

平成18年度調査委託成果報告書

## マイクロマシン技術に係るアウトカム調査報告書

平成19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)

株式会社 日鉄技術情報センター

財団法人 マイクロマシンセンター

## まえがき

「マイクロマシン技術プロジェクト」が平成3年(1991年)度から10年間実施された。マイクロマシンの研究開発は、極限作業ロボットプロジェクトの後継として始まったが、プロジェクトが始った1990年当時の国際的な環境の中ではわが国の科学技術に対して技術ただ乗り論で攻撃されている状況にあった。そのためプロジェクトの開発課題を選定するときには基礎技術重視の姿勢が強調された。更にこの頃、日米の間では半導体摩擦が最高潮に達している時期でもあった、このためにプロジェクトの課題の中に半導体という言葉は使えない状況でもあった。このような背景の下でプロジェクトの目的はマイクロメカトロニクス<sup>1</sup>の基礎技術を確立することとし、この技術で実現される製品をマイクロマシンと定義し、日本独自のコンセプトを作り上げた。

一方、米国では半導体の微細加工プロセスを用いて作る微小電気機械的製品の作製技術をMEMS(Micro Electro Mechanical Systems:マイクロ電気・機械システム)と称して、その開発が進められていたが、この技術・思想はわが国の半導体関連の製造現場に導入されて注目されるようになっていたが、プロジェクトの中では上述の経緯もあり、表向きこれを課題とすることはできなかつた。そして10年間のプロジェクトが進展する中で、プロジェクトの最終局面では最初のわだかまりも薄くなり、終了の時期ではマイクロマシン/MEMS技術として大きな21世紀の新製造技術に成長してきた。

このマイクロマシン技術プロジェクトで得られた成果は技術の高さ、社会的・科学的影響が非常に大きくこの分野の重要性を認識させ後継プロジェクトを発足させる起爆剤となった。

「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発プロジェクト」は当時緊急の社会的ニーズであったダイオキシンの測定時間の短縮、低コスト化を目標に平成12年度に1年間実施された。

「MEMSプロジェクト」はマイクロマシン技術プロジェクトの後継として、開発費用の1/2助成金による具体的製品を定めた実用化プロジェクトとして平成15年度より3年間実施された。

これらのプロジェクトは目的、期間、開発手法ともに非常に異なり、それぞれに特徴のある国家プロジェクトであるが、この3つのプロジェクトに共通して言えることは、新規産業分野の創生という点でいずれのプロジェクトも技術的開発成果は大きいことである。そこで、3つのプロジェクトについてプロジェクトの目標とした具体的な成果をアウトプットとし、成果による直接的効果のみならずその波及効果をアウトカムと位置づけて、技術的アウトカム、経済的アウトカム、社会的・科学技術的アウトカムの側面より調査整理することとした。

この調査は財団法人マイクロマシンセンターと株式会社日鉄技術情報センターが共同で受託実施した。この調査報告書を作成するに当たり、プロジェクト関係者およびマイクロマシン展出展企業にアンケート調査およびヒアリング調査をお願いした。また、大学に訪問し、大学におけるマイクロマシン技術関連の研究状況および課題と解決策についてご意見を伺った。また、NEDO技術開発機構、各委員の方には報告書整理に際して、貴重なご意見、ご指導を頂いた。ご多忙の中でご協力いただいた関係者各位に御礼を申し上げる。

## 目 次

要約 .....	i
<b>1. 調査目的 .....</b>	<b>1</b>
<b>2. プロジェクトの経緯、アウトプット</b>	
2.1 マイクロマシン技術プロジェクト .....	2
2.1.1 プロジェクトの背景および技術開発の概要 .....	2
2.1.2 プロジェクトのアウトプットの概要とその評価 .....	7
2.2 マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発.....	13
2.2.1 プロジェクトの背景および技術開発の概要 .....	13
2.2.2 プロジェクトのアウトプットの概要とその評価 .....	15
2.3 MEMS プロジェクト.....	18
2.3.1 プロジェクトの背景および技術開発の概要 .....	18
2.3.2 プロジェクトのアウトプットの概要とその評価 .....	23
<b>3. プロジェクトのアウトカム</b>	
3.1 技術的アウトカム .....	28
3.1.1 マイクロマシン技術プロジェクトの実用化技術 .....	28
3.1.2 マイクロマシン技術プロジェクトの近未来実用化技術 .....	44
3.1.3 マイクロ流体プロジェクトの近未来実用化技術 .....	47
3.1.4 MEMS プロジェクトの近未来実用化技術 .....	47
3.1.5 プロジェクト非参加企業への波及効果 .....	50
3.2 経済的アウトカム .....	54
3.2.1 市場創出の寄与 .....	54
3.2.2 経済的効果.....	62
3.3 社会的、科学技術的アウトカム .....	69
3.3.1 知的財産のアウトカム .....	69
3.3.2 技術の社会的評価向上のアウトカム .....	71
3.3.3 人的・組織的蓄積のアウトカム.....	74
3.3.4 市場開拓・新規企業誘発のアウトカム .....	76
3.3.5 技術の蓄積・啓発・波及のアウトカム .....	78
3.3.6 国際的影響へのアウトカム.....	80

3.3.7 大学・研究所へのアウトカム .....	82
3.3.8 国民生活・社会レベル向上へのアウトカム.....	86
3.3.9 国の施策、研究開発プロジェクトへのアウトカム .....	88
<b>4. アウトカムのための課題と解決策の提言</b>	
4.1 主要分野へのアウトカムと将来展望.....	92
4.2 アウトカム拡大のための課題 .....	94
4.3 アウトカム拡大のための課題解決策の提言 .....	96
<b>5.まとめ.....</b>	<b>98</b>

#### 付属資料

1. アンケート調査
2. 大学におけるマイクロマシン関係の研究状況

#### 総括図表

- A アウトカムマップ総括図
- B アウトカムブーメラン効果図
- C 3プロジェクトによる実用化技術一覧表
- D 3プロジェクトのアウトカムープロジェクトの開発技術と実用化例
- E 製品の適用事例
- F 3プロジェクトの経済的アウトカム

## 要約

「マイクロマシン技術プロジェクト」(平成3年(1991年)度～平成12年度実施)、「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発プロジェクト」(平成12年度実施)、「MEMSプロジェクト」(平成15年度～平成17年度実施)の3プロジェクトの波及効果であるアウトカムについて調査した。調査は技術的アウトカム、経済的アウトカム、社会的・科学技術的アウトカムの視点より調査整理した。プロジェクトの規模、終了してからの期間等から、マイクロマシン技術プロジェクトのアウトカムが主体であるが、他の2プロジェクトについても、その内容に相当するアウトカムが得られている。

1. 技術的アウトカムでは、現在、開発技術を活用して実用化した製品および技術は18種類、近未来(2010年頃)実用化できる製品は11種類である。
2. 経済的アウトカムでは、新規市場創出に11製品が貢献し、既市場での競争力強化に6製品が貢献している。

経済効果では2005年度で約110億円/年、2010年頃には380億円/年規模の売上が推測される。

累積金額で見ると、2006年度で約370億円となり、3プロジェクトの総投資費用261億円を超えることになる。今後、産業分野別では自動車分野、情報・通信分野が多くなる。

3. 社会的、科学技術的アウトカムでは、①知的財産、②技術の社会的評価向上、③人的・組織的蓄積、④市場開拓・新規企業誘発、⑤技術の蓄積・啓発・波及、⑥国際的影響、⑦大学・研究所、⑧国民生活・社会レベルの向上、⑨国の施策、研究開発の各項目についてアウトカムを整理した。
4. アウトカムの拡大のための課題とその解決策の提言について有識者の意見を整理した。

## 【Summary】

This report investigated about the outcome which is the ripple effect of three projects of "micro machine technical project" (from 1991 to 2000 fiscal year), "The research-and-development project of the high-speed measurement technology of the dioxin adapting a micro fluid system" (2000 fiscal year), and a "MEMS project" (from 2003 to 2005 fiscal year).

Investigation arrangement was carried out from the viewpoint of a technical outcome, an economical outcome, and social and scientific-technical outcome. The total outcome was dominant in micro machine technical project, since the scale of budget was large and 6 years went on after the end of the projects. And two other projects also had effect in own way.

1. 18 products have been placed on market and 11 products will appear in practical use near future about in 2010.
2. As the economical outcome, 11 products contribute to new market creation, and six products contribute to the strengthening of competitive power in an existing market.

The sales scale of products is 11 billion yen in 2005 fiscal year at minimum and the sales scale of 38 billion yen will be expected in 2010 fiscal year. Accumulated sales amount will run up to about 37 billion yen in the 2006 fiscal year in comparison with the project investment expense of 25,500.

The sales amount will be grow in the automobile field, and in the information-communication field.

3. As the social and scientific-technical outcome, it was arranged about following items: (1) the intellectual property, (2) the enhancement of social evaluation for technology, (3) the personnel training and organizational build up, (4) the market cultivation and new business induction, (5) the ripple effects and enlightenment of the technology, (6) the international evaluation and its influence, (7) the reinforcement of university and research organization, (8) the improvement of life quality of people and society, and (9) the effect on the state scientific and technical project.
4. The opinion of key figures was arranged about the subject and the proposal of solution to expand the outcome.

## 1. 調査目的

機械システム全体のマイクロ化というこれまでに無い新たな概念であるマイクロマシンを実現するため、マイクロマシンの基本的構成要素の研究開発、機能デバイスの高度化技術、共通基盤技術の研究開発が進められ、さらにMEMSの技術開発、実用化開発へと発展している。

日本は、世界に先駆けて、1991年に大型研究開発事業である「マイクロマシン技術プロジェクト」を立ち上げ、マイクロマシン技術の礎を築き、その後も後継プロジェクトを設定することにより、一層の技術の充実化や産業への貢献を図ってきた。

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、「マイクロマシン技術プロジェクト」を平成3年度から10年間、「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発」（以下「マイクロ流体プロジェクト」という。）を平成12年度から1年間、「MEMSプロジェクト」を平成15年度から3年間実施し、マイクロマシン（MEMS）技術を開発してきた。本調査では、当該プロジェクトで開発したマイクロマシン（MEMS）技術について、得られた成果を整理・分析して、そのアウトカムを明確化することを目的に調査を実施する。

## 2. プロジェクトの経緯、アウトプット

### 2. 1 マイクロマシン技術プロジェクト

#### 2. 1. 1 プロジェクトの背景および技術開発の概要

##### (1) プロジェクトの背景

「マイクロマシン技術プロジェクト」が平成3年(1991年)度から10年間実施された。マイクロマシンの研究開発が始まった1990年当時における国際的な環境では、わが国の科学技術に対して“技術ただ乗り論”が浮上していた。そのため国家プロジェクトの開発課題選定では基礎技術の研究開発重視の姿勢が強調された。更にこの頃、日米間の半導体摩擦が最高潮に達している時期でもあった。このような背景から、新規設定プロジェクトの目的をマイクロメカトロニクス基礎技術の確立にした。

これより先、1980年代後半に米国では半導体の微細加工プロセスを用いて作る、1mm以下の電気機械的製品の作製技術にMEMS(Micro Electro-Mechanical Systems:マイクロ電気・機械システム)なる名称が与えられて、その将来性が有望視されていた。一方、わが国でも携帯電話の開発に見るように電子機器のコンパクト化という、MEMSと同様の開発が進められていた。

因みに、「マイクロマシン」なる語は前記のいきさつから、わが国で作られた言葉であり、これは単に微細(マイクロ)な機械(マシン)の意味に止まるものではない。それは「機械システム全体のマイクロ化」であり、マイクロな部品を製造する微細加工技術とそれを組み立てシステム化する技術の体系を意味する。

この新技術が実現するならば、微小な医療器械や治療手段によって患者はより痛みの少ない検診・治療や、従来不可能であった病気の早期診断も可能になる。また、産業機器に適用されるならば、人間の入れない複雑で狭小部分の点検・修理も可能になる。さらには、日常生活の電気・電子機器に応用されるならば、それらの一層の高機能化、コンパクト化が進み、高度なユビキタス社会を形成することになる。したがって、この技術体系の確立は広大なフロンティア市場を開くことを意味する。

このような背景から、本プロジェクトは正に21世紀のわが国経済を支える次世代産業の基盤を形成する主要技術の一つと位置づけられるものであった。

##### (2) 技術開発の概要

「マイクロマシン技術プロジェクト」は経済産業省管轄の産業科学技術研究開発制度に従って、平成3年(1991年)度から10カ年、予算規模約250億円で計画された。研究の実施期間は第1期(平成3～7年度、5年間)と第2期(平成8～12年度、5年間)に分けられ、中間で研究開発方針の見直しを行っている。

当プロジェクトは、その発足時点(平成3年)では、わが国の新規基盤技術の創出を目指した研究開発と位置づけられていた。当時、「マイクロマシン技術」そのものが、まだ萌芽期であったことから、特定の用途向けマイクロマシンの開発プロジェクトではなく、多様な用途の可能性を持つ、マイクロマシンシステムを実現するために必要な基盤的な要素技

術の体系化を目指した研究開発としてスタートした。したがって、第1期（平成3～7年度）においては、内容的に要素技術の研究開発に主体があり、微小機能の要素技術、エネルギー供給技術、システム制御技術、評価技術の開発項目について、各担当機関が分担して推進した。

しかしながら、第2期（平成8～12年）においては、産業科学技術研究開発制度の本来主旨である産業フロンティア開拓指向を反映し、かつ当時の低迷していたわが国の経済産業事情からの要請もあり、第1期の成果を踏まえ、下記のような適用目標を想定して、マイクロマシン技術の体系化を目指して、各要素技術のシステム化に重点をおいて研究開発を行った。

- (ア) 発電プラント等の複雑な機器内部の狭小部における移動及び自立的な作業
- (イ) 生体内の狭小部における移動及び自立的な作業
- (ウ) 小型工業製品等の部品の生産作業

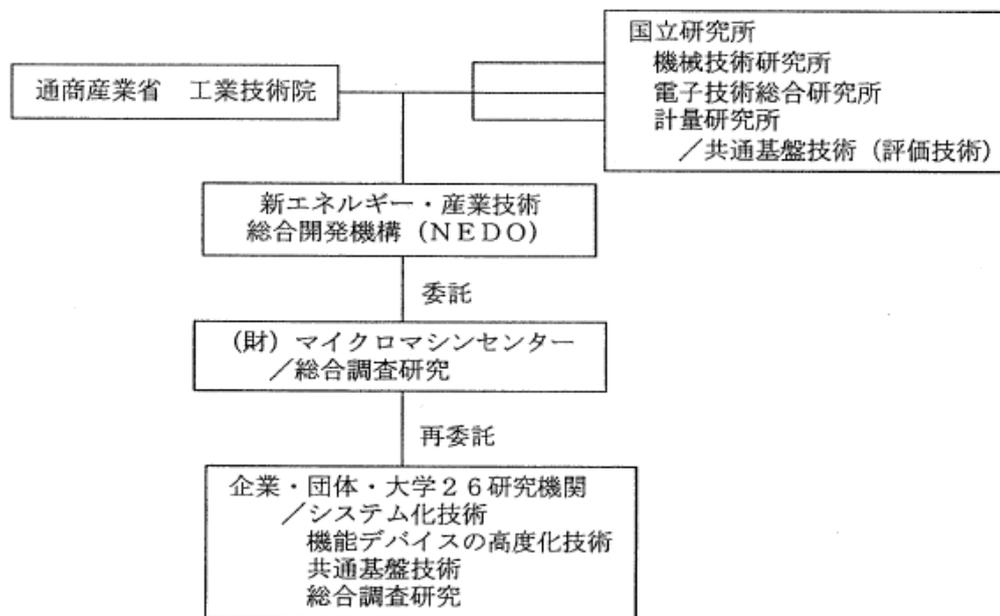


図2. 1. 1 マイクロマシン技術プロジェクト研究開発体制

開発推進体制は図2. 1. 1のごとくで、国立研究所、及び新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けた(財)マイクロマシンセンター、並びに同センターより再委託を受けた、企業・団体・大学の26研究機関が参画した。(財)マイクロマシンセンターは自ら総合調査研究を行うとともに、研究担当機関間の相互連携によるプロジェクト研究の円滑な推進を図るために、研究実施者よりなる研究開発部会を設けて、進行管理を行った。

各期における開発項目と研究開発目標を表2. 1. 1及び表2. 1. 2に示す。さらに、この開発項目を研究開発項目とそのサブ項目にブレークダウンした結果を、サブ項目毎の研究担当機関名と併せて表2. 1. 3に示す。

表 2. 1. 1 第 1 期における開発項目と開発目標

開発項目	研究開発目標
a) 微小機能要素技術	マイクロマシンの知能、環境認識機能、移動・推進機能、作業機能等の発現に必要な、IC の高密度実装化、センサー(視覚、触覚等)、および力、運動伝達機構のマイクロ化及び高機能化を図り、マイクロマシンの機能要素技術を確立する。機能要素の大きさは、数 10mm から数 mm 程度の大きさとする。
b) エネルギー供給技術	マイクロマシンへのエネルギーの外部供給法(光ファイバー等)および内部供給法(化学電池等)について、マイクロ化及び高効率化を図り、マイクロマシンのエネルギー供給技術を確立する。
c) システム制御技術	マイクロマシンの制御に必要な情報処理技術、通信技術、分散協調制御技術及び外部の人間とのインターフェイス技術等を開発し、マイクロマシンの制御技術を確立する。
d) 評価技術	マイクロマシンを構成する微小機能要素の特性等を計測・観測し、評価する技術を確立する。

表 2. 1. 2 第 2 期における開発項目と開発目標

開発項目	研究開発目標
e) システム化技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複雑な機器の狭小部に用いることを想定した管内自走環境認識用、細管群外部検査用及び機器内部作業用試作システム、及び小型工業部品の生産に用いることを想定したマイクロ加工・組立用試作システムの製作を通じたエネルギー供給技術、設計・製作技術等のシステム化技術の開発</li> <li>・個々の機能デバイスの統合、マイクロ化、高性能化による試作システムへの実装化技術の開発</li> </ul>
f) 機能デバイスの高度化技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・駆動技術である人工筋肉、連結技術であるマイクロジョイント、極低摩擦サスペンション、エネルギー技術であるマイクロバッテリー等の先進的な機能デバイスのマイクロ化、高性能化を図る技術の開発</li> <li>・センサ、レーザを複合化したマイクロレーザカテーテルの技術の開発</li> <li>・センサ、能動湾曲機能を複合化したマイクロセンサカテーテルの技術の開発</li> </ul>
g) 共通基盤技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロマシン群制御技術の開発</li> <li>・力、トルク等の計測技術の開発</li> <li>・微小機能要素等の評価技術の開発</li> </ul>
h) 総合調査研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロマシンシステム技術のトータルシステム像と将来の展開の明確化を図る。</li> </ul>

表2. 1. 3 研究開発項目と担当機関

<u>(1) システム化技術の研究開発 (管内自走環境認識用試作システム)</u>	
管内自走環境認識試作システムの研究	(株) デンソー
移動デバイスのシステム化研究	(株) デンソー
マイクロ波エネルギー供給・通信のシステム化研究	(株) デンソー
光エネルギー伝送のシステム化研究	三洋電機 (株)
マイクロ視覚のシステム化研究	(株) 東芝
<u>(2) システムヒ技術の研究開発 (細管群外部検査用試作システム)</u>	
細管群外部検査試作システムの研究	三菱電機 (株)
駆動デバイスのシステム化研究	三菱電機 (株)
減速・走行デバイスのシステム化研究	松下技研 (株)
マイクロコネクタのシステム化研究	住友電気工業 (株)
<u>(3) システム化技術の研究開発 (機器内部作業用試作システム)</u>	
機器内部作業試作システムの研究	オリンパス光学工業 (株)
多自由度湾曲管状ユニットのシステム化研究	オリンパス光学工業 (株)
補修用マニピュレータのシステム化研究	オリンパス光学工業 (株)
姿勢検出デバイスのシステム化研究	(株) 村田製作所
モニタリングデバイスのシステム化研究	オムロン (株)
<u>(4) システムヒ技術の研究開発 (マイクロ加工・組立用試作システム)</u>	
マイクロ加工・組立試作システムの研究	セイコーインスツルメンツ (株)
マイクロ組立技術の研究	ファナック (株)
マイクロ液体操作技術の研究	(株) 日立製作所
マイクロ光駆動技術の研究	(株) アイシン・コスモス研究所
マイクロ電気駆動技術の研究	(株) 安川電機
マイクロ搬送技術の研究	(株) 富士電機総合研究所
マイクロ検査技術の研究	三菱電線工業 (株)
<u>(5) 機能デバイスの高度化技術の研究開発</u>	
人工筋肉の研究	(財) S R I インターナショナル
マイクロジョイントの研究	(株) フジクラ
極低摩擦サスペンションデバイスの研究	王立メルボルン工科大学
マイクロバッテリーの研究	三菱マテリアル (株)
光駆動自由関節デバイスの研究	テルモ (株)
マイクロレーザカテーテルの研究	テルモ (株)
マイクロ触覚センサカテーテルの研究	オリンパス光学工業 (株)

(6) 共通基盤技の研究開発

分散マイクロマシンのパターン形成技術の研究	川崎重工業（株）
階層型群制御技術の研究	三菱重工業（株）
マイクロマシンの計測技術の研究	横河電機（株）
微小運動機構の評価	機械技術研究所
システム化技術の評価	電子技術総合研究所
3次元微細加工技術の評価	電子技術総合研究所
微小機能要素の評価	計量研究所

(7) 総合調査研究

メンテナンス用マイクロマシンの調査研究	(財) 発電設備技術検査協会
マイクロファクトリ化影響調査研究	(財) 電気安全環境研究所
マイクロマシン技術総合調査研究	(財) マイクロマシンセンター

註：上記担当機関名（当時）は一部の機関で現在、下記のように変更されている。

オリンパス光学工業（株）→ オリンパス（株）

松下技研（株）→ 松下電器産業（株）

セイコーインスツルメンツ（株）→ セイコーインスツル（株）

機械技術研究所 → 独立行政法人産業技術総合研究所

電子技術総合研究所 → 独立行政法人産業技術総合研究所

計量研究所 → 独立行政法人産業技術総合研究所

## 2. 1. 2 プロジェクトのアウトプットの概要とその評価

### (1) アウトプットの概要

表 2. 1. 3 の研究開発項目に対応した研究アウトプットの概要を表 2. 1. 4 に示す。

表 2. 1. 4 研究開発項目別主要開発アウトプット

1) 管内自走環境認識用試作システム	
研究開発サブ項目	主要開発アウトプット
管内自走環境認識試作システムの研究 (テンソー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動デバイス、エネルギー供給デバイス、駆動回路を組み込んだ 14mm φ の移動マシン</li> <li>・画像送信システム制御回路と 45mW 通信チップ</li> <li>・光電変換デバイス一体型マイクロ波アンテナ</li> </ul>
光エネルギー伝送システム化研究 (三洋電機)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザー光 2 積層光電変換素子、出力 1.8 倍対白色光</li> <li>・レーザー CVD 法立体的微細配線形成技術(10 μ m/s)</li> <li>・干渉抑制多重波長伝送技術(高強度レーザー光+通信用光)</li> <li>・光電変換デバイス温度上昇解析</li> </ul>
マイクロ視覚システム化研究 (東芝)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CCD 撮像素子、画素密度 40K/mm<sup>2</sup>(当初目標の 3 倍)</li> <li>・CCD 制御回路高密度実装技術、10mm φ 筐体収納可</li> <li>・多段化低電力静電アクチュエータによる広域観察</li> <li>・2-3mm φ 反射屈折光学系鏡筒、分解能 20 μ m</li> </ul>
移動デバイスシステム化研究 (テンソー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管内駆動シミュレーション、駆動電圧±15V、負荷 5g で、垂直移動 13mm/sec を実現</li> <li>・8mm φ アクチュエータ構造開発</li> </ul>
マイクロ波エネルギー供給・通信システム化研究 (テンソー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・24GHz 周波数領域エネルギー供給下通信システム</li> <li>・円形パッチアンテナ開発、大幅長さ短縮</li> <li>・トランスポンダー方式管内マイクロ波通信実現</li> <li>・2重パッチアンテナと整流・変調回路実装技術</li> </ul>
2) 細管群外部検査用試作システム	
研究開発サブ項目	主要開発アウトプット
細管群外部検査用試作システムの研究 (三菱電機)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1.6mm φ ×長さ 2mm 駆動デバイス、外形 5mm × 5mm × 1.5mm 減速・走行デバイス、</li> <li>・体格 5mm × 9mm × 6.5mm、重量 0.42g 単体マシン(自重の 2 倍以上押し、曲線走行可能)</li> <li>・マイクロマシン量産技術</li> <li>・各種デバイスの熱特性考慮設計法開発</li> <li>・オブジェクト言語使用シミュレータ開発</li> </ul>
駆動デバイスのシステム化研究 (三菱電機)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1.6mm φ ×長さ 2mm モータ使用駆動デバイス</li> <li>・垂直磁気異方性 80 μ m 厚円筒形 Nd-Fe-B 薄膜磁石</li> <li>・SiO<sub>2</sub> 絶縁膜多層化高性能高占積率コイル</li> </ul>

減速・走行デハイスのシステム化研究 (松下技研)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・寸法 5mm×3.5mm×1.5mm、重さ 0.14g、減速比 1/200 走行デハイス実現(不思議遊星歯車機構採用)</li> <li>・減速・走行デハイスの性能評価手法と減速方式の基本設計法の確立</li> <li>・マイクロ領域高精度加工技術(最小歯車、直径 0.47mm、厚さ 0.25mm 可能)</li> <li>・マイクロマシン高精度アセンブリ技術</li> </ul>
マイクロコネクタのシステム化研究 (住友電気工業)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製作精度 0.5μm 以下の犠牲層 X 線リソグラフィ技術</li> <li>・直径 2.5mm、厚さ 2mm 自動脱着・自己保持型コネクタ実現(電流 150mA/端子)</li> <li>・3 台の単体マシン連結による自動脱着、通電達成</li> </ul>
3) 機器内部作業用試作システム	
研究開発サブ項目	主要開発アウトプット
機器内部作業用試作システムの研究 (オリンパス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多機能集積化薄膜技術応用デハイスの 3 次元折畳み実装技術の開発</li> <li>・顕微鏡下微細操作高精度マニピュレータ開発</li> <li>・レーザー溶接デハイス搭載双腕補修用マニピュレータ製作(作動範囲 18mm×16.8mm、長さ 100mm 補修可)</li> <li>・2 倍長焦点深度組立て用光学顕微鏡実現</li> </ul>
多自由度湾曲管状ユニットのシステム化研究 (オリンパス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外径 8mm φ、3 湾曲部付き空気圧アクチュエータ</li> <li>・上記アクチュエータに観察機能、姿勢検出デハイス、モニタリングデハイス、溶接デハイス搭載可能性確認。</li> </ul>
補修用マニピュレータのシステム化研究 (オリンパス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒータ、歪センサ、温度センサ内臓双腕補修用マニピュレータ試作(位置決め精度 ±0.25mm)</li> <li>・冷却機構付き外径 3mm φ、長さ 10mm レーザ溶接デハイス試作、溶接作動性確認。</li> <li>・レーザー溶接デハイス搭載補修用マニピュレータ長さ 10mm の微小傷補修作業可能)</li> </ul>
姿勢検出デハイスのシステム化研究 (村田製作所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器作業システムに搭載可能マイクロジャイロ実現(寸法 4×3.5×1mm、角速度分解能 0.3 度/秒)</li> <li>・共振型マイクロジャイロ試作(角速度分解能 0.1 度/秒)</li> </ul>
モニタリングデハイスのシステム化研究 (オムロン)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スキャナ用高性能 PZT 圧電薄膜素子製作技術</li> <li>・発光素子、微小光学素子、マイクロ光スキャナ、受光素子を基板に積層集積化デハイス実現。</li> <li>・光走査式高精度物体計測技術の確立</li> </ul>
4) マイクロ加工・組立用試作システム	
研究開発サブ項目	主要開発アウトプット
マイクロ加工・組立試作システムの研究 (セイコーインスツルメンツ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デスクトップサイズのマイクロファクトリシステム開発(加工、組立、搬送、検査の工程に対応)</li> <li>・マイクロ電解加工における高精度距離制御技術</li> <li>・タンクステンプローブ 2 段エッチング技術(深さ 100μm 達成)</li> <li>・マイクロ光加工における 0.1μm の加工分解能の達成</li> </ul>
マイクロ加工・組立技術の研究 (ファナック)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超音波モータ両面駆動化達成(トルク性能 1.5 倍)</li> <li>・超音波モータの多層化成功(トルク倍増)</li> <li>・超音波サーボモータによる高分解能位置決め(アーム長 75mm 半径円周上、1.2μm 以内可能)</li> <li>・超精密加工により直径 10mm の円周上に 215 の V 溝回折格子の</li> </ul>

	加工成功。
マイクロ液体操作技術の研究 (日立製作所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低表面エネルギー化処理プロセス開発(撥水性皮膜処理、水接触角 171 度達成)</li> <li>・耐食性 PPS 樹脂製マイクロポンプ(外寸 20×20×30mm)で圧力差 10kPa、流量 34ml/分を達成。</li> <li>・超小型部品把持デバイス開発(把持力 60 μN)</li> <li>・超小型電磁チャック(外寸 3×3×1mm)試作 0.52 μN</li> </ul>
マイクロ光駆動技術の研究 (アイシン・コスモス研究所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光駆動ダイアフラムマイクロポンプ開発(数 μl/分の微量送液可能)</li> <li>・寸法 3.5×1.5×14mm のダイアフラムポンプ実現(ダイアフラム変位 15 μm、3n l/分実現)</li> <li>・マイクロファクトリシステム用塗布デバイス製作</li> </ul>
マイクロ電気駆動技術の研究 (安川電機)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・位置・速度制御可能マイクロサーボアクチュエータ実現(5mm φ、サーボ性能 20000rpm/20ms)</li> <li>・開発マイクロサーボアクチュエータによる 2 μm 分解能位置決め可能検査ユニット開発</li> </ul>
マイクロ部品搬送技術の研究 (富士電機総研)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1mm コイルダイオードモジュールよりなるアクチュエータ試作、作動性実証。</li> <li>・搬送ヘッドの速度減速による停止位置精度制御(100 μm 以内可能確認)</li> <li>・静電式搬送ユニットでも基本的 2 次元搬送動作実証</li> </ul>
マイクロ検査技術の研究 (三菱電線工業)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検知分解能 10nm 以下の光ファイバー式接触覚センサによる先端位置検出機構と 60 度首振り可能 2mm φ 環境認識デバイス実現。</li> <li>・輻輳角 0~5 度の視差可変機構付き立体スコープの実現</li> </ul>
5) 機能デバイスの高度化技術	
研究開発サブ項目	主要開発アウトプット
人工筋肉の研究 (SRI インターナショナル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電歪ポリマーアクチュエータ(歪 63%、圧力/密度比 0.8kPa-m<sup>3</sup>/kg、理論効率 80%、応答時間 1ms)</li> <li>・ユニモルフ型機能アクチュエータ(歪 25%、サイズ 0.3mm<sup>3</sup>、駆動電圧 300V)</li> <li>・ダイアフラム型機能アクチュエータ、0.15mm φ 62 個連結アレー作製</li> </ul>
マイクロジョイントの研究 (フジクラ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・貫通孔マイクロジョイント(口径 4.4 μm 角、深さ 480 μm、35 個/mm<sup>2</sup>、アスペクト比 109)</li> <li>・貫通孔金属埋め戻し、open 及び closed 法とも達成</li> <li>・open 法アスペクト比&lt;40、closed 法&gt;40 が有効</li> </ul>
極低摩擦サスペンション デバイスの研究 (王立メルボルン工科大学)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最適マイクロ磁気ベアリングの設計(電磁石と永久磁石の組み合わせ)</li> <li>・2.6mm φ 機械巻きコイル使用磁気ベアリングで性能・動作試験実施</li> </ul>
マイクロバッテリーの研究 (三菱マテリアル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リラクサー固溶 PZT 系圧電体使用電圧トランス作製(平面型、サイズ 26×4×1mm、昇圧比 250)</li> <li>・テープ形状自在二次電池試作(サイズ 155×30×1mm、直径 40mm 円柱巻き付け作動状態確認)</li> <li>・ソフト化学的手法により LiMnO<sub>2</sub> 系正極材料の高容量化達成(170mAh/g 以上)</li> </ul>
光駆動自由関節デバイスの研究 (テルモ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光電変換素子搭載小型 DC モータにおいて、レーザー光による非接触エネルギー供給技術成功</li> <li>・中心軸周りに 3 対の SMA コイル配置自由関節機構を設計、簡素な構造で傾斜角可変</li> </ul>
マイクロレーザーカテーテルの研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・石英ファイバー先端にレーザー励起固体レータを実装し、機能確認(サイズ</li> </ul>

(テルモ)	<p>2mmφ×2mm、出力 167mW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・光ファイバー先端部発熱対策、流体を用いた強制冷却により、発振後の出力低下防止</li> <li>・カテーテル(内径 1mm、外形 1.5mm)先端部に 4 個のセンシングデバイス搭載技術開発</li> </ul>
マイクロ触覚センサ カテーテルの研究 (オリンパス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧覚センサカテーテル(外形 2.5mm)、多機能集積化薄膜圧覚センサ 3 個を実装して動作確認</li> <li>・全方位湾曲機構を持つ外径 1.5mm の形状記憶合金カテーテル実現、湾曲制御操作確認</li> <li>・圧覚センサ押圧力依存特性改良</li> </ul>
6) 共通基盤技術の研究開発	
研究開発サブ項目	主要開発アウトプット
分散多マイクロマシンの パターン形成技術の研究 (川崎重工業)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・隣接移動体間の局所的情報交換による順次パターン形成アルゴリズムを考案</li> <li>・移動体台数、パターン所要台数、形成するパターン形状を変化させ実証検証を行い、5～10 台程度の移動体で、数分程度で成功率 90% 以上のパターン形成を実証した。</li> </ul>
階層型群制御技術の 研究開発 (三菱重工業)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・変態制御アルゴリズムでは、超多自由度(72自由度)のオクトパダの連続段差・狭隘部の移動を可能にする低負荷移動アルゴリズムを開発</li> <li>・サイズの異なる連続段差及び狭隘部移動アルゴリズムを開発</li> <li>・省配線多自由度オクトパダメカニズム構築</li> </ul>
マイクロマシンの計測技術の研究 (横河電機)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高速動作微小物体のレーザ光により二次元連続断面像を 1ms/断面で計測できた</li> <li>・微小力測定プローブの測定分解能 10μN を達成</li> <li>・単結晶シリコン赤外検出素子を作製し、光路長 45mm で、分解能 100ppm の CO<sub>2</sub> ガス濃度測定実証</li> </ul>
微小運動機構の評価 (機械技術研究所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高分解能を持つ新規な微小材料引張試験機、接合強度試験機、マイクロ機構トライボロジー特性評価試験装置開発</li> <li>・ナノメートルオーダーの突起による微小荷重下での摩擦力の効果的低減法を解明</li> </ul>
システム化技術の評価 (電子技術総合研究所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物体操作指令を多数台ロボットの制御指令に変換する 1 対多のインターフェイス構築</li> <li>・完全自立型小型ロボットを構築し、協調行動機能拡充のアーキテクチャーを考案</li> <li>・ステレオ顕微鏡システムにおける、マイクロ部品の 3 次元距離と形状の計測方法を開発</li> </ul>
3次元微細加工技術の評価 (電子技術総合研究所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電解放射エミッタと引出し電極及び収束レンズ電極を一体化した極微小収束電子銃を開発</li> <li>・前項電子銃に電界効果型トランジスタを内蔵させ電流揺らぎ ±5% 以内の安定収束ビームを開発</li> <li>・反応性ガス中での収束電子ビーム照射により、3 次元構造の形成ができることを実証</li> </ul>
微小機械要素の評価 (計量研究所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・加速度センサの校正技術として、加速度入力をレーザ干渉計で計測する手法を開発</li> <li>・最高周波数(30MHz)までの振動測定用レーザ振動計の校正技術を開発</li> <li>・記憶形状合金薄膜を二元同時スパッタリングにより可能にした。</li> </ul>

7) 総合調査研究	
研究開発プロジェクト項目	主要開発アウトプット
メンテナンス用マイクロマシンの調査研究 (発電設備検査協会)	・発電施設保全等に関するマイクロマシンの機能・性能調査 ・既設診断設備等とのマイクロマシンの対応調査
マイクロファクトリ化影響調査研究 (電気安全環境研究所)	・各種デバイスを集積化、マイクロファクトリ化による電磁干渉、放射性、等の要素機器に与える影響調査
マイクロマシン技術総合調査研究 (マイクロマシンセンター)	・マイクロマシンの生産分野、メンテナンス分野、医療分野における技術調査 ・本プロジェクトの効率的推進

## (2) 開発技術の評価

本プロジェクトの開発技術の評価は「マイクロマシン技術：プロジェクト評価(事後)報告書」(平成14年7月、産業構造審議会産業技術分科会 評価小委員会マイクロマシン技術評価ワーキンググループ、評価委員会座長 下河邊明 東工大副学長)に詳細に報告されているが、それを参考にし、若干の現時点での視点を加えて、本プロジェクトで得られた開発技術についての評価を整理する。

本プロジェクトの開発成果は、大きく分けて「要素技術開発」、「システム化技術開発」及び「これら技術の体系化」に関与している。この中で、マイクロマシン技術の体系化に挑戦したことは高く評価できるものの、実用的な視野からまとまった成果があったとは評価し難い。この原因は多分に、技術の体系化には当該分野の広範な技術そのものがある程度成熟した段階で可能なものであることに拠っており、今回のように、発展途上の技術に、しかも新規産業創出型産業科学研究開発制度の主旨にかなうような形での体系化を目指すことは、極めて困難であったと言わざるを得ない。

一方、「要素技術開発」、「システム化技術開発」においては、世界初ないし世界最高水準の開発成果が数多く得られている。その意味では本プロジェクトは十分成功したものであると断定される。もちろん、世界最高水準のアウトプットが即アウトカムに繋がるものではないが、プロジェクト終了後5年を経過した現時点では、後章で述べるように、本プロジェクトの波及効果は膨大なものがあり、「マイクロマシン技術」は正に21世紀のわが国の産業基盤を支える技術分野として育成されつつあると言える。

研究開発項目毎の評価は仔細に過ぎるので、総括的な評価になるが、

- 1) 管内自走認識用試作システムでは、直径14mmφの小型マシンを無索で管内走行させ、駆動エネルギーと同時に管内環境情報の授受の可能性を実証した点で、世界最高水準の成果といえる。
- 2) 細管群外部検査用システムにおいては、多数のマイクロマシンを自在に連結・分離し、システムマテックな作業行動を実現する道を開いた点も、世界初で評価できる。
- 3) 機器内部作業用試作システムでは、将来、複雑・狭隘な機器内部のモニタリング、溶接補修作業等が遠隔操作で可能になることを証明した点で、化学プラント分野や医療分野において、早期に実用化が期待できる成果を含むものとして評価できる。
- 4) マイクロ加工・組立用試作システムは、マイクロファクトリシステムを想定した技

術開発であり、既に多数の公私のファンドリーファームが稼動しており、D T F (Desk Top Factory)研究会(長野県諏訪地方で27企業・団体が参加)の活動のような動きもあり、最も実用化に近接した技術成果をあげたと言える。

- 5) 機能デバイスの高度化技術については、多数の研究サブ項目があり一概に論じられないが、人口筋肉の研究や自由関節デバイス、マイクロカテーテル、マイクロ触覚センサ等、今日のマイクロマシンの医療分野への進展の基礎となりうる技術開発がなされたことは優れた成果である。
- 6) 共通基板技術についても、多数の研究サブ項目があるが、それぞれに高度な成果を得ている。特にマイクロマシンのような新規な製品を作った場合、それらの機能・品質、さらには安全性等の評価技術が伴わないと実用化・汎用化に繋がらないが、その面の研究も着実に成果を得ている点が評価できる。
- 7) 総合調査研究は、本プロジェクトのように、当初、比較的基礎的な要素技術の開発からスタートし、途中で実用化を意識したシステム化開発に目標を切替えたこと、しかも関係実施機関が非常に多数であり、錯綜する開発進行管理を成功裏に達成し、今日の新規産業基盤の一つと呼ばれるまでに纏め上げた成果も大きなものである。

総じて、本プロジェクトの開発技術を評価するならば、先の「評価報告書」にあるように、「計画と比較した達成度は、要素技術については高く評価できるが、『マイクロマシン技術の統合的体系化』の観点からは時期尚早の感もあり不十分である。要素技術については、今後実用化にいたる可能性が高く、波及効果も期待できる。」に尽きると思われる。要素技術の実用化、波及効果、アウトカムへの繋がりは後章で説明する。

## 2. 2 マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発

### 2. 2. 1 プロジェクトの背景および技術開発の概要

#### (1) プロジェクトの背景

ごみ焼却炉など含塩素廃棄物の焼却に伴って、ダイオキシン類が発生し、国民の安全上大きな環境問題になっている。この問題に対処するため平成 11 年にダイオキシン類対策特別措置法が制定され、平成 12 年 1 月から施行された。しかし、この時点でダイオキシン類の測定法は日本工業規格 (JIS K 0311/排ガス、K 0312/排水) に規定されているものの、その測定には、約 1 ヶ月という長時間を要しており、発生源の適正な管理ないし設備改善の対応で、時間的、コスト的両面から困難に直面していた。

このため、ダイオキシン類の発生濃度を高速・正確に測定できる手法の開発が社会的な緊急課題であった。ダイオキシン類の測定に長時間を要するのは、主として極低濃度の試供ガスから検知成分を分離・抽出・濃縮する前処理が必要なことと、ダイオキシン類が多くの同属体・異性体 (ポリ塩化ジベンゾダイオキシン: 75 種、ポリ塩化ジベンゾフラン: 135 種、ポリ塩化ビフェニール: 210 種) を持ち、それらを分離同定しなければならないことにあった。

これらの測定操作は、主に微小流量の流体システムから構成されていることから、近年の化学システムや化学プロセスのマイクロチップ集積化の技術が適用できるならば、飛躍的な効率向上が考えられる。そこで、NEDO マイクロマシン技術プロジェクト (平成 3 ~ 12 年) で培われた手法から、マイクロ流体システムが当課題に展開できるならば極めて効率化が期待できるとする発想より、「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発」プロジェクト (略称: マイクロ流体プロジェクト) が設定された。

当プロジェクトは、ダイオキシン類測定法の効率化という、課題の公益性、緊急性、共通性から、要素技術、共通基盤開発の平成 12 年度 (2000 年度)、単年度のプロジェクトと位置付けされた。

#### (2) 技術開発の概要

本技術開発は、社会的ニーズの高い、ダイオキシン類測定の効率化にマイクロ流体システムを応用して、必要な要素技術を開発し、その有効性を検証することを目標にした。

開発内容は、ダイオキシン類測定の複雑多岐な前工程を、分離、抽出、濃縮等の単位要素工程に分解整理し、各工程をマイクロ流体デバイスに置き換えた。これらを組合わせてシステムとし、JIS に準拠したダイオキシン類測定の前処理工程の飛躍的な効率向上を図ることにより、測定時間の大幅な短縮、コスト低減を実現する測定システムを開発することである。

研究開発の実施体制は図 2. 2. 1 に示すように (財) マイクロマシンセンターの下にダイオキシン測定システム化研究プロジェクト室を組織し、ダイオキシン類測定前処理工程用のマイクロ流体システムのシステム仕様検討と、全工程に対応するマイクロ流体デバイスの個別仕様を検討した。研究の実務は (株) 日立製作所、オリンパス光学工業 (株)、三菱電機 (株)、住友電気工業 (株)、(株) デンソーの 5 企業に再委託して実施された。

研究開発の推進管理は、財団法人マイクロマシンセンターの技術委員会の下に「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発」研究推進委員会を設置して行った。当会委員は委員長庄子習一（早稲田大学理工学部教授）他、委員9名、オブザーバー1名（NEDO産業技術開発室）、事務局3名（財団法人マイクロマシンセンター）で構成されている。

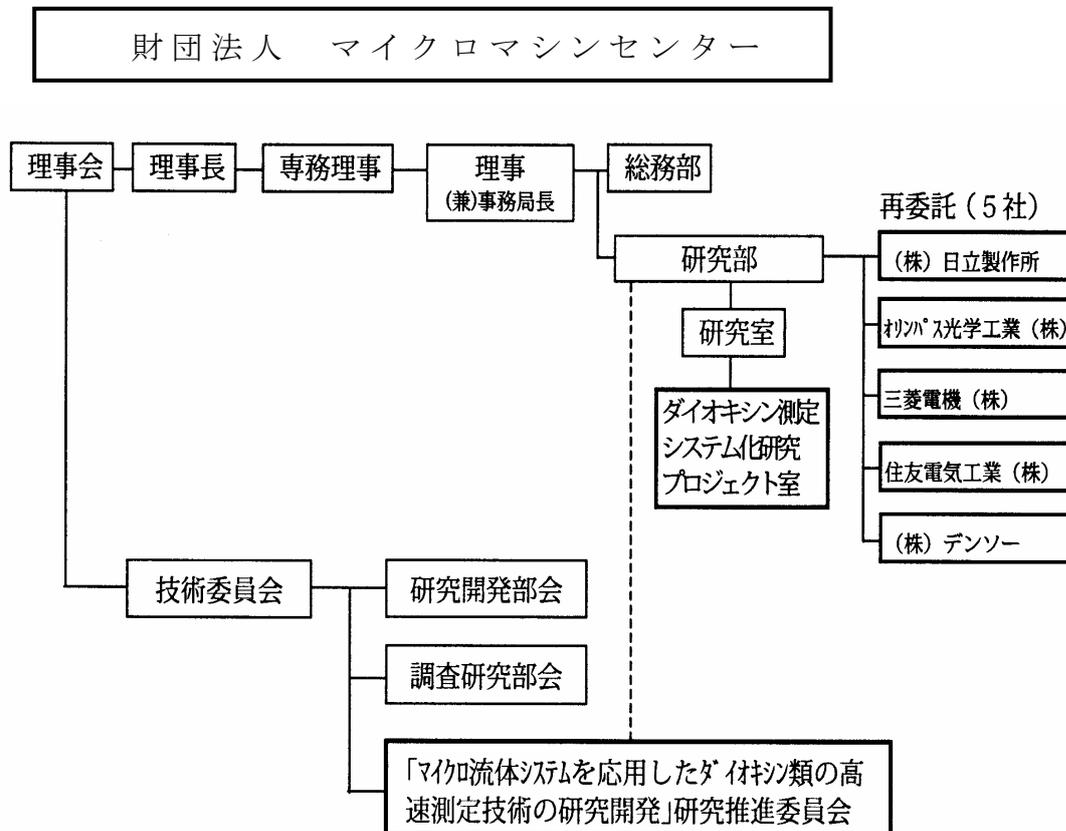


図 2. 2. 1 ダイオキシン類の高速測定技術の研究開発の実施体制

本研究開発事業は大きく、1) ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討、2) マイクロ流体デバイスの試作・評価に別れるが、研究項目とその研究目標を表 2. 2. 1 に示した。なお、表中の研究項目欄に担当研究機関名を示した。

表 2. 2. 1 研究開発項目と研究目標

研究開発項目	研究目標
1) ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討 (マイクロマシンセンター)	①ダイオキシン類測定前処理工程用のマイクロ流体システムのシステム仕様提示 ②全てのマイクロ流体デバイスの個別仕様提示 ③システム要求を満たすマイクロ流体デバイスの実現に必要な要素技術の明確化

2) マイクロ吸収・液液抽出・濃縮 デバイスの研究開発 (日立製作所)	① マイクロ吸収デバイス開発 (微細穴構造製作技術、数 10 $\mu\text{m}$ 以下の気泡生成) ② マイクロ液抽出デバイス開発 (シースフローレイ流路製作技術、幅 10 $\mu\text{m}$ 以下のシースフロー形成) ③ マイクロ濃縮デバイス開発 (微細流路構造製作技術、厚さ 100 $\mu\text{m}$ 以下の液膜化) ④ 簡易評価技術開発 (大気圧化学イオン化分析技術による簡易評価技術開発)
3) マイクロ抽出デバイスの 研究開発 (オリンパス光学工業)	① ソックスレー抽出と脱水デバイスを想定した温度制御機構付・抽出・環流デバイス(サイズ数 10mmX 数 10mm) の開発 ② 抽出反応を加速する超音波攪拌掛乱と流体制御用マイクロバルブの開発
4) ダイオキシン液体捕集部冷却 デバイスの研究開発 (三菱電機)	① 高温排ガス冷却のための高効率能動的熱輸送技術開発(サーマルポンプシステム) ② マイクロ冷却デバイス開発 (冷却 5 $^{\circ}\text{C}$ 以下、厚さ 1mm 以下)
5) 温度分布測定デバイスの 研究開発 (住友電気工業)	① 光による温度測定技術開発 (測定スポットサイズ 10 $\mu\text{m}$ 以下) ② 高速・多点測定用光スイッチ開発 (幅 1mm 以下、スイッチング速度 5ms 以下)
6) 流路加工技術の研究開発 (デンソー)	① 流路加工の要素技術開発 (溝幅数 $\mu\text{m}$ ~ 100 $\mu\text{m}$ 、深さ 50 ~ 150 $\mu\text{m}$ の溝形で幅 +0.2 $\mu\text{m}$ [溝幅 10 $\mu\text{m}$ で誤差 2%] 以下の精度) ② コネクタのデットボリューム低減、嵌め合いがたつき防止方法の検討 ③ シリカ多孔質薄膜によるダイオキシン吸着の可能性検討

## 2. 2. 2 プロジェクトのアウトプットの概要とその評価

### (1) アウトプットの概要

研究開発項目に対応した研究アウトプットの概要を表 2. 2. 2 に示す。

表 2. 2. 2 研究アウトプットの概要

研究開発項目	研究目標
1) ダイオキシン類測定前処理用 マイクロ流体システムと 構成デバイスに関する検討 (マイクロマシンセンター)	① 3 種類のマイクロ流体システム構成を考案し、システム仕様を設定。 ② 各要素工程に必要な機能・性能を検討し、吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイスの機能仕様を設定 ③ デバイスの成立に必要な微細構造体加工技術や吸着ビーズのハンドリング技術等の技術課題の抽出を実施
2) マイクロ吸収・液液抽出・濃縮	① 直径 40 $\mu\text{m}$ の微小気泡の連続生成を確認、既存器具に

<p>デバイスの研究開発 (日立製作所)</p>	<p>対して7倍の吸収効率を確認          ②数値解析を活用した試作により幅<math>8\mu\text{m}</math>のシースローを形成          ③液膜厚さ<math>100\mu\text{m}</math>オーダーの濃縮デバイスを開発。<math>400\mu\text{m}</math>の流路で現行30分強→3分の濃縮時間短縮が可能なことを確認          ④イオントラップへの導入部の改良により、検出下限値が13倍向上</p>
<p>3)マイクロ抽出デバイス の研究開発 (オリンパス光学工業)</p>	<p>①試作デバイスによる抽出溶媒(純水とトルエン)の環流動作を確認することで、微小デバイスによる抽出動作が可能なことを原理的に確認、(サイズ<math>22\times 45\times 0.8\text{mm}</math>の模型デバイス)          ②直径<math>\phi 1\text{mm}</math>の振動子による音響流発生の確認と音場強度分布等の基礎データを取得、幅<math>200\mu\text{m}\times</math>深さ<math>20\mu\text{m}</math>の流路に対応する空圧駆動型マイクロバルブの動作を確認</p>
<p>4)ダイオキシン液体捕集部冷却 デバイスの研究開発 (三菱電機)</p>	<p>①機械的可動部の無い高効率なサーマルポンプを試作し、冷媒循環の特性評価等を実施し、要素技術を確立          ②複数流路にサーマルポンプを配した冷却デバイスで、冷却温度<math>5^{\circ}\text{C}</math>以下を確認。鋼基板相互の封止技術を確立し、厚さ<math>0.75\mu\text{m}</math>を達成</p>
<p>5)温度分布測定デバイスの 研究開発 (住友電気工業)</p>	<p>①蛍光体を利用し、スポットサイズ<math>120\times 150\mu\text{m}</math>楕円の温度測定を達成          ②幅<math>0.8\text{mm}</math>、スイッチング速度<math>1.3\text{ms}</math>、且つ低電圧駆動、低反射ロスミター(<math>1.9\text{dB}</math>)の性能を達成</p>
<p>6)流路加工技術の研究開発 (テソー)</p>	<p>①幅<math>10\mu\text{m}</math>、深さ<math>50\mu\text{m}</math>の高アスペクト比のICP流路加工において、溝幅の拡大をほぼ0にできた。          ②流量への影響(デット体積)が無く、嵌め合わせ作業が可能なクリアランス(嵌め合いがたつき)5%であることを確認          ③吸着性評価実験の結果、既存吸着剤に対してダイオキシンの吸着性能が劣ることを明らかにした。</p>

## (2) 開発技術の評価

本研究開発の評価は「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発」事後評価報告書(平成15年2月、NEDO技術評価委員会、評価分科会長:立命館大学教授 田畑 修)においてなされている。同報告書によると、総合評価として「本プロジェクトの要素技術開発が国際的に高い水準で行われた点は評価できる。その一方で、ダイオキシン類の高速前処理システムを構築し事業化の見通しが得られたとは言い難い。」としている。

すなわち、このプロジェクトでは先行して行われたマイクロマシン技術プロジェクト(平

成3～12年度)で培われた手法から、マイクロ流体システムを前処理を含めたダイオキシン類の分析に展開して、ダイキシン類分析を高度に効率化することを目的にした。この開発は、要素技術開発においてはかなり高度な研究目標が設定され、それらは殆どが達成されたが、ダイオキシン類の高速分析システムとしては完成を見ていない。

この理由はプロジェクトが単年度開発であり、時間的に各単位要素技術の開発で終了せざるを得なかったことによる。前記報告書も指摘しているように、完全な実用化を達成するには3年の実施期間が必要であったと言える。この点では、プロジェクトの企画立案に難点があったことを意味する。しかし、一方ダイオキシン類の測定手法の開発は、JIS法のようなガスクロマトグラフ/質量分析ではなく、他の測定原理に基づく測定法の開発もいくつか進められていた。それらの中で、生化学原理を応用したバイオアッセイ法が、簡便でかつ低コストであると評価され、需要サイドではこの手法の開発・実用化が主流となり、市場ニーズの変化により、当プロジェクトの意義が低下するという情勢変化があった。したがって、かりに当プロジェクトが完全実用化を達成したとしてもその市場性は低いといわざるを得ない。

しかしながら、当プロジェクトで開発された要素技術であるマイクロ流体デバイスは、広く、複雑な化学反応プロセスにおける気-液、液-液、固-液間の物質移動や抽出液の濃縮、あるいは各種環境化学物質測定の前処理において、マイクロ化学チップとしての展開が可能であり、その波及効果には大きなものが期待できる。

一例を上げると、後発のNEDOプロジェクトである「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」(平成15～17年度、リーダー：京都大学教授 吉田潤一、通称：マイクロリアクタープロジェクト)には当プロジェクトで得られた“マイクロ流体操作技術”が全面的に採用されている。したがって、当プロジェクトは費用対効果の視点から見ても(プロジェクト費用：498百万円)決して低いものではない。

## 2. 3 MEMSプロジェクト

### 2. 3. 1 プロジェクトの背景および技術開発の概要

#### (1) プロジェクトの背景

21世紀がスタートして、工業社会のグローバル化や製造業におけるアジア諸国の台頭等、我が国の企業を取り巻く環境が厳しさを増す中で、製造業の高付加価値化による競争力の強化が急務となっている。

この観点から、情報通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野において、小型・高機能で省エネ性に優れた高付加価値部品の製造を可能とするMEMS（Micro Electro Mechanical Systems、微小電気機械システム）技術に対し、我が国を支える新基盤技術としての期待が高まっている。

MEMSは、自動車用加速度センサやインクジェットプリンタのヘッド等一部の分野で既に実用化が始まっており、MEMSを活用した製品は世界で約5,000億円の市場を形成していると推定されている。今後は、光通信や高速無線通信といった通信分野、血液検査や環境計測等の化学・バイオ分野等の新しいMEMSの応用分野を中心に、2010年までにその市場は2兆円程度に成長すると見込まれている。

しかし、一方で、この新しいMEMSは、現在実用化されているMEMSと比べて更なる高性能化や構造の複雑化等が要求されると考えられる。このようなMEMSの実用化を図るためには、深さ方向の高精度な加工や複雑なパッケージング等に代表される高度なMEMS製造技術の確立が不可欠である。また、今後、MEMS技術をより多様な分野の製品に活用し、大きな市場を形成していくためには、このような高度なMEMS製造技術を多様な主体に提供可能とする社会環境整備が重要である。

以上の観点から、今後比較的短期に大きな市場が形成されると期待されるMEMS（RF（Radio Frequency、高周波）-MEMS、光MEMS、センサMEMS）の実用化に必要な製造技術を開発するとともに、それらの開発技術を多様な製品製造に提供可能な体制の整備（ファンドリー事業として展開可能）を目標に「MEMSプロジェクト」が、平成15年度から、3年計画で実施された。

本プロジェクトはNEDOの助成事業（助成率1/2、一部委託事業/大学関係）として実施され、3年間で予算総額は約37億円であった。

#### (2) 技術開発の概要

本事業では、前述のように早い時期に新市場を創生する分野として、RF-MEMS、光MEMS、センサMEMSの3分野を選定し、開発課題を次のように決定した。

- 1) RFスイッチ製造技術の開発
- 2) 光可動ミラー製造技術の開発
- 3) 超小型MEMSセンサ製造技術の開発
- 4) MEMSデバイスの研究開発

究開発の実施体制は図2.3.1に示す。ただし、委託事業体制の実施は平成17年1月以降である。また、研究開発の運営管理体制は図2.3.2に示した。

1. 助成事業



2. 委託事業

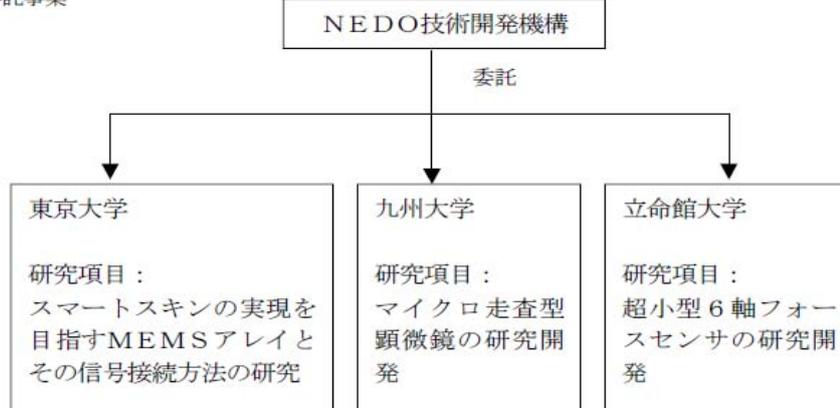


図 2. 3. 1 研究開発実施体制



図 2. 3. 2 研究開発の運営管理体制

運営管理体制における、技術検討会は立命館大学 杉山進教授を委員長として、当分野の学識経験者 6 名で構成されており、委員会は 2 回／年開催された。

研究課題毎の研究項目の目的と目標を助成研究分について、表 2. 3. 1～2. 3. 3 に、委託研究分を表 2. 3. 4～2. 3. 6 に示した。

表 2. 3. 1 RF スイッチ製造技術の開発の研究項目と目的及び目標

研究項目	目的	目標
1) 高精度 3 次元加工技術開発	・絶縁膜、シリコン加工形状、電極金属成静膜のそれぞれの高精度加工を実現する。	・加工精度±1%以下を実現する。
2) 接点固着防止技術開発	・超長期開閉寿命を実現する。	・10 億回以上の接点开閉を実現する。
3) 低損失パッケージ技術開発	・低損失パッケージを実現する。	・10GHz での伝送損失が 0.1dB 以下となるパッケージを実現する。

表 2. 3. 2 光可動ミラー製造技術の開発の研究項目と目的及び目標

研究項目	目的	目標
1) 高精度 3D 加工技術開発	・ミラーの光学特性を向上するために、ミラー表面をナノ精度の粗さ、リに仕上げる高精度加工技術を開発する。	・表面粗さの絶対値が、100 $\mu\text{m}$ 角平方の面積に渡って PV 値で 50nm 以下。 ・ターゲット A: テンバイスミラーリ量が 100 $\mu\text{m}$ 角平方の面積に渡って PV 値で 1.5nm 以下 ・ターゲット B: テンバイスミラーリ量が PV 値で 6nm 以下。
2) 高精度制御技術開発	・微小ミラーを高精度かつ自由に角度制御する技術を開発する。	・微小可動ミラーを 2/1000 度以下の精度で自由に角度制御することを可能とするセンサ・回路集積化加工技術、及び高精度制御技術を構築する。
3) 信頼性・計測・評価技術開発	・実用上十分な駆動信頼性を確保するため、信頼性を含む計測・評価技術を開発する。	・常温にて $10^{10}$ 回以上の駆動信頼性を有する高精度微小可動ミラーを実現する。
4) 光ミラーアレイモジュール製作	・光学的な位置合わせ精度を確保した光 SW 専用のインターフェイスとモジュール全体の信頼性を確保するためのケーシング技術を開発する。	・MEMS ミラー及び空間光学系からなるモジュールを製作し、波長選択スイッチ (WSS) 機能を実現する。

表 2. 3. 3 超小型MEMS センサ製造技術の開発の研究項目と目的及び目標

研究項目	目的	目標
1)貫通配線・電極形成技術の開発	・センサウエハの電気信号を外部に取り出す為のウエハ貫通配線・電極を形成する。	・孔径 $\phi 10 \mu\text{m}$ 、深さ $500 \mu\text{m}$ ・量産に適した工程の構築
2)シリコンウエハ低温接合技術開発	・シリコンウエハを、低温度、高精度で接合するウエハ接合技術を開発する。	・接合温度 $25^\circ\text{C}$ ・アライメント精度 $\pm 2 \mu\text{m}$ ・量産に適した工程の構築
3)センサ・回路一体化実装技術の開発	・MEMS 技術によって作られたセンサと信号処理 IC チップを、低ストレスで一体化する。	・バンパ 接合温度 $25^\circ\text{C}$ ・バンパ 径 $30 \mu\text{m}$ ・量産に適した工程の構築
4)MEMS ウェハレベルパッケージング-貫工程開発 (a)3軸加速度センサ	・ウェハレベルパッケージング技術による MEMS センサの小型化検証	・パッケージ/チップ 体積従来比 1/10 以下、感度: $0.5 \pm 0.05\text{V/G}$ 、オフセット電圧: $1.5 \pm 0.06\text{V}$ 、他軸感度: $\pm 2\%$
(b)ジャイロセンサ	・ウェハレベルパッケージング技術による MEMS センサの小型化検証	・パッケージ/チップ 体積従来比 1/10 以下、感度: $10\text{mv/dps}$ 以上、精度: $\pm 1\text{dps}$ 以下

表 2. 3. 4 スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究の研究項目と目的及び目標

研究項目	目的	目標
1)アクチュエータアレイデバイスの製作	・多数のアクチュエータを持つデバイスを生産性良く製作するプロセス ・アレイ化マイクロアクチュエータの電気的信頼性評価計測手法 ・2次元カンチレバー・アクチュエータアレイの作製	・シリコンのバルク加工で 500 個以上のアクチュエータを持つデバイスを 10 個以上作製 ・電気的測定のみで、アレイ化マイクロアクチュエータの信頼性を評価する。 ・表面マイクロ加工で 1000 個以上のアクチュエータを持つデバイスを作製
2)アレイデバイスの分散制御法	・スマートスキン概念に基づくセンサ・アクチュエータ集積システムの分散制御 ・2次元カンチレバー・アクチュエータアレイとフォトダイオードアレイとの積層化によるフィードバック制御	・アクチュエータアレイデバイス上の物体の位置を検出しそれを動かす分散制御を実現する。 ・2次元カンチレバー・アクチュエータとフォトダイオードアレイを積層集積しフィードバック制御を実証する。
3)回路チップとの信号接続法	・高電圧制御回路の集積化によりアクチュ・アクチュエータアレイを高機能化する。	・高電圧制御用 IC チップをアクチュエータアレイと集積し信号線を接続する。

表 2. 3. 5 マイクロ走査型顕微鏡の研究開発の研究項目と目的及び目標

研究項目	目的	目標
1) 積層タイプマイクロ走査型顕微鏡試作	・マイクロ走査型顕微鏡の製造を通しての光 MEMS 製造技術のレベル把握と技術レベル向上 ・走査型顕微鏡(プロトタイプ)の実現	・走査画像を得る。
2) 本体個別技術 1: シリコンミラー基板ファブ리케이션	・シリコン基板載置可能マイクロミラーチップの実現(3種類:X、Y軸回転Z軸方向変位ミラー)	・走査範囲<100 $\mu$ m 角以上、Z軸方向変位10 $\mu$ m 以上
3) 本体個別技術 2: LD, PD 実装	・光学素子の高精度、無損失ボンディング	・ボンディング精度: 数 $\mu$ m
4) 本体個別技術 3: レンズガラス基板	・フォトリソグラフィ技術でのマイクロ非球面レンズ形成(グレーマスクレンズ作製)	・レンズ形状誤差<数%
5) 本体個別技術 4: PD、ミラー駆動回路、制御回路等の電気回路	・基本的な電気回路、制御技術の確認	・正常動作
6) 本体個別技術 6: 個別基板の高精度アSEMBL(組み立て)	・MEMS 光学部品の高精度ボンディング	・積層基板の合わせ精度 10 $\mu$ m 以下(アクティブアライメントでも可)
7) 内蔵型変位センサの個別技術 1: 光素子、シリコン枠、シリコンベース、ガラスカバーの作製と個々の部品のボンディング	・MEMS に関する基本的な製造技術の確認と変位センサの実現	・実現可能。
8) 個別技術 8: 貫通穴電極	・MEMS パッケージング技術には不可欠な縦方向配線技術レベルの確認	・断線、ショートなし。
9) 個別技術 9: 血流センサ受光部	・ピンホールの作製と PD 素子上への載置(ボンディング)	・ピンホールサイズ: 穴径 40 $\mu$ m、長さ 400 $\mu$ m

表 2. 3. 6 MEMS 技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発の研究項目と目的及び目標

研究項目	目的	目標
1) MEMS 技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発	・ロボットハンドの指先に搭載可能な柔軟接触部を有する指先触覚センサを開発する。	・MEMS ファウンダリーを活用し、3mm 角以下の多軸フォースセンサチップおよび装着容易なパッケージ構造を持った触覚センサの実用化開発を行う。

## 2. 3. 2 プロジェクトのアウトプットの概要とその評価

### (1) アウトプットの概要

研究課題毎の研究項目に対応したアウトプットの概要並びに目標達成度を、助成研究分について表2. 3. 7～2. 3. 9に、委託研究分について、表2. 3. 10～2. 3. 12に示した。

表2. 3. 7 RFスイッチ製造技術の開発のアウトプットの概要と目標達成度

研究項目	アウトプットの概要	目標達成度
1)高精度3次元加工技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・絶縁膜の高精度成膜技術を取得</li> <li>・シリコン加工の高精度加工技術を取得</li> <li>・電極金属の高精度成膜技術を取得</li> <li>・高速・高精度計測評価技術を取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・絶縁膜成膜精度<math>\leq 0.93\%</math></li> <li>・シリコン加工形状<math>\leq 1\%</math></li> <li>・電極金属膜<math>\leq 0.92\%</math>となり、目標を達成</li> </ul>
2)接点固着防止技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高耐久材料データベースを構築、最適材料、成膜構成の抽出を実現</li> <li>・高耐久材料の表面処理、加工技術を取得</li> <li>・超長期接点寿命評価技術の取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接点開閉回数において、目標10億回<math>&gt;20</math>億回となり、目標を達成</li> </ul>
3)低損失パッケージ技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低損失パッケージ材データベースを構築</li> <li>・低損失パッケージ技術を取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10GHzでの伝送損失が<math>0.1\text{dB}&gt;0.09\text{dB}</math>となるパッケージを実現</li> </ul>

表2. 3. 8 光可動ミラー製造技術の開発のアウトプットの概要と目標達成度

研究項目	アウトプットの概要	目標達成度
1)高精度3D加工技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DeepRIEエッチング装置を高精度エッチング技術を獲得するとともに、デバイス構造に適した後加工技術を開発した。</li> <li>・ミラー薄膜成膜の内部応力を制御する技術を獲得し、ミラーデバイス構造、加工工程を改善することに成功した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面から垂直平面の凹凸がPV値で20nm以下のエッチングが可能となり目標を達成した。</li> <li>・ターゲットAのミラーデバイスの反りが曲率で1m以上(7量で1.25nm以下)、ターゲットAのミラーデバイスの反りが曲率20cm以上(7量で6.0nm以下)となり目標を達成した。</li> </ul>
2)高精度制御技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・容量センシング方式を選択して、ミラーデバイス専用のソッドICの設計を行うとともに、ミラーデバイスにICを実装一体化する技術開発を行った。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ターゲットBミラーデバイスの試作評価を行い制御角度、2mm度の制御分解能を確認した。目標を達成した。</li> </ul>
3)信頼性・計測・評価技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミラー反射面の光学特性の高温高湿耐性、ミラー配線の信頼性、電極</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミラーデバイスのヒンジ材料、3種類(ホリイット、Si-N,ホリシリコン)のミラーの駆</li> </ul>

	基板の絶縁耐性、ミラー駆動信頼性夫々の信頼性評価を行い、ミラーデバイスの信頼性評価技術を獲得した。	動信頼性評価を実施して、ほぼ $10^{10}$ 回以上の駆動信頼性があることを確認。目標を達成した。
4) 光ミラーレイ モジュール製作	・ミラーレイデバイスを試作し、光学部品と高精度に実装する技術を獲得した。	・MEMS ミラー及び空間光学系からなるモジュールを製作し、波長選択スイッチ(WSS)機能を実証し、目標を達成した。

表 2. 3. 9 超小型MEMS センサ製造技術の開発のアウトプットの概要と目標達成度

研究項目	アウトプットの概要	目標達成度
1) 貫通配線・電極形成技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリコンウエハを孔径 <math>\phi 10 \mu\text{m}</math> で貫通するエッチング技術と、上記の貫通孔へ Cu を埋め込むめっき技術による貫通配線・電極形成技術を取得</li> <li>・直列に接続した貫通配線・電極評価デバイスの試作評価により、歩留り、及び各種信頼性試験により特性変動なきことも確認し、量産に適した工程を構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・孔径 <math>\Phi 10 \mu\text{m}</math>、深さ <math>500 \mu\text{m}</math> 以下の貫通孔配線を形成。抵抗は、ほぼ理論値に合致しており、目標を達成</li> <li>・貫通配線の電気的特性、歩留まり、および信頼性の評価により、量産に適した工程を構築し、目標を達成</li> </ul>
2) シリコンウエハ低温接合技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリコンウエハを常温、高精度で接合する表面活性化ウエハ常温接合技術を取得</li> <li>・ウエハ接合特性評価デバイスの試作評価により、歩留り、及びボルト、シヤ強度特性の各種信頼性試験による特性変動なきことも確認し、量産に適した工程を構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリコンウエハ低温接合において、接合温度：常温 (<math>25^{\circ}\text{C}</math>)、アライメント精度 <math>2 \mu\text{m}</math> 以下を実現し、目標を達成</li> <li>・ボルト、シヤ強度特性、歩留まり、および信頼性の評価により、量産に適した工程を構築し、目標を達成</li> </ul>
3) センサ・回路一体化実装技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Au バンプを用いた表面活性化フリップチップ工法によりセンサ・回路一体化常温接合技術、及び金スタッドバンプによる小径バンプ形成技術を取得</li> <li>・バンプ接続抵抗評価素子を</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低温バンプ実装において、接合温度 <math>25^{\circ}\text{C}</math>、バンプ径 <math>30 \mu\text{m}</math> 以下を実現し、目標を達成</li> <li>・電気的特性、歩留まり、および信頼性の評価により、量産に適した工程を構築し、目標を達成</li> </ul>

	試作し、各種信頼性試験後に、接続抵抗変動なきことを確認し、量産に適した工程を構築	
4) MEMS ウェハレベルパッケージング-貫工程開発 (a) 3軸加速度センサ	・ウェハレベルパッケージングプロセスのデバイス応用技術を取得。	・パッケージ/チップ体積従来比 1/10 以下、感度 0.5V/G、オフセット電圧: 1.5V、他軸感度: ±2%以下となり、目標を達成
(b) ジャイロセンサ	・ウェハレベルパッケージングプロセスのデバイス応用技術を取得	・パッケージ/チップ体積従来比 1/10 以下、感度: 10mv/dps 以上、精度: ±1dps 以下となり、目標を達成

表 2. 3. 10 スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究のアウトプットの概要と目標達成度

研究項目	アウトプットの概要	目標達成度
1) アクチュエータアレイデバイスの製作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気相フッ酸犠牲層エッチング技術をファントリー企業に技術移転し、製作歩留まりを向上</li> <li>・アクチュエータの共振周波数を電気測定し、その変化から信頼性を評価</li> <li>・ガラス基板上に熱駆動カンチレバー・アクチュエータアレイのデバイス製作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・560 個のアクチュエータを持つ 17 個のチップを作製し、目標を達成</li> <li>・実際のアクチュエータアレイデバイスに適応し融合性を確認し、目標を達成</li> <li>・1024 個のアクチュエータを持つチップを作製し、目標を達成</li> </ul>
2) アレイデバイスの分散制御法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・搬送物体のエッジの検出およびエッジへのエアフロー印加という、フィードバック制御を行った。</li> <li>・アクチュエータと同じチップのフォトダイオードアレイと積層して、デバイス上の搬送物検出しフィードバック搬送した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・局所的分散情報処理に基づく制御が有効に働くことを示し、目標を達成</li> <li>・積層集積したセンサ・アクチュエータアレイで物体の検出とその情報に基づくフィードバック制御を行い、目標を達成</li> </ul>
3) 回路チップとの信号接続法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LSI を MEMS チップ中にうめこむドロップイン集積化手法で IC チップを一体化し、ワイヤボンディングで信号線を接続できた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高電圧制御用 IC チップをアクチュエータアレイと集積し信号線を接続でき、目標を達成</li> </ul>

表 2. 3. 1 1 マイクロ走査型顕微鏡の研究開発のアウトプットの概要と目標達成度

研究項目	アウトプットの概要	目標達成度
1) 積層タイプマイクロ走査型顕微鏡試作	・個々の部品製造について成功、 個々の部品組み立て技術に課題があることを確認	・総合的には不満足。部品組み立てを除く個別部品の製造は成功
2) 本体個別技術 1: シリコンミラー基板 フアアプリケーション	・シリコンミラー基板フアアプリケーション技術の 確立確認	・成功
3) 本体個別技術 2: LD, P D 実装	・得意な企業で行えば実現可能	・成功
4) 本体個別技術 3: レンズガラス基板	・得意な企業で行えば実現可能	・成功
5) 本体個別技術 4: PD、ミラー駆動回路、 制御回路等の電気回路	・個別に正常動作確認	・成功
6) 本体個別技術 6: 個別基板の高精度 アSEMBル(組み立て)	・MEMS 光学部品の高精度ボンディング 技術の不足を確認	・不成功
7) 内蔵型変位センサの 個別技術 1: 光素子、シリコン枠、シリコンベ ース、ガラスカバーの作製と 個々の部品のボンディング	・実現可能	・成功
8) 個別技術 8:貫通孔電極	・得意な企業で行えば実現可能	・成功
9) 個別技術 9: 血流センサ受光部	・得意な企業で行えば実現可能、シ リコン貫通穴形成技術確認、ボンデ ィング技術確認	・成功

表 2. 3. 1 2 MEMS 技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発の  
アウトプットの概要と目標達成度

研究項目	アウトプットの概要	目標達成度
1) MEMS 技術を用いた小型 多軸フォース・モーメント センサの開発	・MEMS ファウンダリーを活用し、2mm 角の 6 軸フォース・モーメントセンサチップ および装着容易なパッケージ構 造を持った 4 成分検出可能 触覚センサを開発した。	・4 成分検出、チップ寸法 2mm 角、センシング部のパッケージ寸法 5mm(W)×5mm(L)×3.3mm(T) となり、目標を達成した。

## (2) 開発技術の評価

本MEMSプロジェクト(H.15～17年度)は現在、専門家の委員による事後評価が実施中であり、その開発技術の内容評価についても公表されたものはない。しかしながら、前項表2.3.7～表2.3.12の研究項目毎のアウトプットの概要に目標達成度を示してあるが、委託事業の極く一部を除いて設定した目標を達成している。したがって、プロジェクト発足時に期待した効果が、今後顕在化するものと考えられる。

具体的には、助成事業の、①RFスイッチ製造技術の開発(オムロン(株)担当)では、高精度3次元加工技術開発において、量産レベルで加工精度1%を実現し、スイッチ接点固着防止技術開発においては、開閉回数10億回を達成している。担当企業では、この技術レベルは世界的にも極めて高いもので、性能の信頼性において他に比肩する技術は無い。本技術は将来電子機器の飛躍的なコンパクト化、高機能化に必須の新しいスイッチ素子として、平成19年度からでも本技術を採用した製品の商品化が始まり、大きな市場が期待できるとしている。

同じく、助成事業の、②光可動ミラー製造技術の開発(オリンパス(株)担当)においては、ミラー表面の平坦度をナノメートルレベルで高精度化し、可動精度を0.002度で可能にするとともに、その信頼性においては100億回の可動を保証するものになっている。この技術もこれから飛躍的に展開されるとする光MEMS機器に対し、基本的な高性能素子を提供するものになる。本技術の適用製品も近い将来に商品化が見込まれるであろう。

さらに、助成事業の、③超小型MEMSセンサ製造技術の開発(松下電工(株)担当)においては、体積比で1/10以下、コストで1/2以下を実現した圧力、加速度等の超小型センサを製造する一貫工程技術を開発しており、担当企業はその技術のファンドリー展開を宣言していることから、わが国のMEMS機器の小型化・効率化に即寄与する技術を開発したと言える。

委託研究においては、多数のアクチュエータを持つアレイの製造技術とその制御技術(東大)、光MEMS製造技術の効率化に寄与するマイクロ電子顕微鏡(九大)、人間型ロボットの指先等に搭載可能な触覚センサ(3mm角以下の6軸フォースセンサ、立命館大)をそれぞれに開発し、かつファンドリー展開を予定しており、わが国の今後のMEMS技術の高度化に大きく寄与するものである。

以上から、本プロジェクトにおける開発技術も十分に今後アウトカムが期待できる成果を得たものであると評価できる。

### 3. プロジェクトのアウトカム

#### 3. 1 技術的アウトカム

国家プロジェクトにより開発した直接的な技術、波及技術及び応用技術により実用化した製品または技術(以下、特別な場合を除き、技術を含め製品と略す)を、技術的アウトカムとして評価し、以下に3プロジェクトの実用化技術について整理する。

- A. マイクロマシン技術プロジェクト
- B. マイクロ流体プロジェクト
- C. MEMSプロジェクト

の開発テーマと開発技術、実用化製品を表 3. 1. 1 に示す。

##### 3. 1. 1 マイクロマシン技術プロジェクトの実用化技術

このプロジェクトでは、システム化技術、機能デバイス高度化技術、共通基盤技術の3大技術分野が設定され、それらが6個のサブテーマに分けられ、更に、合計34の小研究項目に分割されて、研究が進められた。

その結果、プロジェクト終了6年後の2006年度末(平成18年度末)において18の製品および技術が実用化され、更に5年後の2011年度末(平成23年度末)までには11の製品および技術が実用化される見込みである。その各製品について以下の各項目に従って整理する。

- ①それらが実用化されるまでのプロジェクトの技術的關係(技術蓄積と応用)
- ②具体的製品
- ③製品の特徴、既存市場での優位性
- ④製品イメージと利用例

なお、記載は原則としてプロジェクトのテーマ順とした。



## (1) 加速度センサ

### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトにおいて高密度実装技術の開発を担当し、この成果として、高レベルなMEMS技術、機械加工技術、シミュレーション技術、実装技術が蓄積された。センサ製品の実用化には要素技術としてSi加工技術、深堀加工技術、性能評価技術等の総合技術が要求されるが、特に深堀加工技術が実用化に寄与した。深堀加工技術は当時アスペクト比が10位であったが、このプロジェクトで20~80位を可能とする技術に挑戦し、実用化の見通しを得た。

### ②具体的製品

この開発技術を応用して、高性能の加速度センサ、圧力センサ、を実用化した。加速度センサは自動車に使用される。

### ③製品の特徴、既存市場での優位性

加速度センサは1989年頃から実用化されていたが、大きさが8mm×3mmと大きかった。この開発技術により1mm×1mm程度に超小型にすることができる。用途は自動車のエアバッグ、ABS装置(Antilock-Break-System:自動姿勢制御装置)等に採用されている。特に、エアバッグは従来高級車のみであったが、最近では普通車にも搭載可能となり、またエアバッグ以外の用途も発生し、加速度センサの使用数量も自動車1台に10個以上使用される車もあり、自動車用のセンサは他種のセンサを含めると膨大な数になり大きな需要になっている。この製品は技術的に世界でトップレベルであり、製品のシェアも大きい。

### ④製品イメージと利用例

自動車のエアバッグに使用されている。

## (2) 非冷却赤外センサ

### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの成果として、微細加工技術、高アスペクト比加工技術、薄膜残留応力評価技術、薄膜残留応力制御技術が蓄積され、新製品開発の源泉力となった。

特に、非冷却赤外センサは、赤外吸収構造をSiO<sub>2</sub>膜で形成するが、この膜の制御にプロジェクトの開発技術である薄膜残留応力制御技術を応用し実用化した。

### ②具体的製品

非冷却赤外センサ、加速度センサ、エアフローセンサ等がある。

### ③製品の特徴、既存市場での優位性

赤外センサは物体が放射する熱エネルギーである赤外線を二次元に配置された画素アレイで検知して映像化している。このセンサを内蔵した赤外カメラでは照明がなくても撮影が可能であり、昼夜を問わず監視が必要な監視装置等に利用されている。従来の量子型センサでは冷凍機による素子の冷却が必要であったが、冷凍機不用の非冷却赤外センサを開発した。この非冷却赤外センサによりカメラの小型化・低コスト化が可能となり、多種多様な赤外イメージングとその応用が可能となった。

また、特徴として、検出部にSOI(Silicon On Insulator)ダイオードを使用しているため、シリコンラインで作製可能であり、低コストで高い生産性が可能となった。

非冷却赤外センサは赤外線を画素の温度変化として検出するため、画素を基板から熱的

に分離させた断熱構造とすることが必要である。今回、SOIダイオードセンサの均一な断熱構造を実現するための表面/バルク複合型の新規なマイクロマシニング技術を開発した。これにより、画素ピッチ  $40\mu\text{m}$ 、画素数  $320\times 240$  のセンサアレイにおいて、温度分解能  $0.12\text{K}$  を実現した。

#### ④製品イメージと利用例

図 3. 1. 1 に製品化した赤外カメラ、センサチップとその画素構造ならびに赤外画像を示す。

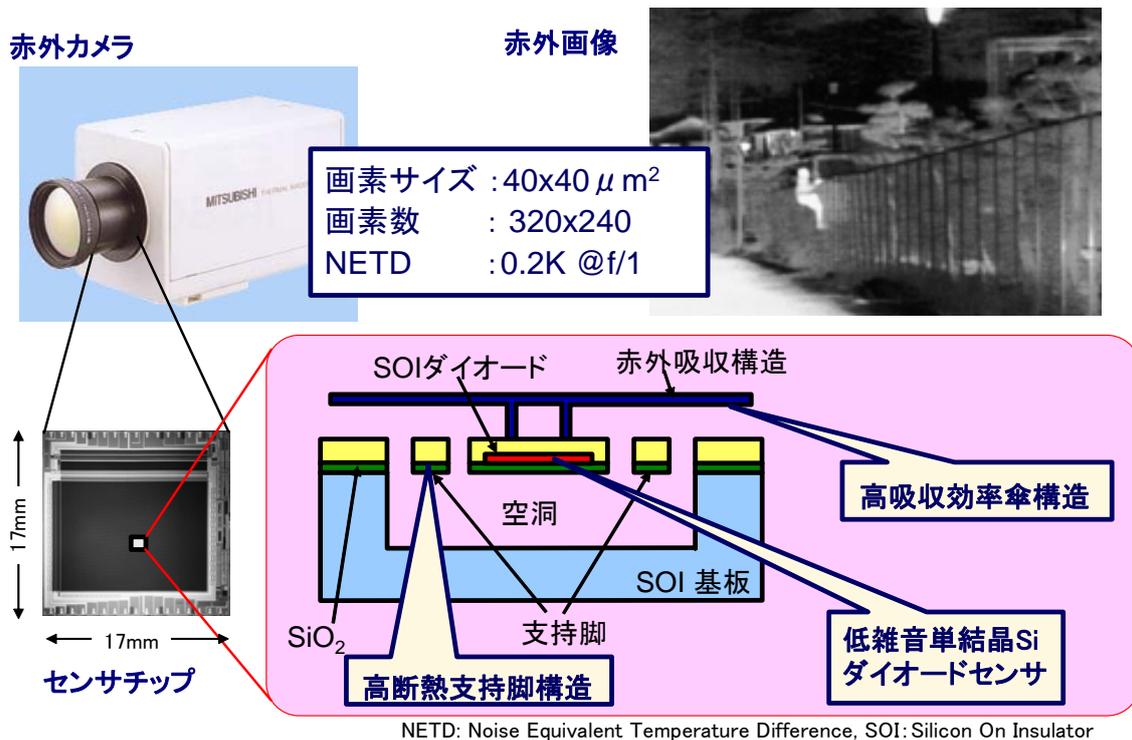


図 3. 1. 1 SOIダイオード式非冷却赤外センサ

### (3) 超音波診断用圧電素子

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの成果である、放射光を用いたLIGAプロセス(X線リソグラフィと電鍍を組合わせた微細部品製作プロセス)の高度化された技術を使用し、微細・高アスペクト比圧電セラミックス柱を樹脂に埋め込むことによって作製した。その結果、従来品より短パルス化、広帯域等の特徴を持つ複合圧電素子を開発した。

超音波複合圧電素子の特徴を以下に示す。

- ・広帯域化：比帯域が2倍以上向上(例えば3~20MHz)
- ・短パルス化：深さ分解能30%以上向上
- ・高変換効率：30%

#### ②具体的製品

超音波複合圧電素子を医療用の診断装置に組み込んだ超音波診断装置が開発され、上市されている。また、工業用の非破壊検査診断装置にも当素子が適用されている。

#### ③製品の特徴、既存市場での優位性

更に高周波域の小型発振器を開発し、胃の内視鏡に組み込み胃に隣接している肝臓や膵臓の診断も行える新機能を付加した超音波診断装置を他社と協力して製品化している。

本製品の实用化は、この素子を開発した企業と、医療機器を手がけている当該プロジェクトの参加企業とが協力して新機能を付加した超音波診断装置が完成した。

#### ④製品イメージと利用例

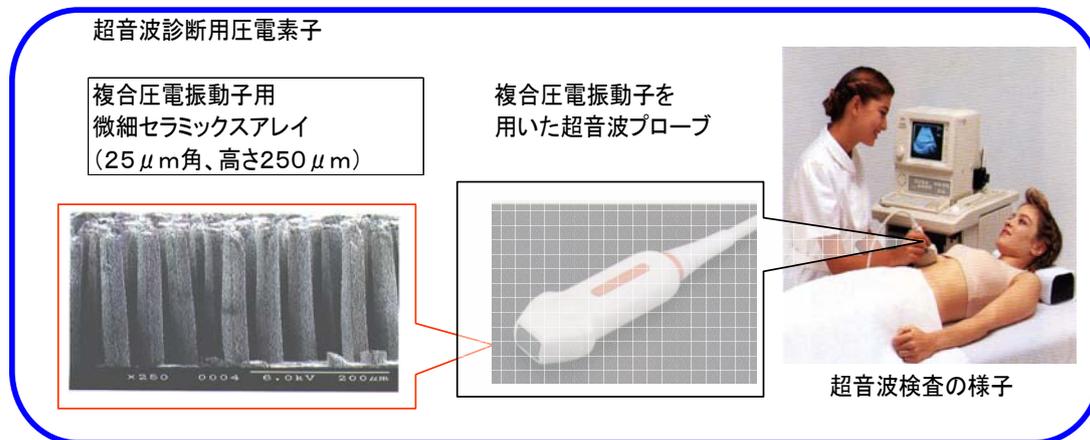


図 3. 1. 2 開発された超音波診断用圧電素子とそれを組み込んだ診断装置

#### (4) ICコンタクトプローブ(半導体検査針)

##### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトで開発した前記LIGAプロセスを用いて、超音波診断用圧電素子の他に、ICコンタクトプローブ(半導体検査針)も実用化した。モバイル機器の高性能化、小型化の進展は目覚しく、半導体を検査するコンタクトプローブにおいても狭ピッチ化、短尺化と品質ばらつきの低減が求められている。現在、コンタクトプローブは機械加工での製作が主流であるがこの方法では限界があり、当該プロジェクトの開発成果である先進LIGAプロセスの活用によりICコンタクトプローブの高性能化が可能になった。

##### ②具体的製品

半導体検査機

##### ③製品の特徴、既存市場での優位性

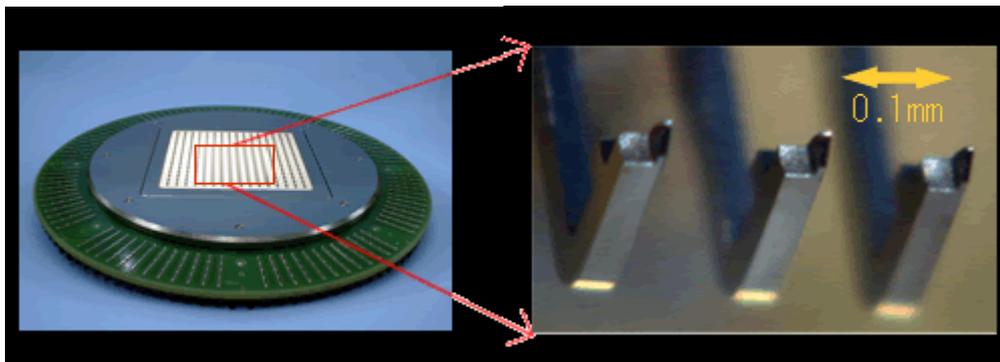
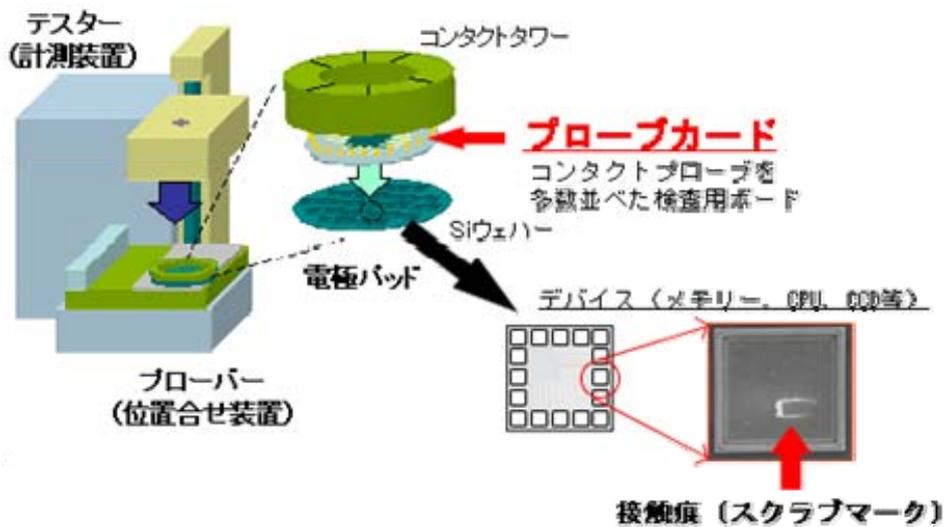
この装置は半導体の電気回路に電流が正常に流れるかどうかを検査する装置で、針の太さを従来の1/6にするとともに硬度を高めた。半導体基板に付く傷が1/4程度に小さくなり回路の高密度化に対応できる。放電加工の際に先端部に炭素の膜ができるため、硬度が後述のNi-Mn合金より1割程度向上し、耐久性もある。5000回繰返し使用後も先端部は折れなかった。LIGAプロセスはX線を光源としたリソグラフィを利用しており、回折がほとんどなくマスクパターンをサブミクロン精度で転写が可能で、かつ極めて側面垂直性が高いことが特徴である。

プローブの先端は鋭利にすることが不可欠であるが、LIGAプロセスだけでは先端部は鋭利にできないので、マイクロ放電加工(μ-EDM: Micro Electro Discharge Machining)を組合わせた新製造法を開発し、応用した。

製作する構造体の精度は面内 $< \pm 1 \mu\text{m}$ 、厚さ $< 2 \mu\text{m}$ (3s)を実現している。

#### ④製品イメージと利用例

製造した半導体デバイスの電極にコンタクトプローブで触れて通電検査する。



<http://www.sei.co.jp/liga/product/probe.html>

図 3. 1. 3 ICコンタクトプローブと計測装置への組込例

#### (5) 共焦点顕微鏡

##### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果であるMEMSミラーを共焦点レーザ顕微鏡のミラーに適用して、高性能化、高信頼性化を実現した。

##### ②具体的製品

共焦点顕微鏡

##### ③製品の特徴、既存市場での優位性

従来、機械的要素としてガルバノミラーを4kHzで動かしていたが、MEMSミラーを使うことによって機械的回転部分が無くなって制御性が良くなり信頼性が数倍向上した。

さらに通常モータ駆動では音を発生するが、MEMSミラーでは静かで使用環境が良くなる。これらの開発効果により、このタイプの共焦点レーザ顕微鏡ではトップシェアを確保している。部品の果たす機能は同じでも、作動原理は革新的に変化しており、本プロジェクトから進展したMEMS技術により当顕微鏡の要素技術が大きく躍進したと考えられる。

世界最高レベルの分解能や高い繰り返し性や、厳格なトレーサビリティ体系の採用など、高い信頼性を実現した。装置の事前準備や試料の前処理は不要で、リアルタイムに高解像観察、高精度計測、さらに明視野をはじめ、暗視野やレーザ微分干渉などの多彩な観察方法で、よりリアルな試料の解析が行える。

#### ④製品イメージと利用例

走査型共焦点レーザ顕微鏡

LEXTOLS3000

高分解能での観察と高い繰り返し性を実現した。世界で初めて明視野、暗視野、微分干渉観察を搭載。簡単に多彩な検査計測が可能になった



図 3. 1. 4 共焦点顕微鏡

#### 【主な特徴】

- ・高解像画像観察：0.12  $\mu\text{m}$  のラインアンドスペースを解像する観察性能
- ・平面測定：繰り返し性  $3\sigma (n-1)=0.02 \mu\text{m}$  以下の高精度平面測定
- ・段差測定：繰り返し性  $3\sigma (n-1)=0.05+0.002L \mu\text{m}$  以下の高精度段差測定
- ・粗さ測定： $R_{\text{max}}=0.1 \mu\text{m}$  レベルの非接触粗さ測定
- ・膜厚測定：1mm $\sim$ 1  $\mu\text{m}$  の透明膜厚測定

#### (6) 燃料電池用フローセンサ

##### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの成果である高度な薄膜評価技術を活用して、小型の熱式半導体フローセンサを開発した。熱式フローセンサに必要な発熱体と測温体の機能要素をそれぞれポリシリコン薄膜ヒータとポリシリコン-A1 薄膜サーモパイルで形成し、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$  等の誘電体薄膜で挟んだものをシリコン基板上に設置している。このセンサは 0.01m/s の微小流速を検出できる。

##### ②具体的製品

燃料電池用フローセンサ

MEMS フローセンサチップ付近の空気は、流れのない状態では、ヒータを中心とした温度分布が左右対称となり、流れを受けた状態では、ヒータの風上側の温度が低く、風下側が高くなり、温度平衡状態が崩れる。この温度差をサーモパイルの起電力差としてセンシングすることで質量流量に応じた流速を計測することができる。

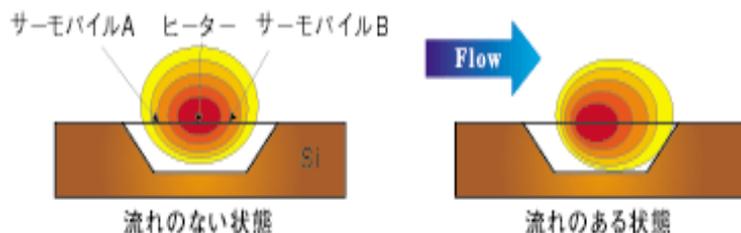


図 3. 1. 5 MEMS フローセンサの計測原理

### ③製品の特徴、既存市場での優位性

流量、流速を測定する方法としては各種あるが、化学反応を監視する用途では体積流量ではなく質量流量が重要となる。質量流量を直接検出する方法としては白金を用いた熱線式が一般的である。

熱線式フローセンサはMEMS技術を応用して半導体化すると非常に小型になり熱容量が小さく高感度で、消費電力が少なく、半導体プロセスで製造するため量産性に優れている。

熱式半導体のフローセンサの構成はシリコン基板に発熱体と、発熱体の上流下流にそれぞれ測温体を設置しており、従来の熱線式フローセンサの構成部品をワンチップ 1.5mm 角内に小型化集積したものである。

これを燃料電池フローセンサとして製品化し、家庭用燃料電池フローセンサとしての販売を予定している。

その他、燃焼制御用フローセンサ、医療麻酔用ガスフローセンサやフロー目詰りセンサとしても応用が期待できる。同様な手法で開発されたものに赤外線フローセンサがあり、非接触での温度測定を目的に、近く商品化の予定である。評価技術は研究開発を進める上で、方向を見極める最重要なキーテクノロジーであり、優れた評価技術が開発、実用化を促進し、研究開発期間の短縮に役立っている。

### ④製品イメージと利用例

小型サイズでさまざまな用途の高精度計測・制御を実現するMEMSフローセンサの用途は多様な展開が期待される。



図 3. 1. 6 MEMSフローセンサの用途例

### (7) ミニ生産システム

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果であるシステム設計技術、組立技術を活用して、ミニ生産システムの研究開発を継続していた。この技術をNEDOの関連プロジェクトである千葉コンソーシアムプロジェクトで更に前進させ、ミニ円筒研削ユニットを実用化した。

#### ②具体的製品

ミニ生産システム(ミニ円筒研削システム)

#### ③製品の特徴、既存市場での優位性

ミニ円筒研削システムの機器構成は搬送装置、直径・円筒度測定機器、超音波洗浄機器、ミニ研削セルに分かれており、このミニ生産システムは1000mmW×600mmL×1300mmHであり、主要部であるミニ研削セルの機械本体は200mmW×200mmL×190mmHでA4サイズに収まる大きさである。このミニ研削セルは従来の生産性や加工品質を維持しながら、従来の研削セルに比べて、重量：1/80、消費電力：1/5、床面積：1/30を達成した。しかも真円度、円筒度：1 $\mu$ m以下と従来の工作機械と同等またはそれ以上の精度を実現し、2003年より稼働している。この製品は当面自社内使用として活用する予定である。

#### ④製品イメージと利用例



図 3. 1. 7 ミニ生産システム(ミニ円筒研削システム)

### (8) 超精密5軸加工機

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

本プロジェクトの開発成果である超精密加工技術の適用により超精密5軸加工機を実用化した。その後、更に自社内で研究開発続け、現在では第3世代の加工機に育っている。この技術により得られる面粗度等の精度および品質は機械加工方式としては世界最高水準である。

## ② 具体的製品

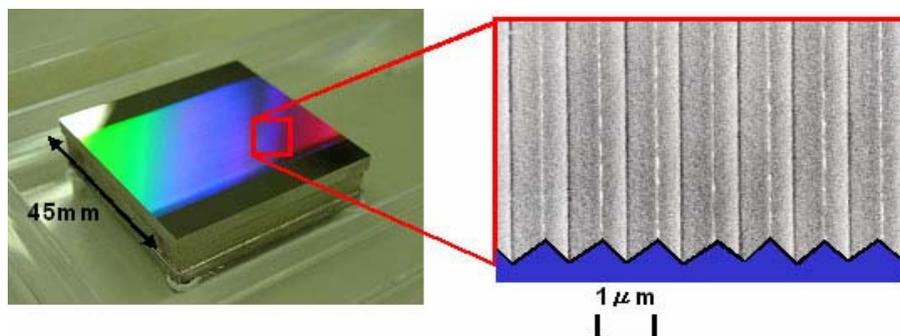
本技術を活かして超精密5軸加工機を実用化した。

## ③ 製品の特徴、既存市場での優位性

超精密5軸加工機は既に精密加工業界において使用されており、精密複雑形状金型の製造が可能となり、デジカメ部品、携帯電話用部品、DRAM製造部品、DVD部品等の大量生産に貢献している。この機械は生産財であることからその波及効果は広範囲にわたりナノ技術への影響度は大きい。デバイス製造には、半導体製造プロセスを発展させる方法と、機械加工の極限を追求する方法があるが、本技術は後者の機械加工技術をナノの領域まで進展させようとする一環であり、日本の強い分野である。

世界をリードしている本超精密5軸加工機に対する海外からの引き合いも多いが、戦略機械であるので貿易相手国は限られる。本超精密5軸加工機は面精度が要求されるマイクロ構造体、特に回折格子のような超精密溝加工を得意とする。回折格子はエッチング等による半導体製造技術やルーリングエンジンといった専用機械により製作されているが、これらよりも高い加工自由度を持ち、高精度な回折格子を簡便に加工できる。また、本加工機では単結晶ダイヤモンド工具によるミリング加工で $1\mu\text{m}$ ～数百 $\mu\text{m}$ 程度のV型溝を1mm程度の面粗さで、かつバリの発生がなく加工することができる。

## ④ 製品イメージと利用例



材 料 : Ni-Pメッキ、大きさ : 45×45mm、ピッチ :  $1\mu\text{m}$  V角度 :  $90^\circ$

溝本数 : 30,000本、加工時間 : 3時間

加工方法 : 高速引き切り加工 (シャトルユニット)

[http://www.fanuc.co.jp/ja/news/2005/0507/0507\\_robonanoaward.html](http://www.fanuc.co.jp/ja/news/2005/0507/0507_robonanoaward.html)

図 3. 1. 8 超精密5軸加工機及び加工例

## (9) 高性能エンコーダ

### ① プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトで開発した超精密マイクロ加工技術を活用してプラスチック製の高性能エンコーダを実用化した。超精密5軸加工機を用いて超精密に加工された金型を作製する。その超精密金型を高精度電動射出成形機に用いてプラスチックの射出成形を行うこと

で、高精度な高性能エンコーダを量産することができる。

② 具体的製品

高性能エンコーダ

③ 製品の特徴、既存市場での優位性

超精密加工機とプラスチック射出成型技術で製作した軽量プラスチック製エンコーダを搭載することにより、高性能で競争力に優れる小型サーボモータを上市した。

④ 製品イメージと利用例

工作機械の高速・高精度化とコンパクト化を推進する、高速・高精度・高効率のインテリジェントサーボシステムを構築した。



<http://www.fanuc.co.jp/ja/product/servo/alphai/index.html>

図 3. 1. 9 高性能エンコーダを組み込んだサーボモータ

(10) 形状記憶合金カテーテル

① プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトにおいて、複合加工技術を活用して、形状記憶合金コイルを開発した。この形状記憶合金コイルを用いたカテーテルの駆動技術は内視鏡へ応用されて製品化した。その後、この技術はカテーテル専門企業に譲渡し、そこで改良を加え、年間 20 本程度の売上げがある。

② 具体的製品

医療用カテーテル

③ 製品の特徴、既存市場での優位性

細孔径で高角度に曲がるので、狭いところの内視鏡として使用できる。

(11) フォトニック結晶ファイバ

① プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果である線引技術を活用して、対象を金属からセラミックスに変えてフォトニック結晶ファイバを製品化した。この技術は模式的にはレンコン状のファイバであり、多くのパイプを束ねて引くような線引技術が鍵となる。

## ② 具体的製品

天体観測用人工星(ガイドスター)装置に使用する特殊ファイバ

## ③ 製品の特徴、既存市場での優位性

天体観測においては大気の揺らぎによって星の画像がゆがむ。この揺らぎを補償するために補償光学装置を用いるが、それには観測したい星の近くに人工的にガイドスターを作って揺らぎ波面を補償する。このガイドスターは 589nm 波長のレーザ光を 90km 上空のナトリウム層に当てると、Na が発光する現象を用いる。ここでレーザ光を上空に照射するための装置として、フォトニック結晶ファイバが用いられる。また、その必要部分に多層膜コーティングを成膜して反射膜を作製することが必要であり、本プロジェクトの研究成果である多層膜技術も活用できた。このフォトニック結晶ファイバは国立天文台(ハワイ、すばる望遠鏡)、ヨーロッパ南天文台(チリ、Paranal Observatory)に納入している。

フォトニック結晶ファイバは現時点での世界での競争相手は海外 2 社のみである(現在、世界で製造できるのは、国内の当該社を加え 3 社である)。

フォトニック結晶ファイバは、10 年位以前より世界的に注目され、多数の科学者、技術者が研究に取り組んでいる。フォトニック結晶ファイバでは光が透過する際の減衰が少ないこと、透過する際の波形変形が少ないので、単波長を送る場合など当初の波長を維持し、高出力で伝送することが可能になる。将来は、通信技術の高度化に伴い多量に使われる可能性は大きい。

## ④ 製品イメージと利用例

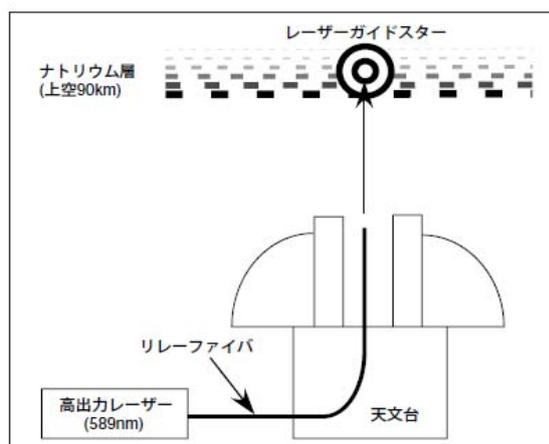


図 3. 1. 10 ガイドスターイメージ

<http://www.mitsubishi-cable.co.jp/news/pdf/040420.pdf>

## (12) 電池材料

### ① プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果である材料の材料評価技術を応用してリチウム電池の正極材料、電解質材料、負極材料を開発、製品化している。従来、単体性能は評価していたが、電池を組んだ使用条件での評価ができるようになった。

### ② 具体的製品

リチウム電池材料

### ③ 製品の特徴、既存市場での優位性

品質の安定した製品として販売している。

### (13) 薄膜温度センサ

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果である薄膜製造技術を活用してガスタービンの静翼の温度を測定する薄膜温度センサを実用化した。薄膜条件を選び、凹凸のあるタービン静翼上に信頼性の高い絶縁膜を施工し、積層化技術を応用して、薄膜温度センサを実用化した。

#### ②具体的製品

タービン翼温度測定用薄膜温度センサ

#### ③製品の特徴、既存市場での優位性

高効率大型発電タービン静翼の開発を目的として、タービン静翼の温度センサとして施工した。ガスタービン静翼は1000℃以上になり、従来この部分の温度測定は不可能であり、他の技術の組合せで推定していたが、この技術により高精度の温度測定が可能となった。測温精度が向上し、そのデータを基にタービン設計に反映させ、高効率タービンの開発に寄与している。本技術は自社内での利用である。

#### ④製品イメージと利用例



図 3. 1. 11 タービン翼温度測定用薄膜温度センサ

### (14) 高速共焦点レーザー顕微鏡

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果である形状計測技術を発展、活用して、従来に比べ100倍コマ測定が可能な高速共焦点レーザー顕微鏡を実用化した。

従来品は 360 コマのモータを使用して 30 コマ/秒程度であったが、モータの回転数を約 3 倍に上げて 1000 コマ/秒を達成した。プロジェクト期間中は振動問題が残ったが、プロジェクト終了後に振動問題も解決し実用化した。

## ② 具体的製品

高速共焦点レーザー顕微鏡

## ③ 製品の特徴、既存市場での優位性

この装置ができたことにより生きた細胞の動的研究が可能となり、バイオ分野でも革新的な貢献をした。例えばゲノムの研究において、細胞内の特定蛋白質の動きを観察するのに利用できる。また、特定の遺伝子の同定による特許出願、薬の調合にも役立つことになる。生細胞の研究方法は、GFP (グリーン・フルオレセンス・プロテイン) を用い、特定の蛋白質を光らせる方法が最も有望であり、この測定には本装置が最適である。

本装置を使用した測定が関係した論文は数百に及び、本装置による観察画像が Nature 誌の表紙を 2 回 (29 August 2002、28 August 2003) 飾っている。また、英文の海外引用文献に 11 回引用されており、世界の研究者に利用されており、学術的効果も大きい。共焦点レーザー顕微鏡の世界シェアは主要 5 社が占めており、当企業はトップではないが、高速共焦点レーザー顕微鏡としては、現在略 100% のシェアを確保している。

## ④ 製品イメージと利用例



図 3. 1. 12 高速共焦点レーザー顕微鏡 Model CSU22

静止画から 1000 フレーム/秒までコンピュータ制御可能である。

[http://www.yokogawa.co.jp/SCANNER/CSU22\\_1.html](http://www.yokogawa.co.jp/SCANNER/CSU22_1.html)

細胞分裂、シグナル伝達、小胞輸送、微小管ダイナミクス、微小循環等、ダイナミックな動きを高精細に観察できる。

高画素数 CCD カメラによる一枚の撮影で (アベレーシングなし) 高精細な画像を記録し、短時間での三次元構築用データ取得も可能である。

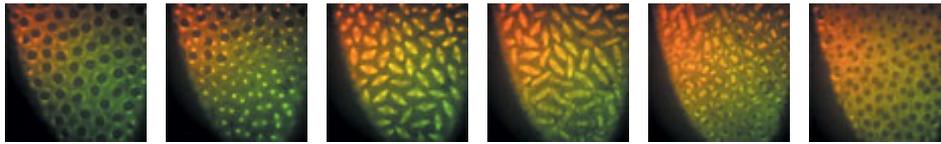
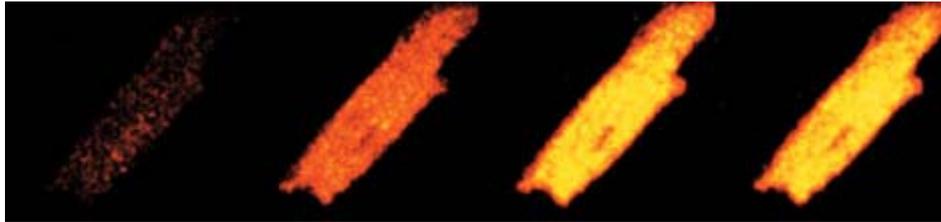


図 3. 1. 13 高速共焦点レーザー顕微鏡による観察例 1 :

ショウジョウバエ胚における細胞分裂観察

最速 1000 コマ/秒までの高速スキャンにより、ミリ秒単位の反応記録が可能である。

Gen IV イメージインテンシファイア付超高速 CCD カメラによる高速撮影状況



電気刺激後 : 16ms

20ms

24ms

28ms

図 3. 1. 14 高速共焦点レーザー顕微鏡による観察例 2 :

マウス心室筋細胞電気刺激観察

マウス心室筋細胞に fluo-3 をロードし、電気刺激後の  $Ca^{2+}$  変化を高速記録、4 msec 毎の画像(東海大学医学部生理科学 石田英之教授)

#### (15) 人工筋肉アクチュエータ

人工筋肉 (E P A M : Electroactive Polymer Artificial Muscle )

##### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

実用化のプロセスは本プロジェクト終了後、約 33 億円のアメリカの資金支援を受けて研究開発を継続し、その成果を更に発展させ実用化するため、2004 年 2 月にアメリカでベンチャー企業を設立し、応用研究を行いながら新規事業開拓を行っている。

人工筋肉アクチュエータはゴム状のポリマーの上下に伸縮可能な電極を作成し、通電すると電極間の上面と下面が引合いクーロン力で中のゴムを変形させる原理を利用したものである。予想される用途は多方面にわたり医療・福祉、省エネルギー、環境・救助方面に実用化が期待されている。

昨年、人工筋肉アクチュエータを用いて「波力等のエネルギーから発電」を行うベンチャー企業を日本に設立した。また、セミナー等を実施し、多方面に技術を照会し、適用分野開拓を行っている。

##### ②具体的製品

実験キット、発電キット、発電用機器

具体的製品は人工筋肉アクチュエータの各種用途を照会した実験キットで、これを販売していたが直近(平成 19 年 1 月)の情報では当初の実験キットの 5 万セットは完売し、現在は次の発電キットおよび発電用機器を製作し販売を計画している。

##### ③製品の特徴、既存市場での優位性

本プロジェクトの成果である人工筋肉アクチュエータは、大変形能力 (380%)、高効率高速応答、軽量、構造がシンプルである等、優れた特性を示す。用途対象は非常に多く、

それらの可能性を記す。

- ・ダイアフラム型アクチュエータとしてポンプに適用すると、強力、小型化が図れることから、ノートパソコン等の冷却や、電子機器用液体冷却用ポンプへの応用が期待される。最小では 50  $\mu$ m 程度の小型ポンプも試作しており、バイオ分野やマイクロ・ナノデバイス等の製作に活かすことができる。
- ・音響発信器デバイスとしての応用が可能であり、スピーカーとして使用しうる。音響分野へ展開が可能である。(上記、波力発電のベンチャー企業が開発。)
- ・携帯電話のレンズユニットの、オートフォーカスとズーム機構など光学機器の駆動系への応用が可能である。
- ・光スイッチ用フレーム型アクチュエータとして使用可能であり、電圧を加えると透明化する。
- ・パワー密度はグラム当たり 1W あり、人間の筋肉のグラム当たり 0.2W に比べて 5 倍の効率があり、構造もシンプルであるため、ロボットの腕や駆動系への応用が期待される。また、6 本足で重量 100 g 以下の小型ロボットの試作も完了し、12cm/秒のかなり的高速移動が可能であり、階段も昇れること等多様な形態のロボットに対応し得る。
- ・人工筋肉アクチュエータの伸縮機構や回転機構を応用して、医療用ポンプへの応用が期待されている。安全性に優れる使い捨てポンプも検討対象である。
- ・軽量、駆動しても静寂、エネルギー転換効率に優れること等の長所があり、電動車椅子を始め、福祉機器の駆動系として応用が期待される。
- ・歪を与えるると発電機としての機能を発揮する。例えば、靴の底に設置して歩く際の歪から発電する。1 日 4000 歩ぐらいの歩行で乾電池何本かが充電可能になり、小型機器の電源として使用できる。
- ・老人になると真っ直ぐ立てなくなる現象が現れるが、足の甲のところに小さな振動する人工筋肉デバイスを付けると、真っ直ぐ立てるようになる支援として効果があることがカナダで研究されており、高齢福祉支援機器の開発に有効である。
- ・車椅子に長時間座っている場合や寝たきりの場合の床ずれ現象の軽減をはかるための研究に人工筋肉の応用を検討開始している。
- ・表面の形状を瞬時に変えられるスマート材料であり、これを一歩進めると、電気信号を与えることによって瞬時に字が出せるので、目の見えない方の点字に使用することが可能である。

高品質の製品のため従来市場での競争力強化となっている。

#### ④製品イメージと利用例

上記、日本のベンチャー企業で、人工筋肉アクチュエータを用いた波力発電用エネルギー回収装置を開発した。

最近まで、人工筋肉が波力発電において顕著な性能を有することは、殆ど知られていなかった。波力発電原理は、人工筋肉駆動モードを逆にし、物理的に膜を歪ませ、機械エネルギーを電気エネルギーに変えて発電する。

航路標識に利用されているブイ用バッテリーの価格は高く、海上でのバッテリー交換も危険な作業である。航路標識システムの主要メーカーの依頼により、波を利用したブイ発

電システムの原理試作を行い、世界で始めて成功した。40 g の人工筋肉膜を用い、わずか 6 cm の波 (0.3Hz) で 5.4 J /波以上のエネルギーを生じ、実際にブイに使用されている LED、60 個を点灯させることができた。



### EPAM発電用TEST KIT (WM001-1)

図 3. 1. 15 人工筋肉アクチュエータを用いた発電用エネルギーキット

#### (16) アイビジョン

##### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果であるシステム設計技術、省配線技術、組立技術を活用してアンプ一体型モータを製品化した。それを応用して、立体カメラ・アイビジョンを製品化した。

##### ②具体的製品

アイビジョン(EYVISION)

##### ③製品の特徴、既存市場での優位性

アイビジョンは米国放送企業とカネーギー・メロン大学ロボット工学研究所長が中心となって開発したリアルタイムロボットの制御技術の成果である。全てのカメラが同じ対象物を同じ大きさで撮影するキャリブレーション技術と放送企業が開発した映像表示技術を融合したもので、アメリカンフットボールのスーパーボールで初めて導入され全米で話題を集めた技術である。本開発製品であるサーボAMP内蔵型の高性能ロボット数十台にカメラをそれぞれ搭載し、競技場全周に設置する。一つのシーンを全カメラで撮影し、デジタル技術で画像を連続的につなぎ合わせることで、切れ目のない 360 度画像を実現する。野球場で行ったプロ野球中継では、バックネット裏と一塁側からバックスクリーンにかけて計 30 台のカメラを設置したことがある。

現在、本製品はコスト面等の課題から新たな販売は無い。

### 3. 1. 2 マイクロマシン技術プロジェクトの近未来実用化技術

この節では約 5 年後の 2011 年頃までに実用化できる製品を近未来実用化技術と位置付けて整理する。この製品は実用化の実績がないため製品の具体的なアウトカムの特性である製品の特徴、既存市場での優位性については不明のことが多い。情報が得られた製品についてのみ整理する。

### (1) CCDマイクロカメラ

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果である静電アクチュエータの応用によるマイクロカメラのズームシステム及び3次元実装技術を携帯電話用カメラに活用し製品化する予定である。

#### ②具体的製品

CCDマイクロカメラ

### (2) 赤外線温度センサ

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果である薄膜製造技術の活用としてPVDF(ポリ弗化ビニリデン)薄膜を用いたモノシリック焦電型赤外線温度センサの開発を進めた。これを用いたスキャニング小型化技術により血管内カテーテル等への応用の可能性がある。

#### ②具体的製品

赤外線温度センサ

### (3) 細胞分離装置

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの開発成果である流体計測技術や微量液操作で液が通る所の表面性状や圧力のかけ方等のノウハウにより細胞分離装置(マイクロソータ)を開発し、実用化段階までに至った。既に有していた蛍光物質を入れた細胞に光レーザをあてて識別する技術、電界場でイオン化、分離する技術を組み合わせることにより成功した。本プロジェクトの成果を活かせるだけのポテンシャル、周辺技術があって進展した。

#### ②具体的製品

細胞分離装置、環境計測機器

#### ③製品の特徴、既存市場での優位性

このバイオ分野の細胞分離装置は、日本国内でも米国2社がほぼ独占しており、今後、日本が開発した装置を上市の予定である。また、微量分析技術を応用して環境計測機器への適用も考えられる。

### (4) 形状記憶合金点字ユニット

#### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトで製品化した形状記憶合金コイルを駆動源として利用する点字デバイスの開発が期待される。ベンチャー企業にコイル製造技術を譲渡し、そこで開発が検討されている。

#### ②具体的製品

形状記憶合金点字ユニット

## (5) 3次元で動く指ロボット

### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトの成果である磁気式エンコーダの研究を継続し、3次元で動く指ロボットを開発した。コップを持てるような微小圧力を制御できるまでに技術を発展させ、愛知万博ではロボットの指に使用して、トランペットを吹くロボットとして好評を博した。

### ②具体的製品

3次元で動く指ロボット

### ③製品の特徴、既存市場での優位性

当社は工業用ロボットの大手企業であり、当面自社製品の競争力強化に活用予定である。

### ④主な用途

A Cサーボモータ、D Cサーボモータ、ステッピングモータなどの回転角度を検出するエンコーダに適用できる。

## (6) シリコン貫通孔配線加工技術

### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトで赤外線センサの作製技術の中から貫通孔配線加工技術のシーズを研究し、プロジェクト期間中にこの技術を発展させた。この技術は光励起というウエットエッチングにより高アスペクト比の貫通孔加工と貫通配線を形成する技術であり、世界トップレベルとしている。当該プロジェクトのマイクロジョイント加工成形技術(貫通孔加工技術)で開発した技術ではシリコンにアスペクト比 110 の貫通孔をあけることができた。この技術は半導体まわりの高密度実装への応用に使うことが可能であり、これだけのアスペクト比の貫通孔を開ける技術は世界的にも例がなくわが国の半導体実装技術に対して強力な支援技術として役立つ。現在ウエハレベルパッケージや半導体実装分野など対象製品を模索中である。この技術を用いたファンドリーサービスを開始している。

### ②具体的製品

シリコン貫通孔配線加工技術

### ③製品の特徴、既存市場での優位性

ファンドリーサービス

## (7) 脳腫瘍治療用レーザーカテーテル

### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトではマイクロレーザーカテーテルの開発を行ったが、その微細薄膜加工技術の波及としてマイクロレーザー(波長  $2.8\mu\text{m}$ )を治療用レーザーとして進展させた。その後、東京女子医大との共同研究により当製品を開発した。現在、動物臨床実験の段階である。

### ②具体的製品

脳腫瘍治療用レーザーカテーテル

### ③製品の特徴、既存市場での優位性

脳腫瘍治療用レーザーカテーテルにより、脳腫瘍の悪性細胞の薄皮を剥ぐように薄く(0.1mm 程度)除去することが可能である。レーザーとロボットを組合せ正確に剥離する技術を開発しており、既に臨床に進める段階である。しかし、医療機器は製品化されても臨床

実績、治療効果の確認、認可の過程を経なければならない上に、更に製造コストの問題等のハードルが多くあり、新規市場実現までにはしばらく時間を要する。

脳腫瘍の発生率は10,000人に1人程度で、その約1/3が悪性といわれ、5年生存率は悪性細胞の95%摘出で20%程度、全てを摘出できれば約40%に倍増するといわれている。

### 3. 1. 3 マイクロ流体プロジェクトの近未来実用化技術

マイクロ流体プロジェクトの研究内容はダイオキシン測定時間の短縮、低コスト化が具体的目標であったが、この目標は他プロセスで達成されたことと、本プロジェクトが短期間(1年)、小規模プロジェクトであったこと等から開発技術を応用した製品はまだできていない。しかし、この研究で開発したマイクロ流体技術を活用した近未来(5年以内)実用化製品としてマイクロリアクタがある。

#### (1) マイクロリアクタ

##### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

当該プロジェクトにおいて、マイクロデバイス(吸収デバイス、液液抽出デバイス、濃縮デバイス)の技術が蓄積された。ダイオキシン迅速分析への適用化は他原理による分析法開発が先行したため、分析機器としての実用化には至らなかったが、その開発成果である技術の蓄積を活かした波及成果として、マイクロリアクタ技術に活用されている。

##### ②具体的製品

マイクロリアクタ

##### ③製品の特徴、既存市場での優位性

マイクロリアクタはマイクロ加工技術などを用いて製作された幅が数 $\mu\text{m}$ ~数100 $\mu\text{m}$ のマイクロ空間で化学反応、物質生産を行うためのマイクロデバイスである。この装置全体の大きさは必ずしも微小である必要はなく、生産可能量も大きいものも含まれる。この装置の特徴は化学反応の効率化、高速化が可能なことである。マイクロリアクタの研究は当該プロジェクトの実施企業で継続されており、最近、医薬品、化粧品、農薬、染料などを効率的に生産できる実験プラントが開発された。

ダイオキシン分析時間短縮を目的とした本プロジェクトは1年間で終了したが、その開発技術の重要性が認識され、NEDOの後継プロジェクトであるマイクロ分析・生産システムプロジェクトが発足した。これは国プロへのアウトカムと見做せる。

### 3. 1. 4 MEMSプロジェクトの近未来実用化技術

MEMSプロジェクトはマイクロマシン技術プロジェクトの終了後、開発費用の1/2助成による実用化プロジェクト(平成15年度~平成17年度)として3企業により実施された。開発テーマも実用化を目的とした高度技術への挑戦的レベルであったが、研究目標は十分達成された。さらに、実用化を目指したプロジェクトであっただけに担当した2社からは画期的な製品が近く実用化される予定である。近未来(5年以内)に実用化製品として位置付けているが下記2製品については、いずれも2008年頃までには実用化の予定である。

## (1) RF-MEMSスイッチ

### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

近未来のモバイル機器環境は情報通信の伝達速度向上に高周波（RF）信号が多く使用されるようになり、多岐にわたる周波数帯域で通信が行われると予想されている。また、機器の携帯性、部品の集積化が要求され、搭載される部品は低消費電力化、超小型化が重要な市場要求である。これらの要求を実現する重要なデバイスの一つとしてMEMS技術によるスイッチを開発目標とした。その開発課題は次の3項目であった。

a) 高精度3次元加工技術、b) 接点固着防止技術、c) 低損失パッケージ技術

### ②具体的製品

RF-MEMSスイッチの概観図を図3.1.16に示す。

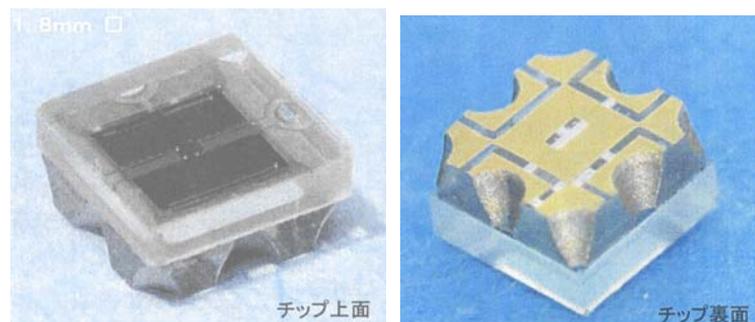


図3.1.16 RF-MEMSスイッチ

開発されたRF-MEMSスイッチは図3.1.16に示すようにチップサイズは2.3mmL×2.3mmW×0.9mmHでセンサのパッケージサイズは2.7mmL×2.7mmW×1.3mmHの寸法を持っている。これを実現するために必要となったRFスイッチのモデル図を図3.1.17に示す。開発課題を解決することによって誤差1%以下の3次元加工精度を達成することができた。

またMEMSスイッチに適した接点材料を選定するとともに、その加工法を開発して、10億回以上のオンオフの動作回数を実現した。更に低損失パッケージ技術を開発して0.1dB以下の損失を実現した。

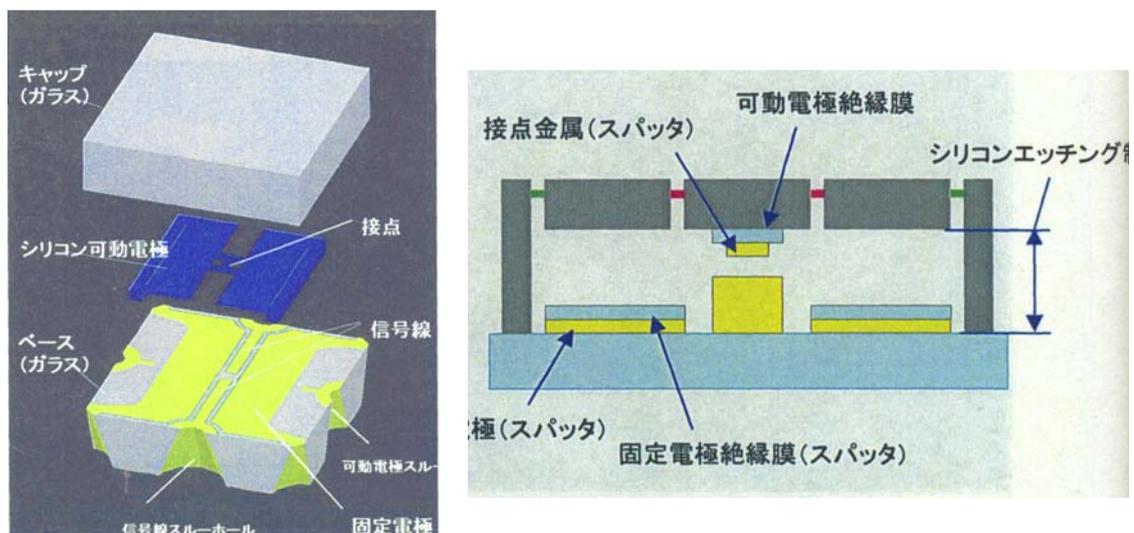


図3.1.17 RF-MEMSスイッチのモデル図

### ③製品の特徴、既存市場での優位性

MEMSスイッチは従来の半導体スイッチに比べ、10倍大きい10GHz以上の高周波に対応でき、大容量データの送受信に強いのが大きな特徴である。また静電駆動方式をとっているために電磁方式に比べるとエネルギー損失が1/1000に減少する。携帯電話ではスイッチは多量に使われるのでこのような特徴を持つMEMSスイッチのニーズは非常に大きく、接点寿命10億回以上を実現している例は無いのでその市場は大きいと考えられる。

開発した製品を当面は利益率の大きい半導体テスター用に2007年頃よりサンプル出荷し、2008年頃には製品として販売する予定である。数年後には映像、動画などの送受信用に携帯電話にも使用されると期待している。

現在、半導体テスターに使用されているスイッチは3~4cm角程度と大きく、接点寿命も500~1000万回程度で極端に短い。同一機能単位では機器サイズは約1/1000程度となる。なお、RFスイッチはマイクロマシン技術プロジェクトに参加した他の企業でも実用化に力を入れており、5年先には他社でも実用化される可能性があるが、現時点ではMEMSプロジェクトに助成金を受けて開発した企業が先行していると推測される。

## (2) 光可動ミラー

### ①プロジェクト開発技術の蓄積と応用

光通信ネットワークは情報通信分野の基幹インフラとして認識されている。その中で通信ネットワークの交換装置は重要なデバイスであるが、ここでは光ファイバから入ってくる多重化された信号を振り分けて再びファイバに戻す操作が必要である。その方法の一つとして光を一度電気信号に替え、そこで切替えた電気信号を再び光に戻す方法がある。

他の方法として光信号のまま交換する方法がある。そこでは図3. 1. 18に示すように回折格子で分光した光を光可動MEMSミラーを用いて目的とするファイバに戻す方法である。この光可動ミラー方式は電気変換することがないので損失が少なく高効率変換することが可能である。当該プロジェクトでは、後者の方法に使われる光可動ミラーを開発することにした。この光可動ミラーを実現するための開発目標としては以下の課題を定めた

- a) 高精度の3次元加工技術開発、
- b) 高精度制御技術開発、
- c) 信頼性・計測・評価技術

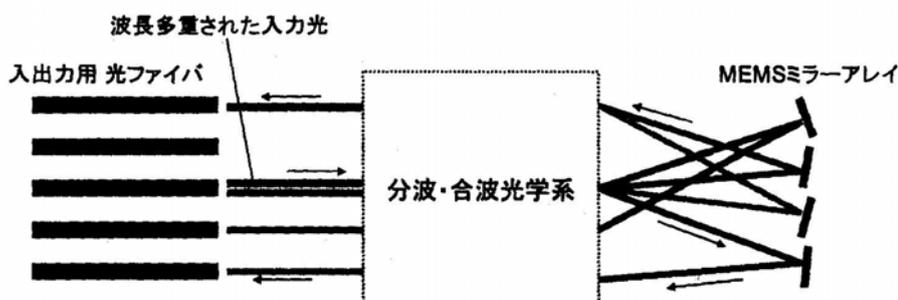


図3. 1. 18 光可動ミラー

## ② 具体的製品

開発されたミラーの例を図 3. 1. 19 に示す。光学ミラーの表面は鏡面が要求され、面粗さと表面の形状にはかなり厳しい要求仕様を満足する必要がある。試作したミラーの表面粗さは  $100\mu\text{m}$  角平方の面積にわたり P V 値で 20nm 以下であり、この様な平面が得られるエッチング技術を確認した。この性能は世界トップクラスのミラー平面度である。またミラーにより目的とする光を確実にとらえ、必要な個所に反射するためにミラーの傾き角の制御は精密でなければならない。

開発した制御技術では微小光可動 MEMS ミラーを 2/1000 度以下の精度で自由に角度制御ができ、世界トップの制御性能を実現した。信頼性では常温で 100 億回以上の駆動信頼性があることを実証した。これはミラーデバイスとして最高 10 年以上の連続使用に対応できることを示している。

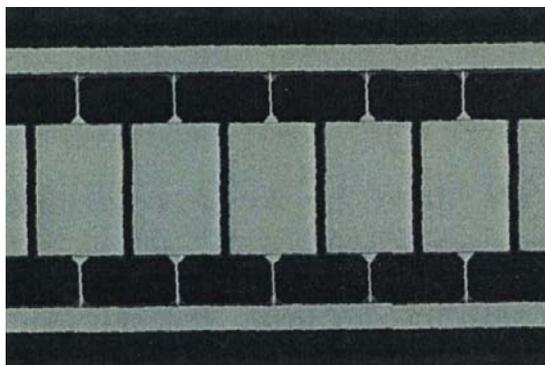


図 3. 1. 19 微小光可動ミラー

## ③ 製品の特徴、既存市場での優位性

光可動デバイスミラーの P V 値(そり指標)の 20nm 以下、角度制御量の 2/1000 度以下はともに世界トップレベルで、しかも 10 年以上信頼性が保てることから既存市場で優位である。当社は 2008 頃までには光通信ミラーデバイスとして実用化する予定である。数年後には更に技術のブラッシュアップを行い、一層の最高性能発現を狙っている。

### 3. 1. 5 プロジェクト非参加企業への波及効果

#### (1) マイクロマシン展に出展した企業へのアンケート調査

マイクロマシン技術プロジェクトに代表される国家プロジェクトのアウトカムは各方面で顕著になっているが、その一つにマイクロマシン展に代表されるマイクロマシン技術の公開・技術交流がある。マイクロマシン展はマイクロマシン技術プロジェクト開始直後より毎年開催し、その入場者数、出展数ともに年々増加しており、特に第 17 回(平成 18 年 11 月)は、格別に活況であった。このマイクロマシン展の注目すべき点は、参加企業の多くが商談のみならず、マイクロマシン/MEMS 技術に関して議論でき、技術動向の把握に最適の展示会と言える。

そこで、今回マイクロマシン展に出展する企業にアンケート調査および出展時に担当者からのヒアリングを実施し、国家 3 プロジェクトの波及効果、アウトカム調査を実施した。

## (2) アンケート回答と製品および企業の特徴

アンケート調査結果の概要は下記の通りである。(付属資料 1 参照)

- ① アンケート調査票は出展企業 235 社に送付し回答は 85 社で回答率は約 36%である。この回答企業のうち 3 プロジェクトに参加した企業は 2 社のみで実質的にこの回答企業群は 3 プロジェクトに参加していない企業群と見ることができる
- ② 展示物は 143 製品で、その内訳はシステム化製品が約 40%、技術が約 24%、部品が約 18%、その他が約 18%である
- ③ 展示物の製品化段階は販売商品が約 65%、開発完了、試供品が約 35%である。
- ④ 製品の分野別割合は製造技術分野が約 35%、精密・分析機器が約 18%、医療福祉、バイオ、通信機器がそれぞれ約 8%となっている。
- ⑤ 製品の技術シーズは自社独自技術で、多くが 3 プロジェクトについて認識がない。  
(対応者が技術サービスや技術営業配属であり、研究関連に詳しくないこと、直近に入社した若い担当者が大半で、過去のことは詳しくないこと等がある。)
- ⑥ 企業規模は資本金 1 億円以下、従業員 300 人以下の中小企業が 6 割以上である。
- ⑦ 1990 年以降に設立された企業が約 35%以上である。

## (3) プロジェクト非参加企業への波及効果

マイクロマシン展に出展して回答した企業は 3 プロジェクトに参加していない中小企業で、かつ新進企業が多く、しかも 3 プロジェクト内容を認識せず技術も自社独自技術と回答している。一方、その製品の用途および製作までの技術内容、必要要素技術等を想定すると 3 プロジェクト特にマイクロマシン技術プロジェクトに影響を受けたと想定される製品が非常に多い。

このことから、マイクロマシン技術プロジェクトの開発技術が、マイクロマシン展等の公開情報により無意識のうちに取り入れられ、自社の持つ独自技術の高度化、ブラッシュアップに繋がったとも理解できる。とすれば国プロのアウトカムとしてプロジェクト非参加企業に波及したとも評価できる。

ここで仮説を含むが全ての回答出展製品について、その用途、製造技術等を想定し、国プロの影響が推定される製品を表 3. 1. 2、表 3. 1. 3 に示す。

表 3. 1. 2 国プロの影響があると推定される製品数

	製品数	比率対全製品 (%)
回答された全製品数	143	100
影響があると推定される全製品数	103	72.0
影響があると推定される製品数(表の○印)	54	37.8
影響は弱いがあると推定される製品数(表の△印)	49	34.2

自社の製品を製作するに際して、国プロの開発技術に多少でも啓発されたか誘発され影響があったと推定される製品が全製品の約 7 割以上ある。そのうち影響の可能性の強い製品は約 4 割である。このことから、国プロの影響は静かに、しかし着実に中小企業にも浸透し、国全体の技術力アップに貢献していると考えられる。

表 3. 1. 3-① 国プロの影響があると推定されるマイクロマシン展に出展された製品

製品 No	展示物 *)	段階 *)	位置付*)	展示物が適用できる技術					用途 *)	適用分野 注2)													業種 注3)	注4) 影響度						
				材料技術	プロセス・加工	設計・シミュレーション	計測・制御	システム化		1.情報・通信	2.生活・文化	3.製造技術	4.精密機器	5.医療・福祉	6.バイオ・ナノ	7.エネルギー	8.環境	9.自動車	10.都市環境整備	11.航空宇宙	12.農林水産	13.その他								
1	高速タイプSi異方性エッチング	3.製品	1.材料	●	●				Si液			◎															1.製造	○		
2	変位センサ	3.製品	2.部品			●	●				◎		◎													◎	1.製造	○		
3	MEMS用マイク	1.開発完	2.部品		●		●		携帯電話	◇																	1.製造	○		
4	R-MEMS	1.開発完	2.部品				●	●	携帯電話	◇																	1.製造	○		
5	MEMSセンサ	2.試供品	2.部品				●	●	携帯電話																		1.製造	○		
6	マイクロチップ	3.製品	2.部品				●		液体測定用				◎														1.製造	○		
7	DNA検査用カラス流路	3.製品	2.部品				●		DNA検査用																◇	◇	◇	1.製造	○	
8	RLELリアエンコーダ	3.製品	2.部品				●		モーションのフットハック				◎	◎													1.製造	○		
9	RLELレーザエンコーダ	3.製品	2.部品				●		モーションのフットハック				◎	◎													1.製造	○		
10	DCモータ	3.製品	2.部品				●	●	カメラ、ロボット				◎													◎	1.製造	○		
11	ダイヤフラムポンプ	3.製品	2.部品				●	●	分析器、洗浄器				◎														1.製造	○		
12	マイクロセラミックス	3.製品	2.部品					●	電子機器/ノズル	◎															◇		1.製造	○		
13	ミラーデバイス		2.部品				●			○																	1.製造	○		
14	MEMSデバイス		2.部品				●	●																			◎	1.製造	○	
15	センサ信号アンプ	3.製品	2.部品				●	●	MEMs	◎			◎													◎	1.製造	○		
16	マイクロポンプ	2.試供品	2.部品				●	●	燃料電池、分析機器					◎	◎	◎											1.製造	○		
17	3次元微細加工機	3.製品	2.部品		●								◎	◎													◎	1.製造	○	
18	カーテイル用チューブドリラー	3.製品	3.製品	●				●	カーテイルチューブ																		4.製商	○	○	
19	膜厚測定装置	3.製品	3.製品				●		膜厚測定					◎														1.製造	○	
20	マイクロシステムアナライザ	3.製品	3.製品				●		RF-MS、光スリット				◎															1.製造	○	
21	マニピュレータ	2.試供品	3.製品		●		●		光学顕微鏡用				◎	◎	◎													1.製造	○	
22	精密研磨機	3.製品	3.製品		●				精密研磨機				◎															5.商社	○	○
23	穴開機	3.製品	3.製品		●				丸物、車用、ノズル用				◎															1.製造	○	○
24	微細穴開機	2.試供品	3.製品		●				金属穴あけ、金型				◎															1.製造	○	○
25	卓上型微細加工機	3.製品	3.製品		●				医療機器部品				◎															1.製造	○	○
26	マイクロアクト	3.製品	3.製品	●			●		大学、産総研				◎	◎												◎		1.製造	○	○
27	コロニーカウンタ	3.製品	3.製品	●			●		バイオ、製薬、食品検査					◎	◎											◎		2.受託	○	○
28	マイクロマニピュレータ	2.試供品	3.製品		●				電子部品製作				◎		◎											◎		2.受託	○	○
29	センサ	3.製品	3.製品				●	●					◎															1.製造	○	○
30	STP転写製品膜装置	3.製品	3.製品		●				MEMS実装プロセス				◎															1.製造	○	○
31	メタルMOCVD	3.製品	3.製品		●				MEMS用汎用装置				◎															1.製造	○	○
32	旋盤、骨の加工用	2.試供品	3.製品		●				医療用					◎														1.製造	○	○
33	フライス盤、金属用	3.製品	3.製品		●				微細機械加工				◎	◎														1.製造	○	○
34	コンパウト振動計	3.製品	4.技術				●		RF-MS、インジェット				◎													◎		1.製造	○	○
35	エッチング装置	1.開発完	4.技術		●				MEMS用具																			1.製造	○	○
36	フロントリサービス	1.開発完	4.技術		●				FDサービス				◇															1.製造	○	○
37	マイクログリップ	1.開発完	4.技術				●		超小型グリップ				◇															1.製造	○	○
38	マイクロバルブ	1.開発完	4.技術				●	●	超小型弁				◇															1.製造	○	○
39	FS	3.製品	4.技術		●								◎															1.製造	○	○
40	マイクロアクトシステム	2.試供品	4.技術	●			●		研究開発用				◎		◎												◎	6.他	○	○
41	ダイシングデバイス	3.製品	4.技術		●				MEMSチップ製造				◎															1.製造	○	○
42	ナノ粉末	2.試供品	4.技術	●					ナノテク																			1.製造	○	○
43	メタルマスク	1.開発完	4.技術		●				半導体				◇															1.製造	○	○
44	微細孔、溝加工	3.製品	4.技術		●				導光板の孔加工				◎															1.製造	○	○
45	MEMS用ソフト	3.製品	5.ソフト			●		●	MEMs全般	◎			◎															3.ソフト	○	○
46	MEMSPro	3.製品	5.ソフト			●		●		◎			◎															3.ソフト	○	○
47	PEGASUS	3.製品	5.ソフト		●	●			真空蒸着装置	◎			◎															3.ソフト	○	○
48	シミュレーションソフト	3.製品	5.ソフト			●		●	研究用	◎			◎															1.製造	○	○
49	ナノインプリント装置	3.製品	6.その他		●				微細加工				◎															3.ソフト	○	○
50	ドライエッチング装置	3.製品	6.その他		●				MEMS用、各種センサ				◎															1.製造	○	○
51	プラスマCVD装置	3.製品	6.その他		●				MEMS用				◎															1.製造	○	○
52	MEMSファントリ		6.その他		●				MEMS関連企業				◎															1.製造	○	○
53	Siファントリ		6.その他		●				半導体、LSI関係				◎															1.製造	○	○
54	PVD装置	3.製品	6.その他		●				MEMSプロセス加工用				◎	◎														1.製造	○	○

表 3. 1. 3-② 国プロの影響があると推定されるマイクロマシン展に出展された製品(続)

製品 No	展示物 *)	段階 *)	位置付*)	展示物が適用できる技術					用途 *)	適用分野 注2)													業種 注3)	注4) 影響度		
				材料技術	プロセス加工	設計・シミュレーション	計測・制御	システム化		1.情報・通信	2.生活・文化	3.製造技術	4.精密機器	5.医療・福祉	6.ハイテク/ナノ	7.エネルギー	8.環境	9.自動車	10.都市環境整備	11.航空宇宙	12.農林水産	13.その他				
56	CYCLOTENET	3.製品	1.材料	●					絶縁用、保護膜			◎													1.製造	△
57	ProTEK	3.製品	1.材料		●				保護膜			◎													1.製造	△
58	ハニカムダイス(チタン多孔体)	2.試供品	1.材料	●					プリント/薄/スル	○		○												1.製造	△	
59	受託加工サービス	2.試供品	1.材料		●				ナインプリント金型	○		○												2.受託	△	
60	燐皮質界面親和剤	3.製品	1.材料	●					ハイオチップ					◎	◎							◎		1.製造	△	
61	ガラスモールド	2.試供品	2.部品	●	●				C4NP用			○	○											1.製造	△	
62	多孔配列加工	3.製品	2.部品		●				検査治具				◎											3.ソフト	△	
63	アイソレータ	1.開発完	2.部品				●		光通信	◇			◇											2.受託	△	
64	微細加工ツール	1.開発完	2.部品				●		半導体、ハイ関係				◎	◎	◇									2.受託	△	
65	フォトリソ製品	3.製品	2.部品		●				通信、電子部品全般	◎		◎												1.製造	△	
66	Si異方性エッチング乾燥システム	2.試供品	3.製品		●				液晶			○												1.製造	△	
67	レジスト塗布ヘック装置	3.製品	3.製品		●				レジスト塗布ヘック			◎												1.製造	△	
68	縮小投影露光装置	3.製品	3.製品		●				磁気ヘッド加工	◎		◎												1.製造	△	
69	スイッチ発振LDレーザ	3.製品	3.製品		●				UV微細穴あけ加工			◎												1.製造	△	
70	ファイバレーザシステム	3.製品	3.製品		●				マイクロエレクトロニクス			◎												1.製造	△	
71	スプレーター	1.開発完	3.製品		●				製造装置			◇												3.ソフト	△	
72	マイクロコンタクトプリンタ	1.開発完	3.製品		●				製造装置			◇												3.ソフト	△	
73	ハイミクロンスコブ	3.製品	3.製品				●		深さ、高さ測定				◎											1.製造	△	
74	両面鏡	3.製品	3.製品				●		表面の観察				◎											1.製造	△	
75	スプレーター	3.製品	3.製品		●				レジスト塗布				◎											1.製造	△	
76	卓上型SEM	1.開発完	3.製品				●		高倍率観察					◇	◇									1.製造	△	
77	表面分析器	1.開発完	3.製品				●		有機膜材料				◇		◇							◇		5.商社	△	
78	DH2	3.製品	3.製品				●		電子部品測定				◎											1.製造	△	
79	DZ3	3.製品	3.製品				●		電子部品観察				◎											1.製造	△	
80	ナノファインダ30	3.製品	3.製品		●		●		微細加工部の観察				◎	◎										4.製商	△	
81	センサネットワーク用SIPモジュール	2.試供品	3.製品				●	●	計測システム				○											1.製造	△	
82	センサネットワーク用無線モジュール	2.試供品	3.製品				●	●	計測システム				○									○	○	1.製造	△	
83	ナノスプレュータ	3.製品	3.製品		●				IC用				◎											5.商社	△	
84	メッキ装置	3.製品	3.製品		●				半導体ウエハメッキ装置				◎											4.製商	△	
85	フィードバックステージ	3.製品	3.製品				●		大学、ハイ関係解析装置					◎	◎				◎					1.製造	△	
86	スクラッチ試験機	3.製品	3.製品				●		薄膜品検査用				◎											1.製造	△	
87	摩擦・磨耗試験機	3.製品	3.製品				●		薄膜品検査用				◎											1.製造	△	
88	ETCH装置	3.製品	3.製品		●				MEMSプロセス加工用				◎											1.製造	△	
89	陽極接合装置	3.製品	3.製品		●								◎										◎	1.製造	△	
90	光造形装置	3.製品	3.製品		●								◎											1.製造	△	
91	ソフトエッチング装置	3.製品	4.技術				●		マイクロ回路クリーニング				◎											1.製造	△	
92	ウエハ実験装置	1.開発完	4.技術		●				ウエハ基盤メッキ				◇	◇										1.製造	△	
93	GFP	3.製品	4.技術				●		残留応力の可視化				◎											1.製造	△	
94	光ファイバセンサ	3.製品	4.技術				●		温度、圧力計測				◎									◎		1.製造	△	
95	ハンダハンパTEG	2.試供品	4.技術		●				高密度実装用				○											5.商社	△	
96	マイクロキヤ	2.試供品	4.技術		●			●	機械要素				○											1.製造	△	
97	マイクロキヤ用ホブ	1.開発完	4.技術		●				切削工具				◇											1.製造	△	
98	インプリント金型	2.試供品	4.技術		●				光学部品、半導体製品				○											4.製商	△	
99	受託加工	1.開発完	4.技術		●				研究所				○											1.製造	△	
100	微細切削加工	3.製品	4.技術		●				医療用、半導体				○										◇	1.製造	△	
101	技術	3.製品	4.技術		●								◎										◎	1.製造	△	
102	メッキ製品	3.製品	4.技術		●								◎										◎	2.受託	△	
103	工具	3.製品	6.その他		●				光学部品の金型				◎	◎										1.製造	△	
計					5	31	0	17	3	合計		5	0	35	15	5	5	0	1	2	2	1	2	4	48	

注1) \*)印はアンケート記入データ

注2) ◎:製品、○:試供品、◇:試作完了

注3) 1.製造:自社製品を製造・販売、2.主に受託:受託加工、技術サービス、3.ソフト:設計、ソフトを製作・販売、4.製商:自社製品の他に他社、輸入製品を販売、5.商社:他社、輸入製品を販売

注4) ○:製品製造の要素技術がプロジェクト技術より影響をうけたと推定されるもの、△:影響をうけたと推定されるがその程度が弱いもの

## 3. 2 経済的アウトカム

### 3. 2. 1 市場創出の寄与

プロジェクト別にみると、マイクロマシン技術プロジェクトは研究期間が10年間と長かったこと、かつ、開発テーマが波及効果の大きい基盤となる要素技術であったこと、更にプロジェクト終了後6年を経ており研究成果が発現できる時期にあること等の結果、多くの製品の上市が進んでいる。これに対してマイクロ流体プロジェクトは僅か1年間の小プロジェクトであることから経済効果を算定できる製品はない。一方、MEMSプロジェクトは終了したばかりであるが、実用化プロジェクトであったこともあり2製品が数年後には製品化の見通しを得ている。従って、ここでは、3プロジェクトを含めて整理するが実態はマイクロマシン技術プロジェクトの成果が主体となっている。

上市された製品はその技術の新規性、希少性等やそれを販売する企業の姿勢から市場創出状況は異なりそれぞれ特徴がある。ここでは市場創出の観点から、便宜上次の3グループに分類したがこの分類は厳密なものではない。

#### Aグループ：比較的新規市場創出に寄与した製品グループ

この製品グループは技術の新規性、希少性があり、その企業にとって新しい市場に参入する契機となったか、或いは新規市場開拓に貢献されたと想定される製品である。

#### Bグループ：従来市場において、自社製品の競争力強化となった製品グループ

この製品グループは開発製品がその企業が既に販売している製品で、従来製品の高機能化、高級化により開発企業の従来市場での市場競争力強化となっている製品である。

#### Cグループ：このグループは近未来上市する製品グループ

この製品グループは上記のいずれかに属する製品であるが、実績がないために、上記A、Bのどちらに分類すべきか現時点では判断できない製品である。

以下、上市された製品別に市場進出および経済的効果に焦点を当て整理する。

各グループの中の記述順は原則としてプロジェクトのテーマ順とした。

表 3. 2. 1 市場創出に寄与した製品

Aグループ

製 品	主な適用分野
①非冷却赤外センサ	生活文化関連分野
②超音波診断用圧電素子	医療・福祉分野
③I C検査用コンタクトプローブ	情報・通信分野
④家庭用燃料電池フローセンサ	精密・計測機器分野
⑤超精密加工機	マイクロファクトリ分野
⑥高精度エンコーダ	情報・通信分野
⑦形状記憶合金カテーテル	医療・福祉分野
⑧フォトニック結晶ファイバ	情報・通信分野
⑨人工筋肉アクチュエータ	生活文化関連分野
⑩軽量減速機(アイビジョンへ応用)	生活文化関連分野
⑪高速共焦点顕微鏡	精密・計測機器分野

Bグループ

製 品	適用分野
①高性能加速度センサ、圧力センサ	自動車分野
②フローセンサ、加速度センサ	自動車分野
③共焦点顕微鏡	精密・計測機器分野
④ミニ生産システム	マイクロファクトリ分野
⑤電池材料	エネルギー分野
⑥薄膜温度センサ	エネルギー分野

Cグループ

製 品	適用分野
①C C Dマイクロカメラ	情報・通信分野
②赤外線温度センサ	情報・通信分野
③細胞分離装置	バイオテクノロジー分野
④3次元で動く指ロボット	生活文化関連分野
⑤形状記憶合金点字ユニット (形状記憶合金コイル)	医療・福祉分野
⑥シリコン貫通孔配線加工技術	マイクロファクトリ分野
⑦脳腫瘍治療用レーザカテーテル	医療・福祉分野
⑧R F-M E M Sスイッチ	情報・通信分野
⑨光可動ミラー	情報・通信分野

## Aグループ

### (1) 非冷却赤外センサ

この製品は、プロジェクトの開発技術である薄膜残留応力制御を応用し、プロジェクト終了近くで実用化された。技術は世界レベルで、このセンサを内蔵した赤外カメラでは照明がなくても撮影が可能であり、昼夜を問わず撮影機能が要求される監視用装置等に利用されている。今後、安全・安心・生活関連の新規市場の伸びが予想される。また、近似機能をもつ非冷却赤外センサをプロジェクト参加の他企業でも近く実用化される見通しであり市場は拡大するが市場確保の競争は激しくなると推定される。

### (2) 超音波診断用圧電素子

この製品は、開発企業が独自のX線リソグラフィによる微細加工プロセス技術でプロジェクトに参加し、その技術の活用により実用化された。第1期の末頃に客先より超音波発信デバイスの開発依頼があり、これで超音波医療診断装置に繋がった。しかも、この発信デバイスを内視鏡と組合せ医療診断装置に組上げるシステムをこのプロジェクトに参加した企業の医療分野に製品納入実績のある別の企業と共同開発したことにより短期間で実用化に至った。開発企業としてはプロジェクトにより、参入の困難な医療分野に新規参入した最適事例といえる。この製品はプロジェクト終了直後2001年度までに約900セット販売したが、その後も1200セット/年程度の販売を継続している。

また、他に応用製品として産業用非破壊検査装置を検討しており産業分野への新規市場創出を計画している。

### (3) IC検査用コンタクトプローブ

この製品は、上記企業によりこの微細加工プロセス技術を使いIC検査用コンタクトプローブ(半導体検査針)が2004年頃に実用化された。これは10数万本/月位の生産を行っており、ICチップの小型化が進む中で5年後には売上金額も現状の2倍に伸びると予想している。

### (4) 家庭用燃料電池フローセンサ

この製品は、参加企業によりプロジェクト中の要素技術を活かして上市された。実用化されたのはプロジェクト終了2年後(2002年)である。現在の売上は少ないが、これは当初予想した家庭用燃料電池自体が伸び悩んでいるためで、家庭用燃料電池の伸びとともに売上増を期待しており、将来は20億円/年規模を期待している(新聞発表資料)。燃料電池への応用の他に医療用、麻酔ガスフローセンサ、流量詰りセンサへの市場進出を計画している。

### (5) 超精密5軸加工機

この製品は、超精密加工技術もつ企業により、その技術を利用して、通常の精密加工とは異なる複雑な形状のナノ加工ができる超精密加工機として実用化され、工作機械を自社製品の中に付け加えることができる契機となった。

従来半導体分野では深堀加工等の微細加工技術は高度なエッチング、リソグラフィ技術が適用され一部MEMS技術で対応されているが、MEMS技術ではマイクロにみると溝側面が平滑にならず階段状になる問題がある。この装置の完成後、この微細機械加工機では側面がスムーズにでき、むしろ最近では機械加工の方が有利である状況がでてきてアプリケーションが増えてきている。

この超精密加工が可能になったことにより、開発企業は機械部品、半導体、バイオ、医療等の微細加工分野の新規市場に進出している。例えば、自動車用ヘッドライトランプ用の高級レンズの製作に使える。プロジェクタ用のレンズアレイの金型はMEMSでも製作できるが、機械加工の方が精度のよいものが出来るようになり、さらに大量生産に適用できる。超精密加工機に対して世界中から引合いがあり、現在では、第3世代の製品が販売されている。

#### (6) 高精度エンコーダ

この製品は、参加企業の超精密加工機とプラスチック射出成型技術の活用により実用化された。このプラスチック製エンコーダを搭載した小型サーボモータは競争力に優れ、社内で生産されている。また、高精度エンコーダとして自社製サーボモータに組み込まれ新規市場を開拓している。

#### (7) 形状記憶合金カテーテル

この製品は、参加企業がプロジェクト開発時にシーズを出し、プロジェクト第1期でユーザーからそのコイルの使用要請を受け、プロジェクト期間中に実用化・販売された。その後、カテーテル専門メーカーに2001年に譲渡し、プロジェクト成果の実用化は引き継がれた。譲渡先企業はこの技術に改良を加え、現在はコードレス細径内視鏡として販売しており、20本/年程度が販売されている。

なお、形状記憶合金コイルは要素部品であるが、この参加企業はプロジェクト終了後、形状記憶合金コイルの製造を中止し、別のベンチャー企業に譲渡した。譲渡先企業は形状記憶合金点字ユニットとして製品化を計画しており、医療福祉分野の市場開拓に貢献している。

#### (8) フォトニック結晶ファイバ

この製品は、参加企業が当該プロジェクトにおいて開発した線引加工技術を応用し、フォトニック結晶ファイバを実用化した。この製品は天体観測用の人工星(ガイドスター)をつくる時に使用する特殊ファイバである。このファイバはヨーロッパの南観測所(チリ在)と日本のハワイ観測所に最近納入された。この種のファイバを製造できるのはこの企業と海外のベンチャー企業2社の計3社のみである。この製品は現在、大学、研究機関に販売されているが、局所配線用コネクタなど通信用部品に適用可能であり相当の売上を期待している。

フォトニック結晶ファイバは、この10年位前から世界的に注目され、多数の科学者、技術者が研究に取り組んでいる。フォトニック結晶ファイバでは光が透過する際の減衰が少ないこと、透過する際の波形変形が少ないので、単波長を送る場合など当初の波長を維持

し、高出力で伝送することが可能になる。将来は、通信技術の高度化に伴い情報通信機器の基礎インフラ材料として多量に使われる可能性は大きい。

#### (9) 人工筋肉アクチュエータ

この製品は、アメリカの非営利の研究開発団体の日本支社がプロジェクトに参加して開発されたものであり、実験キットとして販売されている。この実験キットは最近5万セットを完売した。

その成果を更に発展、実用化するため、2004年に米国でベンチャー企業を設立し、応用研究、新規事業開拓を行っている。

2006年、上記、日本のベンチャー企業が応用製品として、小型発電キット(90万円/セット)を開発し、製作販売中である。また、それをさらに応用して、波力エネルギーを電力に変換する発電装置を完成させた。この日本にベンチャー企業は5年後には大幅に売上げを確保したいと意欲的である。その他に、この製品の用途は非常に多くの分野に適用の可能性があり、近い将来、この製品を取り込んだシステムにより、大きな市場を創出することが予想される。

#### (10) アイビジョン

この製品は、当該プロジェクトの開発成果を活用して作製したアンプ一体型モータを適用したものである。全てのカメラが同じ対象物を同じ大きさで撮影するキャリブレーション技術と米国の放送会社が開発した映像表示技術を融合して完成したシステムである。アメリカンフットボールのスーパーボール、日本でのプロ野球中継で実績を示したが、現在、本製品はコスト面等の課題から新たに製造、販売は行っていない。

#### (11) 高速共焦点顕微鏡

この製品は、参加企業が自社の形状計測技術を発展させて、従来品の100倍コマ測定を可能にした高速共焦点レーザ顕微鏡として実用化し、上市された。

この製品では世界最高速でコマ送りをすることができる。この装置ができたことにより生きた細胞の動的な研究が可能となり、バイオ分野でも革新的な貢献をした。例えばゲノムの研究において細胞内の特定蛋白質の動きを観察するのに利用できる。特定の遺伝子の動きの観察や、薬の調合にも役立つことになる。生細胞の研究方法は、GFP(グリーン・フルオロエッセンス・タンパク質)を用い、特定の蛋白質を光らせる方法が最も有望であり、この測定には本装置が最適である。

この技術は世界最高速で日本の技術が世界を制覇した。通常の共焦点レーザ顕微鏡の世界シェアは主要5社が占めており、開発企業はトップではないが、この高速共焦点レーザ顕微鏡については、現在までの販売数は約1000台であり、このタイプの高速共焦点レーザ顕微鏡は現在、この企業がほぼ100%のシェアを持っている。

## B グループ

### (1) 高性能加速度センサ、圧力センサ

この製品は、参加企業がプロジェクトで蓄積した加工技術で各種センサ(高性能加速度センサ、圧力センサ)として実用化したものを指しているが、ここでは高性能加速度センサを代表例として示す。高性能加速度センサはエアバッグやABS制御(Antilock Brake System)姿勢制御等に適用されている。エアバッグは従来高級車のみを搭載していたが、最近では普通車にも設置されており、加速度センサの搭載数量も1台に10個以上使用される自動車もある。

参加企業はマーケットの大きい自動車分野の製品のシェアも大きく、自社の競争力強化となっており、現在約6000万個/年が販売されている。

### (2) エアフローセンサ、加速度センサ

この製品は、上記、高性能加速度センサとは別の参加企業がプロジェクトで蓄積した薄膜評価技術を活用し高性能化し、2002年頃上市したものである。エアフローセンサは自動車に使用し5年後には100万台/年程度の売上を予想している。また、この企業は、加速度センサも開発しており、自動車のみならず事務機器にも進出し、5年後には200万台/年程度の売上を予想している。

### (3) 共焦点顕微鏡

この製品は、ガルバノミラーを用いていた共焦点顕微鏡のミラー部分をMEMSミラーに転換したものであり、2000年に商品化、2003年には改良品を更に小型化し、現在、共焦点顕微鏡全体ではトップシェアを確保している。

この製品を開発した参加企業は従来原子間力顕微鏡を生産し国内ではトップシェア、世界でも2～3番目に相当する位置を占め、従来から高度な技術力を有する。国プロへの参加はマイクロマシン技術プロジェクトが最初の経験で、国プロの成果を最大限に活用している。その意味ではプロジェクト以降この企業のMEMS関連の製品は波及効果を含めるとマイクロマシン技術プロジェクトの寄与が非常に大きいと想定される。当該企業はカメラ、顕微鏡を中心に各分野に進出しており、新規市場創出より従来市場での市場拡大に大きく寄与している。

この企業は研究開発、試作、生産まで可能なクリーンルームを設置しておりファンドリサービスも積極的で、高度MEMS(大量でない高機能製品)製品を生産している。社の方針として大量生産でなく特徴のある高機能製品を提供することで新規市場開拓を目指している。

### (4) ミニ生産システム

この製品は、参加企業が本プロジェクトで蓄積したマイクロ加工・組立システム技術を、さらに、その後、千葉地域コンソーシアムプロジェクトに参加して開発を継続し、この技術を完成させ、円筒研削セルとして実用化された。この円筒研削セルは従来の研削セルと比較して、重量は1/80、面積は1/30、消費電力は1/5でありながら、真円度、円筒度は1

μm 以下と、従来の工作機械と同等、あるいはそれ以上の精度を実現した。環境負荷をかけた生産システムとして 2003 年から実験稼働している。ただし、この製品は当面自社内で使用し性能を確認する予定であり、現時点では自社の生産性向上を狙う。

最近、マイクロファクトリ技術が注目され、北欧など(特にフィンランド)でも開発を進めており、DTF (Desk Top Factory)国際会議(平成 17 年 10 月)が開催された。この製品はこの分野の先駆的技術として市場をリードするであろう。

#### (5) 電池材料

この製品は参加企業がプロジェクトの中で自社の製造している材料の評価技術について研究開発を行い、その技術を活用して高機能の電池材料としたものである。従来に比し高品質の製品提供により従来市場での競争力強化となっている。

#### (6) 薄膜温度センサ

この製品は参加企業の持つ計測技術に、このプロジェクトで開発したマイクロアクチュエータの薄膜技術開発を活用し薄膜温度センサとして実用化された。この製品は自社の主要大型製品である発電タービンの研究開発用の温度センサとして使用している。タービンブレード温度の高精度測定結果をタービン設計に反映させ、高効率タービンの実用化と既存発電タービン市場での競争力強化に役立てたいとしている。薄膜温度センサだけを商品として販売する計画はない。

### C グループ

#### (1) CCD マイクロカメラ

この製品は、プロジェクトの中では発電プラント等の環境認識システムのマイクロ視覚システムとして開発されたものであるが、その技術の完成度は高くニーズがあれば製品化できる状況にある。しかし当面そのニーズがないため、用途を携帯電話用等に変更し、市場の大きい携帯電話市場に参入すべく技術開発中である。

#### (2) 赤外線温度センサ

この製品は、参加企業がプロジェクトで開発した薄膜評価技術を活用して開発したもので近く商品化が予定されている。非接触で温度測定ができる分野への進出できる。また関連技術から加速度センサも今年度中に商品化する予定で携帯電話用市場への進出が計画されている。

#### (3) 細胞分離装置

この製品は、参加企業がプロジェクトで蓄積した要素技術である微量液体操作技術のノウハウを活かし、細胞分離装置として実用化が計画されている。また、この企業はオンサイト型環境負荷物質検出装置を検討しており、近々実用化の見通しである。バイオ部門の他に環境微量分析分野に新規市場創出の可能性がある。国内において、細胞分離装置は現在米国 2 社の独占状況であるが市場は約 200 億円/年規模と想定されている。

#### (4) 3次元で動く指ロボット

この製品は、参加企業がプロジェクト終了後も開発を継続し、サーボモータ、磁気式エンコーダの開発を行い実用化段階に至った。コップを持てるような微小圧力を制御できるまでに技術を発展させ、愛知万博ではロボットの指に使用してトランペットを吹くロボットとして好評を博した。近い将来製品化予定であるが、生活分野の市場は大幅に伸びるとされているものの時期は不透明な部分があり、市場創出程度は予測しがたい。

#### (5) 形状記憶合金点字ユニット

この製品は、参加企業が経営方針の転換から、コイル製造技術の特許、装置、実施権を含めベンチャー企業に2005年に譲渡した。技術受託企業では点字用のデバイスに活用予定である。医療・福祉分野の市場創出に寄与することは確実であるが、点字ユニットの市場創出程度は不明である。

#### (6) シリコン貫通孔配線加工技術

本プロジェクトの開発アウトカムはハード製品がほとんどであるのに対し、これは半導体製造の技術でユニークな位置付けである。この技術の成功により他企業でも類似開発研究が進められているが、開発担当企業としてはこの技術を適用できる具体的対象製品を模索中である。現在、この企業はファンドリーサービスを実施して新規市場創出に努力しており、ウエハレベルパッケージや半導体実装分野に新規参入を検討中である。

#### (7) 脳腫瘍治療用レーザカテーテル

この製品は、参加企業がカテーテルの微細薄膜加工技術を活用してマイクロレーザ（波長 $2.8\mu\text{m}$ ）を治療用レーザ用として、東京女子医大と共同研究を行い開発された。すでに動物臨床実験を行っているが、医療機器は製品化されても臨床試験、治療効果の確認、認可の過程を経なければならない。また、機器製造コストの問題等のハードルが多くあり、新規市場開拓実現までにはしばらく時間がかかる可能性がある。しかし将来、高機能カテーテルの必要性が増すことは確実であり、ニーズがでてくれば使用可能である。

#### (8) RF-MEMSスイッチ

MEMSプロジェクトにより、RF-MEMSスイッチがメカニカルリレーと同等以上の優れた高周波特性を持たせつつ、最も課題とされた接点耐久性が10億回開閉可能を実現できた。また、サイズも既存半導体スイッチと同等レベルの小型化を実現できたことは、世界的に高い水準の成果を達成したと言える。これにより、新たな高性能小型化高耐久性なスイッチングデバイスを市場に投入できる見通しが立ったことで、通信、計測機市場への波及はもちろん、通信業界ではRF-MEMSスイッチを応用した新たなアプリケーション開発の動きも出始めていることから考えると、新市場創出に対して大きな影響力があると評価されている。

当面はICテスター用に2007年頃よりサンプル出荷し、2008年頃には製品として販売する予定である。RF-MEMSスイッチの展開できる市場は、ICテスター市場だけでも

今後年間数 10 億円以上の拡大が見込まれるとされ、参加企業は本格的な量産体制を構築し対応する予定である。また、数年後には映像、動画などの送受信に携帯電話にも使用されると期待しており、非常に大きな経済的アウトカムが予測される。RF-MEMS スイッチはマイクロマシン技術プロジェクトに参加した別の企業も開発予定であり、5 年後には市場は拡大するが競争は激化すると予測される。

#### (9) 光可動ミラー

この製品は世界最高性能の光ミラーデバイスとして期待されている。近未来の情報通信ネットワークでは光通信技術は不可欠であり、ここでは多重化された光信号が使われる。通信ネットワークでは交換機は必要なデバイスであるが、そこに要求される機能は非常に厳しい仕様が求められている。ここで開発された光可動ミラーは平坦度、ミラー角の制御精度および寿命など要求されている仕様に十分適合するものである。現状ではまだ開発された直後であるが、参入競争が熾烈であるために早急に上市することが求められている。そのための戦略が練られている。

### 3. 2. 2 経済的効果

経済的アウトカムを評価するためには製品ごとの販売量を算定する必要がある。しかし、大企業で関連の多くの製品を販売している場合は個別製品別の販売量は把握できていない。またある程度把握できていても企業秘密で公表しにくい面もある。従って、売上量を算定することは非常に困難である。今回はヒアリングおよび各社にアンケート調査を依頼しこれらの値から推定した。従って、この値は回答各企業の好意によって得られた最小限の値と評価すべきで、実態はこの数値よりはるかに多いと判断すべきである。また、販売金額でなく販売数量の回答があるが、これらの製品については他情報等から単価等を参考にして金額を推定した。

プロジェクト別にみると、現時点の売上金額が計上できる製品は、前記のようにプロジェクト終了後期間を経ているマイクロマシン技術プロジェクト成果が主体であるが、5 年後には、マイクロ流体プロジェクト、MEMS プロジェクトの開発製品も加えて計上できる。

#### (1) 売上金額とその伸び

マイクロマシン技術プロジェクトの終了した翌年の 2001 年度を起点としてその後の製品の売上金額の伸びを表 3. 2. 2、表 3. 2. 3、図 3. 2. 1 に示す。これより、2001 年度には約 10 億円であったが、2005 年度では約 107 億円となり、2010 年度では約 380 億円となる見込みである。累積金額で見ると、2005 年度には約 210 億円、2010 年度には約 1600 億円に達すると推定される。マイクロマシン技術プロジェクト終了後、製品の販売は増加を続けており、今後 5 年後には現在の約 3.6 倍の伸びである。なお、この値は平成 17 年度追跡調査で実施した値(2005 年度：約 50 億円、2010 年度：約 200 億円、2005 年度までの累積金額：約 150 億円)の大幅な上方修正となっている。

ちなみに、3 プロジェクト費用は 261 億円(マイクロマシン技術プロジェクト:213 億円、

マイクロ流体プロジェクト：5億円、MEMSプロジェクト：43億円)であるから、今回計上できた2006年度までの累積売上高が3プロジェクト費用を上回ることになる。当該プロジェクトの経済的アウトカムは大きいと評価できる。

## (2) 開発製品の分野別の売上予測

売上金額を計上できる製品が限定されているために製品を分野別に定量化することは困難であるが、計上されている製品を大まかな分野に分けてみる。この結果を表3.2.2に示す。2010/2005比では全分野の平均値は約3.6倍に伸びると予測される。

これより、現在は自動車分野が一番市場に先行しているが、5年後には情報・通信分野が大幅に伸び自動車と並ぶ2大市場になると予測される。今後5年後の分野の伸び率としては医療・生活分野が10倍以上で一番高いと予想される。

表 3.2.2 成果を活用した製品の売上予測 注1) (単位：億円)

分野	A. 基準 (2001年度)	B. 現在 (2005年度)	C. 近未来 (2010年度)	製品例
1. 情報・通信	0.24	16.4	126	フォトニック結晶ファイバ <sup>®</sup> 、RFスイッチ、CCDマイクカメラ
2. 自動車	—	61.2	92	高性能加速度センサ、圧力センサ
3. 精密・計測機器	5.6	22.0	54	高速共焦点顕微鏡、ICコンタクトプローブ <sup>®</sup>
4. 医療・生活文化	0.7	4.1	48	超音波診断用圧電素子、人工筋肉アクチュエータ
5. その他 注2)	3.5	3.5	61	超精密加工機、シリコン貫通配線加工技術、
計	10.04	107.2	381	
伸び率(倍)	1	10.7	3.6	

注1) アンケート及びヒアリングで確認した値のみ

注2) マイクロファクトリ分野、エネルギー分野等を含む

表 3. 2. 3 開発製品の販売金額予測 (単位：億円)

年度	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
単年度	10	20	30	40	107	162	217	271	326	381
累積	10	30	60	100	207	369	586	857	1183	1564

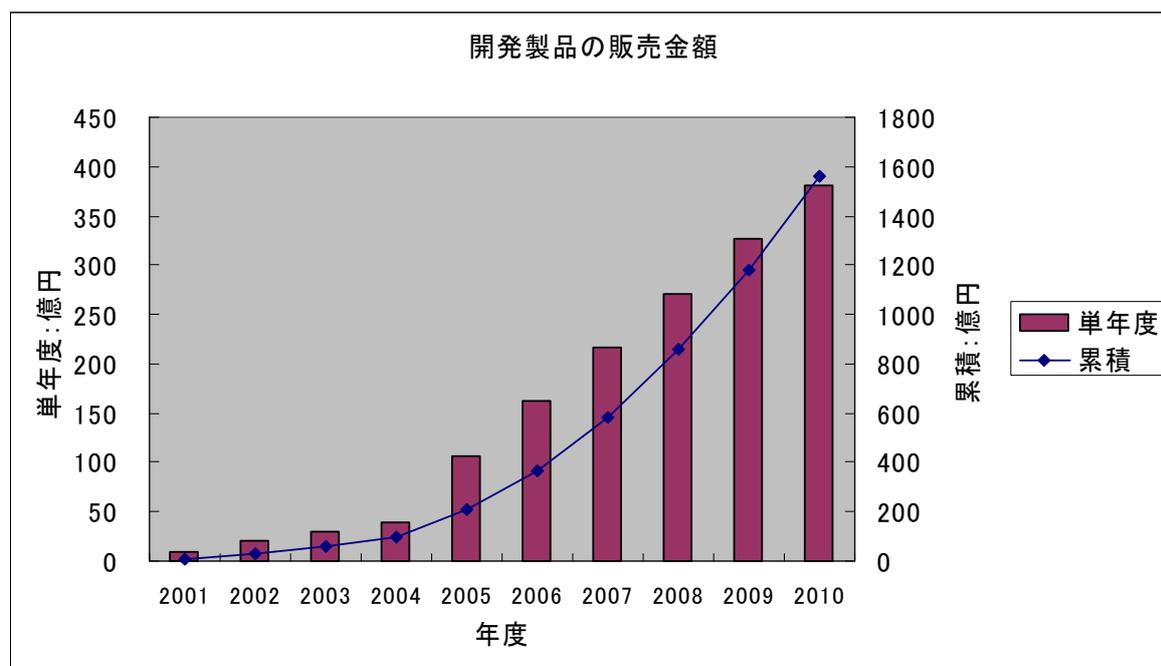


図 3. 2. 1 開発製品の販売金額予測

注 1) 2001～2004 年度の値は平成 17 年度調査実績値、2005 年度、2010 年度はアンケートおよびヒアリングによる積算値、2006～2009 年度の値は 2005～2010 年度間が直線的に伸びると仮定した値である。

(3) 波及市場の推定—マイクロマシン展出展企業からの推定—

マイクロマシン展では国プロで開発されたマイクロマシン/MEMS 技術の応用または開発技術により触発されて開発されたと想定される製品が多い。ここに展示している企業は殆どがプロジェクトに参加していない中小企業である。その点からはプロジェクトで開発された技術が公開により無意識の内に波及技術として浸透していると推定できる。このマイクロマシン展のアンケート調査を実施した(付属資料 1 参照)。その回答結果から、展示商品の状況を表 3. 2. 4、図 3. 2. 2 に、また現時点の売上金額と 5 年後の売上金額期待値を表 3. 2. 5、図 3. 2. 3 に示す。

この値はアンケートを回答し、さらに金額が記入された非常に限られた値であるから、プロジェクトに非参加の企業への波及効果として評価することには問題もあるが傾向としては注目すべき情報が読み取れる。

表 3. 2. 4 マイクロマシン展出展製品の主要分野別、開発段階別の製品数

分野	情報通信	製造技術	精密機器	医療福祉	バイオ	その他注4)	計/平均	備考
A.製品	12	62	32	8	6	34	154	
B.試供品等	7	30	16	14	15	22	104	注1)
C.製品計	19	92	48	22	21	56	258	注2)
D.試供品等比率:%	36.8	32.6	33.3	63.6	71.4	39.3	40.3	注3)
E.分野比率:%	7.4	35.7	18.6	8.5	8.1	21.7	100.0	

注1)B.試供品等:試供品製品+開発完了製品

注2)製品の適用分野は重複使用もあり、重複分野も計上している

注3)試供品等比率:全製品に対する試供品製品+開発完了製品の割合:D=B/C\*100

注4)その他は生活分野、ソフト等を含む

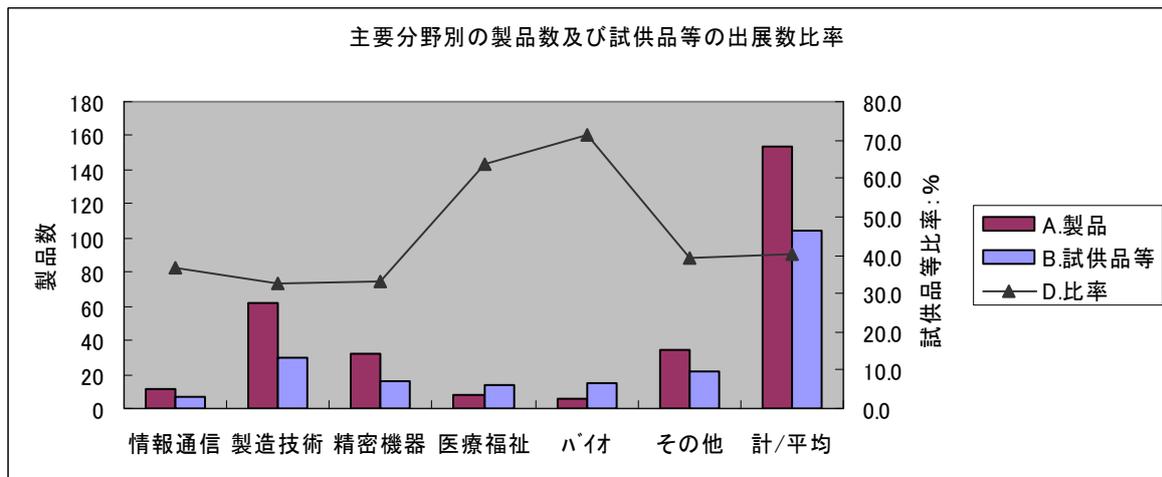


図 3. 2. 2 マイクロマシン展出展製品の主要分野別の製品数および試供品等の比率

表 3. 2. 5 マイクロマシン展出展製品の売上予想 (アンケート回答結果)

分野	情報通信	製造技術	精密機器	医療福祉	生活文化	計/平均
製品数	1	14	6	2	2	23
現在販売金額:億円/年	2.26	41.93	5.25	0.13	1.75	49.57
5年後販売金額:億円/年	4.48	147.26	12.4	1.3	11	165.44
伸率:倍	2.0	3.5	2.4	10.0	6.3	3.3

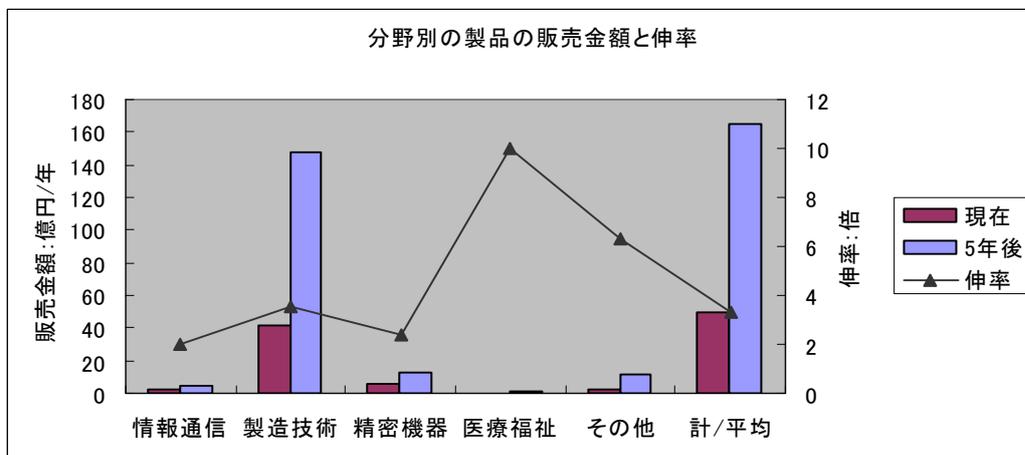


図 3. 2. 3 マイクロマシン展出展製品の分野別販売金額と伸び率

- ①製品の種類は製品全体で見ると製造技術に関するものが約 1/3 で一番多く、次いで精密・計測機器が多い。これは各企業が生き残りをかけて、プロジェクトで開発された要素技術に触発されて従来もっている自社技術を発展させた結果とも推定できる。
- ②製品の段階別で見ると医療福祉、バイオ分野は試供品が多い。これはこの分野では開発のリードタイムが長く、開発初期より宣伝を行っているためと思われる。
- ③製品の種類で製造技術に関するものが多いことは各企業が自社のもつプロセッシングに関する得意技術を宣伝する効果を狙うことが多い。加工技術で固有性を有する中小企業が多く出展しており、マイクロマシン分野の研究開発や製造に活かそうとする参加者とのやりとりが活発化している。

また、金額については

- ④出展製品の現在の売上金額は約 50 億円/年であるが 5 年後の 2010 年度には約 3 倍の約 170 億円/年程度に伸びる。この伸び率は国プロジェクト寄与製品の値とほぼ同様である。
- ⑤分野別の伸びでは平均的には市場は 5 年後には約 3 倍強に伸びる。医療福祉分野については金額は少ないが市場は約 10 倍に、生活文化他分野は約 6 倍に伸びると予想している。このことは医療福祉分野など必要性が叫ばれながら実用化までにハードルが高い現状をよく反映していると思われる。

#### (4) MEMS 市場の予測

今回開発した製品の市場の位置付けを把握するために、最近実施された「MEMS 関連市場の分析と予測の中間結果」(MEMS 関連市場の分析・予測と日本の競争力分析に関する調査研究委員会、平成 19 年 3 月報告)を図 3. 2. 4、表 3. 2. 6 に示す。

2005 年度の国内 MEMS 関連市場は、約 4,400 億円であり、2010 年度の市場は 1 兆 1,700 億円、2015 年度の市場は 2 兆 4,000 億円と予測されている。

MEMS 関連市場を産業分野別にみると、2005 年度においては自動車分野、情報通信分野の 2 分野で全体市場の 71% を占めており、2010 年度でもこの 2 つの分野が全体市場の 70% を占めているが、2015 年度では、67% となり、他の産業分野の割合が徐々に増えてくる。特に、アミューズメント分野(ゲーム機器)、精密機器分野、医療福祉機器分野の拡大が顕著になっている。

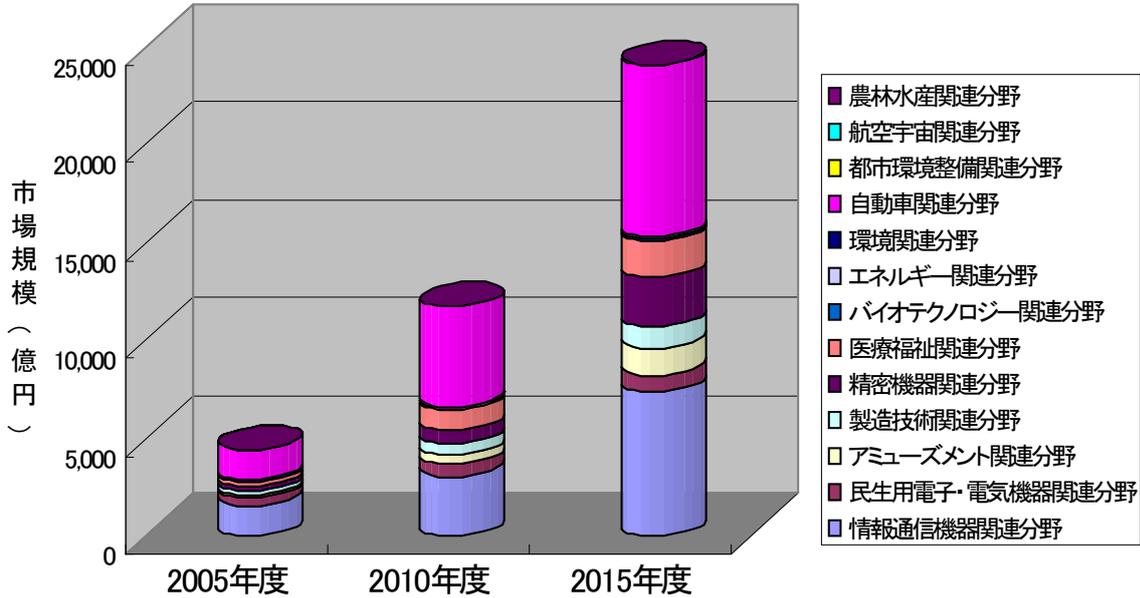
また市場規模を MEMS 種別で見れば、2005 年度の市場約 4,400 億円のうち 57% 強が「センサ MEMS」であり、この割合は 2010 年度が 55%、2015 年度が 51% 強と徐々に低下し、年を追うごとに光 MEMS、RF-MEMS、流体 MEMS、バイオ・化学 MEMS の割合が徐々にではあるが増加していく。

このように、産業分野別と MEMS 種別ごとの市場からの両面を見てみると、現在の市場は、センサ MEMS を中心に、自動車分野、情報通信分野が牽引しており、この傾向は MEMS 関連市場の基調として今後も続くが、光 MEMS、RF-MEMS、流体 MEMS、バイオ・化学 MEMS などは、光技術との融合、ナノ・バイオプロセスとを融合したマイクロナノ統合製造技術などキーテクノロジーとしての新規技術の取り込みが図られることによって、市場の拡大に繋がるものと推察される。

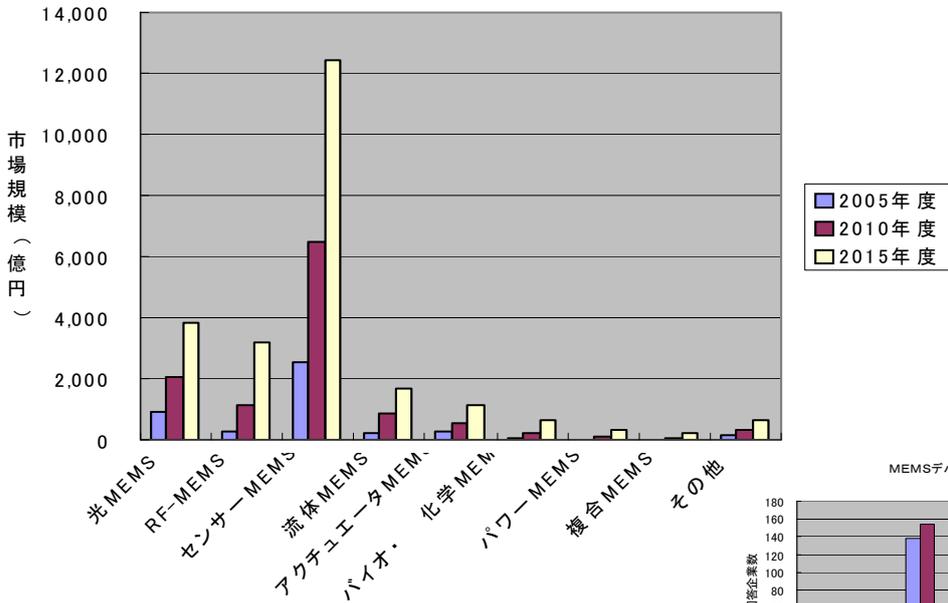
# MEMS関連市場規模

現在市場規模(2005年度) 4,397.3億円  
 2010年度予想 1兆1,743.4億円  
 2015年度予想 2兆4,074.3億円

参考: 2003年度調査結果  
 2002年度市場 4,261億円  
 2010年度予想 1兆3,567億円



## MEMS種別ごとの市場規模の推移



右図は、アンケート調査において、「将来どのようなMEMSデバイスを事業展開すると考えているか」に対する回答 (MEMSデバイスの事業展開の方向)

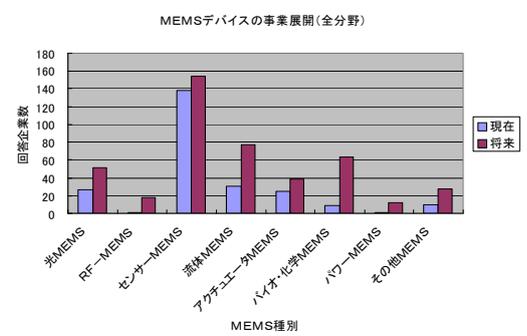


図 3. 2. 4 MEMS 関連市場と MEMS 種別ごとの市場規模の推移 注 1)

表 3. 2. 6 MEMS技術の市場規模 注1)

## MEMS関連市場規模予想

単位:億円

産業分野分類	2005年度	2010年度	2015年度
情報通信機器分野	1,556.16	3,050.65	7,356.34
民生用電子機器・電気機器分野	403.67	648.80	851.08
アミューズメント分野	103.92	440.67	1,372.55
製造技術（マイクロファクトリ、計測・分析、メンテナンス）分野	227.94	566.87	1,073.19
精密機器分野	229.22	677.44	2,544.84
医療福祉機器分野	254.18	1,074.75	1,867.68
バイオテクノロジー分野	34.87	42.58	80.07
エネルギー関連分野	0	69.26	137.19
環境分野	0.94	9.98	22.86
自動車分野	1,586.20	5,148.05	8,708.85
都市環境整備関連分野	0.08	0.77	1.61
航空・宇宙分野	0.15	6.16	43.18
農林水産関連分野	0	7.44	14.88
合計	4,397.33	11,743.42	24,074.32

注1)出所：「MEMS関連市場の分析と予測の中間結果」（MEMS関連市場の分析・予測と日本の競争力分析に関する調査研究委員会、平成19年3月報告）

### 3. 3 社会的、科学技術的アウトカム

社会的、科学的アウトカムは多方面にわたる。従って、下記項目に分けて整理する。

1. 知的財産のアウトカム
2. 技術の社会的評価向上のアウトカム
3. 人的・組織的蓄積のアウトカム
4. 市場開拓・新規企業誘発のアウトカム
5. 技術の蓄積・啓発・波及のアウトカム
6. 国際的影響へのアウトカム
7. 大学・研究所へのアウトカム
8. 国民生活・社会レベルの向上へのアウトカム
9. 国の施策、研究開発プロジェクトへのアウトカム

#### 3. 3. 1 知的財産のアウトカム

##### (1) プロジェクト実行中に出願した特許

3プロジェクト実行中に出願した特許の登録状況を表 3. 3. 1に示す。このうち、マイクロ流体プロジェクトは研究期間が短く出願件数が少なく、MEMSプロジェクトは終了したばかりであり登録状況の把握は難しいため、以下マイクロマシン技術プロジェクトの状況を主体に整理する。

マイクロマシン技術プロジェクトが実行されている中で出願された特許は563件あるが、その内、約95%にあたる534件が詳細に追跡できた。その内約40%弱の206件が特許登録をしている。審査請求をして登録している特許は重要性が高い特許と想定できる。

表 3. 3. 1 3プロジェクト実行中に出願した特許の登録状況

1. マイクロマシン技術プロジェクトの出願状況		
査定状況	登録状況	比率
査定済 : 292 件	特許登録済 : 206 件	38.6%
	登録放棄 : 11 件	2.1%
	拒絶査定 : 75 件	14.0%
査定なし : 230 件	未審査請求 : 127 件	23.8%
	査定なし : 103 件	19.3%
データなし : 12 件		2.2%
計 : 534 件		100%
2. マイクロ流体プロジェクトの出願数 : 7 件		
3. MEMSプロジェクトの出願数 : 104 件		

プロジェクト実行中に登録した206件の特許明細を調査し、その技術分野を整理した。その結果を表 3. 3. 2に示す。

表 3. 3. 2 マイクロマシン技術プロジェクト実行中に出願した  
登録特許の技術分野

大項目	件数	中項目	件数	小項目	件数	比率:%
基盤技術	53 (25.7%)	加工	43	ICプロセス	20	9.71
				ビーム加工	4	1.94
				機械加工	7	3.40
				その他	12	5.83
		評価	2	機能評価 信頼性評価	2 0	0.97 0.00
機能デバイス技術	137 (66.5%)	電子回路	11	専用デバイス	8	3.88
				三次元回路	3	1.46
		エネルギー	11	エネルギー供給	0	0.00
				エネルギー発生	11	5.34
		微小機能要素	115	アクチュエータ	47	22.82
				センサ	41	19.90
				移動・推進機構	14	6.80
				作動機構	8	3.88
				機能結合	0	0.00
				その他	5	2.43
システム化技術	16 (7.8%)	インターフェース	6	インターフェース	2	0.97
				遠隔操作	4	1.94
		制御	10	運動制御 自立分散制御	6 4	2.91 1.94
計	206 (100%)		206		206	100

表 3. 3. 3 マイクロマシン技術プロジェクト終了後に出願して公開になった特許の技術分野

大項目	件数	中項目	件数	小項目	件数	比率:%
基盤技術	50 (40.0%)	加工	40	ICプロセス	21	16.80
				ビーム加工	3	2.40
				機械加工	6	4.80
				その他	10	8.00
		評価	6	機能評価 信頼性評価	3 3	2.40 2.40
機能デバイス技術	58 (46.4%)	電子回路	4	専用デバイス	4	3.20
				三次元回路	0	0.00
		エネルギー	7	エネルギー供給	5	4.00
				エネルギー発生	2	1.60
		微小機能要素	47	アクチュエータ	19	15.20
				センサ	11	8.80
				移動・推進機構	4	3.20
				作動機構	0	0.00
				機能結合	0	0.00
				その他	13	10.40
システム化技術	17 (13.6%)	インターフェース	4	インターフェース	0	0.00
				遠隔操作	4	3.20
		制御	13	運動制御 自立分散制御	8 5	6.40 4.00
計	125 (100%)		125		125	100

これより、アクチュエータやセンサ等の機能デバイス関連が 137 件で約 66%を占める。ついで IC プロセス、機械加工等の加工技術が約 26%で、残りが制御技術等のシステム化技術で約 8%である。

次に、プロジェクト終了後に出願して公開になった特許を調査し、同様の分類で整理した結果を表 3. 3. 3 に示す。

プロジェクト終了後、現在(2006年)までに125件の特許が出願されている。出願から公開されるまでのリードタイムを考慮するとこれよりさらに上乘せされると推定できる。プロジェクト実施中の10年間に約560件であるから、年間平均出願数はやや少ないが、依然として約30件/年程度の出願が継続されており、この関連技術の新規開発が継続されていると想定できる。

出願の内容はアクチュエータやセンサ等の機能デバイス関連が58件、約46%で一番多いが、ICプロセス、機械加工等の加工技術が約40%を占め、プロジェクト実行中の比率より多くなっている。多くの技術者が加工技術や評価技術が重要であると認識しているためと思われる。残りが制御技術等のシステム化技術も約14%とプロジェクト実行中より増えている。

### 3. 3. 2 技術の社会的評価向上のアウトカム

技術の社会的評価は開発結果が第三者により公平に評価され、認知される必要があるが、その指標として、発表論文の受賞、技術受賞、及び発表論文の他の研究者による引用状況の3項目より整理する。

#### (1) 発表論文の受賞

プロジェクト終了後に技術論文は約300件以上発表されている。その中で、11件が受賞している。また、受賞ではないが、世界的に権威のある科学雑誌Nature誌の表紙に2回掲載された例もある。

この結果を表 3. 3. 4 に示す。IEEEは電子技術関連研究者が集る世界最大の学会であるが、その学術論文に掲載された論文の中でBest Paper 賞等を受賞している。

表 3. 3. 4 受賞論文

名称	企業名	装置名または論文名
精密工学会賞	川崎重工	「3自由度小型アクチュエータの開発(1~3報)」 精密工学会誌 Vol. 61 No. 3, 同 No. 4(1995)、Vol. 62 No. 4(1996)
電気学会論文賞	住友電工	「超電導小型シンクロトロン光源を用いたLIGAプロセスの開発」 電気学会論文誌C 116巻12号(1996年12月)
電気学会論文賞	デソロー	「02プラズマ照射による側壁保護膜を付加した新規なDRIE」 (2005)
IEEE MHS2001 Best Paper 賞	デソロー	「Wireless Link System for Communication and Energy Transmission of Microrobot」 2001 International Symposium on Micromechatronics and Human Science (IEEE の MHS2001)
機械学会技術奨励賞	東芝	「超小型カメラ向け静電マイクロアクチュエータ技術の開発」(2001年度)
エレクトロニクス実装学会賞	東芝	「3次元高密度実装技術を用いたマイクロカメラ視覚システム」 エレクトロニクス実装学会誌 Vol. 6 No. 2(2003. 3)

IEEE 賞	東芝	「HIGH-DENSITY 3D PACKAGING TECHNOLOGY FOR MICRO-CAMERA SYSTEM MODULE」 The 14th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems January21-25, 2001
精密工学会技術賞	ファナック	マイクロ加工機 ROBOnanoUi
精密工学会研究奨励賞	ファナック	マイクロ加工機 ROBOnanoUi (2001)
MEMS99 Best Paper 賞	松下電器	「A Novel Micro Electro-Discharge Machining Method using Electrodes Fabricated by the LIGA Process」 IEEE MEMS, pp. 238-243 (1999)
機械学会関西支部研究賞	三菱電機	「マイクロマシンングによる超小型電磁モータの開発」 (第1報、第2報、第3報) 日本機械学会論文集(C編)68巻665号(2002-1)

## (2) 技術賞

技術賞は産業に貢献する榮譽評価である。このプロジェクト終了後の技術賞受賞状況を表 3. 3. 5 に示す。この技術賞に 12 の技術が受賞している。

大河内賞は大河内正敏博士の功績を記念して大河内記念会が設けられ、生産工学・生産技術の研究開発および高度生産方式の実績等に関する顕著な功績に対し授与されるもので評価が高い。

市村産業賞は市村清氏の紺綬褒章受賞記念としてリコー三愛グループが創設した新技術開発財団によって授与されるものでわが国の科学技術の進歩、産業の発展、文化の向上、その他国民の福祉に関し、貢献した技術に授与される。

オルガノテクノ賞はノーベル化学賞(2001年)を受賞した野依良治博士を選考委員長とする賞である。

また「ものづくり大賞」は経済産業省が創設した賞であり、最先端の技術から伝統的・文化的な「技」まで幅広い分野において中核を担う中堅世代のうち、特に優秀と認められる人材(「ものづくり名人」)に対して、内閣総理大臣が表彰を行う制度である。

表 3. 3. 5 技術の受賞

名称	企業名	装置名または論文名
市村産業賞 ファインセラミックス賞	住友電工	超音波複合圧電素子 (2002)
大河内賞 (技術賞)	住友電工	IC 検査用微細コンタクトプローブの量産技術の開発 (2004)
大河内賞 (技術賞)	横河電機	分子のラマン解析が可能な高速共焦点顕微鏡の開発と実用化 (2003)
全国発明表彰: 弁理士 会会長賞	横河電機	共焦点用光スクヤの発明 (2000)
市村産業賞貢献賞	横河電機	高速画像観測が可能な共焦点顕微鏡の開発と実用化 (2000)
文部科学大臣賞: 科学 技術功労者	横河電機	高速共焦点顕微鏡 (2002)
オルガノテクノ大賞審査員特別賞	SRI 日本 支社	電場応答性高分子人工筋肉 (2005)
ものづくり日本大賞	産総研	デスクトップナノファクトリ (超小型ナノ製造システム) (2005)

平成 17 年度日本材料学会 技術賞 05 年度近畿地方発明奨励賞	三菱電機	加速度センサ:陽極接合による封止構造を有する MEMS デバイスの開発と実用化(2006) 日本材料学会誌 (2006/12)
平成 17 年度 第 3 回新機械振興賞	住友電工	マイクロマシン技術による IC 検査プローブ
06 年度近畿地方発明奨励賞	三菱電機	非冷却赤外センサ:Uncooled IRFPA with chip scale vacuum package 2006/3 SPIE
平成 18 年度新機械振興賞(経済産業大臣賞)	ファナック	超精密 5 軸加工機の開発

### (3) 論文の被引用回数

発表論文が他研究者に引用されることは、他研究者により先行研究、先行技術、注目研究と評価されていることを示している。文献検索によりマイクロマシン技術プロジェクト事後評価(平成 14 年 7 月)以降に発表されたマイクロマシン技術プロジェクト関連の約 50 件の英語論文について被引用回数(Citation)を調査した。使用したデータベースは科学技術分野でデータベースの充実している SciSearch-a Cited Reference Science Database 34(1990-)を使用して調査した。その結果を表 3. 3. 6 に示す。

10 論文(8 社)が合計 35 回引用されている。高速共焦点顕微鏡論文は最多で 11 回、放電加工技術論文は 7 回、X 線リソグラフィ加工技術は 4 回となっている。

表 3. 3. 6 主要被引用文献とその回数

引用技術	引用回数	被引用論文
高速共焦点 顕微鏡	11 回	High-Speed 1-frame/ms scanning confocal microscope with a microlens and Nipkow disks, Takeo Tanaami, Shinya Otsuki, Nobuhiro Tomosada, Yasuhito Kosugi, APPLIED OPTICS, Vol. 41, No. 22 August, 4704-4708(2002)
放電加工技術	7	A Novel Micro Electro-Discharge Machining Method using Electrodes Fabricated by the LIGA Process, K. Takahata, N. Shibaike, H. Guckel, IEEE MEMS, 238-243(1999)
超音波 診断素子	4	LIGA process-Micromachining technique using synchrotron radiation lithography-And some industrial applications, Hirata, Yoshihiro(Harima R and D Laboratories, Sumitomo Electric Ind., Ltd), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam interactions with Materials and Atoms, VOL. 208, No. 1-4, August, 21-26(2003)
ミニ生産 システム	3	Fabrication of micro parts using only electrochemical process, WATANABE N, SUDA M, FURUTA K, SAKUHARA T, (Seiko Instruments Inc., Chiba, JPN), Tech Dig IEEE Micro Electro Mech Syst, VOL. 14th; PAGE. 143-146(2001)
シリコン貫通配線加 工技術	2	Conductive Interconnections Through Thick Silicon Substrates for 3D Packaging, TAKIZAWA T, YAMAMOTO S, ITOI K, SUEMASU T, (Fujikura Ltd., Tokyo, JPN), Tech Dig IEEE Micro Electro Mech Syst, VOL. 15th; PAGE. 388-391 (2002)

CCDカメラ	2	High-Density 3D Packing Technology for CCD Micro-Camera System Module, Hiroshi YAMADA, Takashi TOGASAKI, Masanobu KIMURA, Hajime SUDO, The 14th IEEE International Conference on Micro Mechanical Systems Sponsored by the IEEE Robotics and Automation Society, 14-17(2001)
コンペソネータ	2	Novel Multi-Channel Tunable Chromatic Dispersion Compensator Based on MEMS and Diffraction Grating AU : Sano, T(Sumitomo Electric Ind., Ltd) ;Iwashima, T;Katayama, M;Kanie, T;Harumoto, M;Shigehara, M;Suganuma, H;Nishimura, M, Conference on Optical Fiber Communication, Technical Digest Series, VOL.86, Optical Fiber Communication Conference, Technical Digest-Postconference Edition, 722-723(2003)
コンペソネータ	2	Ultra-Compact Multichannel Optical Components Based on PLC MEMS Technologies, Kanie, T. (Sumitomo Electric Ind., Ltd) , Katayama, M.;Sano, T;Kohda, H;Sunaga, T;Shiozaki, M;Furukawa, M;Suganuma, H;Saito, K;Nishimura, M., Conference on Optical Fiber Communication, Technical Digest Series, VOL.86, Optical Fiber Communication Conference, Technical Digest-Postconference Edition, 388-390(2003)
マイクロポンプ	1	Thermal micro pumps for a loop-type micro channel, YOKOYAMA Y, TAKEDA M, UMEMOTO T, OGUSHI T, (Mitsubishi Electric Corp., Hyogo, JPN), Sens Actuators A, 0924-4247, VOL. A111, NO.1, 123-128(2004)
アクチュエータ	1	Micro-Servo Actuators for Microfactory Systems, T. Kabashima, T. Matsuo, K. Matsuzaki, K. Uemura and H. Nakamura, International Workshop on Microfactories December 7-9, 214-220(1998)

### 3. 3. 3 人的、組織的蓄積のアウトカム

#### (1) 企業の組織的蓄積

プロジェクト終了後のマイクロマシン技術関連の組織変更状況についてヒアリング及びアンケート調査を行った結果、研究部門の組織は約3/4の企業が組織の改編を行っている。またマイクロマシン技術関連の研究者は増員された企業は少ない。しかし、マイクロマシン技術、MEMS関連の研究基盤を充実した所は半数以上であった。1990年代、日本経済は停滞・不況の時代にあり、企業の生き残りをかけて企業組織の組織変更も積極的に実施され、研究者に集中と選択が厳しく実施され、削減された時期である。そのような状況なかで、研究組織が継続または増強されたことは、実質的には研究者の中でこの関連の研究は充実、強化されたことを暗示している。

その技術の継承の方法は自社でテーマを継続し、人的にはプロジェクト参加者が継続している場合が半数以上である。また、平成18年度に増強した企業も2社ある。

(2) 企業の人的技術蓄積、技術継承のパターン

国家プロジェクトを実行する場合、プロジェクトの大きさ、対応方法等により体制は異なるが、マイクロマシン技術プロジェクトは長期でかつ大プロジェクトであったから、各社とも自社内でプロジェクトチームを結成した。そのプロジェクトの体制

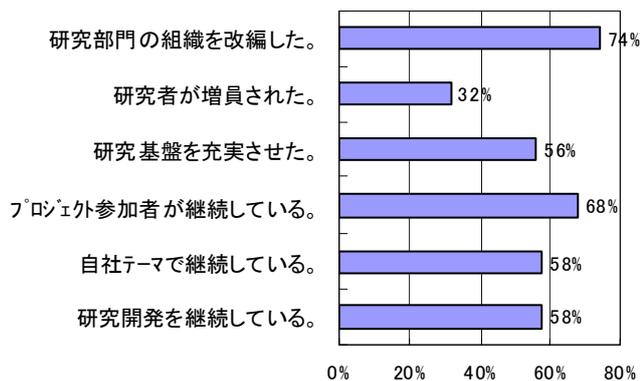


図 3. 3. 1 プロジェクト参加企業 22 社の回答

プロジェクトメンバーの構成は研究部門が中心となり、関連する設計、製造、設備の部門が加わる。そしてプロジェクト終了後は、通常は元の職場に復帰することになる。

そこでマイクロマシン技術プロジェクトの終了後の実態を整理すると、研究成果を継承できる研究者、技術者(コア技術者)は例えば研究所等に配属している。その他は元の部門に復帰するか、他部門に配属され、復帰した職場で開発の知見を技術伝承・波及に貢献する役割を担っている。また、一部の人は大学へ転出して関連研究に従事する場合がある。一方、自社の方針により、他部門に配属か、関連のない業務に転籍する場合もあり、年齢等の制約から定年退職のケースもある。

これらの状況を調査整理してみると、プロジェクト終了後5年以上を経過しているが、コア技術者として研究を継続、推進している人は約10~20%、元の職場、他部門で技術を継承している人が30~50%、大学に転出した人が約10名の4%、他部門等で関係のない業務に従事している人は20~30%である。大学に転出した人は、この技術を活かして転出しており、より専門的に研究、教育に携わっている。この結果から、マイクロマシン技術プロジェクト終了後も、その開発技術に関連した仕事に携わる人は約70~80%に達する。以上から、人的育成、蓄積の観点からみたアウトカムは大きいと推測できる。

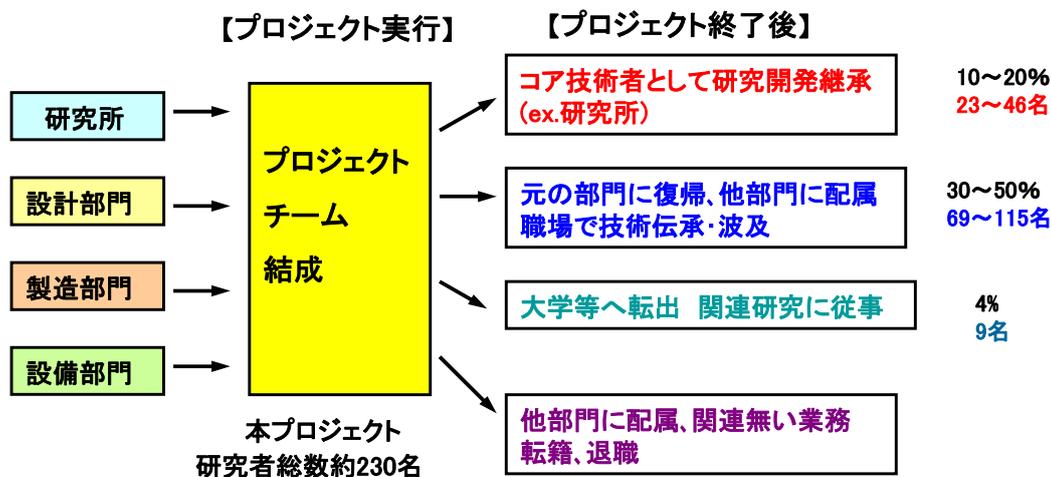


図 3. 3. 2 マイクロマシン技術プロジェクト参加企業の技術継承のパターン

### (3) 大学に転出した研究者

このプロジェクトの関係者のうち10名が大学に転出し、研究、指導・教育、後継者の育成に貢献している。特に、企業より転出した研究者はその実業経験から産業寄りの指導・教育に優れ、地域の活性化、中小企業、ベンチャー企業の支援・育成等に大きく貢献している。

### (4) 学位取得

マイクロマシン技術プロジェクトの研究に従事した研究者は約230人であるが、その中で、この関連技術により、博士学位を取得した人は13名、また候補者は7名以上である。学位取得には学位取得適齢の若手新進気鋭の研究者が熱意を持つことは当然であるが、優れた研究テーマを担当することが必要条件である。企業の姿勢、評価も研究者マインドに影響する。ヒアリング情報によると、学位取得そのものに企業として積極的に支援している企業は多くない。このような状況の中で研究担当者の約1割近い研究者が学位既取得及び候補者がいることは、この技術が新規の研究開発すべき高度の内容であったことを示している。

## 3. 3. 4 市場開拓・新規企業誘発のアウトカム

### (1) ファンドリーサービス

#### ① ファンドリーサービス発生の背景

MEMS誕生の背景となっている半導体産業での技術開発は大企業が自社の研究所に設置した研究設備を装備し進める方式が主流であったが、1980年代後半デザインハウスから出発した台湾のTSMCがファブレス企業の製造請負を始め、それが半導体のファンドリーとして企業規模に育ってきた。半導体プロセスの設備投資には莫大な資金が必要なことから、変化が激しく、短期間で製品開発を進める半導体業界では大きな存在価値を見出すことができた。

一方MEMS技術は現時点では、大企業が大量生産を行うほど市場規模は大きくない、そのために、他社にはない差別技術を持つ中小企業でも対応の余地が生まれた。しかしそのような中小企業は大規模試験設備を設置することはリスクが多い。また、大企業の中には遊休設備が生じる場合もある。このように、市場ニーズ、製造企業側の両方のニーズ等が補完して半導体産業で発生したと同じような発想でMEMSに関するファンドリーサービスの必要性が認識された。このようなビジネスモデルは米国、ヨーロッパで先行していたが、MEMSプロジェクトの中でファンドリービジネスモデルも一つの課題とした背景には1990年末期に急激に台湾の企業が力をつけ始めたことも影響している。

#### ② ファンドリーサービス実施企業

ファンドリーサービス事業は、現在いくつかの企業で実施されている。財団法人マイクロマシンセンターでは、2002年7月にMEMSファンドリーサービス産業委員会(FSIC)を発足させ、諸々のMEMSファンドリーサービスのネットワーク活動を推進している。

このファンドリーサービスネットワークに現在10社が参加しているが、プロジェクト参加企業では5社が参入している。その業務範囲は下記の通りで設計から製品製造まで含ん

でいる。また、MEMSプロジェクトでは3大学がファンドリーサービスの活用による研究開発を行い、有益な研究成果が得られ、このシステムの有効性を立証している。

	設計・シミュレーション	検証試作	製品開発	量産
オムロン㈱		バルクマイクロマシニングを中心とした各種MEMS/独自工法 of 原盤作成技術、電鍍量産技術によるレンズ、微細金型等		
オリンパス㈱	光MEMS、バイオMEMSで蓄積豊富/高精度バルクマシニングを用いた各種MEMS			
㈱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			
㈱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配線加工	
松下電工㈱	センサー、アクチュエータ(シリコンプロセス)/高密度実装			

図 3. 3. 3 マイクロマシンセンターのもとでのファンドリーサービス実施企業  
(10社のうちプロジェクト参加企業の5社)

## (2) ベンチャー企業の設立

マイクロマシン技術プロジェクトで開発した技術をコア技術として幾つかのベンチャー企業が設立された。

### ① A社

人工筋肉アクチュエータは広い応用分野のある技術である。A社はその用途開発を兼ねながら、研究開発を進める企業をアメリカに2002年頃に設立した。この企業は実験キットを製作販売したが、平成19年度で約5万セットを完売し、現在次の発電キットを製作販売中である。この企業の開発テーマに日本の企業支部も参加し、新応用分野を開拓研究中である。2006年現在、研究費受託は数十億円/年の実績をあげている。

### ② B社

人工筋肉アクチュエータはその後発電用部品として実用化し将来有望な製品となっている。波力を利用する発電装置として具体化し、新規に企業を2006年に日本に設立した。2010年頃には数千億円の売上を目指すという壮大な計画となっている。

### ③ C社

このベンチャーは大学の研究成果をシーズとして医療用機器を製造販売する企業として2000年頃に設立されたが、マイクロマシン技術プロジェクトで開発された形状記憶合金コイルの技術に興味をもち、開発企業がコイル製造を中止したことからこの企業より製造技術一式の譲渡を受け点字用機器の部品として商品化を検討している。

### ④大学の研究支援機関

大学における開発技術を産業界に活用する気運は最近活発になってきたが、その誘引は企業より大学に転出した人が率先して行っている。H教授は、自己の研究支援の目的から研究設備受託、改造等を行う研究開発ベンチャーを立ち上げている。このような研究開発機関は他大学でもみられる。

#### ⑤研究開発コンソーシアムベンチャー

大学の研究成果をキーテクノロジーとしてそこに幾つかの特殊専門技術を所有している中小企業が参加し、研究開発集団が幾つかできている。岡山地区、北陸地区等で新しい研究ベンチャーのスタイルを生み出している。

#### (3) マイクロファクトリ技術

「小さな物は小さな機械で作る」というマイクロファクトリは設置スペース削減や省エネルギー、環境負荷軽減等に効果がある。また、多品種少量生産や顧客の注文に応じて「一品生産」する等フレキシブルな生産技術としても注目されている。マイクロマシン技術プロジェクトの成果として参加企業がミニ生産システム(円筒研削セル)の実用化を果たした。その後、この関連の技術の進展、ニーズの増大にともない新生産技術であるマイクロファクトリまたはデスクトップファクトリ(DTF)技術が生まれた。

学会では精密工学会の分科会に「マイクロ生産機械専門委員会」が2005年2月設置され、マイクロ生産機械システムの関連技術開発・実用化の加速を図るために情報収集等を行い、生産技術の新たな展開を図ることを目的としている。国際活動としては、平成17年10月、諏訪市においてデスクトップファクトリ(DTF)国際フォーラム2005が開催された。平成18年10月にはフランスでIWMF2006(International Workshop on Microfactories)が開催された。このIWMFはマイクロマシン技術プロジェクトの成果をベースに(独)産総研(当時 機械研)が主導して組織化した隔年に開かれる国際会議である。産業界では、DTF研究会が2000年11月に長野県諏訪地方に発足し、約30社の企業が参加している。第8回のマイクロ生産機械専門委員会においてT企業のDTFの状況として下記の内容が報告された。

このDTF推進の中核企業では時計用部品の製造のためのDTF加工機を自作し、DTF工場を設立した。百数十台のDTF加工機による工場で、マイクロ旋盤、マイクロプレス等の自社製のDTF加工機が95%以上を占めている。現在社内一の高収益工場である。工場のレイアウトが1日で変更でき、個々の製品に合った工場レイアウトが可能である。

### 3. 3. 5 技術の蓄積・啓発・波及のアウトカム

これまでプロジェクト参加企業へのアウトカムについて記してきたが、プロジェクトに参加していない企業へのアウトカムについて整理する。

#### (1) 技術の蓄積と普及

各プロジェクト成果やデータは(財)マイクロマシンセンターにおいて報告書やデータ集として蓄積されている。マイクロマシン技術「マイクロマシン技術の研究開発委託報告書」及び第7回マイクロマシンシンポジウムにおける資料等に整理・蓄積されている。

また、同センターでは各種啓発活動、マイクロマシン展等を通じてマイクロマシン技術に対する啓発・普及が活発に行われており、プロジェクトに参加していない企業が恩恵を受けている。

## (2) マイクロマシン展

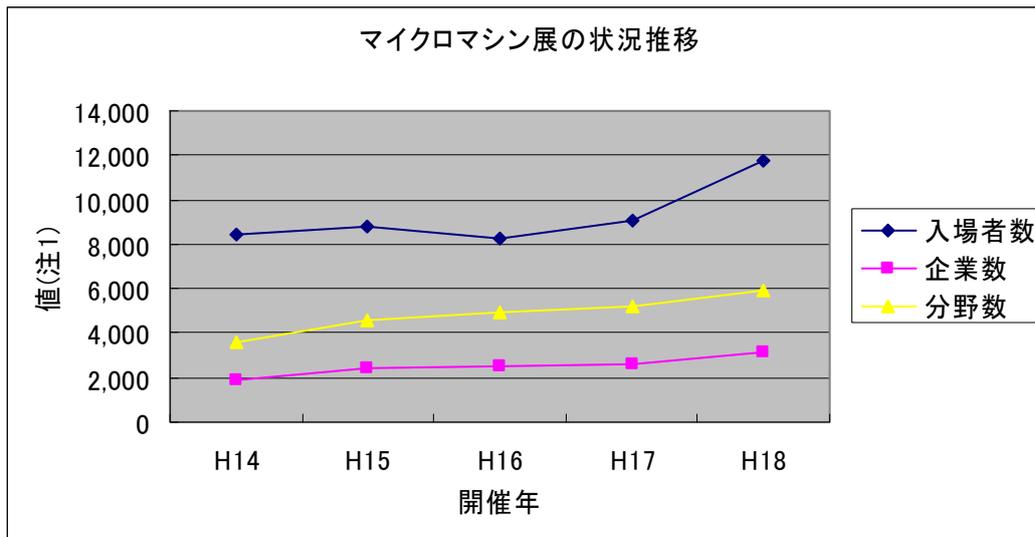
マイクロマシン展は当初マイクロマシン技術の国内での認知度を上げるためとプロジェクトの成果を公表、宣伝するために平成2年(1990年)から始め、以降毎年、(財)マイクロマシンセンターの主催で開催されてきた。平成18年は第17回目になるが年々活況を呈している。最近5ヵ年の入場者、出展企業、製品内容を表3.3.7と図3.3.4に示す。入場者数は平成16年にはやや減少したが以降多くなっている。特に平成18年の入場者は前年比の約30%増であった。展示企業・団体数は一貫して増加している。また、出展企業に製品の分野を設定しているが、その出展分野も確実に増加している。製品の分野は平成14年には8分野であったが、平成15年以降はナノテクノロジーを分割し10分野となり、平成18年には微小化学分析システム( $\mu$ TAS)分野ができ11分野となった。

分野の内訳で、マイクロメカトロニクス関連システムが平成17年にMEMS(微小電気機械システム)に、精密加工・製造装置、材料分野がMEMS製造装置・設計ツールと発展的に変化し、MEMSとしての拡大、進展がうかがえる。

平成18年にはその出展企業にアンケート及びヒアリング調査を行いその実態を把握した。(参考資料1参照)

表 3.3.7 マイクロマシン展の状況推移

開催回	第13回	第14回	第15回	第16回	第17回	前年比
開催年	H14	H15	H16	H17	H18	(H18/17)
総入場者数(人)	8,424	8,793	8,213	9,098	11,736	1.29
展示企業・団体数	187	238	247	259	313	1.21
出展製品分野数	8	10	10	10	11	1.10
出展製品の区分内容	出展製品の該当分野数					
1.マイクロマシン	52	68	84	84	89	1.06
2.コンポーネント・その応用システム	31	30	41	51	41	0.80
3.マイクロメカトロニクス関連システム	22	29	48	—	—	
4.MEMS(微小電気機械システム)	—	—	—	50	59	1.18
5.精密加工・製造装置、材料	103	134	99	—	—	
6.MEMS製造装置・設計ツール	—	—	—	62	98	1.58
7.ナノテクノロジー	41	51	57	67	56	0.84
8.ナノテック材料	—	13	21	33	32	0.97
9.その他材料	—	21	17	43	41	0.95
10.バイオテクノロジー・医療関連	27	28	37	42	51	1.21
11.評価・計測機器・ソフトウェア	61	79	83	73	86	1.18
12. $\mu$ TAS(微小化学分析システム)	—	—	—	—	29	
13.その他	25	8	11	13	9	0.69
計	362	461	498	518	591	1.14



注 1) 値：入場者数はフルスケール、企業数と分野数は表示の 1/10 スケール

図 3. 3. 4 マイクロマシン展の状況推移

製品を出展している企業約 230 社にアンケートを出し、その約 40%にあたる 85 社より回答が得られた。回答企業から 140 製品以上の照会があり、その内製品の要素技術がプロジェクト開発技術よりある程度啓発されたか影響を受けたと推定される製品が約 1/3 あり、僅かでも触発された可能性のある製品は約 4 割で、多少なりともプロジェクト技術の波及効果と想定される製品は全体の 7 割以上になっている。これらの企業はプロジェクトに参加していない中小企業がほとんどであるから、プロジェクト成果が技術者、研究者に広く、無意識に活用、普及しており、国家プロジェクトのアウトカムとして評価できる。

## (2) MEMS 協議会

今や MEMS 技術はわが国産業の競争力強化にとって極めて重要なものとなりつつあり、また、MEMS 技術を活用した MEMS デバイス・製品の市場が拡大し、産業として大きく進展しつつある。このような状況を踏まえ、MEMS 産業の一層の発展を支援し、わが国産業の国際競争力強化に貢献することを目的として、MEMS 関連企業を構成メンバーとする MEMS 協議会が平成 18 年 4 月に設置された。

MEMS 協議会は、財団法人マイクロマシンセンターの下に MEMS 関連企業を構成メンバーとする特別事業委員会の形で設置され、近年広がりが見られる MEMS 産業の一層の発展を支援し、わが国産業の国際競争力強化に貢献することを目的とし、政策提言や産業交流・活性化事業を推進している。

## 3. 3. 6 国際的影響へのアウトカム

マイクロマシン技術プロジェクトのアウトカムとして国際的にマイクロマシン技術の多様性、重要性が世界的に注目されるようになったことに鑑み、その普及、交流の核として事務局を(財)マイクロマシンセンターが務め、貢献している。

### (1) マイクロマシンサミット

日本が提唱したマイクロマシンの概念を国際的に認知させるために本プロジェクト事業として始めた。第1回は1995年京都で開催した。以来、開催希望国の持ち回りで毎年開催されている。マイクロマシン/MEMSに関する教育、技術動向、政策やトピックス等について現状や将来展望を自由に議論し、世界のマイクロマシン/MEMS分野の進展に寄与することを目的としている。(財)マイクロマシンセンターはマイクロマシンサミットの常設の事務局として記録の保存、開催の準備等について支援している。第12回は、中国の北京で2006年4月に開催された。

### (2) マイクロファクトリーのワークショップ

IWMF (International Workshop on Microfactories)

プロジェクトの課題の一つであった、マイクロファクトリーの概念を国際的に普及することを目的として始めた。これは日本(産総研)の主導で始まり、2年ごとに日・米・欧で開催される。2006年10月にはフランスのブザンソンで第5回の会合がもたれた。

### (3) 国際標準化

本プロジェクトを実施したことにより、当該分野で用語の標準化をする必要を感じMEMS関連専門用語集を纏めた。これをベースに各種の規格案をIEC (International Electrotechnical Commission)に提案し、国際規格として発行している。

2002年にマイクロマシン・MEMS分野では国際的に初めての規格となる「MEMS専門用語」に関する規格案、2003年には「MEMS用薄膜材料の引張試験法」、「MEMS用薄膜材料の引張試験用標準試験片」の試験法に関する2件の規格案をIECに提案した。以降、順調な規格案審議を経て「MEMS専門用語」については2005年9月に国際規格(International Standard)発刊、また「MEMS薄膜材料の引張試験法」、「MEMS用薄膜材料の引張試験用標準試験片」の2件についても2006年8月に国際規格発刊に至っている。

更に、薄膜材料の標準化ロードマップに基づき、2006年5月、新たに「MEMS用薄膜材料の疲労試験法」に関する新規規格案の提出を行っている。今後はマイクロマシン・MEMSにとってニーズの高い規格とは何かについて調査することにより新しい規格案創出の検討を進めている。これらは(財)マイクロマシンセンターが中心となって推進している。

また、⑤センサ評価技術の標準化があるが、これは(独)産総研・計測標準研究部門が中心となって推進している。

#### ①MEMS専門用語

2002年7月	NP (New Proposal) 提出
2003年4月	CD (Committee Draft) 提出
2004年4月	CDV (Committee Draft for Vote) 提出
2005年4月	英語版FDIS (Final Draft International Standard) 提出
2005年9月	国際規格(International Standard) 発刊 【IEC62047-1】
2006年4月	JIS化取り組み開始

②MEMS用薄膜材料の引張試験法 及び

③MEMS用薄膜材料の引張試験用標準試験片

2003年7月 NP提出

2004年4月 CD提出

2005年3月 英語版CVD提出

2005年9月 投票締切。承認後FDIS化

2006年8月 国際規格(International Standard)発刊

【IEC62047-2】 【IEC62047-3】

④MEMS用薄膜材料の疲労試験法

2006年5月 NP提出

2006年9月 NP投票、承認された。

⑤半導体加速度センサ

センサ評価技術の開発がプロジェクト後も継続され、半導体加速度センサに関する規格案をIECに提案した。CDV(Committee Draft for Vote)の段階である。

#### (4) 日中韓MEMS標準化ワークショップ

最近のMEMS分野の国際標準化活動においては、わが国と韓国が精力的に取り組んでいる。わが国は専門用語や薄膜材料の引張試験・疲労試験を中心に、韓国はMEMS通則やRF-MEMSスイッチを中心にそれぞれ国際標準化の取組が進んでいる。このような状況の中で、日韓両国を中心にMEMS標準化についての意見交換、将来の協力の模索等を行うことを目的に、平成17年から日韓中MEMS標準化ワークショップ(第1回：平成17年11月)を開催した。第2回目は平成18年6月、韓国・慶州において開催された。

#### (5) 国際シンポジウム

1995年以来マイクロマシン技術の研究開発と普及を目的に、7回の国際マイクロマシンシンポジウムを開催してきた。2002年の第8回からは、ナノ技術にも視野を拡げ、サブタイトルを「マイクロマシン技術ーナノテクを支える次代の産業技術基盤」として「国際マイクロマシン・ナノテクシンポジウム」を開催している。2006年には通算12回目を開催した。

### 3.3.7 大学・研究所へのアウトカム

わが国の大学・研究所におけるマイクロマシン関係の研究は、東大、東工大など一部の大学では精密機械や精密工学の研究として古くから行われていたが、今日のように殆どの工学系を有する大学で、マイクロマシン関連の研究と教育が行われるようになったのは、「マイクロマシン技術プロジェクト」(1991年～2000年)の影響が大きい。

大学で新規分野の教育を行うには、その教育を担当し得る人材の供給が先行しなければならないが、前記プロジェクトにかかわり、大学へ転出した研究者については、既に3.3.3節で報告した。

また、当プロジェクトの推進機関として1991年に設立された「財団法人マイクロマシン

センター」は、プロジェクト推進の傍ら、当該分野の基礎研究面を補足するための事業として、1993年度より2001年度まで、多くの大学研究者（教授、助教授、講師、および助手）に「助成研究」を委託している。研究の対象は、マイクロマシンの基盤技術、機能要素技術、システム化技術に関する基礎的研究で、研究期間はテーマAが1年またはテーマBが2年で、助成金額は1件当たり、テーマA 200万円、テーマB 300万円であった。毎年数件が委託されており、その件数推移を表3.3.8に示した。（付属資料2参照）

表 3.3.8 マイクロマシンのセンターの助成研究の依頼件数

年 度	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	合計
テーマA	5	3	1	3	3	1	1	0	3	20
テーマB	3	5	6	8	6	6	6	6	0	46

テーマA、B併せて総件数は66件であり、数十名の大学研究者に基礎研究を依頼したことは、当時の当該分野研究者の育成への寄与は大きかったといえよう。現在、委託研究経験者や前記の大学へ転出したプロジェクト実施者がマイクロマシン関連分野において重要な働きをしていることは、当該プロジェクトのアウトカムの一つといえる。

1990年以降の大学におけるマイクロマシン関連の学科、講座の設置、さらには附置研究所の設立等も盛んであるが、これらは先行したロボット工学やシステム工学との実質的な分離が難しいことや、機械工学、電子工学等の旧来学科名で内容的にマイクロマシン分野に改編されている場合もあり、改編時点を正確に把握することは難しい。

把握できた例として、立命館大学理工学部（びわこ・くさつキャンパス）の場合をみると、機械工学科は古く1949年に発足し、ロボテックス学科が1996年に、マイクロ機械システム工学科が2004年に新設されている。学部でマイクロマシン専門の学科を設置している大学は多くはないが、講座ないし大学院専攻でマイクロマシンを設定している大学は非常に多い。例えば、京都大学工学部（吉田・桂キャンパス）では2004年から「マイクロエンジニアリング講座」が新設され、学部、修士、博士コース共通してMEMS関連の教育が行われている。表3.3.9は、現時点でマイクロマシン関係の研究・教育が行われている大学の一覧である。なお、付録資料には各大学の代表研究者名も記載してある。

表 3.3.9 マイクロマシン関係の教育・研究の行われている大学

No.	大学名	組織・部門
1	愛知工業大学	・工学部、電気
2	秋田県立大学	・システム科学技術学部
3	茨城大学	・工学部、システム
4	宇都宮大学	・院、工学研究
5	大阪大学	・工学部、機械、・基礎工学、工学、同、電子物理、 ・院、工学研究 応物
6	大阪教育大学	・ 教育学部、教員養成（電気）
7	大阪府立大学	・院、工学研究
8	岡山大学	・院、自然科学研究

9	香川大学	・工学部、知能機械
10	鹿児島大学	・院、理工学研究
11	九州大学	・院、知能機械
12	九州工業大学	・院、生命体工学
13	京都大学	・院、工学研究、・院、電子工学
14	近畿大学	・工学部、知能機械、・生物理工学部
15	熊本大学	・院、自然科学研究科
16	群馬大学	・院、工学研究
17	慶応大学	・理工、機械、・同、応用科学、・同、物理情報
18	工学院大学	・工学部、工学機械システム工学
19	首都大学東京	・工学部、システム、・院、理工学研究
20	湘南工科大学	・機械工学科
21	筑波大学	・院、数理物質化学
22	電気通信大学	・電通部、知能機械
23	東京医科歯科大学	・生体材料工学研究所
24	東京大学	・工学部、機システム、・同、実装工学 ・院、工学系研究科、・同、情報理工学 ・生産技術研究所
25	東京工業大学	・院、総合理工、・精密工学研究所
26	東京工科大学	・ハイテックス学部
27	東京電機大学	・工学部、物理情報
28	東京農工大学	・工学部、生命工学、・同、機械システム ・院、物質機能科学
29	東京理科大学	・院、基礎工学
30	東海大学	・工学部、精密工学
31	東北大学	・院、工学研究、・金属材料研究所、・電気通信研究所 ・先進医工学機構
32	徳島大学	・院、先端技術科学
33	豊田工業大学	・工学部
34	豊橋技術科学大学	・電気・電子工学
35	名古屋大学	・院、工学研究
36	新潟大学	・院、自然科学研究
37	日本工業大学	・システム工学科、・先端材料技術センター
38	弘前大学	・理工学部、知能機械
39	兵庫県立大学	・院、物質理学研究、・高度産業技術研究所
40	北陸先端科学技術 大学院大学	・材料科学研究
41	名城大学	・理工学部、機械システム
42	山口大学	・院、医学系研究科
43	山口東京理科大学	・工学部、電子情報

44	山梨大学	・工学部、機械システム工学
45	横浜国立大学	・工学部、生産工学、・院、環境情報研究
46	立命館大学	・理工学部、マイクロ機械システム、 ・マイクロシステム技術研究センター
47	早稲田大学	・院、理工学研究ナノ理工学専攻 ・同、応用化学専攻
48	独立法人宇宙航空 研究開発機構	・総合技術研究本部
49	独立法人産業技術 総合研究所	・先進製造プロセス研究部門 ・併設「MEMSビジネス棟」 ・ナノテク研究部門
50	独立法人物質・材 料研究機構	・ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター

大学の附属研究施設関係では、東北大学工学部（青葉山キャンパス）にベンチャー・ビジネス・ラボラトリー（2006年、マイクロ・ナノマシニング教育センターに改組）が、比較的早い1996年に設置されているが、東京大学生産技術研究所（駒場キャンパス）にマイクロメカトロニクス国際研究センターが2000年に設置され、東工大の精密工学研究所にもマイクロシステム研究センターが2000年に設置されている。私立大学の立命館大学（びわこ・くさつキャンパス）にマイクロシステム技術研究センターが設置されたのも2000年である。

これらの改編は勿論、政府の施策であるベンチャー・ビジネス・ラボラトリー制度（1995年～）、TLO法（大学等技術移転促進法、1998年～）、オープン・ビジネス・ラボラトリー制度（2001年～）、知的クラスター創生事業（2002年～）、21世紀COEプログラム（2002年～）や、私立大学向けのハイテク・リサーチ・センター整備事業（1996年～）、オープン・リサーチ・センター整備事業（2001年～）等に沿って進められたものであるが、マイクロマシン技術プロジェクトが終了した2000年以降に、多くは設置されている。

さらに、これらの大学が教育と研究の機能を果たしている他に、地域産業の技術指導・支援、さらに企業との共同研究・共同開発を推進している機能も大きい。産官学の研究交流は古くから叫ばれているが（研究交流促進法、1986年）、最近では産業技術総合研究所や各県単位の公立研究所も含めて、産官学連携推進会議が2001年から連続開催されているように、産官学の共同研究・共同開発が盛んになっている。これには国立大学の法人化（2004年）による活性化の影響もあるとみられるが、地域のファンドリーとしての機能も果たしている。

表 3. 3. 10 は 2002 年から文部科学省によって進められている、知的クラスター創生事業の対象地域と主要事業分野ならびに技術の中核となる大学である。事業分野でマイクロマシンを掲げたものはないが、IT、ナノテクノロジー、バイオ、先端医療等はマイクロマシン技術で作られる基盤抜きでは成立しない分野といえるから、知的クラスター創生にもマイクロマシン技術は大きく寄与するものと考えられる。

表 3. 3. 10 知的クラスター創生事業対象地域と事業分野および中核大学

No.	地域	事業分野	中核となる大学
1	札幌	IT	北海道大学大学院
2	仙台	IT	東北大学
3	長野・上田	ナノテクノロジー	信州大学地域共同研究センター
4	浜松	超視覚技術	静岡大学地域共同研究センター
5	京都	ナノテクノロジー	京都大学
6	関西学術研究都市	IT・バイオ	奈良先端技術大・同志社大学
7	大阪府彩都	先端医療	大阪大学
8	神戸	再生医療	先端医療センター
9	広島	医薬品開発	広島産業科学技術研究所
10	高松	バイオ	香川大学・香川医科大学
12	北九州学術研究都市	環境	九州市立大・九州工業大学
13	福岡	半導体	九州大システム LSI センター

文部科学省資料より作成

以上から、大学・研究所へのアウトカムとしては、

- ① 研究者・教育者としての人材供給及び育成
- ② マイクロマシン関係講座・施設の充実
- ③ 地域産業の指導・支援及び共同研究の推進

が挙げられる。定量的な評価は難しいが、マイクロマシン技術プロジェクト(1991年～2000年)の成果は大きく寄与しているものと考えられる。

### 3. 3. 8 国民生活・社会レベルの向上へのアウトカム

新技術の開発はすべて広義の国民生活・社会レベルの向上を目指して推進しているが、ここで特に(1)情報化社会への貢献、(2)省エネルギー・環境負荷低減効果、(3)安心・安全・生活の質向上へのアウトカムの視点よりその影響の大きい製品、技術について整理する。

#### (1) 情報化社会への貢献

##### ① RF系デバイス

RF系デバイス、ミリ波発生用デバイス、共振器等は、通信装置へ搭載され、小型化、高機能化等により、質の高い情報化社会形成に寄与する。

この技術の開発は数社で積極的に推進されているが、2007年頃には高性能のRF-MEMSスイッチの実用化を目指している企業があり、5年後には数社より高性能の製品が登場し、携帯電話の機能向上など画期的な変貌が予想される。

## ②GPS 関連

カーナビゲーションシステムと同じように携帯電話に位置情報機能を搭載したものをマンナビと呼び、既に一部の携帯電話に載せられ子供や徘徊老人の位置情報確認の試みがされている。しかし衛星からの電波が届かない建物の中では効果が無く、現在の検出精度もまだそれほど高くない。ここにMEMS ジャイロを組み合わせれば低コストで検出精度を上げる可能性があり、既にその検討が始まっている。

### (2) 省エネルギー・環境負荷低減効果へのアウトカム

マイクロマシンは元来小型化されているので省エネ化、省スペース化、少廃棄物化が図られ環境に優しい技術である。これらの技術の中で省エネルギー・環境負荷低減効果へのアウトカム寄与効果が大きい製品、技術について整理する。

#### ①家庭燃料電池用フローセンサ

微小流量フローセンサの実用化により家庭用燃料電池の普及に貢献している。家庭用燃料電池は水素等の代替エネルギー対策に寄与し、省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減に貢献する。また、自動車用燃焼制御用フローセンサとしても使えるので、高効率燃焼により、自動車の省エネルギー、環境負荷低減技術としても寄与する。

#### ②マイクロファクトリ(ミニ研削装置)

マイクロファクトリは、従来の工作機械と同等またはそれ以上の精度を保ちながら、小さな容積の工作機械を実現でき、消費電力の削減に効果のあることを実証した。

#### ③人工筋肉アクチュエータ

人工筋肉アクチュエータ(1W/g)は、サーボモータ(0.5W/g、減速機等が入ると0.05W/g)等に比べ、小型で出力密度の大きく、エネルギー転換率に優れ、省エネルギー効果が大きい。平成18年にはこの技術を活用した波力発電を行うベンチャー企業が設立された。

#### ④薄膜温度センサ

ガスタービン静翼上に薄膜温度センサを作製することにより、タービン用高温材料開発や設計に活用し高性能ガスタービンの開発に繋がっており、省エネルギーでCO<sub>2</sub>削減に貢献する。

### (3) 安心・安全・生活の質の向上へのアウトカム

#### ①加速度センサ

加速度センサは、エアバッグや、ABS制御(Anti Lock Brake System)姿勢制御用で使用されて、自動車の安全性がさらに高まっている。

#### ②非冷却赤外センサ

このセンサを内蔵した赤外カメラでは照明がなくても撮影が可能であり、昼夜を問わず撮影機能が要求される監視用装置等に利用されている。国民の安全を確保する機器として貢献する。

#### ③脳腫瘍治療用レーザーカテーテル

マイクロレーザを搭載した脳腫瘍治療用レーザーカテーテルは、動物実験で成功しており、あとは臨床実験による効果の確認を得る段階にまできている。悪性脳腫瘍を完全除

去することにより、5年生存率が倍増する。

④TPM (Tire Pressure Monitor)

自動車タイヤの圧力をモニタしてパンクによる事故防止を防ぐ目的で、MEMS圧力センサの適用が予定されている。既に搭載の法制化が進みつつあり、近年中にそのマーケットは急激に広がる可能性がある。

### 3. 3. 9 国の施策、研究開発プロジェクトへのアウトカム

マイクロマシン技術プロジェクトはこの関連技術の先駆けとしてスタートした。この開発により多くの技術基盤となる要素技術、高度な技術開発に挑戦した。これにより多くの貴重な成果を得たが、一方、技術の体系化、開発体制等に関する問題点も明らかとなり、これらの対策および更なる発展のために幾つかの後継プロジェクトが生まれた。その主要なプロジェクトは下記5プロジェクトである。

- A. マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発  
(マイクロ流体プロジェクト)
- B. MEMSプロジェクト
- C. マイクロ分析・生産システムプロジェクト(マイクロ分析プロジェクト)
- D. MEMS-ONEプロジェクト
- E. 高集積・複合MEMS製造技術開発事業 (ファインMEMSプロジェクト)

各プロジェクトの要約を表 3. 3. 11にした。

(1) マイクロマシン技術プロジェクトの効果

マイクロマシン技術プロジェクトの主な効果について、プロジェクト終了後5年後の平成17年度に実施された事後評価のプロジェクト評価では下記のように評価されている。

①国家プロジェクトとしての妥当性

本プロジェクトは、日本の持つ半導体製造技術と高度な精密機械加工技術を融合させて、マイクロマシン技術として確立させ、次世代産業の基盤を形成する主要技術のひとつとして立案された。当時、マイクロマシンの概念は未確定であり、基盤技術が未整備で技術的難易度も高く、未踏技術分野の研究開発であり多大の開発費と長期の研究期間を要することから、企業単独では実行困難であり、国が着手したことが適切であった。

②マイクロマシン技術分野の確立

10年にわたる研究のため長期視野にたった基盤技術の研究を可能とし、マイクロマシン技術分野を確立することで広く認知させることができ、その後の後継プロジェクトにつなげることができた。

③マイクロマシン要素技術の成果

超小型に収める高度実装技術や超微細加工技術及び加工技術の限界を追求する等高い目標を掲げた、高度な微細加工技術や実装技術等の要素技術を確立し、世界で最高レベルの製品を生み出した。

## (2) 後継プロジェクトの成果

### A. マイクロ流体プロジェクト

このプロジェクトはマイクロマシン技術プロジェクトの開発技術の一つであるマイクロ流体操作を、当時緊急解決課題であった排ガス中のダイオキシン類の高速化・簡便化を実現するために設定された。僅か1ヵ年(平成12年度)の研究開発であったが、事後評価では下記の評価がなされている。

- ① この研究の目標達成度は高く、学術的および産業応用上の両方の観点において十分な研究成果がえられた。
- ② このプロジェクトにより、今後の当該分野の市場創造につながる可能性を秘めたマイクロ流体システム要素技術の有用性が実証された。
- ③ その一方で、ダイオキシン類の高速前処理システムを事業化の見通しが得られたとは言いがたく少なくとも3年の実施期間が必要であった。

このプロジェクトの後に、研究開発のより広範囲なマイクロ化学プロセス技術の基盤技術の確立を目指したマイクロ分析・生産プロジェクトが平成14年度より4ヵ年実施された。

マイクロ流体プロジェクトのアウトカムとしてみると、マイクロ流体の必要性を広く学識者に認識させ、短期間である問題点も明らかになり、後継プロジェクトに反映させることができたと考えられる。

### B. MEMSプロジェクト

このプロジェクトはマイクロマシン技術プロジェクト期間において、マイクロマシン/MEMS技術の急速な技術進展の状況の中から、これもマイクロマシン技術プロジェクトの問題点の一つであった実用化からの乖離を避けるために近実用化の技術テーマを助成金方式で実施するプロジェクトのモデルであった。

結果として、2つの技術は5年以内には画期的製品として実用化される見通しである。また、新しい産業形態であるファンドリーサービスがこの分野の研究開発では有効なことを立証した。

### C. マイクロ分析・生産システムプロジェクト

このプロジェクトはわが国の国際的産業競争力を強化するために革新的部材産業創出プログラムの一環として計画された。

このプロジェクトでは①超微細加工技術によりつくられるマイクロ空間を利用して化学反応を行う化学システムの開発をおこない、化学産業だけでなく関連する医療、食品産業にも貢献できるマイクロ化学プラント技術の研究開発、②家庭用マイクロチップ技術としてライフサイエンス市場の創出が期待されているマイクロチップ技術の研究開発、③この両技術を統合し、マイクロ化学プロセスの体系化を行う、の3つの目標が設定されている。

### D. MEMS-ONEプロジェクト

わが国産業の牽引役としての役割が期待されているMEMSの設計・開発を効率的なものとするため、世界に類を見ない最先端でかつ利用しやすいソフトインフラMEMS-ON

E ( MEMS Open Network Engineering System of Design Tools ) を、わが国が先鞭を切って構築しようとするプロジェクトとして進められた。

開発されたソフトは、最先端の習熟したMEMS研究者・技術者に利用されるのみならず、初心者や経験の乏しい多分野の研究者・技術者であってもMEMSに関する高度な知見やデータを利用することが可能なことを目指した。

#### E. 高集積・複合MEMS製造技術開発事業

MEMSを新製造技術プログラムの一環として位置づけ小型・省電力・高性能・高信頼性の高集積・複合MEMSの製造技術を開発することを目的として2006年より発足した。その研究課題は、ナノ機能との融合、半導体との一体化およびMEMS間の結合であり、次の重要な技術課題を助成金方式（一部委託事業）で実施されている。

- ・ MEMS / ナノ機能の複合技術の開発
- ・ MEMS / 半導体の一体形成技術の開発
- ・ MEMS / MEMS の高集積結合技術の開発

このほかに次の課題は委託事業とされている。

- ・ 高集積・複合MEMS 知識データベースの整備

このように、長期、大型の国家プロジェクトであるマイクロマシン技術プロジェクトのアウトカムとしては、それ以降その時期のニーズに対応すべく適切な後継プロジェクトが発足しており、わが国の産業政策に反映されている。

表 3. 3. 11 マイクロマシン技術関連プロジェクト

プロジェクトの実施期間

年度	H.3	H.4	H.5	H.6	H.7	H.8	H.9	H.10	H.11	H.12	H.13	H.14	H.15	H.16	H.17	H.18	H.19	H.20	H.21
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
プロジェクト名																			
1.マイクロマシンP										→									
2.マイクロ流体P										→									
3.MEMS-P																			
4.マイクロ分析P																			
5.MEMS-ONE-P																			
6.7アインMEMS-P																			

プロジェクトの概要

名称 注1)	参加企業・機関 注2)	期間	費用	背景・目標
1.マイクロマシン技術プロジェクト	23社 3団体、2大学・国研	10年	213億円	半導体製造技術と高度な精密加工技術を融合させて「マイクロマシン技術」として確立させ、情報通信分野、医療福祉分野などの各種産業と密接に連携し、日本経済を支える次世代産業の基盤を形成する。
2.マイクロマシン流体プロジェクト (マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高度測定技術の研究開発)	5社 1団体	1年	5億円	ダイオキシン類の測定には当時測定期間が約1ヶ月を要していた。本研究では、マイクロ流体システムを利用して、分析試料の前処理工程をマイクロ流体デバイスに置換え、測定時のコストを大幅に削減する。
3.MEMSプロジェクト	3社 1団体、(3大学)	3年	43億円	製造時間、コストを半減し新たな高付加価値産業を生み出すプロダクティビティの環境を整備する。多様な製造分野のキーデバイスのうち3種類のMEMSの実用化を図る。
4.マイクロ分析・生産システムプロジェクト	32社 4大学・国研 (1団体、14大学・国研)	4年	40億円	高効率マイクロ化学プロセス技術の基盤技術を開発し、マイクロ化学プラント技術、マイクロチップ技術を確認する。この両技術を統合したマイクロ化学プロセス技術の体系化を目的とする。化学産業の製造工程の省エネルギー化に寄与する。
5.MEMS-ONEプロジェクト (MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクト)	6社 1団体、1国研 (3社、13大学)	3年	15億円	高付加価値部品を可能にするMEMS技術に対して、MEMSプロセスに精通していない技術者が機構の解析や製造プロセスのシミュレーションから最終機能の確認評価まで一連の解析を行うことができる支援システムを開発する。
6.7アインMEMS-P (高集積・複合MEMS製造技術開発事業)	8社 2団体、4大学・国研	3年	11億円 (H18分)	今後成長が期待される市場である自動車、情報通信、安心・安全、環境、医療等に必要となる小型・省電力・高性能・高信頼性の高集積・複合MEMSデバイスの製造技術を開発し、データベースを整備する。

注1) ( )はプロジェクト正式名

注2) ( )は再委託

## 4. アウトカム拡大のための課題と解決策の提言

### 4. 1 主要分野へのアウトカムと将来展望

具体的アウトカムは既に記述したように、顕著に発現しつつあり、将来もアウトカムは拡大していく。ここでは、主要な用途分野におけるアウトカムの将来展望を整理する。

#### (1) 自動車分野

プロジェクトで開発した深堀加工技術等の要素技術を活用して生まれた製品として、大きな経済的効果のあるアウトカムが先行した製品は、加速度センサ、圧力センサ等で自動車分野に適用されている。加速度センサはエアバッグ用に採用され効果を発揮している。このセンサの開発により従来高級車に限定されていたエアバッグが普通車にも採用できる体制が確立した。自動車には安全化を目指して機能が急速に高度化しており、圧力センサは今後もABS姿勢制御装置やタイヤ圧力検知用として一般クラスの車にも多数使用されるであろう。自動車分野は携帯電話とならび膨大な市場があり、現在までの経済効果は最大であり、今後も大きな市場が期待できる。

#### (2) 情報通信分野

情報通信技術の進歩は直近の10年間で最も大きな変革をもたらした分野であろう。データ処理中心の高速・大容量の情報通信の時代から、携帯電話に代表される実世界と仮想空間の双方向の情報交換技術に進展した。携帯電話は現在第4世代への移行を目指して各社の激しい技術競争下にあるが、その中でも今後重要な役割を期待されているRF-MEMSがMEMSプロジェクトの中で開発された。これを担当した企業は2007年にはサンプル出荷段階にあり、2010年頃には大きな市場を形成すると推定される。

また情報通信のインフラとしての光通信網においては光通信の高速化が重要な役割を持つ。MEMSプロジェクトでは光可動ミラーの開発が行われその実用化に成功しており、担当企業ではこの製品も2008年頃には製品化される見通しである。この両技術の実用化は国の重点施策分野の一つであるMEMS分野の拡大に大きく貢献するであろう。

またマイクロマシン技術プロジェクトで開発されたフォトニック結晶ファイバは、現在天文台のガイドスターを作るための技術として使われているが、この技術は将来光通信が普及するための基礎インフラ用製品として今後大きく活用される可能性がある。

ヒアリング等を纏めた結果による経済効果では、今後、この分野の伸びも大きく、自動車分野とともに将来とも経済効果は大きいと期待される。

#### (3) 精密機器・計測分野

MEMSプロセスではコストと長時間を必要とするが、マイクロマシン技術プロジェクトで開発された5軸工作機械は機械加工によって、大面積の微細加工や3次元形状の製品を提供できるようになった。このことから業界からの引き合いは多く、プロジェクト後もさらに改良を重ね、精密機械の加工インフラのレベル向上に多大の貢献をしている。

計測分野の製品として高速共焦点顕微鏡がある。この製品に係わる産業分野は必ずしも大きくはないが、技術的アウトカムとしてその性能の高さからプロジェクト終了直後から大きなインパクトをもたらした製品である。この製品は用途面からみると生細胞の生態観察が可能であることから進展が予想されるバイオ分野の基礎インフラとして今後も大きく貢献する。

また、マイクロ流体操作技術として細胞分離装置が 2010 年までには実用化の予定であり、この製品もバイオ分野の基礎インフラとして貢献するであろう。

#### (4) 医療福祉・安心安全分野

わが国の今後の国民の高齢化、生活の質の向上を求める社会に対応するために、この分野の技術開発が重要である。しかし、失敗が許されない医療分野では実用化のリードタイムが長いことが宿命である。この分野では、マイクロマシン技術プロジェクトで開発した加工技術を活用して開発した超音波診断素子を、既に製品化していた診断装置に組み込み、新機能をもつ超音波診断装置を完成している。これは医療分野に参入している企業とプロジェクトで開発を担当した企業との異業種企業の協力により達成できた製品で国家プロジェクトの成功モデルの一つとされている。

また、現在臨床段階に入り、実用化が近い製品として脳腫瘍治療用レーザカテーテルがある。開発担当企業はこの製品の実用化のために医科大学と共同研究を行っている。実用化ハードルが高いこの医療分野では産業分野とはやや異なるシステムを取り入れながら進歩するであろう。

さらに安心安全分野の製品として非冷却赤外センサがある。このセンサを内蔵した赤外カメラは照明がなくても撮影が可能であり、昼夜を問わず撮影機能が必要となる監視用カメラに利用されている。今後このセキュリティ関連のニーズも高まるであろう。

#### (5) エネルギー環境分野

マイクロマシン技術は本来小型化を目的としているので、省エネルギー化、省スペース化、少廃棄物化が可能であり環境にやさしい技術である。しかし、直接的に省エネルギーに対応した技術として実用化されている製品がいくつかある。

まず、家庭用燃料電池フローセンサがある。このセンサは家庭用燃料電池の普及により水素等の代替エネルギー対策に寄与し、また工場のボイラ用燃焼制御フローセンサとしても使えるので、高効率燃焼による省エネルギー、環境負荷低減技術としても寄与し、排出CO<sub>2</sub>削減に貢献するであろう。

さらに、マイクロファクトリ技術により製作した円筒研削装置は従来の工作機械と同等またはそれ以上の精度を実現しながら、従来の研削装置と比較して、重量は 1/80、面積は 1/30、消費電力は 1/5 とコンパクトで、小動力で加工可能であり、小容積ですみ、この機械の動力が小さいこと他に、空調設備の簡略化が可能であることから省エネルギー効果が大きく、多品種少量生産やフレキシブルな生産体制への対応等で貢献するであろう。

そのほか、大きな市場が予想される技術に人工筋肉アクチュエータによる発電装置がある。この技術を開発した企業は現在、波力発電を行うベンチャー企業を設立しており、この技術を採用した発電設備の設置数を増加させることにより 5 年後には堅実な事業になる

と期待されている。

#### (6) マイクロファクトリ分野

マイクロファクトリ技術により作成した円筒研削装置は、現在は社内用として技術蓄積を行っている段階であるが、プロジェクトに参加していなかった小さいものを製造する企業グループも含めてこの技術が注目され、デスクトップファクトリとして新しいマイクロファクトリ分野を形成しつつある。これは欧州でも注目されており、今後、この目的にあった製品製造技術または分野として大きく発展するであろう。

### 4. 2 アウトカム拡大のための課題

プロジェクトのアウトカムは漸次拡大しつつあるが、更なるアウトカム拡大のための課題を、主にプロジェクト実施担当者、有識者および大学教授等研究者からのヒアリング結果やアンケート調査結果をもとに纏めた。

課題として、下記のような意見があった。

#### (1) 技術力向上の必要性

- ① マイクロマシン技術は進化の著しい分野でもあり、アウトカムを拡大するためには、絶えず、新シーズや新プロセッシング技術を加え、変身させる努力を継続させていないと、陳腐化するのも早い。常に新技術を取り入れながら新製品を創出することが必要である。
- ② 国際競争力の強化が叫ばれているが、そのためには、常に、他に先んじた先進技術をもっている必要があり、基盤研究も同時並行して行えればと思う。最近、企業では基盤研究、基礎研究へのリソースの配分が減らされ、問題である。
- ③ マイクロマシン技術プロジェクトでは、例えば、幅広い材料を、多様な条件で評価する等、企業内研究では、やらせてもらえないような、基盤的研究ができた。そのような、幅広さが、プロジェクト終了後の実用化開発に効果を発揮した。目先の開発に重点が置かれることの多い企業の現状では、新シーズの発掘・実用化は難しいところもある。

#### (2) 実用化を目指した生産技術確立の必要性

- ① 研究段階では、チャンピオンデータの実現が注目され、重視される。しかし、産業化する場合には、大量生産、低コスト化が不可欠であり、性能はチャンピオンデータから一歩引いても、上市条件を満足させる生産プロセスを確立させなければならない。製造手段は何でもありの条件で、生産技術プロセスを確立、実現することが不可欠である。
- ② 前述①を実行していくには、連携をとるべき優れた固有要素技術をもった企業を探しあてることが必要である。また、多種多様なプロセッシング（手段）を理解し、コーディネートできるような人材が必要である。
- ③ 高性能な製品を上市するためには、バラツキが少なく、再現性に優れる生産技術の確立が不可欠である。そのためには、MEMSの信頼性評価技術を確固たるものにしなければならない。その点の研究が是非必要である。

### (3) 周辺技術環境整備の必要性

- ① 公的研究機関や先進技術を持った企業と地方で固有要素技術を持った中小企業、ファブリー事業等者のネットワークを一層充実させる必要があると思われる。技術的補完環境の検討、競争関係の中での協力可能範囲の検討、研究・開発・生産の連携等を話し合える国内のネットワークの強化が望まれる。MEMS製品を作り出すための要素技術、製造システムはまだ発展段階であり、開発要素が大きいこと、また応用範囲が広範囲にわたることから、従来の半導体産業のように規格製品・大量生産方式では対応できないことが分かったので、このような連携関係の強化が必要である。
- ② MEMS製品は一部のデバイスを除けば多品種少量製品であることが多い。このことは中小企業レベルでも取り付きやすい性質を持っている。しかし、開発のために必要な資金や人材のない中小企業やベンチャー企業がMEMSの開発、量産することは、技術面から見ても設備から見ても大きな障害があり、ファブリーを有効に活用する方策の確立が必要である。
- ③ 国内のマикроマシン/MEMSに関する研究開発情報、技術情報などのデータベースが不備である。例えば、精密工学会、電気学会等に個々の情報は集積されつつあるが、全体的に統合された、権威のある情報集積場所が見当たらない。

### (4) 人材の有効活用、人材育成の必要性

- ① マикроマシン/MEMSは成長の著しい分野であり、質の良い人材が不足している。企業間転職者、企業や公的研究機関の定年退職者、ポスドク研究者等の的確な人材データベースの構築不可欠である。
- ② MEMSの実用化を進めるための生産技術を確立するには、多種多様なプロセッシング(手段)に造詣があり、コーディネートできるような熟練した人材の育成が必要である。それとともに発展して広がっているMEMS分野への新人の供給も不可欠であり、大学や高専等の教育機関における一層の教育の充実が必要である。
- ③ 欧米では、安定した資金援助のもとに、大学等が長期的に基盤研究、先端シーズ研究に没頭できる環境もある。日本では、大学は独立法人化が促進され、活性化が期待されているが、資金集め、実利的な研究へのシフト、教育と研究の板ばさみ等、高度な研究を継続するに難題を抱えている面も多い。大学数も多いので、それぞれの役割もあるが、先端研究を実行する箇所の充実、環境整備が必要であろう。

### (5) 国際競争力の強化

マイクロマシン/MEMS技術はその技術の高度性、適用分野の広さ、将来の伸び等から日本の得意とする技術分野で、これからの日本の次の先端産業を担う大きな技術となるポテンシャルを持っている。またそれ故に、世界の開発ニーズは高く、先行しているアメリカの他、欧州および追い上げの厳しい韓国、台湾等に優位を保ち続けるために国として長期ビジョンと対策を考慮する必要がある。

#### 4. 3 アウトカム拡大のための課題解決策の提言

前節において集約した課題に対する解決策の提言を以下に記す。

##### (1) 研究開発、実用化開発支援の強化

進化の著しいマイクロマシン技術分野で、アウトカムを拡大するためには、絶えず、新シーズや新プロセッシング技術を加え、変身させる努力を継続させることが不可欠であり、弛まぬ研究開発の継続が必要である。その為の方策を以下に記す。

- ① 我国として新技術を創出し、それを産業化するようなシーズを生み出すためには、中長期的な戦略の立案と産業界に役に立つ基盤研究が必要である。産業界に直結する基盤研究とは、大学で進められる学術的な基礎研究とは異なり、マイクロマシン技術プロジェクトでみられたような加工技術や評価技術など要素技術の最先端を目指す研究を指すが、このような高度技術は短期間では達成は難しいであろう。しかし、10年間は技術進歩が早いこの分野では不適當であるが、3年間では現在のわが国の予算制度の下では実質の研究期間が短すぎる。従って、5年間を研究期間とする中期基盤研究プロジェクトを立ち上げるべきであろう。ここでは研究目標の高さと得られる研究成果との兼ね合いは実際には難しい課題で、研究テーマを企画する際の綿密な事前評価が必要となろう。
- ② 実施者として、大企業も積極的に参加し、基盤的な技術開発を推進すべきである。最近は大企業といえども、自社利益優先の気風があるが、大企業は国全体発展のために広い見識を持つべきである。
- ③ 最先端レベルの製品化のみならず実用化への道筋は多様でもあるので、実用化開発や改善開発のための助成金支援制度やベンチャー事業支援制度の充実も必要である。国の開発方針は画一的なものには成り得ず、幾つかのスタイルが考えられる。中期基盤開発、短期実用化開発など開発内容、開発レベル等を勘案して幾つかのプロジェクトを実行する複合路線とすべきであろう。

##### (2) 産業交流、ネットワークの強化、インフラストラクチャーの強化

実用化を促進するためには、いろいろな仕掛けを充実させることが必要である。そのための法則を以下に記す。

- ① 製造のインフラとしてのファンドリーに関しては、(財)マイクロマシンセンターにMEMSファンドリーサービス産業委員会が発足し、諸々のMEMSファンドリーサービスのネットワーク活動を推進している。現在、ファンドリーサービスを実施している企業は当該3プロジェクトに参加した企業を中心に10企業ある。また、MEMSプロジェクトではファンドリーのための技術開発を研究した企業の他に、このプロジェクトの参加した3大学がファンドリーを活用して研究開発を行い機能が有用であることの立証をしており、ファンドリー事業の一層の幅広い対応、低コスト化等、更なる充実と強化が望まれる。
- ② 高度の技術開発または特殊な製品の技術開発を対象とする場合、企業秘密の要素が高いため現在のファンドリーサービス企業単独では受託できないことがある。その場合は、産総研等の公的機関で対応できるようにこれら公的機関の先端要素設備を充実させる等の方法も考えるべきである。
- ③ ファンドリーサービスを行っている企業は上記10企業のみならず、存在すること、ま

た、国内には、一点集中して高度な加工技術を保有する中小企業が全国に分布しており、それらを含んだネットワークの形成と活用が必要である。それと平行して欧州のNEXUSのような、営利関係者では無い機関が主体となったMEMS関連データベースの充実が必要である。

- ④ ソフトのインフラとして、MEMS-ONEプロジェクトにおいて、MEMS用設計・解析支援システムが開発されており、これら成果の活用が期待できる。従来、MEMS設計のソフトは、主として米国の設計シミュレーションソフトに依存することが多く、ソフトメーカーと相談しながら進める場合、日本のノウハウが流出することは避けられない。我国のMEMS技術が自立するためには、日本の持っているファンドリーサービスの装置やプロセスに合わせた設計シミュレータを作成、活用することが不可欠である。

### (3) 人材活用、育成の強化

国内の高齢化が進む中で、人材の確保と有効活用を果たすためには、人的リソースの把握と人材育成の仕掛けを作ることが必要である。マイクロマシン技術分野は現在活気があり、当該プロジェクト終了後も、技術を継続するポジションで活躍しているケースが多く、望ましい状況ではあるが、今後の方向も考えておかなければならない。日本の国際競争力向上を目指すに際し、熟練技術者の定年後の活用も配慮すべきである。また、ポスドク等若手の優秀な研究者が活躍できる環境作りも必須であり、人的交流ネットワークをしっかりと形成し、研究から開発、実用化、生産までの人材の有効活用を図るべきである。

マイクロマシン/MEMS分野は発展、拡大しており、実力のある新人の育成が要請されている。教育機関における、カリキュラムの充実、企業におけるインターンシップ受け入れ体制の整備等が必要であろう。マイクロマシン技術プロジェクトで開発を体験した実施者が、大学の特別講義等で学生を指導することも増えており、産学の地道な協力として望ましい方向と考える。これらの動きをより強化すべきである。

### (4) 国際競争力の強化

将来日本が進むべき重点分野に特化して、先進技術開発プロジェクトを起こすべきであろう。現在、国としても、情報通信、バイオ、ナノ分野等の重点分野を設定しているが、やや実利的成果を重視している傾向があると思われる。具体的には一段のブレイクスルーを必要とする高度技術、画期的技術について有識者、専門家により具体的テーマを選定する。そして実行体制としては大学または産総研を中心にして、技術力、意欲のある企業の参加が必要であろう。そのメンバーで5年位の国家プロジェクトを立ち上がらせる時期と思われる。

## 5. まとめ

### 5. 1 技術的アウトカム

3プロジェクトによる2006年時点で実用化製品および技術とその寄与技術を表5.1に、近未来(2010年頃)実用化製品および技術とその寄与技術を表5.2に示す。マイクロマシン技術プロジェクトは大きなプロジェクトであり、アウトカムは多く、実用化製品および技術は18製品、近未来実用化製品および技術は11製品ある。マイクロ流体プロジェクトは短期間の小規模プロジェクトにも係らず1製品が近未来において実用化になる予定である。MEMSプロジェクトは具体的製品の実用化を目指したプロジェクトであったこともあり、プロジェクトの終了直後にも係らず、大きな新市場を開拓されると想定される2製品が2008年頃までには実用化が確実である。

表 5. 1 3プロジェクトによる既実用化製品一覧表

No	製品名	寄与技術
1	高性能加速度センサ、圧力センサ	深堀加工技術
2	非冷却赤外センサ	薄膜評価技術
3	フローセンサ、加速度センサ	薄膜評価技術
4	超音波診断用圧電素子	X線リソグラフィ加工技術
5	IC検査用コンタクトプローブ	X線リソグラフィ加工技術
6	共焦点顕微鏡	MEMSミラー技術
7	燃料電池用フローセンサ	薄膜評価技術
8	ミニ生産システム	システム設計組立技術
9	超精密加工機	超精密加工技術
10	高性能エンコーダ	超精密加工技術
11	形状記憶合金カテーテル	複合加工技術
12	フォトニック結晶ファイバ	線引加工技術
13	人工筋肉アクチュエータ	高分子膜作成技術
14	電池材料	材料評価技術
15	薄膜温度センサ	薄膜製造技術
16	アンプ一体型モータ、アイソレーション	システム設計組立技術
17	高速共焦点顕微鏡	形状計測技術
18	規格、標準法、試験片等 MEMS用薄膜材料の引張試験法 MEMS用薄膜材料の引張試験用標準試験片 半導体加速度センサ規格	評価技術

表 5. 2 3プロジェクトによる近未来実用化製品一覧表

No	製品名	寄与技術
1	CCDマイクログラ	3次元実装技術
2	RFスイッチ	複合加工・実装技術
3	赤外線温度センサ	薄膜評価技術
4	細胞分離装置、環境計測機器	マイクロ流体操作技術

5	マイクロサーボモータ	電磁式アクチュエータ技術
6	形状記憶合金点字ユニット	材料評価技術
7	シリコン貫通孔配線加工技術	除去加工技術
8	脳腫瘍治療用レーザーカテーテル	マイクロ実装技術
9	マイクロアクタ	マイクロ流体操作技術
10	RF-MEMS スイッチ	3次元加工技術
11	光可動ミラー	3次元加工技術

なお、3プロジェクトに参加していなかった企業へのアウトカムの調査手段として、約200社以上の企業および大学等が参加しているマイクロマシン展覧会の企業にアンケートおよびヒアリング調査を行った。

その結果、マイクロマシン技術プロジェクトに啓発されたかあるいは影響を受けたと推定される製品または技術は、出展約140製品のうち7割程度であった。出展企業はほとんどが中小企業で、個別の国家プロジェクト自体についての認識はあまりないが、マイクロマシン展やセミナー等で公表された技術を自社技術のブラッシュアップに活用していると推定され、プロジェクト非参加企業にも当該技術が波及した技術的アウトカムとして評価できる。

## 5. 2 経済的アウトカム

マイクロマシン技術プロジェクト終了後6年を経過しており、経済的アウトカムも確実に得られている。マイクロ流体プロジェクトおよびMEMSプロジェクトは現状ではまだ上市されていないために経済的アウトカムはまだ発生していない。ここでは、マイクロマシン技術プロジェクトについて市場創出効果、経済効果の視点より整理する。

### 5. 2. 1 市場創出的効果

上市された製品について、市場創出の観点から次の3グループに分類した。

- A. 比較的新規市場創出に寄与した製品グループ
- B. 従来市場において、自社製品の競争力強化となった製品グループ
- C. 近未来に上市する製品グループ

#### ① Aグループ製品

11製品がある。監視用カメラに適用される非冷却赤外センサ、高性能の診断装置に組み込まれた超音波診断素子、微小流量を制御できる家庭用燃料電池フローセンサ、超精密機械加工機、ベンチャー企業が注目した形状記憶合金カテーテル、世界で3社（うち国内で1社）しか生産できないフォトニック結晶ファイバ、発電用部品として注目される人工筋肉アクチュエータ、生細胞も観察でき世界シェアトップとなった高速共焦点顕微鏡等が挙げられる。

#### ② Bグループ製品

このグループの製品は6製品ある。自動車用の高性能加速度センサ、共焦点顕微鏡があ

り、これらはシェアを拡大強化している。ミニ生産システム、ガスタービン静翼温度測定用の薄膜温度センサ等は当面自社製品として活用しており、自社製品の競争力強化に貢献している。

### ③ Cグループ製品

まだ上市していないためA、Bどちらに分類すべきか不明の製品で9製品ある。

## 5. 2. 2 経済的効果

具体的経済効果はアンケートおよびヒアリングにより推定した。

マイクロマシン技術プロジェクトが終了した2001年度を起点として整理すると2005年度時点で売上金額は約110億円/年であり、2010年度頃には近未来に実用化する製品も加わり約360億円/年程度に伸びると予測できる。積算金額でみると、2006年度までで約370億円となり、3プロジェクトの投資費用の約261億円を超えることになる。この値は回答が得られた範囲であり、回答が得られなかった部分を考慮すると、この金額は最低限の値とみるべきである。

産業分野としては、現在は自動車分野が多く、次いで精密・計測分野が多い。2010年度頃には情報通信分野が大きく伸び自動車と並ぶ2大分野となる。

## 5. 3 社会的、科学技術的アウトカム

### 5. 3. 1 知的財産へのアウトカム

プロジェクト実行中の10年間に申請された特許は約560件で、その内重要性が高いと想定できる登録特許は206件ある。また、プロジェクト終了後に公開になった特許は125件ある。登録特許数、プロジェクト終了後の出願傾向等からみて、知的財産へのアウトカムは大きいと推測できる。

### 5. 3. 2 技術の社会的評価向上へのアウトカム

#### (1) 発表論文の受賞

関係学会の論文賞は11件が受賞している。特に、電子技術関連研究者が集る世界最大の学会であるIEEEでBest Paper賞も受賞している。

#### (2) 技術賞

技術賞は産業への貢献に対する評価であり、12の技術が技術賞を受賞している。これらの中には、一般に著名な大河内賞や市村産業賞、ノーベル化学賞を受賞した野依良治博士を選考委員長とするオルガノテクノ賞および経済産業省が創設した「ものづくり大賞」も受賞している。

#### (3) 被引用回数

プロジェクト関連で発表された論文が世界中の英文論文においてどの程度引用されているかを調査した結果、10論文(8社)が合計35回引用されている。その内訳は高速共焦点顕微鏡論文は最多で11回、放電加工技術論文は7回、X線リソグラフィ加工技術は4回となっている。引用回数が多いほど世界的なレベルで、その学術的価値を第三者が評価したことを意味する。

### 5. 3. 3 人的・組織的蓄積へのアウトカム

#### (1) 企業の組織的蓄積

1990年代はわが国の経済の低迷の時代にあったが、このような時代にあってもマイクロマシン／MEMS技術関連の組織、人員は多くの場合削減されなかった。このことは相対的には当該分野の研究は充実、強化されたことを暗示している。平成18年に増強した企業もある。

#### (2) 企業の人的技術蓄積、技術継承のパターン

プロジェクト実行中でのメンバーの構成は研究部門が中心となり、設計、製造、設備部門等から加わった。プロジェクト終了後、コア技術者として研究を継続、推進している人は約10～20%、元の職場、他部門で技術を継承している人が30～50%であり、約半数以上が技術を継承している。

#### (3) 大学に転出した研究者

当該プロジェクト参加者のうち10名が大学に転出した。企業から転出した研究者はその実業経験を活かし、地域の活性化、中小企業、ベンチャー企業の支援・育成等に貢献している。

#### (4) 学位取得

プロジェクトの研究に従事した研究者は約230人であるが、研究担当者の約1割近い研究者が学位既取得及び取得準備段階にある。

### 5. 3. 4 市場開拓・新規企業誘発のアウトカム

#### (1) ファンドリーサービス

個別にファンドリーサービスを実施している企業は多いが、(財)マイクロマシンセンターにMEMSファンドリーサービス産業委員会が2000年に発足し、諸々のMEMSファンドリーサービスのネットワーク活動を推進している。現在、当該3プロジェクトに参加した5企業を中心に10企業がファンドリーサービスを実施しており、その業務範囲は設計から製品製造まで含んでいる。

MEMSプロジェクトでは3大学がファンドリーサービスを使用して良い研究成果が得られ、このシステムの有効性を立証した。

#### (2) ベンチャー企業の設立

当該プロジェクトで開発した人工筋肉アクチュエータの活用を図るベンチャー企業、形状記憶合金コイルの技術を活用するためのベンチャー企業等が設立された。また大学を核として研究所支援、研究開発コンソーシアムベンチャーも生まれている。

#### (3) マイクロファクトリ技術

多品種少量生産等に適した技術として、また設置スペース削減や省エネルギー、環境負荷軽減等に大きな効果をもたらす技術として注目された。当該技術は自社生産ラインへの適用や一部市販が見られる。国際的にもデスクトップファクトリ(DTF)国際フォーラム2005が開催されるなど新生産システムとして成長しつつある。

### 5. 3. 5 技術の蓄積・啓発・波及のアウトカム

#### (1) 技術の蓄積

各プロジェクト成果、データ等は(財)マイクロマシンセンターにおいて多くの報告書として蓄積されている。

#### (2) マイクロマシン展

マイクロマシン展は当初マイクロマシン技術プロジェクトの成果を公表、普及するために平成2年(1990年)から、(財)マイクロマシンセンターの主催で毎年開催されてきた。年々活況を呈し、平成18年の入場者は前年比の約30%増であり、マイクロマシン技術の普及と啓発に貢献している。

#### (3) MEMS協議会

MEMS産業の一層の発展を支援し、わが国産業の国際競争力強化に貢献することを目的に、MEMS関連企業を構成メンバーとして平成18年4月に設置され、政策提言事業や産業交流・活性化事業の推進に寄与している。

### 5. 3. 6 国際的影響へのアウトカム

#### (1) マイクロマシンサミット

日本が提唱したマイクロマシンの概念を国際的に広めるために当該プロジェクト事業として始めた。第1回は1995年京都で開催し、開催希望国の持ち回りで毎年開催されている。第12回は中国の北京で2006年4月に開催された。

#### (2) マイクロファクトリーのワークショップ

I W M F (International Workshop on Microfactories)

当該プロジェクトの課題の一つであった、マイクロファクトリーの概念を国際的に普及することを目的として、日本(産総研)の主導で開始された。2年ごとに日・米・欧で開催され、第5回は2006年4月にフランスで開催された。

#### (3) 国際標準化

当該プロジェクトを実施したことにより、下記項目の国際規格化を推進している。以下の①②③は国際規格として既に発刊された。

- ①MEMS 専門用語
- ②MEMS 用薄膜材料の引張試験法
- ③MEMS 用薄膜材料の引張試験用標準試験片
- ④MEMS 用薄膜材料の疲労試験法
- ⑤半導体加速度センサ

#### (4) 日中韓MEMS標準化ワークショップ

MEMS分野の国際標準化に、わが国と韓国が精力的に取り組んでいる。日韓両国を中心にMEMS標準化についての意見交換、将来の協力の模索等を行うことを目的に、平成17年から日韓中MEMS標準化ワークショップを開催し、第2回は平成18年6月、韓国・慶州において開催された。

#### (5) 国際シンポジウム

1995年以来マイクロマシン技術の研究開発と普及を目的に開催してきた。2002年の第8

回からは、ナノ技術にも視野を拡げ、「国際マイクロマシン・ナノテクシンポジウム」として、2006年には通算12回目を開催した。

### 5. 3. 7 大学・研究所へのアウトカム

工学系を有する多くの大学で、近年マイクロマシン関連の研究と教育が行われるようになった。このことは当該プロジェクトの影響が大きい。この背景には当該プロジェクトに係った企業研究者10名が、大学教授として転籍し、マイクロマシン技術の普及、活用に貢献している事も見逃せない。

(財)マイクロマシンセンターでは、マイクロマシン技術プロジェクト推進の傍ら、基礎研究面を補足するための事業として、1993年度より2001年度まで、大学研究者に「助成研究」を委託した。テーマA(研究期間は1年、助成金額は200万円)が20件、及び、テーマB(2年、300万円)は46件が実行され、わが国の大学におけるマイクロマシン関係の研究の充実、活性化に寄与している。

### 5. 3. 8 国民生活・社会レベルの向上へのアウトカム

新技術の開発はすべて広義の国民生活・社会レベルの向上に寄与しており、数例を挙げる。

#### (1) 情報化社会への貢献

RF系デバイスは、通信装置へ搭載され、質の高い情報化社会形成に寄与する。またGPS関連機器の中に組み込み、カーナビゲーションシステムと同じような機能を持ち子供や徘徊老人の位置情報確認システムなどへ活かされている。

#### (2) 省エネルギー・環境負荷低減効果への貢献

家庭用燃料電池フローセンサ、マイクロファクトリは省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減に貢献する。また人工筋肉アクチュエータは、小型で出力密度が大きく、エネルギー転換率に優れ、省エネルギー効果大きい。平成18年にはこの技術を活用した波力発電を行うベンチャー企業が設立された。

#### (3) 安心・安全・生活の質の向上への貢献

加速度センサは、エアバッグや、ABS制御(Anti Lock Brake System)、姿勢制御用に使用されて、自動車の安全性がさらに高まっている。

非冷却赤外センサを内蔵した赤外カメラは監視用装置等に利用され、国民の安全を確保する機器として貢献している。

脳腫瘍治療用レーザーカテーテルは動物臨床実験による効果確認の段階に至っており、悪性脳腫瘍を完全除去することにより、5年生存率が倍増する。

圧力センサは自動車のTPM(Tire Pressure Monitor)に用いられ、自動車タイヤの圧力を検知してパンクによる事故を防ぐのに貢献している。

### 5. 3. 9 国の施策、研究開発プロジェクトへのアウトカム

マイクロマシン技術プロジェクトの終了後、ニーズに対応すべく適切な後継プロジェクトが発足しており、当該プロジェクトの結果は、わが国の産業政策に反映されている。その主要なプロジェクトは下記5プロジェクトである。

- ①マイクロ流体プロジェクト
- ②MEMSプロジェクト
- ③マイクロ分析・生産システムプロジェクト
- ④MEMS-ONEプロジェクト
- ⑤高集積・複合MEMS製造技術開発事業（ファインMEMSプロジェクト）

#### 5. 4 アウトカム拡大のための課題とその解決策の提言

##### （1）研究開発、実用化開発支援の強化

- ① マイクロマシン技術は進化の著しい分野でもあり、アウトカムを拡大するためには常に新技術を取り入れながら新製品を創出することが必要である。これをプロジェクトとして立ち上げるためには技術進歩の速度と、実際に実行する現場の状況からみれば5年間を研究期間とする中期基盤研究プロジェクトを立ち上げる事が望まれる。
- ② バブル崩壊以後、大企業でも基盤研究、基礎研究へのリソースの配分が減らされている状況にある。高度技術を獲得し基盤的な技術開発を推進するためには、大企業は国全体の発展のために広い見識を持って基盤研究、基礎研究を行うべきである。
- ③ 目先の開発に重点が置かれることの多い企業の現状では、新シーズの発掘・実用化は難しいところもある。しかしマイクロマシン技術プロジェクトではかなり基盤的研究が可能であった。これを参考に生産技術プロセスを確立し、MEMSの信頼性評価技術を確固たるものにするために、これからのプロジェクトは中期基盤開発、短期実用化開発など開発内容、開発レベル等を勘案して幾つかのプロジェクトを実行する複合路線とすべきであろう。

##### （2）産業交流、ネットワークの強化、インフラストラクチャーの強化

- ① MEMSは開発要素が大きいこと、また応用範囲が広範囲にわたること、プロセスが複雑であることから、中小企業やベンチャー企業がMEMSの開発、量産に参入しやすくするためにファンドリー事業の一層の幅広い対応、低コスト化等、更なる充実と強化が望まれる。さらに企業秘密を守るために公的機関の先端要素設備を充実させる等の方法も考えるべきである。
- ② 国内のマイクロマシン/MEMSに関する研究開発情報、技術情報、あるいはMEMSのファンドリーサービス情報などのデータベースが十分でないために、非営利機関が主体となったデータベースの充実が必要である。そしてファンドリーサービスの装置やプロセスに合わせた設計シミュレータを作成、活用することが不可欠である。

##### （3）人材活用、育成の強化

- ① 成長の著しい当該分野で、不足している質の良い人材を確保するために企業間転職者、企業や公的研究機関の定年退職者、ポスドク研究者等の人的交流ネットワークをしっかりと形成し、研究から開発、実用化、生産までの人材の有効活用を図る必要がある。
- ② MEMSを実用化する生産技術を確立できる新人の育成が必要であり、そのために教育機関における、カリキュラムの充実、企業におけるインターンシップ受け入れ体制の整備等が必要である。

#### (4) 国際競争力の強化

世界的レベルで当該技術の我国の優位を保持するために国として長期ビジョンと対策を考慮する必要がある。そのために有識者、専門家の頭脳を結集して、具体的テーマによるプロジェクトを選定する。そして実行体制としては大学または産総研を中心にして、技術力、意欲のある企業の参加を促すべきである。

# 付 属 資 料

## 付属資料 1

### マイクロマシン展出展企業へのアンケート調査票

#### マイクロマシン技術に係るアウトカム調査のための アンケート調査へのご協力をお願い

拝啓

時下ますますご清栄の段、お慶び申し上げます。平素より格別のご高配を賜り有難うございます。

さて、この度、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて、「マイクロマシン技術に係るアウトカム調査」を実施することになりました。

マイクロマシン技術に関しましては、「マイクロマシンプロジェクト」（平成3年度～平成12年度実施）が国家プロジェクトとして推進された以降、幾つかのプロジェクトが実施されました。その後この技術の発展はめざましく、プロジェクトから得られた開発技術や成果から生まれた具体的製品のみならず、その技術波及としてもいろいろな分野に応用されております。

ところでマイクロマシン技術の「アウトカム」とは、研究で得られた直接的な成果(アウトプット)に対して「その技術成果のもたらした効果」を意味しており、技術的波及の他に、人材育成等色々な分野への効果が推測されます。

つきましては、その成果のもたらしたそれらの効果につきまして具体的に把握するために、マイクロマシン展に出展して頂いた企業にアンケート調査をお願い致したく存じます。

なお、この調査は(財)マイクロマシンセンターと(株)日鉄技術情報センターと共同で実施しており、アンケート調査の具体的事項に関しましては、(株)日鉄技術情報センターが対応致します。ご多忙中のところ誠に恐縮ですが、ご協力、ご支援の程、宜しくお願い致します。

敬具

(財)マイクロマシンセンター

連絡先： 〒101-0026 東京都千代田区神田佐久間河岸 67 (MBR99ビル)

産業交流部 次長 織田 誠

E-mail : [oda@mmc.or.jp](mailto:oda@mmc.or.jp) 電話 : 03-5835-1870 FAX : 03-5835-1873

実務連絡先： 〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-6-3 (新日鉄ビル)

調査研究事業部 調査研究第二部長 田村信一

E-mail : [tamura@jatis.jp](mailto:tamura@jatis.jp) 電話 : 03-3275-9831 FAX : 03-3275-5969

(田村不在の場合 片山 力 [katayama@jatis.jp](mailto:katayama@jatis.jp) 電話 : 03-3275-9836)

※注) 本アンケートは、マイクロマシン展のご出展者様に送らせていただいております。各個人情報については、展示会事務局 メサゴ・メッセフランクフルト(株)にて、厳重に管理しており、本調査のために、個人データを第三者には提供していません。

## 1. 1 アンケート調査票

(財)マイクロマシンセンター

◎本アンケートの送付先が適切でない場合は、申し訳ありませんが、御社内の適切な部署あるいはご担当の方に転送していただけますようお願い申し上げます。

◎本調査内容及び記入者の個人情報はこの「マイクロマシン技術の技術波及調査」にのみ使用するもので、他目的に情報を使用、他への提供、漏洩することは致しません。

【ご回答者】

所定個所にご記入願います。あるいは御名刺を同封していただくことでも結構です。

1. 貴社名			
2. 貴社住所	〒		
3. ご回答 された方	氏名：	所属：	
	TEL：	FAX：	E-mail：

【質問1】 今回のマイクロマシン展における代表的な展示物2件(材料、部品、製品、技術、ソフト等) に関してお教え願います。

展示物名をご記入 願います。	展示物の位置付 (○ 印をお願いします)	展示物の用途 (例:携帯電話用 等をご記入願 います)	展示物の商品化段階(○印をお願いし ます)
_____ (以降、展示物1と称 します)	1. 材料 2. 部品 3. 製品 4. 技術 5. ソフト 6. その他( )	1. 2. 3. 4. 5.	1. 開発終了(技術確立)段階 2. 試供品が出せる段階 3. 商品として販売中 その場合の販売期待値 現在: 百万円/年 程度 5年後: 百万円/年 程度
_____ (以降、展示物2と称 します)	1. 材料 2. 部品 3. 製品 4. 技術 5. ソフト 6. その他( )	1. 2. 3. 4. 5.	1. 開発終了(技術確立)段階 2. 試供品が出せる段階 3. 商品として販売中 その場合の販売期待値 現在: 百万円/年 程度 5年後: 百万円/年 程度

以上の他にも展示物がある場合、あと何件ぐらいあるかお教え下さい。→ ( ) 件

【質問2】 マイクロマシン展は、国の研究開発プロジェクトである「マイクロマシンプロジェクト」(平成3年度(1991)～平成12年度(2000))とともに発展してまいりました。マイクロマシン(MEMS)に関わる国プロジェクト関連について伺います。

プロジェクト名	関連の程度 (○印をお願いします)
1. マイクロマシンプロジェクト	1. 知らない。 2. 名前は知っているが内容(概要)は知らない。 3. 開発内容を大体知っている。 4. 本プロジェクトに刺激を受け、社の技術開発等に何ら

	かの影響があったと思う。 5. 本プロジェクト成果等の一部を参考にしている。
2. マイクロ流体プロジェクト	1.            2.            3.            4.            5.
3. MEMS プロジェクト	1.            2.            3.            4.            5.
4. MEMS-ONE プロジェクト	1.            2.            3.            4.            5.
5. ファイン MEMS プロジェクト	1.            2.            3.            4.            5.
6. マイクロ分析プロジェクト	1.            2.            3.            4.            5.

**【質問3】 展示物の開発のシーズや開発の発端について伺います。**

展示物名	着手時期	開発のシーズや発端 (○印をお願いします)
展示物 1.	昭和・平成 年頃 あるいは 西暦	1. 社内の独自技術 2. 国のマイクロマシン (MEMS) 関連プロジェクト (質問 2 参照) からの触発 3. 他社技術(外国を含む)の導入 4. 大学等の研究機関の指導・導入、共同研究 5. その他( )
展示物 2.	昭和・平成 年頃 あるいは 西暦	1. 社内の独自技術 2. 国のマイクロマシン (MEMS) 関連プロジェクト (質問 2 参照) からの触発 3. 他社技術(外国を含む)の導入 4. 大学等の研究機関の指導・導入、共同研究 5. その他( )

5.その他 の場合、可能でしたら ( ) 内に記入願います。

**【質問4】 MEMS の開発、試作等で利用されている(財)マイクロマシンセンターのファンドリーサービスについてお伺いします。(○印をお願いします)**

1. ファンドリーサービスを知らない。 2. ファンドリーサービスを知っているが、今のところ利用していない。 3. ファンドリーサービスを利用したことがある。(約      回) 4. ファンドリーサービスを大いに利用している。(内容：1. 設計、2. 試作、3. 開発、4. 量産) 5. 将来、ファンドリーサービスを利用したい。(内容：1. 設計、2. 試作、3. 開発、4. 量産) 6. その他 ( )
--

**【質問5】 マイクロマシン展で得られた情報を貴社の今後の技術活動にどのように活かすことが期待できますでしょうか。(○印をお願いします)**

1. 自社における、今後の研究開発テーマの軌道修正や研究開発テーマの設定に活かす。 2. 展示物を発展 (事業化充実など) させるための、さらなる技術開発や応用開発指標 (ターゲット) を設定するのに活かす。 3. 事業化促進を図るため、自社開発プラス共同研究や共同開発相手を探すことに活かす。 4. 展示参加の目的は、商談機会の増大等ビジネス目的が主であり、技術活動は意識していない。 5. その他 ( )
--

【その他】

国家プロジェクトや展示会への要望、ご意見等がございましたらご記入下さい。

質問は以上ですが、本調査につきましてご不明な点がありましたら下記までお問い合わせ下さい。  
ご協力有難うございました。なお、回答は11月20日(発送日)までにご返送頂ければ幸いです。

【アンケートの送り先】

(株)日鉄技術情報センター 調査研究事業部 田村 信一、片山 力

〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-6-3 新日鐵ビル 14 階 E-mail : [tamura@jatis.jp](mailto:tamura@jatis.jp)

電話 : 03-3275-9831 FAX : 03-3275-5640 (片山 : TEL:03-3275-9836 ; E-mail : [katayama@jatis.jp](mailto:katayama@jatis.jp))

## 1. 2 マイクロマシン展 出展企業へのアンケート調査結果

マイクロマシン展は平成 2 年(1990 年)の第 1 回開催以降、毎年実施し平成 18 年で第 17 回目を迎えた。この間、マイクロマシン関連技術の公開、技術交流、および具体的ビジネスの成立等の大きな成果を収め、入場者、出展企業の規模は第 1 回に比べ約 3 倍に達している。これはマイクロマシン技術プロジェクトの技術成果がプロジェクトに参加しない企業、機関にも徐々に浸透し、目に見えない状況で技術波及し要素技術として取り入れられ、わが国の新産業基盤となってきたことを示している。この状況にある程度定量的に把握するために、マイクロマシン展 出展企業にアンケート調査と更にもの中から注目企業を選定しヒアリングを行い、深堀調査を実施した。

### (1) 狙い

マイクロマシン展は自社展示物の宣伝が主目的である。その技術がマイクロマシン技術プロジェクトの影響を受けているか、波及効果となっているか等の調査をするために、出展企業に展示物の技術内容、市場規模、開発時期、開発シーズ、国家プロジェクトの認識度等の設問を行い、その回答結果から状況を把握する。

一方、設問形式は回答者の負荷軽減を狙い、回答しやすいように該当項目の選択方式とし、極力設問は簡略化した。(アンケート票：付属資料 1-1 参照)

### (2) 調査方法

#### 1) アンケート票の発送

アンケート票の内容は事前に各委員の査閲を得て加筆、修正を行った。

アンケート票の発送先は、大学、研究機関、情報企業及び外国企業を除いた。

アンケート票の発送方法は最近の個人情報保護の観点よりマイクロマシン展事務局(メサゴ・メッセフランクフルト株)の協力を得て、事務局より発送した。

#### 2) ヒアリング調査

注目すべき約 30 社を事前に選定し、設問内容等をヒアリングしたが、ヒアリングは展示ブースにおいて説明者に多忙の中、時間を割いて協力をお願いした。

#### 3) 企業情報収集

ヒアリングできない企業については展示ブースでカタログを入手し、アンケート調査の補完情報とした。

### (3) 調査結果

#### A アンケート各設問項目の一次整理

アンケート各設問項目の回答の一次整理を以下に図表とともに簡単に記す。

#### 1) アンケートの回答状況

アンケート票の送付企業は出展機関の 80%以上をカバーしており、送付企業に対するアンケート回答率は約 36%であった。(表 1.1 参照)

#### 2) 展示物の位置付け

展示物は 140 製品以上(注 1)で、その内システム化製品が約 40%を占め、次いで技術の約 23%、部品が約 19%である。(表 1.2.1、図 1.2.1 参照)

(注 1)ここでは出展物全体を意味する場合は製品とし、販売できる出展物を商品とした。

### 3) 展示物の商品化段階と販売金額

#### ①展示物の商品化段階

展示物は販売商品が全展示物数の約 62%であり、試供品または開発完了品は約 38%である。その企業数からみると販売商品を展示している企業が約 76%で、試供品または開発完了品を展示している企業は 24%である。(表 1.3.1、図 1.3.1、図 1.3.2 参照)

#### ②販売期待値

販売商品は約 90 商品を展示しているが、その内約 40%の商品について現在の販売金額が記入されており、合計で約 60 億円/年である。商品当たり約 1.7 億円/年となっている。

5年後の販売金額については商品の金額記入数は現在商品数より少ないが、約 180 億円/年となる。商品当たりの金額に換算すると現在の約 4 倍の約 6.8 億円/年となり、販売数量が大きく伸びることを期待している。

なお、大胆な仮定ではあるが、このマイクロマシン展出展の全商品にこの単価が適用できると仮定すれば、マイクロマシン展の全商品は現在、約 150 億円/年、5年後には約 600 億円/年の市場規模になると推定される。(表 1.3.2、図 1.3.3 参照)

### 4) 国家プロジェクトの認識度

設問にマイクロマシン技術関連の 6 個の国家プロジェクトを提示し、その認識度について質問したが、マイクロマシン技術プロジェクト、MEMS プロジェクトの 2 つは約半数が名前を知っている程度で、他のプロジェクトでは 90%近くが概要も知らないと回答した。この傾向はヒアリング調査でも同様である。この回答をどのように解釈すべきか判断に苦しむが、アンケート回答者は若年齢層が多いこと、開発部門ではない等の要因が想定される。一方、展示物の技術内容から、これらの国家プロジェクトの要素技術レベルを活用または理解していると考えられる製品も多いので、15年以上前に開始したマイクロマシン技術プロジェクトの開発技術が無意識の状況で基盤技術として広く、中小企業、ベンチャー企業にも波及、浸透しているとも解釈できる。(表 1.4、図 1.4 参照)

### 5) 展示物の開発時期と開発のシーズや発端

#### ①展示物の開発時期

展示物の開発時期は 1996 年以降急激に増加している。この事実はマイクロマシン技術が時代の趨勢として発展してきたことを示しているが、プロジェクトで開発されたマイクロマシン技術の活用が浸透してきたことを暗示している。(表 1.5.1、図 1.5.1 参照)

#### ②開発のシーズや発端

開発のシーズや発端は社内技術が約 60%であるが、大学との共研、他社との共研、技術導入がそれぞれ約 20%となっている。他社からの技術導入が多いのは、商社の回答が含まれているためである。(表 1.5.2、図 1.5.2 参照)

### 6) ファンドリーサービスの認識度と活用状況

ファンドリーサービスは約 35%が知らない、利用してないが約 45%で全体の約 80%が認識が薄い。しかし、ファンドリーサービスを実施している会社が約 11%ある。これは実態としてはファンドリーという言葉に馴染みがない企業もあるとも考えられる。(表 1.6、図 1.6 参照)

## 7) マイクロマシン展の活用内容

商談増大や開発相手の探索等の外向きの効果を期待している回答が約 51%で一番多く、応用開発や研究の軌道修正等の社内用の内向きの効果を期待している回答が約 40%、その他回答が約 9%である。(表 1.7、図 1.7 参照)

## 8) 出展企業の製品分野の特徴

次にアンケートの質問ではないが出展企業の製品分野の特徴について整理した。

### ①展示物内容

当所調査対象とした企業とアンケート回答企業の平成 18 年(第 17 回)の出展物内容を分類項目別に整理した。展示物では MEMS 関連装置が一番多く、次いでマイクロマシン、計測機器の順になっており、ナノテク、バイオの分野はまだ製品が少ない。(表 1.8、図 1.8.1 参照)

### ②大学、研究機関の展示物内容

大学、研究機関の展示物内容は、MEMS、ナノテク、バイオ等の先端研究部門の照会があり、全体としてはいずれの分野にも対応していることが分かる。(図 1.8.2 参照)

## B 回答企業の概要と製品分野の特徴

この回答企業の業容を調査することにより、マイクロマシン技術プロジェクトのアウトカムの把握に活用できる、また、アンケート回答企業は出展企業の約 1/3 以上を占め、ある程度出展物分野は全出展企業を代表として扱えるため、マイクロマシン展出展企業の動向も推測できる等の背景から設問とは別の観点から、アンケート回答企業の概要と製品分野の特徴について整理するとともに若干の考察をした。

なお、企業の概要はアンケート回答企業の HP より、企業の設立時期、資本金、従業員規模、企業の業態について調査整理した。

また、3 プロジェクトに参加している企業の回答は 2 社で、実質的にこの内容は 3 プロジェクトに参加しない企業群の回答と見ることが出来る。

### 1) 回答企業の概要

#### ①設立時期

設立時期を 10 年ごとに整理してみると、1950 年以前より存在する老舗の企業があるが、1950 年以降、ほぼ同規模で設立している。しかし、2000 年以降の期間は約半分の 6 年しかないが設立企業は約 2 倍となっている。2000 年以降急激にこの分野の企業が設立している。(表 2.1、図 2.1 参照)

これは 2000 年以降、小泉内閣の規制緩和の政策からベンチャー設立機運が助長されたことも影響が大きいと思われるがマイクロマシン技術の進展が結実したものと想定できる。

#### ②資本金

資本金規模を 0.49 億円以下、0.5～1 億円、1.～9.9 億円、10～49 億円、50 億円以上と粗い区分で整理してみると、0.49 億円以下の中小企業が圧倒的に多いことが分かる。中小企業が生き残りをかけて新規技術に挑戦していることが推測できる。(表 2.2、図 2.2 参照)

#### ③従業員

従業員規模を 49 人以下、50～100 人、100～300 人、300～999 人、1000 人以上に分類してみると、49 人以下が約 1/3、100 人以下が約半数を占めている。大企業でも分社し、ベンチャー化している企業もあり、この分野の新規事業には少数精鋭で活性化を計っている。(表 2.3、図 2.3 参

照)

#### ④業態

自社製品を製造、販売している企業が約 7 割であるが、外国製品を輸入販売等の商社や、製造企業でも輸入製品を委託販売している企業もあり、特化した技術では外国が有利な製品があることが分かる。(表 2.4、図 2.4 参照)

#### 2) アンケート回答企業の製品の分野別特徴

アンケートによる回答製品数は、用途等の一部無記名項目のある製品があるものの 140 製品以上である。その製品について開発段階、その位置付け及び用途などについて整理した。

出展製品の適用分野をその技術内容、用途などから想定し、分類した。その記載製品一覧を表 2.5 に示す。

#### ①分野別製品数

この場合、複数の分野に適用される場合には重複して計上したために分野は見掛け上多くなっているが、製品によっては設定した分野以外にも適用されることが考えられるので、この適用分野の設定は厳密な分類ではない。しかし傾向は把握できると思われる。

出展された製品の全体数としては、製造技術関連分野の製品が一番多く約 35%を占めており、次いで分析機器等の精密機器が約 18%である。医療・福祉分野、バイオテクノロジー分野、情報・通信分野がそれぞれ約 8%程度となっており、この 5 業種で約 8 割近くになっている。(表 2.6 参照)

#### ②分野別の開発段階別の製品数

表 2.6 の内で、製品数の多い主要分野について製品の開発段階別の製品数を整理してみると、全体として商品が約 60%、試供品等の試供品製品+開発完了製品が約 40%となっている。製造技術分野、精密機器分野は直ちに販売に結びつく商品の比率がやや高いのに対して、医療、バイオ分野では試供品等製品が約 7 割と圧倒的に多いのが特徴である。この分野は実用化のリードタイムが長いことと等から開発初期から公表してニーズの発掘、新技術の交流を図っているものと推測できる。(表 2.6、図 2.5 参照)

#### ③分野別の製品販売金額と伸び率

現在及び 5 年後の両方の販売金額を回答した製品のみの整理で、分野別に分けて把握するにはデータ数は少ないが、傾向としてみれば興味ある結果が得られている。まず、分野別の販売金額は製造技術分野に関する製品が圧倒的に多く約 8 割となっている。次いで約 2 割が精密機器分野、情報通信分野、生活文化分野に順になっている。医療分野の製品は出展されているが、販売の実績はほとんどなく、バイオ関連分野では記載がない。次に伸び率では、5 年後には製造技術分野では約 3.5 倍程度を予測しているのに対し、医療分野では 10 倍の伸びを予測している。(表 2.7、図 2.6 参照)

A. 1) 1.アンケートの送付と回答状況

表 1.1 アンケートの送付と回答状況

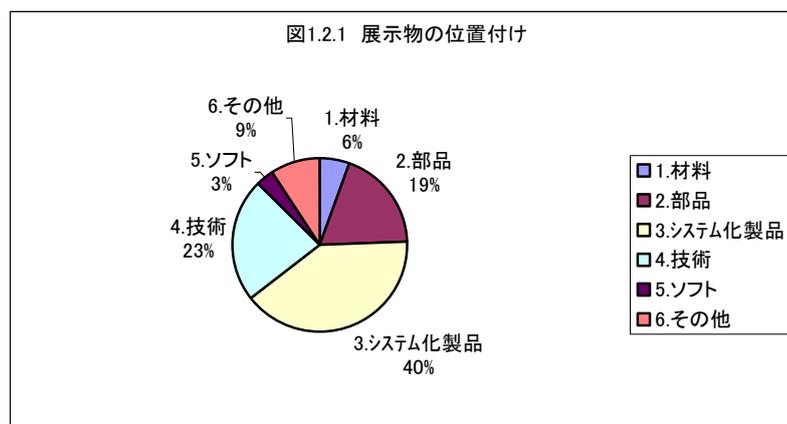
アンケート		備考
A.出展機関数	276	共同出展機関は1機関と算定
B.送付数	235	大学、情報企業、外国企業を除く
C.送付率:%	85.1	$C=B/A*100$
D.回答数	85	内ヒアリング:32社
E.回答率:%	36.2	$E=D/B*100$

A. 2) 2.展示物の位置付け

表 1.2.1 展示物の位置付け

位置付け	展示物1	展示物2	計	割合:%
1.材料	3	5	8	5.6
2.部品	15	12	27	18.9
3.システム化製品	29	28	57	39.9
4.技術	20	13	33	23.1
5.ソフト	4	1	5	3.5
6.その他	6	7	13	9.1
計	77	66	143	100.0

注1)展示物2はアンケートに2種類目の記載値



A. 3) 3.展示物の商品化段階と販売金額の推定

表 1.3.1 展示物の商品化段階

	展示物1	展示物2	計	割合:%	企業数	割合:%
1.開発完了	17	14	31	21.7	10	12.7
2.試供品	6	17	23	16.1	11	11.4
3.販売商品	60	29	89	62.2	64	75.9
計	83	60	143	100.0	85	100
備考					注1)	

注1)無記名および1.開発完了物と2.試供品を展示している企業は2.試供品企業に、  
1.開発完了物と3.販売商品、または2.試供品と3.販売商品をを展示している企業は3.販売商品企業に計

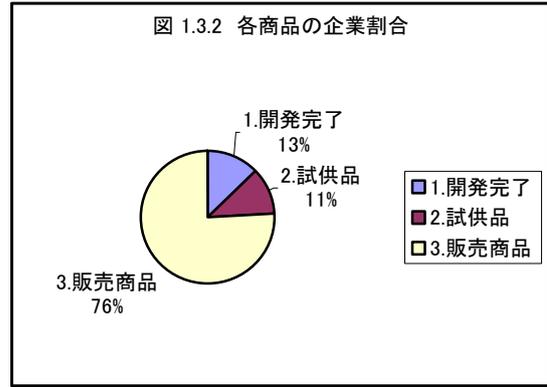
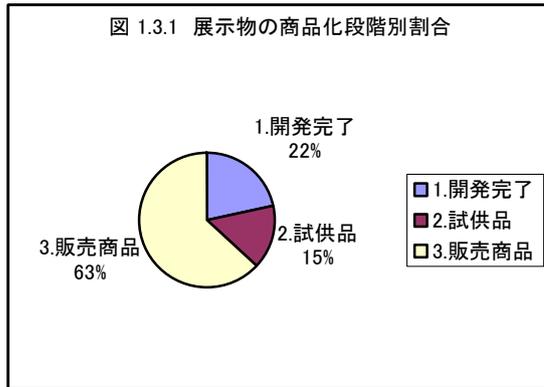


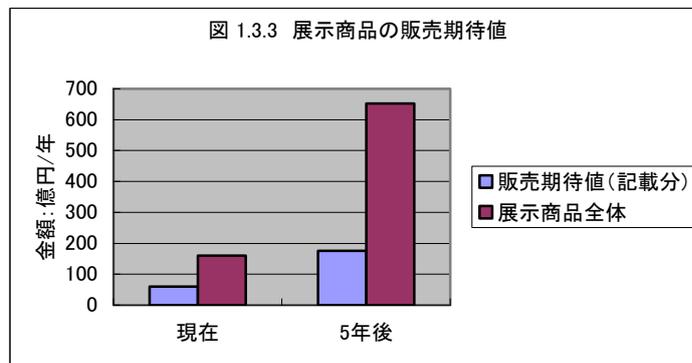
表 1.3.2 販売期待値の推定

	金額回答企業		5年後	伸び率:倍	備考
	現在	%			
A.回答企業数	26		19		
B.回答商品数	35	39.3	26		
C.販売期待値 (億円/年)	59.8		176.2		
D.企業当り金額 (億円/年)	2.30		9.3	4.03	D=C/A
E.商品当り金額 (億円/年)	1.71		6.8	3.97	E=C/B
F.商品展示全企業数	60				
G.展示全商品数	89	100			
H.展示商品全体 (億円/年)	152.1		603.1		注1)
備考	注1)		注2)	注3)	

注1)展示商品全体金額(H-現在)推定=E1\*G=1.71\*89→152.1

注2)展示商品全体金額(H-5年後推定)=152.1\*3.97→603.1

注3)伸び率:5年後/現在



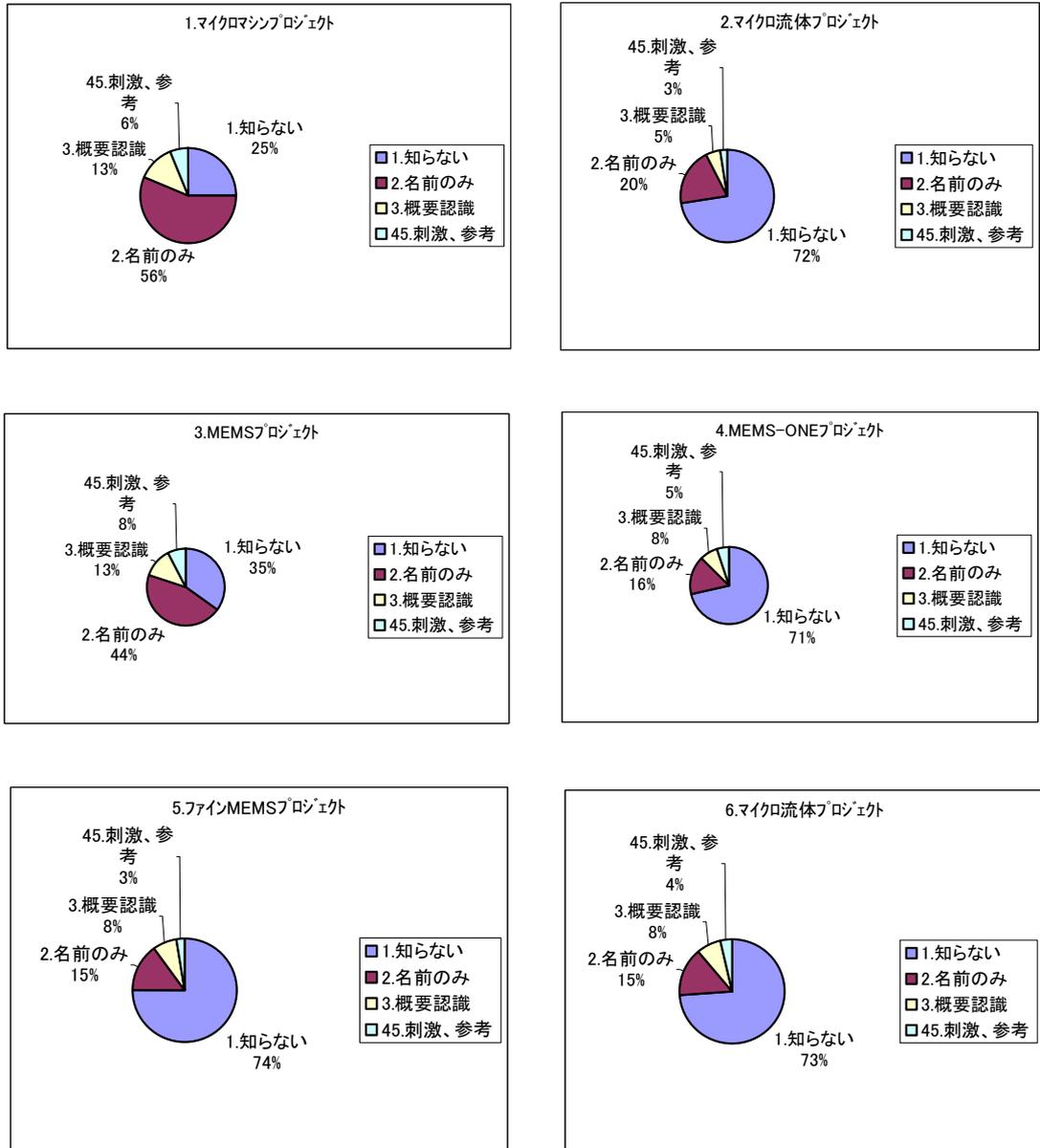
A. 4)

4. 国家プロジェクトの認識度

表 1.4 国家プロジェクトの認識度

認識度	1.マイクロマシン-P		2.マイクロ流体-P		MEMS-P		MEMS ONE-P		ファインMEMS-P		マイクロ流体-P		全体数	%
	回答数	%	回答数	%	回答数	%	回答数	%	回答数	%	回答数	%		
1.知らない	20	25.0	58	72.5	28	35.0	57	71.3	60	75.0	59	73.8	282	58.8
2.名前のみ	45	56.3	16	20.0	36	45.0	13	16.3	12	15.0	12	15.0	134	27.9
3.概要認識	10	12.5	4	5.0	10	12.5	6	7.5	6	7.5	6	7.5	42	8.8
4.5.刺激受	5	6.3	2	2.5	6	7.5	4	5.0	2	2.5	3	3.8	22	4.6
計	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	480	100

図 1.4 国家プロジェクトの認識度



A. 5)

5. 展示物の開発着手時期と開発のシーズや発端

表 1.5.1 展示物開発着手時期

	85以前	86/90	91/95	96/00	01/05
展示物1	5	5	6	22	29
展示物2	0	3	4	16	23
展示物数	5	8	10	38	52

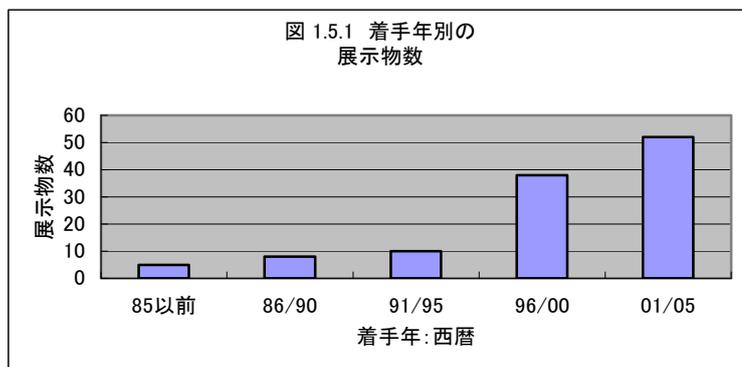
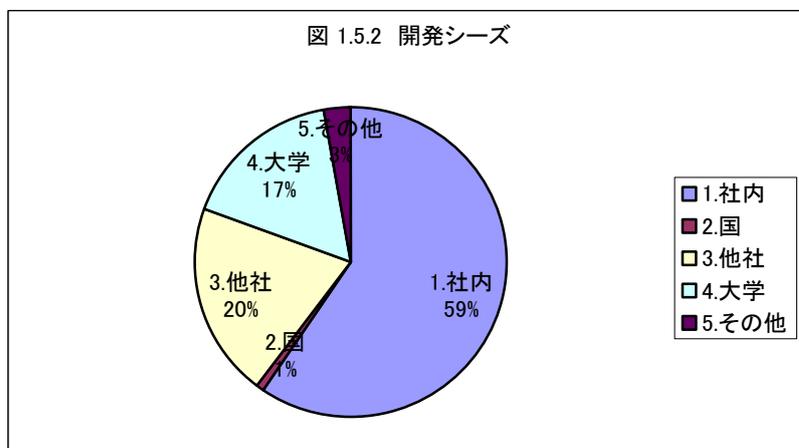


表 1.5.2 開発のシーズや発端

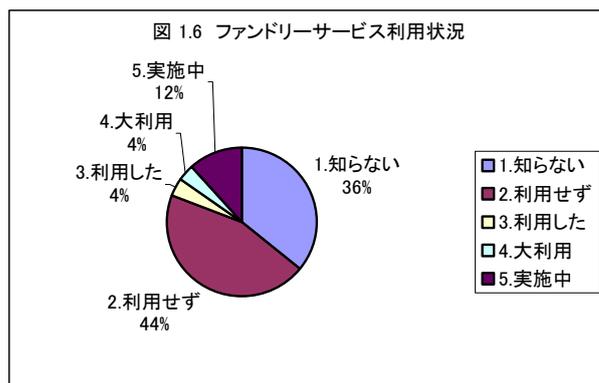
	1.社内技術	2.国の触発	3.他社技術	4.大学共研	5.その他	計
シーズ1	50		13	14	2	
シーズ2	32	1	15	9	2	
計	82	1	28	23	4	138
%	59.4	0.7	20.3	16.7	2.9	



A. 6) 6.ファンドリーサービス

表 1.6 ファンドリーサービスの認識度と活用状況

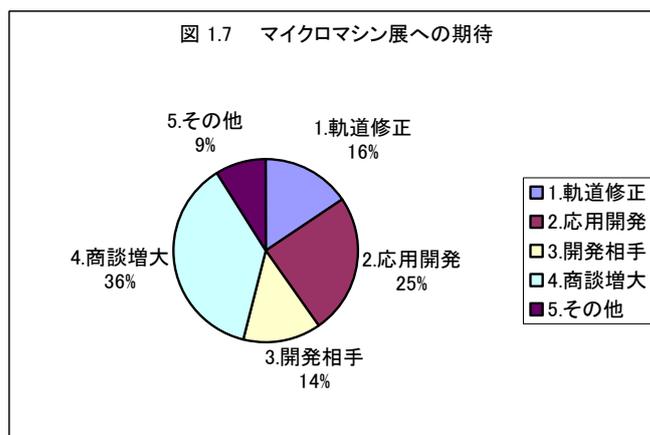
認識度	回答数	比率: %
1.知らない	28	35.9
2.利用せず	35	44.9
3.利用した	3	3.8
4.大利用	3	3.8
5.実施中	9	11.5
計	78	100



A. 7) 7.マイクロマシン展の活用内容

表 1.7 マイクロマシン展の活用内容

	回答数	%
1.軌道修正	16	15.7
2.応用開発	25	24.5
3.開発相手	14	13.7
4.商談増大	38	37.3
5.その他	9	8.8
計	102	100



A. 8)

8. 出展物の分類

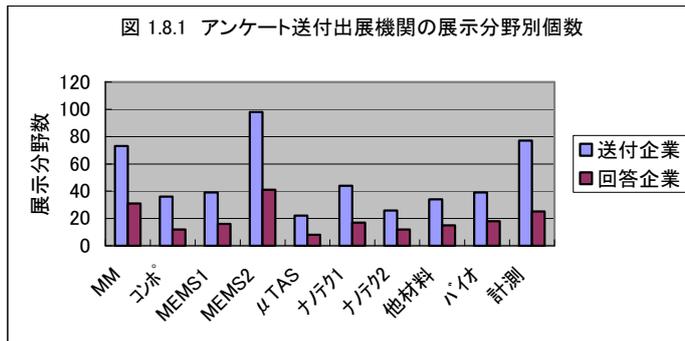
表 1.8 アンケート送付企業とアンケート回答企業の出展物の内容

	出展物の分類											機関数	備考
	MM	コンポ	MEMS1	MEMS2	μTAS	ナノテク1	ナノテク2	他材料	バイオ	計測	計		
送付企業	73	36	39	98	22	44	26	34	39	77	488	235	注1)
回答企業	31	12	16	41	8	17	12	15	18	25	195	83	注2)
大学	10	5	9	7	6	9	5	5	10	7	73	21	注3)

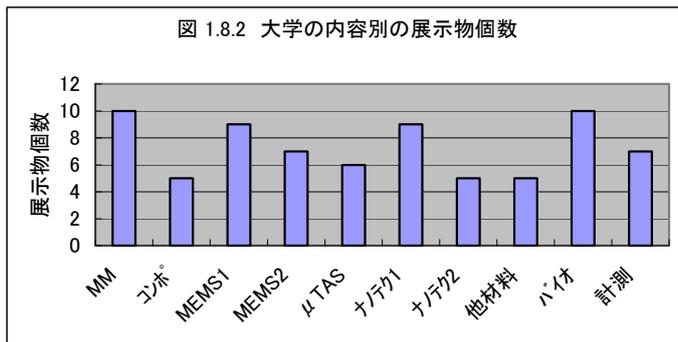
注1) アンケート送付企業(情報会社、外国企業を除く企業)

注2) アンケート回答企業

注3) 大学、研究機関



- 1 MM: マイクロマシン
- 2 コンポ: コンポ-ネット、その応用技術
- 3 MEME1: 微小電気機械システム
- 4 MEME2: MEMS製造装置・設計ツール
- 5 μTAS: 今年追加
- 6 ナノテク1: ナノテクノロジー
- 7 ナノテク2: ナノ材料
- 8 その他: その他材料
- 9 バイオ: バイオテクノロジー・医療関連
- 10 評価: 評価・計測機器



B. 1)

2.回答企業の概要

1.設立時期

表 2.1 設立時期と企業数

設立時期:数字:西暦年代

設立時期	1949以前	50/59	60/69	70/79	80/89	90/99	2000/06	計
企業数	13	10	10	11	9	10	18	81
比率:%	16.0	12.3	12.3	13.6	11.1	12.3	22.2	100

2.資本金規模

表 2.2 資本金規模と企業数

資本金規模:数字:億円

資本金規模	0.49以下	0.5/0.99	1/9.9	10/49	50以上	計
企業数	31	12	16	9	10	78
比率:%	39.7	15.4	20.5	11.5	12.8	100

3.従業員規模

表 2.3 従業員規模と企業数

従業員規模:数字:人

従業員規模	49以下	50/100	100/300	301/999	1000以上	計
企業数	22	9	15	8	13	67
比率:%	32.8	13.4	22.4	11.9	19.4	100

4.企業の業態

表 2.4 業態と企業数

業態	1.製造	2.受託	3.ソフト	4.製・商	5.商社	計
企業数	62	4	5	4	8	83
比率:%	74.7	4.8	6.0	4.8	9.6	100

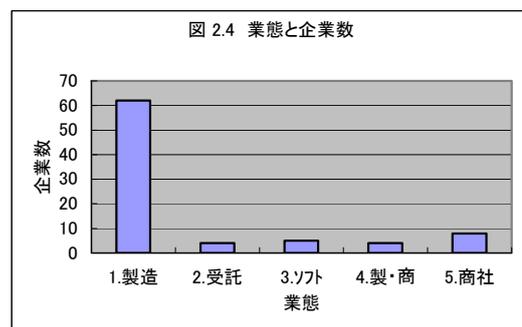
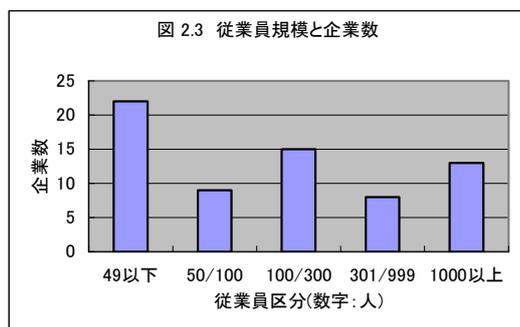
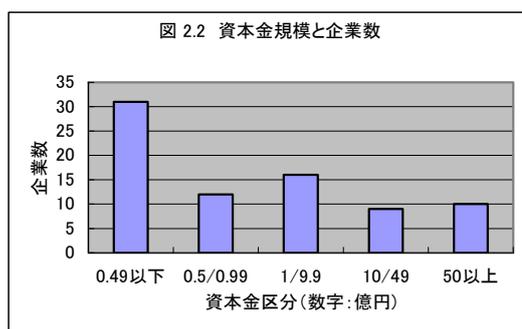
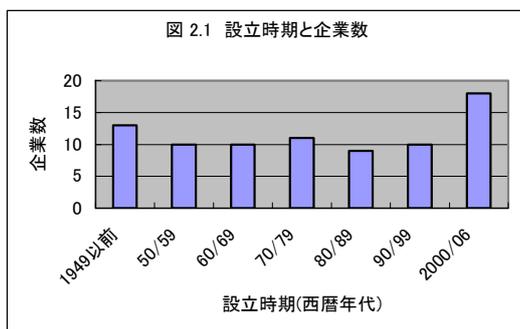
注1) 1.製造:製造販売をしている企業

注2) 2.受託:主に受託加工、ファクトリーをしている企業

注3) 3.ソフト:主にソフト、設計、技術サービスをしている企業

注4) 4.製・商:製造販売と輸入販売をしている企業

注5) 5.商社:製品の輸出入販売をしている企業



B. 2) 表 2.5 マイクロマシン展出席企業の製品と適用分野及び推定寄与技術-1

位置 No	展示物 *)	段階 *)	位置付*)	展示物が適用できる技術					用途 *)	適用分野 注2)													業種 注3)	注4) 影響度		
				材料技 術	プロセス 加工	設計・シ ミュレーシ ョン	計測・ 制御	システ ム化		1.情報 通信	2.生活 文化	3.製造 技術	4.精密 機器	5.医療 福祉	6.ハイテ クノロジー	7.エネ ルギー	8.環境	9.自動 車	10.都市 環境整 備	11.航空 宇宙	12.農林 水産	13.その 他				
1	高速タイプSi異方性エッチング液	3.製品	1.材料	●	●				Si液			◎													1.製造	○
2	メッキ液	3.製品	1.材料	●	●				ウエハメッキプロセス			◎													4.製商	△
3	CYCLOTENET	3.製品	1.材料	●					絶縁用、保護膜			◎													1.製造	△
4	ProTEK	3.製品	1.材料	●	●				保護膜			◎													1.製造	△
5	ハニカムタイ (チタン多孔体)	2.試供品	1.材料	●	●				プリンタ/薄ノズル	○			○												1.製造	△
6	受託加工サービス	2.試供品	1.材料	●	●				ナノインプリント金型	○			○												2.受託	△
7	粉体	1.開発完	1.材料	●	●				導電ペースト			◇													1.製造	△
8	鱗皮質界面親和剤	3.製品	1.材料	●					ハイオテック				◎					◎							1.製造	△
9	エキシマランプ	3.製品	2.部品	●	●				洗浄、接合				◎												1.製造	△
10	変位センサ	3.製品	2.部品			●	●						◎									◎			1.製造	○
11	MEMS用マイク	1.開発完	2.部品		●		●		携帯電話	◇															1.製造	○
12	R-MEMS	1.開発完	2.部品		●		●		携帯電話	◇												◇			1.製造	○
13	MEMSセンサ	2.試供品	2.部品		●		●		携帯電話																1.製造	○
14	射出成形	2.試供品	2.部品	●	●				微細加工				○	○											1.製造	○
15	マイクロチップ	3.製品	2.部品			●			液体測定用				◎					◇	◇	◇					1.製造	○
16	DNA検査用ガラス流路	3.製品	2.部品			●			DNA検査用																1.製造	○
17	ガラスモールド	2.試供品	2.部品	●	●				C4NP用																1.製造	△
18	RLELレーザエンコーダ	3.製品	2.部品			●			モーションのフードバック				◎	◎											1.製造	○
19	RLELレーザエンコーダ	3.製品	2.部品			●	●		モーションのフードバック				◎	◎											1.製造	○
20	高速回転スピンドル	3.製品	2.部品		●				工作機械、半導体基板用				◎	◎											1.製造	○
21	多孔配列加工	3.製品	2.部品		●				検査治具				◎												3.ソフト	△
22	DCモータ	3.製品	2.部品			●	●		カメラ、ロボット				◎									◎			1.製造	○
23	ダイアフラムポンプ	3.製品	2.部品			●	●		分析器、洗浄器				◎												1.製造	○
24	アイソレータ	1.開発完	2.部品		●				光通信	◇															2.受託	△
25	高効率SHGユニット	3.製品	2.部品		●		●		レーザー	◎															2.受託	△
26	マイクロセラミクス	3.製品	2.部品				●		電子機器/ノズル	◎									◇						1.製造	○
27	マイクロダイヤモンド工具	3.製品	2.部品		●				光学レンズ、半導体				◎												1.製造	○
28	精密各種部品	3.製品	2.部品		●				半導体、金型				◎	◎											1.製造	○
29	微細加工ツール	1.開発完	2.部品		●		●		半導体、ハイオ関係				◎	◎											2.受託	△
30	ミラーデバイス		2.部品		●					○															1.製造	○
31	MEMSデバイス		2.部品			●	●																◎		1.製造	○
32	センサ信号アンプ	3.製品	2.部品			●	●		MEMs	◎															1.製造	○
33	マイクロポンプ	2.試供品	2.部品			●	●		燃料電池、分析機器																1.製造	○
34	3次元微細加工機	3.製品	2.部品		●								◎	◎											1.製造	○
35	フォトリソ製品	3.製品	2.部品		●				通信、電子部品全般	◎			◎												1.製造	△
36	カテーテル用チューブドリラー	3.製品	3.製品	●			●		カテーテルチューブ																4.製商	○
37	レーザー溶着装置	3.製品	3.製品		●																			◎	4.製商	○
38	Si異方性エッチング乾燥システム	2.試供品	3.製品		●				液晶																1.製造	△
39	膜厚測定装置	3.製品	3.製品		●				膜厚測定				◎												1.製造	○
40	レンズ塗布ベック装置	3.製品	3.製品		●				レンズ塗布ベック				◎												1.製造	△
41	撮像素子検査光源	2.試供品	3.製品			●			固体撮像素子検査	○			◎	○											1.製造	○
42	縮小投影露光装置	3.製品	3.製品		●				磁気ヘッド加工	◎			◎												1.製造	△
43	マイクロシステムアナライザ	3.製品	3.製品			●			RF-MS、光スイッチ				◎												1.製造	○
44	スイッチ発振LDレーザー	3.製品	3.製品		●				UV微細穴あけ加工																1.製造	△
45	ファイバレーザシステム	3.製品	3.製品		●				マイクロエッチング				◎												1.製造	△
46	プレス機	3.製品	3.製品		●				小型部品の移動用				◎	◎											1.製造	○
47	スプレューター	1.開発完	3.製品		●				製造装置					◇											3.ソフト	△
48	マイクロコンタクトプリンタ	1.開発完	3.製品		●				製造装置					◇											3.ソフト	△
49	DISS5	3.製品	3.製品			●			SEMインターフェイス	◎															3.ソフト	△
50	ハイブリッドスコープ	3.製品	3.製品			●			深さ、高さ測定					◎											1.製造	△

表 2.5 マイクロマシン展 出展企業の製品と適用分野及び推定寄与技術-2

位置 No	展示物 *)	段階 *)	位置付*)	展示物が適用できる技術					用途 *)	適用分野 注2)													業種 注3)	注4) 影響度		
				材料技 術	プロセス 加工	設計・シ ミュレーシ ョン	計測・ 制御	システ ム化		1.情報・ 通信	2.生活・ 文化	3.製造 技術	4.精密 機器	5.医療・ 福祉	6.ハイテ クノロジー	7.エネル ギー	8.環境	9.自動 車	10.都市 環境整 備	11.航空 宇宙	12.農林 水産	13.その 他				
51	両面鏡	3.製品	3.製品				●		表裏面の観察			◎													1.製造	△
52	スフレコータ	3.製品	3.製品		●				レジスト塗布			◎													1.製造	△
53	カロリメータ	1.開発完	3.製品				●		宇宙用				◇							◇	◇				5.商社	
54	卓上型SEM	1.開発完	3.製品				●		高倍率観察																1.製造	△
55	表面形状測定器	1.開発完	3.製品				●						◇												5.商社	
56	表面分析器	1.開発完	3.製品				●		有機膜材料				◇								◇				5.商社	△
57	マニピュレータ	2.試供品	3.製品		●		●		光学顕微鏡用			○	○	○											1.製造	○
58	マルチプロバ	2.試供品	3.製品				●		SEM			○	○	○											1.製造	
59	蛍光線検査機	3.製品	3.製品	●			●		有害元素測定			◎									◎				5.商社	
60	精密研磨機	3.製品	3.製品		●				精密研磨機			◎									◎				5.商社	○
61	LD励起固体レーザ	1.開発完	3.製品		●		●		微細加工、検査、分析			◇	◇												1.製造	
62	半導体レーザ	1.開発完	3.製品		●				固体レーザ励起用、印刷			◇	◇												1.製造	
63	DH2	3.製品	3.製品				●		電子部品測定			◎													1.製造	△
64	DZ3	3.製品	3.製品				●		電子部品観察			◎													1.製造	△
65	ナノファインダ30	3.製品	3.製品		●				微細加工部の観察			◎	◎												4.製商	△
66	レーザ加工機	3.製品	3.製品		●				レーザ加工用			◎													4.製商	
67	センサネットワーク用SIPモジュール	2.試供品	3.製品				●	●	計測システム				○							○	○				1.製造	△
68	センサネットワーク用無線モジュール	2.試供品	3.製品				●	●	計測システム				○							○	○				1.製造	△
69	UV-LED	3.製品	3.製品		●		●		IC用			◎													5.商社	
70	ナノスプレコータ	3.製品	3.製品		●				IC用			◎													5.商社	△
71	マッキ装置	3.製品	3.製品		●				半導体ウエハマッキ装置			◎													4.製商	△
72	穴開機	3.製品	3.製品		●				丸物、車用、ノズル用			◎													1.製造	○
73	微細穴開機	2.試供品	3.製品		●				金属穴あけ、金型			○													1.製造	○
74	卓上型微細加工機	3.製品	3.製品		●				医療機器部品			◎													1.製造	○
75	マイクロアクト	3.製品	3.製品	●			●		大学、産総研				◎	◎							◎				1.製造	○
76	ファイトハックスステージ	3.製品	3.製品				●		大学、ハイテ関係解析装置				◎	◎						◎					1.製造	△
77	高速デジサイザ	3.製品	3.製品				●		高速回転の計測				◎												1.製造	
78	スクラッチ試験機	3.製品	3.製品				●		薄膜品検査用			◎													1.製造	△
79	摩擦・磨耗試験機	3.製品	3.製品				●		薄膜品検査用			◎													1.製造	△
80	コロニーカウンタ	3.製品	3.製品	●			●		パイオ、製薬、食品検査			◎	◎								◎				2.受託	○
81	マイクロマニピュレータ	2.試供品	3.製品		●				電子部品製作			○									○				2.受託	○
82	フォトナイザ	3.製品	3.製品		●				液晶搬送				◎												1.製造	
83	センサ	3.製品	3.製品				●	●				◎	◎							◎					1.製造	○
84	ETCH装置	3.製品	3.製品		●				MEMSプロセス加工用			◎													1.製造	△
85	赤外線検査装置	3.製品	3.製品				●		ウエハ検査用			◎	◎												1.製造	
86	STP転写製品膜装置	3.製品	3.製品		●				MEMS実装プロセス			◎													1.製造	○
87	陽極接合装置	3.製品	3.製品		●							◎												◎	1.製造	△
88	タールMOCVD	3.製品	3.製品		●				MEMS用汎用装置			◎													1.製造	○
89	レンズ偏芯測定器	3.製品	3.製品				●		光学部品			◎													1.製造	
90	光造形装置	3.製品	3.製品		●							◎													1.製造	△
91	旋盤、骨の加工用	2.試供品	3.製品		●				医療用				○												1.製造	○
92	フリス盤、金属用	3.製品	3.製品		●				微細機械加工			◎	◎												1.製造	○
93	SPM	3.製品	4.技術				●		STM				◎												1.製造	
94	ソフトエッチング装置	3.製品	4.技術				●		マイクロ流路クリーニング			◎		◎											1.製造	△
95	コンパ外振動計	3.製品	4.技術				●		RF-MS、インクジェット				◎							◎					1.製造	○
96	5nanoX2stage	3.製品	4.技術				●		医療用計測				◎	◎											1.製造	
97	ウエハ実験装置	1.開発完	4.技術		●				ウエハ基盤マッキ			◇	◇												1.製造	△
98	ピーカー用装置	1.開発完	4.技術		●							◇												◇	1.製造	
99	エッチング装置	1.開発完	4.技術		●				MEMS用具			◇													1.製造	○

表 2.5 マイクロマシン展 出展企業の製品と適用分野及び推定寄与技術-3

位置 No	展示物 *)	段階 *)	位置付*)	展示物が適用できる技術					用途 *)	適用分野 注2)													業種 注3)	注4)	
				材料技術	プロセス加工	設計・シミュレーション	計測・制御	システム化		1.情報・通信	2.生活・文化	3.製造技術	4.精密機器	5.医療・福祉	6.ハイテク/ナノ	7.エネルギー	8.環境	9.自動車	10.都市環境整備	11.航空宇宙	12.農林水産	13.その他			
100	ファントムサービス	1.開発完	4.技術		●				FDサービス			◇											◇	1.製造	○
101	GFP	3.製品	4.技術				●		残留応力の可視化				◎											1.製造	△
102	光ファイバセンサ	3.製品	4.技術				●		温度、圧力計測				◎										◎	1.製造	△
103	ハンダハンパ TEG	2.試供品	4.技術		●				高密度実装用			○												5.商社	△
104	マイクロキヤ	2.試供品	4.技術		●			●	機械要素			○												1.製造	△
105	マイクロキヤ用ホブ	1.開発完	4.技術		●				切削工具			◇												1.製造	△
106	Ni電鍍転写金型	1.開発完	4.技術		●				光学部品			◇	◇											4.製商	△
107	インプリント金型	2.試供品	4.技術		●				光学部品、半導体製品			○												4.製商	△
108	マイクログリップ	1.開発完	4.技術				●		超小型グリップ			◇		◇										1.製造	○
109	マイクロバルブ	1.開発完	4.技術				●	●	超小型弁			◇		◇										1.製造	○
110	成膜サンプル	3.製品	4.技術	●	●				電鍍、電子部品			◎		◇	◇								◎	1.製造	○
111	FS	3.製品	4.技術		●							◎											◎	1.製造	○
112	処理装置	3.製品	4.技術		●				防汚、撥水処理				◎										◎	1.製造	○
113	表面処理	3.製品	4.技術		●				防汚、撥水処理				◎											1.製造	○
114	複合プラスチック装置	1.開発完	4.技術		●				研究開発用			◇												6.他	○
115	マイクロリアクタシステム	2.試供品	4.技術	●			●		研究開発用			○		○										6.他	○
116	極小径孔開	2.試供品	4.技術		●				ノズル、研究開発品			○											○	3.ソフト	○
117	受託加工	1.開発完	4.技術		●				研究所			○											◇	1.製造	△
118	微細切削加工	3.製品	4.技術		●				医療用、半導体			○		◎										1.製造	△
119	タイミングデバイス	3.製品	4.技術		●				MEMSチップ製造			◎												1.製造	○
120	電鍍品	1.開発完	4.技術	●	●				ハイオクチップ、MEMS部品			◎		◇	◇									1.製造	○
121	技術	4.技術			●							◎											◎	1.製造	△
122	メッキ製品	3.製品	4.技術	●	●							◎											◎	2.受託	△
123	ナノ粉末	2.試供品	4.技術	●					ナノテク															1.製造	○
124	メタルマスク	1.開発完	4.技術		●				半導体			◇												1.製造	○
125	微細孔、溝加工	3.製品	4.技術		●				導光板の孔加工			◎												1.製造	○
126	MEX	3.製品	5.ソフト			●			SEM画像解析		◎		◎											3.ソフト	○
127	MEMS用ソフト	3.製品	5.ソフト			●			MEMS全般		◎		◎											3.ソフト	○
128	MEMSPro	3.製品	5.ソフト			●					◎		◎										◎	3.ソフト	○
129	PEGASUS	3.製品	5.ソフト		●	●			真空蒸着装置		◎		◎											3.ソフト	○
130	シミュレーションソフト	3.製品	5.ソフト			●			研究用		◎		◎											1.製造	○
131	SEM用マニピュレータ	2.試供品	6.その他	●			●		新素材開発				○	○	○									1.製造	○
132	イオンミリング	3.製品	6.その他	●					電顕試料前処理				◎											1.製造	○
133	ナノインプリント装置	3.製品	6.その他		●				微細加工			◎												3.ソフト	○
134	工具	3.製品	6.その他		●				光学部品の金型			◎	◎											1.製造	△
135	工具	1.開発完	6.その他		●				医療機器部品加工					◇										1.製造	○
136	切削工具	3.製品	6.その他		●				金型加工用			◎												1.製造	○
137	ドライエッチング装置	3.製品	6.その他		●				MEMS用、各種センサ			◎												1.製造	○
138	プラズマCVD装置	3.製品	6.その他		●				MEMS用			◎												1.製造	○
139	卓上顕微鏡	3.製品	6.その他				●		評価・計測機器				◎											1.製造	○
140	分析走査顕微鏡	3.製品	6.その他				●		評価・計測機器				◎											1.製造	○
141	MEMSファクトリ		6.その他		●				MEMS関連企業				◎											1.製造	○
142	Siファクトリ		6.その他		●				半導体、LSI関係				◎											1.製造	○
143	PVD装置	3.製品	6.その他		●				MEMSプロセス加工用			◎	◎											1.製造	○
計1			44						合計			5	2		9	7	6	0	2	0	0	1	1	8	

注1) \*)印はアンケート記入データ

注2) ◎:製品、○:試供品、◇:試作完了

注3) 1.製造:自社製品を製造・販売、2.主に受託:受託加工、技術サービス、3.ソフト:設計、ソフトを製作・販売、4.製商:自社製品の他に他社、輸入製品を販売、5.商社:他社、輸入製品を販売

注4) ○:製品製造の要素技術がプロジェクト技術より影響を受けたと推定されるもの。△:影響を受けたと推定されるがその程度が弱いもの

製品の分野別特徴

表 2.6 主要分野別の製品数および開発段階別製品数とその比率

分野	情報通信	製造技術	精密機器	医療福祉	バイオ	その他注	計/平均	製品比率	備考
A.製品	12	62	32	8	6	34	154	59.7	
B.試供品等	7	30	16	14	15	22	104	40.3	注1)
C.製品計	19	92	48	22	21	56	258	100	注2)
D.試供品等比率: %	36.8	32.6	33.3	63.6	71.4	39.3	40.3		注3)
E.分野比率: %	7.4	35.7	18.6	8.5	8.1	21.7	100.0		

注1)B.試供品等: 試供品製品+開発完了製品

注2)製品の適用分野は重複使用もあり、重複分野も計上している

注3)試供品等比率: 全製品に対する試供品製品+開発完了製品の割合:  $D=B/C*100$

注4)その他は生活分野、ソフト等を含む

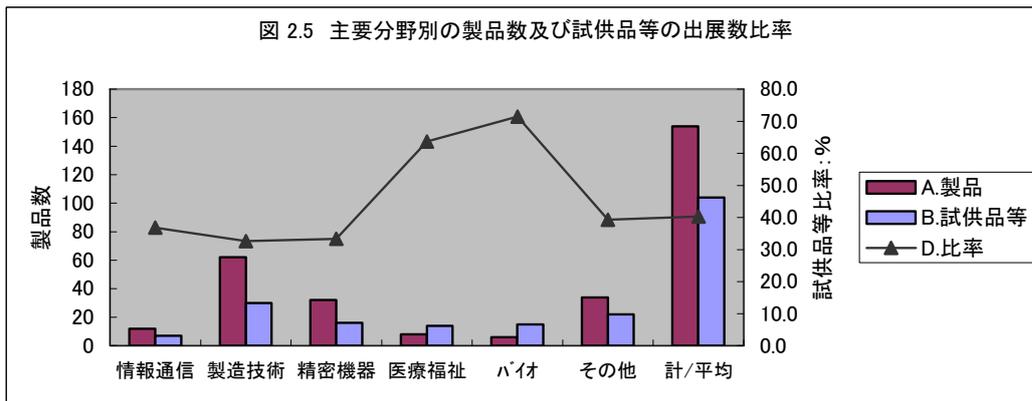
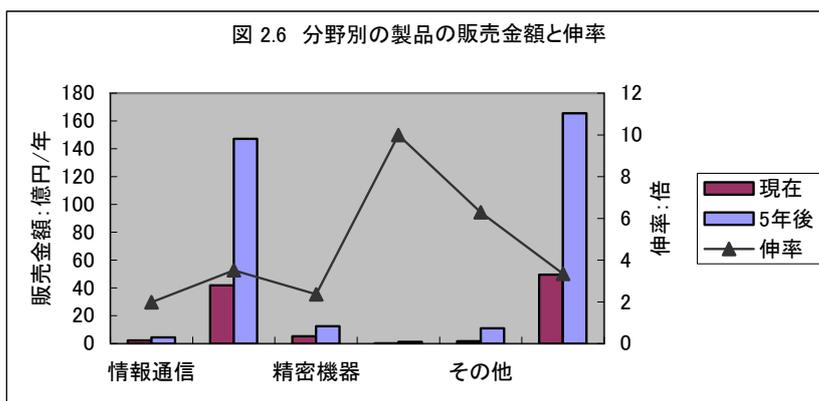


表 2.7 分野別の製品の販売金額と伸率

分野	情報通信	製造技術	精密機器	医療福祉	生活文化	計/平均	備考
製品数	1	14	6	2	2	23	注1)
現在販売金額: 億円/年	2.26	41.93	5.25	0.13	1.75	49.57	
5年後販売金額: 億円/年	4.48	147.26	12.4	1.3	11	165.44	
伸率: 倍	2.0	3.5	2.4	10.0	6.3	3.3	

注1)現在、5年後両方の販売金額記入製品のみ



## 付属資料 2

### 大学におけるマイクロマシン関係の研究状況

#### 2.1 MMCからの委託研究

大学におけるマイクロマシン関係の研究は、一部の大学では精密機械や精密工学の研究として古くから行われていたが、全国的な規模で盛んになったのは1990年代に入って、旧通商産業省管轄の産業科学技術研究開発制度に従って始まった、「マイクロマシン技術プロジェクト」(平成3年～12年)の影響が大きい。

すなわち、プロジェクトの推進機関として同時に発足した財団法人「マイクロマシンセンター」が、プロジェクトの実行事業の大部分を同センターの賛助会員である民間企業に再委託したが、基礎研究面を補足する目的で、同センターの自主事業として、平成5年度より、平成13年度まで、多くの大学研究者に「助成研究」を依頼している。この助成研究の依頼は以下の要領でなされた。

- ・ 研究の対象：マイクロマシンの基盤技術、機能要素技術、システム化技術に関する基礎的研究
- ・ 依頼研究者：大学教員（教授、助教授、講師、および助手）
- ・ 研究の期間：テーマA 1年、テーマB 2年
- ・ 助成の金額：テーマA 200万円、テーマB 300万円（総額1,500万円/年程度）
- ・ 依頼の件数：数件/年

年度毎の依頼の研究テーマと研究者名は文末別添資料に示すが、年度別の依頼件数は下表のようになっている。

表1 マイクロマシンセンターの助成研究の依頼件数

年 度	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	合計
テーマA	5	3	1	3	3	1	1	0	3	20
テーマB	3	5	6	8	6	6	6	6	0	46

註：テーマBは依頼年度である。

テーマA、B併せて66件であり、中には複数回の依頼をした研究者もいるが、数十名の大学研究者に基礎研究を依頼したことは、後述のように、現在全国の大学にこの分野の研究を専攻する教授、助教授が多数居られることに繋がっていると言える。

#### 2.2 全国大学の代表的研究者一覧

全国の大学におけるマイクロマシン関係の代表的研究者名の一覧を表2に示した。ただし、マイクロマシン研究と、ナノ・テクノロジー研究およびロボット研究との境界は定かではないので、多分に後2分野との重複があることは了解頂きたい。なお、表には独立行政法人産業技術総合研究所(つくば)も大学に準ずる機能を果たしているため追加している。

表2 関係研究状況大学におけるマイクロマシン一覧 (所属内でアイウエオ順)

No.	大学名	組織・部門	代表研究者	産学連携、他	MM展	備考
1	愛知工業大学	・工学部、電気	鳥井昭宏			
2	秋田県立大学	・システム科学技術学部	須藤誠一			
3	茨城大学	・工学部、システム	江田 弘			
4	宇都宮大学	・院、工学研究	進村武男(4)			
5	大阪大学	・工学部、機械  ・基礎工学、工 同、電子物理 ・院、工学研究 応物	竹内芳美 三好隆志(4) 新井健生 奥山雅則 河田 聡	・フロンティア研究 センター		*1
6	大阪教育大学	・教育学部、教員養成	高田博史			
7	大阪府立大学	・院、工学研究	平井義彦 中山喜萬 原田敦史(6)			
8	岡山大学	・院、自然科学研究 ・波動回路	鈴森康一 藤森和博			
9	香川大学	・工学部、知能機械 ・微細構造デバイス統合 研究センター	橋口 原(7) 十河修二			
10	鹿児島大学	・院、理工学研究	青柳隆夫(3)			
11	九州大学	・院、知能機械	澤田廉士			
12	九州工業大学	・院、生命体工学	安田 隆(2)			
13	京都大学	・院、工学研究 マイクロエンジニアリング ・院、電子工学 ・固体力学 ・熱材料力学	小寺秀俊 田畑 修(5) 松原 厚 野田 進 宮崎則幸 中部主敬	・マイクロエンジニアリング 講座 ・桂キャンパス 開設(04年)	出展	*2
14	近畿大学	・工学部、知能機械 ・生物理工学部	五百井清 水谷勝己			
15	群馬大学	・院、工学研究	早乙女康典(2)			
16	熊本大学	・院、自然化学研究	高島和希			
17	慶応大学	・理工、機械  ・同、応用化学	三井公之(1) 前野隆司 三木則尚 川口春馬(3)			

		・同、物理情報	松本佳宣(5)			
18	工学院大学	・工学部、工学機械 システム工学	鈴木健司			
19	首都大学東京	・工学部、システム ・院、理工学研究	諸貫信行 下村芳樹 太田正廣 伊永隆史 楊 明		出展	
20	湘南工科大学	・機械工学科	北原時雄			
21	筑波大学	・院、数理物質化学	鈴木博章 宮崎修一(1)			
22	電気通信大学	・電通部、知能機械	青山尚之			
23	東京医科歯科大学	・生体材料工学研究所	三林浩二			
24	東京大学	・工学部、機械システム ・同、実装工学  ・院、工学系研究科          ・同、電子系  ・同、情報理工学  ・生産技術研究所	鈴木健司(5) 須賀唯知 伊藤寿裕(5) 日暮栄治 細田直江(3) 樋口俊郎 山本晃生 片岡一則(2,6) 吉田 亮 鷲津正夫(6) 小穴英廣 北森武彦(7) 石原一彦(7) 横井英俊 渡辺俊也 杉山正和 三田吉郎 下山 勲 安藤 繁 藤田博之(6,7) 年吉洋助(6) キム・ホムジョン 竹内昌治	・先端メカトロニクス 研究室  ・国際産学協同 研究センター          ・マイクロメカトロニクス 国際研究センター	出展          出展          出展	*3

25	東京工業大学	・院、総合理工  ・精密工学研究所	実吉啓二 黒澤実助 佐藤海二 下河邊明 新野秀憲 初澤 毅 肥後矢吉 横田真一(1) 吉田和弘(1) 堀江三喜男 益 一哉 小林功郎	・産学連携推進 本部  ・精密工学研究 所	出展 出展  出展	*4
26	東京工科大学	・バイオクス学部	村松 宏			
27	東京電機大学	・情報環境学部	中田 毅(3)			
28	東京農工大学	・工学部、生命工学 ・同、機械システム ・院、物質機能科学	松永 是(5) 亀田正治(4) 池田恭一 石田 寛			
29	東京理科大学	・院、基礎工学	宮本岩男 谷口 淳			
30	東海大学	・工学部、精密工学	津田展宏 槌谷和義 山本佳男			
31	東北大学	・院、工学研究  ・金属材料研究所 ・電気通信研究所 ・先進医工学機構	江刺正喜 小野崇人 田中秀治 羽根一博 新井史人 小柳光正 新妻弘明 庄子哲男 井上明久(2) 荒井賢一 芳賀洋一(7)	・ベンチャー・ビジネス・ ラボラトリー  ・先進医工学研 究機構	出展	*5
32	徳島大学	・院、先端技術科学	橋本修一			
33	豊田工業大学	・工学部	土田縫夫(2)			
34	豊橋技術科学大 学	・電気・電子工学	石田 誠(2)			

35	名古屋大学	・院、工学研究	佐藤一雄 生田幸士(3) 三矢保永(4) 関 隆広	・マイクロマシンング プロセス研究会	出展 出展	* 6
36	新潟大学	・院、自然科学研究	大橋 修			
37	日本工業大学	・システム工学科 ・先端材料技術センター	三宅正二郎(5) 竹内貞雄 中里裕一 渡部修一 村川正夫	・先端材料技術 センター	出展	* 7
38	弘前大学	・理工学部、知能機 械	牧野英司 小野俊郎			
39	兵庫県立大学	・院、物質理学研究 ・高度産業技術研	久本秀明 服部 正			
40	北陸先端科学技 術大学院大学	・材料科学研究	由井伸彦(1) 民谷栄一			
41	名城大学	・理工学部、 機械システム	大道武生			
42	山口大学	・院、医学系研究科 ・工学部	青山尚之(4) 南 和幸			* 8
43	山口東京理 科大学	・工学部、電子情報	栗林勝利(5)		出展	
44	山梨大学	・工学部、機械システム 工学	寺田英嗣 吉田善一			
45	横浜国立大学	・工学部、生産工学  ・院、環境情報研究	西野耕一(3) 丸尾昭二 横山 泰 鈴木淳史(5) 萩野敏郎 武田 淳	・ナノ・リサーチ・クラブ	出展	* 9
46	立命館大学	・マイクロシステム技術 研究センター	杉山 進(3) 鈴木健一郎 田中克彦 磯野吉正 高野直樹 小西 進 小西 聡	・マイクロシステム技術 研究センター ・マイクロシステム研究会	出展	* 10

47	早稲田大学	・院、理工学研究 ナノ理工学 ・同、応用化学 ・同、情報生産システム ・生命医療工学研究所	庄子習一(5) 船津高志 平沢 泉 植田敏嗣 武田直也			
48	独立法人宇宙航空研究開発機構	・総合技術研究本部	満田和久 山崎典子			
49	独立法人 産業技術総研究所	・ナノテク研究部門 併設「MEMSビジネス棟」 ・製造プロセス研究部門 ・ファインファクトリ研究	前田龍太郎 明渡 純 高木秀樹 山田陽滋 岡崎祐一	・MEMSビジネス棟	出展	*11
50	独立法人物質・材料研究機構	・ナノテクノロジー総合支援 プロジェクトセンター	竹村誠洋			

註：研究者名の( )内は(財)マイクロマシンセンターの助成研究を受けた年度(1993年度が1)  
MM展は第17回(2006年)マイクロマシン展への出展者

以上のうち、大学によってはマイクロマシン関係の組織や研究所、講座などをもち、また、産学連携研究の推進、ないし地域産業の支援に固有の組織を設定しているところもあるので、それらの著名なものについて以下に若干の追加説明を付け加える。表中の備考欄番号順である。

#### 追加説明：

##### \*1 大阪大学

○大阪大学では2006年度から、産学連携の研究拠点組織として、「フロンティア研究センター」を持っている。これは2001年に文部科学省主導で、新学問領域や新産業の創生に必要な研究をプロジェクト方式で横断的に研究する「フロンティア研究機構」を持っていたが、その成果を引き継いで、産業界との共同研究を効率化するものである。ここではナノ工学、ロボット工学、医療福祉工学などの分野も研究対象になっている。

##### \*2 京都大学

○大学院工学研究系(吉田キャンパス)では2004年から「マイクロエンジニアリング専攻」講座が新設された。旧機械工学、機械物理、精密工学が統合されているが、医学の視点も加えた“MEMS教育”がスタートしている。学部、修士、博士コースのそれぞれの過程にMEMS講義があり、ものづくりの未来を担う技術者養成を目指している。(代表教授：田畑修)

○京都大学は“ナノテク研究と産学連携”の推進を目的に、「京都大学桂キャンパス」(京都市西京区御陵小原地区、敷地37ha)を2004年に開設した。歩調を併せて京都市は平成14年に“スーパーテクノシティ構想”を打ち出しており、桂キャンパスの隣接地、2.6haを確保して、「桂イノベーションパーク」と名づけ、新産業・新技術の創出拠点と

位置づけている。ナノテク研究の対象は広いが、マイクロマシン・デバイス関係の研究も大いに推進される体制である。

### \* 3 東京大学

○大学院（本郷キャンパス）、精密機械工学専攻の樋口俊郎教授研究室と山本晃生助教授研究室は合同で「先端メカトロニクス研究室」を構成して、産学提携・ベンチャー企業育成を推進している。

同じく大学院の情報理工学研究科ではロボット及びマイクロマシン、ならびにそれらのシステム関係の研究で先進している。下山勲教授はロボテックス、マイクロシステムの権威である。

○東大付属組織、「国際・産学協同研究センター」（駒場キャンパス）は1996年に設立された国際・産学協同研究（CCR）のための組織で、国際的な視野も考慮して大学でインキュベートされた研究成果の企業化を支援・推進するのを目的としている。センター長横井秀俊教授、副センター長渡辺俊也教授、選任教授8名、客員教授11名（内外国人4名）。

○東大付属研究所の生産技術研究所（駒場キャンパス）にも「マイクロメカトロニクス国際研究センター」（センター長藤田博之教授）があり、マイクロメカトロニクス研究の先端性確保とともに、国際的共同研究も進められている。現在も諸外国の研究所などとの共同研究が行われており、17回MM展にはフランス国立科学研究センター（CMRS）と共同出展している。

### \* 4 東京工業大学

○当大学の産学連携研究と大学の研究成果の企業化（技術移転：TLO）は「産学連携推進本部」が窓口で一元化推進に当たっている。本件は他大学も殆ど同様である。

○付属組織の「精密工学研究所」は昭和14年に創立されたもので、精密機械研究におけるわが国の指導・推進に長い歴史を持つ。昭和50年に大岡山キャンパスから長津田キャンパスに移転した。現在は大学法人化し（2004）、組織は知能加工部門、極微デバイス部門、精機デバイス部門、高機能化システム部門、先端材料部門、極微メカノプロセス部門、知的財産利用支援部門などから構成している。研究は教授16名、助教授16名で推進している。

### \* 5 東北大学

○平成7年（1995年）より、青葉山キャンパスに「ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー」（別注参考）なるオープン・ラボラトリーを設立して、新産業の創出と高度専門能力を持つ人材育成を産学連携で推進する体制を確立している。大学では「センサ・マイクロマシンの研究開発」を研究・教育のテーマに掲げ、全学的な協力体制を敷いている。指導教官は、江刺正喜、小柳光正、羽根一博、新妻弘明、庄子哲雄教授他である。

さらに、2004年10月には、オープン・ラボラトリーを通しての産学連携による産業創出を効率化する目的で、任意団体「MEMSパークコンソーシアム」（代表：東北大学大学院江刺正喜教授、コーディネーター：東北大学大学院原山優子教授、参加企業50社以上、事務局第3セクター「柵テクノプラザみやぎ」内）が発足している。

別注：「ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー」は平成7年に“大学院を中心とした独創的研究開発推進”として、政府が策定した制度であり、全国の大学にこの組織

は設定されつつある。2006 年で、設定済みの大学は、室蘭工大、東北大、秋田大、山形大、信州大、茨城大、宇都宮大、群馬大、千葉大、東大、東京農工大、東京工大、名大、名工大、京大、京都工芸大、阪大、神戸大、岡山大、広島大、山口大、九州工大、大分大、である。ただし、大学により呼称が若干違うものもある。

○平成 15 年度より、「先進医工学研究機構」を発足させている。これは医・薬学系と工学・情報科学の研究所・研究室の連携による機動的な研究推進によって、先進医工学の研究拠点形成を目的としたものである。研究分野は、生体用材料創生、ナノメデシン、生命機能科学、高度情報通信であるが、マイクロ／ナノテクノロジーの医療分野への研究成果の全面的な応用が期待されている。

\* 6 名古屋大学

○本学が中心になって、1995 年より全国組織としての「マイクロマシニングプロセス研究会」（現在、第Ⅳ期代表佐藤一雄教授）を運営している。京都大学の田畑修教授なども参画しているが、産学連携して、シリコンエッチングを始め、マイクロマシニング技術及びその周辺・応用技術の研究推進に努めている。

\* 7 日本工業大学

○附属組織、「先端材料技術センター」は平成 10 年に、文部科学省の“私立大学のハイテク・リサーチ・センター整備事業”の一環として整備されたものである。材料関係の先端研究の推進と材料の品質試験を担当している。スーパーカーボン（ダイヤモンド、カーボンナイトライドなど）の研究分野において先行している。

\* 8 山口大学

○山口大学が中心になって、やまぐち・うべメディカルイノベーションクラスター構想を推進している。これは文部科学省が 2002 年から始めた地域ごとの研究開発能力の拠点創生を目指す「知的クラスター」構想の一環である。山口大学では同大学が独自研究した高輝度 LED（発光ダイオード）技術と医療機器技術の融合を志向して、前記の組織を発足させ、医療機器への MEMS 技術の活用を研究推進している。

\* 9 横浜国立大学

○横浜国立大学では大学の法人化により、産学交流・連携を一層推進するために、学内に「ナノ・リサーチ・クラブ」設定している。“ナノ”をキーワードに学内の教授・助教授 20 数名が集まって研究クラブを開催している。当面のテーマは“生命ナノテク、構造ナノテク、機能ナノテク”に絞っている。学外からのアプローチにも柔軟に対応している。世話人、荻野俊郎教授、武田淳教授、他である。

\* 10 立命館大学

○附属組織、「マイクロシステム技術研究センター」（びわこ・くさつキャンパス、敷地面積 122ha）は 1995 年設立のマイクロプロセス施設、1996 年のシンクロトン放射光施設、2000 年のマイクロシステムデザインルームを統合して、2001 年度の文部科学省「私立大学学術研究高度化推進事業」の「オープン・リサーチ・センター整備事業」の選定を受けて発足した組織である。先導的・独創的研究とその人材育成、ならびに産官学共同研究の推進を目的にしている。研究領域はマイクロファブ리케이션技術、デバイスデザイン技術、マイクロシステム技術、マイクロ機能材料・評価技術である。

研究交流活動の実践手段として運営している「マイクロシステム技術研究会」（2004年度末、入会社数 70 社）では、マイクロマシン、MEMS 技術の普及・啓蒙活動から、受託・共同研究の活性化を期待している。センター長杉山進教授、副センター長鈴木健一郎教授、教授・助教授・講師計 19 名で運営されている。

\*11 (独)産業技術総合研究所

○当研究所はナノテクノロジー・材料・製造分野の研究において、ナノテクノロジー研究部門、先進製造プロセス研究部門等を持ちマイクロマシン関係の研究も強力に進めている。また、計測標準研究部門ではマイクロマシン製品の評価方法についての研究を担当している。

先進製造プロセス研究部門の、マイクロ実装研究グループグループ長に前田龍太郎氏、ファインファクトリ研究グループ長に岡崎祐一氏、集積加工研究グループグループ長に明渡 純氏がおられる。

○産官学の連携強化と専門人材の育成を目的に、「MEMS ビジネス棟」（プレハブ 2 階建て、延床面積 987 m<sup>2</sup>）が 2004 年 4 月にオープンし、最新のマイクロマシン製造関連装置が外部の民間・大学等も活用できる体勢にある。

## 2. 3 代表的教授へのヒアリング

前項のような大学の状況を参考に、一部の当分野の代表的大学教授に、大学ないしわが国のマイクロマシン関係の教育と研究の在り方等についてヒアリングを行った。質問の内容は下表を予め提示の上で見解を伺った。

表3 大学教授へのヒアリング項目

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. わが国の大学におけるマイクロマシン関係(MEMS)の教育と研究態勢について<ol style="list-style-type: none"><li>1-1. 教育に関して(MM講座、学生定員など)</li><li>1-2. 組織・施設に関して(併設研究所、大学院、学部、規模など)</li><li>1-2. 貴大学の具体的な現状(研究費、設備、卒業生の状況も含め)</li></ol></li><li>2. 産学提携の現状と今後のあり方について<ol style="list-style-type: none"><li>2-1. 大学側から見たわが国のマイクロマシン関連産業の現状とその評価</li><li>2-2. わが国の大学におけるマイクロマシン関連の産学連携の現状とその評価</li><li>2-3. 産学連携の今後の方向</li><li>2-4. 貴大学の現状と今後の計画</li></ol></li><li>3. マイクロマシン産業における地域産業支援について<ol style="list-style-type: none"><li>3-1. 地域産業支援の現状</li><li>3-1. 共同開発を含めた、今後の地域支援の方向</li></ol></li><li>4. ファンドリーサービスについて<ol style="list-style-type: none"><li>4-1. ファンドリーサービスについての現状の評価</li><li>4-2. 今後の在り方</li></ol></li><li>5. 国家研究開発プロジェクトの運営と成果の活用について<ol style="list-style-type: none"><li>5-1. 国家プロジェクトの運営について</li><li>5-2. 開発成果の普及・蓄積(学会、産総研、MMセンター)</li></ol></li><li>6. 諸外国との交流と国際競争力強化等について<ol style="list-style-type: none"><li>6-1. 我が国と諸外国の技術力の比較</li><li>6-2. 学会、国際標準化、規格化</li><li>6-3. 国際競争力強化</li></ol></li></ol> |
|--|

以下に、特定大学に関する内容は省略し、共通的な設問に関する主要見解をまとめたかたちで簡単に紹介する。

### (1) マイクロマシン関係の教育と研究体勢について

学部でマイクロマシン関係の学科を持つ大学はまだ少ないが、卒業生の就職状況は非常に良く、企業からの要請も強い。受験生がこの学科を十分理解して志望しているとも思えないが、志望者は多い。一般に、現在は電気系より機械系に人気があるようだ。ただし、学部卒業生の半数近くは大学院へ進学する傾向にある。

大学院は多くの大学に関係講座があるが、修士・博士両過程一貫して5年制でマイクロマシン・MEMS関係を専攻するコースもある。

最近は外国人学生、特にアジア諸国（中国、台湾、ベトナム、タイ、インド、韓国など）からの学生も多い(数%)。彼らはよく勉強し、将来有力な競合相手になる可能性がある。

### (2) 産学連携について

わが国では、バブル経済が崩壊した後、研究の中核が企業から大学に移ったと考えられる。大学はその付託に応えねばならないし、企業は“大学を活用する時代”に入っている。

多くの大学、特に併設研究所関係では、産学連携の研究が進んでいる。それぞれの地域で、企業が参加したコンソーシアムが組まれており、また全国的なネットワークの構築も試みられていて、いい方向に進んでいると評価される。

特定分野に固有の専門技術を持つ中小企業が極めて元気であり、これらと大学が共同して世界に先駆けた製品を作り出している。また、マイクロマシン技術プロジェクトに係わった中堅企業が意欲的に新規分野に挑戦しているので、期待できる。

問題点を言えば、大企業がマイクロマシン・MEMS分野に参入の意向を持たないことである。MEMSやナノ技術は先端技術であるが、それは旧来の基礎技術の土台の上に成り立っている。したがって、基礎技術がしっかりしていないと、先端技術が実ることはできない。わが国が、「技術立国」、「ものづくり立国」を掲げるならば、大企業の参入が望まれる。

### (3) ファンドリーサービスについて

マイクロマシンプロジェクトに係わった中堅 10 社などが集まってファンドリーサービスシステムを立上げているのは評価できる。ファンドリーサービス業務自体は儲からないが、ファンドリーサービスにはマーケットと技術のアンテナとしての機能があり、必要部門である。ひいてはわが国の技術開発を先導する役割を果たすことになる。

しかし、ベンチャー企業から見ると、このファンドリーサービスを活用しても、新製品開発のリスクは大きい。1 製品を試作しても 1,000~2,000 万円がかかる。それで失敗ということもある。ベンチャー企業にファンドリーを活用して貰うには何らかの工夫が要る。コンソーシアムを組んで、“業務シェアリング” するようなことが考えられないか。打開の道はあるだろう。

外国のファンドリーサービスの活用については、大切なのは製品を作り出す IP (知財) であって、「ものづくり」の知財を確保しておけば、製造そのものはグローバル化して、東南アジアなどの安いファンドリーに委託するのはかまわない。わが国のメーカーが部品工場まで持つ必要はない。

### (3) 国家研究プロジェクトについて

マイクロマシン・MEMS 事業は半導体に準じた産業に発展する可能性がある。関連企業体は通信、自動車からバイオや医療分野まで含み非常に広い。それだけに、国際競争力を維持する努力が要る。もし競争に負けたら打撃は大きい。技術立国、貿易立国を掲げるわが国は、新技術の創生と基盤作りは宿命的な課題であり、この課題に有効な施策を即急に考える必要がある。

国プロジェクトの研究期間は 5 年位がよい。3 年では実質期間が短過ぎるが、長過ぎる

と途中の環境変化が大きかったりして中だるみが出る。予算面では助成と委託があるが、テーマの内容によるだろう。リスクの少ないテーマは企業がやるから、リスクの高いテーマこそ国家プロジェクトでやるべきである。

#### (4) 外国との競争力について

以前、日本の基礎研究ただ乗り論があって、日本も基礎研究に力をいれてきたわけだが、マイクロマシン技術プロジェクトが日本発の数少ない技術サミットとして、“マイクロマシンサミット”を生み、毎年、世界の100人位のリーダーが集まるのは非常に評価できる。

現在、MEMS関連の日本の技術はアメリカに追いついており、希望を持っていい。ヨーロッパよりは上だろう。微細加工技術では日本は負けないものを持っている。ただし、アメリカでは研究費が桁違いに大きい。問題は中国、台湾、韓国などアジアの研究者がアメリカに渡って、アメリカの設備と金を使って、研究開発しており、それらと日本が競合することになりつつあることである。このMEMS分野におけるアジア人の台頭は、ヨーロッパも恐れているようであるが、日本はこれらを見越した対策が必要であろう。

別添資料 (財)マイクロマシンセンターの助成研究一覧

第1回 助成研究成果報告会(研究テーマ、研究者)

研究期間：平成5年4月～平成6年3月(テーマA)

「マイクロ部品の寸法・形状精度評価法に関する基礎研究」		
慶応義塾大学理工学部機械工学科	教 授	三井 公之
「機能性流体を用いたマイクロ制御弁の開発」		
東京工業大学 精密工学研究所	教 授	横田 真一
【共同研究者】 同上	助 授	吉田 和弘
「レーザーマニュピュレーション法による超精密ハンドリング技術の開発」		
徳島大学工学部機械工学科	教 授	三澤 弘明
「血液適合性と体内分解性を兼備した医療用マイクロマシン素材に関する基礎的研究」		
北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科	教 授	由井 伸彦
「PVDフィルムを利用した3軸力/滑り覚センサの開発」		
豊田工業大学制御情報工学科	助 授	山田 陽滋

第2回 助成研究成果報告会(研究テーマ、研究者)

研究期間：平成6年4月～平成7年3月(テーマA)

「優れた生命適合性表面の設計技術の開発」		
東京理科大学基礎工学部	教 授	片岡 一則
「アモルファス合金を用いたマイクロマシンの創製に関する研究」		
群馬大学工学部	助 授	早乙女 康典
【共同研究者】 東北大学 金属材料研究所	教 授	井上 明久
「マイクロマシン表面への血液適合性材料の安定固定化」		
東京女子医科大学応用工学研究室	助 手	鈴木 憲

研究期間：平成6年4月～平成7年3月(テーマB)

「マイクロアクチュエーター用形状記憶合金薄膜の開発に関する基礎的研究」		
筑波大学物質工学系	助 授	宮崎 修一
「表面張力利用マイクロモールディング及びマイクロアクチュエーションの研究」		
ロンドン大学インペリアルカレッジ	講 師	E. Yeatman
【共同研究者】 同上	教 授	R. Syms
「遠隔微細手術システム開発におけるマイクロマシン技術の応用に関する基礎的研究」		
東京大学先端科学技術センター	助 授	満淵 邦彦
【共同研究者】 同上	教 授	藤正 巖

第3回 助成研究成果報告会(研究テーマ、研究者)

研究期間：平成7年4月～平成8年3月(テーマA)

「薬物送達用マイクロマシンの標的指向性制御に関する基礎研究」		
東京女子医科大学応用工学研究施設	講 師	青柳 隆夫

研究期間：平成6年4月～平成8年3月(テーマB)

「外部刺激に応答する分子駆動システムの創製」		
東京工業大学 資源科学研究所	教 授	市村国宏
「昆虫の反射を利用したマイクロロボットの制御」		
東京大学工学系研究科機械情報工学専攻	助 手	安田 隆
「振動型人工筋肉素子の生体内運動時の工学的特性に関する研究」		
東京大学先端科学技術センター	助 手	松浦 弘幸
【共同研究者】 埼玉大学大学院	教 授	藤正 巖
「イオンドラッグ力による液体流動を応用したマイクロポンプの研究」		
豊田工業大学制御情報工学科	教 授	土田 縫夫

【共同研究者】 同上	助 教 授 大澤 潤
「マイクロマシン用新材料としての単結晶絶縁膜と Si 膜による多層 SOI 構造の研究」	
豊橋技術科学大学電気・電子工学系	助 教 授 石田 誠

**第 4 回 助成研究成果報告会（研究テーマ、研究者）**

**研究期間：平成 8 年 4 月～平成 9 年 3 月（テーマ A）**

「センチサイズロボット群によるマイクロデバイス生成法の開発と応用」	
電気通信大学機械制御工学科	助 教 授 青山 尚之
「レーザ加工を用いたフレキシブルチューブアクチュエータの製作」	
東北大学大学院工学研究科	講 師 南 和幸
「誘導電荷による圧電アクチュエータの状態認識」	
豊田工業大学大学院工学研究科	助 教 授 古谷 克司

**研究期間：平成 7 年 4 月～平成 9 年 3 月（テーマ B）**

「ON-OFF 特性を持つ高分子ミクロスフェアの機能開発」	
慶応義塾大学理工学部	教 授 川口 春馬
「マイクロ光造形法を用いたマイクロ集積流体システムの研究」	
名古屋大学工学研究科	教 授 生田 幸士
「可逆的マイクロボンディング」	
東京大学先端科学技術研究センター	助 手 細田 直江
「高アスペクト比 X 線リングラフィによる分布型マイクロアクチュエータの研究」	
立命館大学理工学部	教 授 杉山 進
「マイクロ流れの 3 次元計測技術の開発」	
横浜国立大学工学部	教 授 鳥居 簾
「ER 流体を用いた光マイクロアクチュエータの研究」	
東京電機大学工学部	教 授 中田 毅

**第 5 回助成研究成果報告会（研究テーマ、研究依頼者）**

**研究期間：平成 9 年 4 月～平成 10 年 3 月（テーマ A）**

「マイクロマシンにおける付着・摩擦低減用テフロン系膜の研究」	
慶応大学理工学部機械情報工学科	講 師 松本 佳宣
「光応答高分子ゲルを用いたメゾスコピックメモリの開発」	
横浜国立大学大学院工学研究科人工環境システム学専攻	助 教 授 鈴木 淳史
「機械的ナノマシニングによる長さの基準スケールの作成	
日本工業大学システム工学科	教 授 三宅 正二郎

**研究期間：平成 8 年 4 月～平成 10 年 3 月（テーマ A）**

「レーザー光放射制御ダイヤモンド微粒子を利用したマイクロ加工に関する基礎的研究」	
大阪大学大学院工学研究科機械システム工学専攻	教 授 三好 隆志
【共同研究者】 同上	講 師 高谷 裕浩
「音響キャビテーションを利用したマイクロジェットポンプの開発」	
東京農工大学工学部	助 教 授 亀田 正治
「磁気研磨法によるマイクロマシン用精密部品の高精度鏡面加工」	
宇都宮大学大学院工学研究科エネルギー環境科学専攻	教 授 進村 武男
「マイクロ三軸触覚センサの開発に関する研究」	
静岡理工科大学理工学部	助 教 授 大岡 昌博
【共同研究者】 名古屋大学工学部	教 授 三矢 保永

**第 6 回助成研究成果報告会（研究テーマ、研究依頼者）**

**研究期間：平成 10 年 4 月～平成 11 年 3 月（テーマ A）**

「気泡振動を利用したダイナミックバルブ型マイクロポンプに関する研究」

東京工業大学 工学部	助 手	中別府 修
<b>研究期間：平成9年4月～平成11年3月（テーマB）</b>		
「走行型プローブ顕微鏡によるプラズマエッチング」		
東京大学 先端科学技術研究センター	助 教授	川口 春馬
「DNA分析用バイオチップに関する基礎的研究」		
早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科	教 授	庄子 習一
【共同研究者】立命館大学 理工学部	助 教授	田畑 修
「Siウエハ上の形状記憶合金アクチュエータの予歪設定法の研究」		
山口大学 工学部 機械工学科	教 授	栗林 勝利
【共同研究者】山口大学 工学部 機械工学科	助 手	清水 聖治
「細胞表面タンパク質検出のための生体分子認識ナノプローブの開発」		
東京農工大学 工学部	教 授	松永 是
「マイクロマシンの摩擦の計測と制御に関する研究」		
東京大学大学院 工学系研究科 産業機械工学専攻	教 授	鈴木 健司

### 第7回助成研究成果報告会（研究テーマ、研究依頼者）

**研究期間：平成11年4月～平成12年3月（テーマA）**

「マイクロマシンパーツのためのパラレルメカニズム型三次元座標測定機」  
静岡大学工学部機械工学科 助 教授 大岩 孝彰

**研究期間：平成10年4月～平成12年3月（テーマB）**

「マイクロシステムによるDNAのモレキュラーサージェリーの研究」		
京都大学大学院工学研究科機械工学専攻	教 授	鷺津 正夫
「高分子の自己組織化を利用したケミカル・ナノマシンの創成とその標的治療への展開」		
東京大学大学院工学系研究科材料学専攻	教 授	片岡 一則
【共同研究者】 同上	助 手	原田 敦史
「生分解性超分子を用いた医療用マイクロマシンに関する研究」		
北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科	助 手	大谷 亨
「マイクロマシンシステムの微小光学スマートピクセルへの応用」		
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	講 師	年吉 洋
【共同研究者】 同上	教 授	藤田 博之
「マイクロマシンング技術を援用したマイクロチャンネル内の流体の流動及び熱伝達に関する実験的研究」		
東京大学生産技術研究所第2部	教 授	西尾 茂文
【共同研究者】 同上	助 手	高野 清
「Low-noise Feedback interferometry for micromachine servo actuators」		
University of Auckland, Physics Department	Prof. T.H.Barnes	

### 第8回助成研究成果報告会（研究テーマ、研究依頼者）

**研究期間：平成11年4月～平成13年3月（テーマB）**

「温度応答性高分子を利用した非侵襲的一細胞マニピュレータの開発」		
東京女子医科大学 先端生命医科学研究所	講 師	大和 雅之
「刺激応答性ゲルの微細加工による微小レンズアレイ構築の基礎技術の確立」		
財団法人神奈川科学技術アカデミー	研究室長	伊藤 嘉浩
「生体分子反応をエネルギー源とするマイクロポリマーアクチュエータの研究」		
東京大学大学院 工学系研究科 マテリアル工学専攻	教 授	石原 一彦
「MIセンサを用いたカテーテル先端位置検出システム」		
東北大学大学院 工学研究科 機械電子工学専攻	講 師	芳賀 洋一
「ナノ構造の電気・熱・機械特性の測定と評価に関する研究」		
香川大学 工学部 知能機械システム工学	助 教授	橋口 原

【共同研究者】 東京大学 生産技術研究所 教授 藤田 博之  
 【共同研究者】 東京大学 生産技術研究所 助手 安宅 学  
 「人工臓器を目標とした化学システムの集積化」  
 東京大学大学院 工学系研究科 応用化学専攻 教授 北森 武彦  
 【共同研究者】 東京大学大学院 工学系研究科 講師 久本 秀明

**第9回助成研究成果報告会（研究テーマ、研究依頼者）**

**研究期間：平成13年4月～平成14年3月（テーマA）**

「濡れ性の制御および液液気界面張力差対流によるマイクロアクチュエータの基礎研究  
 早稲田大学 理工学部 応用化学科 教授 平沢 泉

【共同研究者】 航空宇宙技術研究所 宇宙システム研究センター 主任研究員 桜井 誠人  
 「マイクロマシン技術によるカフ型微小電極の研究」

東京大学 生産技術研究所 助教授 竹内 昌治  
 「自励振動ゲルを用いた心筋模倣型マイクロアクチュエータに関する研究」

東京大学大学院 工学系研究科 助教授 吉田 亮

【共同研究者】 東京大学 生産技術研究所 助手 安宅 学

**研究期間：平成12年4月～平成14年3月（テーマB）**

「光照射によるマイクロレリーフ形成の超高感度化とその応用」

名古屋大学大学院 工学研究科 物質化学専攻 教授 関 隆広

「 $\mu$ TASへの酵素高度集積化を目的とした固相上微小部位への酵素分子の電気化学的  
 固定法に関する研究」

九州工業大学大学院 生命体工学研究科 教授 春山 哲也

「ナノCMMにおけるナノプローブシステムの開発」

東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授 高増 潔

【共同研究者】 東京電機大学 工学部 教授 古谷 涼秋

「微細作業環境内で3次元トラッキング可能なマイクロハンドシステム」

大阪大学大学院 基礎工学研究科 システム創成専 教授 新井 健生

【共同研究者】 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 主任研究員 谷川 民生

「金ナノ粒子の創成と新しい治療・診断システムの開発」

東京理科大学 基礎工学部 材料工学科 教授 長崎 幸夫

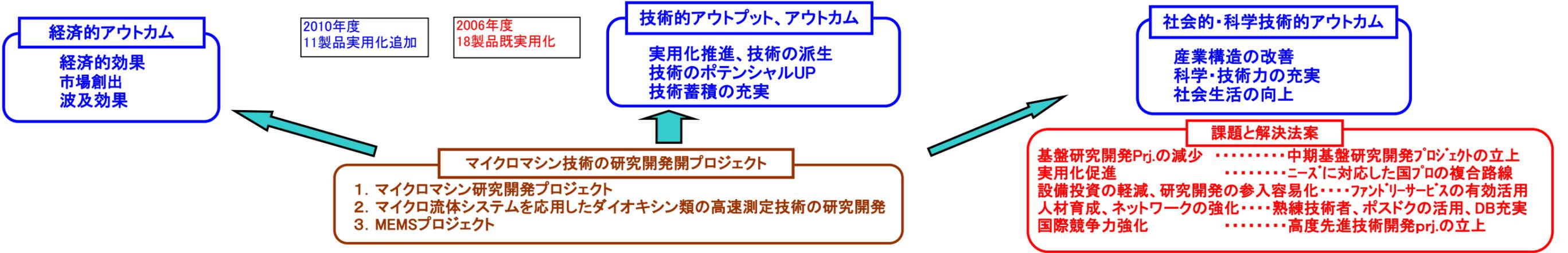
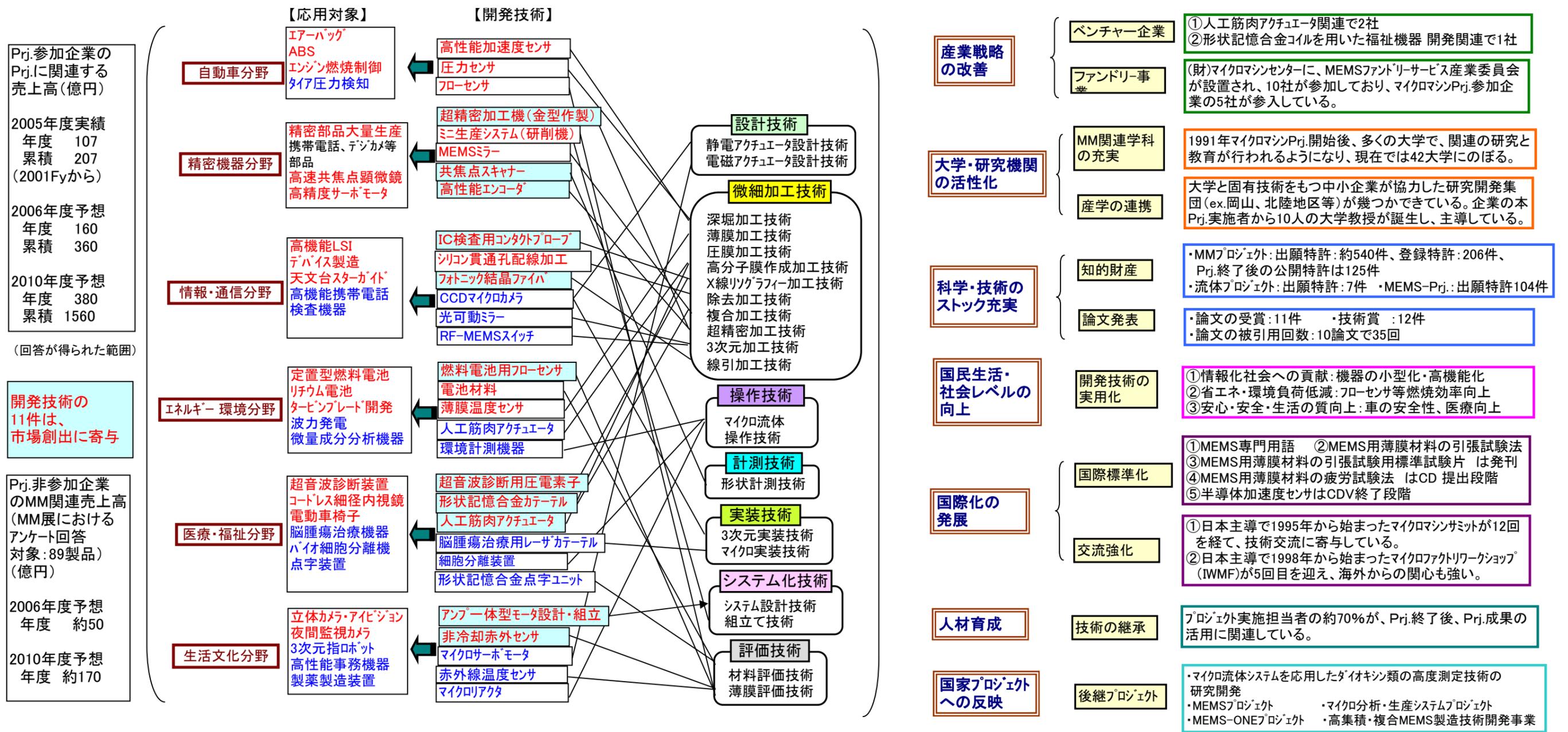
「バルクSi三次元構造上のサーフェスマイクロマシニング」

東北大学大学院 工学研究科 助教授 佐々木 実

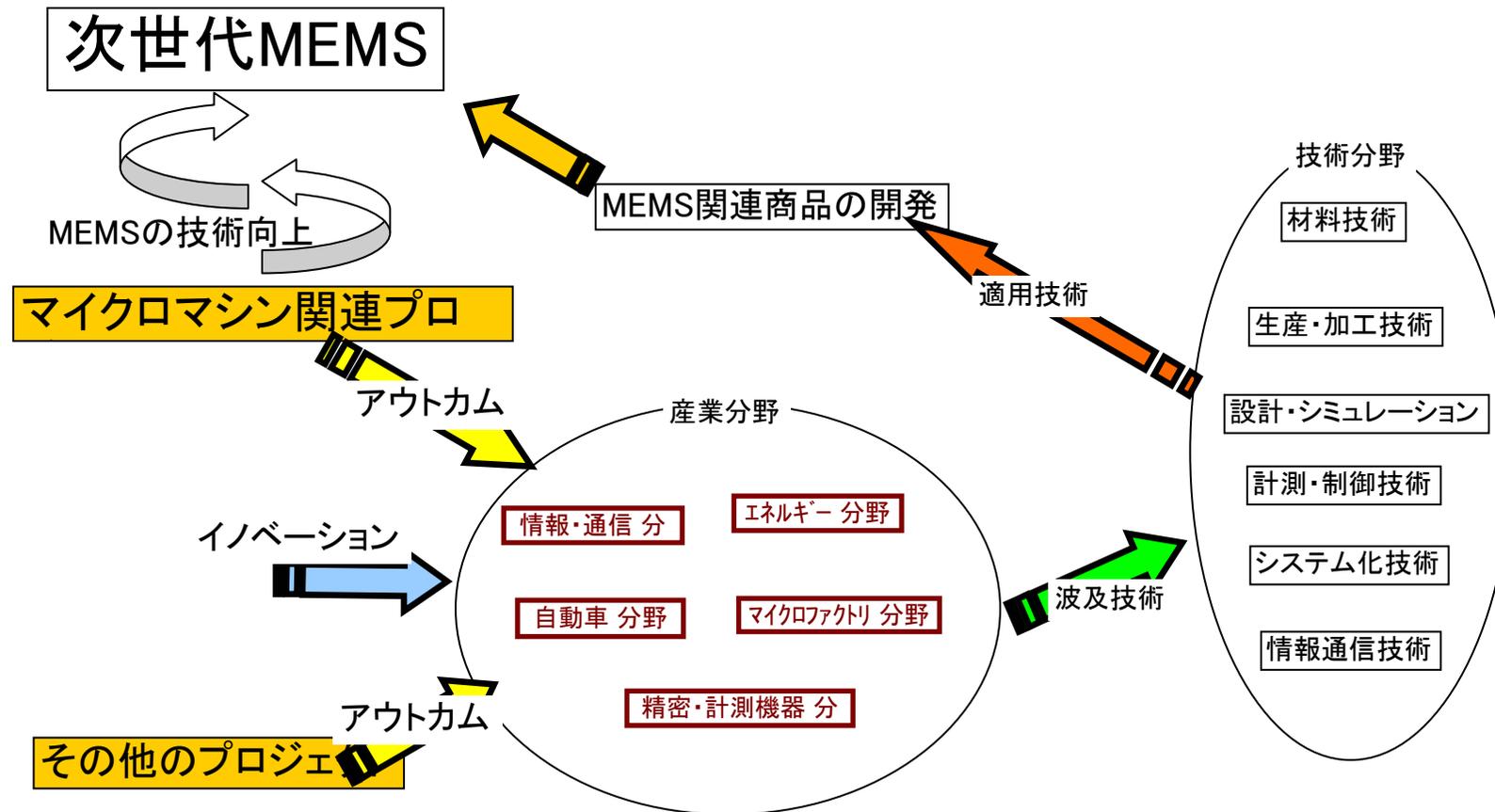
以上

# 総括図表

# A アウトカムマップ総括図



## B アウトカムブーメラン効果図



### 技術ブーメランのシナリオ

**アウトカム** : MEMSに係わる産業分野はマイクロマシン技術プロジェクトやその他のプロジェクトノアウトカムとしての成果を取り入れる。それ以外の研究活動のイノベーションの成果も受け入れている。

**波及技術** : 産業分野で熟成された技術は波及技術として技術分野の中に固有の技術体系の中にそれらの存在位置を確立する。

**適用技術** : 技術分野の中にある様々な技術を使うことによってMEMS関連商品の開発が行われ、より高度なMEMS商品の開発が行われる。

**技術向上** : MEMS関連商品の高度化は更に新しい次世代MEMSを要求する。それはマイクロマシン関連プロジェクトの段階からみればブーメランのように新しいステージへの技術向上の段階に進んだもののように見える。

## C 3プロジェクトによる実用化技術一覧表

No	製品名	寄与技術
1	高性能加速度センサ、圧力センサ	深堀加工技術
2	非冷却赤外センサ	薄膜評価技術
3	フローセンサ、加速度センサ	薄膜評価技術
4	超音波診断用圧電素子	X線リソグラフィ加工技術
5	IC検査用コンタクトプローブ	X線リソグラフィ加工技術
6	共焦点顕微鏡	MEMSミラー技術
7	燃料電池用フローセンサ	薄膜評価技術
8	ミニ生産システム	システム設計組立技術
9	超精密加工機	超精密加工技術
10	高性能エンコーダ	超精密加工技術
11	形状記憶合金カテーテル	複合加工技術
12	フォトニック結晶ファイバ	線引加工技術
13	人工筋肉アクチュエータ	高分子膜作成技術
14	電池材料	材料評価技術
15	薄膜温度センサ	薄膜製造技術
16	アンプ一体化型モータ、アイビジョン	システム設計組立技術
17	高速共焦点顕微鏡	形状計測技術
18	規格、標準試験片等	
①	MEMS用薄膜材料の引張試験法	評価技術
②	MEMS用薄膜材料の引張試験用標準試験片	評価技術
③	半導体加速度センサ規格	評価技術

### 3プロジェクトによる近未来実用化製品一覧表

No	製品名	寄与技術
1	CCDマイクロカメラ	3次元実装技術
2	RFスイッチ	複合加工・実装技術
3	赤外線温度センサ	薄膜評価技術
4	細胞分離装置、環境計測機器	マイクロ流体操作技術
5	マイクロサーボモータ	電磁式アクチュエータ技術
6	形状記憶合金点字ユニット	材料評価技術
7	シリコン貫通孔配線加工技術	除去加工技術
8	脳腫瘍治療用レーザカテーテル	マイクロ実装技術
9	マイクロアクタ	マイクロ流体操作技術
10	RF-MEMSスイッチ	3次元加工技術
11	光可動ミラー	3次元加工技術



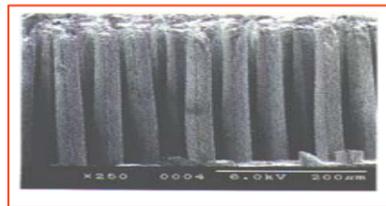
# E 製品の適用事例

## 高速共焦点顕微鏡

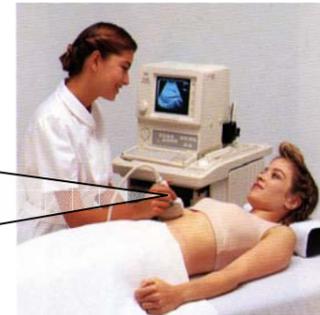
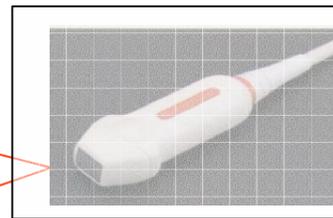


## 超音波診断用圧電素子

複合圧電振動子用  
微細セラミックスアレイ  
(25 μm角、高さ250 μm)

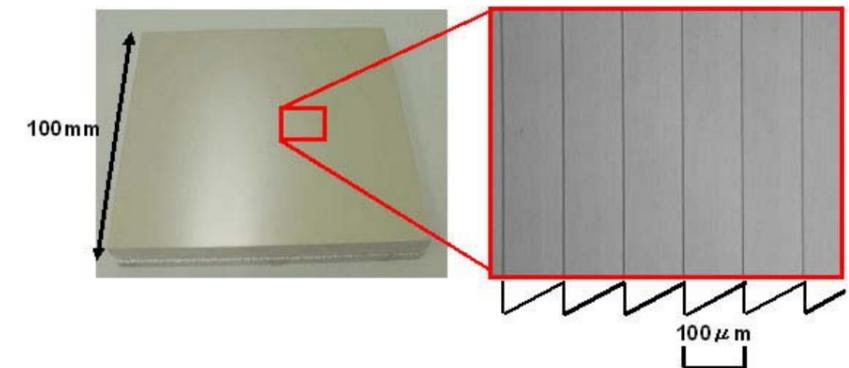


複合圧電振動子を用いた超音波プローブ



超音波検査の様子

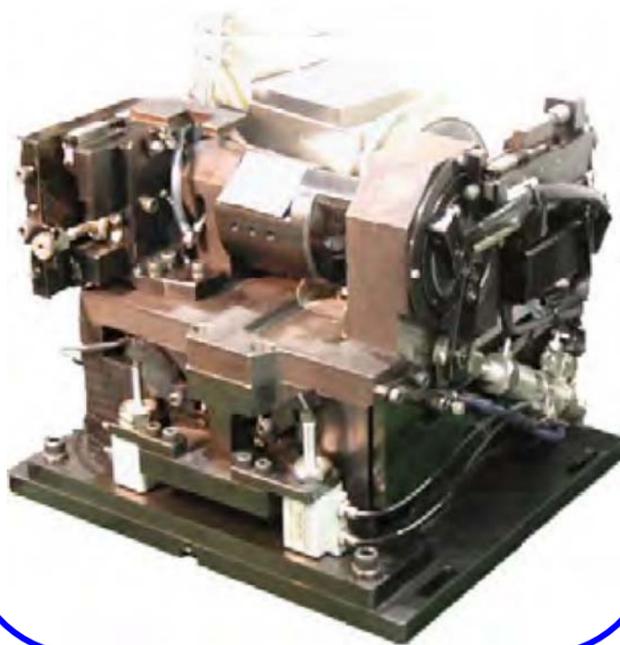
## 超精密加工機



材料: Ni-Pメッキ  
加工方法: ミリング加工  
大きさ: 100 × 100mm  
V開き角: 135°  
ピッチ: 100 μm  
面粗さ: Ra 0.5nm

**機械加工でこの精度の物を作ることは大変難しい**

## ミニ円筒研削セル



機械本体: A4サイズ(297mm × 210mm)  
従来品に対して  
消費電力: 1/5、床面積: 1/30

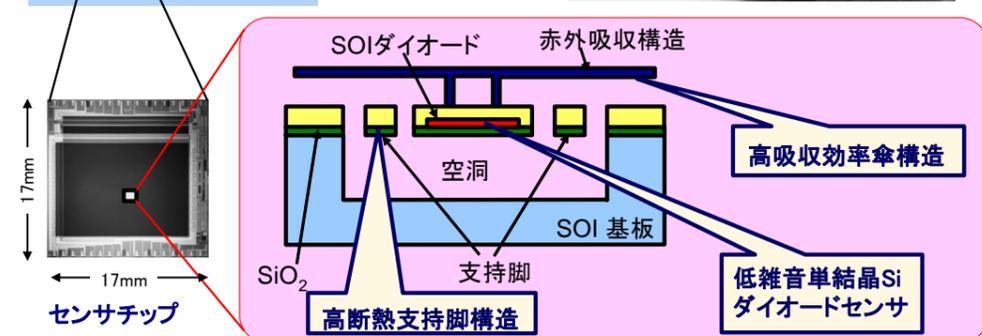
## 非冷却赤外センサ

赤外カメラ



カメラ  
画素サイズ: 40x40 μm<sup>2</sup>  
画素数: 320x240  
NETD: 0.2K @f/1

赤外画像



NETD: Noise Equivalent Temperature Difference, SOI: Silicon On Insulator

## F 3プロジェクトの経済的アウトカム

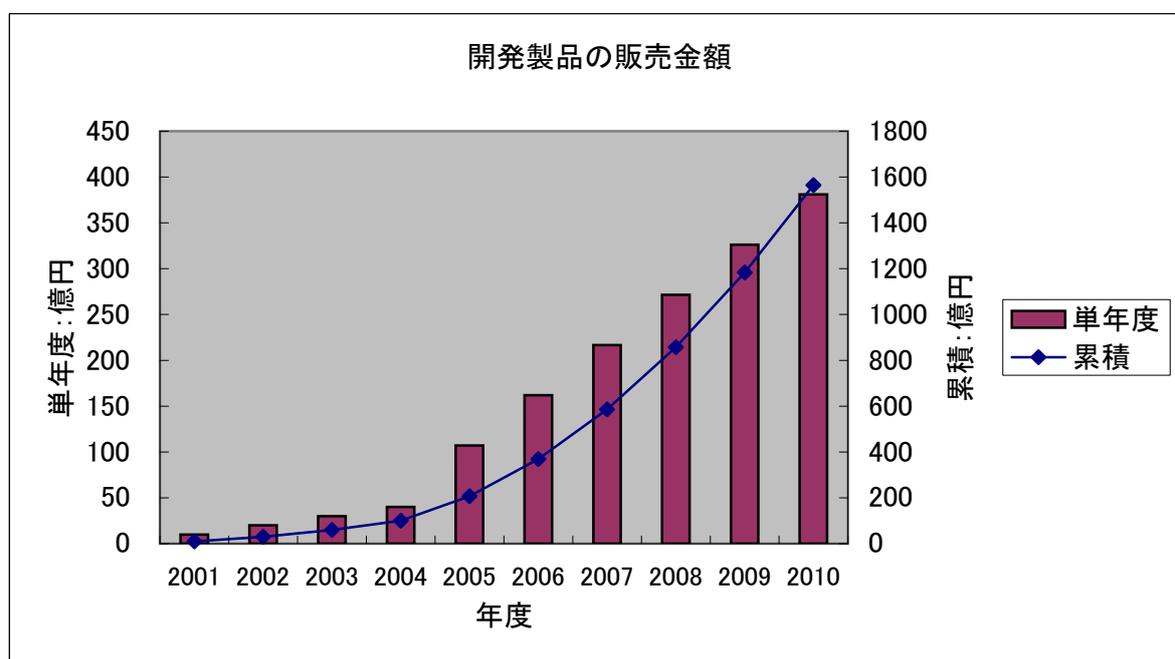
実用化製品の販売金額(単位:億円) 注1)

年度	H.13	H.14	H.15	H.16	H.17	H.18	H.19	H.20	H.21	H.22
西暦	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
単年度	10	20	30	40	107	162	217	271	326	381
累積	10	30	60	100	207	369	586	857	1183	1564

注1) 2005年度、2010年度金額はアンケートおよびヒアリングで入手した金額のみ

注2) 2002年度～2004年度値は2005年調査の実績値

2006年度～2009年度値は2005年度～2010年度間が直線的に伸びるとした。



実用化製品の分野別販売金額(単位:億円)

分野	年度	2001	2005	2010	伸率 "10/'05比
情報通信		0.2	16.4	126.0	7.7
自動車		-	61.2	92.0	1.5
計測機器		5.9	22.0	54.0	2.5
医療生活		0.4	4.1	48.0	11.8
その他		3.5	3.5	61.0	17.5
計		10.0	107.2	381.0	3.6