

研究評価委員会

「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」（事後評価）分科会 議事録及び書面による質疑応答

日 時：2022年5月17日（火）10：30～17：35

場 所：NEDO川崎本部 2301～2303 会議室（オンラインあり）

出席者（敬称略、順不同）

<分科会委員>

分科会長 永妻 忠夫 大阪大学 大学院基礎工学研究科 システム創成専攻 教授
分科会長代理 斎木 敏治 慶應義塾大学 大学院理工学研究科 総合デザイン工学専攻 教授
委員 片山 竜二 大阪大学 大学院工学研究科 電気 電子情報通信工学専攻 教授
委員 桐原 慎也 株式会社シグマクシス Digital&SaaS Sherpa Robotics and AM Director
委員 新田 仁 みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 経営・IT コンサルティング部 デジタル・技術戦略チーム 課長
委員 藤田 雅之 公益財団法人レーザー技術総合研究所 レーザープロセス研究チーム 主席研究員
委員 森田 逸郎 早稲田大学 大学院基幹理工学研究科 情報理工・情報通信専攻 教授

<推進部署>

有馬 伸明 NEDO IoT 推進部 部長
栗原 廣昭(PM) NEDO IoT 推進部 専門調査員
三代川 洋一郎 NEDO IoT 推進部 統括研究員
豊田 智史 NEDO IoT 推進部 主査
佐野 克己 NEDO IoT 推進部 専門調査員

<実施者>

荒川 泰彦(PL) 東京大学 ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構 量子イノベーション協創センター 特任教授
田原 修一 技術研究組合光電子融合基盤技術研究所 専務理事
中田 正文 アイオーコア株式会社 研究企画部長
中村 隆宏 アイオーコア株式会社 光技術統括部長
田中 有 富士通株式会社 フォトニクスシステム事業本部 先行技術開発室 シニアマネージャー
小倉 一郎 アイオーコア株式会社 プリンシパルマーケティングマネージャ
岩本 敏 東京大学 先端科学技術研究センター 教授
山口 博史 NECプラットフォーム株式会社 LSI 開発本部 エキスパート
八重樫 浩樹 沖電気工業株式会社 イノベーション推進センター 企画室 チームマネージャー
天野 建 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 プラットフォームフォトニクス研究センター 光実装研究チーム長
土田 純一 NECプラットフォーム株式会社 LSI 開発本部 事業部長代理
新庄 直樹 富士通株式会社 未来社会&テクノロジー本部 理事・本部長代理
佐々木 浩紀 沖電気工業株式会社 イノベーション推進センター ビジネス推進部 部長

<評価事務局>

| | |
|-------|----------------|
| 森嶋 誠治 | NEDO 評価部 部長 |
| 木村 秀樹 | NEDO 評価部 専門調査員 |
| 中島 史夫 | NEDO 評価部 専門調査員 |

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答
6. プロジェクトの研究開発成果詳細説明
 - 6.1 光エレクトロニクス実装システム化技術
 - (1) デバイス・実装技術
 - (2) システム化技術
 - 6.2 国際標準化
 - 6.3 革新的デバイス技術

(非公開セッション)

7. 成果の実用化・事業化に向けた取り組みおよび見通し
 - 7.1 ラックスケール並列分散システムの研究開発
 - 7.2 光電子融合サーバーボードの研究開発
 - 7.3 情報システム化技術の研究開発
 - 7.4 光トランシーバの開発
8. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

9. まとめ・講評
10. 今後の予定
11. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、分資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質問票のとおりとし、議事録に関する公開・非公開部分について説明を行った。

4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より行われた事前説明のとおりとした。

5. プロジェクトの概要説明

5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5-1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

実施者より資料5-2に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.3 質疑応答

【永妻分科会長】 ご説明ありがとうございました。技術の詳細については、以後の議題6及び議題7において扱うため、ここでの質疑応答は、主に事業の位置付け・必要性・マネジメントについての議論となります。事前に行った質疑応答も踏まえ、改めて確認したいことなどでも構いません。ご意見・ご質問等があればお願いいたします。

それでは、齋木様よろしくお願いたします。

【齋木分科会長代理】 慶應大学の齋木です。中間評価の結果への対応について、2番目にある指摘事項として「ユーザー企業を巻き込む」といった内容のものがありませんでした。それに対し、展示会、CEATEC等で広く周知を図る活動をされているとのご報告でした。そういった展示会での反応、あるいは具体的に使用したいといったユーザー企業と何か連携して進んでこられた事例があれば教えてください。

【NEDO IoT 推進部_栗原 PM】 お答えいたします。まず、CEATECのほうにたくさん出てもらってPRをしていただいたものの、途中からはコロナ禍に伴いCEATECがオフラインになったという状況がありました。それにより、直接コンタクトを取ることが困難だった実情があります。ですが、その以前についてはコンタクトで100件を超える問合せ等を受けており、その対応をしてきました。それについての進捗は、引き続き引き合いや評価をいただくようなケースが数件あるものと伺っています。また、展示会だけでなく学会等にも積極的に標準化という流れでPETRAさんに出ていただいております。公開の場でするので申し上げられませんが、大きなユーザーさんに興味を持っていただき、評価等を得ながら共用に向けて進んでいるとの話も伺っている状況です。

【PETRA_田原】 少し補足説明をよろしいでしょうか。

【永妻分科会長】 お願いいたします。

【PETRA_田原】 PETRAの田原です。少し補足いたします。CEATEC等では、結構個別な相談をいただいている状況です。具体的に話があったのは、2021年開催のinter OptoではA社様からサンプル提供の話がございました。また、標準化活動でCOBOというものをやっており、そこにおいてB社様から依頼を受け提供したといった事例もございます。

【齋木分科会長代理】 どうもありがとうございました。

【永妻分科会長】 新田様、お願いいたします。

【新田委員】 みずほリサーチの新田です。栗原様が説明された資料6-1、10ページの研究開発マネジメントにおいて、今回の革新的デバイスの技術ですが、目先のインタポーザだけでなく、まずそこをやられているところが非常にこのプロジェクトのすばらしいところだと思います。革新的デバイスのところで、インタポーザにおいては非常に実用化に向けてのつながりが見えたのですが、何か次世代、次々世代の技術開発につなげるためのマネジメント上の工夫等があれば教えてください。

【NEDO IoT 推進部_栗原 PM】 お答えいたします。お示しいただいた資料の1つ前になりますが、実は2017

年に革新的デバイスについて、「プロジェクトを生かすためにマネジメントをすべき」との指摘をいただいております。それに伴い、体制において、マネジメント委員会進捗会議として革新的デバイスをやられている大学と共にマネジメント委員会を組みました。そこで研究開発内容を共有し、どのように活用していくかといった議論を進めてまいりました。その点がマネジメントの工夫だと捉えています。

【新田委員】 それというのは、企業の実施者の方々等が革新的デバイスの結果などを共有し、それをどのように使えるのか検討できる場をつくられた。そういったところが、次につなぐ上での大きな動きだという理解でよろしいでしょうか。

【NEDO IoT 推進部_栗原PM】 その理解で合っております。

【新田委員】 ありがとうございます。

【永妻分科会長】 ほかにございますか。

【PETRA_田原】 少し補足説明をよろしいでしょうか。

【永妻分科会長】 お願いいたします。

【PETRA_田原】 田原です。実際に、例えば東京大学 竹中先生の成果の SiGe の材料であるとか、あるいは荒川先生の成果である量子ドットレーザー等は具体的にプロジェクトの中で既に生かされております。特に量子ドットレーザーについては本当に肝となる技術であり、アイオーコアといった会社も新設しながら、そこにおいても荒川先生の技術が非常に生きている状況です。そういった意味でも、革新的技術は当然次世代、次々世代につながっていくものと思います。各組合員の企業、アイオーコアも含め、どこでどう使うべきかといった議論は相当行ってきた次第です。

【新田委員】 ありがとうございます。よく分かりました。

【永妻分科会長】 片山様、お願いいたします。

【片山委員】 阪大の片山です。マネジメントに関して伺います。資料 17 ページの下部に「本技術普及率 5 割」と書いてありますが、ここについて何か分かりやすい論拠はございますか。

【NEDO IoT 推進部_栗原PM】 ここに関しては少しつらいところでもあります。このプロジェクトが発足した当初は、このすばらしい技術を 2030 年普及率で 8 割という高い目標を立てておりました。ですが、その普及率については、本当にそのようになるのかといった議論もあり、5 割に変更し適正化を図っています。このプロジェクトで狙う領域というのは、先ほど私が説明した 23 ページのポジショニングの箇所において、ここにある On-Board のパッケージと Off-Board 間の領域で非常に高いポジショニングが得られているのがお分かりいただけるでしょうか。ですので、この領域を取っていく。そして、それが 5 割かと問われると回答が難しいのですが、そこは相当取れるものと考えていますし、I/O コアについてもこの市場は取れるものと踏んでいます。そうならば、5 割という数字もあながち的外れではないものと捉えるのですが、回答になっているでしょうか。

【片山委員】 今のお話しから、光 I/O コアだとすると、短い伝送距離の部分に射影してしまえば FOM が 4 のままでは少しつらい気もしますが。線の上に来なければシェアは取れないのですよね。

【NEDO IoT 推進部_栗原PM】 ここについては今、その後の研究開発において上げております。ですので、もっと高いものになっている状況です。

【片山委員】 性能指数が上がる見込みということですね。

【NEDO IoT 推進部_栗原PM】 おっしゃるとおりです。

【片山委員】 これは 2017 年当時の値だから 4 になっているという理解で合っていますか。

【NEDO IoT 推進部_栗原PM】 合っております。ここはプロジェクトの成果としてまとめているためにその数字となりました。すみません。

【片山委員】 分かりました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 森田様、お願いいたします。

【森田委員】 早稲田大学の森田です。今の質問に関連して少し伺います。同じグラフになりますが、距離が短くなるに従ってFOMが上がるものと理解しています。そうすると、競合他社のA社、B社、C社のR&Dのほうは距離が長いところでFOMが大きいように見えるため、競合他社が短距離化を進めた場合に、より高いFOMを達成可能であるというようなことは考えられないでしょうか。

【NEDO IoT 推進部_栗原PM】 ここについてですが、実装の部分、システム化の部分において、特にA社はまだそこまで来ていない状況です。また、先ほどの説明の中において出てきた海外プロジェクトの一つになりますが、その予算等を見ても、早くにそこまではいかないものと捉えています。ですので、この市場を早めに立ち上がらせて獲得していくことが戦略です。確かにここを出遅れてしまえば問題ですので、事業化の組合企業の皆様には努力をしていただきながら、早期実用化を目指していきたいと思えます。

【アイオーコア_中村】 アイオーコアの中村です。少し補足いたします。これは距離で比べていますが、そのほかの指標も多々あります。その中で、特に温度というところが非常に重要なものです。ボードの中で使っていくということは、LSIの近くだと相当高温まで必要になります。そういう意味で、A社含めましてまだ対応ができていない状況です。我々につきましては荒川先生が開発された量子ドットレーザーを早くから適用していることで、高温に対しても既にI/Oコアの場合105度近くまで対応できるため、強みを持っていると考えております。

【森田委員】 簡単には短距離化できないということですね。分かりました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 私からも関連して伺います。このページの図面は非常に大切なものと思えますが、図面の真ん中あたりの四角く囲んである中の下部2つについて、確かに進展しているものの、上のほうがターゲットエリアになっているものと捉えます。そのあたりについて何か具体的な指標や可能性、もしくは今後の勝算や計画があれば教えてください。

【PETRA_田原】 田原からお答えいたします。アイオーコア社の製品自体のロードマップについては、後半のセッション内で、アイオーコア社からの説明において具体的に示されると思えます。その上で簡単に申し上げると、当然 Gbps レベルでのスループットは上げるのですが、面積はそのまま変わりません。そのため、縦軸で言えば上側にいくことはあります。ですが、気をつける点として、LSI 付近に置くということは温度耐性が物すごく重要になっていきます。そのため、温度耐性をきちんと保ちながらスループットを上げていく技術というのが重要で、デバイスだけでなく実装技術も非常に重要になります。今アイオーコアでは 50Gbps や 64Gbps を狙っており、デバイスと実装技術の両方を含めてトランシーバとしての性能を上げていく努力をしております。ですので、分科会長がおっしゃったように、縦軸方向の線に加えまして、温度といったパラメータを考えていく必要があると思っております。

【永妻分科会長】 ありがとうございます。強みになる技術があるということで理解いたしました。もう1点伺います。21 ページのアメリカの動向が少し気になるところです。一桁上のターゲットを狙われていますが、これに対して十分に立ち向かっていけるレベルであるなど、こういった見解を持っておられるか教えてください。

【PETRA_田原】 引き続き田原からお答えいたします。いわゆる Co-packaged において高いレベルのものを実現されている具体例としては、Ayer Labs とか Cisco といったところが頑張っているという認識です。また、見解として高温化は難しいのではないかとと思うところですが、彼らはそれを防ぐためにレーザーをエクスターナルにしています。我々が狙っているのは量子ドットレーザーを使用したインテグレートドレーザーです。コストについても、エクスターナルレーザーを使った場合は非常にコスト高になりますから、我々が目指している短距離の応用でコストをぐっと下げるといったところには届かないのではないかと考えます。ですので、先ほどのターゲットの部分はどうつくっていくのかが非

常に今後の課題だと思えます。

【永妻分科会長】 よく分かりました。ありがとうございます。

藤田様、お願いいたします。

【藤田委員】 レーザー総研の藤田です。ご説明いただいた内容やこれまでの質疑応答を伺い、非常によいプロジェクトであるという印象を持ちました。三期のうちの半分以上はほぼコロナ禍で大変苦勞をされたと思われませんが、そのあたりで特に工夫された点や克服された点があれば教えてください。

【NEDO IoT 推進部_栗原 PM】 栗原からお答えします。コロナ禍において一番問題となったのは、受託においてサプライチェーンが分断されたところです。それにより部品が入ってこない状況となりました。そうすると、本来であれば実験計画が後ろ倒しになるところですが、幸いなことにこのプロジェクトにおいては、先ほどマネジメントの部分で説明したように前倒しでやっていたため、そこが功を奏しました。もちろん委託先の皆様が工程の差し替え等をしていただいた努力があってこそ成り立ったものです。しかしながら、NEDO としては期がずれてしまえば予算措置の手続きをやらなければならないため、そういうものを年度末に懸命に行ったというのは苦勞点と言えます。また、コロナ禍においてはコミュニケーションの問題も考えられるかと思いますが、これまで対面で行っていたマネジメント委員会をいち早くオンライン開催の形に踏み切ることで、そのような問題も生じませんでした。

【藤田委員】 ありがとうございます。

【PETRA_田原】 実施者の立場から補足いたします。今、栗原様がおっしゃったように、三期のうちの前半が光デバイス試作であり、後半がシステム化実証というイメージで捉えておりました。ですので、デバイス試作は早め早めにと行っていた次第です。ただ、やはり半導体が入らないことや、中国が動けない状況等がありました。そこにおいては、NEDO さんから支援を、先ほどのお話しにあった年度末処理にて非常に協力をいただいたことによって、さほど遅れずに行えた状況です。また、会議についてもオンライン会議の回数自体を増やして行いました。幸い 10 年間行っている技術研究ですから皆の顔も分かっております。それゆえ、オンライン会議であっても意識疎通を図るには問題がなかったものと捉えています。

【藤田委員】 確かに資料を拝見すると、5-2 の資料 5 ページ目の成果のところ赤字で示されている「◎」の部分は、5-1 の資料 25 ページの促進財源によって「◎」の成果が得られているということで理解いたします。大変すばらしいマネジメントだと思えます。

【永妻分科会長】 桐原様、お願いいたします。

【桐原委員】 桐原です。この論点は後半のセッションで予定されているアイオーコア社の説明部分に当たることかもしれませんが、少しお伺いします。三期以前に、早々と分割会社であるアイオーコア社を立ち上げられており、こちらの企業が先兵となって事業化に向けて様々な営業活動をされており、営業情報も獲得していたかと思えます。このアイオーコア社と皆様とのプロジェクトにおける連携、もしくは、富士通さん、NEC さん、沖さんといった事業会社との連携においてはどのようになっているのでしょうか。こうした連携はこれまでの他のプロジェクトを見ていると結構難しいように思う部分です。会社を切り出したら、そこはそこで走るというようなところはありますから、アイオーコア社とプロジェクト全体との間において、情報共有も含めた連携等のうまくいった点、うまくいかなかった点、今後の目標等があれば教えてください。

【PETRA_田原】 まず、第二期が終わった段階で創設した背景には、光 I/O コアというトランシーバの成果が相当上がっていたため、そのチャンスを生かしたいという点、また、途中において分割できるというように法律が変わったので、そちらも生かして実行させていただきました。ですが、つくったからとはいえ、これを量産化するまでには多くの時間がかかります。ですので、技術的にも PETRA が協力する必要がありました。つまり、アイオーコア社は PETRA の組合員の一つとして、その中で NEC さん等と

組み合わせながら、NEDOの予算事業とは別にPETRA内での量産化技術として進めてきました。システム化技術のところでは、例えばOn-BoardのFPGAボードの中にI/Oコアを使用し、その性能を上げていくという面ではNECさんと一緒に行いましたし、その中でサーバーボードを使ったシステム実証等も行いました。富士通さんもI/Oコアを使用し、CPUの周りに並べた実証というものを行っております。ですので、第三期では、各組合員の皆様の実証において、最終実証の段階では自作のデバイスで行うものの、その前段階としてシステムデモを行うプロトタイプをつくる際にはI/Oコアを使うといったことで非常に役立ちました。そういう意味では、第三期の中で各組合員さんは連携しながら生かされてきたものと捉えます。

【桐原委員】 ありがとうございます。それは、今後もPETRAさんが続くことで引き継がれていくということでしょうか。

【PETRA_田原】 PETRAの光エレの実装プロジェクトはこれで終了ですので、後はアイオーコア社と各組合員さんとの連携になると思います。ですが、具体的にNECさんの事業の中では既にI/Oコアを使用すると決まっているので、今後も連携していくものと思います。

【桐原委員】 その連携について、ここまでせっかく築いてきた成果が途切れてしまったのではもったいないと思ったため、お伺いさせて頂きました。競合優位性をどのようにキープするかについて、ケアをお願いしたいです。

【PETRA_田原】 ありがとうございます。具体的に行える人間もおりますから、やっていきたいと思います。

【桐原委員】 お願いいたします。

【永妻分科会長】 それでは、質問は以上のようなので、議題5については終了といたします。

6. プロジェクトの研究開発成果詳細説明

6.1 光エレクトロニクス実装システム化技術

(1) デバイス・実装技術

実施者より説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

<質疑応答>

【永妻分科会長】 ご説明ありがとうございました。ここから質疑応答に入りますので、ご意見・ご質問等があればお願いいたします。

それでは、齋木様お願いいたします。

【齋木分科会長代理】 慶應大学の齋木です。スライド18ページにおいて、ヒーターを新たに導入されたという点について伺います。これは環境の変化に対応するためのものという理解でよろしいですか。

【アイオーコア_中村】 LSI付近で使うという意味では、いろいろな温度変化がございます。ですので、そういうところに対応していこうという意味合いも強いです。一方で、これは位相エラーを自動訂正するという機能がもともと盛り込まれており、作成上どうしてもマッハツェンダーの位相で作成誤差が入るといった点も修正できるといった機能も含んでおります。これを使うことで歩留まりも上げられるものと考えている次第です。

【齋木分科会長代理】 このヒーターの大きさはどの程度になりますか。

【富士通_田中】 富士通の田中です。ヒーターはマッハツェンダーのアームのところに乗っているだけのものですから、サイズはそれほど大きなものではございません。導波路レベルの大きさになっています。

【齋木分科会長代理】 そうしますと、一つ一つのアームに対して補正がかけられるようになっているということですか。

【富士通_田中】 そのとおりです。一つ一つ組み合わせて、全部で3段ずつ程度の干渉計となっております。

それぞれのアームに対してヒーターがついております。各干渉計で、モニターPDで強度を見ながらヒーター調整を行い、位相エラーを直すという仕組みです。

【齋木分科会長代理】 分かりました。どうもありがとうございます。

【永妻分科会長】 森田様、お願いいたします。

【森田委員】 早稲田大学の森田です。スライド14にある低消費電力化について質問いたします。シリコンにすることで、1mW/Gbpsの達成見込みとなっている点です。ターゲットとしているのはレーザーを含めた消費電力だと思っていたのですが、ここで示されている数値にはレーザーの消費電力が含まれていないと理解しました。そのため、レーザーを含めた場合、この数値にレーザーの消費電力を加えた場合、目標値を少々超えてしまうのではないのでしょうか。レーザーの消費電力を含めた場合はどうなるのですか。

【アイオーコア_中村】 この場合は、レーザーを外部から電源のように供給しようとしており、そこまで含めた形で相当小さくできるものとは考えております。1つのレーザーから幾つも分波するという方法であれば、例えばこの場合、16波というものを1つのレーザーで与えることによって非常に低消費電力になるものと思います。

【森田委員】 波長多重なので波長が違うと思うのですが、それは分岐できるのでしょうか。

【アイオーコア_中村】 分岐は可能だと考えております。

【森田委員】 レーザーは複数波長で発振するということですか。

【アイオーコア_中村】 複数波長のものはそろえないとなりますませんが、各レーザーに対しての分岐はできるものと考えています。

【森田委員】 例えば、3つのチップを載せるとおっしゃっていましたので、3つに分岐するという理解で合っていますか。

【アイオーコア_中村】 その理解で合っております。

【永妻分科会長】 私からも少し伺います。24ページに「ファンドリにおける集積プロセスを構築」とありますが、このプロジェクトの終了後は全てファンドリでチップを作製し設計に徹していかれると。それほかの部分では、例えばポリマーにおいては内製化ということでしょうか。

【アイオーコア_中村】 おっしゃるとおりです。シリコンフォトニクスについてはファンドリで使えるようになっております。少なくとも、今後組合員の方々のほうにも展開する形を想定しています。

【永妻分科会長】 ここに書かれている「PETRA開発の集積フロー移植」というものは、ファンドリでもPETRAで開発されたものが確かに使えることを確認できたという理解でしょうか。

【アイオーコア_中村】 そのとおりです。

【永妻分科会長】 ある程度カスタマイズもされているということですね。

【アイオーコア_中村】 そうなります。

【PETRA_田原】 補足説明をよろしいでしょうか。

【永妻分科会長】 お願いいたします。

【PETRA_田原】 ファンドリの部分ですが、シリコンフォトニクスはせつかくいろいろな微細加工ができるといった特徴がありますから、それをプロジェクト内のみで閉じる、プロジェクトが終了すればそれでおしまいというのでは、あまりにもったいないと考えます。ですので、ファンドリについてはゲルマの装置を使っただけでも含め、一応PDKをそろえました。もちろん、やりたいことがあった場合には多少のカスタマイズが今後も必要だと思うのですが、基本的にはこのFABで、組合員の皆様についてはシリコンフォトニクスを継続されるようになっております。

【永妻分科会長】 そうしますと、ウェーハプローバも同様という理解でしょうか。

【PETRA_田原】 ウェーハプローバにつきましては、PETRAの中の次のプロジェクトで使う予定となっております。

り、現在は東工大に置いている状況です。これは PETRA と東工大のプロジェクトによって一般にも使える仕組みをつくっていますから、このウェーブローバを使用して評価を行いたいといった場合には、東工大に行っただけならば、同じメンバーがオペレーションをできるようになっています。

【永妻分科会長】 大学のほうでその技術を継承されていくということですね。

【PETRA_田原】 そのとおりです。

【永妻分科会長】 分かりました。ありがとうございます。

それでは、質問は以上のようなので、6.1の(1)については終了といたします。

(2) システム化技術

実施者より説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

<質疑応答>

【永妻分科会長】 ご説明ありがとうございました。ここから質疑応答に入りますので、ご意見・コメント等があればお願いいたします。

それでは、齋木様お願いいたします。

【齋木分科会長代理】 慶應大学の齋木です。2番目の説明の中で、メモリー間と直接にやり取りができるというお話がありました。その後のデモにおいてもそれが活かされているという理解でよろしいでしょうか。

【富士通_田中】 そのようになっております。

【齋木分科会長代理】 これは、どのぐらい効果があったのですか。遅延量がどのぐらい短くなったのか教えてください。

【NECプラットフォーム_山口】 NECプラットフォームの山口です。ご質問ありがとうございます。21ページの左上にも記載があるように赤字で「低遅延 (0.7 μ s)」となっております。遅延量で言えばこの程度まで短縮することができました。

【齋木分科会長代理】 その後のソーティングのデモの際にはこれがどのぐらい効いている、そういう観点ではどうなるのでしょうか。

【NECプラットフォーム_山口】 時間で言えば、41ページですと、0.731秒が0.015秒に短縮できています。

【齋木分科会長代理】 これが直接の比較値になるということですね。

【NECプラットフォーム_山口】 そのとおりです。

【齋木分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 片山様、お願いいたします。

【片山委員】 阪大の片山です。24ページについて伺います。真ん中にある図のライトソースというのは、右のバーの青い箇所よろしいでしょうか。

【富士通_田中】 右のバーに見える一番上の部分になります。ちょうどここにございます。

【片山委員】 緑色はOptical amplifierではないのですか。

【富士通_田中】 この下に、小さくなっていますが少し青いところがございます。

【片山委員】 少しあるんですね。分かりました。そうすると、すごく丈のある青のほうは、左は「サーバ」と書いてありますが……

【富士通_田中】 右側もサーバです。

【片山委員】 右側も同じくプロセッサの部分ということでしょうか。

【富士通_田中】 そうです。IUのサーバが8台、これを動作する部分が両方に乗っています。左側が、電気配線をさらにそこにInfiniBandのスイッチの部分で灰色で、少しだけ線が。

【片山委員】 ねずみ色の箇所ですね。

【富士通_田中】 そうです。右側のほうはそれがございませぬが、FPGA と EOM の消費電力と、あとは増幅のアンプとライトソースが乗っています。

【片山委員】 分かりました。では、やはりレーザーとコンパラのアンプが必要なのですね。それだけロスがあるということ。そのロスに関して変調器を使用し、最後に受け取る部分はフォトダイオードだからということ。また、その一方で、電気配線というのはスイッチングに伴う何かロスであり、それを比較すべきということで理解いたしました。41 ページにその内訳が詳しく記載あるということですね。また、サーバ全体の計算速度が上がったことで光のほうは電力消費量は少ないという主張はよいと思うのですが、プロセッサの分の電力量というのは、そのときは含まれているのでしょうか。

【富士通_田中】 入っております。

【片山委員】 それは、つまり電気配線の場合ほとんどが配線で電力消費されていることで示されたデータという理解でしょうか。

【富士通_田中】 その割合までは分析できておりませんが、含まれております。

【片山委員】 サーバ全体として、ここまで削減できている成果がアピール要素になっているのですね。分かりました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 森田様、お願いいたします。

【森田委員】 早稲田大学の森田です。最後の ONU の小型化の部分で少し伺います。10 cm×2cm×2cm の小型化ができましたという部分で、これは、この開発技術がなかった場合と比較してどの程度サイズが小さくなってこのサイズになったのか教えていただきたいです。

【沖電気_八重樫】 沖電気の八重樫です。今ベンチマークが出ていますが、このページに載せた後ろの A 社、B 社と記載ある箇所は、これはそれぞれ NG-PON2 対応のトランシーバになっていますが、光切替えを高速で行わなわかないという、一回設置したらそれで固定というような使い方を想定しています。ですので、光切替え速度が非常に遅いものであれば、今ほぼ同じサイズでの実現できているものがプレリミナリーで出ておる現状です。ただ、将来的に TWA の PON システムを使って動的な波長切替などができるようなものを考えると、波長切替の機構が非常に複雑なため、今弊社システムで使っているものは実験室レベルではあるものの、やはり 1 つのラックに入れるような装置で組まざるを得ないのが現状です。

【森田委員】 分かりました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 私からも少し伺います。最初のほうの説明にあったインタポーズについて、8 ページにあるのは石英基板だと思いますが、こういった多層基板というのは一般的なものなのでしょうか。それともこのプロジェクトのために開発された構造となるのですか。

【富士通_田中】 こちらは、このプロジェクトのために開発したものとなります。

【永妻分科会長】 非常に性能がよいもののように驚きました。

それでは、質問は以上のようなので、6.1 の (2) については終了といたします。

6.2 国際標準化

実施者より説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

<質疑応答>

【永妻分科会長】 ご説明ありがとうございました。ここから質疑応答に入りますので、ご意見・ご質問等があればお願いいたします。

新田様、お願いいたします。

【新田委員】 みずほリサーチの新田です。標準化の部分は非常に重要だと思います。こういった標準化をするにあたって PETRA さんの技術を中心に行っていると思うのですが、ほかのグループの使用をブロックできるなど、何かこういう部分を押さえていることでほかのグループが入ってこれないようにしたなど、そのあたりについて補足をいただけるとありがたいです。

【アイオーコア_小倉】 標準化というのは、ブロックするというよりも仲間づくりの観点となるでしょうか。我々のデータも標準としてデータセンターに入る、また、コンピューターにも使えるという扱いになります。ですので、大きく共通のパッケージであるとか、100G の共通インターフェースというそういった策定を行ってまいりました。シリコンフォトニクス光 I/O コアは、本日ずっとご紹介しているように、消費電力が少ない、高温で動作するという特徴がございます。標準のパッケージでありながら、性能的に非常に差別化が図られているという形です。最終的に同じ製品の中でも我々の製品が選ばれるということで、標準にのっとったインターフェースを持っているというのはそのとき非常に重要ですから、まずは使用される土俵に上がるという意味合いで標準化を捉えているものとご理解ください。

【新田委員】 失礼いたしました。ブロックするというのは、例えば優位性という意味合いで言ったものでした。優位性がある技術を標準化したことで、仲間づくりの中でもより PETRA さんの技術というものが発揮できることを理解いたしました。ありがとうございました。

【アイオーコア_小倉】 ありがとうございます。

【PETRA_田原】 田原から補足をいたします。今、おっしゃったように標準化は仲間づくりであり、使用していただくことがポイントとなります。午前中の荒川先生からの話の中でもありましたが、我々の考える戦略は、実装プロセスの部分は完全にブラックボックスとなります。ですので、例えばこのデバイスを真似しようと思えば二番煎じをしても、なかなか同じものは造られないようにする。これが差別化であり、そこで競争力を保とうと考えています。特に中国に真似をされたのでは安くなってしまったため、その部分はずっと考えてまいりました。この標準化としては、やはり切り口としてインターフェースが合わないとなれば使っていただけませんから、むしろ、これは使っていただくために、仲間づくりをリードしているといった活動になります。

【新田委員】 ありがとうございます。よく理解いたしました。

【永妻分科会長】 私からも少し確認をお願いいたします。このページにあるレイアウトについて、これはデータセンターのスイッチ用ということでした。対しまして、6.1 の説明で出てきた光電子集積インタポーザのコンセプト、これは LSI とのインターコネクションということで少し形が違うとは思いますが、そういう意味では、このプロジェクトは相当先行しており、その中で世の中や世界が要求するいろいろな技術に対し技術を切り出して標準化を行っているスタンスだという理解で合っていますか。

【アイオーコア_小倉】 おっしゃるとおりです。ここに書いてあるように汎用のパッケージ、共通のインターフェースということで、逆に言えば、あまり尖っておりません。その中で、高温で使える、消費電力が少ない、コストが低いといった部分で共通のものでありながらも、最終的には競争力が非常にある、そういった成果だと思います。

【永妻分科会長】 ありがとうございます。よく分かりました。

それでは、質問は以上ですので、6.2 については終了といたします。

6.3 革新的デバイス技術

実施者より説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

<質疑応答>

【永妻分科会長】 ご説明ありがとうございました。ここから質疑応答に入りますので、ご意見・ご質問等があればお願いいたします。

それでは、藤田様お願いいたします。

【藤田委員】 レーザー総研の藤田です。こちら、ハイブリット量子ドットレーザーとありますが、何と何のハイブリットと理解したらよろしいでしょうか。

【東京大_岩本】 こちらは、シリコンの材料と光回路というのがメインのプラットフォームになるわけですが、シリコンの上に III-V 族の半導体、化合物半導体でできた量子ドットレーザーが集積されるという意味合いになります。

【藤田委員】 材料のハイブリットということですね。分かりました。あと、非常に広範囲な温度範囲で発振しているところはすごいと思うのですが、高温になればなるほど閾値が上がるという点では、消費電力も若干増えるものと理解してよろしいでしょうか。

【東京大_岩本】 閾値が増えているため、そこはやむを得ないと思います。ただ、一般のレーザーですとそもそも高温では発振が止まるという現象があるので、そういう観点で見ると量子ドットレーザーにおいての大きなアドバンテージになると考えます。

【藤田委員】 その次の次にあるグラフでは 200 度での発振のデータも見受けられるので、そこまでできることに驚いております。

【東京大_岩本】 こちらでしょうか。

【藤田委員】 13 ページの部分です。

【東京大_岩本】 そのようになります。

【藤田委員】 分かりました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 桐原様、お願いいたします。

【桐原委員】 桐原です。ご説明ありがとうございました。本当にこのプロジェクトにおいてこの分野の技術が非常にまとまって進化されているものと思います。一つお伺いしたいのは、15 ページについてです。定量的な数字の成果があつて素晴らしいのですが、特許 4 件と聞くと、この研究内容と質に対しては特許件数が若干少ないような印象を持ちました。ここは、どういう理解をすればよろしいでしょうか。

【東京大_岩本】 ありがとうございます。特許件数についてですが、特許化というのは自由な視点で、それぞれの先生方が意識して取り組まれてきたものとなります。また、これは確証を持ったものではありませんが、特許については出願中のものもあるかもしれません。あとは、やはり大学であるため、基礎にかかる部分が非常に多いという観点で、特許には至らないものの極めてインパクトのある成果が多く創出されているものをご理解ください。

【桐原委員】 ありがとうございます。いずれにしても、この技術で集積されたものというのは非常に日本の産業力の強化において、次世代に向けた一つの種だとも思いますから、こちらをうまく産業に生かしてほしいという思いです。

【東京大_岩本】 ありがとうございます。

【PETRA_田原】 補足をさせてください。

【永妻分科会長】 お願いいたします。

【PETRA_田原】 この 4 件というのは、あくまで革新デバイスの中の 4 件になります。ですので、PETRA 自体としては 60 件ほどの特許が 4 年間の間で登録されているという状況です。

【桐原委員】 今の内容を伺い安心いたしました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 これは 4 年間のサマリーなのですね。

【東京大_岩本】 今、田原さんから補足をいただきましたが、革新デバイスとしての 10 年全体での成果になります。

【永妻分科会長】 10年全体ですね。分かりました。ありがとうございます。

齋木様、お願いいたします。

【齋木分科会長代理】 慶應大学の齋木です。このテーマは、多分学生さんが相当関わっておられるのだと思います。人材育成にも非常に貢献されたように思いますが、学生さんに対してこの分野に興味を持ってもらい、これから先こういうところで活躍したいと思ってもらえたかどうか、そういった手ごたえというのは感じられたものでしょうか。

【東京大_岩本】 例えば、先ほどの成果普及で紹介した活動においても、非常に多くの学生さんが参加しておりました。その観点からは興味を持ってもらえたものと捉えますが、今後、産業界のさらなる発展においては、そういった学生さんが活躍できる場がよりつくられていくことが重要ですから、これからそこを見ていかなければなりません。せっかく興味を持った学生さんが違う分野にいかないようにつなぎとめる、そこにおいては大学及び産業界が共に行っていく必要があると考えます。

【齋木分科会長代理】 どうもありがとうございます。

【永妻分科会長】 片山様、お願いいたします。

【片山委員】 阪大の片山です。同じような質問になってしまいますが、例えば今回非常にこの分野に興味を持った若い学生さんたちが就職をする際には、具体的にはどういった企業に就くとこれらに携われるのでしょうか。

【東京大_岩本】 データがないため正確にはお答えできかねますが、プロジェクト参画企業のほうに進んでいるケースとして、そこにコンタクトを取った、もしくは接点があるという経緯から就職したケースはあると思います。また、こういうところで経験した人が少し違う分野から見てこの分野に対して刺激を与えるような活躍方法もあるのでしょうか。そういった多様なキャリアパスも今後出てくるのではないかと期待しています。

【片山委員】 そのあたりのデータもぜひ教えていただけると、私も学生に推薦できますから非常にありがたいです。よろしくお願いいたします。

【東京大_岩本】 承知いたしました。ありがとうございます。

【永妻分科会長】 それでは、質問は以上ですので、6.2については終了といたします。

(非公開セッション)

7. 成果の実用化・事業化に向けた取り組みおよび見直し

省略

8. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

9. まとめ・講評

【永妻分科会長】 議題9のまとめ・講評です。発言順序は、最初に森田委員から始まりまして最後に私という流れで行います。それでは、森田様からお願いいたします。

【森田委員】 本日はご説明いただきありがとうございました。今日一日のご説明を拝聴し、こちらのプロジェクトが消費電力化という非常に重要な課題に対し、デバイスからシステム化までという多種多様にわたる成果を多々上げられていることを十分理解いたしました。また、プロジェクトとしても、当初に

掲げられていた目標をほぼクリアされているようでした。その上で、プロジェクトを進める中で一部上方修正を行ったり、前倒しをされたりということも十分にされており、その点も非常に素晴らしいと思います。特に、こういった研究開発プロジェクトの場合は、どうしても商用化、社会実装という部分がいつも強く求められますが、私自身もそういうプロジェクトをいろいろやってきておりますので、そこが悩みどころだと共感いたします。ですが、こちらのプロジェクトに関しては、アイオーコア社を通じて実用化に向けて非常に具体的に進められており、大変素晴らしいと思います。ぜひ今後、実際の市場獲得といったところに邁進して行ってください。また、Co-packaged 技術は今後ますます重要になると思います。本日の説明の中でもあったように、海外からもどんどん競合他社が入ってこられると思いますが、今日伺った中では、少なくとも現時点では技術的に非常に優位性があるものと感じました。ぜひこの優位性を保ちながら、いち早く市場を獲得していただき、日本発の技術としてどんどん使われるようになればよいなと思います。以上です。

【永妻分科会長】 藤田様、お願いいたします。

【藤田委員】 レーザー総研の藤田です。今回は4年間の評価としてNEDO様から依頼を受けております。その中で、話を伺いながらいろいろと勉強をさせていただきました。また、それ以前の6年間を含めた10年間としてもいろいろな功績があったものと理解しています。今まさに社会的問題となりつつあるサーバーの消費電力に対する問題意識、そこに10年前から取り組まれていたことには、本当に先見の明ここにありという印象です。また、非公開部分において、アイオーコア社の説明が非常に熱かったのが一番印象的でした。やはりこの熱さに耐えられるのは量子ドットレーザーしかないのだなと理解した次第です。この10年間で、量子ドットレーザー、QDレーザー社ができて、その後アイオーコア社ができて、そして大企業が事業化の計画を立てられているとのこと、これは10年プロジェクトとして本当に立派な成果だと捉えます。加えて、それのみならず、研究成果を世に役立てるモデルケースになっているということにも非常に感銘を受けました。私の専門とは少し別な分野ではあるものの、大分勉強になりました。ありがとうございました。

【永妻分科会長】 新田様、お願いいたします。

【新田委員】 本日は、ご説明いただきまして誠にありがとうございました。私もアカデミアの人間ではないため、市場に絡むものとして物事を見させていただきました。ですが、技術が分からないながらも、このプロジェクトが当初からしっかりと市場に対して重要な目標を掲げられ、一つ一つ要素技術をつくり込んでこられたことを理解いたします。必要な技術をきちんと洗い出し、過不足なく作り込まれているところに非常に感銘を受けました。また、次世代の技術というのもとても大事にされていることを伺えます。既に一部実装されているものもありますが、まだ実装されていないものにおいても、日本の競争力を出していく上で重要となる技術があると思います。そういったものをどんどん実装していきながら、ぜひ強みにつなげて行ってください。今後、IoTや光電融合といったところでこの技術が非常に生きるものと思いますし、今回のプロジェクトでは、世界よりも先の技術ができています。十分戦えると思います。需要が高いゆえに競争の激しさも伴うと思いますが、ぜひともこの技術開発をますます発展させ続けていっていただきたいです。それにおかれましては、NEDO様側としてはまた技術開発が別途必要になるとも思うところですが、このシステムが進むよう継続的な努力のほうをよろしくお願いいたします。以上です。

【永妻分科会長】 桐原様、お願いいたします。

【桐原委員】 シグママックスの桐原です。皆様、本日はどうもありがとうございました。私は以前から技術アドバイザーとして入らせていただいておりますが、その当時からこの分野に良さを感じていたのは、まず大きな省電力を実現するという環境面での社会課題にフィットしている点です。次に、デジタル分野の市場というものをターゲットにしながら、必要な技術は光エレクトロニクスという部分。これは非常に日本が得意とする領域で、優位性構築しやすく、海外からすれば模倣をしにくいものですから、この視点においても非常によいターゲットだと思います。こうした領域のターゲティングというのはとても大切なものと考えます。また、進め方において、アイオーコア社という割とスタートアップを立ち上げ、そこにアントレプレナーシップを持った方を入れられ、そのスタートアップが大学やメーカーを逆に刺激しながら研究開発及び事業開発をドライブしていかれている。このモデルは、“成功の型”として、ぜひ今後の他領域での NEDO や、他の国プロテマにおいても生かして頂きたいです。加えて、光エレクトロニクスの分野はこれから 2030 年、2035 年、2040 年とずっと競争が続いていく分野だと思っています。海外の動向もありますから、今のスタートアップと大学と大企業との連携というものを崩さず、より強くしていくためのサポートを、NEDO 様はじめ我々も共になって何かしらの形で今後とも行っていけたらと考えます。以上です。

【永妻分科会長】 片山様、お願いいたします。

【片山委員】 本日は一日お疲れさまでした。大変勉強になった次第です。今日もこのようにハイブリットに会議を行っておりますが、コロナ禍のあおりを受けて、ますますデータトラフィックが非常に増えてきている状況でしょうか。そのことから本日ご紹介いただいた技術がすぐにでも役に立つものと実感いたしました。私自身、海外の動向にも興味を持っておりますが、昨年、ライトマターという会社が、全て光で計算をする光 AI アクセラレータを開発してリリースしておるようです。そのスペックというのが Nvidia の GPU の速度の 10 倍で消費電力も半分というものをたたき出しています。そういう意味で、今回ご紹介いただいた内容というのは、それこそ温度特性のよい量子ドットレーザーと、途中でその変調を高速で行いフォトダイオードで受ける。かつ光導波路やモジュールの実装技術の全てがそろっているわけです。どういった方がそういう発案をするかは分かりませんが、スモールスタートなスタートアップでもよいので、日本の中でそういったものを立ち上げる人がいれば、ぜひ今回のプロセスプラットフォーム等を利用させていただくなど、そういった形でさらに次の新しい産業につなげていってほしいです。以上となります。

【永妻分科会長】 齋木様、お願いいたします。

【齋木分科会長代理】 本日はご説明いただきまして、どうもありがとうございました。私は中間評価から参加をさせていただいておりますが、要素技術もさることながら、それを組み上げてデバイスにされることにおいて、ここに関わってこられた研究者の皆様方の努力には本当に敬意しかございません。一方で、事業化されてこそだという思いもあったのですが、今日の話を知り、各企業の熱意が前回とは全く違うもので、その違いが最も印象的で感銘を受けました。また、これは常々思うことですが、こういう事業の位置づけにおいては、最初のグラフとして、横軸に年代で、エネルギー消費量、必要な通信量、ストレージの容量といったものが必ず右肩上がりとなっています。これは、良いものをつくれば皆使うであろうし、使えばそれが必要だからまたと、もう上がって当然なものです。そして、切りがご

いません。それが行き過ぎてしまうと、ユーザーが置いてきぼりで開発者ばかりが盛り上がってしまい、実は誰も欲しいとは思っていなかったのではないかという状態にもなり得るでしょうか。ですので、もちろん需要があれば、研究者、エンジニア、企業の方々は頑張ろうということで経済も盛り上がって大変よい話だとは思いますが、一方で少し社会科学的な見方、人文科学的な見方からもこういった技術発展というものを少し見ていく必要もあるように感じます。逆に言えば、それをするにより、ほかの人、他国が考えていないような新しい方向性というものも見えてくるでしょうか。決してネガティブな意図ではありませんので、何か新しい方向性が見えるということも、こういった事業の一つの出口ではないかと感じた次第です。以上となります。

【永妻分科会長】 それでは、最後に私からです。まず、10年前にこのプロジェクトが始まってなければ今の日本はどうなっていたのだろうかと思うほど、シリコンフォトニクスは今日、本当に時宜を得た技術です。今、半導体LSI産業の復活もある意味追い風になっています。LSIだけでは駄目で、それをつなぐ技術があってこそシステムパフォーマンスが上がるということを、今回の事業化の実例をもって非常によく理解いたしました。このプロジェクトに携われた産学の方々、そしてNEDOの皆様におかれましても10年間大変だったものと思います。推進部と評価部とのそれぞれがおられ、その中でも戦いがあったのではないのでしょうか。何よりも私が心打たれたことは、3回目の出席となりまして、事業部の人たちが相当本気になっておられること、積極的さを大いに感じました。それは、大学の先生方、企業の研究者、技術者の方々の熱い思いが伝わり、加えて世の中が我が国の半導体技術をもっと強くしなくてはならないと考えるようになった、そういう時宜に10年頑張ってきたからこそなったのだらうと思います。私も研究者の一人として大変勇気づけられるようなお話をいただきました。本当にご苦労さまでした。ただ、先ほど来言われているように、ここで手を緩めてはいけないわけで、今後もNEDO様及び国の支援をいただきながら、この技術を本格的なビジネスに昇華させ、日本産業の発展に寄与していただけたらと思います。本日は一日にわたり、どうもありがとうございました。

【中島専門調査員】 委員の皆様、ご講評いただきありがとうございました。続いて、推進部の有馬部長から一言いただきたいと思えます。

【NEDO IoT 推進部_有馬部長】 この事業をNEDOの中では推進する立場として、部長をしておる有馬です。今日は長時間における意見交換をしていただきましたことに心より感謝いたします。多くの方々からお話しあったとおり、評価自体は第三期にあたりますが、10年間続いてきた事業です。皆様から講評いただいたとおり、成果も相当出てきたものと私たちも感じております。このプロジェクト自体は今回で終了となりますが、ここで培ってきたことやDNAは様々な形で引き継がれています。その一つの例が、アイオーコア社をはじめとする民間事業での活用になります。併せて、我々NEDOや国プロとして、ポスト5Gプロジェクトやグリーンイノベーション基金でデータセンターの事業というものが立ち上がっています。そのデータセンターの事業においては、アイオーコア社だけでなく、NECさんや富士通さんも入りまして、まさに光でつなごうという形で新しいデータセンターをつくっていかうという考えの下、プロジェクトが立ち上がりました。PETRAさんも次世代のコンピューティングにおいて引き続きNEDOのプロジェクトに関わっていただいております。そういう意味でも、NEDOとしてもこの技術を非常に重要なものと位置づけているとともに、それが現在進行形で動いているプロジェクトにつながっている次第です。私自身は去年7月にこちらに就いたものですから、10年前の立ち上げ当初の状況や熱意等々について、長年見てこられた先生方に比べると強く実感はできていませんが、最後の締めくくりにおいて、事業者及び研究者共に非常に強く思いを語っていただいたと感じ、それが熱意と

して委員の皆様へ届いたものと捉えます。また、今事業がPDCAのうちのCであるとすれば、次のAが非常に大事となります。今回いただいた意見等は、引き続き今後のプロジェクトマネジメントに生かしていく所存です。改めまして、本日は誠にありがとうございました。

【中島専門調査員】 有馬部長ありがとうございました。続いて、荒川PLからも一言お願いいたします。

【東京大_荒川PL】 荒川です。本日は長時間にわたり、ご審議いただき誠にありがとうございました。先生方から大変温かい励ましのお言葉や、腑に落ちるコメント等々をいただき非常に感銘を受けております。このシリコンフォトリソグラフィの研究開発は、2008年のファーストプログラムが開始した当初から本格的に進んでまいりました。そしてこの光エレクトロニクスプロジェクトに受け継がれたものとなります。また、先ほど来からありますようにアイオーコアが第二期の終了した段階で本格的にスタートアップ企業として登場しました。こうして振り返ると、このスタートアップから革新技術としてイノベーションを起こすにあたっては技術開発というのは一朝一夕ではいくものではございませんでした。人材、技術の醸成、それらを含めて長期的な努力が不可欠であると思っております。そういう意味でも、国家プロジェクトとして、経済産業省の未来開拓プロジェクト及びNEDOも含め10年の間に発足させていただき、その中で優れた企業や大学の研究者が一堂に会してじっくりと研究開発を進めてくれたことが大きな飛躍の一つの要素となったのではないのでしょうか。それを踏まえて、国家プロジェクトの在り方というのは、長期的な技術醸成、そして適切な刺激によるイノベーション、イノベーションに向けた飛躍、ディスプレイの連続性を起こすこと、さらに言えば広い意味での人材育成というこれらで構成されていくものと考えます。今回の10年プロジェクトではその役割を十分果たしていただいたものと捉えております。PLとしてこれまで研究開発に関わりを持たせていただき、非常に優れた技術者及び技術者の皆様と一緒に開発できたことが大変大きな喜びです。また、経済産業省、NEDOの方々の適切なお指導や励まし、さらには予算をつけていただいたことが最も重要であり、ご支援をいただいたことに感謝申し上げます。私どもとしてはグリーンイノベーション等のプロジェクトもあるため、今後も研究開発に関与することによって、今のDXあるいはグリーンイノベーションそのものの流れという社会的要請に応えるべく、さらに邁進していく所存です。引き続きご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。最後に、このプロジェクトに関わられた全ての皆様へ感謝を申し上げ、私の御礼の言葉とさせていただきます。

【中島専門調査員】 荒川PLありがとうございました。

【永妻分科会長】 それでは、以上で議題9を終了いたします。

10. 今後の予定

11. 閉会

配布資料

- 資料1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料4-1 NEDOにおける研究評価について
- 資料4-2 評価項目・評価基準
- 資料4-3 評点法の実施について
- 資料4-4 評価コメント及び評点票
- 資料4-5 評価報告書の構成について
- 資料5-1 プロジェクトの概要説明資料
～I.事業の位置づけ・必要性、II.研究開発マネジメント～（公開）
- 資料5-2 プロジェクトの概要説明資料
～III.研究開発成果、IV.成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し～（公開）
- 資料6-1 プロジェクト研究開発成果詳細
～デバイス・実装基盤技術～（公開）
- 資料6-2 プロジェクト研究開発成果詳細
～システム化技術～（公開）
- 資料6-3 プロジェクト研究開発成果詳細
～国際標準化～（公開）
- 資料6-4 プロジェクト研究開発成果詳細
～革新的デバイス技術～（公開）
- 資料9 評価スケジュール

以上

「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」
(事後評価)分科会

質問票

| 資料番号 ・ご質問箇所 | ご質問の内容 | 回答 | | 委員氏名 |
|-----------------|-----------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| | | 公開可/ 非公開 | 説明 | |
| 資料 5-1 17/26 | 表や数字から何を主張されたいのか。ポイントを整理していただきたい。 | 公開可 | 表や数字は 2019 年度の間中評価のご指摘を受けまして、IT 関連の国内消費電力予測を調査した結果(JST 低炭素社会戦略センター)から省エネ効果を再考察した内容を示しています。情報量の増大をベースにした予測であり、その数値を元に、省エネ効果@2030 年を算出した結果、消費電力サーバ(3 割削減)の寄与のみで省エネ目標数値が導出され、現在の研究開発状況の省エネ効果としても妥当であると主張しています。上記ポイントを整理しましたので、当日発表スライドも添付資料の通り改訂致します。なお、これらの詳細については資料 8 (事業原簿) p.38-39 の「4.1 省エネ効果の再評価」に記載しております。 | 永妻分科 会長 |

| | | | | |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 資料 5-1 20/26 | インターポーザに海外の参入が少ないのはなぜか。(文字、数字が小さく分かりにくい) | 公開可 | 本プロジェクトで開発した光電子集積インターポーザは、一般的には Co-package と呼ばれ、海外、特に米国を中心に広く開発が進んでいます。 表では、Embedded optic/copackage に分類されております (LUXTRA、Ayar Labs、RANOVUS など)。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 5-1 21/26 | 米国の目標 (今年末) が、容量について、我が国より一桁大きい、今後、脅威になる、あるいは追い越される可能性はないか。 | 公開可 | 米国の目標は、PIPES の Ayar Labs のものである。脅威ではある。公開された情報からキャッチアップしたかぎりでは、チップ上の要素技術の範囲に留まっており、引き続き注意して同社の動向を観測していく必要はあるが、システムとして追い越される可能性は低いとみている。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 5-2 11 | 10Tbps/ノード (目標値) の実現において、LSI あたり、3 シリコンフォトニクスチップとなる根拠は何か。チップ数は今後増えていくのか。 | 公開可 | インターポーザ上にシリコンフォトニクスチップを実装する場合、10mm 角程度のサイズが扱いやすい。LSI 近傍への配置を考えると LSI のサイズから 3 チップが適当と判断した。 今後は、チップ数が増えるのではなく、各チップの伝送容量が増加するものと考えている。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 5-2 13 | 10Tbps/ノードに加えて、20Tbps/mm ² という目標を設定する意義は何か。競合他社も同様の | 公開可 | シリコンフォトニクスチップとインターポーザ基板の光結合に必要な伝送密度として | 永妻分科 会長 |

| | | | | |
|--------------|--------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| | 目標を設定しているのか。 | | 目標値として設定しました。このような目標の設定は、競合他社ではあまり聞きませんが、インターポーザ/Co-package では重要な技術指標と考えています。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 5-2 14 | 10Tbps/ノードが実用上必要とされるのは、いつ頃か。 | 公開可 | 2025 年ごろと予想しています。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 5-2 16 | サーバ電力量を 98%削減可能であることの定量的根拠は何か。 | 公開可 | サーバ電力量は、電力× 時間になります。光配線によりサーバ間をフルメッシュ接続し分散処理することで、ソートの実行時間を 98%削減することができました。サーバのほとんど電力は変わりませんので、サーバ電力量の 98%削減が可能になりました。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 5-2 20 | 左の図面の出典は 2017 年となっているが、2018 年以降の成果のエビデンスとして適切か。 | 公開可 | 本プロジェクト全体で見た時の大きな成果の一つではありますが、2018 年以降の成果のエビデンスとして適切ではありませんでした。当日のプレゼンでは改定いたします。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 5-2 24 | OKI 様の成果とその事業化において、コアとなる技術あるいは強みを、短い表現で整理するとすれば？ | 公開可 | コアとなる技術は、偏波コントロールなどのシリコンフォトニクス回路の設計技術、及び高感度 APD（アバランシヤ・フォト・ダイオード）などのデバイス設計・試作技術などとその知財になります。 | 永妻分科 会長 |
| 資料 6-4 | プロジェクト後も技術的優位性を堅持するた | 公開可 | 既存のデバイスの小型、高速、省エネを目 | 永妻分科 |

| | | | |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| | <p>めの 2022 年以降の技術ロードマップにおいて、開発された数々の革新技術が、いつのタイミングでどのようなインパクトを与えるのか、が整理できないでしょうか。(2 ページ目はかなり概念的)</p> | <p>指した高性能デバイス技術は、光電子集積インターポーザが今後実用化されていけば、必要に応じて順次使用されていくものと考えている。一方、光バッファリング等の先駆的開発は長期的な視野で見ていく必要があると考えています。</p> | <p>会長</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」
(事後評価)分科会

質問票

| 資料番号 ・ご質問箇所 | ご質問の内容 | 回答 | | 委員氏名 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | 公開可/ 非公開 | 説明 | |
| 資料 6.1 P09 | 電力利用効率という観点では光源を高速変調する方が電界吸収型変調より高効率と思われ ますが、定量的にどの程度の差があるか知りたい です。 (高出力な CW 光源を複数の光回路に振り分 けて後段で変調するほうがトータルな効率が 良いとか、システムの実装上その仕掛けが必須 であるということであればその定量的見積も りや具体例をお示し頂けると有難いです) | 公開可 | レーザ光源を 100Gpbs で高速に直接変調 するために主にレーザの材料で決まる緩和 振動周波数が 50GHz 以上必要になります。 しかし、レーザを構成する材料の緩和振動 周波数は最大で 40GHz 程度のため、 100Gpbs の直接変調は不可能と考えていま す。従って、電力利用効率の比較はできま せん。 | 片山委員 |
| 資料 6.1 P40 | SiGe を採用することで変調効率が低いことの 理由を、端的に説明頂けますでしょうか。 | 公開可 | 歪 SiGe のホールの有効質量が Si に比べて 小さいため、キャリアプラズマ効果が大き くなり、変調効率が高くなります。 | 片山委員 |
| 資料 6.2 P41 | PETRA 開発品が他社開発品に比べて数桁波 長切り替え速度が速い理由をご説明頂けます でしょうか。 | 公開可 | A 社、B 社の波長切り替え速度につきまし ては、Preliminary のデータシートに数値 のみ記載があり、確かな詳細は不明なので | 片山委員 |

| | | | | |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | | <p>すが、受信側の波長可変フィルタにヒーターによる温度制御を用いていて、それが切り替え時間を決めていると考えられます。それに対して PETRA 開発品は 4 チャンネル PD アレイを電気回路側で選択するので、1ms 以下で波長切り替えできます。4 個の PD と波長分波フィルタを搭載してなお小型パッケージに収容できるのは、シリコンフォトニクスを用いたからこその特長と言えます。</p> | |
| 資料 6.4 P42 | <p>化合物半導体の大きな電子誘起屈折率変化による光位相変調とありますが、実際にはこの部分の屈折率変化ではなくこの電荷に誘起されて生じる MOS 界面の正孔による Si チャンネルの屈折率変化なのではないでしょうか。またその際、蓄積キャリアによるプラズマ吸収により、損失はむしろ増大するのではないのでしょうか、定量的な見積もりがありましたらお教えください。</p> | 公開可 | <p>MOS 界面の化合物半導体側には電子が蓄積し、Si 側には正孔が蓄積します。どちらの蓄積キャリアでも屈折率変調は生じますが、化合物半導体の電子による屈折率変化は Si より 10 倍以上大きいことから、実質的に化合物半導体の蓄積電子によって変調が起きています。変調効率が改善することから、同じ位相変化に必要なキャリア数も減ることになり、この結果、プラズマ吸収による損失も 1/10 程度に減少します。定量的な議論は下記の論文で詳細に述べておりますので、ご参照ください。</p> <p>J.-H. Han, F. Boeuf, J. Fujikata, S.</p> | 片山委員 |

| | | | | |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | | Takahashi, S. Takagi, and M. Takenaka, "Efficient low-loss InGaAsP/Si hybrid MOS optical modulator," Nat. Photonics 11, 486–490 (2017). | |
| 資料 6.4 P45 | MOS型光変調器により世界初の高速変調を実現した成果が素晴らしいですが、その主たる原因と思われる寄生容量を低減できた理由をお教えいただけますでしょうか。 | 公開可 | 寄生容量は、化合物半導体薄膜の貼り合わせの際の支えとなる Si 層によって生じていました。 今回、PETRA との共同で、貼り合わせの支えとなる Si 層を SiO ₂ の置き換えることに成功したことで寄生容量を低減することに成功しました。SiO ₂ に置き換えるためには、SiO ₂ 堆積後、CMP で SiO ₂ 膜厚を精密に制御しながら均一に平坦化する必要があります。PETRA と共同で研究開発を進めることで平坦化 Si フォトニクスウェハを実現したことで、今回の成果が得られました。 | 片山委員 |
| 資料 6.4 P48～64 | フォトニック結晶導波路ベースの変調器による高速動作という優れた成果が得られているが、電子線描画装置を用いて作製するデバイスにかけられるプロセスコストと、将来目標とする光インターポーザのトータルコストは整合するのかが非常に興味深いため、ご説明 | 公開可 | フォトニック結晶のパターンは最小サイズが 200nm 程度なので、電子線描画でももちろんできますが、通常のエキシマレーザ露光 (ArF や KrF) の光リソグラフィでも対応可能です。我々が実証した素子も、全てこれらの光リソグラフィベースの汎用的な | 片山委員 |

| | | | | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | 頂けると有難いです。 | | Si フォトニクスファウンダリを使っています。 | |
| 資料 6.4 P73 | 現在 Lightmatter 社が機械学習用の積和計算専用機ではありますが静電結合型 MEMS 変調器を用いた光 FPGA を開発していますが、高速で不揮発であることからこの事例もベンチマークで比較出来る対象と思われるので、可能であればコメント頂けますでしょうか。 | 公開可 | <p>本 PJ では、利得媒体などの能動素子（非線形エレメントとしても利用可能）までも集積できることから、機能的に他の提案に比べ高機能となりますが、不揮発性の経路切り替えという面については、ご指摘の取り組みは、比較対象となると考えられます。</p> <p>Lightmatter は、MEMS のチャージによる切り替えであり、機械的に変化させることとなります。その面で、本質的に機械的なダンピング定数により速度が律速されるため、最終的な高速性という面では、我々の提案が優位であると思われます。また、機械的安定性に関しても、我々の提案が優位であると考えております。</p> | 片山委員 |

「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」
(事後評価)分科会

質問票

| 資料番号 ・ご質問箇所 | ご質問の内容 | 回答 | | 委員氏名 |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | 公開可/ 非公開 | 説明 | |
| 資料 6-1 26 頁 | シミュレーションなどの光回路設計・プロセスプラットフォームの確立により、デバイスや回路設計に対してどのような効果が得られたかを補足下さい。 | 公開可 | 手戻りがなく短期間でシリコンフォトニクス回路の製造が可能になります。また、本プラットフォームを用いることで、組合員各社/アイオーコアのシリコンフォトニクス回路の製造が容易になる効果が得られます。 | 新田委員 |
| 資料 6-1 34 頁 | 形状変化を考慮したデザイン補正の大きさはどのようにして見積もられたのでしょうか。 | 公開可 | 熱硬化（キュア）前後の形状測定により見積もりました。 | 新田委員 |
| 資料 6-1 35～36 頁 | インターポーザ基板を用いた高密度光接続においてはどのような要素技術（ミラーの品質？）が差別化要因となっていると考えて良いのでしょうか | 公開可 | 高密度光接続における差別化要因は、低損失 3 次元ポリマーミラーを光接続に適用したことです。そのポリマーミラーの膜厚、形状を制御することでミラーの損失を目標値 1.5dB まで削減可能と考えています。光接続に 3 次元ポリマーミラーを用いている | 新田委員 |

| | | | | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | | のは PETRA だけです。 | |
| 資料 6-2 37 頁 | ドーピング最適化により要求感度が実現できる見通しとのことであるが、この試作・検証をされる予定はあるのでしょうか。 | 公開可 | プロジェクト終了後にはなりますが、成果実用化に向けて、OKI において APD 感度改善のための試作検証を計画しております。 | 新田委員 |
| 資料 6-3 4 頁 | この頁に記載されている標準規格の検討において、システムベンダー等の下流側のプレイヤーとの連携もされたのでしょうか | 公開可 | 標準化のユーザとなるマイクロソフト、インテル等との連携を密に行い、システム応用に向けたサンプル評価等を共同で行っています。 | 新田委員 |
| 資料 6-4 54 頁 | 本頁のグラフには、本研究で開発したスローライトよりも高いボーレートを持つ変調器 (Si-有機ハイブリッドや基板除去 Si) も例示されているが、これらに対する本技術の優位性はどのような点にあるのでしょうか。 | 公開可 | スローライト変調器は、通常の CMOS ラインで製造が可能で、実用化が容易です。Si-有機ハイブリッドや基板除去 Si は、専用のライン構築が必要となり、実用化のハードルになります。 | 新田委員 |
| 資料 8 事業原簿の 20 頁 | 省エネ効果の試算で「プロジェクト成果を適用した機器の普及率を 2030 年で 50%」としているが、どのような理由から想定されたのでしょうか。また、対象市場は国内でしょうか。グローバルだと普及率は大きいように感じています。 | 公開可 | 機器普及率 50%@2030 年の想定には次のような経緯があります。プロジェクト開始当初は 30%@2020 年と 80%@2030 年を想定しており、これらは実施期間途中の一部実用化も想定した目標値としていました (2014 年度の間評価まで)。その後、電気配線の研究開発等も進展し、LSI 周りの電気配線の光化についての市場が当初目論んでいた 2020 年頃に立ち上がるものではないということで数値に見直しが入りまし | 新田委員 |

| | | | | |
|--|--|--|----------------------------------------------------|--|
| | | | て、現時点では 2030 年で 50%と想定しています。なお、対象市場はグローバルではなく国内です。 | |
|--|--|--|----------------------------------------------------|--|

「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」
(事後評価)分科会

質問票

| 資料番号 ・ご質問箇所 | ご質問の内容 | 回答 | | 委員氏名 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | 公開可/ 非公開 | 説明 | |
| | 第 III 期 (2018-2021) の後半はコロナ禍でのプロジェクトとなってしまいましたが、その影響はありましたか？ マネジメント面での対応などをお聞かせ下さい。 | 公開可 | <p>マネジメントへの影響は、2点あります。</p> <p>1点目は、本プロジェクトは、プロジェクトの進捗や課題を議論する場として、技術推進委員会やマネジメント委員会がありますが、2020年からは、直接対面での会議ができず、オンラインで開催する必要がありました。当初は、システムの環境が整っておらず、オンラインでつながらない事態が発生しておりましたが、至急に環境を整備して、オンラインでの会議の頻度を増やすことにより、迅速に意思疎通が図れることができました。</p> <p>2点目は、コロナ禍により、サプライチェーンが分断されて、実証における、試作装置の部品の納入が遅延するなどの事態が発</p> | 藤田委員 |

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | | 生しましたが、幸いなことに加速資金を投入して、試作装置製作の着手を早めていたこともあり、全体スケジュールに影響がないように遅延を最小限に留めることができました。また、研究開発拠点において、作業工程の優先度を見直して、机上で先に検証できるものは先に実施するなど工夫しました。納期遅延等で、予算執行年度が後ろにずれるために、事務手続きとして、後ろ倒しの予算申請の手続き等の対応を早急に対応致しました。 | |
| 資料 5 の 53 枚目 光 I/O コアの性能 | アイオーコア社の光 I/O コアの消費電力が 7mW/Gbps と示されており、プロジェクトでの達成値 1mW/Gbps との差が大きいと感じますが、量産技術 (or 実装技術) に改善の余地があると理解して良いのでしょうか? 改善策としてどのような事が考えられますか? 何かボトルネックがあるのでしょうか? 今後どのような (官民における) 支援・協力が必要でしょうか? | 公開可 | 光 I/O コアは、第一期 (2012-2014) の技術成果をもとに製品化を進めています。第一期の消費電力の目標は、5mW/Gbps (レーザーパワーを除く) です。製品の消費電力はレーザーパワーを含んでいますので 7mW/Gbps は妥当な値と考えています。 今後、消費電力 1mW/Gbps 等の第三期の成果が、光 I/O コアに必要な応じて取り込まれていくと予想されます。成果が取り込まれる場面に応じて、国、NEDO から必要となる技術開発に対する支援・協力を行うことを検討します。 | 藤田委員 |

| | | | | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 資料 6 の 73 枚目 | 「光配線サーバにより、電気配線サーバに比べて消費電力量の 98%削減を実証」とありますが、(様々な要素を含む) 一般的なサーバシステム全体 (or ウォールプラグ) での消費電力量に対してはどの程度の (削減効果の) 寄与が期待できますか? 用途にもよると思いますが、用途 (できれば複数) を例示して試算することはできますか? | 公開可 | 本プロジェクトで開発したサーバシステムは、大規模計算に向けた分散処理システムです。従って、ソート等の大規模計算で高い消費電力量削減効果が得られます。一方、小規模の計算では、削減効果は限定的となります。例示して頂ければ試算することが可能と考えます。 | 藤田委員 |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|

「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」
(事後評価)分科会

質問票

| 資料番号 ・ご質問箇所 | ご質問の内容 | 回答 | | 委員氏名 |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | 公開可/ 非公開 | 説明 | |
| 資料 5-1 スライド 4 資料 6-2 スライド 24 | <p>図中に示されている「消費電力：1/10」から、「サーバ消費電力3割削減」となる根拠を教えてください。</p> <p>また、資料 6-2 では、「光配線と電気配線の消費電力はほぼ同じ」とされていますが、これと上記の目標の関係を教えてください。</p> | 公開可 | <p>「消費電力：1/10」は、プロジェクト開始時の電気配線の消費電力 10mW/Gbps を、本プロジェクトにより光配線技術を開発することで、1mW/Gbps にすることを表しています。</p> <p>「サーバ消費電力量3割削減」における消費電力量は、実行時間×消費電力で定義されます。6-2 で示すように実行時間を削減することで3割削減を実現しました。</p> <p>資料 6-2 での「光配線と電気配線の消費電力はほぼ同じ」というのは、現時点(研究開発終了時)のデバイスレベルで、単に電気配線を光配線に置き換えただけでは省エネ効果は小さく(むしろ若干増大する)、通信による律速を解消した並列分散処理で光化の</p> | 森田委員 |

| | | | | |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| | | | 効果がシステムレベルで大きくでてくるといった研究開発結果を示したものです。 | |
| 資料 6-1 スライド 2 | 「光再配線」について教えてください。「再」の意味) | 公開 | シリコンフォトニクスチップ上の光配線をインターポーザ上のポリマー光配線にピッチ等を変えて配線しなおすことを「再」配線と呼んでいます。 | 森田委員 |
| 資料 6-1 スライド 16 | AWG の特性について、クロストークだけでなく、損失についても目標値をクリアしているのでしょうか？ | 公開 | 目標値として明記していないが、5dB を内部目標として開発を進めており、その値はクリアしています。 | 森田委員 |
| 資料 6-1 スライド 17 | 変調器と AWG を組み合わせた特性評価において、スライドに示されている波形は AWG を対向させて合分波を行った波形ですか？また、目標の 100Gbps 伝送を実現する PAM4 信号での評価も行っているのでしょうか？ | 公開 | <ul style="list-style-type: none"> ・対向ではなく分波後のアイパターンの波形を示しています。 ・PAM4 信号の評価は行っておりません。スライド 36 に示しますようにシリフォトチップ内の分散は小さいことから、100Gbps PAM4 伝送のポテンシャルはあると思われます。 | 森田委員 |
| 資料 6-1 スライド 25 | PN-MZI 変調器の「PN」は何の略ですか？また、低消費電力・高速変調に向けて、EA 変調器を採用されていますが、ここで示されている MZ 変調器のモデリングは EA 変調器にも適用可能なのでしょうか？ | 公開 | <ul style="list-style-type: none"> ・「PN」は P 型半導体と N 型半導体の接合のことです。 ・MZ 変調器のモデリングは EA 変調器には適用できません。EA 変調器は受光器と同じ構造のため、モデル化は容易と考えています。 | 森田委員 |
| 資料 6-1 | スライド 32 では、光結合損失の目標は 1.5dB | 公開 | 上下ミラーの光接続損失の内訳が現在、下 | 森田委員 |

| | | | | |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| スライド 35 | 以下となっています。実験で得られた上下ミラーの損失 2.85dB は目標を達成していないということでしょうか？その場合、目標を達成できる見込みは如何でしょうか | 可 | 部ミラー 2.1dB 、上部ミラー 0.6dB 、上下の接続 0.15dB となっています。 下部ミラーの損失は樹脂の厚みばらつきが原因となっており、厚みばらつきを改善することで上部ミラーと同様の値 0.6dB に低減でき、目標の 1.5dB 以下を達成できる目途を得たと考えています | |
| 資料 6-4 スライド 9 | スローライト効果による光変調器ではサイズは 1/10 程度に小型化できるとのことですが、消費電力については如何でしょうか？ | 公開 | スローライトにより、消費電力も削減できます。 スローライトの群屈折率 ng が大きくなると、それに比例して位相変化が大きくなるか、同じ位相変化を与える素子長が短くなります。位相変化は PN 接合に蓄積される電荷量 Q=CV で決まり、消費電力は CV² に比例して小さくなります。素子長が短くなると C が小さくなるので、消費電力も比例的に小さくなります。一方、素子長が長いままだと、 V が下がり、消費電力は V² に比例して下がるので、より効果的です。ただしスローライトではドーピングによる損失も ng に比例して大きくなるので、長いままだと挿入損失が大きくなってしまいます。そのため、本研究は素子長を短くする方を選択しています。 | 森田委員 |

| | | | | |
|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| | | | <p>これまでの研究で, 25Gbps と 32Gbps については, $ng = 30\sim 40$ で変調電圧が 1~2V と低く, それぞれ消費電力が 25 fJ/bit と 100 fJ/bit という, 通常のリブ型変調器よりは桁違いに低い値を報告しています. ただし 50Gbps 以上になると, 位相不整合や RF 損失が大きくなり, 位相不整合を補償した素子の設計が $ng = 20$ に限られていたため, 電圧が 5V 近くまで上がってしまいました. これらの原因から, 通常のリブ型変調器と同等にまで消費電力が大きくなりました. これは高い ng に対して位相整合が取れる素子を使うことと, RF 損失を下げる電極を用いることで, 下げられると考えています.</p> | |
|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|