された光回路。一方の直線光導波路から入力された光の中で、特定の波長をもつ光だけが共振して他方の光導波路から出力される特徴をもつ。
石英 PLC	石英 Planer Lightwave Circuit：石英平面光回路 石英材料を用いた平面光回路で、一般にフィルターやカプラーなどの受動光学部品でよく使われている。単位長さあたりの光波導波損失は低い、導波路曲げ半径は、数百 um 程度と大きく、デバイス全体も大きくなる。
量子ドット	大きさが数ナノメートルから数 10 ナノメートルの半導体微結晶。電子が 3 次元的に閉じ込められ、状態密度がエネルギーに関してデルタ関数的に完全に離散化したエネルギー準位が形成されることから、光素子への適用により低閾値、低消費電力化、温度特性改善が可能となる。
LN 変調器	LiNbO ₃ 結晶のポッケルス効果による屈折率変化を利用した光変調器で光通信に不可欠なデバイスの一つです。半導体レーザーなどの CW 光を変調する外部変調器として使用されており、高速変調が可能です。
デジタルコヒーレント伝送技術	光の強度に加えて位相も情報伝送に利用する通信方式。受信側では、信号光と波長が極めて近い光とを混合してから電気信号に変換（コヒーレント検波）する。光伝送路で発生する波形歪みを超高速デジタル信号処理を用いて補償することで、安定な大容量長距離伝送が可能となる。
OIF	The Optical Internetworking Forum の略：キャリア、コンポーネントベンダ、システムベンダ、測定器会社などが参加する 1998 年に創設された業界団体。光伝送技術に関する標準化を推進し、低コストでスケーラブルな光ネットワークを実現することを目的としている。
ITLA	Integrable Tunable Laser Assembly の略：OIF で規格化された波長可変レーザーアセンブリに関するマルチ・ソース・アグリーメント（MSA）であり、制御命令や電源、外形寸法などが規定されている。
ICR	Integrated Coherent Receiver の略：OIF で規格された集積コヒーレントレシーバに関するマルチ・ソース・アグリーメント（MSA）であり、偏光分離機能、可変光減衰器、光ミキサ（90 度ハイブリッド）、バランスド・レシーバなどが一つの筐体内に集積化されている。
CFP	100G Form-factor Pluggable の略：C はローマ数字で 100 を表す。装置の電源を切らずに（活線）挿抜可能な光トランシーバの MSA の一つ。ここで MSA とは Multi-Source Agreement の略で、製品のパッケージサイズ、ピン配置、およびスペックなどを複数のベンダー間で共通化する事で、製品の安定した供給体制を確立するためのベンダー間の取り決めのこと。CFP-MSA の詳細はホームページ http://www.cfp-msa.org/ を参照。
デジタル信号処理 (DSP) LSI	コヒーレント光ファイバ通信方式を実現するためのキーデバイス。偏波多重された高速光信号をコヒーレント検波した後に、分散補償や偏波分離などのデジタル電気信号処理 (Digital Signal Processing) を駆使して、ファイバ伝搬で歪んだ信号波形から正しい信号データを復元する。
FEC	Forward Error Correction の略で前方誤り訂正とも呼ぶ。誤りが起こることを見越してあらかじめ冗長な符号を付加したデー

	タを送信し、受信側で元のデータを復元する方式。
DP-QPSK 方式	Dual-Polarization Quadrature Phase-Shift Keying の略：偏波直交 4 位相偏移変調方式とも呼ぶ。光ファイバ中で直交するそれぞれの偏波に対し、変調された四つの光位相 0° 、 90° 、 180° 、 270°) に、それぞれ 2 ビットによる信号で 4 種類の情報を割り当てる変調方式。二つの偏波それぞれで 1 シンボルあたり 2 ビットを送れるので、電子回路の動作スピードが毎秒 25 ギガビット相当 (25Gbaud) でも 4 倍の毎秒 100 ギガビットを運べる。
コンステレーションマップ	多値変調された信号情報を直交した I 軸、Q 軸を有する複素平面上にマッピングしたもの。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与することの意義

1.1.1 政策への適合性

さまざまな情報サービスがネットワークを通じて提供されるクラウドコンピューティングが進展し、データセンタ等における情報処理量等が急激に増加することが予測されている。それに伴い情報通信機器による電力消費量は急増し、2025年には現在の国内電力消費量全体の4分の1に膨らむと予測されている。このため、情報通信機器・装置を低消費電力化しつつ、高速化し、小型化する技術の開発は喫緊の課題となっている。

光エレクトロニクス技術は、上記問題への対応が期待できる技術として半導体分野の主要なグローバル企業が開発競争を繰り広げている技術であり、我が国としてもその開発を戦略的に推進していくことは重要なことである。

このような状況の下、我が国の政府も光エレクトロニクス技術分野を重視した研究開発政策を進めている。これまでに政府は、「科学技術創造立国」を国家戦略として打ち立て、科学技術基本法の下で「科学技術基本計画」に基づいて、創造性豊かな人材や、有限な資源を活用しつつ最大限の成果を生み出す仕組みを創り出すことを目指し、総合的な施策を強力に推進してきた。「第4期科学技術基本計画」（2011年8月19日閣議決定）では、科学技術政策を国家戦略の根幹と位置づけ、政府の関与する研究開発投資を拡充することを定めている。第4期科学技術基本計画では、我が国の将来にわたる成長と社会の発展を実現するために戦略的に展開する科学技術イノベーション政策の3つの主要な柱の一つである「グリーンイノベーションの推進」において、光エレクトロニクスに関する技術開発戦略を「エネルギー利用の高効率化及びスマート化」の取り組みとして位置づけている。第4期科学技術基本計画を推進する科学技術イノベーション政策推進専門調査会の下に設置された、ナノテクノロジー・材料共通基盤技術検討WGでは、光エレクトロニクスは、光配線と電子回路の融合により低消費電力な情報通信網を実現する、今後の10年を見据えた技術ポテンシャルの一つに取り上げられた。また、総合科学会議により設置された科学技術イノベーション戦略協議会が提示した2013年度の科学技術重要施策アクションプランにおいても、重点的取り組みとされる技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減に係る事業の一つとして「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」が位置づけられている。また、2012年7月に策定された日本再生戦略においては、我が国の競争力の源泉であるイノベーション創出を促進するため、未来開拓型の研究開発やイノベーション創出に向けた研究基盤の形成等、府省庁連携の下で産官学が一体となって基礎研究から実用化まで一気通貫でイノベーションを創出する体制による取り組みを重点的に進めることが述べられている。

さて、我が国のエネルギー政策は2003年10月に策定されたエネルギー基本計画に沿って推進されている。エネルギー基本計画は、2007年3月に第一次改定、2010年6月に第二次改定が行われ、エネルギー政策の基本である3E（エネルギーセキュリティ、温暖化対策、効率的な供給）に加え、エネルギーを基軸とした経済成長の実現と、エネルギー産業構造改革が基本的視点として追加されている。

経済産業省は、2006年5月に我が国のエネルギー戦略として「新・国家エネルギー戦略」を取りまとめ、2030年のエネルギー需給展望（2005年3月総合資源エネルギー調査会答申）とその後の状況変化を基に、長期の時間設定の中で重要と考えられる施策プログラムを絞って提示した。その「実現に向けた取組」において、省エネルギーフロントランナー計画が取り上げられ、2030年までに少なくとも30%のエネルギー消費効率改善を目指すことを述べ、2030年に向けて実現が期待される省エネルギー技術の開発の方向性等を示している。これに基づき、2007年に「省エネルギー技術戦略2007」が経済産業省で策定され、改定を経て、2011年3月に「省エネルギー技術戦略2011」が策定された。「省エネルギー技術戦略2011」はエネルギー基本計画第二次改定（2010年6月18日閣議決定）に伴い、省エネルギー技術戦略も全面的に見直したものであり、2030年におけるエネルギー消費量削減に有効な省エネルギー技術の開発、技術の導入普及・国際展開を推進し、世界一の省エネルギー国家の実現を目指している。この中で、「省エネ型情報機器・システム」（省エネ型情報機器・省エネ型次世代ネットワーク通信など）等が省エネルギーポテンシャルの大きい、重要技術として選定されている。「省エネ型情報機器・システム」は情報通信機器利用等で増大する消費電力量を削減するため、個別のデバイス・機器の省エネルギー化に加え、省エネ型情報機器・省エネ型次世代ネットワーク通信などの関連技術を駆使して情報通信ネットワーク全体での革新的省エネルギーを実現する技術である。「省エネ型情報機器・システム」の中に「省エネ型情報機器」技術の一つとしてデータセンタ、「省エネ型次世代ネットワーク通信」技術としてルータ等通信機器や光スイッチという光エレクトロニクスに関連する技術が含まれている。

以上のような科学技術政策、エネルギー政策の下、経済産業省において「未来開拓研究プロジェクト実施要綱」並びに「未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針」が2012年に策定されている。未来開拓研究プロジェクトは、従来技術の延長線上にない、開発リスクの高い革新的技術に関する中長期的な研究開発制度であり、我が国が直面する環境・エネルギー問題等の構造的課題の克服と、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出することを目的としている。2012年度は3つの研究開発テーマについてプロジェクトが開始され、その一つとして、2012年度から2021年度の10年間を実施予定期間としている「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」が含まれている。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDOと略記する）が実

施する「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」は、この未来開拓研究プロジェクトとして2012年度に経済産業省で開始されたものを承継し、2013年度から2017年度までのNEDOによる実施が確定して、NEDOにて執行しているものである。

以上のように、本プロジェクトが目指す、情報処理機器・装置の低消費電力化、高速化、小型化を可能とする技術の開発は、国の産業政策、科学技術政策とも合致するものである。

1.1.2 NEDO中期計画における位置づけ

NEDOの第3期中期計画においては、電子・情報通信分野の計画として、我が国経済・社会の基盤としての電子・情報通信産業の発展を促進するため、電子デバイス、家電、ネットワーク／コンピューティングに関する課題について、重点的に取り組むことが述べられている。ネットワーク／コンピューティング技術の開発としては、情報トラフィック量の爆発的増加が今後とも見込まれていることから、高速化、低消費電力化等のニーズに対応した光・電子融合技術等を中心とした技術開発を行うとともに、それらを組み合わせたシステム開発等を推進することとしている。NEDOでは本プロジェクトで実施する光技術と電子技術を融合した光電子ハイブリッド技術をネットワーク／コンピューティング分野における技術開発課題として位置づけ、アクセス系ネットワークの高速化に対応した光電子モジュール技術、ハイエンドサーバにおける省電力化、高速化に係る技術の開発に取り組んでいる。

1.1.3 NEDOが関与する必要性・意義

本プロジェクトは、次の視点からNEDOが関与する必要性・意義がある。

(1) 公益性とCO₂削減効果

社会のIT化の進行に伴い、我々の活動のあらゆる場面で情報通信機器が活用され、情報が創出されるようになってきている。また、創出された情報は、インターネット網の普及・発展により、データセンタを介して共有されるようになり、データセンタにおける情報処理量や通信トラフィックが急増し、今後もその増大は止まらなると予想されている。このため、我が国における情報通信機器による電力消費量は増加し続け、現状技術のままでは2025年には2010年の4倍に膨らむと見込まれており、情報通信機器の電力削減は喫緊の課題となっている（図I-1.1.3-1）。

また、温室効果ガス削減問題等の環境・エネルギー問題、あるいは、東日本大震災後の状況変化を踏まえたエネルギー需給安定化への取り組み等の観点からも電力消費量の削減が強く求められている。このような状況の下、情報通信機器内の電気配線を光化することにより、低消費電力でありつつ、高速で、小型化が可能である等の付加価値の高い情報処理システムを社会に提供することをめざす本事業の実施に対する社会的必要性は高いと言える。

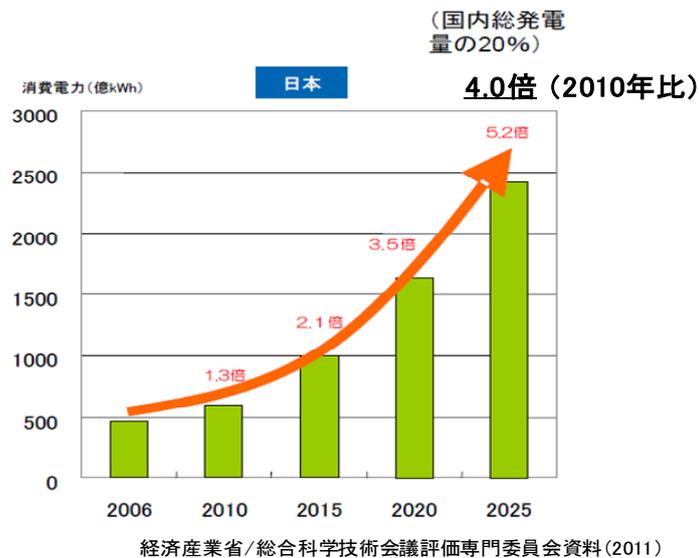


図 I-1.13-1 国内IT機器による国内電力消費量の推計

(2) 国際競争力確保

本事業で研究開発を行うチップ間光インターコネクト技術等は、半導体分野の主要なグローバル企業（IBM、Intel等）が次世代のデータセンタなどの低消費電力化・高性能化技術として有力視してものであり、半導体国際技術ロードマップ（ITRS）によると、早ければ2015年にはLSIモジュール間の配線に光配線が必要になることも指摘されている。

このような状況を受けて、米国では、光リンクの高速化IC技術を開発するEPIC（Electronics and Photonic Integrated Circuits）、チップ間の光接続技術等を開発するC2OI（Chip to Chip Optical Interconnect）、コア間の光配線、チップ内の光配線に関する研究開発を行うUNIC（Ultra Performance Nanophotonic Intra Chip Communications Program）や通信を含む様々な用途に適用できる光電子マイクロシステムをチップスケールで実現するための研究開発を行うE-PHI（Electronic-Photonic Heterogeneous Integration）等の光電子融合に関する技術開発がDARPA（国防高等研究計画局：Defense Advanced Research Projects Agency）の資金で実施されている。また、欧州では欧州研究開発フレームワーク（FP、Framework Programme）の第7次計画（FP7、The Seventh Framework Programme）にて、CMOS上にフォトニクス・エレクトロニクス機能を集積するための技術を開発するHELIOS（pHotonics ELectronics functional Integration on CMOS）、電子、光回路の強調設計、集積化等に取り組み、共通のデザインフローを提供することを目指すPlat4M（Photonic Libraries And Technology for Manufacturing）、低コストシリコンフォトニクス部品を設計開発するFABULOUS（FDMA Access By Using Low-cost Optical Network Units in Silicon Photonics）、ナノインプリントにより多層の光回路を作製する技術等を開発するFIREFLY（Multilayer Photonic Circuits made by Nano-Imprinting of Waveguides and

Photonic Crystals)、チップ間インターコネクションのためのプラズモン光部品技術等を開発するNAVOLCHI (Nano Scale Disruptive Silicon-Plasmonic Platform for Chip-to-Chip Interconnection)、高性能コンピューターシステム向けの光インターコネクト技術を開発するPhoxTrot (Photonics for High-Performance, Low-Cost and Low-Energy Data Centers, High Performance Computing Systems: Terabit/s Optical Interconnect Technologies for On-Board, Board-to-Board, Rack-to-Rack data links)等の光電子集積、光インターコネクトに関するプロジェクトが実施されている。

また、米国、欧州では、産学、あるいは、産学官が連携してシリコンフォトニクスの特徴ドリサービスを提供する活動があり、米国ではデラウェア大学が中心となってOpSIS (Optoelectronics Systems Integration in Silicon)、欧州ではIMECとCEA-LetiがePIXfab、アイントホーヘン工科大学においてEuroPIC (European manufacturing platform for Photonic Integrated Circuits) が実施されている。

我が国は、2009年度から2013年度までの期間で、内閣府・総合科学学術会議の下で日本学術振興会 (JSPS) が進める「最先端研究開発支援プログラム (FIRSTプログラム)」においてフォトニクス・エレクトロニクス融合システム基盤技術開発 (PECS T: Photonics-Electronics Convergent System Technology) 事業を進めた。PECS Tでは、光源・受信器・導波路など光インターコネクトに必要な技術を1つのシリコンチップに集積し、光集積回路として機能させるために必要な基盤技術について研究開発を行い、集積した光回路として世界最高の情報伝送密度を実証することに成功している。

産業界の技術力に視点を移すと、我が国は青色ダイオードを始め、レーザーダイオード等の光半導体ではこれまで世界をリードしているポジションにあり、その市場シェアにおいても世界市場の5割以上を占めていることがわかる。(図I-1.1.3-2)。つまり、光回路の集積化における基礎的技術、光半導体等の技術において日本の技術は世界をリードしており、それらの技術力を結集すれば、世界的に繰り広げられている光電子融合技術の開

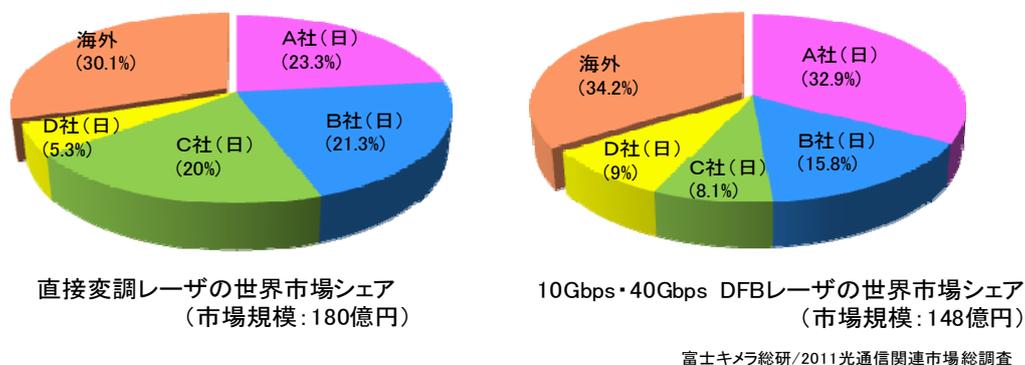


図 I-1.1.3-2 レーザ部品分野のシェア(世界市場)

発競争において、我が国は世界に十分対抗し、リードしうる技術力を有しているものと考えられる。

しかしながら、その一方で、光電子融合技術の活用が期待され、今後において事業として大きな拡大が見込まれるクラウドコンピューティング分野、および、それを支えるサーバやルータの分野における世界の市場では、日本企業のシェアはともに10%以下であり、過半は米国企業が占めている状況であることも事実である。

光電子融合技術は、我が国の強みとしている光デバイス技術の国際競争力を維持、発展させるとともに、低迷するサーバ、ルータ市場における我が国産業界の巻き返しを主導し、大きな市場の拡大が期待されるクラウドコンピューティング分野での我が国の地位を確保するための礎となることが期待される技術である。従って、我が国としては、現在の集積光回路技術等における優位性を基に、当該技術の実用化をいち早く実現することで、デバイスからサブシステム、情報通信機器、ネットワークシステムまでをトータルに強化し、それらにおける国際的産業競争力の強化を図ることは非常に重要なことであると言える。

また、本事業で実現を目指す光エレクトロニクス技術の実用化には、半導体技術等の光に関連する技術の開発のみにとどまらず、半導体集積技術、部品実装技術、回路基板技術、電子回路技術等の広範囲のエレクトロニクス関連の要素技術と光技術が連携し、新たな技術を生み出すことが必要である。従って、本事業の実施により得られる研究開発成果は、これまでの技術とは異なる新しい技術分野を切り開くものとなることが期待され、光エレクトロニクスを用いた新たなコンピューティング市場における国際的な競争力を獲得する力になるとともに、半導体産業、回路基板産業やそれらをシステム化したサーバ、ルータ等の情報通信機器産業などの幅広いエレクトロニクス産業の競争力強化に資するものとして期待されるものである。

(3) 民間企業ではリスクのある研究開発内容

本事業で求められる技術開発要素には、従来のエレクトロニクスと同程度の低コストかつ信頼性の高い光電気変換素子や光配線との接続の実現、シリコン基板上、プリント基板上に光導波路を形成する技術、光と電気が融合したシステムとしての安定性・信頼性の確保、大口径ウエハ上に作製された光配線を搭載したインターポーザの信頼性評価という今までにない評価技術等、様々なブレークスルーが求められていることから、難易度の高い技術開発を遂行する必要がある、研究開発のリスクは高い。また、その技術開発要素が広範囲に亘ることから、多くの企業間や大学、国の研究機関における連携や各要素技術の連携・統合が必要である。ここにNEDOが関与することで、前記リスクを軽減することができるとともに、参画する企業・大学・国の研究所が一体となって技術開発することが可能となり、企業の連携や最先端技術の共有化を行うこともできる。よって、光エレクトロニクス分野で世界をリードし、日本の国際競争力を維持するためには、本プロジェクトにNEDOが関与し、国が主導して取り組む必要があるといえる。

以上のように本プロジェクトは、経済産業省により定められた政策上のプログラムに合致し、本プロジェクトの成功により我が国のエレクトロニクス関連産業の国際競争力強化、および国家的重点目標である高度情報化社会および地球温暖化対策の実現に寄与するものであり、さらには、我が国の広範な産業分野への大きな波及効果が期待され、産業政策・情報政策の面からも極めて重要な課題であることから、国家プロジェクトとしてNEDOが関与すべきものと考えられる。

1. 2 実施の効果（費用対効果）

1.2.1 市場規模

情報通信機器で利用されてきた電気配線は、スーパーコンピュータやハイエンドサーバでの信号伝送速度において限界に近いと言われ、それに換わる技術として光配線技術や光インターコネク트가期待されてきている。しかし、従来の光インターコネク트가技術では独立して作られた光部品を高精度に位置合わせを行った上で組み合わせるの必要があり、小型化やコスト、消費電力の低減等、実用に供するには様々な問題を解決することが必要である。

チップ間光配線技術を含む光エレクトロニクスは、このような問題を解決するための技術として研究開発が進められ、スーパーコンピュータに利用される光インターコネク트가への搭載が始まったところである。今後は、技術開発の進展とともに、データセンタで用いられるサーバ等の情報処理機器やネットワーク機器への適用が進むものと期待されている。そして、さらには高精細な画像情報を取り扱うデジタル機器、微弱な電気信号を扱う医療機器や産業機器等への応用も進むことが期待されている。

図 I-1.2.1-1 にスーパーコンピュータを含むサーバの世界市場、国内市場の推移を示す。2011年～2016年の世界市場においては大きな市場変動はみられず、約5兆円程度の規模で推移することが予想されている。また、サーバの製品種別に注目すると、市場で最も大きな製品セグメントは、X86系、IA-64、RISCのオープン系アーキテクチャを採用したオープン系サーバであり、市場の3/4程度を占めていることがわかる。

図 I-1.2.1-2 には、日本市場におけるオープン系サーバ台数の筐体別推移を示した。すべての筐体を合計した国内オープン系サーバの全体の出荷台数については、2011年～2016年で大きな市場変動はなく、約55～57万台での市場規模で堅調に推移することが予想されている。一方、サーバの筐体形状別出荷台数の推移に注目すると、データセンタでの利用等のために省スペース性や省エネ性を必要とする動きが活発となる中でタワー型からブレード型サーバへの移行が進む傾向が見て取れる。ブレード型サーバは2011年から2016年で年平均成長率（CAGR）として10%弱で出荷台数を増やすこと

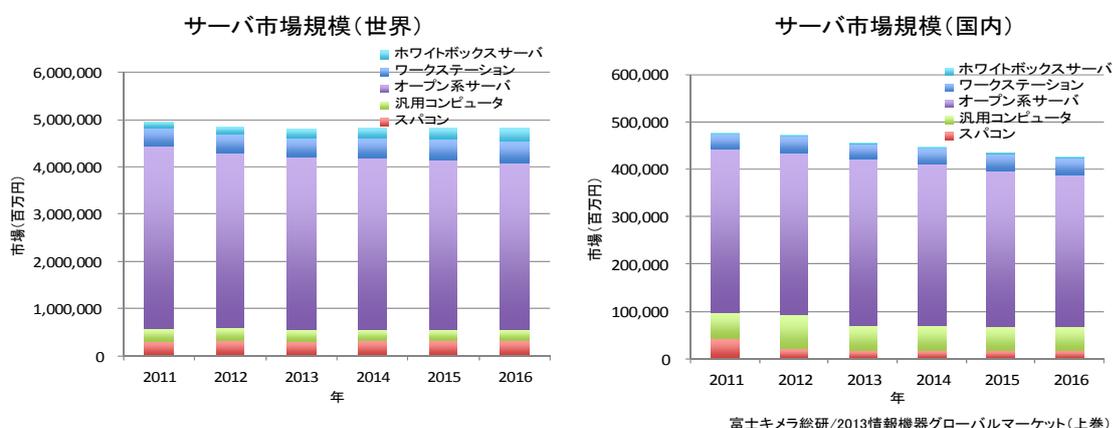


図 I-1.2.1-1 サーバの市場規模

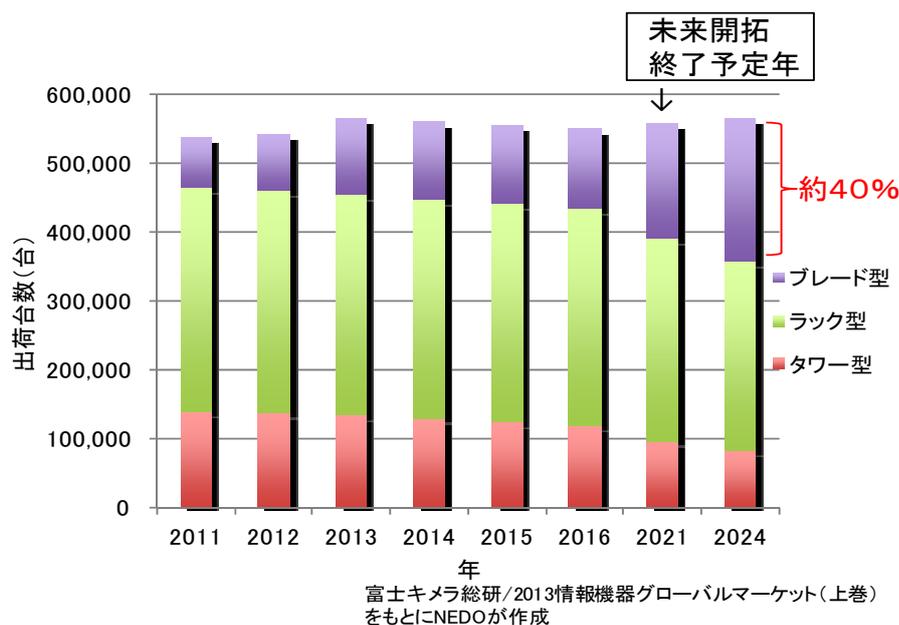


図 I -1.2.1-2 筐体別オープン系サーバの出荷台数(国内)

が予想され、その成長率が続くと仮定すると未来開拓研究プロジェクトが終了して3年後の2024年には、国内オープン系サーバの出荷台数の約40%がブレード型サーバになると予想される。

処理性能を落とさず省スペース性と省エネ性が求められるブレード型サーバは、省エネ性と処理性能の向上を求められるスーパーコンピュータ等と同様に、本プロジェクトの成果をいち早く取り入れる対象であると考えられる。従って、これらの対象にプロジェクト成果が速やかに適用され、サーバ市場が若干の減少を伴いながらも現在と同程度の規模で推移するとした場合、2024年(平成36年)におけるそれらの日本国内における市場規模は1400億円以上になると推定される。

以上の試算は、本プロジェクトの成果が直接および情報処理機器について見積もっているが、光電子集積技術を用いた製品が、小型・軽量で、かつノイズ耐性に優れ、大容量データ通信が可能であるという特長をもっていることから、技術の成熟とともに高精細映像機器、PC間等のデータ伝送ケーブルや様々な組込機器用途、インフラ用途への普及も期待できる。また、これらのデバイスに加えて光通信システム等のサービスまで含めれば、本プロジェクト成果の波及市場規模は非常に大きなものになることが期待される。

1.2.2 省エネ効果

本プロジェクトで開発される成果を、サーバ/データセンタ、ネットワーク機器、パーソナルコンピュータ(PC)、ディスプレイ/テレビに適用することを想定し、その省エネルギー効果を試算すると、2020年(平成32年)には約160億kWh/年、2030年(平成42年)には約1300億kWh/年の電力削減が期待されることがわかる。

ここで、この試算に用いた各機器による電力消費量は、I T新改革戦略評価専門調査会、ヒアリング資料（2008年1月8日、「I Tを駆使した環境配慮型社会」分野各府省説明資料）に基づくものである。また、プロジェクト成果を適用した機器の普及率は、2020年（平成32年）、2030年（平成42年）でそれぞれ、30%、80%と仮定し、サーバ/データセンタ、ネットワーク機器、パーソナルコンピュータ、ディスプレイ/テレビにおける電力削減量をそれぞれ、31%、80%、35%、10%としている。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

2.1 事業の背景

2.1.1 社会的背景

さまざまな情報サービスがネットワークを通じて提供されるクラウドコンピューティングが進展し、また、膨大な数の携帯電話、スマートホンに代表されるモバイル端末機器やパーソナルコンピュータ等の情報処理機器で生み出された情報がデータセンタに蓄積・処理・共有されるようになってきている。このためデータセンタなどにおける情報処理量やデータ伝送量は増大しており、今後も指数関数的に伸びていくことが予測されている。仮に現状技術の延長により実現された機器により、データの処理や伝送が行われたとすると、サーバと通信機器で構成されるデータセンタにおいては、それに係るコストや電力消費量の急増が予測され、また、情報通信機器による国内の電力消費量は2025年には2010年比で4倍の2500億 kWh（現在の国内電力消費量全体の4分の1）にまで膨らむと見込まれている。

同様な問題は世界的にも認識され、半導体分野の主要なグローバル企業が次世代のデータセンタなどの低消費電力化・高速化技術として光配線技術、集積光回路技術等の光エレクトロニクス技術を上記問題の解決手段として有望視して研究開発に取り組んでいる。また、米、欧等の政府も関連する国家プロジェクトの実施によりそれらの研究開発の支援を行っており、全世界的な開発競争が繰り広げられている。

2.1.2 技術的背景

現在の情報処理機器における処理性能は、情報を処理するCPU等の演算素子の性能や演算素子間、演算素子と情報を格納するメモリ間等を繋ぐ電気配線を通じて行われる情報の伝送速度等によって決定されており、情報処理機器全体の処理性能を向上させるには、演算素子等の性能に適した情報の伝送速度を確保することが必要である。情報の伝送を受け持つ電気配線では、半導体技術の進展により演算素子等が微細化・高性能化されると、演算素子が必要とする情報伝送速度を実現するために、そのピッチを縮小し、本数やそこを伝達させる信号の周波数を増加させてきた。しかしながら、ITRS（国際半導体技術ロードマップ）等では、今後の電気配線におけるピッチ縮小のトレンドは鈍化すると予測されており、演算素子の性能に見合う情報の伝送帯域を得るためには、現実解が想定でき

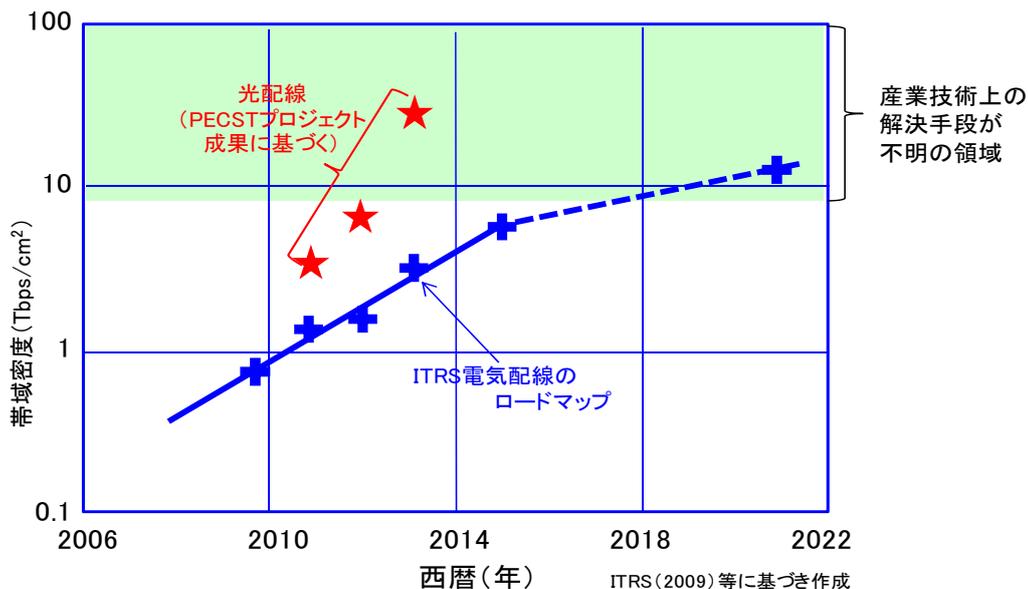
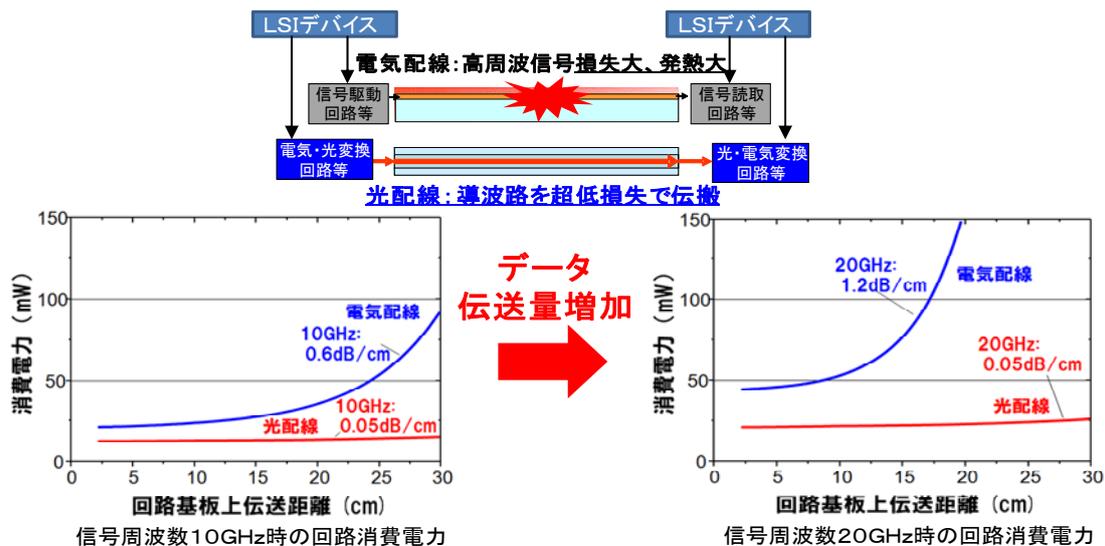


図 I-2.1.2-1 電気配線における伝送帯域密度の推移

ない程度にまでその信号周波数を高めなければならなくなるため、新たな信号伝送技術の必要性が高まっている(図 I-2.1.2-1)。

さて、電子機器に用いられている電気配線では、データ伝送量(信号周波数)や伝送距離の増加に伴い信号伝送の損失が大きくなる。これに対して、光配線によるデータ伝送では、データ伝送量が増大しても損失は一定であり、伝送距離に対する消費電力の増加は極めて小さいというメリットがある(図 I-2.1.2-2)。また、伝送特性と動作安定性の観点から、電気配線の伝送速度は20Gbps程度が限界であると考えられており、LSIチップ接続における配線間隔も1mm程度から劇的な縮小は見込まれていない。一方、光配線



経済産業省/総合科学技術会議評価専門委員会資料(2011)

図 I-2.1.2-2 伝送距離と伝送にかかる消費電力との関係

による接続では、25 Gbps以上の伝送速度の高速化が可能であり、配線間隔も0.1 mm以下に縮小可能であるため、配線面積を電気配線の100分の1程度まで小型化することが可能である。

以上のような背景から、電気配線に換わる新たな信号伝送技術として光配線技術や光インターコネクト技術の実用化が待ち望まれている。

2.2 事業の目的

以上の背景を踏まえ、本プロジェクトは、情報通信機器の省電力化と高速化を目的に、電子機器の電気配線を光化する光配線技術と電子回路技術を融合させた光エレクトロニクス実装システム技術の開発に取組み、電子機器のデータ伝送に関して、電気配線を用いる場合に比べて1/10の低消費電力化と通信速度あたりの面積比で1/100以下の小型化を実現し、電気配線を用いたサーバボードに比べて消費電力を3割削減でき、データセンターレベルでの運用が可能な光電子融合サーバを実現するための構成要素技術を実現するための基盤技術を確立することを目指す。

また、世界市場の約5割を占めてきた光半導体分野における我が国産業界の国際優位性を維持するとともに、光エレクトロニクスを用いた新たなコンピューティング市場において我が国が競争力を獲得し、さらには半導体産業、回路基板産業やそれらをシステム化したサーバ、ルータ等の情報通信機器産業など幅広いエレクトロニクス産業の活性化にも資する。

2.3 事業の位置づけ

前述の通り、本プロジェクトに係る光エレクトロニクスの分野は、企業間だけでなく、各国政府を巻き込んで、世界的に激しい競争が繰り広げられている分野である。その中で、我が国は内閣府FIRSTプログラムの一つであるPECS Tにて、集積光回路として世界最高の情報伝達密度を達成する技術の実証に成功し、世界をリードしている。この優位性を最大限に活かし、光電子融合技術の早期実用化を図るため、本事業はPECS Tと深く連携をして事業を推進することとしている。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

【全体目標】

本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクトの一つとして実施され、情報化社会の進展に伴う国内のIT機器による電力消費量増大に対応するため、IT機器の省電力化と高速化の両立を目指し、機器内等の電気配線を光化する光配線技術と電子回路技術を融合させた光エレクトロニクス実装システム技術を実現する基盤技術を確立することを目指すものである。

未来開拓研究プロジェクトは2012年度から2021年度までの10年間で実施することを予定しており、研究開発は①光エレクトロニクス実装基盤技術と②光エレクトロニクス実装システム化技術の2項目に大きく分けて実施する。具体的には、光導波路、光変調器や受光器等と電気配線をシリコン上に高密度集積した光電子集積インターポーザ、ポリマー光配線と電気配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を実現するために必要な光および電子デバイス技術、その設計技術や目的性能を大きく高める革新的デバイスの開発を光エレクトロニクス実装基盤技術、光電子融合サーバ等、それぞれの目的に最適なアーキテクチャの明確化、関連する信号処理技術等の開発を光エレクトロニクス実装システム化技術で実施する。

これらの技術開発により、未来開拓研究プロジェクトでは、電子機器のデータ伝送に関して、現状の電気配線を用いる場合に比べて1/10の低消費電力化と通信速度あたりの面積比で1/100以下の小形化を実現し、電気配線を用いたサーバボードと比較して消費電力を3割削減でき、データセンターレベルでの運用の可能性を検証することを目標としている。

NEDOは未来開拓研究プロジェクトの実施期間の前半6年間のうち5年間（2013年度～2017年度、2012年度は経済産業省執行）を執行し、未来開拓研究プロジェクトの最終目標である光電子融合サーバボードを実現するために必要となる構成要素技術を確立するとともに、事業化に必要な国際標準を獲得することを2017年度までに達成すべき目標として設定し、プロジェクトの目標としている。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

本プロジェクトでは、情報通信機器・装置の低消費電力化と高速化の両立のため、従来は電気配線を通じて伝送されていたデータ信号を、装置内のチップ間の通信を含めて光信号で伝送するための技術を研究開発する。研究開発の実施にあたっては、研究開発テーマとして光集積回路を実現するための要素技術を開発す

る①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発、とそれらを統合し、全体システムとして動作させるための技術を開発する②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発に大別して実施することとした。それぞれの研究開発内容について、以下で説明する。

研究開発項目① 「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」

1. 研究開発項目の概要

機器の電気配線を光化した光配線技術と電子回路技術を融合させた光エレクトロニクス実装システム技術を実現するには、これまでにないサイズ、特性を示す光要素部品やそれを駆動するための電子回路、LSI チップの搭載方法や光信号の取出し技術、およびそれらの作製技術等を新たに開発することが必要である。本研究開発項目では、機器の電気配線を光化した光配線技術と電子回路技術を融合させた光エレクトロニクス実装システム技術の根幹である光電子集積インターポーザ、光電子ハイブリッド回路基板等を実現するための上記要素技術を開発するため、以下の研究開発を実施する。

2. 研究開発項目の具体的内容

(i) 実装基盤技術

(a) 光エレクトロニクス実装技術

電気配線と光配線が融合した光電子ハイブリッド回路基板の作製技術、高密度の光・電気のインターフェースを備えた光電子集積インターポーザを光電子ハイブリッド回路基板に実装するための実装技術とインターフェース技術、および、高信頼、低コスト化を実現する設計・方式・製造装置を開発する。また、光電子集積インターポーザとLSIを接続するインターフェース技術、および光電子ハイブリッド回路基板間を接続する高集積コネクタ技術を開発する。さらに汎用電気インターフェースに対応した光素子駆動アナログ電子回路を開発し、ロジックLSIに搭載するためのアナログ電子回路技術の開発を行う。

(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術

光トランシーバや光電子集積インターポーザ等を実現する基盤技術として、光導波路、光源、光変調器、受光器、光入出力素子、合分波器などの超小型要素光素子を開発すると共に、これらを高密度集積する技術を開発する。また、光信号の並列化、多重化、多値化についても検討を行い、インターポーザ上での大容量信号伝送技術を開発する。さらに、ロジック、メモリ等の電子回路チップの搭載が可能で、光トランシーバを高密度に集積した、低消費電力で低コストな光電子集積インターポーザを形成する基盤技術の開発を行う。

(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術

大規模データセンタ内の筐体間接続、データセンタ間接続に向けた、100Gbpsの伝送容量を持つデジタルコヒーレント送受信モジュール実現のための信号処理回路と光回路に関する基盤技術を開発する。

(d) 光エレクトロニクス回路設計技術開発

光回路技術と電子回路技術を融合した新しい光エレクトロニクス回路の設計技術に関し、光、電子、それぞれの回路の最適設計を効率的に行うための統合設計環境を実現する基盤技術を開発する。さらに、本統合設計環境を本事業内の研究チームで利用可能とするための支援体制、スキームを整備する。

(ii) 革新的デバイス技術

[革新的光源・光検出器技術]

光電子集積インターポーザの光源、受光器の高性能化に向け、シリコン基板上量子ドットレーザ技術とその集積化技術の開発を行うとともに、高感度受光器に関する技術開発を行う。

[革新的光変調器技術]

光電子集積インターポーザの光変調器の高性能化に向けた光制御技術として、新原理に基づく次世代光変調器を開発する。

[革新的光配線技術]

光電子集積インターポーザの光導波路の高機能化に向けた光配線基盤技術として、フォトリソナノ構造等を用いた光配線技術の開発を行う。

[革新的光エレクトロニクス回路技術]

光電子集積インターポーザの光回路を高機能化する機能可変型光エレクトロニクス回路の基盤技術として、サーバ回路の再構成を可能とする光フィールドプログラマブルゲートアレイ技術、およびそのための要素デバイスの開発を行う。

[革新的光スイッチングデバイス技術]

大規模光電子集積インターポーザで実現されるサーバ回路におけるデータ通信の高効率化に向け、CPU間等の効率的なデータ転送を可能とする光ルーティング技術実現のためのハイブリッド集積光スイッチングデバイス技術、超高速集積光信号処理デバイスの開発を行う。

3. 達成目標

光電子集積インターポーザ、光電子ハイブリッド回路基板、および、それぞれの要素技術を組み込んだデバイスの集積化技術を開発することにより、電気配線の1/10の低消費電力化・高速化(1mW/Gbps)を達成する目処を得るとともに、1/100以下の小形化実現のための要素技術を確立する。また、機器間光インターフェースにおいて、

100Gbps/chの高速伝送及び現状の光トランシーバモジュールの消費電力（300W程度）を1/5～1/10まで低減できる低消費電力化技術を実現する。

各開発項目は開発期間を二期に分け、それぞれの期間で目標を定めて技術開発を行う。

(i) 実装基盤技術

(a) 光エレクトロニクス実装技術

多数の光デバイス・電子デバイスが搭載されたシリコンフォトニクスによる光電子インターポーザおよび光電子インターポーザを搭載した光電子ハイブリッド回路基板を実現するための基盤技術を開発する。

【中間目標】（平成26年度末）

小型の高速・低消費電力光トランシーバと数十mm角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立する。

【最終目標】（平成29年度末）

5cm×5cm程度の光電子ハイブリッド基板上にLSIを搭載するモジュール化技術を確立し、LSIモジュールでの高速光インターコネクトを実現する。

(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術

超高速のデータ伝送を行う光電子集積インターポーザを実現するため、シリコンフォトニクス技術を用いた光集積回路技術を開発するとともに、ロジックLSI、メモリLSI、光デバイス等を光電子集積インターポーザ上に高密度集積するための集積化技術を実現する。

【中間目標】（平成26年度末）

光信号の並列化技術、多重化技術を開発し、大容量信号伝送を実現するための基盤要素技術を確立する。また、低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確立する。

【最終目標】（平成29年度末）

多数の光素子を集積した光電子集積インターポーザの大容量伝送を実現するための基盤集積技術を確立する。

(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術

大規模データセンタ内の筐体間、データセンタ間の大容量通信を可能とする小型デジタルコヒーレント光トランシーバに必要な信号処理回路、光回路技術を平成28年度までに確立する。

【中間目標】（平成26年度末）

100Gbps動作に対応するDSP-LSIと集積光送受信デバイスの試作を行い、基本性能評価と問題点の抽出を行う。

【最終目標】（平成28年度末）

低消費電力DSP-LSI最終プロトタイプを実現するとともに、データセンタ間

通信向け低消費電力100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバを実証するための要素技術を確立する。

(d) 光エレクトロニクス回路設計技術

光回路技術と電子回路技術を融合した新しい光エレクトロニクス回路を効率的に設計するための光エレクトロニクス統合設計環境を実現し、プロジェクト内での活用を可能とするとともに、本プロジェクト成果事業化時に適用できる効率的な設計フロー構築のための基盤技術を確立する。

【中間目標】(平成26年度末)

マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境の基本構成を構築し、統合設計を行うための基本的なフローの実証を行う。また、光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携TCADの基本構造を確立する。

【最終目標】(平成29年度末)

光デバイス設計用電子・光連携TCADと光電子集積インターポーザの設計を可能とする統合設計環境を連携させ、基本実装構造に関するデータベース(デザインキット)を整備し、光電子集積インターポーザを効率的に設計可能とする。

(ii) 革新的デバイス技術開発

光電子集積サーバの高性能化を可能とする光電子集積デバイスの小形化・低消費電力化・高性能化を非連続的に実現できる、挑戦性の高い革新的デバイス技術として、以下の技術開発を実施する。なお、当該技術開発に関しては、その開発の性質等を考慮し、技術開発の進捗度、本研究開発事業内での展開の可能性等の観点から、必要に応じて見直しを適宜実施するものとする。

[革新的光源・光検出器技術]

光電子集積インターポーザの光源、受光器の高性能化に向けてシリコン基板上量子ドットレーザ技術とその集積化技術の開発を行う。

【中間目標】(平成26年度末)

温度安定シリコン上量子ドットレーザの基盤技術開発を進め、シリコン導波路結合型単チャンネル量子ドットレーザを実現する。また、超高感度受光器の基盤技術として受光器における暗電流抑制効果を実証する。

【最終目標】(平成29年度末)

光電子集積サーバ用の集積化光源への展開に向け、量子ドットレーザアレイを実現するとともにシリコン系基板上に直接成長した量子ドットレーザを試作する。また、導波路型受光器における暗電流抑制技術を実現する。これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化

する。

[革新的光変調器技術]

光電子集積インターポーザの光変調器の高性能化に向けて、新原理に基づく次世代超小型光変調器の開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積サーバに使用する光電子集積インターポーザの光変調器の超小形化を可能とする新原理に基づく変調器として、10Gbps程度の高速動作を実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

超小型高速変調器としてLN変調器を凌駕する実用性能を得る。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光配線技術]

光電子集積インターポーザの光導波路の高機能化に向けたナノスケール光配線基盤技術として、フォトニック結晶構造等を用いた信号伝搬制御等に関する高度な光配線技術の開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積サーバの配線密度を飛躍的に高めることできる3次元光配線技術において、層間方向への伝搬機能が可能であることを実証する。

【最終目標】（平成29年度末）

3次元光配線技術として垂直方向と水平方向の伝搬機能の統合を実現する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光エレクトロニクス回路技術]

光電子集積インターポーザの光回路を高機能化する機能可変型光エレクトロニクス回路の基盤技術として、光回路の再構成を可能とする光フィールドプログラマブルゲートアレイ技術、およびそのための要素デバイスの開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

ハイブリッド回路基板上における半導体レーザの高効率化を行うとともに複数の光増幅器が並ぶアレイデバイスを実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

異なる機能の光回路を同一回路基板上に集積し、光FPGAコンセプトを実証する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光スイッチングデバイス技術]

大規模光電子集積インターポーザで実現されるサーバ回路におけるデータ通信の高効率化に向け、CPU間等の効率的なデータ転送を可能とする光ルーティング技術実現のためのハイブリッド集積光スイッチングデバイス技術、超高速集積光信号処理デバイスの開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

サーバ回路におけるデータ通信の高効率化を可能とする導波路クロスバー型をベースとした超小型光スイッチを試作し、スイッチング動作を実証するとともに、超高速光信号処理デバイス実現にむけた基本的な論理動作を実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

光スイッチマトリクス of 低電力化、光信号処理デバイスの10Gbps程度での動作を実証する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

研究開発項目② 「光エレクトロニクス実装システム化技術の開発」

1. 研究開発項目の概要

未来開拓研究プロジェクトで目指す小型、高速、低消費電力の光電子融合サーバを実現するには、それに適したシステムアーキテクチャを見出すとともに、運用信頼性のある実用性の高い技術の開発が必要である。

本研究開発では、光配線導入による低消費電力化や高速化などのメリットを生かすサーバ等のシステムアーキテクチャの要件・課題を抽出し、研究開発項目①「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」の要素技術を用いてシステムを構築するための基盤技術を開発する。これにより、システムの実用性を検証するとともに、要素技術開発にフィードバックすることで、完成度の高い技術の効率的な開発を実現する。

2. 研究開発の具体的内容

(i) システム化技術

(a) サーバボードのシステム化技術開発

データセンタレベルでの運用が可能な、多種のLSIを高密度集積した光電子集積インターポーザを光電子ハイブリッド回路基板上に搭載した、小型・高速動作・低消費電力光電子融合サーバボードを実現するための基盤技術を開発する。また、高速ストレージインターフェースに適応する光インターフェースと大容量高速NANDデバイスを搭載した光インターフェース付き大容量SSDを実現するための基盤技術を確立する。

(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発

光送受信システムを内蔵し、光ケーブルと電気コネクタを実装した光トランシーバを開発し、アクティブ光ケーブル（AOC）を実現する。さらに、光トランシーバを集積した光電子ハイブリッド回路基板上に、既存ロジックLSIを実装した光ケーブル付きLSIを開発する。

(c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発

低消費電力DSP-LSIと集積型送受信光デバイスをモジュール化したデータセンタ間接続用光トランシーバの実現を目的に、高周波実装回路技術と、変調器／ドライバ、受信フロントエンド等のデバイス制御技術を確立し、小型で低消費電力の100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバを実現する。

(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

シリコンフォトリソ技術を用いたアクセスネットワーク用集積光エレクトロニクスチップを開発し、企業間ネットワーク接続機器に適用する一芯双方向波長多重トランシーバのシステム化技術を確立する。

(ii) 国際標準化

国際競争力を確保するために、諸外国での同種の研究開発プロジェクトの現状を分析するとともに、プロジェクトの進展状況を踏まえ、成果の優位性を保つために国際標準化を積極的に推進する。

3. 達成目標

電気配線を用いたサーバボード比で消費電力が3割削減でき、データセンタレベルの運用が可能な、多種のLSIを高集積化した小型・高速動作・低消費電力な光電子融合サーバボード等を実現するため基盤技術を開発し、光電子融合サーバボード実現のための目処を得ることを目標とする。また、順次実用化する開発成果の事業化に必要な国際標準の提案を行う。

各開発項目は開発期間を二期に分け、それぞれの期間で目標を定めて技術開発を行う。

(i) システム化技術

(a) サーバボードのシステム化技術開発

電気配線を用いたサーバボード比で消費電力が3割削減でき、データセンタレベルでの運用が可能な光電子集積サーバボード実現のための基盤技術を開発する。多種のLSIが高密度集積した光電子集積インターポーザを光電子ハイブリッド回路基板上に搭載した小型・高速動作・低消費電力光電子集積サーバボードを実現するための課題抽出を行い、課題解決の目処を得る。また、高速ストレージインターフェースに適応する光インターフェースと大容量高速NANDデバイスを搭載した光インターフェース付き大容量SSDを実現するための基盤技術を確立する。

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積技術を最大限に活かすために光インターコネクションに要求される伝送スペック（変調速度、多重度、チャンネル数など）、および、光電子インターポーザの回路冷却に関する基本要件を明らかにする。また、光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ実装基板からなるハイブリッド型の光インターフェース付きSSDを試作し、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する。

【最終目標】（平成29年度末）

光電子集積サーバボードにおける伝送機能の主要部分からなる送受信部を試作し、要求スペックを満たす光伝送を実証する。また、光電子集積インターポーザに積層型のストレージチップを実装した光インターフェース付きSSD技術を確立する。

(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発

光ケーブルと電気コネクタを実装した光トランシーバによるアクティブ光ケーブルの実現と、光トランシーバとロジックLSIを実装した光ケーブル付きLSIの実現に向け、次の開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

小型光トランシーバを搭載したアクティブ光ケーブル（AOC）を完成させ、筐体間接続における実用性を実証する。また、標準化動向を考慮しながら、光トランシーバとロジックLSI間の電気伝送に関するインターフェース仕様を決定する。

【最終目標】（平成29年度末）

LSIと光トランシーバの接続構造を決定する。また、策定した設計基準に基づき既存ロジックLSIを搭載できる基板を設計・試作し、光ケーブルを用いたLSI搭載基板間光接続を実現する。

(c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発

低消費電力DSP-LSIと小形集積型送受信光デバイスをモジュール化したデータセンタ間接続用トランシーバの実現に向け、次の検討を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

一次試作の光デバイスおよびDSP-LSIを用いたトランシーバを試作し、デバイス制御動作を検証するとともに改良・完成度向上に向けた指針・フィードバック事項を抽出する。

【最終目標】（平成28年度末）

抽出した技術課題を解決し、目標である小型、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する。

(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

シリコンフォトリソ技術を用いた集積光エレクトロニクスチップを開発し、企業間ネットワーク接続機器に適用する一芯双方向波長多重トランシーバを実現するための基盤システム化技術を確立する。

【中間目標】（平成26年度末）

シリコン光導波路による波長合分波器を用いて1.25Gbpsの一芯双方向光トランシーバを実証する。

【最終目標】（平成29年度末）

シリコン光導波路による双方向多重用合分波器と波長多重用合分波器を組み合わせて集積試作し、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するとともに、企業間ネットワーク向け波長多重合分波器実用化のための要求課題を抽出し、解決の目処を得る。

(ii) 国際標準化

本プロジェクトでの開発成果の事業化に必要な各種インターフェースの標準化を獲得するため、次のような標準化活動を実施する。

【中間目標】（平成26年度末）

光インターコネクトに関する標準化団体（OIF (Optical Internetworking Forum)、IEEE 802.3 (Next gen 100G Optical Ethernet Study Group)) に参画し、「キーメンバーコミュニティ」におけるプレゼンスを確立する。また、100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバに関する標準化を推進する。

【最終目標】（平成29年度末）

本プロジェクトの成果である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を行う。

2.2 研究開発の実施体制

(1) 実施体制

プロジェクト目標の達成には多くのブレークスルーが必要であることを考慮し、次のような観点から研究開発の実施体制を構築している。

- ① それぞれの研究開発テーマについて最高のポテンシャルを有する研究者を企業・機関のレベルを超えて結集させ、ドリームチームを結成する。
- ② それぞれの研究開発テーマ間のみならず、実装基盤技術とシステム化技術の研究開発テーマが相互に関連しあって目標とするシステムが構築されてゆくことから、相互に緊密な連携をとって研究開発を推進できるようにする。
- ③ 各企業・機関が所有する既存設備、ノウハウ等を有効に活用することにより、効率的かつ効果的な研究開発を可能とするとともに、できるだけ効果的な資金配分を実現する。
- ④ 参加企業・機関が一体となって標準化推進を進めるとともに、本研究開発成果の実用化・事業化をより確実なものとするため、国内外市場における事業戦略を策定しつつ研究開発を推進できるようにする。

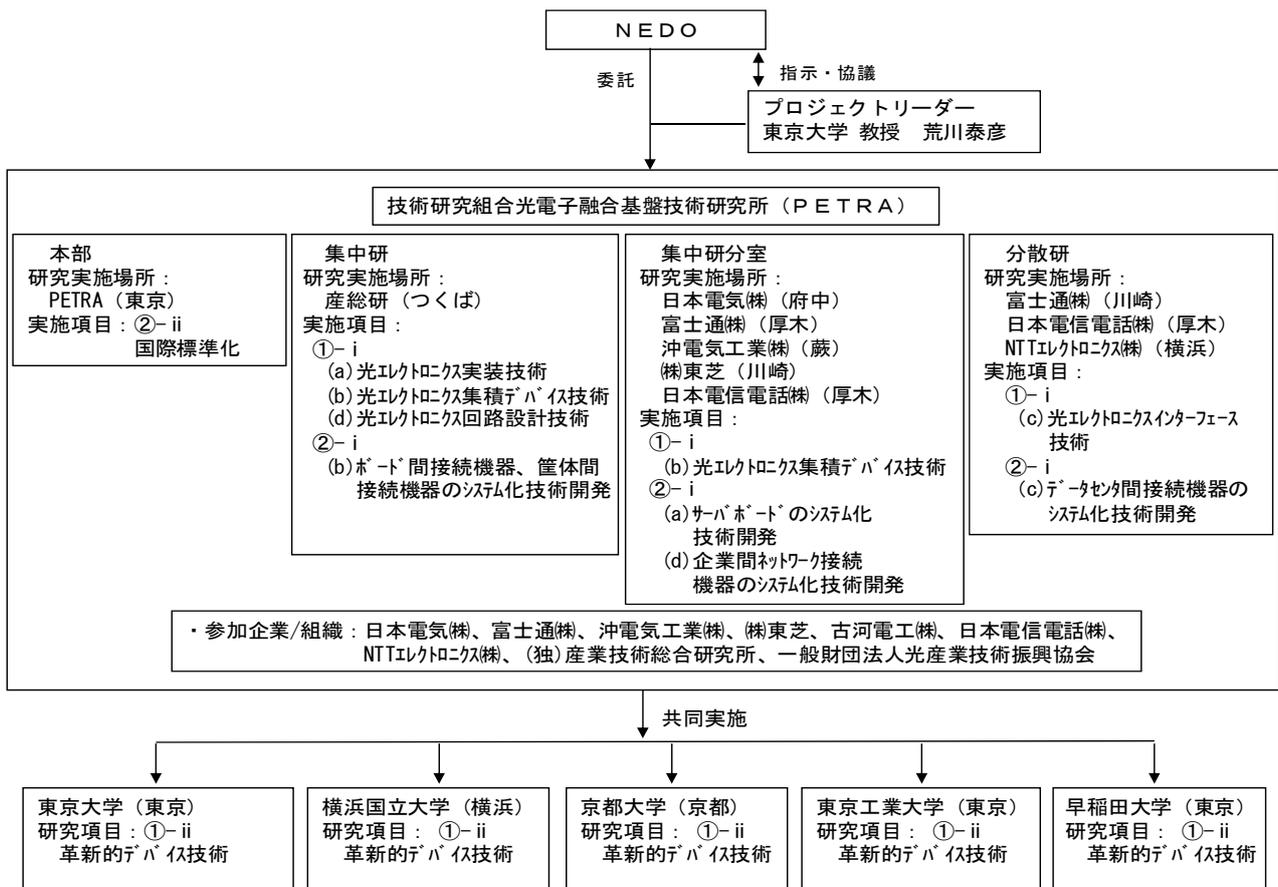


図 II-2.2-1 プロジェクトの研究開発拠点と研究項目

本プロジェクトの研究開発拠点と研究項目を図II-2.2-1に示す。本プロジェクトは技術研究組合光電子融合基盤技術研究所（以下、PETRAと略記する）にNEDOが委託して実施する事業である。プロジェクトの研究員は、PETRA組合員である日本電気株式会社、富士通株式会社、沖電気工業株式会社、株式会社東芝、古河電気工業株式会社、日本電信電話株式会社、NTTエレクトロニクス株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所（以下、AIST）、および一般財団法人光産業技術振興協会からの出向者等によって構成されており、集中研、集中研分室、分散研、本部において研究活動を行っている。

PETRA集中研は、AIST（つくば）に設置され、PETRA研究員がAISTの実験室、実験設備を活用し、集積デバイス技術、実装技術、回路設計技術等の研究開発を推進している。PETRA集中研分室、PETRA分散研では、組合員各社の実験室において本研究開発に参加しているPETRA組合員が保有する設備、ノウハウ等を活用しつつ、集積デバイス技術の一部、インターフェース技術、システム化技術についての研究開発を推進している。PETRA本部では、光協会と協力しつつ国際標準化活動を実施するとともに、本研究開発全体の一般事務を集中的に管理している。

開発プロジェクトの実施者構成と各実施者の研究項目を図II-2.2-2に示す。

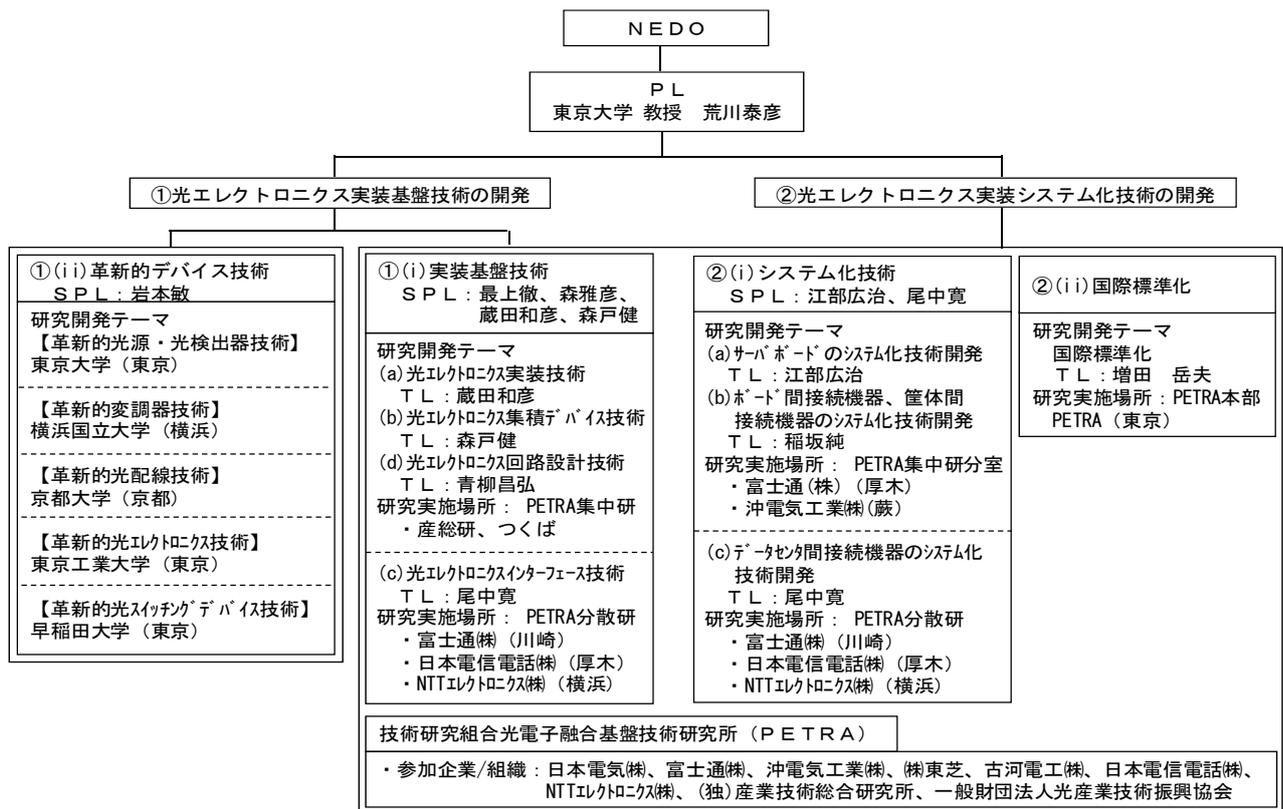


図 II-2.2-2 プロジェクトの実施者構成と各実施者の研究項目

研究開発の全体を統括するプロジェクトリーダー (P L) の下に、研究開発項目を統括するサブプロジェクトリーダー (S P L) を研究開発項目①に 5 名、研究開発項目②に 2 名置いている。また、それぞれの研究開発項目をさらに細分化した研究開発テーマそれぞれについて、その内容について責任を持つテーマリーダー (T L) を置き、プロジェクト全体の運営、研究開発進捗管理と迅速な意思決定、研究項目間の効果的な連携が可能になるように全体の実施体制を構築している。

本プロジェクトにおける研究総括責任者であるプロジェクトリーダーは下記の役割を担い、プロジェクト全体の運営を行っている。

1. 組織関係
 - (1) 研究体 (分室、集中研) の設置、廃止等の組織構成案の策定。
 - (2) 研究体の研究サブリーダー等の選任と解任。
2. 予算関係
 - (1) 各事業年度における予算配分の調整及び予算案の策定。
3. 研究計画・管理関係
 - (1) 各研究体のサブプロジェクトリーダー、テーマリーダーから構成される「マネジメント委員会」、「技術委員会」を開催し、年間計画の策定や研究進捗状況の管理及び総合調整を行う。

また、P E T R Aより3回／月程度の頻度でプロジェクトの進捗状況について報告を受け、プロジェクト全体の進捗状況を把握する。

- (2) P E T R Aとともにプロジェクト成果の実用化計画を協議するとともに、それを考慮した研究開発計画を策定する。
- (3) 年度毎のプロジェクト推進目標を策定し、これを管理／フォローアップを実施する。

4. 研究成果関係

- (1) 特許、論文、学会発表、標準化寄与文書、新聞発表、展示会出展等のプロジェクト成果の計画策定と実績の管理実施。

5. その他

- (1) プロジェクト活動の啓蒙・啓発事業として、ワークショップやシンポジウム等の企画立案と実施。
- (2) 経済産業省、N E D O、大学等の各種関係会議やヒアリング等への対応及び総括。

(2) 共同実施

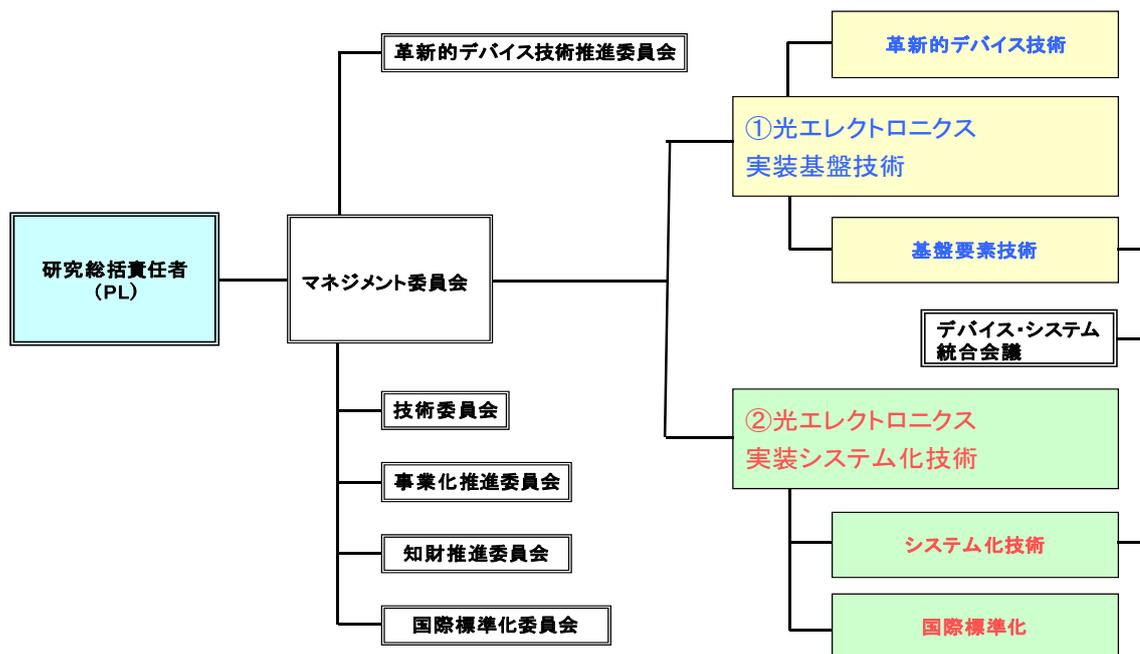
研究開発項目①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発において研究開発を実施する革新的デバイス技術については、その分野で先進的な取り組みを行っている東京大学（革新的光源・光検出器技術）、横浜国立大学（革新的変調器技術）、京都大学（革新的配線技術）、東京工業大学（革新的光エレクトロニクス技術）、早稲田大学（革新的光スイッチングデバイス技術）とP E T R Aが共同研究契約を締結し、研究開発を実施している。

2. 3 研究の運営管理

本プロジェクトは、F I R S Tプログラムの一つである「フォトニクス・エレクトロニクス融合システム基板技術開発（P E C S T）」と連携し、その技術成果を活用しつつ光電子集積システムの実現に必要な基本技術要素を研究開発する①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発と、その技術要素を統合してシステムとして実現するための②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発が、相互にフィードバックを行いながら効率的、効果的に研究開発を実施し、最大化された成果を生み出すとともに、成果を早期に実用化することを目的に運営されている。

その目的の実現のため、次に示す組織体を構成し、プロジェクトを推進している（図Ⅱ-2.3-1）。

- ①プロジェクト運営に係る最高議決機関としてマネジメント委員会を設置。
- ②プロジェクトテーマの研究開発を総合的に企画、調整する技術委員会を設置。
- ③デバイス技術とシステム技術の研究内容、進捗について速やかなフィードバックを行うとともに精度の高い研究開発工程管理を行うデバイス・システム統合会議を設置。



図Ⅱ-2.3-1 プロジェクトの運営体制

④大学と共同実施している革新的デバイス技術とP E T R A開発との関係について企画、調整を行う革新的デバイス技術推進委員会を設置。

⑤プロジェクト参加組合員による成果の効果的な実用化を実現するため、プロジェクトの研究開発と参加組合員による実用化活動の方向性等について企画、調整する事業化推進委員会を設置。

⑥プロジェクト成果の早期実用化を実現するため、プロジェクトに指針を示し、サポートを行う委員会として、国際標準化委員会、知財推進委員会を設置。

また、新規市場の開拓を伴う本研究開発成果の実用化を促進するため、その実用化については、研究開発終了後の企業による実用化努力のみならず、研究開発途上でも実用化可能な技術についてはバイプロダクトとして積極的に実用化を行なうこととしている。

本研究開発の成果に係わる知的所有権の取得、権利の帰属、実施等に関するルールは、「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」の研究開発事業に関する知的財産権取扱規程」として、知財推進委員会にて策定され、運用されている。共同実施を行っている大学における知的財産権の取扱いについても、P E T R Aと個々の大学間で結ばれる共同研究契約にて規定されており、それに基づいた運用がなされている。

表Ⅱ-2.3-1 NEDO-実施者間の研究開発マネージメント

事業化戦略会議	項目	内容
	出席者	NEDO、PL、実施者メンバー、経済産業省
	2013年度実績	3回
	内容	成果事業化戦略、メンバー間連携戦略、新会社設立戦略、他
個別ヒアリング	項目	内容
	出席者	NEDO、実施者メンバー
	2013年度実績	25回
	内容	実施者個別の実用化取組状況、研究開発進捗確認、他
全体ヒアリング	項目	内容
	出席者	NEDO、PL、実施者メンバー、経済産業省
	2013年度実績	3回
	内容	研究開発進捗・計画確認、実用化に向けた取り組み確認、他

なお、知的財産権取得規程、大学における知的財産権の取扱い規定の策定に当たっては、未来開拓研究プロジェクトの目的の一つである成果の実用化による国益の実現を阻害することが無いように、実用化時における必要な知的財産権の円滑な実施を可能とすることを基本的な方針として事前に定めている。その結果、定められた知的財産取得規程は、プロジェクト開始前に参加者が保有していた知的財産権の許諾に関する考え方や共同研究を行っている大学が取得する知的財産権の補償等の取扱い等についても考慮されたものとなっている。

NEDOと実施者とのディスカッション、情報交換を促進するために開催した会議等の状況を表Ⅱ-2.3.-1に示す。NEDOはこれらの会議等を通じて、研究開発の進捗状況の確認等を行うと共に、課題の共有や開発計画の見直し、加速資金の必要性、成果の実用化・事業化等について実施者と議論を行い、プロジェクトマネージメントに活用している。また、実施者間では、PETRA内の実施者間で行うデバイス・システム統合会議等で研究開発状況、進捗などについて報告し、議論を行うことで緊密かつ効率的に研究開発を推進している。

2. 4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネージメントの妥当性

プロジェクトの開始にあたり、NEDOは経済産業省と共に光素子・光デバイス、光モジュール、光通信等の光通信技術において強みを持つ企業、スパコン、サーバ、ストレージ、コンピュータネットワーク等の情報処理関連装置技術等において、研究面、事業面で共にトップレベルの強みを持つ企業が参加した事業の実施体制を構築し、光通信技術と情報処理装置技術との深い融合を実現するために必要な研究開発とその成果の実用化の達成に対する蓋然性を高めている。

また、プロジェクト参加企業等において事業化に深い知識を持つ人員を委員とし、必要に応じてプロジェクト外部の有識者も交えて、プロジェクト成果の実用化・事業化につい

て継続的に議論を行う事業化推進委員会等を設置し、実用化の観点からプロジェクト成果の実用化に求められる要件や事業化のための戦略等について議論を進めている。

プロジェクトで開発に取り組んでいる光電子融合技術は、汎用性の高い技術であり、適用対象によっては途中段階の技術が十分有用な場合も想定されるとの認識で研究開発を行っている。また、光電子融合技術は未だ存在しない市場を切り開くものであるため、その普及には一定程度の時間も必要であることも予想される。従って、光電子融合技術のスムーズな普及をはかるため、経済産業省、NEDO、実施者間でプロジェクト成果の適用可能性のある対象の探索に努めるとともに、実用化・事業化戦略に関して継続的な議論を実施しており、研究開発途上でも実用化の可能な技術についてはバイプロダクトとして速やかに実用化を図ることとしている。

また、研究開発成果の普及を促進しつつ国際競争力を確保するには、特許の取得と標準化について戦略的に進める必要があるとの認識である。このため、知財推進委員会と国際標準化委員会をプロジェクトに設置して、プロジェクトの実用化戦略と連携した知財戦略、標準化戦略を策定し、プロジェクト成果のオープン化、クローズ化を実践している。標準化への寄与文書（寄書）はプロジェクト開始後2年で37件を提出している。また、技術の実現性を示して標準化活動を支援するため、ECOC2013、OFC2014等の主要な国際会議において成果発表や、成果の展示を行った。OFC2014での展示デモ風景を図II-2.4-1示す。

連携プロジェクトであるPECS Tの成果活用に関しては、両プロジェクトの連携会議として設置されたガバニングボードにおいて、経済産業省、内閣府とともに協議を行い、PECS Tで取得された知財や人材等を効果的に活用するための取り決め等について整備を行った。



OFC2014のPETRAブースと展示風景

※OFC: Optical Fiber Communication Conference and Exposition

図II-2.4-1 国際会議での展示

3. 情勢変化への対応

情勢変化への対応としては、下記のような取り組みを行っている。

- 1) 国際競争力強化や実用化に資すべく本プロジェクトで開発を進めている要素技術の研究開発成果に基づき、当初の計画を変更する形で、実施方針の変更や加速資金の投入を実施し、光電子集積回路の大規模化プロセス技術、光トランシーバの省電力化技術の技術開発を積極的に推進した。これまでの研究予算の推移を表Ⅱ-3-1に示す。
- 2) 国際的な学会動向や、欧米を中心とした先進各国の国家プロジェクト動向、並びにロードマップ等の最新情報を入手することで、本プロジェクトの研究開発レベルのベンチ・マーキングの見直しを定期的に行い、実施計画・方針等の変更に反映させている。
- 3) 実用化の目処が見えた光デバイスは、プロジェクト終了を待たずに実用化の準備を進めている。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来産業への波及効果等について、事業項目毎に、外部有識者による研究開発の評価を実施する。具体的には本基本計画の対象期間においては、平成26年度、平成29年度に評価を実施し、評価結果を踏まえ、経済産業省と相談のうえ、事業の延長・加速・縮小や必要な体制の再構築などを含め、後年度の研究開発に反映することとしている。

表Ⅱ-3-1 研究開発費の推移

	経済産業省 直執行				合計
	2012年度	2013年度	2014年度	(単位:百万円)	
当初予算額	2,800	2,375	2,777	7,952	
契約額	2,800	2,453	2,999	8,252	

◆加速財源投入実績 (2013年度)

件名	金額 (百万円)	目的	成果
LSI搭載用大規模光電子集積回路の早期実証試作	300	光配線で結ばれた複数のLSIが搭載された大規模光回路の作製プロセス技術と光送受信技術の省電力化開発を前倒して開始し、大規模光回路実現の要件を世界に先駆けて抽出し、技術・知財・標準化等において競争優位を得る	従来の半導体技術では想定されていないサイズで光回路作製するための要件を抽出し、その基本的プロセス技術を確立した。また、光トランシーバに関し、25Gbpsの送受信動作で世界最高の省電力性能を実現した。

なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとしている。

Ⅲ. 研究開発成果、及びⅣ. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 事業全体の成果について

事業全体の成果については、研究開発項目間の関連性や事業化、実用化に向けた最終システムのイメージに合わせ、実施方針の研究開発項目を一部再構成して説明する。表Ⅲ-1-1 に示すように「①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」の中を「1-1 基盤要素技術」と「1-2 革新的デバイス技術」に大きく括り、「②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発」は「2 システム化技術」の下に「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」と「2-3 国際標準化」を置いている。「2-2 光電子集積光通信システム」の中に、実施方針では「①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」の中にある「(i) 実装基盤技術(c)光エレクトロニクスインターフェイス技術」を含め、「2-2-1 データセンタ間接続機器」としてまとめた形にしている。

表Ⅲ-1-1 成果のまとめの構成と実施方針の研究開発項目

発表説明の研究開発項目	実施方針の研究開発項目
①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発	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 1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術	(i)実装基盤技術 (b)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	(a)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	(d)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	(ii)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
2. システム化技術 2-1 光電子集積サーバシステム	(i)システム化技術 (b)ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発 (a)サーバボードのシステム化技術開発
2-2 光電子集積光通信システム	(i)実装基盤技術 (c)光エレクトロニクスインターフェイス技術 (c)データセンタ間接続機器のシステム化技術開発 (d)企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発
2-3 国際標準化	(ii) 国際標準化

研究開発成果については、知的財産権等と標準化活動で、図Ⅲ-1-1 に示す取り組みを行っている。また研究開発成果のまとめと成果の普及として、学会活動や展示会を表Ⅲ-1-2 にまとめて示す。

知財マネジメント

- 知財規程の制定。内閣府・最先端の知財を継承。
- プロジェクトIPは原則としてPETRAが管理し、参加企業保有のIPは、本成果の事業化推進のために実施許諾を前提
- 事業適合性判定(日本知財仲裁センター弁理士、弁護士23組)で、上記知財が国内関連特許(約15万件)に対し、「有効」裁定
(H25年10月)

オープン・ブラックボックス戦略

- 国際標準化：光と電気のインターフェースの構造的な仕様
- 特許化：コア技術であるシリコンフォトニクスによる集積光回路と実装構造
- ノウハウとしてブラックボックス化：主要実装構造の特許化と、製造方法を、固有の実装装置内に封じ込め、ブラックボックス化

図Ⅲ-1-1 知的財産権等と標準化への取り組み

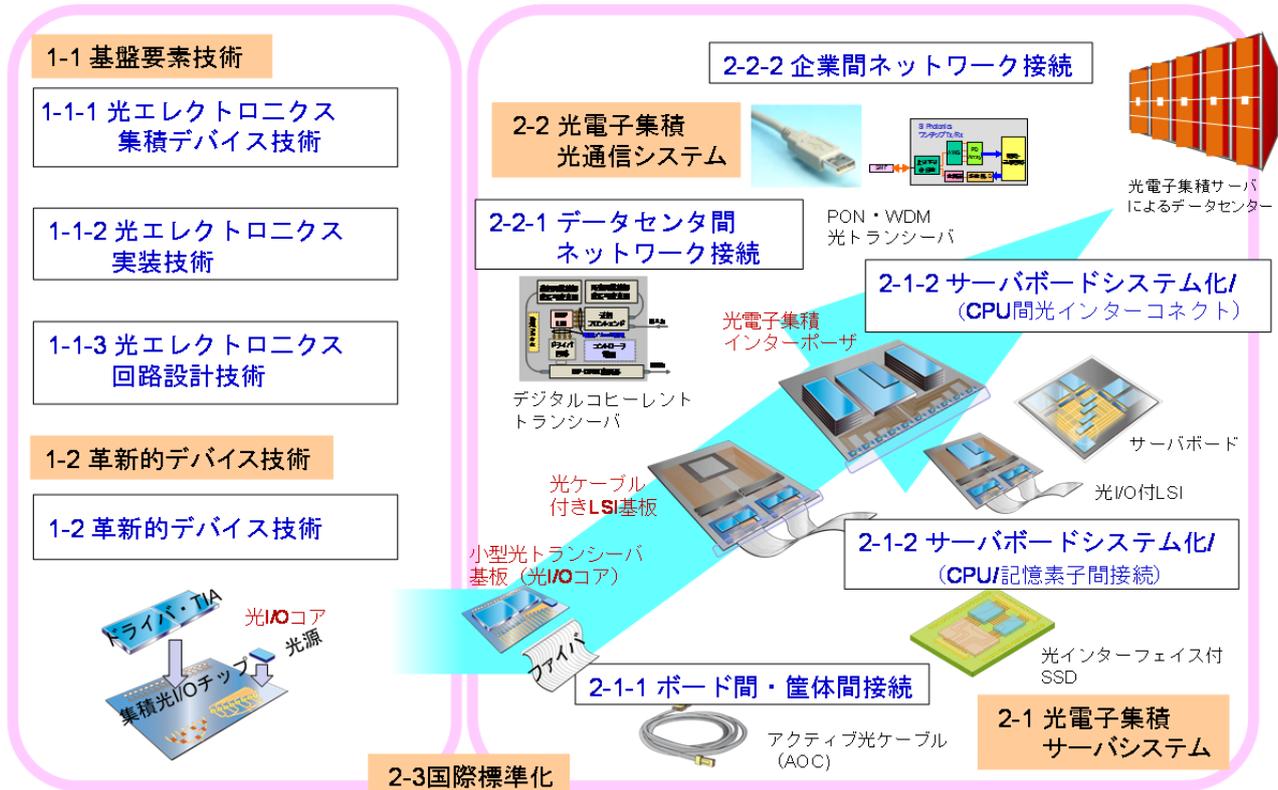
表Ⅲ-1-2 事業全体の成果と成果の普及

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	36	13	6	52	37	7	4

初めに、本プロジェクトの開発テーマと各テーマの技術開発項目の関係を図Ⅲ-1-2 に示す。大きくは①光エレクトロニクス実装基盤技術と②光エレクトロニクス実装システム技術に分かれている。基盤技術開発と実用化・事業化に向けたシステム化技術を並行・連動開発することによって、相互に研究開発の進捗状況や方向性の確認を行い、効率的な研究開発を行うようにしている。

また、研究開発の進捗状況をまとめたものを表Ⅲ-1-3、表Ⅲ-1-4、表Ⅲ-1-5、表Ⅲ-1-6、表Ⅲ-1-7 に示す。達成度については、当初の計画を前倒しで達成し、近々の事業化の目処がたったテーマを右欄に大幅達成として◎で示している。

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



図Ⅲ-1-2 技術開発項目の関係

表Ⅲ-1-3 光エレクトロニクス実装基盤技術の進捗状況 1

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

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術	光信号の並列化技術、多重化技術を開発し、大容量信号伝送を実現する基盤要素技術を確立。低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確立。	5mm角で 並列25Gbps×12chの送信・受信素子を開発、帯域密度で世界最高。世界最高の広帯域・平坦な4波長合分波器の多重化技術を開発し、大容量伝送の基盤要素技術を確立。世界初のシリコン上小型リングレーザの10Gbps動作達成と、世界最高の低損失シリコン導波路(0.5dB/cm)を実証、低コスト化技術を確立。	○
1-1-2 光エレクトロニクス実装技術	小型の高速・低消費電力光トランシーバと数十mm角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立。	既存の1/3の消費電力5mW/Gbps、25Gbps/ch、サイズ5mm角の光トランシーバを実証(世界一の帯域密度: 1.2Tbps/cm²)。96芯ポリマー光回路を持つ50mm角の光電子ハイブリッド回路基板を開発、1300nm帯の波長で25Gbps信号伝送を実証(世界初)、基盤技術を確立。	○
1-1-3 光エレクトロニクス回路設計技術	マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境の基本構成を構築し、統合設計を行う基本的なフローの実証。光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携TCADの基本構造を確立。	マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境の基本構成を開発し、統合設計を行うための基本的な実証フローを構築。また、光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な電子・光TCADと電磁界シミュレータFDTDの連携機能を強化し基本構造を確立。	○

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

表Ⅲ-1-4 光エレクトロニクス実装基盤技術の進捗状況 2

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

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
[革新的光源・光検出器技術]	温度安定シリコン上量子ドットレーザの基盤技術開発を進め、シリコン導波路結合型単チャンネル量子ドットレーザを実現。超高感度受光器の基盤技術として受光器における暗電流抑制効果を実証。	シリコン基板上量子ドットレーザの高温動作(110℃まで)を実現。導波路構造上での量子ドットレーザの実現に成功(導波路結合:26年10月達成見込み)。また、 プラズマ酸化で形成したGe酸化膜パッシベーションによるGe受光器の暗電流低減 を実証。基板貼り合せにより高品質Ge層をSi基板上に集積することに成功。	○
[革新的光変調器技術]	光電子集積サーバに使用する光電子集積インターポーザの光変調器の超小形化を可能とする新原理に基づく変調器として、10Gbps程度の高速動作を実現。	フォトニック結晶スローライト変調器 を製作し、長さ100μm以下、電圧2V以下、消光比3dB以上の 10Gbps変調を実現 。同様の変調が25Gbpsでも得られる見通し。	○
[革新的光配線技術]	光電子集積サーバの配線密度を飛躍的に高めることのできる3次元光配線技術において、層間方向への伝搬機能が可能であることを実証。	3次元フォトニック結晶の[110]方位導波路を用いることで帯域幅150nmの層間伝搬が可能であることを実証。また 2次元フォトニック結晶共振器において光子寿命7.5ns、Q値900万を達成 。	○
[革新的光エレクトロニクス回路技術]	ハイブリッド回路基板上における半導体レーザの高効率化を行い、複数の光増幅器が並ぶアレイデバイスを実現。	リング共振器装荷型半導体レーザの発振を達成 し、光増幅器アレイの利得も確認。中間目標に向け効率を向上(H26年12月達成予定)。	○
[革新的光スイッチングデバイス技術]	サーバ回路におけるデータ通信の高効率化を可能とする導波路クロスバー型をベースとした超小型光スイッチを試作し、スイッチング動作を実証し、超高速光信号処理デバイス実現にむけた基本的な論理動作を実現。	シリコン光スイッチのための交差導波路の基本的な導波特性を達成 。超高速光信号処理用量子ドット光増幅器で約30dBの高利得、約100fsの高速応答を達成。集積化のための組成混合によりリング共振器を実現。	○

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

表Ⅲ-1-5 光エレクトロニクス実装システム化技術の進捗状況 1

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

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
2-1-1 ボード間接続機器、筐体間接続	小型光トランシーバを搭載したアクティブ光ケーブル(AOC)を完成させ、筐体間接続における実用性を実証する。また、標準化動向を考慮しながら、光トランシーバとロジックLSI間の電気伝送に関するインターフェース仕様を決定。	AOC内に小型光トランシーバ(光IOコア)を内蔵 するための実装/光接続構造/冷却機構の開発完了。筐体間の25Gbpsでの光伝送を実証予定(H27年3月)。市場のAOC標準化動向に準じたLSIとの25Gbps高速電気インターフェース仕様を決定。	○
2-1-2 サーバボードのシステム化技術	光電子集積技術を最大限に活かすために光インターコネクションに要求される伝送スペック(変調速度、多重度、チャンネル数など)、および、光電子インターポーザの回路冷却に関する基本要件を明確化。 また、光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ実装基板からなるハイブリッド型の光インターフェース付きSSDを試作し、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。	25Gbps×4ch、12chを光IOコアに集積する基本スペックを決定。 LSIとの25Gbpsの高速電気信号の伝送仕様、光電子集積インターポーザとしての冷却構造の基本要件を決定 。 総帯域Tbps超級の大容量信号を高密度伝送(800Gbps/cm)可能なCPU間光インターコネクトの基本要件は、CPU/パッケージ基板上に光IOを搭載であることを明確化。 CPU間の高密度伝送を想定した動作実証機を試作し、25Gbps動作を実証 。 光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ型SSDからなる ハイブリッド型光I/O付きSSDを試作し、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 。	○

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

表Ⅲ-1-6 光エレクトロニクス実装システム化技術の進捗状況 2

②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発
2-2 光電子集積光通信システム

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
2-2-1 データセンタ間 接続機器のシス テム化技術	100Gbps動作に対応するDSP-LSIと集積光送 受信デバイスの試作。 それらを用いたトランシーバを試作し、デバイス 制御動作を検証するとともに改良・完成度向上 に向けた指針・フィードバック事項を抽出。	世界初の20nmプロセスによる100Gbps動作のDSP-LSIを 設計・試作し、良好な動作を確認。 従来比で、容積1/2以下の小型光源パッケージ、容積1/3 以下の光受信器モジュール化技術を確立。 プラグラブルCFPタイプの100Gbpsデジタルコヒーレントラ 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。 完成度向上に向けパラ メータ最適化指針を得。データセンタ間を想定した 70kmか ら840kmの伝送実験を行い、エラーフリー動作を確認。 上記のデバイス・トランシーバの 早期事業化 予定	◎
2-2-2 企業間ネット ワーク接続機器 のシステム化技 術	シリコン光導波路による波長合分波器を用いて 1.25Gbpsの一芯双方向光トランシーバを実証。	双方向WDMフィルタは、1310nm帯アイソレーションでGE- PON規格を達成。アイソレータフリー光源は、伝送特性、反 射戻り光耐性共にGE-PON規格を達成。 双方向光トラン シーバ用集積チップの作製は平成26年度末に試作・評価 を完了予定。	○

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

表Ⅲ-1-7 光エレクトロニクス実装システム化技術の進捗状況 3

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

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
2-3 国際標準化	光インターコネクトに関する標準化団体 (OIF(Optical Internetworking Forum)、IEEE802.3 (Next gen 100G Optical Ethernet Study Group)) に参画し、「キーメンバーコミュニティ」おけるプ レゼンスを確立する。 また、100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシー バに関する標準化を推進。	Optical Internetworking Forum(OIF)及びIEEE802.3の 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。 国内外主要ベンダーと共同でLSIと小型光トラン シーバのインターフェース仕様策定に参画。 100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバに関する 標準化については、OIFにおいて4インチx5インチ MSA(Multi-Source Agreement)トランシーバの標準化提 案を行い、標準化文書(IA: Implementation Agreement) のエディタを担当。同文書の発行(2013年8月)により標準 化に成功。 OIFでは、これまでに31件の寄書提案を行い、 100Gbpsデジタルコヒーレント技術の標準化を主導。	○

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. 研究開発項目ごとの研究開発成果と実用化・事業化に向けての見通し及び取組みについて

以降に、①光エレクトロニクス実装基盤技術と②光エレクトロニクス実装システム化技術の個別テーマごとの研究開発成果と、実用化・事業化に向けての見通し及び取組みについて簡単にまとめた図面を添付する。

まず、図Ⅲ-2-1 に開発テーマの位置づけを示す。

2.1 光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

二つのテーマ 1-1 基盤要素技術と 1-2 革新デバイス技術に分けて示す。

1-1 基盤要素技術：

図Ⅲ-2-1-1： 1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術 多並列/多重化

図Ⅲ-2-1-2： 1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術 高密度・低コストインターポーザ技術
プロセス統合化基盤技術

図Ⅲ-2-1-3： 1-1-1 光エレクトロニクス実装技術 超小型光トランシーバ実装技術(光 I/O コア)

図Ⅲ-2-1-4： 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

図Ⅲ-2-1-5： 1-1-3 光エレクトロニクス実装技術 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：

図Ⅲ-2-1-6：革新的光源技術と革新的検出器技術

図Ⅲ-2-1-7：革新的変調器技術、革新的光配線技術、革新的光エレクトロニクス回路技術および
革新的光スイッチング技術

2.2 光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

システム化技術として、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と 2-3 国際標準化に分けて示す。

2-1 光電子集積サーバシステム：

図Ⅲ-2-2-1： 2-1-1 ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術

図Ⅲ-2-2-2： 2-1-2 サーバボードのシステム化 CPU 間光インターコネクト

図Ⅲ-2-2-3： 2-1-2 サーバボードのシステム化 CPU/記憶素子間の光接続

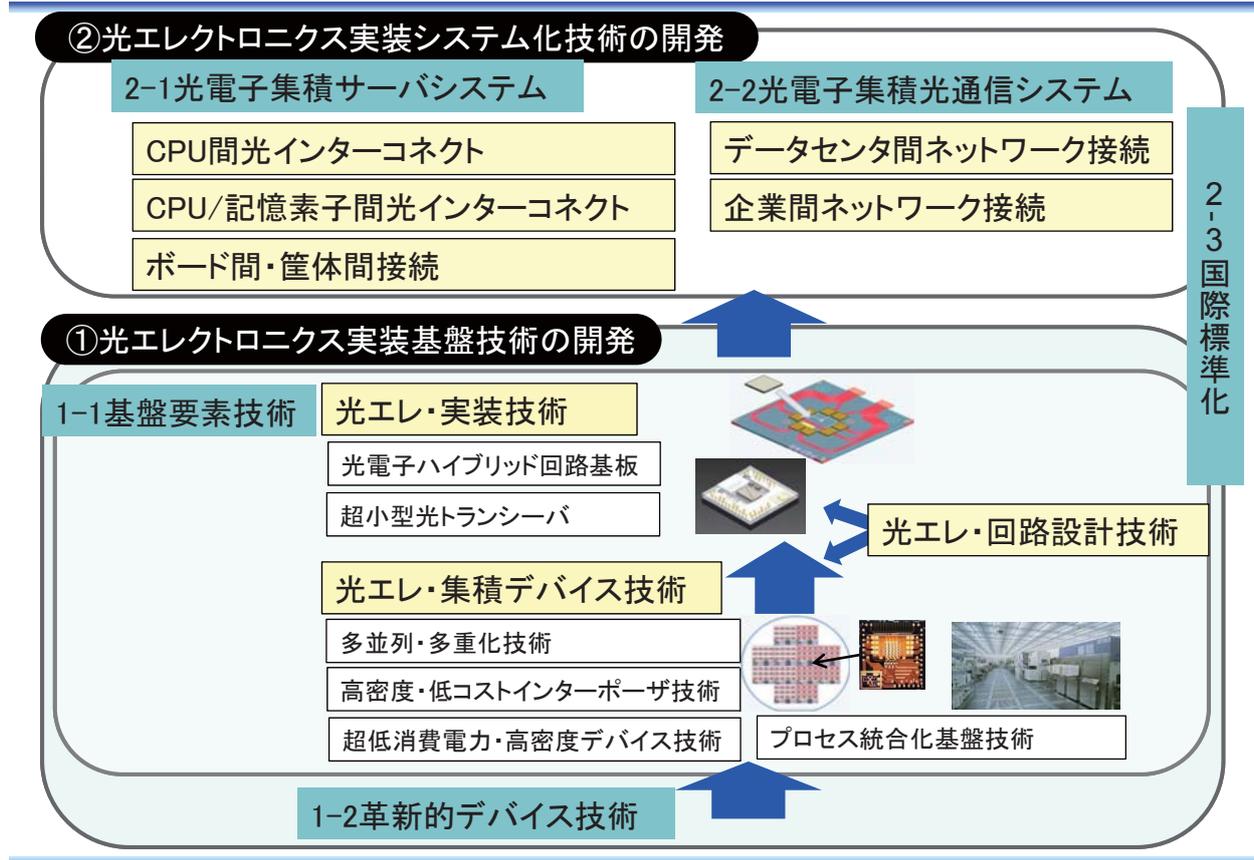
2-2 光電子集積光通信システム

図Ⅲ2-2-4(a),(b)： 2-2-1 データセンタ間接続機器

図Ⅲ2-2-5： 2-2-2 企業間ネットワーク接続機器

2-3 国際標準化

図Ⅲ2-2-6： 2-3 国際標準化



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 中間評価第1回分科会 (平成26年 9月30日)

図Ⅲ-2-1-1

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

多並列 / 多重化技術

12チャンネル集積光I/Oチップ

12チャンネル集積光I/Oチップ(送信)

小型チップサイズ5 × 5 mmでスループット300Gbpsの集積光I/Oチップを実現
光デバイスを、**従来比1/2の狭ピッチ集積化**

12チャンネル集積光I/Oチップ(受信)

4波合分波器

多段化による平坦化・低クロストーク化

液浸ArF露光での高精度プロセスで低位相誤差を実現
⇒フィルタの多段化が可能に

広帯域平坦なスペクトルを持つ4波長分波動作

透過帯域幅が**世界最高**
⇒広い温度で使用可能

目標の達成度

光信号の並列化、多重化技術を開発し、大容量信号伝送の基盤要素技術を確立。**中間目標達成。**

事業化の見通しと取組み

超小型光トランシーバ(光I/Oコア)として、PETRAでの事業化を計画。

システム化技術でプロトタイプを開発。事業化は富士通事業部門と議論中。

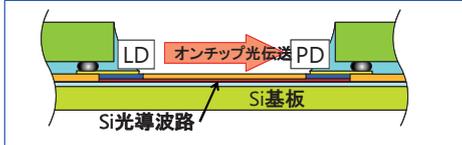
超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発 中間評価第1回分科会 (平成26年 9月30日)

1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

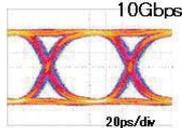
高密度・低コストインターポーザ技術

小型光素子のSi上集積化技術

化合物半導体レーザー・受光器のSi基板への集積



小型リングレーザの10Gbps変調動作

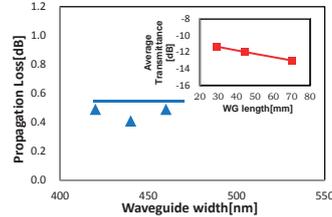


Si上の小型リングレーザの10Gbps動作は**世界初**

プロセス統合化基盤技術

CMOSプロセスでの集積光素子

300mmSi-CMOSプロセスによるシリコンフォトニクス高性能化



液浸ArF露光による高精度、高均一プロセスによる低損失化
伝搬損失<0.5dB/cmは**世界最高**

目標の達成度

高密度・低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確立。**中間目標達成。**

事業化の見通しと取組み

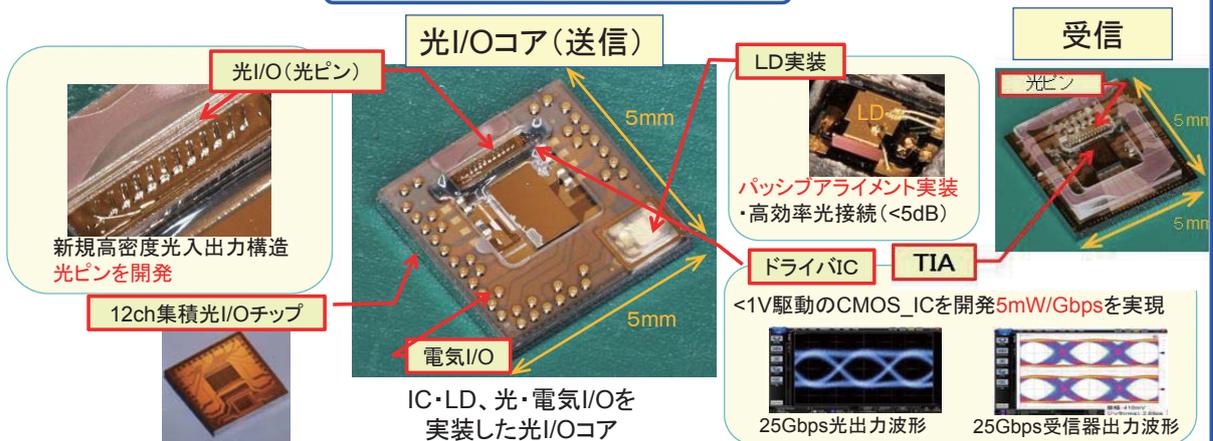
機器内、チップ間、チップ内に広範囲に適用できる技術として、実用化、事業化を目指す。

PJが目指す事業化シナリオに対応できる集積光 I/Oチップの大規模集積化技術を構築、集積光 I/Oチップを用いる装置の事業化に貢献。

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

実装技術(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は、他で発表の光トランシーバの**1/3の低消費電力化**達成

目標の達成度

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。**中間目標を達成。**

事業化の見通しと取組み

H27年度に、光トランシーバ(光I/Oコア)を製品レベルで完成させ、PETRAで事業化を計画。

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

ポリマー導波路配線技術

光I/Oコア用45° 光路変換ミラー

500 μm 光I/Oコア用45° ミラー

光電子集積パッケージ基板

ロジックLSIモックアップ
光I/Oコア
光ファイバアレー

光I/O付LSI基板 (H29目標)

ロジックLSI 光ファイバ結合部 (96芯)
光I/Oコア 8個

光コネクタ部分の96芯ポリマー(2.4Tbps)導波路アレーの断面写真

500 μm

光電子集積パッケージ基板内伝送

25Gbps/chの伝送を達成

- ・LSI基板に光I/Oコア接続用のポリマー光導波路を形成(光電子集積パッケージ基板)
- ・50mm角で96芯のポリマー光導波路(2.4Tbps/基板)を開発、25Gbps/ch伝送を達成

目標の達成度

数十mm角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立。中間目標達成。

事業化の見通し

光I/Oコアを複数個搭載した大容量(2.4Tbps)光配線が可能な、光I/O付LSI搭載基板として、FPGAを始めロジックLSIとの接続実証を行い、H29年度までに実用レベルの技術を完成させる。

1-1-3 光エレクトロニクス
回路設計技術

光エレクトロニクス回路設計技術

実装設計環境構築

マルチフィジクス対応の統合設計環境基本構成を構築

3D表示

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

光I/Oコア搭載用光デバイス設計ツール開発

電磁界シミュレータと電子デバイス三次元TCADを連携させた電子・光連携TCADの基本構造を確立

TCADによる解析結果をもとにデバイス構造の変化によるFDTD解析へ

FDTDからTCADへ反映したPNダイオードのIV特性

目標の達成度

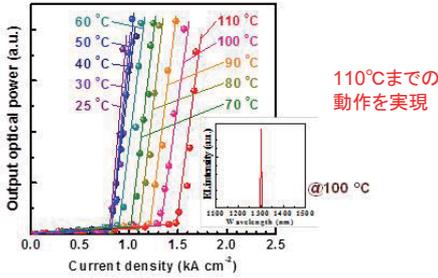
- ・統合設計環境の基本構成構築、これを用いた統合設計の基本的実証フローを構築。中間目標達成。
- ・光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携TCADの基本構造を確立。中間目標達成。

事業化の見通しと取組み

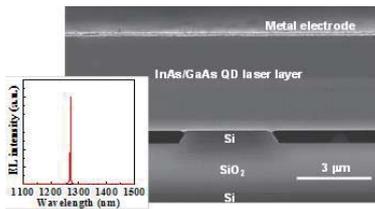
- ・PJ内での光デバイス、光エレクトロニクス実装システム設計での活用へ向け連携。
- ・PJ開発デバイス解析に必要な機能を構築し、プロジェクト成果活用企業の競争力強化に資する。

革新的光源技術(東京大学・荒川Gr)

シリコン基板上的量子ドットレーザにおいて100°C以上の動作を達成



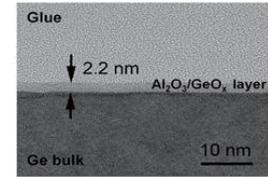
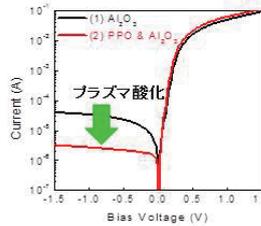
シリコン導波路構造上の量子ドットレーザを実現



- ・中間目標(温度安定動作): 達成済み
- ・中間目標(Si導波路結合型単チャンネルQDレーザ): 現在試作中。H26年度内に達成見込み

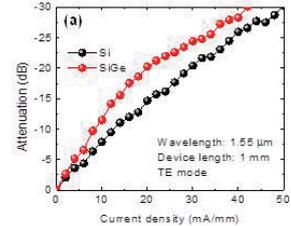
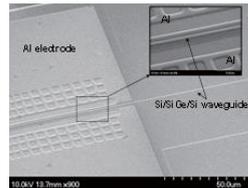
革新的検出器技術(東京大学・竹中Gr)

プラズマ酸化によるGe受光器の暗電流低減実証



表面リーク電流1 μA/cm以下

歪SiGe変調器の低電流駆動を実現

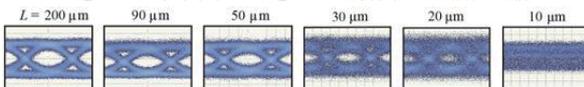


- ・中間目標(暗電流抑制効果実証)を達成
- ・基板貼り合わせを用いて、高品質Ge-on-Si基板を実現してゆく。
- ・Si以下の低電流駆動を達成
- ・歪SiGeを用いた屈折率変調増大を実証し、屈折率変調型デバイスを実現してゆく。

革新的変調器技術(横浜国立大学)

超小型フォトニック結晶変調器の10 Gbps動作

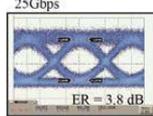
16 nmを超える波長範囲, 100 Kを超える温度範囲での動作も可能



長さ~100μm、電圧<2V、波長幅>10nmで>10 Gbps動作

損失を許容すれば25 Gbpsも可能

7 dBの付加損失でV_{pp} = 1.5 Vでも消光比 >3 dB

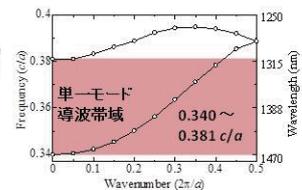
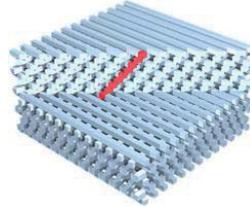


- ・中間目標(小型高速動作)達成
- ・低損失・低電圧で28Gbps変調、実用への課題解決

革新的光配線技術(京都大学)

三次元光配線技術: 広帯域層間光伝搬の実証

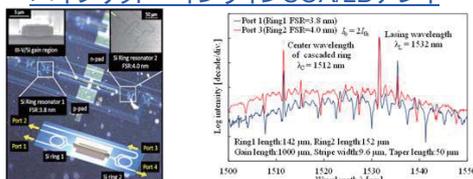
帯域100nm以上



- ・中間目標(層間方向への伝搬機能を実現)達成
- ・Q値900万も達成(世界最高値)

革新的光エレクトロニクス回路技術(東京工業大学)

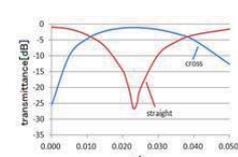
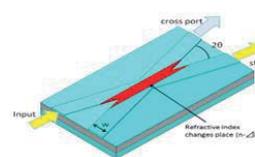
プラズマ活性化接合によるハイブリッドインラインSOA/LDアレイ



- ・素子作製と発振特性の確認に成功→中間目標(ハイブリッド基板上集積素子の実現/高効率化)達成見込み
- ・高効率化とスペクトル安定化に向け、プロセスを改良していく。

革新的光スイッチングデバイス技術(早稲田大学)

オフセットフリー低消費電力小型シリコン光スイッチ



- ・2x2構造交差導波路による導波確認→中間目標(クロスパー型超小型光スイッチ実証)達成見込み
- ・低クロストーク化、ナノ秒高速動作化、そして4x4以上の多ポート化に向けて、素子構造の改善を図る。

2-1-1 ボード間接続機器、筐体間接続

アクティブオプティカルケーブル(AOC)

光ファイバアレイ
光I/Oコア (小型) ランシーバ

Rx単体出力@25Gbps

150mV/div, 10ps/div

1ch動作時BERサンプル比較 (25Gbps@PN31)

光入力パワー [dBm]

- ✓ ボード間を接続するAOCに搭載する光I/Oコア (Rx) で25Gbpsエラーフリー動作を確認
- ✓ 消費電力は約2.8mW/Gbps/ch@Rx
- ✓ 高効率冷却性能を持つAOCシェル開発

シェルトップカバー
①コンパクト放熱スプレッダ デバイスから熱を引出し
②放熱フレーム 熱をシェルに伝導
シェルボトムケース

目標の達成度

・光I/Oコア内蔵のAOCを実現する実装/光接続構造/冷却機構の要素技術を開発し、H26年度中に筐体間伝送実証(中間目標達成予定)。標準化動向に準じた高速電気インターフェース仕様を決定。

事業化の見通し

AOC市場は2016年時点で180億円と予想、PETRAの低電力・高信頼性AOCの競争力は高い。2016年度事業化に向け、つば集中研と連携し開発推進中。

2-1-2 サーバボードのシステム化

CPU間光インターコネクト

要素技術開発

光I/Oコア付LSI、光電子集積インターポーザ実現のための要素技術開発開始

光信号
電気信号

CPU
PKG

- ・微細半田供給技術、フラックスレス接合プロセス開発
- ・ポリマー光導波路の光I/Oコア接続の課題を抽出

電気信号
ポリマー光導波路
PWB

目標の達成度

・光インターコネクトの伝送スペックの決定と要素技術の開発を開始。中間目標達成。

事業化の見通しと取組み

CPU間を高バンド幅で接続する光電子集積インターポーザは必須、成果をサーバ事業部門展開、採用を検討中。

基本設計

高密度伝送(800Gbps/cm)可能なCPU間光インターコネクトの基本設計完了

CPU用電気I/O 電気信号
CPUパッケージ基板
プリント基板
光ファイバ
光信号

シリコンフォトニクスチップ
送信部
受信部

25Gbps動作実証

目標の達成度

・CPU間の高密度伝送を可能とする光インターコネクトの基本要件を決定。中間目標達成。

事業化の見通しと取組み

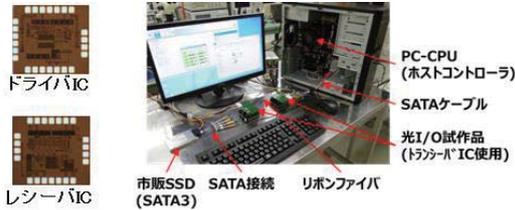
ハイエンドサーバ向けの事業化について富士通グループの事業部門と議論中。

2-1-2 サーバボードのシステム化

CPU/記憶素子間光接続

光I/O付SSD用光インターフェース

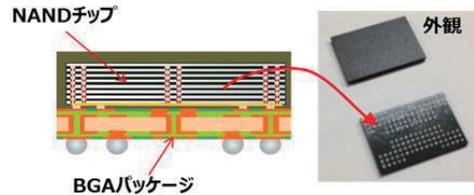
標準ストレージインターフェース (SATA) 規格での市販SSDの光I/O動作を達成



ストレージインターフェース向け光素子駆動ICを試作し、光I/OによるSATA規格信号をPC/SSD間で転送

光I/O付SSD用積層型NANDチップ

積層チップ型NAND (TSV接続) のデータ書き込み/読み出し初期動作を達成



評価ボード (BGAソケット実装) にて、メモリブロックのデータ消去/書き込み/読み込みシーケンスを検証

目標の達成度

光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ型SSDからなるハイブリッド型光I/O付きSSDを試作し、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。中間目標達成。

事業化の見通し

積層チップ型NANDによる高速低消費電力ストレージは、データセンターサーバ、クラウドストレージでの要求が高い。PJ中に派生品となる電気I/O-SSD、PJ開発後に光I/O-SSDの事業化を検討中

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 中間評価第1回分科会 (平成26年 9月30日)

2-2-1 データセンタ間ネットワーク接続

DSP-LSI

- ・ルータ・サーバ機器間インタフェース技術、狭帯域化伝送技術、低電力化技術を統合し、20nm CMOSプロセスを用いたDSP-LSI試作完了
- ・**100Gbps** DP-QPSK光変調方式による伝送特性(伝送距離840km)を確認



集積光デバイス

- ・部品の小型化・近接配置、超高精度実装技術を開発し、従来デバイスから**機能削減なしに容積比1/2以下の小型化を実現**
- ・従来サイズのデバイスと遜色ない特性(線幅・受信特性)を確認



目標の達成度

- ・**世界で初めて20nm CMOSプロセスを用いて100Gbps動作に対応するDSP-LSIの設計・試作を行い良好な動作確認: 中間目標達成。**
- ・100Gbps集積光送受信デバイスの試作し、従来比で、容積1/2以下の小型光源パッケージ、容積1/3以下の光受信器モジュール化技術を確認。中間目標達成。

事業化の見通し

100Gbpsの外部動向を鑑み、これまでの成果に基づき、電源変動・環境温度変動等の実使用環境を考慮した実用化開発、信頼性評価を行い、**早期に事業化を行う見込み(平成27年1月予定)。**

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 中間評価第1回分科会 (平成26年 9月30日)

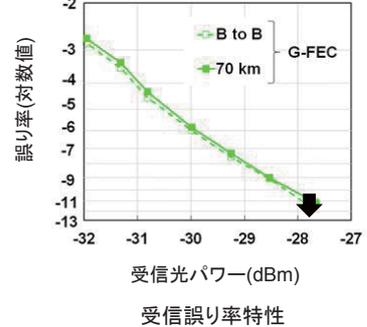
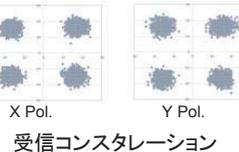
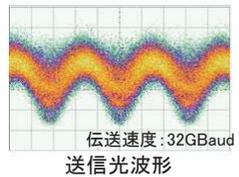
2-2-1 データセンタ間ネットワーク接続

デジタルコヒーレントトランシーバ

・データセンタ内で使用されているクライアント信号接続用CFP 100Gトランシーバの標準規格にDSP-LSI、送受信光デバイスを搭載。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。



試作CFPトランシーバ内部構造



目標の達成度

- ・プラグブルCFPタイプの100Gbpsデジタルコヒーレント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。中間目標達成
- ・世界で初めてデジコヒCFPトランシーバを学会発表(OECC2014 post deadline paper)。

事業化の見通し

100Gbpsの外部動向を鑑み、これまでの成果に基づき、電源変動・環境温度変動等の実使用環境を考慮した実用化開発、信頼性評価を行い、早期に事業化を行う見込み(平成27年1月予定)。

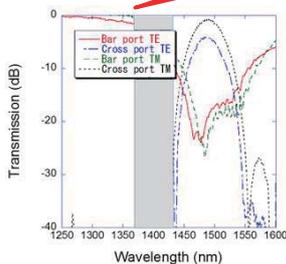
2-2 光電子集積光通信システム

2-2-2 企業間ネットワーク接続機器

双方向波長合分波器

上下方向波長の分離特性でGE-PON規格を達成。

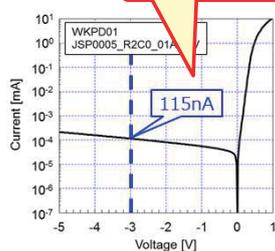
世界初



Ge受光器

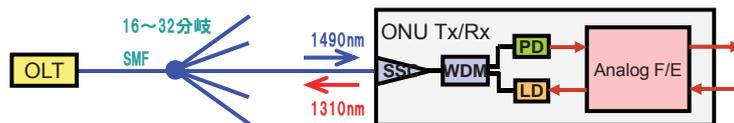
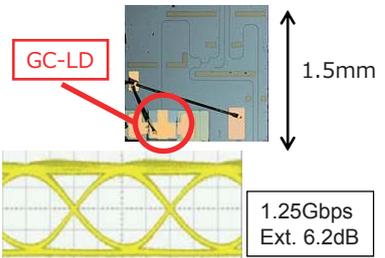
低暗電流と偏波無依存受光感度特性を達成し、GE-PON適用にめど。

世界トップレベル



アイソレータフリーDFB-LD

Siフォト集積チップ上にLDを実装し、GE-PON伝送規格を達成。



目標の達成度

- ・要素デバイスのGE-PON規格対応にめど。H26年度中に双方向プロトタイプで試作。中間目標達成見込み。

事業化の見通し

蔵分室事業部門でのES(平成27年度)、CS(平成28年度)評価を元に実用化開発を進める。

2-3 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、IEEE802.3）へ反映させ、国際市場での競争力を高める。

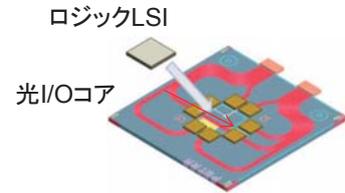


2-3-1 光電子集積サーバシステムに関連する標準化

活動内容

- ・ OIFでパッケージ仕様/データを世界に先駆けて提案
- ・ IEEE802.3でデータセンタ向け光ファイバ（波長、光モード等）の提案活動を開始

成果： 寄書6件



2-3-2 光電子集積光通信システム

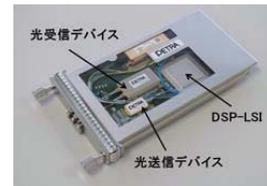
(デジタルコヒーレント・ トランシーバ) 標準化

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： 46件（先導研究時の寄書15件を含む）



目標の達成度

- ・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。中間目標達成。
- ・100Gbpsデジコヒ光トランシーバに関する標準化については、OIFにおいて4インチ×5インチトランシーバの標準化・提案を行い、同文書の発行(2013年8月)により標準化に成功。中間目標達成。

(添付資料)

(A) プロジェクト基本計画

プロジェクト基本計画は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDOと表記する）のプロジェクトを効率的かつ効果的に実施するために、次に掲げるプロジェクトの基本事項を定めたものである。

- ① プロジェクトの目的、目標及び内容
- ② プロジェクトの実施方式
- ③ 研究開発の実施期間
- ④ 評価に関する事項
- ⑤ その他の重要事項

基本計画は、原則として全研究開発期間に亘り有効であるが、技術評価の結果や内外の研究開発動向・政策動向、研究開発予算の確保状況等の外部状況変化、あるいは研究体制、当該研究開発の進捗状況等の内部変化に応じて、適宜・適切にその内容を変更する。

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」の基本計画¹を次ページ以降に示す。

¹ 「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」基本計画：
<http://www.nedo.go.jp/content/100541934.pdf>

「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」基本計画

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

クラウドコンピューティングの進展によりデータセンタなどにおける情報処理量や通信トラフィックが指数関数的に増大しており、今後も情報量の増大が予測されている。現状技術の延長ではデータ伝送に係る電力消費量は増加し続け、平成37年には4倍の2500億 kWh（現在の国内電力消費量全体の4分の1）に膨らむと見込まれている。このため、情報処理機器・装置の低消費電力化と高速化を両立できる技術の開発を進める必要がある。

②我が国を取り巻く状況

電子機器に用いられている電気配線では、データ伝送量や伝送距離の増加に伴い信号伝送の損失が大きくなるのに対して、光配線によるデータ伝送では、それらが増大しても損失は一定であり、消費電力の増加は極めて小さいというメリットがある。そのため、光配線技術は半導体分野の主要なグローバル企業が次世代のデータセンタなどの低消費電力化・高速化技術として有力視しており、開発競争が繰り広げられている。

③本事業のねらい

本研究開発は、情報通信機器の省電力化と高速化を目的に、電子機器の電気配線を光化する光配線技術と電子回路技術を融合させた光エレクトロニクス実装システム技術を実現する基盤技術を確立することを目指す。

本研究開発により、世界市場の約5割を占めてきた光半導体分野における我が国産業界の国際優位性を維持するとともに、光エレクトロニクスを用いた新たなコンピューティング市場において我が国が競争力を獲得し、さらには半導体産業、回路基板産業やそれらをシステム化したサーバ、ルータ等の情報通信機器産業など幅広いエレクトロニクス産業の活性化にも資する。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

本研究開発では、電子機器のデータ伝送に関して、電気配線を用いる場合に比べて1/10の低消費電力化と通信速度あたりの面積比で1/100以下の小形化を実現し、電気配線を用いたサーバボードに比べて消費電力を3割削減でき、データセンタレベルでの運用が可能な光電子融合サーバを実現するための構成要素技術を確立することを目指す。また、開発成果の一部は研究開発の進捗に合わせ、順次、実用化し、光配線と電子回路を融合させた光エレクトロニクス市場の創出と開拓を目指す。

個々の開発項目における中間および最終目標に関しては、別紙を参照のこと。

②アウトカム目標

本事業で開発される技術を、サーバ、データセンタ、ネットワーク機器等に適用し、普及させることにより、平成32年には年間約160億kWh、平成42年には年間約1300億kWhの電力削減が見込まれる。また、市場創出効果として3000億円程度が期待される。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき、研究開発を実施する。

【委託事業】

研究開発項目① 光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

(i) 実装基盤技術

- (a) 光エレクトロニクス実装技術
- (b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術
- (c) 光エレクトロニクスインターフェース技術
- (d) 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

研究開発項目② 光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

(i) システム化技術

- (a) サーバボードのシステム化技術開発
- (b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発
- (c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発
- (d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

(ii) 国際標準化

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術に対して、産官学の複数事業者が互いのノウハウなど持ち寄り、協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

また、開発成果の社会への浸透を図るため、成果の一部は、開発段階に合わせて順次実用化する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクト「光エレクトロニクス」において実施されるものであり、事業開始から6年間の研究開発実施者を経済産業省が平成24年度に企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開始したものである。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）が本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえて研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適

切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度事業の進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。

3. 研究開発の実施期間

経済産業省は、未来開拓研究プロジェクト「光エレクトロニクス」の事業期間として平成24年度～平成33年度（10年間）を予定し、平成24年度～平成29年度までの6年間の実施体制を公募した。

これを受け、NEDOは平成25年度から平成29年度までの5年間の基本計画を策定し、研究開発を実施する。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来産業への波及効果等について、事業項目毎に、外部有識者による研究開発の評価を実施する。具体的には本基本計画の対象期間においては、平成26年度、平成29年度に評価を実施し、評価結果を踏まえ、経済産業省と相談のうえ、事業の延長・加速・縮小や必要な体制の再構築などを含め、後年度の研究開発に反映することとする。

なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

得られた研究開発成果のうち、共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDOおよび実施者が協力して普及に努めるものとする。

②標準化との連携

得られた研究開発の成果については、成果のグローバル展開に向けてオープン/クローズド戦略に基づき事業戦略と一体となった国際標準化を進める。また、諸外国に先んじて国際標準を獲得するため、国際標準提案に係る戦略的かつ迅速な国際標準獲得活動を実施する。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果にかかわる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、知的財産管理規定等を定めることを求める。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

る。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ニに基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成25年3月制定。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」

1. 研究開発の必要性

データセンタなどにおける情報処理量や通信トラフィックの指数関数的な増大とそれにとまなう消費電力の増加に対応するため、情報通信機器・装置の低消費電力化と高速化を両立できる技術の開発を進める必要がある。

本研究開発では、上記問題を解決する、電子機器の電気配線を光化した光配線技術と電子回路技術を融合させた光エレクトロニクス実装システム技術の根幹となる、光電子集積インターポーザ、光電子ハイブリッド回路基板等を実現するための構成要素技術として、以下の技術開発を行う。

2. 具体的研究内容

(i) 実装基盤技術

(a) 光エレクトロニクス実装技術

電気配線と光配線が融合した光電子ハイブリッド回路基板の作製技術、高密度の光・電気のインターフェースを備えた光電子集積インターポーザを光電子ハイブリッド回路基板に実装するための実装技術とインターフェース技術、および、高信頼、低コスト化を実現する設計・方式・製造装置を開発する。また、光電子集積インターポーザとLSIを接続するインターフェース技術、および光電子ハイブリッド回路基板間を接続する高集積コネクタ技術を開発する。さらに汎用電気インターフェースに対応した光素子駆動アナログ電子回路を開発し、ロジックLSIに搭載するためのアナログ電子回路技術の開発を行う。

(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術

光トランシーバや光電子集積インターポーザ等を実現する基盤技術として、光導波路、光源、光変調器、受光器、光入出力素子、合分波器などの超小型要素光素子を開発すると共に、これら高密度集積する技術を開発する。また、光信号の並列化、多重化、多値化についても検討を行い、インターポーザ上での大容量信号伝送技術を開発する。さらに、ロジック、メモリ等の電子回路チップの搭載が可能で、光トランシーバを高密度に集積した、低消費電力で低コストな光電子集積インターポーザを形成する基盤技術の開発を行う。

(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術

大規模データセンタ内の筐体間接続、データセンタ間接続に向けた、100Gbpsの伝送容量を持つデジタルコヒーレント送受信モジュール実現のための信号処理回路と光回路に関する基盤技術を開発する。

(d) 光エレクトロニクス回路設計技術開発

光回路技術と電子回路技術を融合した新しい光エレクトロニクス回路の設計技術に関し、光、電子、それぞれの回路の最適設計を効率的に行うための統合設計環境を実現する基盤技術を開発する。さらに、本統合設計環境を本事業内の研究チームで利用可能とするための支援体制、スキームを整備する。

(ii) 革新的デバイス技術

[革新的光源・光検出器技術]

光電子集積インターポーザの光源、受光器の高性能化に向け、シリコン基板上量子ドットレーザ技術とその集積化技術の開発を行うとともに、高感度受光器に関する技術開発を行う。

[革新的光変調器技術]

光電子集積インターポーザの光変調器の高性能化に向けた光制御技術として、新原理に基づく次世代光変調器を開発する。

[革新的光配線技術]

光電子集積インターポーザの光導波路の高機能化に向けた光配線基盤技術として、フォトニックナノ構造等を用いた光配線技術の開発を行う。

[革新的光エレクトロニクス回路技術]

光電子集積インターポーザの光回路を高機能化する機能可変型光エレクトロニクス回路の基盤技術として、サーバ回路の再構成を可能とする光フィールドプログラマブルゲートアレイ技術、およびそのための要素デバイスの開発を行う。

[革新的光スイッチングデバイス技術]

大規模光電子集積インターポーザで実現されるサーバ回路におけるデータ通信の高効率化に向け、CPU間等の効率的なデータ転送を可能とする光ルーティング技術実現のためのハイブリッド集積光スイッチングデバイス技術、超高速集積光信号処理デバイスの開発を行う。

3. 達成目標

光電子集積インターポーザ、光電子ハイブリッド回路基板、および、それぞれの要素技術を組み込んだデバイスの集積化技術を開発することにより、電気配線の1/10の低消費電力化・高速化(1 mW/Gbps)を達成する目処を得るとともに、1/100以下の小形化実現のための要素技術を確認する。また、機器間光インターフェースにおいて、100Gbps/chの高速伝送及び現状の光トランシーバモジュールの消費電力(300W程度)を1/5~1/10まで低減できる低消費電力化技術を実現する。

各開発項目は開発期間を二期に分け、それぞれの期間で目標を定めて技術開発を行う。

(i) 実装基盤技術

(a) 光エレクトロニクス実装技術

多数の光デバイス・電子デバイスが搭載されたシリコンフォトニクスによる光電子インターポーザおよび光電子インターポーザを搭載した光電子ハイブリッド回路基板を実現するための基盤技術を開発する。

【中間目標】(平成26年度末)

小型の高速・低消費電力光トランシーバと数十mm角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確認する。

【最終目標】(平成29年度末)

5cm×5cm程度の光電子ハイブリッド基板上にLSIを搭載するモジュール化技術を確認し、LSIモジュールでの高速光インターコネクトを実現する。

(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術

超高速のデータ伝送を行う光電子集積インターポーザを実現するため、シリコンフォトニクス技術を用いた光集積回路技術を開発するとともに、ロジックLSI、メモリLSI、光デバイス等を光電子集積インターポーザ上に高密度集積するための集積化技術を実現する。

【中間目標】(平成26年度末)

光信号の並列化技術、多重化技術を開発し、大容量信号伝送を実現するための基盤要素技術を確認する。また、低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確認する。

【最終目標】(平成29年度末)

多数の光素子を集積した光電子集積インターポーザの大容量伝送を実現するための基盤集積技術を確立する。

(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術

大規模データセンタ内の筐体間、データセンタ間の大容量通信を可能とする小型デジタルコヒーレント光トランシーバに必要な信号処理回路、光回路技術を平成28年度までに確立する。

【中間目標】(平成26年度末)

100Gbps動作に対応するDSP-LSIと集積光送受信デバイスの試作を行い、基本性能評価と問題点の抽出を行う。

【最終目標】(平成28年度末)

低消費電力DSP-LSI最終プロトタイプを実現するとともに、データセンタ間通信向け低消費電力100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバを実証するための要素技術を確立する。

(d) 光エレクトロニクス回路設計技術

光回路技術と電子回路技術を融合した新しい光エレクトロニクス回路を効率的に設計するための光エレクトロニクス統合設計環境を実現し、プロジェクト内での活用を可能とするとともに、本プロジェクト成果事業化時に適用できる効率的な設計フロー構築のための基盤技術を確立する。

【中間目標】(平成26年度末)

マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境の基本構成を構築し、統合設計を行うための基本的なフローの実証を行う。また、光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携TCADの基本構造を確立する。

【最終目標】(平成29年度末)

光デバイス設計用電子・光連携TCADと光電子集積インターポーザの設計を可能とする統合設計環境を連携させ、基本実装構造に関するデータベース(デザインキット)を整備し、光電子集積インターポーザを効率的に設計可能とする。

(ii) 革新的デバイス技術開発

光電子集積サーバの高性能化を可能とする光電子集積デバイスの小形化・低消費電力化・高性能化を非連続的に実現できる、挑戦性の高い革新的デバイス技術として、以下の技術開発を実施する。なお、当該技術開発に関しては、その開発の性質等を考慮し、技術開発の進捗度、本研究開発事業内での展開の可能性等の観点から、必要に応じて見直しを適宜実施するものとする。

[革新的光源・光検出器技術]

光電子集積インターポーザの光源、受光器の高性能化に向けてシリコン基板上量子ドットレーザ技術とその集積化技術の開発を行う。

【中間目標】(平成26年度末)

温度安定シリコン上量子ドットレーザの基盤技術開発を進め、シリコン導波路結合型単チャンネル量子ドットレーザを実現する。また、超高感度受光器の基盤技術として受光器における暗電流抑制効果を実証する。

【最終目標】(平成29年度末)

光電子集積サーバ用の集積化光源への展開に向け、量子ドットレーザアレイを実現するとともにシリコン系基板上に直接成長した量子ドットレーザを試作する。また、導波路型受光器における暗電流抑制技術を実現する。これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展

開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光変調器技術]

光電子集積インターポーザの光変調器の高性能化に向けて、新原理に基づく次世代超小型光変調器の開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積サーバに使用する光電子集積インターポーザの光変調器の超小形化を可能とする新原理に基づく変調器として、10Gbps程度の高速動作を実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

超小型高速変調器としてLN変調器を凌駕する実用性能を得る。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光配線技術]

光電子集積インターポーザの光導波路の高機能化に向けたナノスケール光配線基盤技術として、フォトニック結晶構造等を用いた信号伝搬制御等に関する高度な光配線技術の開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積サーバの配線密度を飛躍的に高めることできる3次元光配線技術において、層間方向への伝搬機能が可能であることを実証する。

【最終目標】（平成29年度末）

3次元光配線技術として垂直方向と水平方向の伝搬機能の統合を実現する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光エレクトロニクス回路技術]

光電子集積インターポーザの光回路を高機能化する機能可変型光エレクトロニクス回路の基盤技術として、光回路の再構成を可能とする光フィールドプログラマブルゲートアレイ技術、およびそのための要素デバイスの開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

ハイブリッド回路基板上における半導体レーザの高効率化を行うとともに複数の光増幅器が並ぶアレイデバイスを実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

異なる機能の光回路を同一回路基板上に集積し、光FPGAコンセプトを実証する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光スイッチングデバイス技術]

大規模光電子集積インターポーザで実現されるサーバ回路におけるデータ通信の高効率化に向け、CPU間等の効率的なデータ転送を可能とする光ルーティング技術実現のためのハイブリッド集積光スイッチングデバイス技術、超高速集積光信号処理デバイスの開発を行う。

【中間目標】（平成26年度末）

サーバ回路におけるデータ通信の高効率化を可能とする導波路クロスバー型をベースとした超小型光スイッチを試作し、スイッチング動作を実証するとともに、超高速光信号処理デバイ

ス実現にむけた基本的な論理動作を実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

光スイッチマトリクス^①の低電力化、光信号処理デバイス^②の10Gbps程度での動作を実証する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

研究開発項目②「光エレクトロニクス実装システム化技術の開発」

1. 研究開発の必要性

本プロジェクトで目指す小型、高速、低消費電力の光電子融合サーバを実現するには、それに適したシステムアーキテクチャを見出すとともに、運用信頼性のある実用性の高い技術の開発が必要である。

本研究開発では、光配線導入による低消費電力化や高速化などのメリットを生かすサーバ等のシステムアーキテクチャの要件・課題を抽出し、研究開発項目①「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」の要素技術を用いてシステムを構築するための基盤技術を開発する。これにより、システムの実用性を検証するとともに、要素技術開発にフィードバックすることで、完成度の高い技術の効率的な開発を実現する。

2. 具体的研究内容

(i) システム化技術

(a) サーバボードのシステム化技術開発

データセンタレベルでの運用が可能な、多種のLSIを高密度集積した光電子集積インターポーザを光電子ハイブリッド回路基板上に搭載した、小型・高速動作・低消費電力光電子融合サーバボードを実現するための基盤技術を開発する。また、高速ストレージインターフェースに適合する光インターフェースと大容量高速NANDデバイスを搭載した光インターフェース付き大容量SSDを実現するための基盤技術を確立する。

(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発

光送受信システムを内蔵し、光ケーブルと電気コネクタを実装した光トランシーバを開発し、アクティブ光ケーブル(AOC)を実現する。さらに、光トランシーバを集積した光電子ハイブリッド回路基板上に、既存ロジックLSIを実装した光ケーブル付きLSIを開発する。

(c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発

低消費電力DSP-LSIと集積型送受信光デバイスをモジュール化したデータセンタ間接続用光トランシーバの実現を目的に、高周波実装回路技術と、変調器/ドライバ、受信フロントエンド等のデバイス制御技術を確立し、小型で低消費電力の100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバを実現する。

(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

シリコンフォトリソグラフィ技術を用いたアクセスネットワーク用集積光エレクトロニクスチップを開発し、企業間ネットワーク接続機器に適用する一芯双方向波長多重トランシーバのシステム化技術を確立する。

(ii) 国際標準化

国際競争力を確保するために、諸外国での同種の研究開発プロジェクトの現状を分析するとともに、プロジェクトの進展状況を踏まえ、成果の優位性を保つために国際標準化を積極的に推進する。

3. 達成目標

電気配線を用いたサーバボード比で消費電力が3割削減でき、データセンタレベルでの運用が可能な、多種のLSIを高集積化した小型・高速動作・低消費電力な光電子融合サーバボード等を実現するため基盤技術を開発し、光電子融合サーバボード実現のための目処を得ることを目標とする。また、順次実用化する開発成果の事業化に必要な国際標準の提案を行う。

各開発項目は開発期間を二期に分け、それぞれの期間で目標を定めて技術開発を行う。

(i) システム化技術

(a) サーバボードのシステム化技術開発

電気配線を用いたサーバボード比で消費電力が3割削減でき、データセンターレベルでの運用が可能な光電子集積サーバボード実現のための基盤技術を開発する。多種のLSIが高密度集積した光電子集積インターポーザを光電子ハイブリッド回路基板上に搭載した小型・高速動作・低消費電力光電子集積サーバボードを実現するための課題抽出を行い、課題解決の目処を得る。また、高速ストレージインターフェースに適応する光インターフェースと大容量高速NANDデバイスを搭載した光インターフェース付き大容量SSDを実現するための基盤技術を確立する。

【中間目標】(平成26年度末)

光電子集積技術を最大限に活かすために光インターコネクションに要求される伝送スペック(変調速度、多重度、チャンネル数など)、および、光電子インターポーザの回路冷却に関する基本要件を明らかにする。また、光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ実装基板からなるハイブリッド型の光インターフェース付きSSDを試作し、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する。

【最終目標】(平成29年度末)

光電子集積サーバボードにおける伝送機能の主要部分からなる送受信部を試作し、要求スペックを満たす光伝送を実証する。また、光電子集積インターポーザに積層型のストレージチップを実装した光インターフェース付SSD技術を確立する。

(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発

光ケーブルと電気コネクタを実装した光トランシーバによるアクティブ光ケーブルの実現と、光トランシーバとロジックLSIを実装した光ケーブル付きLSIの実現に向け、次の開発を行う。

【中間目標】(平成26年度末)

小型光トランシーバを搭載したアクティブ光ケーブル(AOC)を完成させ、筐体間接続における実用性を実証する。また、標準化動向を考慮しながら、光トランシーバとロジックLSI間の電気伝送に関するインターフェース仕様を決定する。

【最終目標】(平成29年度末)

LSIと光トランシーバの接続構造を決定する。また、策定した設計基準に基づき既存ロジックLSIを搭載できる基板を設計・試作し、光ケーブルを用いたLSI搭載基板間光接続を実現する。

(c) データセンター間接続機器のシステム化技術開発

低消費電力DSP-LSIと小形集積型送受信光デバイスをモジュール化したデータセンター間接続用トランシーバの実現に向け、次の検討を行う。

【中間目標】(平成26年度末)

一次試作の光デバイスおよびDSP-LSIを用いたトランシーバを試作し、デバイス制御動作を検証するとともに改良・完成度向上に向けた指針・フィードバック事項を抽出する。

【最終目標】(平成28年度末)

抽出した技術課題を解決し、目標である小型、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する。

(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

シリコンフォトリソグラフィ技術を用いた集積光エレクトロニクスチップを開発し、企業間ネットワ

ーク接続機器に適用する一芯双方向波長多重トランシーバを実現するための基盤システム化技術を確立する。

【中間目標】(平成26年度末)

シリコン光導波路による波長合分波器を用いて1.25Gbpsの一芯双方向光トランシーバを実証する。

【最終目標】(平成29年度末)

シリコン光導波路による双方向多重用合分波器と波長多重用合分波器を組み合わせて集積試作し、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するとともに、企業間ネットワーク向け波長多重合分波器実用化のための要求課題を抽出し、解決の目処を得る。

(ii) 国際標準化

本プロジェクトでの開発成果の事業化に必要な各種インターフェースの標準化を獲得するため、次のような標準化活動を実施する。

【中間目標】(平成26年度末)

光インターコネクトに関する標準化団体(OIF(Optical Internetworking Forum)、IEEE E802.3(Next gen 100G Optical Ethernet Study Group))に参画し、「キーメンバーコミュニティ」におけるプレゼンスを確立する。また、100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバに関する標準化を推進する。

【最終目標】(平成29年度末)

本プロジェクトの成果である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、

(B) 未来開拓研究プロジェクト実施要綱および実施に関する基本方針

未来開拓研究プロジェクト

経済産業省が実施している未来開拓研究プロジェクトは、中長期的観点の研究開発を優れた技術および知見を有する国内外の企業、大学、公的機関などで構築した研究体制で推進することにより、我が国が直面する環境・エネルギー問題及び少子高齢化問題等の構造的課題の克服、東日本大震災後の状況変化を踏まえたエネルギー需給安定化並びに新興国の台頭により厳しさを増す我が国産業の成長に貢献することを目標として実施されているものである。

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」）は、2012年度（平成24年度）に未来開拓研究プロジェクトとして定められ、実施されている。

次ページ以降に未来開拓研究プロジェクトの実施要綱、および本プロジェクトが記載された基本方針を示す。

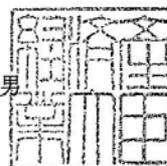
経済産業省

平成 24・03・21 産第 4 号

平成 24 年 8 月 28 日

未来開拓研究プロジェクト実施要綱

経済産業大臣 枝野 幸男



(目的)

第一条 この実施要綱は、経済産業大臣による未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針の策定に関する事項、経済産業省の関係部局による未来開拓研究プロジェクトの実施計画の策定に関する事項その他未来開拓研究プロジェクトを実施するために必要な制度の骨格に関する事項等を定め、未来開拓研究プロジェクトを円滑かつ効果的に実施することにより、もって我が国経済の持続的な発展を図ることを目的とする。

(定義)

第二条 この実施要綱において「未来開拓研究プロジェクト」とは、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する、従来技術の延長線上にない、開発リスクの高い革新的技術に関する中長期的な研究開発プロジェクトであって、国のイニシアティブの下、優れた技術及び知見を有する国内外の企業、大学、公的研究機関等を集め、省庁の枠を超えて、継続的に実施されるものうち、第五条の規定による指定を受けたものをいう。

(基本方針)

第三条 経済産業大臣（以下「大臣」という。）は、未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針（以下「基本方針」という。）を作成するものとする。

2 基本方針には、次に掲げる事項について定めるものとする。

- 一 未来開拓研究プロジェクトの実施の目標
 - 二 未来開拓研究プロジェクトの要件に関する事項
 - 三 未来開拓研究プロジェクトの概要、未来開拓研究プロジェクトの成果の事業化を促進するための取組に関する事項、研究開発及び事業化に必要な知的財産の取扱いに関する事項その他未来開拓研究プロジェクトの円滑かつ効果的な実施に関し必要な事項
 - 四 前各号に掲げるもののほか、未来開拓研究プロジェクトの実施に関する重要事項
- 3 大臣は、研究開発の動向の変化、社会情勢の変化その他情勢の変化により必要が生じたときは、基本方針を変更するものとする。
 - 4 大臣は、基本方針を定め、又はこれを変更しようとするときは、あらかじめ産業構造審議会の意見を聴くものとする。

(未来開拓研究プロジェクト候補の選定)

- 第四条 産業技術環境局長は、基本方針において定める未来開拓研究プロジェクトの要件を満たしうる研究開発プロジェクトを次条において未来開拓研究プロジェクトとして指定するものの候補（以下「未来開拓研究プロジェクト候補」という。）として選定するものとする。
- 2 産業技術環境局長は、前項の規定による選定をしようとするときは、あらかじめ、技術総括審議官及び未来開拓研究プロジェクト候補の選定に関係する部局の長（以下「関係部局長」という。）の意見を聴き、その意見を尊重しなければならない。

(未来開拓研究プロジェクトの指定)

- 第五条 大臣は、前条第一項の規定により選定された未来開拓研究プロジェクト候補の中から、基本方針に適合すると判断されるものを未来開拓研究プロジェクトとして指定するとともに、当該未来開拓研究プロジェクトの実施に係る責任を有する部局の長（以下「所管部局長」という。）を指定するものとする。
- 2 大臣は、前項の規定により未来開拓研究プロジェクト及び所管部局長を指定した場合には、当該プロジェクトの概要及び所管部局長を基本方針に規定

するものとする。

(実施計画)

第六条 産業技術環境局長及び所管部局長は、共同で、未来開拓研究プロジェクトごとに、当該未来開拓研究プロジェクトを実施するための計画（以下「実施計画」という。）を定めるものとする。

2 実施計画においては、次に掲げる事項を規定するものとする。

一 未来開拓研究プロジェクトの目標及びその研究開発の内容

二 前号に掲げるもののほか、未来開拓研究プロジェクトの成果を事業化するための取組その他未来開拓研究プロジェクトの実施に必要な事項

3 産業技術環境局長及び所管部局長は、研究開発の動向の変化、社会情勢の変化その他情勢の変化により必要が生じたときは、実施計画を変更するものとする。

(年度計画)

第七条 産業技術環境局長及び所管部局長は、毎事業年度の開始前に、前事業年度までの未来開拓研究プロジェクトの進捗状況を踏まえ、実施計画に定める目標を達成するため、年度ごとの未来開拓研究プロジェクトの実施に関する計画（以下「年度計画」という。）を定めるものとする。

2 第六条第三項の規定は、前項の年度計画に準用する。

(政策評価)

第八条 産業技術環境局長は、経済産業省技術評価指針（平成二十一年三月三十一日）に基づき、定期的に、未来開拓研究プロジェクトについて評価を行うものとする。

2 産業技術環境局長及び所管部局長は、前項の評価の結果を踏まえ、未来開拓研究プロジェクトの実施計画又は年度計画を見直す必要があると判断した場合には、すみやかに、これらを変更するものとする。

(独立行政法人の協力)

第九条 産業技術環境局長及び所管部局長は、未来開拓研究プロジェクトの実

施に当たって、独立行政法人に対し、未来開拓研究プロジェクトの実施に関し必要な協力を求めるものとする。

(文部科学省等との連携の協議)

- 第十条 産業技術環境局長は、未来開拓研究プロジェクトの実施に当たって、文部科学省その他の行政機関（経済産業省を除き、以下「関係行政機関」という。）の所掌に係る科学技術の基礎的研究と密接な連携を行う必要がある場合には、関係行政機関の担当部局等の長に対し、未来開拓研究プロジェクトを連携して行うための体制の構築等に関する協議を申し入れるものとする。
- 2 産業技術環境局長は、未来開拓研究プロジェクトの実施に当たって、関係行政機関の所掌に係る事業と密接な連携を行う必要がある場合には、未来開拓研究プロジェクトの成果を活用する可能性がある事業等と密接な連携を行う必要がある事業を所管する関係行政機関の担当部局等の長に対し、未来開拓研究プロジェクトを連携して行うための体制の構築等に関する協議を申し入れるものとする。

(雑則)

- 第十一条 この要綱に定めるもののほか、未来開拓研究プロジェクトの実施に関し必要な事項は、産業技術環境局長が別に定める。
- 2 産業技術環境局長は、前項の規定により必要な事項を定めるときその他未来開拓研究プロジェクトの実施に必要な総合的な検討を行うときは、技術総括審議官及び関係部局長の意見を聴くものとする。

附 則

- 第一条 産業技術環境局長は、この要綱の施行後、技術総括審議官及び関係部局長の意見を聴いて、経済産業省が行う研究開発プロジェクトの企画・立案やその推進に関する基本方針の策定等の措置について検討を行い、所要の措置を講ずるものとする。

経済産業省

平成 24・03・21 産第 5 号

平成 24 年 8 月 28 日

未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針

経済産業大臣 枝野 幸男



1. 未来開拓研究プロジェクトの実施の目標

未来開拓研究プロジェクトは、中長期的視点の研究開発を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推進することにより、我が国が直面する環境・エネルギー問題及び少子高齢化問題等の構造的課題の克服、東日本大震災後の状況変化を踏まえたエネルギー需給安定化並びに新興国の台頭により厳しさを増す我が国産業の成長に貢献することを目標とする。

2. 未来開拓研究プロジェクトの要件に関する事項

未来開拓研究プロジェクトは、客観的なデータ等に基づいて、以下のすべての要件を満たす技術とする。

①我が国経済社会に大きなインパクトを与える技術

我が国が直面する環境・エネルギー問題や少子高齢化問題等の根本的な解決に貢献し、経済成長への寄与の著しい技術であること。

②従来技術の延長線上にない、開発リスクの高い技術

実用化されていない新材料や新原理の導入など、従来技術の延長線上にない、非連続型の発展が必要な技術であり、実用化まで長期間を要し、開発に伴うリスクが高い技術であること。

③我が国が強みを持つ技術

影響力のある論文や重要特許の件数、関連する市場におけるシェア等が

ら、我が国が国際的に優位にあると判断される技術であること。

3. 未来開拓研究プロジェクトの円滑かつ効果的な実施に関し必要な事項

(1) 未来開拓研究プロジェクトの概要及び所管部局長

2. に定める要件を満たし、未来開拓研究プロジェクト実施要綱第五条第一項の規定により指定された未来開拓研究プロジェクトについて、その必要性・事業内容、2. の要件への適合、目的・目標等の事業概要及び所管部局長を別添1において整理するものとする。

(2) 未来開拓研究プロジェクトの推進体制等

未来開拓研究プロジェクトの成果の事業化を促進するための取組に関する事項その他未来開拓研究プロジェクトの円滑かつ効果的な実施に関し必要な事項について、以下のとおり定める。

① 推進体制の構築

研究開発のみならず、その後の事業化においても十分な成果を上げるため、それぞれの役割が明確で、研究開発及び事業化の段階において優れた技術、知見を有する相互補完的な関係にある企業（中小企業、ベンチャー企業を含む。）、大学、公的研究機関等から構成される事業推進体制（以下「推進体制」という。）を構築し、研究開発段階から事業化を志向して推進することとする。

なお、推進体制の構築に当たっては、国内外の技術及び市場の動向を調査した上で、国外の大学や企業の参画の是非を検討することとする。

② 関連独立行政法人の協力

研究開発及び事業化の促進に当たって、関連する分野において所管する独立行政法人の知見・ノウハウ等を活用することが必要である場合には、実施計画に当該独立行政法人の役割を位置付け、協力を求めるものとする。

③ 他省庁の施策との連携体制の構築

ア. 文部科学省等との連携

未来開拓研究プロジェクトに関連した文部科学省等が実施する基礎的研究との連携を密にし、研究開発の効率的推進や事業化の加速を実現するため、原則として、未来開拓研究プロジェクトと当該基礎的研究の参加者間で、研究課題の決定、成果の共有・取扱、設備の共用及

び研究人材交流の促進等について連携する体制を構築する。

イ. 他の事業所管省庁との連携

必要に応じて、未来開拓研究プロジェクトの成果の活用に関連した事業及び規制を所管する省庁との連携を密にし、研究開発の効率的推進や事業化の加速を実現するため、研究開発関連の調整及び共有のほか、規制緩和、導入促進等の関連施策を講じる連携体制を構築するものとする。

④研究開発及び事業化に必要な知的財産の取扱い等

推進体制の効果的な運用のため、別添2に掲げる基本的考え方に従って研究開発及び事業化に必要な知的財産管理の規定等の整備を求めることとする。また、参加する大学に、研究人材の流動化や実践的な人材育成への取組を促すこととする。

⑤その他事業化促進の取組

開発された成果を我が国の産業競争力強化につなげるため、事業者だけでなく、潜在的なユーザー等の意見を聴いて、標準化戦略や成果の市場への受容を促すための安全・性能証明の方策を含む事業化戦略を策定する。また、途中段階で得られた成果は他の施策と連携しつつ、事業化を図る。

4. その他、未来開拓研究プロジェクトの実施に関する重要事項

未来開拓研究プロジェクトを継続的に実施するため、予算、組織、制度等に関する必要な措置を行うよう努めるものとする。

関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を事業に取り込むように努めることとする。

定期的に評価を実施し、研究開発の内容及び事業化の戦略等について適切な見直しを行う。

未来開拓研究プロジェクト

1. 高効率モーター

(1) 事業の必要性・事業内容

現在、電力の過半はモーターが消費している。また、家電や産業機械向けに加えて、自動車の電動化（HEV、EV、FCV）に伴ってモーターの需要の拡大が予想されている。モーターはその消費電力の2割を損失しており、中長期的なエネルギー需給戦略において、モーターの省エネは最重要課題の一つである。モーターの性能は磁石に依存しており、省エネに当たっては、高性能な磁石の開発が鍵となる。

現行で最強であるネオジム磁石は日本で発明されたものであり、我が国は磁石技術で世界をリードしてきた。特に自動車駆動用モーターに使用される高性能磁石に至っては、日本の3企業のみが生産している。一方、ネオジム磁石の性能が理論限界に接近し、米国における基本特許が期限を迎えることから、我が国の優位性が低下する恐れがある。

また、高性能磁石の原材料には、現在、中国がほぼ供給を独占しているレアアース（ネオジム、ジスプロシウム等）が大量に必要とされ、特定国の原料の生産動向に影響される可能性があることから、レアアースの安定確保に取り組むとともに、レアアースに依存しない体制の構築が急務となっている。

そのため、レアアースに依存しない革新的な高性能磁石を開発し、磁石産業の競争力を維持・強化することで、次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの競争力を確保し、我が国産業全体を活性化に寄与することを目指す。

(2) 要件への適合

①我が国経済社会への大きなインパクト

- ・ 電力消費の過半を占めるモーターに関する省エネ
- ・ 中国が掌握するレアアースからの脱却

②従来技術の延長線上にない、開発リスクの高さ

- ・ レアアースフリーかつ現行磁石の理論限界を超える高性能磁石の開発

③我が国の強み

- ・ 現行最強であるネオジム磁石を我が国が発明

・高性能磁石及び高効率モーター設計技術は日本が世界をリード

(3) 事業の目的・目標

現在のレアアース添加型磁石の2倍の磁力を持ちながら、レアアースを使用しない革新的な高性能磁石を開発する。また、内部エネルギー損失(鉄損)を半減するための高効率軟磁性体(鉄芯)を開発する。モーター全体の設計見直しを行い、システム全体としてのエネルギー損失を1/4削減する。

(4) 事業期間

平成24年度から平成33年度

(5) 事業規模

200億円程度を想定(平成24年度から3年の国庫債務負担行為を確保)

※中間評価等の結果を勘案し、事業規模は必要に応じて見直す。

(6) 所管部局長

製造産業局長

2. 光エレクトロニクス

(1) 事業の必要性・事業内容

クラウド・コンピューティングの進展によりデータセンタ等における情報処理の大規模化が進み、情報処理量や通信トラフィックが指数関数的に増大しており、今後とも情報量の増加は止まらないと予測されている。現状の技術のままではデータ伝送に係るコストや電力消費量は増加することが予測され、2025年には4倍(現在の国内電力消費量全体の4分の1)に膨らむと見込まれている。このため、機器・装置の低コスト化、低消費電力化を可能とする革新的技術の開発を進めていく必要がある。

これまで、情報通信機器は半導体回路の微細化を進めることで、低消費電力化や小型化、高機能化といったニーズに応じてきたが、微細加工技術の限界が見え始めている。この様な状況で一層の低消費電力化や高機能化を実現していくには、微細化以外の技術の高度化を図ることが必要である。光エレクトロニクス実装システム技術開発は、今後、情報処理量の急増に伴って、電力消費量の増大が見込まれている中、情報通信機器の省電力、

高速、小型化を可能とする光配線、光素子を開発し、システム化を行うものであり、低消費電力化や高機能化に対して極めて有効な施策となる。

光技術は半導体分野の主要なグローバル企業が次世代のデータセンタ等の低消費電力化・高性能化技術として有力視しており、米国で大型プロジェクトが進行中である。我が国は青色ダイオードを始めレーザーダイオード等の光半導体ではこれまで世界をリードし、世界市場の6割程度を占めてきた。IT機器、家電機器への光伝送技術の本格的導入に当たっては国家プロジェクトの下で、我が国が強みを有する要素技術を結集して、研究開発を進めることが必要である。それによって、光エレクトロニクスを用いた新たなコンピューティング市場において競争力を獲得し、ひいては半導体産業、回路基板産業や、それらをシステム化したサーバ、ルータ等の情報通信機器産業などの幅広いエレクトロニクス産業の活性化にも資することが出来る。

(2) 要件への適合

- ①我が国経済社会への大きなインパクト
 - ・2025年には電力消費4倍と予想されるIT機器のデータ伝送に関し、現状の1/10の低消費電力化・高速化
- ②従来技術の延長線上にない、開発リスクの高さ
 - ・半導体の微細化の限界を超えた省電力、高速、小型化を達成する光配線、光素子の開発
- ③我が国の強み
 - ・レーザーダイオード等の光半導体は我が国が世界をリード

(3) 事業の目的・目標

光配線、光素子を開発し、電子機器のデータ伝送に関し、現状の1/10の低消費電力化・高速化と通信速度あたりの面積比で約1/100以下の小型化・高密度配線を可能とする光エレクトロニクス実装システム技術を実現し、データセンタレベルでの運用可能性を検証する。これにより、電力消費が急増すると予想される電子機器の消費電力を大幅に（サーバの場合は3割）削減する。

(4) 事業期間

平成24年度から平成33年度

(5) 事業規模

300億円程度を想定

※中間評価等の結果を勘案し、事業規模は必要に応じて見直す。

(6) 所管部局長

商務情報政策局長

3. 革新的触媒

(1) 事業の必要性・事業内容

我が国の化学産業は、出荷額約40兆円、従業員数約88万人を擁する一大産業であり、高い国際競争力を誇る製品を多数生み出している。とりわけ石油化学部材やケイ素部材は自動車、情報・通信分野等の高度組立産業を中心に必要不可欠な役割を果たしている。

一方で、同産業は基幹化学品から機能性化学品までの様々な製品の原料として化石資源を大量に消費し、二酸化炭素排出量においても産業分野の13%を占める。地球温暖化が懸念され、輸入に頼る石油の価格上昇や枯渇リスクに直面する中、化学品製造の革新的イノベーションの実現により、こうした課題を乗り越えていくことが急務となっている。石油資源からの脱却や低炭素社会の実現のためのキーテクノロジーである触媒技術は、ノーベル化学賞を受賞した野依良治、鈴木章、根岸英一教授らを擁する我が国が世界トップレベルの技術を有する。

そのため、二酸化炭素と水を原料に太陽エネルギーでプラスチック原料等基幹化学品を製造する革新的触媒や、砂から有機ケイ素原料を直接合成し、同原料から高機能有機ケイ素部材を製造する革新的触媒等の技術開発を行い、我が国が有する技術の国際的優位性を確保しながら、資源問題、環境問題を同時に解決することを目指す。

(2) 要件への適合

①我が国経済社会への大きなインパクト

・石油に依存しない化学品製造プロセスの構築

②従来技術の延長線上にない、開発リスクの高さ

・二酸化炭素と水を原料に太陽エネルギーでプラスチック原料等の基幹化学品等を製造する触媒の開発

③我が国の強み

・キーテクノロジーとなる触媒技術において、我が国は多数のノーベル化

学賞受賞者を輩出するなど、世界をリード

(3) 事業の目的・目標

二酸化炭素と水を原料に太陽エネルギーでプラスチック原料等基幹化学品を製造する革新的技術を確立するため、太陽エネルギーにより水から水素を製造する光触媒のエネルギー変換効率の30倍以上の飛躍的向上等を図り、2030年に既存のオレフィン製造量の20%を代替し、オレフィン原料であるナフサを17%削減する。また、金属ケイ素を経ない砂からの有機ケイ素原料や高機能有機ケイ素部材を製造する革新的技術を確立するため、ケイ素に適用可能な触媒の開発及びその反応率の向上等を図り、有機ケイ素部材の高性能化や製造プロセスの省エネ化（低コスト化）により、更なる市場拡大を実現する。

(4) 事業期間

平成24年度から平成33年度

(5) 事業規模

170億円程度を想定（平成24年度から3年の国庫債務負担行為を確保）

※中間評価等の結果を勘案し、事業規模は必要に応じて見直す。

(6) 所管部局長

製造産業局長

未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産等の取扱に関する基本的考え方

- ・ 未来開拓研究プロジェクトにおいては、参加者間のシナジー効果の発揮等によるプロジェクトの目的(研究開発の成功と成果の事業化による国益の実現)達成を確実にするため、知的財産について適切な管理を行う。
- ・ 具体的には、プロジェクトで発生する知的財産が、原則として参加者に帰属することを前提に、以下のような問題を防止する観点から、プロジェクトごとの事情に応じて、適切な措置を講ずる。

1. 参加者の所有する知的財産権(フォアグラウンド、バックグラウンド)がプロジェクトの推進の障害になること
2. 参加者 A と B の協力(A から B への知的財産権の実施許諾や材料提供等)による事業化を想定していたところ、A からプロジェクト外の X(B の競合相手等)に対して、より有利な条件で実施許諾や材料提供がなされてしまい、プロジェクトの目的が達せられなくなること
3. A から B への知的財産権の実施許諾や材料提供等が何らかの事情(例:A の X による買収、A のプロジェクトからの脱退 等)で滞り、プロジェクトの目的が達せられなくなること
4. 大学等と企業の共有特許に係る不実施補償等を巡る協議が難航し、産学連携や事業化に支障が生じること

- ・ 経済産業省は、プロジェクトごとの事情に応じて、これらの問題を防止するために必要な措置を、経済産業省と事業推進体制間の契約や事業推進体制内の規約等の形で具体化し、適切な管理を実現する。
- ・ なお、未来開拓研究プロジェクトにおいては、プロジェクトの発明に基づく知的財産権の出願費用は、原則として参加者の自己負担とするが、必要に応じ、事業推進体制内の審査を経て、予算の範囲内で、プロジェクト予算で負担することができることとする。

(C) 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事前評価報告書、総合科学技術会議が実施する国家的に重要な研究開発の評価結果

次ページ以降に2011年度（平成23年度）に、産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会にて実施された本プロジェクトの実施に係る事前評価書、および、総合科学技術会議が実施する国家的に重要な研究開発の評価「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」の評価結果を示す。この結果に基づき、事業の効率的かつ効果的な実施を行っている。

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事業
事前評価報告書

平成23年7月
産業構造審議会産業技術分科会
評 価 小 委 員 会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成20年10月31日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

今回の評価は、「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事業」の事前評価であるが、本事業は、現在、新しい国家プロジェクトのあり方として議論している非連続型研究開発事業の一つとして検討していることから、この視点から評価を行うことが必要と考え、産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会に付議することとした。

なお、当該研究開発事業は、昨年事前評価を実施した「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」の名称を「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事業」へ変更し、来年度から実質的な研究開発をスタートさせるものであり、技術開発内容等に大きな変更がないことから、この度の事前評価では、第1章技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要及び第2章評価コメントは、昨年事前評価した「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」のものを掲載している。

今般、当該研究開発事業に係る検討結果が事前評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（小委員長：平澤 冷 東京大学名誉教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成23年7月

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
委員名簿

委員長	平澤 冷	東京大学名誉教授
	池村 淑道	長浜バイオ大学バイオサイエンス研究科研究科長 バイオサイエンス学部学部長 コンピュータバイオサイエンス学科 教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	中小路 久美代	株式会社SRA先端技術研究所所長
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主席研究員

(委員敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

「情報政策関連事業」に係る事前評価検討会
委員名簿

座長 藤村 修三 東京工業大学 イノベーションマネジメント研究科 教授

加藤 和彦 筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授

新 誠一 電気通信機器大学電気通信学部システム工学科 教授

館 暲 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 教授

廣瀬 通孝 東京大学情報工学研究科 教授

前口 賢二 (社)半導体産業研究所 所長

望月 洋介 (株)日経BP クリーンテック研究所長

(敬称略、五十音順)

事務局:経済産業省商務情報政策局情報政策課

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事業（旧「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」）の評価に係る省内関係者

【事前評価時】

商務情報政策局 情報通信機器課長 吉本 豊（事業担当課長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 秦 茂則

新規研究開発事業「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事業」（旧「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」）に関する事前評価

審議経過

○事前評価検討会（平成22年5月10日）

- ・評価の方法等について
- ・技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要並びに創設の妥当性について
- ・評価の進め方について

※会議終了後、メールレビューにて評価報告書（案）の審議

○産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成22年7月7日）

- ・事前評価報告書（案）について（個別審議）

○産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成23年7月22日）

- ・事前評価報告書（案）について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿

「情報政策関連事業」に係る事前評価検討会委員名簿

「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事業」（旧「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」）の評価に係る省内関係者

「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事業」（旧「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」）事前評価 審議経過

	ページ
第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要	
1. 技術に関する施策の概要	1
2. 新規研究開発事業の創設における妥当性等について	1
3. 新規研究開発事業を位置付けた技術施策体系図等	3
第2章 評価コメント	4
第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針	7

（参考資料1）「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」事前評価に係る評価小委員会委員からのコメント及び対処方針

（参考資料2）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事業の概要（PR資料）

第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

1. 技術に関する施策の概要

「科学技術で世界をリード」（総理所信）し、環境と経済が両立した持続可能な成長に貢献するべく、グリーンイノベーションを推進する研究開発、国際競争力の強化を実現することが必要。情報通信機器分野においては、我が国の主力産業の一つであり、国際的な技術開発競争が最も激しい分野の一つでもあるIT・エレクトロニクス産業の競争力強化と「グリーンIT」による低消費電力化への貢献を目的に、各種デバイスやネットワーク関連機器等の開発に取り組む。

2. 新規研究開発事業の創設における妥当性等について

○プリント基板等の電気配線基板は、情報通信機器、映像機器、携帯機器、ロボット、計測機器、自動車などを始めとして、殆ど全ての民生用／産業用電子機器で広く利用されており、我が国の基幹産業を支える基盤技術である。

○現在、上記電子機器で扱う情報量は飛躍的に増加しており、今後とも情報量の増加は止まらなると予測されている。この情報量の増加に伴い、電気配線基板には、情報信号の高速化、配線密度の高密度化、小型軽量化、柔軟性等が求められている一方で、省エネ化も達成する必要がある。

○しかしながら、電気配線には本質的に電気抵抗、電気容量、インダクタンスが存在するため、信号の周波数が高くなると消費電力が大きくなる、配線サイズが大きくなる、電磁干渉による雑音が大きくなる等の課題が生じ、上記の要求を満たすことが困難になってきている。

○これまでに、LSIチップ内のグローバル配線を光配線化するための技術開発事業（MIRAIプロジェクト）、LSIモジュール内配線を光配線化するための技術開発事業（フォトリソグラフィ・エレクトロニクス融合システム基盤技術開発）、および電気配線基板間（バックプレーン）を光で接続するための技術開発事業（次世代高効率ネットワークデバイス技術開発）等は実施されているが、LSIモジュール間（電気配線基板内）配線の上記課題に対する技術開発が手つかずの状態にあり、早急に着手する必要がある。

○半導体国際技術ロードマップ（ITRS）によると、早ければ2015年頃にはLSIモジュール間の配線に光配線が必要になると予測されている。その実現のためには、インターフェースの標準化やサプライチェーンの変革も必要になり、民間企業の単独による開発・事業化では不可能である。このような状況を受け、米国では2008年からDARPAの資金による光電子ハイブリッド集積PJであるUNIC-PJが、同じく欧州ではEUのFP7の資金による多数の光電子ハイブリッド集積関係PJ（HELIOS, BOOM, HISTRIC, WADIMOS等）が開始されており、応用範囲の広い本基盤技術分野で日本が遅れをとらないためにも、早急に国の主導による技術開発を開始する必要がある。

○上記の課題を解決した配線基板を実現するため、高周波信号の接続を高密度・小型・低消費電力で行うことが出来る光配線と、小型・低消費電力で信号処理を行うことができるCMOS-LSIをハイブリッド集積した光電子ハイブリッド回路基板技術開発を、産

学連携により実施する。

- 具体的には、従来のLSIのインターフェース機能および電気プリント基板の配線機能を、シリコンまたは化合物半導体を用いた集積型光インターフェースおよび光配線基板に置き換え、これらをCMOS-LSIおよび電気配線基板とハイブリッド集積することにより、1mW/Gbps以下の低消費電力化・高速化と従来面積比で約1/100以下の小型化・高密度配線化を実現する技術開発を実施する。更に、波長多重技術および光スイッチング技術等を適用することにより、高速・高密度・柔軟・省エネルギーな光配線を実現する。また、究極の省エネ技術である、全光型革新的デバイス（光IC、光LSI）の基盤技術開発も進める。

第2章 評価コメント

1. 事業の目的・政策的位置付け（新規研究開発事業の創設）の妥当性

光デバイス技術の開発は半導体ロードマップにより比較的短期で実用化が望まれている技術であり、小型・低消費電力機器を実現するためには必須の技術である。またコンピューティングや将来のスマートグリッドに代表される大規模通信網を支える基盤技術として不可避である。中でも本プロジェクトが目的としている光電子ハイブリッド回路技術は光通信システムを構築してゆく上での一つの技術的ボトルネックとなっていることから、産学連携によりこれを解決することの意義は大きい。本事業による要素技術確立、インターフェイス標準化、CMOS-LSIとのハイブリッド集積実証が行われることで一気に企業製品開発へ移行する環境が生まれる期待は大きい。

なお、本プロジェクトの開発技術は激しい国際間での開発競争が予想されることから、わが国産業を国際競争において優位な位置に立たせることができるかどうかモジュールレベルでのコスト・性能比を強く留意した開発が必要であると同時に、プロジェクトの柔軟で慎重な推進が求められる。また、デバイスがどういう新しいシステムを生み、どうエネルギーを削減するかはわかるが、その変化は量的な変化だけでなく、世の中の変化にどう影響するのかを示すことが必要と思われる。

【肯定的意見】

・光を利用した本プロジェクトは、産学連携が必須の分野と考える。コンピューティングとしても、社会インフラとしても不可避になる技術であり、ここに国の予算がつくことは妥当だと考える。

・目標とする時期に関して、「ITRSに遅れを取らない」と読める文章があるが、ITRSよりも前倒しで実現することを期待する。

・光デバイス技術は将来のスマートグリッドに代表される大規模通信網を支える基盤技術の一つである。中でも本プロジェクトが目的としている光電子ハイブリッド回路技術は光通信システムを構築してゆく上での一つの技術的ボトルネックとなっている。従ってこれを解決することの福音は大きい。

・LSIモジュール間の光配線は半導体ロードマップにより比較的近場で実用化が急がされている技術であり、小型・低消費電力機器を実現するためには必須の技術です。本事業による要素技術確立、インターフェイス標準化、CMOS-LSIとのハイブリッド集積実証が行われることで一気に企業製品開発へ移行する環境が生まれる期待は大きい。

【問題点・改善すべき点】

・10年前にも同様の事業提案があったように記憶している。技術は進展し、社会情勢も変わってきている。過去からの経緯を含めて、ロードマップが欲しい。

・他の事業に比べ、国が開発すべき論点が、希薄である。そこを明確にすべきである。

・デバイスがどういう新しいシステムを生み、どうエネルギーを削減するかはわかる。しかし、その変化は量的である。もっと質的な変化につながるアイデアをデバイスとシステムの連携で作れないものか。

・しかし一方で、上記肯定的意見での記述内容は激しい国際間での開発競争が予想されることを意味する。すなわち、本プロジェクトがわが国産業を国際競争において優位な位置に立たせることができるかどうかは微妙である。もちろん開発に遅れを取り追従す

る側に回った場合でも、基礎的な知識を有しているかどうかでその追従速度は変わってくる。従って、国際競争の激しさは本プロジェクトの重要性を低下させるものではないが、プロジェクトの柔軟で慎重な推進が通常の研究・開発プロジェクトよりも求められる。

・実用化に向けた大きな課題はコストと思います。モジュールレベルでのコスト・性能比を強く留意した開発を望みます。

2. 今後の新規研究開発事業の実施に向けての提言

息の長い開発が必要なことは分かるが、戦略性や将来見通しを技術者目線ではなく、国民目線で説明できるかが重要である。また目的と光電子ハイブリッド回路技術の進捗状況だけでなく、関連する他の技術の発展状況を踏まえて随時研究・開発方針を柔軟に適正化するための研究戦略組織の併設が必要と思われる。

【各委員の提言】

- ・この課題に限らず提案されている技術は重要だけど目新しさが無い。息の長い開発が必要なことは分かるが、それだけに歴史も含めて戦略性や将来見通しが必要。昨年と今年は何が違うかを技術者目線ではなく、国民目線で説明できるかが重要。
- ・目的と電子ハイブリッド回路技術の進捗状況だけでなく、関連する他の技術の発展状況を踏まえて、随時研究・開発方針を柔軟に適正化するための研究戦略組織の併設が必要と思われる。
- ・アプリケーションにより求められる性能、コストが異なると思います。今後の議論の中で明確にして欲しい。

第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針

本研究開発事業に対する評価小委員会のコメント及びコメントに対する推進課の対象方針は、以下のとおり。

【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事業】

<p>コメント①</p> <p>非連続型研究開発として国が長期・段階的に実施する必要性等をより明確にするとともに、当面する技術的な進捗度の評価や、その実用化に伴う新しい課題の探索・解決などの学習型の仕組み作りを試みる等、プログラム設計とその運用に配慮しながら進めていただきたい。</p>
<p>対処方針①</p> <p>平成23年度に光エレクトロニクス実装技術に関する先導研究の結果等を踏まえ、平成24年度以降本事業において国が長期・段階的に実施する必要性等をより明確にするとともに、技術的な進捗度の評価や、その実用化に伴う新しい課題の探索・解決などの学習型の仕組み作りを試みる等、適切に執行を進めて行く。</p>

「超低消費電力型光電子ハイブリッド回路技術開発事業」事前評価に係る
評価小委員会委員からのコメント及び対処方針

コメント	対処方針
<p>○本事業については、光素子・全光通信に既に取り組んでいる通総研のプログラムとの連携が必要。省庁間の共管プログラムにしてはどうか。</p> <p>○我が国の光電子ハイブリッド回路技術は、欧米等に比べて遅れており、実用化に向けた明確なロードマップを作成し、早急に取り組むことを期待。</p>	<p>○本プロジェクトはボード内・機器内・データセンタ内の省エネを目指すものであり、総務省及び情報通信研究機構の光ネットワークの研究開発とは、オール光用機器・システム実現を見据えて研究成果を共有するなど連携を行う方針である。</p> <p>○欧米等に対して優位に立てるように、高い競争力を有する日本の中核企業が結集して行う。その際、優先的に行う技術開発課題の抽出、先行開発を視野に入れたロードマップの策定を行う方針である。</p>

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

商務情報政策局 情報通信機器課
03-3501-6944

事業の内容

事業の概要・目的

○クラウド・コンピューティングの進展によりデータセンターの情報処理の大規模化が進み、情報処理量や通信トラフィックの指数関数的増大に直面しています。光電子ハイブリッド回路技術開発は、省電力、高速で小型な光接続により様々なLSIを高集積することを可能とすることから、高い情報処理能力を有するサーバ等のIT機器の大幅な消費電力低減が見込まれます。

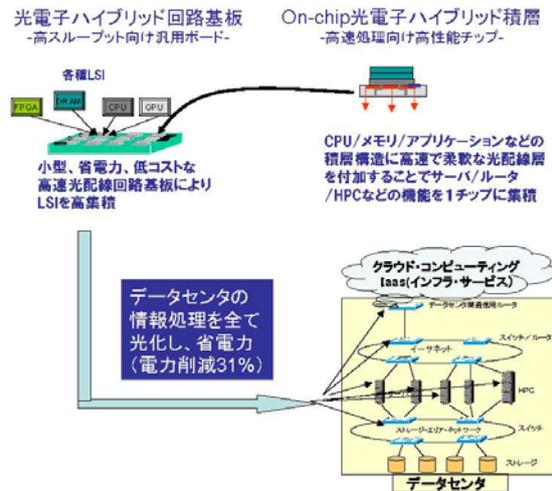
○データセンターを構成するルータ、サーバ等のIT機器内におけるLSI内間の配線とインターフェイスを、電子回路と光回路をハイブリッド集積した光電子ハイブリッド回路技術の研究開発により小型、省電力、低コスト化し、データセンターの情報処理量の増加による課題を解決します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ

○光電子ハイブリッド回路をルータ、サーバ等の全てのIT機器に搭載し、情報処理量の増加に対応し省電力化を実現します。



総合科学技術会議が実施する
国家的に重要な研究開発の評価

「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」
の評価結果

平成 23 年 12 月 15 日

総合科学技術会議

目 次

1. はじめに.....	1
2. 評価の実施方法.....	2
2.1. 評価対象の概要.....	2
2.2. 評価目的.....	2
2.3. 評価方法.....	3
3. 評価結果.....	6

参考1 評価専門調査会 名簿

参考2 評価検討会 名簿

参考3 審議経過

参考4 第1回検討会 経済産業省提出資料【省略】

参考5 第2回検討会 経済産業省提出資料【省略】

1. はじめに

総合科学技術会議は、大規模な研究開発その他の国家的に重要な研究開発について、国の科学技術政策を総合的かつ計画的に推進する観点から、自ら評価を行うこととされている(内閣府設置法第26条)。

このため、総合科学技術会議では、新たに実施が予定される国費総額が約300億円以上の研究開発について評価を行い、その結果を公開するとともに、評価結果を推進体制の改善や予算配分に反映させることとしている。評価にあたっては、あらかじめ評価専門調査会が、必要に応じて専門家・有識者の参加を得て、府省における評価の結果も参考に調査・検討を行い、総合科学技術会議はその報告を受けて結果のとりまとめを行うこととしている。

「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」は、平成24年度予算概算要求において、経済産業省が新たに実施することとした事業であり、平成24年から平成33年までの10年間の国費総額約291億円を見込む大規模研究開発である。総合科学技術会議では、評価専門調査会に当該研究開発に関係する分野の専門家・有識者を交えて調査・検討を行った。その結果を踏まえて評価を行い、その結果をここにとりまとめた。

総合科学技術会議は、本評価結果を関係大臣に通知し、実施計画や推進体制の改善、予算配分への反映を求めるとともに、評価専門調査会において、その実施状況をフォローアップすることとする。

2. 評価の実施方法

2.1. 評価対象の概要

○名称:『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』

○実施府省:経済産業省

○実施期間及び予算額:

平成 24 年度から平成 33 年度まで。

国費総額約 291 億円。

平成 24 年度予算概算要求額約 60 億円。

○事業内容:

光配線(高屈折率、低減衰率の微細な光導波路)や光素子(小型で低損失な光変調器、受光器等)の開発を行い、光エレクトロニクス(エレクトロニクスとフォトニクスの融合)実装システム技術を実現することにより、今後、電力消費が急増すると予想されるサーバ等の電子機器の消費電力を大幅に削減する。

2.2. 評価目的

総合科学技術会議は、国の科学技術政策を総合的かつ計画的に推進する観点から実施し、評価結果を関係大臣に通知して、当該研究開発の効果的・効率的な遂行を促進することを目的に評価を実施する。

2.3. 評価方法

(1) 評価検討会の設置

評価に必要な調査・検討を行うため、評価専門調査会[参考 1]の有識者議員1名、専門委員3名に、外部より当該分野の専門家・有識者3名の参加を得て、評価検討会を設置した[参考 2]。

当該分野の専門家、有識者の選任においては、評価専門調査会会長がその任に当たった。

(2) 評価時期

評価結果を推進体制の改善や予算配分に反映させる必要があるため、予算概算要求提出後、10月より調査・検討を開始し、年内に評価結論を得ることとした[参考 3]。

(3) 調査・検討方法

ア. 過程

- ・ 第1回評価検討会において、経済産業省の担当室長他から研究開発等の内容について説明を受け[参考 4]、質疑を行い、イ. の調査・検討項目を念頭に問題点や論点候補について議論した。その後、この議論と評価検討会委員から提出された追加質問に基づく追加説明依頼項目について、経済産業省へ対応を依頼した。また、評価検討会委員からの評価コメントを踏まえ、論点を整理した。
- ・ 第2回評価検討会において、追加説明依頼項目について経済産業省から説明を受け[参考 5]、質疑を行い、問題点や論点を議論した。
- ・ 第1回、第2回評価検討会での調査・検討内容及び、評価検討会委員からの評価コメントを踏まえ、評価結果原案(評価に

係る調査・検討結果)を作成した。

- ・ 評価専門調査会において、評価結果原案(評価に係る調査・検討結果)を検討し、評価結果案をとりまとめ、総合科学技術会議において審議の上、決定した。

イ. 調査・検討項目

評価検討会においては、(1)の依頼項目について経済産業省から説明を受け、(2)の調査検討項目に係る基本的な項目に加え、評価対象事案に応じた評価の視点を明示し、調査・検討を実施した。

(1)依頼項目

- ①名称
- ②実施期間、全体事業費(うち国費)、平成24年度予算概算要求額
- ③目的(背景、意義、効果など)
- ④科学技術基本計画における位置付け等
- ⑤実施内容と目標(具体的な実施内容と達成目標、期待する成果など)
- ⑥年次計画(具体的な実施内容、事業費とその用途別内訳など)
- ⑦実施体制
- ⑧推進体制(役割、権限、責任など)
- ⑨研究開発評価(評価者、実施目的、実施時期、事前評価の結果など)
- ⑩関係施策・事業との関係

(2)調査・検討に係る基本的な項目

A. 科学技術上の意義

科学技術上の目的・意義・効果等。

B. 社会・経済上の意義

社会・経済上の目的・意義・効果等。

C. 国際関係上の意義

国際貢献・役割分担、国益上の意義・効果等。

D. 計画の妥当性

目標・期間・予算・体制・人材や安全・環境面等からの妥当性。

E. 運営等

事前評価の実施状況、評価結果の反映の仕組等。

ウ. その他

評価検討会は非公開としたが、資料は公表に適さないとされた部分を除き検討会終了後に公表。また、議事概要については発言者による内容確認後に非公表情報、発言者の氏名を除き公表。

3. 評価結果

(1) 総合評価

「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」は、電子回路と光回路をハイブリッド集積した光電子ハイブリッド回路技術を開発することにより、データセンターを構成するルータ、サーバ等の IT 機器内における LSI 間の配線とインターフェースの小型化、省電力化、低コスト化を実現するものである。

本事業は経済産業省が実施する事業であり、実施期間は平成 24 年度から平成 33 年度までである。

今後、クラウド化、データ処理の高度化が進んで行く上で、データセンターをはじめとする情報処理インフラの電力消費量は急速に増加していくと考えられる一方で、地球的規模の課題である温室効果ガス削減への取組みや、今回の東日本大震災を受けての電力消費量の削減が強く求められている。

このような状況下、IT 機器内の電気配線を光化することで、低消費電力で付加価値の高い情報処理システムを社会に提供することを目指している本事業の対象とする技術開発の必要性は高い。

また、IT 機器間の光通信技術が広く普及した現在、光信号のままプリント基板上および LSI に信号伝送する技術が強く求められている。本事業で実施される技術開発は、低消費電力化のみならず、電子回路のプリント基板上に光を導入することのメリットである高速化、小型化・高密度化、低コスト化、回路複雑性の低減、信号伝送信頼性向上等に大きく寄与し、従来のエレクトロニクス技術の延長では達成できない、より高速化・高信頼化した情報処理システムの実現が期待されるため、本事業によって開発される技術の有効性は高い。

本技術が社会に実装されるためには、従来のエレクトロニクスと同程度の低コストかつ信頼性の高い光電気変換素子や光配線との接続の実現、プリント基板上に光導波路を形成する技術、光と電気が融合したシステムとしての安定性・信頼性の確保、大口径ウェハ上に作製された光配線を搭載したインターポーザの信頼性評価という今までにない評価技術開発などのブレークスルーが求められてい

ることから、難易度の高い技術開発の必要があり、研究開発のリスクは高い。また、求められている技術開発要素が広範囲であることから、多くの企業間の連携や要素技術の連携・統合が必要であり、光エレクトロニクス分野で世界をリードし、日本の国際競争力を維持するために、国が主導して取り組む必要がある。

以上のことから、本事業は、実施の意義や必要性が高く、国として取り組むべきものと判断される。

なお、本事業の実施に当たっては、以下の指摘事項を踏まえた対応を求めるものである。

(2) 指摘事項

①光エレクトロニクス実装システム全体の目標及びマイルストーンの明確化と計画の柔軟な見直しについて

本事業は、長期に及ぶプロジェクトであることから、国際競争の観点に立って、プロジェクト全体としての目標を明確にしつつ、柔軟に計画の見直しを行っていくことが必要である。

個別要素技術に関しては、光インターポーザ大口径ウェハプロセス、LSI インターフェイス設計、シリコンフォトニクスインターポーザ、光エレクトロニクス実装システムの低消費電力化・小型化について定量的な目標が設定されており、その見直しを行うことも計画に織り込まれているが、それら個別要素技術を統合して実現する、製品イメージを基にした最終目標とその中間目標に関しては、現段階では示されていない。

このため、製品イメージに基づく最終目標を設定するとともに、中間目標(マイルストーン)についても定量化できるものにしておく必要がある。

また、特に、成熟した電子回路のプリント基板にこの新技術が導入されるためには、光導入による低消費電力化や高速化などのメリットを生かすシステムのアーキテクチャを設計し、その設計に基づいて関連技術の目標を設定することが重要である。現段階では、光

源技術や素子実装技術などの具体的目標が示されていないので、それらを明確にする必要がある。

さらに、開発した技術が実用化されるためには、コストの低減も重要であるが、現段階では具体的な目標は示されていない。このため、コストについての目標を明示していく必要がある。

設定した目標や達成時期については、国際的な技術開発の進展状況との比較を基に必要な見直しを行いつつ、プロジェクトを推進する必要がある。

②プロジェクトの効果的・効率的な推進体制及び実施体制の構築について

技術研究組合等をプロジェクトの実施主体とし、プロジェクトリーダーを責任者として権限を集中して事業化までの推進を図っていく体制は適切であるが、プロジェクト途中での評価結果に基づく目標・運営体制等の見直しについての具体的な手順は現段階で示されていない。

このため、経済産業省内の責任体制と併せて、評価体制と評価方法、評価結果を計画の見直し等につなげる手順等についても全体の事業計画の中で明確に位置付けるとともに、技術研究組合等の構成メンバーとなる研究開発実施主体を募集する際の公募要領等にも明示する必要がある。

また、研究開発を実施していく上で、光エレクトロニクス実装システムについて、これまでにない新しいシステムとして、社会に実装していくためには、光と電気の融合が鍵となることから、光技術の関係者だけでなく、LSI、コンピュータのハードウェア・ソフトウェア、コンピュータアーキテクチャー、ネットワークなど異分野の研究者、技術者が一体となって課題を解決できる体制を構築することが重要である。併せて、主要な適用先であるデータセンター開発の実施主体とも密接な連携を取りながら、効率よくプロジェクトを進める体制を構築することも必要である。

このため、研究開発実施主体が応募する際の要件に含める等により、これらの研究開発の実施体制を構築することが必要である。

③研究開発成果を産業化、社会実装に結びつけるための出口戦略について

最終的なメインターゲットとしては、省電力化と高速化、小型化による効果が非常に大きいと考えられるサーバとスパコンを、CPU やメモリの LSI チップの I/O 部分の消費電力を 1/10 にすることにより、サーバにおいては現行比で、約3割程度の省電力化を実現することを目標としている。この目標達成に向けて、電子回路だけで実現する競合技術や海外プロジェクトの動向を踏まえ、光技術の導入による高機能化を、電子回路とコストパフォーマンスで勝負できるような形で、実用化していく必要がある。

また、本技術の本質的な競争力を担保するために、海外企業が簡単に真似ることができない技術要素やノウハウを適切な形で閉じ込めるブラックボックス化と、開発技術や製品を企業が利用し易い形で提供するオープン化を戦略的に融合させて推進することが必要である。

本事業に関し、経済産業省は、産業政策として、設備投資に対する補助金サポート、企業の再編や分社化等を支援するツールを考えているとしており、国内のデータセンターへの積極的な導入については種々検討がなされている。しかしながら、世界市場で優位に立つためには、低消費電力と低価格で製品を提供することにとどまるのではなく、単純な価格競争に陥らないように製品の付加価値を高めるなど戦略的な対応を検討する必要がある。

また、長期的な市場戦略という観点に立てば、データセンターの海外立地が進む可能性もあることから、本施策の目標が達成される 2021 年におけるデータセンターの国内外の立地動向についての展望を持ちながら研究開発を推進することが重要である。

④知的財産権及び国際標準への戦略的対応について

知的財産権を技術研究組合等で一括管理する方向は適切であるが、価値ある知的財産を生み出し、かつそれらを有効に活用する、

知的財産の具体的な管理運営指針づくりについて、技術研究組合等に参加する企業などが十分協議・調整しておくことが必要である。

また、本プロジェクトで技術開発する成果を世界へ展開していくために、経済産業省は、諸外国での同種の研究開発プロジェクトの現状を分析し、今後の研究開発の進展状況を踏まえ、国際標準化に向けてオープンに連携すべきところとブラックボックスとして競争すべきところを組み合わせて、戦略的に推進することが必要である。

《参考資料》

- (参考 1) 評価専門調査会 名簿
- (参考 2) 評価検討会 名簿
- (参考 3) 審議経過
- (参考 4) 第 1 回評価検討会 経済産業省提出資料【省略】
- (参考 5) 第 2 回評価検討会 経済産業省提出資料【省略】

参考1 評価専門調査会 名簿

会長	奥村 直樹	総合科学技術会議	議員
	相澤 益男		同
	本庶 佑		同
	白石 隆		同
	今榮 東洋子		同
	青木 玲子		同
	中鉢 良治		同
	大西 隆		同

(専門委員)

浅見 泰司	東京大学空間情報科学研究センター長 教授
阿部 啓子	東京大学大学院農学生命科学研究科 特任教授
飯島 貞代	三菱化学株式会社 三菱化学フェロー、ヘルスケア企画室部長
伊藤 恵子	専修大学経済学部准教授
上杉 邦憲	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 名誉教授
上野 裕子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング 株式会社 主任研究員
尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社相談役
長我部 信行	株式会社日立製作所中央研究所長
河合 誠之	東京工業大学大学院理工学研究科教授
来住 伸子	津田塾大学学芸学部教授
高橋 真理子	朝日新聞編集委員
中馬 宏之	一橋大学イノベーション研究センター教授
中杉 修身	元上智大学教授
中村 崇	東北大学多元物質科学研究所教授
福井 次矢	聖路加国際病院院長
松橋 隆治	東京大学大学院工学系研究科教授
村上 輝康	株式会社野村総合研究所シニア・フェロー

《参考資料》

参考 2 評価検討会 名簿

奥村 直樹	総合科学技術会議 議員
座長 村上 輝康	評価専門調査会 専門委員
尾形 仁士	同
中馬 宏之	同
木村 忠正	電気通信大学 名誉教授
小柳 光正	東北大学未来科学技術共同研究センター 教授
長谷川 淳	ルネサスエレクトロニクス技術開発本部 副本部長

参考 3 審議経過

- 10月11日 評価専門調査会
評価検討会の設置、評価時期の確認等
- 10月28日 第1回評価検討会
経済産業省から事業内容のヒアリング、質疑、論
点の検討
⇒追加質問を整理し、経済産業省へ対応を依頼
⇒委員からの評価コメントに基づき論点を整理
- 11月11日 第2回評価検討会
追加質問事項に対する追加ヒアリング、評価の骨
子の検討
⇒評価に係る調査・検討結果をとりまとめ
- 11月29日 評価専門調査会
検討会座長から評価に係る調査・検討結果の報
告、評価結果案の検討
⇒評価報告書案のとりまとめ
- 12月15日 総合科学技術会議
評価結果案に基づく審議と評価結果の決定