

「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 機械システム部
-----	------------------------------------

—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

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. 研究マネジメントについて

1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-5
2.1 研究開発の内容	II-5
2.2 研究戦略	II-9
2.3 研究開発の実施体制	II-10
2.4 研究開発の运营管理	II-12
2.5 研究成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	II-17
3. 情勢変化への対応	II-19
3.1 PL裁量費による加速	II-19
3.2 追加配賦要望個票による加速	II-20
3.3 平成 21 年度 2 次補正予算による事業内容追加	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-23

III. 研究開発結果について

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-5
1.3 知的財産権等の取得及び標準化の取組	III-15
1.4 成果の普及	III-22
1.5 成果の最終目標の達成可能性	III-23
2. 研究開発項目毎の成果	III-27
2.1 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」	III-28
2.2 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」	III-35
2.3 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANSセンター)	III-43

2.4 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANSセンター滋賀).....	III-51
2.5 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」.....	III-54
2.6 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」.....	III-64

IV. 実用化の見通しについて

1. 実用化の見通し.....	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

① バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発.....	V-2
----------------------------	-----

V-1 ①-A バイオ材料融合プロセス技術の開発.....	V-2
-------------------------------	-----

(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術.....	V-2
(1A)-1 脂質二重膜の安定形成プロセスの開発.....	V-2
(1A)-2 ハイドロゲル界面形成プロセスの開発.....	V-51
(1A)-3 タンパク質、微生物界面形成プロセスの開発.....	V-68
(2A) バイオ高次構造形成プロセス技術.....	V-91
(2A)-1 ハイドロゲルの高次構造形成プロセスの開発.....	V-91
(2A)-2 細胞の立体構造形成プロセスの開発.....	V-132
(2A)-3 ナノ界面形成およびバイオ高次構造形成分野の最新研究動向調査.....	V-168

V-2 ①-B 有機材料融合プロセス技術の開発.....	V-180
------------------------------	-------

(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術.....	V-181
(1B)-1 ナノインプリントを用いた有機ナノ構造形成と充填プロセス検討.....	V-181
(1B)-2 ナノマーキングによる有機材料の充填.....	V-204
(1B)-3 基板表面のナノ構造・分子配向の高次構造制御と評価.....	V-220
(1B)-4 有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向調査.....	V-227
(2B) 有機高次構造形成プロセス技術.....	V-235
(2B)-1 真空蒸着によるナノ構造形成.....	V-235
(2B)-2 超低損傷エッチングによる有機ナノ構造形成とダメージ評価.....	V-247
(2B)-3 ナノミストを用いたナノポーラス構造の構築.....	V-259
(2B)-4 ブロック共重合体によるナノ構造形成.....	V-274
(2B)-5 熱電半導体の高次ナノ構造形成と熱・電子物性の評価.....	V-289
(2B)-6 有機高次構造形成プロセスのモデル化.....	V-301

V-3 ② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発.....	V-309
-------------------------------	-------

② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発.....	V-310
---------------------------	-------

(1) 超低損傷・高密度 3 次元ナノ構造形成技術の開発	V-310
(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-310
(1)-2 超低損傷エッチングシミュレーションによる 3 次元形状予測	V-362
(1)-3 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-394
(2) 異種機能集積 3 次元ナノ構造形成技術	V-396
(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-396
(2)-2 超臨界流体を用いた 3D ナノ構造への高均一製膜	V-451
(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-501
V-4 ② 3 次元ナノ構造形成プロセス技術の開発 (3) 宇宙適用 3 次元ナノ構造形成技術の開発	V-503
(3) 宇宙用 3 次元ナノ構造形成技術	V-504
(3)-1 3 次元マイクロ・ナノ構造形成プロセスの開発	V-504
(3)-2 3 次元ナノ構造の光学評価	V-549
(3)-3 3 次元ナノ構造の評価	V-560
(3)-4 適用性評価指標の検討	V-571
(3)-5 ナノ構造関係の最新の技術動向調査	V-580
(3)-6 まとめ	V-583
V-5 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-586
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-587
(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術の開発	V-587
(1)-1 非真空マイクロ・ナノ構造高品位機能膜形成プロセス	V-588
(1)-2 ナノ材料大面積均質形成プロセス	V-609
(1)-3 大型基板直接加工プロセス	V-630
(1)-4 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	V-668
(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術の開発	V-672
(2)-1 連続的高品位機能膜被覆プロセスの開発	V-673
(2)-2 3 次元ナノ構造高速連続形成加工技術の開発	V-684
(2)-3 異種繊維状基材の製織技術の開発	V-717
(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	V-736
V-6 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-742
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-743
(1) BEANS 知識データベース・システムの機能構築	V-744
(1)-1 データ構造設計/システム設計	V-744
(1)-2 データベース実装	V-758
(2) BEANS 知識データの蓄積、充実化と編纂	V-789

(2)-1 BEANS 知識データの蓄積	V-789
(2)-2 BEANS 知識データの充実化	V-789
(2)-3 知識データの編纂	V-809
(2)-4 海外動向調査	V-815
V-7 ⑤プロジェクト推進及び研究管理支援業務	V-818
⑤ プロジェクト推進及び研究管理支援業務	V-819
(1) 委員会活動	V-819
(1)-1 BEANS プロジェクト推進連絡会	V-819
(1)-2 技術研究委員会	V-819
(1)-3 知識 DB 編纂委員会	V-819
(1)-4 シミュレーション委員会	V-819
(1)-5 標準化委員会	V-820
(1)-6 知財委員会	V-820
(1)-7 アカデミア委員会	V-821
(2) 広報普及活動	V-821
(2)-1 広報活動	V-821
(2)-2 海外動向調査	V-822

(添付資料)

- ・ A-1:イノベーションプログラム基本計画
- ・ A-2:プロジェクト基本計画
- ・ A-3:技術戦略マップ(分野別ロードマップ)
- ・ A-4: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-5:特許論文リスト

概要

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

	③マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発						
	④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備						
	⑤高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発						
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円) 契約種類: ○をつける (委託(○) 助成() 共同研究(負担率()))	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy			総額
	一般会計 (21年度補正)	1,150	1,091	762 (3,310)			3,003 (3,310)
	特別会計 (一般・電源・需給の別)	(METI 直執行)	(一般)	(一般)			
	加速予算(成果普及費を含む)		51				51
	総予算額 (21年度補正)	1,150	1,142	762 (3,310)			3,054 (3,310)
	(委託)	委託	委託	委託			
開発体制	経産省担当原課	製造産業局産業機械課、航空機武器宇宙産業課宇宙産業室、産業技術環境局研究開発課					
	プロジェクトリーダー	技術研究組合 BEANS 研究所 所長 遊佐 厚					
	委託先 (平成 21 年度時点)	技術研究組合 BEANS 研究所 【(財) マイクロマシンセンター、オムロン、オリンパス、数理システム、セイコーインスツル、テルモ、デンソー、東芝、東芝機械、パナソニック電工、フジクラ、富士電機システムズ、古河電工、みずほ情報総研、三菱化学メディエンス、三菱電機、リンテック、(財) 無人宇宙実験システム研究開発機構、(財) 資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構、(財) 九州先端科学技術研究所】 国立大学法人 東京大学 国立大学法人 九州大学 学校法人立命館 立命館大学 独立行政法人 産業技術総合研究所					
情勢変化への対応	1. 研究開発項目②(3)「宇宙適用3次元ナノ構造形成技術」を終了 研究開発項目②(3)に関しては基本プロセスおよび検証基本手法の主要な部分についての研究開発は完了し、実用化の目処が立ったため、早期に産業応用を目的にした開発にシフトした。 2. 『研究開発項目⑤高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型プロセスの開発』を追加公募 全世界的課題として、環境エネルギー問題への対応が国に求められている中、低炭素社会づくりに貢献する高機能 MEMS センサおよびそれを活かしたネットワークシステムの構築と、革新的次世代デバイスの実用化における低環境負荷型製造プロセス技術を確立することを目的とする公募を行い、実施者を選定した。						
中間評価結果への対応	(なし)						

評価に関する事項	事前評価	平成 19 年度実施 担当部 機械システム技術開発部
	中間評価	平成 22 年度 中間評価実施
	事後評価	

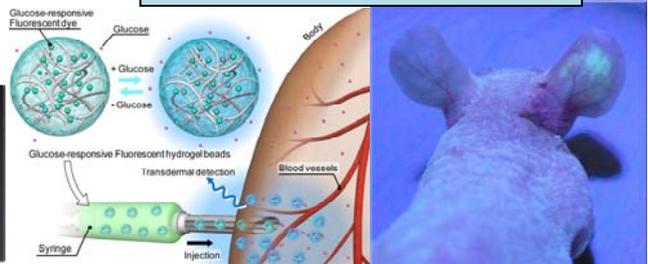
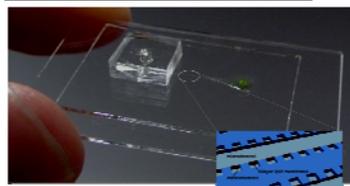
異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト（通称：BEANS プロジェクト）は平成 20 年度に経済産業省の直執行プロジェクトとして開始され、平成 21 年度から NEDO 委託事業として実施している。本プロジェクトでは、課題を研究開発項目①バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発、②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発、③マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発、④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備の4つに分けて、異分野融合型次世代デバイス（BEANS）製造のための基盤プロセス技術の研究開発とデバイス化のためのプロセス技術群のプラットフォーム構築を行っ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

①-(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術

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

蛍光水ドロゲルビーズ形成プロセス

脂質二重膜形成プロセス



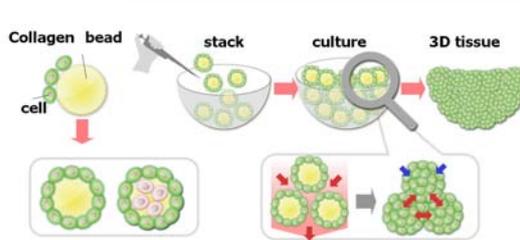
脂質二重膜形成デバイス 蛍光水ドロゲルビーズ注入 マウスの耳に埋め込まれたビーズ

Ⅲ. 研究開発成果について

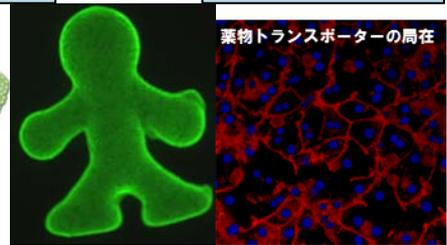
①-(2A) バイオ高次構造形成プロセス技術

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

細胞ゲルビーズによる立体形成プロセス



胆管形成プロセス



①-(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術

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

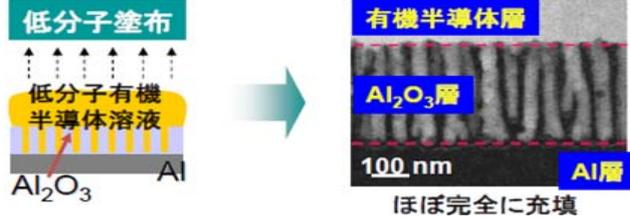
50nm のナノ間隙への低分子有機半導体の充填に成功した。高分子については 50nm の間隙では充填深さに課題があるが最終目標である 200nm の間隙においては充填可能である。

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

低分子有機半導体の配向メカニズム解明



ナノポアへの有機半導体の充填



①-(2B) 有機高次構造形成プロセス技術

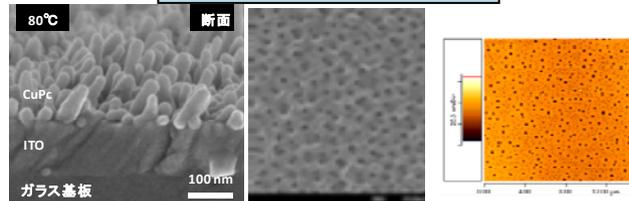
ナノマーキング結晶成長制御により、径 30nm、高さ 100nm、間隔 50nm 以下の高密度のナノピラー形成に成功した。

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

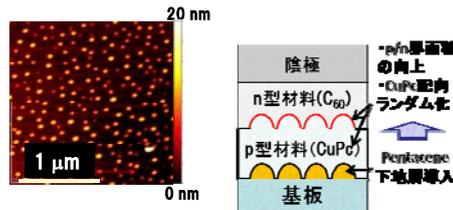
ブロック共重合体による 100nm のナノポーラス構造を形成し、光電変換素子を作製した。更に分子設計による数ナノメートルレベルの層分離構造、配向制御を推進している。

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

ナノピラー形成



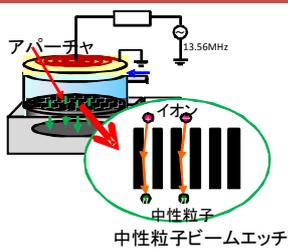
SAMと真空蒸着条件制御によるナノドット形成と光電変換デバイス



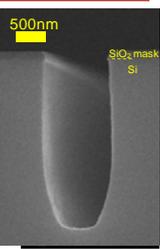
②-(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術

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

中性粒子ビームエッチング装置の開発(高速・大面積対応)



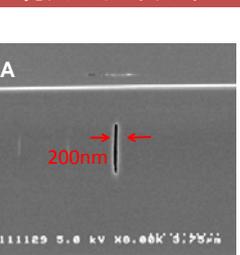
高垂直・深掘り



カンチレバーによる無損傷の実証



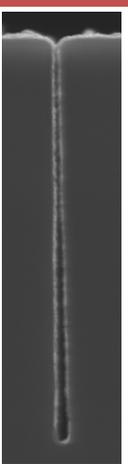
フェムト秒レーザーを用いた光アシストエッチング



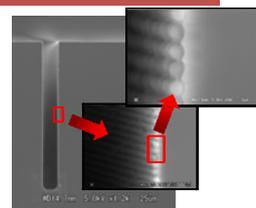
②-(2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術

高アスペクト比トレンチ内部表面への金属・酸化膜の均一製膜を、超臨界CO₂を反応媒体とする新規製膜手法を開発することにより達成した。また、高アスペクト比トレンチ側面のみへの100nm径ナノ粒子の自己組織化配列を実現するとともに、材料認識機能を有するペプチドを用い、複雑3次元形状表面の特定箇所形成したZnO膜上のみ直径10nm程度のナノ粒子を選択修飾することに成功した。これは、尖塔にのみナノ機能体を導入したナノプローブの作製を可能にする技術である。このようなナノ構造体間の接触物間作用力を測定して古典理論との比較を行う一方、摺動によっても電気接触面積が変化しない新構造ナノプローブ製作法を開発した。

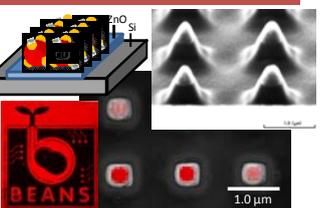
超臨界流体を用いた高均一製膜



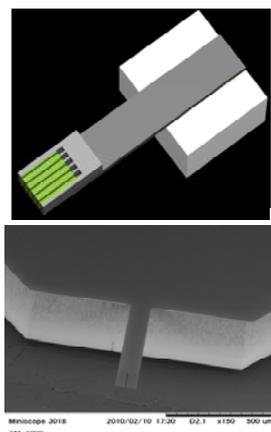
3Dトレンチ側面へのナノ粒子配列



ペプチドを用いた材料選択的ナノ構造修飾

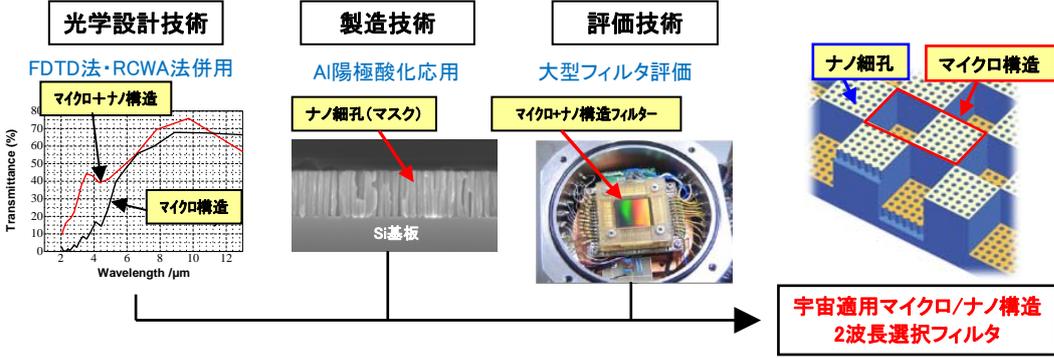


薄膜タイプトレンチ型マイクロプローブ



②-(3) 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術

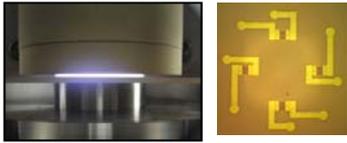
宇宙空間でのマルチバンド観測を実現する3次元ナノ構造形成技術として、Si基板上にスパッタ成膜したAlを陽極酸化することで、目標とする100nmレベルの垂直な細孔を形成する手法を確立し、得られた陽極酸化膜をマスクとしてSi基板がエッチングできることを確認した。また、2層サブ波長構造光学フィルタ設計技術として、短波長側では精度に優れるFDTD(Finite Difference Time Domain)法を、長波長側では解析時間に優れるRCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis)法を併用することで、赤外波長域全域において精度と効率を両立する手法を確立した。さらに、高解像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



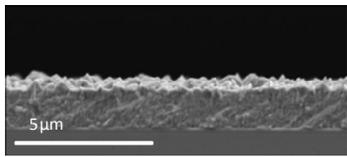
③-(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

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

①大気圧プラズマ成膜

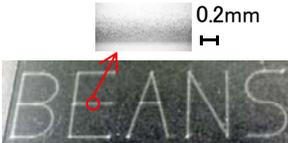


大気圧プラズマ 圧力センサ試作

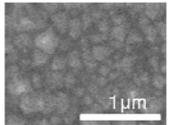


大気圧下での多結晶Si成膜

②ナノ材料均質塗布

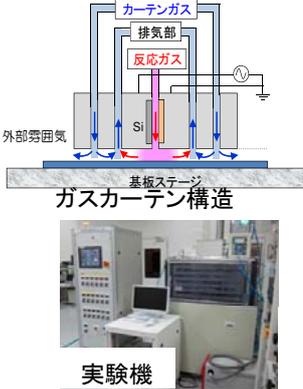


ミストジェット
スキャン描画



エレクトロスプレー μ テクスチャー

③局所雰囲気制御



ガスカーテン構造
実験機

③-(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

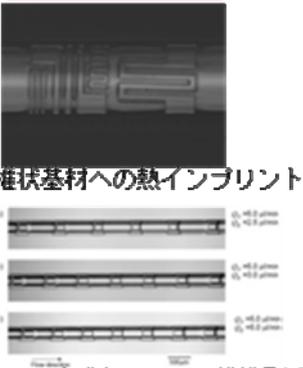
繊維状基材上に連続的に均質な有機半導体膜等の高品位機能膜を、 $10\text{m}/\text{min}$ 以上で被覆することが可能なダイコーティングプロセスと、高品位機能膜が被覆された繊維状基材に 3 次元ナノ構造を高速連続形成することのできる光リソグラフィも可能なリールツール複合加工機ならびに $5\text{m}/\text{min}$ 以上のリールツールインプリント等の連続加工プロセスを開発した。また、これらのプロセスで加工された多数の異種繊維状基材を製織によって機能化・集積化する技術を開発して、メータ級のフレキシブルタッチセンサシート等を試作することで、繊維状基材への高速連続形成基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

①機能薄膜連続被覆



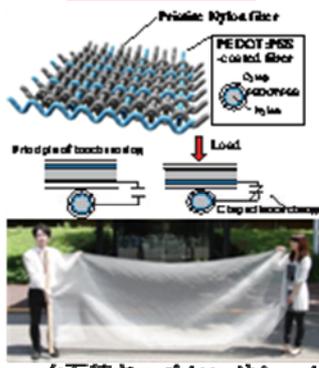
連続的被覆装置
長尺サンプル

②連続微細加工



繊維状基材への熱インプリント
中空ファイバ内へのセル構造形成

③製織集積化

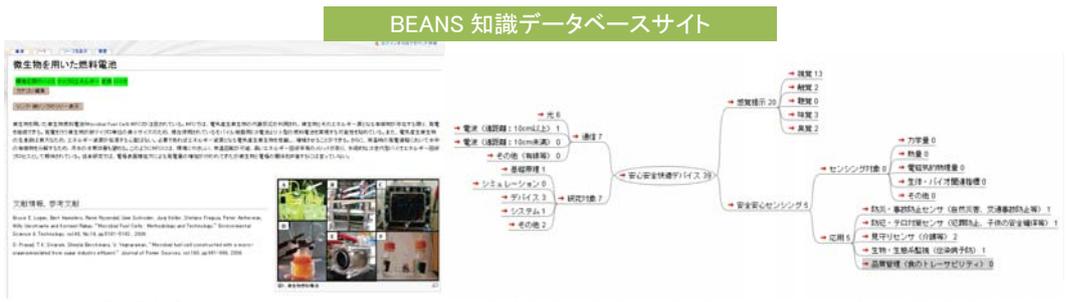


大面積タッチセンサシート

④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備

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

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

	<div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">BEANS 知識データベースサイト</p> </div> <p style="text-align: center;">登録知識データ例 知識データカテゴリ(安心・安全・快適応用デバイス)</p>	
	投稿論文	「査読付き」19件、「その他」0件
	特許	「出願済」40件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願2件）
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会発表」141件、「セミナー講演会・展示会」31件、「刊行物」15件 「マスメディア」24件
IV. 実用化の見通しについて	<p>本プロジェクトは異分野融合型次世代デバイスを製造するための基盤技術開発のプロジェクトであるが、参画している企業は出口イメージを明確に持って参画し、企業により実用化予想時期は異なるが、早い企業では2012年からの事業化を予想しており、遅い企業でも2023年の事業化を予想している。開発のマイルストーンも明確になっており、成果の実用化の可能性は高いと考える。特に宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の開発では、最終目標を前倒して実現し、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ピンアウトさせ、実用化を加速している。また、デバイス化研究へ移行が可能な粒子配列技術、中性粒子ビームエッチング技術、ナノマルチプローブ形成技術に関しては、21年度の補正予算を導入して、実用化に向けて研究開発の加速を図っている。知識データベース(DB)に関しては、プロジェクト終了時には統合化された知識DBシステムを(財)マイクロマシンセンターに移管し、継続的な知識データ閲覧サービスおよびデータ更新事業へ移行する予定である。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成20年3月 作成
	変更履歴	平成21年3月 改訂 (NEDOへ移管されることに伴う根拠法等の変更) 平成21年12月 改訂 (研究開発項目⑤「高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発」を追加) 平成22年3月 改訂 (研究開発項目②③「宇宙適用3次元ナノ構造形成技術」の研究開発の目標を産業化の進展を踏まえ変更)

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ビーズを作製する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、モールドイング(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。

【 α 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】 先端のつな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、 α -グルコース 2 分子が α 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ー】** 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ーと呼ぶ。
- 【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。
- 【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:

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。

また、海外動向調査の結果、表1に示すように、欧米各国ともマイクロ・ナノ・バイオ関連で日本をはるかに上回る規模の国家プロジェクトを推進しており、異分野融合技術に関しても、More than Mooreの流れで、各国ともプロジェクトを立ち上げている。但し、異分野融合型次世代デバイス製造技術のプラットフォーム構築を行うようなプログラムはない。

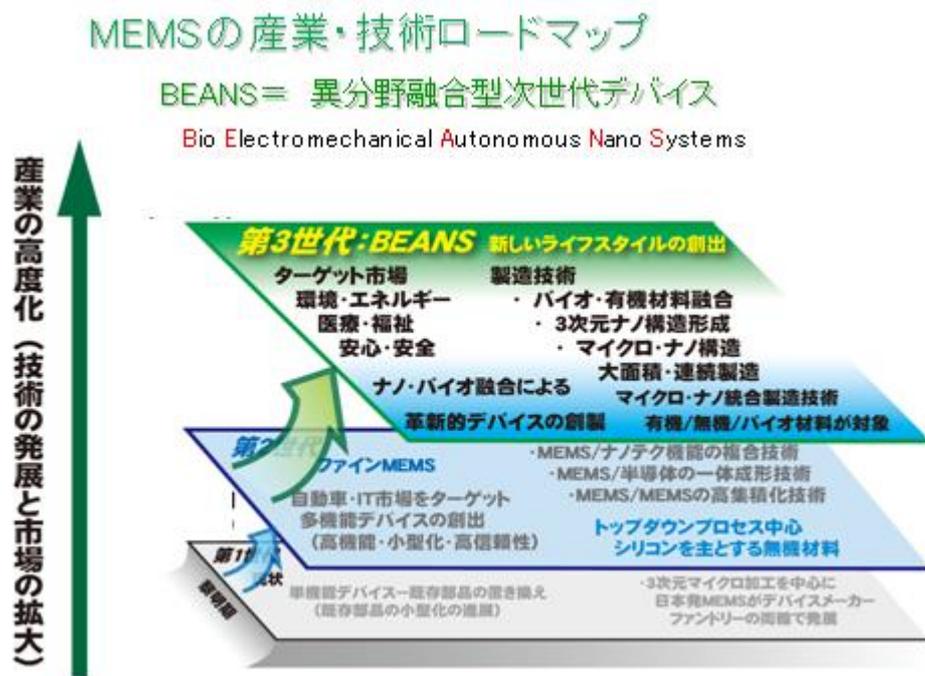


図 2 MEMS 産業・技術ロードマップ
(財)マイクロマシンセンターの資料を基に NEDO 編集

表 1 海外マイクロ・ナノ・バイオ関連主要プロジェクトの研究分野と予算額

機関	研究分野	予算額 (2009 年)
DARPA (米国)	Micro/Nano/Bio	793M\$
NIH (米国)	Nanotech	343M\$
NSF (米国)	Nanotech	409M\$
FP7 (EU)	Microsystems	83M€
FP7 (EU)	Heterogeneous Integration	27M€
DARPA (米国)	Mixed Technology	144M\$

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。

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」

中間目標

1) ナノ界面融合プロセス技術

最終目標に示されている生体適合性、特異的分子認識能、高効率多段階反応能を発現させるための、材料及び手法を選定する。配向や被覆プロセス、材料充填プロセス、表面平坦化プロセスを実現するための材料や手法を確定する。体内で機能するハイドロゲルなどのバイオ・有機材料及び人工脂質二重膜を安定形成する基本技術を確立し、最終目標値を達成するための手法を決定する。ナノ界面融合プロセスモデル構築のための、基本パラメータ群を導出する。

2) バイオ・有機高次構造形成プロセス技術

バイオ・有機異種材料の組立プロセス技術を開発し、最終目標を達成するための手法を決定する。有機分子ナノピラー構造、有機分子ナノポラス構造、直線及び網目構造などのナノ構造形成のための手法を選定する。バイオ・有機高次構造形成プロセスモデル構築のための、基本パラメータ群を導出する。

最終目標

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 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ラス構造、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。

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」

中間目標

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 30 以上)をエッチングにより形成し、側壁の傾斜角や等方性・異方性を制御する。また、超低損傷3次元ナノ構造の形状を予測・設計できるシミュレーションモデルを構築する。

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するための表面制御技術を構築する。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する技術を開発する。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 30 以上)に、金属あるいは酸化膜を埋め込む。

最終目標

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、ナノライポ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。

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」

中間目標

1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

最終目標に示される電子的機能膜、機械的機能膜を形成する基本プロセスを開発する。また、大面積化に関しては、最終目標の膜厚均一性、パターニング分解能、及び成膜速度を達成する手法を決定する。

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、最終目標に示される電子的機能膜、機械的機能膜、及び光学的機能膜を形成する基本プロセスを開発する。また、ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造を形成するプロセスを構築する。さらに、シート型デバイスを実現する製織集積化基本プロセスを開発する。

最終目標

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 20m/min 以上で形成するプロセスを実現する。さらに、3次元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。

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」

中間目標

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 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。

最終目標

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。

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。

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 3に示す。

① バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発

市場ニーズ 健康・医療 ⇒ 体内埋め込みデバイス、超高感度センサ
環境 ⇒ エネルギーハーベスティングデバイス

技術ニーズ バイオ・有機材料を機能素子として利用



図 3 バイオ・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

1) ナノ界面融合プロセス技術

「ナノ界面融合プロセス技術の開発」では、将来の埋め込みデバイスや超高感度分子計測デバイスを創出するために、脂質膜やハイドロゲルなどがデバイス内で長期間安定して機能し、生体計測を続けられる界面の形成プロセス技術を開発する。具体的には、たとえば1日以上安定して機能する人工脂質二重膜アレイの形成法の確立や、皮下組織中3ヶ月間留置後もグルコース計測ができるようなデバイス界面を実現する。また、有機半導体の機能発現が実現する 200 nm の空間における有機分子の高密度充填プロセス

技術や高度な分子配向性の制御技術を開発する。

2) バイオ・有機高次構造形成プロセス技術

「バイオ・有機高次構造形成プロセス技術の開発」では、将来の薬物動態検出や人工臓器研究の基盤を創出するために、一細胞レベルで制御された3次元ヘテロ組織の構築プロセス技術を開発する。具体的にはたとえば肝臓などを模擬したヘテロ組織形成プロセスを実現し、10種類の化合物の薬物動態を同時計測できる実験系を確立する。また、高効率エネルギーハーベスティングデバイスや有機ナノ分子デバイスの研究基盤を創出するために、トップダウンプロセスによる有機分子の微細構造制御や、有機分子の自己組織化現象を積極的に用いたボトムアッププロセスの両方を融合し、ナノメータオーダーでブロック共重合体などの有機分子集合体の構造制御プロセス技術を開発する。

また、それぞれの研究開発は、他の研究開発項目と密な連携をとりながら実施する。たとえば、本研究開発項目に使うトップダウン構造は研究開発項目②で用いる超微細加工技術を利用する。

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」

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観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4に示す。

②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発

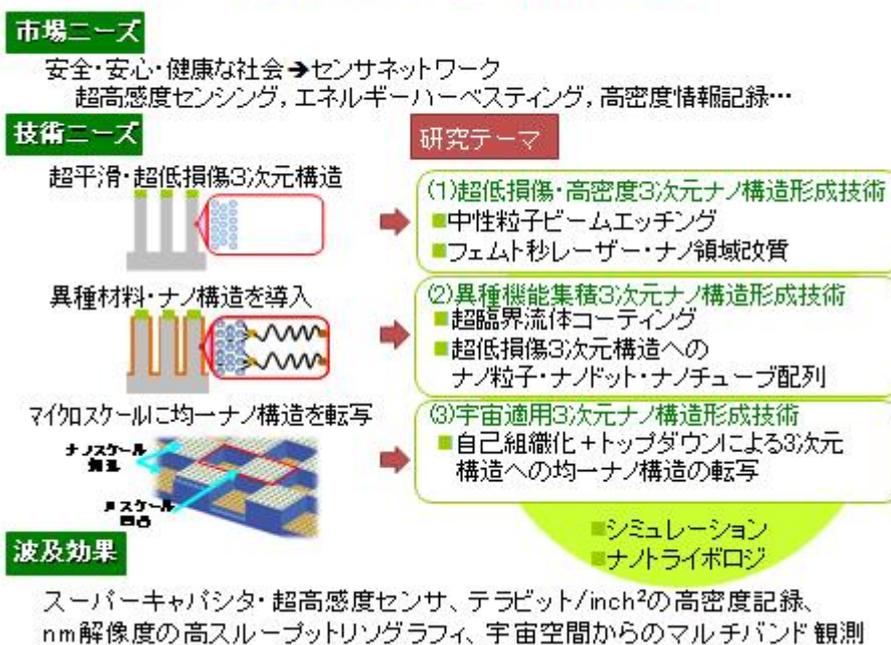


図4 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発概要
出典 技術研究組合 BEANS 研究所

1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術

中性粒子ビームを用いた超低損傷ドライエッチング技術を用い、100nm幅でアスペクト100以上の原子層レベルで平滑な超低損傷表面を有するシリコン及び非シリコン3次元ナノピラー構造の作製プロセス技術を確立する。この技術とフェムト秒レーザー照射による局所改質技術を組み合わせ、難エッチング材料の高スループットエッチングや、横方向孔や片持ち梁などのトゥルー3次元構造を作製する製造技術を開発する。

さらに、上記エッチング技術により作製される構造を±10%の精度で予測し、かつエッチング装置の操作変数とエッチング形状を直接対応付けることができるシミュレーション技術を確立する。

2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術

上記テーマ1)の成果を活用して作製したプローブアレイ、ピラーアレイ等の超低損傷かつ原子層レベルの平滑表面を有する3次元形状に、ナノ粒子・ナノドットやナノチューブ等の機能性ナノ構造自己組織化現象を利用して位置選択的に配置し、トップダウンのみでは得られないナノ構造と機能をMEMSに導入するための基盤技術を確立する。

上記技術により作製したプローブアレイの機能を評価し製造プロセスにフィードバックをかけるため、機能性ナノ構造を修飾したプローブ尖頭におけるナノレベルの接触面間相互作用を測定・モデル化するナノトライボロジ評価技術を確立する。

3) 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術

宇宙空間からのマルチバンド観測に必要なフィルタに、中赤外域(3-5 μm)及び遠赤外域(8-12 μm)の2波長域の赤外光を選択的に透過させることのできる複数の構造パターンを有する3次元ナノ構造を形成するために、トップダウンにより形成される3次元構造に加えて、均一に百～数百ナノレベルの構造を転写形成するプロセス技術を開発する。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両赤外帯域の波長の光が選択的に検出できることを検証する評価手法や評価指標を確立する。

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」

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。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5に示す。

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

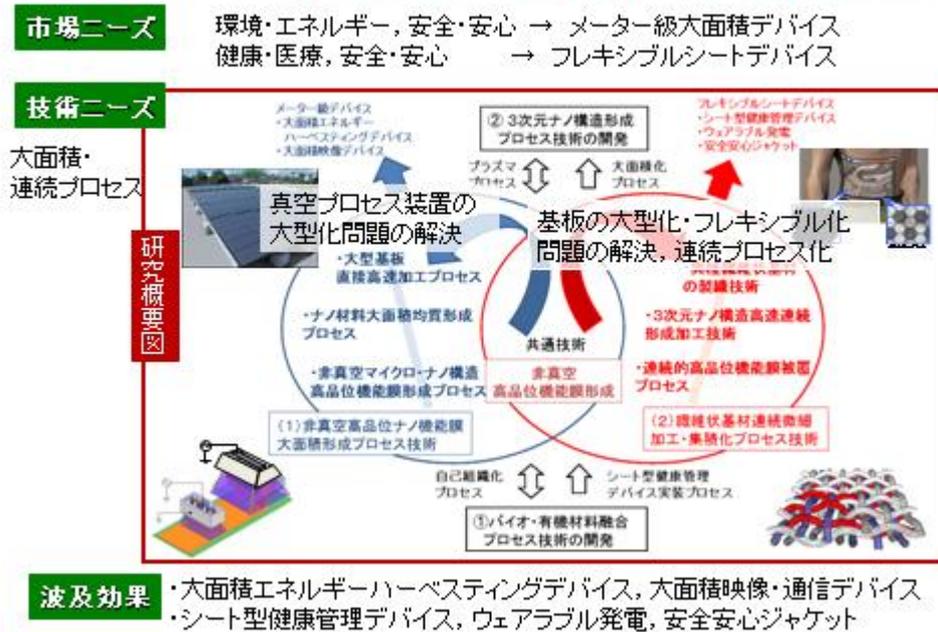


図 5 マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発概要
出典 技術研究組合 BEANS 研究所

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プラズマ制御技術、ナノ材料塗布技術、自己組織化技術などを活用した、非真空薄膜堆積プロセスにより、電子デバイスに適用可能なマイクロ・ナノ構造の高品位機能膜を形成するプロセスを開発し、大型基板への展開を図る。

2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

フレキシブルシートデバイスの実現に必須な、機能性繊維状基材の高速連続製造プロセス、同基材への3次元ナノ構造高速連続加工プロセス、及び繊維状基材を製織によって大面積集積化するウィービング技術を開発する。

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」

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ようにすることにより、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 6に示す。

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

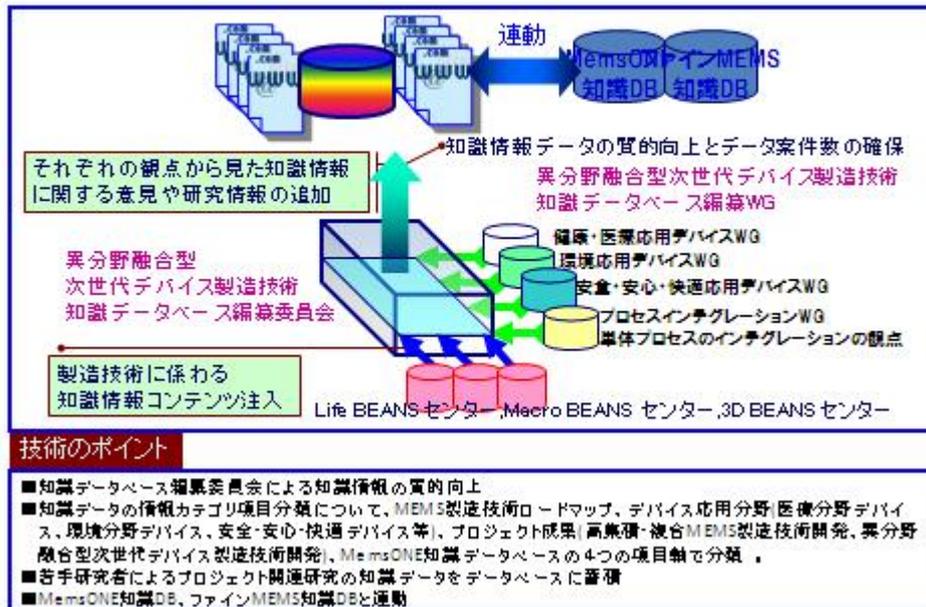


図 6 異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備の概要
出典 技術研究組合 BEANS 研究所

2.2 研究戦略

本プロジェクトは、革新的デバイス実現のため普遍性、汎用性のあるプロセス技術開発を行い、デバイス製造プラットフォームを構築することを目的としている。本来、プロセス技術は対象とするデバイスが先ありきで、プロセスはその実現手段であるとするならば、本プロジェクトではデバイスが特定されないままプロセスの研究課題を追求することになる。これでは研究開発のスピード化・効率化が期待できないので、本プロジェクトでは事前に研究課題毎にその応用分野(環境・エネルギー、医療・健康、安全・安心)で代表的と思われる BEANS デバイスを想定している。ここで想定デバイスは MEMS 技術開発ロードマップおよびプロジェクト参加企業側のニーズから定めた。本研究課題に掲げた目標はプロセス技術の検討、確認、検証など状態目標となっているが、これを評価するために想定デバイスの機能向上や基本特性の確認までとして、自主目標として取り込んでいる。またそのために必要なら新材料創成や評価など基礎科学に遡って研究を行うなど幅広い研究領域を設定してある。したがって、本プロジェクトでは図 7 に示すように、研究テーマはナノ界面・高次構造のプロセス技術研究に重心に置きつつも、デバイスの新機能発現や新材料の創成まで広範囲な研究領域に取り組むことを研究戦略の基本方針としている。また研究テーマによっては各研究領域へのウエイトのかけかたが異なっているが、それも是認している。たとえばバイオ融合プロセスは創薬・生体埋込デバイスなどとデバイスレベルまで取り組む一方で非真空大面積形成プロセスはプロセス技術に特化するなど、研究テーマによって目標や成果の内容にレベル差が生じていることが大きな特長となっている。

さらに、方針には基本計画の範疇内で研究テーマの異分野融合や研究拠点連携を積極的に推奨するなど掲げて、研究テーマ設定に柔軟性と自由裁量性を持たせてある。

加えて、BEANS デバイス応用への目途がついたプロセス技術はプロジェクト途中であってもテーマを加速し、実用/実証フェーズへ移行させることを方針とした。

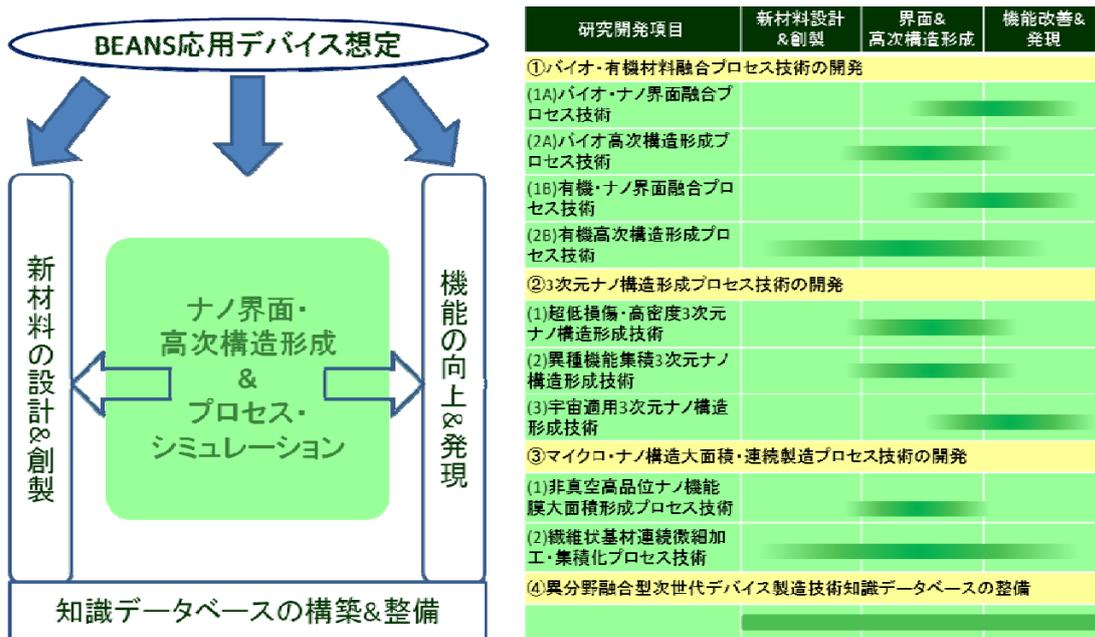


図 7 研究戦略と研究テーマの特長

2.3 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8)。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(図9)。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10に示す。図10に示すように総研究員数は78人(H21年度)、エフォートを含めた実質研究員数は59人(H21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。

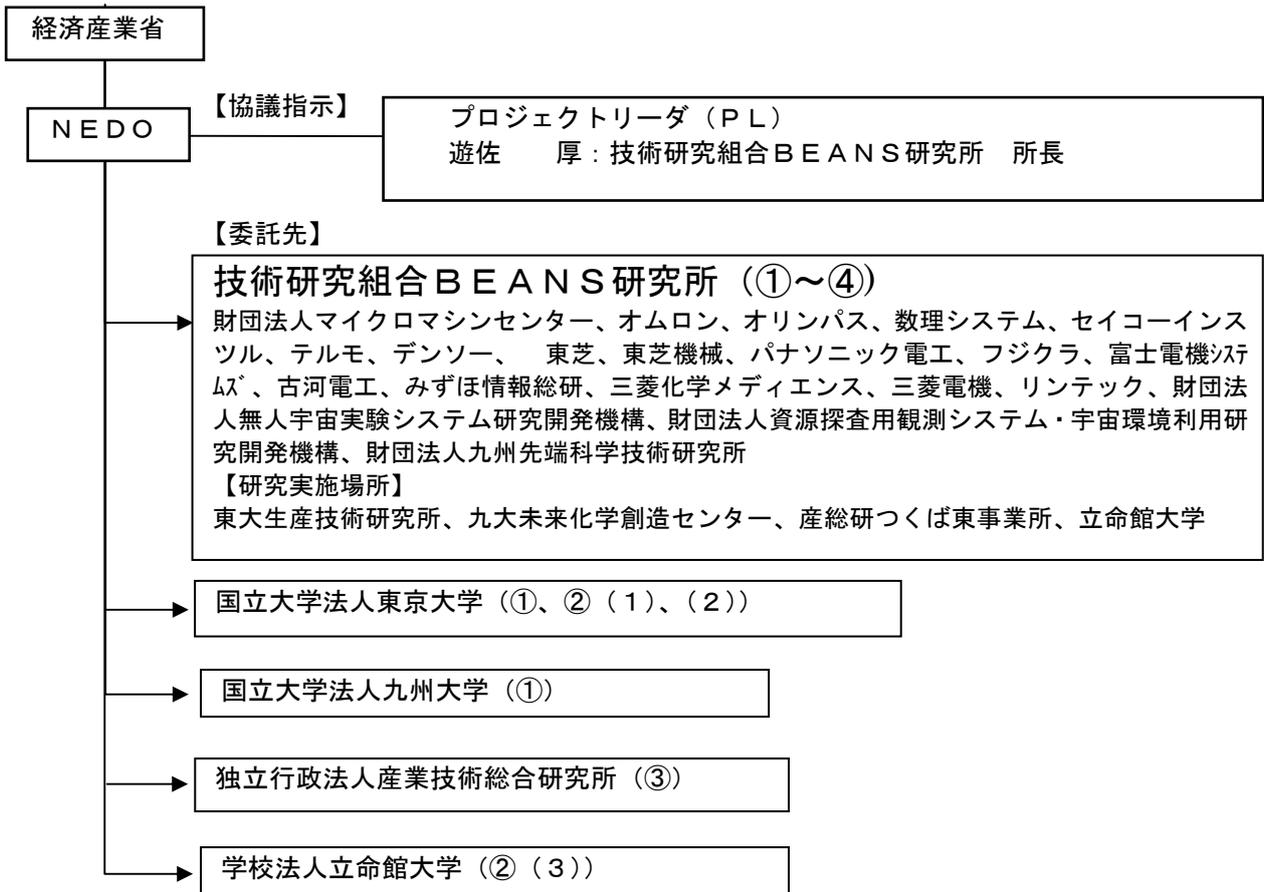


図 8 実施体制図(H21年度)

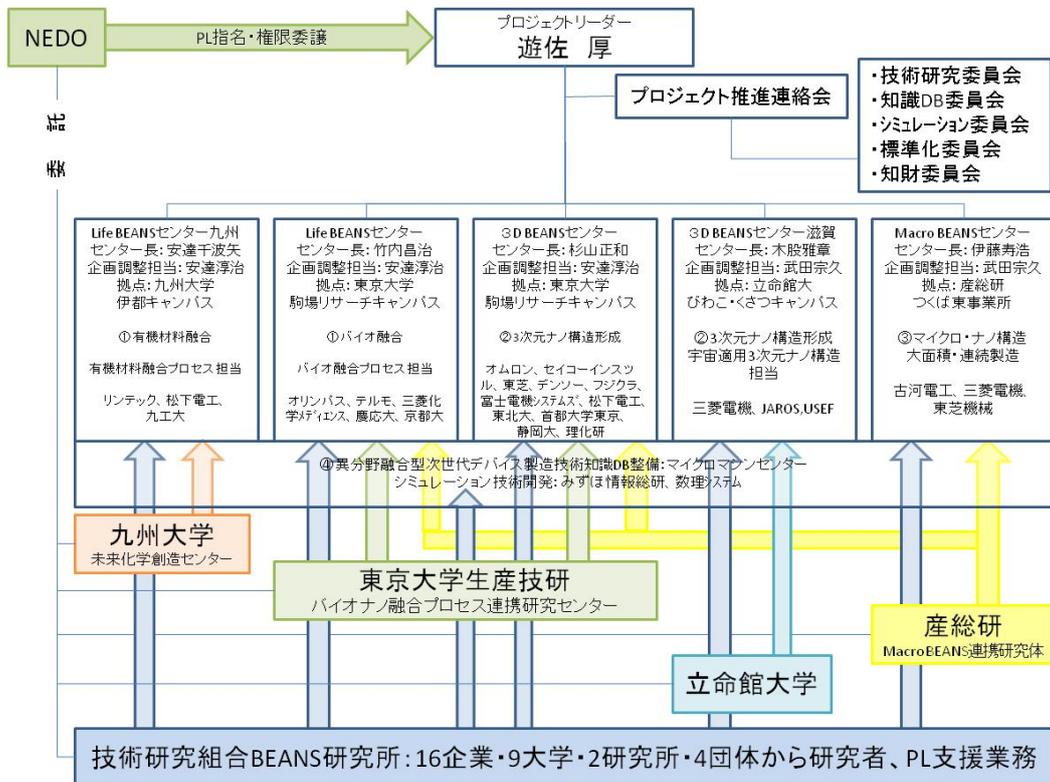
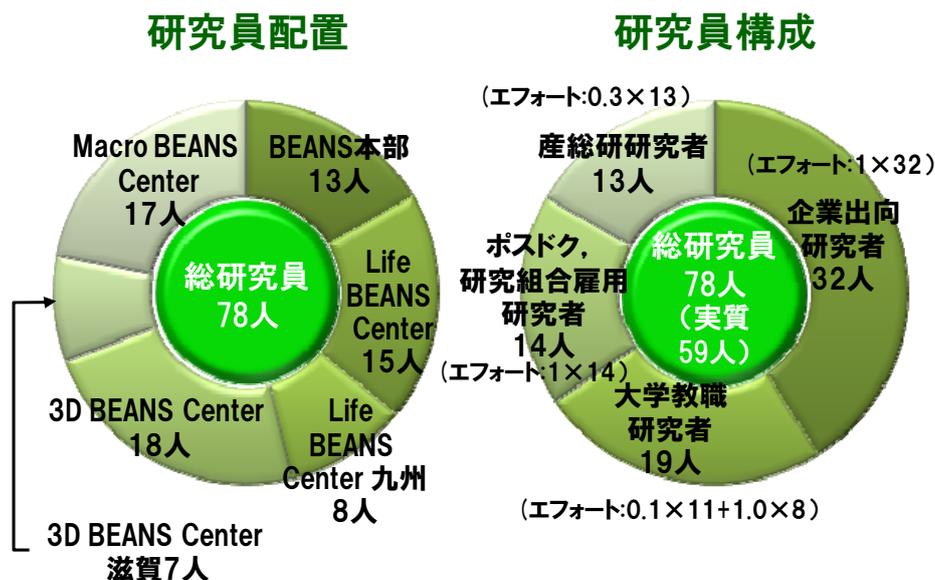


図 9 研究拠点 (H21年度)



研究テーマあたりの研究員:1~3名

図 10 BEANS プロジェクト研究員構成と人的資源

2.4 研究開発の運営管理

研究開発の運営管理の基本方針(図 11)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にしている。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。



図 11 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 12と表 2参照)。



プロジェクト計画 & 管理スキーム

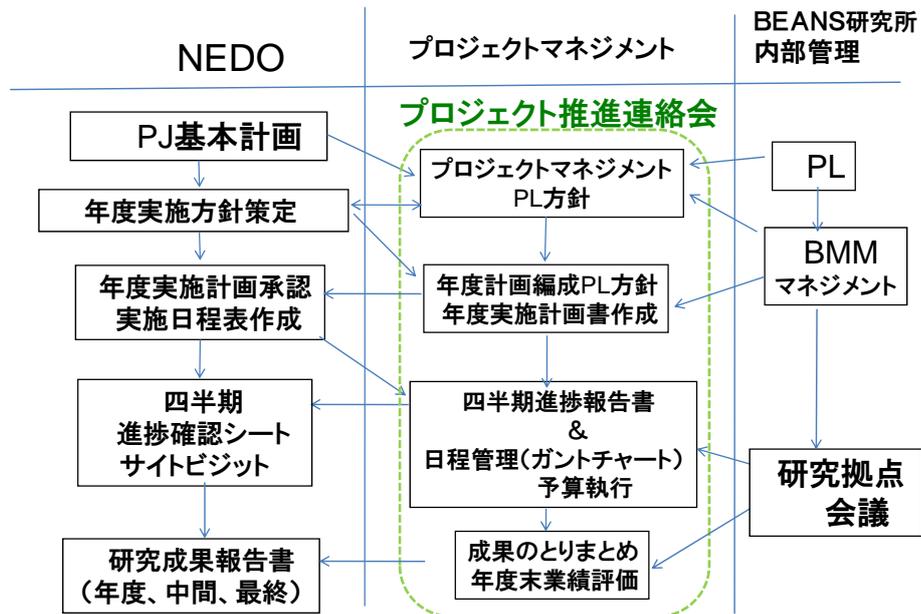


図 12 プロジェクトの運営・管理

表 2 プロジェクトの運営体制

--

2.4.1 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 13)及び四半期進捗報告書(図 14)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 15)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員とで、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

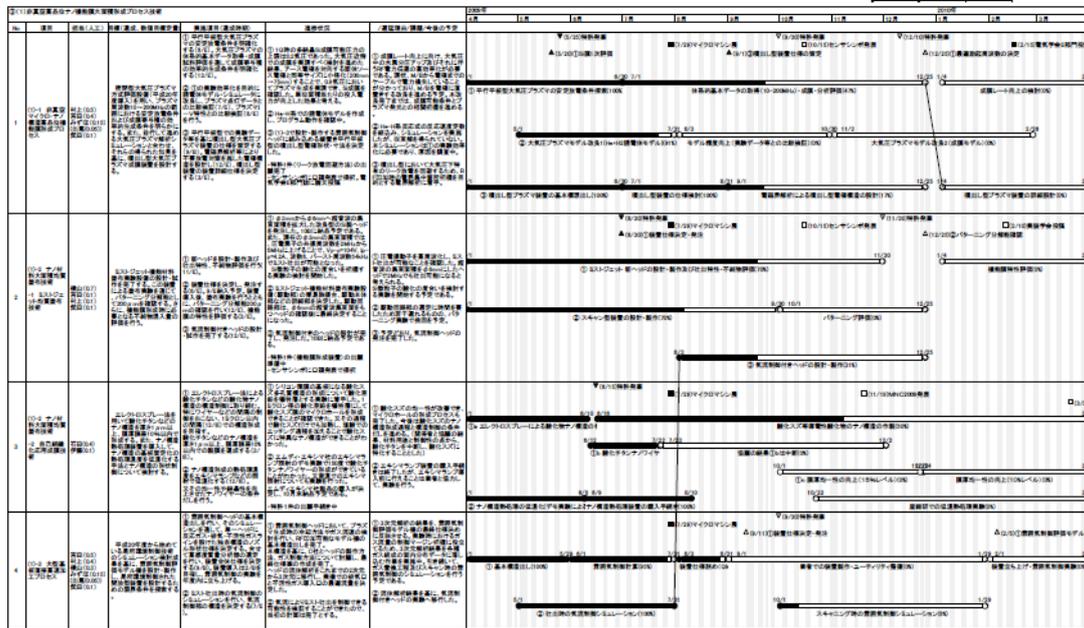


図 13 ガントチャート

BEANSプロジェクト推進連絡会資料 平成22年7月12日

平成22年度四半期(1/4期)進捗報告書

4. まとめ Macro BEANSセンター

(1) 雰囲気制御装置における線型平行平板電極において、大気圧下(760Torr)でのHe放電を得ることができた。
(2) 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できるようになり、メートル級(1m x 5m)サイズを有するフレキシブルタッチセンサシートの試作した。
(3) マイクロマシン/MEMS展に向けた準備も予定通り進んでいる。
(4) 成果発表に関しては、D TIP2010:1件、ASNIL2010:2件、APCOT:1件、計算工学講演会:1件の5件に発表した。
特許に関しては、2件の届出書を提出し、1件を優先権主張で海外出願した。
-D TIP2010: SYMPOSIUM on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/IOEMS
-ASNIL2010: The 3rd Asian Symposium on Nano Imprint Lithography
-APCOT2010: The 3rd Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro-Nano Technology

5. 予算執行状況 実績/計画 (単位:千円)

	組合
--	----

6. 成果 実績/計画 (件数)

学会発表(投稿)	5/14
----------	------

7. 設備導入/稼働状況
・現在装置仕様の検討中、大物装置の導入に関しては下記のように予定している。
ワイピング装置(位置決め機構付き自動機構):108発注、12E納入
繊維状基材用異種デバイス実装機:10M発注、2011.1M納入

8. 課題・今後の予定
・ワイピングMEMSに関わる基本特許を発案中(特許戦略ミーティング)
・NEDOサイトビジット 7/14、藤田SPL、経産省サイトビジット 7/22
・中間評価に向けた準備

図 14 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扱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・解析支援システムへの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、視覚的に分かりやす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、シミュレーション委員会(第4回)、知識DB編纂委員会(第4回)の委員会を開催し、研究進捗の管理・調整を推進委員会を開催し、BEANS特許の認定を行って、23件(LBC4、LBC九州4、3BC5

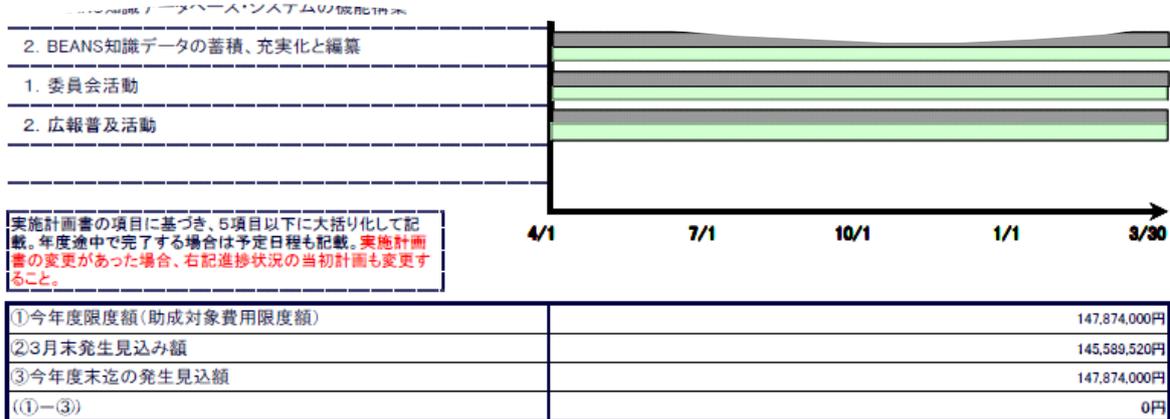


図 15 研究進捗確認シート

2.4.2 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、各委員会の狙いは、表 3の通りである。

表 3 プロジェクトの委員会体制

BEANS 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
技術委員会	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。
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。
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可能部分の議論と実現に向けた対応策の検討を行う。

標準化委員会	異分野融合の先端技術領域における国際標準化の一環として、BEANS 標準化用語集の作成の進め方を検討する。
知財委員会	大学と参加企業等の連携から生じた研究成果としての特許出願にあたって、出願ルールで不明確であった部分或いは不十分であった部分を見直し、合理的なルールを確立する。

上記委員会の活動状況を以下に示す。

1) BEANS 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図るため、参画団体の研究開発責任者クラスから成る「BEANS プロジェクト推進連絡会」を設置し、研究開発項目別の進捗状況の把握、研究開発項目間の調整、産業化に向けた環境整備活動、及び「BEANS プロジェクト推進連絡会」の下に設置する下記委員会の決議事項の承認等を行った。平成 20 年度は 4 回、平成 21 年度についても 4 回開催した。

2) 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ーと BEANS 研究所責任者から構成され、企業ニーズを踏まえた研究推進の方策を検討した。また、毎回各 BEANS センターからの進捗報告を行い、企業委員から研究方針に関する要望やコメントを得た。平成 20 年度は 3 回、平成 21 年度は 5 回開催した。

3) 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、各 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した。本委員会では、健康・医療応用デバイス WG、環境応用デバイス WG、安全・安心・快適デバイス WG、プロセスインテグレーション WG に別れ、各デバイス分野、プロセスインテグレーション分野のカテゴリについて審議、決定した。平成 20 年度は 3 回、平成 21 年度は 4 回開催した。

4) シミュレーション委員会

本プロジェクトの各センター(3D、Macro、Life)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進捗報告を受けるとともに、各センターで遂行の共通化可能部分を議論し、効果的なプロジェクト実施の実現に向けた課題検討およびその課題の対応策の検討を行った。平成 20 年度は 3 回、平成 21 年度は 4 回開催した。

5) 標準化委員会

本委員会は異分野融合の先端技術領域における国際標準化の方向性、進め方等について検討するために設置し、BEANS 関連の標準化の動向調査として、ナノテクとバイオテクノロジーの標準化動向を調査するとともに、BEANS の標準化の進め方について議論を行った。平成 20 年度は 3 回、平成 21 年度は 2 回開催した。また、平成 21 年度は用語分科会を 2 回開催し、BEANS に関する用語について検討を行った。

6) 知財委員会

本プロジェクトの主要目的は次世代デバイスの実現に必須な製造技術のプロセス開発であるため、学術的成果以上に工業的見地からの成果が求められている。したがって、成果物として工業所有権の重要性が極

めて高いプロジェクトである。特に、異分野にまたがる開発テーマが多く、特許の宝庫といえる新領域の研究テーマが多いので、特に重要特許を数多く創出させるため、PL 指令で、研究員一人当たり年間 2 件以上の創案・特許創出を課している。また、多くの組織の共同体制であるため、共同研究の成果としての特許の取扱いに関するルール作りは極めて重要なことから、プロジェクト開始後の半年間は、参加企業と大学・研究所間での知的財産取扱いに関する基本ルールづくりに注力し、「知的財産権取扱規程」、「知的財産権取扱いに関する覚書」、「BEANS 研究成果の出願及び外部発表フローチャート」や BEANS プロジェクト内での特許創出促進のために知的財産届出用統一フォーマット(◆BEANS 発明届出書 ◆発明等評価シート◆BEANS 外部発表届出書)等を策定した。

平成 20 年度は 2 回、平成 21 年度は 3 回開催した。また、委員会に関連して知財審査会も適宜開催した。

2.5 研究成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

2.5.1 研究成果の早期産業化

本プロジェクトの基本計画の 5. (4)成果の産業化では「本プロジェクトは、将来の革新的次世代デバイスの創出に必要な新たな基盤的プロセス技術を開発することを目指すものであるが、そこに至る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。」と記載している。

「研究開発項目②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発 (③宇宙適用3次元ナノ構造形成技術)」に関して、最終目標である基本プロセスおよび検証基本手法の主要な部分は、平成 21 年度で開発を完了し、実用化の目処がたった。現在、宇宙ビジネスについては産官が密に連携して、宇宙産業強化に向け本格的な取り組みが行われつつあり、本研究成果も早期に産業応用を目的にした開発にシフトすることが適切と判断し、平成 21 年度末で研究開発を終了した。本プロジェクトで開発したマイクロ・ナノ構造による2波長帯域選択フィルタやその評価技術は、広域センサネットワークのキーパーツである衛星搭載赤外線センサに活かせることから、組合員企業が開発する衛星搭載赤外線センサとして、国内のみならず海外への事業展開をする予定である。

2.5.2 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以下にまとめる。

(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 16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。

(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

研究成果の出願及び外部発表フローチャート

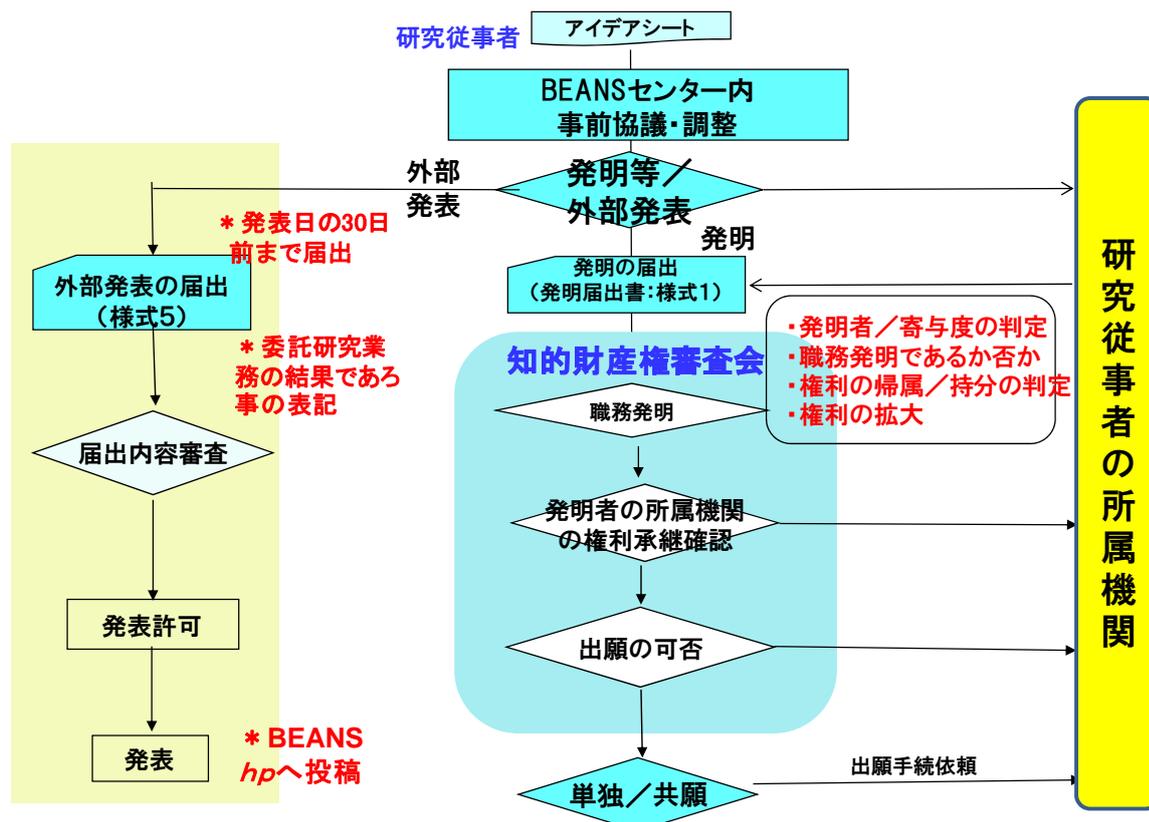


図 16 研究成果の出願及び外部発表フローチャート

さらに、標準化への対応を図るため、「標準化委員会」を立ち上げ、WGを設置して用語収集、分類、抽出、規格案作成作業を進めている。標準化活動の方針としては、はじめに「用語の標準化」、そのあとで「評価法の標準化」の順で進めることにしている。用語の収集基準は BEANS 特有の分野、ナノ・バイオ分野を中心に異分野融合の概念を考慮し①技術的重要性、②国際的普及性、③概念の明確性を基本とした。

3. 情勢変化への対応

3.1 PL裁量費による加速

プロジェクト成果の早期実用化・事業化に向けて、研究進捗の加速や新たな研究課題への対応を迅速に行うために、増額要求があったテーマに対し、以下に示す該当理由により、あらかじめプールしておいた予算を追加して配賦した(H21年度)。

【該当理由】

- i. 成果が着実に出ており、ここでもっと費用を投入すれば、本年度著しい成果が期待できる。(計画の前倒し)
- ii. アイディアやコンセプトの実現や方向生が見えてきたので、デバイス特性などより形が見えるようにしたい。(強化、早期実証)
- iii. 本年度になってあらたな課題が生まれてきたので、今後のために本格的に問題対応を行いたい。(新規課題対応)
- iv. 国際的に注目される新たな発見や研究動向に対応するもので、競争的研究環境からこのままの進捗スピードでは他に先を越されて、先進性や独自性が失われてしまう。(加速)
- v. 国際的に注目される新たな発見や研究動向に対応するもので、「手遅れ」にならぬよう、早急に研究内容の修正や追加を行うもの。(バックアップ)
- vi. 設備の稼働時間や利用制限がネックとなって、研究効率が低下しているのを、これを向上したい。(効率向上)

【評価方法】

PL、PMとともにサイトビジットや研究拠点会議等で、個別テーマ毎に研究進捗状況、実用化検討状況を精査し、表 4にサンプルとして示す「PL戦略費検討シート」を作成し、配賦テーマ、配賦額を決定した。

表 4 PL 戦略費検討シート(※非公開情報を塗りつぶしている)

「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」H21年度PL戦略費検討シート (Life-BEANSセンター)

研究開発項目	小項目	サブ小項目	テーマ	H21年度取組概要	担当	H21年度進捗とPL戦略費の必要性 ()内は要望内容と金額 赤字は配賦案	実用化見通し	評価
① 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) バイオ・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	・平成20年度に開発したマイクロ流路を用いた脂質2重膜の形成法を安定して機能させるために、脂質2重膜関連実験装置を導入して、脂質の種類、濃度、溶成の流速、デバイスの材料などを検討する。 ・バイオケミカルシグナルを電気シグナルとして計測可能なデバイスを作製するため、まず膜タンパク質等の調製技術を検討する。さらに、膜タンパク質等をデバイスに導入するプロセスの開発を行う。		脂質2重膜の形成、及び電気的測定による1分子レベルのセンシングに関する基礎技術開発に成功。産業化のための最大ハードルである脂質2重膜の安定化のための諸条件の検討に向け出向研究員+ポスト2名の体制で推進。一方産総研ではセンシングに用いる膜タンパク質の精製の基礎技術開発を計画通り推進。(0)	○	○
			(1A)-2 ハイドロゲル界面形成プロセスの開発	・生体適合性を旨とした分子インプリンティング界面形成法として、高速重合が可能で、重合開始剤を必要としないプロセスである電子線重合法の有効性について、ハイドロゲル関連実験装置を導入して確認する。		【進捗】電子線重合による小分子のインプリンティングによるゲル作成、及び作成されたゲルを用いたグルコースの検出に世界で初めて成功。本年度の目標を達成できる見込みを付けた。 【PL戦略費】本テーマの出口として想定している体内埋め込み式血糖値モニターは、先のマイクロマシン/MEMS製でも来場者から実用化への期待が大きい。今年度後半はこの成果を加速させ、大きなタンパク質の分子インプリンティング技術を開発。プロセス評価、膜性能評価に欠かせない透明液体中の透明膜の膜厚計測を前倒しで導入し、体内埋め込み血糖センサー事業化の可能性を検討する。 (非接触光学式走査型膜厚計:1,700万円) *PL戦略費から200万円をBEANS研究所に充当 *その他の費用(1500万円)はセンター内部で節約、プライオリティの変更などで捻出。	◎	○
			(1A)-3 タンパク質、微生物界面形成プロセスの開発	・材料結合性ペプチド・抗体分子を用いたマイクロメートル領域での選択的タンパク質固定化を生体分子・微生物関連実験装置を導入して実施する。 ・マイクロゲルを微生物担体として用いたイースト菌によるアルコール産生、および、炭素電極を微生物担体として用いた微生物発電をモデル反応とし、微生物界面と微生物産生効率に関するモデル化を行う。		タンパク質の選択的固定化に用いるペプチド・抗体の選定を計画通り推進(0)	○	○
			(2) バイオ・有機高次構造形成プロセスの開発	(2A)-1 ハイドロゲルの高次構造形成プロセスの開発	・アルギン酸カルシウムPLLおよびアクリルアミドゲル等について、CYPに対する活性への影響と漏出性の評価を行う。		微生物界面と微生物質成効率のモデル化を計画通り推進。(0)	○
						CYPに対する評価を計画通り推進(0)		○

実際に配賦したテーマ、理由、配賦額は表 5のとおりである。

表 5 H21 年度 PL 裁量費配賦テーマ

	研究開発項目とテーマ	該当理由	配賦額 万円	内容
(a)	研究開発項目①(1A) 「バイオ・ナノ界面融合プロセス技術」 2. ハイドロゲル界面形成プロセスの開発	iv	241	非接触光学式走査膜厚計(の一部)
(b)	研究開発項目①(2B) 「有機高次構造形成プロセス技術」 1. 真空蒸着によるナノ構造形成	ii vi	1,491	基板温度制御型有機材料蒸着装置
(c)	研究開発項目②(2) 「異種機能集積3次元ナノ構造形成技術」 2. 超臨界流体を用いた 3D ナノ構造への高均一製膜	ii iii iv v	1,050	装置開発費 シミュレーション費 労務費 消耗品費
(d)	研究開発項目③(2) 「繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術」 1. 連続的高品位機能膜被覆プロセスの開発 2. 3次元ナノ構造高速連続形成加工技術の開発 3. 異種繊維状基材の製織技術の開発	ii iv	500	労務費 消耗品
合計			3,282 万円	(直接費)

PL 裁量費による加速により、各テーマについて次の効果が得られた。

表 5の(a)に関しては、非接触光学式走査膜厚計を新規に導入することで、透明液体中の透明膜の膜厚計測が可能となったため、ゲルの膜厚は作製時の溶液使用量に依存して変化する等プロセス条件や膜性能を精度良く評価できるようになった。これにより、体内埋め込み血糖センサの開発を加速することが可能になった。(b)に関しては、基板温度制御型蒸着装置を新規に導入することで、径 100nm以下のナノドットの安定形成、及び挑戦目標として 50nm以下のドット形成が可能となった。さらに本装置と導入済みの雰囲気制御ボックス、ナノピラー生成装置と組み合わせ、光電変換に加え有機TFT等の複数の有機デバイス性能の向上が可能なプラットフォームプロセスを構築することができた。これにより、光電デバイスおよび熱電デバイスの効率が向上し、ウェアラブル光電・熱電発電ジャケットの実用化を加速することが可能になった。(c)に関しては、オゾナイザーをはじめとする酸化強化機構等の追加による超臨界酸化膜製膜装置の増強を実施した。これにより、超臨界酸化膜の安定形成が実現でき、アスペクト比 100 を超えるトレンチへの酸化膜形成が実現できた。また、超臨界製膜シミュレーションを行うことで、チャンバ内の流れの解析を行って、チャンバ内の流れの成膜への影響を明らかにした。これにより、プロジェクト後半で計画している装置開発に先立ち、大口径化(6インチ)に関する装置設計への指針を得ることができ、実用化を加速することが可能になった。(d)に関しては、研究員の1名の増強および消耗品を追加増額したことで、連続3次元リソグラフィのプロセス条件を明らかにすることや中空基材の加工技術を用いて作製したより高機能な繊維を使ったフレキシブルシートデバイスの研究開発を加速することができた。

3.2 追加配賦要望個票による加速

さらに、PL 裁量費枠(3,963 万円:一般管理費、消費税込)を越える要望があった「バイオ・有機材料融合プロセスに係る3次元ヘテロ組織構造形成プロセスの開発」に対しては、別途「平成21年度加速等追加配賦要望個票」により要求した。このテーマは、再生医療、人工臓器の実現を目指し、世界で初めてコラーゲンを均一直径のマイクロビーズに加工するプロセスを確立し、カプセル内で細胞をヘテロ組織化することに成功し、これらのビーズを組み合わせ、ミリメートルサイズで立体的な細胞組織を高密度で形成することを世界で初め

て実現したものである。さらにこのマイクロビーズに機能性バイオ分子を充填し、グルコースに反応し蛍光を発するゲルビーズの動物への体内埋込と発光機能の維持を世界で初めて確認した。これらの成果について、実施者共同で特許出願済だが、研究進捗に合わせ、さらに多くの派生した技術が生まれ、続々と知財が生まれようとしていた。このため、成果をさらに加速し、早期実用化の目途を得て、さらに国際的に強い基本特許取得のため、必要となる機械装置を導入させることが急務と考え、本テーマに 5,100 万円追加配賦した。

追加配賦により、立体的に結合された細胞群の内部の状態を観察・評価できる 2 光子顕微鏡が導入された。これにより、生きたままの細胞の結合状態が把握でき、世界で初めて高速にミリメートルオーダーの厚さの 3 次元組織を形成することに成功した。また、ビーズの種類を変えることで、さらに大きなサイズの組織形成の可能性が一気に広まった。また、これらの成果について、BEANS から基本特許を国内出願済であり、外国にも (PCT) も出願中である。

3.3 平成 21 年度 2 次補正予算による事業内容追加

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いる中、工場等の製造現場において、原材料や使用資源のきめ細かい状況モニタリングと制御を行う小型・高性能なセンサの実用化により、製造プロセスの省資源化、高効率化の実現が期待されている。小型で低コスト、かつ信頼性の高いワイヤレスセンサとすることで、設置にあたっての大きかりな工事を必要とせず、既存施設にも低コストでの導入が可能となる。合わせて、センサの製造において低環境負荷型の製造プロセス技術の開発を行うことで、生産システムの低炭素化にも貢献が可能となる。

このような背景から、本研究テーマはグリーンイノベーション推進に資するものとして、緊急経済対策(平成 21 年度補正予算(第 2 号))の一環で実施することになった。このため、基本計画を変更し、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で開発したプロセス技術を活用し、高性能センサネットシステム・センサモジュールの実用化と、低環境負荷型製造プロセスの確立に向けた開発・実証研究を行うことを目的に追加し、研究開発項目⑤高性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平成 22 年度末において当該研究開発項目の最終目標を達成することにした。なお、本研究開発項目⑤については、今回の中間評価では行わず、事後評価を平成 23 年度に実施する。

4. 中間評価結果への対応

今回が初の中間評価であり、非該当。

5. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、研究開発項目①～④については、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度に、事後評価を平成25年度に実施し、中間評価結果を踏まえ、必要に応じその結果を後年度の研究開発に反映することとする。ただし、研究開発項目②(3)宇宙適用3次元ナノ構造形成技術については、平成22年度の中間評価時に、最終目標の評価を実施する。研究開発項目⑤については、中間評価は行わず、事後評価を平成23年度に実施する。

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ている。本プロジェクトでは、課題を研究開発項目①バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発、②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発、③マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発、④異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備の4つに分けて、異分野融合型次世代デバイス(BEANS)製造のための基盤プロセス技術の研究開発とデバイス化のためのプロセス技術群のプラットフォーム構築を行っている。これらの全体中間目標に対して目標達成状況を表 6に示したが、平成 22 年度末までに達成できる見通しを得ている。

表 6 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目標達成状況

研究開発項目	中間目標	研究開発成果	達成度
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	研究開発項目①～④それぞれにおいて将来有望と思われるデバイス群を想定して、それを実現するための基盤プロセス技術(新材料、製法・加工法、さらに評価法)を検討して、最終目標を達成するための技術や手法さらに設計指針等を決定する。	本異分野融合プロセス技術は、光電、熱電変換デバイス、各種センサ、大面積・シート型デバイス、体内埋込や薬物動態検査デバイスなどあらゆる産業分野において、各種デバイスの高性能・高効率化及び新機能発現に有用なプロセスであることを確認した。さらに、最終目標を達成するための基盤プロセス技術群を決定した。	達成見込み (H23年3月)
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	上記結果を基に BEANS デバイス・プロセス技術の相関を検討し、BEANS デバイスを製造するためのプラットフォーム概念を構築する	デバイス・プロセス相関を基に、プラットフォーム概念図(図 17参照)を構築した。これを基にプロセス技術の拡張性、汎用性を実証すべく、有機半導体材料の無損傷エッチングやバイオ材料と無機材料のペプチド接合など研究開発項目を超えた融合テーマにも積極的に取り組んだ。	達成見込み (H23年3月)

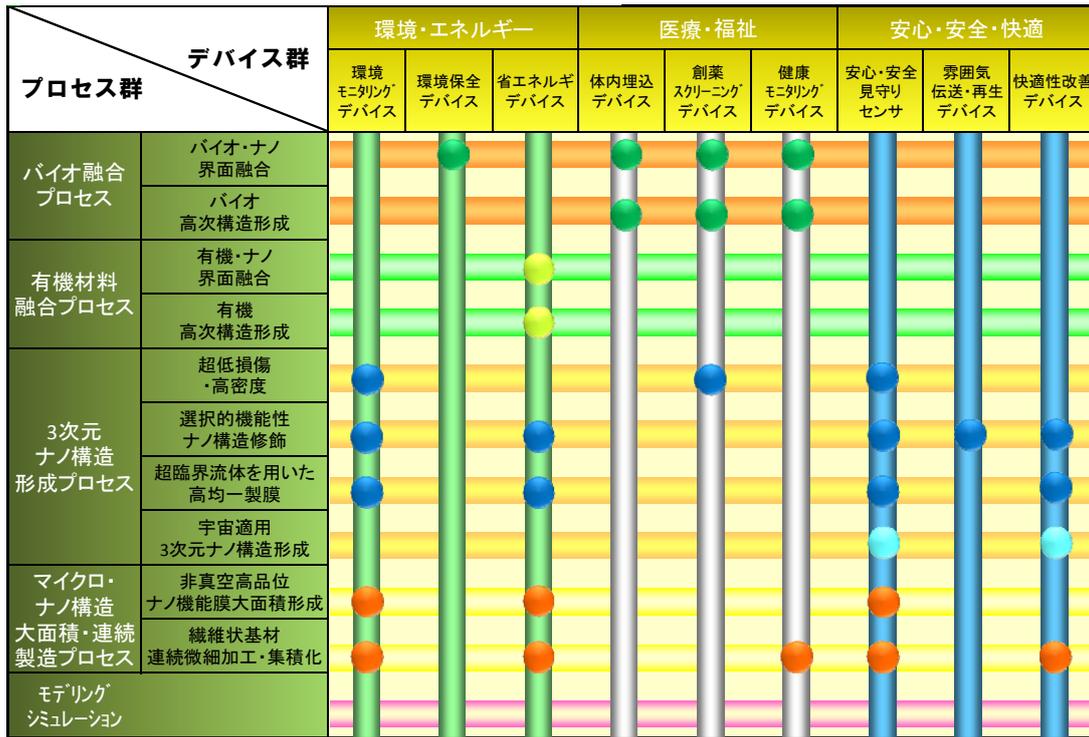


図 17 BEANS デバイスと基盤プロセス技術群の相関

さらに、個別研究テーマに対しても、研究開発項目毎に中間目標とこれまでの研究開発成果およびその達成度を表 7 に示した。表 7 に示すように、各項目、全体とも、中間目標を一部は前倒して達成し、残りの項目も平成 23 年 3 月には達成できる見通しである。

表 7 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目標達成状況

研究開発項目	中間目標	研究開発成果	達成度
① バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発			
(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術	<ul style="list-style-type: none"> 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ための、材料及び手法の選定。 体内で機能するハイドロゲル及び人工脂質二重膜を安定形成する基本技術の確立。 ナノ界面融合プロセスモデル構築のための、基本パラメータ群の導出。 【自主目標】 <ul style="list-style-type: none"> 2 時間以上安定した脂質膜形成プロセスの確立 1 週間以上安定して機能するハイドロゲルの形成 	<ul style="list-style-type: none"> 生体適合性材料としてポリエチレングリコール(PEG)、特異的分子認識能として膜タンパク質(VEGF 受容体)、高効率多段階反応能としてのコリネ菌等の材料及び手法を選定した。 蛍光ハイドロゲルビーズ作製の基本プロセス技術を開発し、マウスの耳に1ヶ月以上埋め込むことに成功した。また、ガラス流路に人工脂質膜を形成する基本プロセスを確立し、24 時間以上の安定性を確認する見込みである。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た。 ナノ界面融合プロセスモデル構築として、マイクロゲルのサイズ導出に関する理論化を終了見込みである。 	達成見込み (H23 年 3 月)
(2A) バイオ高次構造形成プロセス技術	<ul style="list-style-type: none"> バイオ異種材料組立プロセス技術の基本手法の決定。 バイオ高次構造形成プロセスモデル構築のための、基本パラメータ群の導出。 【自主目標】 <ul style="list-style-type: none"> 2種類以上の異種細胞の立体組立 	<ul style="list-style-type: none"> コラーゲンゲルビーズに異種細胞を付着させ、鋳型内で培養する基本手法を決定しミリメートル厚の組織を高速に形成することに成功した。 バイオ高次構造形成のためには酸素透過等が重要であることを導出し、酸素透過膜上のコラーゲンゲルで作製した流路内に肝 	達成見込み (H23 年 3 月)

	(MS1 細胞、HepG2 細胞等) ・100 ミクロン程度の幅に、決められた方向で肝細胞による胆管の形成	細胞を導入し、一定期間培養することにより、30 ミクロン幅の流路に決められた方向で、流路に沿ってミリメートルの長さで胆管を形成するプロセスを開発し、安定性を検討中である。 ・HepG2 細胞(肝細胞)と MS1(血管内皮細胞)の組立(1週間)に成功した。	
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術	・配向や被覆プロセス、材料充填プロセス、表面平坦化プロセスを実現するための材料や手法の確定。 ・ナノ界面融合プロセスモデル構築の基本パラメータ群の導出。 【自主目標】 ・ナノ間隙充填を 200nm から 50nm に目標アップ ・3 次元ナノ構造形成プロセス技術との連携を検討	・真空蒸着における低分子有機半導体の配向メカニズムを解明し、配向制御法を開発し電子移動度を 2 桁向上させることに成功し基盤プロセスとして確立見込みである。 ・材料充填、表面平坦化に関してはウェットプロセスによる低分子の成膜方法が有効であることを明らかにし、50nm のナノ間隙への低分子有機半導体の充填に成功した。高分子は 200nm の充填に成功した。 ・超低損傷中性粒子ビームによる有機薄膜デバイスのエッチングを検討中であり、トップダウンプロセスによるナノスケールの構造形成法として期待できる。	達成見込み (H23 年 3 月)
(2B) 有機高次構造形成プロセス技術	・最終目標を達成する手法の決定。 ・有機異種材料の組立プロセス技術を開発し、最終目標を達成するための手法の決定。 ・有機分子ナノピラー構造、有機分子ナノポーラス構造、直線及び網目構造などのナノ構造形成のための手法の選定。 ・有機高次構造形成プロセスモデル構築の、基本パラメータ群の導出。 【自主目標】 ・ナノ構造の有効性を光電及び熱電デバイス性能で実証。	・ナノピラー形成手法として、ナノマーキング結晶成長制御法を選定し、径 30nm、高さ 100nm、間隔 50nm 以下の高密度のナノピラー形成に成功した。 ・ナノポーラス構造形成法として、ナノミスト法、ブロック共重合体法等を選定し、ポア径 100nm 以下のナノポア高分子薄膜の形成に成功するとともに熱電・光電デバイス適用によりその有効性を検討中である。 ・SAM(Self-Assembled Monolayer)と真空蒸着条件制御により 40nm のナノドットの形成とこれを用いた新規デバイス構造により光電変換特性の 35%向上を確認した。 ・ナノミスト法のシミュレーションの基本パラメータを導出し、メカニズムを解明中である。	達成見込み (H23 年 3 月)
②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発			
(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術	・超低損傷シリコン3次元ナノ構造エッチング技術(AR30 以上、側壁傾斜角や等方性・異方性制御)の確立。 ・超低損傷3次元ナノ構造の形状を予測・設計できるシミュレーションモデルの構築。 【自主目標】 ・超低損傷エッチングとして中性粒子ビームエッチングを選定し、高速化、8 インチ化、MEMS 有効性の検証の実施。 ・誘電、光学材料適用のため、fs レーザアシストエッチングを検討。	・8 インチ装置を設計・導入しサイドエッチングのない深さ 2.5 μ m のエッチングを達成した。開口部 100nm レベルのマスクによりアスペクト比 30 の垂直エッチングが可能になる。エッチング条件による側壁の傾斜角や等方性・異方性の制御可能性を示した。 ・第一原理計算による形状予測シミュレーションを開発中である。 ・被エッチング面の平滑性・無損傷性は、中性粒子ビームエッチングにより薄片化したカンチレバーの振動特性がエッチング前後で変化しないことで実証した。 ・fs レーザを用いた光アシストエッチングにより、幅 200 nm の孔を石英内部に任意形状で形成することに成功した。	達成見込み (H23 年 3 月)
(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 100nm 以下のナノ粒子・自己組織化ドット等を配置する表面制御技術の構築。 ・ナノ構造の接触物間作用力を実用的な精度で測定する技術の開発。 ・3 次元ナノ構造(AR30 以上)に金属、酸化物を充填する技術の確立。 【自主目標】 ・特定箇所ナノ粒子配置としてプローブ尖頭へのペプチドによる CNT 修飾を選定。 ・シリコン基板上への紫外ナドットの形成 ・スーパーキャパシタにより高密度金属、酸化物充填を実証。	・材料認識機能を有するペプチドを用い ZnO 膜上にのみ直径 10 nm 程度のナノ粒子を選択修飾することに成功した。これは、尖塔にのみナノ機能体を導入したナノプローブの作製を可能にする技術である。 ・表面張力利用粒子配列でトレンチ側面のみへの 100 nm 径ナノ粒子の自己組織化配列を実現した。 ・ナノ構造体間の接触物間作用力を測定して古典理論との比較を行う一方、摺動によっても電気接触面積が変化しない新構造ナノプローブ製法を開発した。 ・アスペクト比 110 のトレンチ内部表面への金属・酸化膜の均一製膜を、超臨界 CO ₂ を反	達成見込み (H23 年 3 月)

		<p>応媒体とする新規製膜手法を開発することにより達成した。スーパーキャパシタを試作し検証中である。</p>	
<p>(3) 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・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の構築。 ・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の確立。 (最終目標) 	<ul style="list-style-type: none"> ・Si基板上にスパッタ成膜したAlを陽極酸化することで、目標とする100nmレベルの垂直な細孔を形成する手法を確立し、得られた陽極酸化膜をマスクとしてSi基板がエッチングできることを確認した。 ・2層サブ波長構造光学フィルタ設計技術として、短波長側では精度に優れるFDTD法を、長波長側では解析時間に優れるRCWA法を併用することで、赤外波長域全域において精度と効率を両立する手法を確立した。 ・高解像度赤外センサに適用可能な大型2層サブ波長構造光学フィルタの評価手法を確立した。 	<p>最終目標達成</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</p>			
<p>(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・最終目標に示される電子的機能膜、機械的機能膜を形成する基本プロセスの開発。 ・大面積化に関しては、最終目標の膜厚均一性、パターニング分解能、及び成膜速度を達成する手法の決定。 【自主目標】 ・シミュレーション技術を活用し、装置設計指針を得る。 ・機械的機能膜に関しては、圧力センサの歪ゲージ性能で実証。 	<ul style="list-style-type: none"> ・シランガスを用いない700Torr圧力下で電子移動度$1\text{cm}^2/\text{Vs}$以上の多結晶Si膜が得られる大気圧プラズマの装置構成及び成膜条件を見出した。 ・圧力センサ試作により歪ゲージ等の機械的機能膜に適用できることを示した。 ・ミストジェット塗布法では、高品位膜に必須な金属不純物混入防止に向け、吐出ヘッド構成部材のSi化を図り、塗布後膜として原料由来の1ppmまで低減できること、ならびに$200\mu\text{m}$パターン描画を実証した。 ・局所雰囲気制御技術では、独自ガスカーテン構造の装置化を進め、反応ガス外部漏洩と大気内部侵入の抑制方法の方針を明らかにし、成膜を検討中である。 	<p>達成見込み (H23年3月)</p>
<p>(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・繊維状基材上に、電子的機能膜、機械的機能膜、及び光学的機能膜を形成する基本プロセスの開発。 ・ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造を形成するプロセスの構築。 ・シート型デバイスを実現する製織集積化基本プロセスの開発。 【自主目標】 ・メータ級のフレキシブルタッチセンサで製織集積化基本プロセスを実証。 ・被覆プロセス: $10\text{m}/\text{min}$、リールツールナノインプリント: $5\text{m}/\text{min}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ・繊維状基材上に連続的に均質な機能膜を形成する基本プロセスとして、ダイコーティングプロセスを開発し、$10\text{m}/\text{min}$以上で被覆することが可能なことを実証した。 ・繊維状基材への3次元ナノ構造高速連続形成プロセスとして、光リソグラフィも可能なリールツール複合加工機ならびに$5\text{m}/\text{min}$以上のリールツールナノインプリント等の連続加工プロセスを開発中である。 ・メータ級のフレキシブルタッチセンサ等を試作することで、繊維状基材への高速連続形成基本プロセスならびに製織集積化基本プロセスが開発できていることを実証中である。 	<p>達成見込み (H23年3月)</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>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>	<ul style="list-style-type: none"> ・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)の系統的なデータベース化 ・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の開発。 ・500件以上の知識データの蓄積 	<ul style="list-style-type: none"> ・BEANS知識データの多様なカテゴリ分類に対応するため、編集者が操作しやすく、データの誤操作の少ないカテゴリ追加・変更機能の実装をおこなった。カテゴリ情報は、複数分類項目の選択を可能にした。 ・本研究開発事業の各BEANSセンターにおける研究成果、および関連する国内外会議への参加等により201件、また知識データベース編纂委員会の4WGにより異分野融合分野における次世代デバイス、製造技術関連の知識データを322件登録した。523件のデータ登録を完了し、中間目標を達成した。 	<p>中間目標達成</p>

BEANS プロジェクト全体の成果としての特許出願ならびに外部発表に関して以下にまとめる。

【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 40 件の特許出願(内海外出願 2 件)がなされた。(平成 22 年 8 月 20 日現在)なお現在、国内出願手続中のものは 3 件、海外出願手続中は 1 件ある。

出願された特許の内訳は、研究開発項目①-A は 8 件、研究開発項目①-B は 9 件、研究開発項目②は 11 件、研究開発項目③は 12 件、研究開発項目④は 0 件となっている(特許の内訳については添付資料 A-5 特許論文リストを参照)。

【外部発表:論文発表、学会発表、刊行物・雑誌掲載、セミナー講演など】

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 8に示すように、論文 19 件、学会発表 141 件、セミナー・講演会 31 件、刊行物雑誌掲載等 15 件、マスコミ発表 24 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 8 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	小計
研究開発項目①-A	7 件	48 件	3 件	5 件	23 件	86 件
研究開発項目①-B	6 件	25 件	2 件	1 件	0 件	34 件
研究開発項目②	1 件	34 件	2 件	6 件	0 件	43 件
研究開発項目③	5 件	34 件	1 件	2 件	1 件	43 件
研究開発項目④ その他	0 件	0 件	23 件	1 件	0 件	24 件
小計	19 件	141 件	31 件	15 件	24 件	230 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。

- i) ナノからメートルまで異なったスケールを融合する。(図 18)
- ii) ボトムアップからトップダウンまで異なったプロセスを融合する。(図 18)
- iii) バイオから半導体まで異なった材料を融合する。(図 19)

例えば第一の観点について、BEANSプロジェクトでは3次元ナノ構造をマイクロ構造に付加することで、二波長の赤外線を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、線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行っている。ミクロの構造を持った、メートル級の大面積デバイスを作る独創的な試みである。

次に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が進行中である。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、等々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。このような自己組織化手法とマイクロ加工とを融合する方向で研究を進めている。即ち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。別途、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三次元組織を作る研究に注力している。ゲルのビーズやファイバに閉じ込めた異なる種類の細胞を、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ている。また、メートル級の大面積シートを基板として、その上にミクロの薄膜を大気中で付加する研究を行っている。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る。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がある。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ている。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ため、BEANSの具体的な研究成果を元に異分野融合プロセスの体系を確立することが期待できる。

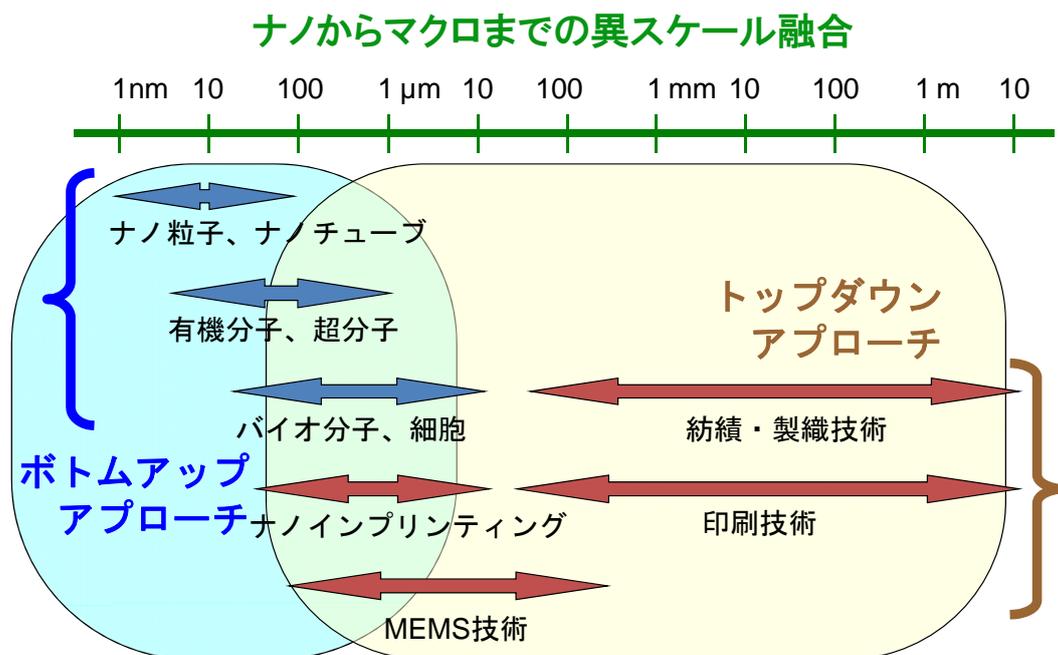


図 18 トップダウンとボトムアップの技術融合

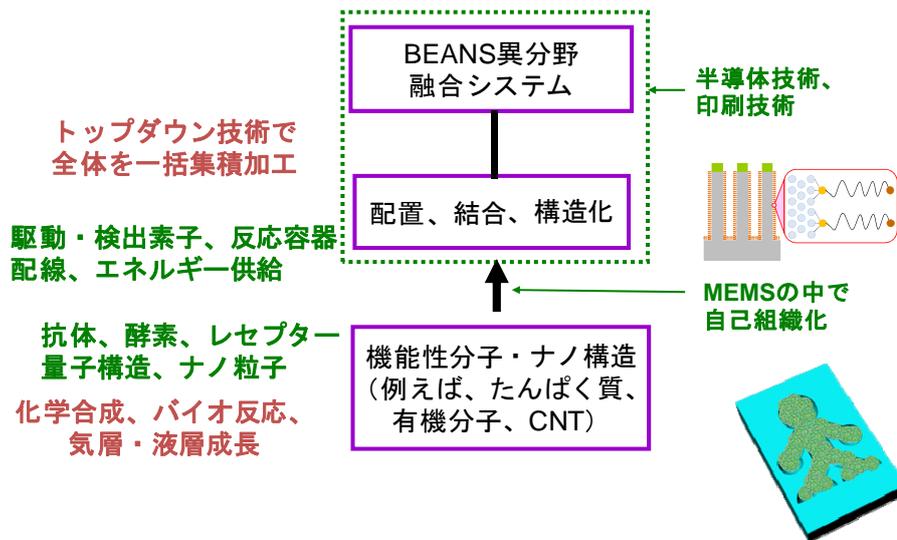


図 19 MEMS とバイオ・ナノ材料の融合

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、いくつかの例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、ウイルスや DNA、癌マーカ等を 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、ウィーピング 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

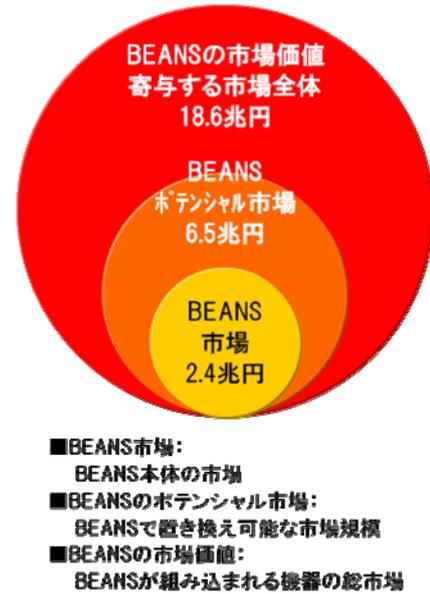
ナノレベルの 3 次元構造を形成することで、発電・蓄電効率を 3～4 倍にすることができる。これにより、周辺環境(廃熱、体温、室内光、振動等)から熱・光・振動・バイオのエネルギーを吸収し、センサやアクチュエータの電源とするエネルギーハーベスティングデバイスが実現できる。このようなエネルギーハーベスティングデバイスを用いれば、電池交換のいらぬデバイスにより、メンテナンス不要な自立型センサネットワークを実現することができる。また、体内埋込デバイスでは外部からの電力供給、及び電池交換が困難なため、体内環境(体温、体内物質、血流)からエネルギーを吸収することで、体内埋め込み型デバイスの長寿命化を図ることができる。さらに、環境からのエネルギー吸収だけでは、不安定なので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。

地球環境問題としては CO₂ を削減する低炭素社会の実現が求められている。しかしながら、現在では、分散排出源(給湯器、自動車等)から排出される CO₂ をオンサイトで固定化できる有効な手段がないため、分散排出源から排出される CO₂ の固定化はあきらめられている。もし、分散排出源からの CO₂ が固定化できれば、大きな CO₂ 削減効果を生むことができる。BEANS 技術を用いれば、分散排出源からの高濃度 CO₂ をナノ構造により分離するとともに微生物を用い高効率でその場で固定化することが可能となる。MEMS 技術により微生物を高密度集積化することでデバイスの小型化を実現し、オンサイト CO₂ 固定が可能となる。

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。2010 年の第 2 世代までの MEMS の市場 1 兆 1700 億円に対して、図 20 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、2015 年では、BEANS 技術により、新しい市場の創造が図れ、第 3 世代の MEMS (BEANS) の市場は 2 兆 4000 億円に広がると予想されている。また、図 20 に示すように、BEANS 技術は幅広い分野への波及効果があり、ポテンシャル市場(BEANS で置き換え可能な市場)は 2.7 倍、寄与する市場(BEANS が組み込まれる機器の総市場)は 7.8 倍とさらに大きな市場への波及効果がある。

産業分野分類	2015年BEANS(億円)		
	BEANS市場	ポテンシャル市場	寄与する市場全体
自動車関連分野	8,683.36	16,531.27	36,086.37
情報通信機器関連分野	7,356.35	20,132.85	48,742.84
精密機器関連分野	2,544.84	9,907.84	31,537.17
アミューズメント関連分野	1,372.55	6,178.56	13,487.10
医療福祉関連分野	1,867.99	4,738.67	10,553.42
製造技術関連分野(マイクロファクトリ、計測・分析、メンテナンス)	1,073.19	2,773.23	12,860.12
民生用電子機器・電気機器関連分野	851.08	3,359.93	12,542.11
エネルギー関連分野	137.19	923.50	1,140.12
バイオテクノロジー関連分野	80.08	134.54	161.73
航空宇宙関連分野	43.18	171.23	8,940.44
環境関連分野	22.86	73.80	397.83
農林水産関連分野	14.88	148.80	7,440.00
都市環境整備関連分野	1.61	31.84	2,298.73
合計	24,049.14	65,106.05	186,187.99

◆BEANSの市場価値◆
BEANSそのものの市場規模ではなく、組み込まれる機器の小型化・高機能化による高付加価値化、商品力アップにより評価



【表】マイクロマシンセンター市場志向調査より

図 20 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

- ・ 24 時間連続して脂質膜を形成する技術の確立—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少なかった。ここではガラス材料や脂質、溶媒などの条件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。
- ・ 埋め込み可能なセンサで、皮膚を通じて光計測可能な血糖値センサの実現—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。血糖値に応答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)。
- ・ 1日でミリメートルオーダーの厚さを持つ3次元ヘテロ組織形成技術の確立—コラーゲンゲルビーズに細胞を付着させ、鋳型内で培養し、鋳型の形状に合わせてミリメートル厚の組織を高速に形成することに成功した。これまでに細胞シートなどを利用して1ミリの組織を形成した例はあるが、形成までに1ヶ月程度

かかることと、体内で形成しなければならないなどの問題があった。ここで開発した技術は短時間で組織形成できるので、薬物動態解析に即利用可能な技術として期待できる。

- ・ ミリメートルオーダーの長さで決められた位置に胆管を形成する技術の確立—コラーゲンゲルで作製したマイクロ溝に肝細胞を導入し、一定期間培養することにより、流路に沿ってミリメートルの長さで胆管を形成することに成功した。細胞を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、毛細管として所望の位置にミリメートルサイズで配置できる技術は皆無であった。

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。
- ・ 従来マイクロ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(最大150nm/min)および垂直加工性の向上(エッチング深さ2.5 μm でサイドエッチングなし)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マイ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おらず、本成果は世界初のものである。
- ・ 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。なお、従来法の反応性イオンエッチングでは、加工前後で Q/f が1/5～1/10に低下しており、従来法のドライエッチングにおける機械構造への損傷導入は深刻である。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バー振動特性への影響については東北

大のグループにより 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されたものである。

- ・ 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すれば、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することが可能になり、中性粒子ビームエッチングの大面积化・高速化を効率的に行うことが可能になる。
- ・ 強度を高精度に調整したフェムト秒レーザを石英に照射し、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視野に入った。
- ・ 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。
- ・ 摺動部が摩擦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、摺動距離 51 mm 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。今回、我々は、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。シリコン膜の電子移動度は最高で $7.0 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ を得た。
- ・ 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実証したことは、世界初である。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、成膜レートに関してはミストジェット塗布の方が技術的ポテンシャルが高いと考えられる。
- ・ 酸化チタンなどナノ構造形成に必要な焼成プロセスをエキシマランプアシストにより 150°C の低温で実現した。従来の熱処理では 500°C 程度を要し、焼成温度を大幅に低温化させたことは世界最高水準である。また自己組織化膜の形成速度に関し、スプレー法において流量を大きくすることで 1 分以内の高速形成に成功した。浸漬法で 1 時間以上の時間を短縮できた点が最高水準である。
- ・ 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ツール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 μ m 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。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立したことで、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 を切るナノポー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、ターゲットデバイス以外に応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、超低損傷エッチングの特長を活かした超高感度センサの創出等があげられる。

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、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、中性粒子ビームによる新規な有機薄膜エッチングとデバ

イス創製、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 21に示すように、1.1成果概要で述べたプラットフォーム概念において、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応用可能なデバイス(◎)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、拡張性が著しく高まった。

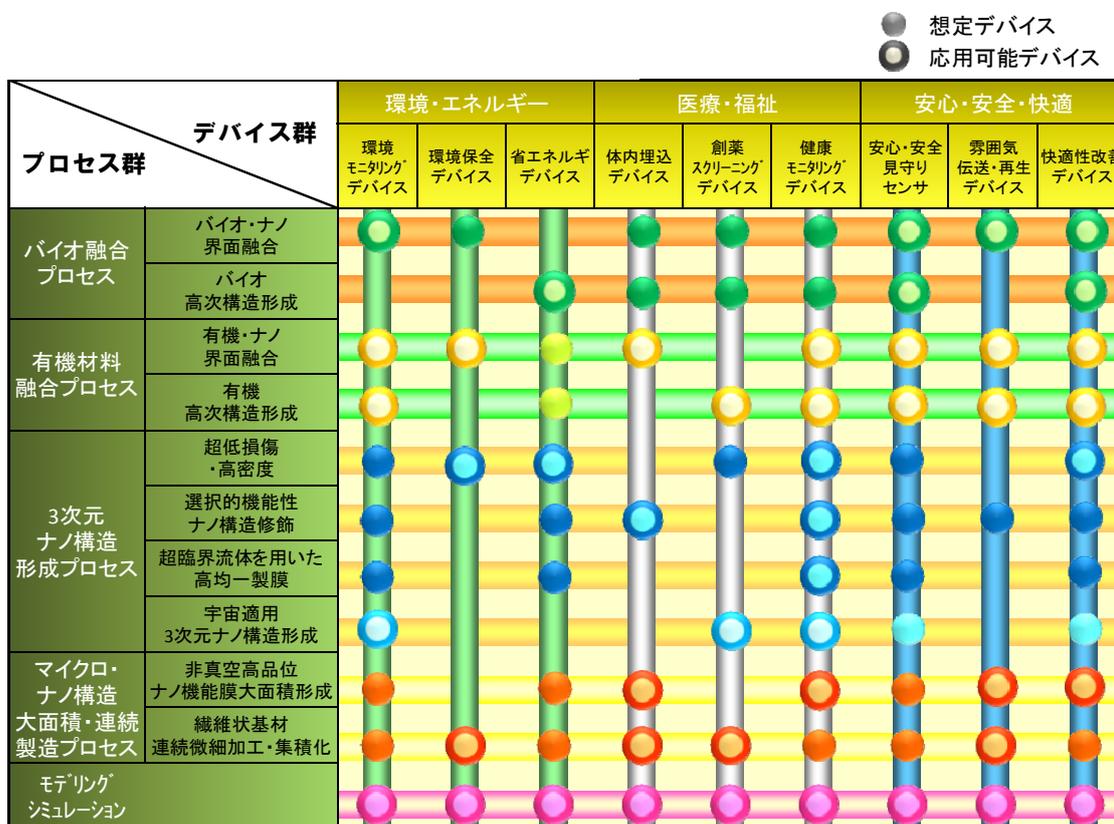


図 21 BEANS 基盤プロセス技術群の展開可能性

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参加企業がそれぞれ事業化を進めることとなるが、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、知財委員会ではこのような仕組みをBEANS 知的財産取扱規程として整備してきた。

1) BEANS 成果としての知的財産権の帰属

BEANS プロジェクトの成果は、プロジェクト参加企業がそれぞれ事業化を進めることとなるため、知的財産権の帰属は、知的財産を創出した研究者が所属する機関とすることを原則とした。

また、BEANSプロジェクトが産学官連携のもと、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他、BEANSプロジェクトの遂行に協力する研究機関の研究者など、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る。

り、BEANS知的財産権取扱規程においては、表 9のとおり整理した。

表 9 BEANS 知識財産権の帰属の整理

研究者区分による知的財産権の帰属と出願・維持管理

研究者区分	研究者の定義	権利の帰属	出願・維持管理等 (費用負担含む)
①雇用研究者	組合が雇用した研究者	組合 (職務発明規程により組合員に譲渡)	譲渡先の組合員
②出向研究者	組合員たる企業・研究機関が組合へ出向させた研究者	組合員たる企業・団体	組合員たる企業・団体
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せた研究者	「兼業に関する覚書」に定めがあるときはその者に、定めが無いときには組合に帰属 ※組合に帰属する場合、組合員に譲渡又は研究機関に権利移転 (NEDO契約約款による承認手続き)	譲渡先の組合員 又は権利移転先研究機関
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研究機構所属研究者を指導する研究者	「招聘に関する覚書」に定めがあるときはその者に、定めが無いときには組合に帰属 ※組合に帰属する場合、組合員に譲渡	譲渡先の組合員
⑤受入れ研究者	若手研究者で、組合が受け入れた研究者	組合 ※組合から組合員に譲渡	譲渡先の組合員
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が組合と共同研究契約を結び研究機関に派遣した研究者	共同研究契約締結者	出願事務: 共同研究契約締結者 費用負担: 組合 ※条件: 「審査会」でBEANS特許と認定し、かつ大学が権利を承継した場合
⑦交流研究者	⑦-1 組合に出向の形態をとらず組合員たる企業に在籍したまま本研究に関する研究者	交流研究者の協定を締結した組合員たる企業	組合員たる企業
	⑦-2 組合が交流研究協定を締結した研究機関に在籍したまま本研究に関する研究者	交流研究協定を締結した研究機関 ※研究機関に権利移転 (NEDO契約約款による承認手続き)	権利移転先研究機関
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	組合員たる研究機関	組合員たる研究機関

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。

2) 戦略的かつ効果的な知財の取得

i. 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、図のような手続きフロー(図 22)を規定した。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。

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

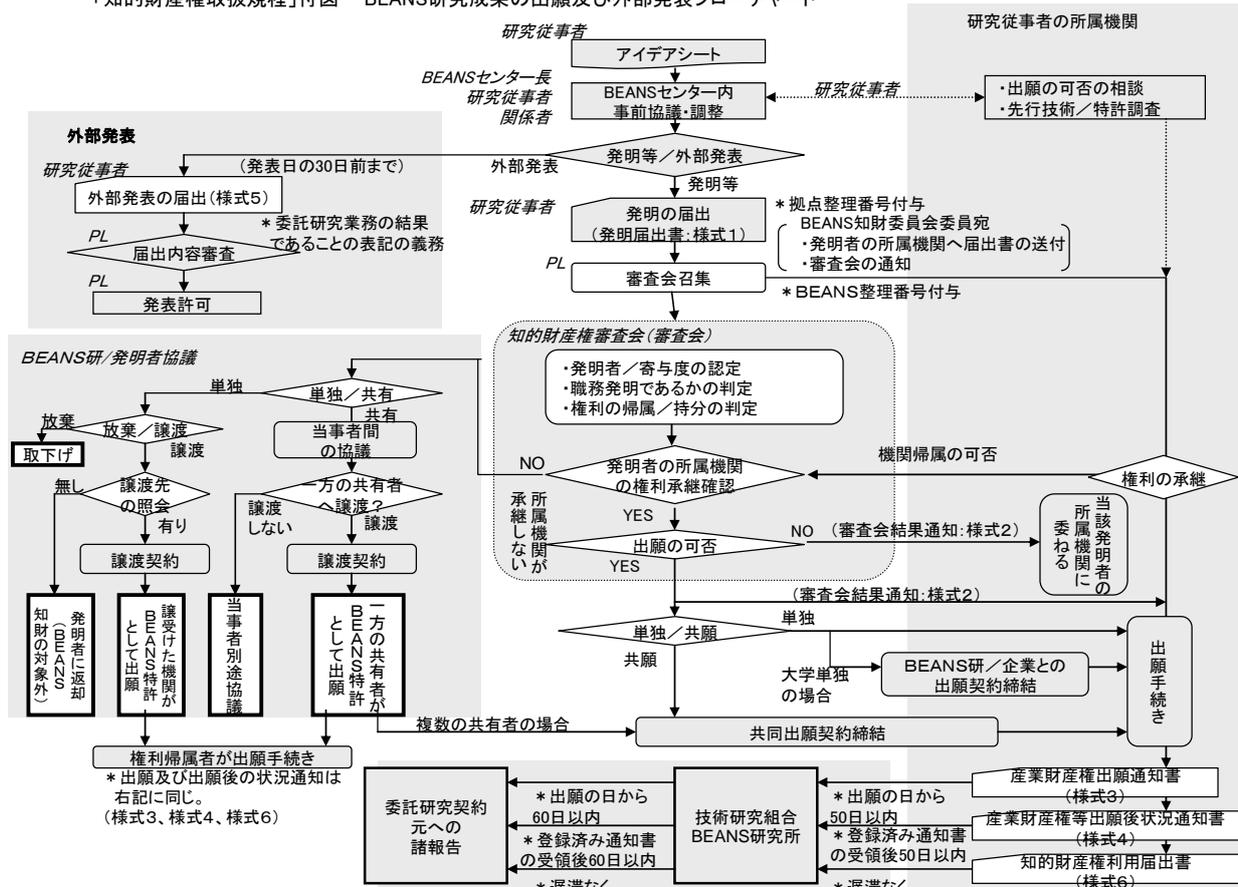


図 22 知的財産取扱規程手続きフロー

ii. 知財プロデューサの活用

① 特許マップ作成による戦略的出願

知財の専門家である知財プロデューサに下記に示す研究項目の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。

図 23に特許マップの例を示す。

- ・ コラーゲン等ビーズに関する特許調査(マップ×1)
- ・ 粒子配列技術に関する特許調査(マップ×1)
- ・ 有機ナノ構造に関する特許調査(マップ×1)
- ・ 有機太陽電池に関する特許調査(マップ×1)
- ・ 有機熱電変換技術に関する特許調査(マップ×1)
- ・ 繊維状長尺体等における特許調査(MACROBEANS)(マップ×3)

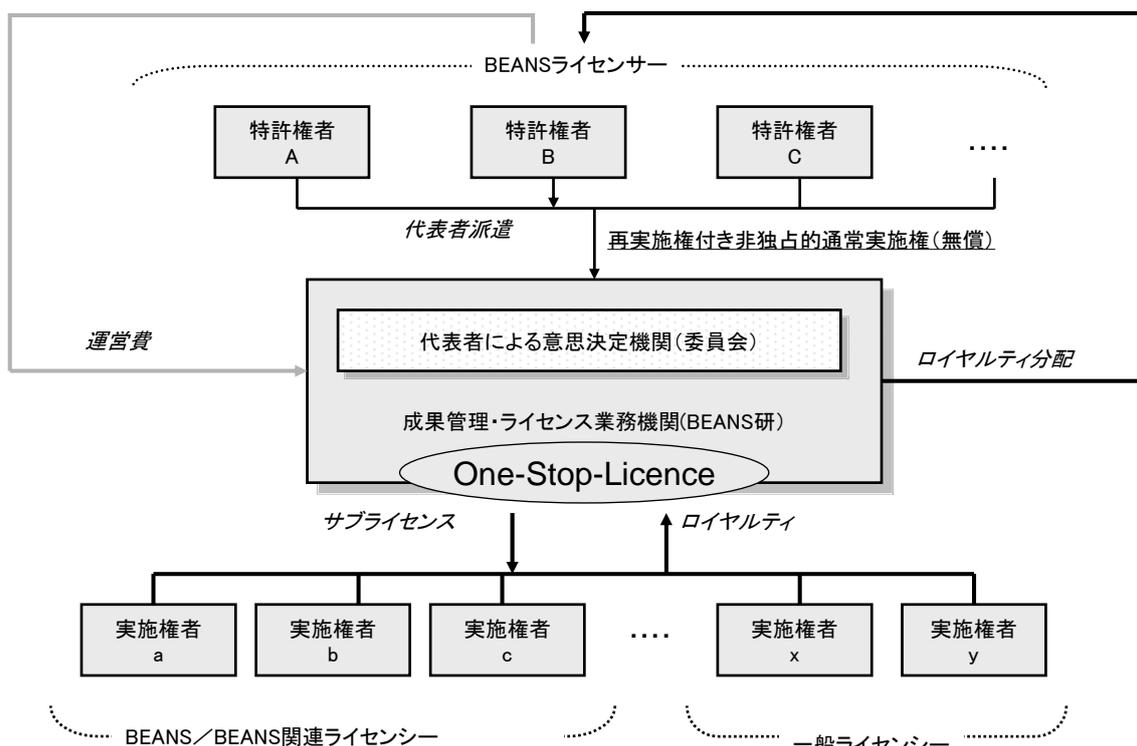


図 24 成果管理・ライセンス業務機関

「成果管理・ライセンス業務機関」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。このことにより、「成果管理・ライセンス機関」から実施許諾を希望する第三者に、公平かつ一律の実施条件でライセンスを許諾する、いわゆる One-Stop-Licence を可能にした。

また、産業財産権の権利者もライセンス活動ができるが、第三者への一般的な実施許諾条件について事前に技術研究組合 BEANS 研究所と協議を行うことを条件に、第三者に対し専用実施権の設定ではなく非独占的通常実施権を許諾することができるものとし、産業財産権の権利者自身の成果展開にも支障が出ないようにした。

これが、他のプロジェクトでは例がない BEANS プロジェクトの知財マネジメントの大きな特徴である。

「成果管理・ライセンス業務機関」が BEANS 成果である産業財産権を実施したい者にライセンスを行う場合、BEANS 知的財産取扱規程では、次の条件でライセンスを行なうように規定した。

- ・ 組合が第三者に対し当該産業財産権の実施の許諾を行うときは、組合は当該産業財産権の権利者に対し事前に書面で通知を行い、第三者に実施許諾する場合の許諾の条件及び実施料等の取扱を当該権利者と協議し別途定める。
- ・ 組合が第三者から徴収する実施料は、当該産業財産権の権利者に対し、その持分に応じて権利者に分配するものとし、組合は実施許諾手続きに要した実費相当の手数料を受領する。
- ・ 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の出願・維持管理費用を負担した者は、負担した者の当該産業財産権の持分に応じた分配額に加え、当該産業財産権の当

該大学持分に依じて分配する実施料から負担した者が負担した出願・維持管理費用を限度とした額の分配を受けることができる。

以上のような BEANS 知的財産権取扱規程で規定した BEANS 成果の一括管理・成果展開の仕組みを具体化するために、「BEANS 知的財産権委員会」の下部委員会として「BEANS 成果展開検討分科会」を平成 22 年 5 月に設置し、One-Stop-Licence の具体的なスキーム及び成果の技術移転・実施許諾のガイドラインの検討を開始した。

技術移転の具体的な仕組みとして、実施許諾の対象技術には、BEANS 成果であるフォアグラウンドIPとともに、フォアグラウンドIPのベースとなったバックグラウンドIPを含めた技術群(パッケージ)を形成することにより、技術移転を効果的に行なえるようにすることにした(図 25 参照)。

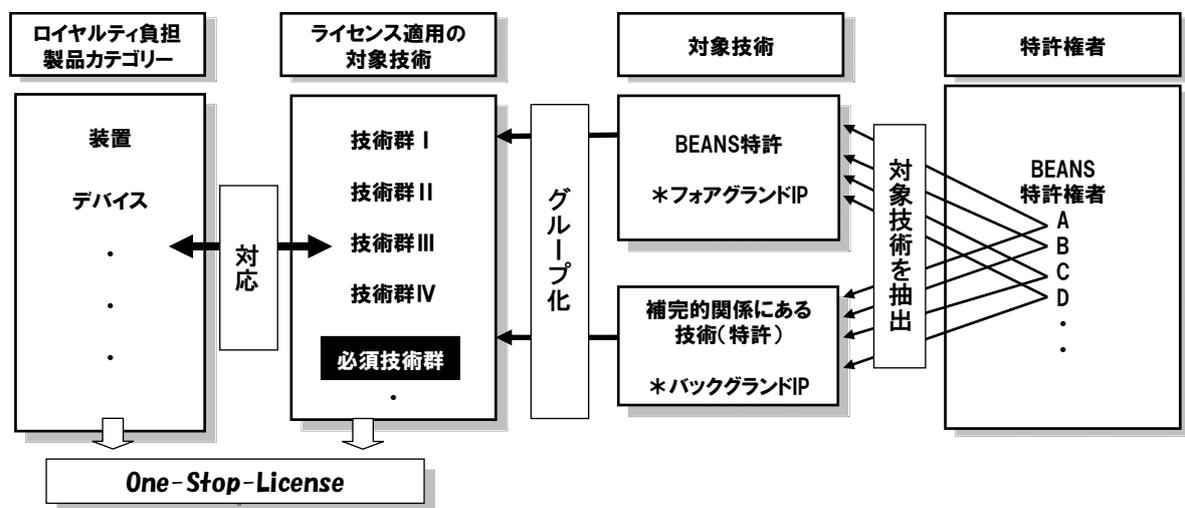


図 25 技術群(パッケージ)形成の考え方

現在、技術群の構築の考え方、実施許諾の範囲、実施料の算定基準の他、BEANS プロジェクト終了後の運営についても、IP の維持費用、ライセンス機関の運営費用も含めた「成果管理・ライセンス機関」の在り方も検討中である。

1.3.2 標準化の取組

1) 標準化活動

本研究のような先端的製造プロセス技術開発においては、具体的なデバイスは特定されていないため、標準化は即現実には関わりがない。しかしながら今後さらに激化してゆく先端技術分野に於いては、何が標準化されるべきかが分かってきた時点で動き出しても既に後追いになってしまい国際標準化において主導できないことが多い。

したがって本研究のような、異分野技術の融合がなされてさまざまな新たな知見が生まれるプロジェクトでは、他に先んじて将来有望技術のポイントが何であるかを知りえる可能性が高いため、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られる可能性がきわめて高い。

本研究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た。以下に委員会活動の内容を述べる。

2) 標準化委員会の活動

これまで平成 20 年度 3 回、平成 21 年度 2 回の標準化委員会を開催した。

これら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」、そのあとで「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ることとした。分科会メンバーは標準化委員、或いは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。開催は H21 年度の 12 月、および 2 月の 2 回おこなった。

分科会で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以下のようにおこなった。

- (1) BEANS 特有の分野、ナノ・バイオ分野、なお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概念の明確性を基本とする。

「第 1 回用語分科会」「第 2 回用語分科会」での作業を経て 2/24/2010「H21FY 第 2 回 BEANS プロジェクト標準化委員会」では「用語分科会」の用語収集フォームで提起された用語について議論した。

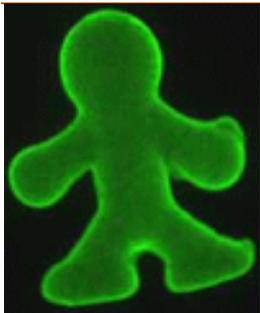
その結果、用語に関するさらなる絞り込みは H22 年度 MMC に設置予定の委員会に委ね、IEC への規格案作成に向けた作業は来年度以降におこなう。計測評価法については H22 年度に新たな分科会を設置し、H23 年度にかけて 調査、評価、絞り込みを行うことなどが決まった。

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席した。これまで平成 21 年 7 月および平成 22 年 7 月の二回にわたり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 の認知用にパンフレットを作成し展示会会場などで配布した。また東京大学生産技術研究所公開に合わせ平成 21 年度には東大駒場でも「BEANSプロジェクトセミナー」を開催した。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を多く行った。各年度の成果普及を表 10 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 10 BEANS の成果普及

平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度
<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～」 東京大学 竹内昌治准教授</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」東京大学 竹内昌治准教授</p>  <p>■第 20 回マイクロマシン/MEMS 展 BEANS 展示ブース(5 小間)</p>	<p>■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</p> <p>■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</p> <p>■BEANS プロジェクトセミナー —2010 中間成果発表 2010/7/29</p>



- 第 19 回マイクロマシン/MEMS 展 2008/7/30-8/1
- NANO KOREA2008 /Microtech 2008/8/27-29
- 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

2009/7/29-31



- BEANS プロジェクトセミナー 2009/7/30



- 「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特別号 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



- 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

1.5 成果の最終目標の達成可能性

これまでの成果を踏まえ、研究項目毎の成果の最終目標の達成可能性を表 11に示す。

表 11に示すように、各研究開発項目とも、達成に向けた方策と展開の道筋が明確になっており、引き続き 2年間のBEANSプロジェクトを実施することで基本計画に掲げる最終目標を達成する見込みである。

表 11 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標	達成可能性
①バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発		
(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術	<p>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。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。</p>	<p>これまでに24時間以上の脂質膜の形成に成功しているためすでに最終目標の達成に近づいている。今後は再現性をあげるための条件を導き出す。また、特異的認識能を利用するために、癌のマーカーを高感度で検出できる、膜タンパク質(VEGF受容体)の精製に成功している。今後は、これらの膜タンパク質と脂質膜の融合をはかる。ハイドロゲルの安定形成においては、アルブミンをモデルとした分子インプリンティング界面、及び、ポリエチレングリコール(PEG)表面修飾界面の形成プロセスについて並行して検討している。PEG修飾界面について、タンパク質が吸着しにくいという結果も得られており、これらの成果を発展させ、3ヶ月以上機能する界面を形成できる可能性は十分にある。これらにより、最終目標の達成が可能である。</p>
(2A) バイオ高次構造形成プロセス技術	<p>バイオ異種材料による3次元組立プロセス技術を開発する。さらに、バイオ高次構造形成プロセスのモデルを構築する。</p>	<p>蛍光ハイドロゲルファイバーの作製に努め、埋め込みに適当な高次構造を決定している。さらに、徐放能を有する3種類のゲルを生体に適応し、一定期間後の生体内での血流を比較することで、どのゲルが生体において血管誘導能を有しているかを検討しており、複数の機能が混在する高次構造の形成が実現できると考えている。また、コラーゲンゲル内のある決まった微細空間に肝細胞を配列して一定期間培養することにより、制御して連続した毛細胆管を形成させられることを見出している。これらの成果を発展させ、肝細胞の空間的配置の制御により毛細胆管を誘導する手法を得ることができると考えている。これらにより、最終目標の達成が可能である。</p>
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術	<p>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。</p>	<p>低分子有機半導体の配向制御法を開発し、ナノ構造への配向制御を実現できる見通しを得ている。高分子材料の被覆に成功しているが、デバイスの特性向上には表面平坦化プロセスとの組合せが必要であり、今後注力することで最終目標の達成が可能である。 50nmのナノ間隙への低分子有機半導体の充填に成功した。高分子については50nmの間隙では充填深さに課題があるが200nmにおいては充填可能であり、最終目標の達成が可能である。</p>
(2B) 有機高次構造形成プロセス技術	<p>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ア構造、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、有機高次構造形成プロセスのモデルを構築する。</p>	<p>ナノマーキングによる径30nm高さ100nmのナノピラー形成に成功している。真空蒸着による40nmのナノドット形成に成功しこのナノ構造を利用し光電変換効率を35%高めることに成功している。上述のナノピラーとの組合せで更なる高効率化を目指すことで最終目標の達成が可能である。 陽極酸化による20~100nmのアルミナナノポア構造形成法を確立した。ナノミストによる80nmのナノポア構造を持つ有機薄膜製膜法を確立した。アルミナナノポアをテンプレートとし、世界トップレベルの熱電特性を実現し、更なる特性向上を目指すことで最終目標の達成が可能である。</p>
②3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発		
(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術	<p>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</p>	<p>中性粒子ビームエッチングによりMEMSに必要なサイズの3次元構造を無損傷でエッチングできることは、現時点で実証されている。また、現時点で、アパーチャにおけるイオン中性化シミュレーションとエッチング形状シミュレーションを統合し、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を構築できる見通しが立っている。これを活用してエッチングの高速化や垂直性の制御を達成するプラズマ条件・ガス組成・アパーチャの形状等を最適化することで、アスペクト比100のシリコンエッチングを達成できる見込み</p>

	達成する技術指針と装置の基本設計を提供する。	である。また、同シミュレーションは 8 インチウエハ面内のエッチング特性均一化にも援用する。 誘電材料や光学材料等のエッチングに関しては、現時点で見出されているフェムト秒レーザーによるエッチングアシスト効果を中性粒子ビームエッチングに応用し、任意の3次元形状を形成する技術に発展できると考えている。
(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。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。	現時点で原理実証が済んでいる材料認識ペプチドを用いた材料選択的ナノ構造体導入技術を拡張し、シリコン、カーボンナノチューブ等様々な材料に対して適用可能にする。本技術と、中性粒子ビームエッチングや超臨界流体製膜技術等による高精細3次元加工技術を組み合わせることにより、3次元構造表面の特定箇所に対し、100 nm 以下のサイズのナノ構造体を配置することが可能になると考えている。粒子間隔・密度の高精度な制御に関しては、表面エネルギー制御による自己組織化配列、電気泳動による尖塔部など特定部位へのナノ構造体の輸送を組み合わせることで達成できる見込みである。このようにして作製したナノ構造の接触物間作用力に関しては、すでに AFM を用いて高精度の測定が達成されており、材料系を拡張してモデル構築を進めることができると考えている。アスペクト比 100 以上の3次元ナノ構造の微細溝や孔への均一製膜に関しては、すでに現時点で見通しが立っており、流体中の反応を制御する装置設計技術を今後発展させることで、最終目標を確実に達成できると見込んでいる。
③マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発		
(1) 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大面積基板上にスキャンニングして、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。	中間評価までで非真空プロセス実現に必要な大気圧かつ危険なシランを用いないガス条件下(密閉型平行平板方式)で、デバイス適用可能な電子移動度 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の Si 膜が得られることならびに圧力センサ試作により歪ゲージ等の機械的機能膜に適用できることならびにミストジェット法で $200 \mu\text{m}$ パターン描画を実証した。一方、噴出しスキヤン型において成膜速度を現状 CVD 並みに向上させることが課題であるが、今後、プラズマ化学輸送活性化や局所清浄環境実現に向けた研究開発に取り組むとともに、合わせてナノ・マイクロサイズの微粒子を一括吐出するミストジェットなど塗布法との組み合わせ技術を開発することで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できる見込みである。また、それを実現する装置仕様も決定できる見込みであり、最終目標の達成が可能である。
(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 m/min 以上で形成するプロセスを実現する。さらに、3次元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。	前後処理工程や塗布ヘッド構造の最適化を行うことにより、繊維状基材上に、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、実用レベルの 50 m/min で形成するプロセスを確立できる見込みである。また、円筒モールドによる高速インプリント時の成型系や離型性などを吟味するとともに、3次元連続リソグラフィ技術を確立することにより、ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元ナノ構造や電極パターンを加工速度 20 m/min 以上で形成するプロセスが実現できる見込みである。さらに、可動接点構造の最適化やパターン電極をアライメントして製織する技術を開発して、3次元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できる見込みである。従って、最終目標の達成が可能である。
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		
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	BEANS 知識データの多様なカテゴリ分類に対応するため、編集者が操作しやすく、データの誤操作の少ないカテゴリ追加・変更機能の設計を実施したため、系統的に知識データを蓄積してデータベース化が可能となっている。また、データ構造の共通化により、MEMS 用設

	<p>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 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>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ことが可能となっている。</p> <p>BEANS 知識データの蓄積では既に中間目標の 500 件以上のデータが登録されており、また、本研究開発事業の研究成果が進捗に合わせて確実にデータが登録されること、および知識データベース編纂委員会の 4 ワーキング・グループによる知識データの登録により最終目標の達成が可能である。</p>
--	---	---

2. 研究開発項目毎の成果

以下に、研究開発項目毎に(1)成果物のまとめ、(2)研究テーマの推移と年度間相関、そして(3)研究成果内容をまとめて図表で示す。

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。

達成度の判定基準 ×:目標未達成、△:条件付で目標達成、○:目標達成、◎:目標を大幅に上回る成果

2.1 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」

(1) 成果物

表 12 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の成果物

区分 年度	特許出願			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
	国内	外国	PCT	査読付	その他				
H20 年度	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	17 件	0 件	0 件	11 件
H21 年度	5 件	0 件	0 件	2 件	0 件	25 件	3 件	3 件	8 件
H22 年度	1 件	0 件	1 件	5 件	0 件	6 件	0 件	2 件	4 件

(2) 研究テーマの推移

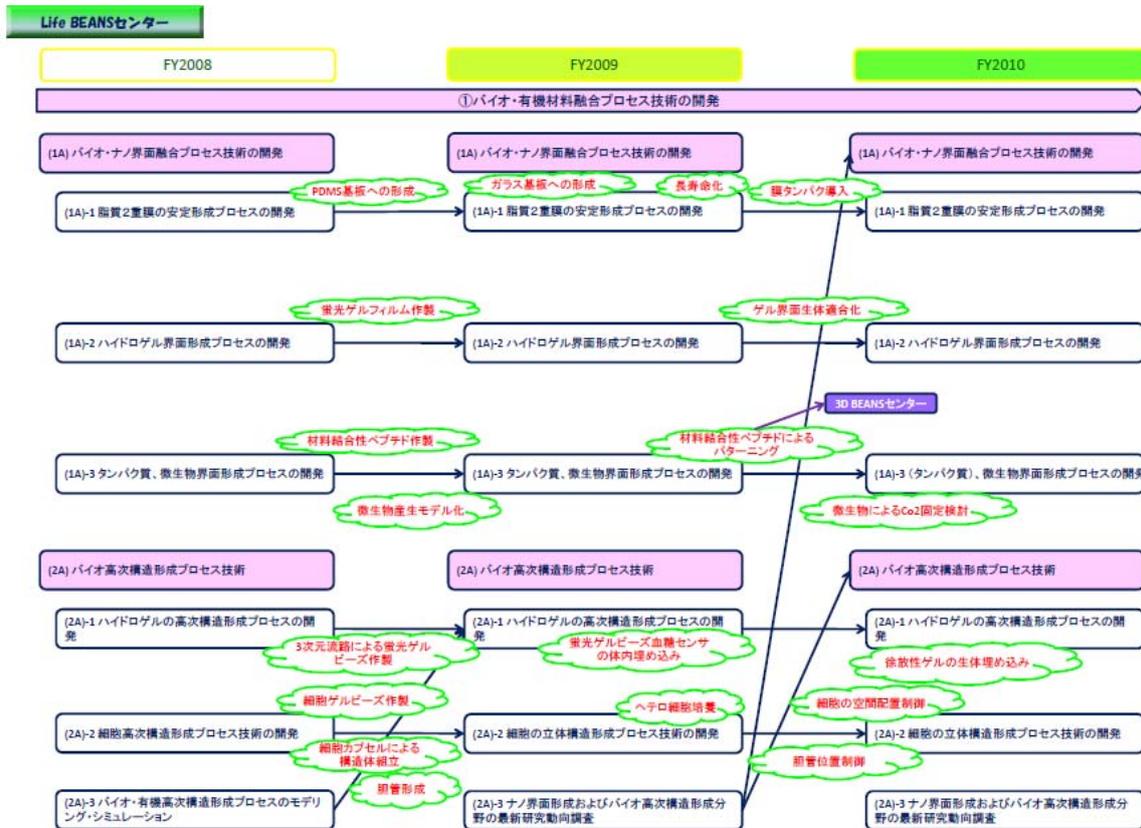


図 26 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の研究テーマの推移および年度間相関

(3) 研究成果内容のまとめ

i. 平成 20 年度の研究成果内容

表 13 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 20 年度)その 1

項目/目標	成果	達成評価
(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術の開発		
(1A)-1 脂質2重膜の安定形成プロセスの開発		
(1A)-1-1 4チャンネル同時に電氣的に独立して計測できる脂質二重膜を形成する方法を開発する。	金による電極形成プロセスの開発に成功した。独立したマイクロチャンバーに電極を形成することにより、独立した電流計測が可能であることを確認した。脂質二重膜を形成できるマイクロ流路とマイクロチャンバーの形成プロセスを開発した。	○
(1A)-1-2 疾患関連マーカーと結合する1種類の受容体タンパク質(膜タンパク質)について、基板上で機能・活性を確認できる技術を開発する。	疾患関連マーカーである血管内皮細胞増殖因子VEGFと結合する1種類の受容体タンパク質(膜タンパク質)血管内皮細胞増殖因子受容体VEGFRをクローニングし、大腸菌を用いたタンパク質の大量発現系を構築した。またこのタンパク質を大量作製し、精製した。さらにこれを基板上に固定化し、表面プラズモン共鳴法により当該疾患関連マーカーとの結合を調べた。基板上での結合活性については、タンパク質の安定性が十分でなかったため、希望する結果が得られなかった。	△
(1A)-2 ハイドロゲル界面形成プロセスの開発		
(1A)-2-1 厚み5~50μmで制御できるin vitro評価用ゲルフィルム製造法を設定し、in vitroでゲルの成分、物性と生体成分吸着量の関係の評価し、ゲルの候補成分とその組成を絞り込む。	厚み55umのスペーサーを用いた、溶液充填型ゲル作製セルを設定し、またこれを用いて電子線重合を行うことで、ゲルフィルムを作製することに成功した。 作製したゲルフィルムの厚みを三次元バイオ試料観察装置により測定したところ、ほぼスペーサーの厚み通りのゲルフィルムが得られていることが確認できた。必要な厚みのスペーサーを用いることで、厚みは制御可能であることが確認できた。 重合条件や組成の異なる3種のゲルに対する蛍光アルブミンの吸着堆積を、蛍光顕微鏡にて観察した結果、どのゲルにおいても蛍光アルブミンの吸着がガラス基板に比べて大きく抑制されていることが確認できた。	△
(1A)-2-2 主に電子線重合法、電解重合法について、凹凸や異種ゲルを、ベースのハイドロゲル表面にパターンニングする重合条件を設定する。	化学重合により、ハイドロゲルの重層パターンが構築可能であることを、三次元バイオ試料観察装置により確認した。またカバーとしてバリレンフィルムを用いて電子線重合が行える条件が設定できたため、微細構造を施したバリレンフィルムを用いることで、より複雑かつ機能的なパターンニングが行えると期待される。	○
(1A)-2-3 グルコースセンサー用蛍光色素モノマーを外注合成し、各種重合法による蛍光色素への基本的な影響を確認して、ゲル重合条件を設定する。	外注合成したグルコースセンサー用蛍光色素モノマーを用いて、電子線重合、化学重合により、蛍光ゲルが作製可能な条件を決定した。続いてこれら蛍光ゲルのグルコース応答性について確認したところ、化学重合についてはグルコース応答性が確認できたものの、電子線重合においては、それが確認できなかった。	△
(1A)-2-4 蛍光ゲル充填型セル素材の選定と、細孔形成加工法の条件最適化を行う。	ゲル充填型セルのカバーの素材として、カプトンとバリレンについて検討を行い、どちらも、電子線重合の際のカバーとして適用可能であることがわかった。また、ほう珪酸ガラスに対し、BEANS対応ガラスドライエッチング装置(NLD)を用いて、深さ80μm程度の溝の形成条件を設定することに成功した。	○

表 14 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 20 年度)その 2

(1A)-3 タンパク質、微生物界面形成プロセスの開発		
(1A)-3-1 無機・有機材料表面への自発的かつ選択的に蛋白質を配向固定化するプロセスを開発する。	センサー基板として利用可能な酸化インジウムスズ(ITO)とシリコン(Si)の表面構造自身を標的として選択的接着・接合が可能なペプチドをペプチドファーゼ提示法により選択および作製し、単純な混合操作のみで簡便にプローブ分子を目的基板へ配向固定化でき得るペプチド分子作製を行った。	○
(1A)-3-2 微生物担体の微細構造化プロセスの確立と、モデル微生物を用いた評価実験系を構築する。	AFFDを利用した微生物担体ハイドロゲルビーズの作製、および凍結乾燥法による多孔質微生物担体作製プロセスの確立を行った。具体的には、アルギン酸ゲルビーズおよびHEPES培地とアルギン酸カルシウムからなる多孔質担体を作製し、ゲルビーズの径および多孔質体の孔径・比表面積の測定を行った。また、異なる径のアルギン酸ゲルビーズに微生物を固定したときの、エタノール濃度を測定する評価系を構築した。微生物担体の微細化プロセスの確立、およびモデル微生物を用いた評価実験系の構築を達成した。	○
(2A) バイオ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		
(2A)-1-1 光造形法による三次元マイクロ流路デバイスの作製および評価と、均一径液滴形成における条件検討を行う。	光造形法により二重円管構造および直径250 μmのオリフィスをもつ三次元マイクロ流路デバイスを作製した。外層にヘキサデカンおよびコーンオイル、内層に水を使用した場合の、外層と内層の流量比に対する形成される水滴の直径分布を計測し、本デバイスを用いてC.V.値5%以下の均一径の水滴を形成しうることを確認した。	○
(2A)-1-2 細胞、組織のためのカプセル化技術を確立する。まずは、(2A)-1-1で概説した三次元マイクロ流路デバイスによる均一ゲルビーズの作製法を検討し、接着細胞をペプチドゲルビーズ内で培養する手法を構築する。	三次元マイクロ流路デバイスを用いて細胞をカプセル化したマイクロサイズの均一径のゲルビーズ調製法を試みた。ゲル材料として、ペプチドハイドロゲル(PuraMatrix)を用いた。ゲル化剤として作用しうる塩類を分散させたオイルを外層に使用することで、均一液滴の形成および、直径100 μmの細胞内包化ゲルカプセルを作製することに成功した。本法で調製した細胞ビーズは流量比を変化させることで任意の大きさの均一径ビーズを形成することができる。さらに、カプセル化した細胞は、培養後も活性を保持し、ゲル内を移動できることを確認した。本技術は、マイクロゲルビーズをひとつのユニットとした組織構造体の組立、および、アレイ上に並列化することで薬物動態検査等のハイスループット解析への応用が期待される。	◎
(2A)-1-3 2種類以上の新規固定化方法の有用性を1種類のCYP酵素活性の半減期で評価する技術を開発する。(本実施項目は「(1)ナノ界面融合プロセス技術の開発」にあがっていたが、報告書をまとめるにあたり便宜上(2)に記載することにした。)	固定化されたCYP3A4の経時的な活性を指標にして固定化素材を評価すると、アルギン酸ポリリジン複合体カプセル、アクリルアミドゲルが同程度の性能であった。この結果は、試験デバイス内に配置できるようなCYPカプセル作製プロセスの基礎情報となる。	○
(2A)-1-4 グルコースセンサ用蛍光色素モノマーを外注合成し、各種重合法による蛍光色素への基本的な影響を確認して、ゲル重合条件を設定する。 蛍光ゲルビーズの作製条件を検討する。 蛍光ゲルフィルムのマウス埋め込み実験により、in vivoにおける蛍光ゲル応答性について確認する。	グルコースセンサー用蛍光色素モノマーを用いて、化学重合法により作製した蛍光ゲルフィルムのグルコース応答能を確認することができた。よって、本条件における化学重合は、蛍光色素に影響を与えない重合法として有効であることが確認できた。 3D-AFFD法により、分散状態での蛍光ゲルビーズ作製法を確立した。 蛍光ゲルフィルムをマウス腎部へ埋め込むことで、in vitroのみならず、in vivoにおいても、グルコース応答能を有することを確認した。また、マウスへの糖負荷方法や、乾燥防止膜の選定、埋め込み部位の決定など、今後の評価のための動物実験系についても確立した。	◎
(2A)-1-5 細胞3次元カプセル化プロセス評価機器(コンピュータ制御撮影機能、自動解画像析機能付き倒立顕微鏡装置)の設置と分離膜島の評価方法の確立。	3次元カプセル化プロセス評価機器の導入とそれによる分離膜島組織の形態学的評価方法の確立を行った。3次元カプセル化プロセス評価機器のタイリング機能を使用することで分離膜島の撮像を高倍率、高解像度にて行うことが可能であった。また、その画像に対して形態学的な解析を行うことが可能であった。	○

表 15 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 20 年度)その 3

(2A)-2 細胞高次構造形成プロセス技術の開発		
(2A)-2-1 均一直径の細胞凝集塊 (スフェロイド) 形成法の検討を行う。	PDMSマイクロウェルを作製し、その中に培養液中に分散させたMin6m9細胞を入れるとMin6m9細胞は、細胞同士が結合し、ウェルのサイズに合わせて均一サイズのスフェロイドを形成することができた。また、細胞の機能は、スフェロイドのサイズに依存することがわかった。均一サイズにすることで、ダイナミックマイクロ流路を用いたスフェロイドのアレイ化、および三次元組立てが容易になると考えられる。	○
(2A)-2-2 細胞表面特異的接着ペプチド・蛋白質を用いた異種細胞間接合プロセスを開発する。	ファージ提示法によりHepG2細胞とマウス3T3細胞間を接合させることに必要な候補ペプチドを取得することに成功した。	○
(2A)-2-3 異種細胞を組み込んだ組織形成プロセスの構築のため、三次元マイクロ流路デバイスを用いて均一直径のコラーゲンゲルビーズ内に細胞を内包化する条件を検討する。 細胞を内包化したコラーゲンゲルビーズの外側に、異なる種類の細胞を配置した階層的共培養カプセルの形成を行い、かつ、階層的共培養系における細胞の活性を測定する。	三次元マイクロ流路デバイスを用いて細胞外マトリックスであるコラーゲン内に細胞を内包化した均一直径ゲルビーズの形成プロセス法を構築した。中性コラーゲンを用い、コラーゲン液滴を形成後、37°Cで加温してゲル化するという、簡便で細胞にとって非侵襲な手法といえる。 HepG2を内包化したコラーゲンゲルビーズ上に3T3を播種することで、内側の細胞が外側の細胞の覆われた3次元階層的共培養法を確立した。本共培養系は、単独共培養系に比べて、HepG2のアルブミン産生能を向上させる効果があった。つまり、より生体に近い構造を再現することで、細胞の活性を維持しうることができた。	○
(2A)-2-4 動物由来の初代肝細胞などを用いて比較となるべきCYPとTP活性を取得する。	薬物代謝酵素としてヒトCYP3A4のミクロソームの活性を計測するための標準方法を導入し、活性データを計測した。一方、薬物トランスポーターとしてOATP1とMRP2の活性を計測するための標準方法を導入し、強制発現系と初代肝細胞培養の活性データを計測した。	○
(2A)-2-5 肝細胞由来の細胞株の組立て技術を開発し、そのプロセスを構造と生存率で評価する。	簡便な静置培養条件で、正常肝細胞を2-3層に重層化培養するための材質・表面処理・線維芽細胞などの他の非実質細胞との階層化、等に関して検討を行い、その上下を線維芽細胞でサンドイッチした五層程度の安定培養が可能であることを明らかにした。	○
(2A)-2-6 肝三次元マイクロ流路で作製したコラーゲンゲルビーズの周りに細胞を培養した細胞カプセルによる三次元組立て方法を開発する。	光造形法により作製したPDMSモールド内にコラーゲンゲルビーズの周りに細胞を培養した細胞カプセルを入れて、培養することで、細胞同士の結合により、大きさ5 mm程度の組織構造体を形成、新たな組織組立てプロセスを開発した。培養1日後も細胞は死滅せず、生存していることを確認した。	○
(2A)-3 バイオ・有機高次構造形成プロセスのモデリング・シミュレーション バイオ・有機材料を有するナノ界面の結合様式・配向について開発するモデルの適用範囲を検討し、開発要件を決定する。 バイオ・有機高次構造形成プロセスについて開発するモデルの適用範囲を検討し、開発要件を決定する。	(1)ナノ界面融合プロセス技術の開発、および、(2)バイオ・有機高次構造形成プロセス技術の開発を実施する上で適用が望まれるモデリング・シミュレーションについて、広く情報を抽出・整理し、その中からプロセス技術の開発にあたり効果的にモデリング・シミュレーションが活用でき得るテーマを選定した。 選定したテーマに対して、バイオ・有機材料を有するナノ界面の結合様式・配向やバイオ・有機高次構造形成プロセスについて、開発するモデルの適用範囲を検討し、開発要件を決定した。また、一部の案件では、実際にモデリングを開始した。	○

ii. 平成 21 年度の研究成果内容

表 16 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 1

項目/目標	成果	達成評価
(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術の開発		
(1A)-1 脂質2重膜の安定形成プロセスの開発		
(1A)-1-1 平成20年度に開発したマイクロ流路を用いた脂質2重膜の形成法を安定して機能させるために、脂質2重膜関連実験装置を導入して、脂質の種類、濃度、溶液の流速、デバイスの材料などを検討する。	脂質2重膜の安定形成にむけて、各種重要条件やパラメータ(デバイス材料、脂質種類、脂質濃度、脂質の流速)の評価を実施した。特に、デバイス材料をPDMSからガラス変更することで、脂質膜の形成時間が10倍以上伸びる事が解かった。	◎
(1A)-1-2 バイオケミカルシグナルを電気シグナルとして計測可能なデバイスを作製するため、まず膜タンパク質等の調製技術を検討する。さらに、膜タンパク質等をデバイスに導入するプロセスの開発を行う。	疾患関連マーカーである血管内皮細胞増殖因子VEGFと結合する受容体タンパク質(膜タンパク質)血管内皮細胞増殖因子受容体VEGFR1について、VEGF結合領域と膜貫通領域を融合させた膜タンパク質をマルトース結合タンパク質MBP融合タンパク質として、大腸菌発現系で発現、精製を行った。また膜タンパク質を膜デバイスに導入するため、精製タンパク質をリボソームに再構成させプロテオリボソームを作製した。抗MBP抗体およびVEGFについて表面プラズモン共鳴法によりその結合を確認した。	◎
(1A)-2 ハイドロゲル界面形成プロセスの開発		
(1A)-2-1 生体適合性を旨とした分子インプリンティング界面形成法として、高速重合が可能で、重合開始剤を必要としないプロセスである電子線重合法の有効性について、ハイドロゲル関連実験装置を導入して確認する。	電子線重合により、1秒以下の電子線照射で、重合開始剤・促進剤を用いずに、ゲルを作製することに成功した。再現性の面で大きな課題があるが、グルコースについて、電子線による分子インプリンティング効果を、ハイドロゲル関連実験装置として導入したQCMにて観察することに成功した。	○
(1A)-2-2 ゲル膜評価システムを導入してハイドロゲル界面形成プロセスおよび膜構造を評価する。	光干渉式の膜厚測定器を導入し、乾燥状態のゲルの表面形状、膜厚について評価を行った。溶液の使用量に従いゲル膜厚が変化することが確認できた。	○
(1A)-3 タンパク質、微生物界面形成プロセスの開発		
(1A)-3-1 材料結合性ペプチド・抗体分子を用いたマイクロメートル領域での選択的タンパク質固定化を生体分子・微生物関連実験装置を導入して実施する。	酸化亜鉛結合性ペプチドを用いることによって、シリコン基板上に2マイクロメートル以下でパターンニングされた酸化亜鉛膜に量子ドット標識ストレプトアビチンを混合操作のみでパターンニングすることに成功した。	○
(1A)-3-2 マイクロゲルを微生物担体として用いたイースト菌によるアルコール産生、および、炭素電極を微生物担体として用いた微生物発電をモデル反応とし、微生物界面と微生物産生効率に関するモデル化を行う。	マイクロゲルのサイズ導出に関する理論化を終え、イースト菌を用いたアルコール産生のモデル化について、理論的な考察を終えた。また微生物発電に関しては、電極加工方法を確立し、実験からモデル化に関する指針を得た。	○

表 17 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 2

(2A) バイオ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		
(2A)-1-1 3D-AFFD法などにより粒径約300 μm 以下の粒径分布の狭い蛍光ゲルビーズを作製可能なゲルモノマー溶液の組成・濃度、外層溶液の組成、流速、温度などの条件を導く。	3D-AFFD法により、粒径約130 μm の蛍光ゲルビーズを作製することに成功した。このゲルビーズはグルコース応答性を示した。また、生体への埋め込み実験を行い、皮膚を通した蛍光変化の観察が可能であることを確認した。	◎
(2A)-1-2 アルギン酸カルシウムPLLおよびアクリルアミドゲル等について、CYPに対する活性への影響と漏出性の評価を行う。	アルギン酸カルシウムPLLからの分子量に応じた物質の漏出性を評価した。マイクロ化のためにオイル中でのCYPカプセルの活性を評価した。	○
(2A)-1-3 徐放性を有するゲルで生体に適応可能なものをin vitroの系を用いて検討する。	徐放性を有する3種類のゲル、MedGel、アテロコラーゲン、Puramatrixについてin vitroでの検討を行った。	○
(2A)-1-4 AFFD等によるマイクロ液滴形成プロセスにおいて、デバイス形状・材質、流量などの稼動条件、流体物質の物性値に応じて形成される液滴の径・分散予測のための基本手法を確立する。	AFFDと円筒系での平行一様流によるシミュレーションを実施した。一様平行流のシミュレーションによる液滴形成では、dripping-jetting遷移、および、AFFDでの連続層・分散層流量比と液滴径との関連について、実験での傾向を大まかに再現することができた。これらにより、液滴径や分散の予測のための基本的な手法を確立できた。	○
(2A)-2 細胞の立体構造形成プロセスの開発		
(2A)-2-1 蛍光基質などを利用した肝細胞等の輸送活性の計測と薬物トランスポータータンパク質の局在解析を行う。加えて、これを行うために細胞を空間的に配置できるよう、3次元ヘテロ関連実験装置を導入し、コラーゲンゲルやPDMS材料などの加工条件を決定する。	酸素透過性PDMS膜上で肝細胞を3次元的に培養して、毛細胆管を作製する条件を検討し、最適条件を求めた。蛍光基質を用いて、PDMS膜上でサンドイッチ培養した肝細胞の輸送活性を測定し、従来法よりのメリットを示した。また薬物トランスポーターMrp2の局在解析を行い、従来法よりも早く、広い範囲にこれが局在する利点を明らかにした。	○
(2A)-2-2		
3次元立体構造観察装置ユニットを導入して、細胞により構成した立体構造の内部の評価を行う。	ヒト肝ガン細胞株Hep G2とマウス血管内皮細胞株MS1をアビジン・ビオチン結合を用いることにより凝集化させ、3次元立体組織を構築した。この組織の内部を3次元立体構造観察装置ユニットにより観察を行った結果、血管内皮細胞がネットワーク状の構造を獲得していることがわかった。	◎
(2A)-3 ナノ界面形成およびバイオ高次構造形成分野の最新研究動向 Transducers、 μ TASやMEMSなどの国際会議に参加し、同分野の最新動向調査を行う。	学会に参加し調査を行った。	○

iii. 平成 22 年度の研究成果見込み

表 18 ①-A「バイオ材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 22 年度)

項目/目標	成果(見込)	達成評価
(1A) バイオ・ナノ界面融合プロセス技術の開発		
(1A)-1 脂質2重膜の安定形成プロセスの開発		
(1A)-1-1 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時間以上の脂質膜の形成(寿命)を達成した。現在、形成した脂質膜について、真に脂質二重膜であることを膜たんぱく質等(αヘモリン等)を用いて検証中。今後は、更なる膜形成の安定化と膜たんぱく質の融合精度を高めて目標達成する見込み。	達成見込み
(1A)-1-2 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。	作製した膜タンパク質(VEGF受容体)の精製条件を再検討し、高純度に精製することに成功した。またVEGFとの結合を検出することができた。現在、精製タンパク質をデバイス上の脂質膜に導入するためのリポソーム脂質について検討しており、3月までにタンパク質導入技術を確立させる。	達成見込み
(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。	アルブミンをモデルとした分子インプリンティング界面、及び、ポリエチレングリコール(PEG)表面修飾界面の形成プロセスについて並行して検討している。PEG修飾界面について、タンパク質が吸着しにくいという結果も得られており、3月にはこれらの結果から、材料・手法を決定できる見込み。	達成見込み
(1A)-3 タンパク質、微生物界面形成プロセスの開発		
(1A)-3-1 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。	ゲルビーズへの微生物の固定実験をイースト菌をモデル微生物として既に開始しており、3月までに、二酸化炭素固定など他の実験系でも微生物を利用した高効率多段階反応能を評価できる見込みである。	達成見込み
(2A) バイオ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		
(2A)-1-1 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。	マウスの耳に蛍光ゲルファイバーを埋め込み、生体外部からの検出、及び、長期埋め込みなどについて評価を行っている。センサー小型化のため、検出を外部から行う場合においては、皮下よりも埋め込み深さの浅い、耳が有効であった。3月に有効性を実証できる見込みである。	達成見込み
(2A)-1-2 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。	徐放性を有する3種類のゲルを生体に適応し、一定期間後の生体内での血流を比較することで、どのゲルが生体において血管誘導性を有しているかを決定する。3月に効果を検証できる見込みである。	達成見込み
(2A)-1-3 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。	液滴径の平均・分散の評価を行なうため、シミュレーションにおいて、液滴領域の同定、時間の進展に応じた液滴のトレースまたは特定空間領域内での液滴の把握の手法を検討している。今後検討結果を実装し、一様平行流などでのシミュレーションを実施しながら検証を行なうことで、目標が達成できる見込みである。	達成見込み
(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。	現在、コラーゲンゲル内のある決まった微細空間に肝細胞を配列して一定期間培養することにより、制御して連続した毛細管を形成させられることを見出している。したがって、3月には、肝細胞の空間的配置の制御により毛細管を誘導する手法を得ることができる見込みである。	達成見込み
(2A)-3 ナノ界面形成およびバイオ高次構造形成分野の最新研究動向		
μTASやMEMSなどの国際会議に参加し、同分野の最新動向調査を行う。	国際会議への参加により、BEANSの研究成果を世界の研究者に公開できることに加え、最新技術情報の調査を行うことによって、以後のプロジェクトをよりの確かな判断で遂行できることが見込まれる。	達成見込み

2.2 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」

(1) 成果物

表 19 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の成果物

区分 年度	特許出願			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
	国内	外国	PCT	査読付	その他				
H20 年度	4 件	0 件	0 件	1 件	0 件	2 件	0 件	0 件	0 件
H21 年度	4 件	0 件	0 件	2 件	0 件	18 件	1 件	1 件	0 件
H22 年度	1 件	0 件	0 件	3 件	0 件	5 件	1 件	0 件	0 件

(2) 研究テーマの推移

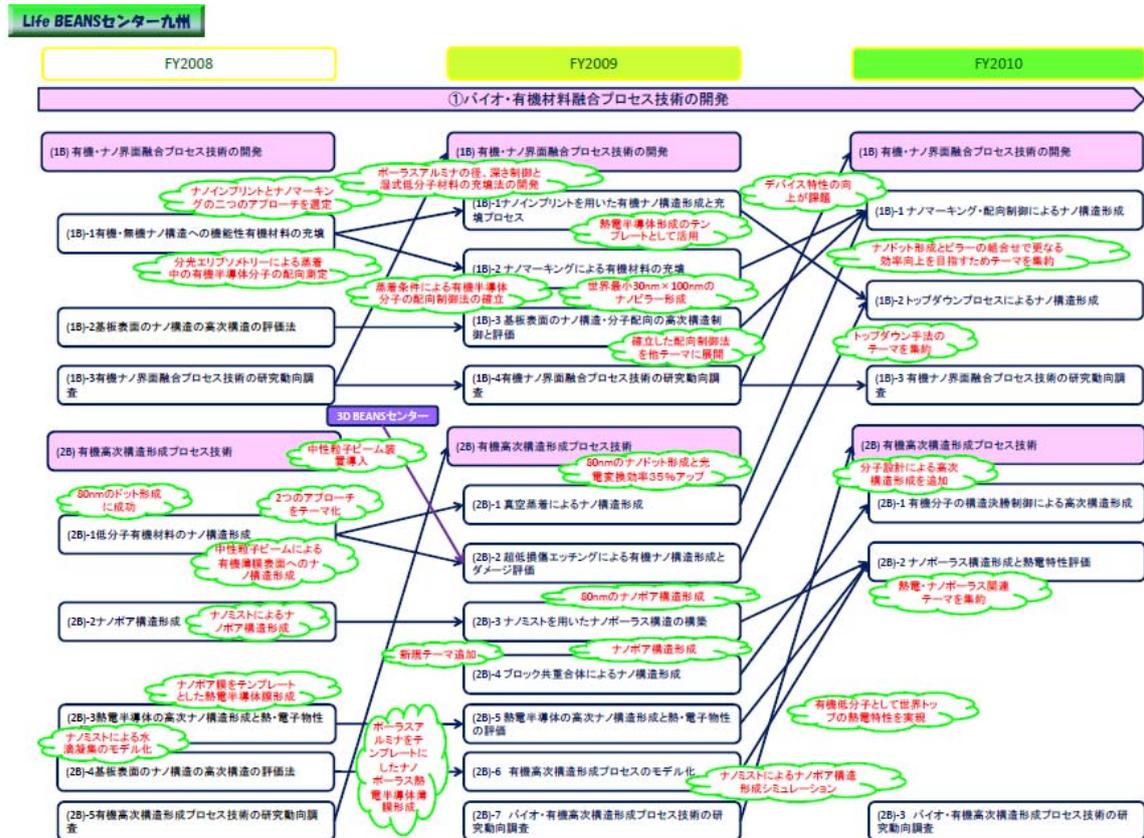


図 27 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究テーマの推移および年度間相関

(3) 研究成果内容のまとめ

i. 平成 20 年度の研究成果内容

表 20 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 20 年度)その 1

項目/目標	成果	達成評価
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術		
(1B)-1 ナノインプリントを用いた有機ナノ構造形成と充填プロセス検討		
	電子線リソグラフィ法による有機・無機モールドの作製、有機半導体のP3HT膜のインプリンティング、蒸着による充填の検討を行った。電子線リソグラフィ法によるモールド作製においては、目標の200 nmレベルの良好な形状を作製することができた。また、P3HT膜のインプリンティングにおいては、圧力及び膜厚依存性の検討を行い、モールドの形状がきれいにP3HT膜へ転写されていることが確認された。また、そのように成形されたP3HT膜に対し、蒸着法を用いて有機材料を充填して作製した有機太陽電池においては、JSCの向上が確認され、300 nm以下の凹凸を有した構造に対して有機材料が充填されていることが示唆された。	○
(1B)-2 ナノマーキングによる有機材料の充填		
	ナノマーキングにより成長位置を制御した基板上に結晶成長を行うことにより、チャンネル長25 μmのボトムコンタクトFET電極間の任意の位置に有機充填を行うことができた。また結晶成長ボトムコンタクト基板のFET移動度は、真空蒸着法によるFET移動度と比べ、その値が大きく向上した。	○
(1B)-3 SAM膜合成と表面修飾の予備検討		
	SAMによる分子の配向性寄与を、有機半導体を用いたトップコンタクト型のFETを作成し移動度と表面形状の観察によって評価することができた。FETを作成した際、有機半導体のグレインサイズが大きいほど、移動度が向上する傾向がみられた。自己組織化単分子膜であるSAM膜による基板の表面エネルギー制御によって、その表面に形成される有機薄膜の結晶・配向状態を変化させることができ、またその変化に関し、FET構造で得られる移動度から評価することが可能となった。また、ブロック共重合体のための有機半導体モノマーの合成に取りかかった。	○
(1B)-4 基板表面のナノ構造・分子配向の高次構造制御と評価 分子配向制御に関する研究環境整備と予備的検討		
	本年度はEx-situおよびIn-situ分光エリブソメトリー分析のための装置設計・設置・動作確認を行った。成膜中の膜の光学情報をリアルタイムで追跡するため、分光エリブソメータと組み合わせたIn-situ測定用真空蒸着成膜チャンバーを設計・作製した。有機半導体成膜中のIn-situ分光エリブソメトリー解析は、これまで過去に研究例が無く、初の試みである。今後、成膜中の光学特性・分子配向、分子充填状態の追跡を行い、さらに基板温度依存性も調べることで、膜内の分子配向状態について詳細な分析を行い、配向機構の解明・配向制御のための指針抽出を進める。	○
(1B)-5有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向調査		
	MRS Spring Meetingは4月開催となったため、計画を変更し以下の研究動向調査を実施した。平成21年2月14日から22日に北米の企業・研究機関(GE有機EL研究グループ、Universal Display社、MIT、ペンシルバニア大学、UCLA、スタンフォード大学)を訪問、有機材料の合成、配向制御における最新の研究動向を調査した。	○

表 21 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 20 年度)その 2

(2B) 有機高次構造形成プロセス技術		
(2B)-1 真空蒸着によるナノ構造形成		
	SAM膜により表面エネルギーを制御した基板上に、真空蒸着法を用いて低分子有機半導体を蒸着することによって、容易にナノ構造体を形成できることを明らかにした。本手法により作製可能なナノ構造体は、直径約150 nm、高さ約60 nm、アスペクト比が3:1程度であり、また有機半導体材料の種類、膜厚などによりその形状を制御することができた。さらに、ナノドットの形状と密度は蒸着速度や蒸着時の基板温度によって制御できることが明らかとなった。本手法を用いて作製できたナノドットは、光の波長程度の大きさであり、さらに界面の比表面積を飛躍的に増加させることができることから、有機半導体電子デバイスへの応用が期待される。	○
(2B)-2 超低損傷エッチングによる有機ナノ構造形成とダメージ評価		
	本研究では、有機薄膜へ中性粒子ビーム処理による表面形状変化及びダメージの検討を行った。BSB-Cz等の有機薄膜にO2ビーム処理を行うことで、表面上に数十 nmオーダーのグレインが形成された。この変化はArビーム処理を行った場合には見られなかったため、O2ビーム処理時にBSB-Cz表面上で化学反応が起こっており、この原因としては、酸素の存在、熱および紫外線の影響が考えられる。	○
(2B)-3 ナノミストを用いたナノポーラス構造の構築		
	4℃に冷却したジクロロメタン溶液 (ポリスチレン0.2wt%) を、ディップコーターを用いてガラス基板に塗布し、加湿空気を吹き付けることで、塗膜表面に80 nm~150 nm径のポアを有するポーラス構造を形成することができた。また、ポアの数はずル-基板距離に依存し、ノズル-基板距離が短いほど、ポアの数が増える傾向が確認された。ポアの径を小さくするには、凝縮から乾燥までの時間を短くして凝縮した液滴の合体を抑制する必要があり、対策としては、wet塗膜を薄くすることや、蒸気圧の高い (揮発性の高い) 溶媒を用いることが効果的であった。ただし、水蒸気が凝縮する前に塗膜が乾燥固化してしまうとポアが形成されないため、溶液温度やポリマー濃度等で、塗布から水蒸気が凝縮するまでの乾燥状態を調整する必要があった。	○
(2B)-4 ブロック共重合体によるナノ構造形成		
	(1B)-3 SAM膜合成と表面修飾の予備検討での検討結果を基にブロック共重合体のための有機半導体モノマーの合成に取りかかった。	○
(2B)-5 熱電半導体の高次ナノ構造形成と熱・電子物性の評価		
(2B)-5-1	機-無機ハイブリッド熱電薄膜を作製するためのフラッシュ蒸着装置を改良、無機薄膜であるBi2Te3の生成と膜厚の調整が制御可能となった。さらに試作したポーラス有機薄膜上にBi2Te3を生成したところ、ポーラス膜を埋めてしまうところも多々あったが、膜上にはBi2Te3が蒸着されており、今後は膜厚を調整していくことで狙ったハイブリッド膜が生成できる見込みが立った。ナノ構造と熱伝導率の関係を考察するために必要な低温条件における実験装置についても作製を進め、液体窒素温度程度までであれば熱伝導率の温度依存性を測定できるようになり、試験的に用いたナノポーラス薄膜の熱伝導率低減メカニズムについて考察できた。さらに有機薄膜を試作し、そのゼーベック係数と電気伝導度を測定した。	○
(2B)-6 有機高次構造形成プロセスのモデル化		
	空孔径が100 nm以下のナノポーラス構造を、ナノミストを用いて作成するためのプロセス技術開発において、適切なナノ構造を作成するためには、関与する複雑なプロセス条件を検討して各々の効果を把握することが必要である。しかしながら、ナノポーラス構造形成の物理化学的状態や形成過程には不明な点が多く、構造の制御を行うための情報が不足していることがプロセス技術開発上の課題となっている。そこで、ナノポーラス構造形成の物理化学的状態や形成過程をモデリング・シミュレーションし、100 nm以下の空孔径の制御を行うためのプロセス条件を明確にすることを目標としている。本年度は、基板温度の決定に関与すると想定される物理化学現象の整理、実際の状況や現象の起こるスケールの大まかな把握、熱流体シミュレーション実施の設定条件の検討を行った。	○
(2B)-7 バイオ・有機高次構造形成プロセス技術の研究動向調査		
	MRS Spring Meetingは4月開催となったため、(1b)-3有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向調査と日程を合わせ効率的かつ多様な調査ができるように、計画を変更し以下の研究動向調査を実施した。平成21年2月14日から22日に北米の企業・研究機関 (GE有機EL研究グループ、Universal Display社、MIT、ペンシルバニア大学、UCLA、スタンフォード大学) を訪問し、有機材料だけに留まらずナノ構造形成における最新の研究動向を調査した。本視察報告については、(1b)-3 有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向調査及び、(2b)-5有機高次構造形成プロセス技術の研究動向調査の双方をカバーしており、(1b)-5でまとめて報告した。	○

ii. 平成 21 年度の研究成果内容

表 22 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 1

項目/目標	成果	達成評価
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術		
(1B)-1 ナノインプリントを用いた有機ナノ構造形成と充填プロセス検討		
(1B)-1-1 ナノインプリント形成装置を導入して、ナノインプリント技術を用い、種々のサイズ・形状の有機・無機ナノピラー構造体のテンプレートを作製する。	各種の有機薄膜材料に対して、熱ナノインプリントプロセスを用いてナノ構造体テンプレートが作成可能であることを示した。作成したナノ構造体テンプレートは有機太陽電池デバイスに応用することが可能であるが、デバイスの短絡を招きやすいという問題も露呈した。 モールドの作製では、陽極酸化時の電圧、溶液濃度、酸化時間を制御することで20 nmから100 nmのボア径と数100 nmの深さを有する高密度ポーラスアルミナテンプレートの作製に成功した。	○
(1B)-1-2 テンプレートに対し自己組織化単分子膜形成技術による表面修飾の検討、真空成膜や塗布成膜などによる充填手法の検討を行う。	100 nm以下レベルのナノ構造体への充填に関しては、ウェットプロセスによる低分子の充填が良好であることが、TEM観察より明らかになった。また、ポーラスチタニアを用いた光電変換素子においてもウェットプロセスによる低分子の充填が良好な特性を示した。	○
(1B)-1-3 環境制御型ナノ構造物性評価装置を導入して、ナノ構造体薄膜の光電子物性評価技術の確立に着手する。	有機薄膜材料へ均質なムラのないナノ形状をインプリントするために熱インプリント装置を導入した。インプリント駆動用の最大一次空気圧は0.8MPa（荷重約6kNに相当）であり、平行出が可能な上下プレートを急速加熱・冷却出来る装置構成をとった。装置全体は窒素雰囲気下のグローブボックス内に設置され、サンプルの大気暴露なしのインプリントプロセスを可能とした。	○
(1B)-2 ナノマーキングによる有機材料の充填		
(1B)-2-1 フォトリソグラフィ・電子線リソグラフィ法を利用した微細結晶核パターンの作製について検討を行い、結晶成長制御精度の向上ならびに大面積有機単結晶成長の実現を目指す。	PTCDAの配向制御層を用い、配向制御がなされたCuPcの結晶核を起点に気相成長法で結晶性ピラー構造を得た。PTCDAの有無での結晶の成長方向はXRDからも違いが見られており、ピラー構造中では、CuPcのb軸は基板に対し垂直方向を向いており、キャリア輸送に有利な構造を有していることが明らかになった。また、デバイス化を実現するために、低温度領域（～80℃）で結晶成長を行った。これにより高密度かつ直径30 nm程度、100 nm以下の長さのピラー構造の構築に成功した。また、この構造中においても、結晶中の分子のb軸は基板に対し垂直方向を向いていることが確認できた。 当初想定したリソを用いず(2B)-1の成果であるナノドット形成技術を応用しユニークなピラー構造を充填することに成功した。しかしながら、デバイスとしての特性向上は確認できていない点が課題と考える。	○
(1B)-2-2 基板に対して2次元成長する有機材料に加え、3次元成長する有機材料の探索を行い、有機単結晶の3次元成長制御についても検討を行う。		
(1B)-3 基板表面のナノ構造・分子配向の高次構造制御と評価		
(1B)-3-1 材料結合性ペプチド・抗体分子を用いたマイクロメートル領域での選択的タンパク質固定化を生体分子・微生物関連実験装置を導入して実施する。	分光エリブソメーター(VASE)を用いて蒸着薄膜の分子配向性について評価を行い、細長い分子骨格もしくは平面状の分子骨格を有する分子が、アモルファス膜中において基板に対し平行に配向することを明らかにした。さらに、端面カットオフ発光測定(Cutoff emission measurement; CEM)の解析結果もVASEの評価結果と完全な一致を示し、有機アモルファス膜内における分子配向を明確化した。その結果、様々な下層の上で分子が配向する様子が見られ、等方的なホストマトリックス膜中にドーパした分子も基板に対して平行配向することを見出した。分子の長さ・平面性等の分子骨格形状と分子の配向度に関に大きな相関が見られ、電荷輸送特性への影響を示唆する結果も得られた。また、これらの分子配向はレーザーの閾値低下にも大きな影響があることを見出した。	○
(1B)-3-2 材料種、成膜条件(基板種・基板温度)に対する依存性についても詳細に評価を行い、配向による機能創出に適した分子設計指針を抽出する。		
(1B)-3-3 In-site測定チャンバーにより真空蒸着成膜中における分子配向について評価を行い、ナノ構造体中における分子配向の評価方法の確立を目指す。		
(1B)-4 有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向調査		
有機半導体系材料及び、有機/無機ハイブリッド材料のナノデバイスの技術動向調査としてMRSなど国際学会への参加や、欧州の企業・研究機関における技術動向について調査する。	有機材料融合プロセス技術において、有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向、及び有機高次構造形成プロセス技術の研究動向をあわせて、本年度は欧州の研究機関(VTT, IMEC, Leti等)を訪問し研究動向調査を実施した。	○

表 23 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 2

<p>(2B) 有機高次構造形成プロセス技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸着膜厚、蒸着速度、基板温度を制御因子とし、ドットサイズ最小径40 nmのナノ構造体形成を実現した。また、太陽電池変換効率の20%向上を実現した。 ・BSB-CzにO₂、N₂中性粒子ビームを照射することで、分子中の結合の切断、および酸化、窒化が起きていることがBSB-Cz薄膜へのビーム照射による表面形状変化の原因であることを求めた。 ・ポーラス有機薄膜生成について、ポリスチレンをクロロホルムに溶かした溶液において熱電薄膜の特性改善のために必要な100nmオーダーのポーラス有機薄膜をドロップキャスト法でも作製できる条件(溶液濃度、高湿度雰囲気温度・湿度、基板温度)を見出した。 ・新規液晶性有機半導体モノマーを合成し、縮合反応により分子量の異なるBCPの合成手法を確立することで、ソルベントアニール処理することで目的である、孔径約200 nmのポーラスフィルムの作製に成功した。この材料による相分離構造のデバイス性能への影響を有機FETにより確認した。 ・ナノ構造を得るため、ポーラスアルミナ基板に作製したポーラス熱電薄膜については電気的特性を測定、孔径が40nm程度のナノ構造であるにも関わらず、ナノ多孔体特有の大きな電気伝導度低減がみられず、目的を満たす構造であることを確認した。 ・ペンタセン薄膜上にF4-TCNQを積層させ、二次元的なCT界面よりキャリアをアンドープ層に供給する構造を用いれば、高いパワーファクターが得られることがわかった。最適なペンタセン層の膜厚においては、2.0 mW/mk²と有機材料としては非常に高いパワーファクターが得られた。 	<p>○</p>
<p>(2B)-1 真空蒸着によるナノ構造形成</p>		
<p>(2B)-1-1 真空蒸着法によるナノ構造形成において、蒸着条件(蒸着速度、基板温度、SAM膜など)の最適化によるナノ構造体サイズの更なる微細化・規則構造化について検討する。</p>	<p>ドットサイズ制御因子の検討により、蒸着膜厚、蒸着速度、基板温度が影響要因であることを明らかとし、構造体作製要因の最適化により、最小径40 nmのナノ構造体形成を実現した。また、ナノ構造体導入有機薄膜太陽電池を作製し、pn面積積とp型材料配向の向上を確認した。ナノ構造体導入デバイスは、未導入素子と比較して太陽電池変換効率の20%向上を実現した。</p>	<p>◎</p>
<p>(2B)-1-2 特に、表面エネルギー、分子構造とナノドット形状の相関について検討する。</p>		<p>◎</p>
<p>(2B)-1-3 基板温度制御型蒸着装置を導入して、径100nm以下のナノドットの安定形成技術を開発する。</p>		
<p>(2B)-2 超低損傷エッチングによる有機ナノ構造形成とダメージ評価</p>		
<p>(2B)-2-1 有機成膜装置、中性粒子ビーム、グローブボックスの三者一体型の成膜装置(中性粒子ビーム照射システム)の導入を行う。</p>	<p>BSB-Cz薄膜へのビーム照射による表面形状変化の原因を明らかにするため、XPS測定を行った。それによりBSB-CzにO₂、N₂ビームを照射することで、分子中の結合の切断、および酸化、窒化が起きていることが確認できた。また、Arビーム照射時においても表面に吸着した分子により、酸化が起きていることが示された。</p>	<p>○</p>
<p>(2B)-2-2 有機ナノグレイ構造形成のメカニズム解明、エッチング用マスクの検討(レジスト、ナノ粒子等)、また、光電変換デバイス等への適用を図り、有機膜へのビームダメージを軽減する成膜条件やプロセス装置改善へのフィードバックを行う。</p>		<p>○</p>
<p>(2B)-3 ナノミストを用いたナノポーラス構造の構築</p> <p>バックリング構造の形成と、安定生産のためのプロセス条件の把握を目的とし、バックリング構造が得られる条件の探索(混合溶媒の使用、ポリマー種の変更)、プロセス条件管理システムの構築(液面高さ制御、インライン粘度管理等)、Wet薄膜の状態の把握(表面温度、粘度、表面張力)、凝縮～乾燥プロセスの短縮、簡略化(外乱の抑制)を行う。</p>	<p>ポーラス有機薄膜生成について、ポリスチレンをクロロホルムに溶かした溶液での実験を中心に進めた。熱電薄膜の特性改善のために必要な100nmオーダーのポーラス有機薄膜をドロップキャスト法でも作製できる条件(溶液濃度、高湿度雰囲気温度・湿度、基板温度)を見出した。特に温度と湿度の条件が重要であったが、薄膜を生成する基板の温度制御により液滴の成長を止めることで、ポーラス薄膜の孔直径を制御できることも直接観察を通して提案した。</p>	<p>○</p>

表 24 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 3

(2B)-4 ブロック共重合体によるナノ構造形成		
(2B)-4-1 有機材料合成装置を導入して、有機半導体化合物を含有するブロック共重合体を合成し、ブロック共重合体の特徴を活かした、有機半導体化合物によるナノ構造の形成についての研究を行う。	新規液晶性有機半導体モノマーを合成し、縮合反応により分子量の異なるBCPの合成手法を確立した。また、BCPをソルベントアニール処理することで目的である、孔径約200 nmのポーラスフィルムの作製に成功した。 相分離構造のデバイス性能への影響を調べるために有機FETを作製したところ、P4Tにおいてペンダント型のポリマーとしては比較的高いキャリア移動度が得られ、BCPにおいては当初は絶縁部であるPEOの含有量に依存すると考えていたが、AFM像やXRDパターンの結果より、相分離構造がより明確である方が導電性部位であるチオフェンユニットの配向性が向上しているために移動度が高くなる傾向が見られた。	○
(2B)-4-2 異なる分子種や分子量のブロック共重合体を合成することで、高分子の1次構造がサイズや形状に与える影響を調査する。		○
(2B)-4-3 ナノ構造体薄膜の電子物性評価技術の確立に着手する。		
(2B)-5 熱電半導体の高次ナノ構造形成と熱・電子物性の評価		
(2B)-5-1 自己組織化ナノポーラス有機薄膜を基板として、有機-無機ハイブリッドナノ多孔構造熱電薄膜を大面積に作製する。	ポーラス熱電薄膜については、ポーラス有機薄膜ならびにポーラスアルミナ上へビスマスデルライド熱電材料を蒸着することでポーラス構造の熱電薄膜を作製した。ポーラス有機薄膜へ蒸着したポーラス熱電薄膜については、ポーラス径を含む全体の構造がマイクロオーダーであったため、熱と電気的特性は両方とも従来どおりの構造に対する低下となっており、熱電材料の特性改善にまで至らなかった。ナノ構造を得るため、ポーラスアルミナ基板上に作製したポーラス熱電薄膜については電気的特性まで測定した。孔径が40nm程度のナノ構造であるにも関わらず、ナノ多孔体特有の大きな電気伝導度低減がみられず、目的を満たす構造であることを確認した。	○
(2B)-5-2 熱電特性測定結果の蓄積により、熱的特性だけでなく、電気的特性とナノポーラス構造の関係についても考察を進める。		○
(2B)-5-3 導電性ポリマー、有機CT(Charge Transfer)錯体の熱電特性についても評価を進め、作製しやすかつ熱電特性の高い膜を探す。	世界的にも研究例が少ない低分子系有機熱電材料について、材料・デバイス構造の検討を行った。ペンタセン薄膜においては、キャリアドーピングすることで電気伝導率は飛躍的に向上するが、それと同時に不純物による移動度の低下の影響によって、高いパワーファクターが得られない。このため、熱電デバイスとして最適な構造を検討した結果、ペンタセン薄膜上にF4-TCNQを積層させ、二次元的なCT界面よりキャリアをアンドープ層に供給する構造を用いれば、高いパワーファクターが得られることがわかった。最適なペンタセン層の膜厚においては、2.0 mW/mK ² と有機材料としては非常に高いパワーファクターが得られた。	○
(2B)-6 有機高次構造形成プロセスのモデル化		
(2B)-6 ナノポーラス構造形成での水蒸気凝縮プロセスについて、凝縮水滴の径・分散・粒子密度などの制御のため、基板表面温度と水滴形成・成長の過程をモデリングし、プロセスの具体像を明確にする。	クラスタ成長モデルを水滴成長に適用することで、ナノポーラス有機薄膜成長をモデル化した。その結果、よく詳細の知られていない水滴直径の成長やその分布などを示すことができた。計算を進める中で、水滴直径の分布が水滴同士の合体によって幅広くなることがわかってきた。このことは水滴成長の直接観察でも確認できており、ポーラス薄膜の孔直径の均一化、孔分布の均一化については、水滴同士の合体を防ぐことが有効であることを提案した。	○
(2B)-7 バイオ・有機高次構造形成プロセス技術の研究動向調査		
(2B)-7 MRS(2009年11月：米国ボストン)等の国際学会、及びハノーバーメッセ(2009年4月：ドイツ、ハノーバー)等国際展示会に参加し、技術発表、及び研究動向調査を実施する。	(1B)-4と同様。	○

iii. 平成 22 年度の研究成果見込み

表 25 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 22 年度)その 1

項目/目標	成果(見込)	達成評価
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術		
(1B)-1 ナノマーキング・配向制御によるナノ構造形成		
真空蒸着法によるナノマーキング、及び有機単結晶成長制御を真空中でおこない昨年と同等の径30nm、長さ100nmレベルのナノピラー形成を実現し、昨年度の課題であった光電、熱電、センサー等の新規有機半導体デバイスの開発へ応用するためのデバイス作製プロセスの最適化に取り組み、発光デバイスの光取り出し効率の向上、電荷移動の高速化、配向層の積層化・3次元構造化による新規フォトニックデバイスの創出をめざす。	最終目標に掲げた径50nm以下のナノピラー、ナノドットの形成については達成している。しかし、デバイスとしての特性向上については、ナノドットを活用したデバイスで35%の効率向上にとどまっている。本年度は真空プロセスにおいてドット形成、ナノピラーの配向制御を行い、充填技術との組合せでデバイス特性の飛躍的な向上を実現する予定である。	達成見込み
(1B)-2 トップダウンプロセスによるナノ構造形成		
(1B)-2-1		
H21で得られたインプリントと充填の知見を元に、70 nmピッチの平滑性を有するモールドを用いてインプリントを行い、励起子拡散レベルの有機半導体ナノテンプレートへの自己組織化単分子膜形成技術による表面修飾の検討、低分子の分子充填を行うことで有機半導体のP/N構造を形成し、電子デバイスの特性向上を目指す。	最終目標に掲げた100nm以下のL/S構造実現と、その構造物への有機半導体材料の充填プロセス開発できる見通しである。さらに、表面平滑化プロセスの開発により、光電変換デバイスの性能向上への見通しを得る見込みである。	達成見込み
(1B)-2-2		
超低損傷エッチングによる 有機デバイスのNano-fabricationにおいて、有機集積化デバイスのドライプロセス開発の可能性検討と課題の抽出を行う。	中性粒子ビームによる有機半導体のエッチングと損傷制御の条件を求め、これを活用した有機集積化デバイスのNano-Fabrication技術開発への課題と達成手法の絞り込みを行い、中間目標を達成する見込みである。	達成見込み
(1B)-3 有機ナノ界面融合プロセス技術の研究動向調査		
シンガポール、台湾、香港等のアジア地区における有機ナノ材料・デバイスの技術動向について調査を行い、米国、欧州、アジアにおける研究動向を総括する。		達成見込み

表 26 ①-B「有機材料融合プロセス技術の開発」の研究成果(平成 22 年度)その 2

(2B) 有機高次構造形成プロセス技術		
(2B)-1 有機分子の構造・結晶制御による高次構造形成		
(2B)-1-1 新規ブロック共重合体を用いたナノ構造薄膜の形成および光電/熱電変換デバイスへの展開 100nm以下のナノ構造体によるデバイス作成	中間目標である100nm以下のナノポア構造を達成し、その構造を活かした熱電・光電変換デバイスを作製評価する見込みである。	達成見込み
(2B)-1-2 化学的性質の異なる置換基を導入した新規 π 共役分子を合成することで、階層的ナノ構造を保持したシート・ファイバー状の多様な機能性超分子集合体を形成し、光電変換デバイスへの展開を検討する	π スタッキングによって配向性を持って薄膜中にドーブされるりん光発光素子の開発、及びドナー・アクセプター相互作用により積層するホスト剤の開発により、最終目標を達成できる高次構造形成プロセス手法として優位性を示す見込みである。	達成見込み
(2B)-1-3 π -スタッキングを介して自発的に一次元カラム状を形成する化合物を合成し、ドナー同士、アクセプター同士で積層したホール・電子輸送に最適な分離積層型集合体の形成を実現し、光電変換デバイスへの展開を検討する。	自己組織能を有する π 共役分子の設計・合成によって数nmレベルの相分離構造制御する技術を開発し、デバイスとしての特性評価により最終目標を達成できる高次構造形成プロセス手法として優位性を示す見込みである。	達成見込み
(2B)-2 ナノポーラス構造形成と熱電特性評価		
(2B)-2-1 電子デバイスへの展開を念頭に、耐熱性や導電性高分子材料を用いてポーラス構造を作製し、熱電変換・光電変換素子等の性能評価を行う。	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として最終目標達成への手法としての優位性を示す見込みである。	達成見込み
(2B)-2-2 ナノ膜厚制御による新規熱電素子構造の検討と熱電特性の性能評価を行う。	世界最高レベル熱電特性を有する低分子有機熱電デバイスを作製し、大面積有機熱電デバイスの基本プロセスとして有効であることを示す見込みである。	達成見込み
(2B)-2-3 無機熱電材料をナノ構造有機材料上に成膜し、ナノポーラス無機薄膜の形成と熱電特性の性能評価を行う。	世界トップレベルの熱電特性を示す、100nm以下のナノポーラス熱電半導体の製膜手法を開発し、最終目標を実現するための課題を抽出し、その解決法を示す見込みである。	達成見込み
(2B)-2-4 基板表面温度と水滴形成・成長の詳細なモデリング・シミュレーションを実施し、凝縮水滴の径・分散・粒子密度などの制御方法の指針を示す。	凝縮水滴の径・分散・粒子密度などの制御指針を示し、有機半導体高次構造のシミュレーションとしての有効性を示す見込みである。	達成見込み
(2B)-3 バイオ・有機高次構造形成プロセス技術の研究動向調査		
MRS(2010年11月:米国ボストン)等の国際学会、及びハノーバーメッセ(2010年4月:ドイツ、ハノーバー)等国际展示会に参加し、技術発表、及び研究動向調査を実施する。		達成見込み

2.3 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANSセンター)

(1) 成果物

表 27 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の成果物

区分 年度	特許出願			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
	国内	外国	PCT	査読付	その他				
H20FY	3件	0件	0件	0件	0件	5件	0件	1件	0件
H21FY	7件	0件	0件	1件	0件	20件	0件	4件	0件
H22FY	1件	0件	0件	0件	0件	9件	2件	1件	0件

(2) 研究テーマの推移

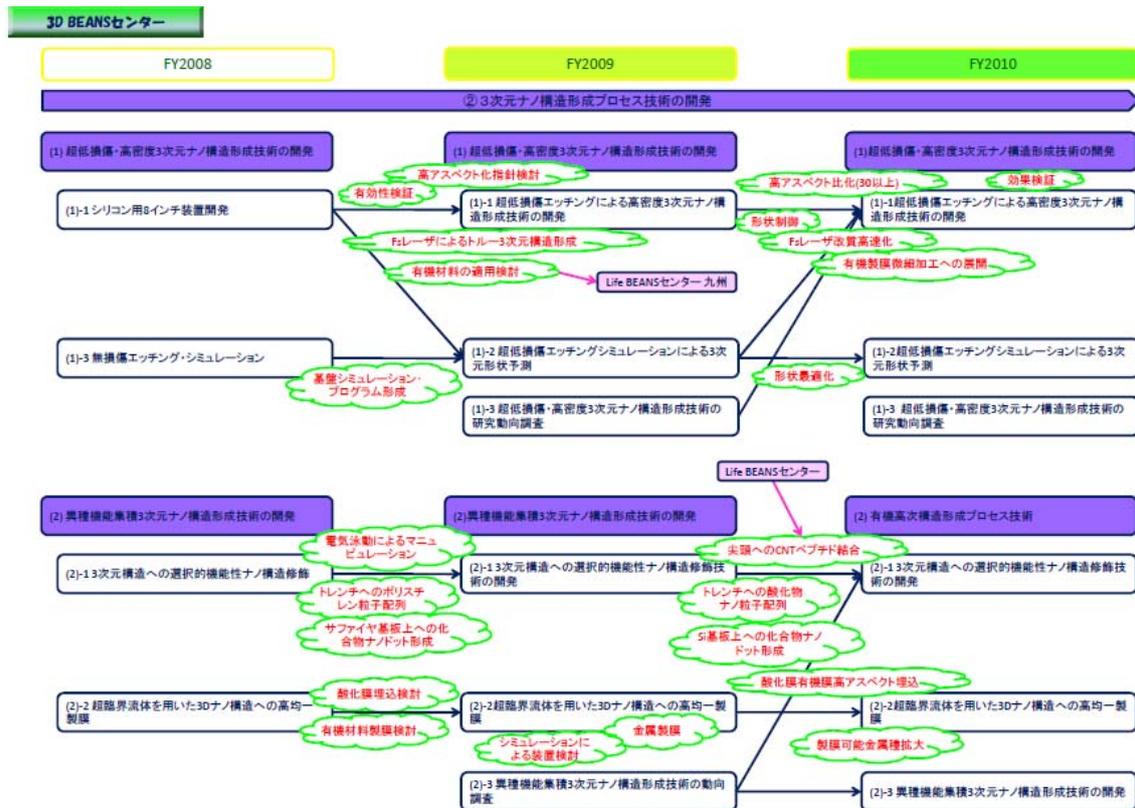


図 28 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANS センター)の研究テーマの推移および年度間相関

(3) 研究成果内容のまとめ

i. 平成 20 年度の研究成果内容

表 28 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の研究成果(平成 20 年度)その 1

項目/目標	成果	達成評価
(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術の開発		
(1)-1 シリコン用8インチ装置開発		
(1)-1-1 8インチ対応中性粒子ビームエッチング装置仕様の決定、及び導入を行い、ビーム特性の面内評価により、8インチウエハ面内均一性達成に向けた課題を検討する。	8インチ対応中性粒子ビームエッチング装置の仕様を決定し、装置導入を完了した。塩素誘導結合プラズマによるシリコンのエッチング均一性 $\pm 1.4\%$ (8インチ)、エッチング速度200nm/min以上を達成した。中性粒子ビームの評価に関してはビームエネルギー、フラックスの評価方法の確立を進めており、4インチ面内 $\pm 6\%$ 程度のビームフラックスの均一性が実現されていることがわかった。今後の課題として、測定の精度を向上させ、今年度導入した8インチウエハ対応装置への適用性実証が抽出された。	○
(1)-1-2 超低損傷エッチング等3次元ナノ構造形成技術における最新の研究動向をMEMS2009(平成21年1月イタリア)等の学会に参加し調査する。	MEMS2009において、本プロジェクトのメンバーである東北大学・寒川教授が超低損傷エッチングに関する基調講演を行った。MEMSデバイスにおいてはアプリケーション志向が強く、製造技術に関する発表が少ないが、低損傷エッチングによる3次元ナノ加工に対する発表に関しては非常に多くの質問が寄せられた。今回の講演および調査により、本プロジェクトで行う超低損傷エッチングのMEMSへの応用は世界をリードする研究開発であり、多くの注目を集めていることが明らかになった。	○
(1)-2 fsレーザー改質を用いた3次元加工		—
(1)-3 無損傷エッチングシミュレーション 3次元形状シミュレータ開発のための要件定義を明らかにし、開発設計書の作成を完了する。	実プロセス技術開発実施者との打ち合わせに基づき、中性粒子ビームエッチングを含めたプラズマプロセスを対象として、既存ツールによる解析等を行いながら、3次元エッチング形状シミュレーション技術開発課題の抽出と開発モデルの要件定義を行い、開発設計書を作成した。 具体的には、中性粒子ビームを生成するための中性化アパーチャのシミュレーション(MC計算、TD-DFT計算)と形状シミュレーションのそれぞれにおいて、要件定義、モデル化検討、試算、技術開発課題を抽出し基本設計を行った。	○

表 29 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の研究成果(平成 20 年度)その 2

(2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術の開発		
(2)-1 3次元構造への選択的機能性ナノ構造修飾		
<p>(2)-1-1</p> <p>マルチプローブアレイへの各種ナノ粒子修飾方法の調査、比較する。 電気泳動によるナノチューブマニピュレーションの基礎データをj得る。 ナノ粒子修飾テーマと連携した、ナノトライボロジー評価用プローブの1次試作検討を行う。</p>	<p>金属ナノ粒子の表面修飾法として広く用いられているチオール結合などにより、尖頭のみ金属が露出したプローブに金属ナノ粒子を選択的に修飾できる見込みがあるが、1つの尖頭に単一粒子を導入することや、マルチプローブに高歩留まりで粒子を修飾することにはかなりの困難が伴うことが判明した。そこで、Life BEANSのメンバーである東北大学・梅津先生が開発したペプチドを無機ナノ材料の結合物質として用いる手法を本目的のために援用し、シリコン等のプローブ尖頭と金属あるいは酸化ナノ粒子の間に高結合力・高選択性の化学結合を形成できる見通しを得た。 交流電気泳動方式として、プローブに対して、~10MHz、~100Vppの高周波電圧を印加可能な電気泳動実験系を製作した。また、マルチウォール(MW)系カーボンナノチューブ分散液(有機溶媒)を用いて、印加電圧と発信周波数をパラメータとする高周波電気泳動実験を実施し、ナノチューブの電気泳動に関する基礎的知見を得た。 プローブ先端において極小スポットでの良好な電氣的接触を保ちながら、長期間の耐摩耗特性を両立させることを目的として、直径が一定である先端電極を絶縁物質で被覆した鉛筆形マイクロプローブを提案し、その構造検討及びプロセス検討を実施した。プローブ先端にエッチングした直径数μmのピア内に、電極となるAuを充填し、その後のエッチングなどのプロセスによりナノトライボロジー評価用プローブの試作に成功した。</p>	○
<p>(2)-1-2</p> <p>基板上へのナノ粒子修飾実験を通した、ナノ粒子修飾方法の課題を抽出する。 空間分解能5ミクロンで、直径100nm~5μmの粒子を配列する技術を確認する。</p>	<p>3次元構造へのナノ粒子配列法を実験により検討し、トレンチへ単層の微粒子を修飾することに成功した。懸濁液からの引上げ速度を可変することにより、配列状態を制御できる見通しを得た。また、トレンチの側壁のみに粒子が配列する興味深い現象を確認し、その制御性を高めて応用を図るべく、メカニズムの解明を進めている。 微細なトレンチを利用する事で、直径400nm~3μmのポリスチレン粒子を5μm幅のライン&スペース状に配列することに成功した。さらに、粒子を基板に固定化し、複数回の引上げプロセスを行うことで、粒径の異なる粒子を交互に配列することが可能となった。本技術の適用により、直径100nm~5μmの粒子を同様の空間分解能で配列できる見通しを得た。</p>	○
<p>(2)-1-3</p> <p>サファイア基板上へのドット成長条件を検討し、ドット形状のプロセス制御因子を抽出する。あわせて、シリコン基板への高品質テンプレート形成プロセスの予備検討を実施し、アプローチの妥当性を検討する。</p>	<p>Siアンチサーファクタント法を用いたAlGaInNドット形成のプロセス因子として、Si供給温度、及び供給量を抽出し、ドット形状制御を試みた。その結果、高Al組成(発光波長300nm相当)の化合物半導体ドットの作製に成功した。また、シリコン基板上高品質テンプレートとして、AlNヘテロエピタキシャル成長の予備検討を行った。</p>	◎
<p>(2)-1-4</p> <p>ナノトライボロジー評価系を立ち上げ、課題を抽出する。</p>	<p>マルチプローブアレイの応用分野としてデータ記録デバイスとリソグラフィの2つに着目し、関連分野の研究調査を通じて系が満たすべきトライボロジ的機能要求を具体化した。こうした要求の一つであるプローブ先端の導電性について把握するため、導電性コンタクトAFMを用いた単一プローブの先端と金属媒体との接触抵抗計測を行った結果、表面付着物や水分子、媒体表面粗さなどの阻害要因によって、プローブ先端の導電性が古典的なHolmの接触理論から乖離し、非常にばらつきの大きい挙動を示すことが示唆された。</p>	○
(2)-2 超臨界流体を用いた3Dナノ構造への高均一製膜		
<p>(2)-2-1</p> <p>二酸化炭素の超臨界流体を用いて酸化ナノ(特にSiO2)成膜技術の開発に取り組み、開口1μm以下でアスペクト比10の細孔へSiO2を空隙なく埋め込む指針を得る。</p>	<p>テトラメチキシランの超臨界CO2中での酸化により、開口0.8μm、アスペクト比5以上のトレンチに対して均一にSiO2を製膜することに成功した。一方、トレンチの充填を行うために重要な製膜速度の向上に関しては、新たに基板加熱式装置を構築してSiO2製膜速度と原料濃度や製膜温度の関係を調査し、製膜機構を考察するための基礎的なデータを得た。これらの知見により、来年度以降空隙のない埋め込みを達成できる見通しを得た。</p>	○
<p>(2)-2-2</p> <p>超低損傷3次元構造上への感応素子を修飾可能な官能基の選択とその修飾方法を検討する。</p>	<p>超低損傷エッチングで作製した高アスペクト比3次元構造に対し、高い均一性を持つ有機物質の修飾法を調査した。その結果、超臨界流体を用いた表面修飾技術が有効であることを見出し、PEGMAを試験対象として選定した。さらに、次年度に修飾実験を行うための反応器の立ち上げを行った。</p>	○

ii. 平成 21 年度の研究成果内容

表 30 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 1

項目/目標	成果	達成評価
(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術の開発		
(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		
(1)-1-1 平成20年度に導入した8インチ対応装置内の中性粒子ビームの挙動を明らかにし、超低損傷エッチングの高アスペクト化および形状制御の指針を得る。	装置およびガス組成の最適化により、装置中央4インチの領域に関しては、最大アスペクト比6（ナノピラー）、最大レート350 nm/minを得た。形状に関してはマスク材料の検討によりさらに改善可能。 上記の条件が無損傷であることは、カンチレバーの振動特性から確認済。	◎
(1)-1-2 超低損傷エッチングのMEMSにおける効果検証のため、エッチングにおける損傷が顕著に影響するMEMS構造を設計、試作する。	カンチレバーの振動特性から、中性粒子ビームエッチングを施した表面が無損傷であることを実証した。 エッチング損傷が特性に大きく影響する新規デバイスを考案、試作した。	◎
(1)-1-3 フェムト秒レーザー用スイッチを導入して、フェムト秒レーザー改質を用いた3次元加工の検討において、部分改質したガラス等の基板にドライエッチングを行い、光アシスト効果を検証する。	フェムト秒レーザー照射とドライ・ウエットエッチングの組み合わせにより、ナノ構造形成・ツール3次元構造の形成に成功。	◎
(1)-1-4 研究開発項目①との異分野融合テーマである超低損傷エッチングによる有機ナノ構造形成とダメージ評価において、有機膜低損傷ドライエッチング設備を導入して、研究開発項目①(2B)-2で記述されている内容を共同で推進する。	装置導入に成功。東北大装置と同様な表面ナノ構造形成と表面酸化に成功。表面ナノ構造形成プロセスの温度依存性を発見した。	○
(1)-2 超低損傷エッチングシミュレーションによる3次元形状予測 中性粒子ビーム生成プロセスのシミュレーションと形状シミュレーションにより、形状予測法を構築する。	第一原理計算・モンテカルロシミュレーションにより実データとの対応を議論できる段階に達した。 ビームフラックス・エネルギー・角度等を入力関数とする形状シミュレーションが完成。	○
(1)-3 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 超低損傷エッチング等3次元ナノ構造形成技術における最新の研究動向をMEMS2010（香港）、Transducers（米国）等の学会に参加し調査する。	固体素子コンファレンス（SSDM）等でBEANSの成果を発表するとともに、ドライエッチング技術に関する技術動向を調査した。	○

表 31 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 2

(2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術		
(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		
(2)-1-1 耐摩耗新構造マルチプローブ作製において、蒸着装置拡張部品を導入するとともに平成20年度に作製した評価用プローブのトライボロジ評価を行い、プローブの芯部穴の直径1 μ m以下のプローブ2次試作を行う。	1次試作プローブのトライボロジ評価を行い、Au電極の課題が明確になった。この結果をもとに、接触部位サイズ300 nmのW, Ru等を電極とするプローブの試作に成功した。	○
(2)-1-2 プローブ尖頭への機能性ナノ構造体修飾技術の開発において、ナノチューブ電気泳動配列装置を導入して、高周波電気泳動を用いて、金属またはSiの尖頭へ、バンドル径100nm以下のナノチューブを1尖頭あたり10本以下で修飾する。あわせて、プローブ尖頭にナノ粒子・ナノチューブを高歩留まりで固定するバインダを探索する。	バンドル径20~30 nmのナノチューブを金属電極の尖頭に移動することに成功。現在1尖頭あたり20本程度だが、もう一段の条件最適化により本数制御が可能になる見込み。 物質選択的なパターンニングを可能にする物質としてペプチドを選定し、Si基板上ZnOパターンを介して μ mサイズのCdSe粒子配列による微細パターンを形成できた。	○
(2)-1-3 化合物半導体ナノドット形成において、MOCVD用ガラスパーツを導入して、ドット形状のプロセス制御因子を精密制御し、ドットサイズ(<20nm)、密度(1011 cm ⁻² 程度)、密度の制御を行なう。あわせて、シリコン基板への高品質テンプレート形成プロセスを検討し、サファイア基板上と同等レベルの目処付けを行なう。	シリコンアンチサーファクタント供給時の基板温度とシリコン供給量をパラメータとして、InAlGaNドットの形状・密度の制御に成功した。 中温AlNバッファ層導入により、Si表面のダメージ抑制に成功した。さらに超格子構造緩衝層を用いて、膜厚400nmAlGaNのクラックフリーテンプレートを実現した。	○
(2)-1-4 3D構造への機能性ナノ粒子配列において、単分子層表面処理装置並びにナノ粒子配列可視化装置を導入して、トレンチ側壁への粒子配列メカニズムを解明し、直径300nm以下の粒子の配列構造を制御する。これを利用し、3D構造への自己組織化微粒子膜を用いたガスセンサを試作し、評価する。	トレンチ側壁への粒子配列モデルを構築した。これを用いて、直径50nmのポリスチレン粒子をトレンチ側壁に配列できた。 トレンチへのZnO粒子配列によるガスセンサを作製し、特性を評価した。	○
(2)-1-5 ナノトライボロジーの評価において、プローブリソグラフィを主な対象としてプローブの特性評価を行い、理論的解析基盤を構築する。	金属基板と金属プローブの摺動特性を記述するモデルを構築できた。これをもとにプローブリソの評価系を立ち上げた。	○

表 32 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の研究成果(平成 21 年度)その 3

(2)-2 超臨界流体を用いた3Dナノ構造への高均一製膜		
(2)-2-1 酸化物製膜において、酸化物の高信頼性製膜プロセスを構築するため、超臨界酸化膜製膜装置を導入して、原料および添加剤を2種以上検討する。さらに、製膜速度5nm/min以上を実現し、実用的な時間での埋め込みを可能にする。	SiO ₂ 製膜に関して、原料はTEOSなど数種類、酸化剤は酸素、水など数種類を検討した結果、TEOSと酸素を用いる高速(20 nm/min以上)製膜を安定性良く実現できた。この条件で、アスペクト比20のトレンチに被覆率80%以上で埋め込みを成功した。	◎
(2)-2-2 金属製膜において、超臨界酸化金属膜製膜装置を導入して、有機金属原料および還元剤の検討により、酸化物、有機物など2種以上の下地上に金属(Cuなど2種以上)を製膜する。	Si, SiO ₂ , Ru, Cuなど複数下地上にCuMnOx中間層を用いた下地非選択製膜に成功した。この条件で、アスペクト比50のトレンチへの高均一製膜に成功した。ただし、下地との密着性は今後の課題。金属はCu, Ruの製膜に成功。安定製膜、密着性向上に向けた原料連続供給技術、フロー式製膜装置を考案し、効果を確認しつつある。	◎
(2)-2-3 有機機能層製膜において、超臨界有機膜製膜装置を導入して、超臨界CO ₂ 中の反応により、シリコンやガラス等の表面に2種以上の機能性有機膜を表面修飾する。	ガラス基板上に、超臨界グラフト法による両末端、片末端PEGの修飾に成功した。有機半導体の製膜を可能にするフロー式製膜法を考案し、装置を製作した。	◎
(2)-2-4 オゾンナイザーをはじめとする酸化強化機構の追加等の超臨界酸化膜製膜装置の増強を行って、微細構造体への酸化膜の形成を行う。	水の微量添加など酸化剤の効果を検証した結果、酸化効果が中庸な酸素を用いることで、SiO ₂ の膜質向上と粉体生成の抑制を両立できることが判明した。	○
(2)-2-5 超臨界製膜シミュレーションを開発して、大口径化(6インチ)に関する装置設計への指針を得る。	数値流体シミュレーションによる基板加熱式超臨界製膜装置における流動状況を解析し、SiO ₂ 膜不均一性の原因を明確にした。	◎ 先行実施
(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 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術における最新の研究動向をMEMS2010(香港)、Transducers(米国)等の学会に参加し調査するとともに、ハノーバームッセ等展示会において技術発表、技術動向調査を実施する。	ハノーファームッセやWorld Tribology ConferenceにおいてBEANSの成果を発表するとともに、3次元構造の表面修飾による機能化について技術動向調査を行った。	○

iii. 平成 22 年度の研究成果見込み

表 33 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の研究成果(平成 22 年度)その 1

項目/目標	成果(見込)	達成評価
(1) 超低損傷・高密度3次元ナノ構造形成技術の開発		
(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		
(1)-1-1 中性粒子ビームの特性測定に基づいたプロセス最適化により、アスペクト比が30以上の超低損傷シリコンナノ構造を実現するとともに、側壁の傾斜角や等方性・異方性の制御を実現する。	現在までにエッチング条件の最適化により、開口幅1 μ mのパターンで深さ2.5 μ mのエッチングが達成されている。その際、ほぼ垂直な側壁が得られている。電子線リソグラフィを用いて幅100 nmのメタルマスクを作製し、エッチング条件をさらに改良することで、アスペクト比30以上の垂直エッチングが可能になる見込みである。	達成見込み
(1)-1-2 超低損傷エッチングのMEMSにおける効果検証のため、超低損傷エッチングで作製したMEMS構造の従来法に比べた優位性を検証する。	カンチレバーに対してビームを照射する前後で、固有振動数とQ値の比の変動から損傷の有無を検知する手法を確立し、中性粒子ビームと従来型のイオンエッチングを比較した。その結果、中性粒子ビームのみがカンチレバーに損傷を与えないことを検証できた。	達成見込み
(1)-1-3 フェムト秒レーザー改質を用いた3次元加工の検討において、改質を行った各種基板に対して、超低損傷エッチング条件の最適化し高速化、選択比向上を図ると同時に、本プロセスを用いて他分野と融合した新規応用を開拓する。	フェムト秒レーザー改質とドライ・ウエットエッチングの組み合わせにより、100 nmレベルの微細開口を有する高アスペクト比トレンチや、埋め込み横孔を石英に対して加工することに成功した。また、Life BEANSとのディスカッションから、単一バクテリアトラップデバイスという本プロセスの新規応用を開拓し、バクテリアの分化に対して新知見を与えつつある。	達成見込み
(1)-1-4 グレインサイズ等有機膜の形状制御について取り組む。さらに、有機薄膜の微細加工への展開も検討する。	昨年度Life九州に導入した中性粒子ビームエッチング装置を用いて各種実験が進行しており、有機薄膜の形状制御に対する指針が今年度中に得られる見込みである。	達成見込み
(1)-2 超低損傷エッチングシミュレーションによる3次元形状予測 中性粒子ビームによる超低損傷エッチングのシミュレーションモデルを構築し、形状最適化の指針を得る。	すでにアパーチャにおけるイオンの電荷交換過程を第一原理計算からモンテカルロシミュレーションに至るマルチスケールシミュレーションにより再現できており、平行して開発しているエッチング形状のシミュレーションと結び付け、最近得られつつある深掘りの実験データと比較検討することで、中性粒子ビームエッチングプロセスの形状最適化に援用可能なシミュレーションが今年度中に得られる見込みである。	達成見込み
(1)-3 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 超低損傷エッチング等3次元ナノ構造形成技術における最新の研究動向をMEMS2011(メキシコ)、APCOT(オーストラリア)、EUROSENSORS XXIV(オーストリア)等の学会に参加し調査する。	今年度中に研究動向調査を遂行できる見込みである。	達成見込み

表 34 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」の研究成果(平成 22 年度)その 2

(2) 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術		
(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		
(2)-1-1 トライボロジ評価プローブの先端電極部を数百nmまで微細化する。さらに、表面にナノ構造を導入したマルチプローブの作製プロセスを提案し、試作を行う。	すでに電極の接触面積が100nmの耐摩耗性プローブの試作に成功しており、現在進行中のリソグラフィへの応用結果をもって、その効果を今年度中に実証できる見込みである。また、尖頭構造へのペプチドを介したナノ粒子の修飾に成功しており、この成果をプローブ作製に応用できる見込みである。	達成見込み
(2)-1-2 ナノ粒子やナノチューブ等の機能構造を、ペプチド等をバインダとして、位置選択的にマルチプローブ等の表面に修飾する技術の基礎検証を行う。	ペプチドを媒介としたZnOに対するCdSeナノ粒子の物質選択的パターンニングを、1μm以下の分解能をもって実現している。現在カーボンナノチューブに選択吸着するペプチドのスクリーニングに取り組んでおり、今年度中に所望のペプチドが得られ、カーボンナノチューブの位置選択的修飾の目的が立つ見込みである。また、3次元尖頭への修飾にも成功しており、マルチプローブへの目的は立っている。	達成見込み
(2)-1-3 化合物半導体ナノドット形成において、サファイア基板上にドット形成を行い、均一性±20%を目処付ける。あわせて、シリコン上テンプレート形成技術を確認し、サファイア基板と同等の結晶性を旨とする。	サファイア基板上的AlInGaNaノドットの均一性制御はほぼ達成済み。シリコン上のドット形成に関して、加工シリコン基板上に横方向成長によりAlNテンプレートを作製し、その上にAlInGaNaノドットを作製して深紫外発光を得ることに成功した。今後のAlNテンプレート作製条件の最適化により、目標は十分達成できる見込みである。	達成見込み
(2)-1-4 3D構造への機能性ナノ粒子配列において、無損傷3次元構造や単分散酸化ナノ粒子の利用により粒子配列を高度制御し、ガスセンサの高性能化を行う。	現在高アスペクト比トレンチ側壁へのポリスチレンナノ粒子配列メカニズムについて系統的な実験をモデル化を進めており、トレンチのアスペクト比や側壁の性状(表面損傷の有無)に応じて溶媒や乾燥速度を制御することで、粒子配列の高度制御が可能になる見込みである。	達成見込み
(2)-1-5 ナノトライボロジの評価において、マルチプローブの理論的解析を行う。また、ナノ構造の導入によるトライボロジ特性の変化を検証する。	すでに金属間のナノ領域相互作用に関しては、実験および理論的考察を完了している。現在、この知見をマルチプローブデバイスの特性検証および改善に適用する試みを行っており、今年度中に目標を達成できる見込みである。	達成見込み
(2)-2 超臨界流体を用いた3Dナノ構造への高均一製膜		
(2)-2-1 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SiO ₂ を空隙なく埋め込む。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への適用可能性を検討する。	すでにアスペクト比80のトレンチに対してSiO ₂ の均一製膜に成功している。現在までの解析の結果、流体中でTEOSから生じる副次生成物がトレンチ開口部付近を閉塞させることが分かっており、この副次生成物を抑制する製膜条件を探索することで、今年度中にアスペクト比30のトレンチの埋め込みは達成できる見込みである。また、金属製膜と組み合わせ、高アスペクト比トレンチへの絶縁膜(SiO ₂)・金属(Cu)製膜により、MEMSと集積可能な高容量キャパシタの作製を進めており、今年度中に第一段階の試作結果を得られる見込みである。	達成見込み
(2)-2-2 金属製膜において、製膜可能な金属種を拡大するとともに、酸化物表面を有する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金属を空隙なく埋め込む。	すでに金属下地上のCuおよびRuの製膜に成功しており、また、酸化膜上に金属製膜を可能にするためのCuMnOx膜の特性改善に鋭意取り組んでいる。Cuの製膜においてはアスペクト比30のトレンチに対する埋め込みを達成しており、現在酸化膜表面を有する高アスペクト比トレンチに対するCu均一製膜を進めている。	達成見込み
(2)-2-3 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する。	ガラス基板上に、超臨界グラフト法による両末端、片末端PEGの修飾に成功している。従来グラフト法によりアスペクト比100以上のガラス流路に有機層の修飾が達成されていることと併せて、目的の達成は確実である。	達成見込み
(2)-2-4 数値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う。	2009年度に基板周辺における超臨界CO ₂ の流動シミュレーションに成功しており、2010年度に装置全体における流動シミュレーションへと拡張することで、大型装置における加熱基板の設置位置や流体入口・出口の位置など重要な設計要件の決定をシミュレーションを活用して行うことができるようになる見込みである。	達成見込み
(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 異種機能集積3次元ナノ構造形成技術における最新の研究動向をMEMS2011(メキシコ)、APCOT(オーストラリア)、EUROSENSORS XXIV(オーストリア)等の学会に参加し調査する。	今年度中に目標を達成できる見込みである。	達成見込み

2.4 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANSセンター滋賀)

(1) 成果物

(2) 研究テーマの推移



図 29 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANS センター滋賀)の研究テーマの推移および年度間相関

(3) 研究成果内容のまとめ

i. 平成 20 年度の研究成果内容

表 35 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANS センター滋賀)の研究成果(平成 20 年度)

項目/目標	成果	達成評価
(3) 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術		
(3)-1 サブ波長構造の最適化 RCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis:厳密結合波解析)を利用した光学シミュレーションを実施する。合わせて2波長のマルチバンド波長選択性を有するマイクロ・ナノ構造の光学シミュレーションを行う。	波長程度の回折格子構造の設計に広く用いられている厳密結合波解析(RCWA)法により、透過率の解析を行うため基礎的な検討を行った。 RCWA法は計算時間が短いなど利点も多いものの、解析モデルによっては共振が強く結果に反映されることが分かった。 RCWA法においては、平行面を有する解析モデルの解析結果では共振が強く結果に現れる。そのため、基板の表裏を解析モデルに含むことができず、通常の透過率を求めることができない。よって、観測面を基板内に設定することで本来の透過率のふるまいを反映したと考えられる仮の「透過率」を求めることにした。 マイクロ/サブミクロンのブロックの周期構造を2層に重ねることで、それぞれ周期構造に対応する8-12 μ m帯(LWIR)、3-5 μ m帯(MWIR)の2波長帯が制御可能であり、2波長の選択性をもつことを解析的に示した。 マイクロ/サブミクロンのブロックの二層構造フィルタの透過率の減衰が小さい原因を、多層膜のフィルタと比較し考察した。本報告で検討したフィルタは、信頼性の観点から異種材料の多層構造をとりえないため透過率の減衰が小さいことを示した。 基礎的な検討の結果、80nmレベルの大きさであれば充填率が支配的な影響を及ぼすことを示した。	○
(3)-2 3次元マイクロ・ナノ構造形成プロセス技術の開発 自己組織化されたアルミナ細孔等をマスクとしてシリコンをエッチングする手法の検討と、短波長域フィルタの試作を行う。さらに線ステップ露光を用いた手法により、マイクロ・ナノ構造を試作する。	i線ステップによる製版とICP-RIEを2回繰り返すことにより2層構造を作製した。また、数十ナノの細孔をもったアルミナを形成する条件を見出した。しかし、形成した細孔には自己整合性は認められない。結晶粒内の細孔には比較的整合性があるように感じるため、今後は初期のアルミの膜質にも注目して行く。アルミの結晶粒界を低減することを検討する。	△
(3)-3 サブ波長構造の光学評価 シリコン素材の基本光学特性を評価すると共に、試作されたフィルタの光学特性を実測する。	設計・試作を行った赤外波長選択フィルタについて測定を行った。赤外波長域における透過率測定のためにFTIRを用いた測定系を立ち上げ、CZ、FZ-Si基板を評価し基板中の酸素に起因する吸収ピークを明らかにした。また、Si基板表面に1層の微細構造を形成した単波長選択フィルタ、2層の微細構造を形成した2波長選択フィルタを測定し、それぞれ透過率のピークと構造パラメータの相関について評価した。1層構造において透過率のピークは1つ得られ、2層構造についても構造ゆらぎの小さな試料については、ピークが2つ得られており、それぞれ波長選択性を示す特性であると考えられる。	○
(3)-4 3次元ナノ構造の評価 宇宙適用3次元ナノ構造を有するフィルタを画像センサに適用する場合の評価法を開発するために、小規模画素構造を有する非冷却赤外センサを適用して、フィルタの基本評価の検討を行う。	ナノ構造フィルタの基本波長特性評価を実施するための測定系の構築を完了した。 上記測定系により、ナノ構造フィルタの面平均透過率評価を実施し、ほぼ予測に近い結果が得られた。 上記測定系により、ナノ構造フィルタの透過率等のフィルタ内のエリヤ依存性評価手法及び赤外センサ画素レベルでの依存性評価手法の検討を行った。	○
(3)-5 適用性評価指標の検討 宇宙適用3次元ナノ構造の適用性評価指標の作成を行う。国際光工学会における光学-ナノ構造関係の学会に参加し、関連した最新の技術動向の調査を行う。(2008年8月10日～14日、米国カリフォルニア州サンディエゴ市)	非冷却赤外線撮像素子とMEMS/NEMSの宇宙応用への実施状況に関わる技術動向調査、構造が多岐にわたるMEMS/NEMSの動作・故障モードによる分類及び故障モードと不具合原因の関係についての調査及びMEMS/NEMSの規格制定動向と2波長帯域選択フィルタに関する光学部品関係の規格についての調査結果を述べた。これらの調査を踏まえ、2波長帯域フィルタ選択を装荷した非冷却赤外線撮像素子を宇宙環境で使用するのに必要な取得データ項目及び耐環境性能の試験項目の抽出を行った。	○

ii. 平成 21 年度の研究成果内容

表 36 ②「3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発」(3D BEANS センター滋賀)の研究成果(平成 21 年度)

項目/目標	成果	達成評価
(3) 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術		
(3)-1 3次元マイクロ・ナノ構造形成プロセスの開発		
(3)-1-1 光学解析シミュレーション結果の精度向上に向けて、試作した種々のナノ構造フィルタの実測データから解析方法の比較検討を実施する。さらに初年度考慮できなかったマイクロ・ナノ構造下部の基板の影響を含めたより精度の高いシミュレーションを実施する。	昨年度RCWA法で問題となった短波長領域におけるシミュレーションと実測の不一致の原因について検討を行い、新しく導入したFDTD法を用いることで1層構造、2層構造とも短波長領域においても実測とよくあったシミュレーション結果を得ることができるようになった。精度とシミュレーション時間を考慮すると、短波長側ではFDTD法を、長波長側ではRCWA法を用いて設計するのが効率的であることが分かった。	○
(3)-1-2 トップダウンによって形成された3次元構造に100nmレベルのナノ構造を形成する基本プロセスとして、アルミ陽極酸化による細孔の最適化を検討(電流値、温度など)する。	アルミ陽極酸化の電解液、印加電圧、酸化時間をパラメータとして網羅的な実験を行い、シュウ酸を電解液に用い陽極酸化した後、リン酸で開口径拡大を行うことで、目標とする垂直な100nmレベルのナノ開口が形成できることが分かった。また、次年度目標であるアルミ陽極酸化膜をマスクにした基板シリコンのエッチングを試み、期待通りマスクとして使用できることを確認した。	◎
(3)-2 3次元ナノ構造の光学評価		
(3)-2-1 顕微測光系(購入するSWS構造透過率測定装置用付属装置)を用いて、作製した単波長帯域フィルタ面内の透過率を微小ポイントでマッピング評価し、フィルタの光学特性をより詳細に検討する。	新たに導入した顕微FTIR装置(前年度導入装置の増設)を用いて、作製した単層構造短波長帯域フィルタの透過特性の微小領域(100μm角)の透過特性をマッピングを行った。この測定により、作製したフィルタの特性の面内分布が把握できるようになった。	○
(3)-2-2 試作されたマイクロ・ナノ構造を有するフィルタの2波長選択的光学特性を測定・評価するため、顕微測光系(購入するSWS構造透過率測定装置用付属装置)を用いて、作製したフィルタ面内の透過率を微小ポイントでマッピング評価し、フィルタの光学特性をより詳細に検討する。	(3)-2-1の項目と同様に、導入した顕微FTIR装置を用いて作製した2波長選択透過フィルタの透過率のマッピング評価を行った。また、次年度目標である、反射率のマッピングについても評価可能であることを確認した。	◎
(3)-3 3次元ナノ構造の評価		
(3)-3-1 宇宙適用3次元ナノ構造を有するフィルタの分光透過特性を評価するために、非冷却赤外線センサを適用して、H20年度に確立された評価手法を用いて、H21年度に試作された3次元ナノ構造フィルタの面平均透過率の測定評価を行う。	前年度より大きなイメージエリアを持つ画素サイズ25μmの640x480画素の非冷却赤外線イメージセンサを用いた評価システムを作製し、今年度作製した実用的な大きさを持つ3次元ナノ構造フィルタの面内平均透過率測定を行い、フィルタ単体での光学特性評価から期待される結果を得た。	○
(3)-3-2 宇宙適用3次元ナノ構造を有するフィルタの面内均一度を評価するために、大規模画素構造を有する非冷却赤外線センサを適用して、H20年度に基本確認した評価手法を用いて、H21年度に試作された3次元ナノ構造フィルタの透過率のエリア依存性の測定評価を行う。	(3)-3-1の項目で開発した評価システムを用いて得られる各画素のデータを処理することで、3次元ナノ構造フィルタの透過率のエリア依存性を評価するソフトウェアを開発した。開発した評価システムとソフトウェアを用いて今年度試作した3次元ナノ構造フィルタの透過率評価を行い、試作したフィルタが実用上十分な均一性を有していることを確認した。	○
(3)-4 適用性評価指標の検討		
宇宙適用3次元ナノ構造の適用性指標として、前年度に引き続き試験方法・信頼性評価方法等に関する調査検討を行う。	非冷却赤外線撮像素子の宇宙応用に関わる技術動向調査を行い、その結果を踏まえ、2波長選択赤外線フィルタを装着した非冷却赤外線撮像素子を有する赤外光学センサを衛星に搭載するための適用性評価指標を検討した。耐環境性能としては、宇宙用電子部品・光学部品に準拠したMIL-STD-810,883等相当の試験レベルを設定した。	◎
(3)-5 ナノ構造関係の最新の技術動向の調査		
国際光学学会(米国、SPIE Photonics West)等に参加し、ナノ構造関係の最新の技術動向の調査を行う。	国際光学学会への参加等を通して入手した国内外の最新の技術動向調査結果をまとめ、その結果をデータベースに登録した。	○

2.5 ③「マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発」

(1) 成果物

表 37 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」の成果物

区分 年度	特許出願			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
	国内	外国	PCT	査読付	その他				
H20 年度	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	0 件	0 件	0 件
H21 年度	9 件	0 件	0 件	4 件	0 件	26 件	1 件	2 件	1 件
H22 年度	2 件	0 件	1 件	1 件	0 件	4 件	0 件	0 件	0 件

(2) 研究テーマの推移

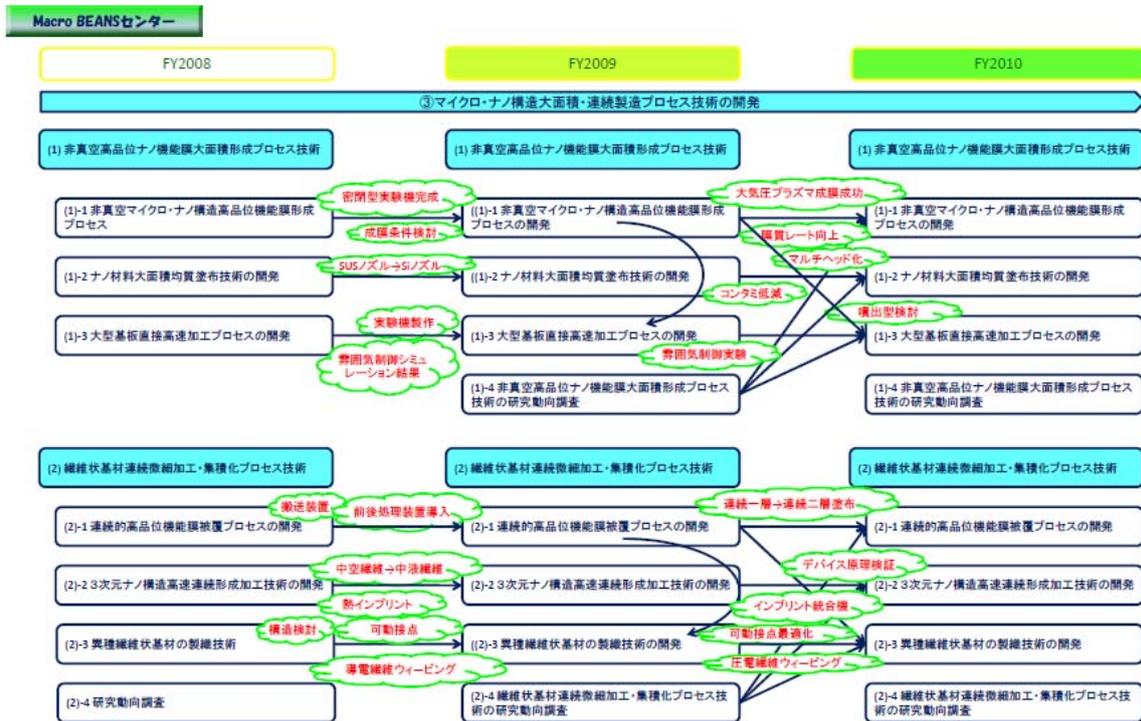


図 30 ③「マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発」の研究テーマの推移および年度間相関

(3) 研究成果内容のまとめ

i. 平成20年度の研究成果内容

表 38 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」の研究成果(平成20年度)その1

項目/目標	成果	達成評価
(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術		
(1)-1 非真空マイクロ・ナノ構造高品位機能膜形成プロセス		
(1)-1-1 大気圧プラズマ技術について、密閉型大気圧プラズマ実験機的设计・試作を完了し、大気圧プラズマの生成を確認する。	本年度は、密閉型大気圧プラズマ方式評価設備の仕様検討を行い、高品位Si成膜に不可欠なH2反応ガスに関して100%濃度でも短時間で安全排気でき、かつ10~200 MHzの広帯域放電実験を可能とする実験機導入を完了した。また、本実験機の稼働に必要な特殊ガス供給・処理設備の整備を完了した。本実験機を用いて大気圧プラズマ放電技術の立ち上げを行い、大気圧プラズマの均質グロー放電を確認することができた。さらに、励起周波数13.56 MHzにおいて電極間ギャップ、放電電力、圧力の相関を体系的に調査し、HeガスおよびH2: 3.8%混合Heガスにおける大気圧放電条件を把握した。以上により、平成20年度目標を達成した。	○
(1)-1-2 ナノ加工プロセスシミュレーションの解析モデルの要件定義および計算方法の基本検討を完了する。	局所雰囲気制御下でのプラズマ制御技術を活用した、非真空薄膜堆積プロセスの開発のため、平成20年度はナノ加工プロセスシミュレーションの解析モデルの要件定義及び計算方法の基本検討を行った。具体的には、大気圧プラズマシミュレーションモデル化と計算手法を検討し、大気圧プラズマにおける課題の抽出を行った。計算結果について検討し、次のとおり精度上の問題点・課題、知見が得られた。大気圧プラズマシミュレーションでは、化学的な反応による荷電粒子の消滅の他に、誘電体による荷電粒子のトラップに基づく、荷電粒子の消滅メカニズムが必要であることが分かった。このような誘電体モデルをシミュレータに組み込むことが大気圧プラズマ解析では必須となる。また、RF条件などの装置条件をより正確に解析条件として与え、測定結果との比較を容易にするため、周辺回路を含めた解析が必要であることが分かった。以上のとおりナノ加工プロセスシミュレーションの解析モデルの要件定義及び計算方法の基本検討を完了した。	○
(1)-2 ナノ材料大面積均質塗布技術の開発		
(1)-2-1 ミストジェット基礎実験用ヘッドの設計・試作を完了する。このヘッドによる基礎実験を通じて、適用可能な液体の物性(表面張力、粘性)、分散微粒子径、及び粒子濃度などの制約事項を明確化する。さらに、この実験結果を基に、H21年度に作製するミストジェットヘッドの仕様を決定する。	本年度は、ミストジェット基礎実験用ヘッドの設計・試作を行い、このヘッドを用いた基礎実験を行った。その結果、水に攪拌したSi微粒子が吐出可能であることを明らかにした。さらに、液体の表面張力・粘性および、液体とノズルの吐出口側の撥液膜との接触角、分散Si微粒子径及び粒子濃度を評価した結果、水ベースの液体が吐出可能であることを明らかにした。また、ミスト吐出したSi微粒子には、超音波反射板の材料Alの検出量が増加していた。そのため、金属系不純物混入量を低減する表面処理を施す必要があることが判った。これらの実験結果をもとに、来年度製作するミストジェットヘッドの仕様を決定した。以上により、平成20年度目標を達成した。	○
(1)-2-2 エレクトロスプレー法を用いて酸化チタンなどのナノ構造を高さ方向100nmの厚さで2センチ角基板に均一に形成する。シランカップリング剤などの自己組織化単分子膜については2センチ角基板に10分以内での形成を達成する。	エレクトロスプレー法により2センチ角ITO基板上に酸化チタンナノ構造を1ミクロン/10分以上の速度で形成したことを断面SEMで確認した。また使用する前駆体材料に高分子を混合することでワイヤー構造を基板上に高密度に形成できることがSEM-EDX分析より見出した。自己組織化単分子膜については、スプレー法によりシランカップリング剤分子およびアルキルフォスホン酸分子を用いて2センチ角TiO2基板上に1分以内に形成できたことをX線光電子分光で確認した。また色素N3分子でも同様に1分程度で2センチ角基板への形成をX線光電子分光で確認した。	○

表 39 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」の研究成果(平成 20 年度)その 2

(1)-3 大型基板直接高速加工プロセスの開発		
(1)-3-1 雰囲気制御型スキヤン製膜技術の開発(09年度より実施)	09年度実施項目であるため、進捗なし	—
(1)-3-2 モデル検証、および解析モデルの高精度化に必要な解析モデルの課題等を抽出し、局所環境シミュレーションモデルの要件定義および基本検討を完了する。	局所環境シミュレーションモデルの要件定義および基本検討として、雰囲気制御構造のモデル化の検討、流体解析ツール (FLUENT) を用いた予備検討解析、解析精度および課題の抽出を行った。具体的には、試験的なノズル形状について雰囲気制御構造をモデル化し、それに基づいた予備計算を汎用流体解析コード: FLUENT6.3を用いて行った。計算結果について検討し、次のとおり精度上の問題点・課題、知見が得られた。今回計算対象としたノズル形状では、長くとも6秒以内に流れによる空気の排出が終了し、残留空気濃度はその後拡散により指数関数的に減少することが分かった。残留空気濃度を下げるにはノズル外側への流路の幅を小さくするか、排気流量を不活性ガス流量よりも小さくすれば良いことが分かった。ただし、排気流量を0にすると排気口近辺の空気が残留することが予測されるので、最適な流量が決まるものと考えられる。この最適流量の値はノズル形状が定まればシミュレーションにより評価することが可能であることが分かった。以上のとおり局所環境シミュレーションモデル要件定義および基本検討を完了した。	○
(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術		
(2)-1 連続的高品位機能膜被覆プロセスの開発		
(2)-1-1 「繊維状基材上への有機材料連続塗布装置」の設計仕様書の作成および製作した装置が走行速度50ミリ/min以上で動作することを確認する。塗布に用いる液体有機材料の調査・選定を行い、簡易塗布実験装置により繊維状基材上に機能薄膜を形成し、膜の基本特性を評価する。	繊維状基材上への有機材料連続塗布装置のため、装置の仕様検討・導入をおこない、50m/minで定常動作することを確認した。液体有機半導体について調査し、特性と入手容易性からP3HTとPCBMを選定・入手、溶液を調整し繊維状基材上への塗布をおこなった。形成した薄膜は外部にて配向性の評価を実施したが、ダイコートとスピンコートともに配向性は確認できなかった。より高いせん断力の付与が必要。基材搬送機構、ダイス位置決め機構、溶液供給機構を備えた簡易塗布装置を検討・導入し繊維状基材上に薄膜を形成した。	○
(2)-1-2 炭素繊維上への高品位シリコン膜の成膜により100μm程度の炭素繊維上にシリコン膜を成膜しその膜厚が1μmとなる技術を開発する。また、炭素繊維の表面にCu成分が検出されず、かつ銅線の初期の比抵抗と同等の値を保つことができる炭素繊維・銅線複合糸の製造基本プロセスを開発する。	Kynol繊維の撚り糸を前駆体として、直径100 μm程度の撚り糸構造の炭素繊維を得ることに成功した。また、銅線をフェノール樹脂で被覆したものを炭素化することにより、芯が銅であり、銅の成分を含まない炭素成分で被覆された銅芯炭素繊維を得ることに成功した。	○

表 40 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」の研究成果(平成 20 年度)その 3

<p>(2)-2 3次元ナノ構造高速連続形成加工技術の開発</p>		
<p>(2)-2-1 「繊維状基材パターン塗布装置」の製作と、本装置のファイバ搬送、Agインクなどによる塗布配線描画機能などの基本動作確認を行う。Cuインク材料の評価・選定と平板基板への塗布によるCu膜質の評価を行う。平板に形成した浅溝への塗布により、線幅制御、膜平坦化に対する溝の有効性の確認と適正溝形状を決定する。</p>	<p>本年度はパターン塗布装置(インクジェット装置)を導入した。将来リールツール搬送を計画しているが、今回、繊維状基材はホルダーでステージに搭載して移動できる構造とした。(2)この装置を使い石英ファイバ、平板基板へのAgインクの塗布機能を確認した。(3)また、今後ファイバの浅溝を利用することを想定し、寸法の異なるSi溝へのAgの塗布実験を行い、溝による線幅規定(平坦部の幅の1/6)、平坦性改善などの効果を確認し、必要な溝深さを設定した。(4)Ag、Cuの平板塗布膜の空气中、N₂/H₂雰囲気中での焼成実験から、常圧雰囲気制御など今後の焼成高速化に向けた指針を得た。以上本年度の課題は全項目100%達成した。</p>	○
<p>(2)-2-2 平板型モールドによるロールインプリントの予備実験を通して、リールツールインプリント対応の円筒型モールドに加工するパターン形状を決定する。さらに、予備実験で得たノウハウを基に次年度(平成21年度)開発予定のリールツールインプリントシステムのスペックを決定し、本システムの開発に向けた設計仕様書を作成する。</p>	<p>繊維状基材表面に加工するパターン仕様に関して調査を行い、3種類の繊維状基材に対して平板型モールドを用いたインプリント実験を実施した。4種類の平板型モールドを製作し、石英ファイバー、テフロンPFA中空チューブの表面には配線パターンを、ナイロンファイバーには編み込みガイド溝の加工に成功した。これらの実験により、リールツールインプリントでは成形対象物をプラスチックファーバーに特化し、ガイド溝と配線パターンが加工できるように装置仕様を固めた。既にリールツールインプリントシステムの仕様書案を作成し、民間3社に製作費用の概算見積もりを依頼した。さらに平板上ではあるが、精密機械加工による3次元パターン形状の加工も試みた。加工結果が良好であったことから、次年度(平成21年度)は繊維状基材表面に編み込み用位置決めガイドを加工するための円筒モールドを製作することとした。以上のように、本年度の達成度は当初予定の100%であった。</p>	○
<p>(2)-2-3 中空基材内へのセル状構造成成に使用する中空基材と紫外線硬化性樹脂及び分散流体の選定、分散方法と条件の検討、紫外線照射方法と条件の検討、単相流体によるセル状構造成成を完了する。また上記材料と構造に対する流体シミュレーションに関して、固液界面のぬれ性の影響と自由界面の変形を含むモデル構築を完了する。</p>	<p>平成20年度目標のうち、中空基材内へのセル状構造成成に使用する中空基材と紫外線硬化性樹脂及び分散流体の選定、分散方法と条件の検討、紫外線照射方法と条件の検討、単相流体によるセル状構造成成については、HPLC用チューブ・キャピラリー及び中空光ファイバーを基材とし、水-窒素ガスを試験流体としたT型ミキサーによる2相分散の実験により均一分散スラグ流を形成するための基礎データ取得を完了し、またUVナノインプリント用樹脂を採用することで96ppi相当のセル状構造成成を達成した。固液界面のぬれ性の影響と自由界面の変形を含むシミュレーションモデル構築については、定量的に妥当な拡散界面モデルの構築を行い、またこのモデルをスラグ流形成シミュレーションに適用するために必要な任意形状モデル向け拡張を完了した。以上により、平成20年度目標を達成した。</p>	○

表 41 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」の研究成果(平成 20 年度)その 4

(2)-3 異種繊維状基材の製織技術		
<p>(2)-3-1</p> <p>1nN~100 μ Nの荷重範囲において、繊維状基材の電氣的測定と摩擦・摩耗試験を同時に行うことができる試験装置を実現する。繊維状基材の可動接点測定のための、プローブ形状及びサンプル固定化方法について基本条件を得る。また、マイクロ構造を用いた可動接点に関して、基本設計を完了する。</p>	<p>本年度は、①単一接点での接点材料のスクリーニングに向けた装置、及び②実際のデバイス構造を模した状態、かつ実使用条件に近い状態で信頼性評価試験を行うことができる繊維状基材可動接点評価システム、の開発を行い、1nN~100 μ Nの荷重範囲において、繊維状基材の摩擦・摩耗試験を同時に行うことができる試験装置を実現することができた。また、比摩耗量は10-5 mm² / N以下であり、金を電極材料として用いた場合には、繊維状基材に期待される特性、即ち接触圧力1~100 MPaのもとで、比摩耗量が10-4 mm² / N以下、という特性を満足することがわかった。加えて実際のデバイス構造を模した状態、かつ実使用条件に近い状態で信頼性評価試験機の開発を行い、先に示したAFMを利用した摩擦試験機とあわせると、低荷重(nN)から高荷重(N)までの広い荷重範囲において、接点材料の電氣的測定と摩擦・摩耗試験を同時に行うことができる試験装置を開発することができ、今年度の目標は100%達成できたと見える。</p>	○
<p>(2)-3-2</p> <p>圧電繊維について、PZTで100pm/V、PVDFで20pm/Vの圧電定数を有する、繊維径1mm以下の圧電繊維を実現する。また、炭素繊維同士等同種の繊維同士の製織プロセスの基本条件を決定する。</p>	<p>今年度の実施計画は(1)圧電繊維について、PZTで100pm/V、PVDFで20pm/Vの圧電定数を有する、繊維径1mm以下の圧電繊維をどちらかの圧電材料で実現すること、(2)炭素繊維同士等同種の繊維同士の製織プロセス基本条件を決定することであった。(1)においてはダイコーティングによる結晶配向性PZT薄膜の形成に成功し、また繊維径0.2mmのステンレス繊維上に膜厚1μmのPZT薄膜を形成し、このPZT薄膜が強誘電特性を有することを実証した。強誘電特性から換算した圧電定数は30pm/V程度であったが、ステンレス繊維上にPt薄膜を形成することで目的とする圧電定数の実現が可能である。(2)においては金属繊維の交差による電氣的接点実現のために、横糸を変形しない程度の強度で打ち込む、あるいは通常の綿織物を作製するための横糸打ち込み強度によっても変形しない程度の硬さを有する金属繊維を用いることが必要という製織プロセスの</p>	△
<p>(2)-4 研究動向調査</p> <p>繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術における最新の研究動向をMEMS2009(平成21年1月イタリア)、International Display Workshop等国内外の学会に参加し調査する。</p>	<p>MEMS2009(平成21年1月イタリア)、第25回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム等国内外の学会に参加するとともに、欧州の主たる研究機関であるLETI(フランス)、Fraunhofer-IZM(ドイツ)、IMEC-Holst(オランダ)を訪問して、繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術およびフレキシブルシードデバイスに関する最新の研究動向を調査した。</p>	○

ii. 平成 21 年度の研究成果内容

表 42 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」の研究成果(平成 21 年度)その 1

項目/目標	成果	達成評価
(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術		
(1)-1 非真空マイクロ・ナノ構造高品位機能膜形成プロセスの開発 密閉型大気圧プラズマ方式評価設備（平成20年度導入）を用い、プラズマ周波数10～200MHzの範囲における安定放電条件および成膜寄与種の効率的生成条件を明らかにする。また、並行して進める大気圧プラズマ解析シミュレーションと合わせ、それらの得られた知見を基に、噴出し型大気圧プラズマ成膜装置を設計する。	大気圧近傍のプラズマでは、高周波化、水素高濃度化に伴い放電ウインドウが狭くなることが判明した。本知見を基に放電ウインドウが広い13.56MHzを採用し、大気圧近傍でSi成膜可能な条件探索に取り組んだ。プラズマ生成時の電力高密度化を狙い、固体Siソースに対向する下部電極を擬似的に小型化する改良を実施し、その結果、700Torr(0.9気圧)での放電及びSi成膜が可能となった。噴出し型模擬実験では、成膜寄与種がガス流により移動できることを確認した。以上により、安定放電条件および成膜寄与種の効率的生成条件が明らかとなった。また、大気圧プラズマ解析シミュレーションを実施するとともに、噴出し型の1次試作電極として縦置き平行平板型を(1)-3の雰囲気制御ヘッド実機に盛り込んだ。	◎
(1)-2 ナノ材料大面積均質塗布技術の開発		
(1)-2-1 ミストジェット機能材料塗布実験設備の設計・試作を完了する。この装置による塗布実験を通じて、パターンニング分解能として200μmを確認する。さらに、機能膜形成時に必要となる不純物混入量の評価を行う。	スキャン機構を有するミストジェット機能材料塗布実験設備を設計・試作し、本設備において条件適正化によりパターン分解能200μmを達成した。また、ミスト吐出時の気流制御が、塗布時の膜凝集抑制に有効であることが判った。吐出ミストへの金属不純物混入低減を目的に、吐出ヘッド部品のSi化を実施した。従来のAl製からSi製に改良した超音波反射放物面及びノズルを用い、塗布膜試料の分析を行った結果、金属不純物が低減していることを確認した。	○
(1)-2-2 エレクトロスプレー法を用いて酸化チタンなどのナノ構造を厚さ1μm以上、膜厚誤差10%以内で形成する。また、ナノ構造熱処理装置を導入して、ナノ構造の基板固定化の熱処理温度を低温化する手法とナノ構造の形状制御について検討する。	材料を酸化チタンから透明電極に定期用可能な酸化スズに変更し、ナノ構造を有する酸化スズ体薄膜を膜厚誤差15%で、130nm/minの速度で8分以内での1ミクロン以上の堆積に成功した。また酸化チタンナノ構造の基板固定熱処理について、これまで300℃であった温度をエキシマランプ利用熱処理で150℃へと低温化することに成功した。さらに酸化スズ構造体形成においてKOHを犠牲層とした新規なナノ構造制御の手法を見出した。	○
(1)-3 大型基板直接高速加工プロセスの開発 平成20年度から始めている局所環境制御技術のシミュレーション検討成果を基に、雰囲気制御評価モデル機を設計・製作し、局所環境制御された開放型装置を設計するための限界条件を探索する。	ガスカーテン機構を応用した雰囲気制御ヘッド構造を具体化するため、数値気流シミュレーションを進めた。必要条件は、清浄環境実現と安全運用の両側面から、ヘッド直下の流入空気≤1ppm、ヘッド外部の流出水素≤0.1%とし、諸々の検討と計算を行った結果、本条件を満たすガス流量値の目処が得られた。本知見を基に雰囲気制御評価モデル機を設計・製作し、2010年2月初旬に装置導入を完了した。	○
(1)-4 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 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術における最新の研究動向をMEMS2010(平成22年1月香港)、応用物理学会秋季講演大会等国内外の学会に参加し調査する。	MNC2009(平成21年11月札幌)、第26回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム等の学会に参加し、非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術における最新の研究動向の調査を行った。	○

表 43 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」の研究成果(平成 21 年度)その 2

(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術		
(2)-1 連続的高品位機能膜被覆プロセスの開発		
(2)-1-1 ダイコーティング装置(平成20年度導入)及び新規に導入するダイコーティング前後処理装置により、連続的に走行させた繊維状基材の表面に対し、電子的機能膜および光学的機能膜としての有機薄膜(膜厚<1μm)、機械的機能膜としての圧電薄膜(膜厚>1μm)、電極薄膜、絶縁薄膜等の薄膜について各々連続的に形成するプロセスを実現する。	平成20年度に導入したダイコーティング装置に前後処理装置を新規導入するとともに、専用のダイスを設計・製作した。この装置により、連続搬送されたPET基材上に、ダイスギャップや供給圧等の条件を一定として、有機半導体(P3HT:トルエン溶液)、圧電体(PVDF:MEK溶液)、導電体(PEDOT:水溶液)、絶縁体(PMMA:トルエン溶液)について各々5~10m/min程度の線速で連続形成するプロセスを実現した。	○
(2)-1-2 異種溶液の塗布により、繊維状基材の表面に2層以上の多層膜を形成する基本プロセスを開発する。	多層化に適したスリット型のダイスを設計・製作し、溶媒のみの塗布にて塗膜厚の解析結果との整合性を確認して2層同時形成の基本プロセスを開発した。そして、PVDF塗膜/トルエンの積層塗布で、5m/min程度の速度で乱れの小さい塗膜が可能であることを確認した。	○
(2)-2 3次元ナノ構造高速連続形成加工技術の開発		
(2)-2-1 パターン塗布装置によって繊維状基材表面に形成したAgパターンやCu塗布膜の高速焼成プロセスの要素技術を確立するとともに、繊維状基材パターン形成装置を導入して、繊維状基材曲面に10μm程度の薄膜パターンを連続形成する3次元リソグラフィ基本プロセスを開発するとともに、リールツーリール装置に統合するための検討を行う。	インクジェットによってパターン塗布した薄膜の高速焼成の手段として、エネルギーを集約したレーザー照射の活用を検討した。YAGレーザーを用いた場合には、膜が飛散するなどの問題が生じることが確認されたが、CO2レーザーを用いれば、Cu及びAgの金属膜を析出させることができることを確認した。レーザービーム速度8 m/minでAg膜抵抗率5.7 μΩcmを得ることができ、高速焼成プロセスの要素技術を確立することができた。また、繊維状基材上に3次元リソグラフィを行うため、石英マスク溝内に投影露光法で6-10μmパターンを形成したフォトマスクを製作するプロセスを開発した。石英ファイバー基材上に、スプレーパターン形成装置でレジストを塗布し、上記マスクを用いて露光・現像することにより、繊維状基材上に10μm以下のレジストパターンを形成することに成功し、基本プロセスを開発することができた。さらに、ステップ露光法によりこのプロセスをリールツーリールシステム上で実施できる装置の基本設計を行った。	○
(2)-2-2 繊維状基材への高速・連続インプリント技術を確立するため、最高送り速度が20m/min以上のリールツーリールインプリント装置を開発するとともに、このシステムに組み込むための円筒型モールドを試作する。また、インプリント装置を導入するために清浄環境制御設備を増強する。	平板モールドによるスライド式熱インプリント機能を備えた、最高送り速度40m/minのリールツーリールインプリント装置の設計・製作を完了した。また、清浄環境制御設備内において圧縮空気供給能力の増強を行い、リールツーリールインプリント装置の導入を行い基本性能の確認を行った。さらに、精密機械加工とフレキシブルマスクを用いた光リソグラフィ技術を組み合わせることにより直径φ100mm、厚さ30mmの円筒モールドを試作した。	◎
(2)-2-3 中空繊維状基材の加工技術として、材料の流動パターン制御により基材内に作成する微小セル状構造のサイズとピッチを任意に調整可能とする技術を開発するとともに、この手法を各種材料流体に適用・評価するためのマイクロミキサーを製作する。	樹脂相・分散相の流量と混合部圧力をパラメータとする中空繊維状基材内スラグ流の流動パターン制御により、セル状構造サイズ・ピッチを調整する作成手法を開発し、気体及び液体内包セル構造の作成に成功した。複数形状・材質のマイクロミキサーを製作・評価し、混合部パラメータ最適化によるセル状構造均一性向上を確認した。	○

表 44 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」の研究成果(平成 21 年度)その 3

(2)-3 異種繊維状基材の製織技術の開発		
<p>(2)-3-1</p> <p>シート型デバイスを実現する異種繊維状基材の製織技術の開発に向けて、繊維状基材機械的特性評価装置を導入して、繊維状基材同士を交差させた場合の、接触圧力と、接点抵抗変化、及び摩擦・摩耗特性との相関等、可動接点構造及び材料についての指針を得る。</p>	<p>繊維状基材機会的特性評価装置を導入して、繊維状基材1本ずつを交差させた場合の、接触圧力と、電気的特性変化、及び摩擦・摩耗特性との相関等の繊維状基材の基本特性を明らかにした。続いて、繊維状基材にコーティングした導電性高分子被膜の接触圧力と、電気的特性変化、及び摩擦・摩耗特性を評価し、基本特性を評価した。最後に、可動接点構造について、繊維状基材に形成したマイクロ構造について検討を行った。これらの評価結果を基に、可動接点構造及び材料についての指針を得た。</p>	○
<p>(2)-3-2</p> <p>直径0.5mm以下の機能膜が被覆された繊維状基材を用いて、縦糸、横糸それぞれ50本以上の平織製織を行って、自動織機（ウィービング装置）の基本仕様を決定する。</p>	<p>直径0.48μmのナイロン繊維に導電性高分子PEDOT:PSSと絶縁膜パリレンを形成した機能性繊維を縦糸横糸として1cm間隔で挿入した330本の繊維を平織り製織した30cm角のフレキシブルタッチセンサを試作し、100-1000 mNと人の触る程度の力で動作可能であり、容量変化が力に比例していることを実証した。これらの結果と、汎用自動織機の調査を行うことにより、ソウコウや笹と機能性繊維との摩擦を低減して製織する機能など、ウィービング装置の基本仕様を決定した。</p>	○
<p>(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</p> <p>繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術における最新の研究動向をMEMS2010（平成22年1月香港）、EIPBN2009（平成21年5月フロリダ）、MNE2009（平成21年9月ベルギー）、応用物理学会秋季講演大会等国内外の学会に参加し調査する。</p>	<p>MEMS2010, MNE2009, 第2回Flexible & Stretchable Electronics国際会議（平成21年11月ベルギー）、第26回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム等国内外の学会に参加し、繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術における最新の研究動向の調査を実施した。</p>	○

iii. 平成 22 年度の研究成果見込み

表 45 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」の研究成果(平成 22 年度)その 1

項目/目標	成果(見込)	達成評価
(1) 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術		
(1)-1 非真空マイクロ・ナノ構造高品位機能膜形成プロセスの開発		
<p>雰囲気制御評価モデル機に噴出し型放電機能を付与し、本装置において膜質と成膜条件の相関を把握するとともに、密閉型装置でのレート向上検討と合せ、膜質向上に向けた課題抽出、及び膜質を向上する制御因子を明らかにする。</p> <p>最終目標に示される特性(電子移動度:1cm²/V・sec以上)を有する電子的機能膜、機械的機能膜を形成する基本プロセスを開発する。</p>	<p>大気圧下で顕在化する放電の不着火や不安定性に対し、電力密度向上や不要放電抑制の対策を講じ、密閉型装置700TorrでのH₂/He混合プラズマ成膜マージンを拡大することができた。本方式によるSi膜の特性を評価し、電子移動度1cm²/V・sec以上を達成していることで電子的機能膜が形成できていることを示し、大気圧プラズマ成膜の基本プロセスを開発した。</p> <p>また、上記方式により歪ゲージ機能を検証し、機械的機能膜にも適用できることを示す予定である。</p> <p>さらに、平成22年度末までに、対向電極小径化等により化学輸送法の効率向上を図り、雰囲気制御評価モデル機に付与した噴き出し型方式での課題抽出と対策を示す予定である。</p>	達成見込み
(1)-2 ナノ材料大面積均質塗布技術の開発		
(1)-2-1		
<p>ミストジェットヘッドのマルチ化による成膜技術の検討を行うことで、最終目標の膜厚均一性(±10%以下)、パターンニング分解能(200μm以下)を達成する手法を決定する。</p>	<p>ミストジェットヘッドのノズル撥水処理により安定吐出を図り、パターンニング分解能を達成する手法を構築した。また、大面積へ向けたヘッドマルチ化では、ノズル間のパターニング制御方法等を検討し、最終的な膜厚均一性が得られる手法を構築予定である。</p>	達成見込み
(1)-2-2		
<p>エレクトロスプレー等噴霧技術を利用して、酸化スズなどのナノ構造形成に取り組み、100nm以下の径のホールもしくはピラーの数を40個/μm²を目指す。エキシマランプ照射により300℃以下の低温での酸化物膜の導電性発現を目指す。</p>	<p>エレクトロスプレー法による酸化スズなどのマイクロナノ構造の構造制御を行い、100nm以下の径のピラーの数を40個/μm²が実現できた。また、エキシマランプ照射により300℃以下の低温焼成での酸化物膜の導電性発現を実証する予定である。</p>	達成見込み
(1)-3 大型基板直接高速加工プロセスの開発		
<p>大面積基板に対して相対移動させるスキヤニング技術の検討を行うことで、機能膜を大面積基板に均質かつ実用的な成膜速度で形成する装置仕様を明らかにする。</p> <p>雰囲気制御評価モデル機(平成21年度導入)を用いて局所環境制御技術を開発し、シミュレーション解析との比較検証を通して開放型装置の制約事項を明らかにする。さらに、噴出し型大気圧プラズマ技術やミストジェット塗布技術などと組み合わせる原理検証方法を明確にする。</p> <p>以上により、最終目標の成膜速度(現行真空装置以上)を達成する手法を決定する。</p>	<p>雰囲気制御評価モデル機において局所環境制御に必要なガス濃度分析手法を構築した。本手法による流体制御実験およびシミュレーション解析との比較検証を行い、開放型装置の制約事項として、反応ガス、排気、カーテンガスの流量関係を明らかにした。</p> <p>また、大面積基板に対してスキヤニング成膜できる装置仕様に関わる大気圧プラズマとミストジェット塗布との組合せ技術において、平成22年度末までに、塗布膜へのプラズマ処理による還元効果を検証し、原理検証方法を示す予定である。</p>	達成見込み
(1)-4 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		
<p>非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術における最新研究動向をMEMS2011(平成23年1月メキシコ)、応用物理学会秋季講演大会等国内外の学会に参加し調査する。</p>	<p>非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術における最新研究動向を、平成22年度末までに、「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムやMEMS2011(平成23年1月メキシコ)、応用物理学会秋季講演大会など国内外の学会に参加し調査する予定である。</p>	達成見込み

表 46 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」の研究成果(平成 22 年度)その 2

(2) 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術			
(2)-1 連続的高品位機能膜被覆プロセスの開発			
(2)-1-1	非真空堆積プロセスであるダイコーティング装置による繊維状基材上への薄膜形成において、高速化のための課題抽出・対策を実施することにより、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10m/min以上の線速にて形成するプロセスを実現する。	前後処理の適正化をおこなうことで有機薄膜、電極薄膜、絶縁薄膜をそれぞれ10m/minにて連続形成した。圧電薄膜については今後取り組み10m/minを実現する予定である。また高速化において顕在化する膜厚不安定性に対し、溶液供給系の不安定性や基材位置変動などの課題を抽出し、供給溶液の循環やガイドロール径変動の抑制などの対策について検討した。今後これらの対策を適用し膜厚安定化を実現する予定である。	達成見込み
(2)-1-2	さらに、発光、反射・屈折率などを制御する光学的機能膜としての有機多層膜を、ダイコーティング装置で連続形成するプロセスを実現することにより、連続的高品位機能膜被覆基本プロセス開発を完了する。	二層一括塗布プロセスによる有機多層膜の形成・分布評価に着手し、同種溶媒の積層塗布において層の分離が可能であることが確認できた。今後二層一括塗布条件の探索を進め、その可否の要件を明らかにし、有機デバイスに適用可能な多層膜を連続形成するプロセスを実現する予定である。	達成見込み
(2)-2 3次元ナノ構造高速連続形成加工技術の開発			
(2)-2-1	AgやCuなどの塗布導体膜を、繊維基材搬送に対応できる雰囲気制御した環境下で焼成するプロセスを開発するとともに、繊維状基材曲面上に10 μ m以下の薄膜パターンを高速連続形成する3次元リソグラフィプロセスを実現することにより、ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元電極パターンを送り速度2m/min以上で形成するプロセスを構築する。	Cuインクの大气中と還元性雰囲気での減圧焼成をテストし、雰囲気の影響を評価した。今後塗布導体膜を、繊維基材搬送に対応できる雰囲気制御した環境下で焼成するプロセスを開発する。また、繊維状基材曲面上に10 μ m以下の薄膜パターンを高速連続形成する3次元リソグラフィプロセスを実現した。この技術と自動搬送露光機構を有する装置の組み合わせで、ナノ機能膜が被覆された繊維状基材に3次元電極パターンを送り速度2m/min以上で形成できることを実証する。	達成見込み
(2)-2-2	繊維状基材上に3次元ナノ構造を形成するプロセスとして、製織用接点支持機能を有するガイド溝構造を繊維状基材上にインプリント形成する技術を開発するとともに、送り速度が5m/min以上の高速リールツーリールインプリント技術を確立する。	リールツーリールインプリントシステム(複合機)を完成させた。また、H22年度末までに、このシステムを用いて、製織用接点支持機能を有するガイド溝構造を繊維状基材上にインプリント形成する技術を開発するとともに、送り速度が5m/min以上達成できていることを実証し、高速リールツーリールインプリント基本技術を確立する予定である。	達成見込み
(2)-2-3	中空繊維状基材の3次元構造加工技術として、3相以上の材料の流動パターン制御による基材内微小セル状構造の多相化とピッチ250 μ m以下とを達成するプロセスを構築する。	多相マイクロミキサーを試作し、混合過程の計測と制御を行うとともに、多相界面モデルの検討と数値実験を実施した。平成22年度末までに、基材内微小セル状構造の多相化とピッチ250 μ m以下とを達成するプロセスを構築する予定である。	達成見込み
(2)-3 異種繊維状基材の製織技術の開発			
(2)-3-1	前年度までの結果を基に、単一接触条件において、接触圧力1MPaのもとで、比摩耗量が1 μ m/N \cdot m以下、導電性繊維間の抵抗値は1 Ω 以下(初期値)を実現できる可動接点材料、構造を提案する。	可動接点構造として、カンチレバー構造を提案し、その接触抵抗の測定、摩擦特性評価等を実施した。単一接触条件において、接触圧力1MPaのもとで、比摩耗量が1 μ m/N \cdot m以下、導電性繊維間の抵抗値は1 Ω 以下(初期値)を実現できることを実証する予定である。	達成見込み
(2)-3-2	上記可動接点材料・構造を利用して異種繊維状基材を製織する、自動織機(ウィービング装置)試作機を実現することにより、シート型デバイスを実現する製織集積化基本プロセスの開発を完了する。	既存の自動織機を用いて開発した異種繊維状基材を用いた大面積タッチセンサ(1m x 5m)を試作し、シート型デバイスを実現する製織集積化基本プロセスを開発した。それらの結果をもとに、平成22年度末までに異種繊維状基材のライメント機構を備えた自動織機試作機を実現する予定である。	達成見込み
(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			
	非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術における最新研究動向をMEMS2011(平成23年1月カンクン)、APCOT(平成22年6月パース)、EUROSENSORS XXIV(平成22年9月リンツ)、応用物理学会秋季講演大会等国内外の学会に参加し調査する。	繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術における最新研究動向について、DTIP(平成22年5月セビア)、APCOT(平成22年6月パース)に参加して調査を実施した。平成22年度末までに、「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムやMEMS2011(平成23年1月カンクン)等国内外の学会に参加し調査を実施する予定である。	達成見込み

2.6 ④「異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備」

(1) 成果物

表 47 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」の成果物

区分 年度	特許出願			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
	国内	外国	PCT	査読付	その他				
H20年度	0件	0件	0件	0件	0件	0件	12件	0件	0件
H21年度	0件	0件	0件	0件	0件	0件	9件	1件	0件
H22年度	0件	0件	0件	0件	0件	0件	2件	0件	0件

(2) 研究テーマの推移

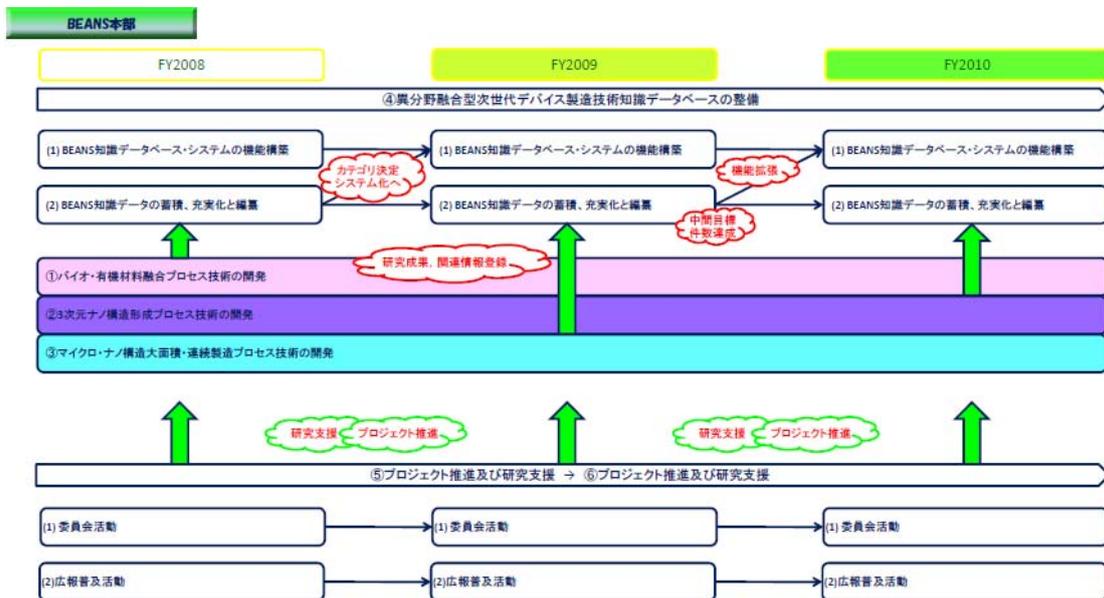


図 31 ④「異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備」のの研究テーマの推移および年度間相関

(3) 研究成果内容のまとめ

i. 平成 20 年度の研究成果内容

表 48 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」の研究成果(平成 20 年度)

項目/目標	成果	達成評価
(1) BEANS知識データベース・システムの機能構築 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ベースの概念設計ならびに詳細設計の一部を完了する。	異分野融合型次世代デバイス製造技術に関する知識の体系化、データベースの枠組み、知識データの入力方式及び表示方式の設計等に関わる知識データベースの概念設計ならびに詳細設計の一部を実施し、知識データ収集用のシステムの構築と試験的な運用を実施した。	○
(2) BEANS知識データの蓄積、充実化と編集		
(2)-1 BEANS知識データの蓄積 本研究開発事業の各BEANS研究センターにおける研究開発の成果、及び国内外の学会等における発表論文や技術文献等から当該知識データベースに有用な知識データについて、知識データの収集、登録を実施する。	合計60件以上の目標を達成。	○
(2)-2 BEANS知識データの充実化 各WGの編纂方針、研究テーマに基づき、知識データの収集、登録を実施する。	知識DB編纂委員会にて決定した合計130件以上の知識データを登録した。	○
(2)-3 BEANS知識データの編集 知識データの詳細分類について知識データベース編纂委員会にて情報分類カテゴリの分類を決定する。	知識データのカテゴリ分類に対して知識DB編纂WGによる検討から知識データベース編纂委員会にて最終的に決定した。	○

ii. 平成 21 年度の研究成果内容

表 49 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」の研究成果(平成 21 年度)

項目/目標	成果	達成評価
(1) BEANS知識データベース・システムの機能構築 平成20年度に実施したデータベース・システムの概念設計ならびに一部完了した詳細設計に基づき、詳細設計を完了し、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・システムを構築する。また、知識データベース・システムにおける知識データの入力及び表示方式、検索方法等に関わる機能について検討し機能向上を図る。さらに、データベース・システムの拡充に対応できるように、データベース構築設備増強を行う。	BEANS知識データの多様なカテゴリ分類に対応するため、編集者が操作しやすく、データの誤操作の少ないカテゴリ追加・変更機能の設計、実装をおこなった。カテゴリ情報は、知識データの利用価値向上を図るため、複数分類項目の選択を可能にした。編集者の利便性向上のため、編集者の要望を踏まえた編集者支援機能、および、登録記事数の管理や編集意欲の向上のため、記事数の集計表示機能を設けた。さらに、データベース・システムのバックアップ、データ拡充に対応できるように、データベース構築設備増強をおこなった。	○
(2) BEANS知識データの蓄積、充実化と編集		
(2)-1 BEANS知識データの蓄積 本研究開発事業の各BEANSセンターにおける研究成果（研究データや科学技術的知見）、および関連する国内学会（電気学会センサシンポジウム（H21年10月東京）等）、国際会議（MNE2009、ベルギー等）への参加等により知識データを蓄積する。	BEANS知識データの蓄積では本研究開発事業の各BEANSセンターにおける研究成果（研究データや科学技術的知見）、および関連する国内外会議への参加等により知識データの蓄積を実施し、189件の知識データを登録した。	◎
(2)-2 BEANS知識データの充実化 上記知識データを補完するため、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、異分野融合分野で新しいライフスタイルを創出する次世代デバイス、製造技術関連の知識データをデータベースに蓄積し、充実化を図る。	知識データベース編纂委員会の4ワーキング・グループにより異分野融合分野における新しいライフスタイルを創出する次世代デバイス、製造技術関連の知識データを322件登録した。知識データとしては、知識データの蓄積、充実化を合わせて500件以上のデータ登録を完了し、中間目標を達成した。	◎
(2)-3 BEANS知識データの編集 知識データベース編纂委員会および4つのWGにより、BEANS知識データのカテゴリ分類の変更・追加、知識データの質的向上、BEANS知識データベース・システムの機能向上のための検討を行い、実現する。	BEANS知識データベース編纂委員会および4ワーキング・グループにより、BEANS知識データのカテゴリ分類の変更・追加の検討、知識データの質的向上、BEANS知識データベース・システムの機能向上のための検討を実施し、知識データベース・システムの機能向上を実現した。また、知識DB編纂委員会にて、登録された知識データの紹介を実施した。	○

iii. 平成 22 年度の研究成果見込み

表 50 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」の研究成果(平成 22 年度)

項目/目標	成果(見込)	達成評価
(1) BEANS知識データベース・システムの機能構築 平成21年度に構築され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・システムについて、知識データベース編集委員会で検討された機能やカテゴリ分類を知識データベース・システムに反映し、データベース・システムの機能性向上を実現する。	年4回開催の知識データベース編集委員会による機能、内容に関する意見をシステム機能向上に逐次反映していくことで目標達成となる見込み。	達成見込み
(2) BEANS知識データの蓄積、充実化と編集		
(2)-1 BEANS知識データの蓄積 引き続き、本研究開発事業の各BEANSセンターにおける研究成果(研究データや科学技術的知見)、および関連する国内学会(第27回センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム等)、国際会議(MicroTAS2010, オランダ)等への参加等により知識データを蓄積し、内容充実を図る。	研究開発事業の進捗成果が充実することで、知識データへの登録数も増加すると考えており、知識データ登録数の拡大が加速され可能となる見込み。	達成見込み
(2)-2 BEANS知識データの充実化 引き続き、上記知識データを補完するため、4つのWGにより次世代デバイス、製造技術関連の知識データをデータベースに蓄積し、充実化を図る。	知識データの充実化として、4つのWGに知識データの蓄積を依頼することで達成可能となる見込み。	達成見込み
(2)-3 BEANS知識データの編集 知識データの質的な向上に重点を置き、知識データベース編集委員会による検討を実施し、知識データベースの質的向上を実現する。	知識データベース編集委員会による議論により質的向上手法を検討し、内容を反映することにより達成可能となる見込み。	達成見込み

IV. 実用化の見通しについて

1. 実用化の見通し

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、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は補足資料（非公開）に示すように出口イメージを明確に持って参画している。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 年の事業化を予想している。開発の各段階で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。

代表的な実用化計画を図 32に示す。本プロジェクトの中間評価までに基本要素研究を終了し、残り2年でプラットフォーム化を行う。実用化に近い項目に関しては一部実証研究も実施する予定である。プロジェクト終了後は実証研究を 2～3 年実施後、実用化研究および製品化の流れになっている。バイオ医療分野では厚生労働省の認可の関係上、プラットフォーム研究の後、橋渡し研究、前臨床研究/治験実験の流れとなる。

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ピンアウト第 1 号テーマとしてスピンアウトさせた。また、デバイス化研究へ移行が可能となった粒子配列技術、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、デバイス化技術開発の加速を図っている。

国際標準化に関しても、萌芽技術であるにも関わらず、プロジェクト当初から標準化委員会を設置して、BEANS 技術に関する標準化の検討を行い、まずは用語の標準化を図るべく、ワーキンググループを設置して、IEC での標準化を目指した活動を行っている。

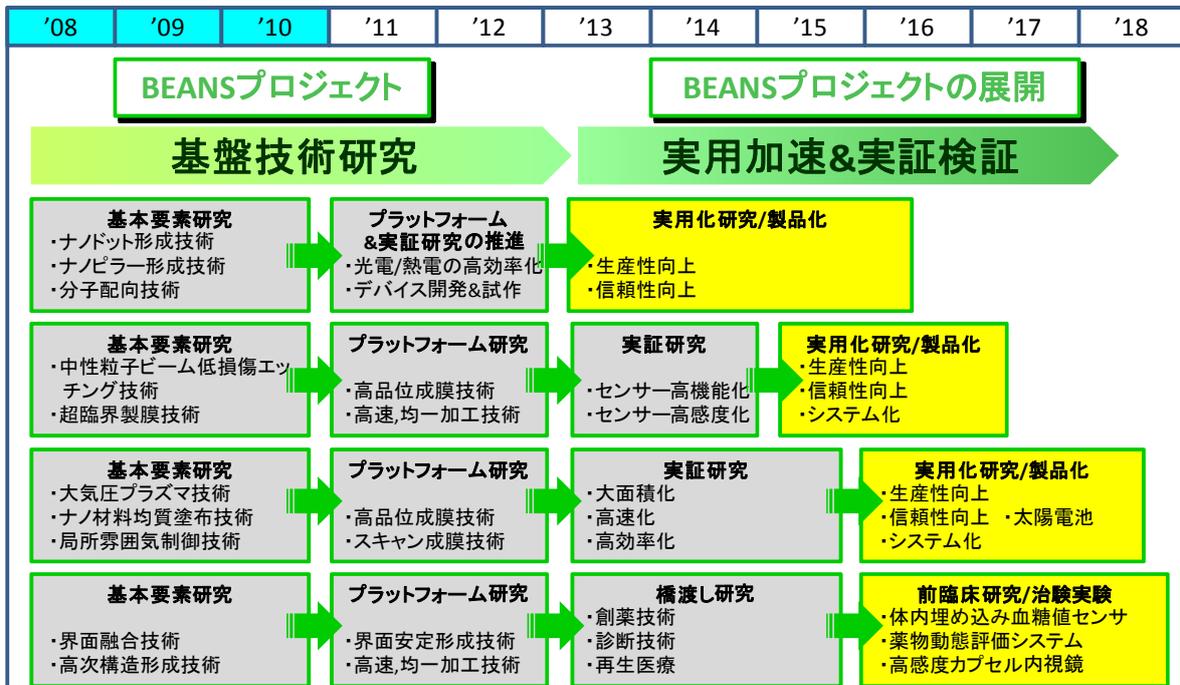


図 32 実用化計画

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大きい。「III.1.2.2成果による市場の拡大あるいは市場の創造」の項目で詳しく述べたが、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構築・整備を図っており、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を構築している。

さらに、知財展開に関しても、国内初の知財プロデューサの派遣を受け、戦略的な知財の取得を図るとともに、産学官が連携した国家プロジェクトの知財のあり方としては成果展開を初めから考慮し、技術研究組合 BEANS 研究所にサブライセンス権を付与する新しい知財の枠組みを構築し、広く世の中から注目を浴びている。

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、学会発表での表彰を受け、大学の教員として転出する事例も生まれている。