

システム技術開発調査研究  
18-R-1

MEMSフロンティアとしての  
ナノ・バイオとの融合による未来デバイス技術に関する調査研究

報 告 書

- 要 旨 -

平成19年3月

財団法人 機械システム振興協会  
委託先 財団法人 マイクロマシンセンター

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。  
URL : <http://keirin.jp/>



## 序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムの調査研究等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長 政策研究院 リサーチフェロー 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を実施しております。

この「MEMS フロンティアとしてのナノ・バイオとの融合による未来デバイス技術に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人マイクロマシンセンターに委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成19年3月

財団法人機械システム振興協会

## はじめに

MEMS 技術は、情報通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野に適用され、センサ(力、加速度、赤外線等)、光通信(スイッチ、導波路等)、高周波(スイッチ、フィルタ、アンテナ等)、及び流体・気体制御等の用途における、小型、高精度で省エネルギー性に優れた高性能のキーデバイスとして、我が国製造業の基幹部品の高付加価値化、差異化による国際競争力強化に資するものと認識されるにいたっている。

一方、わが国のアトムプロジェクトに端を発したナノテクノロジーの研究開発は、米国 National Nanotechnology Initiative(NNI)、EU の 6th Framework Project (FP6) 等世界レベルでの研究開発が進展し、カーボンナノチューブ、量子ドット等ナノ材料研究から従来とは異なる原理原則に基づく新機能デバイスが生み出されつつある。また、21世紀は生命科学の世紀であり、バイオテクノロジーの世紀といわれており、バイオテクノロジーの進歩は、人間生活の基本である「生きる」、「食べる」、「暮らす」の三場面のあり方を抜本的に変えるインパクトを持ち得る極めて大きな技術革新である。と期待されている。このような状況の中、最近注目されているのがナノ・バイオ融合という概念である。バイオテクノロジーの科学知識と技術をナノテクノロジーと融合することにより、新物質、新技術、新システム等の創製を目指す研究である。

本調査研究事業は、財団法人機械システム振興協会より「MEMSフロンティアとしてのナノ・バイオとの融合による未来デバイス技術に関する調査研究」として委託を受けて、財団法人マイクロマシンセンターが実施したもので、20年後の社会に革新的なインパクトを与え、新たなライフスタイルを創出する未来デバイスを提案し、その実現に必要な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したマイクロナノ統合製造技術について調査研究を行い、イノベーション 25 をすすめる産官学連携での具体的研究対象と内容、およびイノベーションスーパーハイウェイ構想を実現する推進体制をとりまとめて、取り組み方の提言を行った。

この調査研究の成果が関係各方面において広くご利用頂ければ幸いである。

平成19年3月

財団法人 マイクロマシンセンター

## 目 次

---

序

はじめに

1 . 調査研究の目的、及び実施方法

1 - 1 調査研究の目的..... 1

1 - 2 調査研究の実施方法..... 2

2 . 第3世代 MEMS 技術開発への取り組みの必要性

2 - 1 MEMS 市場の推移と研究開発..... 1 4

2 - 2 ナノ・バイオとの融合によるマイクロナノ統合製造技術..... 1 6

3 . BEANS (Bio Electro-mechanical Autonomous Nano Systems) 開発への取り組み

3 - 1 BEANS の概念..... 1 9

3 - 2 BEANS が実現する 20 年後の社会トレンドとライフスタイル..... 2 1

4 . BEANS 実現に向けた方策提案

4 - 1 BEANS の全体像..... 3 6

4 - 2 イノベーションスーパーハイウェイ構想実現のための方策提言..... 3 9

4 - 3 BEANS 研究体..... 4 2

5 . 調査研究の今後の課題及び展開..... 4 4

# 1 . 調査研究の目的、及び実施方法

## 1 - 1 調査研究の目的

現在 MEMS 技術は、情報通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野に適用され、センサ（力、加速度、赤外線等）、光通信（スイッチ、導波路等）、高周波（スイッチ、フィルタ、アンテナ等）及び流体・気体制御等の用途における、小型、高精度で省エネルギー性に優れた高性能のキーデバイスとして、我が国製造業の基幹部品の高付加価値化、差異化による国際競争力強化に資するものと認識されるにいたっている。

一方、我が国のアトムプロジェクトに端を発したナノテクノロジーの研究開発は、米国 National Nanotechnology Initiative(NNI)、EU の 6th Framework Project (FP6) 等世界レベルでの研究開発が進展し、カーボンナノチューブ、量子ドット等ナノ材料研究から従来とは異なる原理原則に基づく新機能デバイスが生み出されつつある。また、21世紀は生命科学の世紀であり、バイオテクノロジーの世紀といわれており、バイオテクノロジーの進歩は、人間生活の基本である「生きる」、「食べる」、「暮らす」の三場面のあり方を抜本的に変えるインパクトを持ち得る極めて大きな技術革新である。[1]と期待されている。このような状況の中、最近注目されているのがナノ・バイオ融合という概念である。バイオテクノロジーの科学知識と技術をナノテクノロジーと融合することにより、新物質、新技術、新システム等の創製を目指す研究である。

平成 16 年度に実施した「マイクロナノシステムに係わる加工組立・計測評価・ハンドリング技術に関する調査研究」において、第 2 世代 MEMS として、MEMS 技術とナノテクノロジーの結合を提言し、その成果として、平成 18 年度の国プロ「高集積・複合 MEMS 製造技術プロジェクト」においてナノ機能と MEMS の複合が MEMS / 半導体集積、MEMS / MEMS 集積にと並び重点的に取り組まれている。そこで、本調査研究では、この流れをさらに進め、MEMS フロンティアとして 20 年後の社会に革新的インパクトを与え、新しいライフスタイルを生み出すデバイス：未来デバイスを MEMS 技術とナノ・バイオとの融合により創製すること、そのために必要なプロセス技術を定義すること、さらにデバイス・プロセスの研究開発を長期的視野で進め、日本の国際競争力の強化につながる国プロのあり方を提案することが本調査研究の目的である。

本調査研究では、以下の事項について調査・検討を行う。

- 1) MEMS フロンティアにおけるシーズ技術の調査研究
- 2) MEMS フロンティア技術の産業、社会への貢献イメージの構築
- 3) 取り組みテーマの選出
- 4) 研究開発推進体制に関する調査、検討、および提言
- 5) 期待される成果と成果の展開

## 参考文献

[1] バイオテクノロジー戦略会議，“バイオテクノロジー戦略大綱”，2002，  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/bt/kettei/021206/taikou.html>

## 1 - 2 調査研究の実施方法

### 1 - 2 - 1 アプローチ

- ・ 未来デバイスの定義：MEMS をベースにバイオ・ナノ材料を融合させたデバイスで、20 年後の社会をターゲットに新しいライフスタイルを創出し革新的インパクトを与えるデバイス
- ・ プロセスインテグレーションの定義：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したマイクロナノ統合製造技術
- ・ 20 年後の社会の重点課題として環境・エネルギー、健康・医療、快適・安心・安全の3つをあげ、それに関わる未来デバイスをそれぞれグリーンデバイス、ホワイトデバイス、ブルーデバイスと称し、デバイスを実現するプロセスインテグレーションと合わせ4分科会を設けることで、広範な調査研究を専門的にも深く行う

### 1 - 2 - 2 調査研究の内容・範囲

#### ( 1 ) MEMS フロンティアにおけるシーズ技術の調査研究

グリーンデバイス、ホワイトデバイス、ブルーデバイス、及びプロセスインテグレーションの4つの方向性に注目し革新的未来デバイスへのシーズとその可能性、シーズ同士の繋ぎ合わせによる機能の革新などについて幅広い調査研究を行う。

#### ( 2 ) MEMS フロンティア技術の産業、社会への貢献イメージの構築

我が国産業社会への貢献イメージ作りを行い、その実現性と効果の度合いから取り組むべきテーマの達成レベルや社会貢献度に関する調査分析を行う。プロセスインテグレーションに関してはデバイスへの革新性も明確化する。

#### ( 3 ) 取り組みテーマの選出

上記調査研究に基づき、4領域に関する具体的な研究開発の方針、目標レベル、シナジー効果に関する検討を行い、有望テーマを選出する。

#### ( 4 ) 研究開発推進体制に関する調査、検討、および提言

上記の調査研究で抽出した有望テーマ毎の個別目標、研究者と参画企業のフォーメーション

など国家プロジェクトとしての取り組み方に関する提言を行う。

### (5) 期待される成果と成果の展開

調査研究の成果として平成 20 年開始を想定した次期国家プロジェクトをテーマの方向性、推進体制を含め提言する。

また、基盤技術であるマイクロナノ統合製造技術の中で革新的な未来デバイス開発のブレークスルーとなる重点開発テーマを抽出し、それを実現するための開発体制等の検討を含め、イノベーションスーパーハイウェイ構想に則った産官学一体の科学技術政策、産業政策を提言する。

## 1 - 2 - 2 実施体制

### (1) 実施体制

本調査研究の実施にあたっては、財団法人マイクロマシンセンターの中に、学識経験者、MEMS 技術研究者からなる調査研究委員会、及び 4 分科会を設置し、上記の内容の調査研究を行った。

実施体制とその役割分担を図 1-2-1 に示す。

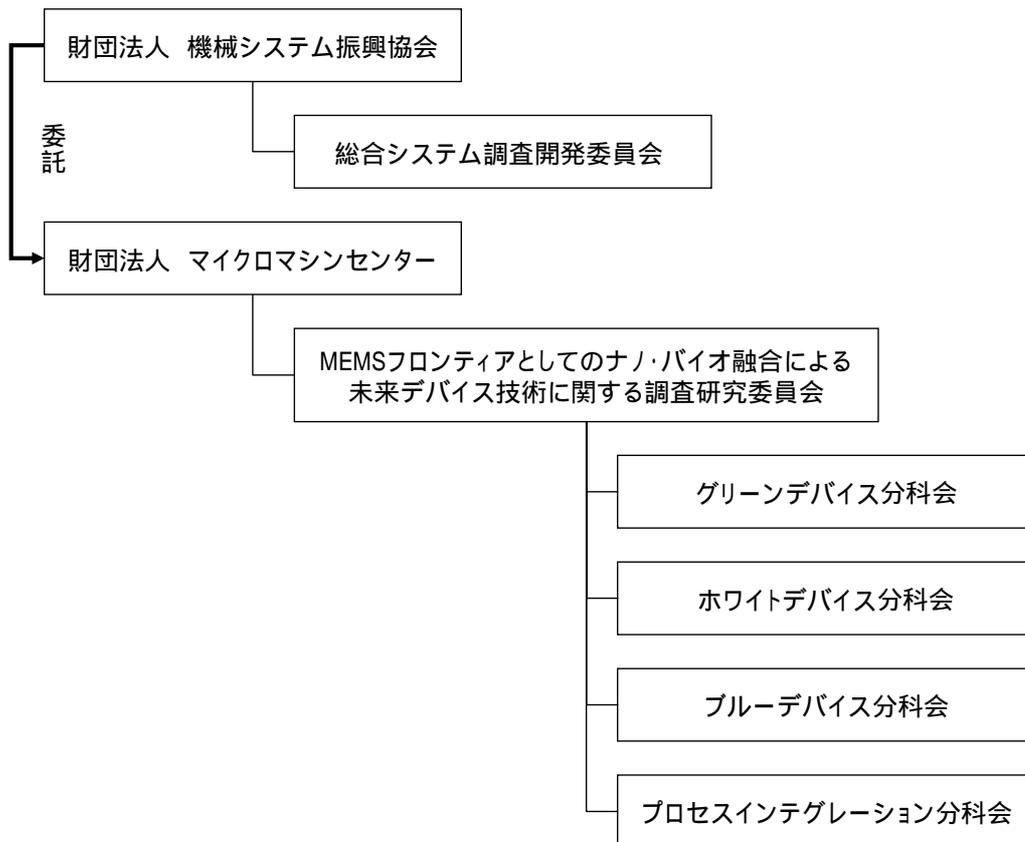


図 1-2-1 調査研究事業実施体制

### (2) 業務分担

## **MEMS フロンティアとしてのナノ・バイオ融合による未来デバイス技術に関する調査 研究委員会**

- ・本調査研究事業の進め方や分科会における調査内容の検討
- ・分科会における調査結果の検討
- ・MEMS フロンティア技術の産業、社会への貢献イメージの構築
- ・取り組みテーマの選出
- ・研究開発推進体制に関する調査、検討、および提言

### **グリーンデバイス分科会**

- ・環境・エネルギー分野の 20 年後の社会トレンドの想定
- ・インパクトの大きな、ライフスタイルを創出し得るデバイスの提案
- ・デバイス実現のための技術課題、課題解決手法の提案

### **ホワイトデバイス分科会**

- ・健康・医療分野の 20 年後の社会トレンドの想定
- ・インパクトの大きな、ライフスタイルを創出し得るデバイスの提案
- ・デバイス実現のための技術課題、課題解決手法の提案

### **ブルーデバイス分科会**

- ・快適・安心・安全分野の 20 年後の社会トレンドの想定
- ・インパクトの大きな、ライフスタイルを創出し得るデバイスの提案
- ・デバイス実現のための技術課題、課題解決手法の提案

### **プロセスインテグレーション分科会**

- ・マイクロナノ統合製造技術分野のシーズ技術をトップダウン・ボトムアップ  
双方から鳥瞰
- ・デバイス提案との関連でプラットフォームとなり得る技術の提案
- ・プロセス開発のための技術課題、課題解決手法の提案

総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	政策研究院 リサーチフェロー	藤 正 巖
委 員	埼玉大学 地域共同研究センター 教授	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 副研究部門長	金 丸 正 剛
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

MEMS フロンティアとしてのナノ・バイオ融合による  
未来デバイス技術に関する調査研究委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京大学 生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター 教授、センター長	藤田博之
副委員長	セイコーインスツル株式会社 技術本部技術企画グループ 部長	古田一吉
委員	大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授	竹内芳美
委員	京都大学大学院 工学研究科マイクロエンジニアリング専攻 教授	小寺秀俊
委員	慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 専任講師	三木則尚
委員	首都大学東京 システムデザイン学部 ヒューマンメカトロニクスシステムコース 教授	諸貫信行
委員	東京工業大学 精密工学研究所 精機デバイス部門 超微細加工研究分野 教授	新野秀憲
委員	東京大学 大学院 情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 教授	下山勲
委員	東京大学 生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター 助教授	竹内昌治
委員	東京大学 大学院 工学系研究科 電気工学専攻 助教授	三田吉郎

委員	立命館大学 理工学部 マイクロ機械システム学科 教授	杉 山 進
委員	独立行政法人 産業技術総合研究所 企画本部 ナノテクノロジー・材料・製造チーム 企画主幹	石 田 敬 雄
委員	株式会社アルバック 技術開発部 第4研究部 部長 兼 MEMS プロジェクト室長	不 破 耕
委員	沖電気工業株式会社 半導体事業グループ 研究本部 デバイス研究開発部	五 十 嵐 泰 史
委員	オムロン株式会社 技術本部 先端デバイス研究所 技術マーケティンググループ グループ長	渡 辺 秀 明
委員	オリンパス株式会社 研究開発センター MEMS 開発本部 プロセス技術部 技術3グループ 課長代理	長 谷 川 友 保
委員	株式会社数理システム 科学技術部 部長 取締役	水 田 千 益
委員	ソニー株式会社 コアコンポーネント事業グループ コアテクノロジー開発本部 マイクロデバイス開発部 新規デバイス開発担当部長	田 中 浩 一
委員	株式会社デンソー 基礎研究所 部長	川 原 伸 章
委員	株式会社東芝 研究開発センター 研究企画室 技術管理担当 参事	吉 原 邦 夫
委員	株式会社日立製作所 機械研究所 第1部 研究員	塚 田 修 大

- |    |                                               |       |
|----|-----------------------------------------------|-------|
| 委員 | 株式会社フジクラ 電子デバイス研究所<br>シリコン技術開発部 部長            | 橋本 廣和 |
| 委員 | 富士電機システムズ株式会社 機器本部 東京工場<br>副工場長 兼 ファインテック機器部長 | 友高 正嗣 |
| 委員 | 松下電工株式会社 微細プロセス開発センター<br>ファイン実装・評価グループ グループ長  | 久保 雅男 |
| 委員 | 松下電工株式会社 デザイン部<br>「新」都市生活開発グループ               | 最所 祐二 |
| 委員 | みずほ情報総研株式会社 科学技術部 MEMS室<br>シニアコンサルタント         | 佐藤 淳史 |
| 委員 | 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所<br>センシング技術部 部長             | 福本 宏  |
| 委員 | 横河電機株式会社 技術開発本部 先端技術研究所<br>プロジェクトマネージャー       | 平田 隆昭 |

グリーンデバイス分科会

(順不同・敬称略)

- |     |                                                  |        |
|-----|--------------------------------------------------|--------|
| 委員長 | 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科<br>専任講師                        | 三木 則尚  |
| 委員  | 九州工業大学 生命体工学研究科 生体機能専攻<br>生体熱工学研究室 助教授           | 宮崎 康次  |
| 委員  | 九州大学 未来化学創造センター 光機能材料部門<br>(大学院・工学府・物理創造工学専攻) 教授 | 安達 千波矢 |

- |    |                                                 |       |
|----|-------------------------------------------------|-------|
| 委員 | 独立行政法人 産業技術総合研究所 企画本部<br>ナノテクノロジー・材料・製造チーム 企画主幹 | 石田 敬雄 |
| 委員 | セイコーインスツル株式会社 技術本部技術企画グループ<br>部長                | 古田 一吉 |
| 委員 | 株式会社東芝 研究開発センター<br>機械・システムラボラトリー 研究主務           | 古賀 章浩 |
| 委員 | 株式会社日立製作所 機械研究所 第1部<br>研究員                      | 塚田 修大 |
| 委員 | 松下電工株式会社 EMI Tデバイス開発部<br>素子開発グループ               | 高野 仁路 |
| 委員 | 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所<br>センシング技術部 部長               | 福本 宏  |
| 委員 | 東京大学 大学院 情報理工学系研究科<br>知能機械情報学専攻 教授              | 下山 勲  |

#### ホワイトデバイス分科会

(順不同・敬称略)

- |     |                                         |       |
|-----|-----------------------------------------|-------|
| 委員長 | 東京大学 生産技術研究所<br>マイクロメカトロニクス国際研究センター 助教授 | 竹内 昌治 |
| 委員  | 京都大学 医学部附属病院 臓器移植医療部<br>助手              | 興津 輝  |
| 委員  | 東京大学 大学院 情報理工学系研究科<br>システム情報学専攻 特任講師    | 鈴木 隆文 |

- |    |                                                         |        |
|----|---------------------------------------------------------|--------|
| 委員 | 東北大学 先進医工学研究機構 ナノメディシン分野<br>助教授                         | 芳賀 洋一  |
| 委員 | 立命館大学 理工学部 マイクロ機械システム工学科<br>教授                          | 小西 聡   |
| 委員 | 独立行政法人 産業技術総合研究所<br>先進製造プロセス研究部門 マイクロ熱流体研究グループ<br>主任研究員 | 松本 壮平  |
| 委員 | オリンパス株式会社 研究開発センター<br>MEMS開発本部 プロセス技術部 技術3グループ<br>課長代理  | 長谷川 友保 |
| 委員 | 株式会社東芝 研究開発センター<br>先端電子デバイスラボラトリー 研究主務                  | 細野 靖晴  |
| 委員 | みずほ情報総研株式会社 科学技術部 MEMS室<br>チーフコンサルタント                   | 岩崎 拓也  |
| 委員 | 東京大学 生産技術研究所<br>マイクロメカトロニクス国際研究センター<br>教授、センター長         | 藤田 博之  |

ブルーデバイス分科会

(順不同・敬称略)

- |     |                               |       |
|-----|-------------------------------|-------|
| 委員長 | 東京大学 大学院 工学系研究科 電気工学専攻<br>助教授 | 三田 吉郎 |
| 委員  | 東京大学 大学院 工学系研究科 総合研究機構<br>助教授 | 杉山 正和 |

- |    |                                                      |       |
|----|------------------------------------------------------|-------|
| 委員 | 東京大学 大学院 工学系研究科<br>量子相エレクトロニクス研究センター 助教授             | 染谷 隆夫 |
| 委員 | 立命館大学 理工学部 マイクロ機械システム工学科<br>教授                       | 木股 雅章 |
| 委員 | 独立行政法人 産業技術総合研究所<br>先進製造プロセス研究部門<br>ネットワークMEMS研究グループ | 一木 正聡 |
| 委員 | オムロン株式会社 技術本部 先端デバイス研究所<br>技術マーケティンググループ             | 樋口 誠良 |
| 委員 | みずほ情報総研株式会社 科学技術部 MEMS室<br>室長                        | 入江 康郎 |
| 委員 | 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所<br>センシング技術部 MEMS プロセスG            | 出尾 晋一 |
| 委員 | 横河電機株式会社 技術開発本部 先端技術研究所<br>プロジェクトマネージャー              | 平田 隆昭 |
| 委員 | 立命館大学 理工学部 マイクロ機械システム学科<br>教授                        | 杉山 進  |

プロセスインテグレーション分科会

(順不同・敬称略)

- |     |                                             |       |
|-----|---------------------------------------------|-------|
| 委員長 | 首都大学東京 システムデザイン学部<br>ヒューマンメカトロニクスシステムコース 教授 | 諸貫 信行 |
|-----|---------------------------------------------|-------|

副委員長	独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 ファインファクトリ研究グループ	芦 田 極
委 員	香川大学 工学部 知能機械システム工学科 教授	橋 口 原
委 員	東北大学 流体科学研究所 流体融合研究センター 知的ナノプロセス研究分野 教授	寒 川 誠 二
委 員	独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 インプリント製造技術研究グループ	銘 苺 春 隆
委 員	株式会社アルバック 技術開発部 第4研究部 部長 兼 MEMS プロジェクト室長	不 破 耕
委 員	沖電気工業株式会社 半導体事業グループ 研究本部 デバイス研究開発部	五 十 嵐 泰 史
委 員	株式会社数理システム 科学技術部 部長 取締役	水 田 千 益
委 員	ソニー株式会社 コアコンポーネント事業グループ コアテクノロジー開発本部マイクロデバイス開発部 新規デバイス開発担当部長	田 中 浩 一
委 員	株式会社デンソー 基礎研究所 部長	川 原 伸 章
委 員	株式会社東芝 生産技術センター 部品技術研究センター	益 永 孝 幸
委 員	株式会社フジクラ 電子デバイス研究所 シリコン技術開発部 部長	橋 本 廣 和

- |    |                                               |         |
|----|-----------------------------------------------|---------|
| 委員 | 富士電機システムズ株式会社 機器本部 東京工場<br>副工場長 兼 ファインテック機器部長 | 友 高 正 嗣 |
| 委員 | 松下電工株式会社 微細プロセス開発センター<br>ファイン実装・評価グループ グループ長  | 久 保 雅 男 |
| 委員 | みずほ情報総研株式会社 科学技術部MEMS室<br>シニアコンサルタント          | 浅 海 和 雄 |
| 委員 | 大阪大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻<br>教授                   | 竹 内 芳 美 |
| 委員 | 京都大学 大学院 工学研究科<br>マイクロエンジニアリング専攻 教授           | 小 寺 秀 俊 |
| 委員 | 東京工業大学 精密工学研究所 精機デバイス部門<br>超微細加工研究分野 教授       | 新 野 秀 憲 |

マイクロマシンセンター事務局・研究員

- |        |         |
|--------|---------|
| 専務理事   | 青 柳 桂 一 |
| 調査研究部長 | 小 池 智 之 |
| 調査研究次長 | 安 達 淳 治 |
| 研究開発課長 | 磯 川 俊 彦 |

## 2 . 第3世代 MEMS 技術開発への取り組みの必要性

### 2 - 1 MEMS 市場の推移と研究開発

現在 MEMS 技術は、情報通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野に適用され、センサ（力、加速度、赤外線等）、光通信（スイッチ、導波路等）、高周波（スイッチ、フィルタ、アンテナ等）及び流体・気体制御等の用途における、小型、高精度で省エネルギー性に優れた高性能のキーデバイスとして、我が国製造業の基幹部品の高付加価値化、差異化による国際競争力強化に資するものと認識されるにいたっている。市場規模も平成 18 年度 NEDO 事業、(財)マイクロマシンセンター受託実施の市場動向調査によると、平成 17 年度（2005 年度）の国内 MEMS 市場は約 4,400 億円に達している。また、2010 年には約 1 兆 1,700 億円、2015 年には 2 兆 4,000 億円で市場規模が拡大すると予測している（図 2-1-1）

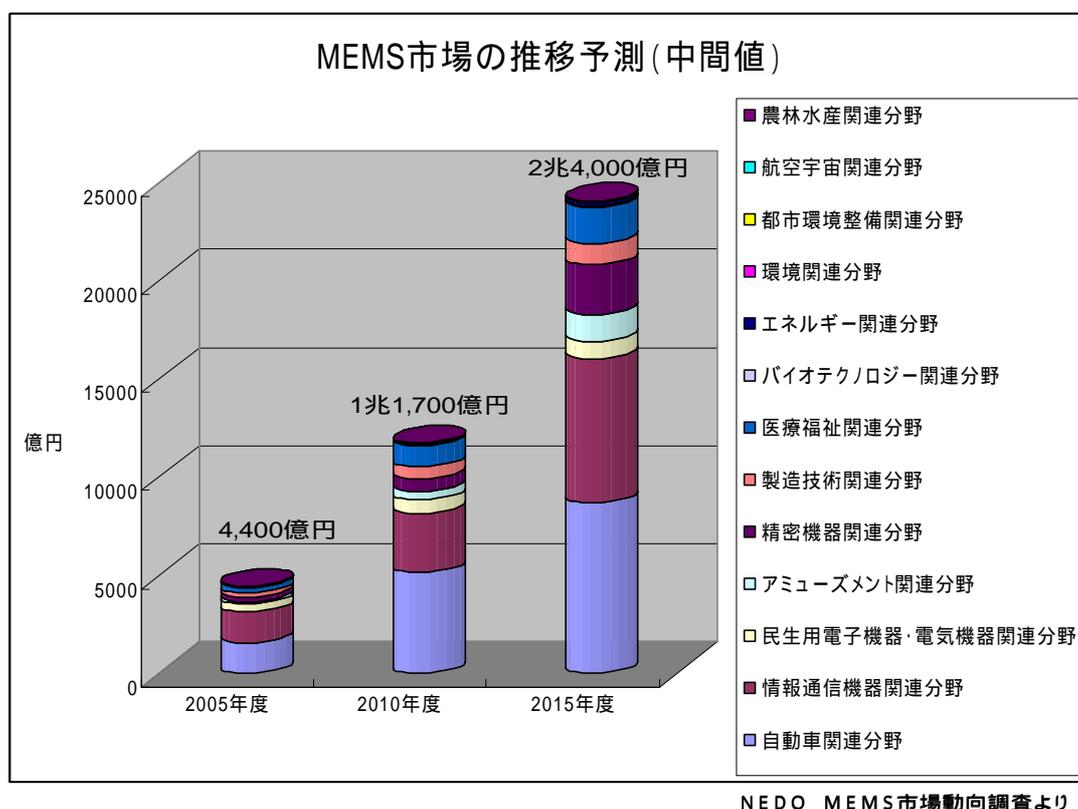


図 2-1-1 MEMS 国内市場の推移

現状でも既に大きな市場を持つ自動車、情報通信分野が引き続き成長し 10 年後は 7～8,000 億円の大きな市場となると予測している。一方最も大きく伸びると予測しているのがアミューズメント分野で 10 年間に約 13 倍の市場となると予告している。また、医療・福祉分野も伸び率は大きく、7 倍強の伸びである。しかし、アンケート調査による市場拡大の期待が大きい、バイオテクノロジー関連、エネルギー関連、環境関連、都市環境整備関連の各分野は 10 年後も市場拡大はできていないという予測結果を示した。これは、こ

これらの分野では未だにキラーアプリケーションが見えていないため、期待感と乖離した結果となったと考えられる。2015年の市場を大きくし、それ以降の市場拡大を進めるにはバイオ、環境、エネルギー関連のデバイスが重要な位置を占めると考えられる。

MEMS産業化への国家レベルの取り組みは1991年開始のマクロマシン技術開発プロジェクトに始まる。この10年間続いたマイクロマシンプロジェクトにより今日のMEMSを支える基盤技術開発が行われ、MEMSデバイスメーカー、装置メーカーが生まれMEMS産業が立ち上がった。(図2-1-2)その後2003年から2005年のMEMSプロジェクトでは製造インフラが強化され、国内のMEMSファンドリービジネスが起これ、複数のファンドリーとユーザーを結ぶMEMSファンドリーサービスネットワークを構築し、産業への新規参入障壁が低くなり、研究開発も盛んに行われるようになった。さらに、MEMS-ONEプロジェクトではソフトインフラの強化に取り組み、初心者からエキスパートまでが使いやすい設計支援ツールと材料、及び知識データベースを組み合わせた統合設計支援ソフトウェアMemsONEが開発された。このMemsONEは2006年秋に版がリリースされ、2007年春には版がリリースされる予定である。

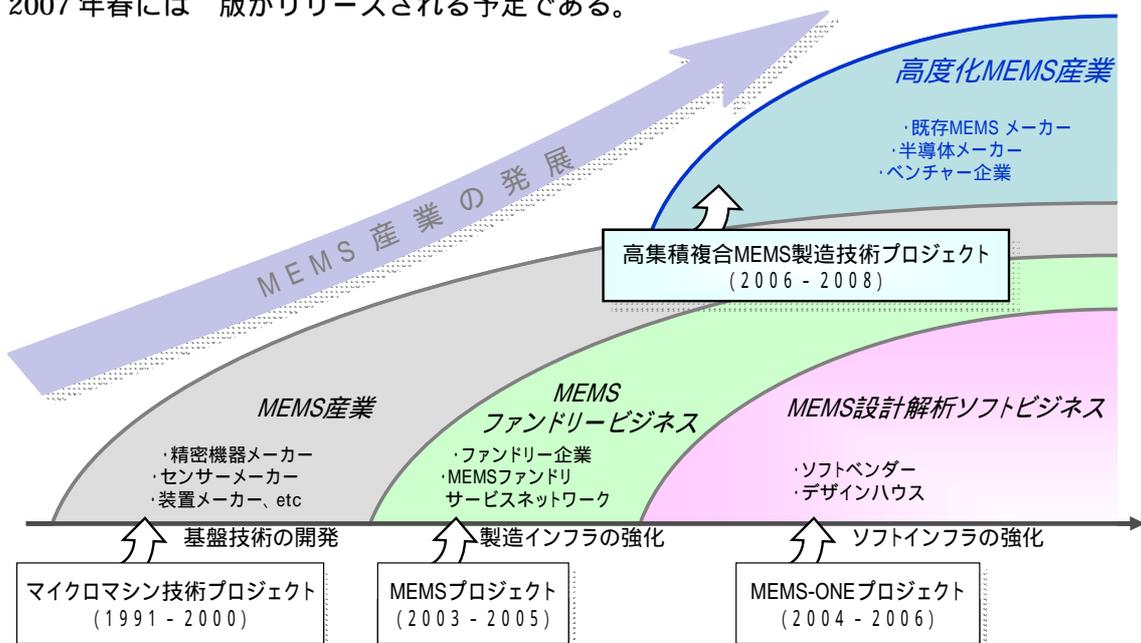


図 2-1-2 MEMS 産業を支える技術開発プロジェクト

上述の3つのプロジェクトがMEMS産業化の基盤づくりに貢献したとすると、2006年度から開始された「高集積複合MEMS製造技術プロジェクト(fineMEMS)」は2010年に向けた第2世代のMEMS開発を目指している。つまり、これまでの圧力センサー、加速度センサー、ジャイロセンサーなどの、いわゆる単機能MEMSに対して、高集積化と機能が複合化された第2世代MEMSで、その革新的な製造技術を確立するものである。市場が求めている高集積・複合化されたMEMSが実現すれば、新規の市場も含めて市場規模はさらに大きくなるものと考えられ、そのためのコア技術は異種材料と高度な3次元



セスのイメージを示す。寸法の大きな範囲では古典的な機械加工やビーム加工が適宜組合されて用いられると考えられるものの、位置決め精度などを保障するために温度を始めとする雰囲気制御が必須となろう。これに加え、高スループットや低コストでの製造を考えると転写技術が不可欠となる。単に形状を転写するという枠組みから更に発展させ、特定分子やバイオデバイスの転写・組立（組込み）を想定するとデバイス設計そのものにも影響を与える可能性がある。

ナノメートル以下の寸法範囲ではプローブを用いたトップダウン的なプロセスに加え、自己組織的なプロセス、すなわちボトムアッププロセスの適用が必須となろう。ただし、ラングミュア・プロジェクト法のような一様な単分子膜ではなく、場所によって異なる分子を固定化したり配向させる技術も求められよう。

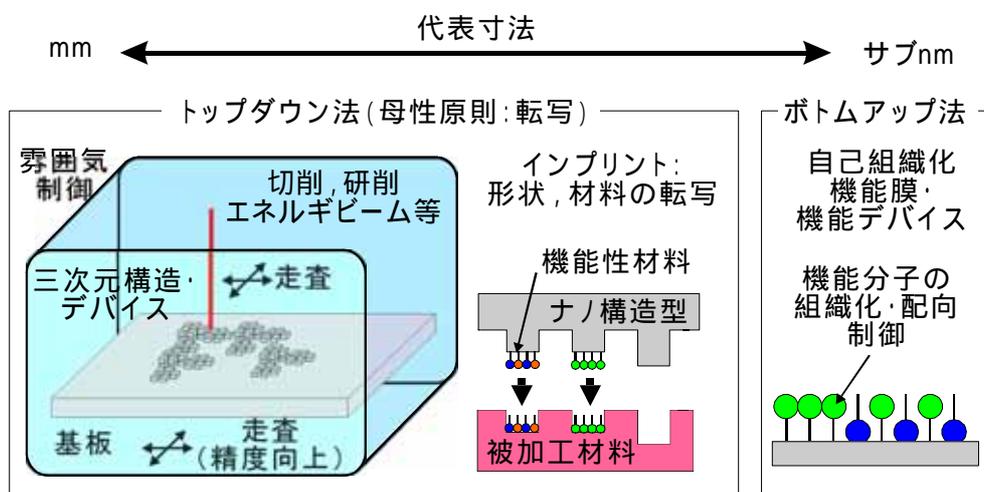


図 2-2-1 トップダウン・ボトムアップのシームレス統合プロセスの概念図

図 2-2-2 は統合プロセスのイメージを明細化したものを示す。同図には、加工組立プロセスの流れを左から右に向かって示し、個々のプロセスでの課題例も示してある。以下に個々の内容を説明する。

単品あるいは転写用の金型を製作するためには機械加工とビームプロセスでまず形状を製作する必要がある。ビームプロセスは真空環境が必要であるが、このような環境の大規模化と高精度化も課題となろう。母性原則に従うプロセスでは、機構の運動精度向上は常に付きまとう課題となる。さらにデバイス化に際しては、前述のように表面処理によって分子レベルでの付着や配向などが行われると考えられる。この領域ではバイオデバイスを含めた自己組織プロセスが適用されると考えられる。

このようにして製作される部品はディスクリットデバイスとしてパッケージングされることもあれば、この段階でできた金型を転写プロセスに持ち込んでインプリントや回路形成などまでを行い、さらにこれを積層化すると製品を高スループットで生産することも考えられる。まさに印刷のようにして次世代デバイスが大量生産されることも考えられる。

これらを一貫融合させたプロセスのイメージとしては同図下方に示したような構成となろう。真空を含めた雰囲気制御チャンバの間をプロセス対象が行き来しながら完成されていくと考えられる。転写プロセスに関しては寸法規模も大きく異なり、構成もこれとは全く異なったものになると考えられる。

このような多様な組合せからなるプロセスをシームレスに実現するためには、これらの個々の技術開発や適用範囲の明確化に加え、マルチスケールでのシミュレーションによる事前予測や設計援用技術の開発も必要となる。プロセスそのもののレンジも現状では  $10^6$  程度が限界となることが多く、モデリングやシミュレーションにおいてもこれだけのレンジを実現することは容易ではない。

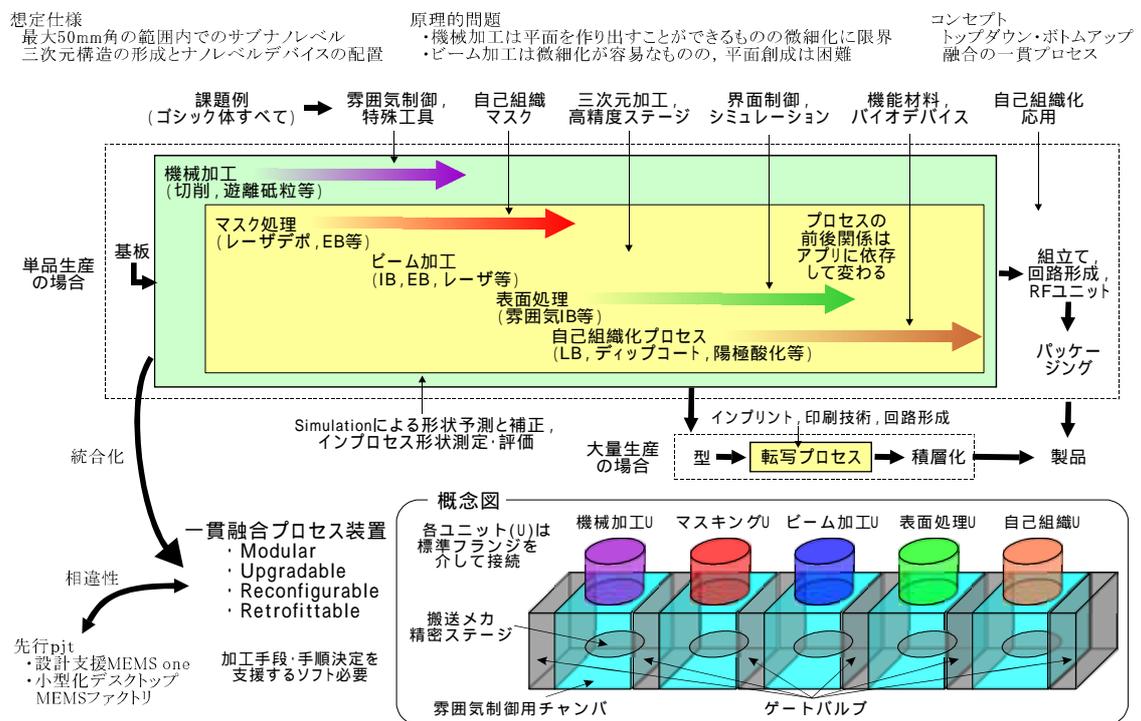


図 2-2-2 プロセスインテグレーションの一案

### 3 . BEANS ( Bio Electro-mechanical Autonomous Nano Systems ) 開発への取り組み

#### 3 - 1 BEANS の概念

図 3-1-1 の MEMS 産業のロードマップで示すように、MEMS は現在の小型・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。2015 年以降 2025 年に向けて、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。

我々はこの第 3 世代 MEMS の創出にはナノ・バイオとの融合がキーであり、応用分野も自動車・情報通信からさらに広がる必要があると考える。そこで、この MEMS を未来デバイスと仮に称し、「20 年後の社会に革新的インパクトを与え、新しいライフスタイルを創生するデバイス」と定義し、それを実現するプロセスインテグレーションを「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したマイクロナノ統合製造技術」と捉え、この未来デバイスが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」、「健康・医療」、「快適・安心・安全」分野で新しいライフスタイルを創出する革新的キーデバイスとして広く浸透しているとした。

この第 3 世代 MEMS は、第 2 世代 MEMS と比べ、材料・プロセス・応用分野全てにおいて不連続な変化を必要とされるデバイスである。そこで、これらデバイスを総称し「BEANS」とすることを提案する。

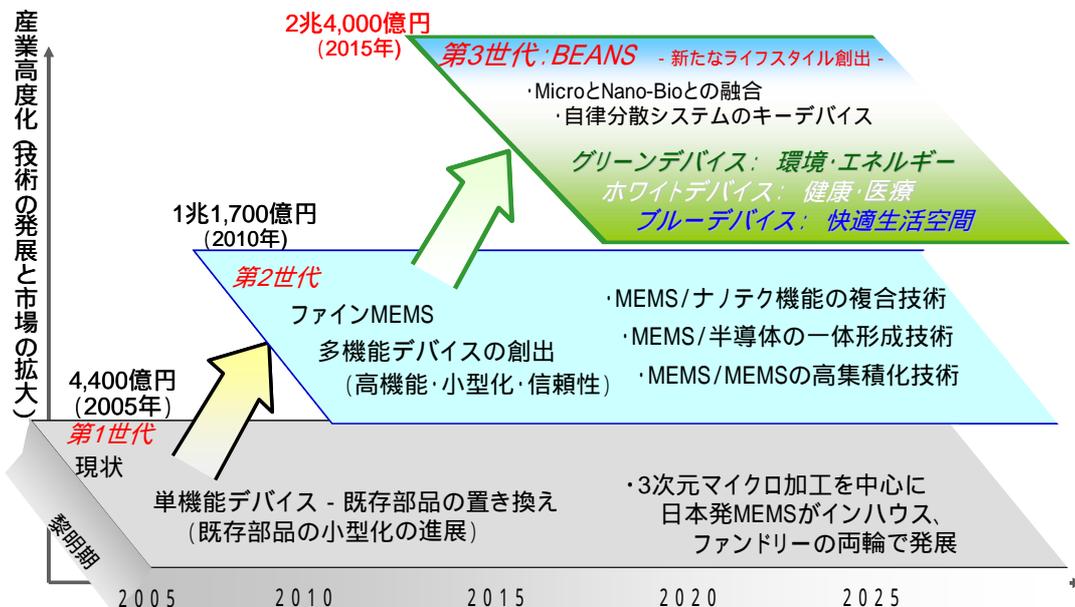


図 3-1-1 MEMS 産業・技術のロードマップ

BEANSとはBio Electro-mechanical Autonomous Nano Systemsの頭文字を取ったものでナノ・バイオと電気機械を融合し、自律分散で機能するデバイス・システムである。

また、一方BEANSには「産業のコメ」と呼ばれる半導体に対し、MEMSを「産業のマメ」と捉えることもその意味に含まれている。

このBEANSによって、これまで小型化～高集積化と連続的な進化続けてきたMEMSに不連続で革新的な変化を起こそうというものである。(図3-1-2)そして、我が国の産業競争力を強化するものづくり技術のコアとなる製造技術のプラットフォーム化を実現し、広い分野のライフスタイルを創出し、21世紀前半の社会に貢献することを目指す。

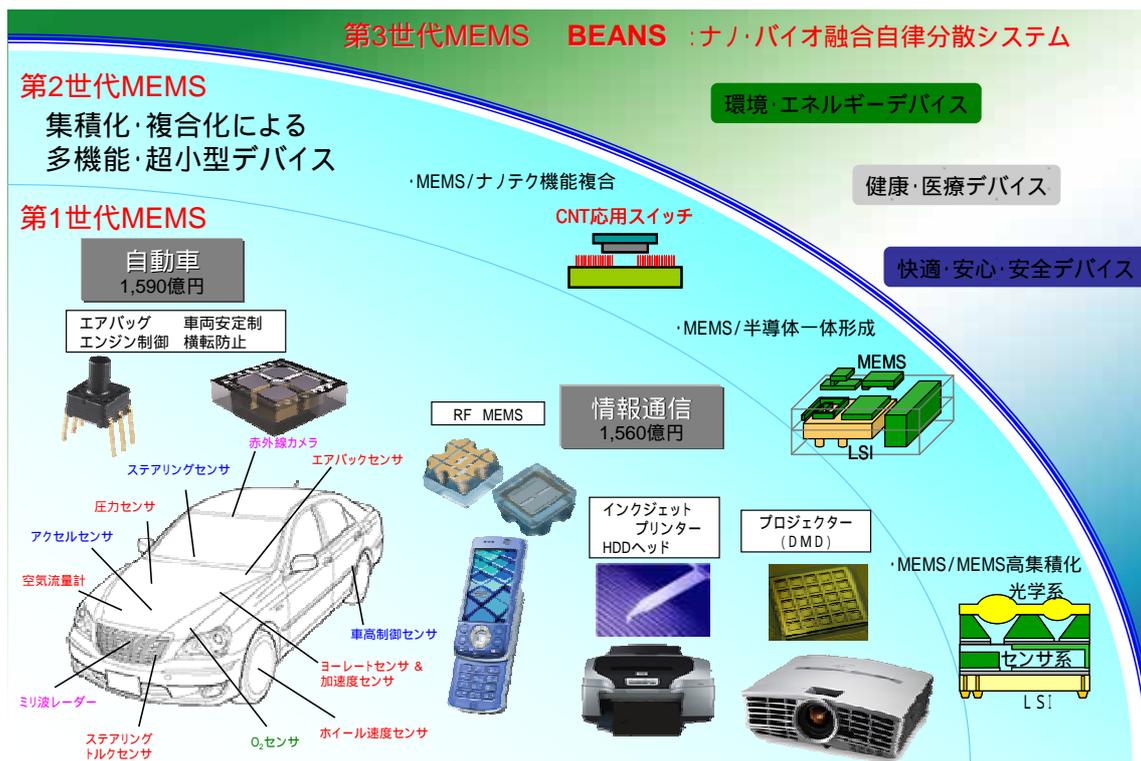


図3-1-2 MEMSの進化と革新 MEMSからBEANSへ

BEANSがめざすものは「新産業創出」、及び「ものづくり革命」で以下の特長を有する。

製品の高付加価値化、差別化のキーデバイス

・自動車、情報通信に加え、環境・エネルギー、医療・福祉、安心・安全の分野のアプリケーションに対し革新的機能を有するデバイスを創製する

有機/無機/バイオの界面制御による異種融合等の先端技術が新産業を創出

・ナノレベルの界面制御はリバースエンジニアリング困難で強固な国際競争力を有する多様な産業分野に適用

(情報通信、自動車から健康・医療、ロボット、航空・宇宙、食品、流通に拡大)

・多品種・少量のアプリケーションが多く、個々の市場規模は大きくないが全体規模は大きい

- ・プロセスのプラットフォーム化をすすめ、装置産業を含む日本の産業構造を革新する  
マイクロナノ統合製造技術の確立によるものづくり革命
- ・3次元ナノ構造形成、異種融合技術を核とし、ナノ・バイオ界面制御による機能発現による差別化を実現する
- ・微細化、集積化したデバイスをプロセスの大面積化、連続化により低コスト化し、自律分散システムによるアンビエントインテリジェンス化を実現する

### 3 - 2 BEANS が実現する 20 年後の社会トレンドとライフスタイル

20 年後のMEMS に係わるトレンドとして次のように考える。

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し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」、「健康・医療」、「快適・安心・安全」分野で新しいライフスタイルを創出する革新的キーデバイスとして広く浸透している。

#### 3 - 2 - 1 環境・エネルギー

地球温暖化、石油資源枯渇化が進む 20 年後の社会において、環境・エネルギー分野の重要性はこれまでになく高まっていると考えられる。目指す方向は現在と同じで、環境分野においては、大気汚染および二酸化炭素の低減、水質汚染の低減と浄化によるリサイクルが、エネルギー分野においては超高効率発電が目標となる。しかしながらそれらを実現するための方法が現在とは異なる。以下それぞれについて説明する。

##### (1) 大気汚染・二酸化炭素の低減

現在までに、産業工場などの大規模有害ガス排出源においてはガス処理技術が格段に進み、大気中への有害ガス排出を極めて小さく抑えられている。二酸化炭素に関しても、大規模排出源である製鉄所や火力発電所においては、二酸化炭素ガスの分離回収、固定化技術の開発が進められており、近い将来実用化されると考えられる。一方で、自動車や湯沸かし器などの小規模有害ガスおよび二酸化炭素排出源に関しては、燃焼サイクルの制御による排出ガスの低減は試みられているものの、排出した有害ガス、二酸化炭素に関しては大気中に放出されるのみである。そして二酸化炭素に関しては、小規模排出源から排出される量は、大規模排出源に匹敵する[1]。すなわち、総排出量の半分の二酸化炭素に関しては無処理のまま大気中に放出されている。小規模排出源からの有害ガス処理は次の2つの問題点を有する。1 つ目は、有害ガスがひとたび大気中に放出されれば、極めて低濃度となってしまう、回収および処理が極めて困難になってしまうことである。すなわち、小規模排出源からの有害ガスを処理するためには、大気中に排出される前に、オンサイトで処

理をする必要がある。しかし、2 つ目の問題として、有効な小型処理システムが開発されていない。そこで 20 年後の社会においては、小規模分散型排出源から排出される有害ガス、二酸化炭素が、大気中に排出される前に、排出源に極めて近い場所でオンサイトに、高濃度のまま効率的に処理される。MEMS 技術を発展させたガス分離リアクタや、ナノ構造や生化学反応を利用したガス固定技術が開発されている。現在手付かずの小規模分散型排出源からの排出を低減できることで、大気汚染・二酸化炭素を大幅に削減できる。

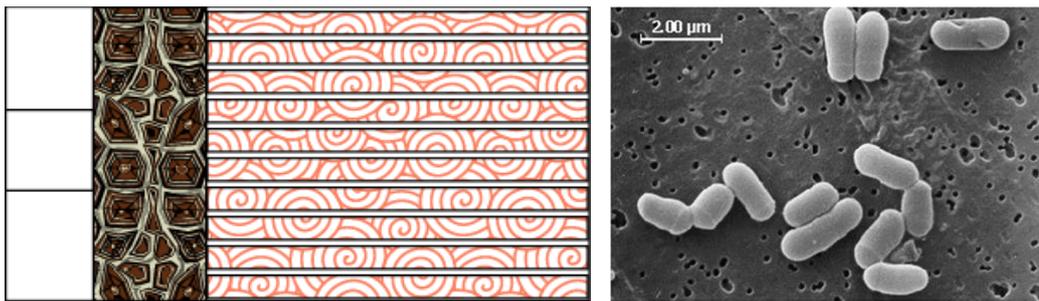


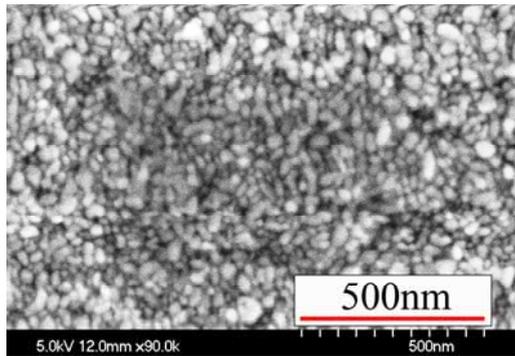
図 3-2-1 オンサイトCO<sub>2</sub>固定化デバイスのコンセプト[3]

## (2) 水質汚染の低減と浄化によるリサイクル

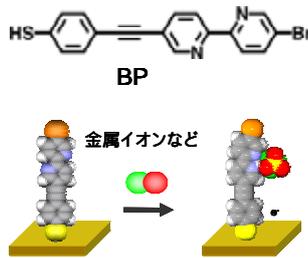
日本は豊富な水資源に恵まれている。しかしながら、輸入に頼っている穀物や畜産物の生育に必要な水を考慮すると、日本は水輸入大国となる。このような水の考え方をヴァーチャルウォーターとよぶ[2]。そこで 20 年後の社会においては、水資源の保護のために、家庭などの小規模利用場において、使用後の浄水を処理、浄化し中水として利用するオンサイト水処理システムが開発され普及している。水のリサイクルは大規模利用場においては現在も利用されているが、小規模利用場においてはまだまだ実用化されていない。ナノ構造や生化学反応を利用した小型水処理システムが開発されている。国内の水資源有効活用に留まらず、日本にヴァーチャルウォーターを輸出している国に、小型処理システムを輸出し普及させることで、日本の水資源の確保につながる。

## (3) 環境物質の超高感度センシング/センサネットワーク

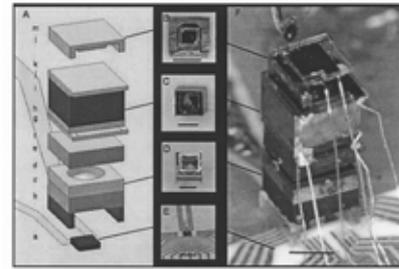
現在、大気汚染および水質汚染の検出は、ある決められた場所からサンプルを採取し、そのサンプルを研究室に持ち帰り検査することで行っている。これでは検査に時間がかかる上に、突発的な、局所的な事故などによる汚染に対し、汚染が拡大するまで検出ができない、という問題がある。そこで 20 年後にはセンサネットワークが確立され、大気汚染、水質汚染を空間的に高密度に検出することができる。またセンサネットワークのノードを形成する、オンサイトで超微量の環境物質や、酸素濃度などの環境情報を検出することが可能な超高感度センサ開発のために、金属ナノ構造による検出信号の増大や、現在は大きく持ち運びができない計測装置の小型化が実現されている。



SERS基板ホットスポット

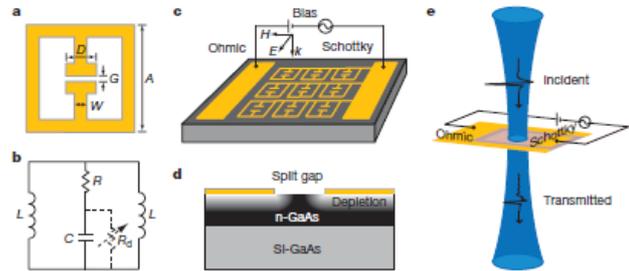


自己組織化膜利用センサの模式図(文献2などより)



The NIST microfabricated atomic clock. The black lines in the photographs B-F indicate 1 mm. The layers in diagram A are a: baseplate/laser, b: spacer, c: light attenuator, d: lens/spacer, e: light attenuator, f: quarter-wave plate (not shown), g: heater, h: cell (glass), i: cell (silicon), j: cell/glass, k: heater, l: photodiode/spacer, m: baseplate.

マイクロ分析器の例

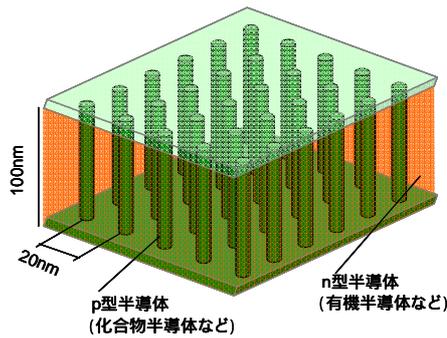


メタマテリアルを用いたTHzデバイス概略

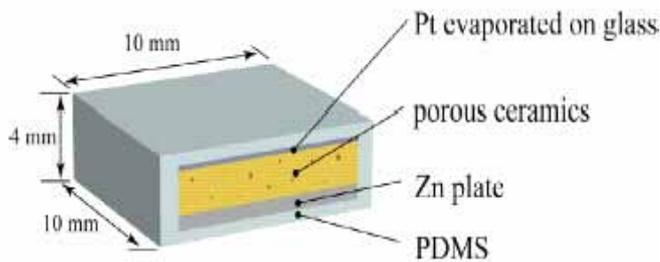
図 3-2-2 環境物質センシング[4][5][6][7]

#### (4) エネルギー・ハーベスティング

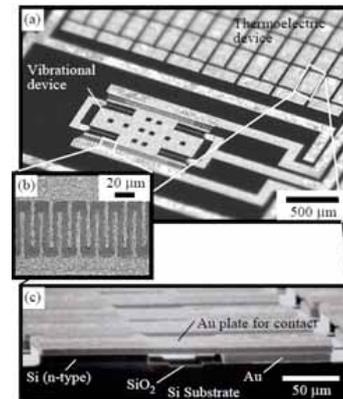
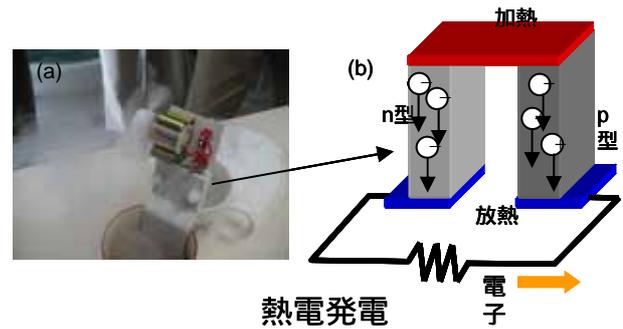
20年後には、現在ある化学電池に加え、マイクロガスタービン、マイクロ燃料電池の高効率化が進み普及していると考えられる。そしてさらにこれらに加えて、現在未使用の環境からのエネルギー、すなわち光、熱、振動、生体物質などのエネルギーを電気エネルギーに変換する小型デバイスが実現されている。このような発電方式をエネルギー・ハーベスティングと呼ぶ。例えば、センサネットワークにおいては、各ノードが電源を持つ必要があると考えられるが、従来の電池では、交換や燃料の補給が不可欠である。一方で、エネルギー・ハーベスティングデバイスにおいては、センサネットワークのノードがある場所の環境から、オンサイトでエネルギーを吸収し電力に変換し、ノードの駆動に使用することができ、メンテナンスフリーとなる。また体内埋め込み型や常駐型のマイクロ医療デバイスが実現されているが、これらの電力は体内の生化学物質を利用した発電により、まかなわれている。これにより、医療デバイスの交換のための手術などが不要となり、患者のQOL向上につながる。現在のエネルギー・ハーベスティングデバイスは、電力変換効率が極めて低く実用化に至っていないが、ナノ構造の利用、大面積化を実現することにより、これまで未利用のエネルギーを用いた超高効率なエネルギー・ハーベスティングデバイスが実現されている。



有機薄膜太陽電池



胃酸電池の概念図



静電型振動発電

図 3-2-3 エネルギーハーベスティングの例[8][9][10]

以上のように 20 年後の社会においては、これまで未回収であった環境有害物質の処理、および未利用であったエネルギーの高効率な利用が、ナノ構造、生化学物質などの新しい技術をオンサイトで活用することで実現されている。

### 参考文献

- [1] 環境省, “地球温暖化の科学的知見,” <http://www.env.go.jp>.
- [2] 沖 大幹, “ヴァーチャルウォーター(仮想水):現状と課題,” *環境管理*, 産業環境管理協会, **40**, 247-254, March, 2004.
- [3] [wwwuser.gwdg.de/~appmibio/research\\_liebl.html](http://wwwuser.gwdg.de/~appmibio/research_liebl.html)
- [4] K. Kurooka, N. Miki, The 10th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences ( $\mu$ TAS2006), pp. 1268 (2006).
- [5] T. Nakamura et al., *J. Phys. Chem. B* **110** 9195 (2006)
- [6] NATURE Vol.444 No.7119 “Active terahertz metamaterial devices” p597-p600
- [7] <http://tf.nist.gov/ofm/smallclock/index.htm>
- [8] W. U. Huynh, J. J. Dittmer, A. P. Alivisatos, "Hybrid nanorod-polymer solar cells", *Science* **295**(2002), 2425-2427

[9]Norio Sato, Hiromu Ishii et al, “Novel MEMS Power Generator with integrated thermoelectric and vibrational devices”, IEEE Transducers’05, pp.295-298

[10] H. Jimbo and N. Miki, THE 23rd SENSOR SYMPOSIUM (Oct. 2006) 525.

### 3 - 2 - 2 健康・医療

20年後の少子高齢化社会では、「最期まで元気」をキーワードとして、誰もが長く働き自律して生活できる環境が不可欠である。その一方で、慢性的な健康障害は蔓延し、たとえば糖尿病患者は20年後は世界で約3億人にもなる。予備患者も含め、血糖値などの生体情報を個人が意識しなくても、24時間モニタし、診断と治療をするデバイスが必要である。以下では、図3-2-4に示すような20年後の人の健康と医療を支えるデバイス群のイメージを概説する。

#### (1)長期モニタリングを実現する超小型体内埋め込みデバイス

体内の各所に長時間埋め込み可能な超小型デバイスが実現されている。腹腔や消化器官内に滞在し、自走することで積極的に腫瘍やがん細胞などを発見し、治療することができる。このため早期発見率、治癒率が劇的に向上する。また、外部から電源を供給することで機能するパッシブなデバイスも考えられる。これらは、肝臓の門脈にカプセルのように、また腕部の静脈内にステントのように存在することが可能であり、外部エネルギーによって、24時間血糖値や脈、血圧などの生体情報をモニタできる。糖尿病など血液からの情報を長期的にモニタする必要がある場合、患者の負担が激減しQOLが向上する。

#### (2)超高感度計測を実現する生体機械ハイブリッドデバイス

生体分子や細胞などが融合したハイブリッドなデバイスが実現されている。生体材料を用いることで生体情報や環境情報を、従来のセンサに比べ、高速・高感度にセンシングすることができる。また、生体内にとりつけることで、生体に馴染むことができるため、生体と機械とのインターフェース(BMI(Brain Machine Interface)など)の強力なツールとなる。たとえば、生体分子として膜タンパク質などが活性を維持したまま人工膜上に再構成され、匂いセンサや味センサなどの超高感度化学量センサとして機能する。また、神経細胞がフレキシブル基板上に神経細胞が3次元培養され、これらを脳表面に当てることで、神経細胞が脳内に軸索を伸ばし、所望の細胞とシナプス結合できるようになる。これらの細胞を通じて、フレキシブル基板から電気・化学的な信号を計測したり、刺激が行なえるようなインタフェースが実現する。

#### (3)健常者でも負荷なく使えるシート型健康モニタリングデバイス

体表面に湿布のように貼り付けることによって、貼った部分の体内の様子がモニタされ、ディスプレ

イされるデバイスが実現されている。たとえば、シート表面には、薄型超音波センサアレイが集積化され、裏面には平面フレキシブルディスプレイがあるデバイスでは、取得した情報を素人でも2次元の大面积で観察できる。侵襲なく貼り付けることができるため、健常者でも血流や心臓の様子などを判断でき、健康管理に利用できる。また、手術時に医師が用意に体内を観察できるツールにもなる。

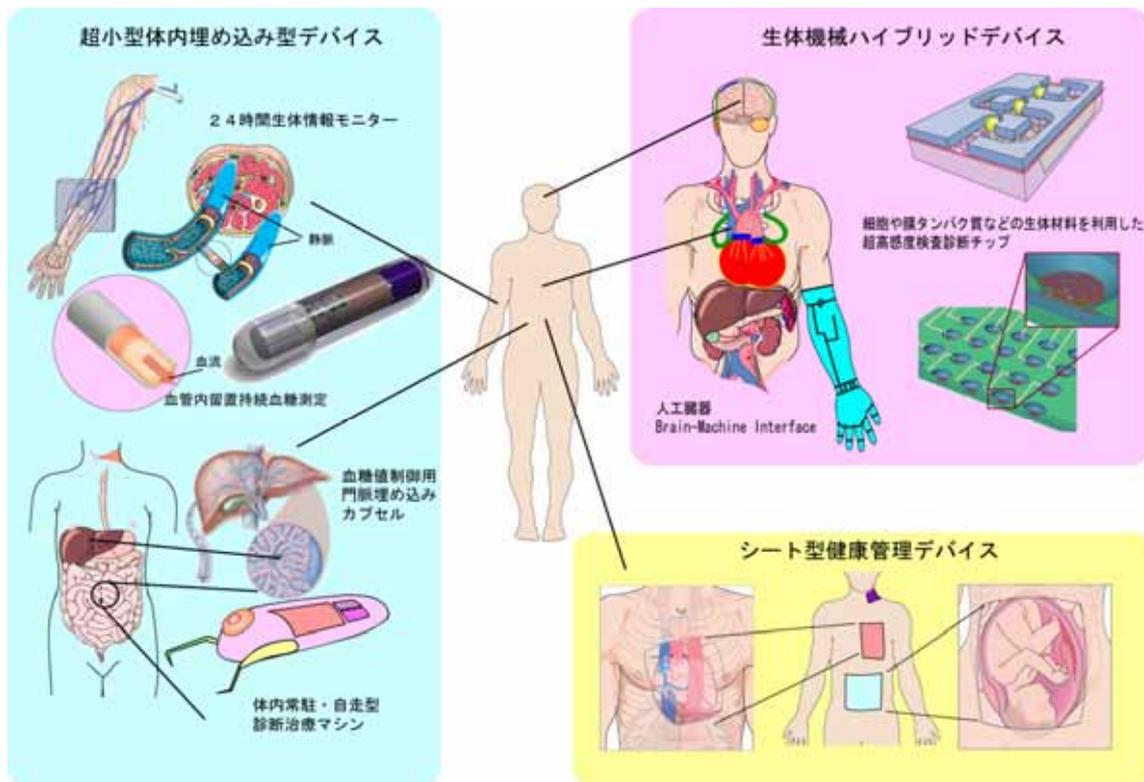


図3-2-4 20年後の人の健康と医療技術を支えるデバイスイメージ群

### 3 - 2 - 3 快適・安心・安全

20年後の未来を、「フロンティア MEMS 検討委員会」において1年間議論してきた姿を本章でまとめる。本章で構想し、提案したアイデアの多くは、奇しくも日本学術会議イノベーション推進検討委員会が平成19年1月25日に行った報告「科学者コミュニティが描く未来の社会」で提案された2025年の未来像中にも類似例が多く見受けられる。全く独立の委員会活動でありながら、フロンティア MEMS での提案が科学者コミュニティの目から見ても妥当で夢のあることの裏づけとなっている。

### ( 1 ) 超臨場感通信

20 年後は、格段に人口の高齢化が進行する。人種の流動化も進み、夫婦の実家が広島とパリといったように、10,000km 以上遠く離れた家族も多く見られるようになる。これら離散した家族の間では、逆に絆を強く求めるようになり、電話や 21 世紀になって見受けられるようになったテレビ電話に加えて、握手をしたときの触覚、故郷の里山の匂いといった、五感のうち視覚、聴覚以外の感覚も伝送できるようになりコミュニケーションの質が飛躍的に高まる[2]。また、壁紙全体をディスプレイとすることで、遠く離れた場所の映像が続きの部屋のように表示される、壁紙型アンビエントインテリジェンスデバイスが実用化される。

### ( 2 ) 見守りセンサ

各人の健康状態を本人に負担を全く与えない状態でセンシングし、危険な状況(バイタルサイン)を逃さずに検知するデバイスを形態するようになる。突然の心臓疾患や脳梗塞で、近くに人がたまたまいなかったために命を落とす不幸な例から救われる。加速度、赤外線(温度)センサ等を一段と小型低消費電力化して携帯し、常にデータを取得して時系列データから現在の状況を判断する。同じ技術を家畜に適用して、重症急性呼吸器症候群(SARS)の大量発生をいち早く検知することもできる。また、検知する物理量を増やして、今日の体調に合わせたお勧めの献立を提案してくれるデバイスも実用化される。

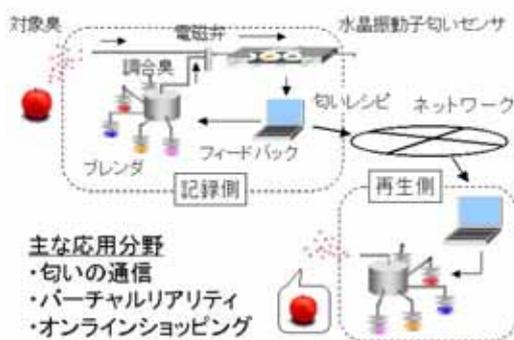
### ( 3 ) 流通革命

食の安全に対する関心、ならびに高級食材の品質保証による差別化はますます重要事となる。現在、食品のトレーサビリティをμチップのような ID タグで管理する試みが行われているが、20 年後には ID 番号を返すだけの現在のデバイスから格段に進歩した、自分自身でセンシング、データ蓄積機能を持ったスマート ID タグが実用化される。温度履歴や振動履歴などを長期にわたって記録できる安価な(値札のラベル程度)デバイスが実用化される[4]。また、テラヘルツ光や質量分析デバイスの小型化、コモディティ化が進み、携帯電話級の小型デバイスに、この食材は安全かどうかを調べる機能が実装できる。分析技術の携帯化は特に発展途上国において重要となる。

### ( 4 ) サイボーグによる超人能力デバイス「万能携帯」

人類は 19 世紀の産業革命により超人的な力を手に入れ、20 世紀のコンピュータの出現(情報革命)により超人的な情報処理・検索能力を手に入れた。21 世紀はセンシング・情報処理・検索デバイスをその存在を意識しない形でシームレスに個人が携帯し(サイボーグ)個々人の能力を増強することによってより効率的、効果的なコミュニケーションによる相互理解の増進、効率的な情報処理による短時間労働が可能になる。過去に会った人の特長や属性を記憶しておいて、再び出会ったときにその人に関する記憶を再生してくれる眼鏡大

のデバイス「万能秘書」、話しかけた言葉が自動的に外国語に翻訳されるイヤホン型「翻訳デバイス」など、個々人のコミュニケーション能力を飛躍的に向上するデバイスが完成する。また、コンピュータやこれら携帯デバイスのインターフェースが改善され、空気のように存在を意識せず使うことができるようになる。すなわち携帯デバイスの持ち主の動きであるとか、視線であるとかいった普段のしぐさをセンシングした時系列動作から、いちいちコマンドを発行しなくても持ち主が欲しているアプリケーションが起動する[5]。



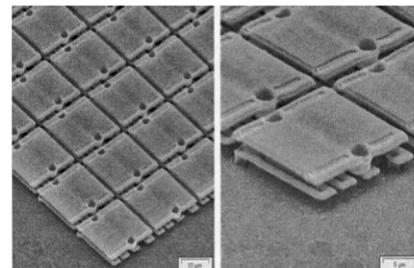
嗅覚伝送・再生の概念



センサネットワーク



持ち主の動作を理解するデバイスによる直感的なインターフェース



2層構造マイクロボロメータの25mm角画

図 3-2-5 雰囲気伝送・再生[6][7][8][9]

## 参考文献

- [1] イノベーション推進検討委員会報告「科学者コミュニティが描く未来の社会」ならびに付属参考資料 <http://www.sci.go.jp/ja/info/iinkai/innovate/index.html>
- [2] [1]中、「(56)『隣の部屋は故郷』プロジェクト」、「(195)フルカラー三次元投影システムの実用化」
- [3] [1]中、「(209)いつでも何処でも助かる命」、「(258)IT 技術を用いた家畜管理」、「(67)体調にあわせた安全な献立の提供」
- [4] [1]中、「(205)安全・安心を担保する食生産・流通システム」
- [5] [1]中、「(219)スーパーコンピュータの社会インフラ化による安心安全で明るく楽しい社会」、「(220)先端的人間-機械融合法技術の発展を支える人間工学技術の構築」

「(122)パソコンや携帯電話を空気のレベルにまで追い込む技術」

[6] <http://silvia.mn.ee.titech.ac.jp/research/recorder.htm>

[7] D. Murphy, *et al*: *Proc. SPIE*, Vol. 5783, pp. 448-459 (2005)

[8] コビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会 総務省資料

[9] <http://www.itl.t.u-tokyo.ac.jp/>

### 3 - 2 - 4 BEANS を支えるマイクロナノ統合製造技術

BEANSで想定されるアプリケーションを実現するためのプロセスは、寸法範囲がナノメートルからメートルオーダーまでの  $10^9$  のレンジを持つため、前述のとおりトップダウン・ボトムアップの融合プロセスとなると考えられる。関連する課題は多様なものであるが、重点課題を下記の3つと想定した。各デバイスとの関係を表 3-2-1 に示す。

#### (1) 3次元ナノ構造の製造技術

各種次世代デバイスの製造技術のための課題のひとつに3次元ナノ加工が挙げられる。リソグラフィとエッチングを組合せることで、いわゆる2.5次元構造(角柱、円柱など)は製作することができ、その加工分解能も向上してきている。しかし、例えばテーパや自由曲面などの加工要求に現状技術は十分に対応できない。広い応用を想定した場合、ボトムアッププロセスとの融合も視野に入れる必要があると考えられる。以下では想定される各デバイスとプロセスの関係を示す。

例えばグリーンデバイスでは有機半導体を用いた太陽電池で狭ピッチ・ナノピラーの製作が求められており、類似デバイスではテーパ形状が求められることも考えられる。このような3次元ナノ構造の製作にはエッチングのようなトップダウンプロセスの適用と、微粒子の自己整列のようなボトムアッププロセスの両方の適用が考えられる。特に大面積にこのような構造を展開する場合には、ボトムアッププロセスの方が有利と考えられるが、自己組織プロセスによる3次元的構造製作技術は現状では完成されていない。よって、3次元ナノ構造製作プロセスにも多面的なアプローチが求められる。

ホワイトデバイスの例として体内埋込デバイスを想定すると、滑らかな曲面で構成される狭い筐体の中に複雑な機構を収めなければならず、3次元加工は必須となろう。この応用においては、構造の製作に加えて多様な組込みデバイス組付けを行う必要があり、これを逐次的に行うよりは並列的・自律的に組立を行うようなボトムアッププロセスの適用が必要と考えられる。

ブルーデバイスの場合は寸法が比較的大きいため、リソグラフィを始めとするトップダウンプロセスの適用が考えられる。中でも壁紙型デバイスは大面積かつ大量に生産する必

要も想定され、印刷のようなプロセスの適用が期待される。この応用においても特定パターン印刷後に自己組織的にデバイスを実装することなどが想定されるため、やはり自己組織プロセスとの関連が深い。

以上のように、BEANS におけるデバイス実現のためには 3 次元ナノ構造をトップダウン・ボトムアッププロセスをシームレスに適宜組み合わせることが求められる。

## (2) 大面積

グリーンデバイスの太陽電池やブルーデバイスの壁紙型デバイスなどでは、メートルオーダーの大面積にわたるプロセッシングが必要となる。この課題解決に向けてのアプローチとして、リソグラフィやエッチングなどのプロセスの連続化とともに、印刷技術の適用が考えられる。動作速度の制約などがない応用では既に実用段階に入っていると考えられるが[1]、インク材料の開発を含め、まだ多くの課題が残っていると考えられる。

輪転機のような印刷であれば高速での生産が可能であり、低コスト化においては必須条件となると考えられる一方で、印刷技術の中でも一品物に対応可能なのがインクジェット技術である。スループットは落ちるもののカスタマイズされた製品設計に個々に対応するプロセスとしては有望である。この技術においても飛ばすべき材料に多くの研究余地が残されており、将来的には微小デバイスそのものを付着させることも考えられる。自己組織プロセスによると高分解能な形状創成などが可能であるが、この面積拡大も重要な課題のひとつと考えられる。

印刷はインクを含む各種材料の転写であるが、形状の転写も同様の技術で実現できる。ナノインプリントを含め、微細な形状を製作した金型（ロール含む）を材料に押し付けて転写する技術も低コスト生産での必須条件になると考えられる。

印刷や形状転写技術をメートルオーダーに拡大する際に解決すべき技術課題として、まず、機構の高精度化が挙げられる。最終的に母性原則に従って機構の運動精度がそのまま転写されることを考えると、超大型かつ超精密な加工機械が必要になる。最小分解能ナノメートルオーダーを保障するためには、各種のフィードバック機構も必要になると考えられる。併せて、型の製作技術も問題となる。ロール型の場合は円周外面に微細形状を加工しなければならないが、一周した部分での繋ぎ精度をナノメートルレベルで保障するためには現在の機械精度を更に向上させる必要がある。

## (3) 界面制御

固体表面の濡れ性を場所ごとに変えることができると自律的な組立てを行うことができる。例えば水に微粒子を分散させた懸濁液から、図 3-2-6 に示すように親水 / 疎水パターンを設けた基板を上げると親水部のみに懸濁液が濡れ広がり、その後の乾燥に伴って微粒子が相互に引き付けあいながら最密構造を形成する[2]。このような自己組織的なプロセスを場所毎に変えられるのが界面制御技術となる。

懸濁液の部分的な濡れ広がりを制御するだけでは表面張力の影響もあって空間分解能をナノメートルオーダーまで小さくすることは難しいが、これを有機分子の大きさまで小さくし、所定の分子が配向しながら指定の場所に固定かできるようになると、高密度な組立てを並列的に進めることができると考えられる。未来デバイスには種々の無機デバイスからバイオデバイスまでは実装されると想定され、これらを逐次的に組み立てるよりは並列化の方が合理的と考えられる。自律的な組立は将来的には重要な技術と考えられる。

また、濡れの問題は接着強度とも密接に関連する。有機デバイスを含めた積層化に際しては陽極接合などを用いることができず、接着に頼らざるを得ない。この場合にも適切な界面制御を行うことができれば最終的なデバイスの信頼性向上などに繋げることができる。

表 3-2-1 BEANS で扱うデバイスと各プロセスとの関係

デバイス候補 プロセス TD:トップダウン BU:ボトムアップ	グリーンデバイス				ホワイトデバイス				ブルーデバイス			
	ナノレー 太陽電池	Iエネルギー 吸収 デバイス	CO2固定 マイクロ デバイス	SERS センサ	体内 マイクロ ドクター	MEMS 体内 エージェント	4次元 ハイブリッド デバイス	MEMS 健康シート	壁紙 デバイス	五感集積 デバイス	マイクロ 化学分析	携帯 翻訳
TDパターン形成 (フォトリソ, EB他)												
BUパターン形成 (タンパク質, 自己組織)												
TD三次元加工 (中性粒子ビームエッチング)												
表面改質・修飾 (目的・位置・配向制御)												
BU三次元加工 (有機・自己組織・配向制御)												
ナノインプリント (高分解能, 高アスペクト比)												
大規模転写・量産化技術 (ロール, 印刷技術)												
異種材料複合三次元造形 (積層一括生産)												
TD組立 (把持, 操作, 配線, 接着)												
BU組立 (自己組織, 一括組立)												
パッケージング (封止)												
評価技術 (寸法・形状測定, 機能検査)												

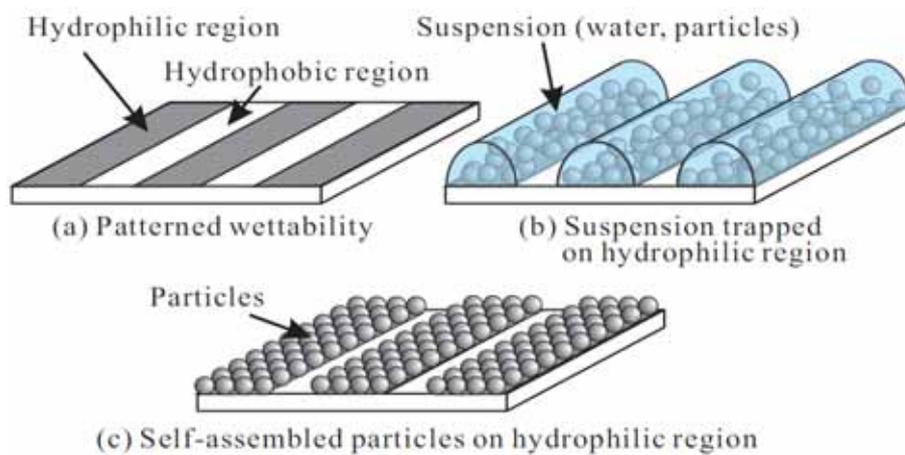


図 3-2-6 濡れ性を制御した基板上での微粒子の選択的自己整列

#### 参考文献

- [1] U. Fügmann et al., Printed Electronics is Leaving the Laboratory, mst news 2, 6, 2006, pp13-16.
- [2] 諸貫信行, 小木曾淳一, 金子 新, 濡れ性パターンを用いた微粒子の自己整列 (第 1 報), 精密工学会誌, 72, 9, 2006, pp.1113-1117 .

分野	テーマ	背景・意義	目標	期待される効果	キーとなるプロセス
エネルギー・ハーベスティング	エネルギー・ハーベスティング (光・熱・振動・バイオ)	地球温暖化対策として再生可能エネルギー、温暖化ガス固定化に対する期待が増大している。 これらを実現する環境デバイスは、構造は微細であるが、通常、大面積デバイスであり、高効率なマイクロマシンング技術が要求される。 その要求に応える革新的加工技術の実現により、環境デバイスの普及が加速し、環境問題の解消に繋がる。 また、新たな加工技術が従来不可能であったデバイス構造を実現し、革新的デバイスの実現も期待できる。	印刷技術と熱加工技術の融合かつファイン化により、半導体製造装置と比較して、大幅に高速、高効率なマイクロ加工技術を開発する	・大面積デバイスの大量生産が低価格化が可能となる。 また、新規膜構造による革新的機能デバイス実現の可能性がある	・印刷・塗布プロセス ・材料の粉砕・分散プロセス ・大面積連続プロセス
		・利用されない廃熱(1次エネルギーの60%)は、膨大な未利用エネルギーの一つ ・低質(低温)な熱エネルギー源から発電できる唯一とも言える技術	・発電効率15% ZT =3.0 (S:ゼーベック係数, s:電気伝導度, l:熱伝導率)	・物性から成り行き的に決まる発電効率をナノ構造により向上させる(電気的特性を保ち、熱伝導率をナノ構造により低減) ・ナノ構造形成は電気と熱の輸送を根本から変え、従来の効率ZT<1.0(数%の効率)を2倍、3倍に改善できる ・体内埋め込みデバイスへの応用	・ナノポーラス、ナノピラー ・ナノ粉体成型加工技術
		現在、有機材料は特異な光機能に加え、フレキシブル性などの従来の材料はない多様な新しい光半導体材料として大きな期待を集めている。本研究分野では、大面積・高効率有機太陽電池の創製を目指して、有機・有機界面、有機・無機界面における励起子の高効率キャリアー分離機構・キャリアー注入の確立、励起子・電荷の高速輸送機構を確立し、有機太陽電池用の材料設計・合成・デバイス化までを進める。	有機・有機界面、有機・無機界面において、ナノピラー構造の導入により50%以上の励起子分離効率を実現 励起子・電荷の高速輸送機構を確立する。 1)基本材料となる有機分子・無機材料の探索と合成、デバイス化 2)表面修飾技術による分子配向制御 3)UPS等による電荷分離機構の解明 4)ナノピラー構造による50%以上の励起子分離効率	異種材料間の分子間相互作用の解明、分子配向性の制御技術を確立し、高効率キャリアー分離・輸送機構を確立する。そして、ナノピラー構造による励起子分離機構によって10% - 20%のエネルギー変換効率の実現を目指す。	・ナノポーラス、ナノピラー ・科学的表面修飾 ・有機分子の無機材料への配向制御 ・大面積連続プロセス
	1)環境エネルギーがいつも存在するとは限らない。(太陽電池 など) 2)環境エネルギーによる発電では、デバイスを駆動するのに十分な電力が得られない場合もある また、環境エネルギー(未利用エネルギー)を電気にして蓄電すると、徐々に放電していくので、利用形態によっては、電気を別のエネルギー状態に変換して貯蔵することも重要である。	従来比2~10倍の1200F/g (比表面積 2000m <sup>2</sup> /g)	・上述のエネルギーハーベスティングデバイスとの組合せで自己給電型のセンサー、デバイスを実現 ・センサーネットワーク、アンビエントエレクトロニクスを実現のものとする基礎技術	・ナノポーラス、ナノピラー ・ナノ構造の選択的かつ局所形成技術	
五感センサ (嗅覚・化学物質センサ)	増強ラマン系	極微量の環境物質を、高感度にかつオンサイトに検出する小型デバイスが求められている。また、前処理を簡略化できるよう、ラベルフリーな検出が望ましい。表面増強ラマン分光法は、金属ナノ粒子やナノ構造表面の増強電場を利用したラマン分光法であり、ラベルフリーに、また研究室レベルでは単分子検出が可能なまでの高感度を実現している。しかしながら、この技術の実用化には、再現性の高いナノ粒子およびナノ構造のバターンニング、電場増強サイトへの検体の誘導、前処理を含むマイクロリアクタ化が不可欠である。	オンサイトかつ100分子検出レベルの高感度	表面増強ラマン分光を利用したセンサネットワークによる、微量環境物質や生化学兵器の検出が可能となる。	・ナノ材料局所形成技術 ・シングルポイントプロセス技術 ・化学的・バイオ的の表面修飾技術 ・高度実装技術
	マイクロ質量分析デバイス	安心・安全に関する基本的要求の一つは周囲の状況を知ること	ラボ分析機器のコモディティ化 まず最も汎用的な質量分析装置から	周囲にどのような物質(無機物、有機物、環境ホルモン、ウィルス、細菌...)が存在するかをリアルタイムに知り対応できる	表面処理 三次元加工 アセンブル 三次元構造への製膜
	テラヘルツ応用センシングデバイス	・非接触で物質の成分を分析してくれるデバイス ・電磁波の波長よりも小さな金属共振器を三次元アレイ状に並べることにより物質の巨視的な誘電率、透磁率を制御する(メタマテリアル機能素子)研究が活発化している。同時に、電波と光の境界領域であるテラヘルツ波を利用した新たな計測手法の開発が進められている。 ・メタマテリアル機能素子はサブmmレベルの微細加工技術を基礎とし自然界に存在しない特性(負の誘電率、透磁率)を持った材料を実現することができ、テラヘルツ波はバイオマテリアルの計測、安心・安全に関連した物質の検知などに利用でき、原理実証実験が行われている。	・常温においてデバイス単体で安定してThz波発振/受信を可能にする ・テラヘルツ波(波長~300 μm)を対象としたメタマテリアル開発を行い、テラヘルツ帯での微小平面光学素子(平面レンズ、波長フィルター、偏光素子等)をデバイス化する	・今まで見えなかったものを誰でも簡単に見るようにする ・負の誘電率を実現することにより平面レンズを実用化することができ、光学素子の小型化が期待される。高誘電率の材料は光リソグラフィの高分解能化に寄与する。人体から発せられるテラヘルツ・赤外光を検出する小指サイズの健康モニター素子・個体判別素子の実用化が期待できる ・将来的に、サイズを1/100に高精度化していくことにより、通信波長域、可視域での微小機能素子の開発に発展していくこととなる	3次元構造体技術 多層MEMS作製プロセス
五感センサ (触覚センサ)	触覚センサ	人間の五感の一つである触覚を人工的に再現するセンサデバイスは、ロボット応用など多様な分野で求められている。触覚センサ実現のためには、小型・高感度な接触圧センサアレイが必要となる。ナノ構造体を適切に設計すると量子効果によりバルク材料を遥かに凌ぐ物性(例えば、圧電特性、ゲージ率など)が期待され、これを用いることにより微圧検知が可能になると思われる。また、MEMSを支持構造体として使い、ナノ構造体をアレイ形成することにより人間の指先に匹敵するような空間分解能の高い接触圧分布計測デバイスとなると考えられる。そこで、本研究テーマでは、ナノ構造を駆使した新規な触覚センサデバイスを実現する	現状のMEMS式圧力センサに比して、1桁以上の高感度化 ~100 μm程度の高い空間分解能の実現	人間の指先感覚の実現による、高精度ロボットや義手などの医療用途への展開。	
五感センサ (非可視光視覚センサ)	赤外線センサ	防衛から始まった技術ではあるが、民生分野でも安全・安心分野でのキーデバイスと位置づけられる。但し、防衛技術として開発に注力している欧米に民間主導で対抗できる技術を開発するのが難しい。	1)Mピクセルクラスで、回折限界の画素サイズを持つ、Temperature Fluctuation Limitの性能を持つデバイスの実現 2)広範な民生用途に対応できる低コスト赤外線アレイセンサの実現	監視、救難、防犯、機器の異常監視、自動車連補助、プロセス制御など幅広い分野で応用が可能。	1)MEMSプロセス技術 2)MEMS/LSI集積化技術 3)アナログ回路技術 4)材料技術

表 3-2-2a BEANS デバイス例 1

分野	テーマ	背景・意義	目標	期待される効果	キーとなるプロセス
大面積シート型デバイス	壁紙型アンビエントインテリジェンスデバイス	アンビエントエレクトロニクスのように多量のエレクトロニクスが生活環境の中に入り込んで、人々の生活の安心安全・快適性を向上する上で重要な技術である。	1)印刷技術など低コスト技術によるフレキシブルデバイス製造技術の確立 2)微細化による高性能化 3)安定性・信頼性の向上 4)新アプリケーションを明確にすること	エレクトロニクス、医療、住居、衣料、自動車など幅広い分野で応用が可能。	1)印刷技術 2)ロールツーロール技術 3)有機トランジスタ回路技術 4)材料技術
	賢いIIDタグ	物流/在庫管理においてセンシング機能を持ったセンシングタグ	フレキシブルフィルム上に実装する無線通信機能付きロジックセンサ 現在の物流用シールにRFタグと環境センサが内蔵されたイメージ	物流管理・品質管理の効率化・付加価値の向上。単なる物流/保管の管理ではなく、その時々々の周囲環境変化まで管理可能にする	ナノ材料による物理量検出技術 ナノインプリントによる大面積化、連続生産 工法
	バイタルセンシング	鳥インフルエンザ、BSE、SARSなどの人間を含む生体の健康状態を管理・監視するデバイス	小型・軽量のセンシングシステムの作製	重度感染症の早期発見と感染拡大の防止・予防のため	大面積加工技術、フレキシブル材料の微細加工と集積化技術
	シート型健康モニタリングデバイス	「最期まで元気」であるために、健康者の日常的な健康管理は必要不可欠である。自身で簡単に取り付けることができ、体内の状態をモニタリングできるデバイスが求められている。	体表面に湿布のように貼り付けることによって、健康を管理するデバイスの実現。階層に無数のセンサやアクチュエータなどが埋め込まれ、貼った部分の体内の情報を表示できる。たとえば、遠隔地の妊婦が、貼り付けるだけで、胎児の状態をモニタし、離れた医師へ情報を送り診断を受けることができるようになる。また、内臓脂肪の様子などが手軽に見ることができるようになるため、	侵襲なく貼り付けることができるため、健康者でも血流や心臓の様子などを判断でき、健康管理に利用できる。また、手術時に医師が用意に体内を観察できるツールにもなる。一般医でも専門医並みの診断と治療が可能となり、医療の質が向上する。手軽に健康状態をモニタできるため、生活習慣の改善が促進されメタボリックシンドロームや糖尿病などの成人病を予防できる。常時健康をモニターすることによって、異変をすばやく検知し、適切な時期に医者の診断を受けることができるため、効率的な診療が広がり、医療費の削減につながる。	大面積技術 フレキシブル材料の微細加工集積化 伸縮可能な材料を作りこむ技術
環境浄化デバイス	オンサイトCO2固定デバイス	二酸化炭素は温暖化ガスとしてその削減が求められている。発電所、製鉄所などの大規模発生源においては、二酸化炭素の分離回収、固定技術が開発されているが、総排出量のおよそ半分を占める。車や湯沸かし器などの小規模分散排出源からの二酸化炭素は、無処理のまま大気中に放出され、また一度放出されれば極めて低濃度となり回収が困難である。そこで本研究テーマでは、小規模分散排出源からの二酸化炭素を、大気中に放出される前に、局所・オンサイトに固定するデバイスを実現する。	小規模分散排出源からの二酸化炭素を15%削減する	これまで手付かずであった小規模分散排出源からの二酸化炭素を回収、固定することで、大気中に放出される二酸化炭素を大幅に削減できる。	・ナノポーラス 機能性ナノ薄膜 化学的・バイオ的表面修飾 界面制御(細胞親和性) 封止技術
診断・治療デバイス	体内埋込デバイス	体内で検査・治療を行う内視鏡やカテーテル、ペースメーカー、脳深部刺激装置などのデバイスが広く用いられているが、さらに効果的な検査・治療を実現するための高機能化、微小化が望まれている。自律的に体内で動作・移動し、集積された複数のセンサにより様々な情報をリアルタイムに入手し精密な検査・治療を行うデバイスは、患者の負担が少なく生活の質を維持した、より進んだ医療を実現する。体内で動作するこれらのデバイスは高機能かつ十分に小さく、安全で、体内作業に適した特殊な形状が求められ、今までにない新たな微細加工技術を用いることで実現が可能となる。	デバイスが挿入・留置される動作する体内の部位は胃や腸、心臓や血管、腹腔や胸腔、脳脊髄腔など多岐に渡る。それぞれの部位において、下記の手法を行うことを目的とする(1)光学顕微鏡観察、超音波イメージングなどによる画像取得、複数のマイクロセンサ搭載による物理センシングや生体成分センシングによるモニタリング、(2)マイクロアクチュエータを有効に利用した体内移動、固定、姿勢制御、(3)薬剤の投与・分泌、病変部組織を細胞レベルの精密さで取り除き、さらに除去した部位に生体組織を体内から再構築することで実現する修復治療。	医療施設においては患者に負担をかけずに精密な検査・治療が実現でき、日常生活においては体内に埋込留置することで病状をモニタリングし病気の悪化や異常を早期発見し、必要に応じ応急処置を行うことが可能となる。完治が難しい悪性や慢性の病状に対し状況に応じた計測と対応、処置を行い生活の質を向上させ、将来起こる恐れのある病気の早期発見・早期治療も可能になる。さらに治療・入院期間の短縮による医療費の抑制、日本から世界へ発信する医療技術としての新たな産業の創出、といった効果がある。	今までにない新たな微細加工技術を用いることで実現が可能となる。具体的には、従来のMEMSプロセス・実装技術を進化させた非平面・微小部品へ対応したプロセス、複数の材料がパターニングされたものを積み上げて様々な微小立体微小構造を構築するレイヤーバイレイヤー技術、蛋白質・脂質二重層・細胞/組織などをハンドリング・パターニングできる機能を医療機器に搭載する作製プロセスなど。
	生体機械ハイブリッドデバイス	次世代の診断や早期治療、予防技術として、生体からの情報を一分子、一細胞レベルで正確に取得する重要性が増してきている。生体に作用し情報を取得する際に、人工のデバイスと生体になじむ材料(生体材料、高分子材料)などを組み合わせたハイブリッドなデバイスが威力を発揮すると期待されている。また、生体の神経系と外部機器とを接続するブレイン・マシンインタフェース(BMI)技術が国内外で注目を集めているが、生体と機械のインタフェース技術がボトルネックとなっておりその開発の重要性が認識されるようになってきている。	(1)脂質膜やタンパク質、DNAなどの生体分子が融合したデバイスによる物理情報の高感度センシング(2)人為的に制御可能な細胞が融合されたデバイスによる埋め込み型インタフェース(3)体内の1細胞レベルで数万程度と個別に、長期間安定して、安全に、情報入出力が可能なデバイス(例えば、神経細胞を認識し接近・接続し、最終的には糸のよう柔軟になる四次元材料技術の導入)、(4)環境に合わせて経時的に変化するすることで、より正確かつ安全な情報の入出力が可能なデバイス	生体分子の持つ高感度センシング機能や、高効率運動機能などをデバイス中に取り込むことによって、これまで計測できなかった味や、匂いなどのセンシングを高感度で行うことができる。また、一分子、一細胞レベルで環境や生体情報をセンシングできるため、環境汚染や成人疾患などの早期発見が行える。分子の高分解能で効率的な動きを利用することによって、体内で安全かつ能動的に駆動するデバイスができる。人工眼や義手制御などの次世代医療や次世代ロボット制御技術の基盤を作ることができる。	生体機能を維持したまま再構成する技術
雰囲気伝送・再生デバイス	触覚伝送・再生デバイス		触覚を再現するタクトイルアクチュエータの大面積化	より臨場感のある通信や、匠の技での触感のような感性の記録再生が可能になる伝送に新次元を追加することにより、コンテンツ系の新たな産業の創生が期待される	タクトイルアクチュエータの高精度化、大面積に効率よく集積配置する技術
	嗅覚伝送・再生デバイス	視覚・聴覚に加え触覚・嗅覚などの雰囲気を送信再生する超臨場感コミュニケーションデバイス	嗅覚を再現するマイクロ嗅覚アクチュエータの実用化に向けた原理検証デバイスを作製		三次元構造に効率よく化学物質をストックする技術(構造・材料など)
	万能携帯(行動のセンシング・通信)	ブルーデバイスの統合応用環境。持ち主がどのような状態にあってどういふことを欲しているか柔軟に分析してくれるデバイスを携帯に集積	集積化センサ群の情報を柔軟に分析し、現在持ち主が置かれている状況を判断する統合システム	機械に使われるのではなく真に機械が人間の助けになる状況を生み出す	ニーズに最適なベクトル化の方法、柔軟な処理のできるマッチングデバイス

表 3-2-2a BEANS デバイス例 2

分野	テーマ	背景・意義	目標	期待される効果	連携するデバイステーマ
3次元ナノ構造形成	エッチング・成膜による3次元ナノ構造形成	任意の3次元ナノ形状をバッチプロセスで製作することが求められるが、従来のエッチングでは困難。また、複雑な3次元ナノ構造としてカンチレバーの均一性や小型化、サブミクロン以下の高アスペクト比ドレンチ、ナノピラーなど、MEMSの機能・性能向上に不可欠	・分解能縦横ともに10nm、逆テーパ構造含むカンチレバー ・6インチでティップ先端曲率10nm以下 ・共振周波数1MHz以上 ・0.2μm幅でアスペクト50以上	・高度デバイスの実現、バイオを含めた他デバイスとの接合界面などの微細表面構造に適用 ・MEMSセンサ・アクチュエータの高性能化	エネルギーハーベスティング 環境浄化デバイス マイクロ質量分析 嗅覚再生 マルチカンチレバー触覚センサ
	異種材料レイアバイレイア技術による3次元ナノ構造形成	3次的に複雑な形状の外形と内部構造を併せ持った寸法精度の高い微小部品を作るには、光造形法のように一層ずつ積み重ねていくレイアバイレイア技術が有効であるが、従来の手法は特殊なポリマーなど使用できる材料に限られ、異種の材料を組み合わせることも難しい。様々な材料をナノレベルで精度良くパターンニングしながら積み重ねることを繰り返し、内部に3次的な微小空間や電気配線などを兼ね備えた複雑な外形の微小パーツが実現できる。	異種材料のレイアバイレイアを実現するために薄膜コーティングとパターンニング技術、ディップベリソグラフィ・インクジェットのように微量の構成物を配置する技術、パターンニングした層を転写する技術などが候補としてあり得る。当初は分解能数十μm程度のレベルから着手し、段階的に更に微小なレイアバイレイア技術へ発展させ最終的にナノレベルの寸法精度を目指す。タンパク質や細胞など生体組織を含めた範囲の広い材料を利用することで、より生物に近い構造と機能を持ったナノ構造も目指す。	3次的に複雑な形状と機能を持った微小パーツをデバイスの中に組み込むことで従来にない高機能化が可能となる。それぞれの微小パーツを単体の分散型デバイスとして使用することもできる。これらは、小さくかつ複雑な機能が求められる体内医療機器、扱う対象と寸法が近く、さまざまな相互作用が可能な、生体を対象とするナノバイオ分野、分散型環境モニタリングなど様々な分野で役立つ。	微小かつ高機能、多機能化が求められるデバイスとして「体内埋込みデバイス」、分散型の五感センサデバイスと連携する。
	成形技術による3次元ナノ構造形成	低コスト化、量産化のためには転写プロセス技術の開発が必要。しかし、装置の高精度化などが未完了	分解能50nm、プロセス面積 100mmウエハーサイズ	低コスト、高生産性	マイクロ化学分析 体内埋込みデバイス エネルギーハーベスティング
	自己組織化による3次元ナノ構造形成	複雑な制御なしに微細構造ができるものの適用材料・寸法範囲が限定される。一般化の検討が必要	分解能、代表寸法、材料選択の自由度、密着強度	所望の輪郭を有する機能微粒子の集合体	生体機械ハイブリッドデバイス 増強ラン系センシング エネルギーハーベスティング 触覚伝送・再生デバイス
大面積連続プロセス	マイクロ・ナノ印刷(インクジェット)	インクジェット技術は大面積への対応が可能であるだけでなく、小ロットを効率的に製造できる	分解能、代表寸法、材料選択の自由度、密着強度	デバイス材料あるいはデバイスそのものをジェット状に飛ばし、基板上に立体構造を形成	大面積シート型デバイス 触覚伝送・再生デバイス
	マイクロ・ナノ印刷(転写印刷)	印刷技術は各種材料の大面積塗布に有効であるものの、MEMSへの適用が十分に行われていない ナノビルドアップ構造体形成技術	ナノリヤを転写プロセスによって積層する技術 分解能、代表寸法、材料選択の自由度、密着強度	既存の製造プロセス技術を転用することで、高精度の製品製造技術を確立することができる。 大面積と高効率生産の両立	大面積シート型デバイス
	ナノインプリント	高分解能特性を活かしながら、大面積フォトリソグラフィやローラー式モールドへの拡張が求められている	プロセス面積・幅50cm角以上、繋ぎ目精度:1μm以下	ナノ構造の大面積成形による低コスト化と汎用性の向上	MEMSシートデバイス、CO2固定マイクロデバイス、エネルギー吸収デバイス
界面	自己組織化、SAM、分子膜	・SAMによって界面の制御を行うとともに、界面制御によってSAMを所望のパターンで形成できるが、これらの一般化が重要 ・MEMSへの展開を目指したシリコン基板上へのフォスホン酸などの新規自己組織化膜やその高速製膜を目指す	シリコン上への新規自己組織化膜とそのセンサー・デバイスの基礎特性。 高速製膜、レジスト特性、トライボロジー特性の向上を狙う 界面制御の空間分解能、強度比(親水・疎水比など)、自由曲面上への処理	五感センサなどの基板、レジスト材料、潤滑剤など電気的・機械的インタフェースのバッチ処理化、摩擦低減などの機能付与	エネルギーハーベスティング 環境浄化デバイス 嗅覚伝送・再生デバイス 生体機械ハイブリッドデバイス 五感センシング
	高度生体親和界面	微量の特定物質を検出する高感度バイオセンサや、微生物が実現する複雑な生化学反応を利用したマイクロリアクタの実現が求められている。このためには、タンパク質高分子やさらには酵母、細菌などの高次のバイオマテリアルを、大きな比表面積をもつナノ構造上に、活性を保ちながら固定する新たな技術が求められる。また、ナノ表面/バイオ界面を制御することにより、選択的、自己組織的なバイオマテリアルのパターンニングが可能となり、より高性能なデバイスが実現される。	nmオーダのナノ構造上に、タンパク質高分子、酵母、細菌を活性を保ったまま固定する 自己組織的なバイオマテリアルパターンニング	ナノ構造、材料とバイオマテリアルとの相互作用に関する基礎的知見の獲得、DNA、酵素、病原菌などの超高度バイオセンサ、有機酸の生産や、二酸化炭素吸収、水質改善などを実現するバイオマイクロリアクタが実現される。	エネルギーハーベスティング 環境浄化デバイス 嗅覚伝送・再生デバイス 生体機械ハイブリッドデバイス 五感センシング
	有機分子配向制御	現在、有機材料は特異な光機能に加え、フレキシブル性などの従来の材料にはない多様性から新しい光半導体材料として大きな期待を集めている。本研究分野では、大面積、高効率なエネルギー変換を目指して、有機・無機界面、有機・無機界面における励起子の高効率キャリア分離機構・キャリア注入の確立、励起子・電荷の高速輸送機構を確立しする	有機・無機界面、有機・無機界面において、50%以上の励起子分離効率を実現する。 励起子・電荷の高速輸送機構を確立する。 1)基本材料となる有機分子・無機材料の探索と合成、デバイス化 2)表面修飾技術による分子配向制御 3)UPS等による電荷分離機構の解明 4)3次元ナノ構造による50%以上の励起子分離効率	異種材料間の分子間相互作用の解明、分子配向性の制御技術の確立し、高効率キャリア分離・輸送機構を確立にする。そして、3次元ナノ構造による励起子分離機構によって現状のエネルギー変換効率の3-4倍を目指す。	エネルギーハーベスティング 生体機械ハイブリッドデバイス 五感センシング 大面積シート型デバイス
評価	ナノトライボロジー	MEMS技術によるナノオーダの先端を持つカンチレバーアレイ、アクチュエータと、ボトムアッププロセスによる各種の薄膜が提案されている。これらを融合させる事により、従来に無いデバイスである、大面積を一度に観察出来るマルチAFMや、超大容量を持つマルチプローブ型ストレージの実現が期待出来る。それらを実現するために必要な基礎技術として、まずはカンチレバー先端と被接物間の物理現象(特に、ナノトライボロジー)を適切に理解できる計測・評価技術を確立しなければならない。	カンチレバーアレイが揺動する際の微小領域の摩擦摩擦、凝着、メニスカスなどのトライボロジカルな現象の定量評価、アレイ先端の深さ方向の精密な位置測定を可能とする。	本研究から得た知見により周辺の最適設計を可能とし、プローブアレイの機能・性能・信頼性を確立、各種のインベーションに繋がる新規デバイス(マルチAFM、マルチプローブ型ストレージ等)の実現可能性を拓く	マルチカンチレバー触覚センサ 体内埋込みデバイス
シミュレーション	マルチスケールモデリング	MEMSシステムの微細化、大規模化により、ナノ/マイクロ/マクロ領域をつなぐシミュレーション技術が求められる	ナノ/マイクロの連成、マイクロ/マクロの連成	原子レベルから大規模システムまでの解析評価と、システム設計・開発の効率向上	全般

## 4 . BENS 実現に向けた方策提案

### 4 - 1 BEANS の全体像

BEANS は 20 年後の社会のあらゆる分野で社会を革新し、新しいライフスタイルを創出するためのキーデバイスとなることは前節までで述べたとおりである。このことは平成 19 年 2 月に報告されたイノベーション 25 戦略会議の中間報告で示された 20 のイノベーション代表例をみてもわかる。図 4-1-1 にそのイノベーション 20 の代表例を実現するために以下に示す BEANS の代表的デバイスがどのように関与するかを示した。

オンサイト環境浄化デバイス	エネルギーハーベスティング
環境物質・化学物質・五感センシング	雰囲気伝送・再生デバイス
壁紙型アンビエントインテリジェント	シート型健康管理デバイス
体内埋込デバイス	

図 4-1-1 では、各イノベーションの代表例に付してある円の番号と BEANS デバイスの番号とがリンクしている。例えば、例 1 のカプセル 1 錠で健康診断では、体内埋込型デバイス、シート型健康管理デバイス、環境物質・化学物質・五感センシング、エネルギーハーベスティング、雰囲気伝送・再生デバイスの 5 つが関連する。具体的には、カプセル状の診断デバイスはカプセル内視鏡として知られているが、BEANS は診断プラス治療を行うデバイスの実現を目指している。そのためには長期間体内に埋め込めるデバイス、その中に組み込む健康状態を分析するセンサ、ガン細胞の DNA・感染症ウィルスのセンサ、センシング結果に対応し投薬する DDS、さらに、患部に移動し、マニピュレータやレーザー等で治療する機能が必要になる。これらを直径、長さ数 mm の円筒状に納め、診断結果・治療結果を体外に送信し、長期間滞在できるエネルギー自立のシステムをねらう。また、遠隔医療を実現するには、患者の状態を簡単に診断できるシート型健康シートが有効であり、肌の様子や、口臭、体臭という情報が視覚、聴覚に加わることでより正確に患者の状態を知らせることができ、的確な診断・処置・治療が実現できる。

次に例 4 の空気をきれいにする自動車について考える。BEANS が目指す環境デバイスは環境を保全するのではなく環境を浄化するデバイスである。オンサイト CO<sub>2</sub> 固定化デバイスはその代表例で、現在対策がとられていない CO<sub>2</sub> の分散排出源から CO<sub>2</sub> を固定化し有効に利用することをねらっている。自動車以外にも家庭の給湯器、さらに普及が予測されているモバイル向け燃料電池の排ガスも対象となる。CO<sub>2</sub> を分離・固定するため微生物の応用も視野に入れ進める。システム化にはセンシング技術、オンサイトで機能するためのエネルギーハーベスティングも重要となる。

このように BEANS はほとんどのイノベーションの代表例を実現するためのキーデバイスとなる。

# 図4-1-1 イノベーション25を実現するBEANS

(イノベーション25戦略会議：「イノベーション25」中間とりまとめ，2007.02を参考に作成)



例5. 世界の環境リーダー  
④



例4. 空気を綺麗にする自動車  
①②③



例6. 不毛の砂漠に緑のオアシス  
①②③



例7. 外国人とコミュニケーション  
④②③



例8. サイバーワールドで世界体験  
④③



例9. 一家に1台家庭ロボット  
④③②



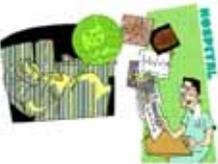
例10. キャッシュレス・ワールド  
③⑤



例3. がん・心筋梗塞・脳卒中を克服  
⑦⑥③



例2. 高齢者でも丈夫な身体  
⑦⑥④③



例1. カプセル1錠で健康診断  
⑦⑥③④②



例20. ロボットが月旅行  
④③②①



例19. 200平米200年住宅  
④③⑤①



例18. 地震発生後の15秒緊急対応  
②③④



例17. 土砂・洪水災害を予測  
②③



例16. リニアモーターカー  
③



例15. 衝突できない車  
③④②



例14. センサネットワークで守る安全  
③②



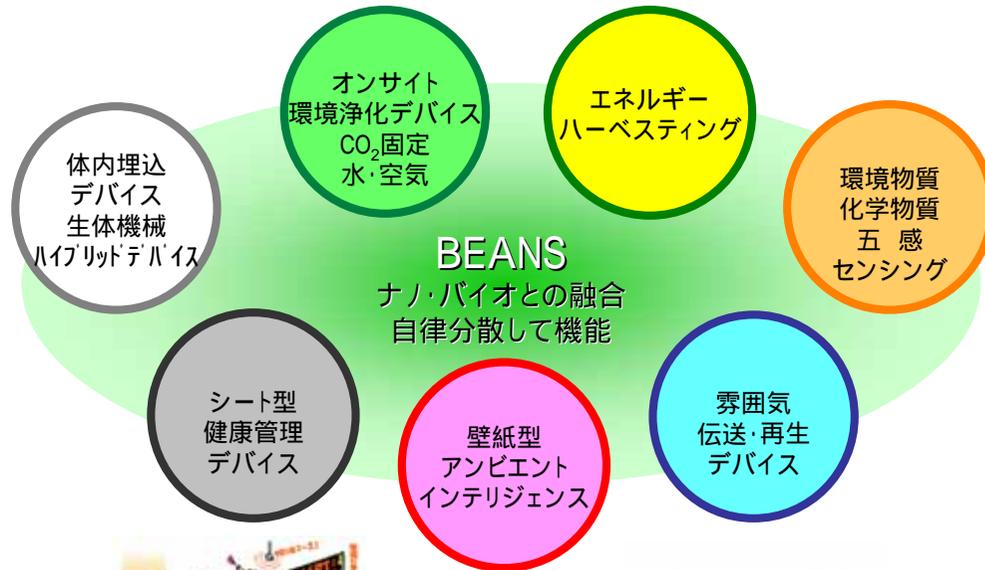
例11. 折りたたみ式ディスプレイ  
⑤④



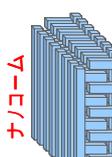
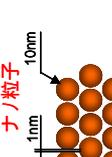
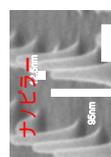
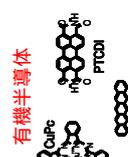
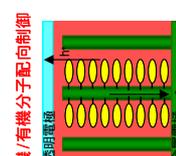
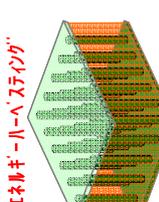
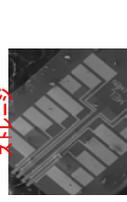
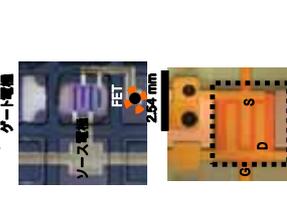
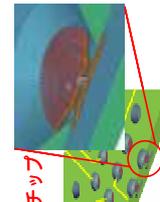
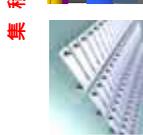
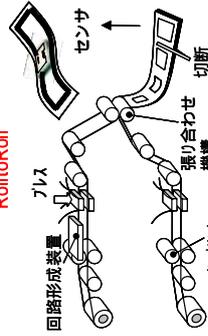
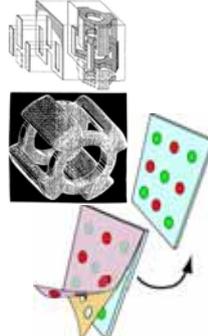
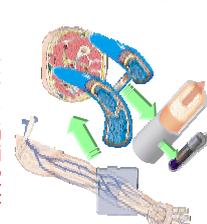
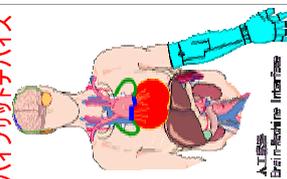
例12. 食物の安全情報キャッチ  
③⑤



例13. 製造現場の頭脳ロボット  
③④



# 図4-1-2 BEANSで取り組むデバイス・アプリケーションとマイクロナノ統合製造技術

材料・ナノ構造	界面制御	デバイス	製造プロセス	アプリケーション
<p>ナノポーラス</p>  <p>ナノコーム</p>  <p>ナノ粒子</p>  <p>ナノピラー</p>  <p>有機半導体</p>  <p>生体・タンパク質</p>  <p>ナノカーボン</p> 	<p>ナノ粒子アレイ</p>  <p>無機/有機分子配向制御</p>  <p>濡れ性制御</p>  <p>自己組織化</p>  <p>バイオ界面</p>  <p>脂質二重膜</p> 	<p>エネルギー・デバイス</p>  <p>環境物質センシング</p>  <p>マルチチャンネルパワーストレージ</p>  <p>プリンテッドエレクトロニクス</p>  <p>膜チップ</p> 	<p>集積化</p>  <p>RolltoRoll</p>  <p>ナノインプリント</p>  <p>マイクロ・ナノ印刷</p>  <p>異種材料レイヤバイレイヤ</p> 	<p>環境浄化デバイス</p>  <p>自動車安全システム</p>  <p>センサネットワーク</p>  <p>人工皮膚(触覚)</p>  <p>体内埋込デバイス</p>  <p>大面積シート型デバイス</p>  <p>生体機械ハイブリッドデバイス</p> 

BEANS 実現には既に述べようにマイクロ・ナノ統合製造技術が基盤技術として重要な位置を占める。図 4-1-2 ではマイクロ・ナノ統合製造技術の全体像を材料・ナノ構造 界面制御 デバイス 製造プロセス アプリケーションという事業化の流れの中でどのように係わっているかという観点から俯瞰した。

## 4 - 2 イノベーションスーパーハイウェイ構想実現のための方策提言

平成 18 年経済産業省から新経済成長戦略が発表されている。ここでは、イノベーションスーパーハイウェイ構想が打ち出され、戦略研究への集中・加速・双方向連携が謳われている。この中で双方向連携とは、従来研究現場から市場に向けて一方向でイノベーションが進められてきたため、開発途中で死の谷を越えられなかった例が多いとの認識から、研究初期段階から意識的に市場の声を研究現場に活かすための新たな取り組みである。BEANS 実現にもこのイノベーションスーパーハイウェイ構想の考え方は重要である。

BEANS プロジェクト推進には

- 1) デバイステーマとプロセステーマのマトリクスによる推進
- 2) 連続して成果を出せる、時系列を意識したデバイス開発

の 2 つの方針を提言している。これらは研究のための研究でなく、シームレスに産業界に成果を出し、かつプロセスのプラットフォーム化により、種々の分野に複数のデバイスの実用化を可能にするという産業界からの強い要望を具体的に進めていくための方策である。

テーマのマトリクスを具体化するために図 4-2-1 に示すように縦軸にデバイステーマ、プロセステーマを横軸にとらえ、デバイス実現に両者に関連がある場合、その交点に を付し系統化し、その関係を明確にすることが研究開発マネジメントの第一歩である。

デバイステーマ群	グリーンデバイス			ホワイトデバイス			ブルーデバイス		
	エネルギーハーベスティングデバイス	オンサイト環境浄化デバイス	環境物質センサ	体内埋込デバイス	生体機械ハイブリッドデバイス	シート型健康モニタリングデバイス	雰囲気伝送・再生デバイス	壁紙型アンビエントインテリジェンスデバイス	「スカウター」万能携帯
デバイス固有技術課題									
プロセスインテグレーションテーマ群	エッチング・成膜	●	●	●	●	●	●	●	●
	3次元ナノ構造形成			●	●	●	●	●	●
	自己組織化	●	●	●	●	●	●	●	●
	マイクロ・ナノ印刷インクジェット	●	●		●	●	●	●	●
	大面積連続プロセス	●			●		●	●	●
	マイクロ・ナノ印刷転写印刷		●				●	●	●
	ナノインプリント		●					●	●
	分子自己組織化	●		●	●	●	●	●	●
	界面制御 表面改質・修飾	●	●	●	●	●	●	●	●
	バイオ応用		●	●	●	●	●	●	●
	印刷応用		●	●	●	●	●	●	●
	モデリング マルチスケールシミュレーション	●	●	●	●	●	●	●	●
	モデリング								
検査・評価	●	●	●	●	●	●	●	●	
界面評価									

図 4-2-1 デバイス/プロセスのマトリクス推進による研究開発マネジメント

連続して成果を出すためには、開発初期のテーマ全体の俯瞰により、まずテーマのポートフォリオを作成し、開発のアプローチを決定することである。図 4-2-2 は現在進行中の第 2 世代 MEMS から BEANS に至る研究開発を横軸に、分散化（大面積化・連続化）縦軸に集積化・微小化（3 次元ナノ構造形成・界面制御）という開発の方向性を取り、最終目標であるグリーン、ホワイト、ブルーの各デバイスへの位置づけを示している。この図はデバイスの位置づけを定義すると同時に時系列を意識したデバイス開発のアプローチも示している。このアプローチにより、シームレスに成果をだし、産業界に貢献することが可能となる。

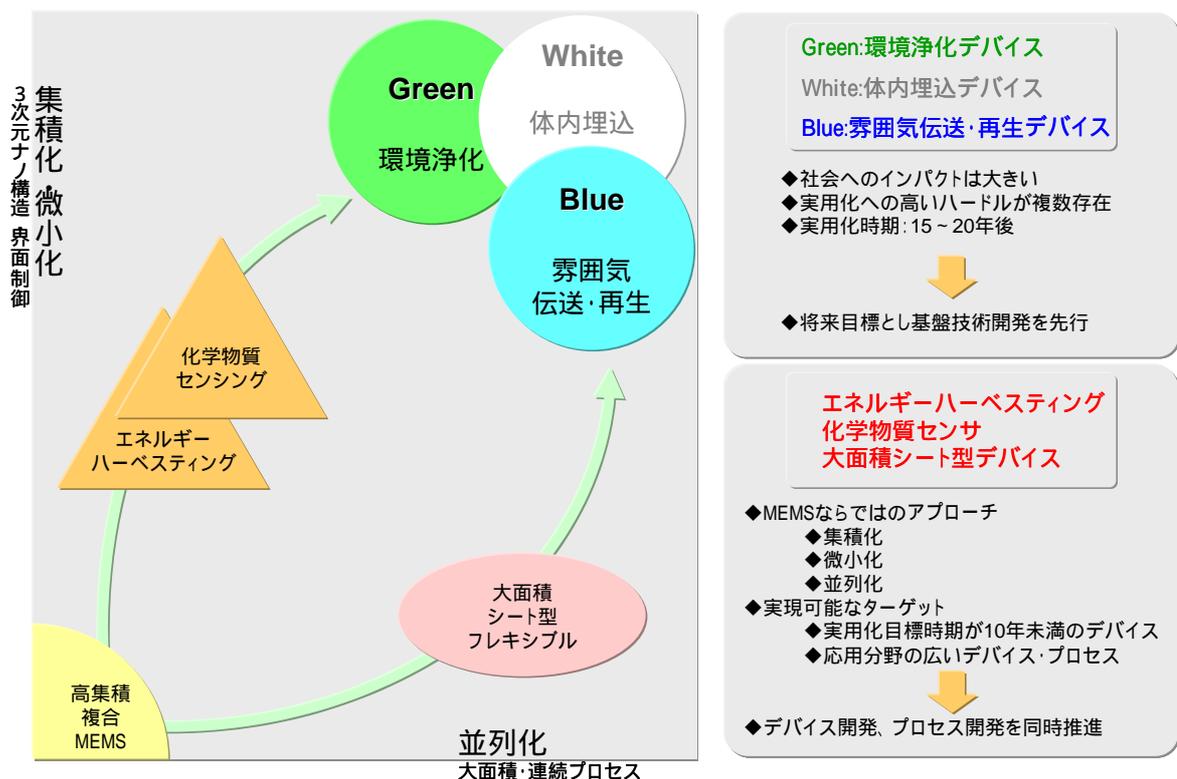


図 4-2-2 BEANS デバイスのポートフォリオと開発アプローチ

産業界へのシームレスな成果創出は、BEANS プロジェクト単体では困難で、現行の fine MEMS プロジェクトとの連携で達成していくことが重要である。また、BEANS プロジェクトのターゲットは 20 年後の社会への革新的インパクトを与えるデバイス創製ではあるが、20 年後にインパクトを与えるには、10~15 年後に実用化が始まる必要がある。さらに、激しい国際競争において勝利するには、それ以前にも革新的デバイスを実用化していくことも重要である。図 4-2-3 にこれらを可能とするための研究開発ロードマップを示す。このロードマップの特長を以下に述べる。

・ fine MEMS

・平成 20 年度(2008 年度)プロジェクト終了後 3 年で研究テーマの実用化をめざす

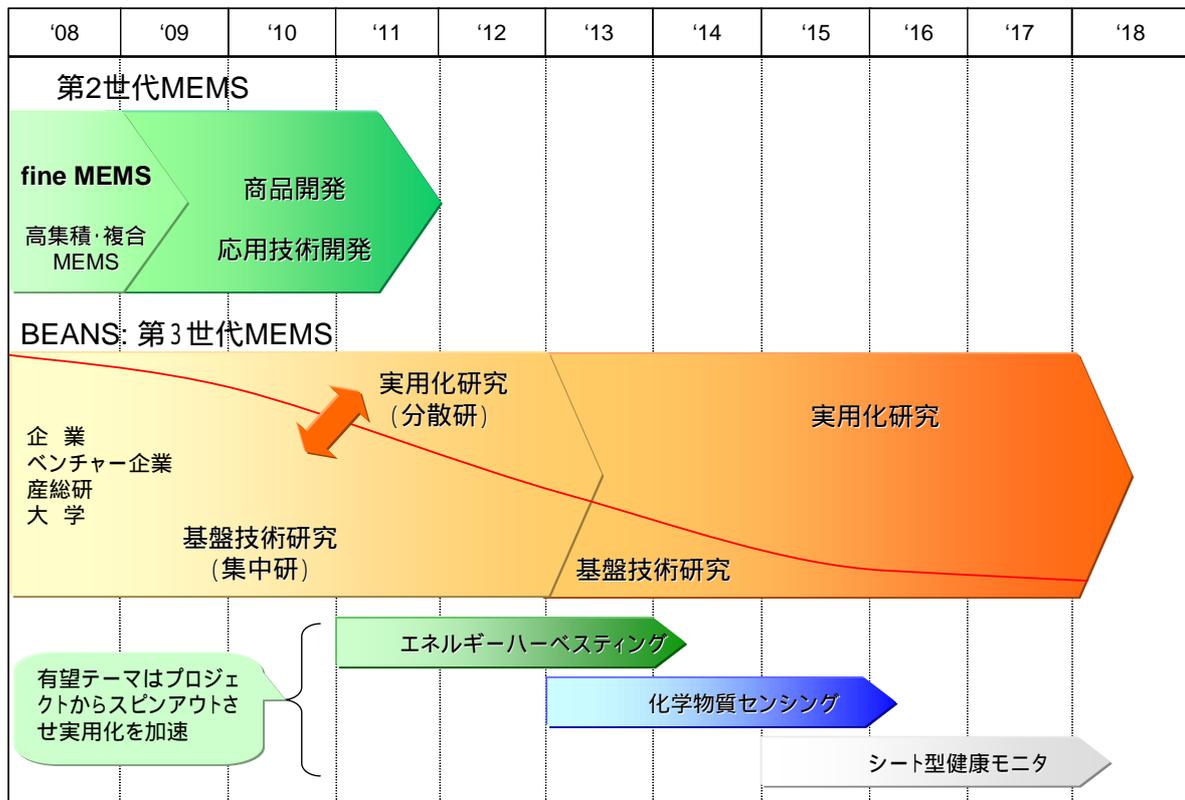


図 4-2-3 BEANS 研究開発・実用化のロードマップ

・第1期

- ・ 2008 年から BEANS プロジェクト開始、まず 5 年間の基盤技術開発プロジェクトを委託プロジェクトとして進める
- ・ 大学、産総研、企業、さらにベンチャー企業も参画し、産官学連携の取り組みとする
- ・ 基盤技術研究から開始、当初は集中研方式で進める
- ・ プロセス・デバイス基盤技術研究をマトリクス的に推進
- ・ 前半（3 年）終了後にテーマの FS を評価
  - ・ 事業化に近い有望テーマはスピナウトし、事業化を加速
  - ・ 順調なテーマは基盤技術研究を加速
  - ・ FS の結果、評価の低いテーマはペンディング、プロジェクトテーマから外す
  - ・ 評価結果で予算・人員の配分を決定
- ・ 終了時、実用化の可能性をコンセプトモデルにより FS
  - ・ 事業化に近い有望テーマはスピナウトし、事業化を加速
  - ・ 順調なテーマは実用化研究に移行
  - ・ さらに基盤技術研究が必要なテーマは絞り込みを行い委託スキーム推進
  - ・ FS の評価が低いテーマは中断

・第2期

- ・5年の実用化研究プロジェクトとし、基本的に助成で推進
- ・デバイスを選別し応用技術開発を推進
- ・開発されたプロセス技術の水平展開・装置開発
- ・早期開発を狙いSpinOutベンチャー企業設立
- ・第1期で基盤技術研究の継続と評価されたテーマは委託スキームで推進

#### 4-3 BEANS 研究体

4-2 節のコンセプトを実現するためには、第一に市場からの観点で研究開発マネジメントできる体制が必要である。また、一方で研究開発には世界トップレベルの高い専門性が必要となる。この二つの要件を両立するため以下に述べる BEANS 研究体を設立することを提案する。コンセプトを図 4-3-1 に示す。

複数の BEANS 開発センターを設け、BEANS 研究体が統括する

- ・強みを活かしたデバイス・プロセスセンターの設立
- ・出口を明確に意識した研究マネジメント
- ・横断的な研究テーマ、人材、設備、予算のマネジメント

イノベーションスーパーハイウェイ構想の実現

- ・プロジェクトリーダーは民間企業研究所長経験者
- ・マネジメントチームが事業化・研究開発を推進
- ・予算配分権等、進捗状態対応できる柔軟な運営
- ・ベンチャー企業の参画による産業育成と地域活性
- ・大学教授・国研部門長クラスがアドバイザーとしてプロジェクトリーダー、マネジメントチームをサポート
- ・世界から研究者を集結、異分野融合人材育成し、アジアのイノベーション拠点となる

この BEANS 研究体とすでに文部科学省により進められている「先端融合領域イノベーション創出拠点」との比較を表 4-3-1 に示す。両者は・狙い、・対象領域、・産学官連携、・人材育成の面で同じコンセプトを持っているが、以下の点で異なる。

・実用化への取り組み

- ・BEANS 研究体：基盤研究と有望テーマの事業化推進を同時に行うパラレル研究開発
- ・先端融合領域：将来的な実用化を見据え基礎的段階からの研究開発をシリアルに行う

・拠点間の連携

- ・BEANS 研究体：大学・産総研・企業グループの複数拠点（センター）を束ねる
- ・先端融合領域：大学・産総研等の機関単独の拠点

・研究マネジメント

- ・ BEANS 研究体：民間企業研究所長経験者をトップとするマネジメント体制
- ・ BEANS 研究体：研究資源である人・物・金を研究体が統括
- ・ 先端融合領域：産学共同推進だが大学・研究所がマネジメントのイニシアチブをとる

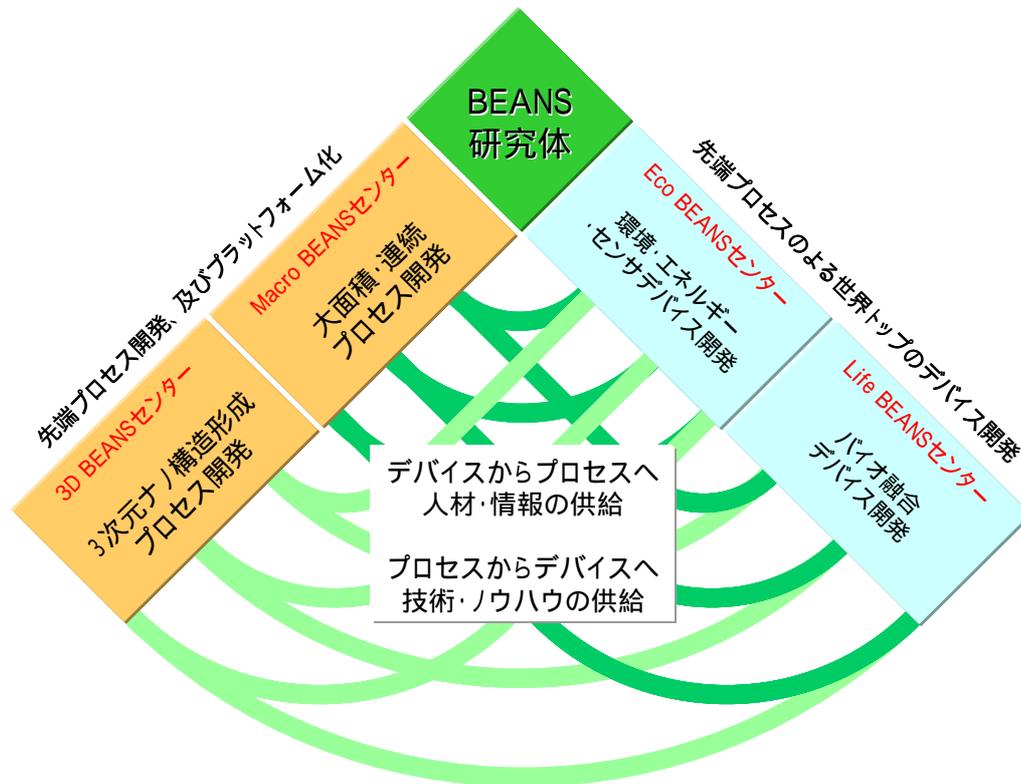


図 4-3-1 BEANS 研究体構想

表 4-3-1 BEANS 研究体と先端融合領域イノベーション創出拠点構想との比較

	BEANS研究体	先端融合領域イノベーション創出拠点
狙い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期的な観点からイノベーションの創出を狙う</li> <li>・10～15年後の実用化に向けた不連続なイノベーション</li> </ul>	
対象領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>・先端的な融合領域を対象</li> <li>・マイクロ加工とナノバイオとの融合</li> </ul>	
産学官連携	<ul style="list-style-type: none"> <li>・企業からの具体的なコミットメントに基づく連携</li> </ul>	
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・産学官の協働による次世代を担う研究者・技術者の育成</li> </ul>	
実用化への取り組み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基盤研究と有望テーマの事業化推進を同時に行うパラレル研究開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・将来的な実用化を見据え基礎的段階からの研究開発をシリアルに行う</li> </ul>
拠点間の連携	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大学・産総研・企業グループの複数拠点(センター)を束ねる研究体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大学・産総研等の機関単独の拠点</li> </ul>
研究マネジメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・民間企業研究所長経験者をトップとするマネジメント体制</li> <li>・人・物・金を研究体が統括</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・産学共同推進するが大学・研究所がマネジメントのイニシアチブをとる</li> </ul>

## 5 . 調査研究の今後の課題及び展開

これまで MEMS フロンティアとしてのナノ・バイオ融合による未来デバイス技術の調査研究結果について述べてきた。その中で未来デバイスをナノ・バイオと電気機械の融合による、自律分散機能を有するデバイス・システムと定義し、そのデバイス・システムを総称し、BEANS ( Bio Electro-mechanical Autonomous Nano Systems ) とすること。BEANS のデバイス、及びプロセス提案とマトリクス体制の推進、研究開発・実用化へのロードマップ、及びBEANS 研究体という推進体制を提唱し、具体的機能について述べた。

今後はこの提案を現実のものとするため、関係機関との連携を図り、平成 20 年度からのプロジェクト開始、さらにはプロジェクトの狙いである「20 年後の社会に革新的インパクトを与え、新しいライフスタイルを創出するデバイスの開発、及びそれを実現するためのマイクロナノ統合製造技術の構築」を達成していかなければならない。

具体的には図 5-1 に示すように、ポリシー作り、研究開発から実用化、承認・認可・規制・指導に至るまでの関係機関と密に連携をとり進める必要がある。特に、イノベーション 25 は国策として進められるものであり、その実現に BEANS が大きく寄与するものであることを、内閣府、文部科学省・JST、経済産業省・NEDO に対しアピールし、どのような形で協働し実現していくのか協議をすすめる必要がある。

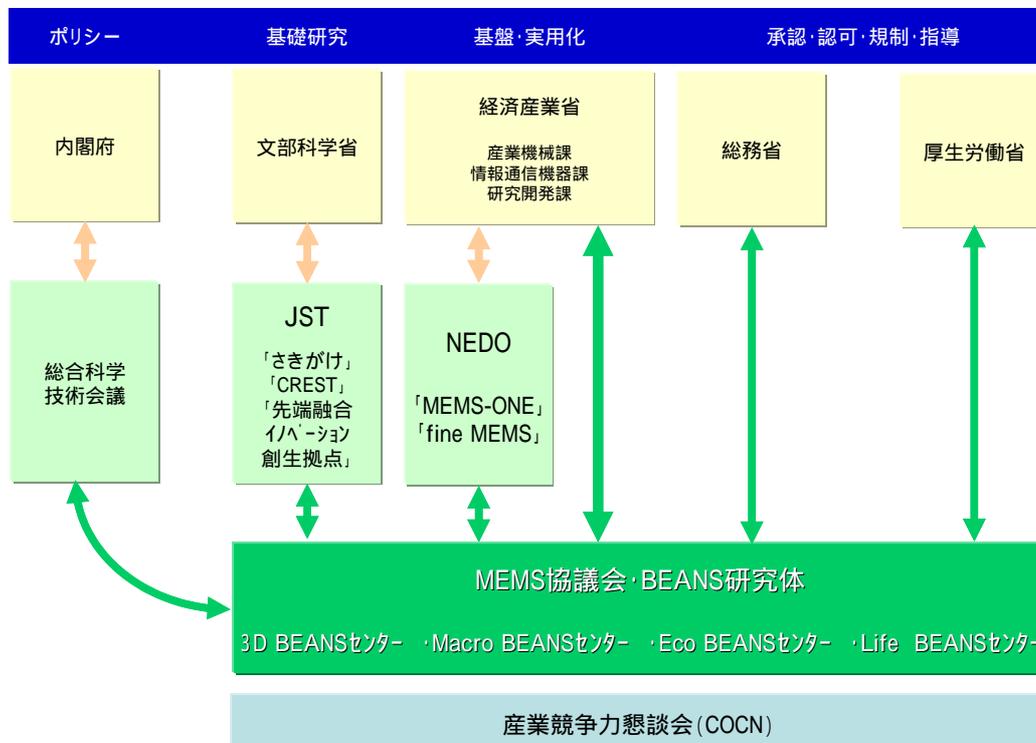


図 5-1 BEANS 実現に向けた関係機関との連携

また、実用化には許認可、規制、指導の観点から総務省、厚生労働省等との関係が重要であり、研究段階からの密な情報交換が成果のスムーズな事業化・社会への貢献を支援することになる。

さらに、今回この提案を大臣、関係省庁幹部に提案していただく産業競争力懇談会（COCN）には、数回にわたる検討会での指導、鞭撻に感謝するとともに、今後とも大きなサポートをお願いしたい。

最後に、今回の調査研究委員会の藤田博之委員長、古田一吉副委員長、分科会の三木則尚リーダー、竹内昌治リーダー、三田吉郎リーダー、諸貫信行リーダーをはじめ、委員、及び関係各位、さらに話題提供をいただいた、国連大学副学長安田至博士、筑波大学医学部脳神経外科鈴木謙介博士に事務局を代表し感謝の意を表します。

- 禁 無 断 転 載 -

システム技術開発調査研究 18 R 1

MEMS フロンティアとしてのナノ・バイオとの融合による未来デバイス技術に関する  
調査研究報告書

- 要 旨 -

(Study report on the Bio Electromechanical Autonomous Nano Systems technologies)

平成19年3月

作 成 財団法人 機械システム振興協会  
東京都港区三田一丁目4番28号  
TEL03(3454)1311(代)

委託先 財団法人マイクロマシンセンター  
東京都千代田区神田佐久間河岸67  
TEL03(5835)1870(代)

印刷 タカラ印刷紙工株式会社