

「立体構造新機能集積回路（ドリームチップ）技術開発」

中間評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	7
評点結果	21

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会
「立体構造新機能集積回路（ドリームチップ）技術開発」（中間評価）

分科会委員名簿

(平成22年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	おおば たかゆき 大場 隆之*	東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構 特任教授
分科会長 代理	たにぐち けんじ 谷口 研二	大阪大学大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授
委員	あまの ひではる 天野 英晴	慶應義塾大学 理工学部 情報工学科 教授
	おのだ ひろし 鉄田 博	日新イオン機器株式会社 I/I 事業センター エキスパート
	さわだ れんし 澤田 廉士	九州大学工学研究院 機械工学部門 教授
	しおの のぼる 塩野 登	(財) 日本電子部品信頼性センター 調査研究部 理事・部長
	やまお やすし 山尾 泰	電気通信大学 先端ワイヤレスコミュニケーション 研究センター 教授

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一組織であるが、所属部署が異なるため（実施者：東京大学 生産技術研究所）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成22年7月1日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

プロジェクト概要

		作成日	平成22年7月26日			
プログラム名	ITイノベーションプログラム					
プロジェクト名	立体構造新機能集積回路(ドリームチップ)技術開発	プロジェクト番号	P08009			
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部/ 青田純生 島津高行					
0. 事業の概要	<p>半導体チップの積層技術(三次元集積化技術)は、世界に先駆けてNEDOが取り組んできたもので、研究開発実績としては我が国に優位性がある。この三次元集積化技術の完成度を高め、さらなる産業競争力強化に寄与するために、新たな機能の発揮と飛躍的な性能向上を実現する立体構造新機能集積回路技術を確立することを目的とする。内容としては、以下の3項目に関する技術開発を実施する。</p> <p>①多機能高密度三次元集積化技術 ②複数周波数対応通信三次元デバイス技術 ③三次元回路再構成可能デバイス技術</p>					
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>我が国半導体技術の発展は、様々な機器の高性能化、小型化、省電力化に貢献し、情報通信産業や製造業といった我が国経済を牽引する産業の競争力を強化するものである。この発展を支える半導体デバイスの製造技術として、従来のCMOS-LSI用プロセス技術を二次元的に微細化する取り組みに加え、半導体集積化としてチップの積層構造(三次元的な構造)を採用する取り組みが顕在化してきている。この技術は、世界に先駆けてNEDOが取り組んできたものであり、研究開発実績としては今のところ我が国に優位性がある。</p> <p>今後、各国との開発競争が熾烈化するなかで、現在の三次元集積化における我が国の技術優位性を維持し、産業競争力を強化するためには、先進的な技術開発でありながら、業界におけるデファクト標準化を視野に入れた取り組みを行う必要がある。先進的な技術開発を行うためには、我が国産業界の強い製造力と大学や公的研究機関の先端的な知見の有機的結合が有効であり、また将来のデファクト標準化を円滑に進めるには研究開発の早い段階から共通基盤技術として完成度を高めることが望ましい。このことから、本研究開発は、NEDOの事業として、強力に推進することが必要である。</p>					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	<p>①多機能高密度三次元集積化技術 情報通信デバイスや信号処理デバイスの小型化、低消費電力化に必要な、Si貫通ビアを用いた三次元積層システムインパッケージ(3D-SiP)を実現するための設計技術および評価解析技術を開発する。</p> <p>②複数周波数対応通信三次元デバイス技術 微小可動構造(MEMS)を用いたMEMS回路、制御・電源回路が積層された複数周波数・複数通信方式に対応する三次元デバイスを開発する。</p> <p>③三次元回路再構成可能デバイス技術 三次元的な積層構造を利用した回路再構成可能デバイス(フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)、動的リコンフィギュラブルプロセッサ等)技術を開発する。</p>					
事業の計画内容	主な実施項目	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy
	①多機能高密度三次元集積化技術					
	(1)設計技術の研究開発					→
	(2)評価解析技術の研究開発					→
	(3)有効性実証					→

	<p>②複数周波数対応通信三次元デバイス技術</p> <p>(1)可変RF MEMS デバイスの研究開発</p> <p>(2)通信フロントエンド回路の研究開発</p>							
	<p>③三次元回路再構成可能デバイス技術</p> <p>(1)三次元集積化技術の研究開発</p> <p>(2)アーキテクチャおよび設計技術の研究開発</p> <p>(3)素子技術の研究開発</p>							
開発予算 (百万円)	会計・勘定 (H22:補正予算分含む)	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H23fy	総計	
	一般会計	1,086	2,228	1,652	—	—	4,966	
	特別会計	—	—	—	—	—	—	
	総予算額	1,086	2,228	1,652	—	—	4,966	
開発体制	経済産業省原課	商務情報政策局 情報通信機器課						
	プロジェクトリーダー	東京工業大学 教授 益 一哉						
	委託先	技術研究組合 超先端電子技術開発機構						
情勢変化への 対応	本プロジェクトは、H19 年度に実施した先導研究の結果を踏まえて、基本計画検討委員会における検討内容に基づいて計画した。実施者を公募により選定して研究を委託し、推進中である。随時フィードバックを行い予算額の増減を行っている。							

<p>III. 研究開発成果について</p>	<p>①「多機能高密度三次元集積化技術」 本研究開発項目では、次世代三次元集積化の基盤技術構築のため、設計技術、評価解析技術等の研究開発に取り組んだ。そしてこれら基盤技術の検証を行うための実証デバイスの具体化と要素技術開発に取り組んだ。 設計技術については、SoC・SiP・ボード(PWB)を総合的に扱える統合化された電気系高速シミュレーションツールの開発を行い、市販ツールの1,000倍程度の高速化に目処が得られ、また、次世代三次元積層SiP実現のためのインターポーザの信号安定化技術(SI)・電源安定化技術(PI)も開発しつつある。 一方、評価解析技術については、300mmウェハでKGD(Known Good Die)の実現を目指した高速・多端子プロービング技術の研究開発目標も達成の目処を得た。その他、熱・積層接合技術、薄ウェハの研究開発は20W、10μピッチ、10,000接続、10μウェハ厚を目指した基盤技術を開発しつつある。 実証デバイスの具体化については、高速画像処理システムの開発とともに、超ワイドバスメモリ三次元積層SiPの実現を目指して要素技術開発が進んでいるが、試作費用が増大しウェハレベルの実証に、今後の課題を残している。</p> <p>②「複数周波数対応通信三次元デバイス技術」 先進的なRF MEMS デバイスを組み合わせた通信デバイスを作製して三次元集積化の有効性を実証すべく、RF MEMS デバイスと、その三次元集積化実装技術に取り組んだ。 RF MEMS デバイスについては、MEMS スイッチを用いた可変アンテナ、MEMS キャパシタを用いたインピーダンス回路の動作を検証し、MEMS 可変フィルタの動作目標を達成した。また、可変フィルタモジュールの三次元実装をウェハレベルで完結させる低コスト化を目指す高周波回路実装技術を検討した。 一方、複数周波数対応通信フロントエンド回路MCMの研究開発と動作実証については、フロントエンド回路の制御部設計、インタフェース設計と製作を行い、周波数可変制御、送・受信制御を実証しつつあり、平成22年度末には目標を達成見込みである。</p> <p>③「三次元回路再構成可能デバイス技術」 完成後にデータを焼きこむことで個別の機能を持たせられるデバイスを三次元集積化の有効な実証モデルと考えて取り組み、再構成可能デバイスに適した集積化技術の研究開発、およびそのアーキテクチャ・設計技術の開発に取り組んだ。 集積化技術の研究開発では、基本レイアウトルール案を策定し、TEGの設計試作を行い、1mm²あたり1000ピン以上を実現する裏面ピアラスタ型シリコン貫通電極(TSV)プロセスを構築した。 アーキテクチャ・設計技術の研究開発では、三次元の特長を活かせる応用であるネットワーク分野およびロボット分野について、三次元回路再構成可能デバイスへの搭載機能を検討し、平成22年度中にハイブリッドアーキテクチャの設計を完了する見込みである。三次元FPGAおよびスケラブルリコンフィギュラブルIOプロセッサの4層積層において、消費電力あたりの性能が1.25倍以上となることが実証可能な見込みである。</p> <table border="1" data-bbox="504 1451 1439 1592"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>2件</td> </tr> <tr> <td>学会発表</td> <td>67件</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>プレス発表 1件、出版物 1件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>出願済：27件(うち国際出願 2件)</td> </tr> </table>	投稿論文	2件	学会発表	67件	その他	プレス発表 1件、出版物 1件	特許	出願済：27件(うち国際出願 2件)
投稿論文	2件								
学会発表	67件								
その他	プレス発表 1件、出版物 1件								
特許	出願済：27件(うち国際出願 2件)								
<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>ほとんどの中間目標が達成済または達成見込みであり、一部は最終目標も達成し、参加企業にて事業化の見通しである。その他についても訴求力のある製品の開発につながる目標を設定して開発を推進中である。</p>								
<p>V. 評価に関する事項</p>	<table border="1" data-bbox="504 1688 1439 1785"> <tr> <td>事前評価</td> <td>平成20年度実施(担当部:電子・情報技術開発部)</td> </tr> <tr> <td>中間評価以降</td> <td>平成22年度 中間評価実施予定</td> </tr> </table>	事前評価	平成20年度実施(担当部:電子・情報技術開発部)	中間評価以降	平成22年度 中間評価実施予定				
事前評価	平成20年度実施(担当部:電子・情報技術開発部)								
中間評価以降	平成22年度 中間評価実施予定								
<p>VI. 基本計画に関する事項</p>	<table border="1" data-bbox="504 1785 1439 1912"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成20年3月制定</td> </tr> <tr> <td>変更履歴</td> <td>平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により改訂 平成21年3月 研究開発項目③目標設定のため改訂 平成22年7月 中間成果記載のため改訂</td> </tr> </table>	作成時期	平成20年3月制定	変更履歴	平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により改訂 平成21年3月 研究開発項目③目標設定のため改訂 平成22年7月 中間成果記載のため改訂				
作成時期	平成20年3月制定								
変更履歴	平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により改訂 平成21年3月 研究開発項目③目標設定のため改訂 平成22年7月 中間成果記載のため改訂								

技術分野全体での位置づけ

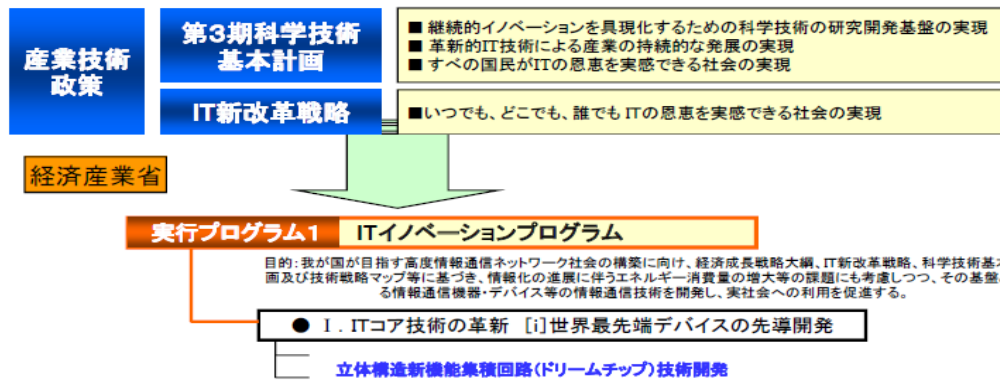
(分科会資料 6 - 1 より抜粋)

1. 事業の位置付け・必要性
(1) NEDO事業としての妥当性

政策上の位置付け

公開

経済産業省 研究開発プログラム 「ITイノベーションプログラム」のテーマとして実施

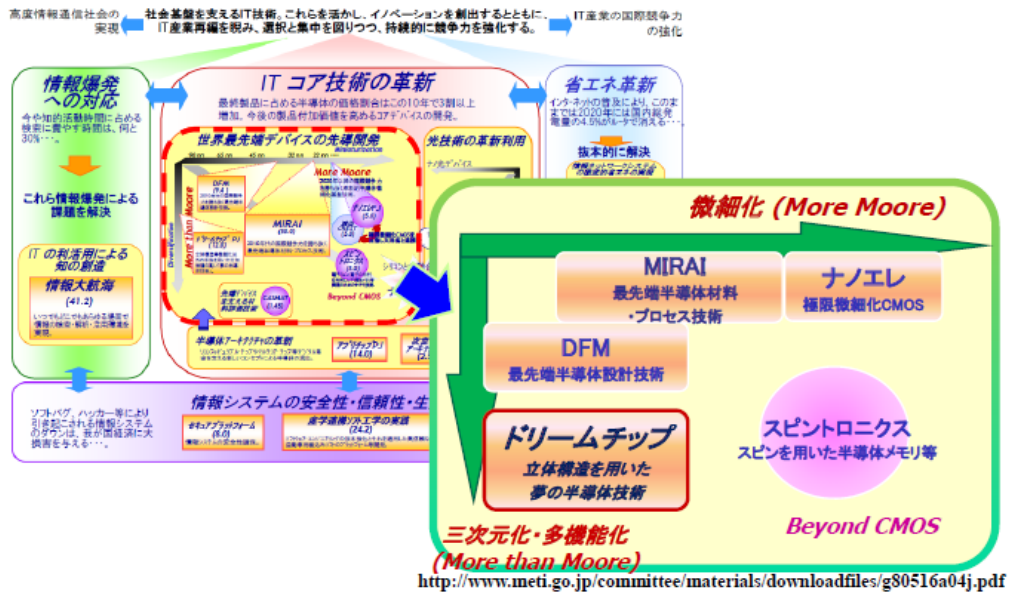


1. 事業の位置付け・必要性
(1) NEDO事業としての妥当性

プロジェクトの位置付け

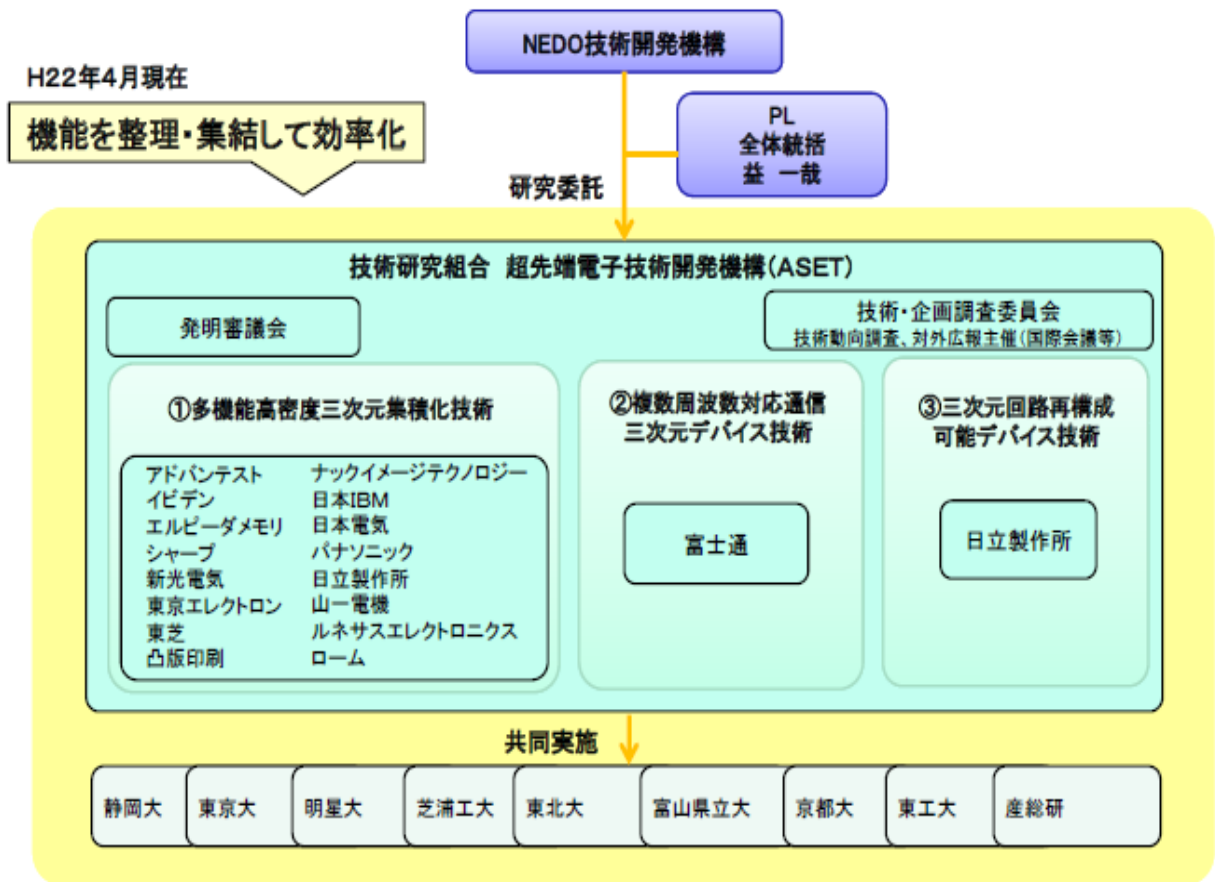
公開

「ITイノベーションプログラム」関連NEDOプロジェクトとの関係



「立体構造新機能集積回路（ドリームチップ）技術開発」

全体の研究開発実施体制



「立体構造新機能集積回路（ドリームチップ）技術開発」（中間評価）

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

微細化に代わる高集積化技術として三次元集積化技術は重要であり、従来の実装に加えスケールメリットが得られる製造技術の実現が差別化のカギとなっている。30兆円規模の巨大な半導体市場において、三次元集積技術を利用した製品が占める割合は増大し、今後10年で汎用化されると考えられる。このため、わが国半導体の復権と本物の国際競争力をつけるために、国家支援は必須であり、NEDO委託事業として、その先導開発を他国に先駆けて実施することは意義がある。一方国家支援には、激しい国際競争に晒されている半導体産業の実情に沿ったプロジェクト運用と、市場占有率を上げるために現状の開発内容からさらに踏み込んで量産試作も見込める大型委託事業とすべきである。

このような背景にあって、本プロジェクトでは、幾つかの課題を修正すれば飛躍的な成果が期待される。一つに、目標設定の見直しである。想定する応用製品の形態やどのデバイスメーカーが実用化開発を引き継ぐかまでを想定しないと開発目標が具体化されず、国家プロジェクトの投資効果として満足できる社会還元が出来ない。次に、開発手順、そして選択と集中である。三次元集積回路の要素技術を固めないうちに実証デバイス用チップの試作に力を注ぐなど、限られた研究予算を鑑みると目標設定の優先順位には、見直しが必要である。三次元集積化技術のプロセス要素技術の完成後、本格的に三次元集積回路固有のアーキテクチャを想定し、その効果を十分に考慮し、チップ試作に取り組むことが望ましい。本プロジェクトの個別テーマ（特に、研究開発項目①）では、三次元集積化の要素技術を中心に特筆すべき成果が得られているとともに、中間目標を順調に達成しており、最終目標も達成できる可能性は高いが、全体を見渡すと開発階層が総花的である。90年代後半から行った国プロの経験を踏まえて、本プロジェクトで開発したせっかくの技術が死蔵されたり、個別の要素技術の断片が国内に利益を還流することなく国外流出する事態を避ける必要がある。これには実用化をおこなうデバイスメーカーと連携し全体のプロセスフローを具体的に想定した上で、事業化に必要なTSV（Si貫通電極）と積層接合周りの要素技術の確立を優先に、資源（人、物、資金）を集中すべきである。その際、三次元集積化技術の要素技術は十数項目の異なるプロセスから成り、調和した並行開発（インテグレーション開発）が求められることに留意し、先行し

てこれらを確立するためには材料と装置を含めた総合開発と検証ラインが必要である。

個別テーマの具体的な選択と集中として、研究開発項目①多機能高密度三次元集積化技術における「次世代三次元集積化設計技術と次世代三次元集積化のための評価解析技術の有効性実証」と研究開発項目③三次元回路再構成可能デバイス技術における「三次元回路再構成可能デバイス配線構造・ウエハ積層接合技術の研究開発」は、要素開発の開発組織が二重となっている。このため両テーマの研究センターの再編・統合を行い開発の効率化をはかるとともに、開発された技術のコスト試算や、歩留まりなどの完成度評価により、四半期ごとの見直しを行い、研究開発を加速化すべきである。

研究開発項目②複数周波数対応通信三次元デバイス技術と研究開発項目③三次元回路再構成可能デバイス技術の応用製品の検討については、本プロジェクトの三次元集積回路の要素技術に開発を集中させる意味で、いったん中止するなどの弾力的なマネジメントが必要である。

2) 今後に対する提言

半導体産業の企業勢力図は 20 年前と大きく変わり、寡占化が著しく進んだ一方で、国内産業界は、国外に対する市場展開に出遅れ、古い体質のまま選択と集中を行ったため利益体質に裏打ちされた事業再編が進まない状況にある。したがって、従来の勢力図を前提とした研究開発の推進は危険である。また、国外のロードマップを信用して事業を推進し、結果的に国内産業に利益をもたらさない事態に陥るリスクを避けるため、常に足元を確かめながら進めることも必要である。

しかしながら、半導体は太陽電池やフラットパネルディスプレイに比べ投資しても容易に製品ができないため、極めて、参入障壁が高い産業である。言い換えると、半導体製造のありかた、強い製品を徹底的に強くする独自ロードマップの設計、国家間の連携などを視野に入れた挺入れを行えば、容易に追従を許さない産業とすることができる。このため、次世代半導体の中核となる三次元基盤技術に対する NEDO の今後の支援に期待する。

本プロジェクトを推進していく上で、プロジェクトリーダーは重要であり、専任化と急変する経済に対応する国際感覚と優れた動体視力が求められる。プロジェクトリーダーがプロジェクトの全責任を負うのが本来の姿であり、当然ながら資源(人、物、資金)をプロジェクトリーダーの責任のもとに集中させれば開発は効率的になる。

取り組むべき技術内容としては、三次元集積化技術のプロセス要素技術を強化すべきである。TSV、積層接合周りの要素技術への取り組みが必ずしも十分

ではない。デバイスでの実証も重要ではあるが、個々の要素技術の完成度の向上と、要素技術での革新的な技術創造、コストブレークスルーの実現、その技術開発を通して他国が容易に真似をすることができない技術の創造という意味で、より上記要素技術への注力と挑戦的な目標の設定が望まれる。例を挙げれば、各要素技術を実現するための材料開発、装置開発まで踏み込んで行えば容易に模倣されるものではないし、かつ今後の強みともなる。

この三次元プロセス要素技術を深化させ、加速化させることが、他国との差別化をはかる上で重要であり、この開発に集中させる意味で、研究開発項目②複数周波数対応通信三次元デバイス技術や、研究開発項目③三次元回路再構成可能デバイス技術の応用製品の検討については、いったん中止するなどの弾力的なマネジメントが必要である。また、三次元集積化技術のプロセス要素技術の完成後に、これらの応用製品特有の要素検討を再開する際には、既存技術とのベンチマーク、コスト・機能・消費電力を鑑みた損益分岐点など、十分な市場調査を行うとともに、検討された三次元集積回路固有のアーキテクチャの効果を十分に見定めることが必要である。

想定製品に基づくターゲットデバイスとそれに対応した売上予想、コスト目標の精査をし、各開発段階で、コスト評価と歩留まり評価を行うことは、開発技術の実用性、事業化の判断には必要である。コストに見合わない開発項目は捨て去り、コスト実現可能な技術ブレークスルーが必要な開発項目を設定することも考えられる。最終的な製品の信頼性保証では、設計・開発段階からの取り組み（信頼性の作り込み）が重要で、開発する要素技術レベルでの信頼性評価も行うよう要望する。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

「集積回路」の性能向上が期待できる三次元集積回路は、わが国の産業・経済発展のために不可欠である。その一方で膨大な技術課題を抱え、多額の投資と幅広い分野の人材が必要であるため、三次元集積回路の製造プロセス技術は個別の企業で対応できるものではない。本プロジェクトのように、NEDO 支援の下、技術開発をコンソーシアム体制で行うことは非常に重要なことである。目標とする成果が真の意味で得られるのであれば、国際競争力のある技術が先導的に得られるので、本プロジェクトは、IT イノベーションプログラムの一環として価値付けできる。

一方、世界情勢を見ると、国際協調・外国資本も含めた事業運営が常識化し、これを背景にシェアを伸ばしている国外企業が多い。国際連携プロジェクトによる先端デバイス開発も多数行われている。この現状から、国外プロジェクト

とのベンチマークがプロジェクト運営の説明の中で十分見えてこないことは、本事業の有効性を考えると問題である。

今日、アジアが世界の半導体製造拠点であることは周知の事実である。将来の事業化においては国内企業のみでなく、国外企業、特にアジア企業との国際連携を視野に入れた検討をする時期が来ていると考える。これは、費用対効果の視点から、国家プロジェクトの成果がわが国に高い社会還元をもたらすために必要なことである。その際、台湾や韓国の研究開発・事業動向を十分考えた上で、わが国がどの部分を強みとして開発するのかといった戦略を策定するなど、高いレベルのイニシアチブを METI や NEDO をはじめとしたプロジェクト設計者に強く期待する。

三次元集積回路の製造プロセス技術の開発には解決すべき課題が山積している中で、海外での取り組みと比較すると、総事業費 50 億円規模の予算では不十分である。

三次元集積化技術は、わが国にポテンシャルのある技術であるが、競争力のある応用分野が必ずしも明確でない。開発技術を利用する顧客への宣伝と応用分野を明確にしていく中で、地に着いたターゲットデバイスを設定し、実用化・事業化を意識した目標に基づき、成果を自己評価することが必要である。

2) 研究開発マネジメントについて

研究開発マネジメントについては、開発目標に対し達成状況を定量的に把握を行なう努力が認められる。開発分担と責任所在の見える化に工夫がみられ、ASET (技術研究組合 超先端電子技術開発機構) が組織全体をまとめ、一部計画の進捗による見直しや、情勢変化への対応として、一部加速を行うなどの細かく進捗管理を行っている点は高く評価できる。全体として広い範囲で並行して研究が行われているが、少ない予算でハイレベルの技術に挑戦している。

しかしながら、開発成果の検証には三次元試作ラインとインテグレーション技術が欠かせないが、これらを実施する予算規模にはない。このため、少ない予算での実施を前提とするならば、開発項目の見直しをすべきである。三次元積層技術は、COW (Chip-on-Wafer) や WOW (Wafer-on-Wafer) 全体を作れなければ、どこに深刻な課題があるのかわからない。限られた研究予算から、まずは緊急性の高いこの試作に対し、支援する必要がある。

連関をもってフィードバック、フィードフォワードする必要性から、まずは研究開発項目①多機能高密度三次元集積化技術を中心に研究し、各課題に優先順位をつけてサブテーマを設けるなどの工夫が必要である。設備とプロセスは分離できない構成であることから、研究開発項目③三次元回路再構成可能デバイス技術における配線構造・ウエハ積層接合技術と研究開発項目①多機能高

密度三次元集積化技術における熱・積層接合評価解析技術および薄化ウエハ評価解析技術とを整理統合すべきである。

研究開発項目②複数周波数対応三次元デバイス技術や研究開発項目③三次元回路再構成可能デバイス技術の応用製品の検討については、いったん中止し、三次元集積化技術のプロセス要素技術の完成後に再開するなどの弾力的なマネジメントが必要である。想定製品まで取り扱うためには、本事業単独の予算規模は明らかに不十分である一方、想定製品なくして本物の競争力が得られない。本事業の研究をデバイスメーカーの開発計画をもとに見直し、デバイスメーカーと責任分担する「分担開発型」研究など研究開発枠組みの工夫、および全体を通じたスケジュール管理が必要である。

応用分野においては、RF MEMS デバイス研究開発における可変インダクタにおいてこれまでの製品化の失敗原因の分析が十分でないか疑問が残ることや、再構成可能デバイスでは、競合技術と太刀打ちできない低い目標を設定するなどの問題があり、応用分野までのプロジェクト全体を統括する力不足を感じる。

国家プロジェクトとしては、手堅く保守的な技術を開発するだけでなく、ある程度の割合で失敗する可能性のある挑戦的なテーマにも資金を割くべきであろう。

3) 研究開発成果について

三次元集積化の要素技術の開発に関しては、一部を除き高いレベルの成果が得られている。ほとんどの項目について、中間目標は順調にクリアしており、最終目標も達成できる可能性は高い。各テーマにおいて世界最高水準の成果をあげつつあり、個々の研究開発成果にはいくつか特筆すべきものがある。特に、研究開発項目①多機能高密度三次元集積化技術において開発した電気系三次元シミュレータ、30万端子にもなるウエハ一括多端子プローブ技術、ウエハレベルバーンイン技術は、世界トップクラスの成果であり、評価できる。

ただし、電気系三次元シミュレーション技術などのソフトウェア系の技術については、受託各社が持ち帰った後、Update もメンテナンスもないソフトウェアは使用されることなく放置される。ソフトウェアは、多くの利用者の獲得でデバッグが進み汎用性が得られる。利用者が利用しやすい環境を提供するのが当然であり、この観点と同技術では欠けている。

プロジェクトにおける応用分野として、研究開発項目②複数周波数対応通信三次元デバイスに関する技術の有効性には現時点疑問がある。過去の NEDO で行われた RF MEMS スイッチ技術と同様に MEMS 素子の安定性とコストの点で、過去の二の舞とならないように以前のプロジェクトの技術蓄積を活用すべきである。

研究開発項目③三次元回路再構成可能デバイス技術の新アーキテクチャ導入による開発においては、目標値である二次元 IC の既存技術と比べて 25%程度の性能改善は得ているが、これは、二次元 IC の改良技術でも十分である。三次元 IC とすることの優位性、実現性を明確にする必要がある。

システム面からみると、本プロジェクトのドリームチップの基本が、現行の二次元集積回路を単純に三次元に置き換える技術の開発にみえる。本格的な三次元構造を生かしたアーキテクチャで、桁違いの性能向上が期待できるチップの”夢の姿”を示し、その実証を目指すべきである。

知的財産権等の取得は RF MEMS デバイスを除いて、明らかに少ない。また生きた特許とするためには、三次元集積プロセス技術を利用する半導体デバイスメーカーのビジネスモデルも踏まえて出願する必要がある。

4) 実用化、事業化の見通しについて

個々の要素プロセス技術については実用化の可能性が高いものが多い。研究開発項目①多機能高密度三次元集積化技術、研究開発項目②複数周波数対応通信三次元デバイス技術における要素プロセス技術については、機能として、産業・市場からのニーズにマッチした開発を行っている。ウエハー括プロービング、ウエハレベルバーイン技術は、三次元集積化技術に限らず、一般の LSI でも要望されている技術であり、本プロジェクトの成果は、市場ニーズに合致し、波及効果も大きい。今後、市場に受け入れられるには、従来チップ毎のプロービングに比べ経済性や測定安定性などの優位性があることが必要であり、この観点でのベンチマークも必要である。

ただし、要素プロセスと量産技術の間を如何に短期間で埋めるかが今日半導体産業の競争力であり、インフラが無い段階の要素プロセス技術には、インフラが揃った段階で大幅な見直しが起きる。実用化検証にはこういった落とし穴が多数あるが、バックアップの設計がない。プロジェクト完了時期（2012年）には、三次元は生産性が高い COW、そして WOW へ大きくシフトするため、これまでの成果がこれらに応用できるかなどの検証が必要である。COW と WOW はウエハを三次元で、取り扱うため、前工程の配線・デバイス・製造分野の研究者を参画させるなどの組織増強、またコスト計算によるプロセスと装置のスクリーニングを行えば事業化シナリオが描ける。

応用技術は実用化の目処が立っておらず、今回開発した技術が競合技術となる二次元 IC の改良技術に対してどの程度の優位性があるかを明確にしないと事業化へ踏み出すことは困難である。市場要求に対するコストという観点からも綿密な精査を行い、MEMS デバイスについては、構造体の熱膨張や振動による信頼性の低下を仕様に反映して、実用化開発を進めるべきである。

限られた予算に照らし合わせて選択と集中で、開発技術項目を取捨選択して継続する技術開発項目を明確に絞るべきである。その際、技術の完成度は、歩留まりや信頼性で表現されるので、それらを念頭に置いて実用化の確率が高い技術を見極めるべきである。

個別テーマに関する評価

	成果に関する評価	実用化、事業化の見通しに関する評価	今後に対する提言
多機能高密度三次元集積化技術	<p>シミュレーション技術、実装技術、検証技術等、個々の研究レベルが高く、中間目標は達成しており、研究発表も積極的に行われている。個々の研究開発成果にはいくつか特筆すべきものがある。従来、個別対応していた集積回路、パッケージ、ボードレベルを一括して複合的に解析できる電気系シミュレータを開発したことは評価できる。</p> <p>30万端子にもなるウエハー一括多端子プローブ技術の開発は、世界で初めての成果であり、ウエハレベルバーンイン技術、特に広範囲の温度制御技術は、世界に誇れる技術として評価できる。</p> <p>ただし、三次元電気系シミュレーション開発では、ここで開発されたシミュレーション技術を各企業が持ち帰って完成させるゆとりはないため、利用</p>	<p>“ドリームチップ”に向けて開発した要素プロセス技術は、波及効果が大きく、近い将来、SiPの量産にも役に立つ。特に三次元集積化の熱・積層接合評価解析技術と、薄化ウエハ評価解析技術については課題も定義されており、事業化の可能性が高い。ただし、ドリームチップも電子機器の部品と考えると具体的な製品像が乏しいことは否めない。国内外の市場動向を十分に調査し、一歩先取りした製品とこの要素プロセス技術の提案を行うなど中長期のシナリオが必要である。</p> <p>300mm ウエハー一括プローブ方式の研究開発は、通常のLSIへの応用にも役立つもので、応用範囲も広く汎用性が高い。</p>	<p>事業化を前提とした場合、一貫した製造ラインを使った検証が必須である。新たな設備購入といった安易な手法もあるが、国内外を見渡せば補完可能な組織、企業がある。これらの組織と密接な連携を結べば開発が加速される。</p> <p>本テーマは、想定顧客など、戦略の一致を事前に整合させた上で、要素開発からモジュール開発へ、また基礎開発から試作開発といった全体像を俯瞰して開発分担を行えば合理的に遂行できる。</p> <p>本テーマの実証デバイスイメージの基本構成は、既に公開されている内容と大差な</p>

	<p>者が利用しやすい仕組みの検討が必要である。また、従来に比べて 100 倍、1000 倍の高速化を達成したことになっているが、世界トップレベルのソルバー・メッシュ発生と比較して、どの程度の水準にあるかを正当に自己評価すべきである。</p> <p>評価解析技術であるウエハー括プローブについては、非接触接続方式(容量結合)によるテストングだと、ウエハー側での工夫なしには出力端子の駆動力の検査はできない。最終的には接触方式と非接触方式の併用の検査となりそうであるので、この規模で一度にウエハーを検査する必要があるのか、再考すべきである。</p> <p>三次元集積化の熱・積層接合評価解析技術と薄化ウエハー評価解析技術については、想定積層をイメージして仕様確認を行なう段階にある。COW と WOW のトータルプロセスを設計して、課題抽出とテーマの再分類を行なうべきである。</p>	<p>三次元電気系シミュレーション技術は、設計・開発時間の短縮化に必須の技術であるが、各社への技術移転に当たっては、問題が発生する可能性がある。三次元構造の入力の自動化(設計データから三次元構造の自動生成)、あるいは、技術的フォローアップのできる体制の構築を行うなど、プロジェクト終了後の実用化・事業化に対する明確な方法論を構築すべきである。</p> <p>次世代三次元積層 SiP の有効性実証については、高バンド幅の可能性を示しているが、これには配線の引き回し、IO 数、レイアウトなどの具体的要件を踏まえる必要がある。また、10Kfps は優れているが、市場規模が大きいモバイル 3D などには過剰仕様である。</p> <p>ウエハー括プロービング、ウエハーバーンイン装置開発は、すばらしい成果である。市場に受け入れられるには、従来のチップ毎のプロービン</p>	<p>い。プロセスエンジニア同士の議論から、新しいアーキテクチャのアイデアは期待できないので、トップダウン思考のアーキテクトを研究グループに加えたり、顧客からの意見も多く徴収し、今後、複数の三次元デバイスの概念を超える新しい積層デバイスの実証を期待したい。</p> <p>現在は開発が順調に進展しているが、プロジェクト終了後に、折角確立した技術が分散・消失しないようにコントロールすることが重要であり、プロジェクトで獲得した技術を受け継ぐ組織を残すべきである。ASET (技術研究組合 超先端電子技術開発機構) もその選択肢の一つであるが、プロジェクトに参画している企業も協力して技術伝承の共同機構の立上げに積極</p>
--	---	--	--

		<p>グに比べ経済性が優れ、安定性や信頼性も従来技術と同等以上であることを実証することが必要であり、この観点での評価を進める必要がある。</p> <p>今後の実証デバイスの実用化の課題としては、特に三次元 IC は二次元 IC に比べて組立コスト増加をどこまで抑えられるかが重要である。</p>	<p>的に取り組むべきである。</p>
<p>複数周波数対応通信三次元デバイス技術</p>	<p>MEMS デバイスとして、可変インダクタについては良好な性能は得られておらず、インダクタンスの可変範囲が 50%であっても、共振周波数の可変範囲は 25%程度であることを考慮すると、周波数の可変はキャパシタで対応する方がコスト的にも安くなる。従って、MEMS を組み込む必然性があるのかが明確ではなく、製造コストを考えると non-MEMS の複数チップを積層することで複数周波数に対応することも可能である。MEMS デバイス導入の懸念点として他に挙げられるものと</p>	<p>複数周波数対応 RF MEMS デバイスは、ターゲット市場として、携帯電話への応用が考えられ、市場は大きい。また、受取り手も明確であるので、機能、コストを満足すれば、競合に対する優位性は高い。配線容量が大きくなる課題に対して、MEMS 技術を用い配線を短くすることも 3次元構造にすることは価値あることである。可変アンテナモジュールは、MEMS とアナログ、また CMOS との融合が必要で、それぞれの素子間の接続には大きな工</p>	<p>プロジェクトを進めてゆく上で、(1) 広帯域の複数周波数に対応するチップの需要がどの程度あるのか、(2) MEMS チップと複数チップとで製造コストのメリットが得られるのか、などの検討が必要である。その結果に基づいて、必要に応じた開発テーマの再設定が必要であろう。</p> <p>可変インダクタや可変キャパシタなど MEMS を使った素子は一般に使用電源電圧が</p>

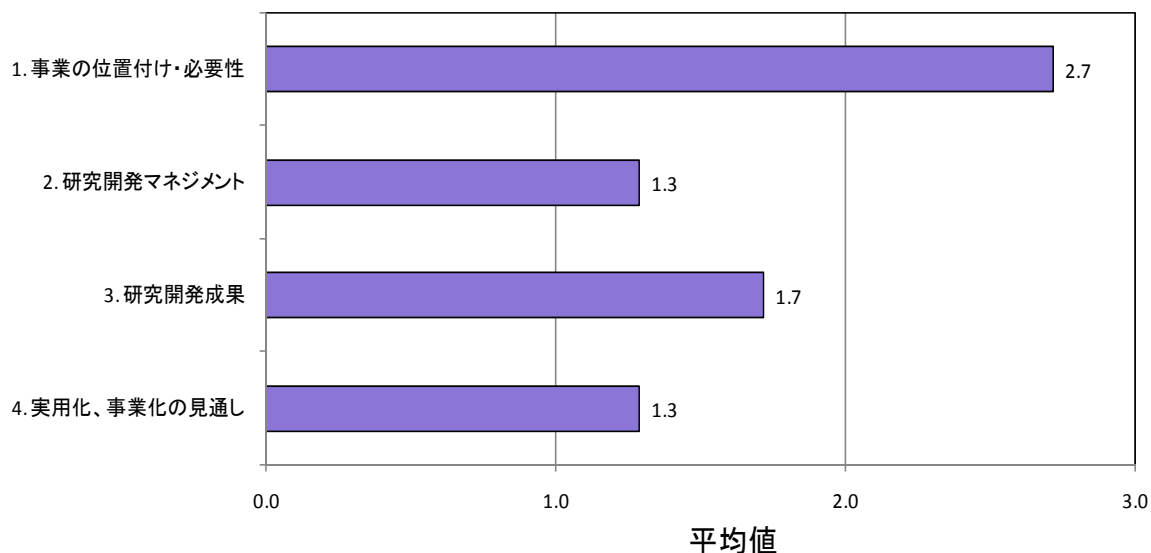
	<p>して、MEMS デバイスを動作させる電圧がある。低消費電力化の流れで低電圧動作 CMOS 集積回路が世界を席卷している中で、高電圧対応の CMOS 回路の開発は時代の流れに逆行し、チップコストも高くなる。</p> <p>更に、MEMS デバイスを実現するためには、安定性向上のために温度依存性を考慮した設計を進め、駆動用電源および制御回路と一体での実証を進める必要がある。以上の結果を踏まえると、既存技術とのベンチマーク、コスト・機能・消費電力を鑑みた損益分岐点など、十分な市場調査が事前に必要である。また可変インダクタを例にすると、過去の MEMS 開発の失敗原因の分析が十分でないか疑問が残る。</p> <p>複数周波数対応通信三次元デバイス技術の応用製品の検討については、本プロジェクトの三次元集積化技術に開発を集中させる意味では、その優先順位は低く、いったん中止とすべき位置づけである。想定製品として、いく</p>	<p>夫が必要で、応用製品を想定した上で、実用化の課題を抽出したことは、評価できる。また、高 Q 値の可変インダクタは画期的なデバイスであり、GHz 帯の通信チップへの適用以外にも様々な応用が考えられる。</p> <p>一方、MEMS プロセスを導入すればチップコストは高くなる。ターゲットとする携帯市場の中で三次元積層通信チップが広く使われていくためのコストに見合う技術を実現できるかが課題となる。要求コストを実現することが可能なのかを常に検討しながら開発を進め、どこかの時点で不可能と判断したら、開発項目の再設定をすることが必要である。</p> <p>MEMS の最大の課題である温度変化などによる不安定性を除去することが必要である。可変インダクタンスを例にすると、今のままではアナログ動作でしかもフィードバ</p>	<p>高くなる傾向にあるが、低消費電力の低電圧 CMOS 集積回路の製造プロセスに合った低電圧で動作する MEMS 素子の開発を目指すべきである。また、RF MEMS は本質的に半導体デバイスより低損失、低ひずみであり、RF 回路に適している。この優位性を活かした研究開発を進めるべきである。</p> <p>デジタル動作の設計にしても、フィードバック制御のアナログ動作の設計にしても、MEMS の最大の課題である温度変化などによる不安定性を除去したデバイス設計に着手して製品化への道を築いて欲しい。</p> <p>MEMS デバイスと Si 集積回路という異種デバイスの三次元実装は、これまでない技術であるため、各分野の経験</p>
--	--	--	--

	<p>つかの課題を抽出したことは、評価できるので、十分な市場調査を進め、見通しをつけられれば、三次元集積化技術のプロセス要素技術の完成後に再開するなどの弾力的なマネジメントが必要であろう。</p> <p>取り上げている技術課題の中間目標は、ほぼ満足されている。個々の研究開発成果にはいくつかみるべきものがあり、MEMS デバイスレベルでは、世界トップレベルの可変アンテナ、可変インピーダンス回路、可変フィルターの動作を検証し、MEMS スイッチの信頼性試験まで行ったのは評価できる。特許出願及び論文発表の件数は満足すべきレベルである。</p>	<p>ック制御をしておらず、これまでのMEMS 開発の反省に基づいて設計されているとは言い難い。</p> <p>RF MEMS デバイスを携帯電話に導入した場合、振動・衝撃によりMEMS デバイスの信頼性問題の発生が懸念される。基礎信頼性評価として、振動・衝撃試験を実施することを推奨する。</p>	<p>を活かした共同研究となるようにマネジメントすることを要望する。</p> <p>ただし、限られた予算とプロジェクト期間を考慮すると、今後、複数周波数対応通信三次元デバイス技術の応用製品の検討については、本プロジェクトの三次元集積化技術に開発を集中させる意味では、いったん中止とすべきである。想定製品として、いくつかの課題を抽出したことは、評価できるので、十分な市場調査を進め、見通しをつけられれば、三次元集積化技術のプロセス要素技術の完成後に再開するなどの弾力的なマネジメントを実施することが必要であろう。</p>
--	---	---	---

<p>三次元回路再構成可能デバイス技術</p>	<p>三次元集積化技術の基本技術であるデバイス配線構造・ウエハ積層接合技術については、多数の狭ピッチ TSV を作製する技術が順調に進み、位置合わせ精度 $5\mu\text{m}$ 以下の目標値をクリアし、計画通りに進行していることは評価できる。</p> <p>ただし、デバイス配線構造・ウエハ積層接合技術の目標と成果には、技術的困難さが見えない。TSV の密度は、$3\mu\text{m}$ のミスアライメントで決定される問題に対して、これ以上の高密度化を如何に実現するかが本質的な課題である。また、量産のウエハサイズ 300mm に合わせた評価が必要である。</p> <p>三次元回路再構成可能デバイスに関するアーキテクチャ及び設計技術については、単純に二次元と三次元のコスト判断を行うべきである。性能に関しては、二次元がだめで三次元を有利であるとする論拠が薄く、実証チップにはなんら新規性が認められない。汎</p>	<p>三次元回路再構成可能デバイスアーキテクチャについては、三次元ドリームチップの効果、製造コスト、歩留まりを考慮すると、残念ながら、この三次元再構成可能デバイスの実用化は期待薄である。新しいアーキテクチャの取り組みが見えない中、消費電力あたりの性能 1.25 倍の目標達成に固執することは、致命的である。</p> <p>三次元回路再構成可能デバイス技術のアーキテクチャ・設計技術では、市場導入可能性、競合技術である二次元 IC の改良技術に対する競争性などのマーケット分析が必要である。</p> <p>本テーマのデバイス配線構造・ウエハ積層接合技術は、三次元集積化技術の基本技術であり、位置ずれを数 μm に抑えたウエハ貼り付け技術については、幅広い応用が期待できる。本プロジェクトの別のテーマと位置付けている研究開発項目①</p>	<p>三次元回路再構成可能デバイス技術のアーキテクチャ・設計技術について、机上の予測(計算)で画期的な成果が得られないのならば、試作してもそれ以上の成果は出てくるはずはないので、現在進めている再構成可能デバイスの実証チップの試作をするより、次の飛躍につながる積層デバイスのアイデアの検討を期待したい。今後継続して、開発を進めるのであれば、三次元回路再構成可能デバイス技術のアーキテクチャ・設計技術では、市場導入可能性、競争性などのマーケット分析を行うことが必要である。特に、競合技術としての二次元 IC の改良技術に対して三次元デバイスが、どの程度の優位性があるかを明確にした上で進めるべきである。</p>
-------------------------	--	---	---

	<p>用のアナログ回路ブロックを取り入れて FPGA（利用者が独自の論理回路を書き込めるゲートアレイの一種）を三次元実装した構成となっているが、スイッチ抵抗、干渉や外部雑音などを考慮すると、SN比の劣化が避けられず、実証チップにアナログ回路を含めるメリットはほとんどない。まだプロトタイプの基本構成すら固まっておらず、進捗状況は遅れている。</p> <p>他社に市場を占有されている中で、FPGAを題材に本当にビジネスを単独で行なうのかは、大きな疑問であり、まず市場解析を行ない、競合技術としての二次元 IC の改良技術に比べての優位性と実現性をより明確にする必要がある。知的財産権等の取得が、投入された資金に比して明らかに少なく、折角開発した技術が競争相手にすぐに追いつかれてしまう危険性が高い。また論文の発表数も少ない。</p>	<p>三次元集積化技術の熱・積層接合評価解析技術および薄化ウエハ評価解析技術と本テーマを、トータル三次元プロセスとして、再構成することにより、三次元プロセス技術の実用化が加速化されるものとする。</p>	<p>三次元回路再構成可能デバイスの研究開発チーム構成は相互に関連がなく、また、本テーマのデバイス配線構造・ウエハ積層接合技術は、再構成可能デバイス特有の技術では無いので、研究開発項目①多機能高密度三次元集積化技術の熱・積層接合評価解析技術および薄化ウエハ評価解析技術と再構成し、トータル三次元プロセスとして統合すべきである。</p>
--	--	---	---

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	B	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	A	A	A	B	B	
2. 研究開発マネジメントについて	1.3	B	B	B	B	C	D	D	
3. 研究開発成果について	1.7	B	B	B	B	C	B	C	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.3	B	B	C	C	C	C	C	

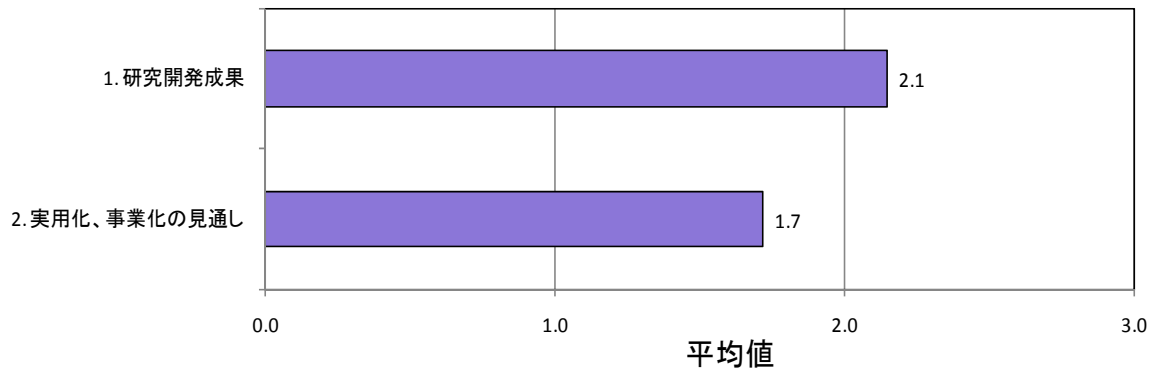
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

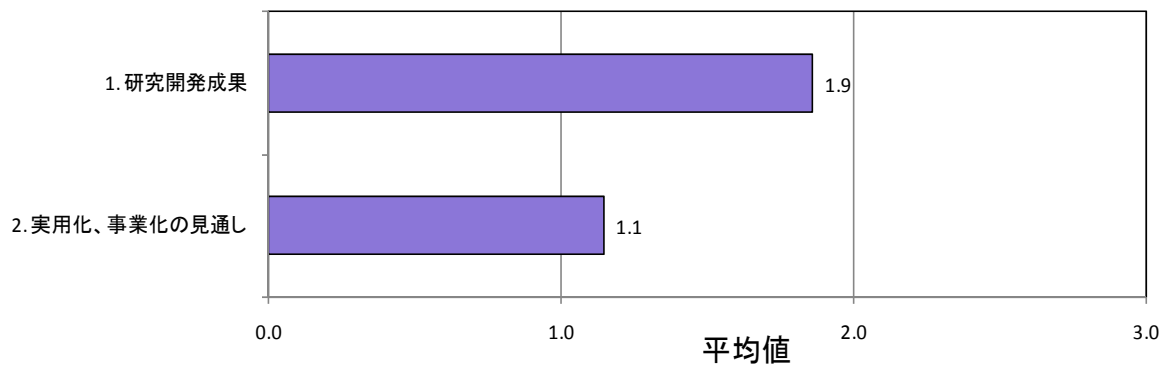
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

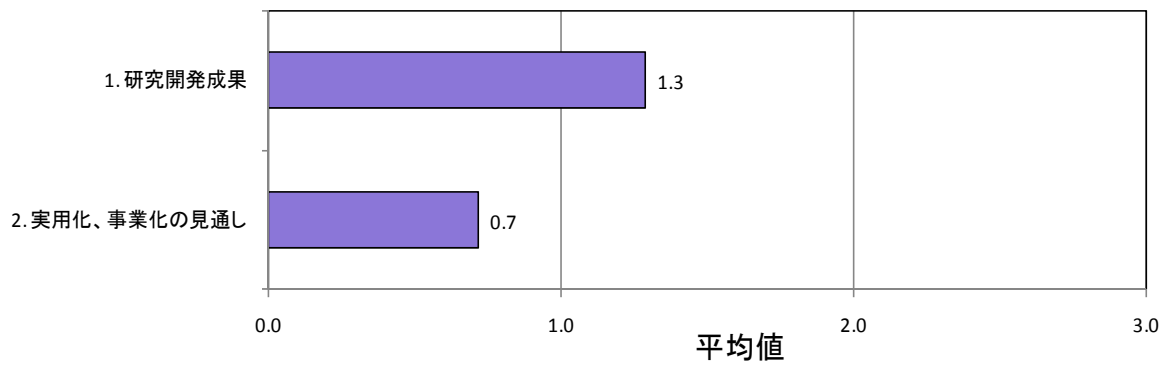
多機能高密度三次元集積化技術



複数周波数対応通信三次元デバイス技術



三次元回路再構成可能デバイス技術



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）							
多機能高密度三次元集積化技術									
1. 研究開発成果について	2.1	A	B	B	B	B	B	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	B	B	C	C	
複数周波数対応通信三次元デバイス技術									
1. 研究開発成果について	1.9	A	B	B	B	B	C	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.1	C	B	B	B	C	D	D	
三次元回路再構成可能デバイス技術									
1. 研究開発成果について	1.3	B	B	B	C	C	C	D	
2. 実用化、事業化の見通しについて	0.7	B	C	C	C	D	D	D	

（注）A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について		2. 実用化、事業化の見通しについて	
・非常によい	→A	・明確	→A
・よい	→B	・妥当	→B
・概ね適切	→C	・概ね妥当であるが、課題あり	→C
・適切とはいえない	→D	・見通しが不明	→D