

システム技術開発調査研究
12-R-10

次世代マイクロマシン技術応用システムの
創出に関する調査研究
報告書

平成13年6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



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

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、経済産業省のご指導のもとに、機械システムの開発等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業等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 放送大学 教授 中島尚正 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民間の調査機関等の協力を得て実施しております。

この「次世代マイクロマシン技術応用システムの創出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13年6月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

マイクロマシンという言葉が研究・開発の対象として認知されてから、はや十余年が経過しました。マイクロマシンとは文字通り小さな機械ではありますが、一般に考えられるミクロの決死圏にでてくる潜水艇ではないこともこの間で明らかになりました。「マシン」つまり「機械」とは物理的な大きさ・形をもって実世界と相互作用をもつものの総称で、これは必ずしもミクロの決死圏の潜水艇のみを指すものではなく、もっと幅広い概念であることを再認識しました。また、既存の機械を、形や機能をそのままに縮小しても、必ずしも期待していた通りの機能が得られないことも明らかになりました。

日本ではマイクロマシンと呼ばれる微細加工技術ですが、米国では **MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)**、欧州では **MST (Micro System Technology)** とよばれ、これらはほとんど共通のものとなされています。共通点は、リソグラフィ技術を含むエネルギービーム加工技術、組み立て等の機械加工技術を含む点であり、また、微小世界の支配法則や電子回路を巧みに使うセンサやアクチュエータや情報処理回路が集積化されたシステムである点です。

本調査研究報告では、委員会のメンバーの議論をもとに、産業化を見据えたマイクロマシンの今後の研究開発の戦略提言を行いました。また、企業化・産業化については、ニーズに基づいた研究開発分野の設定と、どのような研究開発体制・支援体制でやるべきかの議論を行いました。特に、現在の日本の閉塞感を打破するためには、産官学がそれぞれの役割を認識しつつ、新産業の芽となる基礎研究、長期的視点に立った人材育成、その研究を産業化に導くまでの応用研究、ニーズを把握しながら研究を短期間に製品に結びつける開発、研究・開発を支える基盤、を有機的に組織化する必要があります。これらについての戦略的な提言が本報告の第3章までの部分です。さらに、第4章以降では、ニーズのある製品イメージをブレークダウンして、研究開発が必要な要素技術を具体的に洗い出しました。

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と存じます。

平成13年6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	調査研究の範囲と実施体制	2
1-2-1	調査研究の範囲と方法	2
1-2-2	実施体制	3

第2章 次世代マイクロ・ナノマシン技術応用システムの創出に向けて

2-1	マイクロマシン技術プロジェクトの結果をふまえた 今後の戦略的研究開発	12
2-2	マイクロマシン技術応用システムの現状と展望	16
2-3	技術革新による社会への貢献	17

第3章 次世代のマイクロマシン技術の研究開発戦略

3-1	概要	18
3-2	重点研究分野	18
3-2-1	医療・福祉分野	23
3-2-2	バイオ・環境分野	23
3-2-3	情報・通信分野	23
3-2-4	安心・安全分野	24
3-2-5	製造技術分野	24
3-3	戦略的研究開発内容	25
3-4	産業化のための戦略的体制、施設・設備	28
3-4-1	企業の役割	28
3-4-2	行政の役割	28
3-4-3	公的研究機関の役割	29
3-4-4	大学の役割	30
3-4-5	財団等の役割	31
3-4-6	マイクロシステム・ナノマニュファクチャリングセンター/ デザインセンター	33

3-5	産業化のシナリオ	33
3-6	戦略的提言の結論	34

第4章 医療・福祉分野

4-1	概要	36
4-2	診断・検査・予防医学、ウェアラブル技術・在宅福祉	39
4-2-1	DNA チップ	39
4-2-2	細胞チップ	44
4-2-3	ウェアラブル関連技術	46
4-2-4	携帯型生理機能モニター	50
4-3	低侵襲治療、再生医療	53
4-3-1	マイクロサージェリー	53
4-3-2	マイクロサージェリー用視覚システム	54
4-3-3	マイクロロボット手術支援システム	57
4-3-4	細胞サイズレベルの手術ナビゲーション	61
4-3-5	レーザー、超音波治療技術	62
4-3-6	再生医学・組織工学	65
4-4	ドラッグデリバリーシステムを利用した薬物治療	69
4-4-1	ドラッグデリバリーシステムの現状と期待される新しい ドラッグデリバリーシステム	69
4-4-2	パッシブターゲティングとは	70
4-4-3	固形腫瘍へのパッシブターゲティング	70
4-4-4	高分子ミセルデリバリーシステム	72
4-4-5	医療技術との併用	74
4-4-6	アクティブターゲティング	74

第5章 バイオ・環境分野

5-1	概要	76
5-2	マイクロ流体システム	78
5-2-1	必要性	78
(1)	化学／生化学物質検出分野	78
(2)	化学合成分野	81
(3)	ゲノム解析・プロテオーム解析分野	83
(4)	細胞・単分子生体物質検出分野	86
(5)	環境モニタリング分野	88
5-2-2	システムイメージとその仕様	90
5-2-3	各要素技術と開発課題	91

(1) 高圧出力・高精度マイクロポンプ	91
(2) オンチップ型マイクロバルブ	92
(3) 高精度マイクロフローセンサー	93
(4) 高速・高効率混合器	93
(5) 細胞・生体分子ソーティング機構	95
(6) コネクタ・システムアッセンブリー技術	96
5-2-4 開発課題の見通し	97

第6章 情報・通信分野

6-1 概要	98
6-2 光通信・フォトニックデバイスに関する研究課題	99
6-3 ウェアラブル機器に関する研究課題	108
6-3-1 ウェアラブルインターフェース技術	108
6-3-2 RF-MEMS	118
6-3-3 エネルギー供給システム	123
6-3-4 ストレージシステム	133
6-3-5 実装・コネクタ	142
6-4 環境・センサーネットワークに関する研究課題	147
6-4-1 センサーネットワークシステム	148
6-4-2 環境ITとマイクロマシン技術	155
6-5 ディスプレイに関する研究課題	160
6-5-1 ディスプレイ	160
6-5-2 五感・情報提示・ヒューマンインターフェース	167

第7章 安心・安全社会分野

7-1 概要	170
7-2 DINDプラットフォーム	175
7-2-1 システム概要	175
7-2-2 開発課題	177
7-2-3 展望	178
7-3 ナノ・プラントクリニックシステム	180
7-3-1 システム概要	182
7-3-2 開発課題	186
7-3-3 展望	188
7-4 セキュアライフシステム	191
7-4-1 システム概要	191
7-4-2 開発課題	191

7-4-3	展望	192
7-5	マイクロレスキューロボットシステム	195
7-5-1	システム概要	195
7-5-2	開発課題	201
7-5-3	展望	205
7-6	スマート・エア・クラフト・システム	207
7-6-1	システム概要	207
7-6-2	開発課題	214
7-6-3	展望	215
7-7	マン・マシン共存システム	218
7-7-1	システム概要	218
7-7-2	開発課題	220
7-7-3	展望	221

第8章 製造技術分野

8-1	概要	224
8-2	要素技術	232
8-2-1	リソグラフィ技術	232
8-2-2	エッチング技術	234
8-2-3	エネルギービーム利用加工技術	236
8-2-4	デポジション技術	239
8-2-5	型加工・転写技術	242
8-2-6	アセンブリ技術・その他	245
8-3	マイクロシステム・ナノマニュファクチャリングセンター構想	251
8-3-1	全体構想	251
8-3-2	設置拠点候補	252
8-3-3	資金	253
8-3-4	運営	254
8-3-5	期待	255
	技術シート	256

第9章 マイクロマシン技術の現状

9-1	総論	283
9-2	基盤技術	285
9-2-1	マイクロ理工学	285
9-2-2	作製技術	290
9-2-2-1	加工関連	290

9-2-2-2	アセンブリー関連	296
9-2-3	材料技術	299
9-2-4	設計技術	302
9-2-5	計測評価技術	306
9-2-5-1	マイクロ部品の形状・寸法計測	306
9-2-5-2	表面荒さ計測	308
9-2-5-3	力・トルク、変位計測	308
9-2-5-4	流体デバイスにおける流体の圧力、流量計測	310
9-3	デバイス技術	312
9-3-1	アクチュエーター	312
9-3-2	センサー	315
9-3-3	エネルギー供給	318
9-4	マイクロマシンのシステム化技術	320
9-4-1	マイクロマシンに必要なシステム化技術	320
9-4-2	現状	322
9-4-3	ナノ領域への進展	325
9-4-4	課題	326

第10章 内外の研究開発動向を踏まえた日本の技術戦略のあり方

10-1	概要	327
10-2	ナノマイクロテクノロジーの捉え方	329
10-3	ナノマイクロテクノロジーの体系化	330
10-4	ナノマイクロテクノロジー技術の体系化	331
10-5	R&D マップを踏まえた我が国技術戦略に対する示唆	332
10-5-1	現状の研究開発領域の俯瞰	332
10-5-2	海外の研究との比較	333
10-5-3	R&D 動向を踏まえたシステム概念設計テーマの 技術ニーズ位置づけ	337
10-5-4	ナノマイクロテクノロジーに対する社会的ニーズ	349
10-5-5	R&D 動向を踏まえた期待される技術的ニーズ	350
10-5-6	R&D 動向を踏まえた技術融合に対する技術的ニーズ	351
10-6	米国における産官学連携の動向分析	369
10-6-1	米国のナノテクノロジー研究 (クリントン政権の"National Nanotechnology Initiative" (NNI) の優位性)	369
10-6-2	MEMS 実用化を支える産官学連携の動向分析	375
10-6-3	政府資金による大学のナノテクノロジー研究センター	376

10-6-4	連邦及び産業界の研究における大学との 共同研究プログラムの例	379
10-7	欧米における研究開発推進体制	383
10-7-1	コンソーシアム事例	383
10-7-2	米国におけるベンチャービジネスの隆盛	386
10-7-3	コンビナトリアルケミストリー関連特許動向	389
10-8	ナノマイクロテクノロジー産業化に向けた課題	392
10-8-1	産業化に向けた市場発展シナリオの展望	392
10-8-2	産業化に向けた研究開発運営シナリオの展望（やり方論）	395