

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

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

第1章 本調査研究の目的と実施方法

1 - 1	調査研究の目的	1
1 - 2	調査研究の実施方法	2
1 - 2 - 1	アプローチ	2
1 - 2 - 2	調査研究の内容・範囲	2
1 - 2 - 2	実施体制	3

第2章 第3世代 MEMS 技術開発への取り組みの必要性

2 - 1	MEMS 技術の産業化への取り組み状況	14
2 - 1 - 1	国内 MEMS 産業の現状	14
2 - 1 - 2	MEMS 市場の推移	15
2 - 1 - 3	MEMS 産業化に対する研究開発プロジェクトの関わり	17
2 - 1 - 4	技術戦略マップによる研究開発プログラムの推進	18
2 - 1 - 5	海外における次世代マイクロ・ナノシステム研究への取り組み	21
2 - 2	ナノ・バイオプロセスとの融合によるマイクロナノ統合製造技術開発の必要性	28
2 - 2 - 1	fine MEMS によるナノ・バイオ機能の MEMS との結合	28
2 - 2 - 2	マイクロナノ統合製造技術の確立への課題	31
2 - 3	20年後の社会トレンドとライフスタイル	34
2 - 3 - 1	環境・エネルギー	34
2 - 3 - 2	健康・医療	36
2 - 3 - 3	快適・安心・安全	37

第3章 BEANS (Bio Electro-mechanical Autonomous Nano Systems) の概念

3 - 1	BEANS のコンセプト	40
3 - 2	BEANS により実現できるデバイス群	40
3 - 3	BEANS を支えるマイクロナノ統合製造技術	42

第4章 BEANS 開発への取り組み

4 - 1	BEANS の研究開発アプローチ	45
4 - 2	BEANS を実現する重要技術の選定	47

第5章 マイクロナノ統合製造技術

5 - 1	3次元ナノ構造形成技術	51
5 - 1 - 1	エッチング	51

5 - 1 - 2	成膜	58
5 - 1 - 3	成形	61
5 - 1 - 4	ナノトランスファー	64
5 - 1 - 5	自己組織	66
5 - 1 - 6	異種材料レイアバイレイヤ	69
5 - 2	界面制御技術	72
5 - 2 - 1	自己組織分子膜	72
5 - 2 - 2	高度生体親和界面	77
5 - 2 - 3	有機分子配向制御	80
5 - 3	連続化・大面積化プロセス技術	83
5 - 3 - 1	マイクロ・ナノ印刷	83
5 - 3 - 2	転写技術	85
5 - 3 - 3	ナノインプリント	88
5 - 4	検査・評価・シミュレーション技術	92
5 - 4 - 1	ナノトライボロジー	92
5 - 4 - 2	マルチスケールモデリング	95

第6章 環境・エネルギー分野への応用

6 - 1	エネルギーハーベスティング	98
6 - 1 - 1	光	98
6 - 1 - 2	熱	103
6 - 1 - 3	振動	107
6 - 1 - 4	バイオ	112
6 - 1 - 5	蓄電	114
6 - 2	オンサイト環境浄化デバイス	117
6 - 2 - 1	CO ₂ 固定	117
6 - 3	超高感度環境物質検出デバイス	120
6 - 3 - 1	SERS 応用センサ	120
6 - 3 - 2	自己組織化膜応用センサ	123
6 - 3 - 3	テラヘルツ光源応用センサ	125
6 - 3 - 4	マイクロ環境物質検出装置	128

第7章 健康・医療分野への応用

7 - 1	シート型健康管理デバイス	132
7 - 1 - 1	シート型体内観察技術	132
7 - 1 - 2	情報分析技術	137
7 - 2	超小型体内埋め込みデバイス	140
7 - 2 - 1	次世代体内観察・治療デバイス	140
7 - 2 - 2	体内留置型 MEMS センサ	144
7 - 2 - 4	体内留置型 MEMS センサ～門脈等への留置型～	149
7 - 2 - 5	体内自走式マイクロデバイス	151

7 - 3	生体機械ハイブリッドデバイス	153
7 - 3 - 1	分子・細胞ハイブリッドデバイス	153
7 - 3 - 2	臓器ハイブリッドデバイス	157
第8章 快適・安心・安全分野への応用		
8 - 1	雰囲気検知・伝送・再生デバイス	163
8 - 1 - 1	臭覚	163
8 - 1 - 2	触覚	168
8 - 1 - 3	赤外線	172
8 - 1 - 4	スマート ID センサ	176
8 - 2	壁紙型アンビエントインテリジェンスデバイス	179
8 - 3	万能携帯	181
8 - 3 - 1	サイボーグによる超人能力デバイス「万能携帯」	181
第9章 BENS 実現に向けた方策提案		
9 - 1	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	185
9 - 2	BEANS 研究体	188
第10章 調査研究の成果（まとめ）		
10 - 1	環境・エネルギー分野のデバイス	199
10 - 2	健康・医療分野のデバイス	200
10 - 3	快適・安心・安全分野のデバイス	200
10 - 4	マイクロ・ナノ統合製造技術	201
10 - 5	BEANS 実現のための方策提言	202
第11章 調査研究の今後の課題及び展開		
		205