

「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」

事後評価報告書（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 6
評点結果	2 2
（参考）評価項目・評価基準	2 6

はじめに

本書は、第35回研究評価委員会において設置された「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」(事後評価)の研究評価委員会分科会(第1回(平成25年5月24日))において策定した評価報告書(案)の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第36回研究評価委員会(平成25年11月6日)にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年11月

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プロジェクト」分科会
(事後評価)

分科会長 庄子 習一

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プロジェクト」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成25年5月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	しょうじ しゅういち 庄子 習一	早稲田大学 理工学術院 教授
分科会長 代理	はっとり ただし 服部 正	名古屋大学大学院 工学研究科 客員教授
委員	さわだ れんし 澤田 廉士	九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 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
	でがわ とおる 出川 通	株式会社テクノ・インテグレーション 代表取締役社長
	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 マイクロTASユニット ユニット長(主幹研究員)
	むろ ひでお 室 英夫	千葉工業大学 工学部 電気電子情報工学科 教授

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

		最終更新日	平成 25 年 5 月 13 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	機械システム技術開発部 機械システム部 技術開発推進部	渡辺 秀明 渡辺 秀明 渡辺 秀明					
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 年度まで実施した。（研究開発項目⑤については、事後評価を平成 23 年度に実施した。）</p>						
1. 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した。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H20f	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) 契約種類: ○をつける (委託 ○) 助成 () 共同研究 (負担率 ())	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額	
	一般会計	1,150	1,091	762	712	817	4,532	
	特別会計 (一般・電源・需給の別)	(METI 直執行)	(一般)	(一般)	(一般)	(一般)		
	開発成果促進財源		51	70		80	201	
	総予算額	1,150	1,142	832	712	897	4,733	
	(委託)	委託	委託	委託	委託	委託		
開発体制	経産省担当原課	製造産業局産業機械課、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 24 年度時点)	技術研究組合 BEANS 研究所 【オムロン、オリンパス、数理システム、セイコーインスツル、大電、テルモ、デンソー、東芝、東芝機械、ナガセコムテックス、パナソニック、フジクラ、富士電機株式会社、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)九州先端科学技術研究所 (財)福岡県産業・科学技術振興財団 (財)マイクロマシンセンター、(独)産業技術総合研究所】 国立大学法人 東京大学 国立大学法人 九州大学						
情勢変化への対応	<p>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。</p> <p>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。</p>							
中間評価結果への対応	<p>1. より出口を指向したプロジェクト目標の設定や実施体制の見直しを行った。 ・それまで実施中の43のサブテーマ全てについて、想定するアプリケーションの市場性、定量的な目標設定の可否、産業競争力強化への寄与等の観点から、PL・NEDOにて評価を実施。 ・想定するデバイスとそれを実現する要素技術、の観点から14のサブテーマに絞り込み。</p> <p>2. 基本計画の見直し(産業上有用/有望な検証デバイスの想定、テーマ目標の意義付けと可能な限りの定量化・数値化)</p>							
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 担当部 機械システム部						
	事後評価	平成 25 年度実施予定 担当部 技術開発推進部						

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た。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、及び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推進した。なお、研究開発項目①は、①-Aバイオ材料融合プロセス技術の開発、及び①-B有機材料融合プロセス技術開発に項目を分け、各々、研究センターに対応させて研究開発の運営管理を行った。BEANS プロジェクトの総括を図1に示す。ここに記載の通り、プロジェクト全体としての目標は、ほぼ達成されている。

BEANSプロジェクト総括

- プロジェクト全テーマが前期の中間目標を達成した。後期は出口イメージをより鮮明にした研究テーマに再構築し、想定デバイスによるプロセス実証を加速し、最終目標（プロセス技術群の開発・プラットフォームの構築）をほぼ達成した。
- 実用化促進にむけて、3D BEANSの超臨界製膜技術、同じく宇宙適用マイクロナノの2テーマは前倒しで目標を達成し、研究を完了した。
- Transducers、MEMS、センサシンポをはじめとする国内外のMEMS主要会議に多数採択されるなどBEANSプロジェクトの成果を普及させた。
論文 71件、学会発表 460件
- BEANSプロジェクトセミナー、ホームページ、ブログ、及び広報発表等でBEANSプロジェクトの広報普及を積極的に推進した。
セミナー・講演会 61件、刊行物・雑誌等 27件、マスメディア 78件
- 成果展開のため BEANS特許を出願し、その利活用の仕組としてワンストップライセンス制度を構築した。
国内出願106件、海外出願21件
- BEANS関連技術の調査結果や研究成果を知識データベースとして整備し、WEB上で公開した。
登録件数1562件

図1 BEANS プロジェクト総括

研究開発項目毎の成果詳細は、表1に最終目標、研究開発成果、及び達成度の形式で示す。基本計画記載の最終目標に加え、実用化に向けてより高いレベルで設定した自主目標とも、一部は目標を大幅に上回り達成、その他も計画通りほぼ達成している。

ここで、研究成果の目標達成評価は以下の判定基準で行った。

（×：目標未達成、△：条件付で目標達成、○：計画通り目標達成、◎：目標を大幅に上回り達成）

Ⅲ. 研究開発成果について

表1 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の最終目標達成状況

①-A バイオ材料融合プロセス技術の開発			
研究開発項目	最終目標	研究開発成果	達成度
(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術	<p>【基本計画】</p> <p>1. 機能性分子を脂質二重膜に導入したセンシングモジュールを試作し、24時間以上の生化学的な機能発現を電流計測等により実証する。</p> <p>【自主目標】</p> <p>2. 超高感度一分子センサへの適用に向けて、ガンマーカである VEGF と結合する膜タンパク質の精製方法を確立し、動作することを実証する。</p>	<p>1. 24時間の脂質二重膜形成とナノポタンパク質であるαヘモリン有無における蛍光退色の差異を蛍光計測にて確認した。また、電極機能付きデバイスを開発し、αヘモリンの電流シグナル計測に成功。更に、イオンチャンネルである KcsA を脂質二重膜に導入し、電流シグナル計測に成功した。</p> <p>2. ガンマーカ VEGF との結合領域を付加したイオンチャンネル KcsA 変体の精製方法を確立した。精製した KcsA 変体を脂質膜デバイスへ導入し、電流計測によってイオンチャンネルとしての動作の検出に成功した。</p>	<p>◎</p> <p>○</p>
(2A) バイオ高次構造形成プロセス技術	<p>【基本計画】</p> <p>1-1. ハイドロゲルの高次構造形成プロセスを開発し、血糖値観察が可能な埋め込み型デバイスへ適用し、生体内において3カ月間、機能することを実証する。</p> <p>【自主目標】</p> <p>1-2. 血糖値を連続的に測定できる装置を試作する。</p>	<p>1-1. マイクロ流体デバイスを利用して開発した蛍光ゲルファイバをマウスやラットへ埋め込み、それによる血糖値観察に成功した。さらに、生体内で目標を上回る140日間、機能維持することを実証した。</p> <p>1-2. LED・PD を使った実用的な構成の連続測定用デバイスを開発し、血糖値の連続測定に成功した。</p>	<p>◎</p> <p>◎</p>
	<p>【基本計画】</p> <p>2-1. 毛細管構造などの微細組織構造を再構成するプロセスを開発し、少なくとも1つの典型基質由来代謝物を蛍光光度等による測定から定量的に抽出できる条件(細胞配置、添加物、培養日数)を決定する。</p> <p>【自主目標】</p> <p>2-2. 薬物動態試験デバイスの実用化に求められる性能の一つである微細組織の代謝酵素、及びトランスポーターの遺伝子量を明らかにする。</p>	<p>2-1. ガス透過性膜、及びコラーゲンゲル表面に形成した直径約70μmの円柱窪みに肝細胞を配列し、マトリゲル添加の培養培地中で2日間培養することにより、3次元肝細胞組織を再構成することが可能となり、内部に形成される毛細管構造の形状や体積を制御することに成功した。さらに、形成した毛細管の内部から、ビリルビン代謝物、及び胆汁酸の成分を定量分析することに成功した。</p> <p>2-2. 上記培養法による肝細胞組織の薬物トランスポーター84種類、薬物代謝酵素168種類の遺伝子発現量を定量し、生体肝臓、及び従来肝細胞培養法による発現量との相対比較を行い、開発した手法が従来法よりも生体に近いことを確認した。</p>	<p>◎</p> <p>◎</p>

①-B 有機材料融合プロセス技術の開発

研究開発項目	最終目標	研究開発成果	達成度
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術	<p>【基本計画】</p> <p>1. 有機半導体のキャリア拡散距離である200nm 以下の間隔を有するナノ構造体表面に低分子有機材料の配向・高分子材料の被覆プロセスを開発する。</p>	<p>1. 真空蒸着での低分子有機半導体の配向メカニズムの解明を通して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た。また、材料充填、表面平坦化に関しては、50nm 間隔への低分子有機半導体の充填、200nm 間隔への高分子有機半導体の充填に各々成功した。</p>	○
	<p>2. プロセスの有効性確認のため、</p> <p>a. 有機薄膜の分子配向制御プロセスを開発し、光電変換デバイスの変換効率が 20%向上することを示す。</p> <p>b. 陰極(金属電極)上にナノ構造形成プロセスを開発し、発光デバイスの光取り出し効率が 20%向上することを確認する。</p>	<p>2-a. 従来の変換効率 5.25%に対し、配向性分子である DBP と C70 のバルクヘテロ型有機太陽電池により 6.4%を実現し、22%の効率向上を達成した。</p> <p>2-b. 凹凸ピッチ 720nm、深さ 70nm の井形構造テンプレートをを用いて作製した鏡面微細凹凸基板上に有機ELデバイスを作製し、光取り出し効率 31%向上を達成した。</p>	○
	<p>3. 有機薄膜の損傷によるデバイス特性の低下を 10%以下に抑える中性粒子ビームエッチングプロセスを開発する。</p>	<p>3. 有機 EL デバイスの陰極(金属電極)をマスクとし、中性粒子ビームにてエッチングすることで、デバイス特性の低下を約 7%に抑制できることを示した。</p>	○
	<p>【自主目標】</p> <p>4. 材料・デバイス構造の最適化により、光電変換デバイスの変換効率を 30%向上(効率 8%)することを示す。</p>	<p>4. 水平配向性を示す DBP を結晶性 C70 に混合させるバルクヘテロ型有機薄膜太陽電池により、光電変換効率 7.0%を実現した。さらに、BCP/PCTBI を陰極側に導入することで、BCP のみの場合に比べ効率を 1.145 倍に高めることに成功した。両手法の組み合わせで、計算上 $7\% \times 1.145=8.015\%$と効率が 30%向上することを示した。</p>	△
	<p>5. タンデム型有機薄膜太陽電池の材料・構造・プロセスの検討により、単層セルに対し、2 倍以上の電圧(V_{oc})、及び効率 20%向上を目指す。</p>	<p>5. DBP/C60 バルクヘテロ構造を光電変換層に持つタンデム型有機薄膜太陽電池において、中間層である電荷再結合層の材料にドーブ型電子輸送材料を用い、V_{oc} 2 倍、同一光源による出力 1.85 倍を達成した。</p>	○

(2B) 有機高次構造形成プロセス技術	<p>【基本計画】 1-1. 径 50 nm 以下の有機分子ナノピラー構造、100 nm 以下の均一ポアを有する有機分子ナノポーラス構造を自己組織的に形成するプロセスを開発する。</p> <p>【自主目標】 1-2. 分子配向性発光材料については、将来のディスプレイ用途への適用を目指し、発光材料の多色化を進める。</p> <p>1-3. 開発済の材料を改良し、PL 量子効率 80%(従来比 1.6 倍)を実現する。</p>	<p>1-1. 基板温度、及び蒸着膜厚を制御することにより、真空蒸着法を用いて径 30nm、長さ 100nm のナノピラーの形成を実現した。本成果を基に成果促進の取組みを実施し、赤外線共鳴アンテナに適応できることを示した。</p> <p>1-2. 新たな配向性白金錯体の母骨格である、ビス(フェニルビリジル)フェニレン配位子について、赤色、青色の発光を示す分子設計を行った。</p> <p>1-3. 配向性を示すために導入したブチルビフェニル部位の先の白金錯体部位を、従来のアセチルアセトナトフェニルビリジル型から、N 架橋されたビス(フェニルビリジル)アミノ型にすることで、PL 量子効率 85%を達成した。</p>	○
	<p>【基本計画】 2-1. ライン・アンド・スペース(L/S) = 100 nm 以下の網目や直線構造などのナノ構造を自己組織的に形成するプロセスを開発する。</p> <p>2-2. 開発されたナノ構造を熱電変換デバイスに適用し、熱電特性(パワーファクター) $P = 10 \mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$ 以上得られることを実証する。</p> <p>【自主目標】 2-3. 水平型デバイスの更なる高性能化に加え、垂直型のデバイス構造を検討し、水平型と同等のパワーファクタを実現する。</p> <p>2-4. 開発済みの BCP をテンプレートに用いるナノポーラス熱電半導体膜形成プロセスを、シミュレーション技術を活用した熱電特性評価をもとに最適化し、$ZT=1.0$ を超えるフレキシブル熱電半導体デバイスを作製する。</p>	<p>2-1. プロセス雰囲気における湿度を制御することでナノレベルの水分子クラスター・ナノミストを形成し、直径 80nm のナノポアの形成に成功した。また、陽極酸化アルミナによるナノポーラス構造を形成し、100nm 以下の網目構造を形成した。これをテンプレートとしたプロセスを開発した。</p> <p>2-2. 高分子系熱電変換デバイスにおいて、分子の規則的なナノ構造を壊すことなくドーピングを行い、$P=27 \mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$ を達成した。</p> <p>2-3. 溶液で使用できる n 型有機熱電素子を開発した。$P=28 \mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$ と P 型と同等の性能を示した。垂直型デバイスは、未だ解決すべき課題が多く確立には至っていない。</p> <p>2-4. 単層のポーラスフィルム上にアークプラズマガンで熱電薄膜を成膜することで p,n-Bi₂Te₃ とともに $ZT > 1$ を超えるナノ構造熱電材料の作製に成功した。さらに、シミュレーションによりポーラス基板と熱電材料厚みの最適な比率を計算し、その結果をもとにポリイミドフィルム上に作製したフレキシブル熱電デバイスは、出力が 1.5 倍に向上し、センシングデバイスの駆動デモに成功した。</p>	○ ◎ △ ○

②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発

研究開発項目	最終目標	研究開発成果	達成度
(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術	<p>【基本計画】</p> <p>1-1. 超低損傷エッチングにおいて±10%の精度で予測・設計できるシミュレーション技術を活用して、被エッチング面の粗さが原子層レベルの超低損傷シリコン3次元ナノ構造(ナノサイズの開口でアスペクト比が100以上)をエッチング速度0.3 μm/min以上で形成するプロセスを開発する。</p> <p>1-2. 超低損傷エッチング技術を活用し、300MHz帯での動作可能な高周波デバイスを試作し、超低損傷エッチングの有効性を確認する。</p> <p>【自主目標】</p> <p>1-3. MEMS トランジスタの作製に不可欠である0.2 μmギャップ、2 μm深さの超低損傷垂直エッチングを実現し、従来プロセスに対する無損傷エッチングの優勢を示す。</p>	<p>1-1. 被エッチング面の粗さが原子層レベルの超低損傷シリコン3次元ナノ構造(開口アスペクト比が約20)を、エッチング速度0.1 μm/minで形成するプロセスを実現した。なお、実験に基づいたシミュレーションにて、中性粒子ビームエッチングによって、開口アスペクト比100、エッチング速度0.3 μm/minを実現するための課題を導き、実用化に向けた指針を得た。</p> <p>1-2. 平行平板型、及びディスク型高周波デバイスを作製し、MEMSとトランジスタが集積化された独自のフィルター特性が発現されることを確認した。また、実用化を見据えて8インチファンドリで試作することで、プロセスの課題抽出ができた。</p> <p>1-3. 従来プロセス、及び超低損傷エッチングにて、デバイスを作製・評価した結果、振動特性(Q値)が約50倍向上、電気特性(I-Vカーブ)が約10%向上することを確認し、超低損傷エッチングの優位性を実証した。</p>	<p>△</p> <p>△</p> <p>○</p>
	<p>【基本計画】</p> <p>2-1. 石英、ホウ珪酸ガラス等に対して、フェムト秒レーザーアシストエッチングにより、水平、垂直方向のアスペクト比がそれぞれ10000、100を実現するプロセスを開発する。</p> <p>【自主目標】</p> <p>2-2. 本技術を用いたバイオチップのプロトタイプを作製する。</p>	<p>2-1. フェムト秒レーザーアシストエッチングにより、水平方向では、短径90 nmでアスペクト比25000、垂直方向はトレンチ構造にてアスペクト比1000を達成した。長径は石英ガラスで1 μm、ホウ珪酸ガラスで500 nmのナノ流路作製に成功した。</p> <p>2-1. ナノ流路を介してバクテリア単体を安定(72時間以上)に捕捉できることを確認した。また、ナノ流路を用いてドロップレット作製デバイスを考案し、直径1 μm程度の微粒子を大量かつ安定的に作製できることを実証した。</p>	<p>◎</p> <p>◎</p>

	(2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術	<p>【基本計画】</p> <p>1-1. 先端電極部を 100 nm(自主目標:30 nm)以下まで微細化した耐摩擦マルチプローブを試作する。</p>	<p>1-1. 先端電極幅が 30nm 以下である耐摩擦マルチプローブを量産加工対応プロセスにて試作し、プローブソングラフィーにより2mの摺動後も描画精度を維持できることを実証するとともに、マルチ化によるスループット向上の可能性を確認した。また、同マルチプローブにて $\mu\text{m}\sim\text{nm}$ スケールの描画が任意に実施可能であることを示した。</p>	◎
	(続き)	<p>1-2. プローブ先端におけるナノトライブロジモデルを構築する。</p>	<p>1-2. プローブ先端における『接触抵抗低減』『摩擦安定化』『耐摩擦性向上』の各種トライブロジ現象に関するモデルを構築し、3 項目を同時に実現するための具体的方策を提示した。</p>	○
	(2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術	<p>1-3. 摺動距離 1m を経たプローブの接触抵抗値を $1\text{M}\Omega$ 以下に抑えられることを実証する。</p>	<p>1-3. これに沿って選択した Ru 膜上 RuOx 膜媒体を用いて、0.3 m の摺動試験の過程で持続的に平均接触抵抗値を $1\text{M}\Omega$ 以下に抑えられることを実証した。</p>	○
		<p>【基本計画】</p> <p>2-1. 各種金属・半導体表面とナノマテリアルとの 2 重認識バインダ分子を構築し、MEMS 構造上への自己組織的ナノ配列プロセス技術を開発する。</p>	<p>2-1. 同定した CNT 結合性ペプチドアプタマーについて 2 重認識バインダ分子を設計し、CNT センサ構造上への自律的な機能性ナノ粒子配列、ならびに、バインダ分子を介した各種基板表面(金、酸化亜鉛、シリコン酸化膜)への CNT の配向的固定化(薄膜形成)に成功した。</p>	○
	<p>2-2. 3次元形状表面のナノチューブ修飾による潤滑化を検討し、無修飾時に比べ摩擦抵抗を 1/10 を実現する。</p>	<p>2-2. CNT 修飾表面の摩擦特性評価の結果、30%程度の摩擦抵抗の低減を確認したが、表在する生体材料の効果により劇的な低下は見込めないことを明らかにした。また、実証デバイスとしてペプチドアプタマーにより自律的に CNT 固定化した薄膜トランジスタ(TFT)の作製に成功した。さらに、同定したペプチド配列をモデル蛍光タンパク質に組み込み CNT センサ素材上へ生体材料の選択的および自律的な配向修飾が可能であることを示した。</p>	△	

		<p>【基本計画】 3-1. 直径 100 nm 以下のナノチューブバンドルを均一性 10%以上でプローブ尖塔に修飾するプロセスを開発する。</p> <p>【自主目標】 3-2. 開発した CNT 修飾プローブにて、アスペクト比 5 以上の表面段差測定を目指す。</p> <p>3-3. マルチプローブへの適用可能性や、CNT に機能分子を修飾したセンサ・プローブの可能性を示す。</p>	<p>3-1. 誘電泳動法を用いて市販のシリコンカンチレバーの先端に均一性 10%以上で直径 100nm 程度の CNT バンドルを形成することに成功した。</p> <p>3-2. 作製した CNT カンチレバーを用いて多孔質アルミニウム基板の AFM 観察をおこなった結果、従来のシリコンや CNT カンチレバーと同等レベルの高分解能観察が可能であることを実証した。</p> <p>3-3. CNT センサの実用に向けて、段差構造をもったマルチ尖頭電極間にCNTバンドルを架橋させ、半導体・金属の電気特性の測定や、DNA やペプチド分子を用いた CdSe ナノ粒子の修飾に成功した。</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>△</p>
		<p>【基本計画】 4-1. 3 次元構造表面の特定箇所に対し、100 nm 以下の径のナノ粒子・自己組織化ドット等を配置し、粒子間隔・密度をデバイス構造に対応して高精度に制御する。</p> <p>4-2. 3次元構造へのナノ粒子配列プロセス技術を開発し、ガスセンサに適用、エタノールを対象に濃度 500ppm のガス存在下の抵抗変化比 5 を実現する。</p> <p>4-3. 検出対象ガス種を拡大し、VOC、SOX、NOX 等の検出が可能であることを確認する。</p>	<p>4-1. 有機樹脂により基板上に選択的にパターンニングされた3次元トレンチ構造中に、100 nm 以下の金属酸化物粒子、及びポリマー粒子を高密度に充填し、ポリマー粒子を除去する事によりガスセンサに適用する多孔体センサ層を形成した。両粒子の添加比率を調整する事により、細孔密度の制御に成功した。</p> <p>4-2. マイクロヒーターを加工した 3 次元構造基板上にナノ粒子配列プロセスを利用した多孔体ガスセンサ層を形成し、エタノール濃度 100 ppm のガス存在下の抵抗変化比 136 を達成した。</p> <p>4-3. VOC であるトルエンガス検出を行い 100ppm ガス存在下で感度 43 を達成した。</p>	<p>◎</p> <p>◎</p> <p>○</p>

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

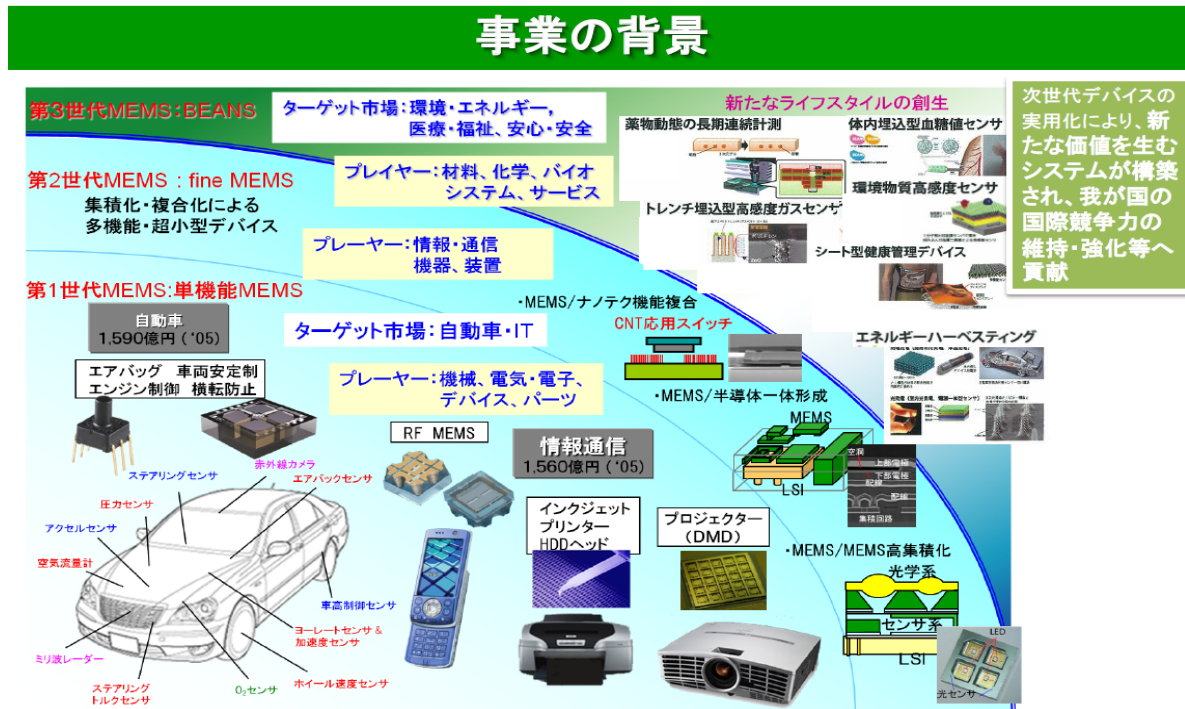
研究開発項目	最終目標	研究開発成果	達成度
(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術	<p>【基本計画】</p> <p>1-1. 局所雰囲気制御下で非真空薄膜堆積プロセスにより電子移動度 $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 以上の電子的機能膜やマイクロ・ナノ構造を構成する機械的機能膜を形成可能とする塗布ヘッドを開発し、メートル級の面積積基板上にスキヤニングして、膜厚均一性 $\pm 10\%$ 以下、及び現行真空装置以上の成膜速度 $60 \text{ nm}/\text{分}$ で面積積基板に形成可能とするプロセスを確立するとともに、それを實現する装置仕様を決定する。</p>	<p>1-1. 大気圧プラズマ成膜に用いる電源の高周波化 ($13.56 \text{ MHz} \Rightarrow 150 \text{ MHz}$)、構成材の低誘電率化と下部電極 GND 強化により高電力密度下での安定放電を實現可能にし、膜厚均一性 ($\pm 10\%$ 以下)、電子移動度 $1.3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$、及び成膜速度 $118 \text{ nm}/\text{min}$ を確認した。また、雰囲気制御開放系装置にて密閉型機と同等の多結晶シリコン膜の形成を實現し、電子移動度 $1 \sim 3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ を確認した。</p> <p>これらの成果より、雰囲気制御下で大気圧プラズマにより大型基板へ機能膜高速形成を實現するプロセス技術/装置仕様を示した。</p>	○
	<p>【自主目標】</p> <p>1-2. 大気圧プラズマ成膜における雰囲気制御や各種固体ソースによるシリコン膜の荷電子制御プロセスに取り組み、光電変換デバイスや歪抵抗効果デバイスにより検証する。</p>	<p>1-2. 大気圧プラズマ Si 膜中のドーパント (リン、ボロン) 濃度が、成膜に用いる固体ソース中の濃度に比例することを確認した。P(B-doped)/N(P-doped) 型の何れも電子デバイスに適用可能な導電率 $10^{-1} \Omega \text{ cm}$ を達成した。本プロセスを用いて成膜したシリコン膜を機能膜とした光電変換デバイスと歪抵抗効果デバイス (圧力センサ) を試作し、動作を検証した。</p>	○
(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術	<p>【基本計画】</p> <p>1-1. 繊維状基材上に、電子的機能膜としての有機薄膜、マイクロ・ナノ構造を構成する機械的機能膜としての圧電薄膜、電極薄膜、絶縁薄膜を、各々連続的に $50 \text{ m}/\text{min}$ 以上の線速にて形成するプロセスを開発する。</p>	<p>1-1. 基材搬送、前処理、溶液塗布、熱処理の一連のプロセスを含むリールツーリールの連続成膜システムを構築した。このうちダイコートを応用した塗布ヘッドには基材の厚さ変動にリアルタイムに対応する膜厚制御機構を組み込んだ。この成膜システムを用いて圧電薄膜 (PVDF)、電極薄膜 (PEDOT:PSS)、絶縁薄膜 (PMMA)、半導体膜 (P3HT:PCBM) について、各々連続的に $50 \text{ m}/\text{min}$ の線速での薄膜形成を實現した。</p> <p>実用の例として電極薄膜、半導体膜では $\pm 5 \mu\text{m}$ の基材厚変動を持つ PET 基材に対して $150 \text{ nm} \pm 5\%$ の成膜が可能となるなど、膜厚の精密制御が確認できた。</p>	○
	<p>【自主目標】</p> <p>1-2. ダイコーティングによる薄膜形成を含む連続プロセスによって繊維状光電変換デバイスを作製する。</p>	<p>1-2. ダイコーティングによる成膜で基材線速 $50 \text{ m}/\text{min}$ が確認できた電極薄膜 (PEDOT:PSS)、半導体膜 (P3HT:PCBM) を用い、幅 5 mm の基材上に繊維状有機薄膜太陽電池を作製することに成功した。</p>	○

	<p>【基本計画】 2-1. 繊維状基材に 3 次元ナノ構造を加工速度 20 m/min 以上で形成するプロセスを開発する。</p> <p>【自主目標】 2-2. 成形パターンのシームレス化を実現する。</p> <p>2-3. 繊維状基材上に最小線幅 2 μm のパターンを形成する 3 次元露光プロセスを開発し、抵抗型温度検出デバイスを作製する。</p> <p>2-4. 開発した中空繊維状基材内パターン形成プロセスを用い、100 dpi 相当の素子密度で寸法 2 cm 角以上のシート型表示デバイスを試作する。</p>	<p>2-1. 開発した高速荷重制御機構を有する繊維状基材への微細形状転写システムにて、センサシート向け製織ガイド構造を送り速度 20m/min で繊維状基材に高速・連続インプリント加工した。</p> <p>2-2. 高精度化した円筒型モールドにより、成形パターンのシームレス化を実現した。</p> <p>2-3. 3D レーザリソグラフィシステムによるパターンニングプロセスを提案し、3 次元形状表面に最小線幅 2μm のクロムパターンを形成可能であることを実証し、繊維状基材上への抵抗型温度検出デバイスの作製に成功した。この抵抗温度係数は 0.00384 /°C であり、従来の抵抗型温度センサより高い感度が得られた。</p> <p>2-4. 内径 100μm の PC 樹脂製中空繊維状基材内に磁気駆動可能なセル状構造を約 90dpi 相当の密度で均一連続形成した反射型表示素子、及びこれを集積した 2cm 角のシート型デバイスを試作し、公差を確認した。</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>△</p>
	<p>【基本計画】 3-1. タッチセンサ、光電変換デバイス、有機圧電デバイス、LEDやMEMSセンサ実装デバイス、圧力検出デバイス、及び温度検出デバイスの繊維状基材への素子製作技術、実装技術、及び製織技術を開発し、デバイス面積 1 m x 1 m 以上で 3 種類(自主目標:5 種類)以上の素子が密度 400 個/m²で集積されたセンサアレイを実現するプロセスを構築する。</p> <p>【自主目標】 3-2. 10 本 x 10 本の模擬シートにおいて、接触圧力 100MPa のもとで、比摩耗量が 10⁻⁴ mm³/N・m 以下、導電性繊維間の抵抗値 1 Ω 以下(初期値)を実現できる可動接点構造を提案し、ミニシートの許容曲率半径を 1cm にできる繊維基板を実現する製造プロセスを確立する。</p>	<p>3-1. P3HT と PCBM をダイコーティングした光電変換ファイバー、PVDF を成膜した圧電ファイバー、リボン状フレキシブル基板に LED を実装したデバイス、PEDOT をパターンニングした圧力検出デバイス、及びファイバー上への 3 次元リソグラフィ技術により作製した温度センサデバイスの 5 種類の繊維状素子を面積 1 m x 1 m に製織し、集積化するプロセスを開発した。</p> <p>3-2. 15 本 x 15 本の模擬シートにおいて、曲率半径 1cm の曲げ変形まで基材間の安定的な接触を維持できる導電性ポリマーを被覆したエラストマー可動接点構造を開発した。接触圧力 100MPa のもとで 100 万回の繰り返し接触試験を実施し、接点摩耗はほとんど無く、導電性繊維間の抵抗値は 1 Ω 以下となることを確認した。</p>	<p>○</p> <p>○</p>

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			
研究開発項目	最終目標	研究開発成果	達成度
(1) BEANS 知識データベースシステムの機能構築	【基本計画】 1-1. 異分野融合型次世代デバイス製造技術の研究開発項目①～③にかかわる新たな知見(文献情報、特許情報、及び研究成果を含めて)を系統的に蓄積してデータベース化する。	1-1. 異分野融合型デバイス製造技術知識データベースの改良、及び公開に向けた機能の整備を行った。具体的には、ユーザが閲覧している記事と類似した記事の検索・表示機能の改良、記事へのノート機能の強化を行った。	○
(2) BEANS 知識データの蓄積、充実化と編集	1-2. 蓄積するデータ数は 1,500 件以上とし、この知識情報をMEMS用設計・解析支援システムで活用できるようにする。	1-2. 知識データの累積数は、各BEANSセンターから 784 件、知識データベース編集委員会の 4 つのワーキング・グループにより 778 件となり、合わせて 1,562 件と目標の 1,500 件を上回る知識データを登録した。また、技術分類の見直し等による分野的なバランス向上も実現した。	○
投稿論文	「査読付き」73 件		
特 許	「出願済」110 件、「登録」0 件、「実施」0 件 (うち国際出願 2 1 件)		
その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会発表」442 件、「セミナー講演会・展示会」71 件、「刊行物」30 件 「マスメディア」84 件		
IV. 実用化に向けての見通し及び取組みについて	<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、最終目標を前倒しで実現し、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ピンアウトさせ、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>		
V. 基本計画に関する事項	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②③「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) 平成 23 年 3 月 改訂 (中間評価結果を踏まえた変更) 平成 24 年 3 月 改訂 (所管部署の変更)	

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6より抜粋)



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する。

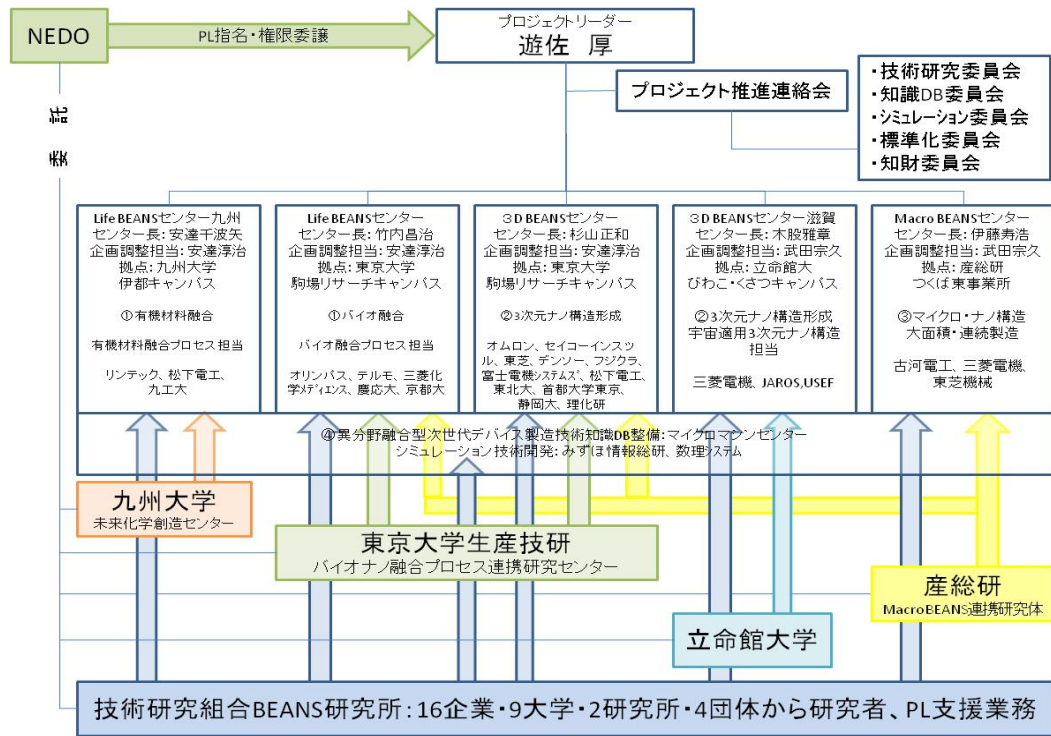
↑
上位プログラムの目標達成に貢献できる

異分野を融合し, MEMS技術に革新性をもたらすことを目指して, 基盤技術を整備する事業目的は公共性が高い。我が国が得意とする製造技術をさらに発展すべき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な国家事業である。

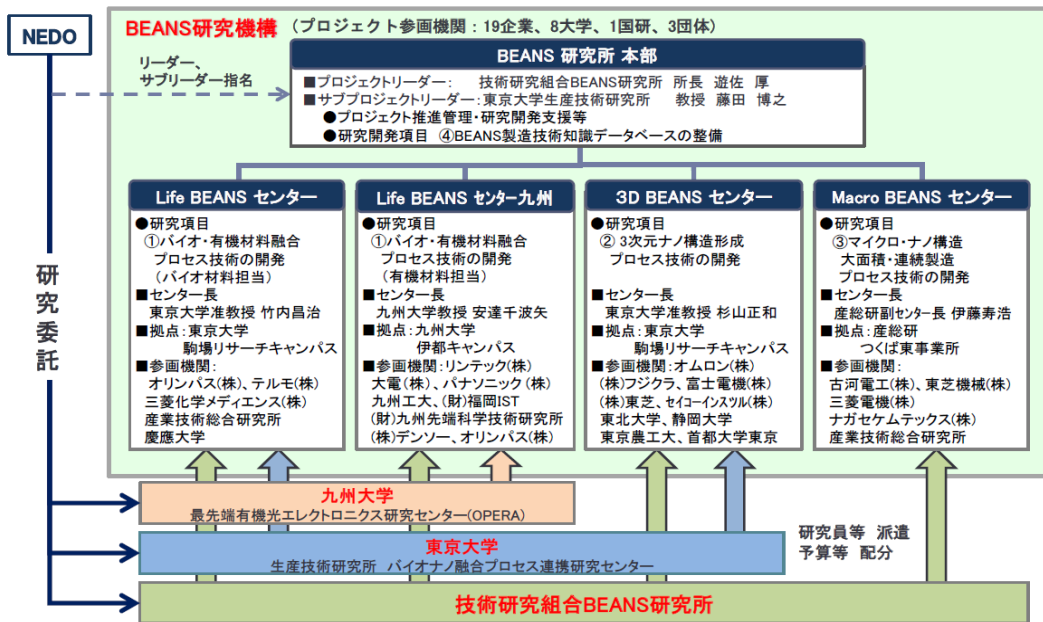
「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」

全体の研究開発実施体制

[H21年-H22年]



[H23年-H24年]



「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」

(事後評価)

評価概要 (案)

1. 総論

1) 総合評価

バイオ技術と IT 技術等の異分野技術を活用した新しい機械の創造という目標は、挑戦的で今後日本の先端機械技術の国際的地位を決める上で重要であり、NEDO プロジェクトとして実施した意義は大きい。

本プロジェクトは、これまでの縦割り構造社会を打破した異分野融合プロジェクトとして日本のこれからの新しい産業を創造する製造技術という観点から非常にチャレンジングであるにもかかわらず、技術レベルの高い研究成果が得られており、様々な MEMS 応用分野での産業技術としての発展が期待できる。また、本プロジェクトを通して MEMS/NEMS 技術の最先端研究を担う若手研究者が多数育成されたことは大いに評価できる。

但し、産業化への要素技術としては良いが、開発技術が既存の技術や製品と比べて優位性があるかは疑問が残る。今後、広く他の高機能デバイスに活用するためには、開発したプロセス技術を他の競合技術と比較しその利点・欠点をより明確にすることが必要である。実用化には開発プロセス技術のポテンシャルを俯瞰的に示すプラットフォーム技術マップが有効となると考えられ、そのためには当該プロジェクトで開発したデータベースをさらに整備・改善し、継続的に維持する努力が必要である。

2) 今後に対する提言

日本の国際競争力強化のためには、本プロジェクトで培われたプロセス技術を生かし、さらに新たなプロセス技術を包含した網羅型のプラットフォーム構築が不可欠である。得られた知的財産・ノウハウを日本として、海外を含めどのようにすればよいか議論して、異分野企業の融合、海外との融合も取り入れ、大きな意味でのグローバル化を進めてほしい。

今後、実用化に関して、MEMS 分野における世界的な競争力を維持していくために特許による技術の保護の他、各企業における継続的かつ集中的な技術蓄積と人材育成が必要である。また、本プロジェクトの成果を水平展開できるように応用技術開発も進めてもらいたい。さらに、今回得られた成果を参画機関以外にも広く普及させるための取り組みも継続すべきである。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

バイオ技術、IT 技術、材料技術などの異分野技術を活用した新しい機械の創造という目標は、挑戦的で今後の日本の国際的な技術的優位性を向上させる上でも重要と考えられる。また、MEMS 分野において、製造プロセス技術はその根幹を成すものであり、製造技術の国際競争力強化の面からも重要である。このような異分野融合プロジェクトは、企業単独で開発するにはリスクの高いもの、また投資が大きいものがあり、NEDO 事業として実施は妥当なものと考えられる。

但し、異分野融合型プロセス技術は意欲的な取り組みであり、独創的技術も多々開発されているが、すべての製造工程のプロセス技術を新技術に置き換えることは不可能であり、他の技術との併用が求められる。その際、既存プロセスとの整合性等を評価することもプロジェクト推進上、並行して進める必要があったと考えられる。

2) 研究開発マネジメントについて

革新的次世代デバイスを目的とした異分野融合を標榜する基盤的プロセス技術開発およびそのプラットフォーム構築は、我が国の機械技術の国際競争力を高める上で極めて重要である。また、バイオ技術や IT 技術、材料技術などの異分野技術を活用した新しい機械の創造は国内外の技術動向とも合致しており、極めてタイムリーかつ戦略的目標である。さらに、デバイス作製のための独創的な技術に対して、テーマ毎に各分野で高い技術力を持った実施者が選ばれており、成果促進テーマの追加、テーマのスピンアウト・短期間での完了など、多数の機関が関係するプロジェクトにもかかわらず、拠点内および拠点間の運営体制の工夫により全体としての運営も効率的になされた。

但し、国際的競争力についての検証がやや弱いように見受けられる。参加していない国内外の有識者に妥当性を問うことも有効であったと考えられる。

3) 研究開発成果について

各研究テーマともチャレンジングな目標を掲げ、中間評価以降は開発目標の定量化・数値化を行うなど、研究開発の方向性がより明確になっており、目標以上の成果を上げている実施者も多数見られた。また、実用化に大きな期待ができる内容もあり、それぞれの製品・商品イメージのなかで、新規な成果を出していると評価できる。

成果報告に関して投稿論文数は妥当な数であり、MEMS 関連の権威ある国際会議への採択件数が多く質の面でも評価できる。また、成果の普及についても積極的に取り組んでいる。

但し、プロジェクト開始当初、プレコンペティティブな製造プロセス基盤の構築が目標であったため、全体的にシーズ志向の研究テーマが多く、実証デバイスもユー

ザーからの要求により選定したケースはやや少ない。研究開発者側からの視点でなく、今回の開発品の実用性や普及性などについては冷静に見ておく必要がある。今後、実用化に向けたデバイス評価を行う上で、ユーザーとの連携体制が重要である。

4) 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

中間評価以降、実用化を意識した基本計画の変更が行われており、課題及びマイルストーンがより明確化された。また、参画企業での実用化イメージ・出口イメージも明確になっている。さらに具体的な市場があり **BEANS** 技術の利点を生かした製品イメージが明確化されている成果の中には、実用化のめどがついているものがあることは評価できる。

但し、提案されている **BEANS** デバイスは魅力あるものであるが、市場に受け入れられるにはプロセスコストの削減につながる技術改善が必要と考えられるケースが多々ある。これらは、実用化までに必要な課題の規模（解決のためにどの程度の期間・費用がかかるか）が明確でない。今後、当該プロジェクトの実用化を促進するためには、その利点・欠点を客観的に評価し特徴を明確化する必要がある。

個別テーマに関する評価

	<p>研究開発成果、実用化に向けての見通し及び取り組み、今後に対する提言について</p>
<p>バイオ材料融合プロセス技術の開発</p>	<p>脂質 2 重膜の形成やハイドロゲルの生体内注入などのプロセス開発は大変チャレンジングであり、将来の新しいバイオセンサ実現に向けた第一歩として高く評価できる。実用化に向けた開発の要素技術として確立された事に加え、基礎技術としても汎用性のあるもので、基礎科学の分野にも貢献できる結果である。ハイドロゲルの長期血糖値モニタリングへの応用研究は、ビーズからファイバー構造へ変更したことにより使いやすくなり、長期の機能維持も確認されている。プロトタイプ小型計測器による連続計測も実施されている。また、細胞を用いた高次構造形成プロセスも 3次元培養系が実現されている。</p> <p>但し、実用化に向けてはより具体的な製品開発や実証試験などまだ多くのハードルがある。また、今後、複数の企業が参入できるような形態で実用化開発をすることも必要であると考えます。</p>
<p>有機材料融合プロセス技術の開発</p>	<p>有機材料の特徴を生かした大面積ナノ構造体形成技術の確立により、太陽電池、EL、熱電デバイス等で、大幅な性能向上が確認されている。また、プラズモン共鳴アンテナ構造型赤外線センサは大幅な性能向上が実現されており、BEANS プログラムのタイムリーな成果促進の例として評価できる。</p> <p>しかし、太陽電池や照明・表示装置では現在有機、無機を問わず様々なデバイスが開発されており、実用化に向けて全体の中での競争力が問われている。優れた特性を持つデバイスの基本構造・基礎特性は評価されているが、実用化への目標値などが明確でなく、実用化に不可欠な経時変化・寿命・耐環境性等の評価はまだ十分とは言えない。今後は耐環境性に優れた有機材料の開発が望まれる。</p>

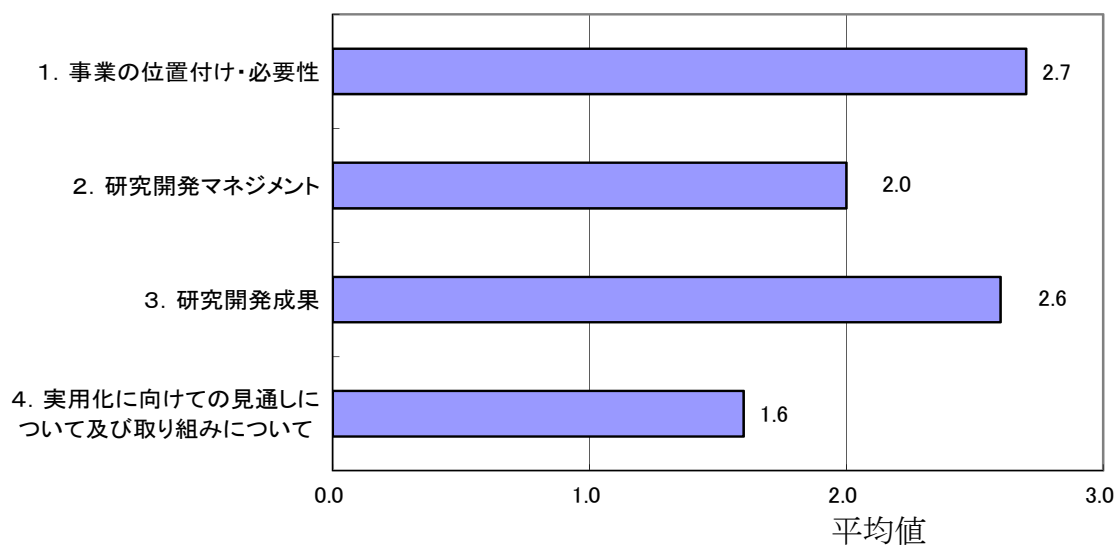
<p>3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発</p>	<p>中性粒子ビームエッチングでは、第一原理量子化学計算を有効に活用し、形状シミュレーションを実現するなど高アスペクト比構造形成技術を確立した。フェムト秒レーザーアシストエッチングでは、従来難しかったアスペクト比の大幅な向上が実現されている。超臨界流体成膜法では高アスペクト比トレンチ構造への成膜が実現されており、低面積・大容量キャパシタへの応用が確認されている。また、ナノ粒子配列を用いたガスセンサは低コストプロセスに魅力があり、実用化の観点から期待ができる。</p> <p>但し、開発した3次元構造形成プロセス技術を用いて様々なBEANSデバイスの開発例を示しているが、それぞれの応用例、特に加工技術とデバイスの組み合わせにおいて、優位性・競争力があるのかどうかの検証が必要である。さらに本プロジェクトで検討されたデバイス以外にも多くの応用先が見込まれるプロセス技術、プロセス装置であり、開発技術の展開を図って欲しい。</p>
<p>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>プロセス技術として高速成膜、膜厚制御、インプリント等意欲的な取り組みがされており、これまでのMEMSの範囲を超えた応用が期待される。さらに、繊維状基材連続微細加工は独創的なプロセス技術であり、リールツーリール立体インプリント技術等、当該技術から派生したプロセス技術を加えることによって応用範囲が大幅に広がった。</p> <p>但し、実用化の方向性が整理されておらず、見えにくい面がある。非真空製造プロセス技術は製造装置の簡素化が期待でき製造コスト削減が期待されるが、薄膜成膜時の構造制御やコンタミの点で実用的デバイスを作製した上での性能評価等更なる検証が必要と考える。今後、異分野融合を通して実現したマイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術を用いた革新的デバイスの創出が望まれる。</p>

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

限られた期間で BEANS デバイス製造技術に関する多数のデータを収集しデータベース化した点で評価できる。また、多岐にわたる情報を細かく整理・分類した試みも有益であり、データごとのアクセス回数やユーザーからのフィードバック情報も取り入れられているなど、当該分野のデータベース作成の基盤となり得ると考えられる。また、今回作成されたデータベースは、階層的なアイテムに整理分類されているので、今後新規に研究に参入する人にとっては有効な道標になる。

今後、継続的に情報量を増やし、情報の質を向上していく必要がある。マイクロマシンセンターに移管後も、プラットフォームとしての取り組みを継続してほしい。このような知識データベースが多数融合されて、より大きな知識データベースとなり、簡単にアクセスできるシステムが望まれる。

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	B	B	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	A	B	B	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.0	B	B	A	B	B	C	B	
3. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	B	B	B	A	
4. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	1.6	C	B	B	C	C	B	B	

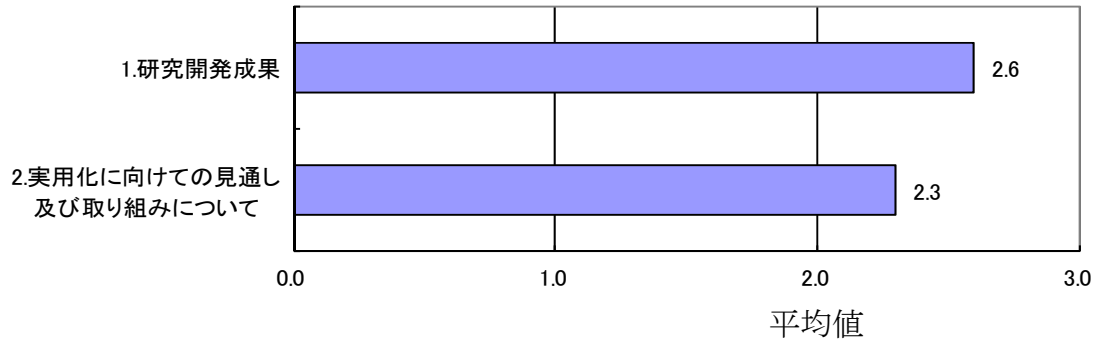
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

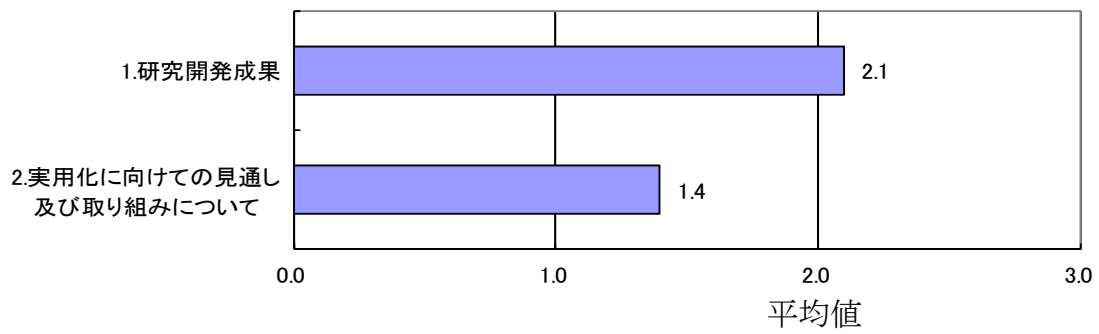
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について	
・非常に重要	A ・非常によい	A
・重要	B ・よい	B
・概ね妥当	C ・概ね妥当	C
・妥当性がない、又は失われた	D ・妥当とはいえない	D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	
・非常によい	A ・明確	A
・よい	B ・妥当	B
・概ね適切	C ・概ね妥当	C
・適切とはいえない	D ・見通しが不明	D

評点結果〔個別テーマ〕

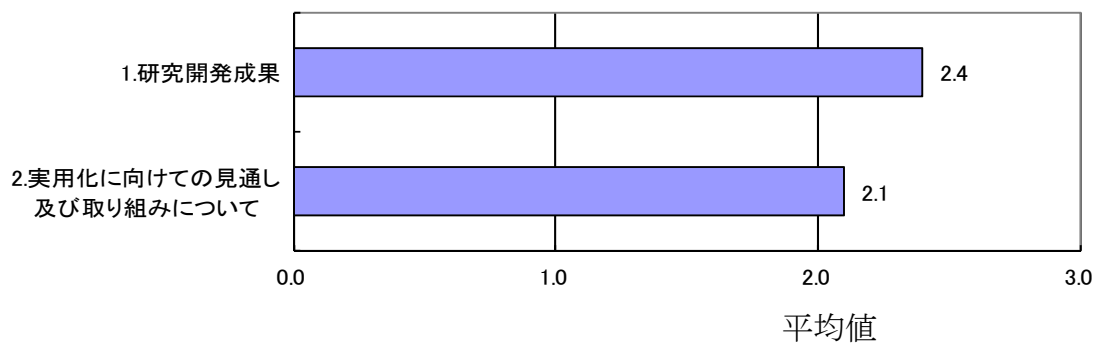
バイオ材料融合プロセス技術の開発



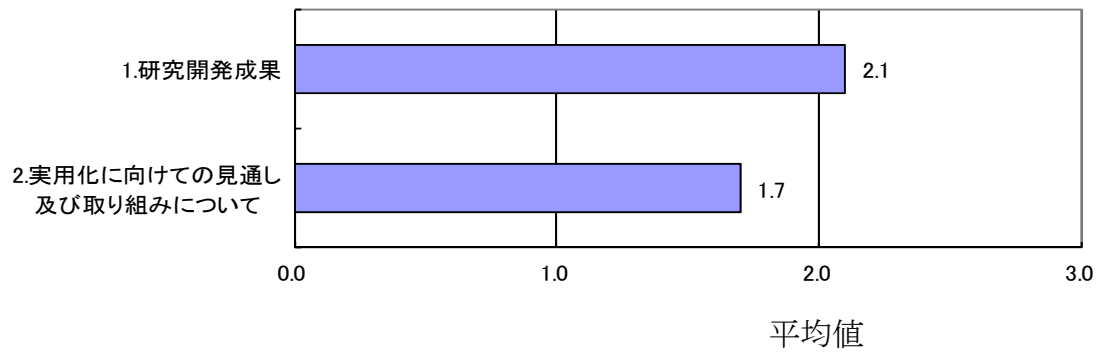
有機材料融合プロセス技術の開発



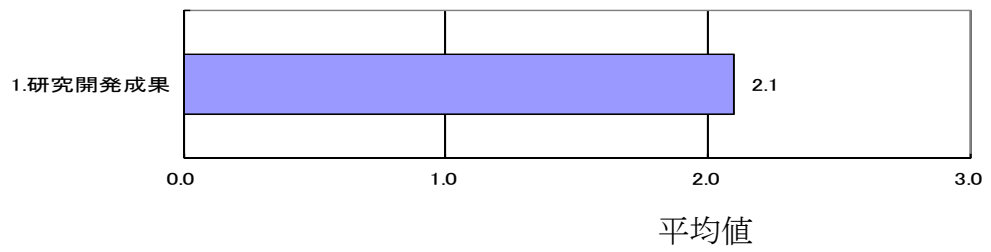
3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発



マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発



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



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）							
バイオ材料融合プロセス技術の開発									
1. 研究開発成果	2.6	A	A	A	B	B	B	A	
2. 実用化に向けての見通し及び 取り組みについて	2.3	B	A	A	B	B	B	B	
有機材料融合プロセス技術の開発									
1. 研究開発成果	2.1	A	A	B	C	B	C	A	
2. 実用化に向けての見通し及び 取り組みについて	1.4	C	B	C	C	B	C	B	
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	2.4	A	A	A	B	B	B	B	
2. 実用化に向けての見通し及び 取り組みについて	2.1	B	B	A	B	B	B	B	
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	2.1	B	B	A	B	B	B	B	
2. 実用化に向けての見通し及び 取り組みについて	1.7	C	B	B	B	B	C	B	
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	2.1	A	B	A	B	B	C	B	

（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

- ・ 非常によい A
- ・ よい B
- ・ 概ね適切 C
- ・ 適切とはいえない D

2. 実用化に向けての見通し及び
取り組みについて

- ・ 明確 A
- ・ 妥当 B
- ・ 概ね妥当 C
- ・ 見通しが不明 D

<参考>

「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」
(事後評価)に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断できる具体的かつ明確な開発目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマごとの配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 適切な研究開発実施体制になっており、指令命令系統及び責任体制が明確になっているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
 - ・ 知的財産取扱（実施者間の情報管理、秘密保持、出願・活用ルール含む）に関する考え方は整備され、適切に運用されているか。
- (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性
- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
 - ・ 成果の実用化シナリオに基づき、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制を構築しているか。
 - ・ 全体を統括するプロジェクトリーダーが選任されている場合、成果の実用化シナリオに基づき、適切な研究開発のマネジメントが行われているか。
 - ・ 成果の実用化につなげる知財戦略（オープン／クローズ戦略等）や標準化戦略が明確になっており、かつ妥当なものか。
- (5) 情勢変化への対応等
- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度と成果の意義

- ・ 成果は目標を達成しているか。
- ・ 成果は将来的に市場の拡大あるいは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 目標未達成の場合、達成できなかった原因が明らかで、かつ目標達成までの課題を把握し、この課題解決の方針が明確になっているなど、成果として評価できるか。
- ・ 設定された目標以外に技術的成果があれば付加的に評価する。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、又は汎用性のある成果については、将来の産業につながる観点から特に顕著な成果が上がっている場合は、海外ベンチマークと比較の上で付加的に評価する。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 大学または公的研究機関で企業の開発を支援する取り組みを行った場合には、具体的に企業の取り組みに貢献しているか。

(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登

録、品種登録出願、営業機密の管理等)は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(3)成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表は、将来の産業につながる観点から戦略的に行われているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化」の考え方

異分野の新しい素材と融合させたデバイスやその製造装置、及びそれらの知識情報を蓄積したデータベース等が社会的利用(顧客への提供等)されることを言う。

(1)成果の実用化の見通し

- ・ 実用化イメージに基づき、課題及びマイルストーンが明確になっているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2)実用化に向けた具体的取り組み

- ・ 成果の実用化に向けて、誰がどのように引き続き技術開発に取り組むのか明確になっているか。