

「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」

事業原簿【公開】

| | |
|-----|------------------------------------|
| 担当部 | 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術開発推進部 |
|-----|------------------------------------|

—目次—

概 要

プロジェクト用語集

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| I. 事業の位置付け・必要性について | I-1 |
| 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性..... | I-1 |
| 1.1 NEDO が関与することの意義..... | I-1 |
| 1.2 実施の効果(費用対効果)..... | I-2 |
| 2. 事業の背景・目的・位置づけ..... | I-2 |
| II. 研究開発マネジメントについて | II-1 |
| 1. 事業の目標..... | II-1 |
| 2. 事業の計画内容..... | II-7 |
| 2.1 研究開発の内容..... | II-7 |
| 2.2 研究開発の実施体制..... | II-12 |
| 2.3 研究開発の運営管理..... | II-14 |
| 2.4 研究成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性..... | II-19 |
| 3. 情勢変化への対応..... | II-21 |
| 4. 中間評価結果への対応..... | II-22 |
| 5. 評価に関する事項..... | II-25 |
| III. 研究開発成果について | III-1 |
| 1. 事業全体の成果..... | III-1 |
| 1.1 成果概要..... | III-1 |
| 1.2 成果の意義..... | III-10 |
| 1.3 知的財産権等の取得及び標準化の取組..... | III-19 |
| 1.4 成果の普及..... | III-33 |
| IV. 実用化に向けての見通し及び取組みについて | IV-1 |
| 1. 実用化に向けての見通し及び取組み..... | IV-1 |
| 1.1 成果の実用化可能性..... | IV-1 |
| 1.2 波及効果..... | IV-2 |

| | |
|---|--------------|
| V. 委託テーマの成果詳細 | V-1 |
| ①-A バイオ材料融合プロセス技術の開発 | V-2 |
| 概要 | V-2 |
| (1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術の開発 | V-9 |
| (1A)-1 脂質二重膜の安定形成プロセスの開発 | V-9 |
| (2A) バイオ高次構造形成プロセス技術 | V-56 |
| (2A)-1 ハイドロゲルの高次構造形成プロセスの開発 | V-56 |
| (2A)-2 細胞の立体構造形成プロセスの開発 | V-97 |
| (2A)-3 ナノ界面形成及びバイオ高次構造形成分野の最新研究動向調査 (H23—H24) | V-126 |
| ①-B 有機材料融合プロセス技術の開発 | V-156 |
| 概要 | V-156 |
| (1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術 | V-178 |
| (1B)-1 ナノマーキング・配向制御によるナノ構造形成 | V-178 |
| (1B)-2 トップダウンプロセスによるナノ構造形成 | V-239 |
| (1B)-3 有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向調査 | V-274 |
| (2B) 有機高次構造形成プロセス技術 | V-284 |
| (2B)-1 有機分子の構造・結晶制御による高次構造形成 | V-284 |
| (2B)-2 ナノポーラス構造形成と熱電特性評価 | V-349 |
| (2B)-3 赤外共鳴アンテナの実証 | V-403 |
| (2B)-4 有機高次構造形成プロセス技術の研究動向調査 | V-432 |
| ② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発 | V-446 |
| 概要 | V-446 |
| (1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術の開発 | V-469 |
| (1)-1 超低損傷エッチングによる高密度3次元ナノ構造形成技術の開発 | V-469 |
| (1)-2 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術の研究動向調査 | V-643 |
| (2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術 | V-649 |
| (2)-1 3次元構造への選択的機能性ナノ構造修飾技術の開発 | V-649 |
| (2)-2 超臨界流体を用いた3Dナノ構造への高均一製膜 | V-855 |
| (2)-3 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術の研究動向調査 | V-886 |
| 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 | V-894 |
| (1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術 | V-908 |
| (1)-1 ナノ材料大面積均質塗布技術の開発 | V-908 |
| (1)-2 大型基板直接高速加工プロセスの開発 | V-929 |
| (1)-3 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術の研究動向調査(H23-H24) | V-990 |
| (2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術 | V-1002 |
| (2)-1 連続的高品位機能膜被覆プロセスの開発 | V-1002 |

| | |
|---|---------------|
| (2)-2 3次元ナノ構造高速連続加工技術..... | V-1040 |
| (2)-3 異種繊維状基材の製織技術の開発..... | V-1142 |
| (2)-4 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術の研究動向調査(H23-24)..... | V-1196 |
| 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..... | V-1222 |
| (1) はじめに..... | V-1222 |
| (1)-1 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概要..... | V-1222 |
| (1)-2 取り組みの位置付け..... | V-1223 |
| (1)-3 要素研究での取り組み..... | V-1224 |
| (1)-4 実証基盤技術研究の狙い..... | V-1225 |
| (2) データベースの基盤整備..... | V-1226 |
| (2)-1 中間目標..... | V-1226 |
| (2)-2 中間成果のまとめ..... | V-1226 |
| (3) データベースの公開に向けた整備..... | V-1232 |
| (3)-1 最終目標..... | V-1232 |
| (3)-2 実施内容..... | V-1232 |
| (4) まとめ..... | V-1261 |
| (4)-1 最終成果..... | V-1261 |
| (4)-2 今後の展開..... | V-1265 |
| (5) 海外動向調査（μTAS2011/2012）..... | V-1266 |
| (5)-1 学会概要..... | V-1266 |
| (5)-2 参加者動向..... | V-1266 |
| (5)-3 μTAS2011の収集情報..... | V-1269 |
| (5)-4 μTAS2012の収集情報..... | V-1276 |
| ⑥ プロジェクト推進及び研究支援業務..... | V-1281 |
| (1) 委員会活動..... | V-1281 |
| (1)-1 BEANSプロジェクト推進連絡会..... | V-1283 |
| (1)-2 技術研究委員会..... | V-1283 |
| (1)-3 知識DB編纂委員会..... | V-1283 |
| (1)-4 シミュレーション委員会..... | V-1284 |
| (1)-5 標準化委員会..... | V-1285 |
| (1)-6 知財委員会..... | V-1285 |
| (2) 広報普及活動..... | V-1288 |
| (2)-1 広報活動..... | V-1288 |
| (2)-2 海外動向調査..... | V-1293 |

(添付資料)

- ・ A-1:プロジェクト基本計画
- ・ A-2:技術戦略マップ(分野別ロードマップ)
- ・ A-3:事前評価関連資料(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)
- ・ A-4:特許論文リスト

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 渡辺 秀明 機械システム部 渡辺 秀明 技術開発推進部 機械システムグループ 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新たな共通基盤製造技術を開発する。 バイオ・有機材料融合プロセス技術、 3次元ナノ構造形成プロセス技術、 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、 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、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 については、事後評価を平成 23 年度に実施した。）</p> | | | | | | |
| . 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> | | | | | | |
| . 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。 バイオ・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。</p> <p>また、平成 21 年度補正予算で平成 22 年度まで 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 | |
| | バイオ・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 | | | | | | |
| | 高機能センサ ネットシステム 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 | 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)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 | 1. 研究開発項目 (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 (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 高機能センサネット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 | 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。 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) | | | | | | |
| 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 バイオ・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、及び 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、研究開発項目は、-A バイオ材料融合プロセス技術の開発、及び -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、その利活用の仕組みとしてワンストップライセンシング制度を構築した。
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

研究開発成果について

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）

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>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ヘモリシ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ヘモリシンの電流シグナル計測に成功。更に、イオンチャネルである 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ネル KcsA 変体体の精製方法を確立した。精製した KcsA 変体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ネルとしての動作の検出に成功した。</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> | | ○ |
| (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>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>【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>【基本計画】</p> <p>2-1. 毛細胆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>2-1. ガス透過性膜、及びコーラゲンゲル表面に形成した直径約 70 μm 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 次元的な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胆管構造の形状や体積を制御することに成功した。さらに、形成した毛細胆管の内部から、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>【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> | | ◎ |

| 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>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⁶ 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⁶ 20%向上することを確認する。</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>【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>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(Voc)、及び効率20%向上を目指す。</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-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>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⁶ 30%向上することを示した。</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、Voc2倍、同一光源による出力1.85倍を達成した。</p> | <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>△</p> <p>○</p> |

| | | | |
|---------------------|--|---|-------------------------------------|
| (2B) 有機高次構造形成プロセス技術 | <p>【基本計画】</p> <p>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】</p> <p>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應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(フェニルピリジル)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ピ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ピリジル型から、N 架橋されたビス(フェニルピリジル)アミノ型にすることで、PL 量子効率 85%を達成した。</p> | <p>○</p> <p>○</p> <p>◎</p> |
| | <p>【基本計画】</p> <p>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) $P = 10 \mu W m^{-1} K^{-2}$ 以上得られることを実証する。</p> <p>【自主目標】</p> <p>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、$P=27 \mu W m^{-1} K^{-2}$ 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。$P=28 \mu W m^{-1} K^{-2}$ 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グラズマガンで熱電薄膜を成膜することで $p,n-Bi_2Te_3$ 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> | <p>○</p> <p>◎</p> <p>△</p> <p>○</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>1-1. 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. 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>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>【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>1-3. 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>【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>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>【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. 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ブ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> | ◎ |

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|---|
| | (2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術 | 【基本計画】 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耗マルチプローブを試作する。 | 1-1. 先端電極幅が 30nm 以下である耐摩耗マルチプローブを量産加工対応プロセスにて試作し、ブロープリソグラフィにより2mの摺動後に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μm～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。 | ◎ | |
| | | (続き) (2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術 | 1-2. プローブ先端におけるナノトライポロジーモデルを構築する。 | 1-2. プローブ先端における『接触抵抗低減』『摩擦力安定化』『耐摩耗性向上』の各種トライポロジー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。 | ○ |
| | | 1-3. 摺動距離 1mを経たプローブの接触抵抗値を 1MΩ以下に抑えられることを実証する。 | 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 MΩ以下に抑えられることを実証した。 | ○ | |
| | | 【基本計画】 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нда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。 | 2-1. 同定した CNT 結合性ペプチドアプターについて 2重認識バイнда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нда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。 | ○ | |
| 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。 | 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>【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、メータ級の大面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 $60\text{nm}/\text{分}$ で大面積基板上に形成可能とするプロセスを確立するとともに、それを実現する装置仕様を決定する。</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>1-1. 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実現可能にし、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実現し、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実現するプロセス技術/装置仕様を示した。</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>【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>1-1. 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に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実現した。</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>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×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 mm/N・m 以下、導電性繊維間の抵抗値 1Ω 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 に集積し、集積化するプロセスを開発した。</p> <p>3-2. 15本×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 1Ω 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 21 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 |

・ 実用化に向けての見通し及び取組みについて

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。

・ 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 「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 (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) 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) |

プロジェクト用語集

- 【3T3 細胞】 マウスの皮膚に由来する繊維芽細胞培養細胞株で、3日ごとに3分の1の細胞数で継代し樹立されたことが名前の由来である。1980年代前半に、がん細胞由来の発癌遺伝子探索のためのDNA依存形質転換実験に広く使われた。最終的には脂肪細胞に分化する。
- 【AFFD】 Axi-symmetric Flow Focusing Device の略で、MEMSを適用したマイクロピーズを作製する3次元マイクロ流路デバイスである。2本の同軸対称の中空流路から構成されており、それぞれの流路は導管を通じて、溶液を分離したままデバイスの中へ送液することができる。これらの溶液が互いに混じり合わない性質を持っている場合、オリフィスに流れが集中し、内側の流路を流れていた溶液が均一径の液滴となる。
- 【CYP3A4】 シトクロム P450 3A4 (CYP3A4) はシトクロム P450 (CYP) の分子種の一つであり、人体に存在する生体異物 (xenobiotic) を代謝する酵素の主要なもの1つである。CYPによる酸化反応では寄与する範囲が最も広い。また、肝臓に存在する CYP のうちの大部分を占める。
- 【CYP 酵素】 CYP はシトクロム P450 (英: Cytochrome P450) の略であり、水酸化酵素ファミリーの総称である。様々な基質を水酸化するので、多くの役割を果たす。肝臓において解毒を行う酵素として知られているが、ステロイドホルモンの生合成、脂肪酸の代謝や植物の二次代謝など、生物の正常活動に必要な反応にも関与している。
- 【dripping-jetting 遷移】 液滴の生成におけるモードはドリッピングとジェットイングに分類され、それらモード間の遷移は分散相と連続相ウエーバー数およびキャピラリー数で整理できる。
- 【FDTD 法】 FDTD 法 (Finite-difference time-domain method; FDTD method) は、電磁場解析の一手法である。日本語では時間領域差分法、有限差分時間領域法などと訳されるが、もっぱら FDTD 法と呼ばれる。
- 【HepG2 細胞】 HepG2 細胞とは Human hepatocellular liver carcinoma cell line のことでヒト肝癌由来細胞株である。
- 【Holm の接触理論】 弾性接触している接点の有効接触面積が集中抵抗に寄与し、通電性能と接触点面積に相関があるという理論である。
- 【MBP】 Maltose Binding Protein の略であり、MBP はグラム陰性菌が持つ、様々な物質 (例えば糖類、アミノ酸類、陰イオン類など) を特異的に結合し、それらの能動輸送に関連する一群のタンパク質の一つである。
- 【Min6m9 細胞】 膵臓のランゲルハンス島を構成する細胞の MIN6 細胞は生理的グルコース濃度の範囲で濃度依存性にインスリン分泌をするはじめての細胞株である。MIN6m9 細胞は MIN6 細胞の下位細胞株で、多数回の反復継代培養に耐えて優れたグルコース誘導性インスリン分泌機能を安定に維持できる。このため、m9 細胞株は、2型糖尿病の治療薬の開発において、候

補化合物のスクリーニングシステムとして、及びそれに基づく化合物設計のために、有利に利用することができる。

- 【MRP2】 MRP2(Multidrug resistance associated protein 2) は肝臓に比較的特異的に発現する分子で、肝細胞の胆管側(apical) に発現してグルタチオン抱合体、グルクロン酸抱合体、硫酸抱合体、有機アニオン系化合物を輸送する。
- 【OATP1】 Organic Anion Transporting Polypeptide 1 の略である。ラット肝臓より単離された Na^+ -非依存的有機アニオントランスポーターである。(アニオン：負に荷電したイオン)
- 【P3HT】 P3HT(ポリ 3 ヘキシルチオフェン)は有機半導体を活性層に用いた電界効果トランジスタである有機電界効果トランジスタ(OFET)に用いられる高分子有機半導体材料。
- 【PDMS】 Polydimethylsiloxane (ポリジメチルシロキサン)の略である。シリコンゴム的一种であり、モールディング(型取り)によりマイクロ構造が製作でき、サブミクロンの構造まで転写可能である。自己吸着性があるため、大きな内圧を必要としない場合は基板に貼り付けるだけでシール出来るのが、他の材料に比べて優れた点の一つである。無色透明であり、可視光領域による吸収が小さく、自家蛍光もほとんどみられないため、バイオ分野で用いられる蛍光検出にも使用されている。また、生体適合性材料で通気性があるため、細胞や組織に悪影響を及ぼさない。
- 【PEDOT】 Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン))の略である。PEDOT は導電性高分子のなかでも高い電気伝導度および良好な耐久性を示すことから、数多くの応用が提案され、既に電解コンデンサの陰極材料、帯電防止材料や透明導電膜として実用化されている。
- 【PTCDA】 PTCDA(Perylene-3,4,9,10-Tetracarboxylic Dianhydride:ペリレンテトラカルボン酸二無水物)は典型的な有機半導体として知られる。
- 【QCM】 QCM(Quartz Crystal Microbalance) は水晶振動子の電極表面に物質が付着するとその質量に応じて共振周波数が変動する(下がる)性質を利用し極めて微量な質量変化を計測する質量センサ。
- 【RCWA 法】 RCWA 法とは Rigorous Coupled Wave Analysis 法のことであり、厳密結合波解析法などと訳されることもある。RCWA 法はスカラー解析ではなく、電場・磁場がベクトル場であることを考慮した電磁界解析のうち微分法的一种である。周期的な構造にしか適用できないが、SPR(Surface Plasmon Resonance:表面プラズモン共鳴)現象などのシミュレーションに用いることができる。
- 【SAM】 自己組織化単分子膜(SAM: Self-Assembled Monolayer)は有機分子が自発的に集合して形成される有機薄膜である。適当な基板材料と反応性有機分子の組み合わせを選択し、有機分子の溶液あるいは蒸気中にその基板

を置いておくと、有機分子と基板材料の化学反応が起こり、分子が基板表面に化学吸着する。ある条件の下では、この化学吸着過程で、有機分子同士の相互作用によって吸着分子が密に集合し、分子の配向性のそろった有機単分子膜が基板表面上に形成される。基板が分子によって被覆され、基板表面の反応サイトがなくなってしまうと、それ以上吸着反応が起こらないため、単分子膜ができたところで膜の成長が停止する。

【TP 活性】

TP(Transporter)が単位時間あたりどのくらいの量運ぶかの指標。

【VEGF 受容体】

血管内皮細胞増殖因子受容体(、英:Vascular Endothelial Growth Factor Receptor、VEGFR)とは受容体型チロシンキナーゼの一種であり、リガンドである血管内皮増殖因子(VEGF)は血管内皮細胞の増殖・遊走の促進、血管透過性の亢進、単球・マクロファージの活性化などを引き起こすが、VEGFRはこれらの作用発現に関与している。

【XRD】

X線回折(エックスせんかいせつ、X ray diffraction、XRD)は、X線が結晶格子で回折を示す現象である。逆にこの現象を利用して物質の結晶構造を調べることが可能である。このようにX線の回折の結果を解析して結晶内部で原子がどのように配列しているかを決定する手法をX線結晶構造解析あるいはX線回折法という。しばしばこれをX線回折と略して呼ぶ。

【ヘモリシン】

七量体を形成して細胞膜に穴を形成するタンパク質である。

【アクリルアミドゲル】

アクリルアミドの重合体のゲルで、電気泳動などの担体に用いるほか、食品添加物としても用いられる。

【アルギン酸カルシウム
PLL】

アルギン酸をカルシウムで固めて、PLL(Poly-L-Lysine:アミノ酸の一つであるリジンが複数連結したポリマー)でコーティングしたもの。

【アルブミン】

アルブミン是一群のタンパク質に名づけられた総称で、卵白(albumen)を語源とし、卵白の構成タンパク質のうちの約65%を占める主成分タンパク質に対して命名され、さらにこれとよく似た生化学的性質を有するタンパク質の総称として採用されている。代表的なものに卵白を構成する卵アルブミン、脊椎動物の血液の血漿に含まれる血清アルブミン、乳汁に含まれる乳アルブミンがある。

【アンチサーファクタント法】

半導体発光素子の内部量子効率を向上させるための低転位化の技術であり、三次元成長を誘起する不純物原子からなるアンチサーファクタント(例えば、Si)を下地層(例えば、GaNバッファ層)の表面に添加することで表面構造を制御する方法。

【エレクトロスプレー】

先端のとがったチューブに高電圧を加えることで電界集中により液体がスプレーする現象である。近年では、質量分析計のイオナイザーとして広く使用されている。また、エレクトロスプレーデポジション法(ESD法)は、各種生体高分子やポリマーの溶液をエレクトロスプレーでスプレーしナノサイズのパーティクルやファイバー(ナノファイバー)を形成させながら、静電気力を利用して基板などに堆積・固定させる手法である。

- 【ストレプトアビチン】 ストレプトアビジン (Streptavidin) はストレプトマイセスの一種 *Streptomyces avidinii* により作られるタンパク質であり、性質はアビジンとよく似ている。研究・検査用に利用されている。
- 【スフェロイド】 スフェロイドは細胞が多数凝集した 3 次元状態の塊 (細胞塊) である。単層培養に比べ、肝細胞などでは細胞の機能を長期間維持することができ、より生体内に近い環境での細胞培養が可能である。
- 【チオール結合】 チオール (thiol) は水素化された硫黄を末端に持つ有機化合物で、メルカプタン (mercaptan) とも呼ばれる。
- 【パリレン】 パリレンはパラキシリレン系ポリマーの総称で、ベンゼン環が CH_2 を介してつながった構造を持つ。重合したパラキシリレンは分子量が 50 万にもおよぶ非常に安定した結晶性ポリマーである。またパリレンは化学的にも非常に安定した物質でほとんどの溶剤や薬品に対して不活性であり、電気的にも低誘電率で絶縁性にすぐれ、また機械特性にもすぐれている。
- 【パワーファクター】 熱電変換材料から取り出せる電力の大きさの指標であり、ゼーベック指数の二乗と電気伝導率との積であらわされる。
- 【ファージ提示法】 ファージディスプレイ法ともいう。ファージ提示法は、大腸菌ウイルスの一種である M13 などの繊維状ファージのコートタンパク質にファージの感染能を失わないように外来遺伝子を融合タンパクとして発現させるシステムである。
- 【ブロック共重合体】 性質の異なる二種類以上のポリマーが、共有結合でつながり長い連鎖になったような分子構造の共重合体と呼ぶ。ブロック共重合体の特長はその各ポリマー鎖が独立して凝集し、ミクロ相分離構造を形成することである。その形態は各ポリマー鎖の組成に比例して球状ポリマーからシリンダー構造、さらにはラメラ構造へと変化していく。
- 【プロテオリポソーム】 膜タンパク質を含む小胞をプロテオリポソームと呼ぶ。
- 【ヘテロエピタキシャル成長】 薄膜結晶成長技術のひとつであるエピタキシャル成長 (Epitaxial Growth) において、基板と薄膜が異なる物質である場合をヘテロエピタキシャルと呼ぶ。
- 【ペンタセン】 ペンタセン (pentacene) は 5 つのベンゼン環が直線状に縮合した多環芳香族炭化水素である。
- 【ポリエチレングリコール(PEG)表面修飾界面】 ポリエチレングリコール (polyethylene glycol、略称 PEG) は、エチレングリコールが重合した構造をもつ高分子化合物 (ポリエーテル) である。タンパク質の吸着を防ぐためにハイドロゲルの表面に修飾している。
- 【マルトース】 マルトース (maltose、麦芽糖 (ばくがとう) とも呼ばれる) とは、グルコース 2 分子が 1-4 グリコシド結合した還元性二糖。化学式は $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ である。水飴の主成分となっている。
- 【ミクロソーム】 顆粒体とも言われるもので、細胞を潰し混ぜ、遠心分離したときにミトコンドリア、リソソームより軽い画分として回収され、細胞器官としては小胞体に対応する。タンパク質合成活性、脂質合成活性などがある。

- 【薬物トランスポータ】 生体内に投与された薬物が吸収，分布，代謝，排泄のプロセスを経る中で幾度かは細胞膜を通過する．脂質親和性が強く，分子量が小さい薬物は細胞膜の脂質二重層を単純拡散で通過する可能性はあるが，多くの薬物およびその代謝物はこの二重層を通るに当り特別な担体を必要とする．これを薬物トランスポータと呼ぶ．
- 【リポソーム】 人工脂質二重膜のうち球状のもの。
- 【化学輸送法】 温度勾配のある閉じた系で系内の固体物質が，異なった化学種となって気相を経由して移動し，他の場所に再びもとの固体物質として生成する反応を用いる方法．
- 【共培養】 一緒に培養する 2 種あるいはそれ以上の異なる種類の細胞を混合したものの。
- 【脂質 2 重膜】 細胞は細胞膜という脂質の 2 重膜からできており、膜状に集合した脂質層のこと
- 【除放性】 ある物質からの成分の溶出を抑制制御して、物質からの成分の放出を遅くすることにより、有効成分濃度を一定に長時間保つ作用をもつこと。
- 【電気泳動】 電気泳動（でんきえいどう）は、荷電粒子あるいは分子が電場（電界）中を移動する現象。あるいは、その現象を利用した解析手法。特に分子生物学や生化学では DNA やタンパク質を分離する手法としてなくてはならないものである。
- 【特異的分子認識能】 生体膜の情報変換プロセスでは、外界の様々な化学的、物理的刺激に対して、これを特異的に認識、識別し、その情報に対して選択的に応答を行っている。このような生体膜における優れた情報変換機能である抗原-抗体、ホスト-ゲスト複合体に代表される特異的、選択的な分子識別・認識を特異的分子認識能という。
- 【毛細胆管】 毛細胆管（もうさいたんかん、英: bile canaliculus）とは、肝細胞より分泌される胆汁を受け取る薄い管。毛細胆管は集合して集合胆管を形成し、最終的に肝管(en:common hepatic duct)となる。肝細胞の形状は多面体であり決まった形態をとらない。肝細胞の表面には類洞が縁取っており、他の肝細胞と接触している。毛細胆管は肝細胞の側面の溝により形成される。
- 【膵島細胞移植】 生涯インスリンを注射し続けなければならない重症糖尿病患者の根本的治療法として期待される移植治療法である。膵臓を移植するのではなく、インスリンを産生する膵島細胞を糖尿病患者の肝臓内に移植する移植法で、膵臓移植に比べ、体への負担が少ないとされている。しかし、膵島細胞移植は他人の組織を移植するために、発生する拒絶反応が大きな障害となる。そのため免疫抑制剤を使用するが、移植後数時間で起こる早期拒絶反応によって、移植した膵島細胞が破壊されてしまい、移植効果が小さく、数回の移植を行う必要があり、移植早期拒絶反応を制御する研究が現在活発におこなわれている。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

MEMS 技術は、自動車、各種製造機器、情報機器、通信機器、セキュリティ、バイオ、医療環境などの広範囲な分野において、わが国の産業競争力強化に貢献している。現在 MEMS は高集積化・複合化による高機能化・低コスト化を推進し、その役割を拡大させようとしている。(図 1)

一方で、経済がグローバル化し、コスト・質という面で多くの国が我が国と競争可能になっている現在、我が国優位な競争力を今後も維持していくためには、イノベーションを促進することが非常に重要であり、電子部品・デバイスの小型化・高性能化に大きく寄与している MEMS 技術は、その有力な手段である。そうしたことから、社会にイノベーションを起こし、将来の社会に革新的インパクトを与え、新たなライフスタイルを創造する未来デバイスの開発が不可欠である。そして、この未来デバイス実現のキーとなるのが、従来の延長線上ではない、不連続な進歩(ジャンプアップ)が期待される創造的な研究開発であり、わが国のお家芸である微細加工技術と近年進展著しいナノテク、バイオとの融合であるプロセスインテグレーションや、従来の半導体製造技術の応用ではなく高速、低コストで連続形成可能な新たな製造技術である。このため、将来の第 3 世代 MEMS である革新的次世代デバイス(BEANS: Bio Electromechanical Autonomous Nano Systems)の創出に向けた新たな基盤的プロセス技術群を開発し、プロセス技術群のプラットフォーム化を確立することを通じて、わが国産業の国際競争力の強化を目指すとともに、本事業の成果に基づき、新たな産業化を促進するための環境整備を行う必要がある。すなわち本プロジェクトは、20 年後の社会の国家的課題である「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る革新的デバイスを創製するために必要となる、トップダウンである微細加工プロセスとボトムアップであるナノ・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を狙いとする世界でも類を見ない壮大で挑戦的な試みであり、NEDO が関与する意義が高い。



図 1 第 3 世代 MEMS: BEANS の位置付け
(Bio Electromechanical Autonomous Nano Systems: 異分野融合型次世代デバイス及びその製造技術) 出典(財)マイクロマシンセンター

1.2 実施の効果(費用対効果)

本プロジェクトの成果を活用した革新的次世代デバイスとして超小型高感度センサがあげられるが、この超小型高感度センサは、我が国の産業が今後発展すると期待される分野である医療・バイオ、環境などに不可欠であり、幅広く活用・搭載されることで製品に競争力を与えるものであり、経済再生への貢献は大きい。本プロジェクトで開発する新規製造技術は、MEMS の機能を飛躍的に向上させ、グルコースモニタや膵島細胞移植などの成人病治療に貢献し、全自律分散電源や超高感度センサによるセンサネットワークの実現が可能となり、安全・安心・快適な生活をもたらす新たな産業が創出される。

本プロジェクトの研究開発項目①「バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発」では、バイオ・有機材料融合プロセス技術による革新的なデバイスを創出するための基盤プロセス技術を開発・確立することで、新しい糖尿病治療法の提供から医療経済性を改善するとともに、連続グルコースモニタの新市場を拡大し医療用生体モニタ全般の新市場形成に大きく寄与する。さらにここで開発するヘテロ組織化プロセスは、次世代の医薬品開発に大きく貢献する。

研究開発項目②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」では、わが国に豊富な技術の蓄積があるトップダウンアプローチによる3次元ナノ構造加工技術と、ナノテクに秀でたわが国の産業技術の中での得意分野である自己組織化プロセスを組み合わせることで、新たな製造技術のパラダイム創出、他国の追随を許さない基幹技術の創成ができる。このようなオンリーワン技術を保持し他国に対する技術水準の優位性を保ち続けることが、シリコン半導体で 1990 年代に発生した産業空洞化の悪夢を再発させないための最良の策である。とりわけ、ボトムアップ手法、自己組織化技術の活用は、製造プロセスの低コスト化、大面積化に本質的に適しており、高効率なプロセスによる競争力の強化が見込まれる。

また、MEMS 市場は、従来の電気・通信・自動車などの分野から、バイオや医療などの新規分野への拡大が見込まれているが、MEMS 技術は半導体製造技術をベースに発展してきたため、この分野への参入は異分野企業にとって非常にハードルが高い。特に、その製造には超精密な加工装置やクリーンルームなどの施設が必要とされ、設備投資コストが高くなる点も問題である。これらの問題を解決する技術として、研究開発項目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」では、非真空機能膜形成技術、製織技術という従来のシリコンベースの MEMS 微細加工技術にはない様々な新規技術を融合して、製造プロセスを開発する。この開発によって、ファイバ製造産業、プロセス装置産業、金型産業に新たな応用分野を提示することができる。

研究開発項目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」では、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とともに、MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトや高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトなどでこれまで蓄積した技術情報を統合的に取り扱える知識データベースシステムを開発する。その成果を広く公開することで、MEMS 経験の少ない企業でも参入しやすい環境を構築し、新規参入者の拡大と MEMS 事業者の増加による多様な革新的次世代デバイス製品が生まれることが期待できる。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

図 2 の MEMS 産業・技術ロードマップで示すように、MEMS は自動車、各種製造機器、情報機器、通信機器を中心に広範囲な分野において現在の小型・高性能単機能デバイスが既存部品を置き換えた第 1

世代から、2010年を目指し高集積化・複合化による多機能デバイスの創出を狙う第2世代MEMSの研究開発へと移行している。そして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第3世代MEMSの実現が不可欠である。

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。」と記載している。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。この革新的デバイス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。

このため、本プロジェクトは、サイエンスとエンジニアリングを融合させ、将来の革新的次世代デバイスの創出に必要な新しいコンセプトに基づき、基盤的プロセス技術群を開発し、かつ、そのプラットフォームを確立することを目的とする。

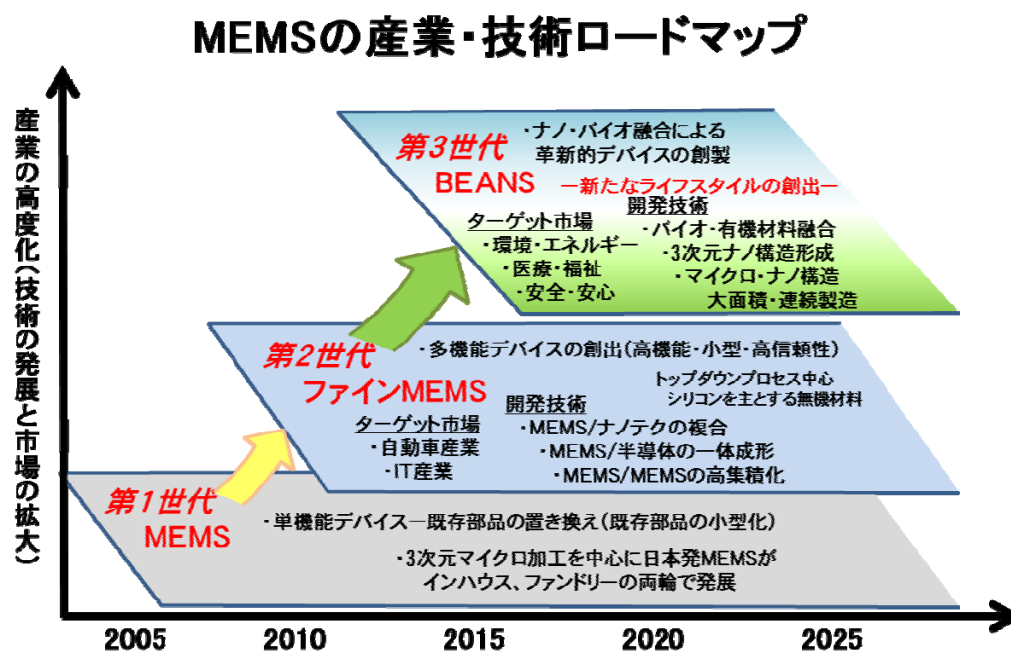


図 2 MEMS 産業・技術ロードマップ
(財)マイクロマシンセンターの資料を基に NEDO 編集

また、海外動向として、MEMS 分野最大の国際会議 IEEE/MEMS(IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems)の年度毎の技術分野別推移から、全体傾向と日本の特徴を述べる。図 3 は MEMS2013 における技術分野毎の発表件数の割合をグラフ化したものである。但し、MEMS2013 での分野 10「Bio MEMS」と分野 11「Chemical Sensors and Systems」は、前年度までは「Bio and Chemical Micro Sensors and Systems」(バイオ・化学センサシステム)と一つの分野であったため、前年度までのデータと比較できるようにグラフではこれらの分野に関しては一つにまとめている。発表件数が多い分野は、上位から順に、発表⑩バイオ・化学センサシステム、⑫マイクロ流体要素システム、⑥メカニカルセンサシステム、①製造技術、③材料・デバイス特性となっており、多少の順位の入替えはあるものの上位 5 位までは昨年度と同じ分野となっている。また、⑩バイオ・化学センサシステム、⑪

医療用マイクロシステム、⑫マイクロ流体要素システムといった、バイオ・化学系の発表が占める割合が増加する傾向にあり、これらの分野の要素技術やデバイス開発が MEMS 分野の大きな流れになっている近年の状況は、強まっているものと思われる。また、将来の革新デバイス実現に向けた、新たな製造技術や材料の研究においても、新たな研究成果が継続して発表されており、これは、BEANS の目指すところと一致している。

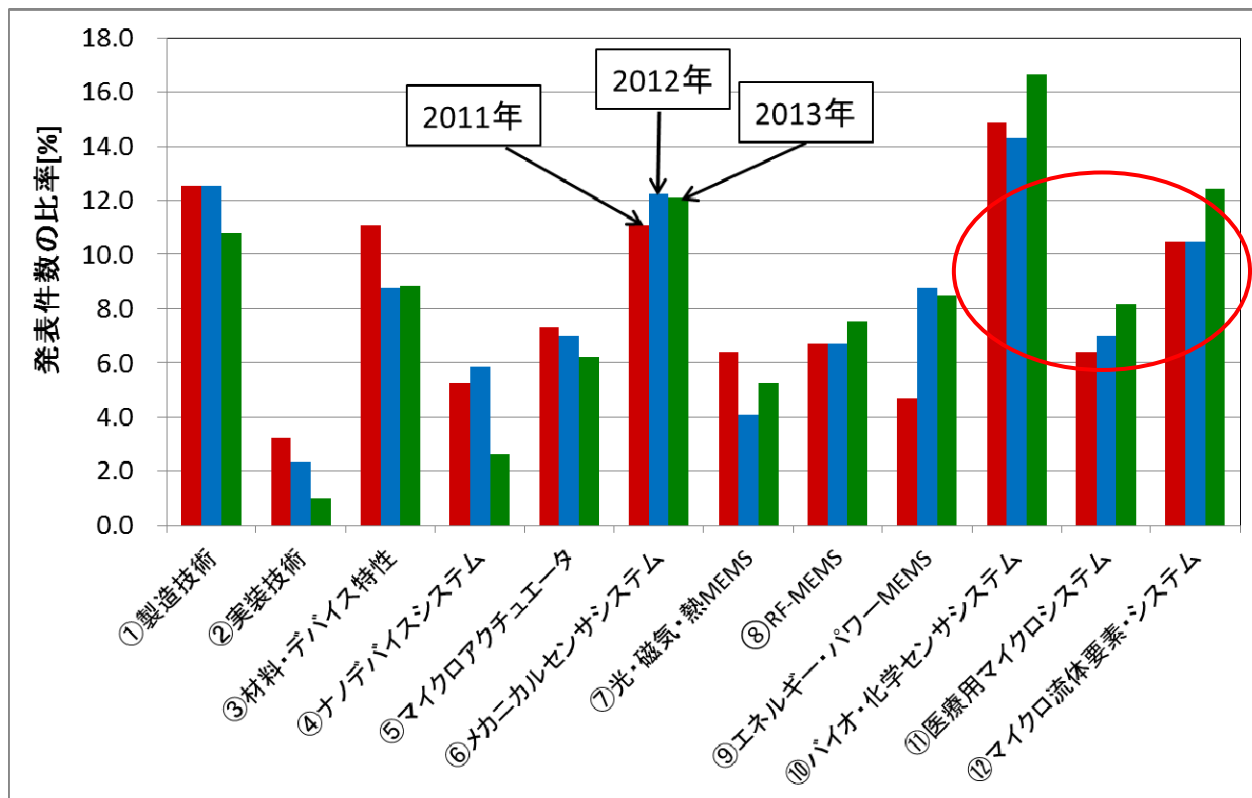


図3 MEMS2013における技術分野毎の発表件数比率の推移
(出典 技術研究組合 BEANS 研究所)

また、各分野における日本からの発表件数の割合の推移を図4に示す。日本の発表件数割合が特に多い分野は、⑩バイオ・化学センサシステム、⑥メカニカルセンサシステム、①製造技術、⑪医療用マイクロシステム等となっている。なお、②実装技術は、今年の発表割合が高くなっているが、全体の発表件数が3件と少ないため、対象から外した。逆に、発表が少ない分野としては、⑧RF-MEMS、⑨エネルギー・パワーMEMS、④ナノデバイスシステムである。全体的な傾向としては、日本が現在事業面で苦戦していると言われる既存のセンサ・デバイス分野から、将来の伸びが期待できるバイオ・化学センサや医療デバイス分野への日本の研究開発シフトが定着した状況である。また、これまで、エネルギー・パワーMEMS 分野は、日本が強みとする省エネルギー技術を用いたナノ・マイクロ技術が展開により世界をリードする分野になると期待されるが、現状では、日本の存在感は比較的低いものとなっている。

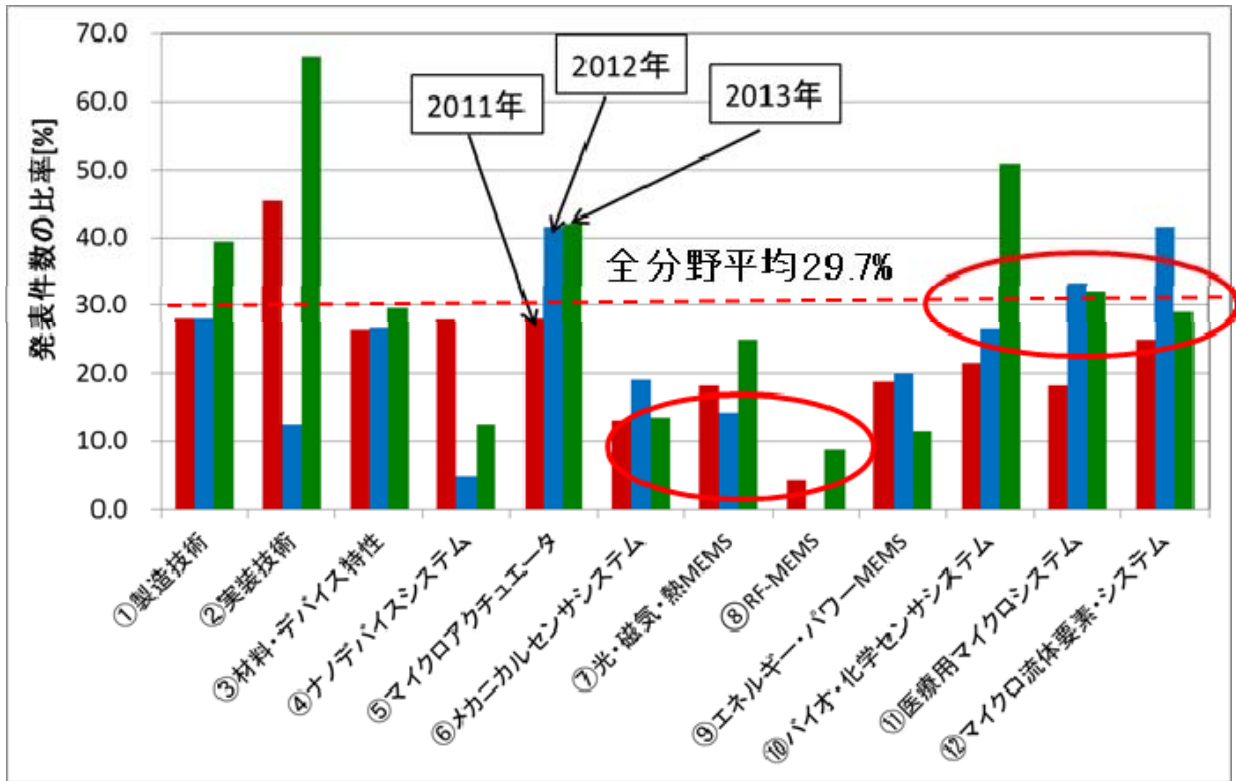


図4 MEMS2013 各分野における日本発表件数比率の推移
 (出典 技術研究組合 BEANS 研究所)

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

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、健康・医療・環境分野の次世代デバイス開発には、高感度、高効率、生体・環境適合などの機能や機構を実現する必要がある。このためには、従来のシリコンを中心とする無機材料に加え、生体分子、細胞、組織、微生物や合成有機分子などのバイオ・有機材料の持つ特異的な機能を活かす融合プロセスの研究開発が不可欠である。具体的には、各種材料の融合の際に、各々の優れた機能を発揮させるため、界面及びナノ間隙における制御プロセス技術が必要である。またデバイスとして機能するためには、バイオ・有機材料を体内などの使用環境において長期間安定させるためのプロセス開発が必要である。さらに、人工細胞・組織や高効率エネルギーハーベスティングを実現するために、同種または異種のバイオ・有機材料を高次構造化させるプロセスの開発が不可欠である。これには、微小器官や細胞の 3 次元ヘテロ組織化、有機材料のナノピラー構造やナノポーラス構造を形成するプロセスなどが該当する。

また、安全・安心・健康な社会を実現するためには、効果的なセンサネットワークを構築する必要があり、そのためには、センサの感度向上、省電力化、自立電源化、高い耐環境性が重要となる。さらに、効率的に広域を観測するためには、センサネットワークを拡大し、宇宙空間から観測網を実現することが重要である。そのための基盤技術として、高アスペクト比・高密度の複雑な3次元ナノ構造を形成する革新的構造形成技術、及びトップダウン手法により形成された構造にナノ粒子等のナノ材料の自己組織化を利用したボトムアップ手法により形成された構造を組み合わせた集積構造形成技術が必要となる。一方、上述した複雑な構造形成や革新的機能・諸特性の付与のためには、高アスペクト比・高密度3次元ナノ構造を超低損傷かつ十分なスループットで製造する技術、必要とされる部位に選択的にナノ材料を自己組織化させる技術、3次元ナノ構造表面を局所的に修飾する技術、3次元構造表面に均一にナノ構造を転写形成する技術、さらにこれらのプロセスを理論的に設計・制御する技術の確立が必要である。

さらに環境・エネルギー分野では、メータ級大面積エネルギーハーベスティングデバイスの大幅な低コスト化とともにマイクロ・ナノ構造搭載による高機能化が期待されている。また、ウェアラブル発電、安全安心ジャケット、シート型健康管理デバイス等の3次元自由曲面に装着可能な新形態のフレキシブルシートデバイスの実現が望まれている。これらの製造に際し、従来の半導体製造装置をベースとした製造技術の延長では、真空プロセス装置の大型化の限界、基板の大面積化の限界などの問題が顕在化してきている。将来のメータ級大面積デバイスの高機能化、低コスト化のためには、マイクロ・ナノ構造を有する高品位機能膜をメータ級の基板に真空プロセス装置を用いずに形成する製造技術の創出が必要となる。また、基板の大面積化を伴うことなく、メータ級のフレキシブルシートデバイスを実現する、製織技術などを活用した新たな製造技術の創出が重要である。

以上のように、MEMS 技術戦略マップによる 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。

具体的な目標としては、プロジェクト 3 年経過時点において以下の研究開発項目①から④の中間目標を、プロジェクト終了時において以下の研究開発計画項目の①から④の最終目標を達成することとする。

プロジェクト開始後3年目の2010年9月にプロジェクト中間評価を受けた。その時の指摘事項とその対応の詳細については、Ⅱ. 研究のマネジメントについて の 4. 中間評価への対応 で述べるが、「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を望む」と、指摘された。このため、最終目標を以下のように加筆・修正した。修正部分を下線で示す。なお、中間目標については、「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」事業原簿【公開】を参照されたい。
(<http://www.nedo.go.jp/content/100116672.pdf>)

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」

最終目標(当初)

1) ナノ界面融合プロセス技術

ナノ構造体表面で、生体分子、細胞、組織、微生物や合成有機分子の生体適合性、特異的分子認識能、高効率多段階反応能を発現させる。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、そのナノ間隙への材料充填及び表面平坦化プロセスを開発する。体内で連続3ヶ月以上機能するハイドロゲルなどのバイオ・有機材料、及び一日以上安定して高感度に生体分子計測を行う人工脂質二重膜の形成プロセスを開発する。界面構造最適化に向けたナノ界面融合プロセスのモデル化と解析を実施する。

2) バイオ・有機高次構造形成プロセス技術

バイオ・有機異種材料による3次元組立プロセス技術を確立する。また、径50nm以下の有機分子ナノピラー構造、100nm以下の均一ポアを有する有機分子ナノポーラス構造、ライン・アンド・スペース(L/S)=100nm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実現する。さらに、バイオ・有機高次構造形成プロセスのモデルを構築する。

最終目標(中間評価後)

1) ナノ界面融合プロセス技術

ナノ構造体表面で、生体分子、細胞、組織や合成有機分子の生体適合性、特異的分子認識能を発現させる。

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。

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。プロセスの有効性確認のため、まず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。また、陽極(透明導電膜)上へのナノ構造形成プロセスを開発し、光電変換デバイスの変換効率が20%向上することを示す。さらに陰極(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。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。

2) バイオ・有機高次構造形成プロセス技術

バイオ・有機異種材料による3次元組立プロセス技術を開発する。

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カ月の機能確認を実証する。

毛細胆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を用いて測定し、定量可能な代謝物量を抽出できる細胞の配置や添加物、培養日数を決定する。

また、径50nm以下の有機分子ナノピラー構造、100nm以下の均一ポアを有する有機分子ナノポーラス構造、ライン・アンド・スペース(L/S)=100nm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。開発されたナノ構造を熱電変換デバイスおよび光電変換デバイスに適用し、熱電特性(パワーファクター) $P = 10 \mu W m^{-1} K^{-2}$ 以上、および光電変換効率従来比20%向上することを示す。

研究開発項目②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」

最終目標(当初)

1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術

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)を実用的なエッチング速度により形成し、側壁の傾斜角や等方性・異方性をデバイス構造に対応して高精度に制御する。さらに化合物半導体や誘電材料、光学材料等に本技術を適用する指針を得る。

超低損傷3次元ナノ構造の形状をプロセス変数から予測・設計できるシミュレーション技術を構築し、工業化に対応した大面積基板において均一性を達成する技術指針と装置の基本設計を提供する。

2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術

3次元構造表面の特定箇所に対し、100nm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。その際必要となるナノ構造の接触物間作用力を実用的な精度で測定し、ナノトライボロジーモデルを構築する。また、3次元ナノ構造の微細溝や孔(ナノサイズの開口でアスペクト比が100以上)に、金属あるいは酸化膜を空隙なく埋め込む技術を確立する。

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、トップダウンにより形成された3次元構造に均一に100nmレベルのナノ構造を転写形成する技術を構築する。

さらに、3次元ナノ構造を形成したフィルタにより宇宙空間において複数の波長の光が選択的に検出できることを検証する手法を確立する。

最終目標(中間評価後)

1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術

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0.3um/min以上により形成するプロセスを開発する。

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。

シリコン以外の材料の検討としては、バイオチップ等に用いられる石英、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、水平方向、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。

2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術

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。

プローブ先端におけるナノトライポロジーモデルを構築するとともに、先端電極部を 100nm 以下まで微細化した耐摩耗マルチプローブを試作し、摺動距離 1m を経たプローブの接触抵抗値を 1Ω 以下に抑えられることを実証する。

3次元構造へのナノ粒子配列プロセス技術を開発し、ガスセンサに適用し、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。また、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。

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нда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し、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。また、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。

また、3次元ナノ構造の微細溝や孔(ナノサイズの開口でアスペクト比が 100 以上)に、金属あるいは酸化膜を空隙なく埋め込む技術確立する。

研究開発項目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」

最終目標(当初)

1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

局所雰囲気制御下での材料の塗布プロセスや自己組織化プロセスなどの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、マイクロ・ナノ構造を構成する機械的機能膜を、実用的な成膜レートで形成可能とするプロセスを確立する。また、この高品位機能膜形成装置をメータ級の面積積基板上にスキヤニングして、上記高品位機能膜を膜厚均一性 $\pm 10\%$ 以下、パターンニング分解能 $200\mu\text{m}$ 以下、及び現行真空装置による製造時間以下で大面積基板に形成可能とするプロセスを確立する。さらに、それを実現する装置仕様を決定する。

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、上記非真空薄膜堆積プロセスにより、電子的機能膜、マイクロ・ナノ構造を構成する機械的機能膜、及び発光、反射・屈折率などを制御する光学的機能膜を、実用的な速度で形成するプロセスを確立する。また、ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造を加工速度 $20\text{m}/\text{min}$ 以上で形成するプロセスを実現する。さらに、3次的に変形させても機能するシート型デバイスを実現する製織集積化プロセスを確立する。

最終目標(中間評価後)

1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

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、メーター級の面積基板の上にスキニングして、膜厚均一性 $\pm 10\%$ 以下及び現行真空装置以上の成膜速度 $60\text{nm}/\text{分}$ で大面積基板に形成可能とするプロセスを確立する。さらに、それを実現する装置仕様を決定する。

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、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。

また、繊維状基材に3次元ナノ構造を加工速度 $20 \text{ m}/\text{min}$ 以上で形成するプロセスを開発する。

さらに、タッチセンサ、超音波アレイや発電シートなどさまざまなデバイスに対応する汎用的な素子実装技術と製織技術を開発し、デバイス面積 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 以上で3種類以上の素子が密度 $400 \text{ 個}/\text{m}^2$ で集積されたメートル級布状デバイスを実現する。

研究開発項目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」

最終目標(変更無し)

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とともに、MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトや高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトなどでこれまで蓄積した技術情報を統合的に取り扱える知識データベースシステムを開発する。また、蓄積するデータ数は1500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。

研究開発項目⑤「高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発」

平成22年度事業終了 平成23年事後評価完了

最終目標(変更無し)

① 高機能センサネットシステム開発

検証用のクリーンルームにおいて、従来比(1990年比)CO₂削減60%のセンサネット制御システムを開発する。また、一辺30mm、厚み10mm以内に複数のMEMSセンサと処理回路、無線回路、エネルギーデバイスとの融合を想定したセンサモジュールプラットフォームを作製する。

② 低環境負荷型プロセス技術開発

現状のSF₆ガスに対し、複数の代替候補ガスを調査・検討し、温暖化ガス排出量を90%以上削減可能とする最適代替ガスの選定指針を得る。また高機能デバイス薄膜の集積化に関し、250℃以下で大気圧付近から真空中で封止できる接合方式を決定する。さらに生体適合性ポリマーを用いたMEMS製造プロセスにおいて、シミュレーションを用いて機械特性などの機能数値を具体的に示す。

大口径MEMS用試作ラインにて、センサ用途等TEGの設計および試作を複数種類行い、歩留まり、生

産性、効率性のデータとデバイスの動作を妨げる製造装置、製造プロセス、デバイス構造起因の欠陥・ばらつき等の課題を抽出する。研究開発項目②「3次元ナノ構造形成プロセス技術開発」の成果である中性粒子ビームエッチングをセンサTEGに適用し、デバイス性能への効果を検証する。

設計・計測・ファブ環境情報において共有化する情報を類型化し、データ共有化のためのデータフォーマット、それに付随する基本ソフトウェアの開発を行い、MEMS-TEGを用いてデータ交換および設計手法の検証を行う。また、クリーンルームおよび製造・検査装置に関わる消費エネルギー、二酸化炭素排出量など環境情報の収集管理の方法を決定する。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

前述した 1.事業の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、以下の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。本研究開発の実施期間は、平成 20 年度から平成 24 年度までの 5 年間である。ただし、平成 20 年度は経済産業省の直執行事業であった。

また、実用化まで見通した研究開発ロードマップを図5に示す。プロジェクト期間中、前半の3年間は、各プロセス要素技術の蓄積に努め、後半の2年間は、プロセス基盤技術としてその有効性、汎用性を確認する上でも、産業上で有用、あるいは有望な応用デバイスを想定し、そのデバイス実証研究を主に進めるようにした。プロジェクト終了後は、参画していた企業の研究員が集中研から各企業にその成果を持ち帰り、企業で実用化研究をすることになっている。技術の内容により、実用化時期は異なるが、早いものでは、終了後3年で実用化までたどり着けそうなテーマもある。また公的資金による研究であるので、その成果である知的財産権と知識データベースについては、2013 年から公開予定である。詳細は Ⅲ. 研究開発成果 で記載する。

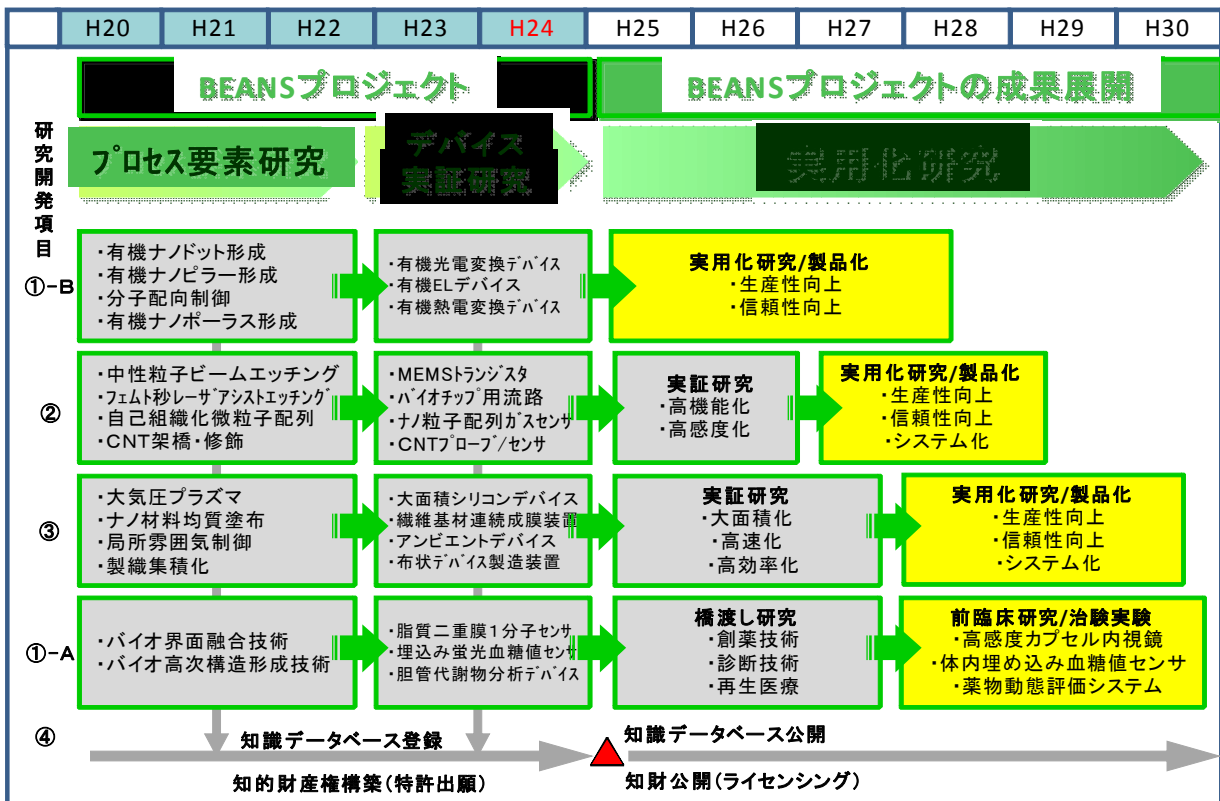


図5 プロジェクト研究開発ロードマップ

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」

次世代の健康・医療・環境分野で必要とされているデバイス開発には、高感度、高効率、生体・環境適合などの機能や機構を実現する製造プロセスが必要である。このため、従来のシリコンを中心とする無機ドライ材料に加え、合成有機分子や生体分子、細胞、組織、微生物などのバイオ・有機材料の持つ特異的な機能を活かす融合プロセスの研究開発が不可欠である。そこで、本研究開発項目では、これまでMEMSプロセスで扱うことが困難であった、バイオや合成有機材料をデバイス内で機能する素子として扱えるように加工し、利用

する基盤プロセスを確立する。具体的には、以下の2つの開発テーマに分類し、脂質膜、ハイドロゲル、細胞や微生物および合成有機材料をマイクロシステム中で自在にハンドリングする技術を開発する。また、開発の概要を図6、7に示す。



図 6 バイオ材料融合プロセス技術の開発概要
 出典 技術研究組合 BEANS 研究所

①-B 有機材料融合プロセス技術の開発

低コスト・大面積化による工業化が可能な有機半導体層製造プロセス開発
100 nm程度の有機半導体構造形成

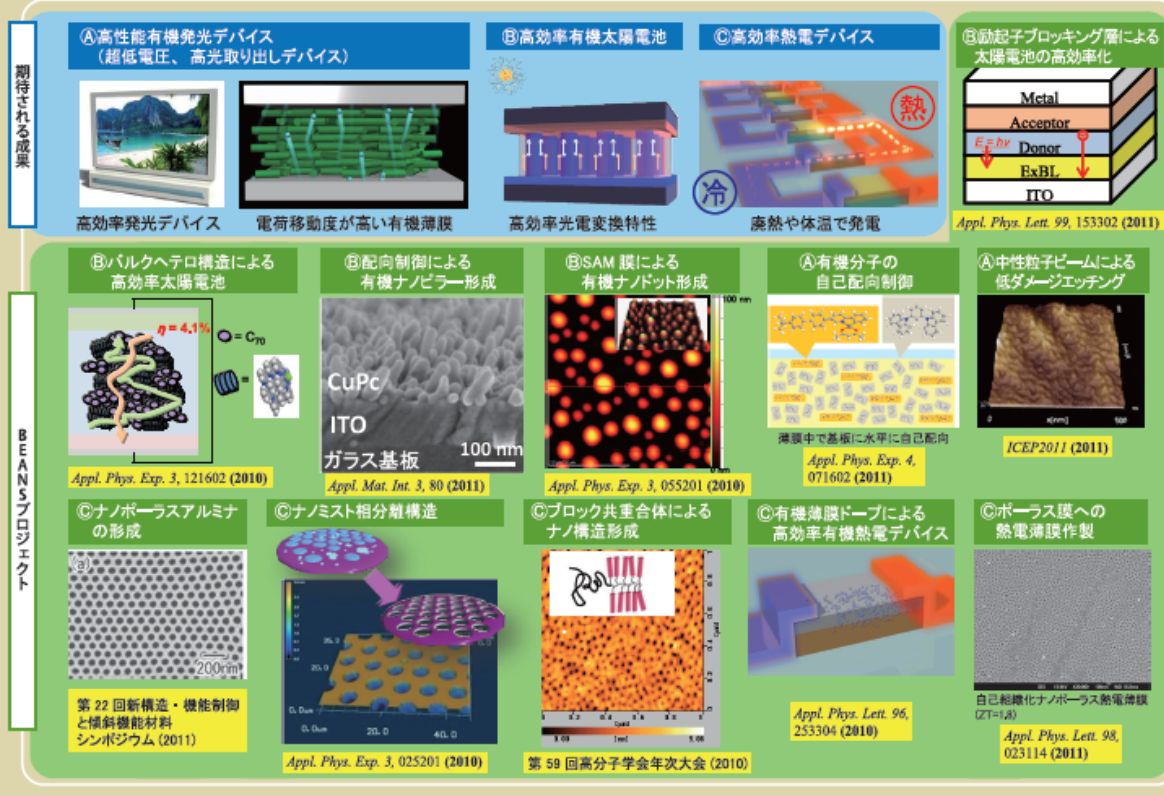


図 7 有機材料融合プロセス技術の開発概要
出典 技術研究組合 BEANS 研究所

研究開発項目②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」

安全・安心・健康な社会を実現するマイクロデバイスの感度向上、省電力化、自立電源化、情報通信・記録の大容量化が求められている。そのための基盤技術として、シリコン・ガラス等の3次元構造に無機・有機のナノ構造材料を集積し、シリコンのみでは得られない機能を発現させる必要がある。また安全・安心な社会の実現のために、宇宙空間からの広域、高感度な観測網が必要とされ、観測用マイクロデバイス(赤外センサ)の感度向上やマルチバンドの赤外觀測の必要性が高まっている。本研究開発では、超低損傷の革新的エッチングプロセスにより高アスペクト比・高密度の複雑な3次元ナノ構造を作製し、原子層レベルでの表面平滑性を実現する。これにより、ナノ材料の自己組織化を利用したボトムアップ構造形成技術を、複雑な3次元構造に対して展開することを可能にする。開発の概要を図8に示す。

研究項目② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発

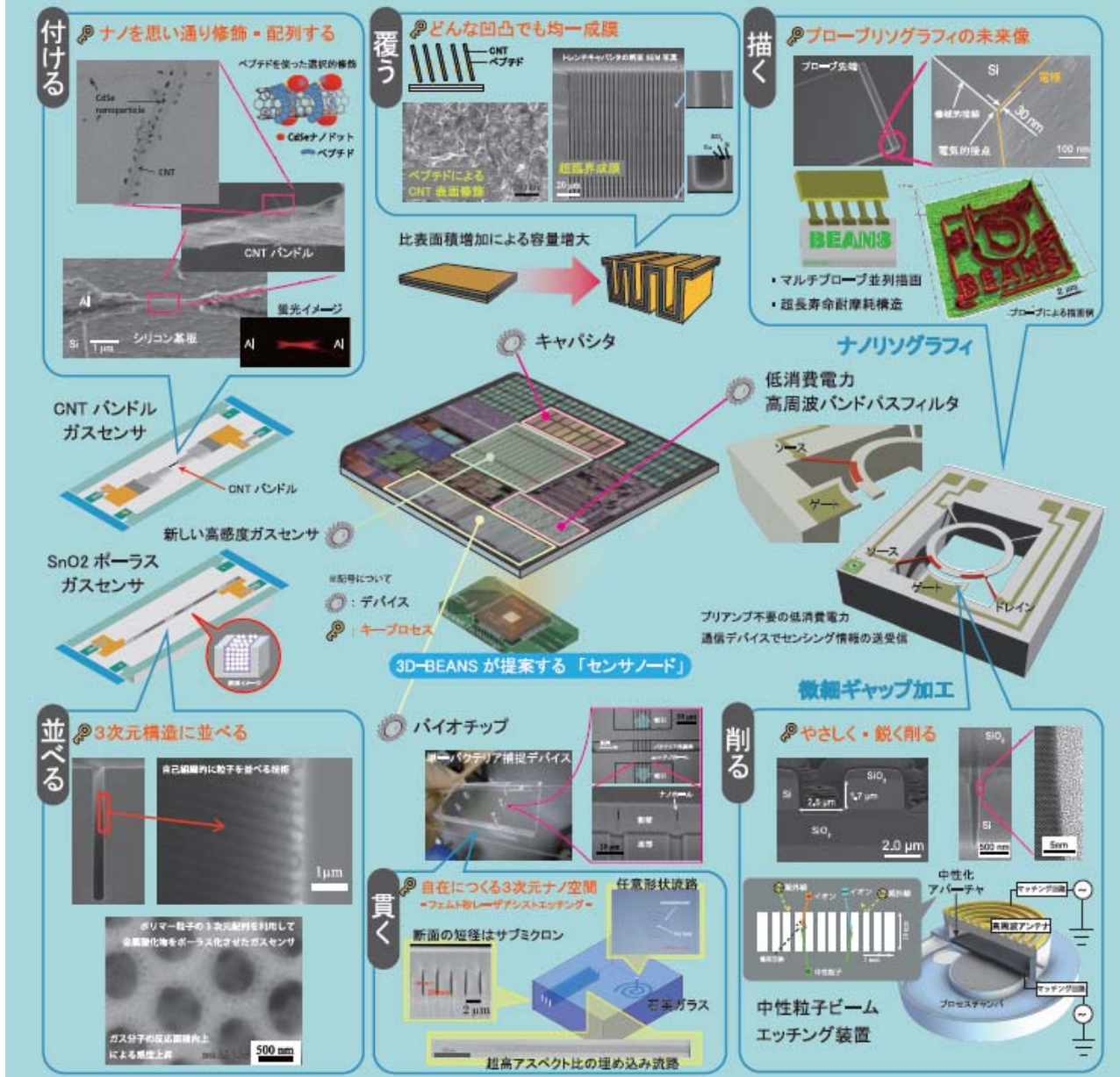


図8 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発概要
出典 技術研究組合 BEANS 研究所

研究開発項目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」

環境・エネルギー、健康・医療分野では、メータ級大面積エネルギーハーベスティングデバイス的大幅な低コスト化とともにマイクロ・ナノ構造搭載による高機能化が期待されている。また、ウェアラブル発電、安全・安心ジャケット、シート型健康管理デバイス等の3次元自由曲面に装着可能な新形態のフレキシブルシートデバイスの実現が望まれている。これらの製造に際し、従来の半導体製造装置をベースとした製造技術の延長では、真空プロセス装置の大型化の限界、基板の大面積化の限界などの問題が顕在化してきている。将来のメータ級大面積デバイスの高機能化、低コスト化のためには、マイクロ・ナノ構造を有する高品位機能膜をメータ級の基板に真空プロセス装置を用いずに形成する製造技術の創出が必要となる。また、基板の大面積化

を伴うことなく、メータ級のフレキシブルシートデバイスを実現する、製織技術などを活用した新たな製造技術の創出が重要である。上記を踏まえて、本項目では「非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術」と「繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術」を開発する。開発の概要を図9に示す。

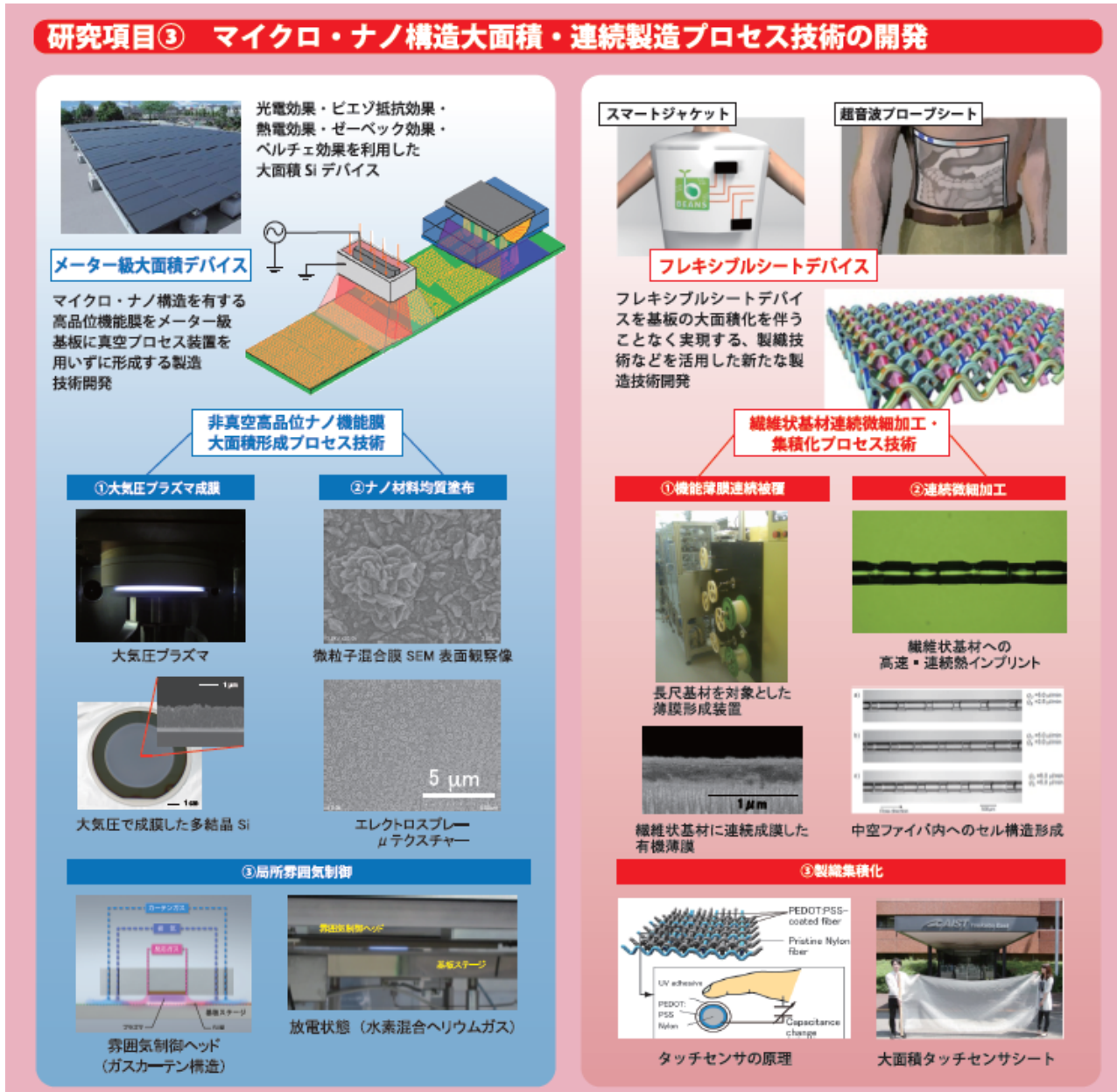


図 9 マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発概要
出典 技術研究組合 BEANS 研究所

研究開発項目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」

異分野融合型次世代デバイス製造技術の開発の成果あるいはこれに関連する新たな知見については、これら革新的 MEMS の開発を目指す企業研究者・技術者が容易に利用できるにより、新製品開発・実用化や新たな産業の創造に資することが期待される。そこで、本研究開発項目では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とともに、異分野融合型次世代デバイス製造技術関連技

術者が容易に利用、閲覧可能なデータベースシステムを構築する。開発の概要を図10に示す。

BEANS関連技術情報DBシステム

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

● 研究のポイント

- ・異分野融合型次世代デバイス製造技術の研究開発に係る、新たな知見の集約・データベース化
- ・集約した知識データをユーザへ提供するためのシステムの構築
- ・従来のMEMS関連プロジェクトで培った技術情報との統合化

● 背景とねらい

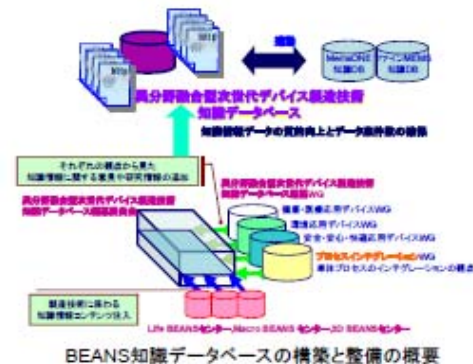
- ・プロジェクト期間終了後に知識データベースを公開
- ・異分野融合型次世代デバイス製造技術に関する新たな知見を企業研究者・技術者へ提供
- ・革新的MEMS技術を利用した新製品開発等、産業の創造に貢献

● 成果

- ・異分野融合型次世代デバイス製造技術に関する知識データ収集用システムを構築
- ・知識データベース編纂委員会、及び4ワーキング・グループにより、カテゴリ分類に基づく技術の体系化
- ・2012年6月現在、1390件の知識データを蓄積(110件以上の登録により、最終目標1500件は達成見込)

BEANS知識データベースシステムの機能

- ・知識データへのアクセス
 - 知識データのカテゴリ分類に基づく情報提供
 - 類似記事表示機能、お薦め記事表示機能
 - タイトル、記事内のキーワードによる検索
- ・編集者支援
 - テンプレートによる知識データ編集支援
 - 各種マニュアルの整備
- ・各種ユーザ設定の変更



異分野融合型次世代デバイス製造技術のカテゴリ分類

類似記事表示による関連知識データ情報の提供

図 10 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概要

出典 技術研究組合 BEANS 研究所

2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等から公募によって研究開発実施者が選定され、大学や公的研究機関を中心に企業等が参画する集中研方式で平成20年度に経済産業省の直執行プロ

プロジェクトとして開始され、平成 21 年度より NEDO 委託により実施している(図 11)。集中研方式にしたのは、研究空間を集中させることにより相乗・融合効果を発揮させるためである。また、革新的次世代デバイスの創出を促すため、大学・国研のシーズと企業のニーズの連携により異分野技術を融合させたテーマを設定した。さらに、プロジェクトリーダー(PL)に民間企業研究所長経験者の遊佐厚氏を起用し、企業マネジメントを取り入れ、研究成果や出口を明確に意識したマネジメントを実践している。本プロジェクトは、各大学、産業技術総合研究所と共同して 5 カ所の研究拠点(BEANS センター)を設けている(12)。これは、大学や独法研究所が保有する知の活用と既存の研究設備の有効利用を図るためであり、集中研方式のプロジェクト一体運営の利点と分散研方式の研究資源の有効利用と云う双方のメリットを取り込むことで、研究推進の加速・効率化を目指している。これらは従来の NEDO プロジェクトにはみられない新しい産官学連携モデルになるものと思われる。また、この研究拠点リーダーとして若手研究者を抜擢し、次世代リーダーの育成も推進している。本プロジェクト参画研究員の各研究拠点配置構成および研究員出身機関別構成を図 13 に示す。図 13 に示すように総研究員数は 80 人(H24 年度)であり、産官学連携のバランスのとれた構成となっている。

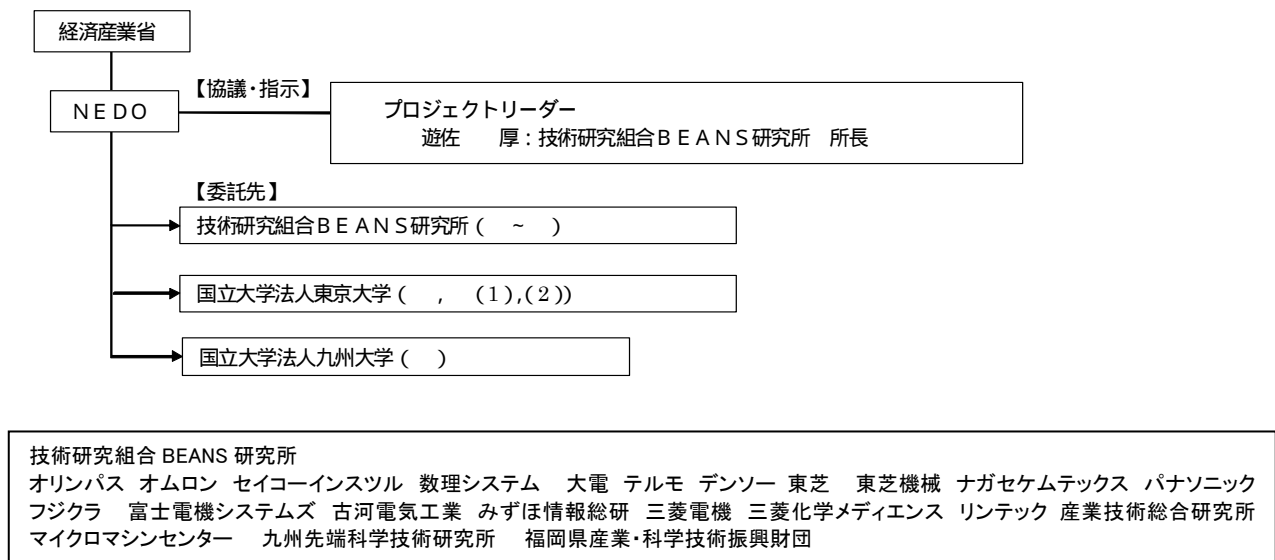


図 11 実施体制図(H24 年度)

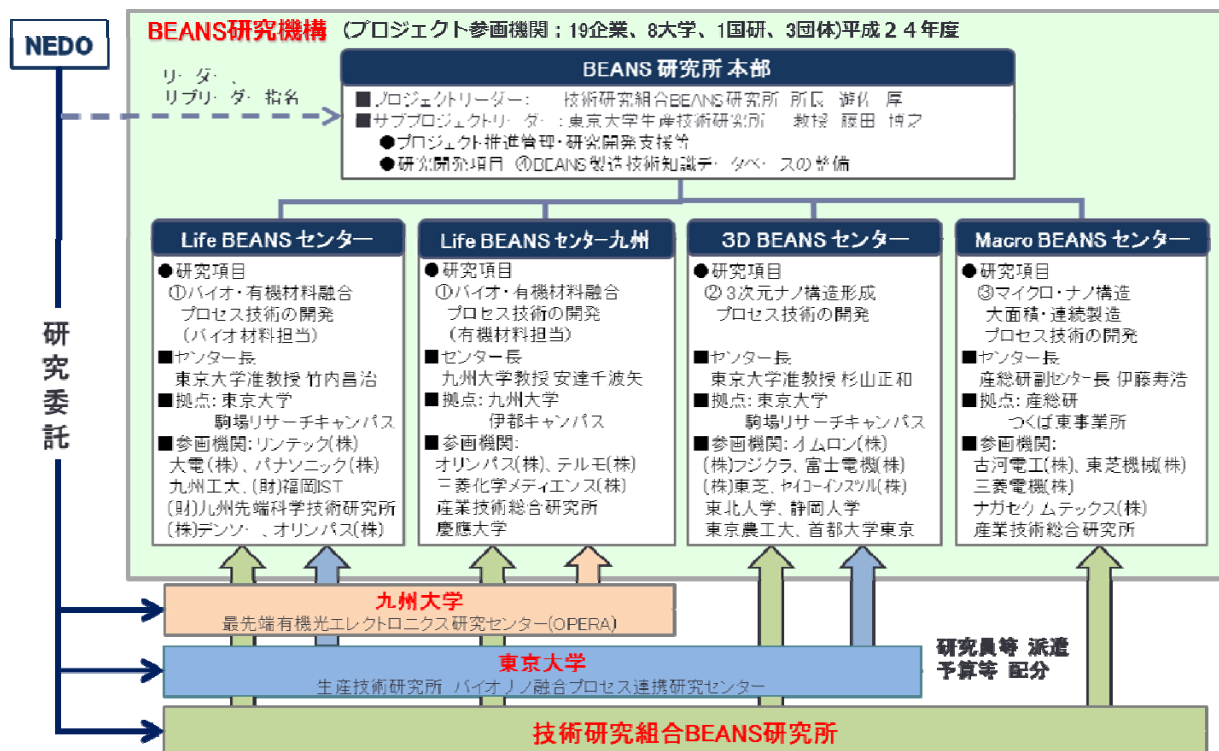


図 12 研究拠点 (H24 年度)

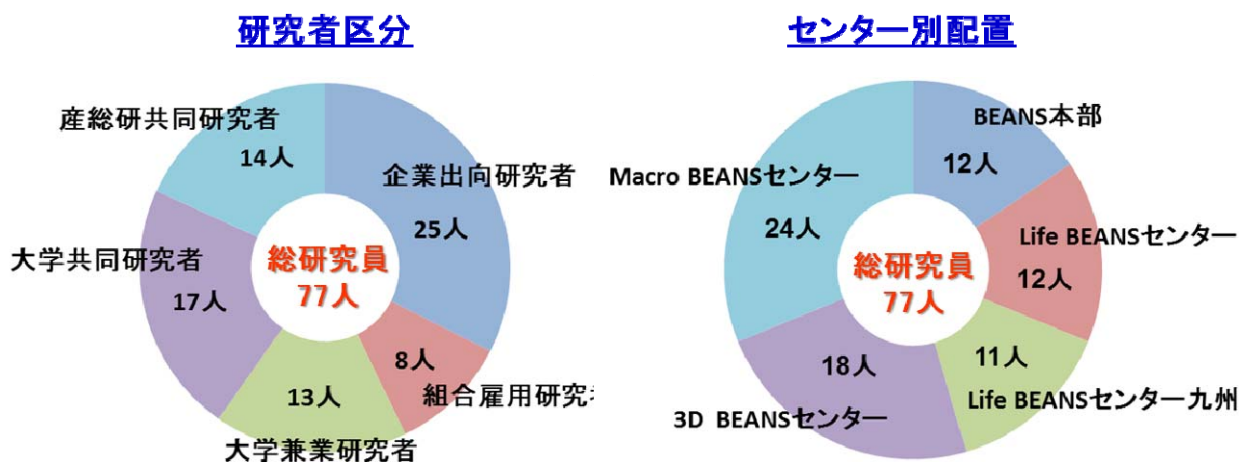


図 13 BEANS プロジェクト研究員構成と人的資源(H24 年度)

2.3 研究開発の運営管理

プロジェクト立ち上げから終了までの歴史を図14に示す。主なマネジメント行為とその結果もたらされた効果をまとめて示す、なお本プロジェクトは立ち上げから終了まで1人の主査が担当した。

| プロジェクトの運営・管理 | | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|------|
| H19 | H20 | H21 | H22 | H23 | H24 | H25 |
| 立上げ | METI直執行 | プロセス要素研究 | | デバイス・装置実証研究 | | 事後評価 |
| PLとの密な連携(週1回) | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> 調査委員会立ち上げ パブリックコメント吸収 全体目標の設定 ⇒プロジェクト基本計画策定 採択委員選定 ⇒実施者公募と採択委員会 | <ul style="list-style-type: none"> PL,METIと連携し、プロジェクト運営体制構築 実施計画照査 NEDO移管後の実施体制 実施方針の策定 ⇒技術研究組合化 スムーズなNEDO移管 | <ul style="list-style-type: none"> 進捗確認と加速テーマ抽出 ⇒実用化加速のためのスピニングアウト(宇宙適用) 補正予算によるBEANS成果活用した研究開発項目の追加 ⇒プロセス有効性検証のため、実証研究(センサネットワーク) | <ul style="list-style-type: none"> 中間評価 ⇒基本計画変更 各社ヒアリング 開発テーマ統合 デバイス実証研究に資源の重点投入 実用化加速のためスピニングアウト(超臨界成膜) | <ul style="list-style-type: none"> 知財マネジメント強化 ⇒BEANS成果利用ガイドラインの策定 プロジェクト成果の積極的発信 ⇒各種受賞実績増加 | <ul style="list-style-type: none"> 開発成果促進(赤外共鳴アンテナ) 新規組合員企業加入による実証研究加速(有機材料) プロジェクト終了後の各社意向確認(成果懇談会) ⇒プロジェクト終了後の実用化促進 ⇒知覚データベース登録 1562件 | |

図14 プロジェクトの運営管理

また、研究開発の運営管理の基本方針(図 15)として「融合とオープン」というキーワードを掲げ研究開発を実施している。ここで、「融合」とは、“異分野領域技術の融合”、“先端研究拠点間の連携”、“企業マネジメントと先端研究との融合”などを示し、従来は難しいとされている融合研究体制に挑戦することを目標としている。また、「オープン」では、研究課題が前競争研究領域であることを生かし、学術的成果やデータベースを広く公開することを目的としている。

BEANSプロジェクトの方針



図 15 プロジェクトの運営管理の基本方針

また、本プロジェクトの目的・目標達成に向け、プロジェクトを円滑に推進するために、PL と密に連携し、進捗管理・調整、技術的課題の検討・対策等を目的とした各種会議体を設置・企画し、適切な運営を行っている（図 15 と表 1 参照）。

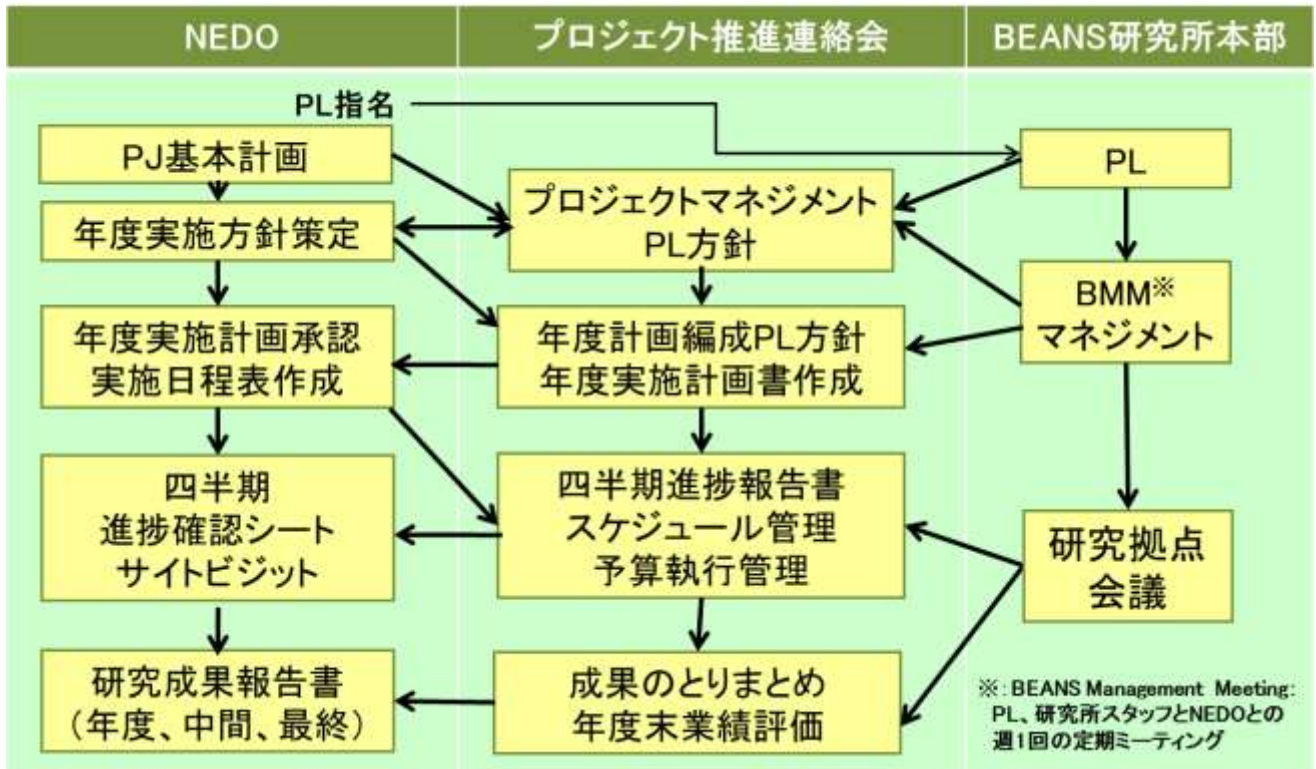


図 16 プロジェクトの運営・管理

表 1 プロジェクトの運営体制

| | | |
|-------------------------------|--------|---|
| プロジェクト推進連絡会 | 1回/4半期 | プロジェクトの目的・目標達成に向け円滑な推進を促すため ・研究開発拠点別の進捗状況の把握、研究開発拠点間の調整、産業化に向けた環境整備活動 ・各委員会の決議事項の承認 |
| 研究拠点会議 | 1回/2ヶ月 | ・研究拠点リーダー(センター長)とPL, NEDOとで、研究開発項目別の進捗管理、実施内容の議論 |
| サイトビジット | 1回/半年 | ・各研究拠点の研究現場において、NEDOのプログラムマネージャ(PM)と、PL, NEDO, 研究拠点リーダー(センター長)とで、研究進捗、ユーザーズを踏まえた事業戦略等について意見交換 |
| BEANS Management Meeting(BMM) | 1回/週 | PL, スタッフ, NEDOとでプロジェクトマネジメントについて議論 |

2.3.1 研究開発マネジメントの運営体制

研究開発拠点別 5 センターの進捗状況の把握、研究開発拠点間の調整、産業化に向けた環境整備活動、各委員会の決議事項の承認を目的として、3 か月に一回の頻度でプロジェクトの運営の意志決定を行う「プロジェクト推進連絡会」を実施開催した。この連絡会では、各研究拠点リーダー(センター長)による進捗報告を、ガントチャート(図 17)及び四半期進捗報告書(図 18)を用いて行うよう求めた。これはプロジェクト進捗の「見える化」を実現する方法として、研究開発の予定に加えて、実際の進捗状況と遅延理由とその対策などを記入することで、プロジェクトや研究開発の進み具合を管理することを狙ったものである。尚、プロジェクト推進連絡

会の開催に当たっては、BEANS 研究所が事務局となり、開催案内の送付や議事録の作成などを行った。

このプロジェクト推進連絡会開催に合わせ、四半期毎に「研究進捗確認シート」(図)の作成・提出を各研究拠点リーダーに求めた。本シートは、研究を実施する事業者、プロジェクトリーダー、NEDO 担当者の各々が、「進捗状況(計画との対比)」と「成果実用化の見通し」を、SABC の 4 段階で自己評価を実施(絶対評価)し、上記 2 軸では判定できない研究レベルの高さ・難易度や経理処理の適正さ、実用化の本気度などを「総合評価」の項目にてトータルで判定するもので、現状の課題を「見える化」して議論の土台を形成した。

また、2 か月に 1 度程度の頻度で研究拠点リーダーと PL, NEDO とで、「研究拠点会議」を各研究拠点で開催し、研究開発項目別の進捗管理、実施内容の議論を行った。また、半年に 1 度、実際の研究現場において、NEDO のプログラムマネージャ(PM)と、PL、NEDO、研究拠点リーダー、およびその現場の研究者とで、研究進捗、ユーザーニーズを踏まえた事業戦略等について膝詰めで意見交換をした。

さらにプロジェクトの効率化、すなわち研究開発の効率化、最適化を図るため、NEDO と PL(BEANS 研究所長)、研究所長をサポートする副所長以下研究所スタッフとの BMM(BEANS Management Meeting)を週 1 回開き、「コミュニケーション」と「情報の共有」をし、実施者側の業務負担の低減に努めた。

(資料シート-2)

マイクロ・ナノ構造大規模・連続製造プロセス技術の開発

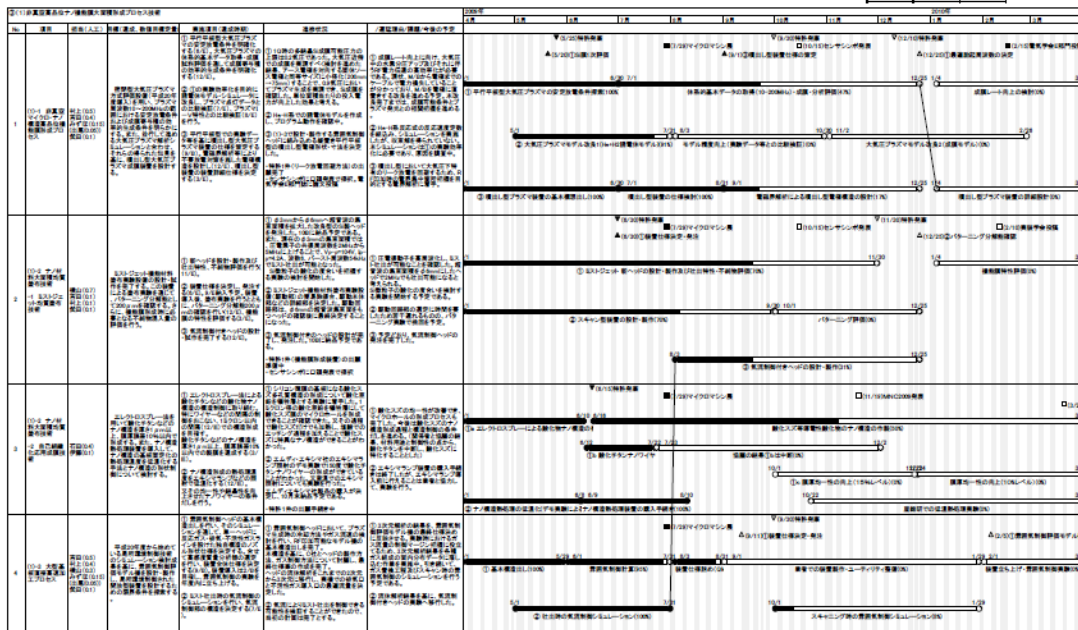
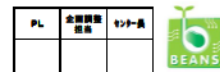


図 17 ガントチャート



1. 進捗

膜:

- ・VEGF結合領域を持つKcsAのイオンチャネル電流計測に成功
- ・ガラスデバイスでKcsAのイオンチャネル電流計測に成功

ゲル:

- ・貼り付け型により腫れのない装着に成功
- ・3日間連続して装着可能な装置を開発、連続計測に成功

細胞:

- ・ヒト肝細胞による胆管形成&制御に成功
- ・ガス透過膜プレートの製品化。営業開始。

2. 予算執行状況

実績/計画 (単位:千円)

平成25年01月18日

| 委託先 | 東京大学 | | BEANS研究所 | |
|-----------|---------------|------|---------------|-----|
| 機械装置等費 | 12,687/6,000 | 211% | 5,380/- | - % |
| 労務費 | 19,108/32,340 | 59% | 15,852/21,605 | 73% |
| その他経費・外注費 | 24,946/22,400 | 111% | 34,729/40,545 | 86% |

3. 成果

実績/計画(件数)

特許: 4(3)/7
論文: 1/6
学会: 14/9
受賞:
広報:

4. 設備導入状況

図 18 四半期進捗報告書

| 部長 | PM | 主研 | 島総括 | 担当 | PL(SPL) | 作成者 |
|----|----|----|-----|----|---------|-----|
| | | | | | | |

研究進捗確認シート【H22年3月末】

作成日:H22年 3月 19日

| | |
|---------|---|
| 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(BEANSプロジェクト) |
| 担当テーマ名 | 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プロジェクト推進及び研究支援 |
| 事業者名 | 技術研究組合 BEANS研究所 |
| 最終目標 | 研究開発項目に関わる新たな知見を系統的に蓄積してデータベース化するとともに、MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトや高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトなどでこれまで蓄積した技術情報を統合的に取り換える知識データベースシステムを開発する。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。 |
| 中間目標 | 蓄積するデータ数は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。 |
| 年度目標 | ④(1)平成20年度に実施したデータベース・システムの詳細設計を完了し、BEANS知識データベース・システムを構築する。 ④(2)各BEANSセンターにおける研究成果および国際会議等への参加等による知識データを蓄積、および委員会、4WGによりカテゴリ分類の変更・追加から充実化を図る。 ⑤(1)委員会活動の企画・サポート、企業・大学・研究所間の技術調整、成果の普及・標準化に関する業務を行う。 ⑤(2)展示会、講演会、発表会、セミナー、ホームページ等での発表を通じてBEANS技術の普及・広報を図る。 |

| | | |
|--------------|---|--|
| 進捗状況(計画との対比) | (具体的内容を記載のこと。評価B、Cの場合は下記「今後の懸念事項と対策」の項目へ対応策を記載のこと。) | |
| 事業者 | S | 知識データベース・システムの知識データのカテゴリ分類表示について、視覚的に分かり易いマップ表示と表形式表示を可能とした。また、知識データの充実化と編纂のWGにおいて、知識データ蓄積、充実化を実施し、3/19現在、中間目標値の500件以上である511件の知識データを登録済である。さらに、登録内容について知識データベース編纂委員会にて報告・審議した。各種委員会に関しては、④(1)委員会活動の企画・サポート、企業・大学・研究所間の技術調整、成果の普及・標準化に関する業務を行う。 ④(2)展示会、講演会、発表会、セミナー、ホームページ等での発表を通じてBEANS技術の普及・広報を図る。BEANS特許の認定を行って、23件(LBC:4, LBC九州:4, 3BC:5) |

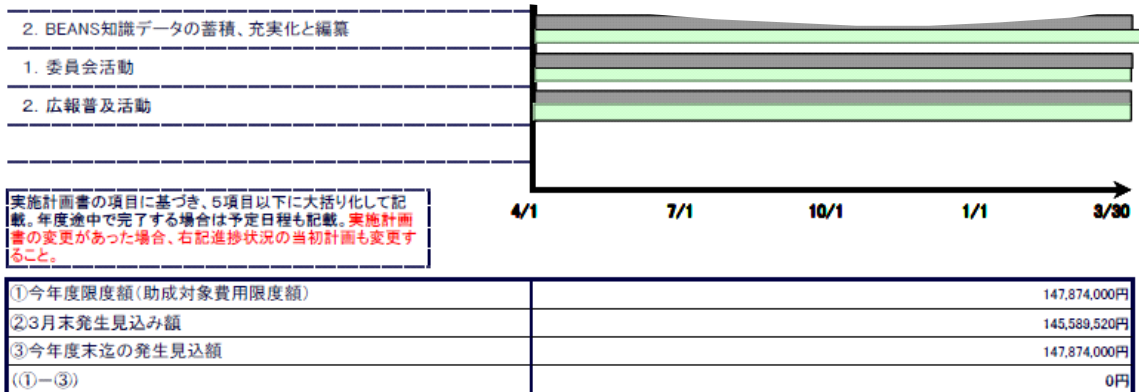


図 19 研究進捗確認シート

2.3.2 委員会活動

本プロジェクトの目的・目標達成に向けてプロジェクトの円滑な推進を図るため、進捗管理・調整、技術的課題の検討・対策等を目的として、「BEANS プロジェクト推進連絡会」のもと下記委員会を設置し、当該委員会活動の企画・サポート、プロジェクト参画企業・大学・研究所間の技術調整、成果の普及・標準化に関する業務を行っている。各委員会の開催頻度は4半期毎とし、各委員会の狙いと各年度ごとの開催数は、表2の通りである。

表 2 プロジェクトの委員会体制

| 委員会 | 目的 | 開催数 | | | | |
|-------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | H20 | H21 | H22 | H23 | H24 |
| プロジェクト推進連絡会 | プロジェクトの目的・目標達成に向け円滑な推進を諮るため ・研究開発拠点別の進捗状況の把握、研究開発拠点間の調整、産業化に向けた環境整備活動 ・各委員会の決議事項の承認 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 技術研究委員会 | ・ BEANSプロジェクトに研究員を出向させている企業の研究マネージャとBEANS研究所責任者、及び研究員からなり、企業ニーズを踏まえた研究推進の方策を検討する。 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 知識DB編纂委員会 | ・ 研究開発項目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ため設置し、各WG、BEANSセンターが作成する知識データ等を基にした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指導する。 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| シミュレーション委員会 | ・ 本プロジェクトの各BEANSセンター(Life、3D、マクロ)で遂行されるモデル化・シミュレーション研究開発について、①進捗報告 ②各BEANSセンター遂行の共通化可能部分の議論と実現に向けた対応策の検討を行う | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 知財委員会 | プロジェクト成果である特許を第3者に使いやすくするために、ワンストップ・ライセンス体制の構築の整備、ガイドラインの策定等を行う | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 |

2.4 研究成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

2.4.1 事業化を意識した知財マネジメント

本プロジェクトの成果を事業につなげるためには、特に知財マネジメントが重要と認識している。BEANSプロジェクトの知財管理の考え方を図6 知財の活用を効果的に促進させるためのマネジメント に示す。

(1)知財の帰属

- ・ 創出した知財がBEANS研究の成果かどうかは「知的財産審査会」で検討しBEANS研究成果であると認められた場合、特許出願については強い権利を取得すべく、権利方向性を定めている。図 20 に研究成果の出願及び外部発表フローチャートを示す。
- ・ BEANS 研究で発生した知財は原則、研究者所属機関が権利者であり、費用負担は権利者が行う。ただし大学に権利が属する場合、費用負担は他の共同研究先である企業が引き受ける。

(2)成果管理・権利活用方式

- BEANS 特許として取得された知財は BEANS 研究所にサブライセンス権付きの非独占通常実施権が付与される。BEANS 研究所は「一括管理方式」のライセンス機関として権利活用を推進する。詳しくはⅢ. 研究開発成果について 1.事業全体の成果 1.3 知的財産権等の取得及び標準化の取組 で記載する。

(3)知財プロデューサの活用

- 平成 20 年 12 月より独立行政法人工業所有権情報・研修館よりプロジェクトに常駐した知財プロデューサの派遣を受け、以下に示すように特許管理から戦略的な知財運用に至るまでアドバイス／指導を受けている。
 - ✓ 各センター、研究所での技術特許マップ作成
 - ✓ プロジェクト参加研究員への教育：講習会(知財塾・基礎)の実施
 - ✓ 集中研で行われる定例的(技術ミーティング)へのオブザーバ参加 /意見
 - ✓ その他、プロジェクトの各種委員会にもオブザーバ参加 /意見

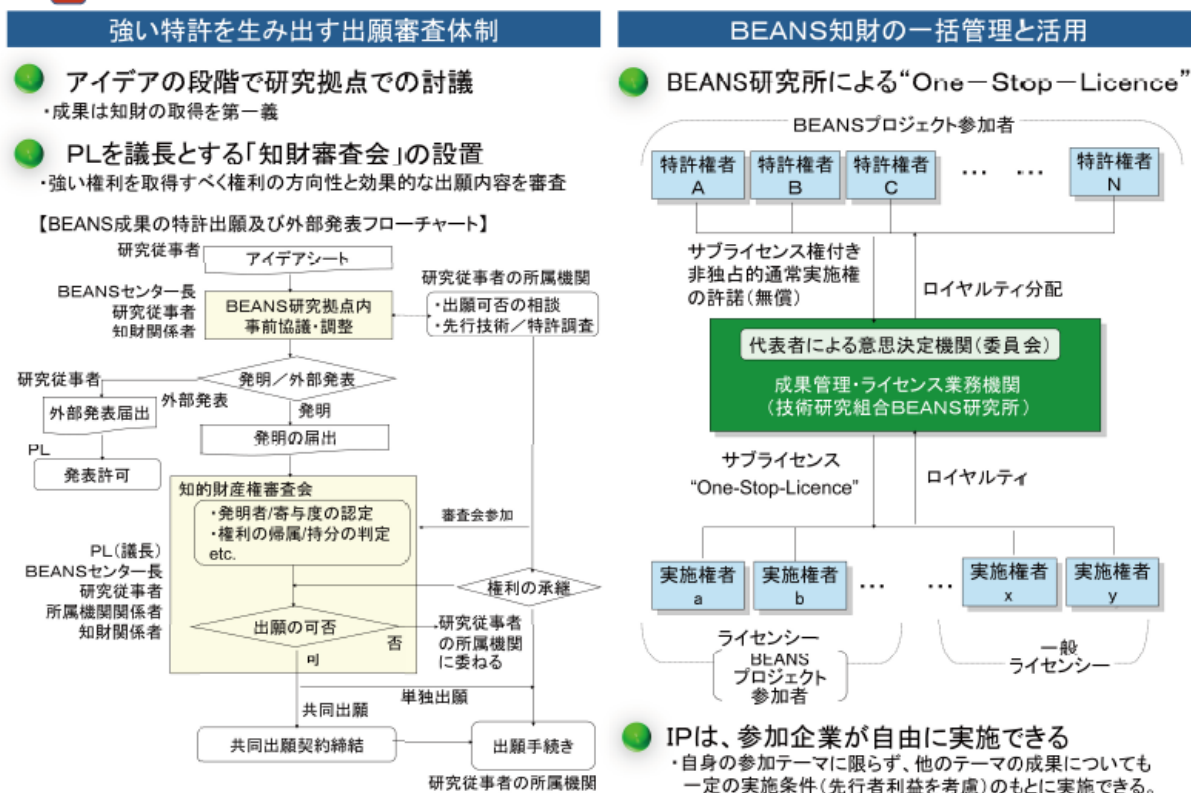


図 20 知財の活用を効果的に促進させるためのマネジメント

3. 情勢変化への対応

3.1 早期実用化のためのスピナウト

基本計画「5. その他の重要事項(4) 成果の産業化」に記載されているように、本プロジェクトでは当初より、途中段階でも実用化が可能な研究成果については、円滑で迅速な実用化を促進することとしていた。

「②(2)異種機能集積3次元ナノ構造形成技術」の研究開発は、当初より大面積対応の製膜装置開発を目指し、出口を意識した研究開発を実施してきた。また、参画機関の東京大学及び技術研究組合 BEANS 研究所の組合員である(株)デンソーが共同で実施した以下の要素技術開発の成果を(株)デンソーにおいて、MEMS 用ウエハ貫通配線形成技術の社内開発に活用される状況となっている。

・酸化物製膜において、ナノサイズの開口でアスペクト比が 30 以上の微細溝や孔へSiO₂を空隙なく埋め込みを達成。また、金属製膜とともに、高アスペクト比 3 次元構造を有するデバイスとして、トレンチキャパシタへの適用可能性を検討し、プレーナ型の 70 倍の静電容量を確認。

・Cu, Ag, Ru, Pd, Ni の金属製膜において、製膜可能とするとともに、酸化物表面を有するナノサイズの開口アスペクト 116 のトレンチ内への金属 Cu の空隙ない埋め込みを達成。

・有機機能層製膜においてアスペクト比が 30 以上の微細流路表面あるいは複雑3次元表面に、機能性有機膜を均一製膜。

・チャンバ内の流体シミュレーションにより装置スケールアップの検討を行い、装置スケールアップの指針を得た。

このため、今後の本テーマを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適切と判断し、平成 22 年度末で研究開発を終了した。今、φ8 インチウエハ対応の超臨界成膜装置を製作し、膜厚均一性、膜質安定性、スループット等の量産を想定した課題抽出を行っている。

3.2 開発成果創出促進制度追加配賦

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」で開発した有機高次構造形成プロセス技術は、中間評価でその成果について高い評価を受ける一方、これらの技術に対して、プロジェクト終了後の更なる発展・展開を見据え、開発したプロセス技術の有効性について検証すべきとの指摘を受けている。

有機高次構造形成プロセス技術では、基板の表面エネルギー制御及びナノマーキング形成に取組み、プロジェクト目標である直径φ50nm、間隔 100nm、を大幅に上回る世界最小、かつ最高密度の有機半導体ナノピラー(直径φ30nm、間隔 50nm 以下、長さ 100nm~100)の自己組織化ナノ構造形成に成功した。この成果を公表した研究論文は、学会誌から 2011 年第一四半期に最も注目された論文トップ 10 にも選出される世界的にも注目される学術的研究成果である。

一方、現在、プラズモン共鳴材料のナノ構造を利用した、近～遠赤外線を検知する革新センサの研究が進められている。ここで上記研究成果である自己組織化ナノピラー構造をプラズモン共鳴材料のナノ構造形成に利用し、赤外共鳴アンテナ構造を実現できれば、近～遠赤外線検知センサへの適用が期待される。

この開発成果可能性検証のために、近～遠赤外までの広範囲の光学特性を評価できる赤外光学特性評価装置を導入して、ナノ構造のプラズモン共鳴等赤外線光学特性やデバイス特性を評価し、近～遠赤外線検知センサへの適用可能性を明らかにした。詳細結果はV-①-B で記載するが、ナノピラー構造を有するダイオードの赤外光検出感度向上が確認できた。この結果は、車載用のナイトビジョンなどに、Siを基板とするセンサを適用できることを示すもので有り、非常に安価な製品が出来る可能性がある。

4. 中間評価結果への対応

中間評価で指摘されたポイントは、以下のとおりである。

・ 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。

この指摘を受け、代表的な想定デバイスとプロセスの対応関係を明確化し、数値化可能な技術については定量的な数値を設定した。変更した基本計画は、Ⅱ-1 事業の目標に記載したとおりである。

その変更した基本計画に沿い、プロジェクトをより効率的かつ効果的に遂行するため、PL とともに参画企業17社を直接訪問し、プロジェクトの技術目標等の達成、研究開発の進捗把握を行った。ここでは、「① 市場性の高いアプリケーションが設定できるか。② アプリケーションに対する具体的で定量的な目標が設定できるか。③ 産業競争力向上に資する、代替技術に対する優位性が高いなど、産業政策的に有効であるか。④ 業界共通の課題を解決するための汎用性の高い基盤技術であるか。」という視点を持ってヒアリングし、プロジェクトでの成果と会社としてのビジネスの方向性との関連性を見極めた上で、選択と集中による開発テーマのブラッシュアップを行った。その結果、開発テーマ数を26から14に半減させ、より出口を明確化して、骨太なプロジェクトとした。その際に、用いた評価シートの一例を、表3 BEANS 研究テーマ評価表 に示す。

また、プロジェクトの最終年度の平成24年12月に、本研究開発により、社会(産業)に対してどのような貢献が見込まれるのかを、実施者(組合・組合員企業)、PL、NEDO3者で振り返り、自社事業発展への貢献と日本の国際競争力の強化にむけたシナリオを検討する懇談会を開催した。特に、本プロジェクトで蓄積したプロセス技術をプロジェクト終了後自社に持ち帰り、どのような事業に結びつけようとするかなど機微な情報が含まれるので、企業毎に非公開・交替制で実施した。本懇談会での議論の視点は以下のとおりである。

- ・ プロジェクトの成果(成果の意義、社内人材育成等)
- ・ 今後の取組み方針(事業化計画、波及効果、実用化シナリオ等)
- ・ プロジェクト活動を通じての感想(参画当初の思惑と違う点があったか等)

成果詳細は記載しないが、本懇談会で得られたプロジェクト成果、マネジメント、今後の進め方に関する主な意見は以下のとおりである。

【参加組合企業の意見】

- ・ 実用化の確たるイメージを持って参画した、というよりは、将来の技術として本プロジェクトにおいて微細加工技術を吸収し、新たなサービスを提供することを念頭に参画した。この5年間に周辺動向も変化し、近い実現が見込まれる技術整備に注力し、一定の成果を得た。
- ・ 社内では遂行しにくい基礎研究・基本要素技術開発を実施できた意義は大きい。特に、有望な●●材料の可能性を見いだせたことで、弊社の技術の巾が広がった。
- ・ 製造技術開発を目的としたプロジェクトとしてスタートしたが、後半からデバイス実証に重点が置かれた。これにより、特定デバイスについては実用化に向けた基礎データまで取得できたことは良かった。
- ・ 中間評価後に事業出口への要求が強められ一貫性を欠いた。もともとの新しい技術仕込みのためのプロセス開発、そして、異分野との連携・融合といったかたちで次のプロジェクトネタを創出したいと思っていたが難しくなった。
- ・ 実用化においては、デバイスの新機能発現、機能向上のみならず、経済性効果など、別の重要な要素

もあり、対象デバイスの状況を考慮しながら進めていく。

- ・ 本来本プロジェクトは10～20年後ぐらいに実用化される、将来のデバイスに必要な加工技術開発と言う位置づけだったと思う。それを、実用化の面で、今評価するのは、無理ではないか？
- ・ 実際の実用化においては必ずしも先端技術というよりも、精度の高い再現性のある基礎技術から顧客からの信用を得る地道な作業が当面続くと考えている。
- ・ 集中研方式による異分野融合というプロジェクトの理念と、プロジェクト開始当初に設定した当社本来の実施計画および達成数値目標との間の齟齬を感じるケースも多々見られた。異分野融合を主目的として掲げる以上、個々の参画企業に対して確たるオブリゲーションを求めないという柔軟さも必要ではないか。
- ・ プロジェクト開始時に知財成果展開の規約がなく、遅れて規約が作られた。従い、知財成果展開ガイドラインの作成において、総論は合意形成ができて、各論までは組合メンバー毎でプロジェクトへの参加目的が異なるため、一律的な考え方を強要することは難しい。進め方としてかなり強引だったと思う。あるべき姿は、プロジェクトへの参加意思を確認する際に、成果展開に関する規約やガイドラインを提示し、当事者了解の上、プロジェクトを開始することである。
- ・ 各センター長が熱意を持った優秀な先生であったこと、集中研方式だったため、効果的な予算の使用ができたこと、メンバー全員で知恵を出し合えたこと、が良かった。
- ・ 本プロジェクトが集中研方式を採用したことに当初は戸惑いもあったものの、各研究員レベルでは、社外の多くの技術者、研究者及び大学の先生方との幅広い交流を通して視野を広げることができ、研究員の成長にとって大きなプラスであったと考えている。
- ・ プロジェクト成果を利用するの特定デバイスの試作・検証では、必要なプロセス装置が集中研に無い或いはレシピが合致していない等の理由から、企業で実施(分散研)する方が効率的であると感じた。

これらの意見は NEDO の『研究開発マネジメントガイドライン』に反映する。

表3 BEANS 研究テーマ評価表の例

| 「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」H23年度計画 (Life-BEANSセンター) | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|------------------------------|---|----|----------|------------------------------------|--|---|-------|--|------------------|
| 研究開発項 | 小項目 | テーマ | H22年度取組概要 | 担当 | アプリケーション | 具体的定量的目標値 | 産業政策 | 汎用性 | 評価 | H23年度実施内容 | |
| バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発 | (1) ナノ界面融合プロセス技術 | (1A) -1 脂質2重膜の安定形成プロセスの開発 | 2時間以上安定して機能する脂質二重膜の形成プロセスを開発する。 | | | 24時間以上安定して機能する脂質二重膜形成技術と膜タンパク質導入技術 | 世の中に無い、生体物質を選択的に高感度、一分子レベルでセンシング可能 | 生体膜の機能を工学的に応用し、医療、環境、創薬、食品等の幅広い分野で応用可 | 継続・統合 | H22年までの成果を元に、機能性分子を脂質二重膜に導入する条件を検討する。脂質(DPh PC、DOPCなど)や脂質溶媒の種類や脂質濃度等を変更し、蛍光イメージング評価等で導入できる条件を検討 | |
| | | | 平成23年度以降にMEMSデバイス導入、センシングについて本格的に研究を推進させるため、タンパク質の立体構造を正しく構成させるプロセスを検討し、タンパク質導入技術の確立を目指す。 | | | 24時間以上安定して機能する脂質二重膜への膜タンパク質導入技術 | 世の中に無い、生体物質を選択的に高感度、一分子レベルでセンシング可能 | 生体膜の機能を工学的に応用し、医療、環境、創薬、食品等の幅広い分野で応用可 | 統合 | 上のテーマと統合して研究開発を進める | |
| | | (1A) -2 ハイドロゲル界面形成プロセスの開発 | 電子線重合法等による分子インプリンティング界面形成や、生体適合性ポリマー分子の表面修飾等の検討結果から、最終目標を達成できる生体適合性界面形成のための材料や手法を選定する。 | | | 3ヶ月以上、生体内で機能を維持することが可能。 | 生体適合性の高い表面に関する研究開発は広く行われており、これを実現できれば、産業的なインパクトも大きい。 | 生体適合性界面の形成は、生体内に埋め込むデバイス全てに共通する課題であり、汎用性は高い。 | 統合 | (2A) -1 に統合 | |
| | | (1A) -3 タンパク質、微生物界面形成プロセスの開発 | 平成21年度までに構築した微生物モデルに基づいた高効率多段階反応能を二酸化炭素固定などで評価する。 | | | 多孔質担体への充填>75%。 | 産業競争力の向上に寄与 | 多種多様な微生物利用プロセスに適用可能 | 中止 | | |
| | (2) バイオ・有機高次構造形成プロセス技術 | (2A) -1 ハイドロゲルの高次構造形成プロセスの開発 | 蛍光ゲルのグルコース応答能を、マウスへの埋め込み実験により、埋め込み場所として適当な部位(腎被膜下、耳、皮下など)を検討し、有効性を実証する。 | | | 生体内に埋め込んでから、3ヶ月間の血糖値観察が可能。 | 非侵襲的に血糖値を測定する技術の開発は、赤外線、ラマン分光などを用いた測定法など、広く行われているが、他の生体成分の影響などが大きい | ゲルをビーズ状にて作製するプロセスは確立できているため、他の生体成分応答性蛍光色素などへの応用も可能。 | 統合・継続 | 「ハイドロゲル界面形成プロセスの開発」にて22年度に選定した材料や手法を用いて、ビーズ形状やファイバー形状などの高次構造ゲルを作製し、これをマウスに埋め込んで評価することで、 生体内で2週間連続して機能可能なハイドロゲルの作製プロセスを決定する。 | |
| | | | 平成21年度に検討された徐放性を有するゲルを生体に適応し、その効果を検証する。 | | | 生体内埋め込んだ材料周辺200マイクロ以内血管を複数本誘導する | デバイスメーカーとの協業 | 多くの埋め込み機器や移植医療などへ展開可能 | 統合 | 上記テーマと融合し研究を加速する。 | |
| | | | 液滴径・分散のコントロールの指針を得るため、デバイス形状・稼動条件・物性値などの変動による影響を評価するためのシミュレーション手法を開発する。 | | | | | | | 終了 | 当初の目的を達成したので終了する |
| | | (2A) -2 細胞の立体構造形成プロセスの開発 | 細胞の空間的配置の制御等により毛細胆管構造などの微細組織構造を誘導する手法選定に関する指針を得る。 | | | 微細組織の数マイクロメートルオーダーの配向性制御 | デバイスメーカーとの協業、 | 創薬メーカーによる創薬ADME試験への活用。キット化による臨床機関での一 | 継続 | ・微細組織構造のもつ生理活性を測定するため、微細組織構造の配向を制御できるよう、空間的に制御して配置された細胞に異種細胞などを組み合わせる条件を選定する | |

5. 評価に関する事項

中間評価と、平成22年度補正予算で実施した「研究開発項目⑤高機能センサネットシステムと低環境荷型プロセスの開発」事後評価について、以下に示す。

5.1 中間評価

日 時:平成22年9月10日(金)

場 所:大手町サンスカイルーム E 会議室(朝日生命大手町ビル 24F)

評価手法 外部評価

評価事務局 評価部

評価項目・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。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(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(各個別研究テーマ毎の配分を含む)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

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 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。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 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。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手(ユーザー、活用・実用化の想定者等)に対して、関与を求める体制を整えているか。

(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。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、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・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか(中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか)。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)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。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手(ユーザー、活用・実用化の想定者等)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。

(5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果(技術的・経済的・社会的)を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じて

いるか。

評価委員

| | | |
|--------|-------|------------------------|
| 分科会長 | 佐藤 一雄 | 名古屋大学大学院 工学研究科 教授 |
| 分科会長代理 | 下山 勲 | 東京大学 情報理工学系研究科 教授 |
| 委員 | 新井 史人 | 名古屋大学大学院 工学研究科 教授 |
| | 佐々木 実 | 豊田工業大学大学院 工学研究科 教授 |
| | 庄子 習一 | 早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 教授 |
| | 民谷 栄一 | 大阪大学大学院 工学研究科 教授 |
| | 西本 尚弘 | (株)島津製作所 基盤技術研究所 主任研究員 |

5. 2 「研究開発項目⑤高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発」事後評価

日 時: 日 時: 平成23年11月28日(月)

場 所: 産業技術総合研究所 つくばセンター(つくば東地区)

NMEMSイノベーション棟1F 国際セミナー室平成22年9月10日(金)10:30~17:30

評価手法 外部評価

評価事務局 評価部

評価項目・基準

下記2項目を除き、5. 1中間評価と同一項目である。

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。または、補正予算による事業の場合、その目的に合致しているか。

(5)成果の最終目標の達成可能性 については、削除。

評価委員

| | | |
|--------|--------|--|
| 分科会長 | 大和田 邦樹 | 帝京大学 理工学部 情報科学科 教授 |
| 分科会長代理 | 服部 正 | 兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 特任教授 |
| 委員 | 石田 誠 | 豊橋技術科学大学 工学部 電気・電子情報工学系 副学長 (研究担当) 教授 |
| | 澤田 廉士 | 九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 教授 |
| | 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 |
| | 室 英夫 | 千葉工業大学 工学部 電気電子情報工学科 教授 |

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 成果概要

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 21 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、その利活用の仕組み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 21 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全体総括

研究開発項目毎の成果詳細は、表 4 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)

表 4 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アタンパク質である αヘモリシ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ヘモリシンの電流シグナル計測に成功。更に、イオンチャネルである 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. 毛細胆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 70 μm 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 次元的な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胆管構造の形状や体積を制御することに成功した。さらに、形成した毛細胆管の内部から、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>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>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>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 間隙への低分子有機半導体の充填、200nm 間隙への高分子有機半導体の充填に各々成功した。</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(Voc)、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プ型電子輸送材料を用い、Voc2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】</p> <p>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】</p> <p>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. 開発済みの材料を改良し、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(フェニルピリジル)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ピリジル型から、N 架橋されたビス(フェニルピリジル)アミノ型にすることで、PL 量子効率 85%を達成した。</p> | <p>○</p> <p>○</p> <p>◎</p> |
| | <p>【基本計画】</p> <p>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】</p> <p>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. 溶液中で使用できる 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> | <p>○</p> <p>◎</p> <p>△</p> <p>○</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耗マルチプローブを試作する。</p> | <p>1-1. 先端電極幅が30nm以下である耐摩耗マルチプローブを量産加工対応プロセスにて試作し、プローブリソグラフィにより2mの摺動後に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μm～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) (2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術 | 1-2. プローブ先端におけるナノトライボロジーモデルを構築する。 1-3. 摺動距離 1m を経たプローブの接触抵抗値を 1MΩ 以下に抑えられることを実証する。 | 1-2. プローブ先端における『接触抵抗低減』『摩擦力安定化』『耐摩耗性向上』の各種トライボロジー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。 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 MΩ 以下に抑えられることを実証した。 | ○ ○ |
| | 【基本計画】 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。 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。 | 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。 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。 | ○ △ |
| | 【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。 【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。 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。 | 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。 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。 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。 | ○ ○ △ |

| | | | |
|-------------------------------|---|--|---|
| (続き) (2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術 | 【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。 | 4-1. 有機樹脂により基板上に選択的にパターニングされた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。 | ◎ |
| | 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。 | 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。 | ◎ |
| | 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。 | 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。 | ○ |

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 | 【基本計画】 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、メータ級の面積基板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、それを実現する装置仕様を決定する。 | 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実現可能にし、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実現し、電子移動度 $1 \sim 3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ を確認した。 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実現するプロセス技術／装置仕様を示した。 | ○ |
| | 【自主目標】 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。 | 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。 | ○ |

| | | | |
|---------------------------|---|--|------------------------------|
| (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】 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 50m/min 以上の線速にて形成するプロセスを開発する。</p> <p>【自主目標】 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>1-1. 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に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 50m/min の線速での薄膜形成を実現した。 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>1-2. ダイコーティングによる成膜で基材線速 50 m/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 $2 \mu\text{m}$ 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 $2\mu\text{m}$ 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 $0.00384 / ^\circ\text{C}$ 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 $100\mu\text{m}$ 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>(続き) (2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術</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1m×1m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×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10⁻⁴mm/N・m以下、導電性繊維間の抵抗値1Ω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1m×1mに製織し、集積化するプロセスを開発した。</p> <p>3-2. 15本×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1Ω以下となることを確認した。</p> | <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</p> | | | |
| <p>研究開発項目</p> | <p>最終目標</p> | <p>研究開発成果</p> | <p>達成度</p> |
| <p>(1) BEANS 知識データベースシステムの機能構築 (2) BEANS 知識データの蓄積、充実化と編纂</p> | <p>【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。</p> <p>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。</p> | <p>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。</p> <p>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纂委員会の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。</p> | <p>○</p> <p>○</p> |

【特許出願】

BEANS プロジェクト全体では、平成 20 年 7 月のプロジェクト開始後、計 110 件の国内特許出願(内外国出願 21 件)がなされた。

出願された国内特許(外国特許)の内訳は、研究開発項目①-A 関連 21 件(4 件)、研究開発項目①-B 関連 17 件(2 件)、研究開発項目②関連 38 件(12 件)、研究開発項目③関連 25 件(2 件)、研究開発項目④と 22 年度完了したGデバイス関連 9 件(1 件)となっている(添付資料 A-4 特許論文リスト参照)。

【外部発表】

BEANS プロジェクト全体では平成 20 年 7 月のプロジェクト開始後、表 5 に示すように、論文 73 件、学会発表 442 件、セミナー・講演会 71 件、刊行物・雑誌掲載等 30 件、マスコミ発表 84 件がなされた(詳細は添付資料 A-5 特許論文リストを参照)。

表 5 プロジェクト全体の外部発表

| | 論文 | 学会発表 | セミナー・ 講演会・ 展示会 | 刊行物・ 雑誌 掲載等 | マスメ ディア | 合計 |
|----------|------|-------|----------------------|-------------------|------------|-------|
| 平成 20 年度 | 1 件 | 28 件 | 12 件 | 1 件 | 11 件 | 53 件 |
| 平成 21 年度 | 9 件 | 89 件 | 14 件 | 11 件 | 9 件 | 132 件 |
| 平成 22 年度 | 21 件 | 109 件 | 23 件 | 4 件 | 48 件 | 205 件 |
| 平成 23 年度 | 19 件 | 102 件 | 15 件 | 9 件 | 13 件 | 158 件 |
| 平成 24 年度 | 23 件 | 114 件 | 7 件 | 5 件 | 3 件 | 152 件 |
| 小計 | 73 件 | 442 件 | 71 件 | 30 件 | 84 件 | 700 件 |

1.2 成果の意義

成果の意義に関して、1) 学術的な意義、2) 成果による市場の拡大あるいは市場の創造、3) 世界初あるいは世界最高水準の成果の創出、4) 新たな技術領域の開拓、5) 成果の汎用性の観点から以下にまとめる。

1.2.1 学術的な意義

プロジェクトの名称が示すように、異分野を融合して新たな機能を持つデバイスを創り出すことに BEANS の学術的意義がある。この異分野融合の中身を考えると、次の三点が挙げられる(図 22)。

- i) ナノからマクロまで異スケールの融合
- ii) バイオ・有機から半導体まで異材料の融合
- iii) ボトムアップからトップダウンまで異プロセスの融合

例えば第一の観点について、3次元ナノ構造をマイクロ構造に付加することで、二波長の赤外線効率よく選択透過するフィルタを作った。波長以下の寸法の構造と光波動とのナノフォトニクス相互作用を生かした新機能である。また、繊維状基材の表面にマイクロ加工してそれを織ることで布地のように柔らかい、広い面積のデバイスを作る研究を推進した。大型のプロセス装置を用いることなく、ミクロの構造を持ったメートル級の大面积デバイスを作る独創的な試みである。

第二の観点については、ナノパターンの形成に自己組織化を利用する多くの取り組みを行った。陽極酸化時にできるナノ多孔質、ブロックコポリマーの結晶構造、基板上へ結露したナノ水滴、等で数十ナノメートルの規則的なナノパターンを得ることができた。ナノ粒子の自己組織化配列を用い、ミクロの深溝の側面に規則的かつ稠密な単層ナノ粒子膜を得た。また、生体関連では、細胞の増殖と自己組織化能力を、トップダウン手法で制御して秩序ある3次元組織を作る研究に注力した。立体的に配置した後に培養することで、多数の肝臓細胞の中に胆管が走る肝臓を模擬した組織の構築や、培養組織内での毛細血管の形成を試みた。また、メートル級の大面積基板の上にミクロの薄膜を大気中で付加する研究を行った。従来のマイクロ加工は真空中で行うため、メートル級の基板に成膜するには、それを中に収める巨大な装置が必要であったが、それを不要とするエコロジカルなプロセスが得られた。大面積では、印刷技術、ナノインプリンティング、紡績・製織、ダイコーティングなど従来技術を洗練してマイクロ加工と融合する手法が重要である。

さらに第三の観点については、ガラスをマイクロ加工した微小容器に脂質二重膜を安定に形成し、そこに単一種類の膜タンパクを挿入して機能を測る研究を行った。膜タンパクは細胞と外部の相互作用を司る重要な分子であり、創薬などに役立つことが期待できる。また、有機材料と無機材料を組み合わせると高効率・高性能・極微小の光、電子デバイスを得る研究も行った。例えば、アルミ薄膜を陽極酸化して均一なナノ貫通孔を作った後、それを鋳型とするナノインプリンティングにより、50nm以下の有機半導体ナノ突起構造を得た。

以上、三つの観点はそれぞれ密接に関連しているが、これまで系統的に研究された例がない。BEANSの具体的な研究成果によって異分野融合プロセスの体系化が始まり、今後も進展していくものと考えられる。

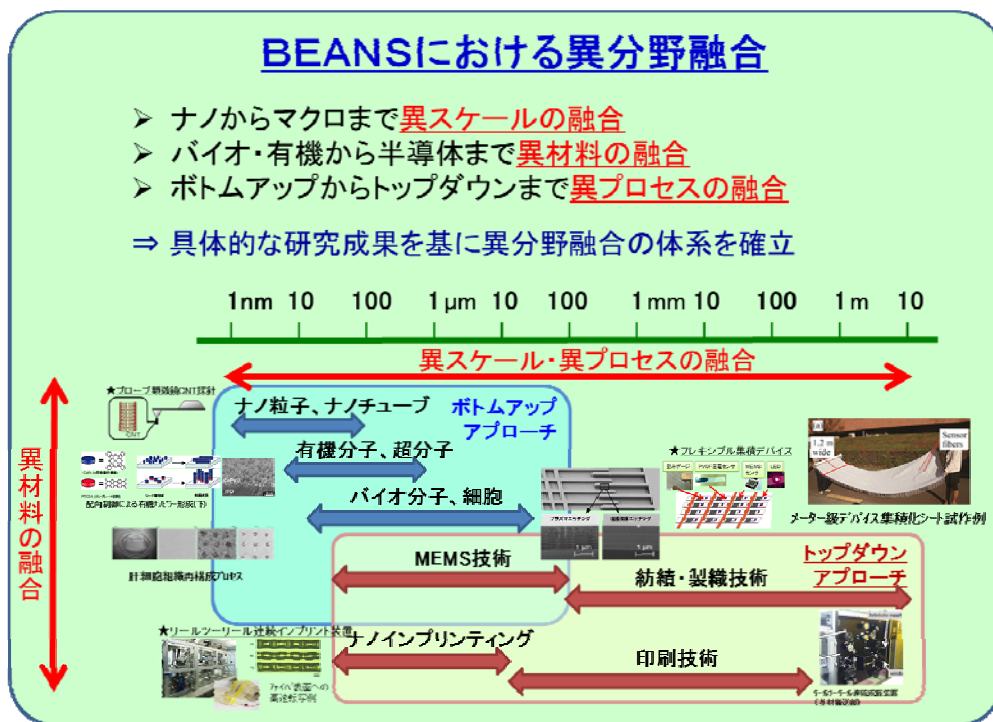


図 22 BEANSにおける異分野技術の融合

1.2.2 成果による市場の拡大あるいは市場の創造

BEANS プロジェクトによって創出されるプロセスイノベーションは、従来にはない革新的なデバイスの製造を可能にし、それにより 20 年後の社会の国家的課題である「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って、人・生活・地球を豊かにするとともに、広い分野の市場の拡大あるいは新しい市場の創造

が可能になると考える。以下にBEANSプロジェクトの成果が人、生活、地球をどのように豊かにすることができるかに関して、いくつかの将来像を示しながら説明する。

1) 人を豊かにする BEANS 成果

BEANS 技術により体内環境を測ったり、造ったりする革新的なデバイスあるいは技術を創出することが可能になる。例えば、生体適合性を有する蛍光ハイドロゲルビーズ等から構成される血糖値センサを体内に埋め込むことにより、常時、体の状態をモニタできるため、世界で2億4600万人を超えるとされる糖尿病患者が日常生活を続けながら効果的な治療を受けることができる。また、ウィルスや DNA、癌マーカー等を1分子レベルで検出できる膜タンパク質を組み込んだ脂質二重膜を使った高感度センサをカプセル内視鏡先端部に埋め込み、癌、感染症や生活習慣病の早期発見が可能になる。

肝細胞を配列制御することで、胆管を任意の位置に形成するとともに胆汁を回収できるハイスループット薬物動態チップにより、動物実験を行うことなく、薬の副作用等の長期連続計測ができるため、個人に合ったテーラーメイドの新薬を開発することが可能になる。

繊維基材に形成した超音波アレイセンサやディスプレイを織って作ったフレキシブルなシート型健康管理デバイスを湿布薬のように体に密着し、内蔵した超音波センサなどにより体内の様子をシートの表側に映し出したり、モニタで見たりすることができる。これにより医師や、助産師が特殊な装置を使わず、人の技能に頼らずに簡単に胎児の様子を見ることができ、産婦人科の医師不足に悩む地方での医療活動に活躍することができる。

3次元マイクロ流路により細胞ビーズを製造し、複数の細胞を、CADを用いた組織設計、ロボットによる3次元自動組織組立により、生体外で組織を構築して、それを移植することでドナー不足、合併症、薬剤による副作用等を解消する再生医療を加速することも可能になる。

2) 生活を豊かにする BEANS 成果

ナノレベルの3次元構造を形成することで、検知感度を千倍～百万倍に著しく向上することができる。これにより、わずか1分子でも検知可能な物質センサを超小型化することが可能になり、公共生活空間(病院、空港、駅、公園など)を広くカバーできる環境物質センサネットワークをつくり、ウィルスや環境物質から人をまもることが可能になる。また、高感度な環境物質センサを養鶏場に設置したり、肉牛に埋め込んだりすることで、鳥インフルエンザの検知、口蹄疫家畜の早期発見、肉牛のBSE診断に活用でき、食の安全を保つことが可能となる。

化合物半導体ナノドットをシリコン基板上に形成することにより、高効率で安価な深紫外発光デバイスが実現できる。このデバイスを住宅内の設備・機器に適用することで安全・快適な環境が実現できる。さらに、ウィービング MEMS や非真空プロセスにより、従来実現できなかった大面積のアンビエントデバイスが実現できる。これらにより、大面積の壁紙型太陽電池、ディスプレイ、環境制御センサ、触角センサ等を壁、窓、天井、絨毯等の生活空間内に配置し、スペースを意識させずに人を見守り、快適で安全な生活が実現できる。

3) 地球を豊かにする BEANS 成果

ナノレベルの3次元構造を形成することで、発電・蓄電効率を3~4倍にすることができる。これにより、周辺環境(廃熱、体温、室内光、振動等)から熱・光・振動・バイオのエネルギーを吸収し、センサやアクチュエータの電源とするエネルギーハーベスティングデバイスが実現できる。このようなエネルギーハーベスティングデバイスを用いれば、電池交換のいらぬデバイスにより、メンテナンス不要な自立型センサネットワークを実現することができる。ま

た、体内埋込デバイスでは外部からの電力供給、及び電池交換が困難なため、体内環境(体温、体内物質、血流)からエネルギーを吸収することで、体内埋込み型デバイスの長寿命化を図ることができる。さらに、超臨界製膜技術により実現できる高効率な蓄電デバイス(スーパーキャパシタ)とを組合せることで、安定な電源供給が可能となる。

以上例を示しながら、BEANS 技術が人・生活・地球を豊かにできることを紹介したが、このように、BEANS プロジェクトで得られる成果は市場の拡大とともに新たな市場の創造を図ることができる。図 23 に示すように、(財)マイクロマシンセンターの市場調査では、2010 年の第 2 世代までの MEMS の市場 0.7 兆円に対して、2015 年では、新しい市場の創造が進み、第 3 世代の MEMS の市場は 1.5 兆円に拡大、その後も BEANS 技術が医療福祉分野、バイオなど、新たな MEMS 産業を開拓し、2020 年の予測市場規模 3.1 兆円に大きく貢献するものと考えられる。

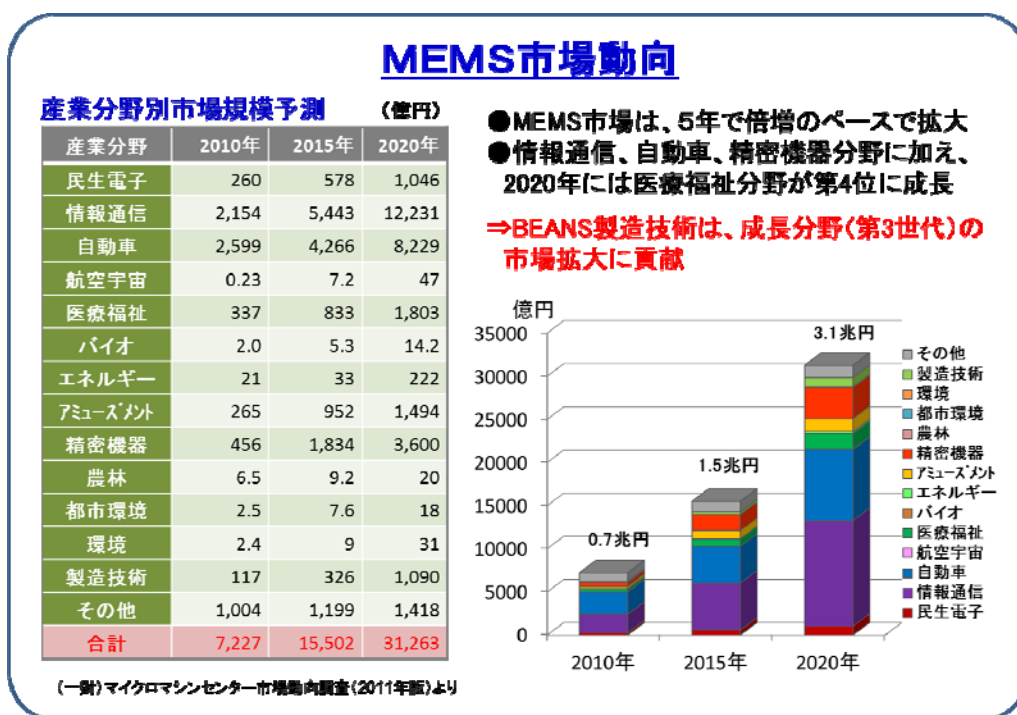


図 23 MEMS 市場動向 (BEANS の市場価値)

1.2.3 世界初あるいは世界最高水準の成果

BEANS プロジェクトでは、異分野融合によるこれまでにない新しい技術の研究開発を行ってきており、これまでに以下にあげる世界初あるいは世界最高水準の成果が得られている。

1) ①-A バイオ材料融合プロセス技術の開発

・マイクロ流路内で、24 時間以上連続して脂質膜を形成することに世界で初めて成功した。また、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、VEGF との結合を検出することができた。さらに、細胞に過剰に発現させた膜タンパク質を利用してロボットの匂いセンサとして応用したのは世界初(PNAS 採択決定)である。これまではマイクロデバイス中に脂質膜を形成した例はあるが、化学量センサとして利用するために必要な長時間形成を実現した例はなかった。ここではガラス材料や脂質、溶媒、更に形成プロセス条件などを緻密に制御することで安定して膜を形成することに成功した。

・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を作製し、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。血糖値に反応して輝度を変化させる材料はこれまでも報告があるが、皮膚を介して蛍光が観察できるほど高い輝度をもつ材料はなかった。この材料とマイクロ流体デバイス技術を組み合わせることで、世界で初めて注射器で導入可能なマイクロ蛍光ハイドロゲルビーズが実現した(PNAS 採択決定)。

・コラーゲンゲルで作製したマイクロ凹構造(溝、窪み)に肝細胞を導入し、一定期間培養することにより、凹構造内に胆管を効率よく形成することに成功した。胆管を 2 次元培養してランダムに胆管を形成する技術はこれまでもあったが、所望の位置に効率よく形成できる技術は皆無であった。薬物動態解析に即利用可能な技術として期待できる。

2) ①-B 有機材料融合プロセス技術の開発

・電子の移動度を 2 桁向上させるなど有機デバイスの飛躍的な性能向上に寄与する、低分子有機半導体の配向メカニズムを真空蒸着中の In-situ 分光エリプソメトリー分析により解明し、基板表面のナノ構造と分子配向の高次構造制御方法を開発した。

・真空蒸着による世界最小の 40nm 有機半導体ナノドット形成を基板上への SAM の導入、及び蒸着条件の制御により実現した。このナノドットを利用した有機太陽電池へのナノ構造導入と分子配向制御により光電変換効率の 35%向上に成功した。

・ナノマーキングによる結晶成長制御法の開発による世界初の径 30nm、長さ 100nm の高密度有機半導体ナノピラーの形成を、基板上に有機半導体 PTCDA のナノドットを形成し、CuPc の結晶成長の起点とすることで、基板と平行に結晶成長する CuPc を基板と垂直に結晶成長させることで成功した。

・従来ミクロンオーダーが限界とされた水蒸気と高分子材料の相分離構造を利用したポア構造形成をナノミスト法により世界最小の 80nm ナノポア有機薄膜形成に成功した。同時にナノミスト中の水分子の高分子膜への付着～凝集～蒸発～ナノポア形成のメカニズムをシミュレーションにより解明した。熱電半導体のバルクの物性をこえる高性能ナノポーラス熱電半導体実現への道を開いた。

・世界トップレベルの熱電特性 ($ZT=1.87$) を有する Bi_2Te_3 ナノポーラス熱電半導体を実現した。これは Bi_2Te_3 をアルミナや高分子のナノポア膜をテンプレートとして蒸着しナノ構造を導入することでバルクとしての物性 $ZT=0.6\sim 0.7$ を大きく超えることに成功したものである。これにより熱電デバイスの実用化の目安となる $ZT=1.0$ を超える性能が真空蒸着で実現できるため、低コスト、大面積対応プロセスとして期待できる。

3) ②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発

・MEMS プロセスに必要な高速・大面積対応の中性粒子ビームエッチング装置を開発し、プラズマ生成部の形状改良や中性化アパーチャ形状の改良により、結晶シリコンのエッチングに関してエッチング速度の増大、及び垂直加工性の向上を達成した。従来、中性粒子ビームを用いたエッチングでは深さミクロン単位のエッチングやサイドエッチングなしの垂直加工は達成されていない。

・上記中性粒子ビームエッチングをカンチレバーの薄片化に適用し、エッチング前後でカンチレバーの共振周波数 f と Q 値の比 (Q/f) に変化がないことを観察し、中性粒子ビームが MEMS 構造の高精度な加工に極めて有効であることを実証した。非反応性である希ガス原子の中性粒子ビーム照射によるカンチレ

パー振動特性への影響については東北大学のグループにより 2010 年に論文発表されているが、反応性原子の中性粒子ビームを照射してエッチングを行った際の影響を明らかにしたのは本成果が世界初である。同時に、振動子に対する損傷評価の手法として、 Q/f を指標としてエッチングによる固有振動数変化の影響を補償する方法論は本プロジェクトにより世界で初めて提唱した。

・上記中性粒子ビームエッチングの装置設計を支援するシミュレーションを構築する目的で、中性化アパーチャ中でのイオンの中性化過程を、世界で初めて時間発展第一原理シミュレーションを用いて解析し、実験結果と良好に一致するシミュレーション結果を得た。このシミュレーションを活用し、中性化アパーチャの材質や形状をシミュレーションに基づいて設計、中性粒子ビームエッチングの面積積化・高速化を効率的に行う指針が得られた。

・強度を高精度に調整したフェムト秒レーザーを石英に照射し、希薄フッ化水素溶液によるウエットエッチングを行うことで、短軸のサイズが 200 nm の断面形状を持つ孔を、石英バルク中の任意の位置に加工する技術を開発した。フェムト秒照射によるサブミリスケール孔を任意の 3 次元形状で石英中に加工する技術は先行する fine MEMS プロジェクトにおいて開発されていたが、ナノスケールの断面を有する孔を加工したのは世界初である。また、この技術を用いて単一バクテリアを流路中にトラップ(パッチクランプ)して生体機能の解析に供する新規デバイスを世界で初めて作製した。

・超臨界 CO_2 を反応場とする製膜プロセスに関して、TEOS を原料とする SiO_2 製膜の温度、酸素添加量の最適化を行った結果、アスペクト比 25 のトレンチの内部表面に SiO_2 を均一に製膜することに成功した。従来超臨界 CO_2 を反応場とする酸化膜製膜は種々検討されてきたが、当該技術の特徴である高アスペクト比の 3 次元構造に対して制御性良く製膜した例は報告されておらず、本プロジェクトで達成したアスペクト比 25 のトレンチへの均一製膜は世界初の成果である。

・超臨界 CO_2 を反応場とする製膜プロセスに関しては、さらに酸化膜下地への金属製膜法を検討し、Cu 製膜において Mn 有機金属原料を製膜初期に添加することで、 CuMnOx 層を密着層として SiO_2 下地上に Cu を製膜することに成功した。本技術用い、表面を超臨界製膜によって SiO_2 被覆したアスペクト比 110 のトレンチに対して、Cu を均一に製膜することに成功した。このような高アスペクト比のトレンチに対して SiO_2 / Cu の積層構造を均一製膜したのは本プロジェクトが世界初である。本成果により、高アスペクト比トレンチの大きな比表面積を利用した高容量キャパシタの作製が可能となった。

・ビオチン化した ZnO 表面認識ペプチドを CdSe ナノ粒子表面に修飾し、ZnO による 2 次元パターンをリソグラフィにより形成した表面に滴下することで、ZnO 表面のみに CdSe ナノ粒子を導入する、材料選択的ナノ構造修飾に成功した。さらに、カンチレバー尖頭を模した、頂上部のみ ZnO が導入されたシリコン尖塔を FIB により形成し、ZnO 認識ナノ粒子を滴下することで、ZnO が存在する頂上部のみに CdSe ナノ粒子を修飾することに成功した。このように、材料認識性ペプチドによるボトムアップ的選択修飾法を、リソグラフィ・エッチングというトップダウン手法により形成した 3 次元形状に対して適用した例は、本プロジェクトが世界初である。

・摺動部が摩耗しても電極接触面積が変化しない、「金太郎飴」タイプの摺動部を有する新概念の導電性カンチレバーを世界に先駆けて設計・製作し、メータ級の摺動距離に対しても電気伝導面積の変化は 10 % 以下であることを実証した。

・深掘りエッチングで形成した 3 次元トレンチの側面に対して選択的に粒子径 100 nm ~ 1 μm のポリスチレンナノ粒子を自己組織化的に単層修飾、及び最密充填することに成功した。平面に対するナノ粒子配列は無数の研究例があるが、センサ等への応用が有望な深掘りトレンチの側面、内部に対してナノ粒子の

自己組織化配列を達成した例は本取り組みが世界初である。

- ・アンチサーファクタント法で形成した AlInGaN ナノドットの粒径制御法を確立し、室温にて 290 nm の深紫外発光を世界で初めて得た。これは、バイオ応用 MEMS への深紫外線発光エレメントを導入するための重要な第一歩である。

- ・短波長側では精度に優れる FDTD(Finite Difference Time Domain)法を、長波長側では解析時間に優れる RCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis)法を併用した2層サブ波長構造光学フィルタのシミュレーション技術を開発し、赤外波長域全域において、精度と効率が両立する2層サブ波長構造光学フィルタの設計手法を確立した。

- ・DRIE(Deep Reactive Ion Etching)のトップダウンプロセスによる 3 次元構造形成技術、シュウ酸によるアルミ陽極酸化とその後のリン酸による開口径拡大処理による 100nm レベルのナノ開口形成技術及びナノ開口アルミ陽極酸化膜をエッチングマスクとしてナノ構造を転写形成する基本プロセスを構築し、上記シミュレーションと合わせて、赤外線2波長帯において、選択的透過特性を有する宇宙適用光学フィルタをマイクロ/ナノ構造で実現可能であることを明示した。

4) 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

- ・大気圧下かつシランガスを用いない手法で形成したシリコン膜に関し、電子移動度 $7.0 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ を得た。これまで、VHF 帯の大気圧プラズマ化学輸送法によるシリコン成膜の報告はあるものの、それらは成膜速度や結晶学的な評価に留まっており電気特性の報告は為されていない。ここでは、汎用的な 13.56MHz を用い、大気圧下の成膜で歪センサに適用可能なレベルのシリコン膜を形成することに世界に先駆けて成功した。

- ・チャンバーレスの装置にて、世界で初めて Si 機能膜(電子移動度 $1\sim 3 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$)の形成に成功した。ここで、開発した装置はプラズマ生成部周辺にのみ局所的にガス環境を制御する技術が組み込まれ、スキニングによる大面積成膜に繋がる技術である。

- ・塗布技術を用いて、サブ μm から μm サイズの Si 微粒子を含む分散液を、金属系不純物が 1ppm(原料由来)まで低減し塗布できることを世界で初めて実証した。Si 微粒子を含有した Si 膜を形成する類似技術として気相成長の事例は見られるが、これら Si 微粒子径は数 nm から数十 nm レベルに留まっており、成膜レートの点ではミストジェット塗布が技術的ポテンシャルで優位と考えられる。

- ・繊維状基材表面への機能薄膜形成法として、被覆プロセスであるダイコーティング法を薄膜用に改良することで、世界で初めて、ナノメートルオーダーの機能性薄膜およびその多層構造を連続形成するプロセスを開発した。これまで蒸着法やディップコーティング法などによる前例が見られたが、連続化や高速化に難があった。

- ・繊維状基材の表面に、インプリント手法を用いてパターンを形成するプロセスは世界初の試みである。類似例として、シート状のプラスチック表面にインプリント手法を用いてパターンを形成するロールトゥロールプロセスがあり、これについては、多数の研究機関、民間企業で研究・開発が進められており、実際に製品として市販もされているが、繊維状の基材へのインプリントは他に例を見ない。

- ・マイクロ流路内混相流を応用することにより、内径 200 マイクロメートル以下の中空繊維状基材内に、均一性が高くサイズ制御可能かつ気体や液体を封入することが可能なセル状構造を連続的に作製するプロセスの開発に世界で初めて成功した。

- ・繊維状基材にコーティングされた導電性ポリマー上に、カンチレバー構造及び高アスペクト比ナノ構造

を作製し、可動接点として使用することにより、繊維状基材間に 300 μm のギャップが生じても安定な電氣的接続が得られることを確認した。このような繊維間の電氣的接続を担保する可動接点構造は、世界でも類を見ない。先行技術調査では、繊維状基材そのもの、あるいはそれを使った織物に関する技術は見られたが、滑り接触や繊維間のギャップに起因する電氣的不安定性の問題を解決する技術は見られなかった。

・メートル級(1 m x 5m)サイズを有する世界最大級のフレキシブルタッチセンサシートの試作に成功した。sナイロンなどの繊維状基材上に PEDOT 導電性高分子、及び絶縁材料のダイコーティング連続形成技術を確認したことで、km オーダーの容量型タッチセンサ用機能性繊維を 10m/min という実用的速度で形成可能になった。同様の原理の 10 cm 角程度のタッチセンサが名古屋大学より発表されているが(Proc. MEMS2009, pp773-776)、今回は機能性繊維を大量に連続形成するプロセスを開発することにより大面積化を実現した。また、FPD 用のタッチセンサは 50 インチ超のものが発表されているが(第 3 回国際タッチパネル技術展)、曲面上に設置可能なタッチセンサについてはこれまでに発表されていない。

1.2.4 新たな技術領域の開拓

新たな技術領域が開拓されると期待される BEANS プロジェクトの成果を 1)異分野融合によるもの、2) 新たな概念に基づく技術によるもの、3) 技術の高度化によるものに分類して以下に示す。

1) 異分野融合による新技術領域の開拓

- ・MEMS 技術を使ったマイクロ流体デバイスに脂質二重膜を形成したり肝細胞を配列したりする技術や中性粒子ビームを用いて有機材料を微細加工する技術等を開発しており、MEMS 技術にバイオ材料や有機材料を応用する新たな技術領域を開拓することが期待できる。
- ・有機材料を直接エッチングする技術はこれまでなかったが、中性粒子ビームを利用したエッチングにより有機材料を直接エッチングすることが可能になり、有機薄膜デバイスを製作する新たな技術領域を開拓することが期待できる。
- ・抗体・ペプチドを利用したナノ粒子の選択的修飾・パターニング技術を開発しており、新たなナノ粒子の選択的修飾・パターニング技術領域を開拓することが期待できる。
- ・トップダウンプロセスにより形成した溝にナノ粒子を配列する技術や陽極酸化による自己組織ナノマスクを利用したトップダウンプロセスによりマイクロ・ナノ構造形成技術等を開発しており、半導体技術をベースとするトップダウンプロセスとバイオ・ナノ技術をベースとしたボトムアッププロセスを融合した新たな微細加工技術領域を開拓することが期待できる。

2) 新たな概念に基づく技術による新技術領域の開拓

- ・細胞ビーズを用いた 3 次元ヘテロ構造形成技術等を開発しており、新たな生体外 3 次元細胞構築技術領域を開拓することが期待できる。
- ・肝細胞の配列による胆管形成技術を開発しており、胆汁を長期連続計測できる新たな薬物動態計測領域を開拓することが期待できる。
- ・有機薄膜熱電デバイスや熱電半導体ナノポア構造形成の開発をしており、従来の無機熱電デバイスに代わる新たな熱電デバイス加工の技術領域を開拓することが期待できる。

- ・有機半導体ナノドット、ナノピラーを形成する技術を開発しており、有機材料合成に構造形成も可能な新たな技術領域を開拓することが期待できる。
- ・超臨界流体による有機機能材料の製膜と充填技術を開発しており、従来不可能であった微細加工領域への有機材料の製膜と充填技術領域を開拓することが期待できる。
- ・従来の化学繊維の加工ではなく、繊維状基材に機能性膜を高速連続形成するダイコーティング技術や、繊維状基材へのナノインプリントや光インプリントによるマイクロ加工技術による機能性繊維を形成する技術等を開発しており、新たな繊維加工技術領域を開拓することが期待できる。
- ・従来の大型真空装置を利用した大面積成膜技術にかわり、局所雰囲気制御下での大気圧プラズマによる化学輸送法や新規な塗布技術により非真空高品位膜を形成する技術を開発しており、新たな非真空の大面積成膜技術領域を開拓することが期待できる。

3) 技術の高度化による新技術領域の開拓

- ・100nm を切るナノポラス形成技術の開発をしており、新たなナノ構造形成技術領域を開拓することが期待できる。
- ・フェムト秒レーザを利用したトルルー3次元構造微細加工技術を開発しており、従来の表面微細加工技術に代わる新たなトルルー3次元構造微細加工技術領域を開拓することが期待できる。
- ・中性粒子ビームを利用した原子層レベルでの無損傷エッチング技術を開発しており、従来の表面損傷の大きいプラズマエッチング技術に代わる新たな無損傷エッチング技術領域が開拓できるとともにそれを利用した新規デバイスを創成することが期待できる。
- ・Si 基板上への化合物半導体ナノドット形成技術を開発しており、従来のサファイヤ基板を使った化合物半導体ナノドット形成に代わるシリコン基板への化合物半導体ナノドット形成技術領域を開拓することが期待できる。

1.2.5 成果の汎用性

BEANS プロジェクトでは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・連続プロセス技術の開発を通じ次世代デバイス創製のプロセスプラットフォームを構築することを目標としている。

各研究開発項目ではターゲットとするデバイスを想定し研究を推進しているが、開発しているプロセスは汎用性を有するものを選定しており、想定デバイス以外に应用可能なデバイスが存在する。

さらに、研究開発の成果を共有化することで、BEANS 本部主導、あるいは研究推進担当者同士の議論により、新たなアプリケーションが追加される例もある。具体的には、フェムト秒レーザによるガラスのナノ構造形成のバイオ分野のデバイスへの適用、自己組織化による有機ナノピラー形成の赤外線センサーへの適用等があげられる。

一方、異分野融合のプロセス開発の特長として、複数の BEANS センターが共同で推進する研究課題の存在がある。これらは本質的に従来考えられていない新たなアプリケーションを生むものであり、プロセスの汎用性につながるものである。具体的には、ナノ粒子配列による多孔質構造形成の熱電デバイスへの適用、抗体・ペプチドの材料選択的結合能を活用したプローブ先端へのナノ機能材料(カーボンナノチューブ等)の修飾、及び超臨界流体による機能性有機材料の製膜などがあげられる。この他、図 24 に示すように、最初に想定したデバイス(●)以外にも本プロジェクト推進によって应用可能なデバイス(◎)が増加した。この結果 BEANS プロセス技術がカバーする領域が点、線から面へと広がり、プロジェクト成果の汎用性、拡張性が高まった。

● 想定デバイス ● 展開可能デバイス

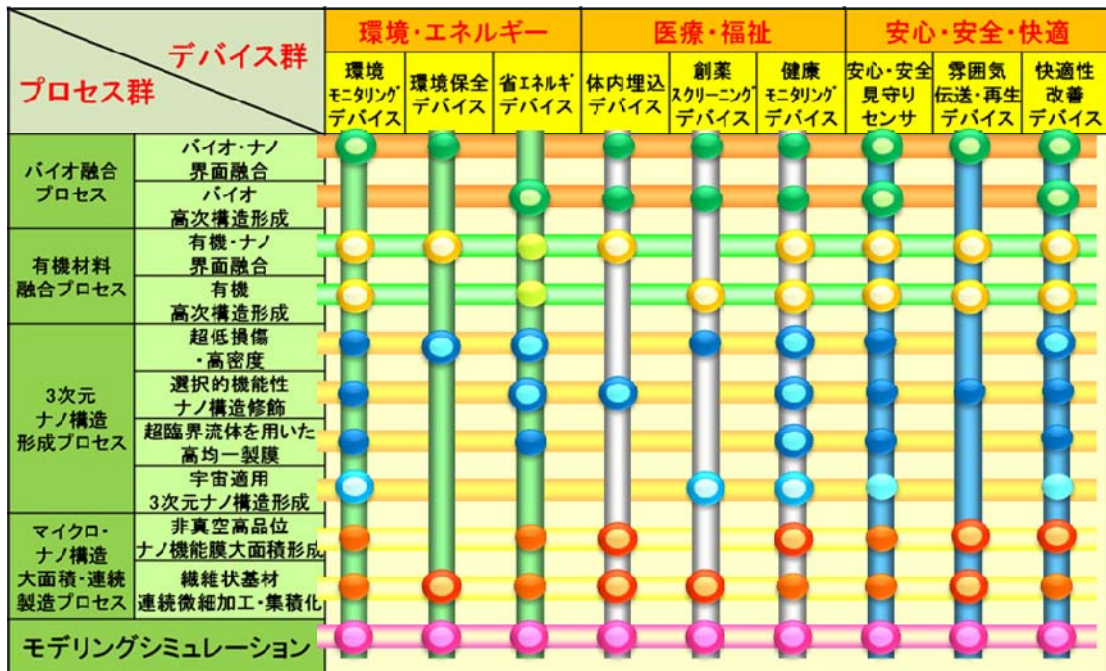


図 24 BEANS 基盤プロセス技術群の展開可能性

1.3 知的財産権等の取得及び標準化の取組

1.3.1 知的財産権等の取得の取組

BEANS プロジェクトは、戦略的かつ効果的な知財の取得と、その成果普及については産業の裾野を拡大すべく、中小・ベンチャー企業を含めた関係企業に速やかに普及させるための新しい仕組みをビルトインすることを目指した。

1) 戦略的かつ効果的な知財の取得

i. 知的財産権の帰属と権利取得のための出願・維持費用の負担の考え方

BEANS プロジェクトでは、東京大学、九州大学、立命館大学、産業技術総合研究所にそれぞれ研究拠点を整備し、それぞれの研究拠点にプロジェクト参加企業・大学、研究機関の研究者が集結する集中研究体制を採用したが、BEANS プロジェクトの遂行に協力する研究機関の研究者や、さらにプロジェクト成果を実用化につなげるために参加企業の研究部門の研究者との交流も図れるような実施体制を構築した。このような、従来の NEDO プロジェクトでは見られない実施体制のもとで多様な研究者が BEANS プロジェクトに従事するため、研究者のプロジェクトに従事する業態に応じて知的財産権の帰属を整理する必要があり、BEANS 知的財産権取扱規程において、表 6 のとおり整理した。

表 6 知的財産権の帰属

BEANS知的財産権取扱規程：研究者区分による知的財産権の帰属

BEANS知財規程参考表（平成22年4月1日改定；H22年度第2回知財委員会承認）

| 研究者の区分 | 研究者の定義 (BEANS知財規程第2条第2項) | 研究者の出身母体 | | BEANS P.j. の実施計画書 | | | 知財権の帰属 | |
|----------|---|--------------|-------------------------------|-------------------|-----------|-----------------|----------------------------------|--|
| | | 企業・機関 | 契約書等の有無 | 研究者の所属 (勤務場所) | 登録 研究員 | 労務費 対象 | 権利者 | 発明者⇒権利者 承継の手続き |
| ①雇用研究者 | 組合が雇用している研究者 | — | 雇用契約 | BEANS研究所 | ○ | ○ | 組合 又は組合員 | BEANS 職務発明規程 |
| ②出向研究者 | 組合員が組合に出向させた研究者 | 組合員企業 ・団体 | 出向契約／協定書 | BEANS研究所 | ○ | ○ | 組合員 | 組合員の 規則による |
| ③兼業研究者 | 研究機関の兼業規定に基づき組合に派遣された研究者 | 研究機関 | 兼業申請・許可 | BEANS研究所 | ○ | ○ | 組合 又は組合員 | BEANS 職務発明規程 |
| | | | 兼業に関する覚書等 | | | | 又は兼業元研究機関 *組合と協議 (NEDO承認要) | |
| ④招聘研究者 | 世界で高い評価を得ている研究者であって、組合が招聘した研究者 | 研究機関 | — (例なし) | BEANS研究所 | ○ | ○ | 組合 又は組合員 | BEANS 職務発明規程 又は招聘元研究機関 *組合と協議 (NEDO承認要) |
| ⑤受入研究者 | 若手研究者であって組合が受入れた研究者 (例：インターンシップ) | 研究機関 | — (例なし) | BEANS研究所 | ○ | 補助員費 | — | — |
| ⑥共同研究者 | NEDOとの本研究に関する委託契約を結んだ者で、組合と共同研究契約を結んだ者が本研究に従事させるために研究機関に派遣した研究者 | 東京大学 九州大学 | ・共同研究契約書 ・知的財産権の取り扱いに関する覚書 | 東京大学 九州大学 | ○ | × (ポストドクは対象) | 東京大学 九州大学 | 大学の規則による |
| ⑦交流研究者 | 組合員たる企業・団体が組合に出向の形態をとらず出身母体に在籍したまま本研究に関与する研究者 | 組合員企業 ・団体 | 交流研究協定等 | 組合員企業 ・団体 | ○ | × | 組合員 | 組合員の 規則による |
| | 組合交流研究協定又は共同研究契約を締結した研究機関に在籍したまま本研究に関与する研究者 | 研究機関 | 交流研究協定/ 共同研究契約等 | 研究機関 | ○ | × | 又は研究機関 *組合と協議 (NEDOの承認が必要) | |
| ⑧研究法人研究者 | 組合員たる研究機関が組合に出向の形態をとらず、研究機関に在籍したまま本研究に従事する研究者 | 産総研 立命館大学 | — | 産総研 立命館大学 | ○ | ×産総研 ○立命館 | 産総研 立命館大学 | 産総研、立命館大 学の規則による |

また、共同出願の場合、上表を原則として発明等の貢献度に応じて権利を配分し、その持分に応じて出願・維持管理費用も負担することを原則とするが、BEANS プロジェクトでは、大学に所属する研究者が含まれる場合は、大学に所属する研究者の持分である知財権は大学に帰属させるが、大学が負担すべき出願・維持管理費用を他の共同出願人である組合構成員が負担することとし、BEANS 知的財産権取扱規程では、次のとおり規定した。

- ・出願・維持管理費用は原則として権利者となり得る者が負担する。
- ・権利者となり得る者(出願人)は、出願内容及び権利の持分、出願国、出願・維持管理費用の負担等を定めた「共同出願契約」を締結し、共同で出願を行う。
- ・組合の研究従事者が大学に属する研究従事者と共同でなした発明等について大学の負担分に係る出願・維持管理費用は、次の区分で負担するものとする。
 - 一. 雇用研究者及び大学に属する研究従事者の場合は組合又は権利者となりうる組合員が負担する。
 - 二. 出向研究者が含まれる場合は出向元企業が負担する。
 - 三. 兼業研究者及び大学に属する研究従事者の場合は兼業研究者の出身母体と組合が協議のうえ負担を決定する。
 - 四. 招聘研究者及び大学に属する研究従事者の場合は招聘研究者の出身母体と組合が協議のうえ負担を決定する。
 - 五. 受入れ研究者及び大学に属する研究従事者の場合は組合が負担する。
 - 六. 交流研究者が含まれる場合は交流研究者の出身母体と組合が協議のうえ負担を決定する。
 - 七. 研究法人研究者及び大学に属する研究従事者の場合は、組合が負担する。

このような大学の属する研究者による発明等の帰属及び出願・維持管理費用の負担の考え方は、大学からの

知財取得のインセンティブを高めるためと、大学が不実施機関であることを考慮した結果である。また、上記第七号に示すとおり、大学の属する研究者と研究法人研究者が共同で出願する場合は、研究法人研究者が属する研究機関も不実施機関であることから、この場合の大学が負担すべき費用負担は原則として技術研究組合 BEANS 研究所が負担することにした。

なお、このような大学が負担すべき費用を負担した者に対しては、成果の実施(知財権の実施許諾)によりもたらされる実施料を権利者に配分する際、自身の知財権の持分に応じた分配額に加え、大学持分に応じて大学に分配する額から大学が負担すべき費用を負担した額を限度とした額の分配を受けることができるものとするることによって、費用負担の精算ができるようにした。

これらの費用負担の考え方は、BEANS プロジェクトの知財マネジメントの特徴の一つである。

ii. 知財審査会による効率的な出願

BEANS プロジェクトの知的財産取扱規程において、図 25 のような手続きフローを規定した。

BEANS「知的財産取扱規程」付図 BEANS研究成果の出願及び外部発表フローチャート

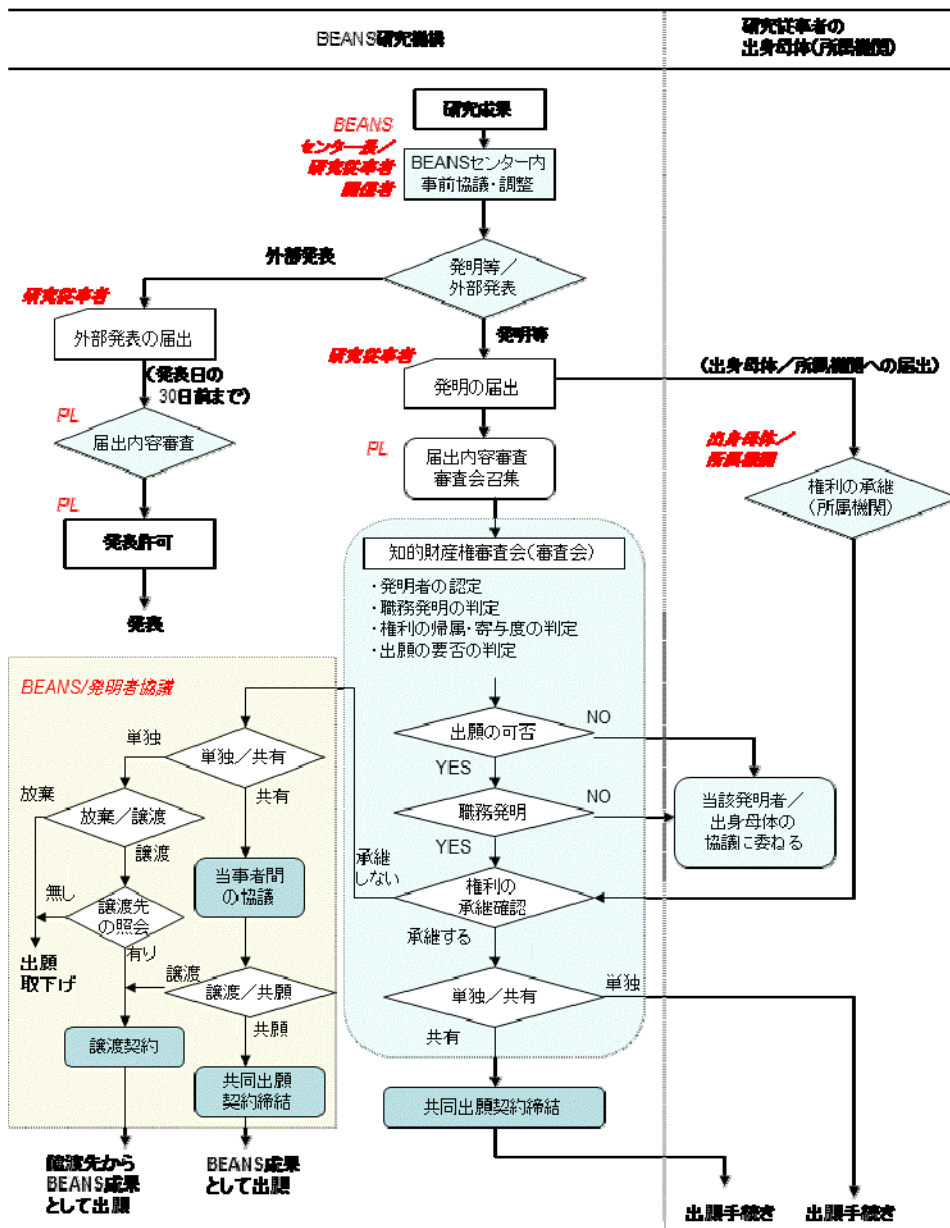


図 25 BEANS 知的財産権取扱規程で定めた特許出願及び外部発表のフローチャート

成果の内容については知財の取得を第一義とし、発明者からの「アイデアシート」の段階で研究拠点での協議・調整を義務付けていること、また、届出のあった発明等について、プロジェクトリーダーを議長とする「知財審査会」において、発明者の認定、権利の帰属等の認定とともに、特許出願については強い権利を取得すべく権利の方向性を定めるなど、効果的な出願内容に向けての検討を、案件ごとに審査することとしたことにより、戦略的かつ効果的な知財の取得を目指すことにした。

この「知財審査会」の設置は、戦略的かつ効果的な知財の取得だけでなく、BEANS の成果管理を一元化する上でも必要であり、BEANS プロジェクトの知財マネジメントの特徴でもある。

iii. 知財プロデューサの活用

工業所有権情報・研修館(INPIT)が、国際的競争力を持った産業を創出するため、公的資金が投入され、革新的技術の研究開発プロジェクトを推進している大学や研究開発コンソーシアム等へ、研究成果を事業化に結びつける知的財産の専門家を派遣する「知財プロデューサ事業」に基づき派遣された知財の専門家である知財プロデューサに、特許マップ作成を依頼し、特許マップに基づいた戦略的な出願を行った。

また、経験の少ない若手研究者(ポスドク等)に対して知財に関する講習会等を各研究開発拠点において実施し、知財の重要性、特許検索法、特許関連資料の作成方法を教育することで、研究者の知財スキル向上を図った。

2) 成果(知財)普及の仕組み

BEANS プロジェクトでは、本研究の研究成果としての知的財産権の利用・普及に関しては、参加企業がそれぞれ事業化するが、同時に産業の裾野を拡大すべく中小・ベンチャー企業を含めた関係企業にも速やかに普及させることを大きな目的としている。

このため、成果の普及に関してはBEANS プロジェクトに参加した個々の企業に任せるだけでなく、BEANS プロジェクトが終了した後に「成果管理・ライセンス業務機関」(以下「ライセンス機関」という。)を設け、BEANS プロジェクトにより生じた知的財産を一括管理し、ライセンス機関から直接技術移転できる仕組み(One-Stop-License)を構築した。(図 26)

このライセンス機関が BEANS 成果の一括管理およびライセンス活動を行なうことができるようにするため、BEANS 知的財産権取扱規程では、BEANS プロジェクトにより生じた産業財産権(フォアグラウンド IP)の権利者は、技術研究組合 BEANS 研究所に再実施許諾権付き非独占的通常実施権を無償で許諾することとした。

このように、従来のプロジェクトではプロジェクト参加者が個々に保有している特許権等を、ライセンス機関に再実施許諾権を付与することによりライセンス機関に集積し、ライセンス機関において One-Stop-Licence を可能にしたことは、他のプロジェクトでは例がなく、BEANS プロジェクトの成果普及の仕組みの大きな特徴である。

なお、このような仕組みを構築するにあたって、BEANS 成果(知財)利用の仕組み、実施許諾条件の決め方が、特許法及び公正取引委員会「知的財産の利用に関する独占禁止法上の指針」(改正:平成 22 年 1 月 1 日)上で問題があるか否かについての課題整理をもとに、平成 24 年 4 月 3 日に NEDO の顧問弁護士のチェックを受け、問題が無いことを確認した。

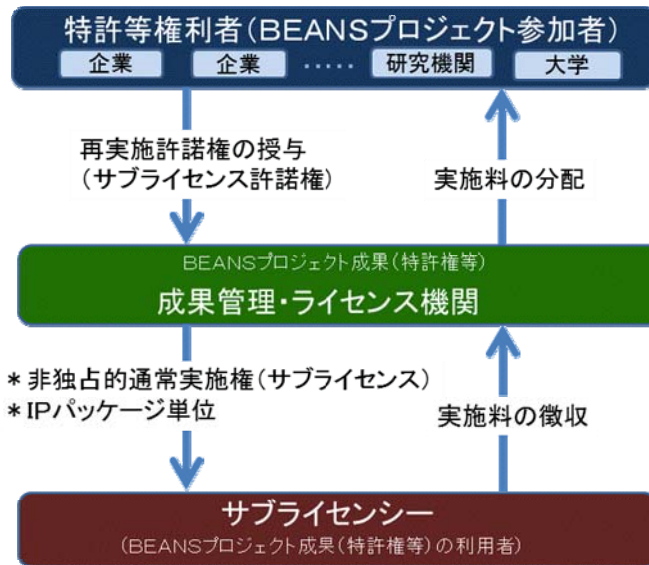


図 26 BEANS プロジェクト成果(特許権等)のライセンスの仕組み

この BEANS 成果普及の仕組みの考え方をもとに、公的資金が投入された BEANS プロジェクト成果(特許権及び特許出願中のもの。以下「特許権等」という。)を利活用したいと希望する事業者に、広くかつある公平に実施許諾することができるよう、BEANS プロジェクトの成果普及に際して、実施許諾の条件設定をはじめとした、ライセンスを行う際の業務処理の基準を以下のように定めた。

i. ライセンス機関のあり方とサブライセンスの流れ

ライセンス機関は、サブライセンシーからの特許等の打診・引合い、実施許諾の申入れがライセンス機関にあった場合は、「サブライセンスの流れ」(図 27)に従って、特許権者とサブライセンシーとの実施条件の協議の場の設定、実施許諾条件の案を提示するなどして、サブライセンシーとの窓口として機能するものとし、サブライセンス契約締結に向けた三者協議を主導する役割を持たせた。

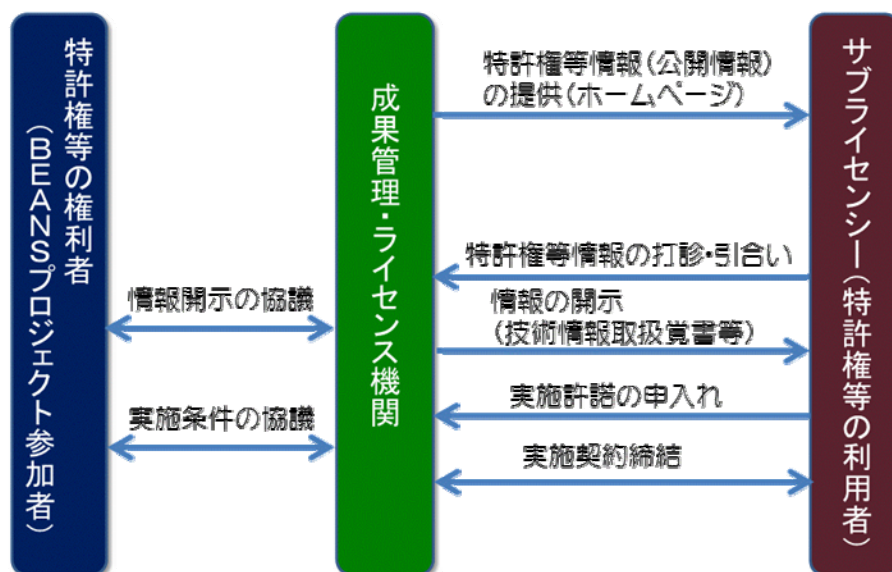


図 27 サブライセンス(技術移転)の流れ

サブライセンシーから特許権等情報の打診引き合いがあった時は、サブライセンス契約締結前にライセンス対象となる技術情報等の秘密情報を開示することになるので、当該特許権の権利者と情報の開示方法及びその内容を協議し、技術情報取扱に関する覚書等の秘密保持契約書を締結したうえで開示するようにした。

実施条件設定の協議を進める手順としては、ライセンス機関がライセンスを行う際の業務処理の基準に沿った実施条件を当該特許権者に提示し、ライセンス機関と権利者が合意した実施許諾条件としたうえでサブライセンシーに提示し、ライセンス機関、当該権利者(特許権等が共有特許権等の場合は共有者全員)及びサブライセンシーの三者協議によって決めるようにした。

サブライセンス情報管理に関しては、ライセンス機関と当該特許権者が共有し、ライセンス機関は、当該特許権者以外の特許権者からの当該サブライセンスの内容についての問い合わせ等には応じないものとした。

ii. 実施許諾の対象者

実施対象者については、NEDO プロジェクトでは、本邦に事業所をおいている企業であれば NEDO プロジェクトへの参加が可能であるため、その成果である特許等に関しても日本国内で実施するにあたって国内企業か外国企業かということだけで差別はしないため、BEANS プロジェクトもこれに従って、日本国内で実施(特許法で規定する実施)する者に実施許諾することとした。

iii. 実施権の内容

実施権の内容については、NEDO プロジェクトでは、業務委託契約標準約款第 31 条第 3 項第四号において、組合員には専用実施権(仮専用実施権を含む。)の設定若しくは移転が可能になっているが(組合員以外に専用実施権を設定する場合は NEDO の承認が必要)、BEANS プロジェクトでは、成果が共通基盤技術であること、また広く利用希望者に利活用してもらうようにするため、実施権は、非独占的通常実施権とし、専用実施権及び独占的通常実施権は不可とした。

iv. 許諾対象の特許権等

(日本特許に限定)

企業活動のグローバル化により、プロジェクト成果である特許等を海外でどのように使うかの問題もあるが、外国出願のフォローアップが必要であること、及び特許係争への対応などの課題があるため、BEANS プロジェクトの成果普及に関しては、当面、日本特許等(出願中のものを含む)に限定した。

(パッケージ・ライセンス方式)

BEANS プロジェクトは、基盤的プロセス技術群に対応した研究拠点に産・学・研究開発独法(産総研)の研究者を集結して研究を実施したため、その成果である特許権等の多くは、大学と企業、研究開発独法と企業の共同発明によるものとなっている。また BEANS プロジェクトの成果は基盤的なプロセス技術であるため、その成果である特許権等の応用デバイスの幅は広い。従って、特許権等の利用を希望する事業者(以下「サブライセンシー」という。)は、プロセス技術群の特許権等の中からサブライセンシーの利用目的に応じた複数の特許権等を選択して形成する「IP パッケージ」単位のサブライセンスを行う方式とした。この IP パッケージの形成の仕方は、次の 2 つの方法からサブライセンシーが選択するものとした。

- ①類似技術を選択して形成する類似技術パッケージ
- ②サブライセンシーの実施目的に応じて選択して形成するカスタマー・パッケージ

これにより、サブライセンシーは、個々の特許権者と複数のライセンス契約をしなくてはならない手間を省くことができるようにした。

(バックグランド IP の取扱)

ライセンス機関が行うサブライセンスでは、BEANS プロジェクトの成果である特許権等と利用関係にある「特許権等の権利者が保有する特許権」(以下「バックグランド IP」という。)の存在を当該特許権者から申し出があった場合、これらのバックグランド IP についてもサブライセンスできるようにして、サブライセンシーの便宜を図ることとした。

バックグランド IP は、特許権者が自己のビジネスのために自己の費用負担で得られた特許権であるため、バックグランド IP の特許権者の権利を阻害しない条件のもとに、BEANS プロジェクトの成果である特許権等と利用関係にあるバックグランド IP の扱いを次のとおりとした。

○バックグランド IP の定義

- 1) BEANS プロジェクトの開始前から特許権者がその権利の全部又は一部を有していた日本国内の特許権等であって、BEANS プロジェクトの成果である特許権等を実施するために必要となる特許権等。
- 2) 1)の特許権者が、BEANS プロジェクトの成果である特許権等と共にサブライセンスすることを希望する特許権等として、BEANS 研究所(ライセンス機関)に自己申告したもの。
- 3) 2)により特許権者が自己申告した特許権等は、BEANS プロジェクトの成果である特許権等の実施のために必要となる全ての特許権者の特許権等が含まれるものではない。

上記の 3)は、サブライセンシーでの特許権等の実施が、どの製品分野のどの部分に利用されるかによって必要となるバックグランド IP が決まることから、予め特許権者が自己申告するバックグランド IP の範囲が特定できないためである。また、サブライセンシーにとっても、BEANS プロジェクトの成果である特許権等を実施する際、利用される製品分野によって権利者から予め自己申告されたバックグランド IP 以外のバックグランド IP の存在があることが判明した場合、事実上、特許権等が実施できない、というようなトラブルを避けるためにしたものである。このようなトラブルを避けるため、バックグランド IP に対するサブライセンシーの許諾については、バックグランド IP の特許権者の権利を阻害しないことを前提とした取り扱いを講じた。

○BIP のサブライセンシーへの許諾

特許権者が自己申告したバックグランド IP は、特許権者が保有する全ての特許権等が含まれるものではない。また、サブライセンシーからのサブライセンス申し込みの時点で特許権者から提示される場合もあるので、バックグランド IP のサブライセンシーへの許諾については、バックグランド IP の提示の時点によって次のとおりの扱いとした。

1) 自己申告されたバックグランド IP の許諾

自己申告されたバックグランド IP は、サブライセンシーに許諾しても良いことを前提とする。ただし、バックグランド IP の許諾条件については特許権者とライセンス機関とサブライセンシーの三者協議のうえ定める。

この場合、サブライセンス契約の締結は三者協議により、以下の 2 通りから選択する。

- ① IP パッケージに含めて、ライセンス機関とサブライセンシーの 2 者間契約とする。
- ② IP パッケージに含めず、BIP についての特許権者とサブライセンシーの 2 者間契約とする。

2) 自己申告されていない BIP の許諾

サブライセンシーから特許権等のサブライセンスの申し込みがあった場合、サブライセンシーとの三者協議の前に行うことにしているライセンス機関と当該特許権等の特許権者との二者間協議の場で、特許権者は、当該特許権等と利用関係にあるバックグランド IP の存在を明らかにし、当該バックグランド IP の許諾の条件については、次の方法によりものとし、その選択は、当該特許権者が行うものとする。

①当該特許権者と BEANS 研究所(ライセンス機関)とサブライセンシーの三者協議により定める。また、サブライセンス契約の締結は三者協議により、以下の 2 通りから選択する。

イ) 当該特許権等と当該バックグランド IP を併せ、ライセンス機関とサブライセンシーの 2 者間契約とする。この場合、特許権者はライセンス機関に当該バックグランド IP についてのサブライセンス許諾権を授与する。

ロ) 当該特許権等とは別に、当該バックグランド IP のライセンス契約は、当該バックグランド IP の特許権者とサブライセンシーの 2 者間とする。

②当該バックグランド IP に関しては、当該バックグランド IP の特許権者とサブライセンシーの二者協議のうえ定める。この場合、当該バックグランド IP のライセンス契約は、当該バックグランド IP の特許権者とサブライセンシーの 2 者間とする。

なお、上記 1) 及び 2) とも、BIP の許諾条件の協議の結果により、特許権者は当該 BIP の許諾をしないことができるものとする。

また、特許権等の特許権者が、BEANS プロジェクト成果である特許権等と利用関係にあるバックグランド IP の存在を明らかにせず、当該特許権等についてのサブライセンス契約がライセンス機関とサブライセンシーとの間で締結された場合は、当該特許権等の特許権者は、当該サブライセンシーに対し、明らかにしなかったバックグランド IP の権利行使を行ってはならないこととし、バックグランド IP の存在によりサブライセンシーが特許権等の実施できないというようなトラブルを避けるようにした。

v. 実施料の算定

(実施料の構成)

実施料は、特許権等の取得及び維持にかかる経費(以下「IP コスト」という。)を回収することをベースとする一時金と、実施料の支払いの対象となる製品売上高に実施料率を乗じて算出する額(以下「経常実施料」という。)を合わせた額とした。

$$\text{【実施料】} = \text{【一時金(契約締結時)】} + \text{【経常実施料】}$$

なお、一時金及び経常実施料には、それぞれライセンス機関の契約事務手数料を含めることにした。

(一時金の算定)

一時金に参入する IP コストは、IP パッケージに含まれる個々の IP コストの総和(Σ IP)とし、ライセンス機関の契約事務手数料は、 Σ IP コストの 5%の額とした。

$$\text{【一時金】} = \text{【}\Sigma \text{ IP コスト】} + \text{【}\Sigma \text{ IP コストの 5\%】}$$

個々の IP コストは、算定の煩雑さを避けるため、「表 7」による統一額を設定した。

表 7 IP コスト算定表

| 出願・取得・維持に要する経費(出願等経費) | | 経費の額 | |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| (1)法定費用 | ①出願料 | 15,000 円(定額) | |
| | ②出願審査請求料 | 118,000 円+(請求項数×4,000 円) | |
| | ③特許料 | 登録時 | {2,300 円+(請求項数×200 円)}×3 年分 |
| | | 登録後 | 4-6 年 |
| 7-9 年 | | | {21,400 円+(請求項数×1,700 円)}／年 |
| 10 年～ | {61,600 円+(請求項数×4,800 円)}／年 | | |
| (2)特許事務所費用 | ①出願時 | 300,000 円(定額) | |
| | ②出願後～特許登録前 | 100,000 円(定額) | |
| | ③特許登録時 | 100,000 円(定額) | |
| (3)費用負担者の経費 | BEANS 成果である特許権等 | {(1)+(2)}×0.15 | |
| | バックグランド IP | {(1)+(2)}×0.30 | |

注:(1)法定費用は、サブライセンス申し込み時点の特許庁の産業財産権関係料金を適用。

(2) 外部の特許事務所を使用せずに自社処理の場合には、(2)特許事務所費用の額を用いて IP コストを算定する。

(3) 出願等経費負担者の間接経費率は以下のとおりとする。

1)BEANS 成果の特許権等の場合は、NEDO 委託費に準拠して 15%とする。

2)バックグランド IP が含まれている場合、権利者における研究投資を考慮し、そのバックグランド IP の間接経費率は 30%とする。

この一時金は、サブライセンシーからサブライセンスの申し出があった時点での IP コストを算出することとし、当該ライセンスの申し出があった時点で算出した IP コストの額は、当該ライセンス期間中は変更しないこととした。

(経常実施料の算定)

経常実施料は、「基本額」に「実施料率」を乗じた額とする。

$$\text{【経常実施料】}=\text{【基本額】}\times\text{【実施料率】}$$

基本額は、以下の実施許諾製品の類型又はサービスから適切なものを選択する。

- ①販売単価及び生産数量が明確な場合 : 販売単価 × 生産数量
- ②販売単価及び販売数量が明確な場合 : 販売単価 × 販売数量
- ③サービスの売上額

なお、基本額の考え方は上記を基準とするが、特許権等には特許法上、物の発明、物を生産する方法の発明、方法の発明 があり、発明の実施の定義が異なること、また実務上では、システム(方式)発明、プロダクト・バイ・プロセス発明、利用発明、用途発明、媒体発明 などがあるので、上記の基本額として示した類型にこだわることなく、発明の内容により最適な類型を選択したとしても差し支えないこととした。

実施料率は、IP パッケージに含まれる個々の特許権等について、「表 8」の実施料率算定にあたって考慮すべき要素を勘案して、個々の IP ごとに、ライセンス機関、権利者及び利用者で協議して設定することを基本とした。

ただし、実施料率が、「国有特許権等(経済産業省所管)の実施権設定について」(平成 21 年 6 月 22 日経済産業省技術振興課)で実施料率設定の基準となる率、あるいは、契約事例にもとづく分野別実施料率参考値(発明

協会研究センター編「実施料率」第 5 版)と比較し、著しく高い率になる場合は、パッケージ・ライセンスに含まれる特許権等の数によって実施料率を軽減することができるものとした。

表 8 実施料率設定にあたって考慮すべき要素

| | |
|------------------|---|
| 特許権等の概要 | 特許権等の権利の状態(出願中、登録) |
| | IP の内容が、プロセス技術として基本部分か応用部分か。 |
| 実施製品あるいはサービスとの関係 | 実施製品あるいはサービスへの利用に際しての関与度 (例: 実施製品或いはサービスの総コストに占める特許権等の利用部分のコストの割合) |
| | 実施製品あるいはサービスに適用するにあたり、製品あるいはサービス改良等の追加開発投資の額。 |
| | 新規市場の創出への期待。 |
| | 国有特許(経済産業省所管)の実施権設定の場合の参考値 分野別実施料率参考値 |

(パッケージ・ライセンスの経常実施料の算出例)

パッケージ・ライセンスの経常実施料の算出は、パッケージ・ライセンスに含まれる個々の特許権等に対応する実施製品の経常実施料を積み上げて経常実施料を算出する方法(積上げ法)とし、その算出例を表 9 に示した。

表 9 経常実施料の算出例

| 技術分野 | IP | 実施料率 | | 実施製品 | | | 軽減率 (Kn) |
|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|
| | | 分野別基準率 | 適用する実施料率 | 販売単価 | 販売数量 | 実施実績の製品 | |
| T ₁ | P ₁₁ | α ₁ | α ₁₁ | β ₁₁ | γ ₁₁ | | |
| | P ₁₂ | α ₁ | α ₁₂ | β ₁₁ | γ ₁₁ | C | K _{C2} |
| | P ₁₃ | α ₁ | α ₁₃ | β ₁₂ | γ ₁₂ | | |
| | P ₁₄ | α ₁ | α ₁₄ | β ₁₂ | γ ₁₂ | | |
| T ₂ | P ₂₁ | α ₂ | α ₂₁ | β ₂₁ | γ ₂₁ | A | K ₃ |
| | P ₂₂ | α ₂ | α ₂₂ | β ₂₁ | γ ₂₁ | A | K ₃ |
| | P ₂₃ | α ₂ | α ₂₃ | β ₂₁ | γ ₂₁ | A | K ₃ |
| | P ₂₄ | α ₂ | α ₂₄ | β ₂₂ | γ ₂₂ | B | K ₂ |
| | P ₂₅ | α ₂ | α ₂₅ | β ₂₂ | γ ₂₂ | B | K ₂ |
| T ₃ | P ₃₁ | α ₃ | α ₃₁ | β ₃₁ | γ ₃₁ | D | K _{C2} |
| | P ₃₂ | α ₃ | α ₃₂ | β ₃₁ | γ ₃₁ | | |

■算定例

①類似技術を選択して形成する類似技術パッケージ(黄色対象)

$$\text{経常実施料①} = \{(\alpha_{21} + \alpha_{22} + \alpha_{23}) * \beta_{21} * \gamma_{21} * K_3\} \\ + \{(\alpha_{24} + \alpha_{25}) * \beta_{22} * \gamma_{22} * K_2\}$$

②サブライセンシーの実施目的に応じて選択するカスタマー・パッケージ(緑色対象)

$$\text{経常実施料②} = \{(\alpha_{12} * \beta_{11} * \gamma_{11}) + (\alpha_{31} * \beta_{31} * \gamma_{31})\} * K_{C2}$$

(実施料率の変更)

公正取引委員会「知的財産の利用に関する独占禁止法上の指針」では、ライセンサーがライセンシーに対して、

技術に係る権利が消滅した後においても、当該技術を利用することを制限する行為、又はライセンス料の支払義務を課す行為は、一般に技術の自由な利用を阻害するものであり、公正競争阻害性を有する場合には、不公正な取引方法に該当する(一般指定第 12 項)とされている。

このため、パッケージ・ライセンスに含まれる特許権等一部が無効、取消しあるいは消滅した場合、サブライセンシーから申し入れがあった場合は、その後の支払期限が来ていない実施料については変更できるものとした。変更後の実施料については、無効・消滅した特許権等を除き、再度実施料を算出し、実施料変更契約を締結することとした。

vi. 実施料の優遇措置

BEANS プロジェクトは技術研究組合 BEANS 研究所が NEDO から受託し実施したものであることから、組合構成員である組合員企業が特許権等を実施する場合は、以下の優遇措置を設けることにした。

$$\text{【BEANS 組合員の実施料】} = \text{【実施料算定方法により算出した実施料】} \times \text{【優遇率】}$$

優遇率は 8 割程度を標準とするが、ライセンス機関と当該特許権者と協議のうえ優遇率を設定することとした。

なお、組合の途中入会／途中脱会の組合員に対する優遇措置は、経常実施料の算定において、組合加入期間中の個々の特許権等に対し算定された実施料と、組合加入期間外の個々の特許権等に対し算定された実施料とに分け、組合加入期間中の個々の特許権等 に対して算定された経常実施料について優遇措置を講ずることとした。

また、BEANS プロジェクトの成果である特許権等は、産業技術力強化法第 19 条で規定された特定研究成果であることから、産業技術力強化法第 16 条の 2 の規定に規定する低廉実施の対象者に対するの優遇措置を設け、優遇率 0.8 を下限として、ライセンス機関と当該特許権者と協議のうえ実施料を決定するようにした。

vii. 実施料の特許権者への分配

サブライセンシーからライセンス機関が徴収する実施料は、次の方法により特許権者に分配するようにした。

1) 一時金の分配

一時金のうち、ライセンス機関の契約事務手数料(IP コスト相当額の 5%)は、ライセンス機関に分配し、IP コスト相当額は IP コストを負担した者に配分する。

なお、負担者が複数の場合は、IP コストの負担比率により配分する。

2) 経常実施料の分配

経常実施料は、当該期間に徴収した経常実施料からライセンス機関の契約事務手数料(経常実施料の 5%)を差し引いた額を、当該特許権者の権利持分に応じて分配する。分配方法の例を「図 28」に示す。

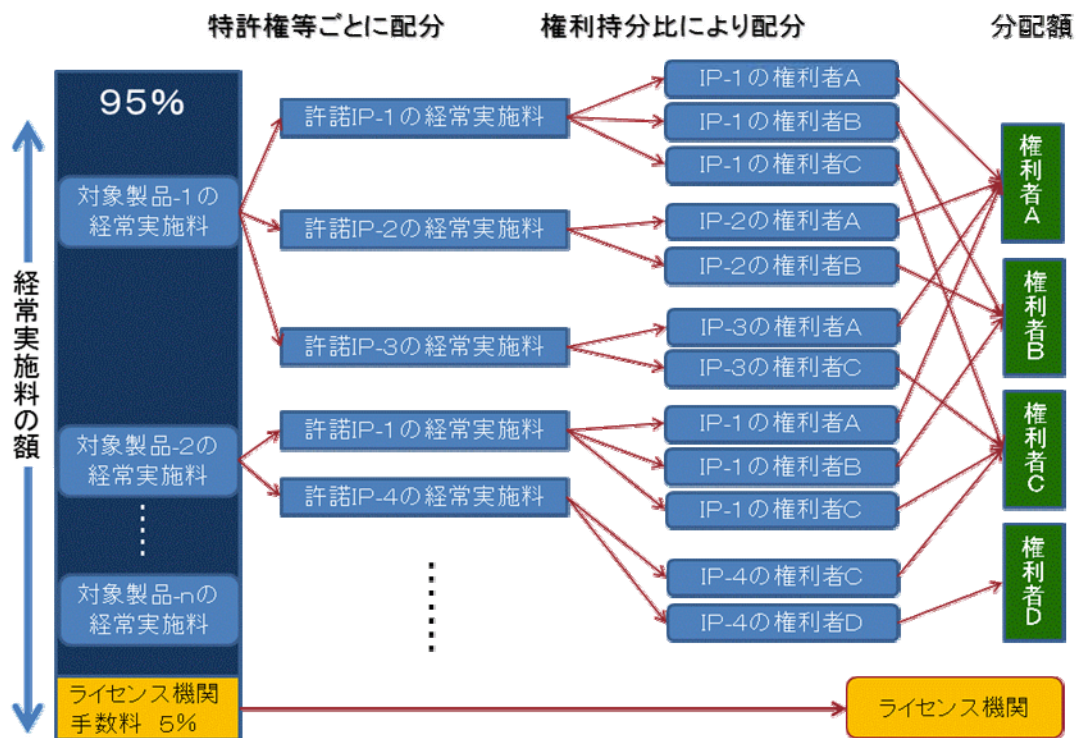


図 28 經常実施料の特許権等の権利者への分配方法の例

經常実施料の分配時期は、ライセンス機関がサブライセンシーから經常実施料を徴収後、受領日の翌月末までに、当該特許権者の指定する口座に振り込むこととし、その振込手数料は、当該特許権者が負担することとした。

特許権は、特許発明を一定の期間、独占的に利用することができる非常に強力な権利であるため、BEANS プロジェクトの成果である特許権等の利活用の仕組みを構築するにあたっては、特許権等の権利者の権利行使を極力阻害しないことを前提として、ライセンス機関がライセンスを行う際の業務処理の基準を策定した。

BEANS プロジェクトの成果普及に関し、ライセンス機関が行うサブライセンスの業務処理の基準は今まで述べたとおりであり、参考として、特許権者が独自に行うライセンスとの比較をまとめると表 10 のとおりである。

表 10 ライセンス機関が行うサブライセンスと特許権者が行うライセンスの比較

| | ライセンス機関が行うサブライセンス | 特許権者が行うライセンス |
|-----------|---|-----------------------------------|
| 実施対象者 | 日本国内で実施(特許法で規定する実施)する者 | 特許権者の判断 |
| 許諾対象の特許権等 | ・日本特許等(出願中のものを含む) (外国出願のものは対象にしない。) ・IP パッケージ単位で許諾 | 特許権者の判断 |
| 実施権の内容 | ・非独占的通常実施権(サブライセンス) (専用実施権、独占的通常実施権は不可)。 ・実施の内容は特許法で規定する実施。 | 非独占的通常実施権 (専用実施権、独占的通常実施権は不可)。 |
| 実施料の算定 | ・実施料は、[一時金+経常実施料]で構成。 ・【BEANS プロジェクト成果(特許権等)サブライセンスのガイドライン】を参考に、ライセンス機関、当該特許権者、サブライセンシーの三者協議で決定。 | ライセンス機関の【ガイドライン】には制約されない。 |
| 実施料の徴収・分配 | 実施料はライセンス機関が徴収し、ライセンス機関の契約事務手数料を差し引いた後、当該特許権者の権利持分比率に応じて分配。 | |
| 実施料の優遇措置 | 利用者が次に該当する場合は実施料の優遇措置を設ける。 ①BEANS 研究所組合員 ②産業技術力強化法第 16 条の 2 に規定する低廉実施の対象者 | |
| 実施の報告 | 経産省・NEDO への報告義務有。 | 経産省・NEDO への報告義務有。(自己実施を含む) |

1.3.2 標準化の取り組み

1) 標準化活動

本研究のような先端的製造プロセス技術の開発においては、開発段階では具体的なデバイスが特定されていないため、標準化に関する議論は後回しになりがちである。しかしながら、近い将来デバイスが具体化されていくにつれて、標準化の議論が必要となるのは必然である。そのため、開発の段階から将来のデバイスのイメージを常に想定しながら標準化の準備を進めることが国際標準化を主導する上で必要不可欠である。

本プロジェクトでは、プロジェクト発足と同時に参画団体の標準化担当メンバーによる標準化委員会を設置し、他に先んじて将来有望技術のポイントを考察し、標準化において主導すべき事柄をいち早く見つけ出して標準化提案に結び付ける検討に着手した。以下、標準化委員会の活動及び成果について述べる。

2) 標準化委員会の活動

本プロジェクト開始後、平成 20 年度 3 回、平成 21 年度 2 回の標準化委員会を開催した。この委員会において議論を重ねた結果、はじめに「用語の標準化」、その後「評価法の標準化」の順に進めることになった。

用語の標準化に関しては、分科会を設置して、用語収集、分類、抽出、規格案作成作業を進めた。分科会メンバーは標準化委員、及びそれ以外の有識者から各センター長が 1~2 名指名し、プロジェクトのすべてにまたがる技術分野をカバーするようにした。この分科会は、第一段階で重要用語を収集、プロジェクト内での共通認識のための用語集を作成、第二段階として用語集を精査して IEC 提案を作成する二段階方式で作業を進めた。重要用語の収集にあたっては、以下の点に留意した。

- (1) BEANS 特有の分野、ナノ・バイオ分野など異分野融合の概念が必要
- (2) 用語の収集基準は、①技術的重要性、②国際的普及性、③概念の明確性が基本

平成 22 年度以降、用語の標準化検討はマイクロマシンセンターに設置した「MEMS 用語標準化委員会」に承継した。MEMS 関連国際規格は IEC(国際電気標準会議)の分科委員会 SC47F で審議が行われており、MEMS 用語は 2005 年に現行規格(IEC62047-1)が発行されている。IEC 国際規格は発行から 5~8 年経過後をめぐりに内容の見直しが行われることから、この用語の規格の見直しの際に BEANS プロジェクトにおける検討結果を盛り込むこととした。IEC への具体的な提案内容については、MEMS 用語標準化委員会のもとに「MEMS 用語検討分科会」を構成して具体的な作成作業を実施した。MEMS 用語標準化委員会は平成 22 年度に 2 回、平成 23 年度に 2 回、そして平成 24 年度に 2 回(開催した。その結果、現行 MEMS 用語国際規格で規定する 109 件の用語に対して、定義見直し 9 件、新規追加 15 件という案をまとめ、平成 25 年度内に IEC に改正提案を提出することとした。

また、計測評価法の標準化については、①技術的重要性、②国際的普及性、③方法の明確性及び④提案分野適合性の観点から、測定項目・測定対象を抽出した。今後、各対象のプライオリティ付けを行い、事業動向、及び知財戦略を考慮しながら標準化検討を進めていく必要がある。以下、抽出した測定項目・測定対象の例を示す。

- ・胆管代謝物質、膜貫通膜タンパク質の蛍光強度測定
- ・血糖値
- ・有機 EL 素子の外部量子効率
- ・金属錯体などの有機物質の超臨界流体中における溶解度
- ・エッチングダメージによるカンチレバーの機械的エネルギーロス
- ・繊維状基材およびその接点構造
- ・変位(引張・圧縮方向および摩擦方向)、荷重、接触抵抗
- ・静電容量式布状タッチセンサ
- ・人の指とセンサ布の間の静電容量変化

1.4 成果の普及

プロジェクト開始後、毎年、総合イベントマイクロナノでのマイクロマシン/MEMS 展@東京ビッグサイトに出展した。プロジェクト開始の翌年の平成 21 年 7 月以来毎年連続して出展しており、これまで計 4 回出展したことになる。平成 23 年も平成 24 年も 7 月に出席し、プロジェクトの成果展示を行った。同時に特設講演会場にて「BEANS プロジェクトセミナー」を開催し、BEANS プロジェクトの成果普及に努めた。毎回大盛況で、立席も含めて約 400 名以上の聴衆があった。また BEANS の認知用に毎年最新の技術成果を満載した技術紹介パンフレットを作成し、展示会会場などで配布した。プレスリリースは随時行ってきた。特に東京大学生産技術研究所とは共同で研究開発項目①-A でバイオに関連したプレス発表は数多く行った。また BEANS プロジェクトの成果発表がなされる学会、講演会等においては展示会が併設される場合には積極的にブース展示を行った。各年度の主な成果普及活動の内容を表 11 にまとめる。

また、BEANS プロジェクトのホームページ、ブログを開設し、広く BEANS の成果普及を図った。

表 11 主な成果普及活動の内容

| 平成 20・21・22 年度 | 平成 23 年度 | 平成 24 最終年度 |
|--|---|--|
| <p>■第 19 回マイクロマシン/MEMS 展 2008/7/30-8/1</p> <p>■NANO KOREA2008 /Microtech 2008/8/27-29</p> <p>■第 25 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム 2008/10/22-24</p> <p>■プレス発表 2009/1/22 「身長5ミリ!?～階層化された細胞組織の立体形成に成功～」</p> <p>■プレス発表 2009/6/19 「光る耳!?～体内で光る血糖値センサーの開発～」</p>    <p>竹内昌治 Life BEANS センター長</p> <p>■第 20 回マイクロマシン/MEMS 展 BEANS 展示ブース(5 小間)2009/7/29-31</p> <p>■BEANS プロジェクトセミナー2009/7/30</p>   | <p>■第 22 回マイクロマシン/MEMS 展 BEANS ブース展 2011/7/13-15@東京ビッグサイト東1・2ホール BEANS プロジェクトの全貌および研究成果と応用を紹介</p>  <p>■第 5 回 BEANS プロジェクトセミナー講演会開催 2011/7/14@東京ビッグサイト東1・2ホール 特設会場</p>  <p>藤田博之 SPL</p> <p>■プレス発表/メディア報道 2011/8/2【東京大学 竹内昌治准教授】</p> <ol style="list-style-type: none"> ①日本経済新聞/朝刊34面「血糖値、続けて計測 東大など、センサー使い4カ月 糖尿病の治療に活用へ」 ②日本経済新聞/電子版「血糖値、続けて計測 東大など、センサー使い4カ月」 ③日経産業新聞10面「東大・テルモ 血糖値に応じ光る 繊維状センサー4ヶ月後も正確」 ④毎日新聞/朝刊6面「管の光で血糖値を測定 東大が開発 耳に埋め採血不要」 ⑤毎日新聞/電子版「血糖値:管が光って測定 マウスの耳に埋め採血不要 東大」 ⑥NHK/TV【おはよう日本】「高血糖で光るセンサーを開発」 ⑦NHK/NEWS WEB:「高血糖で光るセンサーを開発」 ⑧共同通信「光るマウスの耳で血糖値分かる 糖尿病患者に朗報か【米科学アカデミー紀要電子版PNASに発表】」 | <p>■第 23 回マイクロマシン/MEMS 展 BEANS ブース展示 2012/7/11-13 @東京ビッグサイト東2ホール BEANS プロジェクトの全貌および研究成果と応用を紹介</p>   <p>■第 6 回 BEANS プロジェクトセミナー 講演会開催 2012/7/13 @東京ビッグサイト東2ホール 特設会場A</p>  <p>安達千波矢 LifeBEANS 九州センター長</p>  <p>杉山正和 3D BEANS センター長</p> |



青柳桂一 研究調整監

■「日経マイクロデバイス 2009/7月号」掲載
大面積デバイスの連続製造
非真空と機織りで低コスト化

■「日経マイクロデバイス最終号 2010/1月号」掲載
「デバイス技術で自然を超える。超自然界で需要創出。人工細胞をデバイス技術で実現」
「デバイス技術で自然を超える。超自然界で需要創出。まずは有機材料の性能向上」

■「日経Tech-On!」にWEB掲載:繊維デバイスによる接触検知シートが登場 2009/8/21

■BSジャパン放映:MEMS「生活習慣病を改善!?世にも奇妙なビーズが登場!」2009/9/13

■SEMICON Japan2009 2009/12/2-4
「繊維状基材の立体インプリント技術」ポスター展示

■東京大学生産技術研究所オープンハウス
2010/6/3にて BEANS 関係の集中展示

■第21回マイクロマシン/MEMS展
BEANS 展示ブース(12小間)
2010/7/28-30

■BEANS プロジェクトセミナー2010 中間成果発表 2010/7/29



小野寺徳郎 知財プロデューサー

■日本テレビ「世界一受けたい授業」.細胞ビーズでセンチメートルオーダーの厚さの3次元組織(指)を形成することができた事が「人類の最先端の挑戦」として紹介 2010/07/17

■「日経 Tech-On!」にWEB掲載 2011/8/3【東京大学 竹内昌治准教授】「耳が光って血糖値の変化が分かる.東大生産研などがマウスでのセンサ長期埋め込みに成功」

■「東京大学HP」にWEB掲載 2011/8/10【東京大学 竹内昌治准教授】「耳が光って血糖値をお知らせ~4か月以上長期埋め込み計測に成功~」

■プレス発表/メディア報道 2011/8/2【東京大学 竹内昌治准教授】

①TV・CNNニュース
②TV・ワールドビジネスサテライト「マウスの光る耳、血糖値センサ 4か月連続測定可能」

■プレス発表/メディア報道 2011/8/12【東京大学 竹内昌治准教授】産経新聞 2011.8.12 朝刊 12版 「光る耳で血糖値を測定」

■プレス発表/メディア報道 2011/10/2【東京大学 竹内昌治准教授】読売新聞 2011.10.2 朝刊 12版 暮らし、教育「高血糖を光ってお知らせ 耳に埋め込み可能な繊維」

■専門誌記事掲載 2011/11月【東京大学 竹内昌治准教授】月刊へるすあぶ21 12月号 榊法研 新潮流インタビュー「血糖値を光センサーでお知らせ」

■専門誌記事掲載 2012/3月【東京大学 竹内昌治准教授】化学と工業 Vol.65 2012. 3月号P.173-177
OVERVIEW:血糖値コントロールが治療の鍵、進歩する糖尿病治療と新たな課題

■第28回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム@東京タワーホール船堀 2011/9/26
BEANS プロジェクト全体の紹介パネル展示

■技術研究組合50周年シンポジウム/METI主催 2012/3/27 @ベルサール半蔵門 技術研究組合としての BEANS プロジェクト全体を紹介 パネル展示



伊藤寿浩 Macro BEANS センター長



遊佐厚 PL



福本宏 副所長

■プレス発表/メディア報道 2012/7/8-10【東芝】

①日刊工業新聞 2012年7月10日 23面
②セミコンポータル:2012年7月8日③Electronics Weekly 7/9/2012

「次世代以降向けマスク描画・修正技術を開発~50nm線幅ブロープリソで数百倍の描画耐久性向上を実現~」耐摩耗ブロープに関して、応付き耐摩耗ブロープの構造、作製及びそれを用いた2メートル描画の結果を報告

■産総研「日本を元気にする産業技術会議」2012/7/25 @日経カンファレンス ルーム東京大手町

「日本の競争力を創造する化学産業の将来展望」シンポジウムでのパネル展示

■専門誌記事掲載 2012/9月【Life BEANS九州】月刊マテリアルステージ Vol.12, No.6 ナノペースによる従来の熱電変換材料の効率改善

■第29回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム @北九州国際会議場および西日本総合展示場 2012/10/22-24 BEANS プロジェクト全体の紹介パネル展示

■INPITシンポジウム@ホテルグランドアーク半蔵門4階「富士」2012/12/7 日本産業を元気にするための産学官連携プロジェクト~課題と将来展望~「BEANSプロジェクトの研究開発体制および知財マネジメントの仕組み」新たな知財活用システムを追及する活動を紹介:竹井裕副所長

■機関紙掲載 特許行政年次報告書(特許庁発行)コラム掲載 2012/4月予定
小野寺徳郎 知財PD:「BEANS プロジェクトを振り返って」

IV. 実用化に向けての見通し及び取組みについて

1. 実用化に向けての見通し及び取組み

1.1 成果の実用化可能性

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を開発するプロジェクトではあるが、中間評価を受け、後半2年は想定した出口デバイスに要求される仕様を目標値に設定し、デバイス試作・評価を通して製造基盤技術を確実なものとする方針に軌道修正を行った。出口デバイスは、本プロジェクトに参画し技術研究組合 BEANS 研究所に出向研究員を派遣している企業から、社会的ニーズ、従来技術からの優位性、及び市場規模等を考慮し提案されたものを基本としている。企業により実用化予想時期は異なるが、早い企業ではプロジェクト終了時の2012年からの事業化を予想しており、遅い企業でも2023年の事業化を予想するなど、実用化に向けたマイルストーンも明確になっており、多くの成果が実用化されるものと期待できる(参照:BEANS 成果実用化ロードマップ(非公開))。

図29にBEANS成果の実用化に向けた計画を示す。プロジェクト前半3年は、要素研究のフェーズと位置付け、革新的なプロセス、材料、及び装置に関する要素技術の研究開発を広く実施した。後半2年は、実証研究のフェーズとして、要素研究の成果を取り入れ、想定される出口デバイスの試作・評価に資源を重点的に投入するとともに、基盤技術の研究も並行して実施した。プロジェクト終了後は、得られた成果を参画企業が持ち帰り、企業内で実用化開発を加速する、又は、さらに研究が必要なテーマに関しては、次期プロジェクトに繋げるなど次のフェーズへの移行が検討・計画されている。

一方、BEANS プロジェクトの主要な成果である知的財産は、前章で述べた通り、一元的に管理する機関を組織し、プロジェクト終了後、ホームページでの公開や発明推進協会との連携による情報発信を積極的に行い、利用希望者へのライセンス業務を開始する。また、BEANS プロジェクト全期間を通して構築を進め、目標の登録数、内容の質、及びシステム機能を達成した知識データベースは、プロジェクト終了後、速やかに公開される。



図 29 BEANS 成果の実用化に向けた計画

BEANS プロジェクトでは、異分野融合型の広範な製造基盤技術開発を実施してきたため、その実用化の形態も多様なものとなる。図30に実用化の形態と想定される事業を纏めて示す。実用化の形態として、①革新的デバイスの開発を通じたデバイス販売、及びデバイスの社内利用による分析・評価サービス、②革新的製造装置開発を通じた装置販売、及び装置の社内利用による加工サービス、及び③革新的プロセス技術開発を通じた技術そのもののライセンス等を定義した。



図 30 実用化の形態と想定される事業

1.2 波及効果

BEANS 技術はそのテーマ名が示すように、異分野を融合する技術であり、ベースとなる MEMS 技術が従来ターゲットとしていた自動車分野、情報・通信分野だけでなく、環境・エネルギー分野、医療・福祉分野、安心・安全・快適分野へも適用可能な技術であり、波及効果が大きい。特に、バイオ高次構造形成プロセス技術はヘテロな細胞を 3 次元的に任意に構築することを可能にする技術であり、再生医療への波及効果も大きいと考える。その他にも体内埋め込み型の高感度センサや大面積フレキシブルデバイス等が実現でき、社会的、経済的にも波及効果が大きい。先述の通り BEANS 技術は人・生活・地球を豊かにする技術であり、また、汎用性のある技術であるので、広い分野への波及効果を有する。

また、プロジェクトの成果普及に関しても、BEANS 知識データベースの公開を通して、専門家だけでなく一般の人にも広く成果普及が可能な枠組みが構築されている。

人材育成に関しても、准教授クラスの若手研究者をセンター長に抜擢して研究リーダーにあたらせるとともに、企業の研究管理経験者を副所長としてセンター長と連携して研究管理にあたらせることで、将来の研究開発リーダーの育成を図っている。また、集中研方式を採用して、産官学の研究者が集結した拠点形成を行い、産官学の研究者の融合を図るとともに、企業の研究管理手法を導入した進捗管理と学の最先端研究開発の手法の融合を図って、効率的な最先端研究開発ができる人材育成を図っている。その結果、学会での表彰、大学の教員として転出など多くの成果が生まれている。

さらに、知財成果の普及活動・体制に関しては、個々のプロジェクト参加者からライセンス機関に再実施許諾権を付与することによりライセンス機関において One-Stop-License を可能にするなど、これまでの NEDO プロジェクトでは前例のない成果の利用の仕組みを構築した。一方、知財利活用・マネジメント実施等の成果普及に関しては、多面的なアプローチが必要とされたため、プロジェクト終了後に行う成果普及活動、及びその体制を次のように構築した。

1) 成果管理・ライセンス機関

ライセンス機関は、一般財団法人マイクロマシンセンター(MMC)内に設置し、MMC が成果普及活動を行うこととした。

2) 成果普及活動

BEANS プロジェクトの成果である特許等の利用方法及び特許等の内容については、MMC のホームページ上で、表 12 の内容を公開することにし、成果普及活動は図 31 のように多面的なアプローチを行うこととした。

表 12 MMC ホームページでの情報発信の内容

| | |
|----------------------|---|
| BEANS 成果である特許等利用の仕組み | <ul style="list-style-type: none"> ・サブライセンスであること。 ・ワンストップライセンスであること。 ・特許等の許諾は、プロセス技術群から複数の特許等を利用者が選択して形成する「IP パッケージ」として実施許諾すること。 |
| 実施料算定の考え方 | <ul style="list-style-type: none"> ・実施料は、成果管理・ライセンス機関、特許等権利者、利用者の三者協議により決定すること。 ・実施料は、一時金と経常実施料で構成されること。 ・中小／ベンチャー企業へは、低廉対価での実施許諾をすること。(改正産業技術力強化法 16 条の 2 による措置) |
| 特許等の内容 | <ul style="list-style-type: none"> ・公開情報を基本とする。(公開情報: 公開公報、パンフレット、ポスター、知識データベース) ・特許等の内容は、BEANS プロジェクトで実施した プロセス技術群に対応させ、発明の概要及び応用例も入れて紹介する。 ・非公開情報の提供の内容については権利者の確認をとったものとする。 |

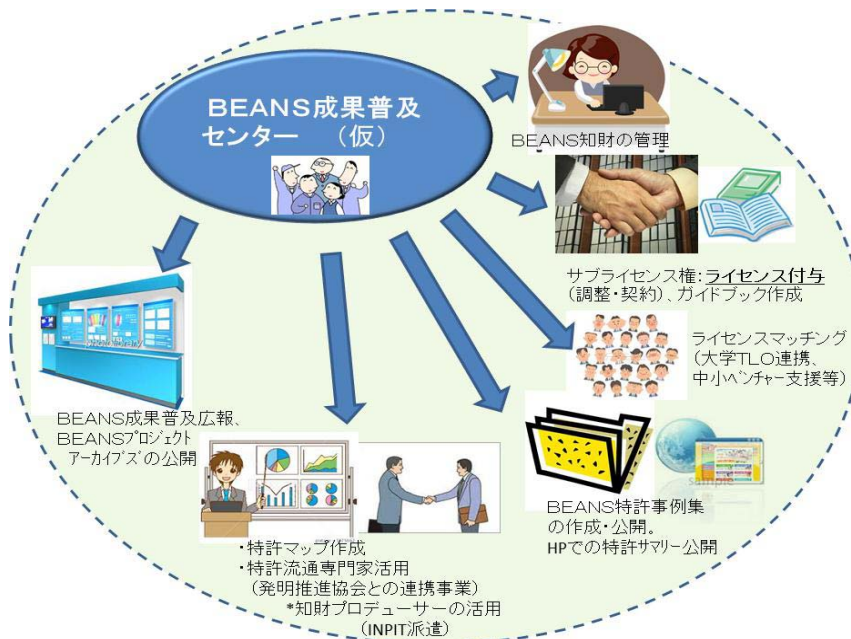


図 31 成果普及活動における多面的アプローチ