

# 「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発」

## 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） .....	1 2
評点結果 .....	2 0



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  
「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発」(中間評価)  
分科会委員名簿

(平成 22 年 9 月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	さとう かずお 佐藤 一雄	名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授
分科会長 代理	しもやま いさお 下山 勲 *	東京大学 情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 教授
委員	あらい ふみひと 新井 史人	名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻 教授
	ささき みのる 佐々木 実	豊田工業大学 大学院工学研究科 教授
	しょうじ しゅういち 庄子 習一	早稲田大学理工学術院 基幹理工学部 電子光システム学科 教授
	たみや えいいち 民谷 栄一	大阪大学 大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻 教授
	にしもと たかひろ 西本 尚弘	株式会社島津製作所 基盤技術研究所 主任研究員

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（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

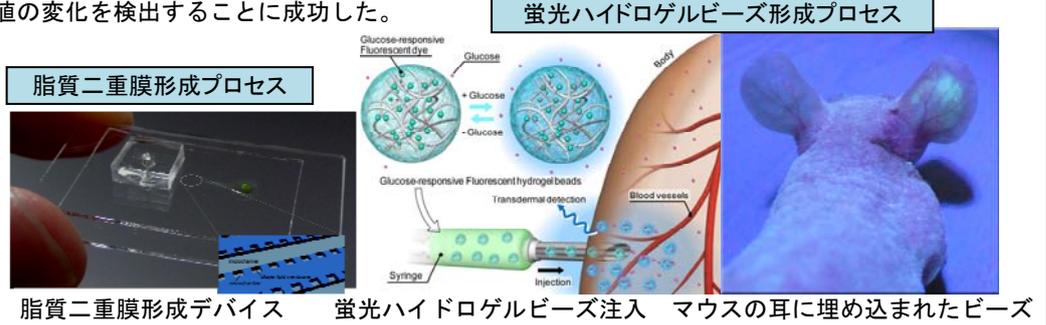
		最終更新日	平成 22 年 8 月 20 日				
プログラム（又は施策）名	ロボット・新機械イノベーションプログラム						
プロジェクト名	異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト	プロジェクト番号	P09008				
担当推進部/担当者	機械システム部 渡辺 秀明（平成 22 年 8 月現在）						
0. 事業の概要	<p>2015 年以降 2025 年に向けて革新的イノベーションを起こし、更なる市場の拡大を図るには、従来電子・機械製造技術と完全に異分野とされてきた技術とを融合させる等により、これまでの製造技術の概念・常識を打ち破った技術を創出することが肝要である。このため、MEMS 製造技術とナノ・バイオ等異分野技術の融合による以下の新たな共通基盤製造技術を開発する。①バイオ・有機材料融合プロセス技術、②3次元ナノ構造形成プロセス技術、③マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術、また、開発成果の産業界への普及促進に向けた環境整備のため、④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備を行う。</p> <p>また、全世界的課題として環境エネルギー問題への対応が国や産業毎に強く求められており、⑤高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発を平成 21 年度補正予算で平成 22 年度まで実施する。（研究開発項目⑤については、中間評価は行わず、事後評価を平成 23 年度に実施する。）</p>						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>MEMS 技術戦略マップでは、「MEMS はトップダウンプロセスである微細加工とボトムアッププロセスであるナノ・バイオプロセスとを融合させたマイクロ・ナノ統合製造技術の確立により、その応用範囲を急速に広げ国家・社会的課題である「環境・エネルギー」、「医療・福祉」、「安全・安心」分野で新しいライフスタイルを創出する革新的デバイスとして広く浸透する。」と記載されている。例えば、「医療・福祉」分野では、人体に与える負荷を極小化させる医療診断システムや、「安全・安心」分野として、広くセンサネットワークを構築し、災害監視や地球観測に適用可能な宇宙で使えるような革新的デバイスの創出が望まれている。この第 3 世代 MEMS である革新的次世代デバイス (BEANS : Bio Electromechanical Autonomous Nano Systems) を創出するためには、その基盤技術であるプロセス技術の確立が必須である。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>本プロジェクトは、MEMS 技術戦略マップのロードマップによる 2025 年以降の技術等を見越し、研究開発の目的に即した革新的製造プロセス技術を抽出し、その技術を確立することを目標とする。更に、本技術開発を通じて得られた共通基盤製造技術に関わる知識を集約し、データベースを整備する。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、各項目間の連携にも配慮しながら、研究開発を実施する。① バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発、② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発、③ マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発、④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備。</p> <p>また、平成 21 年度補正予算で平成 22 年度まで⑤高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発を実施する。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	
	①バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発						▶
	②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発						▶
	③マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発						▶

	④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備						
	⑤高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発						
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)	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy			総額
	一般会計 (21年度補正)	1,150	1,091	762 (3,310)			3,003 (3,310)
	特別会計 (一般・電源・需給の別)	(METI 直執行)	(一般)	(一般)			
	加速予算(成果普及費を含む)		51				51
	総予算額 (21年度補正)	1,150	1,142	762 (3,310)			3,054 (3,310)
	(委託)	委託	委託	委託			
契約種類: ○をつける (委託○) 助成( ) 共同研究(負担率( ))							
開発体制	経産省担当原課	製造産業局産業機械課、航空機武器宇宙産業課宇宙産業室、産業技術環境局研究開発課					
	プロジェクトリーダー	技術研究組合 BEANS 研究所 所長 遊佐 厚					
	委託先 (平成 21 年度時点)	技術研究組合 BEANS 研究所 【(財) マイクロマシンセンター、オムロン、オリンパス、数理システム、セイコーインスツル、テルモ、デンソー、東芝、東芝機械、パナソニック電工、フジクラ、富士電機システムズ、古河電工、みずほ情報総研、三菱化学メディエンス、三菱電機、リンテック、(財) 無人宇宙実験システム研究開発機構、(財) 資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構、(財) 九州先端科学技術研究所】 国立大学法人 東京大学 国立大学法人 九州大学 学校法人立命館 立命館大学 独立行政法人 産業技術総合研究所					
情勢変化への対応	1. 研究開発項目②(3)「宇宙適用3次元ナノ構造形成技術」を終了 研究開発項目②(3)に関しては基本プロセスおよび検証基本手法の主要な部分についての研究開発は完了し、実用化の目処が立ったため、早期に産業応用を目的にした開発にシフトした。 2. 『研究開発項目⑤高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発』を追加公募 全世界的課題として、環境エネルギー問題への対応が国に求められている中、低炭素社会づくりに貢献する高機能 MEMS センサおよびそれを活かしたネットワークシステムの構築と、革新的次世代デバイスの実用化における低環境負荷型製造プロセス技術を確立することを目的とする公募を行い、実施者を選定した。						
中間評価結果への対応	(なし)						
評価に関する事項	事前評価	平成 19 年度実施 担当部 機械システム技術開発部					
	中間評価	平成 22 年度 中間評価実施					
	事後評価						

異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト（通称：BEANS プロジェクト）は平成 20 年度に経済産業省の直執行プロジェクトとして開始され、平成 21 年度から NEDO 委託事業として実施している。本プロジェクトでは、課題を研究開発項目①バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発、②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発、③マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発、④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備の4つに分けて、異分野融合型次世代デバイス（BEANS）製造のための基盤プロセス技術の研究開発とデバイス化のためのプロセス技術群のプラットフォーム構築を行っている。これらの全体に対して平成 22 年度末までに中間目標を達成できる見通しを得ている。各研究開発項目の成果概要を以下に示す。

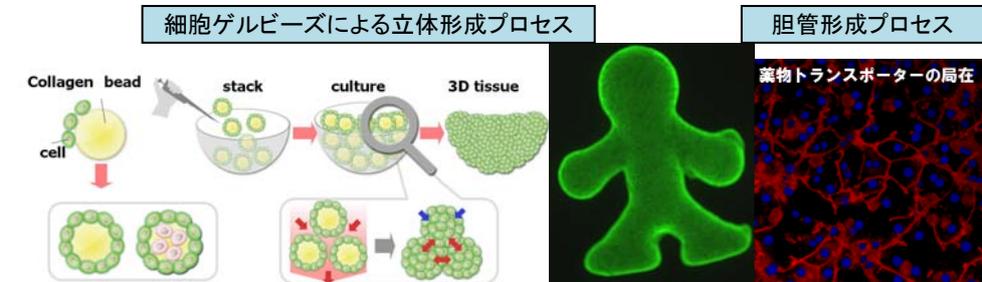
①-(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術

24 時間以上の脂質膜の形成（寿命）プロセスを確立した。膜タンパク質（VEGF 受容体）の精製条件を明らかにし、高純度に精製することに成功した。また精製された膜タンパク質と VEGF との結合を検出することができた。血糖値に反応して蛍光強度を変化させる蛍光ハイドロゲルビーズ作製プロセスを開発し、マウスの耳に埋め込むことに成功した。さらに、皮膚を介して生体外から血糖値の変化を検出することに成功した。



①-(2A) バイオ高次構造形成プロセス技術

コラーゲンゲルビーズに細胞を付着させ、鋳型内で培養し、鋳型の形状に合わせてミリメートル厚の組織を高速に形成することに成功した。また、コラーゲンゲルで作製した流路内に肝細胞を導入し、一定期間培養することにより、流路に沿ってミリメートルの長さで胆管を形成するプロセスを開発した。

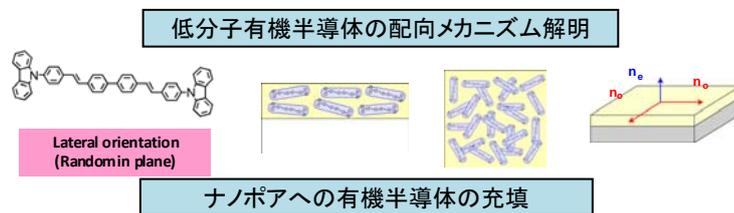


①-(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術

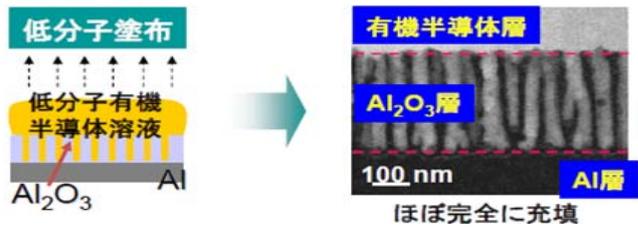
真空蒸着における低分子有機半導体の配向メカニズムを解明するとともに、配向制御法を開発し、電子移動度を 2 桁向上させることに成功し、基盤プロセスとして確立した。

50nm のナノ間隙への低分子有機半導体の充填に成功した。高分子については 50nm の間隙では充填深さに課題があるが最終目標である 200nm の間隙においては充填可能である。

ナノインプリンティングによるナノ構造への有機半導体の充填は可能となった。デバイスとしての特性向上につながっていないが、複層製膜する際の膜厚制御を実現し課題を解決する。超低損傷中性粒子ビームによる有機薄膜デバイスのエッチングに成功し、トップダウンプロセスによるナノスケールの構造形成法として期待できる。



Ⅲ. 研究開発成果について



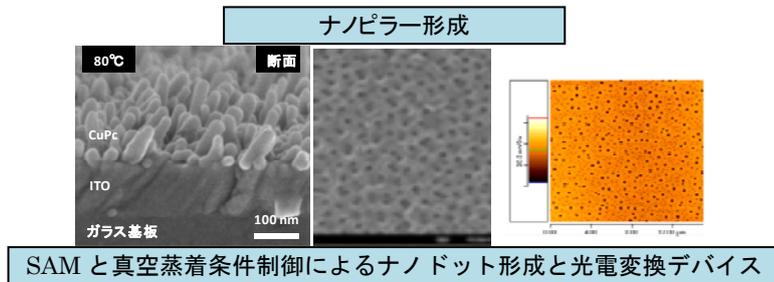
①-(2B) 有機高次構造形成プロセス技術

ナノマーキング結晶成長制御により、径 30nm、高さ 100nm、間隔 50nm 以下の高密度のナノピラー形成に成功した。

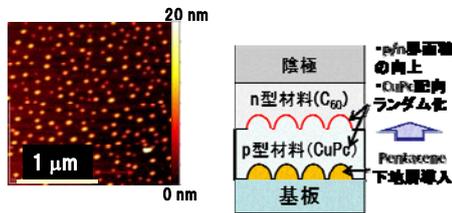
SAM(Self-Assembled Monolayer)と真空蒸着条件制御により 40nm のナノドットの形成とこれを用いた新規デバイス構造により光電変換特性の 35%向上を確認した。

ブロック共重合体による 100nm のナノポーラス構造を形成し、光電変換素子を作製した。更に分子設計による数ナノメートルレベルの層分離構造、配向制御を推進している。

ナノミスト法によるポア径 80nm のナノポア高分子薄膜の形成とシミュレーションによるメカニズムの解明に成功した。また陽極酸化による 20~100nm のナノポアアルミナの形成に成功した。ナノポア構造をテンプレートとした世界トップレベルのナノポーラス熱電半導体の開発に成功し、高性能熱電デバイスを実現するプロセスとして期待できる。

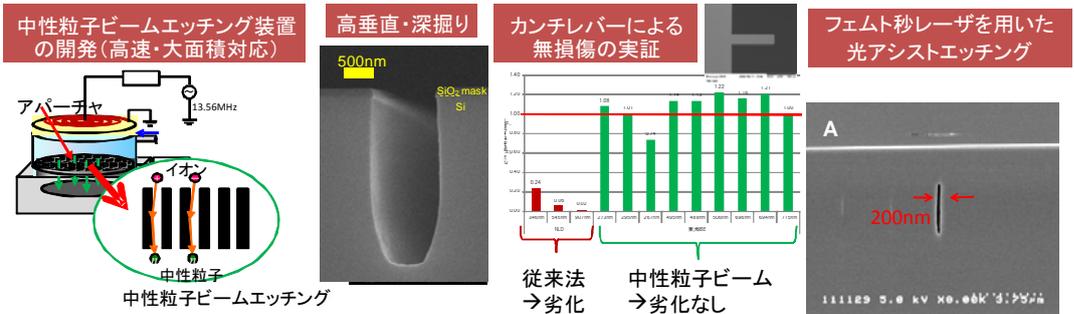


SAM と真空蒸着条件制御によるナノドット形成と光電変換デバイス



②-(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術

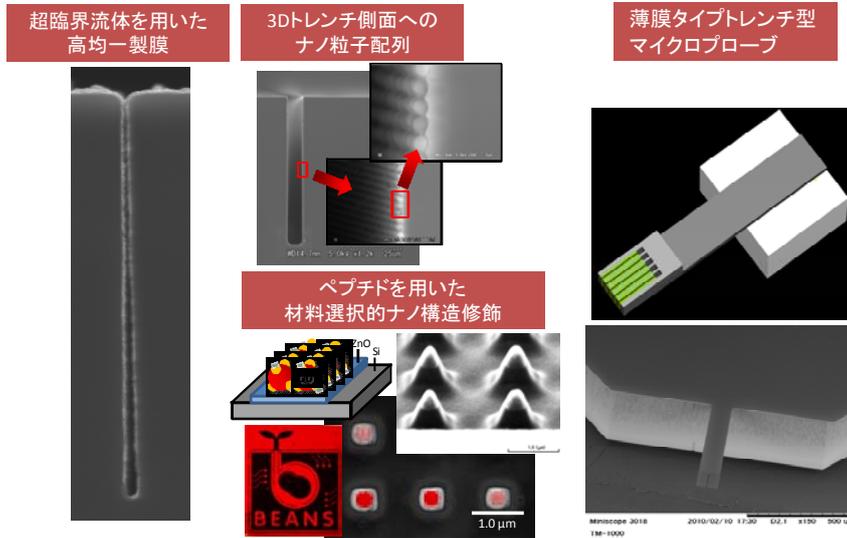
シリコン中性粒子ビームエッチングの高速化・大面積化を目指し、中性粒子の発生過程を第一原理計算で明らかにしつつ、サイドエッチングのない深さ 2.5 μm のエッチングを達成した。開口部 100 nm レベルのマスクによりアスペクト比 30 の垂直エッチングが可能になる。さらに、エッチング条件による側壁の傾斜角や等方性・異方性の制御可能性を示した。被エッチング面の平滑性・無損傷性は、中性粒子ビームエッチングにより薄片化したカンチレバーの振動特性がエッチング前後で変化しないことにより実証した。また、フェムト秒レーザーを用いた光アシストエッチングにより、幅 200 nm の孔を石英内部に任意形状で形成することに成功した。



②-(2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術

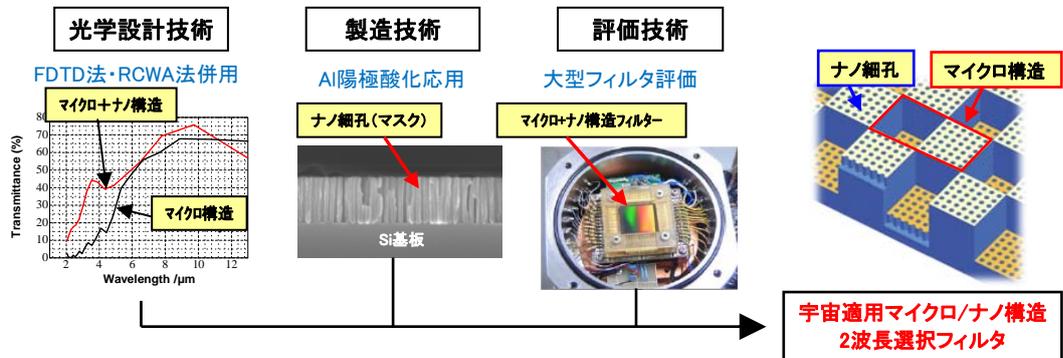
高アスペクト比トレンチ内部表面への金属・酸化膜の均一製膜を、超臨界 CO<sub>2</sub> を反応媒体とする新規製膜手法を開発することにより達成した。また、高アスペクト比トレンチ側面のみへの 100 nm

径ナノ粒子の自己組織化配列を実現するとともに、材料認識機能を有するペプチドを用い、複雑3次元形状表面の特定箇所形成したZnO膜上のみ直径10nm程度のナノ粒子を選択修飾することに成功した。これは、尖塔にのみナノ機能体を導入したナノプローブの作製を可能にする技術である。このようなナノ構造体間の接触物間作用力を測定して古典理論との比較を行う一方、摺動によっても電気接触面積が変化しない新構造ナノプローブ製法を開発した。



②-(3) 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術

宇宙空間でのマルチバンド観測を実現する3次元ナノ構造形成技術として、Si基板上にスパッタ成膜したAlを陽極酸化することで、目標とする100nmレベルの垂直な細孔を形成する手法を確立し、得られた陽極酸化膜をマスクとしてSi基板がエッチングできることを確認した。また、2層サブ波長構造光学フィルタ設計技術として、短波長側では精度に優れたFDTD(Finite Difference Time Domain)法を、長波長側では解析時間に優れたRCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis)法を併用することで、赤外波長域全域において精度と効率を両立する手法を確立した。さらに、高解像度赤外センサに適用可能な大型2層サブ波長構造光学フィルタの評価手法を確立した。



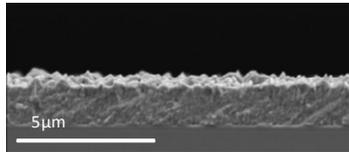
③-(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

非真空高品位機能膜形成の要素技術に位置付けた3つの基本プロセスを開発した。シランガスを用いない700Torr圧力下で電子移動度 $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上の多結晶Si膜が得られる大気圧プラズマの装置構成及び成膜条件を見出した。また圧力センサ試作により歪ゲージ等の機械的機能膜に適用できることを示した。ミストジェット塗布法では、高品位膜に必須な金属不純物混入防止に向け、吐出ヘッド構成部材のSi化を図り、塗布後膜として原料由来の1ppmまで低減できること、ならびに $200\mu\text{m}$ パターン描画を実証した。局所雰囲気制御技術では、独自ガスカーテン構造の装置化を進め、反応ガス外部漏洩と大気内部侵入の抑制方法の方針を明らかにした。

①大気圧プラズマ成膜

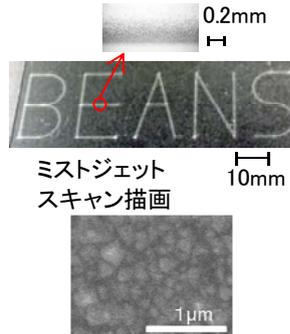


大気圧プラズマ 圧力センサ試作



大気圧下での多結晶Si成膜

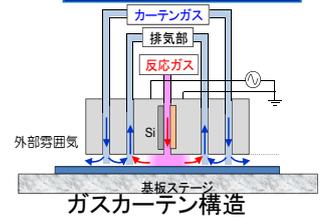
②ナノ材料均質塗布



ミストジェット スキャン描画

エレクトロスプレー  $\mu$  テクスチャー

③局所雰囲気制御



実験機

③-(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

繊維状基材上に連続的に均質な有機半導体膜等の高品位機能膜を、10 m/min 以上で被覆することが可能なダイコーティングプロセスと、高品位機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造を高速連続形成することのできる光リソグラフィも可能なリールツール複合加工機ならびに5 m/min 以上のリールツールリールインプリント等の連続加工プロセスを開発した。また、これらのプロセスで加工された多数の異種繊維状基材を製織によって機能化・集積化する技術を開発して、メータ級のフレキシブルタッチセンサシート等を試作することで、繊維状基材への高速連続形成基本プロセスならび製織集積化基本プロセスが開発できていることを実証した。

①機能薄膜連続被覆



連続的被覆装置

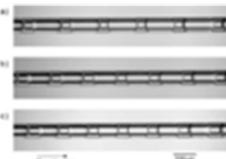


長尺サンプル

②連続微細加工

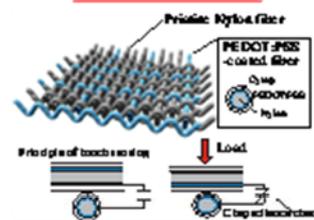


繊維状基材への熱インプリント



中空ファイバ内へのセル構造形成

③製織集積化



大面積タッチセンサシート

④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備

BEANS 知識データの多様なカテゴリ分類に対応するため、編集者が操作しやすく、データの誤操作の少ないカテゴリ追加・変更機能の設計、実装をおこなった。カテゴリ情報は、知識データの利用価値向上を図るため、複数分類項目の選択を可能にした。

BEANS 知識データの蓄積では本研究開発事業の各 BEANS センターにおける研究成果、および関連する国内外会議への参加等により 201 件、また知識データベース編纂委員会の 4 ワーキンググループにより異分野融合分野における新しいライフスタイルを創出する次世代デバイス、製造技術関連の知識データを 322 件登録した。523 件のデータ登録を完了し、中間目標を達成した。

BEANS 知識データベースサイト

	 <p style="text-align: center;">登録知識データ例                      知識データカテゴリ(安心・安全・快適応用デバイス)</p>						
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">投稿論文</td> <td>「査読付き」19件、「その他」0件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」40件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願2件）</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td>「学会発表」141件、「セミナー講演会・展示会」31件、「刊行物」15件 「マスメディア」24件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」19件、「その他」0件	特許	「出願済」40件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願2件）	その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会発表」141件、「セミナー講演会・展示会」31件、「刊行物」15件 「マスメディア」24件	
投稿論文	「査読付き」19件、「その他」0件						
特許	「出願済」40件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願2件）						
その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会発表」141件、「セミナー講演会・展示会」31件、「刊行物」15件 「マスメディア」24件						
<p>IV. 実用化の見通しについて</p>	<p>本プロジェクトは異分野融合型次世代デバイスを製造するための基盤技術開発のプロジェクトであるが、参画している企業は出口イメージを明確に持って参画し、企業により実用化予想時期は異なるが、早い企業では2012年からの事業化を予想しており、遅い企業でも2023年の事業化を予想している。開発のマイルストーンも明確になっており、成果の実用化の可能性は高いと考える。特に宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の開発では、最終目標を前倒して実現し、プロジェクト内で基盤技術として研究開発を継続するよりも、企業内で早期に実用化に向けた研究開発段階へ移行した方が良いとの判断からプロジェクトからスパインアウトさせ、実用化を加速している。また、デバイス化研究へ移行が可能な粒子配列技術、中性粒子ビームエッチング技術、ナノマルチプローブ形成技術に関しては、21年度の補正予算を導入して、実用化に向けて研究開発の加速を図っている。知識データベース(DB)に関しては、プロジェクト終了時には統合化された知識DBシステムを(財)マイクロマシンセンターに移管し、継続的な知識データ閲覧サービスおよびデータ更新事業へ移行する予定である。</p>						
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20%;">作成時期</td> <td>平成20年3月 作成</td> </tr> <tr> <td>変更履歴</td> <td>平成21年3月 改訂 (NEDOへ移管されることに伴う根拠法等の変更) 平成21年12月 改訂 (研究開発項目⑤「高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発」を追加) 平成22年3月 改訂 (研究開発項目②(3)宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の研究開発の目標を産業化の進展を踏まえ変更)</td> </tr> </table>	作成時期	平成20年3月 作成	変更履歴	平成21年3月 改訂 (NEDOへ移管されることに伴う根拠法等の変更) 平成21年12月 改訂 (研究開発項目⑤「高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発」を追加) 平成22年3月 改訂 (研究開発項目②(3)宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の研究開発の目標を産業化の進展を踏まえ変更)		
作成時期	平成20年3月 作成						
変更履歴	平成21年3月 改訂 (NEDOへ移管されることに伴う根拠法等の変更) 平成21年12月 改訂 (研究開発項目⑤「高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発」を追加) 平成22年3月 改訂 (研究開発項目②(3)宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の研究開発の目標を産業化の進展を踏まえ変更)						

技術分野全体での位置づけ  
(分科会資料6より抜粋)

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

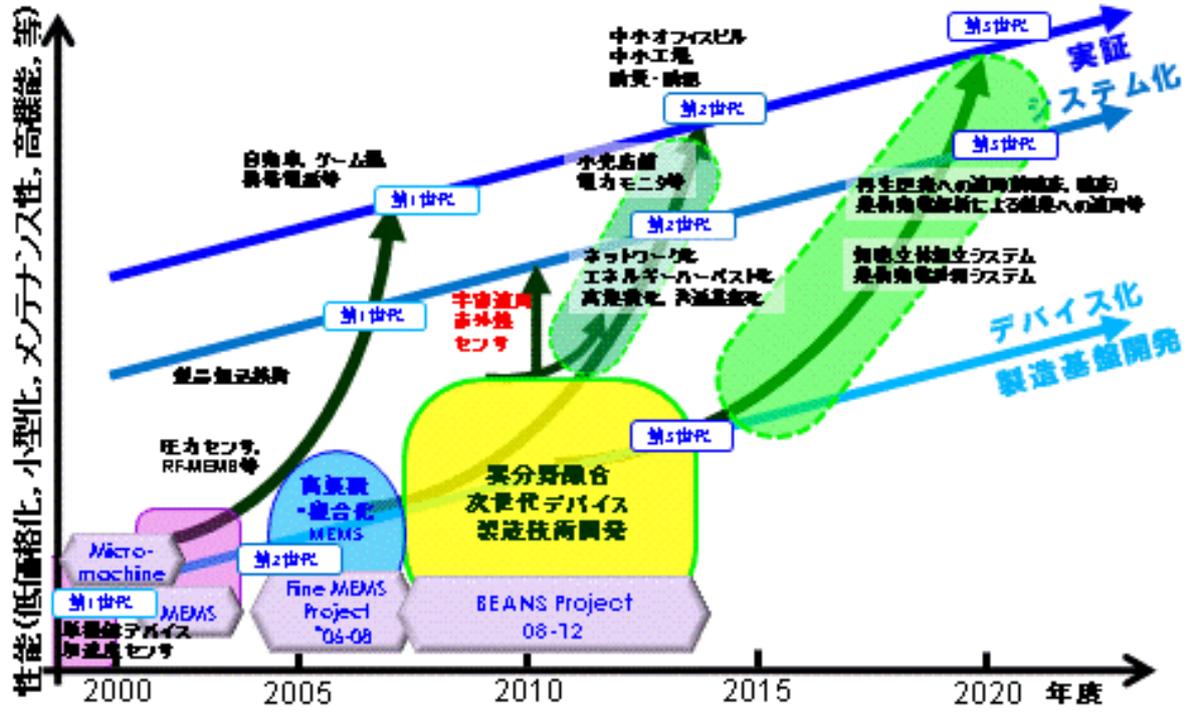
公開

# 事業の背景



6

# MEMS関連プロジェクトの流れ



# 国のプログラムにおける位置付け

**経済産業省「ロボット・新機械イノベーションプログラム」**

**1. 目的**  
我が国の製造業を支えてきたロボット技術・機械技術を基盤とし、IT技術・知能化技術などの先端的要素技術との融合を促進することにより、家庭、医療・福祉、災害対応など幅広い分野で活躍する次世代ロボットや新機械技術の開発・実用化を促進し、生産性の向上と人間生活の質の向上を実現するとともに、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を目指す。

**2. 達成目標**  
(1) 我が国製造業の高度化に必要不可欠な基盤技術である機械分野においては、バイオ技術やIT技術などの異分野技術を活用した従来の機械の概念を超えた**新しい機械の創造**及びその計測技術の確立を図ることを目標とする。例えば、**2015年頃**に革新的MEMSの本格普及を目指すことにより、**安全・安心な社会**の構築に貢献

↑  
上位プログラムの目標達成に貢献できる

異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト

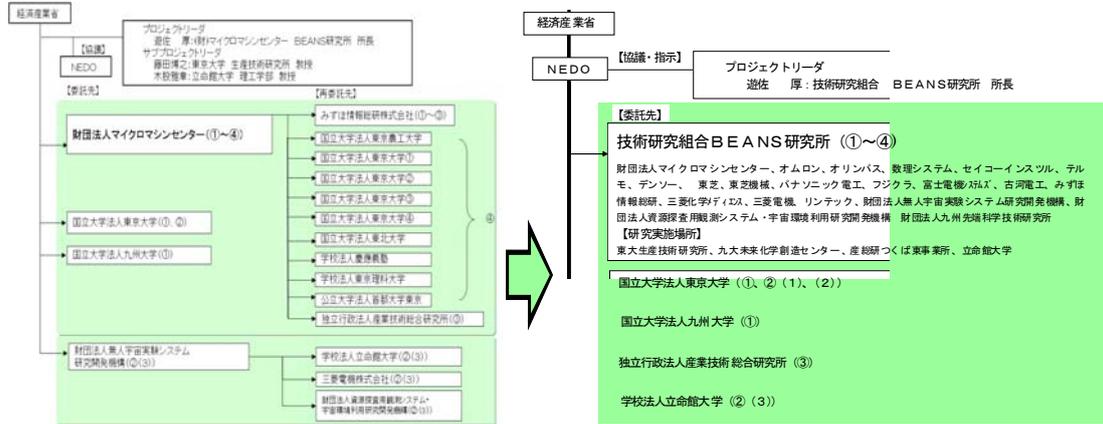
- ①新しい機械→異分野融合による革新的MEMSの実現
- ②2015年→途中段階でも実用化が可能な研究成果については、スピナウトし実用化を促進
- ③安全・安心→健康・医療への応用

# 「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発」 全体の研究開発実施体制

II. 研究開発マネジメントについて (2) 事業の計画内容 (研究開発の実施体制)

公開

## 実施体制(METI事業時-NEDO移管時)



H20 経済産業省直執行事業時  
における実施体制

H21~NEDO移管時における実施体制  
ポイント

- ・産学連携による共同研究を効率よく進めるため  
技術研究組合化
- ・研究組合と集中研設置拠点4法人と直接契約

事業原簿 II - 11

BEANS Project

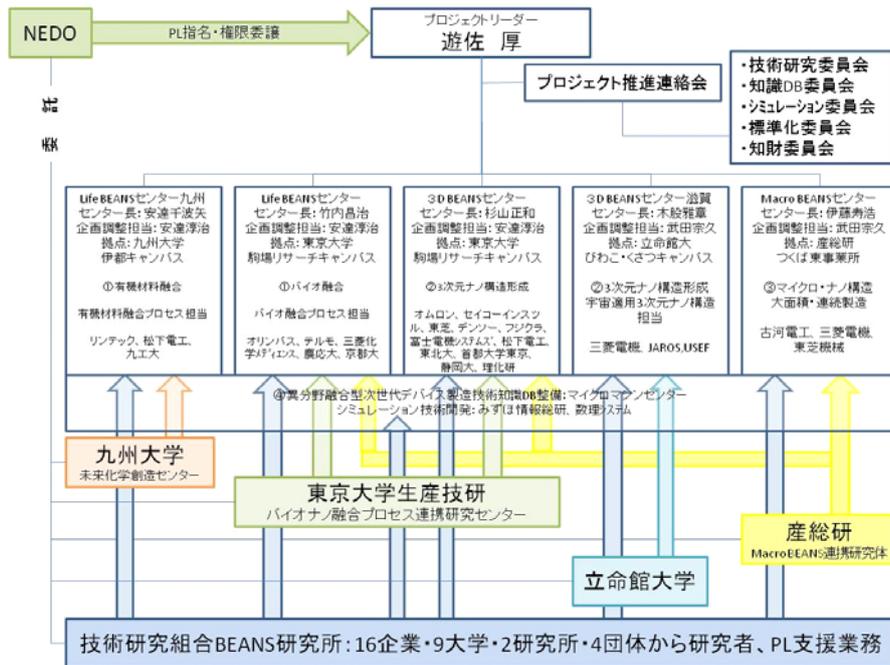
NEDO

18/48

II. 研究開発マネジメントについて (2) 事業の計画内容 (研究開発の実施体制)

公開

## 研究開発実施体制



事業原簿 II - 11

BEANS Project

NEDO

19/48

# 「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発」(中間評価) 評価概要(案)

## 1. 総論

### 1) 総合評価

将来のマイクロ・ナノシステムにおいて、例えばバイオに代表される異分野の新しい素材を MEMS 分野と融合させる MEMS 技術を目指す本プロジェクトは、我が国が得意とする製造技術をさらに発展させ MEMS やナノ技術を基盤とした製造技術を確立し、種々の産業分野へ展開する基礎としても重要である。MEMS 技術の実用化・事業化に向けた世界レベルの開発競争の中で、各種製造プロセス、基盤技術を整備しておくことは公共性が高く、意義のあることであり、大いに評価できる。個々のテーマに関してもそれぞれ成果があがっており、中間目標に対して十分な成果が出されている。

今後はプロジェクトの目標であるプラットフォーム構築に向けた全体のポリシーを明確化し、その線に沿った制約条件と達成目標の定量的記述および目標とする機能の具体的記述が望まれる。基本計画策定時に将来開発すべき市場規模の大きい戦略的デバイスが具体的に設定されず、それらを実現するための戦略的プロセス技術の仕様を定量化できなかったことが、本プロジェクトの持つ産業的な意味を結果的に見えにくくしてしまった。世界に誇る基盤技術となるよう、個々の細かい展開ではなく、太い方向性を検討して頂きたい。

プロセスに異分野融合の特徴が出ていることは理解できるが、プロセスは応用とセットとなって評価される。仮に想定された応用が、発電デバイス、ディスプレイ等であれば、他の多くの代替技術に対する優位性、厳しい価格競争力が問われる。出口イメージも含めて、BEANS の強さがどこにあるのか、方向性を示して頂きたい。

### 2) 今後に対する提言

この3年間の研究の結果、面白い研究成果も出てきたが、公共性の高い汎用技術だけにフォーカスすると、経済的な波及効果としての出口イメージが不明確になる。大きな産業規模のあるところで MEMS 技術の発展的応用を描き、将来の強い日本づくりに向けて強化すべき新しい産業分野を創り出すという積極果敢な姿勢を持ち、改めて産業的に意味のある定量的な目標設定をして欲しい。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

MEMS 技術において、プロセス技術はその根幹を成すものであり、MEMS 技術に革新性をもたらすことを目指した基盤技術を整備する事業目的は公共性が高く、新機械イノベーションプログラムの目標に寄与している。MEMS 技術の応用に向けた世界レベルの開発競争の中で、NEDO 主導プロジェクトによる研究開発推進は、日本の MEMS の優位性を獲得・維持する上で必要不可欠である。また、進歩の早い本分野で社会情勢・国際動向変化に応じた計画変更をおこなうことも意識している点は評価できる。

しかしながら、必ずしもすべてのテーマが MEMS の強みとリンクして、ビジョンを示していない。デバイス開発のゴールを明確化していないために、全般的には総花的な印象を受ける。ここで研究開発しているものが、産業として競争力のあるものになるかどうか、常に冷静に判断することを期待する。現在の計画は、将来起こるダイナミックな技術分野の統合・融合を予見しておらず、従来の縦割りの仕事枠にとらわれた計画になってしまった。異分野(具体的には電子デバイスなど)との協働・融合をはかる事業計画を描いて欲しかった。国際的情勢の変化、特に急速に技術のレベルアップが進んでいるアジア諸国の状況を意識した研究テーマの設定も必要と考える。

製造技術と研究開発課題との相関を示すプラットフォームの形成は、本プロジェクトの要である。しかしながら、この要を成すはずの研究課題を鑑みた場合、現状の研究課題は一般性が高くなく、個々に独立した課題設定のみでプロジェクトが構成されているように思われる。異分野融合という限りは、研究者間においても積極的な「異分野融合」を進める体制作りを本事業で明確に実施し、プラットフォーム構築をさらに加速すべきである。

### 2) 研究開発マネジメントについて

BEANS プロジェクトの趣旨にしたがって、異分野の研究者が集中研で協働することは、技術の新しい展開など、ユニークな研究テーマを取り上げて新しい展開をもたらす効果があった。個別テーマの目標設定は具体的に設定されており、競争力のあるものを実用化にむすびつけるため、技術蓄積を活かした適切な研究開発チーム構成での実施体制になっている。またプロジェクト推進の体制について、グループ内・外の情報交換のシステムも考慮されている。

しかし一方で、研究内容は面白くても、国プロとして成すべき戦略的目標設定の意識が希薄に見える。目標設定の重要性、客観性が、当該分野でどの程度認知され、こうした大きな国プロで行うべきかが不明確である。プロジェクト全体として国内外に発信できる統一されたポリシーを明確化する必要性を感じる。対象をもう一段細かく分類し、適用できる範囲ごとに性能とコスト両面から判断することも必要である。成果の受取手として企業が配置されているが、複数の企業に成果を供与して競わせ、成果実用化の生き残りの可能性を確保するスキームが欲しい。

### 3) 研究開発成果について

研究テーマは、世界レベルでも先進性・有用性が高いものであり、知財の取得、成果の発表も行っており、総じて中間目標は達成している。テーマの中には、極めてユニークなテーマが多くあり、今後の研究の波及効果が大きいと期待できる。

一方、本プロジェクトの性格上、産業応用のビジョンが細分化しており、ゴールも個々に異なる。中間目標値の達成は進歩であることに間違いはないが、長い道のりのどのようなマイルストーンとして位置づけられているのか判らない。今後、将来の応用デバイスを意識して、既存技術あるいは競合する技術に対する優位性を明確に示す必要性を感じる。論文件数も研究者数に見合う成果をあげていないので、知的財産を保護した上で、積極的に論文発表を進めて欲しい。

#### 4) 実用化の見通しについて

世界レベルの意欲的な研究が進む中で、短期スパンで実用化が魅力的なテーマも見られる。バイオや有機材料を扱う研究は今後も発展が期待できることから、さきがけ的な成果が期待でき、基盤技術の整備や実用化に向けて加速的に成果があがることを期待する。また、知識データベースの整備など、MEMS 技術開発では新しい試みがあり、国内汎用データベースとして期待が持てる。

しかし一方で、強い波及効果を期待できる分野の設定と、その出口までのシナリオが描き切れていない。たとえばヘルスケア、医療向けなどの新事業、また、既存の電子デバイス事業、などへの適用に対して、いま一步踏み込んだ計画になっていない。出口イメージに対して、研究開発テーマが競争力のあるコア技術であるか、この研究開発がブレークスルーをもたらすか、検討を期待する。今後、実用化をはかる上で具体的なデバイスをイメージした研究目標を設定した上で、既存技術および競合技術に対する優位性の定量的評価が必要である。また BEANS が目指す公共性の高い汎用技術の実用化に対する目標をより明確化するべきである。広い視野を持った人材育成のためにも広く技術交流できる体制を構築してほしい。

## 個別テーマに関する評価

	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
<p>3.1 バイオ ・ 有機材料融合プロセス技術の開発</p> <p>①A バイオ材料融合プロセス技術の開発</p>	<p>脂質 2 重膜をデバイスの所定の場所に再現性よく形成できるようになったこと、細胞を機械的に配置して、ある種の機能を持つ組織に培養できたことなど、バイオ材料を対象とした独創的な MEMS プロセスが確立されており、世界的に高レベルの機能要素が実現され、デバイスの開発は企業との連携が進んでおり、どれも興味深い基礎的な成果を得ている。PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences) に採択されるなど、基礎科学の分野にもインパクトのある結果で、新たな技術領域を開拓することができるものである。</p> <p>しかし、バイオ材料融合プロセス技術の可能性をいくつかの事例で紹介しているが、出口デバイス・システムとして、どの方向に向かうべきか、判断する時期に来ている。現状では、産業的にインパクトがある出口は見えない。今後、応用を進める上での市場を意識した事例を選定して技術の有効性を示す必要がある。もし体内埋め込みを実用化ターゲットとするなら、早期に医学関係のユーザーと共同で応用的見地からの課題抽出（測定値の信頼性・再現性についての課題、安全性、価格等）を早期に行い、研究期間を要する課題については取り組みを始め</p>	<p>プロセス技術の独創性・有用性は高く、いずれも従来技術では不可能である構造を効率良く形成できる技術で、バイオを利用したセンサ技術は革新的であり、脂質 2 重膜の機能発現する時間を延ばそうとする研究など、これまでのバイオ材料の短所の克服および、企業との応用への取り組みが積極的に行われ、発展が期待できる。</p> <p>企業と共同で実用化に向けた研究が進行中であるが、応用として、どの程度の寿命が要求されているのか、バイオ材料のスペックを検討して研究開発の意義を明確化するほか、その研究開発の位置づけを明確にするため、可能な限り市場規模や戦略的指標を示すことが望まれる。前臨床、臨床試験など認可まで 10 年を要する医用デバイス応用など、現在の 1 社とパートナーシップに任せて良いのか疑問である。</p>	<p>大きな広がりのある分野において、小規模のグループで革新的な研究をしているイメージであり、BEANS の枠にとらわれず、大きく発展することを期待する。例えばバイオ高次構造形成プロセス技術では機械的・形態的細胞配列が生体組織としての機能を果たして発現するのか、科学的・本質的議論を極めることが望まれる。</p> <p>基礎研究に終わることなく、産業への道筋を確認しながら進めてほしい。</p>

	ることが必要である。		
<p>3.1 バイオ・有機 材料融合プロ セス技術の開 発</p> <p>①B 有機材料融合 プロセス技術 の開発</p>	<p>分子が堆積する際の配列を制御するの に、適切な分子設計ができるようになり、 ナノ構造と新しい機能発現が結び付いた、 ナノ構造を持つ有機半導体構造作製 や、ナノ構造界面を用いた太陽電池への 応用など、世界レベルの高い成果を多く 得ている。汎用的な技術であり、成果の 普及によって、材料のノウハウは、多く の研究に広がり、強いシーズとなる可能 性がある。またトップダウンおよびボト ムアップ両プロセスの特徴を意識した幅 広いナノ構造形成技術への取り組みとい う点で評価できる。</p> <p>しかしながら、個々テーマのプロセス 技術として設定目標をクリアしている が、現在の系統的取り組みをさらに進め ることが必要である。またどのような MEMS デバイスの、どの部分について、 プロセスのコンパチビリティも考慮し て、研究をすすめているのか、明確化を 期待する。</p> <p>また、応用先として太陽電池を考える 場合には、マイクロ構造における目標のみ ならず、大面積化の実証のための検討が 必要である。</p>	<p>太陽電池や熱電素子の性能向上の 可能性が見出されており、いくつか 実用への道筋が明確な技術も見られ る。</p> <p>しかしながら、MEMS デバイスの 要素として、無機材料に比べた、有 機材料の機能、プロセス技術等の優 位性の明確化、有機材料プロセスを MEMS デバイスにどう反映するの か、それによって何が初めてでき るのかの明確化を期待する。今後は研 究開発しているプロセス技術の特徴 を系統的に整理し、実用化が想定さ れる具体的デバイス・システムへの 適用を意識した目標の設定が必要 で、特に、プロセスコストや環境負 荷などの観点からの評価により、想 定デバイスの中から、真に効果が出 そうな応用を決めて、実用化に道 をつけて欲しい。</p>	<p>このプロジェクトはMEMS デバ イスに機能を付加するプロセス技 術であると考えられるので、総花的 な応用を描くのでなく、位置づけを 意識した整理・選択が必要である。 大きな効果が期待される市場に応 用を収束すべきで、どのような機能 やプロセスコンパチビリティが要 求されているのか検討して欲しい。</p> <p>また、ナノ構造としての有用性を 広くアピールするため、今後も積極 的な成果普及の取り組みを期待し たい。</p>

<p>3.2 三次元ナノ構造形成プロセス技術の開発</p>	<p>中性粒子ビームエッチングや超臨界成膜を MEMS プロセスに適用し、中性粒子ビームではシリコンに機械的損傷を与えにくいことを実証した。また、超臨界応用による薄膜成膜技術は、これまでの狭所への成膜限界を打破し、高アスペクト比の構造への成膜の可能性を示している。個別技術は独創的で、順調に成果があがっており、また、宇宙適用 3 次元形成技術開発では、3 次元 2 層構造などで原理的な動作確認ができています。特殊ではあるが、赤外線関連の全体的な市場の期待感と、MEMS 導入の視点は良い。</p> <p>一方、材料を限定しない高アスペクト比の三次元加工が実現できれば素晴らしいが、中性粒子ビーム加工が低損傷といっても、DRIE (Deep Reactive Ion Etching) に比べて、千分の一とエッチレートが小さいので、応用ならびに出口の市場が極めて限定される。また、カーボンアパーチャの位置による基板面内のレートのばらつきなど、解決すべき泥臭い課題が残っている。</p> <p>超臨界応用の成膜の能力を一般に示すには、狭い溝内壁に容量の大きなキャパシタを形成できることを示すのが一番で</p>	<p>垂直な壁面への均一な膜厚の成膜技術は、LSI のキャパシタ、電池電極の表面処理など具体的な実用先が見えやすい。</p> <p>中性粒子ビームエッチングについては、これまでもノウハウやデータの蓄積のあるプロセスであり、装置としては実用化が見込める。エッチレートが小さくても、低損傷を期待する応用には適用できるだろう。</p> <p>しかしながら、そのような市場は大きくないので、エッチレートを飛躍的に増加するためのからくりを考え出さないと、行き詰まってしまう可能性がある。もう一歩の開発努力を要し、具体的な実用化の見通しの更なる検討が必要である。今後、MEMS デバイスのどのような機能をもつ構造に対して有効であるか、ユーザーとの情報交換を促進するのがよいのではないか。</p> <p>また、宇宙適用 3 次元ナノ構造体形成技術としては実用化の道筋がある程度示されているが、実用化することを意識したデバイスイメージとその基礎的な評価が必要と考える。苛酷な宇宙環境に対する堅牢性が期</p>	<p>カーボン構造による粒子中性化にこだわらず、効率的な粒子中性化方法を開発するべき。超臨界応用の成膜の能力を一般に示すには、狭い溝内部にどれだけ容量の大きなキャパシタを形成できるかを示すことが一番である。これらの加工技術は汎用性が高く、大きい市場での適用が期待されることから、単なる従来技術の延長ではなく、デバイスの加工ニーズの把握、さらにはデバイスのユーザーも含めた議論を元に、加工スペックについて検討することで、最終年度の達成目標を新たに立て直してほしい。ここで開発されたプロセスができる装置を開発し、MEMS の生産に貢献してほしい。</p>
-----------------------------------	---	--	---

	<p>あり、大きい市場である LSI 分野での適用、あるいは電池電極での適用が期待される。最終年度の達成目標を新たに立て直してがんばって欲しい。</p>	<p>待できるのであれば、その実証等も重要である。</p>	
<p>3.3 マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発</p>	<p>真空を要しない大気圧プラズマ装置の利点を保持して大面積プロセスを可能とする技術、また繊維状の材料を MEMS 要素とする研究開発は注目されている領域である。</p> <p>繊維状基材への機能薄膜連続形成については、実用化に近いイメージの装置でパターニングの成果が出されており、順調に成果があがっている。大面積・低コスト機能デバイスに向けた研究としてハードウェアを立ち上げた点は評価できる。しかしながら、繊維状基材に関しては、繊維であるが故の、たとえば洗濯などに対するの適合性について課題とその解決法、配線方法や信頼性など様々な課題を解決するため、もう一段のブレークスルーが必要である。また、高速・大面積構造形成に明確な利点はあるが、構造体のサイズの限界があると思われ、生産性とナノ構造形成精度のトレードオフを意識する必要がある。</p>	<p>いずれもプロセス装置を含めて成果がでており、実用化が期待でき、非真空環境下での大面積処理という用途は今後広がるので期待したい。繊維状の材料のプロセスは高スループットの製造技術としてのメリットが活かせるので、織物産業のためにも新しい可能性を示して欲しい。</p> <p>今後、非真空プロセスでは、得られる膜質、それを適用できる範囲(または制約)を客観的に評価した上で、この手法が適用できるセグメントを具体的に想定し、ニーズの把握を早期に行うべきである。繊維状の材料のプロセスは実際にデバイスとしての機能を実現する際の現実的な課題に関して検討を十分に行い、このプロセス技術が競争力を持つ適用領域を探索することを期待する。</p>	<p>低コストで作製可能な大気圧プロセスに対する期待は大きい。装置のみでなく前処理を含めたトータルプロセスとしてソリューションが提供できればインパクトが大きい。</p> <p>大面積化低コストプロセスとして繊維状基材へのデバイス形成は意欲的な取り組みであり、繊維そのものに機能を作り込んでいく方法と、リボン状の表面に機能を作り込む方法の長短所をうまく組み合わせるなど今後の発展が期待される。</p> <p>しかしながら、技術は素晴らしいが、機能を活かすための課題が多く残されているようにみうけられる。技術的な課題を明確にするとともに、応用のターゲットを明確化し、それぞれ必要とされる技術の仕様を設定してそれに合わせた実証実験が必要である。</p>

### 3.4 異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備

プロジェクトで発見、発明されたことごとについて情報を整理して公開することは、得られた成果の普及活動として効果的である。データベースの構築、件数とも一定の成果が得られており、カテゴリ分類も妥当であり、知識データベースの性質上、従来のプロジェクトとの継続性が保たれている点で評価できる。今後、研究の進展とともに登録件数の増加も見込まれ、最終目標達成は可能であると考えられる。

しかしながら、論文抄録以上の情報をどのように盛り込むか工夫を要し、これまでの資産を引き継いだところから、さらに、何を研究開発、あるいは新しい取り組みをしたのか、及びどのような利用のされ方をめざすのかなどの明確化を期待する。また、データベースの管理・運営には手間暇を要する。実際にはこれを長期運用することが課題であり、今後も検討が必要である。

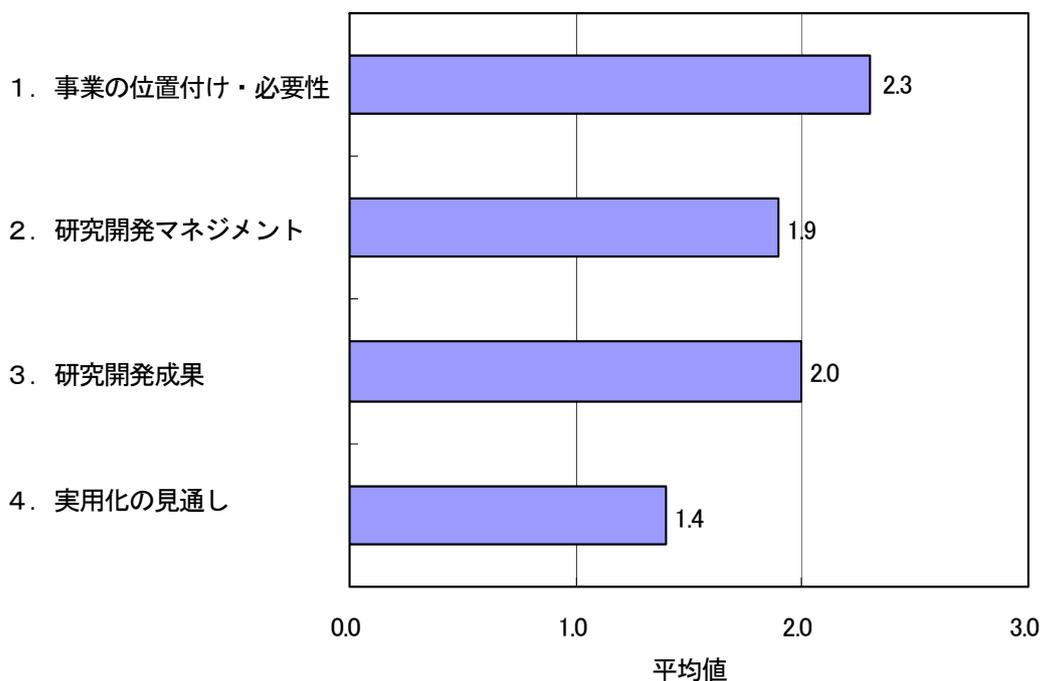
Fine MEMS 等でのベースがあるので、準備が着々と進んでいる。データ登録件数の上からは、目標を達するだろう。インターネットにつながるサーバーを利用する、wiki による情報発信は、情報の公開、共有の点で有効で、MEMS 関連の研究者が実務に利用できるデータベース構築ができています。

現時点でどの程度活用され、将来公開されたときに、どの程度活用される見通しか、また、活用を促すときにどんな工夫をするのか検討すべき。一般の技術者・研究者がアクセスする気になる内容を盛り込む仕組みが必要で、当面は、各登録データの内容にプロジェクト内外の専門家がコメントするスペースを活用して、1次データに付加価値をつける努力をして欲しい。

データベースとして蓄積されたものが、一般に有効に活用されるよう、工夫を期待する。すなわち、システム公開するまでは、プロジェクトメンバーによる多くの書き込みコメント、さらに公開後一定期間は、専門家ボランティアの参加による同様な書き込みコメントを充実させる仕組みづくりが必要である。また、件数のみではなく、データごとのアクセス件数やユーザーからのフィードバック情報(役に立ったか、今後どのような情報が必要か等)の取り入れや、データベースの中での様々なリンクや、入力者のモチベーション維持のための評価システムや、メンテナンス体制(情報のアップデート対応)などを検討し、継続的に情報量を増やし、情報の質を向上していき、データベースの充実を図ることが必要である。

## 評点結果

### 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	B	B	B	C	C
1. 事業の位置付け・必要性	2.3	A	A	A	B	B	B	C	
2. 研究開発マネジメント	1.9	A	B	B	B	B	C	C	
3. 研究開発成果	2.0	A	B	B	B	B	B	C	
4. 実用化の見通し	1.4	B	B	B	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。

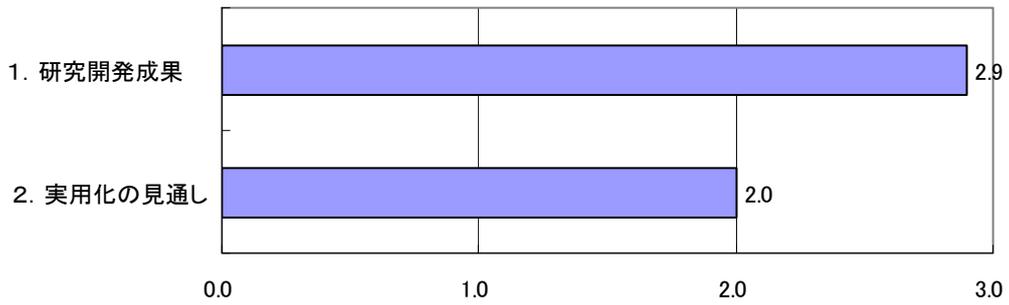
#### <判定基準>

- |                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 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        |

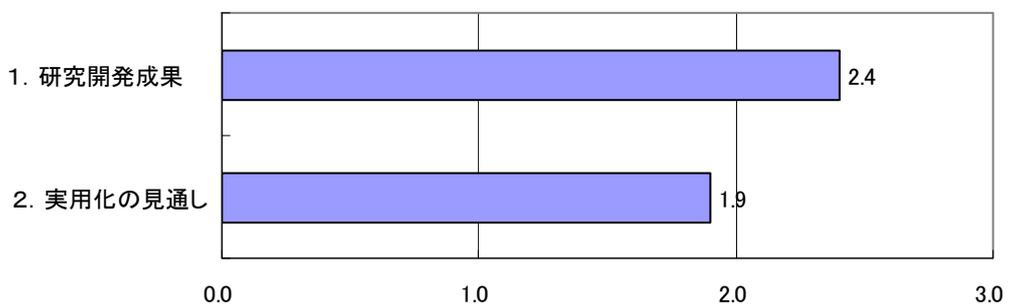
### 2 個別テーマ

2. 1 バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発

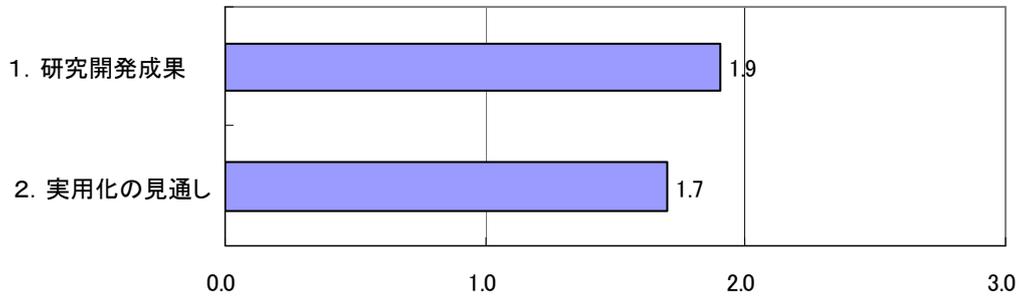
2. 1. A バイオ材料融合プロセス技術の開発



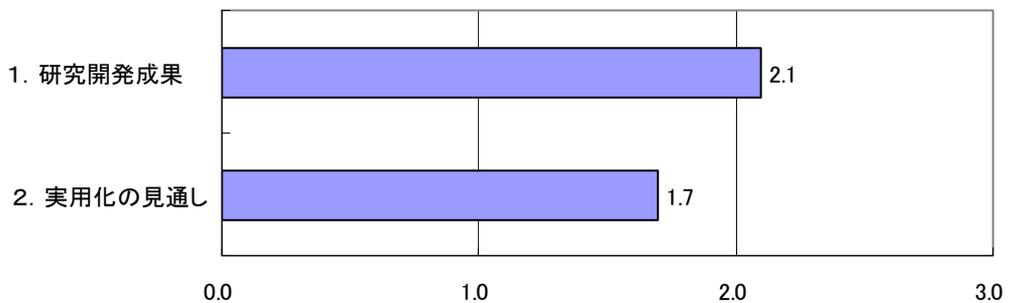
2. 1. B 有機材料融合プロセス技術の開発



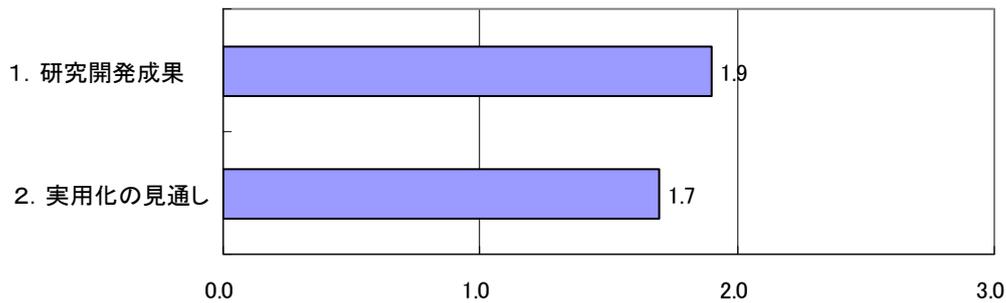
2. 2 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発



2. 3 マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発



2. 4 異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備



個別テーマ	平均値	素点 (注)							
2. 1 バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発 / 1. A バイオ材料融合プロセス技術の開発									
1. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	A	A	A	A	B
2. 実用化の見通しについて	2.0	A	B	B	B	B	B	B	C
2. 1 バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発 / 1. B 有機材料融合プロセス技術の開発									
1. 研究開発成果について	2.4	A	A	A	B	B	B	B	B
2. 実用化の見通しについて	1.9	B	B	B	B	B	B	B	C
2. 2 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発									
1. 研究開発成果について	1.9	B	B	B	B	B	B	B	C
2. 実用化の見通しについて	1.7	B	B	B	B	C	C	C	B
2. 3 マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発									
1. 研究開発成果について	2.1	A	A	B	B	B	B	B	C
2. 実用化の見通しについて	1.7	A	B	B	B	C	C	C	C
2. 4 異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備									
1. 研究開発成果について	1.9	A	B	B	B	B	C	C	C
2. 実用化の見通しについて	1.7	A	B	B	B	B	C	C	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