

平成20年度調査報告書

新エネルギー・産業技術総合開発機構 調査委託成果報告書

MEMS分野における戦略策定のための国内外技術動向調査
と技術戦略マップのローリングに関する調査報告書

平成21年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 みずほ情報総研株式会社

財団法人マイクロマシンセンター

概 要

目的

本調査は、国内外の技術動向を文献調査及びアンケート等により調査比較することによりMEMS 関連事業の実態把握し、さらに国内のMEMS 関連企業を川上から川下までヒアリング等の実施することにより日本のMEMS 産業のポジションを明確にする。また、これまで実施した国プロの成果を有効に活用しつつ海外メーカーとの差別化を図る独自の戦略に基づいた「日本モデル」をかたち作るために、それら調査結果を基に、強みを伸ばすMEMS 戦略を策定し、新たなプロジェクトの提案に結び付け、これらの結果を技術戦略マップに反映させることを目的とする。

調査検討の要点

- MEMS 国内外技術動向調査
 - アンケートによる国内技術動向調査
MEMS 技術に対する潜在的なニーズ、新たなプレーヤーを発掘するため、マイクロマシン/MEMS 展においてアンケート調査、分析を行った。
 - MEMS アプリケーション動向の調査・分析
MEMS 技術による高付加価値デバイス、応用される産業分野、アプリケーション機器の展開、およびMEMS 技術が応用されるアプリケーションとその製品動向を把握した。
 - MEMS 関連企業動向の調査・分析
国内の MEMS 関連事業を営む企業を、MEMS 関連事業ごとに分類し現状の MEMS プレーヤー及び今後予想される MEMS 参入プレーヤーを調査した。
 - 海外技術動向調査・分析
日本のポジショニング分析を実施するために必要となる海外の技術動向を調査・分析を行った。
- 日本のポジショニング分析
上記の調査結果および国内のMEMS 関連企業を川上から川下までのヒアリング結果を基に日本のポジショニング分析を行った。
- 国内MEMS 戦略策定および新規MEMS プロジェクトの提案
上記の調査結果を分析することにより、新規MEMS プロジェクトの提案の方向性を示した。
- 技術戦略マップのローリング
技術戦略マップの見直し、更新を行った。

概 要
目 次

第 1. 章	調査の実施概要	1
1. 1	事業の目的	1
1. 2	事業の実施内容	1
1. 2. 1	MEMS 国内外技術動向調査	1
(1)	アンケートによる国内技術動向調査	1
(2)	MEMS 技術動向の調査・分析	4
(3)	MEMS アプリケーション動向の調査・分析	4
(4)	MEMS 関連企業動向の調査・分析	5
(5)	海外技術動向調査・分析	6
1. 2. 2	日本のポジショニング分析	7
1. 2. 3	国内MEMS 戦略策定および新規MEMS プロジェクトの提案	8
1. 2. 4	技術戦略マップのローリング	8
(1)	技術戦略マップ検討委員会の編成	8
(2)	技術戦略マップ検討委員会の運営方法	9
第 2. 章	国内外技術動向調査	10
2. 1	アンケートによる国内技術動向調査	10
2. 2	MEMS 技術動向の調査・分析	15
(1)	MEMS 国際会議における発表論文の傾向	15
(2)	MEMS 関連特許の傾向	32
2. 3	MEMS アプリケーション動向の調査・分析	35
2. 4	MEMS 関連企業動向の調査・分析	65
2. 5	海外技術動向調査・分析	88
第 3. 章	日本のポジショニング分析	95
第 4. 章	国内MEMS 戦略策定および新規MEMS プロジェクトの提案	98
第 5. 章	提案の技術戦略マップのローリング	99
5. 1	技術戦略マップ検討委員会の編成	99
5. 2	技術戦略マップ検討委員会の運営方法	100
5. 3	技術戦略マップのローリング結果	100

第1.章 調査の実施概要

1.1 事業の目的

MEMS技術は高付加価値デバイスの創生に大きく寄与するものであり、我が国の製造業を支える新たな基盤技術として貢献してきている。その一方で海外ではMEMSファンドリーの台頭により、設計・製造をアウトソーシングする新たなビジネスモデルが生まれ、海外のMEMS産業が急速に発展しつつある。NEDOにおいても「MEMSプロジェクト」において開発成果をファンドリー事業へ反映させる施策を行ったが、これまでインハウスが主流であった国内MEMS産業においては、ファンドリー事業の成長は著しくなく、日本のMEMS産業は、未だインハウスが主流となっている。このような状況の中で、これまで実施した国プロの成果を有効に活用しつつ海外メーカーとの差別化を図るには、独自の戦略に基づいた「日本モデル」をかたち作る必要がある。

本事業では国内外の技術動向を調査比較し、日本のMEMS産業のポジションを明確にした上で、強みを伸ばすMEMS戦略を策定し、新たなプロジェクトの提案に結び付け、さらにこれらの結果を技術戦略マップに反映させることを目的とする。

1.2 事業の実施内容

本調査研究では国内MEMS戦略を策定し、結果を技術戦略マップに反映させる一環として、以下の内容を実施する。

1.2.1 MEMS国内外技術動向調査

国内の技術動向は、2008年7月30日から8月1日に開催される国内最大のMEMS関連展示会であるマイクロマシン展において、アンケートもしくはエントリーシート等の収集を実施し、潜在的なニーズ、新たなプレーヤーを発掘する。この集計結果を踏まえ、MEMS技術が応用されるアプリケーションの観点から国内技術動向の現状を把握する。

海外の技術動向は、欧米についてはNEDOがこれまでに実施した欧州調査（18年度）および北米調査（19年度）の結果を必要に応じて活用しつつ分析を行う。また、進展が著しいアジア地域等についても分析を行う。

また、（財）マイクロマシンセンターでの「MEMS分野国内外技術・産業動向調査委員会」による調査・分析により実施により、国内外MEMS関連ビジネス等の調査を深堀する。

(1) アンケートによる国内技術動向調査

MEMS技術に対する潜在的なニーズ、新たなプレーヤーを発掘するため、2008年7月29日から8月1日に開催される国内最大のMEMS関連展示会であるマイクロマシン/MEMS展においてアンケート調査を実施した。また、後述する（2）～（4）の調

査を補完するための情報収集およびヒアリング先選定も同時に行った。

上記の目的を達成するため、以下に示すアンケート票を用いて調査を実施した。

MEMS 分野における戦略策定のための 国内外技術動向調査に関するアンケート

みずほ情報総研株式会社

(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて、「MEMS 分野における戦略策定のための国内外技術動向調査と技術戦略マップのローリング調査」をみずほ情報総研(株)が実施しております。本アンケートは、MEMS 分野において研究・開発・設計等に携わっている方々のご意見を広範囲に渡って収集し、今後の MEMS 戦略に反映させることを目的として実施するものです。

ご多忙とは存じますが、調査の趣旨をご理解頂き、本アンケートにご協力頂けますようお願い申し上げます。

なお、アンケート回答データに関しては、本調査研究以外の目的には使用しません。

●国内外技術動向調査に関して、次の設問にお答え下さい。

Q1. あなたの所属機関に関してお聞かせ下さい。

- 民間企業（従業員数：～100人） 民間企業（～1000人） 民間企業（1000人～）
大学関連 国公立研究機関 その他（ ）

Q2. あなたが所属する機関が MEMS 関連産業にかかわってどれくらいになりますか？

- これから参入 2年未満 3～5年 6～10年 11～20年 21年以上

Q3. あなたは、どのような MEMS 関連の産業分野に携わっていますか？

(複数選択可)

- 情報通信機器 民生用電子機器・電気機器 アミューズメント
製造技術（マイクロファクトリ、計測・分析、メンテナンス） 精密機器 医療福祉機器
バイオテクノロジー エネルギー 環境 自動車 都市環境整備
航空宇宙 農林水産 実績なし その他（ ）

Q4. 所属機関において今後強化していきたい MEMS 関連の産業分野についてお聞かせ下さい。

(複数選択可)

- 情報通信機器 民生用電子機器・電気機器 アミューズメント
製造技術（マイクロファクトリ、計測・分析、メンテナンス） 精密機器 医療福祉機器
バイオテクノロジー エネルギー 環境 自動車 都市環境整備

航空宇宙 農林水産 実績なし その他 ()

Q5. あなたは、どのような MEMS 関連の技術に携わっていますか？

①要素技術 (複数選択可)

Fabrication Tech. (Si) Fabrication Tech. (non-Si) パッケージング アクチュエータ
設計・モデリング 材料 その他 ()

②アプリケーション (複数選択可)

メカニカルセンサー Radiation/Material Substance 流体デバイス ケミカルセンサー
バイオセンサー Biomedical Systems 光 MEMS RF-MEMS Power-MEMS
設計ツール 製造装置 評価/計測装置
その他 ()

Q6. 所属機関において今後強化していきたい MEMS 関連技術についてお聞かせ下さい。

①要素技術 (複数選択可)

Fabrication Tech. (Si) Fabrication Tech. (non-Si) パッケージング アクチュエータ
設計・モデリング 材料 その他 ()

②アプリケーション (複数選択可)

メカニカルセンサー Radiation/Material Substance 流体デバイス ケミカルセンサー
バイオセンサー Biomedical Systems 光 MEMS RF-MEMS Power-MEMS
設計ツール 製造装置 評価/計測装置
その他 ()

Q7. 所属機関における MEMS 関連事業への展開の目的についてお聞かせ下さい。

製品・業界動向の情報収集 MEMS 産業に積極参入 パートナー企業の探索
国プロへの参画 展開の予定はない その他 ()

Q8. MEMS 産業の今後の展望や国として実施すべき MEMS 戦略、MEMS 関連の国家プロジェクトへの参入等について、ご意見がありましたら自由にご記入下さい。

[]

Q9. 今回のアンケートのご回答内容に関してより詳しくお聞きするためにヒアリングの実施を計画しております。ヒアリングにご協力頂ける方はご連絡先をお聞かせ下さい。

(もしくは、名刺をお渡し下さい。)

所属 ()

氏名	()
電話番号	()
E-Mail	()

収集したアンケート結果を分析することにより、

- ・ 国内技術動向
 - 潜在的ニーズ、新たなプレーヤーの発掘
- ・ MEMS 技術からみた製品動向
 - MEMS 技術が応用されるアプリケーション（製品）の観点から国内技術動向
- ・ MEMS 関連企業の研究拠点
 - MEMS 関連事業毎分類し、企業の業態・事業内容・規模、および大学研究室や公設試等の活動状況

等を抽出・整理する。

アンケート調査の実施にあたっては特定の技術分野への偏りを避けるため、NEDO及びみずほ情報総研のブースに加え、

- ・ 第14回国際マイクロマシン・ナノテクシンポジウム（2008年7月29日）
- ・ ファインMEMSプロジェクト成果発表会（2008年7月31日）
- ・ MEMSフォーラム（2008年8月1日）

の3つのイベントへの参加者も対象とし、アンケートの収集を行う。必要であればマイクロマシン/MEMS展への出展企業の推移（5年程度）等の分析も行い、アンケート調査結果の補完を行う。

(2) MEMS 技術動向の調査・分析

MEMS分野においては、「MEMS」「Transducer」「Solid-State Sensor, Actuator and Microsystems」等の国際会議での発表論文から現在や将来動向を示唆することができるものと思われる。

これら国際会議の発表論文の傾向は、(財)マイクロマシンセンター「国内外技術動向調査委員会」（委員長：早稲田大学理工学術院 庄子習一教授）において調査・分析が行われており、本国内外技術動向調査を基に、MEMS技術が応用されるアプリケーションの観点から、過去5年程度の傾向を把握する。

なお、技術動向の把握は、日本のMEMS産業の強み弱みを抽出するため、発表地域・国別、発表機関別、についても調査・分析する。

(3) MEMS アプリケーション動向の調査・分析

MEMS 技術は既に各種センサーやプリンターヘッドに代表されるような実用技術として

自動車や情報機器の分野で製品に応用されており、さらにこの技術は、プラント等の信頼度を高めるための高機能メンテナンス、診断や治療に伴う患者の苦痛を低減させる高度医療への応用、化学・生化学分析システムの小型化や製薬創薬のための高効率化学合成など多岐にわたる応用方法が提案され、ナノテクノロジーとの融合による新産業創出が期待されていることから、MEMS のアプリケーション動向の把握も重要な視点である。

この視点から、MEMS 技術による高付加価値デバイス、応用される産業分野、アプリケーション機器がどのように展開していくかを把握し (MEMS-Inside)、MEMS 産業の市場拡大に向けての道筋を明らかにするため、MEMS 技術が応用されるアプリケーションとその製品動向を把握する。

なお、アプリケーションとその製品に関しては、平成 18 年度に実施した MEMS 市場調査の産業・製品分類に合わせ、その製品動向を把握する。

以上の内容を次の方法で調査・分析する。

ア. 「MEMS-Inside」のアプリケーションの調査

MEMS 技術が使われている製品、そのアプリケーションの内容、使われている MEMS 技術 (MEMS デバイス)、その MEMS デバイスの主要メーカー、その MEMS デバイスの市場および技術の動向について、「MEMS 分野国内外技術・産業動向調査委員会」で、産業分野ごとに調査・分析する。

例：MEMS 技術アプリケーション調査票 (○○○分野)

MEMS 技術が使われる製品	MEMS 技術のアプリケーション		主要メーカー		市場の現状		技術の動向
	アプリケーションの内容	MEMS 技術	国内	海外	既市場	将来(年)	
(例)							
携帯電話	落下検知	角度・角速度センサ	松下電工		○		
携帯電話	バンドノモード切替用スイッチ	RFMEMS				○	
携帯情報端末	通信機能、センサ、表示装置などを集積した端末	集積化 MEMS				○(2010年)	

イ. 世界のトップ 30 MEMS プレーヤーの調査

MEMS プレーヤーとして世界のトップクラスの企業で、実際に製品化されている MEMS 技術のアプリケーションについても、「MEMS 分野国内外技術・産業動向調査委員会」で、産業分野ごとに調査・分析する。

(4) MEMS 関連企業動向の調査・分析

日本の MEMS 産業の基盤強化・市場拡大に向けての諸施策の策定に当たっては、日本の MEMS 関連事業 (研究開発および事業) プレーヤーの動向を把握し日本の MEMS 関連産業構造の特徴を抽出する必要がある。

このため、国内の MEMS 関連事業を営む企業 (プレーヤー) を、MEMS 関連事業ごとに分類し現状の MEMS プレーヤー及び今後予想される MEMS 参入プレーヤーを調査する。

また、日本の MEMS 産業の全体像を俯瞰するため、企業動向と併せ、大学研究室や地方公

設試、MEMSクラスター等の活動状況を把握する。

以上の内容を、次の方法で調査・分析する。

ア. MEMS 関連事業のプレーヤー調査

MEMSプレーヤーは、3)の「MEMS-Inside」のアプリケーションの調査によってMEMSデバイスのプレーヤーは抽出できるが、MEMS装置、材料、ソフトなど幅広くMEMS事業参入プレーヤーの現状を把握する必要がある。

このため、MMC/MEMS協議会企業メンバー(約50社)、マイクロマシン/MEMS展」出展企業(約300社)、「マイクロマシン/MEMS展」来場者の企業(約4,200社)から、MEMSプレーヤー、ユーザー(川上から川下まで)を整理し、企業のMEMS関連事業の特徴(保有技術、特徴製品、アピールしている内容、etc.)を抽出したうえで日本のMEMS関連企業全体を俯瞰する。

イ. 世界トップMEMSプレーヤーのビジネスモデルの調査

Yole社が発表している世界トップMEMSプレーヤーについて、マイクロマシンセンターが今まで実施してきた海外現地調査をもとに、そのビジネスモデルを調査する。

ウ. MEMS クラスター・公設試・大学研究室の調査

企業動向と併せ、大学研究室や地方公設試、MEMSクラスター等の活動状況を把握することによって、より、日本のMEMS産業の全体像が明らかになる。

このため、MEMS協議会のアフィリエイトメンバー(注)である大学・地方公設試・MEMSクラスターでの研究活動、産学官連携の現状などを調査し、MEMSに関する産学官連携スキームのあり方を検討する基礎データを収集する。

(5) 海外技術動向調査・分析

日本のポジショニング分析を実施するために必要となる海外の技術動向を調査・分析する。海外技術動向調査にあたっては、NEDO殿がこれまでに実施した欧州調査(18年度)、北米調査(19年度)、財団法人マイクロマシンセンターがこれまでに実施したアジア地域調査の結果および2008年4月30日～5月1日に開催された第14回マイクロマシン・サミットの報告等を必要に応じて活用しつつ分析を行う。あわせて、1)～4)で実施した国内技術動向調査との比較を意識した分析を行い、後述のポジショニング分析に活用する。

NEDO殿より本調査で必要となる調査報告書入手し詳細分析を実施するが、MEMS分野の技術ロードマップに示される特許、論文発表による国際競争ポジション等も参考文献として活用する。

1.2.2 日本のポジショニング分析

上記の調査結果を基に日本のポジショニング分析を実施する。

その分析結果の検証及びMEMS関連事業の実態把握を目的に、国内のMEMS関連企業を川上から川下まで幅広く抽出し、新たな着眼点となる新規材料、新規加工装置等も意識したヒアリングを実施する。以下に、ヒアリング先抽出における方向性を示す。

＜新規材料＞

- ・導電性ナノ粒子、カーボンナノチューブ、カーボンナノファイバー等のできるだけ多岐にわたる新規材料の研究開発機関
- ・装置業界を牽引している企業、新規参入企業の両面

＜新規加工装置＞

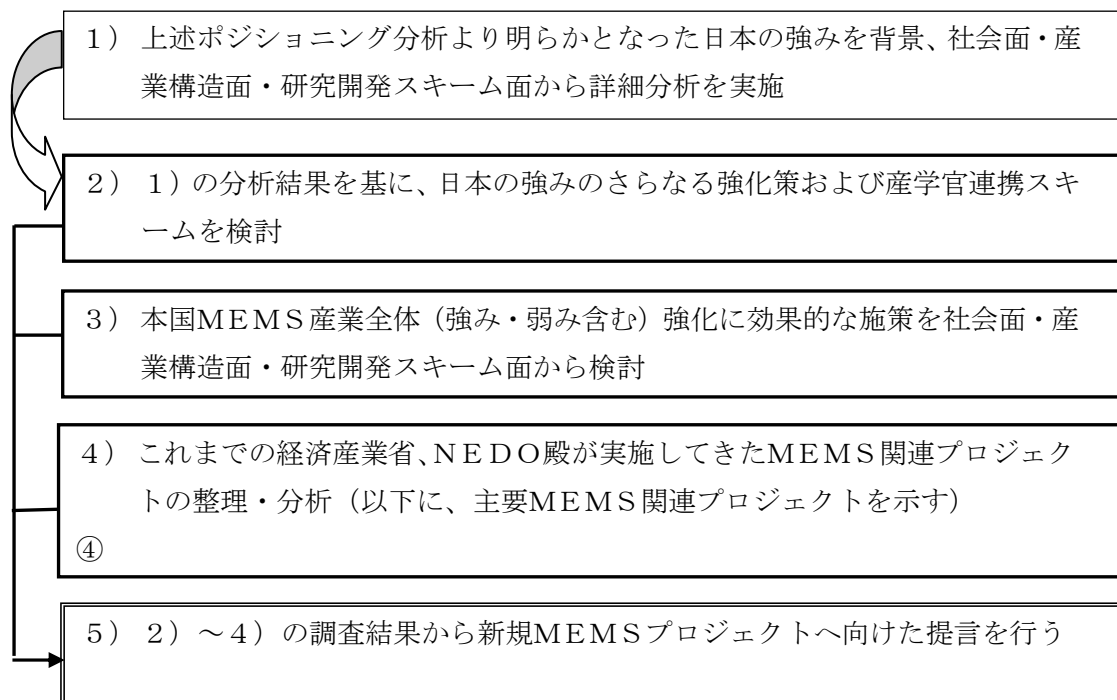
- ・ナノインプリント装置、Deep RIE、ウェハ接合装置、MEMS用パッケージ等のできるだけ多岐にわたる新規加工装置の研究開発機関
- ・装置業界を牽引している企業、新規参入企業の両面

さらに、MEMS・NEMSに関連する計測評価装置を研究開発している機関も対象とする。

これらの情報を総合して日本の強み弱みを分析し、日本の強みを伸ばすMEMS戦略を策定する。

1.2.3 国内MEMS戦略策定および新規MEMSプロジェクトの提案

本調査にあたり、以下のフローにて実施する。



1.2.4 技術戦略マップのローリング

上記の結果を基に新規MEMSプロジェクトの提案に結びつけるとともに、技術戦略マップに反映させる。また、実施にあたっては外部有識者、専門家から構成される委員会を設置し、その成果を調査報告書にまとめる。

(1) 技術戦略マップ検討委員会の編成

技術戦略マップ検討委員会の委員構成を以下に示す。

技術戦略マップ検討委員会 委員構成

委員長	藤田 博之	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
大学及び国研	高橋 正春	(独)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 グループ長
	橋口 原	静岡大学 電子工学研究所 ナノデバイス材料部門 ナノ構造解析応用分野 教授
	芳賀 洋一	東北大学 大学院医工学研究科 医工学専攻 ナノデバイス 医工学分野 教授
	安達 淳治	(財)マイクロマシンセンター 調査研究部 調査担当部長 兼 産業交流部 国際交流担当部長
	染谷 隆夫	東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 准教授
企業	太田 亮	オリンパス株式会社 研究開発センター MEMS開発本部 MEMS開発部 部長
	川原 伸章	株式会社デンソー 基礎研究所 研究1部 部長
	福本 宏	三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 センシング技術部 部長
	中西 博昭	株式会社島津製作所 基盤技術研究所 主幹研究員

(2) 技術戦略マップ検討委員会の運営方法

平成20年度「技術戦略マップ」ローリング基本方針に基づき、技術戦略マップ2009「MEMS分野」の策定を行うことを目的とし、各委員に修正の検討をお願いした。具体的には、昨年度の技術戦略マップ作成以降の技術動向・市場動向等をマップに反映させることとし、大項目等の追加は実施せず、最新の情報を盛り込み技術戦略マップの精度向上を図った。

委員会の作業期間は2009年2月10日から2009年3月19日までであり、その期間中に各委員により技術マップ及び技術ロードマップの改訂作業を実施した。

第2.章 国内外技術動向調査

2.1 アンケートによる国内技術動向調査

マイクロマシン/MEMS展（NEDO及びみずほ情報総研（MHIR）の展示ブース、発表会、フォーラム）及びその前日に開催されたシンポジウムにおけるアンケート回収数は以下の通りである。合計で578件のアンケートを回収した。

日時	場所	回収数
2008/7/29	シンポジウム	73
2008/7/30	ブース(NEDO、MHIR)	83
2008/7/31	ファインMEMS中間発表会	53
2008/7/31	ブース(NEDO、MHIR)	105
2008/8/1	MEMSフォーラム	182
2008/8/1	ブース(NEDO、MHIR)	82
合計		578

アンケート回答者578名について、その所属（Q1）の内訳を図 2.1-1に示す。

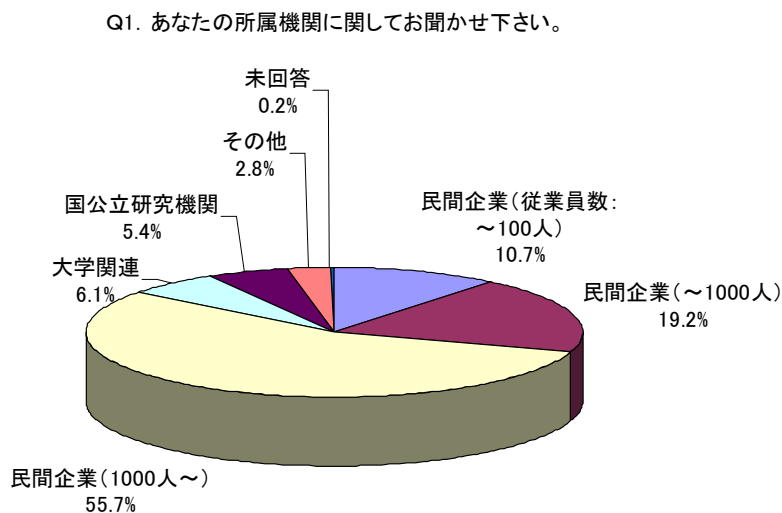


図 2.1-1 Q1. 所属機関について

回答者の85.6%を企業関係者が占めた。所属別には、1000人以上の規模の企業が全体の55.7%、100人～1000人規模の企業が19.2%、100人以下の企業が10.7%となっており、大企業からの回答で占められている結果となった。大学関係（学生も含む）からは6.1%、国公立研究機関（産業技術総合研究所など）は5.4%、その他は2.8%であった。

Q2. あなたが所属する機関がMEMS関連産業にかかわってどれくらいになりますか？

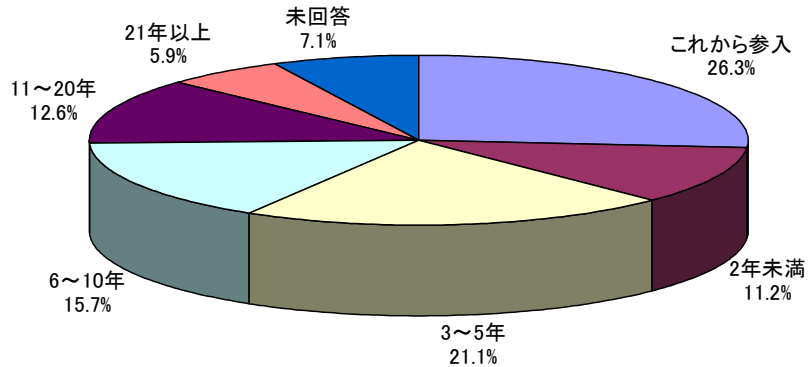


図 2.1-2 Q2. MEMS 関連産業での経験年数

次に回答者の MEMS 関連産業における経験年数 (Q2) を尋ねた (図 2.1-2)。経験年数が 5 年未満と比較的短い技術者・研究者が 58.6%と半数以上を占めていた。そのうちの半分 (全体の 26.3%) はこれからの参入を検討しており、MEMS 関連業界の MEMS 産業に対する期待が大きいことが見て取れる。一方で経験年数が 10 年以上の技術者・研究者は 34.2%を占めており、長年の実績のある企業が MEMS 産業の牽引役となっていることもうかがえる。

Q1.-Q2.比較

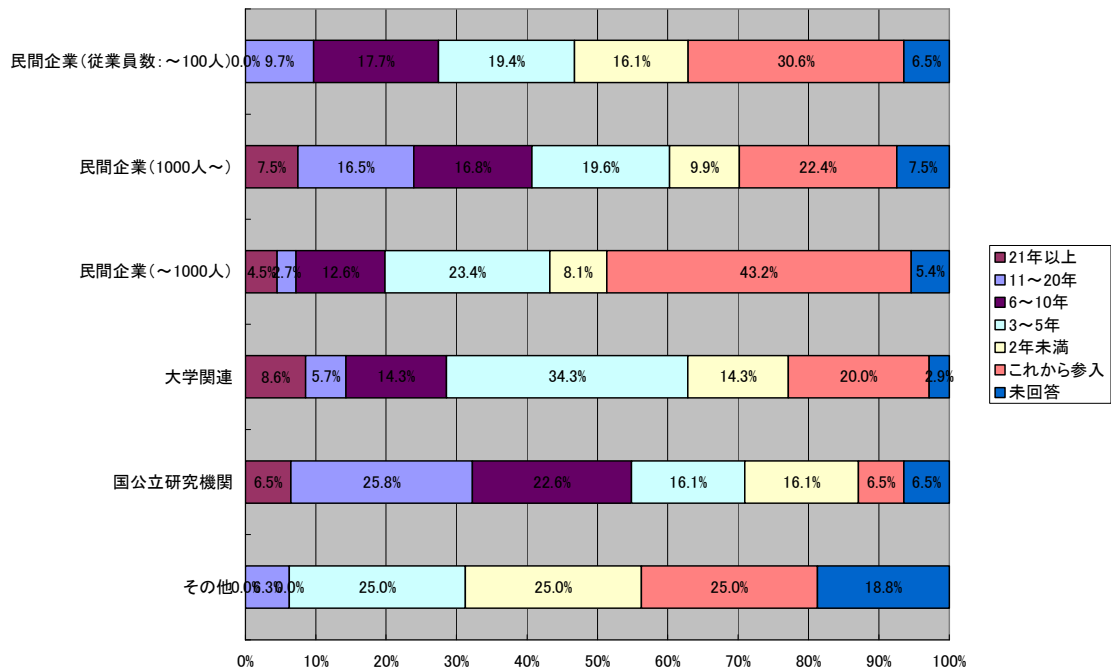


図 2.1-3 所属機関 (種類、規模) と経験年数の比較 (Q1. 及び Q2. の比較)

図 2.1-3 に所属機関 (Q1) と経験年数 (Q2) との比較図を示す。特徴的なのは、大学や

国公立研究機関と比較して、民間企業において「これから参入」と回答した技術者・研究者の割合が多いことである。特に、従業員数が1000人以上の大企業における同選択肢の回答率は43.2%と際立っている。民間企業においては経験豊富な技術者に加えて、新入社員や他事業部からの異動者等をMEMS関連事業に従事させ、MEMS人材を育成するとともにMEMS事業の拡大等を図っているものと考えられる。

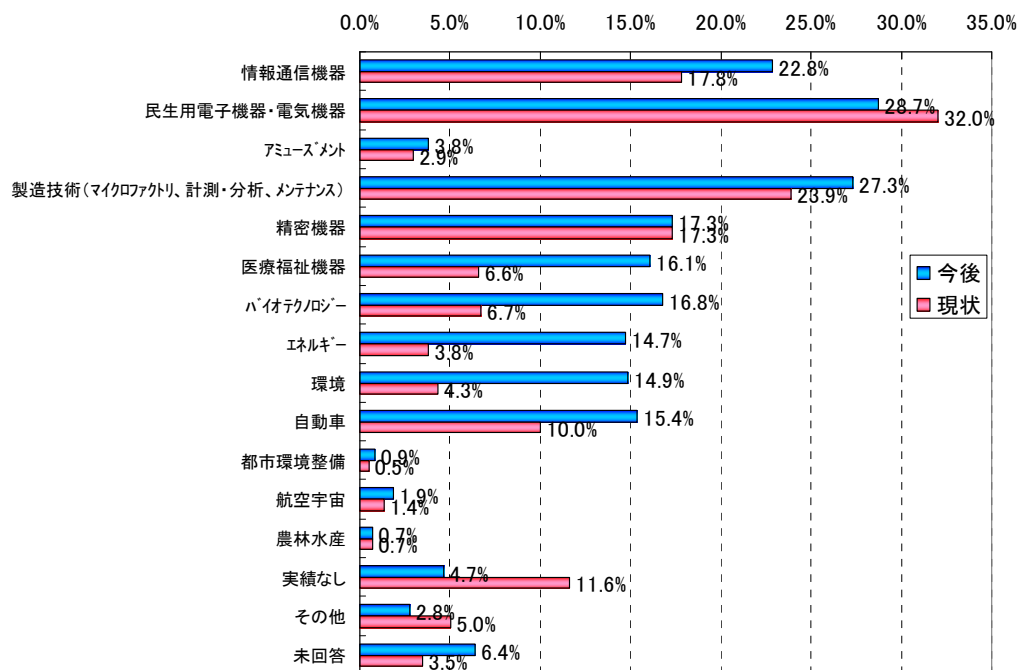


図 2.1-4 携わっている産業分野と今後強化したい産業分野の比較 (Q3. 及び Q4.)

Q3 及び Q4 では回答者が現在携わっている／今後強化していきたい MEMS 関連の産業分野について尋ねた (図 2.1-4)。現在携わっている産業分野としては「民生用電子機器・電気機器 (32.0%)」が最も多く、「製造技術 (23.9%)」、「情報通信機器 (17.8%)」、「精密機器 (17.3%)」と続いている。今後強化したい産業分野については「民生用電子機器・電気機器 (28.7%)」が現状よりも 3.3%減少している。続いて、「情報通信機器 (22.8%)」、「製造技術 (27.3%)」の割合が高く、RF-MEMS 技術やファンドリー・計測・分析技術の進展とあいまって、現状と比較して 5.0%、3.4%の増加を示している。また、昨今の社会的な背景を反映して、現状と比較して「医療福祉機器」、「バイオテクノロジー」、「エネルギー」、「環境」を強化していくとの回答が多く、それぞれ 9.5%、10.1%、10.9%、10.6%の増加を示している。

Q5 及び Q6 の①では回答者が現在携わっている／今後強化していきたい MEMS 関連技術 (要素技術) について尋ねた (図 2.1-5)。現状については、Si をベースとしたファブリケーション技術に携わっている技術者・研究者が最も多く 24.2%であったが、他の要素技術についても 13%から 20%の割合となっており、MEMS 関連技術に関して広範囲に渡る技

術者から回答が得られていることがわかる。今後強化したい要素技術と比較すると、Si ベースのファブリケーション技術及びアクチュエータがそれぞれ 3.8%、1.6%減少している一方で、non-Si ベースのファブリケーション技術（1.6%の増加）、パッケージング（5.0%の増加）を強化するとの回答が多くなっている。これは、企業等が新規技術の早期開発や MEMS 応用製品の展開を図る上で必要となる要素技術の開発にシフトしている／シフトする予定であることを示しており、我が国の MEMS 基盤技術の向上や、応用製品開発を通じた国際競争力の強化等が期待できる状況が整ってきているとともに、今後の動向に注目しておくべきであろう。

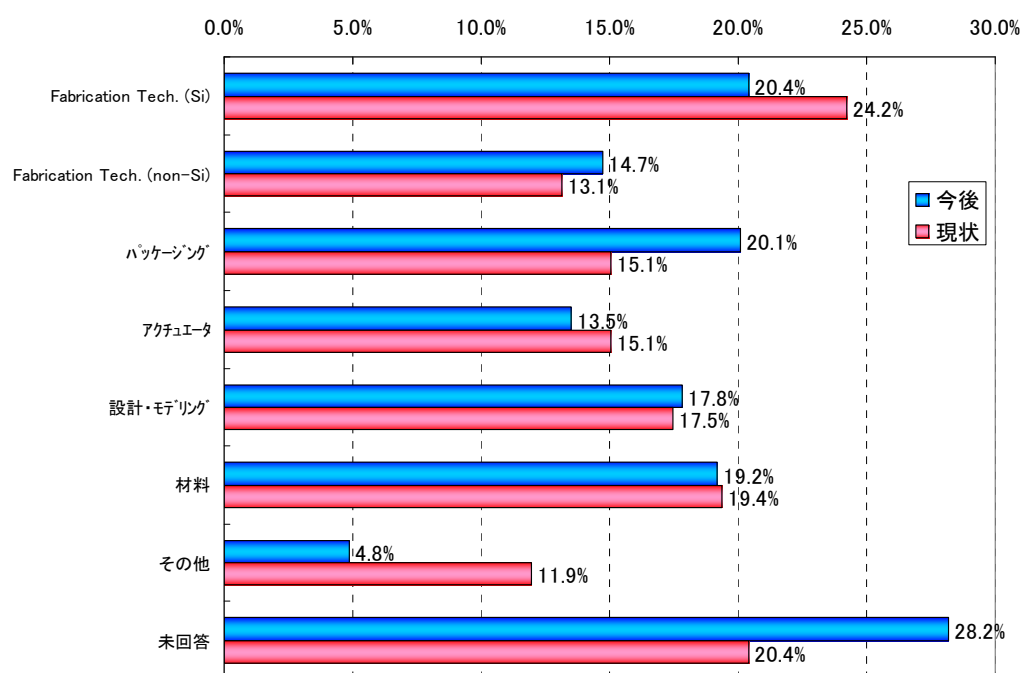


図 2.1-5 携わっている要素技術と強化したい要素技術の比較 (Q5. ①及び Q6. ①)

図 2.1-6 に、回答者が現在携わっている (Q5. ①) / 今後強化していきたい (Q6. ①) MEMS 関連技術 (アプリケーション) についての集計結果を示す。現状と今後強化していきたいアプリケーションを比較すると、流体デバイスや光 MEMS、製造装置、評価／計測装置はそれほど変化がないが、メカニカルセンサーが 6.3%の減少と大きく後退しているのに対し、RF-MEMS やバイオセンサー、Power-MEMS などのアプリケーションが大きな伸びを示していることがわかる。

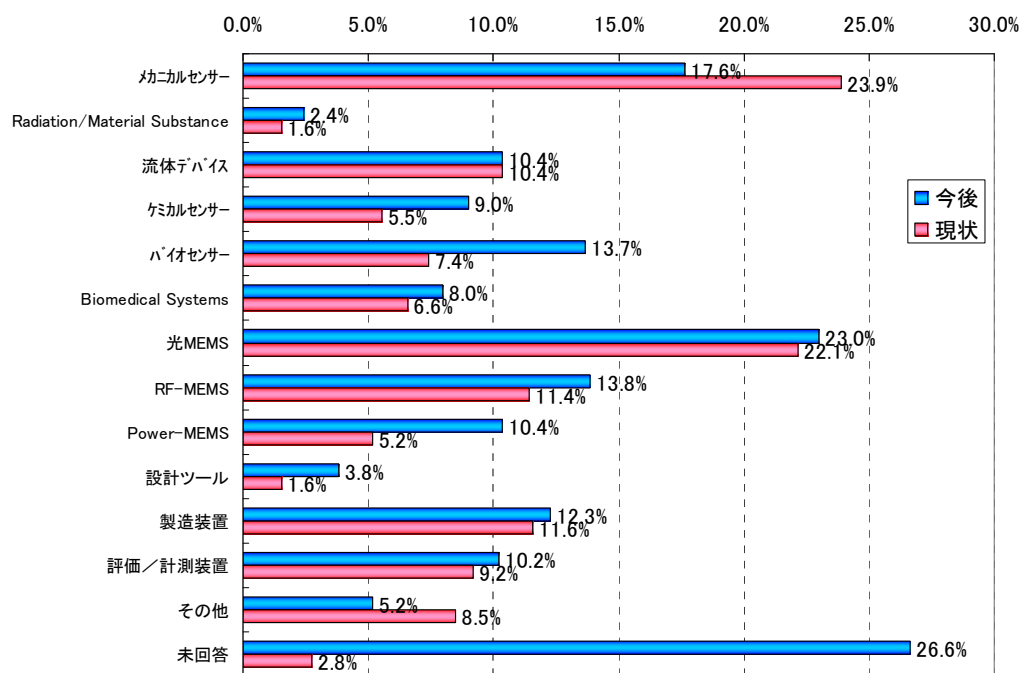


図 2.1-6 携わっているアプリケーションと強化したいアプリケーションの比較 (Q5. ②及び Q6. ②)

最後に、MEMS 関連事業への展開目的 (Q7) についての集計結果を図 2.1-7 に示す。製品・業界動向の情報収集が最も多く 37.9%であった。ついで、MEMS 産業に積極参入が 22.1%となった。

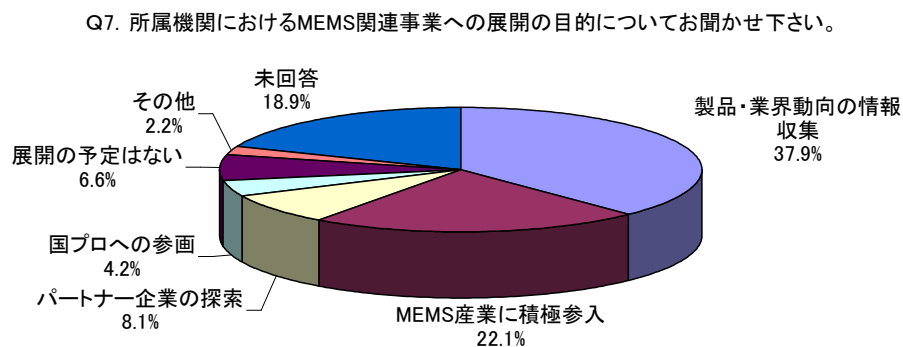


図 2.1-7 MEMS 関連の事業展開の目的 (Q7)

2.2 MEMS技術動向の調査・分析

MEMS分野においては、「MEMS」「Transducer」「Solid-State Sensor, Actuator and Microsystems」等の国際会議での発表論文から現在や将来動向を示唆することができるものと思われる。

これら国際会議の発表論文の傾向は、(財) マイクロマシンセンター「国内外技術動向調査委員会」(委員長：早稲田大学理工学術院 庄子習一教授)において調査・分析が行われており、本国内外技術動向調査を基に、MEMS技術が応用されるアプリケーションの観点から、過去8年程度の傾向を、発表地域ごとに調査した。

また、発表論文数とともに企業の競争力を表す指標として、特許出願数がしばしば用いられるため、日本出願特許について、特許庁のデータベースから2000年以降の特許公開公報により傾向を追加調査した。

(1) MEMS 国際会議における発表論文の傾向

MEMS 関係の国際会議・学会の発表論文の傾向は、(MMC「国内外技術動向調査委員会」(委員長：早稲田大学理工学術院 庄子習一教授)において調査・分析が行われており、同調査委員会の調査報告書をベースに、IEEE の MEMS 国際会議の傾向を過去8年程度の傾向を整理した。

MEMS 国際会議での論文発表全体の傾向を図 2.2-1 に、地域別の傾向を図 2.2-2 に示す。

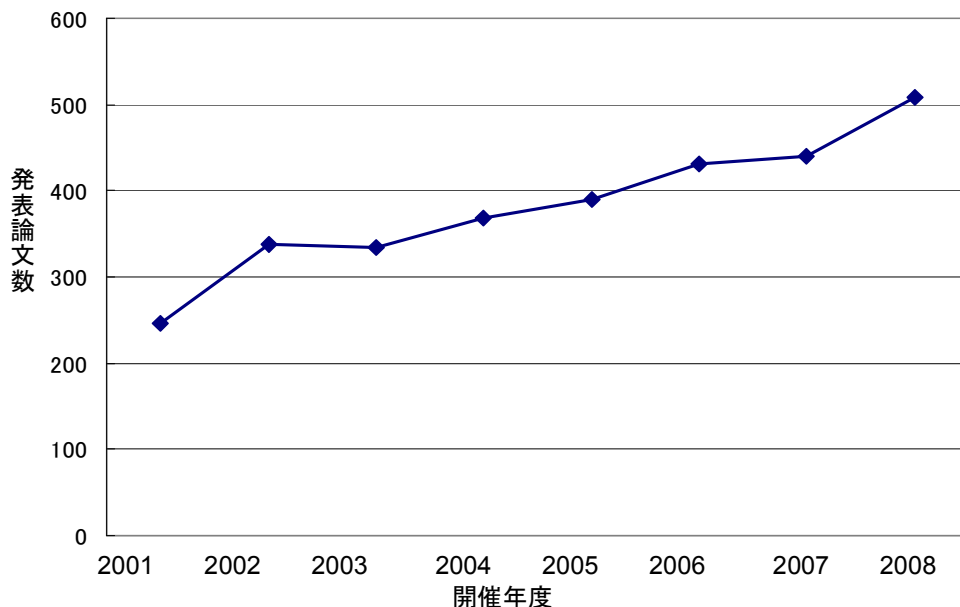


図 2.2-1 MEMS 国際会議での発表論文数の推移 (日本、北米、欧州、アジアの合計)

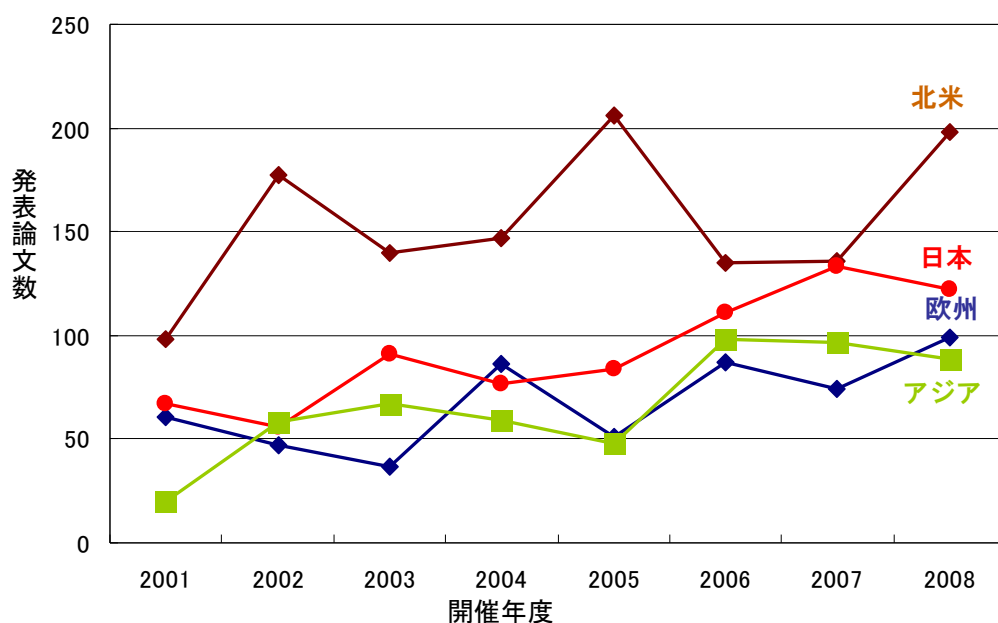


図 2.2-2 MEMS 国際会議での発表論文数の地域別推移

日本、北米、欧州、アジアの地域別の傾向は、2005 年は MEMS 国際会議の開催場所の関係で北米の割合が多くなっているが、北米、日本、欧州、アジアの順でその各地域別の論文数の割合は大きく変わっていない。

MEMS デバイス別の傾向は、次のとおりである。

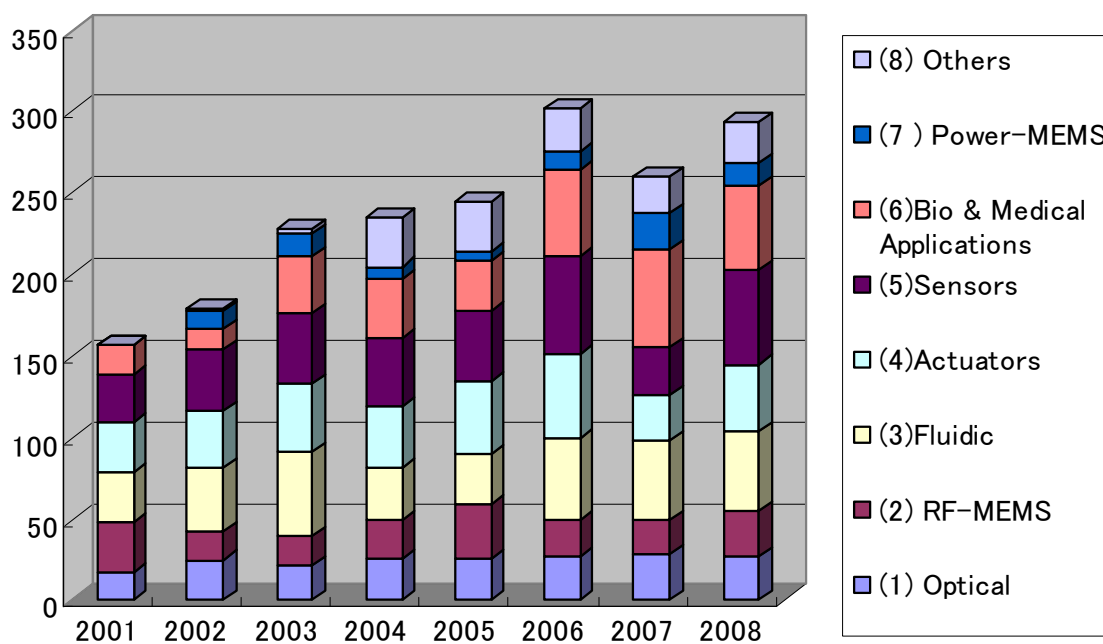


図 2.2-3 発表論文の MEMS デバイス別の推移

MEMS デバイス別の傾向を見ると、バイオ&メディカル応用（バイオ MEMS）の割合が最も多く、その発表論文数も増加の傾向にある。

以下、MEMS デバイス別に技術の動向を次に示す。

1) 光 MEMS (Optical)

光 MEMS は、光の制御をメーカー的に行う際には大きな駆動力が不要であることから、MEMS に適していると考えられたため通信のブロードバンド化のなかで大きく注目されたが、2003 年頃に IT バブルが崩壊すると、光 MEMS を手がけていたベンチャー企業の多くが撤退を余儀なくされた。それでも MEMS 会議における光 MEMS の発表件数は、全体の 7% という比率を維持し続けている。その応用分野は数年来、光通信用デバイス（光スイッチやアッテネータ）に関する発表は減り、光による計測やディスプレイ分野への応用が進んでいる。たとえばスキャナーに関する研究は、光スイッチやディスプレイへの応用でなく、医療用など、スキャナーを用いたシステムへの展開が実用レベルまで進んできた。

MEMS 国際会議での発表論文の地域別傾向は図 2.2-4 のとおりである。

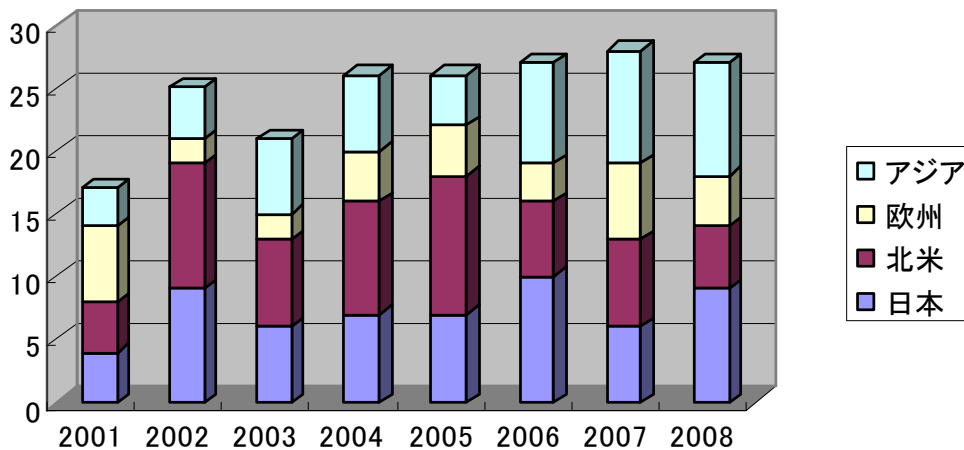


図 2.2-4 光 MEMS

○光スキャナーへの応用

液体レンズに関するものの他、さまざまな光応用（マイクロ MO、センサアレイ、マイクロ分光器など）が検討されており、期待は依然として高い。従来のスキャナーで必要とされたポリゴンミラー、モーター、f- θ レンズ等が不要で、小型化が可能のため [MEMS2001] まで、非常に発表が多いアイテムであった。実際に、顕微鏡やディスプレイ（TI の DMD など）、光スイッチに応用された。

過去5年間では、ITバブルのころに発表が多く、MEMS2003でも、ブラザー工業、日立電線、Corning Intellisenseなど多くの企業から発表があった。その後減少したが、グレーティングや多層ミラーと組み合わせた機能性ミラー [MEMS2004] や、医療用のマイクロスキャナ [MEMS2006] が発表されている。単にスキャナーとしての特性を追求するだけでなく、スキャナーを用いたシステムを研究開発する方向へと進んでいる。MEMS2007では、スキャナーについては、6件ほどあり、PZT構造体を用いたもの、パーティカルな方向に動くコムドライブを用いたもの、異種材料を活用して製作したものなど特徴のある発表があった。その他、シリコンナノワイヤを光ピンセットで動かした報告もあった。

○光通信への応用

光スイッチだけでなく、アッテネータ [MEMS2005]、レーザー用共振器 [MEMS2006] など、多くのデバイスが研究開発されてきた。MEMS2007では、レトロリフレクター的なミラーを活用した例、チューナブルレーザ、また、液体レンズに関する発表は3件あった。

パリレンの応用としては、成膜したパリレンを構造材として使った、フレキシブルな発光素子もあった。パリレンを封じ込めた液体を利用して用意した構造については、MEMS2008でも、光ファイバーとMEMS構造間のカップラとして利用するもの、静電駆動ミラー、バルーン状に変形するSPR用回折格子が発表された。圧縮空気駆動型ミラーの発表があった。

○ディスプレイへの応用

液晶テレビ、DMDプロジェクタなどの成功が後押しし、発表が非常に多くなっている。

浮き出した画像を出すマイクロレンズアレイ [MEMS2005]、ソニーで実用化されているGLV (Grating Light Valves) [MEMS2006] の発表などがある。

レンズ駆動や表示の切り替えについては発表が増えており、電子ペーパーも含め、新しいディスプレイ技術にMEMSを応用しようとする動きが見えてきた。

○その他

光通信技術からの技術応用と思われるが、分光器の発表が多い [MEMS2005]。

その他、無機ELをMEMSアクチュエータで駆動するデバイス [MEMS2004]、マイクロMO [MEMS2004]、パリレンの焦電高価を利用した冷却不要な赤外線センサアレイ [MEMS2006] などがあり、応用の広がりが見られる。

MEMS2008では、NSOM (ニアフィールド走査型顕微鏡) プローブ、SOI-MEMSの光スイッチなどの発表があった。また、MEMS2008では、招待講演で東大の保立教授から、ビルや飛行機などの構造物に埋め込んだ光ファイバーを、痛み(応力)を感じる神経として利用する計測の発表があった。

2) RF-MEMS

この分野は世界各国で研究が活発に行われている。なかでも米国 (Univ of Michigan, Univ of California Berkeley, Georgia Institute of Technology など) で盛んに研究開発されており、DARPA などからの補助を受けているグループが多い。

特に米国開催となった 05 年は米国からの発表件数が増加し 22 件もあった。フィルタ (共振器)、スイッチに関してはデバイスの高機能化だけでなく、信頼性に関する報告も増加しており、実用化を考えた場合の量産性や価格が問われるようになってきているものと思われる。低コストを目指し、RF-MEMS デバイス用気密封止パッケージ [MEMS2005]、CMOS プロセスのみで作成可能なスイッチ・共振器 [MEMS2004]、インダクタ [MEMS2005]、CMOS プロセス後に作製する高 Q 値のソレノイドインダクター [MEMS2007] などの開発も進んでいる。

なお、液体金属を用いた EWOD (Electrowetting-on-dielectric) によるスイッチ [MEMS2007] や、20×20 のスイッチアレイを実現した例 [MEMS2007] などが報告されていたが、信頼性に関する記述はほとんど見られなかった。

また、RF 回路に関しては、可変容量、インダクタ、伝送線路など、高機能化や集積化の検討がなされている。

MEMS2008 では、容量性の RF-MEMS スイッチの寿命への基板の影響について報告 (IMEC)、VHF 帯と UHF 帯での CMOS と MEMS がモノリシックに統合された共振器 (Univ. Autònoma de Barcelona)、移植可能な RF-コイルのチップパッケージ (Caltech) などが報告された。地域別の発表論文数の傾向は図 2.2-5 のとおりである。

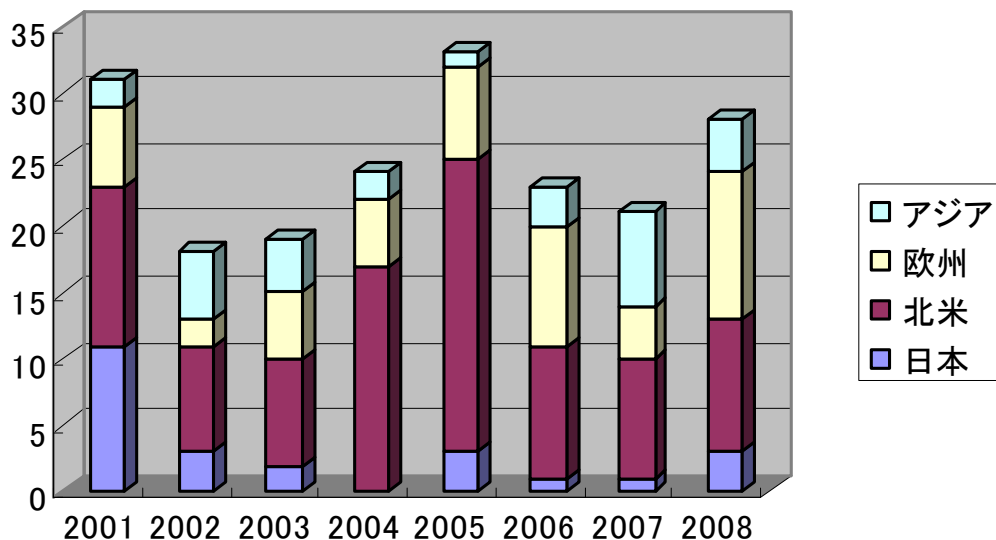


図 2.2-5 RF-MEMS

3) Fluidic

Fluidics に関する論文は当初から数が多く、2001 年から 2003 年まではマイクロバルブ・マイクロポンプ等マイクロ流体制御デバイスの報告が多数見られた。MicroTAS や Lab. -on-a-Chip (LOC) などでも有効な、フィルタ、ミキサ等のマイクロ流体要素についても、マイクロスケールの流路の特性を考慮した実用的な発表が行われている。

新しい提案としては液滴（ドロプレット）をマトリックス状に形成した配線の上で、Electrowetting (EW) を利用して操作する方法が継続して報告されている。

2004 年ころからはマイクロスケールの流路の性質を利用してビーズや液滴を操作する報告がなされるようになった。

概観すると、単体のデバイスの性能向上、実用化を考慮した構造の最適化、 μ TAS や Lab. -on-a-Chip など用いられる流体システムを意識した流体デバイス、流体要素の開発が中心となっている。流体を用いた報告は他の分類 (Medical, Biological, Chemical 等) への応用研究が多数を占めている。

○マイクロ流体デバイス (マイクロバルブ、マイクロポンプ)

能動型マイクロ流体デバイスのアクチュエータの原理については、すでに 2000 年以前にほとんどのものが報告されており目新しいものは少ない。

その中では水銀のドロプレットを Electrowetting で操作してアクチュエータとしたマイクロポンプがある [MEMS2001]。

微量薬液導入を目的として気泡駆動型マイクロポンプをシリコンニードルの根元に形成したものが報告されている [MEMS2001]。マイクロバルブとしては、ハイドロゲルの体積が pH やグルコース濃度により変化する現象をアクチュエータとして用いたもの [MEMS2002]、実用化を意識したものとしては実装を考慮した Si マイクロバルブ [MEMS2003] の報告がある。Caltech と FKG-IMT/Bosh グループからは、マイクロバルブとフローセンサを組み合わせたマスフローコントローラも報告されている [MEMS2003]。

また、東京大学より 3D microfluidic flow-focusing device (MFFD) について報告があった [MEMS2007]。

MEMS2008 では、Columbia University から、マトリックス支援レーザー脱離イオン化質量分析 (MALDI-MS) のための前処理用デバイスが報告された。

○マイクロ流体要素

早稲田大学と Georgia Tech. のグループからは、インチャネルマイクロメッシュフィルタが報告されている [MEMS2003]。

また、早稲田大学では、液滴生成の原理により、気相、油相、水相の 3 相を用いたマイクロカプセルの生成について報告している [MEMS2007]。

MEMS2008 では、 μ TAS の要素 (バルブ・ミキサー・ソーター・ポンプなど) に関する報告も多かった。東京大は、固定したツリガネ虫の運動から生じる渦状流れを利用したマイ

クロミキサー、立命館大は、試薬の layer-to-layer 輸送のための、アドレス指定可能な 3 × 3 流体ゲートアレイの報告がされている。

○ドロプレットハンドリング

UCLA のグループは Electrowetting-on-dielectric (EWOD) 方式の液滴操作デバイスを報告している [MEMS2002]。その後、MEMS2007 では、ピッツバーグ大学、UCLA などドロプレットハンドリングの論文が多数報告されるようになった。

MEMS2008 では、東大から、EWOD の代わりに liquid dielectrophoresis on electret (L-DEPOE) と呼ばれる方法で、EWOD よりも大幅に低い電圧（外部リレースイッチコンデンサの電圧で 5 V）でシリコン油滴の操作を行っていることが報告された。

また、ドロプレットを利用し分子を電気泳動で分け液滴に分離する方法や EWOE を用いたディスプレイ等も報告されている [MEMS2004、MEMS2006]。

○パーティクル制御

ビーズや微小液滴をマイクロチャネル内で制御する方法が多数報告されている（東京大学／大阪府立大学のグループ [MEMS2004]、KAIST [MEMS2005]）。

東京大学のグループはアルギン酸ビーズの中に細胞を固定化し、マイクロ流路の構造を工夫してアルギン酸ビーズを多数のポイントでトラップーリリースするマイクロ流体システムを実現している [MEMS2006]。

IMTEK では、cyclic olefin copolymer (COC) 製のディスクを用いた並列化されたタンパク質結晶化デバイスの報告があった [MEMS2007]。流体の制御はディスクを回転させる遠心力によりマイクロ流路中に溶液を注入している。

MEMS 国際会議での地域別発表論文数の傾向は図 2.2-6 のとおりである。

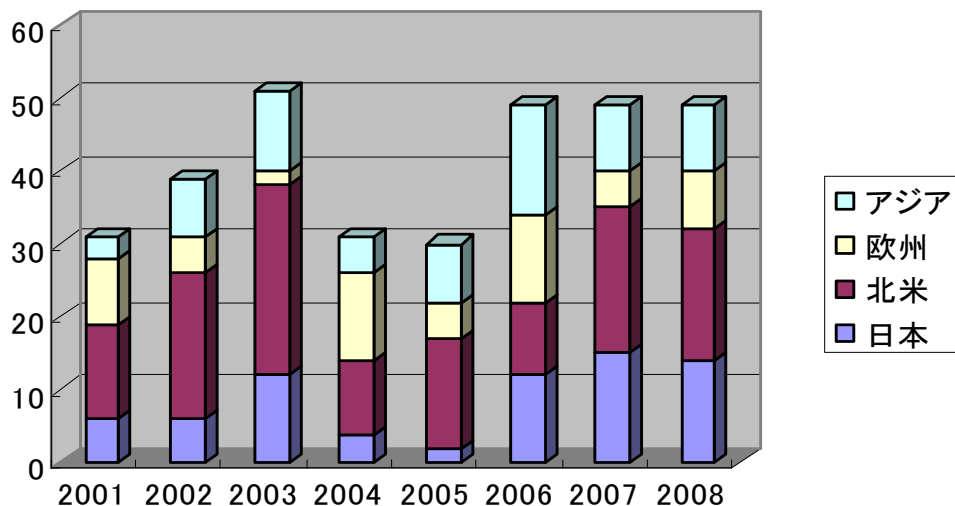


図 2.2-6 Fluidic

4) Actuators

アクチュエータの分類においては、静電力による駆動、圧電に駆動、熱による駆動、磁力による駆動、生体（タンパク質）を用いたもの、その他のものに分けられ、静電力を用いた例が最も多いが、静電力を用いた例の全体に占める割合は減少傾向にある。

その他の中には、液体の表面張力を利用したものや固体から気体への急激な体積変化を利用した例があり、従来良く用いられていた方法と少し違った方式が多くなっている。

また、駆動される側の材質としてSi以外の有機系の膜がいくつか紹介されていた。

また、アプリケーション也多岐にわたっている。FluidicやOpticalSwitch、各種センサーへの適用、バルブ、リレー、スキャナー、ミラーへの応用例であり、MEMS2007～2008では光通信関係、RF関係が多く、通信関連におけるアクチュエータの重要性が伺える。

MEMS 国際会議での地域別発表論文数の傾向は図 2.2-7 のとおりである。

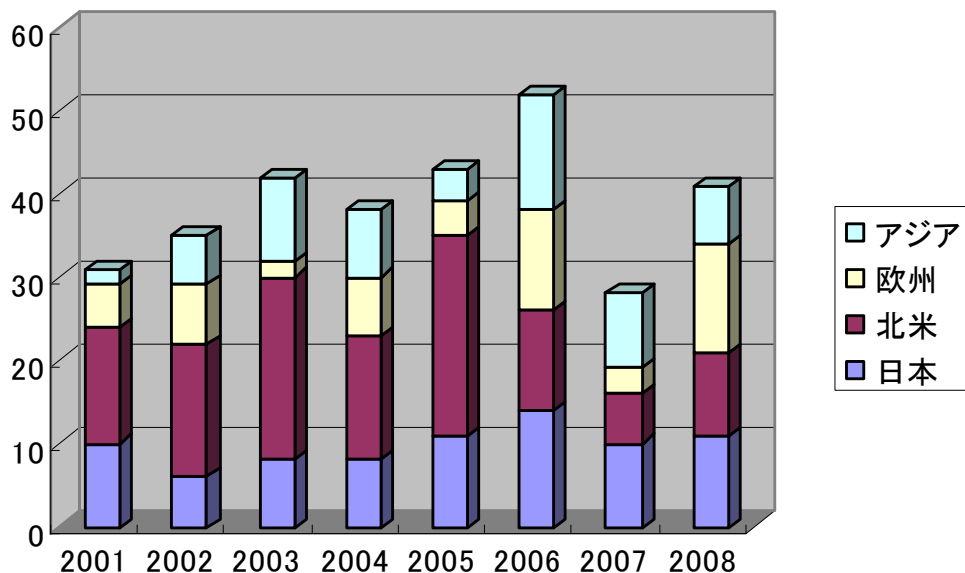


図 2.2-7 アクチュエータ

主な傾向は次のとおりである。

○静電力による駆動

静電型マイクロバルブや熱流量センサーを含む Mass Flow Controller (MFC) の集積型 (MEMS2003)、MEMS スイッチとして ON 時はカンチレバーのばね定数のみで接触、OFF 時のみ静電力を利用する構造の開発 (MEMS2006)、傾斜可能な単層構造楕円型電極アクチュエータ (MEMS2007)、静電力による X-Y-Z ステージ (MEMS2007)、変位・力等の機械的物理量の増幅デバイスが提案されている (MEMS2007)。

MEMS2008 では、メカニカルラッチを繰り返しながら進むマイクロ輸送システムや、変位

量を容量センサーでセンシングする機構が付いたナノピンセットが報告された。

○圧電による駆動

圧電による駆動としては、低温動作のマイクロバルブ（温度と圧力センサー付きのガスバルブ）（MEMS2007）が紹介されている。

○熱による駆動

パラフィンを加熱しその膨張でメンブレンを変位させている例がある（MEMS2008）。

○磁力による駆動

磁場をエネルギー源として使用している微小飛行体の例（MEMS2001）、プローブの立体化に使用している（MEMS2003）、磁気力を利用して生体分子を含む流体に磁気ビーズを分散させる手法に関する例（MEMS2002）、ダイヤフラムポンプの駆動力に応用した例（MEMS2006）などがある。

○生体による駆動

タンパク質を用いてモーターを回すという試みもなされている（MEMS2007）。

○その他

その他の駆動力の例として MEMS2008 では、表面張力を利用した例、液体を気化させメンブレンの変位を得ている例（点字ディスプレイの開発用）、同様に体積の変化でメンブレン変位を得るものとして、固形燃料を燃焼させるものも紹介されている。

5) Sensors

80年代以降、圧力センサー、加速度センサー、ジャイロが実用化されてきた。過去5年間においては、多軸加速度センサー、ジャイロの実用期であったといえる。

圧力は触覚、ジョイスティック的な多方向検出、等応用面が多かった。慣性では加速度センサーより角加速度（ジャイロ）が多い傾向はここ3年ほど変わらない。

流体、微量物質検出等がそれに続いた。それぞれ近年、測定法よりも生体埋め込み等アプリケーションよりの報告が多かった。

慣性センサー以外の物理センサーとしては、X線、マイクロ波、赤外線を検出する放射量センサーが増えてきた。

MEMS 国際会議での発表論文数の傾向は図 2.2-8 のとおりである。

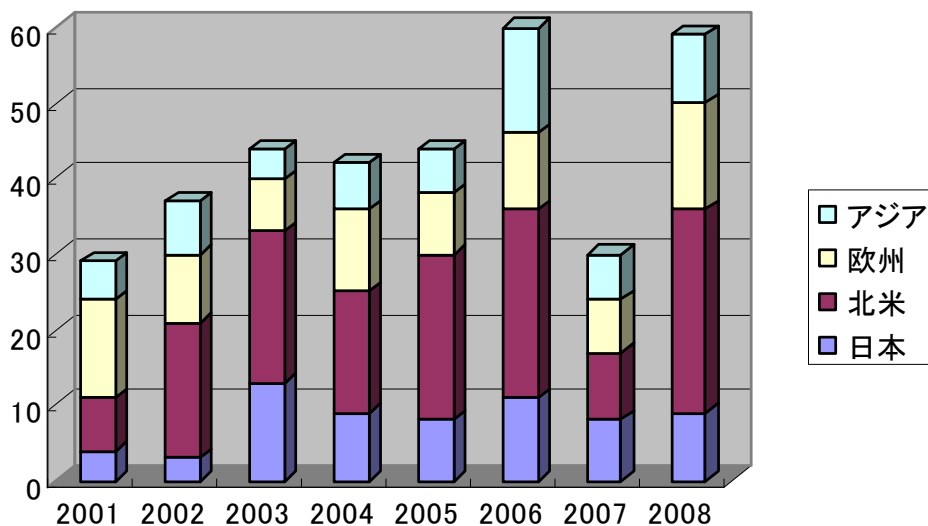


図 2.2-8 センサーMEMS

具体的な傾向の概要は以下のとおりである。

○圧力

圧力ではアレイ化し、マッピングや指紋センサーを指向したものが目立つ。

また、井桁状のはりに CMOS プロセスによる FET（応力センサ）を形成し、3次元方向の力センサーを形成し、3次元座標測定機のプローブに応用する例もある。

○流体

MEMSにおけるバイオ分野への関心が高いことを反映してか Chemical 関連の研究も μ TAS や Fluidic 等のアプリケーションに関するものがいくつか見られる。

2002年頃からは、Power MEMS に関わる処の燃料電池への応用を言及しているものが多く

見られるようになった燃料電池への関心の高さが伺える。(Power-MEMS の項参照)。

○慣性

加速度センサーは MEMS2006 年以降、報告が少ないが、MEMS2008 では、電解質中の陽イオンと陰イオンの機械的移動度が異なる特性を振動センサーに応用する例が報告された。

また、膜厚計や微量分析に水晶振動式のセンサーは古くから使われているが、CMOS ベースで振動式微量分析器を作成した例が報告され、振動子と電子デバイスのモノリシック化は課題であったところを PZT プロセスも包含し、パッケージデバイスにしたことは完成度が高いと思われる。

慣性センサーでは、医療用として中耳機能の回復のために、鼓膜からの音を伝える耳小骨の役割を加速度センサーに担わせようとした報告がある (MEMS2007)。予備実験として実際に中耳内に埋め込み、加速度センサーとしての出力と、耳小骨の動きを直接レーザドップラ振動計で評価し、またセンサーの有無による影響等を比較し、良い一致をみたとしている。目標は完全内蔵型であるとし、エネルギーなどは RF コイルを介して体外とやりとりするとしている。

MEMS ジャイロは、横滑り防止・ロールオーバー防止等自動車の姿勢制御の用途やカーナビゲーション用途で実用化が進んでいる。車載向け用途の振動型 MEMS ジャイロは、Robert Bosch、Analog Devices、シリコンセンシングシステムズ、パナソニックエレクトロニクスシステムズ、デンソーといった先進企業によって実用化されている。今後は、低価格化によって、高精度が要求される航空宇宙分野以外の用途、例えばデジタルカメラの手振れ防止、GPS 携帯電話、ゲーム機などの用途で実用化が進むと思われる。

○その他

MEMS2008 では放射線センサー、ピラニゲージ、表面プラズモン応用等の化学センサー関連するものが目立った。

テロ対策の爆発物検査を目的とした、圧電薄膜共振器によるマスセンサが報告され、これは、トリニトロトルエンやヘキソゲンといった爆発物の蒸気が抗体と反応した時にセンサーの共振周波数が変化する現象を利用したもの。また、表面プラズモン共鳴を利用したデバイスの報告があった。Au のナノディスクを埋め込んだ光応答性の液晶に、波長 420nm の光を照射した時に起こるナノディスクの表面プラズモン共鳴による液晶の屈折率変化を利用するが、このデバイスは光フィルタや高密度光データストレージへの応用が可能とされている。表面プラズモン共鳴は、光デバイスやバイオセンサーなどへの応用が期待できる現象である。

ガイガーカウンタは従来から報告事例があるセンサーであるが、 α 線、 β 線、 γ 線、中性子線を検出(従来は β 線のみ)するマイクロガイガーカウンタの報告があった

6) Bio & Medical Applications

国内外技術動向調査委員会では2007年度にこの分野の分類を、分子から個体に至る生体の階層構造を、‘nano & sub-micro’、‘micro’、‘super-micro’と、サイズの違いで3つに大別した。サイズという明快な分類基準が必要なのは、①医療の発展に伴い、医薬品として核酸やタンパク質さらには細胞の治療への応用が進んでいること、②今後より一層、この流れが加速していくと推測されること、③DNA やタンパク質など生体高分子のみならず、細胞を操作するMEMSデバイスの研究が著しい進展を見せていること、以上の理由による。

この分類によるそれぞれの傾向は次のとおりである。

○Biomacromolecules

Biomacromolecules 分野の内容を大別すると、モータータンパク質 (kinesin, myosin) を利用した分子輸送システム、droplet particle 操作、DNA/タンパク質精製、マイクロ流路を用いた dynamic なデバイス、抗体固定化センサー等の static なデバイスである。

モータータンパク質やマイクロピラー、RT-PCR などは従来からも見られるが、この数年来 droplet 操作が増加している。多くは用途が不明瞭であり、MEMS2007~2008 でもその傾向は見られるが、DNA 精製デバイスへの応用など具体的な提案もみられた。

また、polycarbonate を加熱成型して作製した microfluidic chip のように、高分子を材料に用いて低コストでデバイスを作製する取り組みも報告されている。

生体分子の種類に着目すると、まず、抗体をセンシングに用いている研究の多い。

モータータンパク質を用いたマイクロ輸送システムでも (kinesin, microtubules)、特定の DNA 配列の検出センサーへの応用を図っている。

MEMS2008 では、分子生物学上でも重要視される膜タンパク質にターゲットを定めて、膜タンパク質を脂質二重膜中に固定し機能を発現させるために、脂質二重膜のパターニングについて東京大学の竹内らの研究グループは、これをマイクロ流体デバイス内で試みた報告がされている。また、TNT (trinitrotoluene) や RDX (trinitro-triazacyclohexane) といった爆発物の蒸気を、FBAR 型抗体センサーで検出できた報告があり、このセンサーは、テロ対策などの用途を想定している。このように、生体分子を単に操作するだけでなく、それらの機能発現を目的とした応用志向が強まっている傾向が感じられる。

○Cells & Subcellular Components

細胞を対象とした研究も刻々と変化している。初期の研究では、複数の細胞を群として扱ったり、また細胞をアレイ状に配置するなどの静的な研究が主流であった。しかし、1個1個の細胞を精緻に操作し、かつマイクロ流路内で動的に扱う研究への広がり徐々にみられる。MEMS2008 では、産総研(AIST)による、自動クローニングシステムのため動物細胞をカット、注入するため新方式の報告があり、今後の研究では、自動クローニングシステムにイメージプロセッシングを使用することで自動裁断技術を開発していくとのことであっ

た。

○Tissue/Organ & Medical Applications

MEMS 技術のうち臨床応用まで到達しているものは希である。そこで、血液も含めて生体組織に直接作用させる MEMS デバイスや、たとえ原理検証の段階であっても臨床指向が明確である研究を対象とした。発表件数や全体に占める件数割合は、例年低いレベルにとどまっている。

生体内でのセンサーやアクチュエータ、またそれらを備えた DDS や医療用の活動をするデバイスの具体例、動物による実例などがいくつかあった。デバイスの材料として、センシングや可動部をシリコンや形状記憶合金で作製し、周囲を生体に適合した材料で覆うという例がいくつか見られた。

MEMS 国際会議での地域別発表論文数の傾向は図 2.2-9 のとおりである。

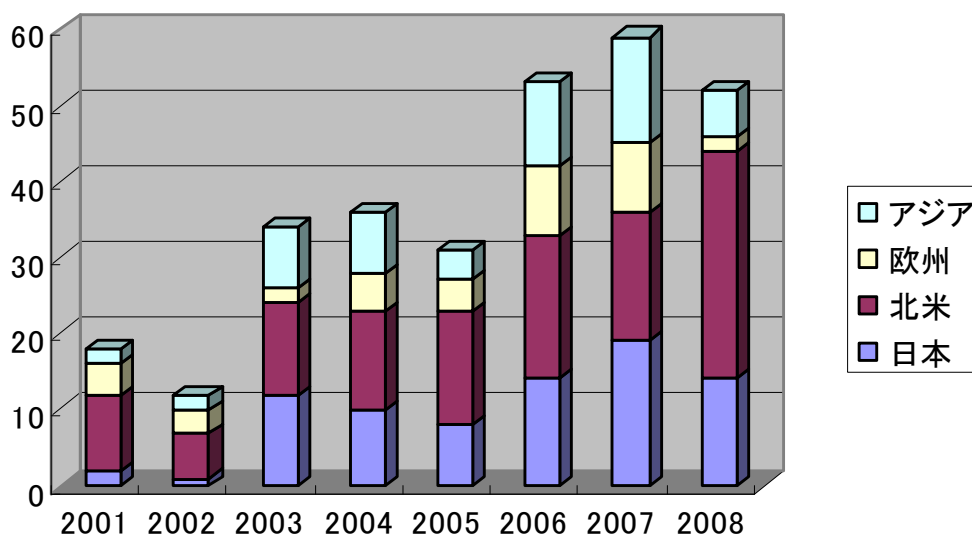


図 2.2-9 バイオ&メディカル

7) Power-MEMS

パワーMEMS は、2001 年以降、毎年十件前後の発表がなされている。パワーMEMS 分野の研究対象として、電池、振動発電、ガスタービン発電、マイクロスラスタ、熱・光変換等があるが、MEMS 分野においてmW 以上の発電は非常に難しいと言える。

MEMS 国際会議での発表論文数の傾向は図 2.2-10 のとおりである。

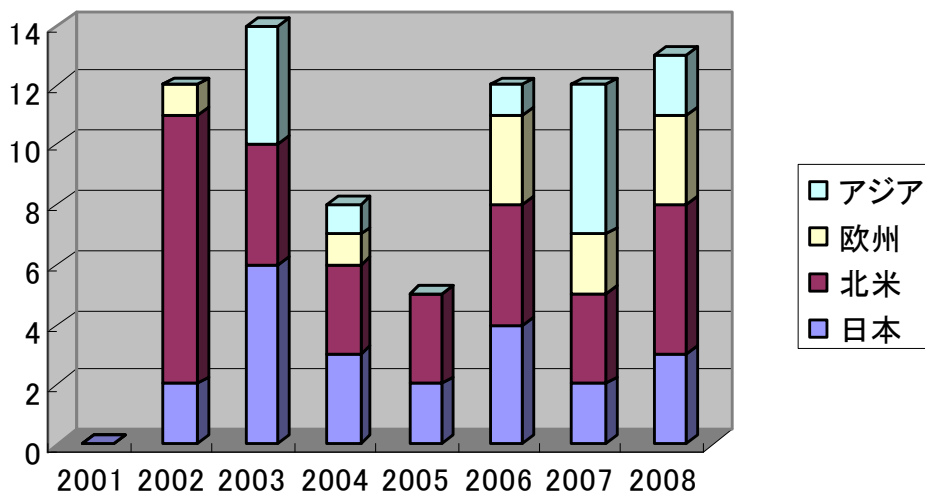


図 2.2-10 パワーMEMS

○電池

MEMS における電池の技術には、一次電池と燃料電池の分野が存在する（二次電池の報告例はほとんどない）。

一次電池では、電力が必要なときに、異なる種類の金属で形成されたキャビティに電解液を注入し電気化学的な手法により電力を得る方法がある。UCLA (USA) から小型 Zn-エア電池に関する発表があった (MEMS2007)。本発表では、柱状の Zn を用い市販のボタン電池 (デュラセル DA-10) よりより放電特性のよいものが MEMS で製作されている。低コストでこの電池を製作する方法が見つければ、普及するのではないかと思われる。

燃料電池では、通常大型 (商用、家庭用) のものは燃料として水素そのものを用いるものが多く見られる。しかしながら、MEMS の燃料電池では、燃料として直接水素を用いるものは少なく、小型化に有利なメタノールや、グルコースを直接電解質膜に供給するダイレクトメタノール型燃料電池 (DMFC) 等が研究の主流となっており、体内に埋め込み医療用電源として用いている例もある。Ajou University のグループによる小型燃料電池は、メタノールから直接発電可能な燃料電池を MEMS プロセスで作製している。埋め込み可能な医療用電源としての利用を想定している。

その他、MEMS の燃料電池に関連する研究として、マイクロ流路、バルブ、触媒、燃焼器

(リアクター) が挙げられる。

なお、MEMS2008 では電池の 6 件中燃料電池が 5 件で、すべてダイレクトメタノール(DMFC)型であった。

○振動発電

振動発電は、物体の運動を電磁誘導、静電容量変化、圧電材料等を用いて電力に変換するものである。カリフォルニア工科大学から、対向電極間に挿入された液滴が振動し移動することで静電容量が変化し、それを電力に変換している研究がある。

また、Cornell University (USA) からラジオアイソトープ (RI) を用いた振動発電に関する発表が MEMS2007、2008 でされている。ラジオアイソトープを用いた発電は、Cornell University (USA) のグループを中心に研究が行われており、今後閉空間 (地下、海底、宇宙等)、ポータブル機器で応用が進むのではないかと思われる。

現状、振動発電で得られる発電量は、数 μW 程度である。

○タービン発電

MEMS で報告されている発電機の中で最も発電量の大きいものが、このタービンを用いた発電で、数 W レベルに達している。このタービンを用いた発電の研究例には、大きく分けて、内燃系のもので、外部から気体を送り込みタービンを回転させるものの 2 種に分類される。前者は、MIT の Gas Turbine Lab. のグループで触媒を挿入した 6 層基板プロセス (図 7) でエチレン、プロパン等の炭化水素を燃焼させ、40% 以上の効率を得ている (しかしながら発電量の記述はない)。後者は、MIT、ジョージア大学の研究例で、タービンと永久磁石の組み合わせの発電で、ロータの回転数 120000rpm で 1.1W (発電密度: 10MW/m³) の発電を達成している。

MEMS2008 では、Georgia Institute of Technology (USA) から、エア駆動のマイクロタービンを用いた電磁発電機に関する発表がされている。

○マイクロスラスタ

マイクロスラスタは、主に宇宙空間における人工衛星の姿勢制御を目的とするものである。カリフォルニア大学では、マイクロロケット (MEMS Rockets) を目的とした研究例が発表されており、推進力として固体燃料を用い最大 4mN を得ている。また、このシステムで発電を行っており、12 対のサーモパイルにより 10~20 μW を得ている。

また、University of Michigan、New Mexico Institute of Mining and Technology (USA) から、ヘルムホルツ共振を用いた静電駆動型マイクロスラスタに関する発表があった (MEMS2007)。このマイクロスラスタの主用途として、素子の冷却、気体のポンピング等を考えている。

<MEMS 国際会議での主要な発表機関>

MEMS 国際会議での発表機関は、圧倒的に大学が多い。2008 年では全発表の 96% が大学等の研究機関からの発表であり、企業の発表は 4%に留まっている。また、2007 年でも、全発表の 94%が大学等の研究機関からの発表であり、企業からの発表は 6%である。

これら大学等の研究機関の地域別割合は図 2.2-11 のとおりである。

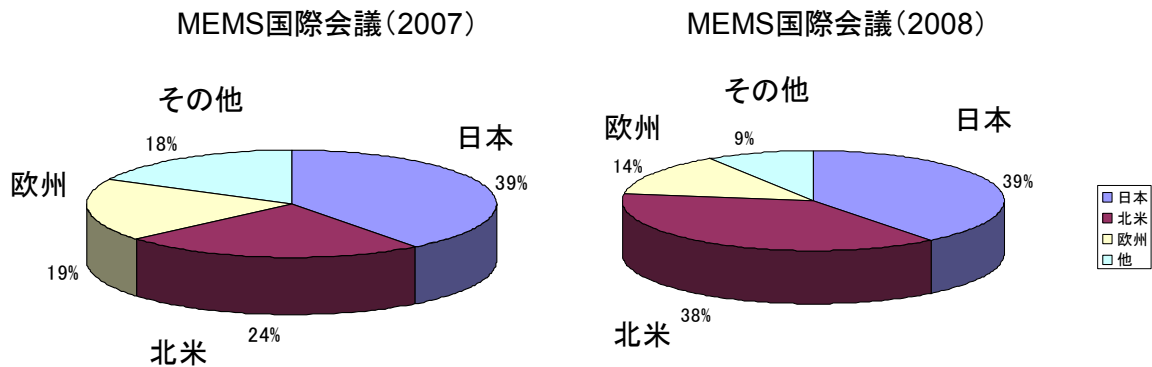


図 2.2-11 MEMS 国際会議での主要な発表機関（地域別）

また、発表件数の多い研究機関は、表 2.2-1 のとおりである。

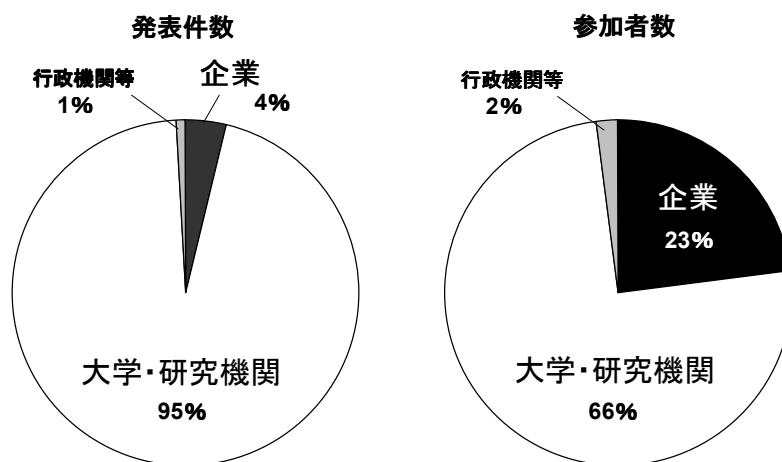
表 2.2-1 MEMS 国際会議での主要な発表機関

発表件数の多い研究機関	2007年	2008年
東京大学	27	27
名古屋大学		8
東北大学	6	7
立命館大学	12	5
京都大学	4	5
九州大学	4	
早稲田大学	2	
名古屋大学	2	
カリフォルニア大学	11	15
南カリフォルニア大学	4	
カリフォルニア工科大学	4	6
ジョージア工科大学	6	10
ミシガン大学	10	8
スタンフォード大学		6
コーネル大学		5
ミネソタ大学	3	
フライブルグ大学	12	9
IMEC		4
Royal Institute of Technology		6
ETH Zurich		5
EPFL	6	3
KAIST	6	8
KIST		4
National Tsing Hua University	6	8

以上のように、研究機関別発表件数では東京大学が 27 件と突出して多い。これは、今回に限ったものでなく、前回 27 件、前々回 21 件とトップをキープしている。2 位は、米国のカリフォルニア大学、以下、ドイツのフライブルグ大学、米国のジョージア工科大学と続く。

この会議における企業の発表は年々減少しており、2 年前に比して比率で半減している。MEMS2008 の場合は、欧州から 5 件で、NXP-TSMC Research Center (ベルギー)、NXP Semiconductors (オランダ)、Alcatel Micro Machining Sytems (仏)、STMicro (仏)、Sensirion Inc. (スイス)、米国からは 4 件で、Seagate Tehnology、Analog Device Inc.、GE、GE Global Research Center。日本からは、ニコンとシャープの 2 社のみで、日本以外のアジア企業からの発表はなかった。なお、前年の MEMS2007 では、日本から、デンソー、日立製作所、三菱電機、スタンレー電気、太陽日本酸素、が発表している。

このように企業の発表は年々減少しており、2 年前に比して比率で半減しているが、MEMS2008 の参加者の所属別では、企業からの参加者が 23% で、前回の 26%、前々回の 23% と変わりなく全体の 1/4 を占めている。



これらの結果は、この会議が基礎研究および新規アイデアにフォーカスされており、デバイス性能や信頼性等の企業の開発成果の発表の場ではないことを示している。

(2) MEMS 関連特許の傾向

発表論文数とともに企業の競争力を表す指標として、特許出願数がしばしば用いられる。このため、日本出願特許について、特許庁のデータベースから 2000 年以降の特許公開公報により、MEMS 関連特許について日本及び海外の企業の出願傾向を調査した。

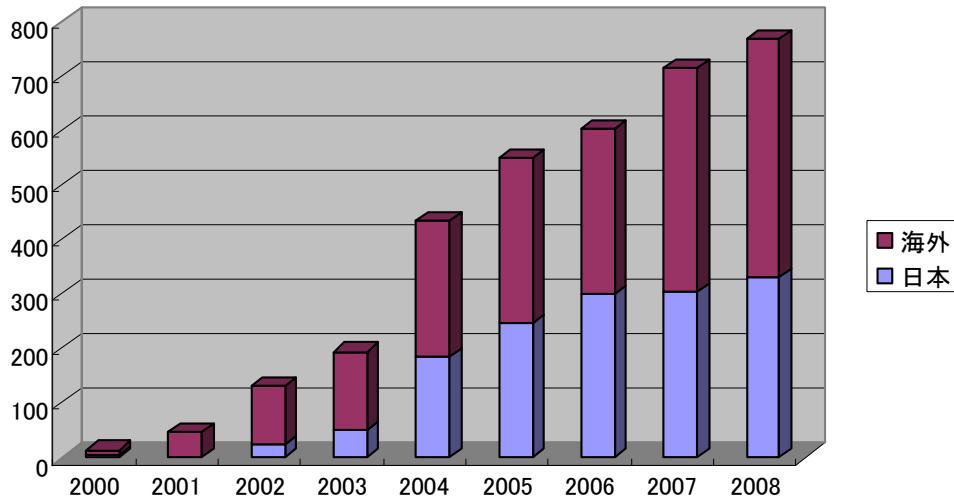


図 2.2-12 MEMS 関連特許（日本出願の特許公開公報）の推移

MEMS 関連特許を、「MEMS」をキーワードにして調べると、海外企業からの出願が先行しており、ちなみに 2000 年以前では、日本企業からの出願もごく少数ではあるが、日本企業は 2002 年ごろから増大している結果が出た。

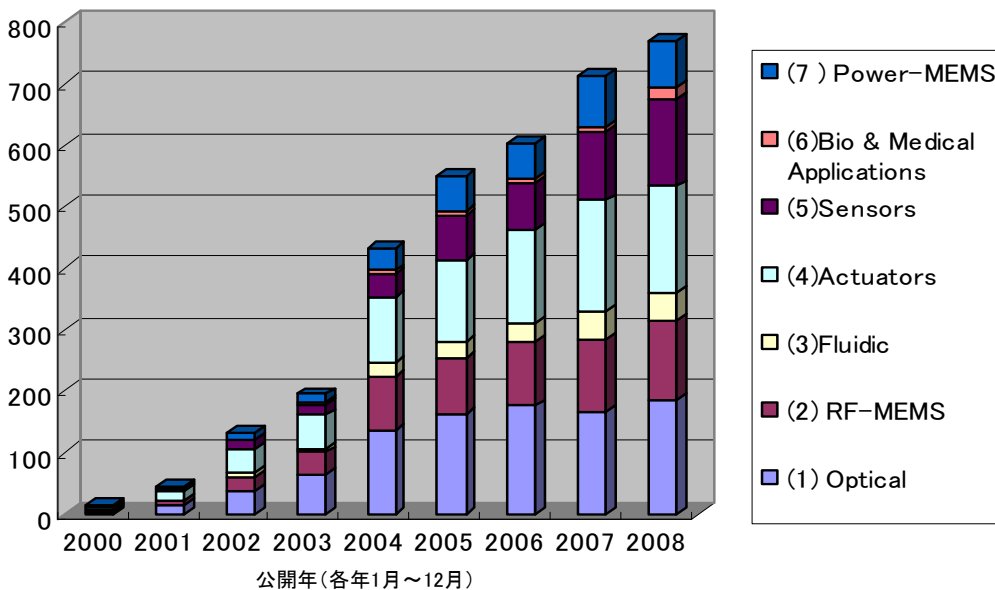


図 2.2-13 MEMS 関連特許（MEMS デバイス別）の傾向

また、「MEMS」のキーワードで抽出したデータから、さらに、MEMS 国際会議と同様に、MEMS デバイス別での傾向も調べた結果が図 2.2-13 である（デバイス別の検索キーワードは、MEMS 国際会議の技術傾向のキーワードを参考にした）。

図 2.2-13 を日本企業と海外企業とに分けた結果が図 2.2-14 である。

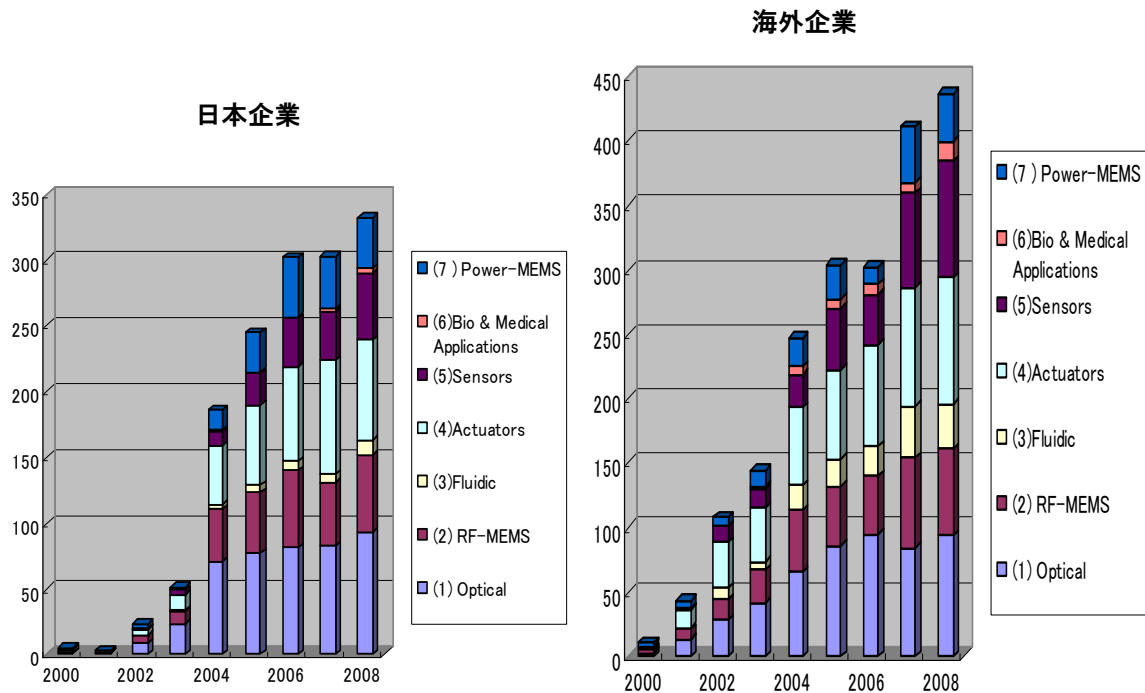


図 2.2-14 MEMS デバイス別特許の傾向（日本企業と海外企業の比較）

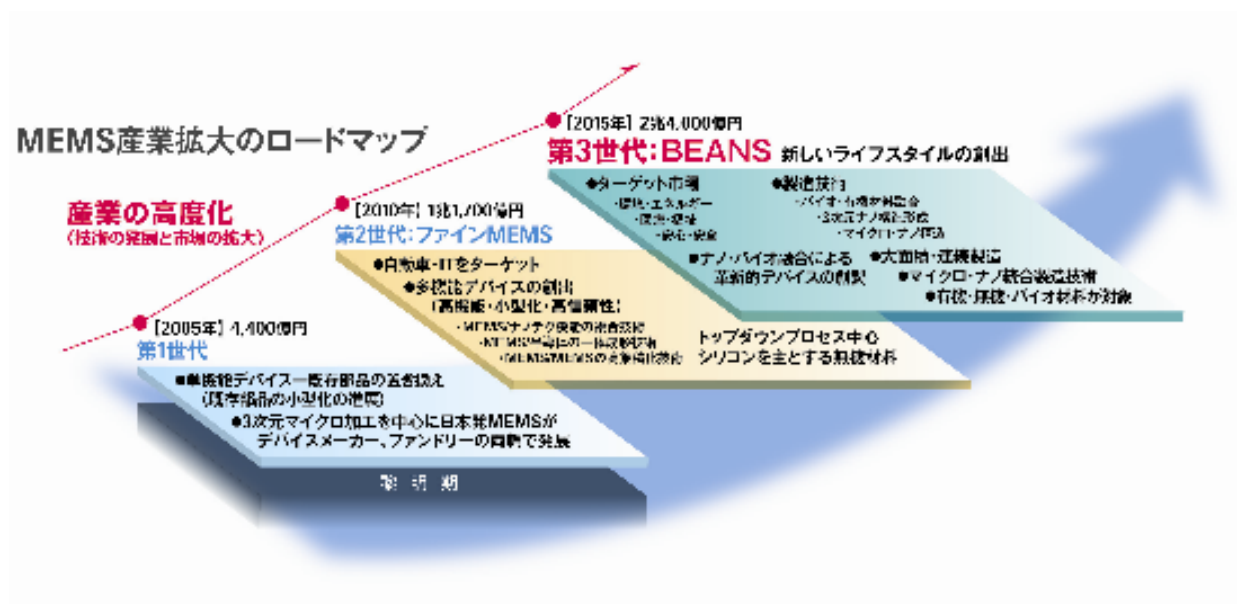
海外企業では、Bio & Medical Applications 及び Fluidic に関する特許が 2001 年ごろから公開広報に出てくるが、日本企業では、2003 年頃から出てくる。

海外企業では、Bio & Medical Applications 及び Fluidic に関する特許が 2001 年ごろから公開広報に出てくるが、日本企業では、2003 年頃から出てくる。

この結果を、MEMS 国際会議での発表論文の傾向（図 2.2-15）と比較してみると、全体的に MEMS が具体的なアプリケーションを想定した段階に移っており、特に、Bio & Medical Applications 及び Fluidic の発表論文の傾向では全発表件数の割合が毎年比較的高いが、特許の傾向では、2004 年以降徐々にその割合を高めてきており、徐々に基礎的研究の段階からアプリケーションを想定した段階への移行が伺える。

2.3 MEMSアプリケーション動向の調査・分析

MEMS 技術は既に各種センサーやプリンターヘッドに代表されるような実用技術として自動車や情報機器の分野で製品に応用されており、さらにこの技術は、図. に示したような技術の進展（第1世代～第3世代 MEMS）により、プラント等の信頼度を高めるための高機能メンテナンス、診断や治療に伴う患者の苦痛を低減させる高度医療への応用、化学・生化学分析システムの小型化や製薬創薬のための高効率化学合成など多岐にわたる応用方法が提案され、ナノテクノロジーとの融合による新産業創出が期待されている。



本調査では、MEMS 産業の市場拡大に向けての道筋を明らかにするため、この MEMS 技術の進展を踏まえて、MEMS 技術による高付加価値デバイス、応用される産業分野、アプリケーション機器がどのように展開していくか (MEMS-Inside) をまとめた。

(1) 情報通信機器関連分野

表 2.3-1 は、情報通信機器分野において、MEMS 技術 (MEMS デバイス) がどのような製品・機器に適用されていくか、アプリケーション機器・システム別にマッピングしたものである。

以下、アプリケーション機器でのMEMSアプリケーションの現状と MEMS 技術の進展を進展を踏まえた動向についてまとめた。

表 2.3-1 情報通信機器関連分野のアプリケーション

分野	MEMS技術が使われる製品・機器		MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状		
			アプリケーションの内容	国内	海外	既市場	将来	
情報通信機器	PC	ノートブック型PC	HDDのショックセンサ(加速度センサ)	・村田製作所		○		
			燃料電池(マイクロポンプ)	・東芝			○(2009)	
			ユーザー認証(指紋センサ)	・富士通		○		
		水冷式PC	CPU放熱用熱交換器(マイクロポンプ)	・日立		○		
	外部記憶装置	磁気ディスク装置	磁気ヘッド(微細加工技術)	・TDK		○		
		ミリピード	読書き用ヘッド(カンチレバー)		・IBM		不明	
	プリンタ	インクジェットプリンタ	インクジェットプリンタのヘッド	・キャノン ・富士ゼロックス ・リコー ・セイコーエプソン	・HP ・Xerox ・Lexmark ・三星	○		
			圧電アクチュエータ			○		
		レーザープリンタ	レーザーキャナ	・沖 ・京セラミタ ・NEC		○		
	ディスプレイ		マイクロレンズアレイ	・シャープ ・三洋エプソン	・三星 ・AU		○(2010)	
	端末装置	携帯情報端末	指入力装置	・オムロン		○		
	携帯電話			発振器・共振器		・SiTime		○(2009)
				RFスイッチ	・オムロン ・パナソニック電工			○(2011)
				バリキャップ	・東芝			○(2012)
				フィルター	・富士通	・Avago	○	
				コンデンサ・マイク	・ヤマハ	・Knowles ・Akustica	○	
				慣性センサ	・村田製作所	・ADI ・STマイクロ	○	
ディスプレイ				・日本信号	・Microvision ・TI		○(2010)	
カメラのAF・ズーム機構				・SII	・Varioptic		○(2008)	
	ユーザー認証		・AuthenTec	○				
光通信機器・ネットワーク接続機器			光スイッチ(光受動部品) フィルタ(光受動部品) 光コネクタ					

○PC

近年のノートブック型パソコンの低価格化に伴い、次第に携帯電話等の携帯情報端末と融合していくと考えられている。従って、携帯電話の動向と重なると思われるが、キーボードの操作性、ディスプレイの大きさ等を考えると、この分野でのMEMS技術へのニーズは、小型化よりも軽量化に向けたものが大きいかもしれない。

この点において、長時間連続駆動を可能にする新たな電源系としてのパワーMEMSへの期待は、携帯電話に比べ大きいと思われ、本格搭載時期は、携帯電話より早いかもしれない。

現在、ほとんどのノートブック型パソコンにはハードディスク駆動装置(HDD)が搭載されているが、機器落下時に保護機能を動作させるための落下検知用加速度センサーの設置が増加している。

HDDをフラッシュ・メモリに置き換えようとする動きもあるが、当分はHDDと併用されると思われ、この分野は今後も拡大すると思われる。

また、ログイン時などの個人認証機能を搭載する機種がますます増えてくることが予想されるため、指紋センサーや、静脈認証用の可視、赤外、超音波など、撮像系センサーの需要が高まりそうである。

○外部記憶装置

HDDの磁気ヘッドはMEMS応用として、既に大きな市場を形成しているが、今後もヘッドのトラッキング制御用アクチュエータ等にMEMS技術が利用されていくと思われる。

その一方で、スケーリング限界を超える小型&大容量の次世代ストレージ製品として、ホログラム方式やプローブ方式が検討されている。これらの装置では位置決め機構がより複雑になるため、MEMS技術が多用される可能性がある。

○端末装置

現金自動預払機など金融用端末装置は、認証機能や入力・表示機能など、よりユーザー・インターフェイスが重要視されると考えられ、入力装置、表示装置などを集積した端末が登場すると共に、超小型化、低コスト化に向けて、MEMS技術が進展するとみられる。

○プリンタ・複写機

プリンタ・複写機情報通信端末のプリント出力には、版を用いないプリンタ(複写機を含む)が用いられる。これらはインクジェットプリンタとレーザープリンタに大別される。

インクジェットプリンタのヘッドは、圧電方式、サーマル方式の2種類があり、流路の形成や吐出機構などにMEMS技術が適用されている。現在メーカー各社は、高精彩・高速・高耐久を目指して技術開発を継続している。

また、非接触で様々な素材を任意の形状に形成できるといった特徴を利用して、紙以外への描画(捺染、容器)やインク以外の物のパターン形成(メタル配線、機能材料)、三次元造形(モックアップ、人口骨)など多岐にわたって応用展開が進んでいる。

さらに、ナノ領域の分野でのパターン形成の研究も進んでいる。

一方、レーザープリンタの製品は、現在ほぼ全てポリゴンミラーをモーターで回転させてレーザー光を走査し感光体ドラムに潜像を形成する方式であるが、近年 MEMS 技術による振動ミラーを用いてレーザー光を走査する方式を用いたプリンタが製品化されている。

振動ミラーの技術はこの他にも、共焦点顕微鏡、レーザーレーダー、モバイルプロジェクタ、光スイッチなどで実用化されており、様々な分野における展開性を有している。

○ディスプレイ・モニター

情報通信端末の表示装置は、CRT や液晶モニターだけでなく、様々なシーンで利用するためのツールとして多様化してきている。例えば、モバイルディスプレイとして超小型プロジェクタや電子ペーパーが実用化されている。超小型プロジェクタの方式は半導体レーザーを MEMS 振動ミラーで走査し描画する方式と、LED の光を Digital Micromirror Device (DMD) を用いて変調させる方式の 2 種類に大別される。振動ミラーを用いて走査する場合は、通常二次元画像をレーザー光のラスト走査により描画するが、特に高速な走査が必要な水平走査に振動ミラーが用いられる。また、ジンバル構造により二次元走査可能な MEMS ミラーを用いて水平・垂直の走査を行うこともできる。これらは電池駆動とすることにより携帯性を高め、ノート PC とは異なるシーンでのモバイルディスプレイ端末として活用が期待される。また、この技術はヘッドマウントディスプレイにも応用されている。今後、更なるモジュール小型化により携帯電話への搭載が期待される。一方、電子ペーパーにおいては、マイクロカプセル型電気泳動方式や液晶方式のものが既に商品化されている。電気泳動方式は静電駆動のマイクロアクチュエータであり MEMS に分類できる。現在、素材や構造を工夫して紙のように丸めたり、伸縮させたりできるフレキシビリティ・可搬性を高めた次世代電子ペーパーの開発が進められている。

○携帯電話

情報通信機器分野の中で、小型化＋多機能化の強いニーズがある携帯電話は、MEMS 技術に対する期待が最も高い分野。市場の大きさとしては、全世界で年間 10 億台以上の出荷台数があり、成長は鈍化しているものの、今後とも大きな市場を形成していくことに間違いない。

◇携帯電話の主な機能トレンド

- －ユーザー・インターフェースの多機能化・高機能化、
- －内蔵カメラの高画質化、
- －GPS 機能の普及・充実、
- －通信のマルチバンド化・ミリ波対応、
- －部品の小型化、
- －消費電力・駆動時間の増大

など

◇インターフェイス関連の最近の傾向

- －iPhone に代表されるように入力デバイスとしてのタッチセンサ
- －小型で耐熱性が良好なシリコン・マイクロフォンの採用
- －指紋認証などの個人認証機能

今後もセンサー関連は大きな伸びが期待できる。さらには、小型プロジェクタが登場するなど、表示機能にも変化が現れると思われる。

RF デバイス応用としては、スイッチや発振器、可変容量などがある。MEMS デバイスのメリットとしてはロスが少なく、線形性が良好であるため、単なる既存部品の置き換えだけでなく、アナログ IC との集積化やソフトウェア無線などへの応用が期待されている。

一方、携帯用電源としてのパワーMEMS も期待されているが、現在のところ、単位体積当たりの発電量が大きくないため、リチウムイオン電池などの二次電池を置き換えるまでには、まだ時間がかかる見込みである。

(2) 民生用電子・電気機器／アミューズメント分野

表 2.3-2 民生電子・電気機器分野／アミューズメント分野

分野	MEMS技術が使われる製品・機器	MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状		
		アプリケーションの内容	国内	海外	既市場	将来	
民生用電気・電子機器	ディスプレイ	プロジェクションディスプレイ	マイクロミラーデバイス	・ソニー	・HP	○	
			傾斜検知用の加速度センサ	・エプソン	・BenQ	○	
	音響機器	ヘッドフォンステレオ	Siマイク(アクティブノイズリダクション)				○?
		デジタルオーディオディスプレイヤー	動きによる操作(加速度センサ)	・ソニー	・Apple		
			不意の衝撃によるハードディスクの破損対策(加速度センサ)	・ソニー			
			シャッフル再生機能(加速度センサ)	・ソニー	・Apple		
		本体を傾けて操作する迷路脱出ゲーム(加速度センサ)		・Apple			
	家電	電気ストーブ(温風機含む)	温度制御・過熱検知(温度センサ)	・ローム	・STマイクロ	○	
		電気がま(ジャー付)	圧力検知	・オムロン		○	
		食器洗い機(乾燥機能付)	温度検知	・ローム	・STマイクロ	○	
		電気冷蔵庫					
		クッキングヒーター	ガス検知器(マスフローセンサ)	・山武		○	
		電気洗濯機	水量検知(圧力センサ)	・オムロン		○	
		洗濯物乾燥機	湿度・過熱検知	・ローム	・STマイクロ	○	
		照明機器	人感センサ(赤外線センサ)	・パナソニック電工		○	
	セキュリティシステム	屋外監視システム(赤外線カメラ)	Siレンズ 車載用ナイトビューアー(ポロメータ型IRセンサ)	・OKI ・NEC三栄			○
		室内監視システム	人体検出(温度) (アレイ型サーモパイル型IRセンサ)	・三菱電機、 ・日本セラミックス			○
		アルコールチェッカー	呼気中のアルコール濃度測定(フローセンサ)		・セージュ エンジニアリング カンパニー リミテッド		○
		自動車用セキュリティ	衝撃感知、傾斜感知による警報発信(3軸加速度センサ)	・CAR MATE			
		(上記以外に追加すべき製品・機器)					
	コージェネ	水素検出(ガスセンサ)				○	
アミューズメント	業務用TVゲーム機						
	家庭用ゲーム機	任天堂 Wii	ゲームのコントローラ			○	
		PS3	ゲームのコントローラ	・ソニー			

○据え置き型ディスプレイ

ディスプレイ用の MEMS デバイスとしては、まず Digital Micromirror Device (DMD) がある。この技術は多数のミラーアレイにおいて個々のミラーの光路を切り替えて画素毎のオン・オフを行う MEMS 空間変調器である。階調は時分割にて表現される。現在プロジェクタ製品には、液晶パネル方式とともに、この DMD 方式が広く適用されている。

DMD 方式はまた、映写機、印刷装置など大型の設備にも適用されている。

また、DMD のみならずミラーアレイの技術は、可動軸を多次元にしたたり、ミラーを面と垂直方向へ併進変位させたり、ミラー変位角をアナログ的にコントロールするなど、目的に合わせて多様な形態を持つことにより、通信用光スイッチ、補償光学デバイス、マスク

レス露光装置、その他多くの産業分野で実用化されている。

DMDと同様に空間変調を行うMEMSデバイスにはGrating Light Valve(グレーティングライトバルブ、GLV)がある。この技術は複数の帯状反射面の配列により画素を形成し、その一部の反射面が変位することにより光の回折を制御して階調を表現する。画素を形成する帯状反射面の配列を繰り返し一次元方向に多数配列することにより、一次元アレイを構成し、さらにアレイ素子をモーターで偏向させて二次元画像を形成することができる。DMD、GLVのような空間変調器は今後さらに高画素化、高耐久化、高階調化により、高機能な光学デバイスとして発展すると考えられる。

○家電（白物、情報家電）

白物家電の市場では省エネルギーの切り札として各種センサーが注目されている。

センサーの種類としては圧力センサ（ガス検知器）やマスフローセンサ（ガス検知器）、温度・湿度センサー、赤外線センサ（室温制御）等がある。

また、情報家電の市場でも、搭載されたコンピュータによる、より高度なコントロールを行うために、多点・多種のセンシングが重要であり、小型化、高精度化、低コスト化を目指しMEMS技術の開発が進められている。

(3) 精密機器／製造技術分野

表 2.3-3 精密機器／製造技術関連分野

分野	MEMS技術が使われる製品・機器		MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状	
			アプリケーションの内容	国内	海外	既市場	将来
精密機器	DVDビデオ(カメラ)		マイクروفोन	・キヤノン	・コダック	○	
			燃料電池補器(流体MEMS)	・ニコン	・ポラロイド		2012年
	デジタルカメラ		手振れ補正のため(ジャイロセンサ)	・ソニー	・三星	○	
			焦点距離変化機能(アクチュエータMEMS)	・パナソニック		○	
			燃料電池補器(流体MEMS)	・ビクター			2012年
	時計	電池時計	気圧測定	・GACIO	・SUUNTO	○	
			方位磁石(Miroreed)		・SWATCHグループ	○	
	機械式時計	歯車、ひげゼンマイなど(DRIE、LIGA、UV-LIGA)	・SEIKO	・パテックフィリップ	○		
製造技術	作業環境用・保安用分析機器	携帯型作業環境・作業 者状態計測	作業者の姿勢、移動状態検知システム(3軸加速度センサ)	・横河電機		○(2007)	
			ガス漏れ検知				○
	半導体製造装置	半導体・IC測定器	半導体テスタ(RF-MEMS)	・オムロン	・Randant MEMS(米)	○	
				・アドバンテスト	・MEMtronics(米)	○	
	フラットパネルディスプレイ製造装置		液晶パネルカラーフィルタ、TFT形成(インクジェットヘッド)	・エプソン		○	
			液晶パネルカラーフィルタ、TFT形成	・リコー		○	
	バーコードリーダー	スキャナー	バーコードリーダー		・Intermec(米)	○(2005)	
	知能ロボット		姿勢制御センサ	・シリコンセンシングシステム		○	
				スジャパン			
				・村田製作所		○	
				・クロスボー		○	
			傾斜センサ	・ワコーテック		○	
					・フリースケール・セミコン	○	
プロセスオートメーション用計測制御機器		ガスクロマトグラフ(ガス成分分析計)(TCD(Thermal Conductivity Detector, 熱伝導度型検出器)をMEMS技術で実現)		・Simens(独)	○(2004年)		
			圧力センサ	・オムロン		○	
			フローセンサ	・オムロン		○	

<精密機器分野>

○デジタルカメラ・DVDカメラ

カメラ・ビデオカメラに搭載されるMEMSの代表は手ぶれ防止用のジャイロセンサ(角速度センサ)である。ジャイロセンサーには、回転慣性の歳差運動(こまの原理)を利用した回転型ジャイロ(機械式ジャイロ)、コリオリ力を利用した振動型ジャイロ、サニャック

効果を利用したリングレーザジャイロ（光学式）があり、それぞれ MEMS 技術で小型化されたデバイスが研究・開発されている。

このうちカメラに製品採用されているのは振動型ジャイロである。

振動型ジャイロは支持体に支持された質量（音叉、棒、リングなど）を圧電、静電、電磁などの力により回転揺動させ、揺動軸と直交する軸周りの動きをセンシングする。

また、回転型ジャイロを MEMS で実現した例として、円盤をキャビティ内で静電浮上、高速回転させ、その動きをセンシングするデバイスがある。

これらモーションセンサは今後、角速度センサーと加速度センサーを集積化した小型高性能の多軸モーションセンサとして発展することにより、カーナビ、ロボット、ゲーム等、幅広い分野への適用が期待できる。

ジャイロセンサー以外の事例としては、産業用途のカメラに搭載した MEMS 技術を用いた赤外線イメージセンサーの例や、携帯電話用のカメラレンズに搭載された自動焦点用デバイスの例がある。自動焦点用デバイスのようなアクチュエータの場合は、発生力やストロークを大きくする工夫により質量の大きなレンズ等へ適用範囲を広げ、本格的なカメラや、その他の機器へ適用できるデバイスとして発展が期待される。

<製造技術関連分野>

○プロセスオートメーション用計測機器

プロセスオートメーション用センサー機器としては、ガスクロマトグラフ（ガス成分分析計）、圧力センサー及びフローセンサ（流量センサ）へ MEMS 適用がある。

MEMS 圧力センサー、MEMS フローセンサは、車載向けに既に実用化されており、各プロセスオートメーション向けの仕様に合致したセンサーも数多く製品化されている。

ガス分析向けのガスクロマトグラフも多くのメーカーで開発実用化が行われており、例えば SIMENS 社は TCD（Thermal Conductivity Detector, 熱伝導度型検出器）を MEMS 技術で実現している。圧力センサーや温度センサーなどとの集積化などが検討されている。

○作業環境用・保安用分析機器（携帯型作業環境・作業状態計測）

携帯型作業環境・作業状態計測では、3 軸加速度センサー＋無線 IC タグのようなデバイスが、工場などの作業者の状態を監視するためにデバイスを作業者に携帯させてリアルタイムに把握することを目的に使われ始めている。

MEMS センサー技術の進展によりセンサーの精度向上と状態を検出するアルゴリズムが進歩すればよりきめ細かい状態を把握できると考えられる。

3 軸加速度センサーで判別する状態は、作業者の姿勢や移動速度などがある。監視する範囲は無線 IC タグの性能に大きく依存する。

また、今後の燃料電池の普及に伴い必要となってくる水素ステーションをはじめとする水素関連施設等の保安用に MEMS 式の水素センサーの開発も行われている。

水素センサーでは、高感度で高耐久性が要求されており、これらの課題が解決すれば、

来る燃料電池の普及において大きな市場展開が可能になると予想される。

○フラットパネルディスプレイ製造装置

「フラットパネルディスプレイ製造装置」では、インクジェット技術が液晶パネルのカラーフィルタやTFTの製造における大型化、低コスト化のために使われ、大型量産工場にて稼動を始めている。

インクジェットヘッドには、従来のプリンタで蓄積された技術を展開し、特殊な部材と組み立て技術を用い、高精度、高耐性を実現している。

今後FPDの市場拡大に伴い、インクジェット製造装置の市場も拡大することが予想される。

○半導体製造装置

半導体製造装置では、RF MEMSスイッチが半導体のテスター等計測器向けに少量量産されている段階である。

アドバンテストの子会社であるアドバンテストコンポーネントは、2008年1月より創業を開始した仙台工場A館で、自社のロジックLSIテスター「T-2000」に使用するRF MEMSスイッチの量産を開始している。また、オムロンでも半導体テスターや高周波(RF)計測器向けに2008年9月26日よりRF MEMSスイッチを製品化した。

その他RF MEMSスイッチの主な参入メーカーとして、パナソニック電工、Radant MEMS(米国)、MEMtronics(米国)、XCOM Wireless(米国)などが挙げられる。

半導体のテスター向けにRF MEMSスイッチが開発された背景には、近年のメモリーやシステムLSIの高速化に伴い、これらを電氣的に検査する半導体テスターにも高速化・低消費電力化・小型化が求められていることが挙げられる。現在、高速の半導体テスターに使用されるRFスイッチには、高周波領域において優れた高周波特性が得られるメカニカルリレーが用いられているが、これらを実現するためにはサイズが大きい、駆動時の電力消費が大きいという課題がある。

半導体テスターには1万個規模でRFスイッチを搭載する必要があり、メカニカルリレーではシステム規模が大きくなるため機器設計時の制約が大きく、同時に消費電力が大きくなりがちになってしまう。加えて、メカニカルリレーは開閉寿命が短く、交換頻度が高いなどの課題もある。

こうした背景から、市場では高周波域で優れた高周波特性を持つ小型で開閉信頼性の高いRFスイッチが熱望されており、RF MEMSスイッチは、こうした市場要求に応えられる全く新しい発想のRFスイッチとして、より高速な半導体テスターの実現に貢献できるものであるといえる。

また、RF MEMSスイッチは携帯電話機などへの普及の可能性も期待されているデバイスである。

しかし製品寿命の向上が課題とされ、現時点においての低価格化や超小型化が難しいことから、コスト的な制約が少なく製品の作りこみの段階である程度の耐久性を確保することができる半導体テスター等計測器用途によりやく市場が立ち上がってきたというところが実情である。信頼性の確保が可能となり低価格化が実現できれば、次世代携帯電話機などに搭載され、RF MEMS スイッチは 2017 年以降大幅な市場拡大が望めるであろう。

○知能ロボット

「知能ロボット」では、ロボットの高機能化のニーズに伴い、より高度なセンシングを実現するために MEMS センサーの応用が進んでいる。

ロボットの 2 足歩行に必要な姿勢制御には非常に高度なセンシング技術が要求され、ロボットの 3 次元空間の移動、位置情報を得るために加速度、角速度の物理量センサーや、ロボットの手の指先や足裏に必要な触覚センサー等が使われている。

加速度センサーや角速度センサーなどの慣性センサーは、今後、高精度化、高信頼性化が進むとともに、より小型化が進むことによりロボットへの搭載が進むものと考えられる。小型化を進めるために 3 軸加速度、3 軸角速度をワンチップでセンシングできる 6 軸慣性センサーが開発され、人間型ロボットへ搭載されている。

モーションセンサとしては、加速度、角速度以外にも地磁気センサーを用いて物体の位置関係を認識する方法もある。

ロボットの機能をより人間に近づけるためには、触覚センサーが重要であり各種の方式の触覚センサーが使われているが、手の指先などに搭載するため、より小型の MEMS 式の触覚センサーが使われている。MEMS センサーとしては、感圧素子としての圧力センサーや(6 軸) フォースセンサ (X, Y, Z 方向の力と各軸まわりのモーメント) などが使われる。

また、搭載されるセンサーの数が増えるとそれらの信号をやり取りするために無線モジュール化したものを使ったり、電源供給のために自己発電デバイスなどが開発されている。

このようにセンサーの小型化を含めたセンサシステムの小型化、簡略化が進展すればロボットの高性能化が進み、応用がさらに進むと考えられる。

○自動ドア

「自動ドア」では、人体や荷物などの物体の位置検知に、焦電方式やサーモパイル方式の赤外線センサー、光や超音波を利用したアクティブ方式のセンサーなどが使われている。

また、ドアの位置検出やタッチセンサなどには磁気方式、静電方式のセンサーが使われている。

このうちサーモパイル方式では一部 MEMS 式の赤外線アレイセンサが実用化されている。

今後は、センサーの検出精度や高感度化、指向性などの向上により、普及が進むものと考えられる。

○バーコードリーダー

「バーコードリーダー」では、MEMS 光スキャナデバイスが小型、高速、長寿命化などの目的で従来のポリゴンミラーの置き換えとして使われている。MEMS スキャナーは従来の光スキャナー技術に対するコストが課題であり、コスト優位性が出れば普及していくと予想される。

(4) 自動車分野

自動車用途において、センサーMEMS技術によるエレクトロニクス化が幅広く進展し、安全・安心、快適性の向上、地球環境対応などへの取り組みに重点が置かれ、インテリジェント化に寄与することが想定される。

表 2.3-4 自動車機器分野

分野	MEMS技術が使われる製品・機器		MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状	
			アプリケーションの内容	国内	海外	既に市場に出ている	将来(…年)
自動車	機関部品	燃料噴射装置	燃焼圧計測 エンジン吸気圧検知	・Denso ・Mitsubishi ・Panasonic	・VTI ・Bosch ・Sensata(旧TI) ・honeywell?	○	
			大気圧計測 吸気排気量計測		・honeywell?		2010-
	駆動伝導・ 操縦装置部 品	ステアリング装置 ESC(横滑り防止装置)	車両状態制御	・Denso ・Panasonic	・Bosch ・VTI ・Systron Donner Automotive ・Silicon sensing systems ・Sensata(旧TI)	○	
	車体部品	エアバックモジュール	衝撃検知 状態検知	・Denso ・Panasonic	・Freescale ・ADI ・ST Micro ・VTI	○	
			圧力検知		・Bosch ・Infinition		
	その他部品	冷暖房装置	温度検知				
			CO2検知(冷媒漏れ検知)		・Bosch ・GE ・SenseAir		
	盗難検知センサ	盗難検知センサ	振動検知				2010-
			圧力検知				2010-
			音響検知(音センサ(マイクロホン))				2010-
	カーナビゲーションシステム		高度計測(圧力センサ)				
	衝突防止システム	車載レーダ 障害物検知センサ	レーザレーダ(レーザスキャナ)				2015-
			ミリ波センサ				2015-
			ソナー(超音波センサ)				2015-
			人体検知(赤外アレイセンサ)				
	(上記以外に追加すべき製品・機器)						
	TPMS(タイヤ空気圧モニタリングシステム)	TPMS(タイヤ空気圧モニタリングシステム)	圧力検知	・Panasonic	・VTI ・Bosch ・Infinition	○ ○	
			加速度検知 振動検知				2010-
	排気ガス浄化システム	排気ガス浄化システム	排気ガス検出、低減				2010-
エンジン稼働の最適化(圧力センサ)						2010-	
安全センサ(シートベルト装着確認)	安全センサ(シートベルト装着確認)	座席の乗員有無(姿勢)検知 (赤外センサ、圧力センサ)				2010-	

以下に具体例を述べる。

○MEMS 圧力センサーが燃料噴射装置の燃焼圧計測やエンジン吸気圧検知用途で使用され

ている。米国の法規制(TRED 法)によりタイヤ空気圧モニタリングシステム(TPMS)の普及が進み、圧力検知用途としてMEMS 圧力センサーが使用されている。今後は加速度センサーの搭載で走行中の振動情報を取得し状況に応じたセンシング情報を活用することで、より高機能なモニタリングシステムへと進化することが予想される。

また、吸気、排気量計測に流速・流量センサーが使用されているが、今後はより低消費電力で高感度計測が可能なMEMS 技術による流速・流量センサーの活用が予想される。

○MEMS 加速度センサーはエアバックモジュールの衝撃検知や、車両状態制御に使用されている。

さらにカーナビゲーションシステムでは傾斜を計測し高度差情報を取得する目的でも使用されており、高機能化を実現している。

車両状態制御にはMEMS 角速度(ジャイロ)センサーも使用されており、より安全、快適で低燃費走行を実現するためのセンシング技術として複数の機能を搭載することが比較的容易なMEMS 技術に対する期待は高く、多機能化、集積化でさらに普及することが予想される。

○超音波センサーや赤外線センサー(アレイ)が衝突防止システムを構成する車載レーダや障害物検知センサーとして使用されており、MEMS 技術による小型化、ローコスト化によって多くの車種へ普及が進むと予想される。

○ガスセンサは排気ガス浄化や燃費向上を目的として搭載されているが、複数のガス種を検知するためにMEMS 技術の活用による複合化や集積化に期待が寄せられている。また、燃料電池車などの普及に伴い、水素ガスセンサなどの新しい用途によるセンサー搭載が予想される。

(5) エネルギー／環境／都市環境整備関連分野

表 2.3-5 エネルギー／環境／都市環境整備分野

分野	MEMS技術が使われる製品・機器		MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状	
			アプリケーションの内容	国内	海外	既に市場に出ている	将来(…年)
エネルギー	2次電池	リチウムイオン、ニッケル水素等	医療(カプセル内視鏡) (パワーMEMS)	(法政大学)			
	ウェアラブル燃料電池		携帯電話	・東芝	・Nokia		2010年以降
			ノートPC	・カシオ計算機	・Samsung		
			人型ロボット	・シャープ ・日立製作所 ・NEC ・富士通	STマイクロ		
			モバイル機器(ポンプ)	・東芝			
	(上記以外に追加すべき製品・機器)						
	ウェアラブル以外の燃料電池		燃料電池車	・日本特殊陶業		○	
			家庭用発電システム	・矢崎総業			
			計測器	・オムロン			
			医療機器				
			半導体装置				
			フォークリフト電源				
環境発電(太陽光、電波、 人体の体温、振動を利用)		RFID タグ(パワーMEMS)		・Perpetuum			
		ペースメーカー		・Philips Electronics			
		車載用センサ					
		センサ-無線ネットワーク					
振動発電		圧電方式(圧電振動膜、振動版)				2015-	
		エレクトレット方式(可動エレクトレット膜の機構)				2015-	
		電磁誘導方式(可動コイルの機構)				2015-	
環境(公害)用分析機器	水質計	コンパクト多項目水質計AN500シリーズ (フローセル、ミキサ)	日立ハイテックコントロールシステムズ			○ 2000	
都市環境整備	エレベータ	重量計測(加速度センサ)		NA	○		
		振動制御(加速度センサ)		NA	○		
	自動ドア	自動ドア	人体検知センサ(赤外線センサ)	・日本セラミック		○	
		自動ドア	人体検知センサ(超音波センサ)				○
		自動改札ドア					
	監視カメラ(赤外線カメラ)		赤外線センサを利用した人物侵入、機器異常監視等	・三菱電機	・FLIR SYSTEMS(米)	○	
				・NEC	・L3(米) ・Thermoteknix(英) ・ULIS(仏)		
ITSインフラ	ITS通信	情報通信(RFMEMS)				2010-	
	車両感知器	画像検知(MEMSスキャナ?)					

<エネルギー分野>

エネルギー関連分野では、光・熱・振動・生体物質等の周辺環境からエネルギーを吸収し、蓄電する小型デバイスが、マイクロ加工とナノ・バイオ融合によるエネルギー変換効

率の向上と、実効表面積の向上の両立によって実現する。

このデバイスは未利用エネルギーを有効に利用できる優れた環境性を有するが、さらに省電力・高効率化が進んだ各種センサ・アクチュエータと組み合わせられ、大きな波及効果を生むと考えられる。例えば、ワイヤレスセンサネットワークを構築する際に、本デバイスを組み込むことで電池交換等のメンテナンスフリーとなり、社会全体に広がり快適・安全・安心な社会が実現される。又、体内埋め込み機器のエネルギー自給が可能となり、健康・医療分野で QOL(生活の質)確認に寄与する。実用化に際しては、十分な電力供給を可能とするため、ナノ構造を広い面積全体に実現していく大面積化もポイントとなる。

○ウェアラブル燃料電池

携帯機器向けに検討されている小型燃料電池のさらなる微細化、高出力化を実現するという考えで進んでいくであろう。現状のリチウム二次電池は比較的発電効率が高くないため、これを置き換えることは実現可能と考えられている。リチウム二次電池では数年先には容量不足になる。携帯電話用では現在主流のリチウムイオン電池との間で棲み分けがなされるものと思われる。

MEMS 技術は燃料電池コア・ユニット(FCCU)に使われる。電池の形態としては、現在は別々に形成している FCCU と電力管理ユニット(EMU)とが、半導体プロセスと MEMS 技術とにより同じ Si 基板上に統合されるものが出てくるであろう。モジュールとして集積することで効率がよく、スケラビリティを持たせることが可能となってくる。

○その他燃料電池

MEMS 技術を用いた超小型電池を用いて、現状の電池より長時間化が達成できれば、より情報量の多いアプリケーションを複数同時利用することも可能になり、市場の期待は大きい。

燃料電池のタイプとしては、メタノールを燃料とするダイレクトメタノール型燃料電池(DMFC)と、電解質に固体高分子膜を用いる固体高分子型燃料電池(PEFC)の2種類がある。DMFC がもっとも有利とされ開発が進められているが、メタノールクロスオーバーの問題や高容量化が得られないといった問題もあり PEFC の開発も進められている状況にある。構造としては、多層構造を構成することにより十分低い内部抵抗を実現可能となり、小型化が可能になる。小型ロボット等への利用が想定される。

MEMS 技術は燃料電池セルの構成に使われる。直接メタノール型の燃料電池セルは、化学反応によって発生する炭酸ガスの気泡をアノード側からカソード側に移動することにより動作する。この気泡を移動させるポンプを作りこむことがひとつの方法であるが、気泡が移動する流路(マイクロチャンネル)の形状を工夫することで気泡を自然に移動させることも可能となる。このようなポンプ動作を不要としたものも出てくるであろう。

特殊なものとして CMOS の拡張プロセスによる燃料電池ができる可能性もある。

○環境発電

要素技術の完成度が高まり、応用システムとの相乗効果を生む段階に入っている。

環境発電デバイスは外部からの電源供給や電池の交換が不要になり、無線センサー・ネットワークなどのシステムの発展を促す。センサー用電源としての実用化を中心に進んでいく。動作・通信が間欠的であるため、平均の消費電力が小さくて済む。

人体に貼り付けて使用するセンサーの場合、体温による発電も可能性がある。センサーの素子数が多く電池交換のコストが無視できない用途や自動車のタイヤ内、人体に埋め込むセンサー、超小型医療機器のように、電池交換が難しい用途に向いている。センサー素子の小型化に伴い、電源も小型化が必要になる。そこで MEMS プロセス技術が有効となる。同じプロセスで製造可能であれば、MEMS センサーと電源を一体化したものが出てくる可能性もある。

環境発電用途として考えられているものに、薄膜リチウム二次電池がある。リチウムイオン二次電池と異なり全固体型であるため液漏れや爆発の問題が無く安全に使える。短期的な市場として RFID タグ、スマートカード、生体内埋め込み医療機器が想定される。

環境発電は通常、電池を内蔵しなくてもデバイスを駆動できるという方向で考えられるが、熱や振動などから変換した電気を蓄える、という方向でも考えられている。

○振動発電

MEMS プロセス技術の革新、使用材料の改良に伴い振動により大容量の容量変化が可能となりつつある。しかし、振動発電には質量が必要であり小型化には課題がある。共振の Q 値が質量の小ささを補うことが出来るかが鍵である。

振動発電は用途に応じて共振周波数を変える必要がある。例えば歩行時の振動を利用するものは数 Hz、高速道路などの高架に取り付けて振動を利用するものでは 20～30Hz である。近い将来では、高速道路などの支柱に設置し、道路故障を検知するセンサー信号を無線通信する機器に搭載するものが出てくる。

将来的には自動車のタイヤ内部に設置するタイヤ空気圧監視装置への搭載も考えられる。また空気圧センサー駆動電池に置き換えることが可能となる。

今後は振動発電デバイスの更なる発電性能の向上とともに、センシング技術・無線通信技術などを組み合わせたモジュール化も進んでいく。

<環境関連分野>

○環境（公害）用分析機器

（水質計）

環境（公害）用分析に関する機器では、機器の小型化のための流体 MEMS デバイスとしてマイクロチャンネルやマイクロミキサーなどが取り入れられており、マイクロポンプやマイクロバルブなどの製作も行われている。また、微量検出のための化学量センサーとして、

抗原抗体反応などを用いたバイオセンサーなども製品化されている。

今後はオンサイト計測を容易にするための LOC (Lab on a Chip) に対する期待が高まり、流体 MEMS デバイスと化学量センサーの集積化が図られると思われる。(2015 年以降に普及)

第 1 世代：機器の小型化のための流体 MEMS デバイス

(マイクロチャネル、マイクロミキサーマイクロポンプ、マイクロバルブ)

第 2 世代：微量検出のための化学量センサー (バイオセンサー)

第 3 世代：流体 MEMS デバイスと化学量センサーデバイスの融合 (LOC)

(ダイオキシン簡易分析システム)

環境試料中に含まれるダイオキシン類などの内分泌攪乱物質の測定方法として、簡便・迅速・安価な生物検定法が注目されており、特別措置法に基づくダイオキシン類の測定方法としての導入が決定されている。しかし、環境試料中のダイオキシン類の測定は非常に微量で検出が困難であることから、人為的誤差による測定値のばらつき、再現性や精度等の測定値に対する信頼性、前処理条件やクリーンアップ度の違いによる測定値の変動などの課題が残されており、これらの問題を解決するために、ダイオキシン簡易分析システムとして、サンプリングから廃液処理までのトータルなシステムの開発が進められている。その第一段として、排ガス・燃え殻・飛灰試料向けの自動前処理装置とダイオキシンバイオセンサは既に開発されている。

今後、土壌・水・大気などの試料への用途拡大、排ガス試料の採取装置などに応用されていくと思われる。

<都市環境整備分野>

○ITS インフラ

RF-MEMS 技術による無線通信システムの広帯域化、高性能化により、DSRC(狭帯域無線通信)を用いた ETC に加えて多様なシステムやサービスへの貢献が期待される。

今後の普及に向けた MEMS 技術に対する期待としては、小型化、ローコスト化の実現が課題と考える。

○セキュリティ (監視カメラ、防犯システム)

監視カメラや防犯システム向けカメラとしては、MEMS 技術を適用して小型化の可能な熱型非冷却赤外センサーが開発製品化されている。

FLIR SYSTEMS (米)、L3 (米)、Thermoteknix (英)、ULIS(仏)、NEC、三菱電機などが開発、製品化を行っている。

検出方式としては、①熱式抵抗ボロメータ ②熱式 SOI ダイオードがあり、今後の開発の方向性としては、画素小型化 (25 μ m 角から 17 μ m 角へ) による高解像度化が想定される。

(7) 医療・福祉分野／バイオテクノロジー分野

表 2.3-6 医療福祉機器分野 (1)

分野	MEMS技術が使われる 製品・機器	MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状		
		アプリケーションの内容	国内	海外	既に市場に 出ている	将来 (…年)	
医療福祉	生体現象計測・監視システム	顕微鏡	小型共焦点顕微鏡での生体内イメージング(MEMSスキャナ)				○(2012年頃)
			顕微鏡ステージの小型化・高精度位置決め(マイクロエンコーダ)			○	
		内視鏡(電子内視鏡)	生体内イメージング(カプセル内視鏡)(カメラモジュール)	・オリンパス	・ギブソイメージング	○	
			内視鏡先端の駆動(アクチュエータ)			?	
			カプセル内視鏡無線給電(RF(小型アンテナ))	・オリンパス			○(2010年頃)
			カプセル内視鏡自走(アクチュエータ)	・オリンパス			○
			血管内イメージング(超音波内視鏡)	(東北大学)			○
		内視鏡(医療用内視鏡)	薬液投与(マイクロバルブ)	・オリンパス			○
			体液採取(マイクロバルブ・ポンプ)	・オリンパス			○
		処置具	電気メス(マイクロヒータ)				○
			生体電極・神経刺激・マイクロ針(マイクロニードル)				○
		血圧計	血圧計測	・オムロン			○
							○(2010年頃)
	血流量計測						
			・パナソニック電工			○(2012年頃)	
	小型血圧計(マイクロバルブ、ポンプ)		・STマイクロエレクトロニクス		○(2012年頃)		
	超音波診断装置	超音波の発信受信素子				○(2010年頃)	
	眼圧計	埋め込み型眼内圧測定				○(2020年頃)	
	医用検体検査機器	血液検査装置	血球カウンタ(マイクロ流体チップ)	・HORIBA			
			血液臨床検査	・パナソニック			2010
				・Abbott	○		
		血液中の細胞分離(マイクロ流体チップ)		・Massachusetts General Hospital			
		採血(マイクロニードル)		・Kumetrix		?	
		インフルエンザ検出(Labo-on-chip)		・STマイクロ		2010?	
		微小循環モデル測定(血液サラサラ)(マイクロ流体チップ)	・エムシー研究所			○	

○生体現象計測・監視システム

◇医療用内視鏡

・生体現象計測・監視システムとして、医療用内視鏡が代表的なものであり、患者に負担をかけず検査・治療を行う低侵襲性・無侵襲性が課題のひとつであり、細径化が進んでいる。イメージセンサーの高密度実装とともに、軟性内視鏡の屈曲及び組織採取のための鉗子の駆動にMEMS技術を使ったマイクロアクチュエータが用いられている。形状記憶合金や人工

筋肉など自由な動きを可能にするアクチュエータの開発もされており、更なる低侵襲性の実現が期待される。

・MEMS スキャナーを用いた新たな内視鏡も開発されている。これは、光ファイバー先端にMEMS スキャナーを搭載し、共焦点顕微鏡の原理を用い、組織レベル・細胞レベルの高解像度観察や一般の光学的内視鏡では不可能な断層観察を可能にするものである。

また、小型のMEMS スキャナーにより血管の内壁を観察するための光ファイバー内視鏡（顕微鏡）の開発も行われている。光ファイバーで導入した赤外光を光スキャナーで走査して組織に投影し、戻ってくる光を干渉光学系で解析して、観察部位の断層写真を観察する。

また、MEMS 光スキャナーの駆動電圧供給には電線を用いず、光ファイバーを通る光でエネルギーを供給し、内視鏡中に実装した光電変換素子を用いて駆動電圧を発電する構成である。

超音波プローブによる血管内内視鏡も開発されており、PZTの微細加工とともに、静電引力で変形するダイヤフラムを利用する試みも行われている。

◇カプセル内視鏡

内視鏡の低侵襲性実現のため、カプセル内視鏡が実用化された。

管を挿入する従来の内視鏡とは異なり、患者さんにとって飲みやすい錠剤タイプで楽な検査方法として期待されている。現在のカプセル内視鏡は、口から飲み込んだ後は、胃や腸の蠕動運動により体内を進行し、その間、消化管の映像を自動的に撮影し、無線通信する機能を有しており、MEMS 高密度加工・実装技術が生かされている。今後、検査をしたい部位に近づいたり陰に隠れたところを自由に見るために、カプセル内視鏡を自在にコントロールする技術（アクチュエータ）、カプセルに電池を搭載せずに外部から電力を供給する技術（小型アンテナ）、DDS 機能として目的とする病変部に直接薬液を放出する技術・診断/分析のために体内からサンプルを採取する技術（マイクロバルブ・ポンプ）等、今後のカプセル内視鏡の開発にとってキーとなる技術であり、そのすべてにMEMS技術の展開が期待されている。

◇処置用器具

処置具としては、カテーテルが代表例である。カテーテル先端にマイクロアクチュエータを搭載し、先端を能動的に動けるようにし、動作を体外から自在にコントロールできる能動カテーテルが開発されている。動作の自由度が増すにつれ低侵襲性が実現でき、MEMS技術の応用が期待される。

また、アクチュエータ以外にも圧覚センサーとの組み合わせで能動湾曲機構を付加し、管内壁等の接触を検知し、自動的に回避動作することで、挿入性を向上する開発も行われている

◇画像診断

画像診断装置としては、X線診断装置、X線CT装置、MRI装置、超音波診断装置などがあげられる。

MRIに関しては、病変部付近の高解像度イメージングのため、微小な受信コイルをカテーテルや内視鏡で体内に導入する手法が注目されており、MEMS技術の応用が期待される。

また、超音波診断装置の高分解能化や2次元シート型超音波プローブの実現に向けて、MEMS技術で作成する静電容量型超音波トランスデューサー（Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers; CMUT）の開発が進められている。

以上の他、MEMS技術の応用例として、MEMSミラーを用いた光ファイバー型医療用プローブの開発、触覚プローブによる病変のしこりによる硬さ情報を画像化する診断装置の開発が、MEMS技術での小型・集積化プローブに利用されている。

表 2.3-7 医療福祉機器分野 (2)

分野	MEMS技術が使われる製品・機器		MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状		
			アプリケーションの内容	国内	海外	既に市場に出ている	将来(…年)	
医療福祉	医用検体検査機器	DNA分析装置	DNAプローブアレイ		・Affymetrix	○		
			マイクロキャピラリー電気泳動	・島津	・Caliper	○		
		たんぱく質分析装置	たんぱく質マイクロアレイ		・TeleChem International	○		
		血糖センサー	ディスプレイザブル血糖バイオセンサ	・パナソニック	・Roche	○		
			埋込血糖センサ(振動型センサ)		・VeriChip		2011?	
			粘性検出式血糖センサ(振動型センサ)		・Columbia Univ.		?	
	医用測定器	POCT検査機器						
	処置用機器	能動カテーテル	カテーテル挿入補助(圧覚センサ、アクチュエータ)		・オリンパス			○
					・オリンパス			○
	画像診断システム		歯科用断層画像表示プローブ(MEMSスキャナ)					○
			構(とう)骨動脈圧脈波波形のAI(augmentation index)という指標を計測するシステムのセンサー(圧力センサ)	オムロンヘルスケア	米Silicon Microstructures, Inc.(SMI)			2009
	ヘルスケア機器、システム		活動量計「Active style Pro HJA-350IT」(3軸加速度センサ)	オムロンヘルスケア			○	2008
			活動量計 Sport Kit (加速度センサ)		Nike+ipod		○	2006
	DSS		ステント型DDS(コーティング)			・Boston Scientific	○	
			リザーバアレイ(バルクMEMS加工)			・MicroCHIPS		?
			インスリンポンプ(バルクMEMS加工)			・Debiotech		2008
	介護ロボット		介護用ロボットスーツ(各種センサ)	サイバーダイン			○	2008
(上記以外に追加すべき製品・機器)								
		ステント型センサー(圧力センサ)			・CardioMEMS		?	
		人工内耳(神経電極)			・Cochlear	○		
		人工網膜(シリコン太陽電池)			・Optobionics(?)			
麻酔/治療ガス供給用機器		ガス流量計測・制御(フローセンサ)		・山武			○(2010年頃)	
					・Honeywell			

○医用検体検査

MEMSによる医用検体検査としては、大規模アレイやマイクロ流路による高密度・高速分析を生かした各種DNAチップがゲノム解析の効率化等で成果を挙げてきたが、従来これらは主として研究機関での利用が中心であった。DNA解析やプロテイン解析は、テーラーメイド医療の実現や、がん、HIV、新型インフルエンザ等の早期発見への期待が大きく、現在、医療機関での利用に向けたMEMS医用検体検査機器の開発が加速されている。

今後数年間にこうしたMEMS機器の医療現場への本格的な進出が進み、医療の革新に貢献するとともに、MEMS産業の重要な市場を形成するものと予想されている。

一方、肝機能や感染症の診断のために一般的な健康診断で行われる血液検査は、大規模病

院や検査センターで集中的に処理されるため、採血から診断結果が出るまでに長時間を要するという問題があった。

これに対して、ベッドサイドや小規模開業医等で実施可能なその場診断＝POCT (Point of Care Testing) 機器は、患者への対応向上のために需要が大きい。MEMS 分析デバイスによる小型化、高速化は POCT 機器の実現に非常に適しており、市場も見込めるため、多くの企業が開発を進めている。

米国では FDA 認可された小型血液診断機器も現れており、医療機関向け POCT 機器は今後数年で浸透すると考えられる。診断精度の向上とチップの低コスト化が鍵となる。

さらに、個人が家庭などで使用する機器や、常時携帯する機器としての用途も今後拡大する。

この分野では、糖尿病治療における血糖値測定装置が既に広く使用されている。既存の血糖値自己測定装置は、穿刺器具で指先などから採取した血液をディスプレイなグルコースセンサで測定する方式となっているが、測定間隔が長いこと、採血時の負担があることなどの問題がある。そこで、より低侵襲な採血方法が重要となっており、MEMS 技術による無痛針の開発が行われている。

この他、家庭での健康管理を目的とする各種血液診断のための検出技術・前処理技術の開発が進められている。

○DDS

薬剤送達システム＝DDS (Drug Delivery System) は、薬剤を最適の部位に、最適のタイミングで投与する技術の総称である。薬剤の効率を高め、副作用を抑える効果が期待されることから注目され、各種手法の開発が盛んに行われている。

DDS 技術の基本となるのは、薬剤投与の「位置」を制御する技術または「時間及び量」を制御する技術であり、目的に応じて、注射型・経皮型・経口型・吸入型・埋込型等の形式が検討されている。

MEMS による DDS としては、注射型 DDS におけるマイクロポンプが実用化されようとしている。これも対象は主に糖尿病治療であり、血糖値に応じた適量のインスリンを投与するための携帯型装置におけるポンプの代替が想定されている。

MEMS マイクロポンプの使用により、装置の大幅な小型化が期待できる。また採血と同様に、注射の侵襲性を低減するための MEMS 無痛針、その他の経皮薬液注入デバイスの開発も行われている。

これらと上記の常時連続モニタリング血糖値センサーを組み合わせることにより、理想的な血糖値制御機器を構成可能と考えられる。

また、カプセル内視鏡に似た形態で、同様に消化器官内を移動しながら、所定の部位で薬剤を放出する経口カプセル型 DDS が開発中である。マイクロポンプ・薬剤リザーバ・制御回路・電源・無線通信機能・各種センサ (温度や pH) の搭載が想定されている。

さらに、皮下・歯・骨・血管内などへの埋込型 DDS も検討されている。適用される MEMS

技術としては、マイクロリザーバレイ・マイクロポンプ・マイクロバルブの他、徐々に薬剤を放出する（徐放性）特殊コーティングなどがある。血管内に留置するステントに特殊コーティングを施した薬剤溶出型ステントは実用化されており、今後はこうした技術とMEMSの融合による高機能化が進むと考えられる。

○人工内耳、人工網膜

音声や映像を電気信号に変え、電極から神経等に刺激を与えることで、失われた聴覚や視覚を回復する技術が現実となりつつある。

聴覚については、人工内耳がすでに実用化され、保険が適用される治療法として確立している。主な構成要素には、マイクロフォン・音声を解析して電気信号に変換するプロセッサ・内耳に埋め込まれる電極等がある。現在使用されている機器では、マイクロフォンやプロセッサは体外に取り付ける形となっているが、これをMEMSデバイスで置き換えることによる完全埋込型人工内耳の開発が進められている。

一方、人工網膜は、聴覚に比べてセンサー・信号処理・神経電極等がより複雑であり、実用化時期の予測は難しい。電気刺激を与える場所としては、網膜の他に視神経・脳など複数の可能性がそれぞれ検討されている。

現時点で簡単なパターンの識別は可能とする報告があるが、本格的な人工視覚の実現には、バイオ融合MEMSなど、現在開発中の新規プロセスが貢献するものと考えられる。

○家庭などで用いられる計測機器

血圧計が代表例であり、それらには圧力センサー、音圧センサー、超音波センサーなどMEMS部品が用いられている。血圧計の小型化に際し、マイクロバルブ・マイクロポンプが採用され、2010年頃には実用化されると予想される。小型化とともに、常時モニタリングのニーズは高く、今後MEMS技術の応用が進むものと期待される。常時モニタリング実現には、体表面に貼り付け又は、体内への挿入・埋め込みが必要となる。

MEMS技術の進展により、体表面、腹腔や皮下、消化器官内・血管内などに挿入・滞在し長期間の物理センシングおよび生体成分センシングを可能にする。滞在のみでなく、受動的な移動・能動的な移動でがんなどの病変部を高い確率で発見することもできる。

外部給電によるワイヤレス駆動や、電源を必要としない原理の超小型デバイスも考えられる。モニタリングの種類は多種多様であり、血流や血糖値、心臓の状態、温度・圧力などの計測もでき、更には、治療も可能となる。

なお、血糖値モニタリングに関しては医用検体検査の項目で詳述する。

○ヘルスケア機器・システム

ヘルスケアに関する機器では、簡易測定システムのための化学量センサーとして血糖値センサーや乳酸値センサーなどが普及している。

また、活動量を測定するための物理量センサーとして、加速度センサーなどを用いたへ

ルスケア機器も開発されており、今後の普及が期待される。将来的には、ヘルスケアのモニタリングを行うために、各種センサーの高度化・集積化が図られると思われる。(2020年以降に普及)

第1世代：簡易測定システムのための化学量センサー（血糖値センサーなど）

第2世代：活動量を測定するための物理量センサー（加速度センサーなど）

第3世代：ヘルスケアのモニタリングシステムのためのセンサー群

【参考】

- ・血糖値測定器

<http://panasonic.co.jp/company/r-and-d/technology/health/#section01>

- ・活動量計

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20071016/140703/?ST=MEMS>

- ・ホームヘルスケア

<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/gaiyou/p03009/p03009.html>

○介護ロボット

介護ロボットに関しては、他用途のロボットと同様にロボット自身の動作制御のための加速度センサーやジャイロセンサーや圧力センサーが用いられており、また動作内容が高度化するにつれて測域センサーや認識センサーの高性能化にMEMSが期待される。

介護ロボット独自のものとしては、表情、仕草などの付帯的動作に関して、各種MEMSデバイスが用いられる可能性もある。(涙を流したり、臭いを発したり。ただし、根拠なし。)

今後（2010年以降）には、パワーMEMSやRF-MEMSなどを取り込んで介護ロボットの本格的な普及が図られると思われる。

第1世代：センサーMEMS（加速度センサー、ジャイロセンサーなど）

第2世代：センサーMEMS（測域センサー、認識センサーなど）

第3世代：パワーMEMS（MEMS燃料電池など）、RF-MEMS

【参考】

- ・食事支援ロボット「マイスプーン」

<http://www.secom.co.jp/personal/medical/myspoon.html>

- ・介護ロボ「パロ」 http://paro.jp/?page_id=293

- ・介護ロボット

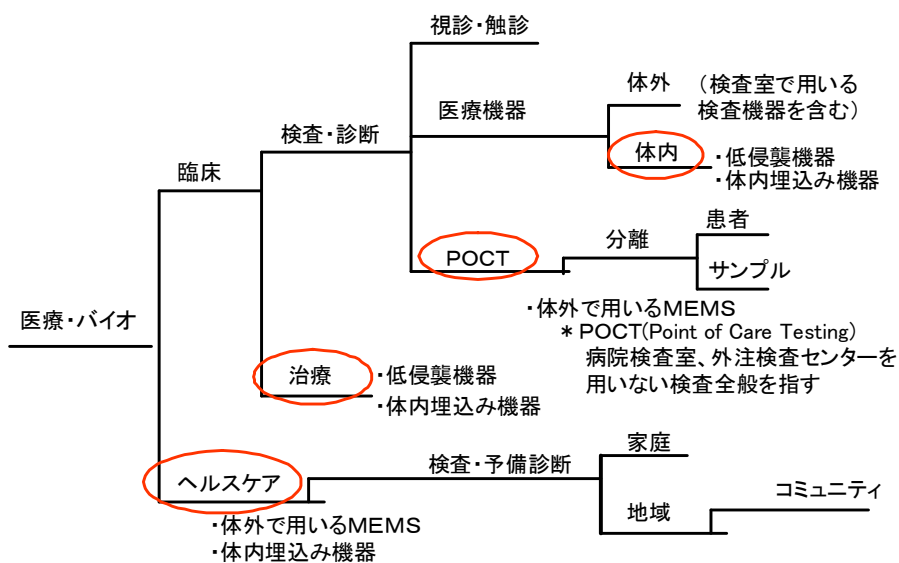
<http://robonable.typepad.jp/news/2008/12/20081218-201009.html>

- ・モバイル向け MEMS 燃料電池

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20070618/134361/>

なお、マイクロ・ナノマシニング技術を用いた医療機器について、東北大学大学院医工学研究科の芳賀洋一教授がその応用分野の開発例をまとめてあるので参考までに紹介する。

マイクロ・ナノマシンング技術を用いた医療機器開発



○ がマイクロ・ナノマシンング技術応用分野

作成: 東北大学大学院医工学研究科 芳賀洋一教授
(第16回マイクロナノ先端技術交流会資料)

(6) 航空宇宙分野

航空宇宙関連分野へのMEMS技術の適用では、航空システムの小型化、衛星小型化等のキー技術の1つとして、宇宙適用MEMS技術(マイクロ・ナノ技術)が、日欧米を中心に活発化している。

一方で、MEMSデバイスの大きな適用メリットは、当然その小型・低コスト化、軽量化と高機能化にあるが、これに加えて、航空・宇宙分野ではデバイスの高信頼性や寿命確保の要求条件が厳しく、要求される数量も大きくないため、他の分野(自動車、情報通信機器、精密機器関連)に見られる様なMEMS市場の急激な伸びは望めないものと推定される。

表 2.3-8 航空宇宙分野 (1)

分野	MEMS技術が使われる製品・機器		MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状	
			アプリケーションの内容	国内	海外	既に市場に出ている	将来(…年)
航空宇宙	航空機	航空計器・操縦訓練用設備	MEMS-INS(慣性センサ)にJAXAで開発されたGAIA(GPSによる精度補償)技術を適用(加速度センサ&ジャイロ)	N.A	N.A	○	
			小型自律飛行機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)(加速度センサ&ジャイロ)	N.A	N.A	○	
		機体部品及び付属品	MEMS技術適用によるアクティブ剥離制御技術(マイクロアクチュエータ)	N.A	N.A		(2020年)
	人工衛星	システム・バス機器	通信衛星向けRFデバイス	-	・Rockwell	?	
			通信衛星向けRFスイッチ	・三菱電機機			(2009年)
			姿勢制御(ロケットアレイスラスタ)	・JAXA/ISAS & 東北大学			N.A.
			姿勢制御(マイクロ推進システム)		・NanoSpace AB(スウェーデン)		(2008年) PRISMA衛星
			姿勢制御スラスタ向け(圧力センサ)		・Presens(ノルウェー)		同上
			姿勢制御(音叉型振動ジャイロ)		・Draper Lab.(米)	TacSat-2(2006年12月)実用化	-
			姿勢制御(振動ジャイロ)		・NASA JPL, Boeing(米)	2006, KUTE-sat2で実験	-
姿勢制御		・(株)トキメック(東北大学)			N.A.		

表 2.3-9 航空宇宙分野 (2)

分野	MEMS技術が使われる 製品・機器		MEMS技術のアプリケーション	主要メーカー		市場の現状	
			アプリケーションの内容	国内	海外	既に市場に出ている	将来 (…年)
航空宇宙	人工衛星	ミッション機器	X線検出器(薄膜による熱絶縁構造、X線吸収膜形成)	・JAXA/ISAS	-	2005(すざく)	(2013年 (NeXT))
			宇宙X線望遠鏡<110>ウエハウエットエッチングによる光学ミラー	・JAXA/ISAS	-		(2013年 (NeXT))
			天体望遠鏡(デフォーマブルミラー)		・Boston Micromachines Corporation(米)	2007	(2010年 (Gemini Planet Imager))
			近赤外スペクトロメータ(可動グレーティングミラー)	-	・Polychromix(米)		(2009年)
			衛星の温度制御(MEMSシャッターアレイ)		・Sandia National Lab&Johns Hopkins University	2006年3月、 NASA ST5 micro-satellites	-
			近赤外スペクトログラフ(観測波長域:0.8~5 μm)(MEMS 光学シャッターアレイ)		・NASA/GSFC(ゴダード宇宙飛行センター)		(2013年)
						・Mars Polar Lander(1999) ・ARCADE(2006)	
	惑星探査機	ミッション機器	AFMプローブ(AFMカンチレバー作成技術(SOIウエハ利用ウエット&ドライエッチング、CVD薄膜堆積))	-	・Nanosurf, IMT Neuchâtel(仏) and IFP Basel(スイス)	○	-
			ローバー向け走行方向制御(MEMSクォーツ音叉型振動ジャイロ)		・Systron Donner((米)	○	

慣性力センサ(角速度&加速度センサ)に関して、航空機向けに開発が進んでいるのが、低価格 MEMS ジャイロや加速度センサーを適用した、小型 INS/GPS 航法装置である。JAXA で開発された GAIA (GPS による精度補償) 技術により世界最高の性能を達成(姿勢/方位角精度 0.05/0.4 deg (1σ)GPS 遮断 60 秒後の位置精度 35m) している。

また、小型自立飛行機 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)の開発も進展しており、長さ 1.2[m]、幅 1.7[m]の大きさで、全装備重量は 2[kg]であり、MEMS 加速度、ジャイロ(共に 3 軸)を装備し、手投げによる離陸が可能である。その他、操縦者に有益な情報を表示するデバイ

スとして、2軸 MEMS スキャニングミラーを利用した HMD (Head Mount Display) や HUD (Head Up Display)、さらに、電磁ノイズ耐性などの観点から、航空機機内の操縦系統は、光ファイバーによる光信号ベース (FLY BY LIGHT) 方式への転換が図られ、MEMS 光スイッチが不可欠となると推定される。

小型無人航空機向けには、小型姿勢制御センサー以外に、将来的に MEMS による小型のマイクロガスタービンや燃料電池などが必要と考えられる。

人工衛星関連では、システム・バス機器の小型化への寄与が期待できる姿勢制御向け慣性センサーやマイクロ推進系 (スラスタ)、さらには通信用 RF-MEMS などに関する MEMS 技術適用も進展している。

RF スwitch に関しては、耐極限環境性に関する基礎データ取りが実施され、これに基づき USEF ((財) 無人宇宙実験システム研究開発機構) 主導により SEVICE 2号機により、MEMS 機器の宇宙適用性とその効果の評価が行われようとしている。米国での RF スwitch 関連の実用化に関しては、OPAL (Orbiting Pico-satellite Automatic Launcher) プロジェクトにて、2000年1月に Minotaur ロケットに RF-MEMS が搭載されて打ち上げられた。OPAL の主目的は母船から複数のピコ衛星を放出する技術的可能性を実証することで、DARPA と Aerospace Corporation、UCLA、Rockwell Science Center は、MEMS 技術と衛星間通信ネットワークをテストするためのピコ衛星を開発し、このピコ衛星に Rockwell 社の RF スwitch が適用された。ただし、RF-MEMS に関しては、その後の実用化の状況や技術的な動向に関するオープンな情報は極めて少ない。電子走査型アンテナに必須とされ、欧米の防衛用通信衛星などで適用が徐々に進められているものと推定される。

衛星の姿勢制御センサーとしてのマイクロ推進システムや MEMS 慣性力センサー、地球環境や資源観測向けに MEMS による赤外線センサアレイなども開発や実用化の傾向が見られる。例えば、ESA (European Space Agency) の計画では、2008年 Prisma 衛星 (スウェーデン、デンマーク、ドイツ、フランスが共同で進めているフォーメーションフライトプログラム) にて、NanoSpace 社 (スウェーデン) の MEMS マイクロ推進システムが、推進タンクやガスラインの圧力もモニタ用途としての Presens 社 (ノルウェー) の MEMS 圧力センサーと共に実証実験される予定である。

衛星の姿勢制御用 MEMS ジャイロ、加速度センサーは既に実用化域に達していると推定される。例えば、1993年に (米) Draper 研究所により学会発表 (MEMS-1993) された静電駆動、音叉型 MEMS ジャイロは、同研究所が開発した慣性恒星コンパス (Inertial Stellar Compass : ISC) に搭載され、TacSat-2 として打ち上げられた。

衛星の姿勢決定システムの全てに関係する MEMS ジャイロとしては初めての利用であり、ISC は星カメラと MEMS ジャイロが一体となり、マイクロプロセッサとも一体となることで、完全な三軸姿勢センサーとして働く。消費電力は 3.6 ワットと少なく、質量も 2.9kg

と軽量であり、従来の消費電力、質量共に半減している。

一方、人工衛星のミッション機器としては、各種センサー（X線、近赤外分光ロメータ）が開発されており、日本でも実証実験が進められている。JAXA/ISAS で開発され、2005年5月打ち上げのX線天文衛星「すざく」のX線マイクロカロリメータ向けに、ダイオードを温度センサーとしたX線検出器が適用された。また、今後 TES（超伝導遷移端温度計）の熱絶縁構造に MEMS 技術を適用し、1000 画素程度の X 線検出器アレイが開発中であり、2013 年、NeXT で実証実験が計画されている。

その他、望遠鏡の波面制御向けデフォーマブルミラー、衛星の温度制御向けや天体望遠鏡の光学的アパーチャ調整のための MEMS シャッター、月面の水分評価用近赤外域分光ロメータ向け MEMS グレーティングミラーなどの検証も予定されている。

(8) 農林水産関連分野

表 2.3-10 農林水産分野

分野	MEMS技術が使われる 製品・機器	MEMS技術のアプリケーション		主要メーカー		市場の現状	
		アプリケーションの内容		国内	海外	既に市場に 出ている	将来 (…年)
農林水産	食品加工機 械、		アミノ酸濃縮(流体MEMS)	健康医学社、 日立プラントテクノ ロジー		○ 2008	
	食品関連分 析機器						
	包装機械及 び荷造機械		産業機械向け(MEMSジャイロ)		STマイクロエレクトロニクス		
	農業用機械 器具		ロボット農作業(各種センサーMEMS)	(独)農業・食品産業 技術総合研究機構			不明
			農業ロボット(各種センサーMEMS)				不明

○農業ロボット

農林水産関連分野に関する機器では、機器の運転制御のための物理量センサーとしてMEMS ジャイロなどが取り入れ始められている。今後は農業のロボット化の進展に伴い、より多くの物理量センサー（圧力、加速度、トルク他）や化学量センサー（糖度、熟度他）が用いられ、2015年頃に市場に普及すると予想される。将来は精密農業への移行が進むにつれて、土壌モニタリングのための化学センサーの実用化が行われ、2020年以降に市場に出ると予想される。

第1世代：機器の運転制御のための物理量センサー

第2世代：ロボット化のための物理量センサー、化学量センサー

第3世代：精密農業のための化学量センサー

【参考】

- ・ロボティクスがもたらす農業革新

http://www.robonable.jp/monthly/2008_06/p3.html

- ・進展するロボット化技術と農業機械の開発改良

<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2007/03/15/408.html>

- ・独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター

http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Team/iam_team_robo.html

2.4 MEMS 関連企業動向の調査・分析

日本の MEMS 産業の基盤強化・市場拡大に向けての諸施策の策定に当たっては、日本の

MEMS 関連事業（研究開発および事業）プレーヤーの動向を把握し日本の MEMS 関連産業構造の特徴を抽出する必要がある。

このため、国内の MEMS 関連事業を営む企業（プレーヤー）を、MEMS 関連事業ごとに分類し現状の MEMS プレーヤー及び今後予想される MEMS 参入プレーヤーを調査した。

また、日本の MEMS 産業の全体像を俯瞰するため、企業動向と併せ、大学研究室や地方公設試、MEMS クラスター等の活動状況を調査した。

(1) MEMS 関連事業のプレーヤー

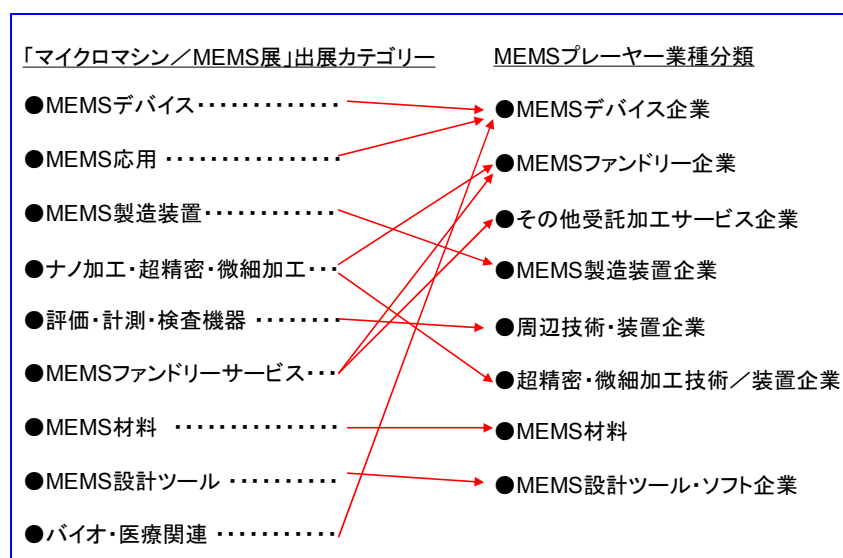
1) MEMS プレーヤーの抽出の方法

日本の MEMS 産業の基盤強化・市場拡大に向けての諸施策の策定に当たっては、日本の MEMS 関連事業（研究開発および事業）プレーヤーの動向を把握し日本の MEMS 関連産業構造の特徴を抽出する必要がある。

MEMS デバイス製造は、半導体製造プロセスに基づくものが代表的だが、サブミリメータ領域では、従来の機械加工（切削、研磨、レーザー加工、プラスト、成型等）も実際にはよく使われている。したがって、MEMS デバイス製造にかかわる MEMS プレーヤーを捉えるならば、そのような機械加工企業も範疇にいれる必要がある。

しかし、国内全ての企業を調査するのは不可能なので、第 18 回、第 19 回の「マイクロマシン/MEMS 展」出展企業を中心に、本調査委員会で挙げられた企業及び事務局での文献調査で出てきた企業を追加した合計約 500 社から、創業（設立）年、企業規模（資本金、従業員）などの企業データが得られる企業を対象に整理・分類を行った。なお、企業の整理に当たっては、「マイクロマシン/MEMS 展」出展者のうち、出版・調査会社、販売代理店、大学、公的研究機関、団体は除外した。

また、MEMS 事業の業種の分類は、「マイクロマシン/MEMS 展」の出展カテゴリーを基本とし、下図のとおり整理した。



2) MEMS プレーヤーの概観

MEMS 関連事業のプレーヤーとして調査対象とした業種割合は、「図〇〇」のとおりであった。この割合を以って、MEMS 産業全体の概観とするには、無理がある。しかしながら、今回調査した企業群は、MEMS 関連の総合展示会である「マイクロマシン/MEMS 展」への出展企業を調査対象の主体としているので、とりあえず我が国の MEMS プレーヤーの全体像とみなした。

なお、今回調査対象とした企業の中には、MEMS デバイスメーカーであり、かつ MEMS ファンドリーでもある企業、MEMS 装置企業でありながら MEMS ファンドリーもやっている企業、超精密・微細加工技術による精密部品を製造販売している企業で自社の保有技術による受託加工サービスをやっている企業など、そのビジネスのモデルは様々であり、図 2.4-1 の業種割合の数字は、重複している。

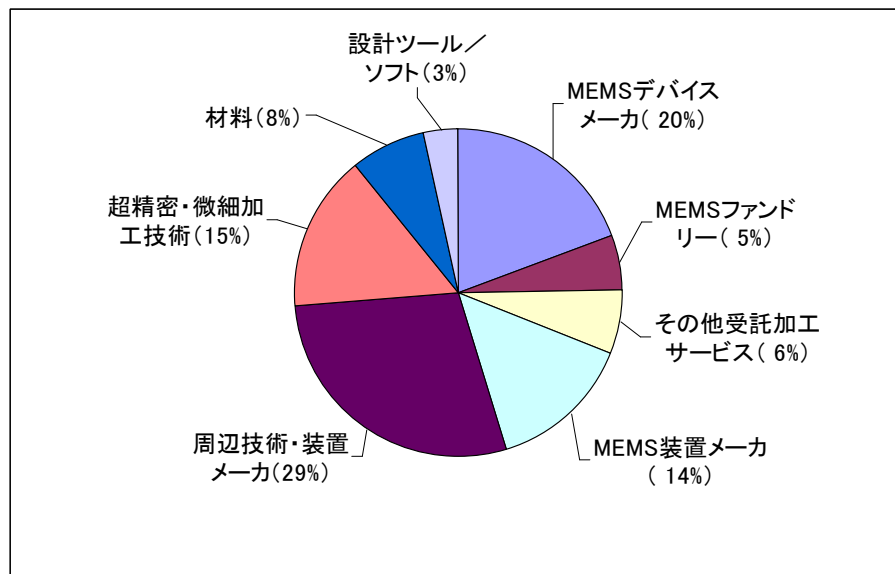


図 2.4-1 業種別割合

また、MEMS 産業全体の企業構造を把握するため、その企業規模（資本金、従業員数）を整理した結果は図 2.4-2 及び図 2.4-3 のとおりであった。

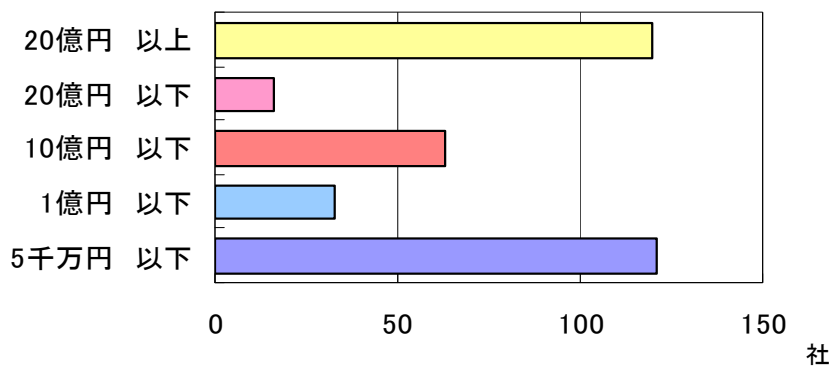


図 2.4-2 資本金

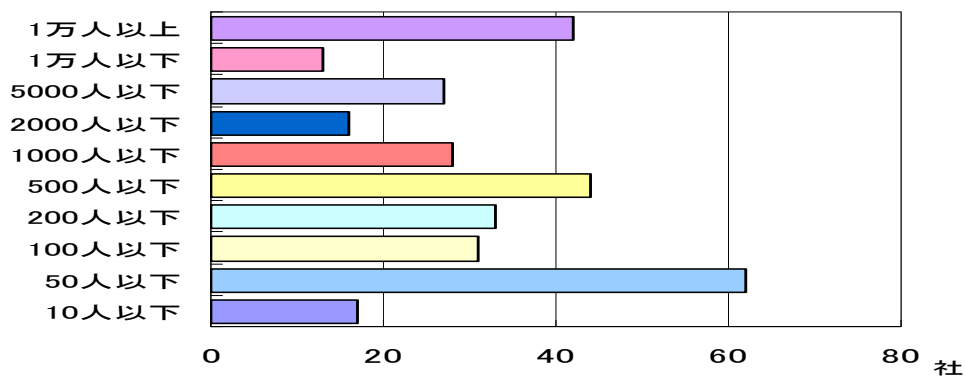


図 2.4-3 従業員数

また、MEMS は産業としての形成が比較的新しいので、MEMS 産業への参入時期の参考として、対象企業の創業（設立）からの経過年数も調査した。

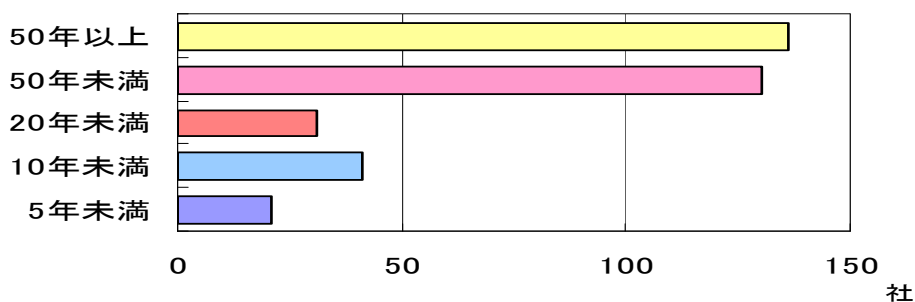


図 2.4-4 企業の設立経過年数

以上の調査対象企業の調査・分析から、MEMS プレーヤーとしての企業構成は、大企業と中小の企業との 2 極化の傾向がうかがえる。

なお、後述する MEMS デバイスメーカーの動向調査・分析、MEMS ファンドリー企業の動向調査・分析では調査対象とした企業の事業活動を、その企業のホームページ、新聞報道などの広報資料により、さらに MEMS プレーヤーの抽出を行い調査・分析を行っている。

(2) MEMS デバイス企業

1) 我が国の MEMS デバイス企業の概要

MEMS デバイス企業を、前項の調査対象企業及び「MEMS 分野国内外技術・産業動向調査委員会」の MEMS アプリケーション調査の過程で取上げられた企業について、調査対象企業のホームページ及びマイクロマシンセンターでの文献データ検索により MEMS デバイスメーカーとして 57 社を抽出し、これを我が国の MEMS プレーヤーとしての MEMS デバイスメーカーとして整理した。

①取り組んでいる MEMS デバイスの現状

57 社が現在製品化している MEMS デバイスおよび検討中（研究開発など）のデバイスの傾向は図 2.4-5 のとおりである。

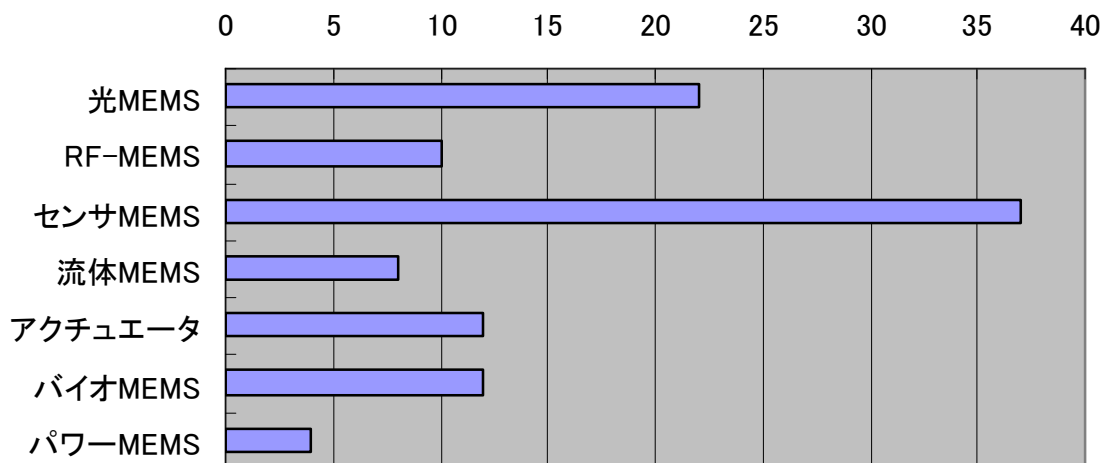


図 2.4-5 MEMS デバイスメーカーが取り組んでいる MEMS デバイス

- センサーMEMS が 37 社と最も多く、製品化されているセンサーも最も多い。
- 次に多いのが光 MEMS で、取り組んでいる企業は 22 社であるが、このうち製品化されているものはミラーデバイス、光スキャナー、ディスプレイ応用のなどで、光通信用デバイス、光 MEMS スイッチなど、まだまだ研究開発中のものが多い。
- アクチュエータには 12 社が製品化あるいは取り組んでおり、MEMS リレーが製品化されている代表例である。
- マイクロ TAS を含むバイオ MEMS は 12 社が取り組んでいる。
- RF-MEMS は 10 社が取り組んでいるが、半導体検査装置用に使われている例がある。
- 流体 MEMS は、マイクロリアクター、マイクロミキサー、流体 MEMS チップなどであるが、この範疇では 8 社が取り組んでいる。

○パワーMEMS は、モバイル用燃料電池用、振動発電など、微小エネルギーを取り出すデバイスで区分したが、この分野では4社が取り組んでいる。

なお、今回調査したMEMS デバイスメーカー及び取り組んでいるMEMS デバイスの対応を「表5.2」に示す。

②MEMS デバイスメーカーの特徴

MEMS デバイスメーカーが取り組んでいるデバイスの傾向は後述するが、ここではMEMS 産業構造の見地からMEMS デバイスメーカーの企業規模等の現状を整理した。

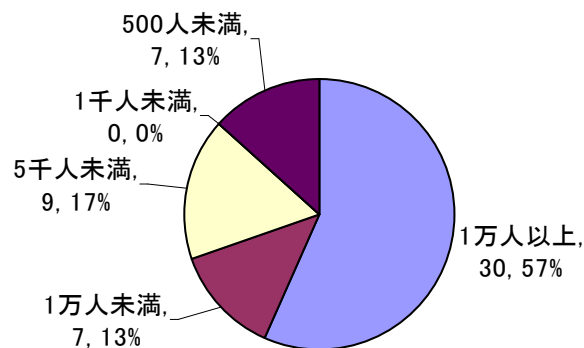


図 2.4-6 MEMS デバイスメーカーの規模（従業員数）

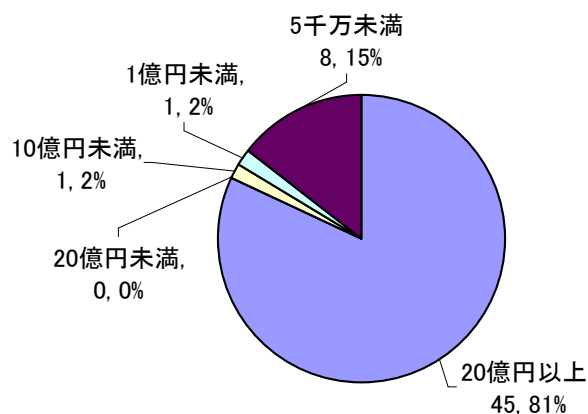


図 2.4-7 MEMS デバイスメーカーの規模（資本金）

MEMS デバイスメーカーとしては、大企業が多く、これら企業はセンサーMEMS はもちろんのこと、アクチュエータ、光MEMS、RF-MEMS など広く取り組んでいる。なお、これら大企業のうち、今回調査で分類したMEMS デバイス全てに取り組んでいる企業が1社、パワーMEMS

を除く MEMS デバイスに取り組んでいる企業が 1 社あった。

また今回調査では、MEMS が新しい産業として成長することが見込めることから、新規に参入してくる企業の傾向を把握するため、MEMS デバイスに取り組む企業の会社設立からの経過年数についても調べた。

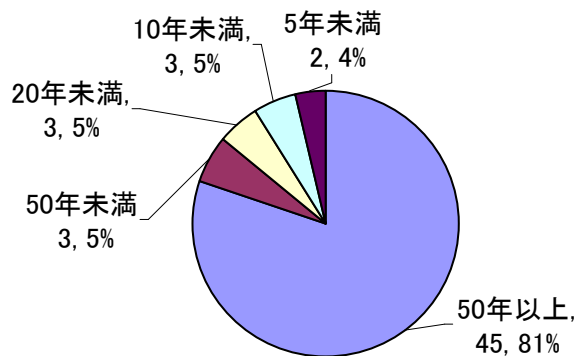


図 2.4-8 MEMS デバイスメーカーの設立経過年数

MEMS デバイスメーカーが大企業が多いため、新規参入といえる企業は 10 年未満として 5 社であった。これら 5 社には大学発ベンチャー 2 社が含まれ取り扱っている MEMS デバイスも専門性が高いものである。

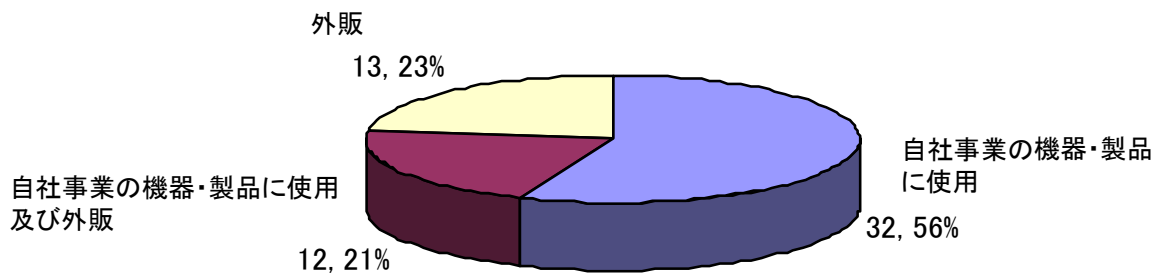


図 2.4-9 MEMS デバイスメーカーの製造販売

また、今回調査した MEMS デバイスメーカーの外販／自給の割合を調査した結果は図 2.4-9 のとおりであった。

③MEMS デバイスメーカーの産学官連携状況

MEMS 技術は、既に各種センサーやプリンターヘッドに代表されるような実用技術として自動車分野はじめ多くの産業分野の製品に応用されているが、MEMS アプリケーションの拡大、例えばプラント等の信頼度を高めるための高機能メンテナンス、診断や治療に伴う患

者の苦痛を低減させる高度医療への応用、化学・生化学分析システムの小型化や製薬創薬のための高効率化学合成など多岐にわたる応用方法が提案され、ナノテクノロジーとの融合による新産業創出が期待されている。このため、多様な技術の融合が必要とされており、現在までも多くの MEMS デバイスメーカーは産学官連携により研究開発、事業化を進めてきている。

(3) MEMS ファンドリー

1) MEMS ファンドリー企業の概要

MEMS 製造法は、リソグラフィ、エッチングなどの半導体製造プロセスに基づくものが代表的だが、サブミリメートル領域では、研磨、切削、研削、レーザー、ブラスト、成型・・・などの超精密・微細機械加工も使われる。実際、前述したように、「マイクロマシン／MEMS 展」の出展企業では、超精密・微細機械加工の企業も多くを占める。

今回の調査対象企業では、これらの技術を用いて MEMS 製造を受託する企業は 65 社であった。

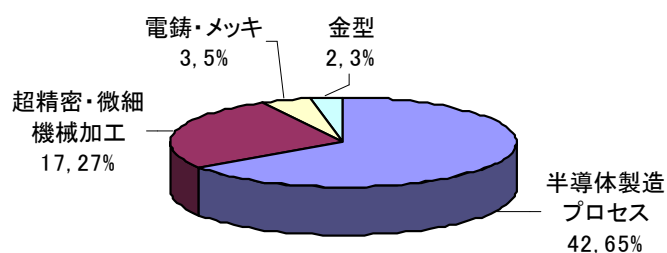


図 2.4-10 MEMS 関連ファンドリーの受託加工サービス割合

これら MEMS 製造を受託する企業「MEMS 関連ファンドリー企業」とし、このうち半導体製造プロセスに基づく受託企業を「MEMS ファンドリー」、半導体製造プロセスの一部のみを受託する企業あるいは超精密・微細機械加工による製造の受託を行う企業を「その他の受託加工サービス」に分類した。

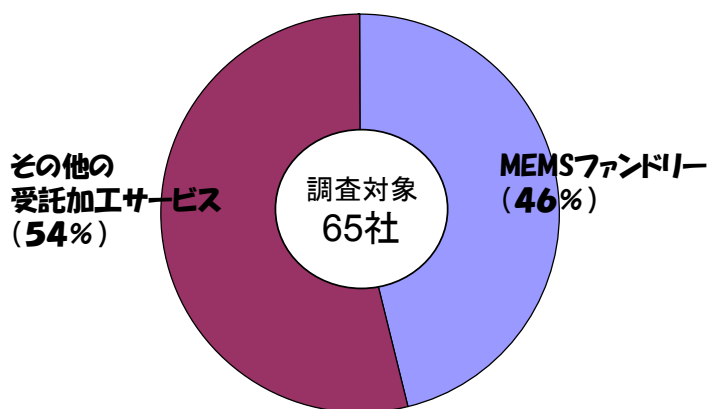


図 2.4-11 MEMS 関連ファンドリー

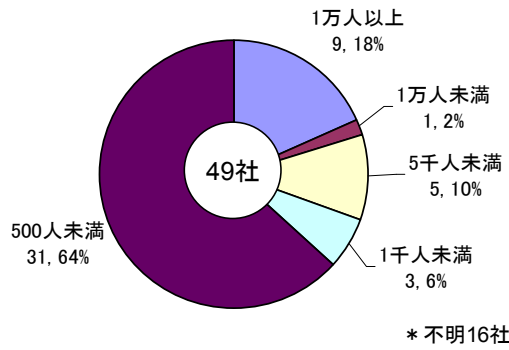


図 2.4-12 MEMS 関連ファンドリー企業の従業員数

これら MEMS 関連ファンドリー企業全体の特徴は、以下のとおりである。

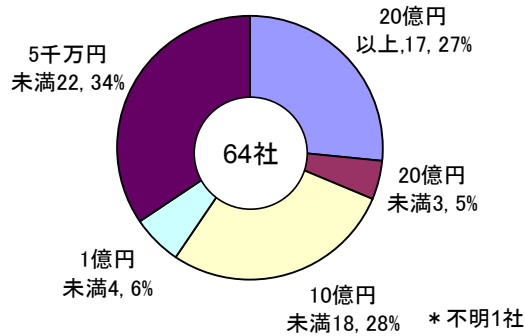


図 2.4-13 MEMS 関連ファンドリー企業の企業規模割合

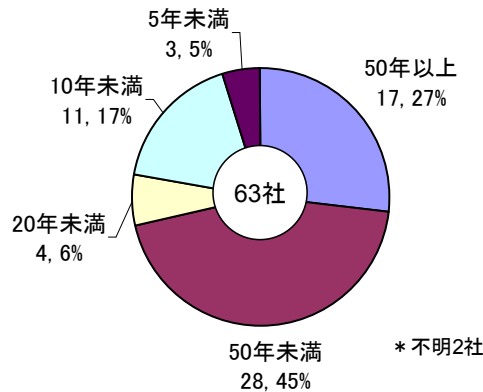


図 2.4-14 MEMS 関連ファンドリー企業の経過年数

前述したように、今回調査では、MEMS 製造を受託する企業「MEMS 関連ファンドリー企業」とし、このうち半導体製造プロセスに基づく受託企業を「MEMS ファンドリー」、半導体製造プロセスの一部のみを受託する企業あるいは超精密・微細機械加工による製造の受託を行う企業を「その他の受託加工サービス」に分類した。

2) MEMS ファンドリー

調査した 65 社のうち、各社のホームページなどで、“MEMS ファンドリー”として紹介している企業について、その特徴を調査した。

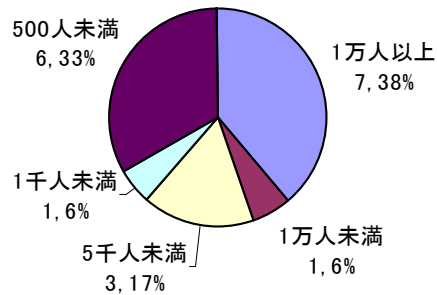


図 2.4-15 MEMS ファンドリー企業の従業員数

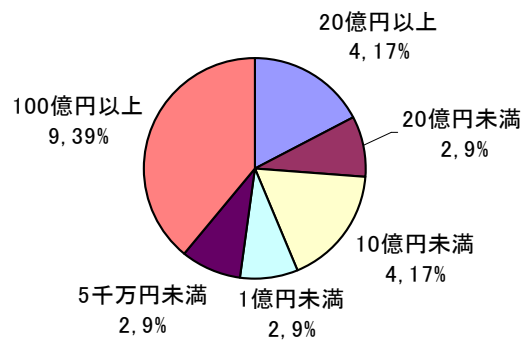


図 2.4-16 MEMS ファンドリー企業の企業規模

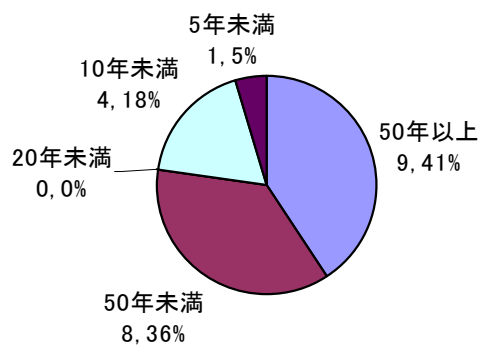


図 2.4-17 MEMS ファンドリーの企業の経過年数

表 2.4-1MEMS ファンドリー企業とファンドリーサービスの範囲

ファンドリー企業	ファンドリーサービスの範囲			
	設計・シミュレーション	検証・試作	製品開発	量産
OKIセミコンダクタ(株)		シリコンプロセス集積化MEMS		
NTT-AT ナノファブ리케이션(株)		MEMS素子用Siプロセスサービス: パターン設計からデバイス試作、 パッケージングまで幅広いニーズ に対応		
アダマンド工業(株)		サーフェイス/バルク/SOIの各マイクロマシニング、PLC(Planar Lightwave Circuit)、成膜、はんだメッキからダイシング、ワイヤーボン ディングの実装		
(株) アルバック		ドライエッチング・蒸着重合、誘電体膜の形成技術を組み合わせた 各種MEMS加工		
アルバック成膜(株)		Si MEMSファンドリー ガラスMEMSファンドリー		
オムロン(株)		バルクマイクロマシニングからサーフェスMEMSまで幅広く対応		
オリンパス(株)		光MEMS、バイオMEMSで蓄積豊富/高精度バルクマイクロマシニングを用いた 設計から量産支援まで一貫したMEMSデバイス開発		
パナソニック電工(株)		センサー、アクチュエータ(シリコンプロセス)/高密度実装		
(株) フジクラ		MEMS加工/ウエハレベルパッケージ、シリコン基板などへの貫通 配線加工		
株) メムスコア		Siフィードスルー構造MEMSデバイス、加速度センサ、温度・湿度センサ MEMS要素技術 マイクロマシニ		
株) ネサス東日本セミコ ンダクタ		MEMS周辺カスタムIC受託。前工程ファンドリー受 託、後工程ファンドリー受託、信頼度試験		
伊藤忠メカトロニクス(株)		微細3次元構造物ファンドリーサービス(米Microfabrica社) 3、4、5、6インチ対応、マスク設計から対応		
株) 協同インターナショナル		国内外のネットワークを使って、様々なMEMSの試作から量産まで対応 (スウェーデンのMEMSファンドリーSilex社との提携)		
株) 倉元製作所		ウエハプロセスから後工程まで薄膜デバイスの 量産委託加工、開発支援、試作支援、加工代行(成膜、エッチング等)		
大日本印刷(株)		設計、試作から量産まで一貫したサービスの提供 (6インチ、8インチウエハ対応MEMS専用ラインにより、試作、量産サービス)		
東京エレクトロニクス(株)		MEMSデバイスの受託加工(部分加工含む)、受託開発(共同開発形態含む) 設計から量産支援まで、一貫したMEMSデバイス開発		
日本MEMS(株)		MEMSの設計、開発から量産、組み立てまでかつ1枚から多量まで対応 (3インチ、4インチ、6インチおよび8インチに対応)		
日本信号(株)	MEMS試作(プロセス 設計)サービス			
(株) 日立製作所	バルクマイクロマシニングを中心とした研究開発支援			
日立グループ MEMSファンドリーサービス	MEMSワンストップサービス(参加企業) 株) 日立製作所/日立協和エンジニアリング(株)/日立金属(株)/株) 日立超LSIシステムズ/株) 日立ハイテクサイエンスシステムズ /株) 日立原町電子工業(株)/日立マクセル(株)/株) ネサス東日本セミコンダクタ			
富士電機システムズ(株)		受託可能プロセス: フォトリソグラフィ、薄膜形成(酸化膜、金属膜)、エッチング(ドライ、ウェット)、マイクロ プラスト、マイクロTAS、測定、評価、陽極接合、研磨 ダイシング、		
丸紅情報システムズ(株)		フランスのCEA-LETIでの技術をベースに、SOIのMEMS加工技術をはじめとするMEMSファンドリー。 試作から小中規模の製造まで引き受け、技術コンサルを含めサポート。 ・TRONICS' Microsystems社(CEA-LETIから分離独立したMEMSファンドリー) ・MEMSCAP社のマルチユーザー向け試作サービス(MUMPs)		
みずほ情報総研(株)	解析サービス/ シミュレータ開発			
日本ユニシス・エクセリウ ジョンズ(株)	設計・解析支援 ソフト開発			
(株) 数理システム	シミュレータ、ECAD ツール開発、販売			
(独)産業技術総合研究所		MEMSデバイス試作、マイクロナ ノ成型(共同研究のみに対応)		

3) その他の受託加工サービス企業

調査した「その他受託加工サービス」の内容は、次のとおりである。

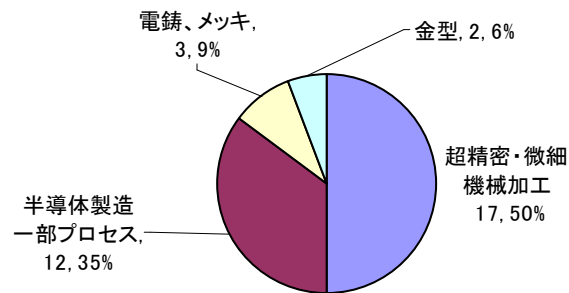


図 2.4-18 その他の加工サービスの割合

これらの企業の特徴は以下のとおりである。

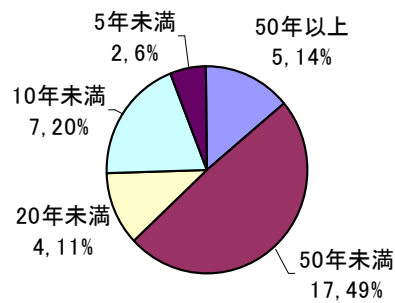
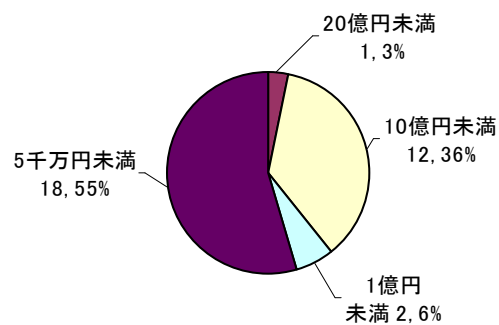


図 2.4-19 その他加工サービス企業の設立経過年数



* 不明1社
* 資本金20億円以上の企業はなし。

図 2.4-20 その他の加工サービス企業の資本金規模

なお、その他の加工サービス企業の従業員数は、不明10社を除く対象企業25社社のうち、

24 社が 500 人以下であったが、そのほとんどは 10 数名～200 人以下の範囲であった。しかしながら、これら企業の創業年数は長く、特徴技術を持っていると思われる。

(4) 海外のファンドリー企業動向

1) 北米

<MEMS ファンドリー >

○ IMT (米国)

- ・注力分野は、Bio、IR、スイッチ、化学物質センサー
- ・ R&D サポートから量産までカバー
- ・ Yole の調査で 2007 年見込みで\$27M の売り上げ、wtc の調査でも 2006 年\$21M の売り上げで世界トップの MEMS ファンドリー。
- ・2000 年に HDDHead のメーカーのラインを事業撤退に伴い格安で購入、MEMS にのみ必要な装置を加えて、2001 年からファンドリーを開始。
- ・カバーする領域は広く、簡単なポンチ絵を持ち込むユーザーに対応しデバイスデザインから取り組む場合もある。一般には、プロトタイプでコンセプトを実証したデバイスのプロセス開発から量産、テストまでを行うことが多い。
- ・量産に向けて最も重要なのが RumpUp プロセス、つまり持ち込まれた時点で一般に 10% 未満の良品率を 65-75% にあげていくプロセス開発、データ解析、プロセスの安定化が量産移行へのキーになる。
- ・ファブレススタートアップとは共同でプロセス開発するが、その期間はまちまち、2-6 ヶ月の場合もあれば、2-3 年行う場合もある。その際の費用は全てユーザーの負担。ビジネスと割り切り、金銭面でのサポートはしない。
- ・ファブレス企業はどこからその費用を捻出するのかについては、政府のファンドまたは、VC の投資でまかなうとのこと。企業が量産試作 (RumpUp) まで、持ちこたえられるかは、Device の市場規模、初期のデザインの善し悪し、量産への適応性など様々な要因がある。試作費用 1000 万のお金が集められないから試作ができないというのは、その企業に VC も魅力を感じていない証拠。
- ・顧客は現在 28 社。他のファンドリー、Silex は 75 社、Dalsa は 10 社程度とそれぞれに特色がある。Dalsa は少数の顧客で量産を狙い、Silex は小さな企業の要望に対応、IMT はその中間、スタートアップからビッグカスタマーをカバー、Micralyne も IMT に近い。両者の違いは会社の規模の違い。

○ Honeywell (米国)

- ・Honeywell の MEMS 部門は 1948 年にボーイングのエンジニアが設立した航空機用センサーの会社がその前身で、その後 Allied Signal の一部門となり、Allied Signal が 1999 年

Honeywell を買収する形で合併し、名前を変え現在に至る。

- ・MEMS への取り組みは 1989 年と古く、国防省が MEMS センサー技術を軍用のセンサーに利用するために始めたプロジェクトに UC バークレーと共同で参画したのが始まり。
- ・1991 年には 4 インチのラインを導入し、高精度の加速度センサー、イナーシャセンサをミサイルや軍用機のナビゲーションシステム向けに販売を開始。軍需というのは大量生産を必要としない代わりに、ある意味で安定的な需要があるため、需要の上下変動がファンドリー事業に影響を与えることが少なく、長期の安定した顧客との関係を築ける。
- ・1998 年から 2001 年にかけて生産規模の拡大に伴い 6 インチラインに移行。この移行の際できた余力を活かすため 2001 年にファンドリーサービス MEMSPlus を開始。
- ・現在 12 の顧客を持ち、利益も十分に上げている。顧客にはスタートアップも多いようで、時にはデバイス設計から少量のパイロット生産まで請け負うこともある。
- ・メインはプロセス設計と製造。

○ Micralyne (カナダ・アルバータ州エドモントン)

- ・2-3 年前まではスタートアップとのプロセスの共同開発を実施していたが、現在は、プロセスの最適化は行いが、一からプロセス開発が必要なユーザーは断っている。
- ・プロトタイピングを行うファンドリーとして以下の企業を紹介している。
 - ・Norcada : Edmonton
 - ・Washington Technology Center : Seattle
 - ・A. M. Fitzgerald & Associates : San Calros
 - ・Cornell Unviersity : NY
- ・現在実際に受注や、開発依頼のある顧客は 30 社程度。量産は 6 社、量産に向けた開発段階の企業が 15 社程度、残りは少量の試作。
- ・8 インチへの移行は考えているが、時期は未定。
- ・スタートアップについてはアメリカと違い、カナダは大きな金を投資する文化はなく、プロトタイプや試作の費用の確保が、カナダのスタートアップの課題。

○ Dalsa Semiconductor (カナダ)

- ・2002 年 2 月 MITEL 社のファシリティを Dalsa 社の一部門として買収
- ・CCD、MEMS のファンドリーを開始
- ・2004-5 年 12,000ftsq のファシリティを完成
- ・売り上げ約 US\$22M (2006 年)
- ・現在ケベック州政府、IBM と共同で 8 インチのプロセス開発を行う研究センター設立を推進中 (1 年半後には実現の見通し)。このセンターへ 6 インチの技術を移管し規模を拡大する。
- ・得意分野は CMOS/MEMS 集積、高電圧 CMOS、CCD では 15 年以上の経験があり世界でもぬきんでている。

- ・従業員は 400 名、70 名がエンジニア（MS 以上）
- ・スタートアップとの共同開発には積極的でない。
- ・プロトタイプができた段階で、1-2 年かけて量産につながることを狙う。
- ・上述の研究センターと協業できる研究センターが日本にあれば共同研究を進めることも可能。
- ・日本政府が海外の企業や研究所にファンドすることがあるのか、どのような場合にファンドするのかに大きな興味を持っている様子。
- ・日本はこの分野は遅れていると認識しており、追いつこうというなら競合として考えるが、共同で集積化プロセスを開発し、ファンドリーとして活用していくのであれば、積極的な協業関係を構築したい。
- ・その意味で MIF の会員となり、ファンドリーネットワークに加わることに興味を持っている。

○ SVTC (Silicon Valley Technology Center) (米国カリフォルニア州サンノゼ) (米国)

- ・2004 年半導体の Cypress の独立した部門として、8 インチの CMOS、MEMS の量産への移行が可能なプロセス開発を行うファンドリーとしてスタート。
- ・2007 年 3 月 VC からの投資を得て Cypress から独立
- ・2007 年 5 月 TSMC とのパートナーシップを結ぶ
- ・2007 年 12 月 SEMATECH 社から Advanced Technology Development Facility (ATDF) を買収
- ・注力する分野は MEME/CMOS 集積、高電圧デバイス/COMOS 集積、アナログデバイス/CMOS 集積
- ・開発ターゲットは大学、研究所とファンドリー、デバイスメーカーの間を埋める Prototype から Pilot Volume Production
- ・大学、スタートアップ、装置メーカー、デバイスメーカーが持ち込むデザイン、Proof of Concept のデバイスから量産向けのプロセスを開発し、TSMC やデバイスメーカーにトランスファーする。
- ・共同開発のスタイルは、装置の使用権をユーザーに与え、ユーザーがプロセス開発を行う。その際、プロセスのばらつき、CMOS 等のスタンダードプロセスへの整合性、デバイスの信頼性、を改善し良品率を確保する。
- ・この間生まれた IP は基本的にユーザーが取得するため、TSMC など量産ファンドリーへのトランスファーにもファンドリー間の IP の問題が発生しない。
- ・現在のユーザーは 50 社以上、プロジェクト指向で中-長期の関係をコミットした企業と共同開発を行う。例えば MEMS のスタートアップとの関係の例では 2005 年から共同開発を開始、5 人のエンジニアが常駐し、プロセス開発を実施、量産時には他のファンドリーに技術移転する。

- ・ CMOS8 インチの最終世代の装置 (65nm)、MEMS 装置、トータルで 50 以上の装置を備える
- ・ 世界でも SVTC のみが政府のサポートなしでこのサービス展開
- ・ シンガポールの IME が似たサービスを行っているが、顧客数や実績が違う。

<R&D ファンドリー、ファブ >

○UC バークレーBSAC (Berkeley Sensor & Actuator Center) (米国)

・ BSAC は NSF のファンドを活用し、マイクロファブリケーションの施設 (Berkeley Micro Lab) を導入し、この施設を活用し産業化に資することを目的に設立されたセンター。

・ 現在 49 の企業メンバーを有し、日本からもキャノン、デンソー、日立製作所、NGK、沖電気、オムロン、松下電器、ローム、三洋電機、シャープ、ソニー、TDK、東芝、トヨタ自動車と 14 社が参加。大学活動の研究成果の早期入手、大学との共同研究に研究者を派遣、等の活動を実施。

・ 一方で、BSAC 発のスタートアップベンチャー企業を多く輩出。

- ・ SiTime : Prof. Bernhard E. Boser
- ・ Discera : Prof. Clark C.-T. Nguyen
- ・ Silicon Clocks : Prof. Roger Howe
- ・ Harmonic Devices : Prof. Albert P. Pisano
- ・ Dust Networks : Prof. Kristofer S.J. Pister

など

・ これらスタートアップは上記企業会員とは別に、月極のメンバーとして Berkeley Micro Lab を利用できる。2005/06 には月平均 345、延べで 533 名のメンバーが利用。

・ ここで、ファブレススタートアップは、コンセプトモデルやプロトタイプの開発を行う。

・ その資金は、政府の SBIR (Small Business Innovation Research) を活用することでベンチャーキャピタル (VC) から資本を集める前でも試作が可能。

- ・ 初年度 : \$100k 主にコンセプトモデル開発を実施
- ・ 次年度 : \$250k 主にプロトタイプ開発を実施

このフェーズに成功すれば VC からの資金をまとまって得ることができ、量産試作に向けた活動に移行。

・ 量産試作では SVTC (Silicon Valley Technology Center) がファブレスと共同でプロセスを開発、成功すれば TSMC 等の量産ファンドリーで事業化。

・ その他の取り組みとして MEMS Exchange がある。これはひとつのウェハに複数企業、大学のデバイスを組み込み試作するもので、CMOS のシャトルサービスにあたる。ただし、時間がかかる、利用できるプロセスが限定される等の理由でうまくいっていないようだ。

○ スタンフォード大 CIS (Center for Integrated Systems) (米国カリフォルニア州パロアルト)

・CIS は Stanford 大の半導体プロセス、評価装置を学外に公開したセンターで、現在は Nano 関連の装置も含まれる。

・CIS には現在 MEMS 関連では Tom Kenny 教授、Roger Howe 教授が中心に活動しているが、西教授をセンター長に 20 名以上の教授 が、ナノ・バイオ・有機のエリアをカバーし活動している。

・上述の BSAC と同様会員企業との共同研究、及びファブレススタートアップへの装置貸しを実施。

・面談した Kenny 教授も UCB から Stanford に移った後、CIS を利用し SiTime の Si レゾネータの開発を実施。

・プロトタイプ開発後、上記 SVTC において量産試作プロセスを開発。

・MEMS Exchange は DARPA のプログラムで、現在年間約\$40M の売り上げがあるが政府の支援金\$10M がないと赤字であり、ビジネスモデルとしてはうまくいかないと考える。

・DARPA のプログラムマネージャーを兼務、現在推進中のプロジェクトは以下の 4 つ

- ・Thermal Grand Plane (TBN)
- ・Microantenna Arrays: Technology and Applications (MIATA)
- ・Tip-Based Nanofabrication (TBN)
- ・Microtechnologies for Air-Cooled Exchangers (MACE)

<ファブレス企業（ベンチャー企業）>

○ Silicon Clocks（米国カリフォルニア州フリーモント）

・Silicon Clocks は SVTC と共同でプロセス開発を進めている。

・SVTC には Silicon Clocks 社の技術者が常駐し、プロセス開発を進め、そこで開発した IP は Silicon Clocks 社に帰属する。

・SVTC はファブレスと大規模生産に対応する MEMS ファンドリーを結ぶ活動を実施しており、SVTC の役割を高く評価してる。

・他のアプローチとして MEMS Exchange についてはプロトタイピングだけなら BSAC の Micro Fab で十分対応できる。試作のスピードが遅いという理由で、取り組みについてはあまり評価していない。

○ SiTime（米国カリフォルニア州サニーベイル）

・SiTime は開発の初期の段階から BOSCH 社との共同開発を実施。基本プロセスの特許は BOSCH が保有。

・プロトタイプ開発の時点から BOSCH 社のプロセスとの互換を重要視し、プロセスを開発、そのため開発に時間を要したが、その後 SVTC との量産試作や Jazz Semiconductor 社への量産ライン移行もスムーズに行われた。

・SiTime のプロセスの特長は、CMOS プロセスとの互換性が高いこと。一般的な CMOS プロ

セス装置に1-2のMEMS専用装置(DRIE等)を導入するだけで量産が可能。

・一般のファブレスの場合は逆に、プロトタイプ開発時のプロセスを量産に移行する際にばらつきや信頼性を確保するためプロセス開発が必要となる。

○ NanoGram (米国カリフォルニア州ミルピタス)

・スタートアップにおけるMEMSファンドリーとのプロセスの共同開発について、一般論として米国のスタートアップはゴールとしている株式公開(IPO)または大企業によるM&Aに至るまでに必要な資金は約30億円、一方で日本の場合はその1/10の3億円。

・これは日本の方が資金が少なく成功に結びつくという話ではなく、日本のMEMSスタートアップにとって、プロセス開発に必要な費用、例えば1000万円は資金の3.3%を占めるのに対し、米国のスタートアップにとっては0.3%にすぎないということを意味しており、プロセス開発にかけられる資金の差が決定的に違うと指摘していました。

・人材の流動性について米国、特にSilicon Valleyでは、人材・専門性のネットワークがそこで活動する人々の間でできあがっており、各自が専門性を活かして、スタートアップ企業間を異動することが容易である。そのため、スタートアップといえども、開発に必要な複数の分野の人材を集めやすくなる。さらに、スタートアップの経営を専門とする人材も多く、事業成功への可能性が他の地域より高くなる。

【北米状況のまとめ】

◇大学は政府の資金でファブを立ち上げ、会員企業から運転資金を確保し、スピノフのファブレススタートアップに設備を貸し出す。

◇ファブレススタートアップはスピノフした大学の設備をファブとして活用しプロトタイプ開発を実施、その後SVTC等の量産試作ファンドリーを利用し量産化を狙う。

◇量産試作ファンドリーはコンセプトモデル開発後、プロトタイプ開発、量産試作をカバーし、スタートアップの事業化をサポート。北米のMEMS産業拡大のキープレーヤーとなっている。例えばSVTCはサイプレスセミコン社のCMOSの資産を活用し、複数の得意分野で多くの顧客にたいし、プロセスのばらつき制御、検査技術を提供し開発をサポート、良品率を上げ、量産ファンドリー例えば提携先であるTSMCにトランスファーする。

◇量産ファンドリーは各企業により狙いのアプリケーション領域、生産規模等の戦略が異なる。

・IMT: センサー、バイオ、オプトをカバー。

顧客は30社程度で量産試作プロセス(Rump Up)に注力し、プロセス開発力を高めている。2006、7年ともに売り上げ世界トップのファンドリー。

・Honeywell:

MEMSが自社ナビゲーションシステムの差別化のキー技術との認識から6インチのラインを導入。高精度の加速度センサー、イナーシャセンサをミサイルや軍用機のナビゲーションシステム向けに販売を開始。

2001年に高精度、高信頼性技術を活かしファンドリーサービ MEMSPlus を開始。
軍需というのは安定的な需要があるため、需要の上下変動がファンドリー事業に影響
を与えることが少なく、長期の安定した顧客との関係を築ける。現在 12 の顧客を持ち、
利益も十分に上げている。

- Dalsa Semicon :

高電圧 CMOS、CCD、MEMS プロセスに資源を集中。

特に CMOS/MEMS 集積化では世界トップと自負。

州政府、地域の企業である IBM Canada と協力し 8 インチ MEMS の研究センター設立を
推進。

顧客を絞り込んだ量産ファンドリーであるが、1-2 年のプロセス開発はユーザーと共
同で開発。

- Mycralyne :

Opto, Bio 等を得意分野とする。

カナダ Albert 州が強力に進めるマイクロ・ナノテクプロジェクトの中心企業の一つ。

プロトタイプ試作が完了したデバイスの量産試作と量産を担当。ユーザーにプロトタ
イプ試作先（大学、企業）を紹介するが自社では実施しない。

◇MEMS Exchange は売り上げ US\$40M であるが、DARPA の補助を年間 US\$10M を受けなければ
赤字であり、事業的に良いビジネスモデルとはいえない。(Huggins, Kenny, Quevy)

2) 欧州

○Silex (スウェーデン)

- ・比較的小規模の顧客を多く抱え（現在（2008年）75社）、多様なアプリケーションに対応する。顧客の内訳は、量産が10社、65社がプロセス開発ステージ。開発段階と量産段階の顧客数は65:10と圧倒的に開発段階が多い。顧客と共同でプロトタイプ開発に注力。
- ・2005年\$7M、2006年\$13M、2007年\$26Mと急激に売り上げを伸ばしている。2007年度から単年度黒字に転換（利益率9.6%）。長期的視点で共同開発を進めその成果が量産に結びつき事業拡大。世界トップのファンドリーをねらう。
- ・スタートアップとの共同開発でも利益はとらないが、資金面での支援は行わない。
- ・プロセス開発中の顧客からは、経費のみを請求し、マージンは取らないことでスタートアップにベネフィットを与えている。
- ・このビジネスモデルは2000年の創業時から続けており、2003年に初めて1社が量産ステージに移行、現在は10社に拡大。
- ・現在開発ステージの顧客との関係から今後も増大すると予測。
- ・2009年度に8インチラインへの以降を計画
- ・全体として顧客とのプロセス開発を重視し、共同で事業を育てていくというスタンス。

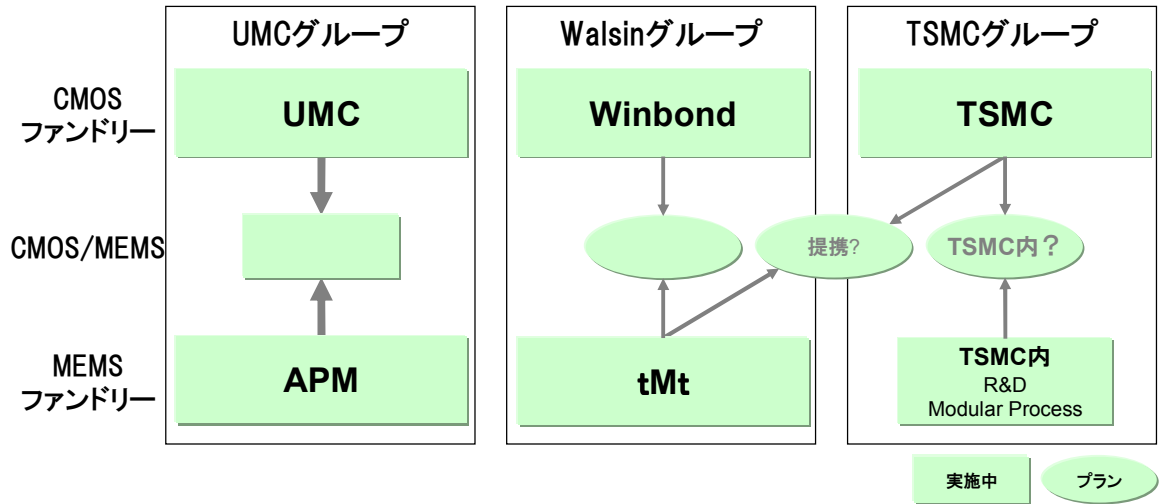
3) アジア：台湾

台湾は、90年代後半から世界の半導体製造の中心地として発展してきた。半導体のファンドリー専門ビジネスは、政府との産学協同で設立されたTSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) や、UMC (United Microelectronics Corp. 後にUMCグループ) で始められた。

TSMCは、米国のTI社とジェネラル・インスツルメンツのマネジメント・ポジションを歴任したモリス・チャン氏によって1987年に設立され、この製造設備は米国企業にも提供され、米国ファブレスー台湾ファンドリーという国際水平分業型製造モデルが誕生した。台湾のファンドリー企業の成功がシンガポール、マレーシアにも波及し、ファンドリーが誕生した。

1990年代後半から、半導体ファンドリーからMEMSファンドリーへの拡大し、台湾の専門MEMSファンドリーは、2001年では6社であったが、現在、apmとtMtの2社になっている。この他は、小規模ながらMEMS圧力センサーに特化したMetrodyne Microsystems社がある。また、2社はCMOSファンドリーと連携し、CMOS/MEMSの集積化を推進する戦略をとっており、今後台湾ではTSMC、UMC等のCMOSファンドリーのMEMSへの展開、あるいはCMOS、MEMSの2つのファンドリー間の連携などが積極化しそうな状況にある。

MEMSファンドリーにおけるCMOS/MEMS集積化の取り組み



- Pure Play Foundry Operation is in APM, tMtの2社
- Small Operation is OK with focus Metrodyne Microsystems社
- CMOS Integration is in UMC+APM, TSMC+tMt
- UMC and TSMC are coming

2.5 海外技術動向調査・分析

次章の日本のポジショニング分析を実施するために必要となる海外の技術動向を調査・分析を行った。以下に調査結果となるNEDO殿がこれまでに実施した

- ①「欧州における次世代向けMEMSへの研究開発取り組み（2007年4月）」報告書
- ②「米国の次世代MEMS研究開発（2008年）」報告書

および、みずほ情報総研参加により入手した

- ③2008年4月30日～5月1日開催第14回マイクロマシン・サミットの報告
また、MEMS分野の技術ロードマップに示される
- ④特許、論文発表による国際競争ポジション
の報告要旨および分析結果を示す。

- ①「欧州における次世代向けMEMSへの研究開発取り組み（2007年4月）」報告要旨
以下に、上記報告書の概略を抜粋し示す。

	Leti	IMEC	FhG-IZM	FhG-ISIT	FhG-IPMS	VTT
専任スタッフ	~ 500	~ 40	~ 100	~ 50	~ 100	~ 50
年間予算	70 M€	6 M€	10 M€	7 M€	12 M€	7 M€
クリーンルーム 総面積	2 000 m ²	1 500 m ²	1 500 m ²	1 000 m ²	1 500 m ²	1 800 m ²
対応ウエーハ ーサイズ	8"	8"	6"	6" → 8"	6"	6"
産業よりの 資金提供	70%	70%	40%	40%	50%	30%
ビジネスモデル	- 移転型 - プレシ ーズのみ	- 移転型 - 信頼性 保証サービス	- 移転型 - 小から 中規模生産	- 移転型 - 小から 中規模生産	- 移転型 - 小から 中規模生産	- 移転型 - 小から 中規模生産

LETI:

強み:

- “MEMS 200ミリメートル”：マイクロシステム開発を専門に行なっている専用1,000m²
- 面積の8インチラインを保有する研究施設。Letiではこのラインで、産業パートナーが要求する可能な限りの要請を実現する努力を行っている。

- 研究施設に於ける高い受け入れ体制とインテグレーション能力を保有（人員としては約500名の高い技能を持った常勤スタッフを保有）
- マイクロシステム開発専門に割り当てられたものとしては最大の年間予算額を保持
- MEMS センサー開発において極めて強い歴史的背景を保有
- 異なる CEA（フランス原子力庁）事業（バイオチップ、センサー、パッケージング、マイクロエレクトロニクス…）間に於ける特異な横断性と相乗効果をグルノーブルにおける産業（SOITEC、STM、Freescale…）との間で保有
- 複数の提案に対応可能：Leti ではニッチな市場、量産市場相方への対応してが可能。

弱点：

- Leti のビジネスモデルは技術の移転を行うことであり、そのサービスはプレシリーまでを網羅している。これは小規模から中規模の生産キャパシティを提案する Fraunhofer 研究所のビジネスモデルとは異なるものとなっている。しかしながら、生産自体はグルノーブルに所在の Leti の関連施設である、Tronic Microsystem のマイクロシステム施設内で提供可能である。
- Leti の資金の70%以上は産業関連企業からの提供によるものとなっている。他研究機関と比較して Leti の活動は研究事業よりむしろ開発事業により近い状況である。しかしながら、Leti は欧州の各種プロジェクトでは上流工程に属する様な特異な研究（例えば NEMS に関する開発）も行っている。

IMEC：

強み：

- 独立した事業体系
- ユニークなビジネスモデル
- 鍵となる産業分野企業（インテル、ミクロン、TSMC…）との協力網を活用したマイクロエレクトロニクス分野に強力な背景を保有する
- MEMS 信頼性評価サービスにおける極めて強い専門能力を保有する
：具体的事例としては「REMO」グループ

弱点：

- MEMS における小規模な事業取り組み：IMEC はマイクロエレクトロニクス分野を主たる事業領域としている
- MEMS デバイスでは限定的な開発事例：IMEC は主に MEMS の信頼性評価、パッケージング技術および新しい素材の研究開発に着目している

Copyrights © 2007 Yole Développement SARL. All rights reserved 11

Fraunhofer 研究所：

強み：

- Fraunhofer 研究所の強みは、現状開発中ではありながらも、完全体系化されたシステムの開発に注力していることである：異なる技術の統合をその役割としている
- 小規模及び中規模の MEMS 製造サービスを提供可能

- 長期に渡る業務提携の実績を保有（15年以上）
- 確かなパッケージング及びシステム開発に於ける経験を保有
- その戦略としては産業分野からの資金提供の割合を50%以下に制限することにより、創造性と研究の独立性を保持しており、この戦略により産業上の協力関係から生じる圧力を軽減せしめている
- 現地地元の技術系大学と強い交流関係を保有

弱点:

- Fraunhofer はその組織体系が LETI あるいは IMEC のような大規模な研究所ほど統合化されていない
- 8インチ専用ライン施設を保有しない。FraunhoferISIT のみが200ミリに移行する予定である
- 組織に関しては極めて細分化されている（FraunhoferIZM の例で言えばベルリン、ケムニッツ、ミュンヘンの異なる3箇所に同種の研究所を保有）
- 特定の分野においては異なる Fraunhofer 研究所間で強い競争が生じている（例：MOEMS に関する FhG - IZM と FhG -IPMS 間の競争）。これは、Fraunhofer 研究所が同種のアプリケーションを異なる顧客間と取り組むことができ、顧客が各研究所の開発した技術への独占的アクセスを好むことによる

VTT:

強み:

- 革新的な MEMS デバイスとプロセスのみに着目している
- 異なる技術を結合する確かな能力（エレクトロニクスと MEMS、シリコンとガラスの積層）と革新的なプロセス（SC - CO2、表面改質、原子層成長法…）

弱点:

- MEMS に於ける小規模な事業取り組み
- 8インチのライン施設への移行予定は現時点では無し__

欧州の MEMS 研究開発活動マトリクス図

		Consumer & Telecommunications	Automotive	Biology & Healthcare	Energy & Environment	Security & Defense	Industry
		Technology directions	Materials & Processes	SOI	Leti VTT	Leti VTT	
Thick Poly-Si				VTT ISIT			
Low temperature SiGe				IMEC			
Polytronics: reel to reel	IZM				IZM		
Surface functionalisation					Leti VTT	Leti VTT	
Bonding	All			All			
Injection molding					IZM		
MID				IZM VTT			
New metal depositions	VTT						
Inertials	Leti			Leti IMEC IZM ISIT	IZM IPMS		Leti
Devices	RF-MEMS		Leti IMEC VTT	IMEC IZM ISIT	Leti		Leti
	Si-Microphones		VTT				
	Vibrations sensors			IZM	Leti	Leti IMEC IZM	
	Magnetometers		Leti VTT	Leti VTT	Leti VTT		
	Gas flow sensors			IZM ISIT			
	Inclinometers						IZM
	MOEMS & Actuators		IPMS ISIT	IMEC IZM ISIT IPMS	IZM IPMS		IPMS IPMS IZM
	Pressure sensors		Leti VTT	Leti IZM ISIT IPMS	Leti		Leti
	Imagers (CIS, bolometers...)		Leti IZM	Leti ISIT IPMS IZM			Leti
	Lab on Chip, microfluidic				Leti VTT IZM ISIT	Leti ISIT	Leti ISIT
	"in-vivo" probes				Leti IMEC		
	Chemical sensors			Leti	Leti IPMS	VTT	
	Microfuelcells					Leti IZM	
	Data storage		Leti ISIT				
	Security cards		Leti				
	NEMS		Leti				
	Packaging		Hermetic WLP	Leti VTT	Leti ISIT VTT		
Low temperature WLP				IMEC			
SiP				IMEC IZM			
SOC			Leti	Leti			
Flip-Chip				IZM VTT			
3D integration			Leti VTT IMEC	Leti ISIT VTT			
Thin film			Leti IMEC	Leti IMEC			
CMOS integration		Leti IMEC VTT					

② 「米国の次世代MEMS研究開発（2008年）」報告書要旨

以下に、上記報告書の概略を抜粋し示す。

調査対象各研究機関における MEMS の研究開発：

今般調査を実施した大学および研究所からのMEMS研究開発に関し、最も特徴的で且つ想定外となったのはその多数にわたる個別プログラムの数である。各々のプログラムは通常、1名のPhD研究員とその監督教授のみにより実施されている。特定の調査テーマに基づき大型なチーム体制で調査が実施される欧州の研究プログラムとは異なり、米国では調査に関する交付金がPhD研究員の作業に使用される。即ち、研究プログラムの達成数はPhDの人数と比例する。

上述の背景から極めて多数にわたる各大学のMEMS研究開発プログラムを徹底詳細調査すること、併せて、DARPA、NIH（国立衛生研究所）とNSF（国立科学財団）におけるプログラム詳細を調査することは困難な結果となった。170以上のプロジェクトが調査対象となった4つの研究機関では検出され、ここではその概略を記述するものとする。これらに加え、BSAC（カリフォルニア州立大学バークレー校センサー・アクチュエーターセンター）で実施されている111のプロジェクトをリストすることとした。

	Nb of projects	Nb of faculty	Nb of students	Total MEMS R&D budget
University of Michigan	93	41	>70	\$16M
Stanford University	23	7	40	\$12M
Massachusetts Institute of Technologies	68	30	60	\$15M
Lawrence Livermore National Laboratory	30	40	30	\$10M
Berkeley Sensors and Actuator Center (BSAC)	111	30	120	\$20M
TOTAL	284	134	~340	\$73M

ファシリティ:

	facility size (sq. ft)	Cleanroom class
University of Michigan	6000	10-100-1000
Stanford University	10500	100
Massachusetts Institute of Technologies	6500	10-100
Lawrence Livermore National Laboratory	6000	100

DARPA、NSF と N I H は施設を運営していない。

スタンフォード大学は最大規模の施設を運営するが、概してすべての研究機関は完全な研究設備を保有しており、III - V材料を含めて、多種多様な材料を処理することが可能である。

調査対象領域:

M I T はインクジェットヘッド装置開発に関して H P (ヒューレットパッカード社) および DARPA との契約を持ち、これにより消費者アプリケーションに取り組んでいる唯一の機関となっている。

Khalil Najafi 博士により研究取り組みが行われているミシガン大学は、最大規模の R F (無線周波数) MEMS プログラムを有している。

また、ミシガン大学では異なるマイクロ技術転用を目指す、大規模な人工聴覚インプラントプログラムを保有している。

	RF MEMS	Micro-fluidics gas/ chemical	Implantable devices, Bio-medical	Environ-mental devices	MEMS techno-logy, packaging	Micro-power circuits,	IC interface	Consumer devices
University of Michigan	X	X	X	X	X	X	X	
Stanford University		X	X	X	X	X	X	
Massachusetts Institute of Technologies		X	X	X	X	X	X	X
Lawrence Livermore National Laboratory		X	X	X	X		X	

すべての研究機関は強くマイクロフレイディックスとガス化学物質検知に取り組んでおり、2つの主要なアプリケーションドメインがこれらに対する注力を促している：

- バイオメディカル研究に於ける計測（細胞分離、プローブ）
- 国土安全保障関連（センサー用途）

他の牽引要素としては環境モニタリングが挙げられる。

移植可能なデバイスにおけるプロジェクトは内視鏡機器、血管収縮神経デバイスと人工聴覚インプラントをターゲット対象としている。

③2008年4月30日～5月1日開催第14回マイクロマシン・サミットの報告
以下に、第14回マイクロマシン・サミットの報告概要を示す。

マイクロマシン・サミットは1995年に第1回会議を京都で開催してから、開催国を持ち回りで毎年開催しています。第1回会議では10カ国（オーストラリア、カナダ、フランス、ドイツ、イタリア、日本、オランダ、スイス、イギリス、アメリカ）の参加でしたが、14回目を迎えた今回は、イベリア地域とルーマニアが新たに加わって、18カ国/地域（オーストラリア、ベネルクス地域、カナダ、中国、EC、フランス、ドイツ、イベリア地域、インド、日本、韓国、地中海地域、ノルディック地域、ルーマニア、シンガポール、スイス、台湾、アメリカ）から代表者・オブザーバを含め99名の参加により開催されました。今回の会議では、各国/地域のコントリーレビューがチーフ代表者から述べられた後、各国の代表者から技術統合、最新技術、市場・標準化・産業化動向、教育と技術プラットフォーム、

ファンダリとクラスターネットワークの5分野に関して、各地域の活動状況や将来動向にプレゼンテーションが行われました。

日本からは東京大学の下山教授をチーフ代表者として11名がサミットに参加し、発表は下山教授より日本国のMEMS関連国プロの紹介、三菱電機株の久間常務執行役よりBEANSプロジェクト(次期MEMS関連国プロ)の概要紹介、オリンパス株の唐木執行役より自社のMEMS技術の紹介が行われました。

最後に、マイクロ・ナノテクノロジー、製品、市場の発展を目指して、各国が国際協調を図っていくことを誓って終了しました。次回はカナダのエドモントンでの開催予定です。

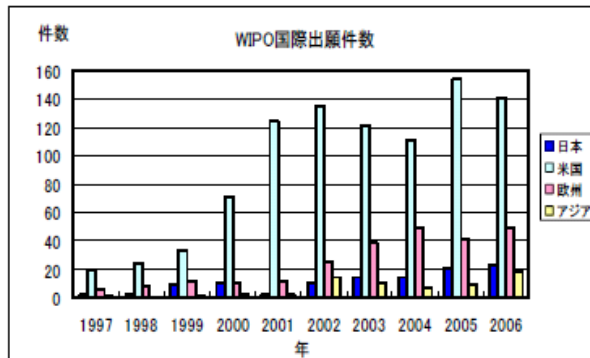
サミット参加において各国のMEMS研究開発の取り組みにおいて感じたことは、それぞれの国が、国家戦略上のマイクロ・ナノ技術の取り組みを発表していたが、中でも今年のキーワードは「ナノ・バイオの融合」。具体的には、欧州、韓国、日本が同様のコンセプトでプロジェクトをスタートさせる。ただし、日本の予算は欧州と比較すると、欧州はEUのプロジェクトの他に各国が個別にプロジェクト化することを考えると、その規模に大きな差があると思われる。また、インドの様にMEMS研究の後発の国においても、まだ研究レベルは高いとは言えないが、海外のMEMS研究者が帰国することで研究レベルが急速に高くなる可能性があり、今後十分ウォッチする必要があるといえよう。特に中国は政府の補助により製造装置、評価装置が充実してきた段階、これと研究者人口が日米と比べ圧倒的に多いことを考えると、R&Dにおいても研究の進展が著しく高くなっており、今後、材料からアプリケーションまでのMEMS研究開発のバリューチェーンが中国内で確立すると産業としても一気に進展すると考えられる。

よって整理すると、次世代MEMSに関しては、ナノ・バイオさらにはそれ以外の異分野融合による新しいプロセスやデバイスの創出に向けた研究が盛んであり、MEMS研究の先進国及び地域の支援等により、インド、イベリア、中国等のMEMS後進国の台頭もMEMS研究において年々著しい。

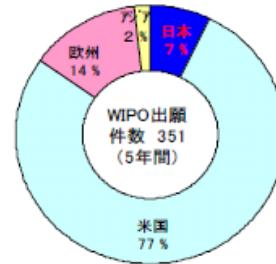
④特許、論文発表による国際競争ポジション

以下に、MEMS分野の国際競争ポジション(特許動向・論文発表動向)を示す。

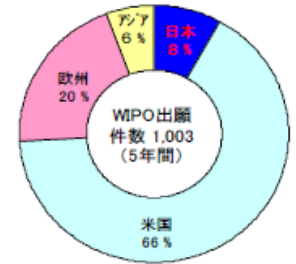
1. MEMSに関する特許動向



◆WIPO国際特許出願件数をみると、1997～2001年の5年間の累計件数に対し、近年（2002～2006年）の5年間の累計件数が3倍程度となり、大きな伸びを示している。



(1997～2001年の累計件数)

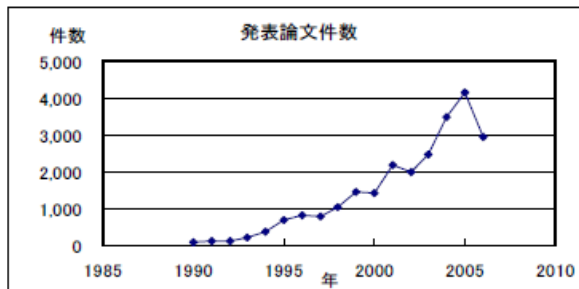


(2002～2006年の累計件数)

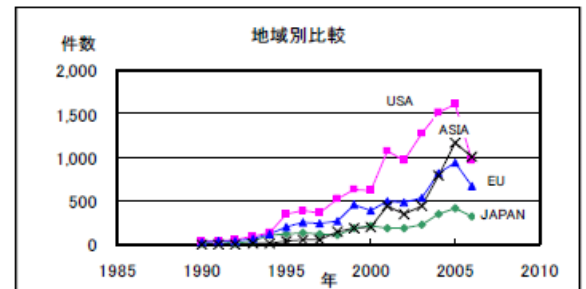
出典：平成19年度MEMSの技術戦略マップのローリングに関する調査「学術動向調査」

◆WIPO国際特許出願件数の地域別割合をみると、近年（2002～2006年）では、日本、アジアで若干の伸びがあるが、欧州の伸びが著しく、その分、米国がその割合を落としている。

2. MEMSに関する論文発表動向



◆発表論文数をみると、2006年はやや減少したが、右肩上がりで増加しており、米国が常にトップを占めているが、近年ではアジア（中国・韓国・台湾・シンガポール）の伸びが著しい。



出典：同上

第3章 日本のポジショニング分析

日本のポジショニング分析を行うにあたり、上述の文献調査結果、アンケート等の調査結果以外に以下の文献も調査分析を行った。

- ・ J S T実施、科学技術・研究開発の国際比較（ナノテクノロジー・材料分野）（20年度）
- ・ MMC実施、MEMSファンドリービジネス調査
- ・ MMC実施、MEMSファンドリーの現状と市場動向調査
- ・ MH I R実施、ナノテクノロジーの産業化展望に関する調査（MET I）
- ・ NBC I講演会「ナノテク市場と社会像」
- ・ 2008年度半導体産業新聞 MEMS関連記事
- ・ 2007年、2008年度日経MICRODEVICES MEMS関連記事
- ・ 富士キメラ総研発刊 MEMS&ナノマテリアル関連市場総調査2007
- ・ 富士キメラ総研発刊 MEMS&ナノマテリアル関連市場総調査2008 など

以下に、ポジショニング分析結果を示す。

MEMS分野 科学技術・研究開発の国際比較表

領域		MEMS関連分野																ナノテク・材料の応用			
分野		構造材料・新機能材料						加工技術						バイオ・医療							
中網目		ナノカーボン		ナノコンポジット材料		表面改質材料		半導体技術 微細加工		ナノ転写加工		自己組織化技術		ナノ印刷技術		MEMS加工技術		医療用チップ			
フェーズ		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド		
日本	研究	◎	→	◎	→	◎	↗	○	→	○	→	○	↗	○	↗	◎	→	○	→		
	技術	○	→	◎	→	◎	→	○	↘	○	↗	○	↗	◎	→	○	→	○	↗		
	産業	△	↗	○	→	◎	→	○	↘	△	↗	×	→	○	↗	◎	→	○	→		
米国	研究	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	○	↘	◎	↗	◎	↗		
	技術	◎	↗	◎	→	◎	→	○	↗	○	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗		
	産業	△	↗	◎	→	◎	↗	○	→	△	↗	×	→	△	→	◎	↗	◎	↗		
欧州	研究	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	○	↗	○	↗		
	技術	○	↗	○	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→		
	産業	△	↗	○	→	◎	↗	△	→	△	↗	×	→	△	↗	◎	→	△	→		
中国	研究	○	↗	○	↗	○	↗	△	↗	×	→	×	↗	×	→	×	↗	△	↗		
	技術	△	↗	○	↗	○	↗	×	→	×	→	×	→	×	↗	×	→	△	↗		
	産業	×	↗	○	↗	△	↗	△	↗	×	→	×	→	×	↗	×	→	△	→		
韓国	研究	◎	↗	○	↗	○	↗	△	→	△	→	○	→	○	↗	△	↗	△	↗		
	技術	○	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	○	↗	○	→	○	↗	△	↗	△	↗		
	産業	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	△	↗	×	→	×	↗	△	↗	×	→		
								台湾	△	→	△	↗							台湾	△	↗
									○	↗	○	↗								△	↗
									◎	↗	△	→								△	↗

記号の意味	
現状について	
◎	非常に進展
○	進んでいる
△	遅れている
×	非常に遅延
近年のトレンド	
↗	上昇傾向
→	現状維持
↘	下降傾向

フェーズの意味	
研究	大学・公的機関での研究レベル
技術	企業における研究開発のレベル
産業	企業における生産現場の技術力

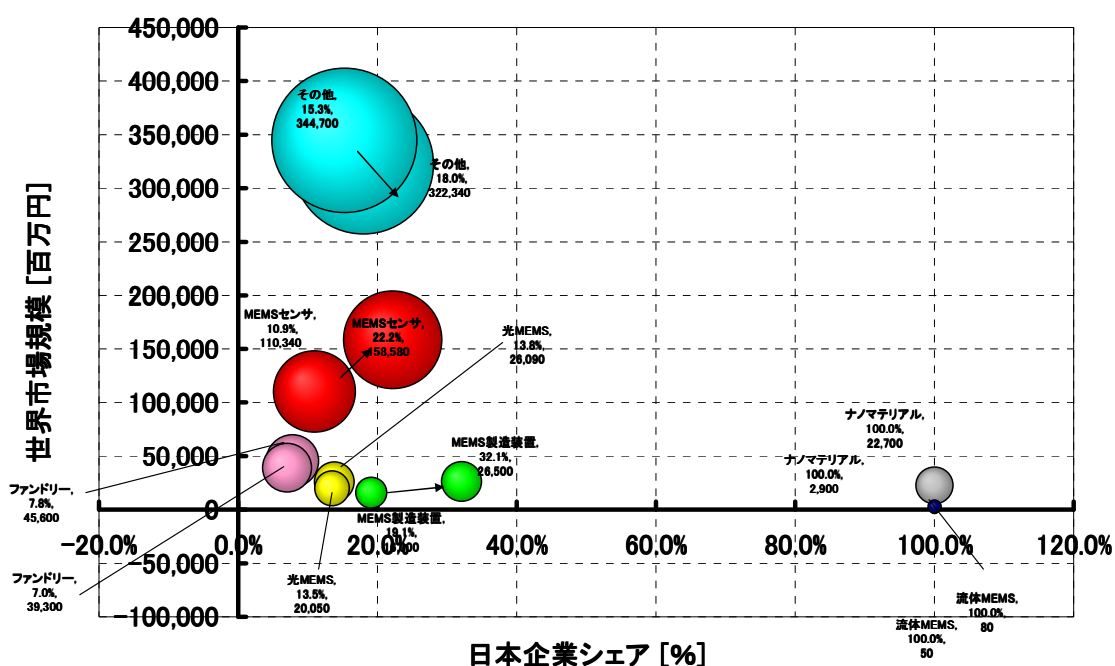


図 2.5-1 ポジショニングマップ

表 2.5-1 世界市場規模及び日本企業シェア

		2006実績(世界)	2007実績(世界)	2006実績(日本)	2007実績(日本)	日本シェア(2006年)	日本シェア(2007年)	伸び率(市場)	伸び率(シェア)
MEMSデバイス	MEMSセンサ	110,340	158,580	12,064	35,197	10.9%	22.2%	191.8%	103.0%
	光MEMS	20,050	26,090	2,700	3,597	13.5%	13.8%	33.2%	2.4%
	流体MEMS	50	80	50	80	100.0%	100.0%	60.0%	0.0%
	その他	344,700	322,340	52,645	57,950	15.3%	18.0%	10.1%	17.7%
合計		475,140	507,090	67,458	96,823	14.2%	19.1%	43.5%	34.5%
MEMS製造装置		16,000	26,500	3,055	8,507	19.1%	32.1%	178.4%	68.1%
ナノマテリアル		2,900	22,700	2,900	22,700	100.0%	100.0%	682.8%	0.0%
ファブリー		39,300	45,600	2,760	3,550	7.0%	7.8%	28.6%	10.9%

図 2.5-1 及び表 2.5-1 に世界市場規模（出荷額ベース）と日本企業のシェアとの関係図を示す。本図においては代表的な MEMS デバイスやアプリケーション、材料等について 2006 年度から 2007 年度にかけての推移を矢印にて示している。MEMS センサー（圧力センサー、加速度センサー、ジャイロセンサー、マイクロフローセンサー）やファブリーは世界市場の伸びに対して堅調に日本企業のシェアも増加している。特に MEMS 製造装置（露光装置、ウェハ接合装置、Deep RIE、ナノインプリント装置、スピコート）に関しては日本企業のシェア増が著しく、我が国の国際競争力の向上がうかがえる。ナノマテリアル（カーボンナノファイバー、フラーレン）や流体 MEMS デバイスについては日本企業が市場を占めている一方で、その他の MEMS デバイス（シリコンマイク、インクジェットヘッド、DMD、RF-MEMS スイッチ、 μ TAS チップ、DNA チップ）に関しては市場規模・シェアともに減少傾向にある。

なお、上記結果は前述の資料のみから整理・分析したものであり、他の資料では市場規模・シェア等が異なっている場合もある。

また、ポジショニング分析結果の検証及びMEMS 関連事業の実態把握のため、ヒアリング（面談）を行った。さらに、次章の新規MEMSプロジェクト提案に資することも考慮し、以下のインタビューシートを基にヒアリングを実施した。

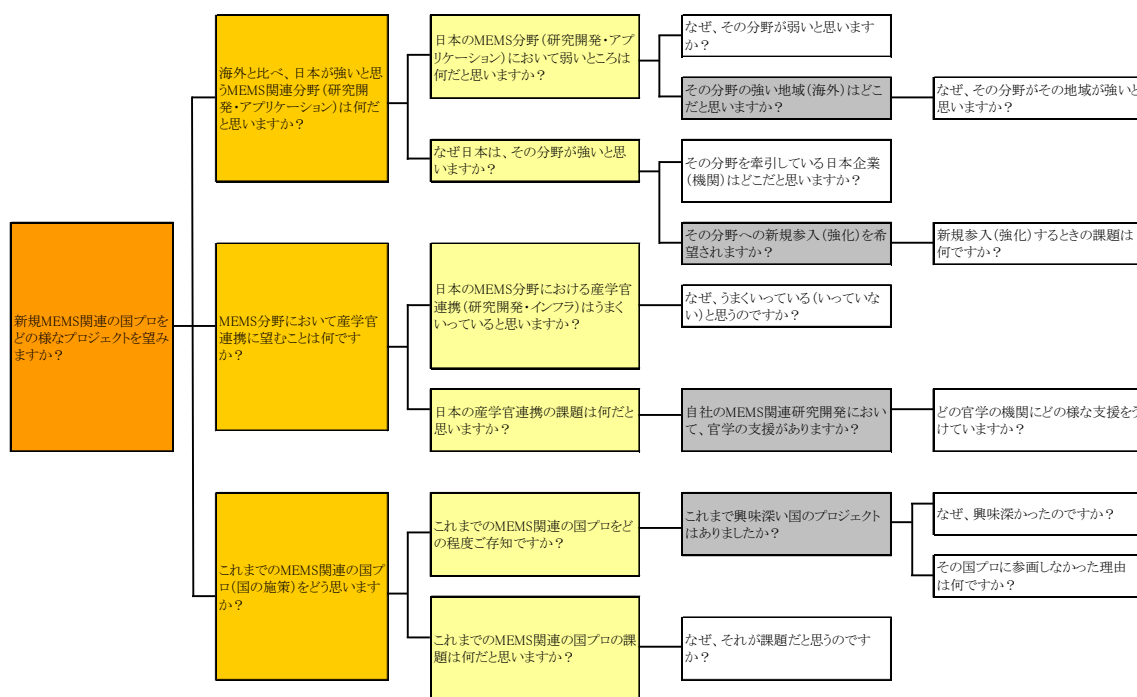


図 2.5-2 インタビューシート

ヒアリングは、大学が1件、MEMS関連企業が20件の計21機関に対して実施しその対象機関は、新規材料・新規加工装置・計測評価装置の研究開発機関及びMEMSデバイスの研究開発機関等、川上から川下まで多岐にわたる研究開発機関を対象に行った。その結果は、上記ポジショニング分析（日本の強み、弱み）を概ね立証する回答が得られている。

第4.章 国内MEMS戦略策定および新規MEMSプロジェクトの提案

国内MEMS戦略策定およびプロジェクト提案においては、日本のポジショニング分析結果を踏まえ、アンケートおよびヒアリングより得られた情報を基に戦略策定、プロジェクト方向性に資するデータを整理、分析した結果を以下に示す。

<分析結果>

アンケート・ヒアリング共、極めて具体的テーマが少なかった。そのような中、出てきた具体的テーマはほぼ全て、これまで国プロ参画経験のある研究者からの要求であった。

ただし、研究開発における具体性のあるテーマにおいては、既に事業を見込んだ研究が進められている案件が多く、新規性においては目を引くテーマは今回の調査では、無かったように感じた。さらに、装置メーカー・材料メーカー等の川上産業へのヒアリングが多かったため、そのニーズ基の川下産業との融合への期待があるテーマが多かった。

また、提案要望の共通点として、今後期待する産業（バイオ、環境、省エネルギー等）に向けた研究開発の期待、幅広いユーザか環境整備の要求がある。ただし、環境整備もファンドリーの充実、研究拠点の整備、計測・検査装置の使用環境への期待等、様々であった。よって、新規プロジェクト提案の方向感としては、以下の3項目があると思われる。

- ①（川上産業が主導的）川上から川下産業が融合したステージゲート方式による研究開発。
- ②今後注力すべき産業（バイオ、環境、エネルギー）に向けた、MEMS 研究開発のプロジェクト化。
- ③ファンドリーの充実、研究拠点の整備、計測・検査装置の使用環境への期待等を満たす環境整備。

第5.章 提案の技術戦略マップのローリング

MEMS 分野の技術戦略マップのローリングを行った。ローリングに際しては、MEMS 分野の産学官有識者による検討委員会を設置し、各委員に昨年度以降の技術動向を念頭に、目標値の修正等を中心にローリングを行った。

5.1 技術戦略マップ検討委員会の編成

以下に、技術戦略マップ検討委員会の委員構成を示す。産学官から MEMS 分野全般を俯瞰できるよう、様々な分野を専門とする有識者から委員会を構成した。

委員長	藤田 博之	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
大学及び国研	高橋 正春	(独)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 グループ長
	橋口 原	静岡大学 電子工学研究所 ナノデバイス材料部門 ナノ構造解析応用分野 教授
	芳賀 洋一	東北大学 大学院医工学研究科 医工学専攻 ナノデバイス医工学分野 教授
	安達 淳治	(財)マイクロマシンセンター 調査研究部 調査担当部長 兼 産業交流部 国際交流担当部長
	染谷 隆夫	東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 准教授
	企業	太田 亮
川原 伸章		株式会社デンソー 基礎研究所 研究1部 部長
福本 宏		三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 センシング技術部 部長
中西 博昭		株式会社島津製作所 基盤技術研究所 主幹研究員

5.2 技術戦略マップ検討委員会の運営方法

今年度の改訂にあたっては大幅な変更は行わず、昨年度以降の技術動向を踏まえた修正及び追記にとどめることとした。各委員には担当部分を割り当て、修正を実施して頂いた。

5.3 技術戦略マップのローリング結果

技術戦略マップのローリング結果を以下に示す。

MEMS要素技術		分野		
エッチング技術	高精度・微細エッチング技術	0101	高アスペクト比貫通孔形成技術	共通
		0102	高アスペクト比ナノレンチ加工技術	共通
		0103	ディーブドライエッチング技術	共通
		0104	高精度微細エッチング技術	共通
		0105	ウエハレベル均一エッチング技術	無線通信、バイオ、共通
		0106	非シリコン材料加工技術	共通
		0107	無損傷加工技術	共通
	3次元ナノ構造形成技術	0108	3次元表面加工技術	無線通信
		0109	自由曲面加工技術	エネルギー
		0110	立体構造上へのパターン形成技術	共通
		0111	シングルポイントプロセス技術	共通
		0112	ナノピラー形成技術	共通
	ナノプローブ加工技術	0114	ナノプローブ・エッチング加工技術	バイオ、情報通信、共通
		0115	MEMS・半導体共存構造の低損傷エッチング技術	共通
成膜技術	高品位厚・薄膜成膜技術	0201	機能性材料厚膜形成技術	共通、無線通信
		0202	非真空薄膜形成技術	安心・安全、環境、エネルギー
		0203	機能性材料ナノ薄膜多層形成技術	安心・安全、環境、エネルギー
		0204	平滑・低残留応力薄膜形成技術-3次元低温成膜技術	光、無線通信、共通
	3次元ナノ構造形成技術	0205	3次元形状表面上成膜技術	光、共通
		0206	シングルポイントプロセス技術	共通
		0207	ナノポーラス膜形成技術	共通
		0208	ナノピラー/ドット形成技術	共通
	LSIプロセス融合成膜技術	0209	MEMS・半導体共存構造の低ストレス・高耐久性薄膜形成技術	共通
		成形成技術	マイクロプレス成形成技術	0300
0301	ナノフォーミング技術			共通
0302	ナノ転写・形成複合プロセス技術			共通
0303	マイクロエンボス加工技術			光
マイクロ粉体成形成技術	0304		ナノ粉体成形成加工技術	共通、バイオ
マイクロ鑄造技術	0305		貫通孔埋め戻し技術	共通
3次元ナノ構造形成技術	0306		3次元マイクロ立体型成形成技術	共通
	0307		3次元表面ナノ加工技術	共通
	0308		3次元自由曲面エンボス加工技術	共通
	0309		3次元表面修飾技術	共通
	0310	3次元形状めっき成形成技術	共通	

注: は、中期的な視点での重要技術
 は、長期的な視点での重要技術

MEMS要素技術		分野		
形成技術 (機能化・表面改質)	ナノ機能材料選択的の形成技術	0401	ナノ材料局所形成技術	無線通信、バイオ
		0402	ナノ材料ウエハレベル形成技術	共通
		0403	ナノ材料ビルドアップ技術	共通
	生体機能材料形成技術	0404	生体分子配向技術	エネルギー、環境、医療・福祉
		0405	細胞配置・カプセル化技術	エネルギー、環境、医療・福祉
		0406	細胞の組織化技術	医療・福祉
		機能性表面形成技術 (界面制御・表面修飾技術、加工損傷回復技術)	0407	化学的・バイオの表面修飾技術
	0408		分子の自己組織化現象応用界面制御技術	安心・安全
	0409		ナノ粒子自己整列技術	共通
	0410		脂質二重層形成技術	共通
	0411		金属・有機半導体の界面制御技術	共通
	0412		有機・絶縁膜の界面制御技術	共通
	0413		印刷方式表面修飾技術	共通
	LSIプロセス融合成形成技術	0414	加工損傷回復技術	共通
		0415	MEMS・半導体共存構造の成形成技術	共通
	異種融合技術	ナノ・バイオ融合技術	0416	可動ナノ構造の形成技術
0501			界面制御技術	環境、医療・福祉
0502			活性細胞融合技術	環境、医療・福祉
ナノ・有機材料融合技術		0503	活性生体分子融合技術	環境、医療・福祉
		0504	有機ナノピラー形成技術	エネルギー、環境、医療・福祉
		0505	有機ナノポーラス形成技術	エネルギー、環境、医療・福祉
3次元構造形成技術		0506	ナノ間隙への有機充填技術	エネルギー、環境、医療・福祉
		0507	異種材料レイア/バレイア積層技術	共通
		0508	異種材料の厚膜積層技術	共通
		0509	パターン付き成膜および多層化技術	共通
	0510	メカ/バイオ/半導体ハイブリッド積層技術	共通	
自己組織化技術	0511	3次元ナノ構造移植・積層技術	共通	
	0512	セルフアライメントによる位置決め技術	共通	
配線技術	0513	マルチCNTプローブ製造技術	共通	
	0514	ナノホール選択金属成長技術	共通	
	0515	ナノワイヤ選択配線技術	共通	
	0516	CNT成長用触媒粒子の自己組織化配列技術	共通	
	0517	CNT配線技術	共通	
	0518	自律的配線形成技術	共通	
	0519	伸縮性導体形成技術	共通	
組立技術	0520	界面制御を利用した自律組立技術	共通	
	界面物性評価技術	0521	界面物理化学評価技術	共通
0522		ナノ領域におけるトライボロジー評価技術	共通	

MEMS分野の技術ロードマップ(1/6)

MEMS要素技術 分類-1 エッチング技術	MEMS要素技術 分類-2 高精度・ 微細エッチング技術	No.	重要技術課題	分野	指標	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年	製品 (MEMS技術の適用品)		
MEMS要素技術 分類-1 エッチング技術	MEMS要素技術 分類-2 高精度・ 微細エッチング技術	0101	高アスペクト比貫通孔形成技術	共通	貫通孔形成の狭ピッチ化	加工精度		5 μm		2 μm		1 μm		0.1 μm	誤差低減	物理量センサ等ICによる信号処理を有するMEMS製品 ウエハレベルパッケージング構成での共通基盤技術。光分野のユビキタスマイクロ顕微鏡観察可能血流量分布センサ、マイクロノード実装計測センサ、マイクロラレー応用デバイスも共通に含めた。		
					加工誤差			5 μm		1 μm								
					ウエハレベル貫通孔形成	アスペクト比 (深さ/孔径)	100		150		200		200/1		500			200/0.25
					孔径	200/2		200/1.5		200/1				0.2 μm				
				ピッチ	5 μm		3 μm		2 μm		2 μm		0.2 μm					
				加工速度	20 μm/min		25 μm/min		30 μm/min		50 μm/min							
				貫通孔の変形加工	シフト量		500 μm		1000 μm									
					分岐数		1本→2本		1本→4本									
					材料方向への貫通孔形成	アスペクト比 (深さ/孔径)	5		50		100		250		500			
					微小ギャップ深掘り	アスペクト比		20		50		100		250		500		
			ギャップ幅		0.2 μm		0.2 μm		0.1 μm		0.1 μm		0.1 μm		0.1 μm以下			
		0103	ディープライエッチング技術	共通	側壁面の粗さ・平面度向上	表面粗さ	λ=例えば680nmと想定		λ/25		λ/30		λ/50		MEMS偏向ミラー、ミラーアレイ (スキヤナでなく、位置決めできるタイプ)、MEMS光スキヤナ(1次元~3次元)			
					側壁面形状評価 (PV値・曲率半径など)	曲率半径	100nm		1000nm									
		0104	高精度微細エッチング技術	共通	微細ギャップ間隔の縮小化	Line and space	100nm		100nm		100nm		50nm		多機能情報携帯モバイル端末			
					アスペクト比	10		50		100		100		100				
					深掘り加工の底面平滑化	表面平坦性	2~3nm		1nm		原子オーダー							
		0105	ウエハレベル均一エッチング技術	無縁通孔	ウエハ面内のエッチングの均一化	ウエハサイズ (インチ)	8		12		14		20		多機能情報携帯モバイル端末			
					均一度	5%		4%		3%		1%						
			バイオ	大面積化、ナノ構造エッチング (ガラス)	ウエハサイズ (インチ)	8		12		14		20			バイオ分析			
			共通	大面積ナノパターン加工技術 (ナノマイクロ加工技術)	解像パターン (段差状のステップの解像度)	200nm		50nm		10nm		5nm			MEMS全般 (光、RF、パワー、ファイン)			
		0106	非シリコン材料加工技術	共通	非シリコン系新材料 (金属・セラミックス等)の加工	加工速度	0.1~0.6 μm/min		1 μm/min		2 μm/min		10 μm/min		MEMS光スキヤナ(1次元~3次元)、セラミックス表面の3次元加工は直ぐ下に含まれる			
					加工選択比	100:1		150:1		200:1		1000:1						
					加工面粗さ (Rmax, Ra等)	加工幅の10%あるいは1ミクロン以内		加工幅の5%あるいはサブミクロン以内										
		0107	無損加工技術	共通	無損不純物導入技術	欠陥密度 (個/cm ²)	<10E15		<10E13		<10E11		<10E11					
					無損有機分子表面処理・加工技術	欠陥密度 (個/cm ²)	<10E15		<10E13		<10E11		<10E11					
					無損CNT表面処理・加工技術	欠陥密度 (個/cm ²)	<10E15		<10E13		<10E11		<10E11					
					無損クリーニング技術	欠陥密度 (個/cm ²)	<10E15		<10E13		<10E11		<10E11					
		0108	3次元表面加工技術	無縁通孔	3次元表面加工	表面精度 (rms)	スキンドープスの1/2以下				スキンドープスの1/3以下				集積RF-MEMS			
					周波数60GHz	表面精度 (rms)	スキンドープスの1/2以下				スキンドープスの1/3以下							
					立体配線形成の高速度および高精度化 (立体配線形成の確立)	周波数60GHz												
		0109	自由曲面加工技術	エネルギー	自由曲面加工	面精度	曲率半径 (精度は2%以内)		10 μm		5 μm		1 μm		0.1 μm	マイクロタービン、流体デバイス		
		0110	立体構造上へのパターン形成技術	共通	立体形状表面へのパターン形成	加工可能な方向 (面)	対象面数	1軸周り全方位			軸周り+正面		全方位			MEMS全般 (光、RF、パワー、ファイン)		
					メカニカルリソグラフィ	立体上への形状転写	立体へのアライメント技術				立体の上平面部		立体の曲面部		立体の底面部	特殊プリズムなど立体的ナノ光学素子		
					3次元リソグラフィ技術	加工面の自由度、垂直壁面	1 μm		0.5 μm		0.1 μm		50nm			実装部品		
						斜面にdry異方性エッチング	垂直面にwet等方・異方性エッチング				垂直面にdry等方性エッチング		垂直面にdry異方性エッチング					
		0111	シングルポイントプロセス技術	共通	マスクレスダイレクトリソグラフィ	最小線幅/スペース	EB:10nm									LSIパターンニング		
					最小加工サイズ	FIB:50nm										LSIマスクパターン修正		
					2次元表面分子膜技術	無欠陥、もしくは欠陥制御	1 μm角		3 μm角		10 μm角					分子認識チップ、ナノ潤滑膜		
		0112	ナノピラー形成技術	共通	サイズの制御性	デモンストレーション	形状の統計的評価				無損Si					深さ、直径、周期のばらつき原子レベル		
						直径8nm、アスペクト10					直径100nm、アスペクト100							
		0113	ナノボラス形成技術	共通	材料選択の幅	ウェットによるSiなどの知られた材料				広い機能性材料の組み合わせ						機能性材料の組み合わせによるデバイス加工		
		0114	ナノプローブエッチング加工技術	バイオ、情報通信	ナノプローブエッチング形成における高密度化・均一化	先端部加工精度 (面内均一性)	±10nm				±5nm		±1nm		6インチ基板全面で±1nm	ブローメモリ、走査型マルチブロー顕微鏡		
					同時加工数 (ブロー数)	1E					8本/cm ²		2.5E		2.5E			
					寿命 (時間)	6本/cm ²					25000時間		9本/cm ² 以上		実用化レベル			
				共通	大面積高密度マルチブロー加工技術	密度	20 μmピッチ		20 μmピッチ		10 μmピッチ		5 μmピッチ					
					面積	4インチ		4インチ		6インチ								
		0115	MEMS・半導体共存標準の低損傷エッチング技術	共通	被加工領域の損傷の低減	半導体領域の耐熱性	10nm		5nm						1nm	ユビキタセンサチップ、モバイル機器用センサチップ及びRFMEMS、車載用センサ、医療介護用/バイタルサインセンサ		
						MEMS加工部の最大アスペクト比	2.5		20		100		250		500			
						MEMS部の最小加工寸法	2 μm		0.5 μm		0.1 μm		0.1 μm		50nm			
						湿載LSIの加工寸法	350nm		180nm		90nm		45nm		10nm			
						膜厚	材料によって異なるので何とも書えないが、1mm角程度までハル材で可能という前提で...		100 μm		500 μm							
						成膜速度	10 μm/min				50 μm/min		100 μm/min		5mm			
						アスペクト比	量産レベル、磁性材料を想定		5		4層		10層		50層			
						多層化	2層											
						残留応力低減 (影響)	曲率半径	500mm		1000mm								
						高配向化	1mm/single material		3μm/single material				3μm/multi material		5mm/multi material	人工超格子、メモリ、センサ		
						磁性材料の高品質化	残留磁束密度	バルク材に対し30%		70%		100%						
						配線材料の高品質化	低応力化と高再配線性	曲率半径	500nm		1000nm							
						電気接点の耐久性向上	閉閉回数 (高耐久性接点材料)	10億回		100億回					1000億回	多機能情報携帯モバイル端末		

MEMS分野の技術ロードマップ(2/6)

MEMS要素技術		No.	重要技術課題	分野	指標	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年	製品 (MEMS技術の適用品)					
分類-1	分類-2					2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年						
MEMS要素技術	MEMS要素技術	0202	非真空薄膜形成技術	安心・安全、環境、エネルギー	機能(電子材料)	移動度	1cm ² /Vsec(室温)				5cm ² /Vsec(室温)			10cm ² /Vsec(室温)		ウェアラブル電源 シート型健康管理デバイス 安全安心ジャケット					
					機能(機械、光学)	堆積面積 均一度					1m ² 以上 10%			1m ² 以上 5%							
		0203	機能性材料ナノ薄膜 多層形成技術	安心・安全、環境、エネルギー	半導体超格子の構造制御	膜厚ゆらぎ									<0.1nm 数10 cm角	<0.1nm 数10 cm角					
					ナノキャパシタの多層化・高誘電率化	層数・誘電率	単層・100		3層・300							5層・500	10層・1000	受動素子内蔵基板 蓄電素子 MEMSによる波面変調素子、 チューナブル分光素子			
		0204	平準・低残留応力薄膜 形成技術-3次元 低温成膜技術	光	誘電体多層膜による 高反射率、低応力膜 成膜	平均分光反射率	90%				95%										
						膜の内応力(基板 の反りに置き換えて 曲率半径で判断)	曲率半径	100mm				1000mm									
					無線通信	膜の表面粗さと応力の 制御(犠牲層含む)	表面粗さ(Ra)	10nm				5nm					0.5nm			多機能情報携帯モバイル端末	
					共通	圧電薄膜形成	膜厚/ひずみ量 (d31)	3μm/0.001% (-100pm/V)			5μm/0.005% (-300pm/V)							10μm/0.01% (-500pm/V)		機能性材料厚膜形成技術の 高性能圧電膜の形成もこの中に 吸収	
		3次元ナノ 構造形成 技術	0205	3次元形状表面上成 膜技術	光	3次元形状表面への 高密度配線	段差	50μm	100μm				300μm			500μm		MEMS偏向ミラー、ミラーアレイ (スキマでなく、位置決めでき るタイプ)、MEMS光スキマ(1 次元~3次元)			
							最小線幅/スペース	20/20μm		10/10μm							5/5μm				
0206	シングルポイントプロ セス技術		共通	ナノ機械加工 (電界酸化)	最小加工サイズ (最小線幅/ スペース)				50nm								高効率化と大規模化 → アクセシブルなマイクロ機 械システム				
				2次元表面分子膜技 術	無欠陥、もしくは 欠陥制御	1μm角			3μm角			10μm角			50μm角		分子認識センサーチップなど				
0207	ナノポーラス膜形成 技術		共通	細孔径制御技術	孔径	400nm	200nm	100nm			自己組織化 手法による 50nm以下の ナノポア			1nm	0.1nm						
				ナノピラー/ドット形 成技術	サイズの制御性			形状の統計 的評価			自己組織化 手法による 50nm以下の 均一ナノ ドット	自己組織化 手法による 100nm以下 の均一ナノ ドット	自己組織化 手法による 10nm以下 の均一ナノ ドット			深さ、直径、周期の ばらつき原子レベル					
0208	MEMS・半導体共存 構造の低ストレス・高 耐久性薄膜形成技術		共通	低ストレス(応力)薄 膜形成	形成膜厚	0.2~ 5μm		0.1~ 10μm			0.1~ 20μm			0.1~ 40μm			ユビキタスセンサーチップ、モ バイル機器端末用センサーチップ 及びRFMEMS、車載用センサ、 医療介護用バイタルサインセン サ				
				耐久性薄膜形成	耐疲労・吸湿・透 湿度(特性変化率 /10年)	1%		0.50%			0.20%				0.10%						
LSIプロセス 融合成 膜技術	MEMS・半導体共存 構造の低ストレス・高 耐久性薄膜形成技術		共通	MEMS・半導体共存 構造の低ストレス・高 耐久性薄膜形成技術	湿熱LSIの加工寸 法	350nm		180nm			90nm				45nm		湿熱LSIの多機能化 →				
					ナノインプリンティ ング技術-低損傷パ ターニング技術	共通	光学無機レンズ、バ イナリレンズエンボ シング	最小パターンサイ ズ	0.8μm		0.6μm			0.3μm			50nm		マイクロノアード変位計測セ ンサ、マイクロミラー応用デバイ ス、連結センサ マイクロミラー応用デバイス、連 結センサ		
		0302			ナノフォーミング技術	共通	マイクロ打抜き加工	最小加工サイズ	50μm		30μm					10μm			在宅診断のためのモバイルヘル スケアシステム、分散型ネット ワークによる広域環境モニ タリングシステム、超小型モバ イル分析システム、超高速スク リーニングシステム、桌上型化学 合成システム メタルベースMEMS、低コスト指 向(ディスプレイ)分析チ ップ		
							マイクロ鋳造	最小加工サイズ	50μm		30μm						10μm				
		0303			ナノ転写・形成複合 プロセス技術	共通	転写面積・回数	1mm角・ 1回			5mm角・ 5回					10mm角・ 10回		20mm角・ 20回		受動素子内蔵基板	
							マイクロエンボス加 工技術	光	アレイレンズエンボ シングの大面積化	面積	2インチ		4インチ					12インチ	20インチ		マイクロノアード変位計測セ ンサ、マイクロミラー応用デバイ ス、連結センサ
		0305			ナノ粉末成形加工技 術	共通、バイオ	ナノ粉末成形加工技 術	ナノ粉末サイズ			1μm			50nm							
								貫通孔埋め戻し技 術	共通	ウエハレベル貫通電 極形成	アスペクト比 (孔径/深さ)	50									
		0306			貫通孔埋め戻し技 術	共通	ウエハレベル貫通電 極形成	孔径	5μm				2.5μm				0.5μm				
								ピッチ	10μm				5μm					1μm			
0307	3次元ナノ構造形成 技術	共通	高剛性(微細化・高 アスペクト)	加工寸法	2μm		1μm						0.5μm	50nm							
				立体構造厚み	10μm		100μm			200μm				500μm	1mm						
0308	3次元表面ナノ加工 技術	共通	3次元マイクロ型 面のナノ構造形成	加工寸法	100μm			50nm				20nm		10nm							
				加工寸法	10μm			5μm					1μm	500nm							
0309	3次元自由曲面エン ボス加工技術	共通	ホットエンボス加工 寸法	加工寸法	10μm								1μm	500nm							
				曲率半径	∞		10cm							1cm	500μm						
0310	3次元表面修飾技術	共通	3次元の立体型の離 型性向上やホットエ ンボスされた高分子 材料の3次元表面を 選択的に修飾	パターン位置合わ せ精度	5μm								<1μm	<100nm							
				シフト量	500μm							1000μm									
0311	3次元形状めっき成 形技術	共通	選択的に3次元形状 をメッキ	パターン寸法	1μm								0.5μm	100nm							
				分岐数	1本~2本										1本~4本						
形成技術 (機能化・ 表面改 質)	ナノ機能 材料選択 的成形技 術	0401	ナノ材料局所形成 技術	無線通信	ナノ材料の選択的形 成(位置制御)	位置精度	±2μm	±1μm			±0.5μm			±0.2μm	±100nm		多機能情報携帯モバイル端末				
					ナノ材料の選択的形 成(厚み制御)	厚み精度	<0.2μm	<0.1μm			<0.08μm			<0.05μm	<10nm						
					ナノ材料の選択的形 成(形成領域)	最小領域	φ2μm	φ1μm			φ0.8μm			φ0.5μm	φ100nm						
					選択的ナノインテグ レーション	微細化	50nm				20nm					数10nm	数10nm				
					選択的ナノインテグ レーション	加工密度	プローブ数<1000	プローブ数<100,000,000						プローブ数<2,500,000,000						走査型マルチプローブ顕微鏡	
					集積度	1本/ 20μm ²			1本/10μ m ²									1本/250nm ²			
					処理時間	10秒/1本			1秒/1本									0.1秒/1本		より高速化 →	
					選択的微小配列	大面積化	プローブ先端へのパ ターニング パターン面積	20nm ²													バイオ分析マルチプローブシ ステム:金コロマンニキュレーション 削除
																					細胞内動態の観察分解能20nm

MEMS分野の技術ロードマップ(3/6)

MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	No.	重要技術課題	分野	指標	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年	製品 (MEMS技術の適用品)			
MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	0402	ナノ材料ウエハレベル形成技術	共通	CNT/ナノSi/ワイヤのOVD選択形成	位置選択性	エリア選択性直線選択架橋30%	直線選択架橋70%		直線選択架橋100%						機械・電気特性制御性の向上	MEMSパッチ マイクロモビークル		
						位置精度	1μm	200nm		100nm					数10nm	10nm			
		0403	ナノ材料ビルドアップ技術	共通	多層回路基板形成技術 DNA分子のハンドリング位置制御技術	多層化	3層			5層					10層	20層		ビルドアップ基板 有機電圧増幅器・PCB基板 DNA1分子解析、DNA配線、 DNA分子の機能材としての活	
						位置精度		1μm		100nm					10nm	数nm			
		0404	生体分子配向技術	エネルギー、環境、医療・福祉		配向分子	可溶性タンパク質				脂質分子					膜タンパク質	複数分子の同時配向制御		
		0405	細胞配置・カプセル化技術	エネルギー、環境、医療・福祉		カプセル化細胞数	多細胞					一細胞							
						配置細胞種類	一細胞				複数細胞		組織レベル			臓器レベル	個体レベル		
						配置・制御		2次元配置					3次元配置と機能発現制御				3次元組織化制御		
		0406	細胞の組織化技術	医療・福祉	機能組織	組織化		正常培養									正常組織	前薬(動物実験の代替) 再生医療	
						機能材料選択性												マイクロ化学システム共通技術	
MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	0407	化学的・バイオ的表 面修飾技術	エネルギー、環境、医療・福祉	化学・バイオ物質の表面パターンニング/流路内	パターン解像度(親水性制御、タンパク質の吸着制御)	流路全体の修飾mmオーダー	10μm			複雑パターン					500nm、複雑パターン			
						パターン解像度(疎水性制御)	流路全体の修飾mmオーダー	10μm			複雑パターン					500nm、複雑パターン	外出支援システム(微生物利用 マイクロリアクタによる原分解装置)		
						親水性・疎水性の制御	プラズマ処理			10nmオーダー ナノ構造利用			2次元配置				生体微量試料のハンドリング 生体微量試料の前処理		
						生体分子機能保持したパターン形成(ソフトリソグラフィ)/基板上	パターン寸法	1μm		100nm						単分子レベル	バイオインターフェース		
						適切な官能基を持つ分子の付加&自己組織化	付加機能	親・疎水性									機能分子との選択結合 官能基導入	多機能化	
						生体分子機能保持した機能分子選択的付加	付加分子	DNA付加			一部のタンパク						多くのタンパク		
						ペプチド等生体分子による選択的有機・無機材料の表面修飾	細胞選択性		細胞の選択吸着 2種類		複数細胞の結合					細胞の3次元構造構築	人工臓器への適用	再生医療、人工臓器	
						機能材料選択性			有機・無機材料選択性 3種類		選択的修飾 有機半導体 2種類、ナノ構造体3種類					3次元構造へのナノ構造体の選択的結合	各種半導体ナノ構造体への適用	マルチプロブデバイス エネルギーハーベスティング 環境物質センシング	
						立体構造物への超精密化学修飾	ディップ位置精度	±50nm				±10nm						バイオ分析マルチプロブシステム	
							修飾量	150aL				20aL					1aL		研究用心臓模倣デバイス
MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	0408	分子の自己組織化現象応用 界面制御技術	安心・安全	SAMアンカー膜形成・最適技術	配向制御精度	60%			80%					>95%				
						最大面積	50×50mm			200×200mm						1×1m			
		0409	ナノ粒子自己整列技術	共通		収率	60%			80%					90%	99%		チップカラム、微量分離 微量精製	
		0410	脂質二重層形成技術	共通	再構成膜	安定性	30分程度			2時間		半日			一日	半年			
						同時計測チャンネル数	1チャンネル				4チャンネル				9チャンネル	25チャンネル		超並列同時計測	
						付加分子	ペプチド			イオンチャンネル					トランスポータ	GPCR	高次元タンパク質	高機能センサ材料	
		0411	金属・有機半導体の界面制御技術	共通	界面制御による配置・配向	位置精度				200nm			50nm						
		0412	有機・絶縁膜の界面制御技術	共通	細胞親和性の制御	分解能(位置精度)	50μm				1μm						50nm	単一細胞解析	
						選択比	1				10						50	再生医療	
						生体親和性の制御	機能発現制御可能な生体	細胞			細菌					酵母	高等微生物まで	高機能バイオ実験ツール	
MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	0413	印刷方式表面修飾技術	共通	ナノ化学修飾・ダイレクトリソグラフィ	パターン寸法	100nm		50nm						10nm		フレキシブル構造のMEMS ウェアラブルMEMS		
						同時処理種類数	2種類		10種類						50種類		増大		
						位置決め精度	±50nm			±10nm					±10nm				
						修飾量	150aL			20aL					1aL				
						高分子圧電薄膜形成	微細化/発電力	<30pC/N			35pC/N						40pC/N	ウェアラブルMEMS	
		0414	加工損傷回復技術	共通		回復解像度	100nm			10nm						1nm		原子レベル	
							成膜厚	5μm		10μm		20μm				40μm		膜厚増大	
							平坦性	100nm		50nm		20nm				10nm		平坦性向上	
							湿載LSI加工寸法	350nm		180nm		90nm				45nm		湿載LSIの多機能化	
							Q値	80000(真空中)			100000(真空中)	300(大気中)				500(大気中)	150000(真空中) 1000(大気中)		MEMS共振器 ピデオレトAFM
MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	0415	MEMS・半導体共存構造の成膜技術	共通	シリコン/金属3次元構造成膜の平坦化加工	成膜厚	5μm		10μm		20μm			40μm			ユビキタスセンサーチップ、モバイル機器用センサチップ 及びRFMEMS、車載用センサ、 医療介体用バイタルサインセンサ		
						平坦性	100nm		50nm		20nm				10nm				
							湿載LSI加工寸法	350nm		180nm		90nm			45nm				
		0416	可動ナノ構造の形成技術	共通	立体ナノ構造と駆動	Q値	80000(真空中)			100000(真空中)	300(大気中)				500(大気中)	150000(真空中) 1000(大気中)		MEMS共振器 ピデオレトAFM	
							駆動周波数	125MHz(真空中)			500MHz(真空中)	50MHz(大気中)			100MHz(大気中)	500MHz(大気中)			
							分解能	50μm			1μm					50nm		細胞機能の解析装置、前薬関連 機器、診断機器	
							選択比	1			10					50			
							生体親和性の制御	細胞			細菌					酵母	高等微生物まで		
							活性寿命	1時間			半日					1週間	半年		人工臓器
							種類	1種類								複数細胞	臓器レベル		
					細胞個数	多細胞								単細胞			前薬分野の研究用装置		
MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	0501	界面制御技術	環境、医療・福祉	細胞親和性の制御	分解能	50μm			1μm					50nm		細胞機能の解析装置、前薬関連 機器、診断機器		
						選択比	1			10					50				
							生体親和性の制御	細胞			細菌				酵母	高等微生物まで			
		0502	活性細胞融合技術	環境、医療・福祉		活性寿命	1時間			半日					1週間	半年		人工臓器	
							種類	1種類							複数細胞	臓器レベル			
							細胞個数	多細胞							単細胞			前薬分野の研究用装置	
		0503	活性生体分子融合技術	環境、医療・福祉		寿命	1時間			半日					1週間	半年			
							個数・種類・配向	多分子								1分子			
		0504	有機ナノビラー形成技術	エネルギー、環境、医療・福祉	サイズの制御性	直径の制御					直径50nm以下					直径50nm		エネルギーハーベスティング環境 物質センシング	
							均一性				均一性制御なし					均一性20%以内			
0505	有機ナノポーラス形成技術	エネルギー、環境、医療・福祉	サイズの制御性	直径の制御					直径100nm以下					直径100nm		エネルギーハーベスティング環境 物質センシング			
					均一性				均一性制御なし					均一性20%以内					
0506	ナノ間隙への有機充填技術	エネルギー、環境、医療・福祉	間隙サイズ	間隙径					直径200nm以下					直径20nm以下		エネルギーハーベスティング環境 物質センシング			
MEMS系技術 分類-1	MEMS系技術 分類-2	0507	異種材料レイアビレイア積層技術	共通		分解能	数100μm			数10μm				1μm	分子レベル				
						種類	2種類			4種類					10種類	20種類			
							温度・実用強度を確保	300℃			有機材料 200℃				たんばく質 100℃	バイオ材料 高温			
		0508	異種材料の厚膜積層技術	共通		膜厚	50μm			100μm						2mm			
							積分解能	5μm			1μm					100nm			
							材料組合せ・性質	無機/有機		無機/有機		無機/有機				50層			
							層間アライメント精度	10μm			2μm					200nm			
		0509	パターン付き成膜および多層化技術	共通		膜厚	2μm			2μm						1mm			
							積分解能	10μm			2μm					200nm			
							層間アライメント精度	20μm			4μm					400nm			

MEMS分野の技術ロードマップ(4/6)

MEMS要素技術 分類-1	MEMS要素技術 分類-2	No.	重要技術課題	分野	指標	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年	製品 (MEMS技術の適用品)		
MEMS要素技術	MEMS要素技術	0510	メカ/バイオ/半導体ハイブリッド積層技術	共通	膜厚 膜分解能 層間アライメント精度 パターン寸法 アライメント精度 移植面積	200 μm 10 μm 50 μm 50 μm 1 μm 10mm角			500 μm 1 μm 10 μm 10 μm 500nm 50mm角					10mm 500nm 1 μm 500nm 100nm 50nm				
		0511	3次元ナノ構造移植・積層技術	共通	モールド/移植材料間の密着力制御 新機能材料の微細パターンニングと制御	パターン寸法 アライメント精度	50 μm 1 μm 50 μm 1mm			10 μm 10 μm 500nm				1 μm 100nm 100nm角 500nm角	1 μm 500nm		異種材料積層デバイス、フォトニック結晶、バイオフィルター、立体記録 Nano on MEMS	
		0512	自己組織化技術	共通	セルフアライメントによる位置決め技術	界面結合の形成、パターンニング寸法	10 μm			5 μm						200nm		
		0513	マルチCNTプローブ製造技術	共通	大量合成技術、長さの制御	ホールサイズ アスペクト	1mm以上 5			5mm						アレイ化		
		0514	ナノホール選択金属成長技術	共通	選択成長可能寸法	ホールサイズ アスペクト	100nm 5			50nm						10nm		
		0515	ナノワイヤ選択配線技術	共通	選択配線手法	メッキ				10						20		カーボンナノチューブ
		0516	CNT成長用触媒粒子の自己組織化配線技術	共通	生体分子の自己組織化利用	配列間隔 触媒粒子径	タンパク質利用10nm 7nm	1次元配列化10nm 7nm							2次元配列化5nm 3nm		電子デバイスへの応用	
		0517	CNT配線技術	共通	選択成長技術	密度	電界集中利用 1本/10 μm角			2次元配線 1本/1 μm角						2次元配線 1本/0.5 μm角		マルチレイヤーデバイスへの応用
		0518	自律的配線形成技術	共通	生体分子の自己組織化利用	適用デバイス	DNAによる網目配線	DNA利用 ひずみゲージ			DNA利用単電子デバイス							集積回路への応用
		0519	伸縮性導体形成技術	共通	加工精度						10 μmオーダー					1 μmオーダー	100nmオーダー	
		0520	界面制御を利用した自律積層技術	共通	種類 収率		2種類 60%			5種類							種類増大	
		0521	界面物性評価技術	共通	界面物理化学評価技術	評価対象	電子・正孔				モルフォロジー・欠陥					80%	90%	バイオ信号
		0522	ナノ領域におけるトライボロジー評価技術	共通	プローブ先端磨耗 接触物間作用力	評価対象 カ分解放能	単一-Siプローブ 撥水性Si-プローブ	CNTプローブ DLCプローブ	アレイ化Si-プローブ	アレイ化DLCプローブ			高信頼、長寿命マルチプローブ作製技術確立			評価技術の標準化	マルチレイヤーデバイスへの応用	
		プロセス連続化・大面積化技術	プロセス連続化・大面積化技術	0601	高品位ナノ機能膜形成技術(塗布型)	共通	電子的機能膜形成(Si系) 有機半導体 有機電極膜形成	電子移動度 パターン寸法 電子移動度 パターン寸法 発生力 パターン寸法		0.5 cm ² /Vs 0.3 mm 0.1 cm ² /Vs 0.1 mm 5 g 1mm		1 cm ² /Vs 0.2 mm 1 cm ² /Vs 0.05 mm 7 g 0.2 mm				50 cm ² /Vs 0.1 mm 5 cm ² /Vs 0.02 mm 0.005 mm 10 g		Si、酸化物、有機、無機、金属ナノ粒子を含む塗布型ナノコンポジット高機能膜
				0602	マイクロナノ印刷技術	共通	グラビア等転写印刷技術(微細化・高速化) インクジェット印刷技術	パターン精度・印刷速度 パターン寸法 印刷スピード	1 μm/1m/min 5 μm 100 mm/s			100nm/10m/min 1 μm 500 mm/s				10nm/50m/min 10nm/100m/min 0.1 μm 50nm 2000 mm/s 5000mm/s		大型ディスプレイ、テレビ
0603	高品位機能膜のメータ級大面積形成技術			共通	局所環境制御+スキヤニング塗布	基板サイズ (液晶パネル参照) 膜厚均一性 パターン寸法	G8: t=0.65mm 2.16m x 2.46m ±15%	G10: t=0.65mm 2.8m x 3.0m ±15%			±10%				±5% ±2%		大面積エネルギーハーベスティングデバイス	
0604	繊維状基材の製膜集積化技術			共通	面積 柔軟性		(10本 x 10本) 繊維基材間接続技術			0.3 mm 3次元変形					1 m x 1 m 1 m x 10 m			ウェアラブルデバイス等
0605	メータ級大面積アライメント技術			共通	ストローク×位置決め精度 (液晶用位置決め装置参照)		3m x ±0.25 μm			4m x ±0.25 μm						6m x ±100nm		
0606	繊維状基材連続微細加工技術			共通	被覆 パターン加工	スピード スピード パターン寸法	10 m/min 5 m/min 5 μm			50 m/min 20 m/min 1 μm					80 m/min 50 m/min 0.5 μm	240 m/min 100 m/min 100nm		フレキシブルシートデバイス
0607	大面積印刷のレジストレーション(重ね合わせ)技術			共通	位置精度		20 μm			5 μm						1 μm 200nm		
0608	ナノインプリント連続成形技術(含む、ローラー式転写技術)			共通	大面積モールドによる高速ステップ&リビート成形 繋ぎ目精度 成形面積	パターン寸法 繋ぎ目精度 成形面積	10 μm 5 μm 100mm角			1 μm 500nm 200mm角					500nm 100nm 20nm		大型ディスプレイ、シート状・積層デバイス、パッケージング	
0609	連続EDプロセス技術			共通	適用装置											400mm角 1m角		電子ビーム誘発堆積による超高精度ワイヤボンディングワイヤディング技術の確立
0610	連続FBプロセス技術			共通	増殖+エッチング連続加工による3次元形状形成													微小デバイスFB内マニピュレーションによる3次元加工装置の実現 微小センサ実現
前・後処理技術	表面洗浄技術	0701	構造表面洗浄技術	共通	微細加工3次元形状洗浄 異物数/ウエハ 対象異物サイズ	≦10個/ウエハ ≧0.3 μm			≦10個/ウエハ ≧0.1 μm						≦10個/ウエハ ≧3nm		MEMS製品の歩留まり安定化&低コスト化実現のための共通基盤技術	
		0801	高精度位置決め技術	共通	ウエハレベル高精度アライメント アライメント精度 ボンディング精度(歩留まり80%以上の場合) 処理時間 三次元高精度位置決め 量産適用レベル(X, Y, Z) セルフアセンブルによるチップレベルアライメント チップレベル高精度アライメント アライメント精度 処理時間	1 μm 1 μm 1素子あたりの3分 XY 2 μm Z 1 μm 1 μm 2 μm 1素子あたりの1分			0.5 μm 1 μm 20秒 XY 1 μm Z 0.5 μm XY 0.5 μm Z 0.5 μm 1 μm 0.5 μm				0.1 μm 0.1 μm 10秒 XY 0.1 μm Z 0.1 μm 0.1 μm		MEMS偏向ミラー、ミラーアレイ、MEMSによる波面変調素子、MEMS光スキャナ、ニューラル分光子素子 光学素子を内蔵する光MEMS RFフィルタ、RFスイッチ、イメージセンサ、加速度センサ(パッケージの一部のカバーや台座をウエハレベルでデバイスウエハに接合、その時の接合パターンはデバイスのデザインに拘束され、同等の精度) 光部品、オプティカルベンチ MEMS製品の小型化、集積化のための共通基盤技術			

MEMS分野の技術ロードマップ(5/6)

MEMS要素技術		No.	重要技術課題	分野	指標	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年	製品 (MEMS技術の適用品)								
分類-1	分類-2					2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年									
接合技術	MEMS半導体共存の接合・組立技術	0802	MEMS半導体共存の接合・組立技術	共通	電氣的・熱的に低ダメージの小型化・一体化の接合・組立	集積形態	ウエハレベル集積		モジュール集積		多層MEMS集積		3Dモジュール集積	ナノデバイス集積	全てのMEMS製品									
		無線通信		低温での低応力接合	接合後平面度 (Pv値)	有効範囲口10mmの面精度(量産適用レベル)	2 μm (2.9 λ at 690nm)			1 μm (1.5 λ at 690nm)					0.5 μm (0.7 λ at 690nm)	0.1 μm (0.25 λ at 690nm)	MEMS偏向ミラー、ミラーアレイ、MEMSによる波面変調素子、MEMS光スキャナ、チューナブル分光素子							
				チップレベルでの低温接合	最大プロセス温度	300°C			200°C		以降 リフロー温度と協調					室温	多機能情報携帯モバイル端末							
				異種基板チップ接合	可変段階の細分、多段階化	1段階 (ON/OFF)		4段階 (1,2,4,8)				10段階				無段階可変	無段階可変	多機能情報携帯モバイル端末						
		バイオ		非Si材料の高精度接着・組立	耐圧	高精度接着材料開発	多種材料汎用接着可能、低温 (~100°C以下)、薄層化可能材料	1MPa		10MPa							20MPa	在宅診断のためのモバイルヘルスケアシステム、分散型ネットワークによる広域環境モニタリングシステム、超小型モバイル分析システム、超高速スクリーニングシステム、卓上型化学合成システム						
						薄層接着層形成技術	薄層化 (~1 μm以下)											~1 μm以下						
						共通	低温ウエハ接合	接合温度	常温 (30°C)									常温 (30°C)	物理量センサ等のパッケージング時の応力を問題とするMEMS製品					
		共通		低温パンプ接合	接合温度	常温 (30°C)										常温 (30°C)	物理量センサ等ICによる信号処理を有するMEMS製品							
						非シリコン材料接合	接触抵抗/電極	5mΩ		1mΩ				0.1mΩ		0.1mΩ	物理量センサ等ICによる信号処理を有するMEMS製品							
						ウエハレベル多層基板の低応力接合	基板反り量	50 μm	10 μm		5 μm					1 μm	多機能情報携帯モバイル端末に搭載するMEMS製品							
		共通		3次元低温成膜	バイオ向け成膜温度	100°C		100°C								室温	バイオ向けMEMS製品							
						熱サイクル耐久性 (-40~125°C)	1000回 (2層)	1000回 (4層)		1000回 (6層)					10000回 (6層)									
						素子厚み	≤0.8mm		~0.5mm							~0.1mm								
		パッケージ技術		封止技術	封止技術	気密(真空、耐湿)封止	封止耐久年数	100°C		80°C								MEMS偏向ミラー、ミラーアレイ、MEMSによる波面変調素子、チューナブル分光素子						
							エネルギー	耐高温・高圧接合・封止	使用温度又は規格の温度/圧力	パワーマEMS								800°C、100atm	800°C、100atm	高温、高圧対応MEMS製品(マイクロエンジン、マイクロガスタービン、マイクロバルブ、マイクロポンプ)				
センサ	遮光性		遮光性%成長													99.9%	99.9%	電子回路集積or光学的に影響を受けるデバイス						
共通	高放熱パッケージ		素子最高温度				80°C	50°C										多機能情報携帯モバイル端末に搭載するMEMS製品						
高度実装技術	高度実装技術		共通				アクチュエータ集積	機能数×集積数	2機能×2個	3機能×3個		4機能×4個							8機能×8個	マイクロ化学システム共通技術				
								ナノスケール部品のMEMS基板上へのアセンブル	パターン形成の自由度	単種部品のセルフアセンブリによる複雑パターン形成		複数種部品の確率的アセンブリによる単純パターン形成		複数種部品のセルフアセンブリによる複雑パターン形成		同定、更に、高速、高密度化、3次元化が加速								
								CNTの物理的マニピュレーションによるアセンブル	機能	MEMSによるCNTの本のマニピュレーション	MEMSによるCNTの電氣的・機械的特性評価	MEMSによる機能デバイスへのCNTアセンブル	複数MEMSの並列動作によるCNTデバイス形成	MEMSによる自動化CNTデバイス製造システム							自己組織化			
								ナノ材料・部品の精密組立・操作	位置精度/速度	基本技術 ±10nm			高速化 ±10nm、10s/本						量産対応 ±10nm、10ms/本		±1nm <1sec (1ウエハ当たり)	MEMSパッチ ミクロコスモビークル		
								分子機能を維持・制御する集積システムの実装	単位面積辺りデバイス(分子機能)個数	1cm ²	5		1cm ²	100					1mm ²	1mm ²	100	100	ファインバイオMEMSデバイス	
								自己発電&蓄電素子集積	μキャパシタ容量	10 μW			10mW						100mW	100mW		100mW	ファインMEMS	
									振動発電電量	100 μm振動で0.1 μW			0.1mW						10mW	10mW		10mW		
									生化学発電電量	0.1 μW			0.1mW						10mW	10mW		10mW		
								トリミング技術	センサ	高精度・高速化	加工精度	1 μm		0.5 μm									トリミング不要	制御用電子回路を集積化したMEMSデバイス加工精度はレーザートリミングで妥当
								0807	カッピング技術	共通	MEMS部品のウエハダイシング	破損確率								1秒			0.5%	<100ppm
検査・評価技術	各種検査・評価技術		形状測定技術				共通	非接触3次元形状計測・評価	アスペクト比	10(深さ100 μm、溝幅10 μm)	50(深さ500 μm、溝幅10 μm)		50(深さ500 μm、孔径10 μm)					100(深さ500 μm、孔径5 μm)	500(深さ500 μm、孔径1 μm)	3次元構造を有するMEMSセンサ、アクチュエータ共通技術				
		3次元形状表面の非破壊膜厚分布計測・評価		側壁膜厚測定精度	mm幅、mm深さ、μm膜厚				100 μm幅、数10 μm深さ、0.1 μm膜厚						10 μm幅、数10 μm深さ、0.1 μm膜厚	1 μm幅、数100 μm深さ、1nm膜厚								
		3次元形状表面の非破壊粗さ分布計測・評価		側壁粗さ測定精度	できていない				100 μm幅、数10 μm深さ、100nm rms						100 μm幅、数10 μm深さ、50nm rms	100 μm幅、数10 μm深さ、10nm rms								
		強度等デバイス特性評価技術		気密封止評価	検出レベル	できていない				デバイス寸法							ウエハレベル 8インチ	ウエハレベル 12インチ						
		ウエハレベル接合評価		計測感度	ボイドサイズ	0.5 μm				1cm ³							0.1 μm	0.01 μm						
		接合後のギャップ精度評価		接合後のギャップ精度						0.2 μm							1 μmキップが±0.1%で	0.03%で						
		ウエハレベル接合応力分布評価		測定精度	単結晶材料 平面分解能 10 μm 応力測定精度 1Mpa							非晶質材料 平面分解能 10 μm 応力測定精度 1Mpa							非晶質材料 空間分解能 10 μm 応力測定精度 1Mpa 非破壊3次元分布					
		疲労試験		試験法策定	引張り試験法策定 (Si)					曲げ試験法策定 (Si)		攪れ試験法策定 (Si)					Si系材料、金属、フラスチック材料疲労試験規格成立	Si系材料、金属、フラスチック材料電氣的疲労試験規格成立	可動構造を有するMEMS製品全般					
		衝撃試験		試験法策定	研究レベル					規格化開始							Si系材料、金属、フラスチック材料疲労試験規格成立	Si系材料、金属、フラスチック材料電氣的疲労試験規格成立	可動構造を有するMEMS製品全般					

MEMS分野の技術ロードマップ(6/6)

MEMS要素技術		No.	重要技術課題	分野	指標	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2025年	製品 (MEMS技術の適用品)		
MEMS要素技術 分類-1	MEMS要素技術 分類-2	0903	システム信頼性評価技術	無線通信	高周波対応システムの信頼性評価	規格の制定	評価法確立									集積RF-MEMS		
		0904	生体情報評価技術	バイオ、医療・福祉	生体情報のその場観察装置と計測操作	計測可能細胞、分子寸法・計測時間 計測温度制御 電気的計測分解能 化学的計測分解能 細胞操作 単一細胞 溶液中細胞のMEMSによる物理的ソフト 単一細胞	1S 100nm 0.5℃ 複数チャネル 単一細胞					1S 50nm 0.1℃ 単一チャネル 単一レセプタ		1S 10nm 0.01℃			ファインMEMS	
		0905	微小領域における物理量計測技術	共通	分子レベルでの温度計測 温度・圧力等の分布	分子レベルでの温度計測 走査型熱顕微鏡 ひずみセンサ	光ファイバ・AFM マクロの平均値 温度センサ付AFM(SThM)プローブの先鋭化 半導体による測定 マクロの平均値	極細光ファイバによる集光 サブミリメータ領域の平均値 温度計測の定量化(マイクロヒータの付加) センサの微細化 サブミリメータ、微小流路の平均値			AFMプローブ(光ファイバ)先端の微細化 μm領域の平均値 AFMプローブ(SThM)先端の微細化(～20nm) センサと増幅回路、送信回路の一体化 μm空間分解能			分子レベルでの計測 サブミクロン領域の温度、圧力、流速分布などの計測		光強度を測定できる原子間力顕微鏡、熱伝導率を測定できる顕微鏡、定量測定可能な走査型熱顕微鏡(SThM)、無配線で圧力を送信できるシステム		
		0908	検査評価用解析技術	共通	検査評価用解析技術のシステム化	対象材料/プロセス		MEMS材料/プロセス			ナノ材料/プロセス					単分子レベル 原子分子レベル 薬剤・生理活性物質の識別		
設計・解析技術	MEMSシミュレーション技術	1001	機構解析技術	共通	達成解析のシステム化、高度化	対応可能な解析対象	パッケージレベル達成解析 MEMS・電磁気回路統合解析			チップ内多機能達成解析							MEMS製品全般	
		1002	プロセス解析技術	共通	MEMS材料加工をインテグレートしたマルチプロセスの解析 プロセス解析の高度化 実装信頼性評価	対応可能なプロセス種 装置出力データとの連携 試算誤差			シリコンプロセス解析			ナノ材料・MEMS統合プロセス解析 単一MEMSプロセス			バイオ材料・MEMS統合プロセス解析 ナノ材料プロセス対応		MEMS製品全般 MEMS製品全般	
		1003	システム化解析技術	共通	システム化技術の高度化	対応可能な要素	複数MEMS/IC				ナノ材料/MEMS素子				10%		バイオ材料/MEMS素子	
		1004	ナノ/マイクロ/マクロ解析モデリング技術	共通	各スケールおよび各スケール間のモデル化技術	解析対象 対象境界	単一分子・格子レベル マイクロ/マクロ達成			無機材料とのモデリング			有機材料を含むモデリング				バイオ材料を含むモデリング ナノ/マイクロ/マクロ達成	
		1005	電場・磁場・構造・熱・流体の達成解析技術	共通	強達成・弱達成を含めたモデル化および解析手法の確立	計算精度と計算時間	微小領域におけるシステムレベルでの解析					数部品から数十部品レベルでのシステムシミュレーション					回路を含むシステムレベルでの解析	
		1006	データベース構築	共通	MEMS材料の試験評価法と材料特性データベース	対応可能なDB対象	シリコン系材料DB 高分子系材料DB			ナノ材料DB						バイオ材料DB DB充実	MEMS製品全般	
		1007	知識	共通	MEMS製造・評価技術に関する知識DB	対応可能なDB対象	高精度3DMEMS製造技術知識DB 高集積複合MEMS製造技術知識DB			ナノ機能付加製造技術知識DB						ナノバイオ融合製造技術知識DB DB充実	MEMS製品全般	
製造システム技術	MEMS要素技術	1101	多品種少量・省エネフレキシブル加工システム	共通	MEMS製造技術の小型化・省エネ化・フレキシブル化	装置寸法 消費電力 生産スループット	(1800x1800上に4ユニット運動)プロトタイプ 15kW以下 10min/デバイス			1800x900に6ユニット(精度も同等)				1800x900で通常MEMSシステム同等(精度も同等)		小型化 製造システム 医療用等現場製造・単品製造品目		