

マイクロマシン研究開発プロジェクト
追跡評価報告書
(案)

平成18年7月

産業構造審議会産業技術分科会
評 価 小 委 員 会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成17年3月29日、内閣総理大臣決定)等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」(平成17年4月1日改定)を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

「マイクロマシン技術研究開発プロジェクト」は、発電プラント等の複雑な機器及び生体内の狭小部における移動・自律的な作業や、小型工業製品等の部品の生産作業を行う微小機能要素から構成される機械システム(マイクロマシンシステム)を実現するための技術を確立することを目指し、産業科学技術研究開発制度の下で平成3年度から平成12年度までの10ヶ年計画で実施された。

今回の評価は、「マイクロマシン技術研究開発プロジェクト」の追跡評価として、当該研究開発プロジェクトが産業や社会に与えたインパクトについて明らかにするとともに、今後実施される研究開発プロジェクトの戦略性を持った企画、運営方法、フォローアップ体制等の改善に資することを目的として行った。

評価は、評価小委員会の下に当該分野の専門家や有識者から成る「マイクロマシン研究開発プロジェクト追跡評価WG」(座長：菊池 純一 青山学院大学教授。以下、追跡評価WGという。)を設置し、追跡評価WGで取りまとめた評価報告書案を評価小委員会(小委員長：平澤 冷 東京大学名誉教授)で審議する体制で行った。

追跡評価WGでは、マイクロマシン技術研究開発プロジェクトの参加者や当該技術分野の動向に詳しい専門家へのインタビュー調査、更に文献調査等で得られた最新の情報も参考に審議を行い評価報告書案を作成した。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成18年7月

産業構造審議会 産業技術分科会 評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会委員名簿

| | | |
|------|---------|--|
| 小委員長 | 平澤 冷 | 東京大学名誉教授 |
| | 池村 淑道 | 長浜バイオ大学バイオサイエンス学部教授 |
| | 伊澤 達夫 | N T Tエレクトロニクス株式会社取締役相談役 |
| | 菊池 純一 | 青山学院大学法学部・大学院法学研究科ビジネス法務専攻教授 |
| | 鈴木 潤 | 芝浦工業大学大学院工学マネジメント研究科教授 |
| | 富田 房男 | 放送大学北海道学習センター所長 |
| | 永田 潤子 | 大阪市立大学大学院創造都市研究科助教授 |
| | 畑村 洋太郎 | 工学院大学国際基礎工学科教授 |
| | 山地 憲治 | 東京大学大学院工学系研究科教授 |
| | 吉本 陽子 | 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社経済・社会政策部経済・産業調査グループ主任研究員 |

(敬称略:五十音順)

事務局：経済産業省 産業技術環境局 技術評価調査課

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
マイクロマシン研究開発プロジェクト追跡評価 WG
委員名簿

- 座長 菊池 純一 青山学院大学法学部・大学院法学研究科
ビジネス法務専攻 教授
- 阿出川 俊一 三菱電機株式会社開発本部開発業務部
担当部長（技術政策統括）
- 永壽 伴章 独立行政法人産業技術総合研究所
ベンチャー開発戦略研究センター次長
（兼）先進プロセス研究部門副部門長
- 新野 秀憲 東京工業大学精密工学研究所
精機デバイス部門超微細加工研究分野 教授
- 須藤 雅子 ファナック株式会社 R&D FA 部門技師長
- 羽根 一博 東北大学大学院
工学研究科ナノメカニクス専攻 教授
- 藤田 博之 東京大学 生産技術研究所
附属マイクロメカトロニクス国際研究センター長
教授

（敬称略：五十音順）

事務局：経済産業省 産業技術環境局 技術評価調査課

マイクロマシン研究開発プロジェクト追跡評価 審 議 経 過

マイクロマシン研究開発プロジェクト追跡評価WG

第1回マイクロマシン研究開発プロジェクト追跡評価WG

(平成17年12月22日)

- ・ 追跡評価WGの公開について
- ・ 追跡評価の実施について
- ・ 評価報告書の構成について
- ・ 評価対象研究開発プロジェクトについて
- ・ 追跡調査結果の報告について
- ・ 追跡評価の検討について
- ・ 今後の予定について
- ・ 質疑応答

第2回マイクロマシン研究開発プロジェクト追跡評価WG(平成18年3月9日)

- ・ 追跡評価報告書(案)について
- ・ 質疑応答

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会(平成18年7月11日)

- ・ 追跡評価報告書(案)について
- ・ 質疑応答

目 次

| | |
|-------------------------------|----|
| はじめに | |
| 評価小委員会委員名簿、追跡評価WG委員名簿、審議経過 | |
| 評価結果の概要 | i |
| 第1章 評価の実施方法 | 1 |
| 1. 追跡評価の目的 | 1 |
| 2. 評価者 | 1 |
| 3. 評価対象 | 2 |
| 4. 評価方法 | 2 |
| 5. 評価項目・評価基準 | 2 |
| 第2章 評価対象研究開発プロジェクト | 7 |
| 1. 研究開発期間 | 7 |
| 2. 研究開発費総額 | 7 |
| 3. 背景と概要 | 7 |
| 4. 研究開発体制 | 7 |
| 5. スケジュール | 9 |
| 6. 研究開発の目標と主な成果 | 10 |
| 第3章 評価 | 12 |
| . 波及効果に関する評価 | 12 |
| -1. 技術波及効果 | 12 |
| -2. 研究開発力向上効果 | 20 |
| -3. 経済効果 | 26 |
| -4. 国民生活・社会レベルの向上効果 | 32 |
| -5. 政策へのフィードバック効果 | 38 |
| . 現在の視点からのプロジェクトの評価 | 42 |
| -1. 国家プロジェクトとしての妥当性 | 42 |
| -2. プロジェクト設定等の妥当性 | 44 |
| -3. 事後評価の妥当性 | 46 |
| -4. プロジェクト終了後のフォローアップ方法 | 48 |
| . 経済産業省が今後実施する研究開発プロジェクトへの提言等 | 51 |
| 参考資料 | |
| 追跡調査結果 | 55 |

評価結果の概要

波及効果に関する評価

- 1 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

プロジェクト終了後、プロジェクト参加23企業中で、12企業、15製品が既に実用化し、5年以内の実用化は9企業の9製品について具体的に開発が進んでおり、実用化の進展度合いは大きいものと評価できる。

まず実用化された成果の例として、形状計測技術を活用してスキャナ速度を従来の100倍として生きた細胞の動的観察が可能な高速共焦点顕微鏡、線引加工技術を活用して、短波長レーザーの伝送損失を減らし搬送特性に優れたセラミックス材料のシリカを、均一に線状に引き伸ばしたフォトニック結晶ファイバ、X線リソグラフィ加工技術の活用により開発した高周波域の小型超音波発信器を搭載した超音波診断装置、複合加工技術を活かして製造した形状記憶合金コイルを活用し、細くて首振り角度が大きく気管支末梢部の観察精度を向上させた形状記憶合金カテーテル及び変形可能なフレキシブル高分子膜電極を活用した大変形能力や応答性に優れた人工筋肉アクチュエータ等が製品化されている。薄膜評価技術を活用して、高精度家庭用燃料電池フローセンサ、深掘加工技術を活用した自動車エアバッグに使用される高性能加速度センサ、及び高温測定用の薄膜温度センサ等の多様なセンサが製品化されている。超精密加工技術の活用によりナノオーダーで制御できる超精密5軸加工機が開発され、さらに超精密5軸加工機を使用した超精密金型の製造により、デジタルカメラや携帯電話等の精密部品の大量生産を可能としている。

今後5年以内に実用化が予定される成果として、3次元実装技術は、デバイス等のアセンブリに活用され、携帯電話等の一層のコンパクト化をもたらすCCDマイクロカメラの実用化開発に繋がっている。マイクロ流体制御技術は、微量液体の流量制御に活用され、高速・高精度細胞分離装置の実用化開発に寄与している。除去加工技術は、高アスペクト比の細孔製造プロセスに活用され、3次元コンパクト実装を可能とするシリコン貫通孔配線加工の実用化開発に寄与している。マイクロチップレーザー・マイクロ実装技術は、短波長レーザー発生装置の製造等に活用され、脳腫瘍治療用レーザーカテーテルの実用化開発に寄与している。

実用化に際して影響を及ぼす特許では、本プロジェクト中に出願した特許563件のうち、約37%にあたる206件が重要特許として登録され、微細構造体の形成方法、形状記憶性マイクロバネ等の特許が製品に活用されており、また、本プロジェクト終了後の公開特許においても、電気接点用微細部品等の特許が活用されており評価できる。さらに、製品の技術競争力を確保するため加工技術に関する微細セラミック構造体形成、複合体超音波発信器等の基本特許を含む重要特許6件が米国で登録されており評価できる。

しかし、システム化技術の研究開発では、実用化までに必要となる技術項目、技術レベル及びその結果期待される波及効果等の観点から研究開発の目標を柔軟に運用することを検討すべきであった。

(2) プロジェクト成果からの技術的な広がり具合

加工技術の技術的な広がりとして、本プロジェクトの成果である線引加工技術は、本来金属材料を対象として開発されたものであるが、その技術をセラミックスに応用し、空孔付加型ファイバであるフォトニクス結晶ファイバが製品化されたこと、及びX線リソグラフィ加工技術は、セラミックス材料を対象に開発したが、その技術を金属材料の加工技術に発展させ、さらにナノ材料の被覆技術も加え、IC検査用コンタクトプローブが製品化されたことから評価できる。

本プロジェクトの成果である薄膜製造技術は、圧電材料を用い積層型圧電マイクロアクチュエータを対象として開発したが、その技術を熱起電力発生材料に応用し、高効率ガスタービン開発における静翼測温用の薄膜温度センサが実用化されており評価できる。

本プロジェクトの成果であるマイクロ液体操作技術は、粘性の高い接着剤を吐出するマイクロポンプを対象に開発されたものであるが、その技術を細胞識別技術と組み合わせて発展させ、バイオ分野で必須な細胞分離装置の研究開発に活用されたこと、さらに研究主体を企業のみならず大学へも広げており評価できる。

しかし、システム化技術の研究開発では、研究開発の段階に応じて期待される効果の観点から開発する技術目標を見直す等の柔軟な運用ができていれば、波及効果の大きい技術開発を一層加速できたと思われる。

(3) 国際競争力への影響

本プロジェクトの成果を活用して実用化した高速共焦点顕微鏡は、生きた細胞の動きを観察できる高度な機能を有し世界シェアはほぼ100%を占め、国際的にトップレベルにあること、また、フォトニック結晶ファイバは、本プロジェクトに参加し実用化した企業の他には、欧州で2社のみが製造可能であり、ガイドスター用として天文台や国際的に著名な研究機関等に納入実績を有する等、国際的にトップレベルにあると評価できる。

本プロジェクトで開発したマイクロ放電加工技術、マイクロ波電力・情報伝送及びマイクロカメラの3次元実装に関する論文で世界的に権威のある電気電子学会IEEEの論文賞を受賞し、本プロジェクトにより国際的に高度な技術が開発されたものと評価できる。

本プロジェクトの成果を活用して製品化した高速共焦点顕微鏡、IC検査用微細コンタクトプローブが、日本の産業と科学技術の発展に貢献した技術開発に授与される大河内賞を受賞し、人工筋肉アクチュエータが、先端材料・先端応用技術の発展に貢献した技術開発に授与されるオルガノテクノ大賞を受賞しており、国際競争力の強化に寄与したものと評価できる。

国際標準化に関しては、本プロジェクトの成果に基づいて4件の国際提案を行い、1件が

2005年9月に発行され、他の3件も2006年7月までに発行される予定であり、我が国のリーダーシップ強化に寄与しており評価できる。

我が国が提唱したマイクロマシンの概念を国際的に広め、国際競争力の強化に貢献できたものと評価できる。

本プロジェクトで取り組んだマイクロファクトリの成果は、海外におけるマイクロ機械加工に関する国家プロジェクトの立ち上げを加速したこと等、海外の技術政策に影響を与えており評価できる。

- 2 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

本プロジェクトの成果である光スキャナ、ジャイロデバイス等の技術を活用し、後継のMEMSプロジェクトが継続し、新たにRF-MEMS等の製品開発を目指して、さらに進展した研究開発を継続しており評価できる。

本プロジェクトで蓄積されたデバイスの設計・解析技術が活用され、後継のMEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトが継続し、新たに設計・シミュレーションの高機能化、MEMS開発の効率化を目指して研究開発を継続しており評価できる。

本プロジェクトの成果である高分子膜作製技術は、企業で5年以内の実用化を目指して人工筋肉アクチュエータの開発に活用されており、さらに、人工筋肉アクチュエータを応用した医療用マイクロポンプや多足ロボット等の開発に活かされており評価できる。

本プロジェクトの成果である除去加工技術は、企業で5年以内の実用化を目指してシリコン貫通孔配線加工の開発に活用されており評価できる。

本プロジェクトの成果である微細加工技術や実装技術は派生技術として、光MEMSのミラー・スイッチやウエハレベル高密度実装パッケージ等の製品化に向けた研究開発に活用されており評価できる。

プロジェクトに参加した研究者は、プロジェクト終了後も、10～20%がコアメンバーとして研究開発を継続しており、また30～50%が生産現場等において本プロジェクトで培った技術を活用しており評価できる。

しかし、システム化技術の研究開発では、波及効果の観点から柔軟な運用が行われていれば利用価値の高いより普遍的な知的ストックの取得が可能であった。

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

本プロジェクトの参加企業の中で、マイクロマシニングやMEMSに特化した開発本部や事業部を立ち上げ、企業戦略の中で重要な位置付としている企業が複数あり評価できる。

本プロジェクトは国内景気の下降期に重なっており、企業の研究開発投資が減少する中で、本プロジェクトの実行のため、研究者のリソースが維持され、プロジェクト終了後は重要性が

増してマイクロマシン分野の増強が行われる等、研究開発組織体制が強化された企業が複数あり評価できる。

(財)マイクロマシンセンター内に、高価な研究開発設備を要しなくても、マイクロマシンや MEMS 研究開発が可能なサービスを提供するファンドリ事業支援体制が新たに設けられ、これは本プロジェクトの参加企業が中心となって推進しており評価できる。また、本プロジェクト参加企業が中心となってマイクロマシン関連企業が集まり、政策提言事業や産業交流・活性化事業を推進する MEMS 協議会を平成 18 年に結成することが予定されており評価できる。

電気学会の中に MEMS 技術研究開発の促進等を目的にセンサ・マイクロマシン部門を、また精密工学会に、マイクロファクトリの研究推進を目的にマイクロ生産機械システム専門委員会、実用化推進を目的に MEMS 商業化技術専門委員会を創設するにあたり、本プロジェクトに関連する大学及び本プロジェクト参加企業が貢献しており評価できる。

本プロジェクトに参加した企業同士がビジネスパートナーとなり共同で製品化に向けた開発を行ったり、あるいは単独に技術戦略としてベンチャー企業を立ち上げており評価できる。

(3) 人材への影響

本プロジェクト終了後、技術論文は 300 編以上発表され、国際的に著名な論文賞を 11 名が受賞し、国内では著名な論文賞を 29 名が受賞しており、国内外で第一人者と評価される研究者が生まれている。また、研究成果をもとに、本プロジェクトに参加した 12 名の研究者が学位を取得しており評価できる。

さらに、本プロジェクト参加者の中から国際会議の座長を勤める人材が 2 名、企業で幹部クラスや部長以上に昇進した人材が 10 名以上等、本プロジェクト参加メンバーの企業内での評価は高まっており評価できる。本プロジェクト参加者の 10~20%はコア研究者として同分野の研究開発を継承しており、30~50%は生産現場等で関連技術に携わっており評価できる。

本プロジェクト終了後、企業から大学に転出した研究者が、アクチュエータの基盤研究及び地元企業と協力した応用研究等、学術-産業の橋渡しをして中小企業の人材育成、技術力向上に寄与しており評価できる。

- 3 経済効果

(1) 市場創出への寄与

本プロジェクトの成果は、個別技術により市場創出寄与の程度の差はあるものの直接的、間接的に市場創出に寄与しており評価できる。

生きた細胞の観察が可能な世界最高速の高速共焦点顕微鏡は、世界においてほぼ 100%のシェアを占めている。フォトリソグラフィ用結晶ファイバは、これまで欧州の 2 社が世界市場を独占していたが、わが国の企業が新たに参入していること等、国内のみならず海外市場を開拓している。ナノレベルの加工が可能な超精密加工機は、半導体分野、光エレクトロニクス分野で新しい市

場を創出している。高周波域の発信機を搭載した高性能の超音波診断装置は、従来の装置が胃の診断のみに限られていたものを肝臓や脾臓等の周辺臓器の診断も可能とし、新たな市場を創出している。

細胞分離装置は、日本国内では米国 2 社がほぼ独占しているが、近い将来新たに本プロジェクト参加企業の進出が予定されている。また軽量で駆動時のエネルギー転換効率が高い人工筋肉アクチュエータは、介護機器等に活用され、福祉・医療の市場で新たな市場創出が予定されている。

要素技術の活用による製品化は多いが、システム化技術の活用による製品化はわずかであり、成果の活用に関する検討も必要である。

本プロジェクト成果の公開を主目的に始まったマイクロマシン展は、年々出展企業数が増加しており、需要動向の把握等、市場創出の環境作りに寄与している。

(2) 経済的インパクト

開発製品の売上金額^{注)}は、2005 年度では約 50 億円と確実な実用化実績を挙げていること、2010 年度では開発製品の売上の伸びと今後の予定製品を合わせると、2005 年度の 4 倍の約 200 億円と大きな伸び率が予想されること等、売上に繋がることは評価できる。

開発製品の分野別の 2005 年度と 2010 年度の売上をみると、自動車分野では 0.3 億円が 20 億円に、情報・通信分野では 3.6 億円が 66 億円に、精密・計測機器、工作機械・マイクロファクトリ分野では 44 億円が 72 億円に、エネルギー分野では 0.5 億円が 21 億円に、医療・福祉、生活文化分野では 1.7 億円が 21 億円へと広い分野で本プロジェクトの成果を活かして実用化する製品の大幅な販売増加が予測され評価できる。

開発製品のプロジェクト終了後からの累積売上金額は、2006 年度には 230 億円の予測となりプロジェクト費用の約 213 億円を超え、2010 年度には 850 億円に達する予測であり、派生技術を含めた経済性インパクトは高く評価できる。

注)ヒアリング調査から確認することが出来た数字のみを合計した。

(3) 産業構造転換・活性化の促進

本プロジェクトの成果で開発・製品化された超精密加工機は、超精密金型の作製を可能にした。従来は金属部品の研削により製造していた高精度エンコーダを、超精密金型を使用したプラスチック射出成型で製造可能とし、機械部品産業の活性化に寄与しており評価できる。

X 線リソグラフィ加工技術は、微細成形体の先端の表面改質と併せ、短パルス化、高変換率等の高性能な超音波複合圧電素子の開発、RF デバイス用電極の開発等に活用され、電子機器産業の活性化に寄与しており評価できる。

人工筋肉アクチュエータは、軽量車椅子、床ずれ防止機器に活用され、実用化開発のベンチャー企業を立ち上げており、医療・福祉産業への産業活性化を促進すると想定でき評価できる。

システム設計組立技術は、ミニ生産システムの開発に活用され、今後精密機器産業の活性化

や生産プロセスの構造転換等に寄与することが期待できる。

本プロジェクトで蓄積された要素技術を活かしたファンドリ事業は、重装備の研究施設や人材を維持しなくても、マイクロマシン技術分野の研究開発に参入可能になり、アイデアの早期試作化等の研究開発システムや生産システムの構造転換、活性化にインパクト与える可能性は大であり評価できる。

- 4 国民生活・社会レベルの向上効果

(1) 情報化社会の推進

本プロジェクトの成果は情報化社会の推進に必要な視覚認識・表示装置や音声変換装置の小型化、高性能化、多機能化を推進するための高機能デバイスの信頼性向上や小型化に貢献しており評価できる。

超精密加工技術は、マイクロレンズアレイ、フレネルレンズ等の複雑な表面形状金型の加工が可能となり、液晶プロジェクタの高解像度等、情報機器部品の高機能化に寄与しており評価できる。

線引加工技術は、フォトニック結晶ファイバに活用され、波長域の拡大により波長多重配信技術に利用でき情報化社会の高度化に貢献しており評価できる

複合加工・実装技術は、応答速度が速く、小型化、高機能化となる RF スイッチ等に活用され、移動通信機器等の高度情報化社会の推進に寄与することが期待できる。3次元実装技術は、携帯電話等の CCD マイクロカメラの開発に活用されており小型化、高機能化に寄与することが期待できる。

高分子膜作製技術は、大変形能力で高パワー密度の人工筋肉アクチュエータに活用され、携帯電話カメラ用レンズユニットのオートフォーカスとズーム機構等の製品化が予定されている。これらの本プロジェクトの成果を活かして実用化開発が進められている製品が情報化社会の推進に寄与することが期待できる。

(2) 安全、安心、生活の質

本プロジェクトの成果である深堀加工技術は、自己診断機能を有した高性能加速度センサに活用され、自動車のエアバッグやABS制御に適用され、安全面の信頼性を向上させており、また、薄膜技術は、超小型で冷却装置を必要とせずメンテナンスフリーな高性能非冷却赤外センサに活用され、住宅の防犯設備等に利用され生活の安全向上に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果であるX線リソグラフィ加工技術は、高精度化した超音波診断装置に活用され、胃の周辺臓器である肝臓や脾臓の診断が可能となること、複合加工技術は、外径が3~5mmの細い形状記憶合金医療用カテーテルに活用され、観察範囲の拡大により機能向上と患者の負荷低減をもたらす医療技術の向上に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果であるマイクロチップ技術・マイクロ実装技術は、脳腫瘍治療用レー

ザカテテルの実用化開発に活用されており、悪性腫瘍の完全除去を可能とし、5年生存率が大幅に増大することが期待できる。また高分子膜作製技術は、軽量で駆動時のエネルギー転換効率がよい人工筋肉アクチュエータに活用され、老人の直立支援装置や床ずれ防止機器への実用化開発が進められており、近い将来質の高い医療や福祉を提供できることから評価できる。

(3) エネルギー問題、環境問題への影響

本プロジェクトの成果である薄膜製造技術は、高効率ガスタービンを開発・実用化するためのタービン静翼温度測定用薄膜温度センサに活用されており、また、薄膜評価技術は、高精度の測定が可能な燃料電池用フローセンサに活用されている。いずれも省エネルギー化、CO₂削減に貢献しており評価できる。

本プロジェクトの成果である深堀加工技術は、燃焼空気の高精度流量制御が可能な自動車の燃料噴射フローセンサに活用され、自動車の燃費向上による省エネルギー化、環境負荷低減に貢献しており評価できる。

また、本プロジェクトの成果である高分子膜作製技術は、高エネルギー転換率を特徴とする人工筋肉アクチュエータに活用され、電動車椅子等の福祉機器が実用化開発中であり、近い将来省エネルギー型福祉機器として期待され評価できる。

本プロジェクトの成果であるシステム設計組立技術は、消費電力が従来と比較して約1/5のミニ生産システムの一部である円筒研削装置に活用されており評価できる。

- 5 政策へのフィードバック効果

(1) その後の事業等への影響

本プロジェクトの成果である薄膜評価技術は、後継の MEMS プロジェクトに引き継がれ、さらに発展したデバイスの実用化開発が行われており評価できる。また、本プロジェクトで培った MEMS 設計技術は、後継の MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトに引き継がれ、産学官の連携を一層強化し、さらに高機能化、MEMS 開発の効率化による新製品開発の促進に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果を引き継ぎ、さらに強化するため、(独)産業技術総合研究所において再編を行い、本プロジェクトの成果である評価技術や微細加工技術は、マイクロ実装研究グループに引き継がれ、さらに発展したスキャンミラーデバイス等の研究開発が行われており評価できる。本プロジェクトの成果である評価技術や生産機械のダウンサイジング技術は、ファインファクトリ研究グループに引き継がれ、さらに進んだ精密計測技術やマイクロファクトリ技術の研究開発及び普及に寄与しており評価できる。薄膜・厚膜技術の研究開発を推進する集積加工研究グループが新たに結成され、本プロジェクトで培った複合加工技術をさらに発展させた研究開発を行っており評価できる。また、マイクロ実装研究グループでは、ファンドリ機能を持ち、本プロジェクトの参加メンバーが中心となり高価な研究開発設備を持ってない中小

企業等の事業創出を支援しており評価できる。

(2) 産業戦略等への影響

本プロジェクトの成果を活用して小型精密電子部品の製造技術を確立することによって、機能の高度化、信頼性向上、省エネルギー・環境付加低減に対応できる製品の開発が可能となり、国際競争力の強化、環境対策や高齢者福祉対策に寄与しており評価できる。

微細加工技術等の要素技術が活かされるファンドリ事業の強化が図られ、研究開発設備を持たず経験の浅い多様な企業が、マイクロマシンや MEMS 技術の研究開発に参加することを可能とし、産業の活性化に繋がる仕組みを構築することに寄与していること、また、(独)産業技術総合研究所に開設したファンドリ事業は、産-官-学の橋渡しの役割を担って国内のマイクロマシン技術強化に寄与しており評価できる。

視覚及び触覚センサ、人工筋肉アクチュエータ、静電アクチュエータ等の開発が可能となり、それらを活用して人型ロボットの開発が発展すれば、介護用等のロボット分野が拡大して、高齢者等を対象とした福祉産業の育成に寄与することから評価できる。

MEMS の名を冠した事業部等の新設、マイクロマシン関連部署の拡大、研究開発予算の増加等、MEMS やマイクロマシン事業を強化した企業が約 11 社あり、製品の高機能化や高品質化等で国際競争力の向上に繋がり評価できる。

現在の視点からのプロジェクトの評価

- 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、国が着手したことは妥当であったと評価できる。

10年にわたって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たことは、長期視野にたつて進めた国家プロジェクトとして、妥当と考えられる。さらには、その後の後継プロジェクトの支援を得て、MEMS 技術が大きく進展し、新しい産業基盤の提供と実績を挙げていることは、本プロジェクトが起因しており、国として牽引したことは評価できる。

本プロジェクトの成果が、人工筋肉アクチュエータを応用した床ずれ防止装置等の費用対効果では実用化し難い医療用、福祉用機器の開発に活用されており評価できる。

日本が 1991 年に本プロジェクトを開始した後、1992 年には米国及び欧州が国家プロジェクトとして立ち上げており、重要性や研究開発の規模からみて国家プロジェクトとして進めたことは妥当であり評価できる。

- 2 プロジェクト設定等の妥当性

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高い目標を掲げたことは、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高速共焦点顕微鏡、世界トップレベルのフォトリソグラフィ結晶ファイバ、ナノ加工に挑戦する超精密加工機、人工筋肉アクチュエータ、シリコン貫通孔配線加工等の実用化に寄与していることから、目標設定は妥当であったと評価できる。

要素技術の研究開発は、分散研究方式で行ったため、各企業の得意な分野を中心に全力を集中できたこと、また、単独企業のため専門性を発揮しやすく、製品化を早期に実現できたことから、実施体制は妥当であったと評価できる。

MEMS、マイクロマシン技術の揺籃期において、本プロジェクトを通じて迅速にかつ長期にマイクロマシン技術を支援した結果、マイクロ加工技術は、基盤技術として高度化・発展し、多様なデバイスの実用化に活用されたことから設定の時期は妥当であった。

しかし、設定されたシステム化技術の開発を展開するのは困難を伴った。高度な技術レベルの追求のみに留まらず、研究開発の進展に応じて目標設定や新たな要素技術にも対応した成果予測の見直しによる柔軟なプロジェクト運営により、発展が確信できる要素技術への注力も望まれた。

- 3 上記 - 1 ~ - 2 の評価結果を踏まえたプロジェクト終了時の事後評価の妥当性

事後評価では、本プロジェクトの技術段階は萌芽的であり技術の総合的体系化については時期尚早であるが要素技術については高く評価できる、とされており、本プロジェクトの成果として実用化に至っている技術が要素技術を抛り所に行っていることをみると、この評価は妥当である。

また提言として、MEMS技術を重視すべきこと、企業の持ち帰り型技術開発だけでは無く大学や国立研究所（当時）との積極的な連携が必要であること、新しい展開を図るため国の適切な研究開発投資が必要であること、プロジェクトリーダーによる積極的なイニシアティブを期待する、等が指摘されていたが、本プロジェクト終了後、MEMS技術を重視する方向へ実用化開発を促進する後継プロジェクトがスタートしたこと、設計シミュレーション技術を充実、発展させるため、産官学の連携を強化した後継のMEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトが立ち上がり、プロジェクトリーダーがリーダーシップを発揮して運営していること等、事後評価の提言が実行されたことからみても、事後評価は妥当と評価できる。

なお、事後評価時点で、第2期の成果を活かすための具体的な方策等の提言が必要ではなかったかと思われる。

- 4 プロジェクト終了後のフォローアップ方法

本プロジェクトに対する国の関与した後継プロジェクトとして、MEMS プロジェクトと

MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトが立ち上がったことはフォローアップとして評価できる。

日本が提案した国際標準化への対応は、本プロジェクト終了後も継続しており、MEMS 専門用語は 2005 年 9 月に発行され、半導体加速度センサ、MEMS 用薄膜材料の引張試験法及び MEMS 用薄膜材料の引張試験用標準試験片は 2006 年 7 月までに発行が予定されておりフォローアップとして評価できる。

本プロジェクトで蓄積された、マイクロマシン・MEMS の設計技術、微細加工技術等を活かしたファンドリ事業は、民間においては(財)マイクロマシンセンターが中心となり、本プロジェクト参加企業を含む 10 社が参加し、設計、試作、研究開発、量産技術検討等、産業活性化に寄与していること、また、(独)産業技術総合研究所においても、本プロジェクト実施者を中心にファンドリ事業が開始され、産-官-学の研究開発、実用化開発に寄与していることは、フォローアップとして評価できる。

本プロジェクトの成果を公開することを主目的に始まったマイクロマシン展は、実用化技術普及のための情報開示・交換の場として年々規模が拡大しておりフォローアップとして評価できる。

経済産業省が今後実施する研究開発プロジェクトへの提言等

1. 本プロジェクトの後継プロジェクトは立ち上がっているが、今後は、本プロジェクトで獲得したマイクロマシン技術や MEMS 技術をナノ技術と融合させることにより、次世代産業に活用できる基礎・基盤のナノフュージョン製造技術を対象としたプロジェクトの立案が必要と考える。
2. 現在は、MEMS 技術や微細加工技術が充実し、それらを統合、体系化することにより、総合的なマイクロ・ナノ加工技術を得るための機が熟している。自在な 3 次元マイクロ加工、多機能を集積化したマイクロシステム製造等を目指した新たな研究開発プロジェクトを始動すべきである。
3. 現在の経済産業省の研究開発プロジェクトは短期間で実用化が期待される助成制度が多くなっている。しかし、将来の新しい産業創生に役立ち、リスクが大きく、長期間と多くの資金を要し、企業だけでは実行困難な基礎・基盤研究テーマこそ国家プロジェクトとして立ち上げるべきである。
4. 国家プロジェクトとして、我が国の強い技術を一層強化することにより、国際的優位性を確立することも不可欠である。本プロジェクトで成果を挙げた超精密機械加工等の得意分野をさらに伸ばし、新たな産業創出に寄与するための長期展望をもった研究開発プロジェクトの立案を提言する。
5. プロジェクトの運営方法として、プロジェクトリーダー等のプロセス管理者が環境変化等を判断し、柔軟に運用できる仕組みを構築すること、研究者とは別に技術評価支援チームを

新設し、プロジェクトの欠落技術、空白技術を推論し分析すること、産官学連携をさらに強固なものとし、組織的重層化を図ることが必要であり、また、プロジェクト実施中、内部において中間成果を次ステップのリソースに反映する等の競争的な運営や、プロジェクト参加者が試作を持ち寄り、効果や適用性を評価して実用化開発に活用するフィージビリティスタディのための試行錯誤を行う環境場を創設することを提言する。

第1章 評価の実施方法

追跡評価は、「経済産業省技術評価指針（平成14年4月1日経済産業省告示第428号、以下、「評価指針」という。）に基づいて以下のとおり行われた。

1. 追跡評価の目的

経済産業省が実施してきた研究開発プロジェクトは多数存在しているが、近年、それらの研究開発成果の迅速な実用化や、それに伴う日本企業の競争力強化及び市場創出等が重要とされている。

このため、本追跡評価では、研究開発プロジェクトが技術・産業・社会へ与えたインパクトについて明らかにすることに加え、研究開発プロジェクトの成果の実用化へ向けた推進体制や学会等における研究開発プロジェクト終了後の動向をフォローアップし、現在の視点から総合的に評価することにより、今後実施される研究開発プロジェクトの戦略性を持った企画、予算、運営方法、フォローアップ体制等の改善に資することを目的とする。

なお、評価指針において、評価の目的は、

- ・外部の新たな視点からの意見を取り入れることにより、研究開発の力点や方向性、継続の是非等について検討し、より効率的・効果的な研究開発を実施していくこと。
- ・研究開発がより高度化、専門化し、その意義や内容が一般国民に分かりにくくなってきたことに対応し、厳正な評価プロセスを構築、公開し、これにより研究開発の評価を実施することにより、一般国民にその内容を明らかにすること。

とされている。

2. 評価者

本追跡評価WG（以下「WG」という。）は、産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会において、同評価小委員会の下に新たに設置することが了承された。評価指針で評価者は、分野の専門性をバックグラウンドに持つ専門家、経済社会のニーズ、研究開発の波及等について指摘できる有識者等の外部評価者と定められている。これに基づき、7名が選任された。なお、本WGの事務局については、技術評価指針に基づき、経済産業省産業技術環境局技術評価調査課が担当した。

3. 評価対象

平成 17 年度は、急速に進歩・発展し、世界的にも技術レベルの高いマイクロマシン技術や MEMS 技術に着目し、以下の対象研究開発プロジェクトの追跡評価を行った。

対象研究開発プロジェクト

マイクロマシン研究開発プロジェクト

実施時期：平成 3 年度（1991 年度）～平成 12 年度（2000 年度）の 10 年間

研究開発費総額：約 213 億円

4. 評価方法

対象プロジェクトの評価を実施するに際して、対象プロジェクトに関する文献調査や、実施当時の参加者等へのインタビュー調査を中心に、研究開発活動や研究開発成果が技術、経済及び社会に及ぼした波及効果を調査・分析・整理し、その追跡調査結果に基づいて、追跡評価項目に沿った評価コメントをとりまとめ、審議を行うといった手順で評価作業を進めた。

追跡調査は、中立性・客観性を確保するため、第三者機関である（株）日鉄技術情報センターに委託し実施された。

5. 評価項目・評価基準

本 WG においては、経済産業省産業技術環境局技術評価調査課において平成 14 年 11 月 1 日に制定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」に基づいて大きく「 . 波及効果に対する評価」及び「 . 現在の視点からのプロジェクトの評価」について、それぞれ評価した。

以下は、その追跡評価項目・評価基準である。

追跡評価項目・評価基準

・ は評価の視点、丸囲い数字（ 、 、 …… ）は、評価基準の例を示す。

. 波及効果に関する評価

- 1 . 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

・ プロジェクトの直接的及び間接的な成果は、製品やサービスへの実用化にどのように寄与したか、あるいは寄与する可能性があるか。特許取得やその利用状況、市場環境の変化、競合技術の台頭等を踏まえて評価する。

プロジェクト終了後に実用化した製品やサービスは数多くあったか。
プロジェクトの成果から今後実用化が期待される製品やサービスはあるか。
多額の実施料収入を生み出す等、インパクトのある技術が得られたか。
外国での特許取得が行われたか。
基本特許を生み出したか。

(2) プロジェクト成果からの技術的な広がり具合

・ プロジェクトの成果により直接的に生み出された技術は、関連技術分野に技術面でのインパクトを与えたか。派生技術には、プロジェクト実施当時に想定されていたもの、想定されていなかったものを含めてどのようなものがあり、それらはどのように利用されているかを踏まえて評価する。

数多くの派生技術を生み出したか。
派生技術は多くの種類の技術分野にわたっているか。(当該技術分野、他の各種技術分野)
直接的に生み出された技術又は派生技術を利用した研究主体は数多くあるか。
直接的に生み出された技術又は派生技術を利用する研究主体は産業界や学会に広がりを持っているか。(参加企業、大学等、不参加の同業種の企業、その他の産業等)
参加企業等が自ら実施する研究開発の促進効果や期間短縮効果はあったか。

(3) 国際競争力への影響

・ 直接的に生み出された技術の成果技術や派生技術により、国際競争力はどのように強化されたか。

我が国における当該分野の技術レベルは向上したか。
外国と技術的な取引が行われ、それが利益を生み出しているか。
プロジェクトの技術分野に関連した外国での特許取得は積極的になされているか。
国際標準の決定に対し、プロジェクトはメリットをもたらしたか。
国際標準等の協議において、我が国がリーダーシップをとれるようになったか。
外国企業との主導的な技術提携は行われたか。
プロジェクトが外国の技術政策に影響を与え、その結果技術交流が促進されたり、当該分野で我が国がイニシアチブをとれるようになったか。

- 2. 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

・特許や、研究者のノウハウ・センス・知識等の研究成果を生み出す源となる知的ストックはどのような役割を果たしたか。それらはプロジェクト終了後も継承され、次の研究の芽になる等、今後も影響を持ち得ることができるか。

当該分野における研究開発は続いているか。

プロジェクト終了後にも、プロジェクトに参加した研究者が派生技術の研究を行っているか。

プロジェクトの終了時から現在までの間に、知的ストックが将来的に注目すべき新たな成果（画期的な新製品・新サービス等）を生み出す可能性は高まっているか。

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

・プロジェクトは、研究開発組織の強化・改善に対してどのように役立ったか。あるいは、実施企業の技術戦略に影響を与えたか。

企業を超える研究開発のインフラとして、学会、フォーラム、研究者間交流等の公式・非公式の研究交流基盤は整備され、活用されているか。

企業間の共同研究の推進等、協力関係、良好な競争の関係が構築されたか。

顧客やビジネスパートナーとの関係の変化が、経済性を向上させたか。

技術の管理組織を再編成する契機となったか。

研究開発部門の再構成等、社内の組織改編は積極的に行われたか。

研究開発の予算規模が増減する契機となったか。

プロパテント等の特許戦略に対する意識が高くなったか。

知的ストックは、企業の技術戦略にどのような影響を与えたか。

(3) 人材への影響

・プロジェクトは研究者の効率的・効果的配置や能力の向上にどのように寄与したか。

国内外において第一人者と評価される研究者が生まれたか。

論文発表、博士号取得は活発に行われたか。

プロジェクト従事者の企業内での評価は高まったか。

研究者の能力向上に結び付くような研究者間の人的交流が行われたか。

関連分野の研究者増員が行われたか。

国内外から高く評価される研究機関となったか。

- 3. 経済効果

(1) 市場創出への寄与

・新しい市場を創造したか。また、その市場の拡大に寄与したか。

(2) 経済的インパクト

・生産波及、付加価値創出、雇用創出への影響は大きかったか。

直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、製品の売り上げと利益は増加したか。

直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、雇用促進は積極的に図られたか。

(3) 産業構造転換・活性化の促進

・プロジェクトが産業構造転換や活性化（市場拡大や雇用の増加等）にどのような役割を果たしたか。

プロジェクトが、各関連産業における市場の拡大や雇用の増加等に寄与したか。

プロジェクトが新たな産業の勃興や、既存市場への新規参入、あるいは既存市場からの撤退等をもた

らしたか。また、それらが市場全体における雇用に影響したか。
プロジェクトが生産業務の改善や更新に結びついたことにより生産性・経済性は向上したか。

- 4 . 国民生活・生会レベルの向上効果

・プロジェクトによって新たな製品・サービスが実用化されたこと、プロジェクトの成果の応用による生産性の向上や顕著なコストダウン、デファクトを含めた規格化を促進したこと等の事例がある場合、それらは、例えば下記に挙げる項目にそれぞれどのような影響をもたらしたか。

(1) エネルギー問題への影響

・エネルギー問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(2) 環境問題への影響

・環境問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(3) 情報化社会の推進

・情報化社会の推進に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(4) 安全、安心、生活の質

・国民生活の安全、安心、生活の質の向上に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

国民生活の利便性を向上させた事例が存在するか。

国民生活の安全性の向上に寄与したか。

プロジェクトの成果は、身障者や高齢者の多様な生活を可能にしたか。また、個の自立を支援するものであるか。

- 5 . 政策へのフィードバック効果

(1) その後の事業への影響

・プロジェクトの成果や波及効果、改善提案、反省点等がその後の研究開発プロジェクトのテーマ設定や体制構築へ反映されたか。

(2) 産業戦略等への影響

・プロジェクトの直接的・間接的な成果が実用化したり、関連の研究開発基盤ができたこと等による、その後の産業戦略等への影響があったか。

. 現在の視点からのプロジェクトの評価

- 1 . 国家プロジェクトとしての妥当性

・国のプロジェクトとしてどのような効果があったか。 に示した各効果を総合的に評価する。

・現在（追跡評価時点）から見て、国が関与する必要性があったか。また、関与の方法や程度は妥当であったか。

多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。

環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。

標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの（知的基盤）の形成に資する研究開発の場合。

国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。

その他国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

- 2 . 目標設定

・当時の技術動向、市場動向、社会環境、政策目的等から見て、目標設定の方向性とそのレベルは妥当であったか。

- 3 . プロジェクト実施方法

・プロジェクトの計画策定、スキーム（予算制度）、実施体制、運営方法等の実施方法が現在の視点から見て妥当であったか。

- 4 . - 1 ~ - 3 の評価結果を踏まえ、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性

・事後評価で行われた評価結果は、追跡評価の時点から見て妥当であるか。
(現在の事後評価項目の例示) 目的・意義の妥当性、目標の妥当性、計画内容の妥当性、国のプロジェクトであることの妥当性、研究開発体制・運営の妥当性、研究開発成果の計画と比較した達成度、実用化の見通し（成果普及、広報体制、波及効果）、総合評価、今後の提言
・今後の最終評価において改善すべき評価方法、考慮すべき要因等を提案。

- 5 . プロジェクト終了後のフォローアップ方法

・プロジェクトの成果の実用化や普及に対して、プロジェクト終了後のフォローアップ体制が適切であったか。後継の国のプロジェクトを立ち上げる必要は無かったか。
・不適切な場合の改善点、より効果を発揮するための方策の提案。

第2章 評価対象研究開発プロジェクト

1. 研究開発期間

平成3年度（1991年度）～平成12年度（2000年度）の10年間

2. 研究開発費総額

約213億円

3. 背景と概要

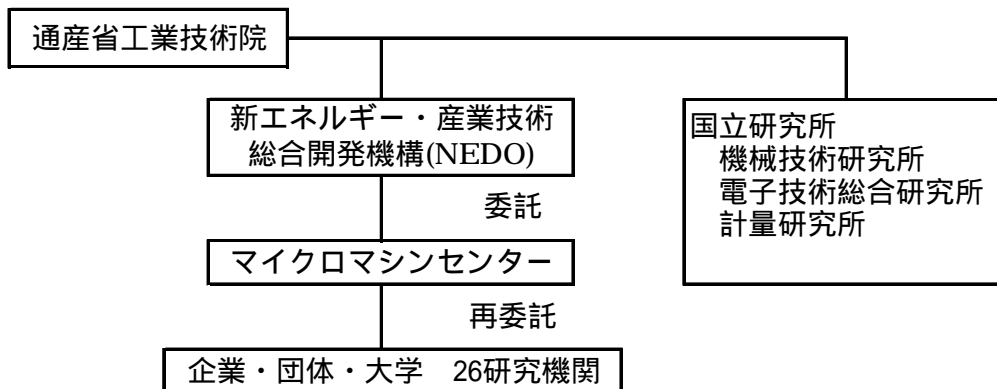
本プロジェクトは、日本の持つ半導体製造技術と高度な精密機械加工技術を融合させて、マイクロマシン技術として確立させ、情報通信分野、医療福祉分野等の各種産業に密接に連携して、日本経済を支える次世代産業の基盤を形成する主要技術のひとつとするとの期待を担って開始された。

本プロジェクトは、マイクロマシン技術というこれまでにない未知の領域に属し、萌芽期にある独創性や新規性の高い研究分野を対象としていることから、基本的には長期視点にたった基盤技術に関する研究開発である。

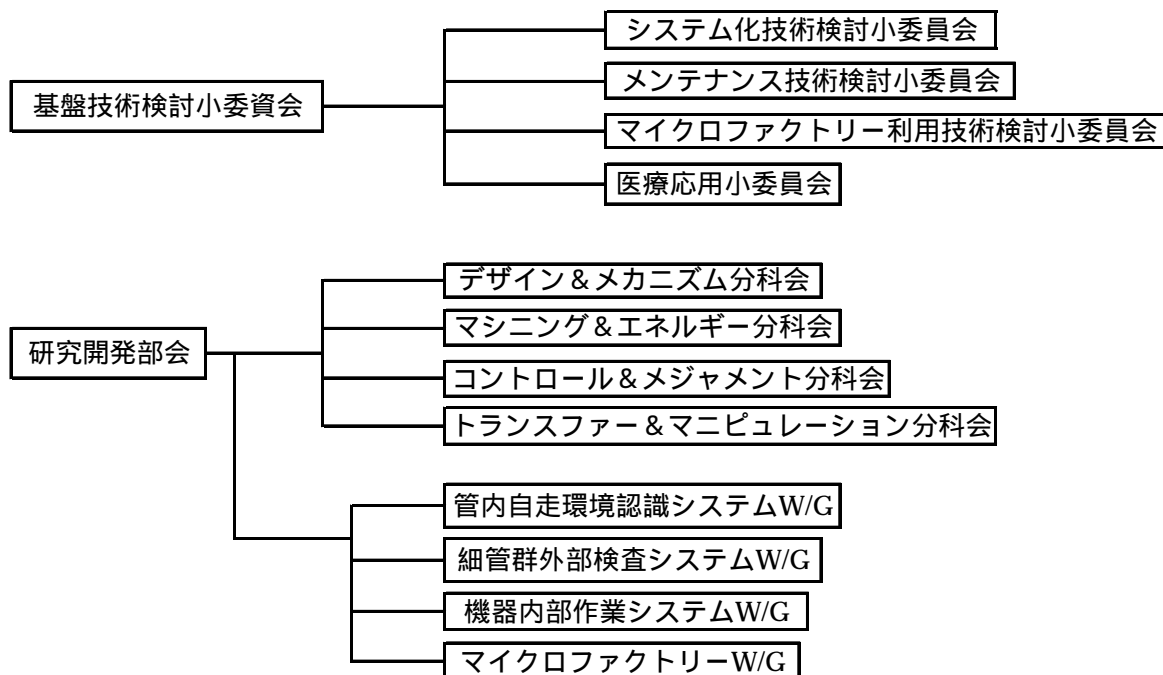
4. 研究開発体制

本プロジェクトの研究開発実施者の事業体制についてみると、図表2-1に示すように基本となる母体は、NEDOから委託を受けた(財)マイクロマシンセンターであり、国立研究所（現独立法人研究所）は主として共通基盤技術における評価技術の研究を担当した。(財)マイクロマシンセンターからは、企業、団体、大学等に再委託を行い、一部に集中管理方式を取り入れた、分散研究の形態で研究開発を行った。

本研究開発を総合的に推進するため、図表2-2の運営管理体制（プロジェクト推進体制）に示すように、(財)マイクロマシンセンター内に研究実施者で組織された研究開発部会を設け、研究実施者間の相互連携による研究開発の円滑な推進を図った。



図表 2-1 事業体制

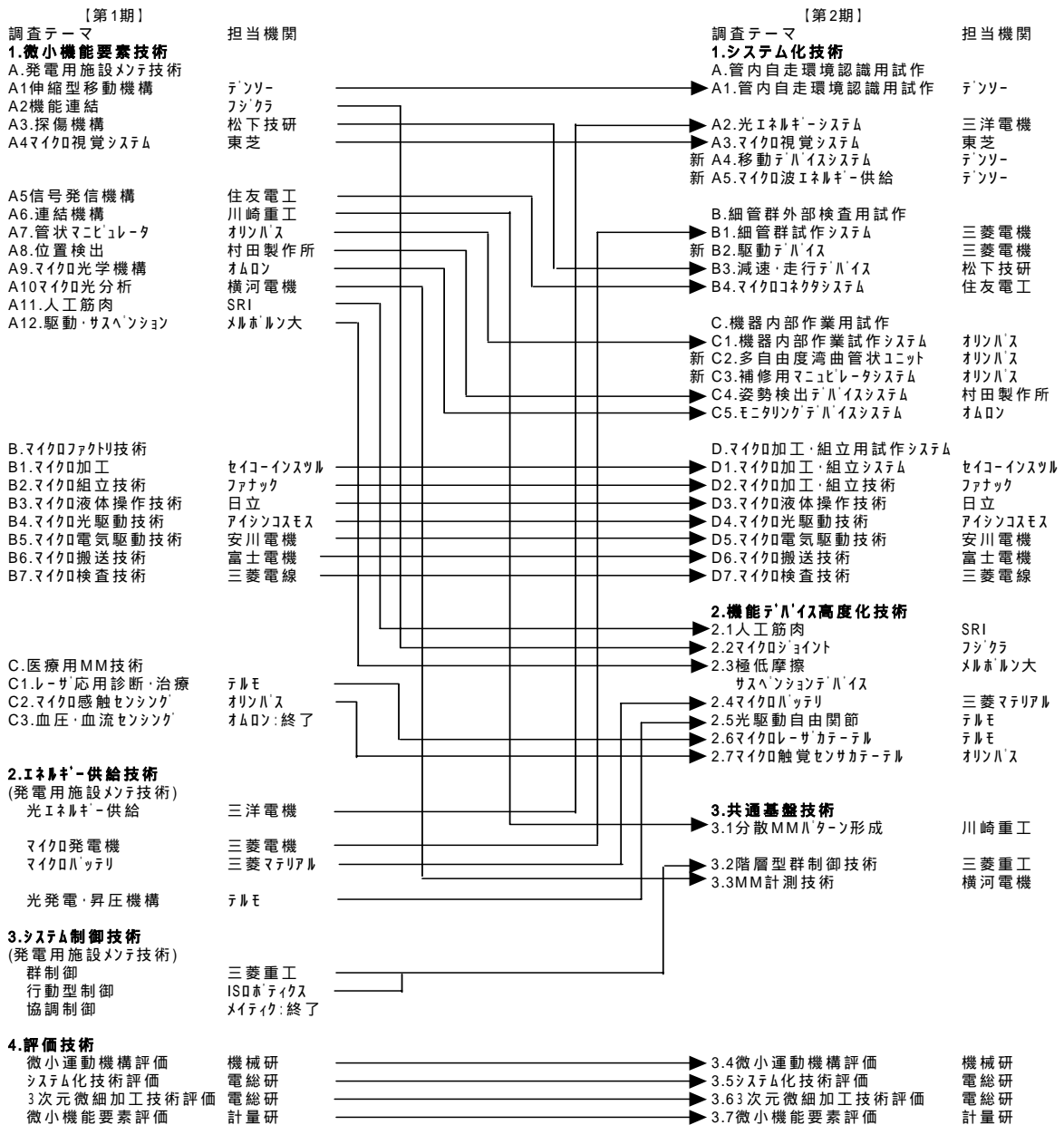


図表 2-2 運営管理体制（プロジェクト推進体制）

5. スケジュール

平成3年度から7年度までの第1期では、マイクロマシンの基本的で共通な構成要素に関する技術を確認することを目標とした。この目標達成のため、微小機能要素技術、エネルギー供給技術、システム制御技術、評価技術に関する広範な基礎的かつ要素技術開発を進めた。平成8年度から12年度までの第2期では、第1期の成果を踏まえ、効率的、効果的な研究開発を進めるため、マイクロマシンシステムのニーズが大きな分野として、メンテナンス分野、医療分野、及び小型工業製品等の部品生産分野の3つを想定し、システム化技術、機能デバイスの高度化技術、共通基盤技術の研究開発を実施した(図表2-3)。

マイクロマシン研究開発プロジェクトの第1期、第2期の研究開発項目



図表 2-3 第1期及び第2期の研究開発項目

6. 研究開発の目標と主な成果

第1期においてはマイクロマシンの構成要素に関する技術の確立を図ることを目標とし、第2期では第1期で開発されたマイクロマシンの機能要素開発の成果を踏まえ、具体的な試作システムを作成するためのシステム化技術の確立を目標とした。

システム化技術では、世界最高レベルにまで小型・高機能化された各試作システムのシステム仕様に基づき、構成要素デバイスレベルでの試作と機能検証を行った。さらに、これら複数の要素デバイスを統合した各試作システムを試作し、その機能を実現した。この研究開発を通してシステム化技術としてマイクロマシン固有の新たな設計、加工、実装、組立技術等が開発された。

マイクロマシン技術の体系化という観点からの成果は十分ではないが、要素技術の開発成果は、世界最高水準の新規性・実用性のある多数の成果が出ており、また、システム化技術は多くの独創的な成果が得られ、キーとなるテクノロジーが開発できたといえる。

< 主な成果の概要 >

【システム化技術】

管内自走環境認識用試作システムに関しては、配管内を無索で移動し管内情報を伝送するという当初の目標は達成されている。撮像では低消費電力の小型 CCD カメラとカメラ台等をアクティブに制御できるマイクロ機構で解決している。これら要素技術が到達したスペックは世界最高水準のものであり、また、これらを組み合わせた管内自走環境認識用試作システムも世界最高水準のものである。

細管郡外部検査用システムについては複数の移動マイクロマシンが連結したり分離したりする当初の目標は達成されている。高精度の加工技術と磁石車輪の開発、自動連結を可能とする磁石を用いた機構の開発等の要素技術は最小であり、機構が独創的あり、得られたシステムも世界に例のないものである。

機器内部作業用試作システムについては、基本的なアイデアはマイクロマニピレータまわりの要素技術とみなすことができる。SMA アクチュエータ、姿勢検出ジャイロ、細部への実装技術等高く評価されている要素技術が開発された。

【高機能デバイスの高度化技術】

人工筋肉では高機能なアクチュエータが開発され、一般的なアクチュエータとしても十分意義があり、目標を上まわる成果が得られた。

垂直孔作製技術、貫通孔の金属埋戻し技術、電極素子の積層化技術のいずれも当初の計画を上まわるペースで進捗した。開発された高アスペクト比形成技術他分野での

応用も可能であり、学術的な評価も高い。

光駆動自由間接デバイスでは、大きな負荷荷重に耐えられるよう非線形応答のSMAを駆動源に使いながら、線形的な変位制御できる構造を採用し、実用的価値のあるアクチュエータを開発した。SMAシステムの制御がリニアになり、精度も上がったことから様々な機器の制御への応用可能性が期待される。

マイクロレーザカテーテルについては、治療用マイクロレーザは高出力が得られており、これをマイクロカテーテルの先端に配置できたことは大きな意義がある。マイクロカテーテルへの外壁配線技術は独自のものであり、その応用範囲は非常に広く、多方面で多くのデバイスに応用可能である。

【共通基盤技術】

分散マイクロマシンのパターン生成技術では、複数のマイクロマシンを対象とする制御法を提案しており、マイクロマシンのパターン生成技術として新規性がある。階層型群制御技術では、マイクロマシンに有効な移動のために新たなメカニズムを提案してそれを実現した。ホロニックメカニズムを有効に移動させるための制御の方式が提案されており、今後の発展の基礎を構築した。

マイクロマシンの計測技術ではマイクロマシンアクチュエータ等の性能評価、検査、標準化に必要な計測法、マイクロマシンの3次元形状計測や標準化ツールとしての重要な技術を開発し、目標を達成した。

微小運動機構の評価では、マイクロ運動機構の構成法等に関する計測評価のためのデータ収集、微細加工技術、微小材料の機械特性、トライボロジー特性等のデータベースを構築した。

第3章 評価

波及効果に関する評価

- 1 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

プロジェクト終了後、プロジェクト参加23企業中で、12企業、15製品が既に実用化し、5年以内の実用化は9企業の9製品について具体的に開発が進んでおり、実用化の進展度合いは大きいものと評価できる。

まず実用化された成果として、本プロジェクト成果である形状計測技術は、高速共焦点スキヤナの光源照射・検知の高速化に活用され、スキヤナ速度を従来の100倍として生きた細胞の動的観察が可能な高速共焦点顕微鏡が製品化されている。線引加工技術は、短波長レーザーの伝送損失を減らし搬送特性に優れたセラミックス材料のシリカを均一に線状に引伸ばしたフォトニック結晶ファイバを製造するプロセスに活用された。製品化されたフォトニック結晶ファイバは国際的に著名な天文台でガイドスター発生装置として使用されている。薄膜評価技術は、薄膜に発生する応力制御に活用され、従来センサの10倍の感度と微流速計測が可能な高精度家庭用燃料電池フローセンサが製品化されている。深堀加工技術は、高アスペクト比形状に成型し、高感度で変位を検知するセンサ部材の製造に活用され、自動車のエアバッグに使用される自動車用超小型加速度センサ等の高性能加速度センサが製品化されている。薄膜製造技術は、凹凸のある表面に起電力発生材料の積層薄膜を施工するプロセスに活用され、高効率ガスタービン開発における静翼温度測定用の薄膜温度センサが実用化されている。超精密加工技術は、高精度機械部品製造に活用され、ナノオーダーで制御できる超精密5軸加工機が製品化されている。さらに、超精密5軸加工機を使用して超精密金型を製造し、デジタルカメラや携帯電話等の精密部品の大量生産を可能としている。X線リソグラフィ加工技術は、25角×250μm高さの高アスペクト比セラミック柱製造に活用され、高周波域の小型超音波発信器に活用し、それを搭載した超音波診断装置が製品化されている。さらに、X線リソグラフィ加工技術は、金属の加工に活用され、先端先鋭度を高め高精度・長寿命化が図られるIC検査用コンタクトプローブが製品化されている。システム設計組立技術は、小さなスペースにおける小型高精度ユニットの配置・組立に活用され、ミニ生産システムの一部である研削装置が製品化されている。複合加工技術は、形状記憶合金コイルの製造や実装に活用され、細くて首振り角度が大きく気管支末梢部の観察精度向上に寄与する形状記憶合金カテーテルが製品化されている。高分子膜作製技術は、変形可能なフレキシブル電極の製造に活用され、大変形能力、応答性に優れる人工筋肉アクチュエータの製品化に寄与している。

次に、今後5年以内に実用化が予定される成果として、3次元実装技術は、CCDデバイスとアクチュエータのアセンブリに活用され、携帯電話等の一層のコンパクト化や鮮明度向上をもたらすCCDマイクロカメラの実用化開発に繋がっている。マイクロ流体制御技術は、狭隘部を通過する微量液体の流量制御に活用され、高速・高精度で目的とする細胞を分離で

きる細胞分離装置の実用化開発に寄与している。除去加工技術は、細く長い高アスペクト比の細孔製造プロセスに活用され、高機能化・小型電子部品の製造に不可欠な3次元コンパクト実装を可能とするシリコン貫通孔配線加工の実用化開発に寄与している。マイクロチップレーザ・マイクロ実装技術は、短波長レーザ発生装置の製造及び内視鏡への組立に活用され、脳腫瘍治療用レーザカテーテルの実用化開発に寄与している。

実用化に際して影響を及ぼす特許では、本プロジェクト中に出願した特許 563 件のうち、約 37%にあたる 206 件が重要特許として登録されている。登録された中で、微細構造体の形成方法、内視鏡、形状記憶性マイクロバネ、ロータリエンコーダ等の特許が製品に活用されていること、また、本プロジェクト終了後の公開特許においても、フローセンサ、電気接点用微細部品等の特許が活用されていることから評価できる。さらに、製品の技術競争力を確保するため加工技術に関する微細セラミック構造体形成、複合体超音波発信器等の基本特許を含む重要特許 6 件が米国で登録されており評価できる。

しかし、システム化技術の研究開発では、実用化までに必要となる技術項目、技術レベル及びその結果期待される波及効果等の観点から研究開発の目標を柔軟に運用することを検討すべきであった。

< 肯定的意見 >

- ・ 高出力の駆動デバイス達成のためのコイル多層化加工技術、高エネルギー積永久磁石加工技術等、開発された微細加工技術等の成果は、各企業の各種マイクロセンサ等の MEMS 製品開発に間接的ではあるが大きく寄与している。(阿出川委員)
- ・ 様々な超精密ないし微細な加工技術が開発され、それを応用したセンサ等の製品が上市されており、本プロジェクトの成果である製品化やマイクロマシニング等の要素技術は国際競争力強化に役立っているものと評価できる。また、実装技術や評価技術等も含めて基盤的な技術として産業界の基礎力向上に役立った。当初別々のアプローチであった、機械加工技術と、Si ベース加工技術も、微細金型等で融合化が進んでおり多様な量産技術を実現しつつあるものと評価できる。(永壽委員)
- ・ 実用化技術の適応分野は確実に成長したといえる。基本特許として位置づけられる成果が多く、質的かつ量的にも一定の成果があったといえる。特許出願に対する登録済み特許数の比率から判断して、新規性のある成果が多く得られたといえる。(菊池座長)
- ・ 5 年以内に実用化されると見込まれている技術分野は多岐にわたっている。(菊池座長)
- ・ マイクロマシンプロジェクトの設立時に掲げた研究開発目標は、第 2 期にある具体的な応用機能の実現にはいたらなかったものの、画期的な要素技術が開発され、それぞれ、各企業の得意とする分野で、実用化されている。特に超精密加工機械や各種センサ、医療装置等は競争力ある商品として市場に認知されているといえよう。(須藤委員)
- ・ 本研究開発プロジェクトの研究成果は、超精密加工機、医療機器、計測機器、アクチュエータ、センサといった多岐にわたる産業分野に波及しており、その中でも一部の研究成果

については、すでに具体的な製品として市場に投入され、高い評価が得られているとされるものがある。対象とする技術内容、技術分野の裾野が広いだけに今後も、同様な波及が進展し、成功事例が現れるものと期待したい。(新野委員)

- ・複数の団体が一つの研究目標に向かって共同研究するのではなく、研究テーマが企業単位であったことにより、実用化を促進し易い環境となり、多くの成果が商品化されたとも思われる。(須藤委員)
- ・マイクロマシン、MEMS は時代の流れに合致していたので、多くの製品の实用化に貢献した。マイクロ機械分野において、関連製品の实用化と活性化に貢献した。(羽根委員)
- ・プロジェクトの間接的効果として、マイクロ加工技術の革新が広い範囲で追求され、様々の新規技術が発展した。それを利用した製品群も市販されている。今後も一層の实用化の進展と製品開発が期待される。(藤田委員)

< 問題点・改善すべき点 >

- ・要素技術開発の色彩が強いプロジェクトであったため、直接的な成果は限られたものであった。基本特許の実施による収入はまだ少ない。また、第2期の試作システムは、実用化への展開において限定的な用途(発電施設細管検査)であった。試作目的の設定は、波及効果の高い目的に設定すべきであったと考える。(阿出川委員)
- ・結果から見ると、初期目標の中には(発電プラントへの適用)実用化と懸け離れていた対象が強調されていたので、今後は製品化や需要への調査をよく行うべきである。(羽根委員)
- ・プロジェクトの直接的効果は、限定的である。特にシステム化4課題については、実用化の見込みは立っていない。関連する特許も、利用は限定的である。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・開発当初は開発の方向性が見えなかったが各社が多方面の研究開発を分担して同時に進めたことにより、技術の可能性については短期で見極めができたと考える。(阿出川委員)
- ・本プロジェクトで開発された技術は、さらにナノテクノロジー等と融合するような発展することが期待されるものであり、今後のプロジェクト投資への理解を得るためにはもっと一般への宣伝が必要であるものと考えられる。(永壽委員)
- ・センサ等の微小高性能な部品開発は非常に進められており、既存製品群(自動車、家電等)に多く利用されているが、商品全体としてはそれなりの大きさを持つものであり、マイクロマシンプロジェクトの成果であることがわかりにくい。(永壽委員)
- ・事後評価時点では想定しえなかった実用化の分野も発展しており、分野融合型の開発プロジェクトを目指すという目標に順ずるのであれば、より一層広範囲な応用分野を探索することが必要であろう。(菊池座長)
- ・研究開発プロジェクトの研究成果は、一般にも見える形、すなわちカタログや製品紹介等に記載されて容易にプロジェクトの成果として誰もが認識できるような方策が検討されても良い。(新野委員)

(2) プロジェクト成果からの技術的な広がり具合

本プロジェクトの成果である線引加工技術は、本来金属材料を対象として開発されたものであるが、その技術をセラミックスであるシリカに応用し、キャピラリを多数積み重ねプリフォームし、それに対し線引加工技術を適用して、空孔付加型ファイバであるフォトニクス結晶ファイバが製品化されており評価できる。

本プロジェクトの成果である薄膜製造技術は、圧電材料を用い大きな作動変位を示す積層型圧電マイクロアクチュエータを対象として開発したが、その技術を、熱起電力を発生する材料を用い、凹凸のある表面に薄膜を施工する技術に発展させ、高効率ガスタービンの開発に効果を発揮する静翼測温用薄膜温度センサが実用化されており評価できる。

本プロジェクトの成果であるX線リソグラフィ加工技術は、セラミックス材料から高精度超音波発生器の製造を目的に開発したが、その技術を金属材料の加工技術に発展させ、さらにナノ材料の被覆技術も加え、IC検査用コンタクトプローブが製品化されており評価できる。

本プロジェクトの成果であるマイクロ液体操作技術は、微量の粘性の高い接着剤を吐出するマイクロポンプを対象に開発されたものであるが、その技術を細胞識別技術と組み合わせた流体操作技術へ発展させ、バイオ分野で必須な細胞分離装置の研究開発に活用されたこと、さらに研究主体を企業のみならず大学へも広げており評価できる。

しかし、システム化技術の研究開発では、研究開発の段階に応じて期待される効果の観点から開発する技術目標を見直す等の柔軟な運用ができていれば、波及効果の大きい技術開発を一層加速できたと思われる。

< 肯定的意見 >

- ・ 各種要素技術開発が実施されたため、当該のメンテナンス技術分野だけにとどまらず、その後のマイクロ流体やセンサ分野、バイオ分野等の多くの派生技術を発展させるのに貢献できたと考える。(阿出川委員)
- ・ 本プロジェクトで開発された技術は元々、基礎基盤的汎用的な技術が多く、想定する応用分野は広く考えられていたため、直接生み出された技術か、派生的な技術かの判断は、一般的にはつきにくいですが、本プロジェクト開始時点には予想困難であった携帯電話の急速な普及やパソコンの高性能化にも、本プロジェクト由来の技術が貢献をしている点から、技術的な広がりには格段の成果があったものと評価できる。フォトニック結晶等の新しい概念に対しても即時に応用可能であり他分野の研究促進効果も高かったものと評価できる。(永壽委員)
- ・ 米国企業の独占分野に挑戦するための契機を与えたプロジェクトであった。(菊池座長)
- ・ 例えば薄膜温度センサのように、最終的には研究開発目標とは違う分野での実用化が進んでいる事例もあることより、成果としての技術内容が具体化し派生技術として開花していったとみなすことが出来る。各種センサ用部品のレベルでも、超精密加工によるものと、MEMS技術によるものがあるが、本プロジェクトの研究成果はその双方に技術的貢献をし

ている。(須藤委員)

- ・本研究開発プロジェクトの研究成果は、事後評価においても複数の要素技術である旨の報告がなされ、現時点においてもその評価は大きく変わらない。それぞれの要素技術に関して参加企業の組織内には、本研究開発プロジェクトによる膨大な知的ストックが、陽に陰に蓄積されていると推定される。特に、様々なマイクロ・ナノ加工技術については、すべてが研究成果として明示されていないとしても、今後、産業基盤技術の構成要素となり得ると考えられ、それらの派生技術からの波及を期待したい。(新野委員)
- ・特殊機械技術としては、本プロジェクトで開発された製品群に見られるように、多くの派生技術を生み出した。(羽根委員)
- ・個々の技術を取り出して論ずるよりも、マイクロマシン技術との名称の下で、たとえばMEMSの製法等、新たな発想に基づく微細加工技術群が開発され、産業基盤として共有されるきっかけとなった点が高く評価できる。プロジェクト終了後にも、数多くの派生技術が展開され、さらにナノ加工へと微細化が進んでいる。また、MEMSについては、多くの機能を集積化したマイクロシステムの製作を目指す方向で発展が続いている。研究分野の確立にも寄与が大きい。(藤田委員)

<問題点・改善すべき点>

- ・研究開発の段階、段階に応じて柔軟な運用ができていれば、現在に役立つ派生技術の開発を加速できたと思われる。(阿出川委員)

<その他の意見>

- ・マイクロマシン展の出展企業が年々増加したのは、本プロジェクト参加以外の企業においても、本プロジェクトに刺激され、マイクロマシンの方向付けがなされたためと考える。(阿出川委員)
- ・本プロジェクトの成果であり制御技術として応用が期待される分散マイクロマシンパターン形成技術については、さらに充実させるため基礎的な研究を継続し、具体的な活用を検討すべきと考える。(永壽委員)
- ・マイクロマシン技術でシリコン材料が世界の潮流となっているので、今後、この方向と多種の材料技術等とが合わされば、派生効果が大きいと考えられる。(羽根委員)

(3) 国際競争力への影響

本プロジェクトの成果を活用して実用化した高速共焦点顕微鏡は、生きた細胞の動きを観察できる機能は世界最高であり、このタイプの顕微鏡として、世界シェアはほぼ 100%を占め、Nature 誌の表紙に 2002 年、2003 年に 2 回掲載される等、バイオ関連分野では国際的に高い評価を得ており国際的にトップレベルにあると評価できる。

内部の空洞を制御する高度な技術を要するフォトニック結晶ファイバは、本プロジェクトに参加し実用化した企業の他には、世界でデンマーク、イギリスの 2 社のみが製造可能であること、ガイドスター用としてチリのヨーロッパ南天天文台やハワイの国立天文台等の国際的に著名な研究機関に納入実績を有する等、国際的にトップレベルにあると評価できる。

本プロジェクトで開発したマイクロ放電加工技術に関する論文で世界的に権威のある電気電子学会 1999 年 IEEE MEMS Best Paper 賞、また、マイクロ波電力・情報伝送に関して 2001 年 IEEE MHS Best Paper 賞、またマイクロカメラの 3 次元実装に関して 2005 年 IEEE CPMT Society Best Paper 賞を受賞し、本プロジェクトにより国際的に技術レベルが向上したものと評価できる。

本プロジェクトの成果である形状計測技術を活用した高速共焦点顕微鏡及び X 線リソグラフィ加工技術を活用した IC 検査用微細コンタクトプローブが、日本の産業と科学技術の発展に貢献した技術開発として権威ある大河内賞を受賞したこと、人工筋肉アクチュエータが、従来のテクノロジーを根底から覆す可能性を秘めた先端材料・先端応用技術の発展に貢献した技術開発に授与されるオルガノテクノ大賞を受賞し、国際競争力の強化に寄与したものと評価できる。

国際標準化は、MEMS 専門用語の規格は 2005 年 9 月に発行され、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及び半導体加速度センサに関する規格等の日本案を国際電気標準会議 (IEC) に提案し、この 3 件も 2006 年 7 月までに発行される予定であり、我が国のリーダーシップ強化に寄与しており評価できる。

我が国が提唱したマイクロマシンの概念を国際的に広め、この分野でイニシアティブをとれるように 1995 年京都で開催した第 1 回マイクロマシンサミットは本プロジェクトの成果を中心にしており、国際競争力の強化に貢献できたものと評価できる。

本プロジェクトで取り組んだマイクロファクトリの成果は、全米科学財団 (NSF) がこの技術に関する調査団を 2004 年に世界に送り出すのに影響を与え、米国は欧州、日本の進んだ研究開発に注目していること、またフィンランドや韓国におけるマイクロ機械加工に関する国家プロジェクトの立ち上げを加速したこと等、海外の技術政策に影響を与えたことは評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・わが国の当該分野の技術レベルアップには貢献できたと考えられる。また、本プロジェクトが刺激となり、世界各国で同様のプロジェクト立ち上げに相乗効果をもたらし、世界的

な研究開発の加速には大いに貢献したと考える。標準化に関しても（財）マイクロマシンセンター（MMC）を中心に大いに貢献している。（阿出川委員）

- ・本プロジェクトの成果を世界に公開し、技術交流する目的で我が国が提唱して始めたマイクロマシンサミットは、（財）マイクロマシンセンターが常任事務局を務め、主催する等の日本のイニシアティブがとれるようになった。（阿出川委員）
- ・マイクロファクトリのような小型生産システム概念については国際的に主導してきており、認知度の高まりとともに、国外の技術政策にも影響を与えつつあるものと考えられる。微小要素の引張試験に関する国際規格等、いくつかの国際規格を主導できたことも国際競争力の向上に寄与しているものと考えられる。（永壽委員）
- ・この分野の国際競争力は強化されたといえる。国際標準等の協議においても、積極的な提案がなされるようになり、国際標準化への基盤を形成した。（菊池座長）
- ・マイクロマシン研究推進のための国際会議であるマイクロマシンサミットの企画・実行を日本発信で行ったことはこれまでのプロジェクトに無い活動である。市場創生した際に、最初からリーダーシップを取れるような環境作りを自ら行ったと言える。（須藤委員）
- ・プロジェクトの成果に基づく技術は、本研究開発プロジェクトの規模、期間、参加企業数からみると、多軸超精密工作機械、各種医用機器、共焦点レーザ顕微鏡に代表されるように、本研究開発プロジェクトの成果をベースとされる実用化製品には、十分に国際競争力を有すると考えられるものがある。現在も、本プロジェクトの波及は鋭意進展しているものと考えられ、人によっては、当該マイクロマシン技術が成熟期に入っているとの認識もある。近い将来、プロジェクトに関連した様々な分野において次世代製品の創出を指向する新機軸の産業が創出されることを期待したい。（新野委員）
- ・機械加工によるマイクロマシンにおいて世界の主導レベルにあるので、メカトロニクス製品における国際競争力は極めて高い。（羽根委員）
- ・プロジェクト以前にマイクロマシン関連技術を研究開発していなかった企業が、プロジェクトを契機としてこの技術を獲得し、自身の製品に合う形で技術を発展させることに寄与した。（財）マイクロマシンセンターを中心とする技術連携の中で、国際標準を主導的に行っており、その面でも効果があった。（藤田委員）

< その他の意見 >

- ・MEMS 技術の開発に関しては欧米に比べ劣ったのは否めない。米国、ヨーロッパでは国の支援がされており、日本も引き続き国による支援を継続すべきである。（阿出川委員）
- ・世界的にみると MEMS が主流となっており、特に、エレクトロニクスとの融合、システム化が精力的に進められているが、日本ではその間のギャップを埋める技術的思想で後れをとっている感が否めなく、大きな課題であり、競争力強化の施策が必要である。（永壽委員）
- ・信頼性評価技術の分野に関しては、研究者の層が薄く、この面の補強を図る必要がある。（菊池座長）

- ・韓国ソウル大学校、KAIST、KIMM、台湾の工業技術研究院、ならびにシンガポール国立大学等で推進されている基盤産業関連の研究開発プロジェクトに見られるように、アジア諸国の産業技術を対象とした研究開発に対する取り組みは、我が国の研究開発動向、研究開発制度の成功要因を調査分析した上で、我が国の研究資源投資と同様の分野に重点的に研究開発資源を投入してプロジェクトを遂行している。一部、我が国の底力を喧伝する楽観視した見方も知識人に少なくないが、それら周辺諸国の研究開発成果が高付加価値製品の創出技術の確立に直結した場合には、我が国にとって一大脅威となる。一昔前とは違って、スキルに大きく依存した競争優位性を長期にわたって保持することが困難になっている現在、先行しているとはいえ楽観は禁物である。単純な研究開発プロジェクトの延長上にはない新たな試みを試行すべきである。(新野委員)
- ・ブレークスルーとなる研究が生まれ、産業化が支援できるとよい。(米国の表面マイクロマシン、ドイツのLIGAプロセス)(羽根委員)
- ・将来の製品開発が期待されるシリコンマイクロマシンの研究開発において、まだ世界のリーダーシップをとるレベルには達していないので、例えばシリコン MEMS を中心にしたLSI との融合が可能なデバイスの開発等に対する今後の支援が重要であると考えられる。(羽根委員)
- ・研究面では世界の第一線に伍すレベルであるが、製品化・実用化の面では米国にリードを許している。現在では、韓国をはじめアジア諸国も国家を挙げての MEMS 実用化の追い上げも急であり、一層の注力が必要である。(藤田委員)

- 2 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

本プロジェクトの成果である光スキャナ、ジャイロデバイス、フローセンサ等の技術を活用し、後継の MEMS プロジェクトが継続し、新たに RF-MEMS、光 MEMS、センサ MEMS の製品開発を目指して、さらに進展した研究開発を継続しており評価できる。

本プロジェクトで蓄積されたデバイスの設計・解析技術が活用され、後継の MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトが継続し、新たに設計・シミュレーションの高機能化、MEMS 開発の効率化を目指して研究開発を継続しており評価できる。

本プロジェクトの成果である高分子膜作製技術は、企業で5年以内の実用化を目指して人工筋肉アクチュエータの開発に活用されており評価できる。さらに、人工筋肉アクチュエータを応用した医療用マイクロポンプや多足ロボット等の開発に活かされており評価できる。

本プロジェクトの成果である除去加工技術は、企業で5年以内の実用化を目指してシリコン貫通孔配線加工の開発に活用されており評価できる。

本プロジェクトの成果である微細加工技術や実装技術は派生技術として、光 MEMS のミラー・スイッチ、高周波 MEMS のフィルタ、貫通配線によるウエハレベル高密度実装パッケージ等の製品化に向け研究開発に活用されており評価できる。

プロジェクトに参加した研究者は、プロジェクト終了後も、10～20%がコアメンバーとして研究開発を継続しており、また30～50%が生産現場等において本プロジェクトで培った技術を活用しており評価できる。

しかし、システム化技術の研究開発では、波及効果の観点から柔軟な運用が行われていれば利用価値の高いより普遍的な知的ストックの取得が可能であった。

< 肯定的意見 >

- ・本プロジェクトに参加した研究者がさらに高度な研究開発を継続し、リーダー的な立場となるものもあり、本プロジェクトの成果から蓄積された知的ストックの蓄積が顕著になされたことがもっとも評価されるべきであると考え。マイクロマシン、マイクロシステムテクノロジー、MEMS 等といった表記の違いはあるが、世界的にも当該分野の研究競争は続いており、本プロジェクトの成果を活かし、例えば画期的な小型ウエラブル関連の新製品を創出する可能性があり、期待できる。(永壽委員)
- ・プロジェクトの実施者が継続して組織的に技術の継承を行っている」と評価する。(菊池座長)
- ・プロジェクト終了後も参加研究者が関連研究に携わっている例が多いことは、関連研究分野は継続されており、本研究の知見が今後の研究活動の中で活かされる可能性があるということである。今後の実用化に期待が持てる。超精密加工機のようにプロジェクトでの知的ストックをフルに活用していること、フォトリソグラフィ結晶ファイバ等の知的ストックを更に改良して製品化したこと等は、プロジェクトが大きな役割を果たした顕著な例であろう。(須藤委員)

- ・プロジェクトで実施した研究開発を継続、発展推進している企業があり、新たな成果を生み出す可能性はある。また、マイクロ流体や MEMS 技術として派生技術の研究開発を行っている企業もある。(阿出川委員)
- ・プロジェクトの成果に基づき、マイクロマシン技術を産業基盤として認知させた意義が大きい。これにより、各企業の研究者が関連の技術を継続的に推進することが可能となった。MEMS 技術を筆頭に、さまざまな新規研究の芽となり、現在に至っている。後継プロジェクトの一つである MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトでは、これまで蓄積されたノウハウや知見を知識データベースとして取りまとめ、容易に利用できるソフトウェアを開発している。(藤田委員)

< 問題点・改善すべき点 >

- ・基盤研究目的からスタートし、途中で目標が実用化本位に急変したが、試作対象となったシステム化 4 課題に直接的に関連する技術が、どこまで知的ストックして有効であるかは疑問の余地がある。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・転職・退職・組織再編に伴う技術の消散に対するリスクも重視する必要がある。(菊池座長)
- ・積極的に特許出願しているが、実用化技術に具体的に結びついた特許がどの程度あるのかは明確にできていない。(須藤委員)
- ・将来にわたって知的ストックを保持することは、いかなる技術分野においても容易なことではない。たとえば、「技術は人についていく」と言われるだけに、継続的に知的ストックを蓄積、発展させるためには、産学官のいずれかの組織に「智のバンク」、具体的には智や様々なスキルを蓄積するだけでなく、人的な交流を展開し、伝承する仕組み、あるいは仕掛けを早急に構築することが必要不可欠である。(新野委員)
- ・本研究開発プロジェクトの期間中に参加メンバーの組織内に蓄積された知的ストックは、組織内における拡散、更に産業界全体への拡散を経て、今後、大きく進展するものと考えられる。一般に技術の拡散には一定の時間を必要とするため、本項目の評価にはもう少し長い目で経過を見る必要がある。(新野委員)
- ・知的ストックを担う人材は所属等を変えて分散しているが、産業製品のマイクロ化は時代の流れと合っており、本プロジェクトで得た知的ストックや経験が活かされ、関連した業務において新たな研究成果を生む源となると考えられる。(羽根委員)

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

本プロジェクトの参加企業の中で、マイクロマシニングや MEMS に特化した開発本部を設けて陣容を備えたり、事業部を立ち上げて関連部門の研究者・技術者を一箇所に集めて集中的な研究ができるような体制にする等、企業戦略の中で重要な位置付としている企業が複数あり評価できる。

本プロジェクトの実施期間中は日本全体の景気が減速している時期に重なっており、企業の研究開発投資が減少している中で、企業内での研究組織縮小が予定されていたが、本プロジェクトの実行のため、研究者のリソースが維持され、プロジェクト終了後は重要性が増してマイクロマシン分野の増強が行われる等、研究開発組織体制が強化された企業が複数あり評価できる。

(財)マイクロマシンセンター内に、高価な研究開発設備や多くの人材を要しなくても、マイクロマシンや MEMS 研究開発が可能なサービスを提供するファンドリ事業が新たに設けられており、これは本プロジェクトの参加企業が中心となって推進しているものであり評価できる。及びマイクロマシン関連企業が集まり、政策提言事業や産業交流・活性化事業を推進する MEMS 協議会を平成 18 年に結成することが予定されており、これは本プロジェクト参加企業が中心となって推進しているものであり評価できる。

電気学会の中に MEMS 技術研究開発の促進や関連研究者の交流強化を目的にセンサ・マイクロマシン部門を、また精密工学会に、マイクロファクトリの研究推進を目的にマイクロ生産機械システム専門委員会、実用化推進を目的に MEMS 商業化技術専門委員会を創設するにあたり、本プロジェクトに関連する大学及び本プロジェクト参加企業が貢献しており評価できる。

高精度な超音波発生デバイスを開発した企業と、それを組み込みシステム化する企業が本プロジェクトに参加したことを契機にパートナーとなり、超音波診断装置の製品化に成功しており評価できる。人工筋肉アクチュエータは、本プロジェクト終了後、その優れたシーズ技術の重要性が認識され、本プロジェクト参加企業が技術戦略としてベンチャー企業を立ち上げており評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・ 電気学会準 E 部門（センサ、マイクロマシン）やフォーラム等プロジェクト終了後も関連する研究開発組織は活発化されている。関連する事業本部が新たに設立される等社内組織規模が拡大している企業もある。（阿出川委員）
- ・ 本プロジェクト参加企業が主体となって構成している（財）マイクロマシンセンターがプロジェクト後も引き続き各社の中心的存在としてプロジェクト提案や MEMS ファンドリ運営母体となる等、研究交流の基盤として活用されていることは高く評価できる。ファンドリ事業はビジネス上の経済性向上のために有効な手段となっている。（永壽委員）
- ・ 本プロジェクト終了後、マイクロマシニング技術や MEMS 技術が一層重要視され、本プ

プロジェクトの方向に沿った組織編成がされている例が見受けられ、本プロジェクトはタイムリーなものであったと考えられる。(永壽委員)

- ・ 長期的継続性を実現している企業が多く、種々の派生技術を経営上の重点事項として涵養しているといえる。本プロジェクト関係者が大学へ転出したことによって、産学の共同研究開発組織の構築に寄与しているといえる。(菊池座長)
- ・ 事後評価の中では必ずしも明示されていないものの、本研究開発プロジェクトは、いずれの参加企業においても程度の差はあるものの、参加企業における新たなコアコンピタンスの獲得から形成、参加企業によってはもともと保有していたコアコンピタンスの更なる強化、展開にそれぞれ大きく貢献したであろうことは間違いない。例えば本プロジェクトの成果である超精密加工技術やナノ加工技術で可能となった非対称球面レンズ金型の作製等がある。(新野委員)
- ・ プロジェクト期間中は日本全体の景気が減速している時期に重なっている。プロジェクトとして予算と期間が保証され、研究に集中できたことは、研究継続とその成果に大きく貢献していると思われる。(須藤委員)
- ・ 本プロジェクトへの関心の高さが、電気学会や精密工学会等の学会やシンポジウムから伺える。実施企業及び関連企業の技術戦略には大きな影響を与えたと考えられる。(羽根委員)
- ・ プロジェクトと直接に関連したところでは、マイクロマシン展を作り大きく育てた点が特筆できる。また、MEMS 協議会の結成等の効果があった。また、間接的ではあるが、電気学会センサ・マイクロマシン部門の創設、精密工学会内の関連委員会の設置、化学とマイクロ・ナノシステム研究会の創設等に好ましい影響があった。企業内でも、MEMS 等の名をつけた事業部等が作られている。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・ 参加企業以外でも積極的に研究開発が行われるようになってきているところもある。(阿出川委員)
- ・ 研究者間の情報交流を含めたネットワーク形成が若干弱いものと評価する。企業間競争が激化する環境の中にあつたとしても、企業を越えた枠組みに基づいて、技術の体系的な連携を強めていく必要がある。(菊池座長)

(3) 人材への影響

本プロジェクト終了後、技術論文は300編以上発表され、海外では、1999年IEEE MEMS Best Paper 賞、2001年IEEE MHS Best Paper 賞、2005年IEEE CPMT Best Paper 賞等11名が受賞しており、国内では、2001年精密工学会技術賞、2001年機械学会技術奨励賞、2003年エレクトロニクス実装学会賞、2005年電気学会論文賞等29名が受賞しており、国内外で第一人者と評価される研究者が生まれており評価できる。また、研究成果をもとに、本プロジェクトに参加した12名の研究者が学位を取得しており評価できる。

さらに、本プロジェクト参加者の中から国際会議の座長を勤める人材が2名、企業で幹部クラスや部長以上に昇進した人材が10名以上等、本プロジェクト参加メンバーの企業内での評価は高まっており評価できる。

本プロジェクト終了後、本プロジェクト参加者の10～20%はコア研究者として同分野の研究開発を継承しており、30～50%は生産現場等で関連技術に携わっており評価できる。

本プロジェクト終了後、企業から大学に転出した研究者が、アクチュエータの基盤研究及び地元企業と協力した応用研究等、学術-産業の橋渡しをして中小企業の人材育成、技術力向上に寄与しており評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・論文発表や博士取得等が活発に行われ、国内外で第一人者と評価される人材が創出し、企業から転出して大学でこの分野の指導的な立場にたっている人も出ている。(阿出川委員)
- ・各社の幹部の輩出、各種学会賞の受賞、大学等への転出等、プロジェクト従事者への評価は高く、本プロジェクトがその後も産業界、学界で主流となっていることを裏付けているものと考えられる。(永壽委員)
- ・人材育成の効果は、質的かつ量的にも大きかったと評価する。(菊池座長)
- ・多くの研究成果が認められることより、一般論からいっても、参加研究員はプロジェクトの研究に従事することで、能力が向上したことが予想できる。研究機関への転出や博士号の取得等多くの事例があることより、本プロジェクトに従事したことにより研究者のレベルが向上し、更に組織間で良好な人的交流があったことが明らかに認められる。(須藤委員)
- ・人材への影響は、短期間に評価できるものではないが、参加メンバーの受賞実績、学位取得者数、大学教員への転任等のデータを見る限り、本研究開発プロジェクトが、人的資源の開発、すなわち組織における新技術の獲得、育成、並びに展開に役割を果たしたと言える。(新野委員)
- ・実施企業において、本研究分野において第一人者と呼ばれる研究者が生まれたと考えられる。優れた論文賞や技術賞が受賞されていることから、人材への影響は大きかった。(羽根委員)
- ・一部の企業ではマイクロマシン関連技術に対する認識が高まり、それに特化した組織の創

設や研究者の増員につながった。(藤田委員)

<その他の意見>

- ・この分野の研究開発を終了した一部の企業では人材が分散してしまったところもあるが、この分野とは違う分野へ転出した人材に関しても、本プロジェクトで培われた人的交流を有効に活用し、他分野で活躍している人もいる。(阿出川委員)
- ・携帯電子機器等の市場が急速に拡大するに伴い、マイクロマシン技術関連分野が広がり、研究員の増員が世界的な動向と考えると、まだまだ不足しているのではないかと思われる。(永壽委員)
- ・大学に転出した研究者も多く、企業経験を活かして実用化に繋がる技術支援や人材育成等で地域振興に貢献している。他方、まだ学界における存在感は希薄な側面も感じられ、今後、学術的な面や国際的にも活躍を期待したい。(藤田委員)

- 3 経済効果

(1) 市場創出への寄与

本プロジェクトの成果は、個別技術により市場創出寄与の程度の差はあるものの直接的、間接的に市場創出に寄与していると評価できる。

生きた細胞の観察が可能で世界最高速の形状測定性能を有する高速共焦点顕微鏡は、世界においてほぼ 100%のシェアを占める新たな市場を創出しており評価できる。

波長 589nm の天文観測用レーザガイドスターや多チャンネル通信用部品として有望視されているフォトニック結晶ファイバは、これまでデンマークとイギリスの 2 社が世界市場を独占していたが、我が国の企業が新たに参入して市場を開拓しており評価できる。

サブミクロン V 溝、角溝や自由形状溝等のナノレベルの加工が可能な超精密加工機は、半導体分野、光エレクトロニクス分野で新しい市場を創出しており評価できる。

複合圧電素子を組み込み高周波域の発信機を搭載した高性能の超音波診断装置は、従来の装置が胃の診断のみに限られていたものを肝臓や脾臓等の周辺臓器の診断も可能とし、新たな市場を創出しており評価できる。

蛍光物質を入れた細胞に光レーザを当て細胞を識別する細胞分離装置は、現在のところ日本国内では米国 2 社がほぼ独占しているが、近い将来新たに我が国の企業が進出することが予定されており評価できる。

従来の装置に比べ軽量で駆動時のエネルギー転換効率がよいため、電動車椅子や床ずれ防止機器等に活用される人工筋肉アクチュエータは、今後新たに市場創出が予定されおり評価できる。

要素技術の活用による製品化は多いが、システム化技術の活用による製品化は、マイクロファクトリ分野のミニ生産システムが社内試験的に使用されていること、CCD マイクロカメラの実用化開発が継続されている程度であり、成果の活用に関する検討も必要である。

本プロジェクトの成果を公開することを主目的に始まったマイクロマシン展は、出展企業数が増加して 250 企業を越える規模となり、需要動向の把握等市場創出の環境作りに寄与している。

< 肯定的意見 >

- ・大規模な新しい市場は創造されていないが、マイクロマシン展への出展企業数の増加傾向が示すごとく、関連する市場の発展拡大には寄与したと考えられる。(阿出川委員)
- ・参加企業の 7 割を超える企業において、新規市場が実現しているということからして、一定の成果があったと評価する。(菊池座長)
- ・本研究開発プロジェクトの成果は、直接的、間接的にプロダクト・イノベーションを駆動するための一定のポテンシャルを有していることは、超精密加工機の実用化やナノ加工に

よる微細溝型加工製品等の商品化の成功事例からも想定できる。(新野委員)

- ・超精密の機械加工分野においては、プロジェクト終了後にプロジェクトの参加企業以外にも超精密加工機が商品化され、マイクロ金型の加工等で活躍している。本プロジェクトにおいて超精密の機械加工における可能性を示し、実証したことは、プロジェクト以前には存在しなかった超精密の機械加工という市場を創造した役割が認められる。(須藤委員)
- ・現存する市場において画期的な新技術開発を実現し、市場におけるシェア拡大にプロジェクトの効果が出ていると言うことはできる。また、人工筋肉アクチュエータ等、今後の高齢化や人口減といった社会状況によっては大きな市場となる可能性を期待できるものもある。(須藤委員)
- ・マイクロマシンが種々の新しい装置に組み込まれた実績から、市場拡大に寄与している。シリコン材料を用いたマイクロマシンでは、自動車用センサ等に欠かせない部品となっており、本プロジェクトの間接効果により、市場は拡大している。(羽根委員)
- ・ナノテクノロジーが注目されるようになり、マイクロマシン技術を応用した顕微鏡等の評価・計測ツールの市場が開けた。またバイオ研究と関連し、DNA やタンパク質の分析等を行うチップが新たな市場として開けつつある。(藤田委員)

< 問題点・改善すべき点 >

- ・部品レベルではかなり浸透しており、大きな市場形成が進んでいるようであるが、製品レベルでは、個別的な域にあるものとみられ、十分な市場を形成するためにはさらに研究開発が必要である。(永壽委員)
- ・基礎基盤研究から急遽実物試作を進めた自律的なマイクロマシンは、現在、直接的に市場の創出に繋がったとは思われない。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・シリコン系やポリマー系等、市場規模の大きいバイオ分野等を中心にして、開発プロジェクトを考える必要がある。(羽根委員)

(2) 経済的インパクト

開発製品の売上金額^{注)}は、2005年度では約50億円と確実な実用化実績を挙げていること、2010年度では開発製品の売上の伸びと今後の予定製品を合わせると、2005年度の4倍の約200億円と大きな伸び率が予想されること等、売上に繋がることは評価できる。

開発製品の分野別の2005年度と2010年度の売上をみると、自動車分野では0.3億円が20億円に、情報・通信分野では3.6億円が66億円に、精密・計測機器、マイクロファクトリ分野では44億円が72億円に、エネルギー分野では0.5億円が21億円に、医療・福祉、生活文化分野では1.7億円が21億円へと広い分野で本プロジェクトの成果を活かして実用化する製品の大幅な販売増加が予測され評価できる。

開発製品のプロジェクト終了後からの累積売上金額は、2006年度には230億円の予測となりプロジェクト費用の約213億円を超え、2010年度には850億円に達する予測であり、派生技術を含めた経済的インパクトは高く評価できる。

注)ヒアリング調査から確認することが出来た数字のみを合計した。

<肯定的意見>

- ・マイクロマシン展への出展社増加傾向が示すごとく、派生技術による経済的インパクトはそこそこのものがあると考えられる。(阿出川委員)
- ・10年間の研究開発に対する裨益の面から見ても良好な結果が報告されている。(菊池座長)
- ・本プロジェクトで開発され、実用化された技術は製品の付加価値を高める効果が顕著であると考えられ、売上げ向上に寄与しているものと推測される。また、本プロジェクトの開発製品の今後の展開として、障害者の身体機能代替、社会復帰への支援機器となることが考えられ、身障者の雇用促進が図られるのではないかと期待される。(永壽委員)
- ・本プロジェクトの成果を活用したマイクロマシンを組み込むことで、付加価値が高まり、システムとして性能向上や売上増加に貢献していると考えられる(超音波診断装置、共焦点顕微鏡装置等)。(羽根委員)
- ・基盤をなす製造技術として、3次元微細加工技術は製品の生産に寄与した。また、MEMSセンサ等を内蔵する製品は、その付加価値により市場での差別化が可能となった。自動車を筆頭に、携帯電話、ハードディスクドライブ、デジタルカメラ等さまざまな製品に組み込まれ、安全性や使用利便性の向上にも貢献している。(藤田委員)

<問題点・改善すべき点>

- ・直接的に生み出された技術や成果の経済的インパクトは、現段階ではそれほど大きいとはいえない。(阿出川委員)

<その他の意見>

- ・MEMS 技術の潜在的市場規模は極めて大きいものと予測されてはいるが、当該プロジェクトの参加企業がどのような拡大をするものかは不明である。しかし、ヒアリング調査のベースに基づく限り、かなり強気の売上伸び率を回答しており、新たな雇用創出、生産波及は期待できる。(菊池座長)
- ・現時点での実用化実績は、超精密の加工や計測が多く、それ以外は、実用化への開発中ということで、成果の全体的な経済への波及効果を計ることは難しい。情報分野や、自動車、生活関連機器への応用が進むことにより、市場の拡大と雇用促進が期待できる。(須藤委員)
- ・量産製品(携帯電話等)へ利用できれば、さらに高い効果が期待できる。(羽根委員)

(3) 産業構造転換・活性化の促進

超精密加工技術は、機械加工技術の極限追究を引き起こし、複雑な曲面形状の表面加工を可能にした超精密加工機の開発に活用されており、金型産業の活性化を促進したことは評価できる。従来、高精度エンコーダは金属部品の研削により製造していたが、超精密金型を使用したプラスチック射出成型で製造できるようになり、高精度エンコーダ製造に生産性、経済性に優れる製造プロセスを可能とし、機械部品産業の活性化に寄与しており評価できる。

X線リソグラフィ加工技術は、高硬度、先鋭先端の製造を可能とし、さらに微細成形体の先端の表面改質と併せ、広域帯化、短パルス化、高変換率等の高性能な超音波複合圧電素子の開発、放射線計測用電極、RFデバイス用電極の開発等に活用され、電子機器産業の活性化に寄与しており評価できる。

人工筋肉アクチュエータは、軽量車椅子、床ずれ防止機器に活用され、実用化開発のベンチャー企業を立ち上げており、高齢者社会となり今後開拓されるべき医療・福祉産業への産業活性化を促進すると想定でき評価できる。

システム設計組立技術はミニ生産システムの開発に活用され、多品種生産、ミニ製品等の分野における効率的な生産システムになる可能性があり、今後精密機器産業の活性化に貢献すると想定でき評価できる。現在は、研削装置等マイクロファクトリの単体開発で省スペース効果、作業環境のシンプル化による効果であるが、近い将来生産システム化が達成されれば、生産プロセスの構造転換等に寄与することが期待できる。

本プロジェクトで蓄積されたマイクロマシン・MEMS設計技術や微細加工技術等の要素技術を活用したファンドリ事業はアイデアの具体化、試作品製造等の段階において効果を発揮し、重装備の研究施設や常時人材を多量に維持しなくても、デバイスの設計・シミュレーション、検証試作、製品開発、量産等のマイクロマシン技術分野の研究開発に参入可能になり、アイデアの早期試作化、製品化問題点の迅速な対応等の研究開発システムや生産システムの構造転換、活性化にインパクト与える可能性は大であり評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・微細加工技術の観点としてはデバイス製作の生産性・経済性の向上に寄与していると考えられる。(阿出川委員)
- ・本プロジェクトでの開発技術は、基盤的なものであり、画期的な製品アイデアがあれば新規参入して市場を確保することが可能と考えられ、産業構造への影響が大きいものと思われる。(永壽委員)
- ・産業構造転換の基軸を担う一分野として位置づけられている。平成12年にまとめられた国家産業技術戦略においてもその実現性は確認されており、MEMS技術に基づく産業の活性化が進行している。本プロジェクトの貢献は大きいと評価する。(菊池座長)
- ・半導体産業が新しい方向の一つとマイクロマシン分野を見るようになり、産業構造の転換

への糸口となる可能性がある。(羽根委員)

- ・ マイクロマシン技術、特に MEMS 技術に立脚する産業が作り出され、発展した。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・ 配管内検査ロボットという限定的な用途であったため、プロジェクトが直接的に産業構造の転換に大きな役割を果たしたとは言えないと考える。(阿出川委員)
- ・ 高付加価値、小型軽量である場合、輸送コストが製品コスト全体に占める割合は少なくなり、検査等の人件費コストが少ない地域に生産拠点を移すこともありうることから、国内労働者の雇用が減少するケースも考えられる。(永壽委員)
- ・ 長期的観点無しに産業構造の転換や活性化の促進のための特効薬的役割を本研究開発プロジェクトが期待されていたとすれば、マイクロマシン技術は研究開発対象として必ずしも適合していない。この分野では、地道な基盤研究成果が 10 年あるいは 20 年後にやっと製品化に活かされるので、長期的視野に立った研究開発が不可欠である。(新野委員)
- ・ マイクロマシンと半導体集積回路の融合に関して、さらに魅力的な応用を提案して行く必要がある。(羽根委員)

- 4 国民生活・社会レベルの向上効果

(1) 情報化社会の推進

本プロジェクトの成果は情報化社会の推進に必要な視覚認識・表示装置や音声変換装置の小型化、高性能化、多機能化を推進するための高機能デバイスの信頼性向上や小型化に貢献しており評価できる。

本プロジェクトの成果である超精密加工技術は、マイクロレンズアレイ、曲面ミラー、フレネルレンズ等の複雑な表面形状金型の加工が可能となり、液晶プロジェクタの高解像度等、情報機器部品の高機能化に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果である線引加工技術は、フォトニック結晶ファイバに活用され従来の光ファイバでは困難であった短波長域での通信を可能にし、波長域の拡大により波長多重配信技術に利用でき情報化社会の高度化に貢献することは評価できる。

本プロジェクトの成果である複合加工・実装技術は、応答速度が速く、小型化、高機能化となる RF スイッチに活用されており移動通信機器等の各種情報機器部品に使用され高度情報化社会の推進に寄与することが期待できる。

本プロジェクトの成果である3次元実装技術は、画像伝送、携帯電話等の CCD マイクロカメラの開発に活用されており携帯電話の小型化、高機能化に寄与することが期待できる。

本プロジェクトの成果である高分子膜作製技術は、大変形能力で高パワー密度の人工筋肉アクチュエータに活用され、携帯電話カメラ用レンズユニットのオートフォーカスとズーム機構や、光スイッチ用フレームアクチュエータ等の製品化が予定されており情報化社会の推進に寄与することが期待できる。

< 肯定的意見 >

- ・ 情報化社会の推進に必要な微細加工技術や種々機器の小型化に関しては関連する技術は大いに貢献していると言える。(阿出川委員)
- ・ いくつかの技術の実用化が実現しているので今後も期待できるだろう。(菊池座長)
- ・ 超精密加工や、MEMS 技術による部品加工は情報関連及びセンサ類の部品加工技術として大きく貢献している。さらに今後、マイクロな各種アクチュエータが光等の通信関連機器の高速スイッチング等で技術的に大いに寄与できる可能性がある。(須藤委員)
- ・ フォトニック結晶デバイス、RF デバイス、光多重減衰伝送技術等、情報化社会の推進に直接的、間接的に貢献可能とされる研究成果が得られている。(新野委員)
- ・ 間接的な効果であるが、情報化社会において、光マイクロマシンや RF-マイクロマシン、センサネットワーク等が、たいへん有用な技術であることを示すことができた。今後の発展が期待できる。(羽根委員)
- ・ MEMS センサにより外界の情報をきめ細かく取得し、それに基づく高度の制御を行うシステムが、家電製品の情報化に役立ち、将来はロボットへの応用も期待できる。ディスプレ

イの輝度・精細度向上、大型化においても利用されている。また、携帯電話のインターフェース等のユビキタス情報社会へ向けての機能向上に貢献した。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・情報化社会のキーワードであるユビキタス、ウェアラブル等は、本プロジェクトとマッチするものであり、情報化社会で要求されるハードウェアの側面を担っている。現在ある程度はその期待に応えているものの、本プロジェクト成果や派生技術の活用により一層の開発を促進することが必要と考える。(永壽委員)
- ・情報化社会は予想以上の速度で進んでおり新たなハードウェアソフトウェアの上市が渴望されているが、携帯用のエネルギー源や視覚インターフェースはまだ性能が不十分であり、本プロジェクト成果を活かした、より迅速に技術開発を行って競争力を向上させることが必要である。(永壽委員)
- ・最終ユーザーのニーズ、例えば、高齢者の補聴器等にこれらの技術がどのように貢献するのかというような展開が見られない。より一層、ユーザー・フレンドリーな実用化の方向性を目指す必要がある。(菊池座長)
- ・国が推進すべきものと、民間で進めるものを分類し、展開すべきである。(羽根委員)

(2) 安全、安心、生活の質

本プロジェクトの成果である深掘加工技術は、自己診断機能を有した高性能加速度センサに活用され、自動車のエアバッグやABS制御に適用され、安全面の信頼性を向上させており評価できる。

本プロジェクトの成果であるX線リソグラフィ加工技術は、高精度化した超音波診断装置に活用され、胃の周辺臓器である肝臓や脾臓の診断が可能となり異常個所の早期発見に繋がって評価できる。

本プロジェクトの成果である複合加工技術は、外径が3~5mmの細い形状記憶合金医療用カテーテルに活用され、気管支抹消部の狭いところまで届くこと、首振角度の拡大により観察範囲が広がること等の機能向上と患者の負荷低減をもたらして評価できる。

本プロジェクトの成果であるマイクロチップ技術・マイクロ実装技術は、脳腫瘍治療用レーザーカテーテルの実用化開発に活用されており、短波長レーザーで悪性腫瘍の完全除去を可能とし、5年生存率を20%から40%に引き上げることが期待できる。この技術は安心、かつ質の高い医療を提供できる医療技術として評価できる。

本プロジェクトの成果である薄膜技術は、超小型で冷却装置を必要とせずメンテナンスフリーな高性能非冷却赤外センサに活用され、住宅の防犯設備等に利用され生活の安全向上に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果である高分子膜作製技術は、軽量で駆動時のエネルギー転換効率が高い人工筋肉アクチュエータに活用され軽量車椅子、老人の直立支援装置や床ずれ防止機器への実用化開発が進められており評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・派生技術として開発されている非冷却赤外線カメラは国民の安全安心向上に寄与している。また、一般的に関連する技術はセンサをはじめとするデバイス・機器の小型化開発に効果があり、間接的に安全安心生活の質の向上に寄与している。(阿出川委員)
- ・各種センサ類の開発により、例えば加速度センサによる自動車のエアバッグシステムやABS等の安全面での貢献は大きい。また、医療応用での診断治療機器の実現も重要な成果であるものと評価できる。(永壽委員)
- ・超音波診断装置、形状記憶合金カテーテル、人工筋肉アクチュエータ等は国民の安全・安心の向上に貢献するといえる。(菊池座長)
- ・人体に負荷をかけない微小な医療器具は本プロジェクトの当初からの研究目的の一つであった。形状記憶合金を使用した医療用カテーテルの商品化や、レーザーカテーテルの実用化は、今後患者への負担を軽減し、且つ質の高い医療を提供することを可能にする。間接的には、情報機器や自動車や家電等の生活関連機器の機能向上による生活の質の向上が期待できる。(須藤委員)

- ・本研究開発プロジェクトの要素技術であるマイクロ・ナノ技術を用いて開発されたセンサやアクチュエータ等の機能要素は、今後、派生技術を応用することにより、高性能デバイスの製品化により、たとえば知能ロボットによる福祉支援の実現等の有用な波及効果が期待できる。(新野委員)
- ・間接的な成果であるが、自動車のエアバッグセンサのほとんどがマイクロマシン技術でできており、安全のためのセンサとして、寄与は極めて大きい。(羽根委員)
- ・MEMS センサにより外界の情報をきめ細かく取得し、それに基づく高度の制御を行うシステムが、自動車の安全性向上に役立った。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・想定システムとした発電プラントのメンテナンスシステムが開発されれば、もっと直接的な貢献は可能と考えられるが、技術的等の難易度から直ぐには実現できないと考える。(阿出川委員)
- ・特殊環境(発電プラント等)の安全対策には費用がかかっても特殊技術を開発して対応すればよい。量産の効果が有効なマイクロマシンは、広範な応用のある分野を目指すべきである。(羽根委員)
- ・無線ネットワーク通信技術と MEMS 技術を融合すれば、広範囲の安全や環境の監視、高齢者の在宅健康管理等に幅広い展開が望めるので、このような分野に対する財政的援助が望まれる。(藤田委員)

(3) エネルギー問題、環境問題への影響

マイクロマシン技術はデバイス・機器の小型化により、エネルギー問題、環境問題の解決に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果である薄膜製造技術は、高温燃焼可能な高効率ガスタービンを開発・実用化するためのタービン静翼温度測定用薄膜温度センサに活用され、省エネルギー、CO₂削減に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果である薄膜評価技術は、従来に比べ感度が約10倍の高精度な測定が可能な家庭用燃料電池フローセンサに活用され、省エネルギー化、CO₂削減へ貢献しており評価できる。

本プロジェクトの成果である深堀加工技術は、燃焼空気の高精度流量制御が可能な自動車の燃料噴射フローセンサに活用され、自動車の燃費向上による省エネルギー化、環境負荷低減に貢献しており評価できる。

本プロジェクトの成果である高分子膜作製技術は、出力密度が1W/gで人間の筋肉の約5倍、現在製造可能なサーボモータの約10倍以上という高エネルギー転換率を特徴とする人工筋肉アクチュエータに活用され、電動車椅子等の福祉機器の省エネルギー効果が期待され評価できる。

本プロジェクトの成果であるシステム設計組立技術は、消費電力が従来と比較して約1/5のミニ生産システムの一部である円筒研削装置に活用され評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・一般的に関連する技術はデバイス・機器の小型化に有効であり、省エネを含むエネルギー問題、環境問題の解決に間接的には寄与している。(阿出川委員)
- ・自動車用デバイス等の省エネルギー、省スペース、省廃棄物化に寄与している。(菊池座長)
- ・プロジェクトの成果である各種センサやアクチュエータは、既に燃料電池や自動車の部品として使用され、省エネルギー化、CO₂削減に貢献している。今後燃料電池が一般に普及するにつれ、省エネルギーへの貢献度は益々高くなっていくことが予想される。(須藤委員)
- ・本研究開発プロジェクトの開始時点において、環境問題が喧伝され始めたという社会的情勢もあり、当初よりエネルギー問題や環境問題への影響や効果を常に意識してプロジェクトが進められていたという印象を受ける。マイクロファクトリのようなコンパクト構造の開発による環境負荷の低減や省エネルギーが例として挙げられる。(新野委員)
- ・自動車の燃料センサのように、小型センサの導入により、燃費の改善が有効に行えるので効果は非常に大きい。(羽根委員)
- ・燃料電池等へマイクロマシン技術が貢献できれば、エネルギー問題の解決に直接的に効果がある。(羽根委員)

- ・自動車、家電製品等で MEMS センサの計測値にもとづく高度の制御を行うことで、省エネルギーに貢献している。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・想定システムとした発電プラントのメンテナンスシステムが開発されれば、もっと直接的な貢献は可能と考えられるが、技術的等の難易度から実現にはさらなる時間を要すると考える。(阿出川委員)
- ・精密デバイスの製造には恒温・クリーンな環境が必須であるが、その施設コストはかなり高い。マイクロファクトリ技術によれば大きな改善が図られるので、本プロジェクトの成果を活かして研削セル等のマイクロファクトリが前進したことは評価できるが、ようやくその概念が世の中に受け入れられ、製品化が進みはじめたところであり、もっと実用化開発を促進すべきである。(永壽委員)
- ・マイクロファクトリは実用として使用されるまでには、精度や生産性等まだ課題があると思われ、生産システムとしての要件を満たしているのか検討の余地がある。(藤田委員)

- 5 政策へのフィードバック効果

(1) その後の事業等への影響

本プロジェクトの成果である薄膜評価技術は後継の国家プロジェクトである MEMS プロジェクトに引き継がれ、RF-デバイスのさらに発展した実用化開発が行われており評価できる。また、本プロジェクトで培った MEMS 設計技術は後継の国家プロジェクトである MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトに引き継がれ、産学官の連携を一層強化し、さらに機能の高度化、MEMS 開発の効率化による新製品開発の促進に寄与する研究開発が行われており評価できる。

本プロジェクトの成果を引き継ぎ、さらに強化するため、(独)産業技術総合研究所において研究グループ等の再編を行い、本プロジェクトの成果である評価技術や微細加工技術は、マイクロ実装研究グループに引き継がれ、さらに発展したスキャンミラーデバイス、流体デバイスである粘性バルブポンプ等の研究開発が行われており評価できる。本プロジェクトの成果である評価技術や生産機械のダウンサイジング技術は、ファインファクトリ研究グループに引き継がれ、マイクロ形状測定装置、マイクロミリングマシン、NC マイクロ旋盤等、さらに進んだ精密計測技術やマイクロファクトリ技術の研究開発及び普及を推進しており評価できる。また、機能材料・ナノ材料を実用的なデバイスに繋げる集積技術である薄膜・厚膜技術の研究開発を推進する集積加工研究グループが新たに結成され、本プロジェクトで培った複合加工技術をさらに発展させ、ナノ加工技術の研究開発を行っており評価できる。また、マイクロ実装研究グループでは、本プロジェクトの参加メンバーが中心となり、MEMS の試作支援、ファンドリ機能を持たせて産業を支援する MEMS ビジネスセンターを運営し、高価な研究開発設備を持たない中小企業等の事業創出を支援しており評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・その後 1 年間のブランクはあったが、MEMS 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等のその後の研究開発プロジェクトのテーマ設定や、体制構築に反映されている。(阿出川委員)
- ・マイクロマシンプロジェクトからその後継である MEMS 関連プロジェクトに至る過程で、その時期々々において、反映がされているものと思われる。(永壽委員)
- ・MEMS プロジェクトの一環として産業技術のインキュベーションが実現している。(菊池座長)
- ・当該プロジェクト終了後、実際にいくつかの MEMS 関連プロジェクトやファンドリ事業育成施策が推進されたと報告されていることから、本研究開発プロジェクトが、その後、政策への何らかのフィードバック効果をもたらしたことは考えられる。(新野委員)
- ・ファンドリ等の展開により、マイクロマシンの試作が容易になり、関連技術の普及に効果があった。(羽根委員)

- ・ マイクロ加工に関する要素技術の重要性がプロジェクトの遂行に伴ってますます認識されるようになった。特に MEMS 技術の重要性が浮き彫りになり、その後一連の MEMS 関連研究開発プロジェクトの立案と、実施に繋がった。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・ 技術のロードマップのみならず、体系的な技術関連マップに基づく政策展開が必要と考える。(菊池座長)
- ・ 本プロジェクト後、市場の要求と、プロジェクト研究成果の一部であった MEMS 関連技術を活かす方向で、後継技術分野に MEMS を選択し、国家プロジェクトも開始されている。(須藤委員)

(2) 産業戦略等への影響

本プロジェクトの成果を活用して小型精密電子部品の製造技術を確立することによって、機能の高度化、信頼性向上、省エネルギー・環境付加低減に対応できる製品の開発が可能となり、国際競争力の強化、環境対策や高齢者福祉対策へ寄与し評価できる。

本プロジェクトの成果である微細加工技術等の要素技術が活かされるファンドリ事業の強化が図られ、研究開発の裾野の拡大や研究開発成果の量産化が促進される基盤を充実させたことは、従来、研究開発設備をもたず経験の浅い多様な企業が、マイクロマシンや MEMS 技術の研究開発に参加することを可能とし、産業の活性化に繋がる仕組みを構築することに寄与していること、また、(独)産業技術総合研究所がつくばにファンドリ事業を開設して、産-官-学の橋渡しの役割を担うことは、国内のマイクロマシン技術強化に寄与しており評価できる。

本プロジェクトの成果によって CCD 画像センサ、振動センサ、触覚センサ、人工筋肉アクチュエータ、静電アクチュエータ等の開発が可能となり、それらセンサやアクチュエータを内蔵するような多機能デバイスが発展すれば、視覚認識と動作、音声認識と動作、触覚認識と動作が結びつき人型ロボットの開発が躍進し、介護ロボット等のロボット分野が拡大して、高齢者等を対象とした福祉産業の育成に寄与することから評価できる。

MEMS の名を冠した事業部等を設けたり、マイクロマシン関連部署の拡大、研究開発予算の増加等、MEMS やマイクロマシン事業を強化した企業が約 11 社あり、製品の高機能化や高品質化等で国際競争力の向上に繋がり評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・派生する MEMS 技術は、IP (Intellectual Property:知的財産) 依存型の技術分野であり、ものづくり日本再生に不可欠な技術として、ナノテク技術のトップダウンプロセスへの展開も可能であり産業戦略へ影響を及ぼしている。(阿出川委員)
- ・本プロジェクトの成果である微細加工技術等の要素技術は、MEMS プロジェクトやマイクロ分析・生産システムプロジェクト等の研究開発プロジェクトに影響を与えていること、さらに(独)産業技術総合研究所で進めている、新しい化学反応場としてのマイクロ空間で反応を促進する触媒反応リアクターや酵素を担持した生化学反应用リアクター及び高温高圧マイクロリアクター・マイクロ熱交換器等の研究開発の加速にも影響を与えている。(永壽委員)
- ・研究開発に接続したファンドリ事業が組み込まれ、研究開発成果が、いわゆる、死の谷に陥るのを防ぐためのスキームが実施されている。(菊池座長)
- ・本研究開発プロジェクトが、その後の国内の MEMS 関連プロジェクトの基盤形成に寄与したことは明らかであるが、それ以外にも、地域新生コンソーシアム研究開発事業やマイクロ分析・生産システムプロジェクト等の研究開発プロジェクトが推進されており、国内

及び海外の産業戦略に影響を与えたといえる。(新野委員)

- ・ マイクロマシン技術が半導体集積システムの多様化に影響を与え、バイオ、医用、通信、携帯デバイス等の新しい展開に、少なからず影響を与えている。(羽根委員)
- ・ 本プロジェクトの終了後、現在では、MEMSの名を関した事業部等をもつ企業がある等、基盤・戦略技術として注目され、位置づけられるようになっている。(藤田委員)

<その他の意見>

- ・ マイクロマシン技術もなお発展途中の技術であるので、日本の基幹産業と組み合わせて進展させてゆく必要がある。(羽根委員)

現在の視点からのプロジェクトの評価

- 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、新しい分野であるが故に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、国が着手したことは妥当であったと評価できる。

10年にわたって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たことは、長期視野にたつて進めた国家プロジェクトとして、妥当と考えられる。さらには、その後の後継プロジェクトの支援を得て、MEMS技術が大きく進展し、新しい産業基盤の提供と実績を挙げていることは、本プロジェクトが起因しており、国として牽引したことは評価できる。

本プロジェクトの成果が、人工筋肉アクチュエータを応用した床ずれ防止装置等の費用対効果では実用化し難い医療用、福祉用機器の開発に活用されており評価できる。

マイクロマシン技術開発の重要性は、世界的に認識されており、日本が1991年に本プロジェクトを開始した後、1992年には米国及び欧州が国家プロジェクトとして立ち上げており、重要性や研究開発の規模的からみて国家プロジェクトとして進めたことは妥当であり評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・開発当時方向性が見えなかったこの分野の早期立ち上げには、世界各国で国家プロジェクトとして取り上げる必要があり、先進国として日本も国家プロジェクトとして取り上げる必要があったと考える。(阿出川委員)
- ・プロジェクト開始当初は、材料や加工技術等の様々な基盤技術が未整備であったが、長期間にわたり研究開発を継続でき、先行的な製品、デバイスのみならず製品化を実現したこと、当時から国が関与してきたことが人材育成も含めて、当初想定していなかった製品化へプロジェクトの成果が活かされる等、様々な波及効果を生じていること等先見の明があったと評価する。(永壽委員)
- ・マイクロマシンという造語の下に、技術的可能性を実現したプロジェクトであり、これからの産業構造基盤を支える使命(ミッション)がある。この面から判断して、国家プロジェクトとして妥当なものであったと評価する。(菊池座長)
- ・日本の得意分野である微細部品やその集合体である機器類、また、その応用技術をいち早く発展させ、その市場で世界をリードするという目標を実現することは企業レベルでは困難であり、国家プロジェクトとして行う意義があった。(須藤委員)
- ・プロジェクト発足時点の社会情勢の中で、それまで漠然とした概念でしかなかったマイク

ロマシン像とその関連技術、企業群を集約し、ひとつの方向性を明確に提示した意義は大きいと考える。もし、国が関与しなければ、リスクをとりたがらない産業界をひとつに纏め上げることはできなかつたであろうし、現在の MEMS 技術の顕著な進展も無かつたかも知れない。(新野委員)

- ・直接の参加企業数は限られており、成果も限定されるが、本分野の波及効果と時代の流れからの重要性はますます高まっており、時流の立ち上げ期に必要な重要プロジェクトであったと考えられる(羽根委員)
- ・プロジェクト終了後も、マイクロマシンの分野は大いに拡大し、新しい産業へ発展しているので、総合的には有意義なプロジェクトであったと考えられる。(羽根委員)
- ・国の支援によりマイクロマシン技術が注目され始めた時期から 10 年の長期に渡って、基盤技術を研究し、技術分野を確立することで、本分野を広く認知させることが可能となった。特に MEMS 技術は、その後の後継プロジェクトの支援を得て、大きく進展し、新しい産業基盤を提供するとともに、既に幾つかの製品も生み出している。(藤田委員)

< その他の意見 >

- ・画期的な要素技術が開発され、それぞれ、各企業の得意とする分野で実用化されている。景気が減速方向にある時期に、国のプロジェクトとして研究費用と期間が保証され、研究に集中できたことが研究成果に大きく貢献していることは確かであろう。(須藤委員)

- 2 プロジェクト設定等の妥当性

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高い目標を掲げたことは、高度な微細加工技術や実装技術等の要素技術を確立し、産業基盤技術として小型高機能非冷却赤外センサ、高精度 MEMS ミラー等のデバイスや世界でほぼ 100%のシェアを占める最高レベルの高速共焦点顕微鏡、世界トップレベルのフォトニクス結晶ファイバ、ナノ加工に挑戦する超精密加工機、人工筋肉アクチュエータ、シリコン貫通孔配線加工等の実用化に寄与していることから、目標設定は妥当と評価できる。

要素技術の研究開発は、企業等の実施団体ごとに具体的なテーマを持ち帰って行う分散研究方式で行ったため、各企業の得意な分野を中心に、熟知している自社の装置・インフラを使用できたこと、機密漏洩等の心配をせずに全力を集中できたこと、また、実用化開発段階でも、単独企業のため専門性を発揮しやすく、IC 検査用コンタクトプローブ、家庭用燃料電池フローセンサ、薄膜温度センサ等を早期に実現できたことから、実施体制は妥当であったと評価できる。

MEMS、マイクロマシン技術の揺籃期において、本プロジェクトを通じて迅速にかつ長期にマイクロマシン技術を支援した結果、深堀加工、複合加工や X 線リソグラフィ等のマイクロ加工技術は、全般的な基盤技術として高度化・発展することによって、高性能加速度センサ等多様なデバイスの実用化に活用されたことから設定の時期は妥当であった。

しかし、設定されたシステム化技術の開発を展開するのは困難を伴った。高度な技術レベルの追求のみに留まらず、研究開発の進展に応じて目標設定や新たな要素技術にも対応した成果予測の見直しによる柔軟なプロジェクト運営により、発展が確信できる要素技術への注力も望まれた。

< 肯定的意見 >

- ・グループごとに大きな研究目標を掲げたが、実際には企業等の実施団体ごとに具体的なテーマを持ち研究がおこなわれたため、要素技術として、大きな成果を上げた。また、実用化に対しても、多くは企業単体のため専門性を発揮しやすく、推進に大きく貢献している。
(須藤委員)
- ・マイクロマシン分野におけるプロジェクト設定は、新分野の開拓、世界的な技術の発展の状況から考えて、妥当であった。(羽根委員)
- ・MEMS、マイクロマシン技術の揺籃期より、早手回しにかつ息長く技術を支援した点で、設定の時期は極めて妥当であった。マイクロ加工が全般的な基盤技術として、発展することに効果があった。(藤田委員)

< 問題点・改善すべき点 >

- ・欧米との差を出すため、マイクロマシンとしての概念を打ち出したのは評価できると考えるが、限定された用途を目的としたため、目標設定に汎用性を欠いていた。(阿出川委員)

- ・ 限定された用途を目標とし、またデモシステムの作製に関して柔軟に対応できなかったことは効率的な研究開発を阻害したと言える。(阿出川委員)
- ・ マイクロマシン技術というどちらかといえば機械加工的な技術は、当時から発展しつつあったシリコンベーステクノロジーやナノテクノロジーの流れから、ようやく本来のポジションが明確になってきたものと思うが、第2期において具体的なシステム化にシフトしたことは時期尚早と思われ、他のテクノロジーとマイクロマシン技術との融合を図る基盤要素技術の開発をさらに進めるべきではなかったかと考える。(永壽委員)
- ・ 研究開発プロジェクト全体を見ると、何よりも一般にイメージが先行した「マイクロマシン」という用語に囚われすぎた印象を受ける。そのため、マイクロの概念を狭義にしかとらえることのできなかったのではないかという疑問もある。(新野委員)
- ・ 企業単体毎のテーマ設定という性質上、第2期のシステム化としての応用技術に関しては、共同の研究成果を出し難い構成であったとも言える。(須藤委員)
- ・ 設定目標が直接には実現していない部分もあるので、世界の時流を十分に見極め、方向修正が必要なときは、速やかに実施することも必要であったと考える。(羽根委員)
- ・ 初期目標設定にとらわれ過ぎずに、ひろく世界の流れを捕らえておれば、現状よりさらに大きな成果になった可能性があると考えられる部分も見られる。(羽根委員)
- ・ システム4課題は、試作機を何とか実現することにかかなりの努力をかたむけたが、短期間で完成度の高いシステムを組み上げることに無理があった。また、MEMS技術の重要性は、10年のプロジェクト遂行期間に判明しており、その時点において、加工要素技術とMEMS技術へ注力し、その方向を積極的に追加する等の技術革新促進と競争力強化という根源に返って柔軟なプロジェクトの運営が望ましかった。また、実施に当たってもプロジェクト全体の求心力を高め、技術間のシナジーにより実用化を追求する運営が望まれた。(藤田委員)

- 3 上記 - 1 ~ - 2 の評価結果を踏まえたプロジェクト終了時の事後評価の妥当性

事後評価では、本プロジェクトの技術段階は、萌芽的であり、技術の総合的体系化については時期尚早であるが要素技術については高く評価できるとされており、本プロジェクトの成果として実用化に至っている技術が要素技術を抛り所に行っていることをみると、この評価は妥当である。

また提言として MEMS 技術を重視すべきこと、企業の持ち帰り型技術開発だけではなく大学や国立研究所（当時）との積極的な連携が必要であること、新しい展開を図るため国の適切な研究開発投資が必要であること、プロジェクトリーダーによる積極的なイニシアティブを期待する等が指摘されたが、本プロジェクト終了後、MEMS 技術を重視する方向へ実用化開発を促進する後継プロジェクトがスタートしたこと、本プロジェクトで蓄積した設計シミュレーション技術を充実、発展させるため、13 の大学、独立行政法人研究所（旧国立研究所）及び企業との産官学の連携を強化した MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトが後継プロジェクトとして立ち上がり、リーダーシップを発揮するプロジェクトリーダーを立てて運営していること等、事後評価の提言が実行されたことからみても、事後評価は妥当と評価できる。

なお、事後評価時点で、第 2 期の成果を活かすための具体的な方策等の提言が必要ではなかったかと思われる。

< 肯定的意見 >

- ・事後評価では、当該技術分野の段階は、萌芽的であり、総合化体系化については時期尚早であるが要素技術としては高く評価できるとしている。また、Si ベース MEMS 技術の関与も重要としている。現状でも、その方向で研究開発が進められており、評価はおおむね妥当であった。（永壽委員）
- ・本プロジェクトの長所・短所が明確に指摘されており妥当な事後評価が行われていると考える。（菊池座長）
- ・プロジェクトの意義とテーマ設定や研究成果に対する評価は、期間中の社会情勢の変化等も考慮して行われており、適切と思われる。（須藤委員）
- ・事後評価の結果は、極めて妥当であり、MEMS 技術の重視等、事後評価後の施策に反映されて効果を挙げている。大学や国立研究所（当時）との連携についても、現在及び今後のプロジェクト体制に反映されている。（藤田委員）

< 問題点・改善すべき点 >

- ・ものづくりを重点に置いたとする第 2 期のシステム化技術において超精密機械加工技術のように産業に直接貢献する新しい工作機械の開発に関する成果が得られている。しかし、当時、半導体製造プロセスにおける技術進展から超微細加工の主流と位置づけられていたプロセス技術において、「我が国独自の新機軸の加工装置」の成果が主要成果として報告さ

れていないことが残念である。(新野委員)

<その他の意見>

- ・第2期で得られた研究成果の多くが要素技術であったとする事後評価の結果は、プロジェクトの性格から理解できるものの、システム化技術の出口イメージとされる研究成果が、相互に関連性が希薄な要素技術であり、そのことが全体として総花的なプロジェクトであるような印象を与えている。また、最終的に研究成果として提示されている様々なマイクロ・ナノ加工を積極的に前面に出して要素プロジェクトを推進する方法の視点からの評価がなされても良かったのではないか。(新野委員)
- ・持ち帰り型研究体制による成果の限界に言及されている。この方式では要素技術の研究成果は出やすいが、体系化やシステム化は難しいという指摘は、今後の研究開発を進める上で重要と考える。(須藤委員)

- 4 プロジェクト終了後のフォローアップ方法

本プロジェクトに対する国の関与した後継プロジェクトとして、MEMS プロジェクトと MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトが実施された。本プロジェクトで開発された光スキャナ、ジャイロ等のセンサ類や静電アクチュエータ、電磁アクチュエータ等のアクチュエータ類の要素技術を引き継いで、今後用途が広がる高機能 RF スイッチ、光可動ミラー、超小型 MEMS センサの実用化開発を促進する MEMS プロジェクトはフォローアップとして評価できる。また、本プロジェクトで培った MEMS 設計技術を引き継ぎ、さらに機能の高度化、MEMS 開発の効率化による新製品開発の促進に寄与する MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトは、産官学の連携のもと進められておりフォローアップとして評価できる。

日本が提案した国際標準化への対応は、本プロジェクト終了後も継続しており、MEMS 専門用語 (IEC 62047-1) は 2005 年 9 月に発行された。半導体加速度センサは最終国際規格案 (FDIS) の投票が 2006 年 4 月に予定されており、国際規格としての発行は 6 月頃の予定である。また MEMS 用薄膜材料の引張試験法及び MEMS 用薄膜材料の引張試験用標準試験片は最終国際規格案の投票が 2006 年 6 月に予定されており、国際規格としての発行は 7 月頃の予定であり着実に前進していることは、フォローアップとして評価できる。

本プロジェクトで蓄積された、マイクロマシン・MEMS の設計技術、微細加工技術等の要素技術を活かしたファンドリ事業は、民間においては、(財)マイクロマシンセンターが中心となり、本プロジェクト参加企業を含む 10 社が参加し、設計、試作、研究開発、量産技術検討等が産業活性化に寄与していること、また、(独)産業技術総合研究所においても、本プロジェクト実施者を中心にファンドリ事業を開始して、産-官-学の研究開発、実用化開発に寄与していることは、フォローアップとして評価できる。

本プロジェクトの成果を公開することを主目的に始まったマイクロマシン展は、本プロジェクト終了後も、超精密加工技術、X 線リソグラフィ加工技術、シリコン貫通孔配線加工、人工筋肉アクチュエータ等、プロジェクト終了後の本プロジェクト成果を活かした製品の PR を継続しており、本プロジェクトの実用化技術普及のための情報開示・交換の場として年々規模が拡大しておりフォローアップとして評価できる。

< 肯定的意見 >

- ・プロジェクト後も、マイクロマシンセンターを中心に新たな展開を図ってきており、予算的バックアップもなされており評価される。さらに、実用化的開発のみならず基礎的な研究開発にも注力すべきと考える。(永壽委員)
- ・国プロの場合、事業化に対する直接のフォローはプロジェクト終了後無いことが多いが、本プロジェクトの場合、後継テーマに MEMS を選択した後、マイクロマシンセンターの

ファンドリサービス事業につながっていることはフォローアップの一つといえる。(須藤委員)

- ・マイクロマシンの製造技術として、超精密加工技術と MEMS 技術があるが、それぞれはまったく異なるアプローチである。本プロジェクト終了後、MEMS は次期国家プロジェクトの一つとして選択され、後継プロジェクトが実施されている。超精密加工技術については企業による研究開発が継続されて商品化が進んでおり、市場に浸透しつつある。実際にはこれら 2 つの技術が今後相互補間することにより、より高いレベルの製造技術を実現し、日本の国際競争力に貢献するものと思われる。(須藤委員)
- ・産業化のためのファンドリ支援や技術の普及のためのマイクロマシン展等はフォローアップとして有効であった。(羽根委員)

< 問題点・改善すべき点 >

- ・事後評価において指摘された多くの課題に対して、その後、どのような政策的対応がなされたのかは不明である。プロジェクトのフォローアップにおいては、事後評価、さらには、追跡評価において指摘された諸点を政策に反映させるという姿勢が大切である。(菊池座長)
 - ・事後評価で行われた提言は、以下の項目の実現に集約される。
 - マイクロマシン工学としての確立
 - プロジェクトの経験に基づく新たな産学官連携プロジェクトの策定
 - 「萌芽研究、研究開発、実用化、更なる研究開発」からなる循環の構築
 - 強力なリーダーのイニシアティブによるプロジェクト推進
 - 要素技術の統合
- しかし、これら事後評価における提言に対して、その後、、、 に関しては実行策について検討された形跡が乏しく、評価結果が次のアクションに繋がっているとは言いがたいところもある。(新野委員)
- ・事後評価の提言に基づいて策定されたとされている MEMS 関連プロジェクトやファンドリ事業は、フォローアップの一環と位置づけられるが、最重要課題と言える「本研究開発プロジェクトで得られた要素技術の統合」を目的とした戦略的プロジェクトと読みかえることには少々無理があるように感じる。(新野委員)

< その他の意見 >

- ・マイクロマシン研究開発プロジェクトの最終目標は、「我が国の基盤技術とすべくマイクロマシン技術の確立とそれによる国際競争力の強化」に集約できる。プロジェクトでは、新産業の創出や発展が期待されたものの、現時点では要素技術の成果が主体であり、日本の産業基盤を支える柱の構築までにはまだ至っていない。今後、これまでに創出されたナノ加工技術等の要素技術の深化と要素技術同士の統合により、新たなコア技術の確立を目指したプロジェクトの策定が望まれる。(新野委員)

- ・プロジェクトの直接参加者が、新たな産業創出を担うことが理想であるので、そのための資金やMEMSを中心とした研究機関の充実等環境の整備が必要と考えられる。(羽根委員)

経済産業省が今後実施する研究開発プロジェクトへの提言等

1. 本プロジェクトの成果を引き継ぎ、実用化開発を促進する後継プロジェクトは立ち上がっているが、今後は、本プロジェクトで獲得したマイクロマシン技術やMEMS技術をナノ技術と融合させることにより、超小型通信・情報機器や再生医療に不可欠な人工臓器等の次世代産業に活用できる基礎・基盤のナノフュージョン製造技術を対象としたプロジェクトの立案が必要と考える。
2. 現在は、MEMS技術や微細加工技術が充実し、それらを統合、体系化することにより、総合的なマイクロ・ナノ加工技術を得るための機が熟している。自在な3次元マイクロ加工、多機能を集積化したマイクロシステム製造、等を目指した新たな研究開発プロジェクトを始動すべきである。
3. 現在の経済産業省の研究開発プロジェクトは短期間で実用化が期待されるテーマに重点が置かれ、助成制度が多くなっている。しかし、長期的視野からみて将来の新しい産業創生に役立ち、リスクが大きく、長期間と多くの資金を要し、企業だけでは実行困難な基礎・基盤研究テーマこそ国家プロジェクトとして立ち上げるべきである。
4. 国家プロジェクトとして、国際的にみて我が国の弱い技術を強化するための施策として設定することも是であるが、我が国の強い技術を一層強化することにより、国際的優位性を十分に確保して揺るぎない地位を確立することも不可欠である。本プロジェクトで成果を挙げた超精密機械加工等、我が国の得意分野をさらに伸ばし、新たな産業創出に寄与するための長期展望をもった研究開発プロジェクトの立案を提言する。
5. プロジェクトの運営方法として、プロジェクトリーダー等のプロセス管理者が環境変化等を判断し、柔軟に運用できる仕組みを構築すること、研究者とは別に技術評価支援チームを新設し、プロジェクトの欠落技術、空白技術を推論し分析すること、産官学連携をさらに強固なものとし、組織的重層化を図ることが必要であり、また、プロジェクト実施中、内部において中間成果を次ステップのリソースに反映する等の競争的な運営や、プロジェクト参加者が試作を持ち寄り、効果や適用性を評価して実用化開発に活用するフィージビリティスタディのための試行錯誤を行う環境場を創設することを提言する。

< 意見 >

- ・現在の経済産業省の研究開発プロジェクトは実用化に重点が置かれ、委託より補助が多くなっていることは問題と考える。実用化が見えているものは、本来は企業独自で実施しようと思えば実施できるものである。リスクがあり企業だけではできないテーマこそ国が支援すべきである。そのようなテーマに関しては企業自身の予算

の投入が困難であるため、国として将来産業創生に必要と思われるテーマに関しては、科学とは一線を画して経済産業省として、企業にももっと委託研究を認めるべきと考える。(阿出川委員)

- ・ プロセスイノベーションへの回帰の時ではないか。個別プロダクト思考はイノベーションに繋がらない。個別プロダクト思考では実現されてしまえば先に繋がらない。新規プロセスの開発に必要とされる加工技術の研究開発が欠けていないか検討を要し、思いもよらない加工技術の応用が新しいプロセスを生み出す等プロセスの構成について発想の転換が必要であり、プロダクトに付加価値を与えることのできるプロセスを構築するためには、基盤となる微細加工技術や製造技術を取り込んだ様々な新プロセスの研究開発が必要である。(永壽委員)
- ・ マイクロマシン研究開発の追跡調査から得られた知見に基づいて、次の5点を指摘する

プロジェクトの弾力的運用：プロジェクトのプロセス管理者が環境変化等を判断して設定目標に柔軟性を持たせること。

プロジェクトの俯瞰的運用：プロジェクトによって発生するイノベーションを俯瞰し、素人にわかりやすく説明すること。

MOT的運用：プロジェクトの欠落技術、空白技術を推論し分析をするという技術評価支援チームをプロジェクトのアーリーステージから参加させること

重層的運用：産官学連携という表層的体制にとどまらず、学学連携、官官連携等の組織的重層化を図り、プロジェクト実施中、内部において中間成果を競争的に運営し、相互活用できるためのスキームを組織すること

育成的運営：試作等は、価値創造サイクルの中に位置づけ、インキュベーション機能としての役割を明確にし、プロジェクト参加者が試作を持ち寄ることができるテスト・ベッド^{注)}を創設すること。(菊池座長)

- ・ 新市場創生、国際競争力の強化という命題の解決のために、国家プロジェクトの存在価値は大きい。近年、実用化を必須とするプロジェクトが多くなっているように見受けられるが、それら助成事業とは別枠にした、技術動向を把握し、長期展望に立ったテーマによる基礎研究のプロジェクトの必要性は現在でも高いと思われる。研究開発目標に関しては、個々の企業や団体に丸投げするのではなく、最終目標を官民一体となって明確にする等、共通の課題に取り組む積極的な姿勢が期待される。(須藤委員)
- ・ 過去のプロジェクト等の既成概念に囚われることなく、強力なリーダーシップで「夢のある研究開発プロジェクト」を推進する必要がある。参加メンバーが本当にやりたい、成し遂げたいと考える研究課題を統合した研究開発プロジェクトの構築を期

注) テストベッドとは、実際の使用を仮想し、プロジェクトの成果を逐次適用したシミュレーション環境という意味で用いている。

待したい。(新野委員)

- ・今後、経済産業省における研究開発プロジェクト策定について、考えられる項目を挙げる。

我が国の国際競争力を強化するため、日本の産業基盤を支える機械産業の強みを更に強化する、すなわち「攻め」の戦略的プロジェクトの策定を行う必要がある。特に、強みである世界最強の機械技術、生産技術を対象とした産業波及効果の大きな先進機械生産技術の高度化、たとえば「先進機械をつくるための機械」といった波及効果の多大な研究開発が必要不可欠である。

従来の研究開発プロジェクトのフォローアップに代表されるような、たとえば「台木に別種の接木をする」ような施策は経済産業省の施策には相応しくないと考える。既存の強い要素技術、あるいはプロジェクトで創出された新しい強くなる可能性のある要素技術が無駄にせず、国として本質的に重要と考えられる要素技術群を多角的な観点から特定し、それらを統合、展開することのできる本来の国のプロジェクトの策定を目指すべきであると考えます。

研究開発プロジェクトで創出、確立されたとされる技術は、時間の経過と共にやがて散逸する運命にあるということは、過去の大型研究開発制度で見られた事例からも明らかである。我が国の国際競争力を強化するという観点から、必要なコア技術、人的資源を本当の意味の「智のバンク」として産学官のいずれかの組織に構築、それらを固定化すると共に、更に技術や人的資源を進化、展開させるメカニズムを構築する必要がある。具体的な方策は、種々考えられるが、智のバンクには、人材の創出、社会人の再教育機能、技術伝承のメカニズム、共有財産、適正規模という点から大学等の高等教育機関が重要な候補である。

プロジェクト名、プロジェクトの出口イメージ、プロジェクト評価、いずれも重要であることは間違いないが、例えば過度にイメージに重点を置いた、イメージ先行のプロジェクトは当初プロジェクトのイメージが足かせとなる。一方、総花的なプロジェクトは、その広い分野イメージから個々の分野に焦点を合わせた後継プロジェクトの足かせとなったり、時には新しい芽をつむことになる可能性も危惧される。新規プロジェクト策定に際して、日本の高度成長期に推進された国家プロジェクトを現在の周辺環境と最新科学技術を組み込んだ視点で再考することが重要である。(新野委員)

- ・日本の蓄積技術を生かし、世界でリードを保てる産業を育成してほしい。(羽根委員)
- ・大型のプロジェクトでは、効果も大きいですが、リスクも高くなるので、終了後よりも、開始前の方向設定と時流にあわせた臨機の修正が重要である。(羽根委員)
- ・マイクロマシンプロジェクト及びその後のMEMS関連3プロジェクトにおいては、前者で主として機械的マイクロ加工、後者では半導体技術に基づくMEMS加工が、

広範囲ではあるが個別に研究されてきた。今後、より自由な立体加工、多機能の微小体積内への集積化、ナノ機能素子やナノ材料の融合等を目指して、総合的な微細加工技術基盤を構築するプロジェクトが求められている。この技術は、ナノ加工、マイクロ加工、機械加工等の原子レベル(0.1nm)から人間レベル(1m)までをシームレスに扱い、センシング・情報処・通信・物理的出力等の異なる機能を持つ要素を統合的にシステム化できることが必要である。例えば、ナノトランジスタのプロセシングから、分子レベルの高感度センシングシステムの作製やそれらから構成されるマイクロデバイスを組み合わせた通信・情報に活用できる超小型データストレージの製品化、また再生医療に使用される人工臓器の開発等にも結びつく。このような、ナノフュージョン製造技術を対象としたプロジェクトの立案を推奨したい。(藤田委員)

- ・事後評価において、当初のプロジェクトの目標であった「マイクロマシン技術の体系化」は実現していないとのコメントがある。確かに 15 年前を振り返ると、ようやく技術の概念を定め、それを実現する時期にあっており、体系化は時期尚早であった。ひるがえって現在は、MEMS 技術とそれ以外の微細加工技術が充実し、それらを統合、体系化することにより、総合的なマイクロ・ナノ加工技術を得るための機が熟している。自在な 3 次元マイクロ加工、多機能を集積化したマイクロシステム実現、ナノ機能の融合等を目指した、新たな取り組みが必要とされている。(藤田委員)

参考資料

追跡調査結果

追跡調査結果

ここでは、本プロジェクトの波及効果に関する評価、現在の視点からみた評価に必要なとなる情報を追跡調査結果としてまとめた。

- 1 波及効果に関する調査

(1) 技術波及効果¹

1) 実用化への進展度合²

ここでは、本プロジェクトの直接的及び間接的な成果の製品・サービスへの実用化への寄与と今後の可能性についてまとめた³。

プロジェクト終了後に実用化した製品やサービスを調査した結果を以下に記す。なお、経済的インパクトは、 - 1 (3) 経済効果の項に記す。

【システム化技術分野】

本プロジェクト終了後実用化が進んでいる。複合圧電素子製品は、性能を向上させ量産化技術の検討を行って製品化した。さらに、高周波域の小型発信器の開発を行い、胃の内視鏡に取り付けて胃に隣接している肝臓や膵臓の診断も行えるような新たな機能付加を搭載した超音波診断装置も製品化した。約 1,200 セット/年の販売量である。また、形状記憶合金コイルを組み込んだカテーテルは、内視鏡等へ組み込んで製品化しており、細径内視鏡として年間 20 セット程度が販売されている。超精密 5 軸工作機は、超精密機械加工技術を活かし製品化した。この装置により、加工機械のナノオーダーでの制御を可能とし、超精密金型作製による精密部品の大量生産に寄与した。デジタルカメラ、携帯電話、DRAM 製造装置、DVD 等の部品性能向上、コスト削減に寄与し日本産業界の国際競争力強化に役立っている。マイクロファクトリは、まだ、産業界での適用は多くは無いが、高精度の製品を、大規模なクリーンルーム等を要せず小規模な設備（従来の一般的な円筒研削装置に比べ、実用化例では重量 1/80、面積 1/30、消費電力 1/5）でもの作りを実行する新たなコンセプトであり、本プロジェクトの成果が活かされながら実用化が進んでいる。

本プロジェクト成果の実用化への活用では、溝切り、孔空け、膜作製、表面処理、延伸等の微細な加工技術が活きて、各種センサ（自動車用等）、アクチュエータ、IC コンタクトプローブ等デバイス、フォトニック結晶ファイバ、エンコーダ等の精密機械部品（当該エンコーダ付サーボモータ）の製造が可能となり、多種の製品が製品化されている。また、評価・計測技術が活きて、センサ（圧力センサ、非冷却赤外線センサ等）や精密装置（顕微鏡等）等が開発、

¹ 本プロジェクトの波及効果の全体像については、P80の「参考資料1」にまとめている。

² 項目毎に枠囲みでまとめを記述し、インタビュー調査のコメントをその次に掲載している。

³ 開発技術と実用化例に関しては、P81の「参考資料2」を参照。

製品化された。

本プロジェクトでは、機械加工技術、シリコンベース加工技術⁴両者からのアプローチがあり、両者の融合が進む形で研究開発が行われ、プロジェクト終了後も融合が継続され、量産技術、製品化に良い影響を与えたと考えられる。

【機能デバイスの高度化技術分野】

人工筋肉アクチュエータは、変化幅の大きな動きを可能とするデバイスであり、用途は多様である。現在の製品化は、実験用キットに限られているが、今後は2004年に立ち上がったベンチャー企業でダイヤフラム型ポンプ、走行用アクチュエータ等の実用化開発が精力的に進められており、2007年～2008年に製品化が行われる予定である。

今後実用化が期待される対象である脳腫瘍治療用レーザーカテーテルは、大学と共同開発し、臨床に進められる段階にあり、試験が進めば実用化へ進むことが可能になる。高精度で患者の負担が少ない低侵襲治療の手段として貴重な技術である。

また、半導体基盤等への深孔加工及び貫通孔配線技術は、本プロジェクト独自の手法であり、高密度実装デバイス製造のキーテクノロジーでもあり、本プロジェクト終了後、実用化段階に至り、参加企業が2006年にはファンドリサービスを立ち上げる予定である。

【共通基盤技術分野】

日本が提案している「MEMS用薄膜材料の引張試験法」等4件の規格案が、国際標準化に向けて着実に前進している。また、マイクロマシン計測技術及び振動制御技術から、高速共焦点レーザー顕微鏡が実用化され、生きた細胞の動きを直接観察できる世界最高の性能を発揮して、世界トップシェア（ほぼ100%）を獲得したことは注目に値する⁵。さらに、本プロジェクトの研究成果である積層型圧電マイクロアクチュエータの開発から継承された薄膜製造技術を用い、ガスタービン静翼上に薄膜温度センサを作製し、1000以上の温度測定を可能とした。静翼用高温材料や設計技術の開発に効果を発揮し、省エネルギーや環境負荷の少ない高性能ガスタービンの開発に活かされている。

【特許動向】

今回のヒアリングで、特許の技術供与は国内で、形状記憶合金関連で2件あった。プロジェクト終了までに出願された特許は281件あり、その後、審査請求、登録になった特許は重要性が高いと推定されたものであり130件ほどある。その内訳の概要は、アクチュエータやセンサ等の機能デバイス関連が91件で70%を占め、重要性が高いと推定される。次いで加工技術等の基盤技術関連が26件で20%を占め、残りは制御技術やインターフェイス等のシステム化技術関連で13件あり、10%を占める。

⁴ センサやアクチュエータ等デバイスの製造では、殆どがシリコンをベース材料としており、シリコン基板の加工がキーテクノロジーになっている。

⁵ 開発技術と実用化例に関しては、P81の「参考資料2」を参照。

プロジェクト終了後にこの分野から出願された公開特許は 124 件ある。その内訳は、アクチュエータやセンサ等の機能デバイス関連が 57 件で 46%を占めトップであるが、加工技術や評価技術等の基盤技術関連が 50 件で 40%を占める。今回のヒアリング調査でも、多くのプロジェクト参加研究者は、加工技術や評価技術が活かしたことを強調しており、これら基盤技術の重要性を認識しており、特許戦略にも基盤技術の重要性が反映されていると考えられる。残りは制御技術やインターフェイス等のシステム化技術関連で 17 件あり、14%を占める。

【システム化技術分野】

<超音波診断装置>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である複合圧電素子による超音波診断装置はプロジェクト終了時点ですでに製品化されていたが、性能を向上させた製品の開発、量産化技術の検討を行い、本プロジェクトに参加した機器メーカーと協力して超音波診断装置として製品化した。さらに、高周波域の小型発信器の開発を行い、医療機器メーカーと協力して、胃の内視鏡に取り付けて胃に隣接している肝臓や膵臓の診断も行えるような新たな機能付加を搭載した超音波診断装置を製品化した。

<マイクロファクトリ>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果であるマイクロファクトリ技術を社内の生産技術に適用している。プロジェクト成果には、円筒研削装置がある。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 でありながら、真円度、円筒度は 1 μ m 以下と、従来の工作機械と同等以上の精度を実現した。環境負荷をかけない生産システムとして 2003 年から実験稼働している。輸送距離が短くなり、サイクルタイムも向上する。
- ・本プロジェクトの研究成果であるマイクロファクトリ設備技術が活かしている。工業用内視鏡の検査、修理においてマイクロファクトリ技術を応用して機能デバイスを実装している。大きさが数 mm の CCD、0.1mm 程度の配線、小さな内視鏡レンズ等を数 mm の孔を通して組み立てる微細な作業に活かしている。また、本プロジェクトの研究成果であるレーザ溶接技術が、微小光学系組み立てシステムや小さな内視鏡を組み立てるマイクロファクトリに組み込まれて活かしている。マイクロファクトリは個別仕様の場合が多く、量産型では無い場合、数量の普及にはすぐ結びつかないことが多い。

有識者

- ・MEMS は半導体プロセスなので製造設備が極めて大きく、クリーンルームが必須で莫大なエネルギーを使って小さな物を作っている。マイクロファクトリのコンセプトを半導体プロセスに適用すると適用効果は大きいと言われてきた。本プロジェクト以前ではMEMS とマイクロファクトリとは相容れない様相が大であったが、本プロジェクトを経て、一緒にしてみれば効果が大きいとことへの理解が深まった。

<形状記憶合金カテーテル>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である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等へ応用されて製品化しており、コードレス細径内視鏡として年間約 20 セット販売している。また、形状記憶合金コイルを駆動源とする点字転換装置は、ベンチャー企業が開発を行っている。

<超精密加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である超精密加工技術の適用により、超精密 5 軸工作機械を製品化した。第 1 世代から改良を加え、第 3 世代まで製品化している。すで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になり、デジタルカメラ部品、携帯電話用部品、DRAM 製造装置、DVD 部品等の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ものと考えられる。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、機械加工技術の極限を追求する方法等があるが、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。超精密 5 軸工作機械に対する海外からの引き合いも多く、世界をリードしている。
- ・本プロジェクトの研究成果である磁気エンコーダ付きサーボモータはデモ展示として愛知万博トヨタ館のロボットに採用される等、実用化段階に達しており、事業化寸前まで来ている。卵を割らずにつかむことができる指ロボット技術等を蓄積してきたことと相俟って実用化へ前進している。世界トップレベルの高度なロボット技術を持つ企業が、新技術を融合させ適用できており、周辺技術があって、実用化に進めた。

<深堀加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である高アスペクト比の深堀加工技術をベースとして圧力センサ、燃料噴射センサ、加速度センサ、流量センサ、ディーゼル車用インジェクタ等を開発、実用化した。本プロジェクトには 2 期 10 年間参加したが、1 期の 5 年間は要素技術習得の面で極めて有効であった。MEMS の要素技術を得る事ができたし、こ

これらの技術は自動車用センサに活かしている。また、本プロジェクトの研究成果である変位計測技術もディーゼルの燃料噴射アクチュエータ、ピエゾインジェクタ、スタックのバルブ等の実用化に応用された。本プロジェクトで培った加工技術や計測技術等の要素技術が製品開発、実用化に活かしている。本プロジェクトにおいて、種々の加工技術を試すことができ、利用できる限界が推測しえたことは役立った。

<放電加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である放電加工技術の改善が応用範囲の広い加工技術として活かしている。高度な放電加工技術は、社内の生産技術研究所が継続開発し、社内の大量生産技術への適用が進められている。電極消耗を防ぐ技術を開発したことや、除去加工プロセスの開発と組合せて改善している。

<除去加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である除去加工（LIGA）技術を応用してカンチレバータイプのコンタクトプローブが製品化され、半導体産業の検査工程に使われている。本除去加工技術の原理は海外の発想であるが、本プロジェクトにおいて、強力X線の応用や改善を加え、実用化に寄与する加工技術を完成した。本プロジェクトがなければ、やらなかったか、やっても開発は遅れたと思われ、本プロジェクトの製品化への貢献は大きい。
- プロジェクト参加研究者
- ・本プロジェクトの研究成果である圧電薄膜の切断技術やマイクロマシニング技術は、加速度センサの開発や製品化に寄与しており、携帯電話への適用が期待できる。3次元微細加工技術は、マイクロレンズアレイの製造に活かされて液晶のバックライトへの適用が期待され、微細加工技術及び積層技術は光導波路の開発に活用されている。プロジェクトで種々の加工技術を試すことができ、これが、その後の新製品開発の加工に活かされて実用化を促進した。現状の加工技術の限界がどのあたりにありそうか等を推測しえたことは役立った。

<超精密機械加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である超精密機械加工技術を応用して超精密金型を作り、高精度電動射出成型機を用いた軽量で高精度な樹脂製エンコーダの開発、製品化に成功した。そのエンコーダは小型サーボモータに適用され、性能向上、低コスト化に寄与しており、毎月約5000台が生産されている。金型製造にとどまらず、プラスチックの射出成型技術を有し、射出成型機や、さらにはサーボモータの製造・販売まで行っているので、一貫した最適技術を追求できたことが、新部品、新製品を製品化できた大きな要因

と考える。

- ・本プロジェクトの研究成果であるマイクロ加工、電解加工等加工技術が、スクロールポンプの開発に活かされ、社内で役立っている。ポンプのように、接触しながら作動する装置では、微細な加工が制御できるようになれば、現状製品においても性能や機能向上に効果があり、競争力強化になる。スクロールポンプは大型から小型化も進められており、小型化が進めばさらに用途の拡大が期待しうる。

<線引加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果であるイメージガイドファイバの製造に関わる「一括熔融線引技術」を活かし、フォトニック結晶ファイバの開発、実用化につなげた。模式的にはレンコンみたいなファイバであり、多くのパイプを束ねて引くような線引技術が鍵になる。製品は 100 μm 程度になる。本プロジェクト終了後、フォトニック結晶ファイバに関する文部科学省主導の研究開発プロジェクトに参加して研究開発を続けた。現在の実用化対象は、観測したい星の近くにガイドスターを人工的に作る天文分野における利用である。レーザー光を空に向かって照射する。90km 上空のナトリウム層を光らし、大気のゆらぎを除く Na の吸収帯波長の強いレーザー光 (波長 580nm) を、位相を合わせて減衰を最小に伝達可能とするフォトニック結晶ファイバを開発した。また、必要部分に多層膜コーティングを製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が役立った。国立天文台(ハワイ、すばる望遠鏡)、ヨーロッパ南天天文台(チリ、Paranal Observatory) にこのファイバを納めている。

<補足> フォトニック結晶ファイバは、この 10 年くらい世界的に注目され、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、単波長を送る場合等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高い。

<ファンドリサービス>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である加工技術を集積したファンドリサービスは 2002 年からスタートした。ファンドリ実績は、2004 年後半から増えつつある。当初は中小企業等からの依頼が多いのではないかと想定していたが、実際には電機、精密、機械メーカー等の大企業やベンチャー企業からの依頼が多く、60~70%は再依頼がある。光 MEMS (ミラー、スイッチ等)、RF-MEMS (高周波フィルタ等) 物理量センサ (ジャイロ等) 等が多い。ユーザーから相談がある場合、局部的な請負業務では無く、設計・シミュレーション等の幅広いサービスを提供し、試作、開発、生産等で受けることが多い。依頼企業にとっては、研究開発設備を自前でそろえずに研究開発を実行できる。設備、人を全てそろえて研究開発を行うと言うパターンからの変化が見られる。
- ・本プロジェクトの研究成果である加工技術等の製造技術を応用したファンドリサービス

も始まった。相談は多数あるが、商売になる仕事はまだ僅かである。大企業が所有しているデバイスの製造ラインを使えば、大体のことはできる。ただし、ラインが比較的空いている時なら使えるが、本業が忙しくなれば、ラインを他に使うことは難しくなる。現状では、ファンドリ専用に設備を所有している段階ではない。

- ・本プロジェクトの研究成果である加工技術を応用したファンドリサービスに関して、試作の依頼は結構あり、微細な物が求められているのは確かである。現状の業務をこなしながら、並行してできる範囲のものは対応している段階である。
- ・本プロジェクトの研究成果である厚めの薄膜作製技術は MEMS 技術へ発展し、RF 系デバイス、ミリ波発生用デバイス、共振器等の開発に活用されている。

<薄膜製造技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である薄膜製造技術の一環として、PVDF（ポリフッ化ビニリデン）薄膜を用いたモノリシック焦電型赤外線イメージセンサの開発が進んだ。それを用いたスキャニング小型化技術の展開により、更には血管内カテーテル等への応用の可能性もある。医療分野では、実用化、製品化までに長期間がかかり、先が見え難いことから、事業化への決断は難題である。その他、薄膜技術の応用としては、ダイヤモンドライクコーティング（DLC）等の耐磨耗用表面処理技術にも活かされている。

<薄膜評価技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である薄膜内の残留応力評価技術や制御技術が活用されており、非冷却赤外センサ、エアフローセンサや加速度センサが製品化された。これらのセンサでは、エッチングにより除去加工した後、酸化物膜を形成し、薄膜残留応力制御を行うことにより、高性能センサができる。この技術は汎用性があり、種々の MEMS デバイスの残留応力制御にも活用され、品質向上に寄与している。
- ・本プロジェクトの研究成果である薄膜の評価技術によって膜の性能を詰めていき、センサの開発、実用化を図った。2002 年頃に気体のフローセンサを実用化した。素子のサイズは $1.55 \times 1.55 \times 0.4\text{mm}$ と小型であり、まず家庭用燃料電池用として販売を開始した（2006 年、約 20 億円の売上を目指す：新聞情報）。その他、燃焼制御用フローセンサ、医療用麻酔ガスフローセンサやフロー目詰まり検知センサとしても応用が期待される。同様な手法で開発されたものに赤外線温度センサがあり、非接触での温度測定を目的に、2006 年ぐらいに製品化を検討中である。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、優れた評価技術は、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。

<MEMS ミラー技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である MEMS 技術で開発した MEMS ミラーを共焦点レーザー顕微鏡のミラーに適用して、高性能化、高信頼性を果たした。従来、ミラーを機械的要素で数 kHz の動的制御を行っていたが、MEMS ミラーでは、超小型になったこと、動的制御では、デバイスの半導体的歪みを利用するため、従来の機械的回転部分が無くなるので、制御性が良くなり信頼性が数倍向上した。更に、通常、モータ駆動では音を発生するが、MEMS ミラーでは静寂であり、使用環境が良くなる。この開発効果もあり、このタイプの共焦点レーザー顕微鏡ではトップシェアを確保している。部品の果す機能は同じでも、その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。

<マイクロ流体操作技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である流体計測技術や微量液体操作を活用し、液体が通るところ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。参加企業が既に有していた細胞識別技術、電界場でイオン化、分離する技術とが組み合わせられたことにより成功した。本プロジェクトの成果である要素技術を活かせるだけのポテンシャル、周辺技術が伴って前進した。このバイオ分野の細胞分離装置は、日本国内では米国 2 社がほぼ独占しているが、今後、本プロジェクトの開発成果を活用して製品化される予定である。

【機能デバイスの高度化技術分野】

<人工筋肉アクチュエータ>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である人工筋肉アクチュエータは、米国から参加した企業が、プロジェクト終了後米国政府から約 30 億円相当の補助金を得るとともに、自社開発費も加えて、シーズ技術の確立のため、さらに研究を継続した。研究実施者は、優れた特徴を発揮する人工筋肉アクチュエータの研究開発、販売を行うベンチャー企業を 2004 年 2 月に米国で立ち上げ、実験キットの販売をしながら、実用化へ向けた研究開発を続けており、日本企業も参加している。材料等は驚くほど変わったものではないが、アクチュエータとして革新的な機能を発揮する。将来性のあるシーズ技術であり応用範囲も極めて広いが、製品化までには、装置化技術、信頼性確認等が必要と思われ、ベンチャー企業で製品化の開発を進めているところである。

<深孔加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果であるアスペクト比の大きな深孔加工技術は新しいニーズとつながり、事業化に進む段階までに至った。貫通配線技術の併用による高密度実装の実現へ展開が可能となる。ドイツで開発され世界中で一般的なボッシュプロセスとは異なる本プロジェクトの研究成果であるウェットエッチング方式で継続開発したものであり、国際競争力強化につながる。

<マイクロレーザカテーテル>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果であるマイクロレーザを搭載した脳腫瘍治療用レーザカテーテルを大学と共同開発し、技術を確立した。豚の脳を使った動物実験は既に行っており、効果を確認している。脳腫瘍の発生率は 10,000 人に 1 人程度、うち約 1/3 が悪性と言われ、5 年生存率は、95% 摘出で 20% 程度、全てを摘出できれば、約 40% に倍増する。本技術は技術的には臨床に進められる段階にあり、試験が進めば実用化へ進むことが可能になる。医療機器の実用化までは、臨床実績、厚生労働省の認可等多数の関門があり、実用化時期の見通しが難しい。また、普及までには、健康保険適用の可能性等も検討を要する。

有識者

- ・日本では、医療機器実用化への許認可、実行方法等、進め方や基準が極めて不明確である。要素技術開発完成 動物実験 人間臨床 実用化、健康保険対象化等がスムーズに進まない。故に何時頃に実用化できそうか見当がつかない。市場に出るまでの問題点の抽出、製品化までの順序、道筋を明示するためにどうしたら良いか、その手法が必要である。問題が可視化されていない。経済産業省や NEDO のプロジェクトが要素技術開発のみを担当し、それ以後は別問題とする限り、実用化は極めて困難であろう。また、医療機器のセンサは治療とのペアでやらないと意味が無い。診断で良い機器ができたから売れるだろうでは、事業にならない。

<材料評価技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である材料の計測評価技術が活かされ、リチウム電池の正極材料、電解質材料、負極材料の開発、製品化ができた。従来、電池材料の単体性能は評価していたが、電池を組んだ使用条件下での評価ができるようになった。それが実際の特性を考える上で重要な指針になり、製品開発に非常に役に立った。

【共通基盤技術分野】

<国際標準化>

プロジェクト参加研究者

- ・ 共通基盤技術分野では、本プロジェクトの研究成果である微小材料の機械特性評価における「マイクロ引張試験」の技術は、継続した研究でブラッシュアップされた。2003年に「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」の試験法に関する規格案として、日本案が国際電気標準会議(IEC)に提案された。2005年に投票を締め切り、承認後、最終国際規格案(FDIS)に進み、日本提案が国際標準になることが確実視されている。
- ・ 本プロジェクトの研究成果であるセンサ計測評価技術の研究が継続され、その成果は「半導体加速度センサ」に関する規格案としてIECに提案された。2005年東京で開催されるIEC/SC47E(個別半導体デバイス)会議で、FDISに進むことが確認され、国際標準化に向けて前進している。
- ・ 本プロジェクトの研究を実行した結果の成果であるMEMS専門用語に関する規格案は(財)マイクロマシンセンターが中心となって検討を行い、2005年4月にFDISを提出し、2005年9月に発行した。

<薄膜製造技術>

プロジェクト参加研究者

- ・ 本プロジェクトの研究成果である積層型圧電マイクロアクチュエータの開発から継承された薄膜製造技術により薄膜温度センサが実用化された。薄膜製造条件を選び、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作製した。ガスタービン静翼は1000以上になるが、従来は的確な測温技術がなく、他の技術の組み合わせで推定していた。本方法により測温精度が向上し、タービン翼の材料開発、ガスタービン設計等に活かされ、ガスタービンの性能向上、競争力強化に役立った。

<階層型群制御技術>

プロジェクト参加研究者

- ・ 本プロジェクトの研究成果である変態制御技術を活用して開発したアンプ・モータとシリアル通信を一体に収める技術及び省配線技術を活用して開発した駆動装置を、アイビジョンに搭載、製品化した。「EYEVISION」はCBSとカーネギー・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ものであり、すべ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CBS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ウルで初めて導入され、全米で話題を集めた映像技術である。本開発品であるサーボアンプ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、野球場内全周に設置する。一つのシーンを全カメラで撮影、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。神宮球場で行ったプロ野球中継ではフジテレビと協力し、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。今後スポーツ中継や芸能番組での導入拡大が見込まれる。

<精密加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である減速比50倍のプラスチックギア（軽量）の技術がフレックスインターナル減速機の開発に活かされた。低価格の上、軽量でバックラッシュが小さいという特性があり、家庭向けロボット等民生用製品への適用が期待できる。

<形状計測技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果であるスキャニングする形状計測技術が活かされ、高速共焦点レーザ顕微鏡の改善開発、製品化に役立った。従来は、30コマ/秒だったが、動いているものがそのまま観察できる1000コマ/秒の目標をプロジェクトで達成した。振動問題が発生したが、その段階では物理的に押さえ込むことで対処した。効果としては、例えば、ゲノム研究において、細胞内の特定蛋白質の動きを観察するのに利用できる。生きた細胞の研究方法は、GFP（グリーン・フルオロセンス・プロテイン）を用い、特定の蛋白質を光らせることが最も有望であり、この測定には本プロジェクト終了後に完成した装置が最適である。本装置で測定した結果を報告した論文は数百件が発表されており、この装置による生きた細胞の観察画像もネイチャー誌の表紙に2回（29 August 2002、28 August 2003）掲載されている。また、英文の海外被引用文献に11回も引用される等世界の研究者に利用されており、学術的效果も大きい。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、研究参加企業はトップではないが、高速共焦点レーザ顕微鏡に関しては世界でトップの座（ほぼ100%）を占めている。

2) プロジェクト成果からの技術的な広がり具合

ここでは、本プロジェクトの成果により直接的に生み出された技術の広がりや関連技術分野への技術的な広がり具合についてまとめた。

プロジェクト成果から生み出された派生技術、派生技術が広がる分野、プロジェクト成果から生み出された直接技術や派生技術を利用する研究主体等に関する調査結果を以下に記す。

【システム化技術分野】

本プロジェクトで研究された加工技術は、超精密機械加工技術、X線リソグラフィをベースとした3次元加工技術、それと組み合わせたマイクロ放電加工、3次元微細加工技術、薄膜製造技術等をさらに高度化した派生技術が生み出された。それらの派生技術を用い、高精度のナノ加工や高アスペクト比加工、高性能薄膜作製を可能とし、高精度の電子機器や光学機器の精密部品、高機能のセンサ、アクチュエータ等のデバイスや半導体部品の開発に寄与している。応用対象は、エレクトロニクス分野、光技術分野、機械産業分野、バイオ分野、医療分野、分析分野等へ広がっている。この派生技術の中のMEMS関連技術において、利用している研究主体は、企業で約4社、大学等研究機関では約2研究機関がある。

また、本プロジェクトの研究成果である要素技術の中の評価・計測技術は、例えば、振動測定技術から、超音波を治療技術に適用し、医療分野で実用化を目指した研究開発が進められている。

さらに、本プロジェクトの研究成果である微量液体操作技術は、分析技術のベースとして、バイオ分野、医療分野、微量分析分野等へ広がっている。これらの技術を利用した研究主体は、企業で約2社、大学等研究機関では約2研究機関がある。

その他、本プロジェクトの研究成果である形状記憶合金コイルは、駆動源として福祉分野へ応用が広がっている。この技術を利用した研究主体は、ベンチャー企業は1社、1大学がある。

【機能デバイスの高度化技術分野】

本プロジェクトの研究成果である人工筋肉アクチュエータは、変形、回転、振動等、多様な動作を発生することが可能である。アクチュエータとして、電子機器分野、光学機器分野、医療分野、福祉分野で、小型液体冷却装置、スピーカー、光学機器フォーカス駆動装置、医療用小型使い捨てポンプ、車椅子動力、ロボットの腕、点字表現デバイス等の開発が行われており対象が広がっている。この技術を利用した研究主体としてベンチャー企業1社が立ち上がり、実用化開発を進めており、近い将来、多種多様な製品化が行われる予定である。

また、本プロジェクトの研究成果である脳腫瘍治療用レーザカテーテルは、脳腫瘍治療のみならず、他臓器に対しても、患者に負担の少ない低侵襲治療に活かされ、医療分野で応用が広がる。

さらに、本プロジェクトの研究成果であるアスペクト比の大きな貫通深孔加工技術、貫通配線技術は、デバイスの高密度実装、高機能化に不可欠な技術であり、デバイスや半導体分野で使われる。この技術を利用した研究主体は、企業で約3社ある。

【共通基盤技術分野】

本プロジェクトの研究成果である分散マイクロマシンのパターン形成技術や3自由度小型アクチュエータ技術は、大学へ転出した本プロジェクト参加研究者が、自己修復技術の研究や細胞型機械の研究、マイクロロボットの研究に活かしている。

本プロジェクトの成果である微小運動機構の評価の中の生産機械ダウンサイジング技術の評価は、高精度マイクロ機器の開発に活かされ、マイクロファクトリの試作機の作製に役立っている。

【システム化技術分野】

<精密加工技術 >

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である機械加工による精密加工技術は、固定チャックや加工姿勢制御等周辺装置の高精度化の開発を伴って、超精密加工が可能となり、ナノ加工へと前進している。これらの技術は、サブミクロンV溝、多形状な台形溝、角溝や自由形状溝、マイクロ針、マイクロレンズアレイ、曲面ミラー、フレネルレンズ等の超精密加工を可能とし、半導体分野、光エレクトロニクス分野、バイオ・医療分野で貢献している。
- ・本プロジェクトの成果である機械加工による精密加工技術は、大量加工に効果を発揮する。光伝達分野におけるプリント基板における導波路の超精密加工が必須になり、1枚の基板でも、3万本の溝加工が必要であったり、数十万個の穴あけが必要になったり加工数が膨大になる。現在、3万本の加工に3時間程度かかるが、超精密加工金型利用技術で、数十万個の穴あけを10分以内で達成することを目指している。短時間でできれば、生産性向上効果は当然であるが、加工する環境の空調や温度調整が簡易になる等、多大なメリットがある。

<3次元加工技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である X 線リソグラフィをベースとした 3 次元加工技術は、セラミックス、金属、樹脂等の材料を用い、高アスペクト比の柱状成型体や微細孔構造体の製造を可能にした。また、マイクロ放電加工を組み合わせることにより、微細成形体の先端の表面改質を行い、高硬度、先鋭先端の製造を可能とした。これらの技術は、広域帯化、短パルス化、高変換率等高性能な超音波複合圧電素子の開発、医療機器への応用、微細柱列金型、微細格子金型、放射線計測用電極、RF デバイス用電極、樹脂製微細回路、フレネルレンズ、セラミックスフィルタへの応用等が予定されている。電子部品分野、光通信分野に広がっている。
- ・本プロジェクトの成果である 3 次元微細加工技術は、マイクロレンズアレイの製造に活かされ、液晶のバックライトへの適用や微細加工技術及び積層技術概念が光導波路の開発に生きており、光技術分野への発展が期待される。
- ・本プロジェクトの成果である狭ギャップ製造技術を活かし、新しいタイプの RF デバイスや光関係に適用していく考えである。

<MEMS 技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である高アスペクト比加工技術、巻線技術等が MEMS へ展開できた。MEMS 技術を活用して、RF-MEMS、加速度センサ、マイクロ流体用デバイス等の開発に活き、光通信分野、映像振動補正等光学分野、分析・バイオ分野へ広がっている。この MEMS 技術を利用した研究主体は、企業で約 4 社、大学等研究機関では約 2 研究機関である。
- ・本プロジェクトで開発した技術（デバイス）そのものは実用化に至っていないが、その技術がデジタルカメラや内視鏡、レーザ顕微鏡等に活かされているし、本プロジェクトに参加したことで精密加工技術、小型化技術が大きく発展した。これが MEMS の源流になっている。

<薄膜製造技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である薄膜製造技術から発展した、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、今後、高性能化に寄与する。
- ・本プロジェクトの成果である薄膜技術の一環として、発展したモノリシック焦電型赤外線イメージセンサ、それを用いたスキャニング小型化技術の展開は、血管内カテーテル等への応用の可能性がある。
- ・本プロジェクトの成果である複合加工技術の中で焼付け、CVD 等表面処理技術が活かさ

れ、光通信デバイスの開発、製造に役立っている。

<振動測定技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である超音波の振動測定技術からの派生として、超音波利用を検討している。手術用器具の先端に超音波振動を伝えると、止血効果があり、医療分野への応用開発に活かす。

<アクチュエータ技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である空気圧アクチュエータ技術を用いた多自由度湾曲管状ユニットの研究開発を社内で継続している。外径 10mm 以下の先端に姿勢検出デバイスや機能デバイスを搭載し、自在に湾曲動作可能であり、部品の自動挿入等生産技術や遠隔操作が可能な検査装置への応用を検討する。
- ・本プロジェクトの成果である形状記憶合金コイルを駆動源として、点字デバイスの開発を行うベンチャー企業にコイル製造技術を譲渡し、福祉技術分野の機器開発に活かされている。コイル製造技術を利用した研究主体は、ベンチャー企業は 1 社、大学等研究機関では 1 研究機関である。
- ・本プロジェクトの成果である本プロジェクトの研究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 次元実装技術は、携帯電話用カメラ等小型光学機器開発に活かされている。
- ・本プロジェクトの成果である静電力駆動アクチュエータの基礎は、大学におけるマイクロマシン研究に活かされている。本プロジェクトでアクチュエータの研究を担当した研究者が、大学の教授となり、空気用の静電アクチュエータや静電ワブルモータの研究を行っている。アクチュエータ単体の研究から、応用研究へと発展している。

<微量液体操作技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である流体の微量液体操作技術や計測技術と、蛍光発光検出技術を組み合わせ、特定物質計測装置の開発に活かしている。これらの技術を利用した研究主体は、企業で約 2 社、大学等研究機関では約 2 研究機関ある。

【機能デバイスの高度化技術分野】

<人工筋肉アクチュエータ>

プロジェクト参加研究者

- ・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(300%)、高効率、高速応答、軽量、構造がシンプルである等の優れた特性を示す。用途対象は多々あるが、その一つとして、ダイアフラム型アクチュエータとしてポンプに適用して、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 μ 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。人工筋肉アクチュエータ技術を利用した研究主体は、ベンチャー企業1社である。
- ・この人工筋肉アクチュエータは、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。
- ・この人工筋肉アクチュエータは、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等の光学機器駆動系に対する応用が近いところにある。
- ・この人工筋肉アクチュエータは、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。
- ・この人工筋肉アクチュエータは、パワー密度はグラム当たり1Wあり、人間の筋肉はグラム当たり0.2Wに比べても5倍の効率があり、構造もシンプルなので、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100g以下の小型ロボットの試作も完了し、12cm/秒のかんりの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。
- ・この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、医療用ポンプへの適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。
- ・この人工筋肉アクチュエータは、軽量で、駆動しても静寂、エネルギー転換効率に優れる等の長所があり、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。
- ・この人工筋肉アクチュエータは、歪を与え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歩位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アクチュエータの応用を検討開始している。
- ・この人工筋肉アクチュエータは、表面の形状を瞬時に変えられるスマートマテリアル(知能材料)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、点字用に使用することが可能と考えている。

<マイクロレーザカテーテル>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である脳腫瘍治療用レーザカテーテルは、細胞を薄く剥くように除去することが可能であり、脳腫瘍のみならず、胃壁、腸壁等の臓器や歯周病の治療に応用して、患者の負担の少ない低侵襲治療に活かされる。

【共通基盤技術分野】

<分散マイクロマシンパターン形成技術>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である自己組織化パターン形成手法は、大学における自己修復技術の研究や細胞型機械の研究に活用されている。本プロジェクトで分散マイクロマシンのパターン形成技術の研究を担当した研究者が大学の教授となり、自己修復技術や細胞型機械の研究を続けている。

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である分散マイクロマシンパターン形成技術の中の3自由度小型アクチュエータは、大学におけるマイクロロボットの研究に活用されている。本プロジェクトで圧電駆動型3自由度ジョイントの研究は精密工学会賞を受賞する等レベルの高いものであった。その研究を担当した研究者が大学の教授となり、メカトロニクス分野でロボット要素技術の研究として本プロジェクト成果を活かしている。

<微小運動機構の評価>

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果である微小運動機構の評価の中の生産機械ダウンサイジング技術の評価は、マイクロファクトリの構成要素の一つとしてマイクロ旋盤を開発し、更に機能向上を図るため、マイクロスライダの制御を改良して滑らかにかつ高分解能で運動制御ができるようにした。共同開発した企業から発売を開始した。

3) 国際競争力への影響

ここでは本プロジェクトによって生み出された成果技術及び派生技術による国際競争力への影響についてまとめた。

【システム化技術分野】

本プロジェクトで開発した技術の学術論文のうちマイクロ波電力・情報伝送に関する論文が MEMS 分野で世界的に権威のある IEEE MHS 2001 Best Paper 賞を、またマイクロカメラの 3 次元実装に関する論文が IEEE CPMT Society 2005 Best Paper 賞を受賞し、本プロジェクトの成果の国際的な評価を得られたものと判断できる。

システム化技術の中で開発されたマイクロファクトリに関する製造技術は、超精密加工を可能とする超精密 5 軸工作機械の開発や、引抜加工技術の開発に活かされ、従来にない工作手法や新しい製品を生み出し、世界的な評価を得ることに貢献した。微小工作機械の集合体で加工するマイクロファクトリシステムは、我が国独自の発想による技術であり、我が国の微小機械部品の組立技術力の高さを示すことに貢献した。自動車関連企業の中では MEMS センサ製造技術に関して自社の技術に絶大な自信を持っている企業がある。

【機能デバイスの高度化技術分野】

機能デバイスを高度化するための周辺技術として開発された貫通孔加工技術は、従来にない手法を開発したもので、半導体実装技術として MEMS 以外の分野に転用が可能であり、我が国の半導体産業の支援技術として我が国独自の技術として競争力のある技術を 2006 年から実用化する予定である。

従来にない手法によって力を発生する人工筋肉アクチュエータ技術は、本プロジェクトで開発した我国独自の技術であり、1W/g のパワー密度を持ち、国際競争力のある技術として寄与するものと考えられる。

【共通基盤技術分野】

微小部品の計測を目的として開発された高速共焦点顕微鏡は、プロジェクト後も開発成果を積み重ね世界でも独占的シェアを獲得している。本装置による生きた細胞の観察画面が Nature 誌の表紙に 2 回も掲載 (29 August 2002、28 August 2003) されている等、本技術はバイオ関連分野では国際的に高い評価を得ている。

本プロジェクト期間中に作成した MEMS 専門用語集は、プロジェクト後に国際電気標準会議(IEC)へ用語規格として我国から国際提案し、2005 年 9 月に規格として発行された。従って今後 MEMS 関連用語はこの用語規格に則って記述されることになる。さらにその後も「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」の試験法に関する規格案を提案し現在、最終国際規格案(FDIS)の段階まで進んでいる。このような MEMS 関連の国際規格は我が国が提案して初めて IEC の中に地歩を築くこと

ができたもので、本プロジェクトが国際規格に与えた影響は大きい。

マイクロマシン技術の国際的な啓蒙活動により、各国に当該技術開発の研究論文数が増えるような刺激を与えた。とりわけ韓国、中国をはじめとするアジア諸国に対しては当該地域でのリーダーとしての我が国の活動が期待されている。

一方、我が国の MEMS 技術に対しては信頼性評価技術、インテグレイテッド MEMS、設計シミュレーション技術の研究論文が少なく、弱点が指摘されている。

【システム化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・管内自走環境認識システムで開発されたマイクロ波による電力供給システムの開発に関しては 2001 年度開催の IEEE MEMS 国際会議において MEMS 分野で世界的に権威のある MHS 2001 Best Paper 賞を受賞した。
- ・管内自走環境認識システムで開発されたマイクロカメラシステムの開発に関して、2005 年度開催の IEEE MEMS 国際会議において MEMS 分野で世界的に権威のある IEEE CPMT Society 2005 Best Paper 賞を受賞した。
- ・超精密加工機を開発したことにより MEMS で不可能な加工形状まで加工ができるようになった。この加工機により半導体プロセスでしかできないと思われていたデバイスを、機械加工により精度良く製造できることを世界的に示した。この手法は超精密射出成形金型の加工等単品で精度の必要なものの製作に効果がある。
- ・自動車関連製品を製作している企業では本プロジェクトで獲得した深堀加工技術をデバイス製造プロセスに活用し、MEMS 技術では世界トップになっている。
- ・形状記憶合金コイルの製造に関わる線引加工技術で習得した技術によりフォトニック結晶ファイバを製作できるようになり、フォトニック結晶ファイバでは世界での競争相手は海外 2 社(デンマーク、イギリス)のみであり、世界最高レベルを保持している。この技術をハワイにある国立天文台のすばる望遠鏡、チリにあるヨーロッパ南天天文台 (Paranal Observatory) に納め、天文分野における国際競争力に貢献した。
- ・微小部品の製作に大型の機械を用いて加工する従来の方法に対して、同程度の精度を持った加工ができるマイクロファクトリ概念は国際的に広く認知されるようになってきている。その証拠として日本が主導して開催した国際会議(IWWMF)は隔年毎に日米欧で開催されていたが、発表希望が多くなってきたため今年は無開催年であるにもかかわらず、臨時に開催する必要があるまでに成長した。海外へ与える影響も大きく、マイクロファクトリ、マイクロ加工のコンセプトに影響を受け、米国の全米科学財団(NSF)が世界中にこの技術に関する調査団を出した。

【機能デバイスの高度化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトのマイクロジョイント加工形成技術（貫通孔加工技術）で開発した技術はシリコンにアスペクト比 110 の貫通孔を開けることができる。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、これだけの高アスペクト比の貫通孔を開ける技術は世界的に見ても例がなく、我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に立つ。
- ・本プロジェクトで開発した人工筋肉アクチュエータに関してアイデアの独自性や多様な応用可能性に米国が関心を持ち、研究実施者は米国政府から約 30 億円の研究補助金を得て研究開発を継続した。さらに実用化開発、事業化を進めるために米国においてベンチャー企業を設立した。人工筋肉アクチュエータは 1W/g のパワー密度を持ち、人間の筋肉の 5 倍のパワー密度を持っている。このような画期的な機能は近い将来さまざまな分野に応用される可能性があり、十分国際競争力のある技術と考えられる。

【共通基盤技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトで開発した形状計測用の高速共焦点レーザ顕微鏡はプロジェクト終了後も改良を重ねた結果、高速共焦点顕微鏡としては世界市場を独占（シェアほぼ 100%）するまでになった。
- ・高速共焦点顕微鏡は生きた細胞を見ることができ顕微鏡としてバイオ関係者の間では世界的に見ても高い評価を得て、Nature 誌の 29August2002、28August2003 の表紙に 2 回掲載されている。また、英文の海外被引用文献に 11 回も引用されている。
- ・本プロジェクトを実施したことにより、当該分野での用語の不統一が問題となり、これを標準化する必要を感じて MEMS 関連専門用語集をまとめた。これをベースに用語の規格案を IEC に 2002 年に提案し、2005 年 9 月発行した。
- ・マイクロ運動機構の構成法等に関する計測評価の一環である微小材料の機械特性評価のための「マイクロ引張試験」が、「マイクロマシン材料の特性計測評価方法の標準化」(経済産業省事業)に引き継がれ、2003 年に「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」の試験法に関する規格案を IEC に提案した。規格案審議は順調に推移しており、2005 年 9 月に投票締め切り、承認後、両案とも FDIS に進む。
- ・センサ計測評価技術の開発がプロジェクト終了後も研究実施機関で継続され、「半導体加速度センサ」に関する規格案を IEC に提案し、2005 年 6 月に締め切った国際規格原案 (CDV:Committee Draft for Vote)の投票で承認され、FDIS に進んだ。

有識者

- ・本プロジェクトの一環として日本のリーダーシップにより毎年日・米・欧の持ち回りでマイクロマシンサミットを開催し、各エリアでの当該分野の研究情報の交換を行ってきた。この会議は近年ではアジアから中国、韓国、台湾、シンガポール等が参加し毎回 100 人余の各国のリーダーが参集し活況を来している。(財)マイクロマシンセンターが事務局をつとめている。
- ・この動きに刺激されて、ヨーロッパでは MEMS 関連の研究体制整備のきっかけとなり、アジアでも韓国等国家プロジェクトを立ち上げる国も出てきている。
- ・今後も MEMS 関連の標準化を推進するためにアジア各国との協力体制を築く必要のあることから日・中・韓の標準化ワークショップを組織し、2005 年 11 月 8 日に第一回会合を開いた。
- ・毎年 11 月にマイクロマシン展が開催され、微細加工技術の展示会として関連技術者に高い評価を得て毎年出展希望者が増えてきている。今年は海外からの出展者も増えて、我が国の当該技術の成果を示す場となっている。それと併催する国際シンポジウムも国内技術の国際的評価を高める場を提供している。
- ・設計シミュレータは今まで外国の技術に依存しすぎていた。そのため我が国のノウハウが流出するリスクを負っていたが、MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトの発足によりその部分の補強が図られている。我が国独自のシミュレータの早期開発が期待されている。

(2) 研究開発力の向上効果

1) 知的ストックの蓄積度合

ここでは、本プロジェクトによる知的ストックの蓄積度合についてまとめた。

【システム化技術分野】

ほとんどの企業が自社研究として当該関連研究を継続し、知的ストックの蓄積に積極的である。プロジェクトの中で得られたノウハウは製造現場に入り込み、直接作業する現場でのノウハウとして拡大再生産されていると判断できる。設計をはじめとする基礎技術分野ではプロジェクト期間中に得られた技術限界に対する知見をベースに、その後の製品開発等に使われ、製品性能と製造コストの見極めのツールのようなより具体的な形で知的ストックは蓄積されているものと考えられる。

加工技術分野では新規の工作機械の開発と、それを用いた新しい加工法の開発が行われ、プロジェクトによって蓄積された知的ストックをベースに自社努力によって新製品開発を行い、プロジェクトの知的ストックはその後の知的ストックの蓄積に有効に作用したと判断できる。

【機能デバイスの高度化技術分野】

本プロジェクトの成果をベースに、その上に自社開発や外部からの援助を受けて、より多くの知的財産を積み上げて新しい事業への展開が計られていることがみられ、知的ストックは強固なものになっていると考えられる。

【共通基盤技術分野】

高速共焦点レーザー顕微鏡は、本プロジェクトの知的ストックの上に自社努力により知的財産を積み上げ、世界トップシェアを獲得するまでに至った製品である。知的ストックの蓄積が顕著であると判断できる。また（独）産業技術総合研究所では関連研究テーマは増大し、知的ストックの蓄積は充実化している。

【特許動向】

プロジェクト期間中に特許は企業から 512 件、（独）産業技術総合研究所（当時国研）から 51 件が出願された。現在企業から 2 件、（独）産業技術総合研究所から 1 件の特許が供与されている。また、プロジェクト終了後出願された特許のうち、124 件が公開になっている。

【英語論文の被引用回数】

事後評価以後に発表された約 50 件の英語論文の被引用回数を調査した。その中で 8 社

より発表された 10 件の論文が合計 32 回引用されている。特に高速共焦点顕微鏡の論文は最も多く 11 回も引用されている。

【共通技術の蓄積】

本プロジェクトの成果の蓄積は、(財)マイクロマシンセンターが発行した「マイクロマシン技術の研究開発 委託成果報告書」及び、第 7 回国際マイクロマシンシンポジウム(2001 年 10 月 31 日、11 月 1 日)における資料(マイクロマシン技術 - 次代の産業技術の基盤)等にまとめられている。

【システム化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・システム化技術の中で管内自走環境認識システムを担当した企業では自社研究として継続して研究を行っている。また製造現場でプロジェクト期間中に使われた技術ノウハウは作業者にも蓄積している。さらにプロジェクトを実行する課程で、個々の技術限界が見極められたことが設計データとして蓄積され、他の製品開発、例えば RF デバイス、レンズ設計、静電駆動に対しても有効に使われている。
- ・細管群外部検査用試作システムに係わった企業ではプロジェクト期間中のメンバーが同じ部門で研究を継続しているケースもあるが、メンバーが他の部署に移った場合でも関連業務に携わり、プロジェクト期間で蓄積された知的ノウハウは温存され有効に活かされている。このように有効な人材が各セクションに展開することによって MEMS 関連研究、例えばマイクロ液体技術や加工技術等の知的ストックは強化されたと考えられる。
- ・機器内部作業用試作システムを担当した企業ではプロジェクト期間中に手がけた研究課題はプロジェクト後も自社研究として継続している。中でも薄膜形成技術、積層技術等の基礎技術がその後の製品開発に有効に使われ、特有の技術が蓄積された。蓄積された知的ストックにより、今後新たな成果を生み出す可能性が高まっている。
- ・マイクロファクトリに関与した企業では加工技術面で知的ストックの蓄積が顕著である。超精密工作機械による加工技術はその後の第 3 世代の機械の開発に繋がり、超精密金型の加工法の開発に活かされている。また高精度エンコーダ付サーボモータの実用化にまでつながっている。
- ・世界有数のフォトニック結晶ファイバを提供した技術はプロジェクト期間中の知的ストックをさらに高めたものである。プロジェクト期間中に蓄積された知的財産は有効に活用されたばかりでなく、プロジェクト後の自社開発によりさらに大きな知的ストックの蓄積がされたものと判断できる。

【機能デバイスの高度化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・医療応用として開発されたエキシマレーザは大学との共同研究に発展し、プロジェクト後に知的ストックを蓄えたものである。臨床に至るプロセスに制度上の手続きをクリアする必要があるが、今後も継続される技術である。
- ・貫通孔加工技術は本プロジェクトがきっかけとなり、その後社内の強力なバックアップを受けて技術ノウハウを蓄積し、事業として立ち上げる段階にまできている。
- ・人工筋肉アクチュエータは、プロジェクト終了後米国からの研究補助金を得て技術を実確なものとし、ベンチャー企業をたちあげ、陣容を増強して知的ストックを強固なものとしている。

【共通基盤技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・高速共焦点レーザ顕微鏡はプロジェクト後自社内の努力により、知的ストックを積み重ね世界トップシェアを獲得するまでに成長した。
- ・(独)産業技術総合研究所はプロジェクト終了後も研究テーマを拡大し、知的ストックの蓄積に積極的な役割を果たしている。
- ・プロジェクト内で行なわれた研究開発は、マイクロファクトリの世界潮流を作り出す大きな契機となった。これはプロジェクトに参加していなかった企業が、プロジェクトの真価を次の時代に適したものと理解し、実践に結び付けたからである。プロジェクトの真価は終了後数年以上たってから社会に認知される。そのときにも意義が持続できるように、普遍的で基礎的な研究開発に重点を置き、目先の事業化や収益に縛られないことが公的プロジェクトとしては肝要であると考える。

2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

ここでは本プロジェクトによる研究開発組織の強化・改善や実施企業の技術戦略への影響等についてまとめた。

【システム化技術分野】

多くの企業で当該研究部門の組織は再編、強化され、予算も増大している。そして当該技術は企業の技術戦略の中で重要な地位を占めるようになってきている。また経済情勢の変化の中で自社内での展開が難しい場合は、当該技術を他社に譲渡し、譲渡先で新しい事業展開を始めている例もあり、本プロジェクトで開発された技術を発展させる方向で技術戦略が立てられていると判断される。

研究者間の連携は、本プロジェクトで組織を越えた交流が活発になり強化された。また、交流経験は自社内の研究体制の活性化にも良い影響をもたらした。中には企業同士がアライアンスを組み事業を展開している例も見られる。

【機能デバイスの高度化技術分野】

本プロジェクトで開発された技術を実用化するための技術戦略が立てられ、研究組織を強化して新しい事業展開を目論むところが現れてきている。それは自社内での新事業部立ち上げや、ベンチャー企業設立の動きで見ることができる。

【共通基盤技術分野】

本プロジェクトで開発された技術を製品化するための技術戦略を構築し、組織を強化して生きた細胞の動画を観察できる優れた高速共焦点顕微鏡を製品化した。

(独)産業技術総合研究所はプロジェクト後当該分野の研究体制は強化されている。

【システム化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・自動車関連企業では MEMS 関連組織は大規模になり、自動車用加速度センサや流量センサ等に特化して研究を集中している。プロジェクトを契機にして組織を越えた研究交流が盛んになり、研究基盤の充実につながっている。
- ・マイクロカメラシステムを開発した企業では、次の事業展開に向けて予算規模が拡大し、組織改編は積極的に行われて設計関連の研究グループ等が再編強化された。またプロパテントに対する意識の向上が見られた。
- ・本プロジェクトに参加した研究者の社内での評価は上昇し、重点分野に配属された。その結果社内の関連研究の強化に貢献している。研究対象分野はセンサ類や RF-MEMS

等が新たに追加され、技術戦略の見直しのきっかけとなった。

- ・ 関連研究部が充実されマンパワー、予算ともに増加した。またプロジェクト期間中に知り合った企業とアライアンスを組み、新製品の販売に繋がった。
- ・ MEMS 関連組織はかなり増大し、MEMS 開発本部が新設され、研究設備も充実した。社内でもマイクロマシンの認識度は上がり、技術戦略策定に良い方向で貢献している。本プロジェクトを契機とした研究交流基盤はかなり広がり、産官学連携のケースも増えている。
- ・ 事業所の移転と平行して組織の再編が行われ、MEMS を企業の重要技術に位置づけした技術戦略が立案されている。これに伴って関連事業部も立ち上がっている。本プロジェクトに関与した研究者は一部移転に伴う退職者を除けば、ほとんどが継続して関連部署に所属し、そのリーダーとしての役割を果たし、組織の強化に貢献している。
- ・ 本プロジェクトで開発した技術を用いて新しい装置を開発するために社内の組織は積極的に改変され、開発した技術は設立された新会社に移管された。プロパテント等の特許戦略意識は高まっている。また本プロジェクト後研究交流意識は高まり、参加企業や産学官の連携が強化された。
- ・ 工作機械関連部門が強化され、これによって第3世代の工作機械の開発が行われた。さらにこの機械を用いて、MEMS を用いなくても製作できる新しいデバイスの加工法を開発する戦略を練っている。
- ・ 本プロジェクトがなければ消滅しかかっていた MEMS 関連研究組織は、本プロジェクトに係わったことで息を吹き返した。最近では当該分野の研究組織を充実させる方向に動いている。
- ・ 線引技術によって開発されたフォトニック結晶ファイバ技術に関しては、次の事業の柱として研究開発が意欲的に継続されている。

【機能デバイスの高度化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・ 貫通孔加工技術は特殊な技術であるが、その後の半導体技術の展開により新事業としてニーズのあることがわかり、当該技術の事業化を目指して、予算規模を増やし、組織も充実された。
- ・ 人工筋肉アクチュエータに関しては本プロジェクト終了後に米国の研究補助金を得て研究体制は強化され、技術基盤を固めてベンチャー企業が立ち上がった。

【共通基盤技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトが始まる前には MEMS 研究室は縮小されかかっていたが、高速共焦点レーザー顕微鏡の開発により技術戦略は見直され、これを製品化するために当該部門は強化された。
- ・(独)産業技術総合研究所では、プロジェクト終了後も MEMS 関連研究テーマは拡大し、関連研究組織も強化された。また企業との連携も強化され、共同研究も増えている。

3) 人材への影響

ここでは、本プロジェクトによる人材の能力向上への影響についてまとめた。

【システム化技術分野】

本プロジェクトの成果により我が国生産技術に関する最高の賞とされる大河内賞をはじめ、MEMS 分野で権威のある IEEE CPMT Society Best Paper 賞、IEEE MHS 論文賞、さらには市村産業賞、ファインセラミックス賞、電気学会論文賞、精密工学会技術奨励賞（2 件）、精密工学会技術賞等を受賞した。この賞の対象となった論文で博士号を取得した研究者もあり、本プロジェクトに関係した研究者に良い刺激を与え人材の育成に効果があった。

また、本プロジェクト終了後研究を継続しているところでは、本プロジェクトに参加した研究者が研究の核となってその後の研究を行っている場合が多く見られた。

【機能デバイスの高度化技術分野】

人工筋肉アクチュエータはノーベル賞受賞者が審査するオルガノテクノ大賞特別賞を受賞した。この研究者は実業面での能力を発揮し、ベンチャ - 企業を立ち上げた。

【共通基盤技術分野】

本プロジェクトの成果を活用して開発した高速共焦点レーザー顕微鏡は、権威のある大河内賞をはじめ市村産業賞、全国発明表彰の中の弁理士会会長賞を受賞すると共に、研究担当者は文部科学大臣賞の中の科学技術功労者賞を受賞し人材の育成に効果があった。また（独）産業技術総合研究所で開発された「デスクトップナノファクトリ」は「ものづくり日本大賞」の優秀賞を受賞した。

【システム化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの成果をベースにして実用化した IC 検査用微細コンタクトプローブは我が国生産技術に関する最高の賞とされる大河内賞技術賞を 2004 年に受賞した。その他市村産業賞、ファインセラミックス賞、電気学会論文賞等いずれも権威のある賞を受賞し、人材の育成にも効果があった。博士学位取得者は 1 名、博士候補は 2 名である。
- ・本プロジェクトで開発したマイクロカメラの 3 次元実装技術については MEMS 分野で権威のある IEEE CPMT Society Best Paper 賞を 2005 年に受賞した。またマイクロカメラのアクチュエータ技術について精密工学会技術奨励賞、そのほかエレクトロニクス実装学会賞等を受賞し本プロジェクトは人材育成に効果があった。参加企業から大学へ転

出した教授は、本プロジェクトでも関与したアクチュエータの研究を継続していて、現在文部科学省補助金の次世代アクチュエータ開発プログラムのプロモータとして活躍している。

- ・本プロジェクトで開発した5軸超精密加工機 ROBOnano に関しては精密工学会技術賞を2001年に受賞し、この機械を用いて加工したV溝加工法については精密工学会技術奨励賞を2004年に受賞した。このような受賞は人材の育成に大きな効果をもたらしている。博士学位取得者1名を出している。
- ・参加研究者で、国際会議の座長等を歴任し、国際的に認められた研究者となった例がある。また本プロジェクトの成果を実用化する部隊の責任者であった研究者が、現在は役員になっている。参加企業から大学へ転出した教授は、2自由度マイクロアクチュエータ、集積化円錐ばねマイクロアクチュエータ、マイクロレンズアクチュエータ及びバルク金属ガラスの微細加工法、精密成形等 MEMS、マイクロマシニング等の研究を行っている。
- ・本プロジェクトで行ったマイクロ波によるエネルギー伝送技術に関して、MEMS 分野で権威のある IEEE MHS 論文賞を2001年に受賞し、プロジェクトで開発した深掘技術に関して電気学会論文賞を受賞した。参加企業から大学へ転出した教授は、NEDO の地域新生コンソーシアムにも参加しており、電子・光学デバイスの量産化開発の研究を行っている。またプロジェクト期間中はセンサ、RF、LSI、整備関連の技術者が集められ、プロジェクト終了後は元の部署に戻ってマイクロマシニング、MEMS 関連の業務を継続し、コア技術者として活躍している。
- ・本プロジェクトで開発したマイクロモータに関しては機械学会関西支部論文賞を2003年に受賞した。この関連論文により1名が博士号を取得した。社内では本プロジェクトへ参加した研究者が評価も高まり、拡大した組織のヘッドに就任し、研究者数は3倍以上に増加した。
- ・参加企業から大学へ転出した教授は、本プロジェクトで開発した技術の延長線上にある微細加工技術を用いるバイオ分析技術の開発、機能性プローブ顕微鏡の開発とバイオ分野への応用、またナノ計測技術、マイクロ加工技術を駆使してバイオセンサ、バイオチップ、ナノバイオイメージング等の研究を行っている。
- ・参加企業から大学へ転出し、教授・学科長に就任している研究者がいる。マイクロマシニングを用いて、センサ、アクチュエータをはじめとする MEMS の高機能化、高集積化の研究を行っている。
- ・参加研究者が、国際学会から依頼講演を受けるほどの第一人者となり、企業内でも役員の職に就いている例がある。

【機能デバイスの高度化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトで開発した人工筋肉アクチュエータに関して、ノーベル賞受賞者の白川英樹筑波大学名誉教授や野依良治理化学研究所理事長等が審査委員を務めるオルガノテクノ大賞特別賞を受賞した研究者は、米国で当該開発成果を研究・実用化開発するためのベンチャー企業を設立する等、実業面での能力を発揮する人材を育成するのに効果があった。

【共通基盤技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトで開発した高速共焦点レーザー顕微鏡は我が国の生産技術関連の賞としては最高の権威を持つ大河内賞技術賞を2003年に受賞した。これに関連した賞としてこのほかに市村産業賞貢献賞、全国発明表彰、弁理士会会長賞等を受け、直接の担当者が文部科学大臣賞、科学技術功労者賞を受賞した。これらの受賞は関連研究者により刺激を与え、人材育成に貢献した。
- ・MEMSによる微細加工システムとして（独）産業技術総合研究所で開発されたデスクトップナノファクトリは2005年に「ものづくり日本大賞の優秀賞」を受賞した。受賞者に本プロジェクトに参加した研究者が含まれており、本プロジェクトは人材の育成に関して貢献した。
- ・参加企業から大学へ転出して教授になり、自己修復技術の研究や細胞型機械の研究で本プロジェクトとつながりのある研究を行っている。同様に大学の教授に転出して、ロボットを中心としてメカトロニクスやバーチャルリアリティの研究を行っている。プロジェクト終了後、参加した研究者は、主として、メカトロの研究開発に携わり、人材育成効果はあった。
- ・参加企業から大学へ転出した教授は、本プロジェクトの成果であるロボット技術を活かして、社会変革支援ロボティクス、新ロボットコンセプトの研究、環境メカトロニクスの研究を行っている。本プロジェクトはロボット開発者により刺激を与え、制御技術等はロボットの研究開発に継承されており、ロボット技術の発展に貢献し、人材育成に役立っている。

受賞した賞の内訳、大学転出者リスト、博士号取得者数を以下の表に示した。

なお、表中や文章中の人名 A、企業名イ、大学名 a 等の表記は符号として使用しており、意味は無い。

【受賞】

| 名称 | 装置名、論文名、受賞対象名 |
|---|---|
| 精密工学会賞 | 「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年) Vol.62 NO.4(1996年) |
| 市村産業賞 ファインセラミックス賞 | 超音波複合圧電素子(2002年) |
| 大河内賞(技術賞) | IC検査用微細コンタクトプローブの量産技術の開発(2004年) |
| 電気学会論文賞 | 「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 | 酸素プラズマ照射による側壁保護膜を付加した新規な DRIE(2005年) |
| IEEE MHS2001 Best Paper 賞 | 「Wireless Link System for Communication and Energy Transmission of Microrobot」 2001 International Symposium on Micromechatronics and Human Science(IEEE の MHS 2001 年) |
| 機械学会技術奨励 賞 | 「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) |
| ILUの電気実装学会 賞 | 「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年3月) |
| IEEECPMT2005 Society Best Paper 賞 | 「High-Density 3D Packing Technology Basic on the Sidewall Interconnection Method and Its Application for CCD Micro-Camera Visual Inspection System IEEE Transaction on Advanced Packing Vol.26, No.2, May 2003 年 |
| 精密工学会技術賞 | マイクロ加工機 ROBO nanoUi |
| 精密工学会研究奨 励賞 | マイクロ加工機 ROBO nanoUi(2001年) |
| MEMS99 Best Paper 賞 | 「A Novel Micro Electro-Discharge Machining Method using Electrodes Fabricated by the LIGA Process」 IEEE MEMS, pp.238-243(1999年) |
| 機械学会関西支部 研究賞 | 「マイクロマシニ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年1月) |
| 全国発明表彰：弁 理士会会長賞 | 共焦点用光スキャナの発明(2000年) |
| 市村産業賞貢献賞 | 高速画像観測が可能な共焦点顕微鏡の開発と実用化(2000年) |
| 大河内賞技術賞 | 分子のダイナミズム解析が可能な高速共焦点顕微鏡の開発と実用化 (2003年) |
| 文部科学大臣賞 科学技術功労者 | 高速共焦点顕微鏡の開発と実用化(2002年) |
| 仏ガ / 万カ大賞審査 員特別賞 | 電場応答性高分子人工筋肉(2005年) |
| ものづくり日本大 賞 | 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年) |

【第1人者】

| 研究者 | 企業 | 役職等 |
|-----|----|-------------|
| A 氏 | イ社 | 国際会議の座長等歴任 |
| B 氏 | ロ社 | 経済産業省の審議会委員 |
| C 氏 | ハ社 | 執行役員常務 |
| D 氏 | ニ社 | 基礎研究所名誉所長 |

【大学転出者】

| 研究者 | 企業 | 大学 | 研究内容 |
|-----|----|----|---|
| E 氏 | ホ社 | a大 | 自己修復技術の研究等の細胞型機械の研究でつながりのある研究を行っている。 |
| F 氏 | ヘ社 | b大 | ロボットを中心としてメカトロニクスやバーチャルリアリティの研究を行っている。 |
| G 氏 | ト社 | c大 | Spring-8 の新しい装置を駆使しながら基礎研究にとどまらず中小企業を巻き込んで幅広く活動している。兵庫県を中心とする中小企業5社等とのプロジェクトをスタート。NEDO の地域新生コンソーシアムにも採用されており、トータルプロセスの確立と次世代モバイルディスプレイ等に応用される微小な電子・光学部品の量産化開発の研究を行っている。 |
| H 氏 | チ社 | d大 | 当初はアクチュエータの研究。類似の技術で空気用の静電アクチュエータや静電ワブルモータの研究を行っている。 |
| I 氏 | リ社 | e大 | 社会変革支援ロボティクス、新ロボットコンセプトの研究、環境メカトロニクスの研究等を行っている。 |
| J 氏 | ヌ社 | f大 | マイクロマシニングを用いて、センサ、アクチュエータをはじめとする MEMS の高機能化、高集積化の研究を行っている。さらに、これまでに蓄積してきた薄膜技術、厚膜技術をベースにして、圧電体、誘電体、磁性体、光学材料等の機能性材料と微細加工性に優れたシリコン構造材料を組み合わせることにより、新機能デバイスの創生を図っている。 |
| K 氏 | ル社 | g大 | ナノ計測技術、マイクロ加工技術、バイオ・高分子材料を駆使して、ナノバイオニクスの研究を進め、バイオセンサ、バイオチップ、ナノバイオイメージング等の研究を行っている。微細加工技術を用いるバイオ分析技術の開発、機能性プローブ顕微鏡の開発とバイオ分野への応用等を行っている。 |
| L 氏 | ヲ社 | h大 | 90年にMEMSデバイスの先駆けともいえるシリコン製の微小な振動式圧力計を開発した。2001年10月にマイクロマシンセンター内に発足した「マイクロ・ナノ製造技術に関する調査研究委員会」の委員長に就任している。 |
| M 氏 | ワ社 | i大 | 多種のアクチュエータ、金属ガラスの加工、成型に関する研究、MEMSの開発に挑んでいる。 |

【博士学位取得状況】

| 企業 | 博士号 | | 備考 |
|----|-----|-----|----------|
| | 取得者 | 候補者 | Prj 参加人員 |
| あ社 | | | 5 |
| い | 1 | | 8 |
| う | | | 16 |
| え | | | 12 |
| お | | | 8 |
| か | 1 | 2 | 7 |
| き | 1 | | 6 |
| く | 1 | 3 | 13 |
| け | | 3 | 13 |
| こ | | 1 | 11 |
| さ | 1 | | 9 |
| し | 1 | | 5 |
| す | | | 8 |
| せ | 3 | | 9 |
| そ | | | 17 |
| た | 1 | 1 | 14 |
| ち | | | 12 |
| つ | | | 6 |
| て | | | 5 |
| と | 1 | | 9 |
| な | 1 | | 6 |
| に | | | 14 |
| ぬ | | | 8 |
| 計 | 12 | 10 | 221 |

【英語論文の被引用回数】

本プロジェクト成果に関連した内容を発表した英語論文の被引用回数 (Citation) の調査を行った。現在、被引用回数を調査できるデータベースは、英語で発表した論文に限られる。ここでは、科学技術分野でデータベースの充実している SciSearch,Cited Reference Science Database 34(1990-)を使用して、調査を行った。

1) 高速共焦点顕微鏡関連 被引用回数 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 2002,p4704-4708

2) LIGA プロセスを用いて加工した電極を装備した放電加工技術 被引用回数 7回

A Novel Micro Electro-Discharge Machining Method using Electrodes Fabricated by the LIGA Process,K.Takahata,N.Shibaike,H.Guckel,IEEE MEMS,pp.238-243(1999)

3) X線リソグラフィ関連加工技術 被引用回数 4回

LIGA process-Micromachining technique using synchrotron radiation lithography-And some industrial applications,Hirata,Yoshihiro,Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam interactions with Materials and Atoms, VOL. 208, No.1-4, August, PAGE. 21-26 (2003)

その他、被引用3回が1件、2回が4件、1回が2件あった。

(3) 経済効果

1) 市場創出への寄与

ここでは各企業の市場創出状況についてその特徴をまとめた。

本プロジェクトによる市場創出については大別して下記の3グループに分けられる。

甲：新たな市場を開拓した技術及び製品を出した企業グループ

乙：従来市場に進出し、競争力強化できた技術及び製品を出した企業グループ

丙：近い将来実用化されて市場創出の予想される技術及び製品を出す企業グループ

である。

- ・ 甲グループではこのプロジェクトの開発技術及び波及技術から実際に製品が実用化されており、その企業にとって比較的新規市場創出イメージが明確な製品を開発した企業を抽出した。

- ・ 乙グループでは開発製品がその企業の既販売製品に近い製品を開発し、従来製品の高機能化、高級化により従来市場での市場競争力強化になっている企業を抽出した。

このグループは開発製品の種類は多いが、既に市場に出ているため新規市場創出の把握が難しい状況にある。また、社内技術が高いために社内従来技術とプロジェクト開発技術との分離が難しく効果が定量化できないことも想定される。しかし、このグループはこれらの開発高度技術を織り込んだ高性能製品で競争力が増し、従来品の代替を行いつつ徐々に新規市場を開拓することが推測される。

- ・ 丙グループでは今回の調査で2010年頃までに製品化を計画している企業を抽出した。

これらは、甲グループは6企業、9製品、乙グループは6企業、6製品、丙グループは9社、9製品で、合計19企業(うち4企業が2製品以上で市場創出)、24製品となっている。

参加機関25(企業:23社、1大学、1国立研究機関)の内約80%の企業が市場創出に寄与している。

甲グループ

| 開発企業 | 製 品 | 適用分野 ⁶ |
|------|----------------------------|-----------------------------|
| 甲 1 | 家庭用燃料電池フローセンサ | エネルギー分野 |
| 甲 2 | 超音波診断装置 IC 検査用コンタクトプローブ | 医療・福祉分野 精密・計測機器分野 |
| 甲 3 | 超精密加工機 高精度エンコーダ | 工作機械・マイクロファクトリ分野 情報・通信分野 |
| 甲 4 | 形状記憶合金カテーテル フォトリソ結晶ファイバ | 医療・福祉分野 情報・通信分野 |
| 甲 5 | 高速共焦点顕微鏡 | 精密・計測機器分野 |
| 甲 6 | 人工筋肉アクチュエータ | 生活文化関連分野 |

乙グループ

| 開発企業 | 製 品 | 適用分野 |
|------|-----------------|------------------|
| 乙 1 | 共焦点顕微鏡 | 精密・計測機器分野 |
| 乙 2 | 薄膜温度センサ | エネルギー分野 |
| 乙 3 | 高性能加速度センサ | 自動車分野 |
| 乙 4 | 電池材料 | エネルギー分野 |
| 乙 5 | 非冷却赤外センサ、加速度センサ | 自動車分野 |
| 乙 6 | ミニ生産システム | 工作機械・マイクロファクトリ分野 |

丙グループ

| 開発企業 | 製 品 | 適用分野 |
|------|------------------------------------|-----------|
| 丙 1 | 細胞分離装置 | 精密・計測機器分野 |
| 丙 2 | 脳腫瘍治療用レーザカテーテル | 医療・福祉分野 |
| 丙 3 | RF スイッチ | 情報・通信分野 |
| 丙 4 | 赤外線温度センサ | 情報・通信分野 |
| 丙 5 | CCD マイクロカメラ | 情報・通信分野 |
| 丙 6 | シリコン貫通孔配線加工 | 精密・計測機器分野 |
| 丙 7 | 形状記憶合金コイル：b 社に譲渡 (形状記憶合金点字ユニット) | 医療・福祉分野 |
| 丙 8 | 3次元で動く指口ロボット | 生活文化関連分野 |
| 丙 9 | 民生用口ロボット | 生活文化関連分野 |

【各企業の市場創出状況】

⁶ 分野の分類は「MEMS関連市場の現状と日本の競争力分析に関する調査研究」産業研究所/(財)マイクロメカニクス、H16.2の分類を参考にした。

【甲 1】

当社はプロジェクト期間中の要素技術を活かして家庭用燃料電池用のフローセンサを2002年に製品化した。現在の売上は少ないが、家庭用燃料電池の伸びとともに売上増を期待しており、20億円/年規模を期待している。燃料電池分野の新規市場創出の他に医療用麻醉ガスフローセンサやフロー目詰まり検知センサへの市場進出を計画している。

この関連製品として赤外線温度センサを2006年頃に製品化を計画しており、非接触で温度測定を可能とする技術に対するニーズを把握し、市場進出を計画している。またプロジェクトで蓄積した技術から加速度センサを2006年に製品化する予定であり、携帯電話市場に進出を計画している。

【甲 2】

当社は独自の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たが、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、これが超音波医療診断装置の製品化につながった。しかも、この発信デバイスを内視鏡と組み合わせ医療診断装置に組上げ、このプロジェクトに参加した医療分野に実績のある企業と共同開発を行い短期間で実用化に至った。本プロジェクトにおける人脈や交流強化により、医療分野に新規参入した好例といえる。この製品はプロジェクト事後評価時点で累計約900セット販売したが、その後も100セット/月程度の販売を継続している。

また、他に産業用非破壊検査装置として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。

さらに、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を2003年頃に製品化した。

【甲 3】

プロジェクトで当社の担当した開発技術はマイクロアーム技術であり、要素技術である超精密加工技術の研究開発を継続し、エンコーダを実用化した。現在、数千台/月販売している。その超精密加工技術を利用して、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を実用化した。

従来半導体分野では微細加工技術としてエッチング技術が適用され、ミ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った。この超精密加工機では側面のスムーズな加工が可能となり、応用が増えてきている。

この超精密加工により、自動車用ヘッドライトランプ用の高級レンズ金型製作、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。プロジェクト用のレンズアレイの金型はMEMSでも製作できるが、この機械加工で精度のよいものができるようになり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

代の超精密加工機が販売されている。

また、この超精密加工機とプラスチック射出成型技術とで製作した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。

【甲 4】

当社は本プロジェクトの成果である形状記憶合金コイルを用いた医療用カテーテルを製品化した。これは、プロジェクト開発時にシーズを出し、本プロジェクト第 1 期でユーザーからそのコイルの使用要請があった。プロジェクト期間中に製品化し、日本産業技術振興協会（JITA）と実施契約を結び販売を開始した。その後、カテーテル専門メーカーである a 社に 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。a 社では B 社より譲渡された技術に改良を加え現在、コードレス細径内視鏡として販売しており、20 本/年程度の販売がある。

また、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の b 社に 2005 年に譲渡した。b 社では点字用のデバイスに活用予定である。

さらに、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。このファイバをチリにあるヨーロッパ南天天文台(Paranal Observatory)とハワイにある日本の国立天文台のすばる望遠鏡に納入した。この種のファイバを製造できるのは当社と海外の 2 社(デンマーク、イギリス)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等高性能通信用部品を対象にしており将来の売上増を期待している。

【甲 5】

当社は本プロジェクトの成果である形状計測技術を発展させて、高速共焦点レーザ顕微鏡を製品化した。従来品はモータを使用して 30 コマ/秒程度であったが、モータの回転数をあげて 1000 コマ/秒をプロジェクト期間中に基本技術として達成したが、振動問題は残った。プロジェクト終了後に抜本的に振動問題を解決し製品化した。この技術は世界最高速で日本の技術が世界を制覇した。現在までの販売数は約 1000 台である。このタイプの高速共焦点レーザ顕微鏡は現在、当社がほぼ 100%のシェアである。

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る等画期的な進歩があり、バイオ分野の研究でも革新的な貢献をした。本装置による観察画像が Nature 誌の表紙に 2 回掲載されており、英文の海外被引用文献に 11 回も引用されている。

【甲 6】

当社は本プロジェクトの成果である人工筋肉アクチュエータを実用化し、実験キットとして販売している。その実用化のプロセスは、本プロジェクト終了後、約 30 億円のアメリカの研究補助金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

年に米国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の上下に伸縮可能な電極を作製し、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、現在具体的ニーズを模索中で医療、福祉分野の他に多くの分野で適用の可能性がある。

【乙1】

当社は本プロジェクトの成果である薄膜製造技術やMEMS技術を活かして開発したミラーを用いた共焦点顕微鏡は2000年に製品化、2003年に更に小型化した。この製品は共焦点レーザ顕微鏡ではトップシェアを確保している。医療分野の内視鏡ではMEMS技術を活用してCCDカメラを搭載し、拡販している。また、光通信用光スイッチアレイを開発中で新設備を導入している。当社は研究開発、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。

更にファンドリサービスを2002年より開始した。設計・シミュレーション等の幅広いサービスを提供しているが、現在、電機、精密、機械メーカー等の大企業からの依頼が多く、光MEMS(ミラー、スイッチ)、高周波MEMS(高周波フィルタ)、センサ等があり更に新規事業創出の期待がある。

企業の戦略として、マイクロマシニング、MEMSに重点を置いており、研究開発組織を拡大して、約140名と充実化している。また雇用促進効果も10人以上と回答している。

【乙2】

当社は本プロジェクトではマイクロアクチュエータの薄膜技術開発を担当した。この技術の波及効果として薄膜温度センサを実用化した。自社の主要大型製品であるガスタービンの開発に活用する温度センサとして実用化している。この温度センサによりタービン静翼の温度測定が高精度で可能となった。そのデータを基に高効率ガスタービンの設計に反映させ、燃料節約の省エネルギー効果が期待できる高効率ガスタービンの開発に活かしている。

【乙3】

当社は本プロジェクトの成果である深堀技術、設計技術等の要素技術を活用している。設計技術はアンテナ設計技術(GPS、ETCアンテナ)に活かされ、深堀技術、実装技術、変位計測技術等は、各種センサ(圧力センサ、高性能加速度センサ)の製造に活かされている。高性能加速度センサはエアバッグやABS制御(Anti lock Brake System)姿勢検知用等に適用され自動車産業に貢献している。既存の市場において、最高水準の製品を供給している。

【乙4】

当社は本プロジェクトの成果である材料評価技術を活用して高機能の電池材料の開発、実用化を行い製品化している。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。

【乙5】

当社は本プロジェクト成果である薄膜内の残留応力制御技術を活かし、非冷却赤外センサやエアフローセンサ、加速度センサを実用化した。既存の市場において、最高水準に相当する装置を供給した。

【乙6】

当社は本プロジェクトでマイクロ加工・組立システム技術開発テーマのリーダー企業として技術を蓄積した。当社は小さい製品を製造することを得意としていることから「小さい製品は小さい設備で」の合言葉でこの技術開発を継続し、その後、地域新生コンソーシアム研究開発事業に参加し、この技術を完成させ、円筒研削装置を製品化した。これは従来の一般的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 でありながら、ジルコニア材料に真円度、円筒度は $1\mu\text{m}$ 以下と、従来の工作機械と同等ないしそれ以上の精度を実現した。環境負荷をかけない生産システムとして 2003 年から実験稼働している。なお、本装置は当面社内用として技術を確認し、従来市場の競争力強化につなげる予定である。

【丙1】

当社は本プロジェクトの成果である微量液体操作技術の波及として、細胞分離装置を開発した。細胞分離装置は現在米国 2 社の独占状況であり、国内市場は約 200 億円/年規模と想定されている。

【丙2】

当社は本プロジェクトの成果であるカテーテルの微細薄膜加工技術の波及と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、大学と共同研究を行い開発した。脳腫瘍の悪性細胞を薄皮を剥ぐように薄く（0.1mm 位）除去することが可能である。レーザとロボットとを組み合わせ正確に削除する技術を開発しており、すで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試験、治療効果の確認、認可の過程を経なければならぬ上に、更に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を要する。

【丙3】

当社は本プロジェクトの成果である狭ギャップ製造技術を活用し RF スイッチの開発を行っており、市場規模の大きい携帯電話市場の新規開拓を計画している。5年以内に実用化を検討している。

【丙4】 甲1参照。**【丙5】**

当社は本プロジェクトの成果であるマイクロ視覚システムの技術開発を行った。この技術は、完成度が高くニーズがあれば製品化できる状況にある。その後、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。

【丙6】

当社は前期に開発テーマである赤外線センサの作製技術の研究の中から貫通孔加工技術のシーズを起こし後期で発展させた。本プロジェクトにより発生したこの技術は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、世界でトップレベルと言える。ウエハレベルパッケージや半導体実装分野等具体的対象製品を模索中である。現在、ファンドリサービスを開始するところである。

【丙7】 甲4参照。**【丙8】**

当社は本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、愛知万博ではトヨタ館の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。

【丙9】

本プロジェクトの成果である精密加工技術による高減速比プラスチックギア製造技術は、軽量フレックスインターナル減速機の開発につながった。低価格の上、軽量でバックラッシュが小さいという特徴があり、家庭向けロボット等の民生用製品への適用を検討している。将来、福祉分野、医療分野等への新規市場進出の可能性がある。

2) 経済的インパクト

ここでは実用化した技術・製品及び数年後に実用化を予定している技術・製品の売上金額を算定した。

各企業のヒアリングにより、波及技術を含めて実用化した技術・製品及び数年後に実用化を予定している技術・製品は 24 以上である。しかし経済的効果については製品としての販売金額を各社自体が把握できていないことと、各社の営業政策の面からも公表できない状況である。そこで、各企業のヒアリングをベースとして売上金額を算定した。算定した数字は概数として理解すべき数値であり、個別に算定できない製品を考慮すると下限に近い金額と評価すべきであろう。

本プロジェクト終了後の 2001 年度から売上が伸びてきており、2005 年度では約 50 億円の売上げを予測しており、2010 年度には、これまでの実用化製品の伸びと数年後に実用化を予定している技術・製品が加わり、これらの製品の売上金額は現在の約 4 倍の約 200 億円/年規模になるものと予測される。

累積売上金額は 2005 年度では約 150 億円、2006 年度で約 230 億円、2010 年度では約 850 億円と予測される。

なお、本プロジェクトの総費用は約 213 億円であるから、2006 年度で研究投資費用を回収できることになる。

【実用化製品と近い将来実用化製品の売上金額】

各企業のヒアリングにより、波及技術を含めて実用化した技術・製品及び数年後に実用化を予定している技術・製品は 24 以上である。しかし経済的効果については本プロジェクト成果が反映されている製品を分けた販売金額を各社自体が把握できていないことと、各社の営業政策の面からも公表できない場合が多い状況である。そこで、各社のヒアリングをベースに市場規模等の若干の推定を加え売上金額を推定した。

既に実用化した製品及び数年後に実用化を予定している製品とその利用分野を前項で示したが、これらの製品の中にはセンサ類のように特定の分野に限定されず、複数の分野に使用される製品もある。しかし、ここでは分野別に使用量を算定できるほどの精度ではないため主要用途を想定して分野を設定した。なお、分野の区分けは産業研究所が実施している MEMS の市場予測調査報告書の分類を参考にした。

実用化製品は 2005 年現在で製品化されている製品を、近い将来実用化製品は 5 年以内に製品化を目指している製品である。これらの製品を 5 分野に大別し、分野別に売上金額を表 2.1 に示した。

この表よりこのプロジェクトで製品となった分野は精密・計測機器分野が多いが、近い

将来の実用化製品は情報・通信関係の市場が大きくなると予想される。

売上規模は 2005 年度で約 50 億円規模と予測される。これらの製品はプロジェクト終了の 2000 年度以降に製品化したものが多く、その後それらの製品が徐々に売上を伸ばしており、2005 年度までに累積で約 150 億円の売上になると予測している。

これらの製品は各社が販売目標として金額を設定しているがその達成時期を約 5 年後と想定し、また近い将来の実用化製品も 5 年後の 2010 年度以内に製品化されると想定すると、2010 年度頃の売上金額は既実用化製品の売上の伸びと近実用化製品の売上が加わり、約 200 億円/年規模に達すると予測される。

累積売上金額は 2005 年度では約 150 億円、2006 年度で約 230 億円、2010 年度では約 850 億円と予測される。なお、本プロジェクトの総費用が約 213 億円であるから、図 2.1 に示すように 2006 年度には投資金額を回収できることになる。

表 2.1 開発製品の売上予測 (単位：億円)

| 分野 | 2005 年度 までの累計 | 2005 年度 | 2010 年度 | 製品例 |
|----------------------------------|------------------|---------|---------|--|
| 1.情報・通信 | 10.8 | 3.6 | 66 | フォトニック結晶ファイバ、CCD マイク カメラ |
| 2.自動車 | 0.9 | 0.3 | 20 | 高性能加速度センサ |
| 3.精密・計測機器/ 工作機械・マイクロ ファクトリ | 132.0 | 44.0 | 72 | 高速共焦点顕微鏡、細胞分 離装置、超精密加工機、超 音波診断装置 |
| 4.エネルギー | 1.5 | 0.5 | 21 | 家庭用燃料電池フロンセンサ、電 池材料 |
| 5.生活文化/ 医療・福祉 | 5.1 | 1.7 | 21 | 軽量減速機、人工筋肉アクチュエ ータ、超音波診断装置 |
| 計 | 150.3 | 50.1 | 200 | |

表 2.2 成果を活用した製品の売上予測

(単位：億円)

| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 単年度 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 80 | 110 | 140 | 170 | 200 |
| 累積 | 10 | 30 | 60 | 100 | 150 | 230 | 340 | 480 | 650 | 850 |

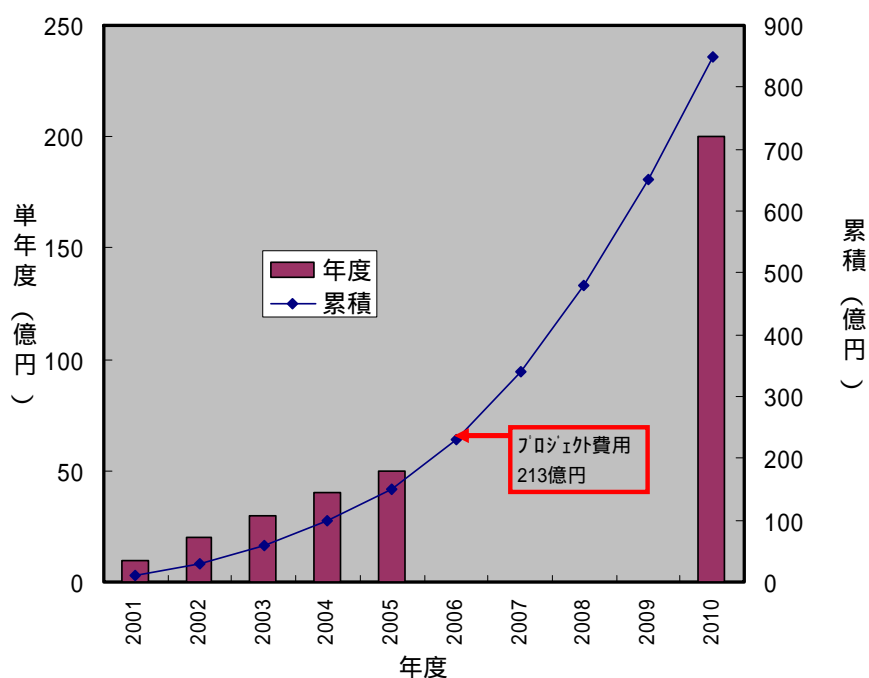


図 2.1 成果を活用した製品の売上げ予測 (億円)

(出所：ヒアリング調査結果)

【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、これらの製品の国内市場規模を整理した。最近における MEMS 技術の市場規模を表 2.3～4、図 2.2 に示した。これによると、2002 年では約 4300 億円であるが、2010 年には 1 兆 3500 億円に達し、2010/2002 比では約 3 倍に成長する。また個別分野では、生活文化関連(アミューズメント、家電)分野の伸びが約 33 倍と顕著な伸びを示し絶対額でも自動車分野を越すことが注目される。

また、1997 年に実施された市場規模予測値⁷がある。そこでは 3 つのケース(ケース 1：遅い市場拡大予測、ケース 2：中間的な市場拡大予測、ケース 3：速い市場拡大予測)について 2015 年まで予測している。そのデータから 2001 年度を基準として市場を算定し、上記 MEMS 市場調査値もあわせて表 2.5、図 2.3 に示した。なお、MEMS 市場の 2001 年、2005 年、2015 年は 2010/2002 の伸び率と同じとした外挿値である。これによると、最近の MEMS

⁷ 進化するマイクロマシン、日刊工業新聞社、2002.2

技術の市場規模は 1997 年に実施されたケース 2 の中間的な予測値に近い。

表 2.3 MEMS 技術の市場規模 (単位：億円)

| No | 産業分野 | プロダクト貢献型アプリケーション | 2002年 | 2010年 | 増加量 | 増加率 |
|----|----------------|--|-------|--------|-------|-------|
| | | | A | B | B-A | B/A |
| 1 | 情報通信機器 関連 | ・磁気ディスク装置、・光ディスク装置、・シリアルプリンタ(インクジェット、熱方式)、・レーザープリンタ、VRT/ビデオカメラ、・DVD-ビデオ、・ファクシミリ、・複写機、・磁気ヘッド、・超小型モータ、・光コネクタ、・携帯電話 | 1,492 | 3,622 | 2,130 | 2.43 |
| 2 | 精密機器分野 | ・カメラ、・デジタルカメラ、・腕時計 | 911 | 1,243 | 332 | 1.36 |
| 3 | 計測機器分野 | ・SPM、・X線CTグラフィ、・一般科学機器 | 33 | 191 | 158 | 5.79 |
| 4 | マイクロファクトリ分野 | ・産業用ロボット、・金属工作機械、・半導体製造装置 | 145 | 385 | 240 | 2.66 |
| 5 | メンテナンス分野 | ・工業用内視鏡、・非破壊検査機器 | 13 | 28 | 15 | 2.15 |
| 6 | 医療福祉関連 分野 | ・生体現象計測/監視システム、・画像診断システム、・処置用機器、・生体機能人体機能/補助機器、治療用および手術用機器、・医用検体検査機器 | 122 | 384 | 262 | 3.15 |
| 7 | ハイテクノロジー分野 | ・ハイセンサー、・μTAS適用可能機器、・コンピュータグラフィクス、・その他分離分析機器 | 141 | 486 | 345 | 3.45 |
| 8 | エネルギー分野 | ・エウアラブル燃料電池 | 0 | 371 | 371 | |
| 9 | 環境関連分野 | ・環境計測機器 | 0 | 13 | 13 | |
| 10 | 自動車関連分野 | ・センサー、・センサーシステム | 1,351 | 2,467 | 1,116 | 1.83 |
| 11 | 航空宇宙関連 分野 | ・航空機、・宇宙衛星 | 0 | 455 | 455 | |
| 12 | 生活文化関連 分野 | ・アミューズメント・家電 | 120 | 3,870 | 3,750 | 32.25 |
| 13 | 都市環境整備 関連分野 | ・ITSインフラ | 0 | 45 | 45 | |
| 14 | 農林水産関連 分野 | ・食品機械工業 | 0 | 13 | 13 | |
| 計 | | | 4,328 | 13,573 | 9,245 | 3.14 |

(出所：MEMS 関連市場の現状と日本の競争力分析に関する調査研究、産業研究所/(財)マイクロシセンター、H16.2)

表 2.4 MEMS 技術の分野別市場規模

(単位：億円)

| No | 製品 | 2002年 | 2010年 | 増加率 | No | 製品 | 2002年 | 2010年 | 増加率 |
|----|-------------|-------|-------|------|----|-------------------|-------|--------|------|
| 1 | 情報通信機器関連 | | | | 6 | 医療福祉関連分野 | | | |
| | 磁気ディスク装置 | 198 | 446 | 2.3 | | 生体現象計測/監視システム | 11 | 48 | 4.4 |
| | 光ディスク装置 | 125 | 233 | 1.9 | | 処置用機器 | 3 | 160 | 53.3 |
| | インクジェットプリンタ | 152 | 274 | 1.8 | | 生体機能人体機能/補助機器 | 22 | 32 | 1.5 |
| | パーソナルプリンタ | 30 | 119 | 4.0 | | 家庭用医療機器 | — | 67 | |
| | VRT、ビデオカメラ | 113 | 221 | 2.0 | | 医用検体検査機器等 | 86 | 77 | 0.9 |
| | DVD-ビデオ | 66 | 526 | 8.0 | | 計 | 122 | 384 | 3.1 |
| | ファクシミリ | 44 | 58 | 1.3 | 7 | バイオテクノロジー分野 | | | |
| | 複写機 | 118 | 236 | 2.0 | | バイオセンサ | 107 | 351 | 3.3 |
| | 磁気ヘッド | 457 | 430 | 0.9 | | DNAマイク | 9 | 26 | 2.9 |
| | 超小型モータ | 19 | 48 | 2.5 | | バイオチップ市場 | 4 | 12 | 3.0 |
| | 表示デバイス | 28 | 357 | 12.8 | | PCR関連 | 1 | 3 | 3.0 |
| | 光コネクタ | 1 | 6 | 6.0 | | シグナラ | 5 | 21 | 4.2 |
| | 携帯電話 | 141 | 668 | 4.7 | | 蛋白質構造解析プラットフォーム関連 | 7 | 31 | 4.4 |
| | 計 | 1,492 | 3,622 | 2.4 | | アポサイトメータ | 2 | 12 | 6.0 |
| 2 | 精密機器分野 | | | | | バイオ製品 | 6 | 30 | 5.0 |
| | カメラ | 312 | 335 | 1.1 | | 計 | 141 | 486 | 3.4 |
| | デジタルカメラ | 587 | 722 | 1.2 | 8 | エネルギー分野 | | | |
| | 腕時計 | 12 | 186 | 15.5 | | エタラブル燃料電池 | — | 371 | |
| | 計 | 911 | 1,243 | 1.4 | 9 | 環境関連分野 | | | |
| 3 | 計測機器分野 | | | | | 環境計測機器 | — | 13 | |
| | SPM(カブリバ) | 5 | 7 | 1.4 | 10 | 自動車関連分野 | | | |
| | カメラグラフィ | 19 | 144 | 7.6 | | 電子部品・センサ | 1,139 | 2,029 | 1.8 |
| | 一般科学機器 | 9 | 40 | 4.4 | | エパック | 187 | 280 | 1.5 |
| | 計 | 33 | 191 | 5.8 | | センサ外システム | 20 | 136 | 6.8 |
| 4 | マイクロファクトリ分野 | | | | | ITS関連機器 | 5 | 22 | 4.4 |
| | 産業用ロボット | 24 | 61 | 2.5 | | 計 | 1,351 | 2,467 | 1.8 |
| | 金属工作機械 | 60 | 123 | 2.1 | 11 | 航空宇宙関連分野 | | | |
| | 半導体製造装置 | 59 | 137 | 2.3 | | 航空機 | — | 5 | |
| | 化学機械 | 2 | 64 | 32.0 | | 宇宙衛星 | — | 450 | |
| | コシネレーター | 0 | | | | 計 | — | 455 | |
| | 計 | 145 | 385 | 2.7 | 12 | 生活文化関連分野 | | | |
| 5 | メンテナンス分野 | | | | | アミューズメント | 90 | 2,970 | 33.0 |
| | 工業用内視鏡 | 5 | 14 | 2.8 | | 家電 | 30 | 900 | 30.0 |
| | 非破壊検査機器 | 8 | 14 | 1.8 | | 計 | 120 | 3,870 | 32.3 |
| | 計 | 13 | 28 | 2.2 | 13 | その他 | | | |
| | | | | | | ITSインフラ | — | 45 | |
| | | | | | | 食品加工機械 | — | 13 | |
| | | | | | | 計 | — | 58 | |
| | | | | | 合計 | | 4,328 | 13,573 | 3.1 |

(出所：MEMS 関連市場の現状と日本の競争力分析に関する調査研究、産業研究所/(財)マイクロマシンセンター、H16.2)

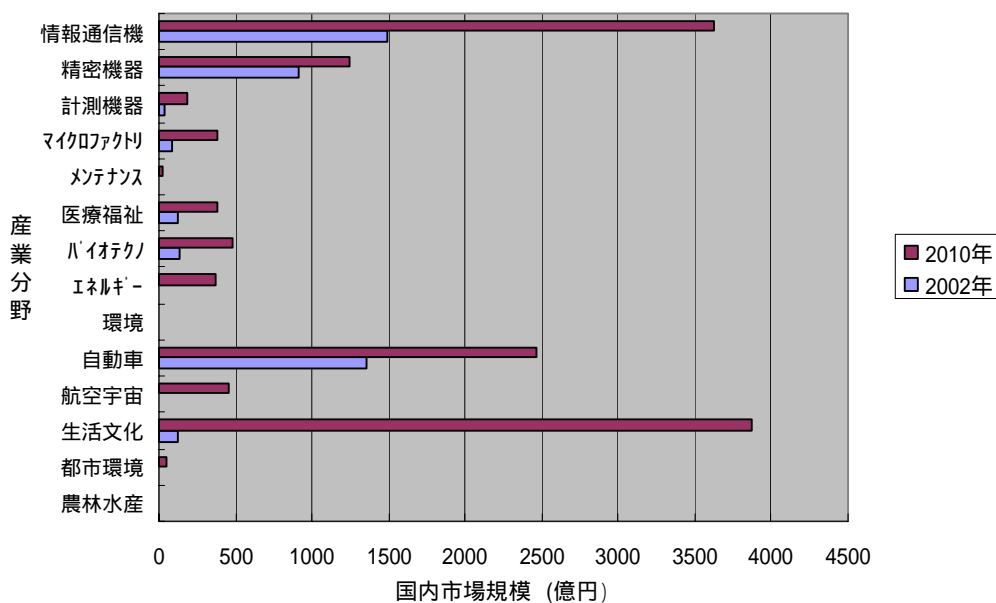


図 2.2 MEMS 技術の国内市場規模

(出所：MEMS 関連市場の現状と日本の競争力分析に関する調査研究、産業研究所/(財)マイクロマシンセンター、H16.2)

表 2.5 MEMS 市場予測

(単位：兆円)

| | 2001年 | 2005年 | 2010年 | 2015年 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| ケース1 | 0.59 | 0.64 | 0.84 | 1.49 |
| ケース2 | 0.59 | 0.79 | 1.09 | 2.19 |
| ケース3 | 0.59 | 1.54 | 2.79 | 2.99 |
| MEMS 市場値 | 0.36 | 0.83 | 1.35 | 1.86 |

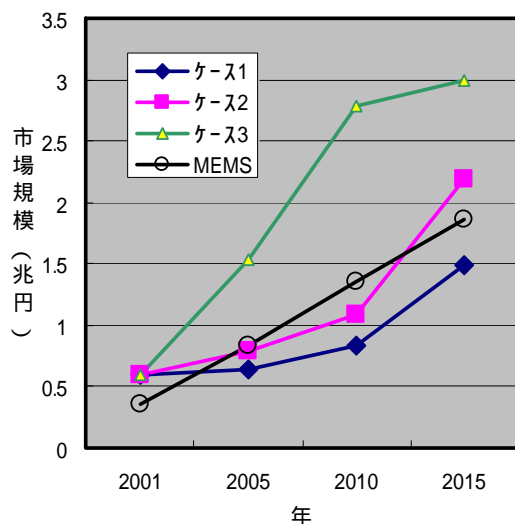


図 2.3 マイクロマシン及び MEMS の市場と予測

(出所：進化するマイクロマシン、日刊工業新聞社、2002.2)

3) 産業構造転換・活性化の促進

ここでは各企業の産業勃興や新規参入状況について整理した。

本プロジェクトが実施された期間はバブル崩壊による平成不況の最中に遂行され、各社とも企業の生残りをかけて業務の集中と選択が行われた。その状況の中でいくつかの企業のレベルがある。すなわち、

この技術を充実・発展させ MEMS 技術を社内の重要開発技術分野に定着させ成果も出している企業

このプロジェクトに関係していたために社内で技術が生残り、その波及技術から製品まで成長させた企業

本プロジェクトに参加していなければ組織の存続が懸念された企業

また、ある企業は本プロジェクトで製品を開発したが経営方針から継続を断念せざるを得なかった。しかし、その開発技術はベンチャー企業及び専門企業に継承され市場で十分に活用されているケースがある。

このように本プロジェクトの技術をコアとして産業構造転換・活性化の促進に貢献している。

雇用創出効果は、特に大きい(10人以上)企業が2、小さい(10人以下)企業が3で雇用創出効果は表面上大きいとはいえない。しかし、ほとんどの企業で大幅なリストラが断行されたこの時期の状況から想定すると、本プロジェクト技術成果が受け皿となって技術者の削減に歯止めをかける効果もあったと想定される。

産業構造転換・活性化に繋がったとする企業は約半数(12企業)あり、その内大いにあると回答した企業は2企業である。別の設問で産業勃興、新規参入できたとする企業は40%(9企業)である。

プロジェクト参加研究者

- ・国プロに参加したのはマイクロマシンプロジェクトが最初で、それ以降この技術は大きく社内に影響している。当社では以前から MEMS 的开发は実施していたが、その後の MEMS プロジェクトにも参加しており MEMS 技術にかかわる製品は大幅に市場創出できた。2003年に MEMS 開発本部を発足させたがマイクロマシンの影響が強いため、社内では MEMS はマイクロマシンの一部との認識がある。
- ・プロジェクトを始めたときは中央研究所の機械部門であったが、その後、マイクロマシンに関係した人、センサ関係の人、光デバイス関係の人、高周波回路関係の人を集め組織を充実した。14名が現在は50名になった。
- ・このプロジェクトの成果を活用できないかと検討しているときに、社長が交代し新製品開発の募集があった。1000件以上の応募の中から、本プロジェクト参加研究者が応募し

たロボットも選定され、それが現在のロボットの始まりとなった。その後社内で大幅な資金支援があり方針も福祉を含む方向に転換した。

- ・社内ではマイクロマシンや MEMS 分野は製品ができて売上がないと組織が消える可能性があったが、本プロジェクトに参加したことにより研究の継続が認知された。また、このプロジェクトの成果から設計関係が必要ということが分かり、次期プロジェクトの MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトに参加することができた。波及技術を活用して製品をまもなく出す予定である。
- ・プロジェクト直前にシーズが生まれ、プロジェクト期間中に製品となり販売を開始した。その後、会社の方針からこの関連の事業縮小となり社内で製造継続はできなくなった。しかし、幸いコイル製造技術を利用したいというベンチャー企業がでてきたのでその企業に譲渡した。また、その技術を活用したカテーテル技術は医療専門企業に譲渡した。開発担当者としては残念であるが、技術は継承されていることになる。また、プロジェクトの波及技術で別の製品を生み出した。

(4) 国民生活・社会レベルの向上効果

ここでは、本プロジェクトの研究成果による国民生活・社会レベルの向上効果等についてまとめた。

1) 情報化社会への影響

【システム化技術分野】

本プロジェクトの成果である薄膜製造技術を活用して開発される、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。

また、本プロジェクトの研究成果である静電アクチュエータ技術及びマイクロ視覚のシステム化技術は、デバイスの高機能化や3次元実装高密度化等により、携帯電話用カメラ等の小型光学機器開発に活かされ、多機能端末としての開発が進めば、質の高い情報化社会形成に寄与する。

【共通基盤技術分野】

本プロジェクトの研究成果である人工筋肉アクチュエータは、携帯電話カメラ用レンズユニットのオートフォーカスとズーム機構や、光スイッチ用フレームアクチュエータ等への応用が近いところにあり、小型、省エネルギータイプの情報機器の開発に寄与する。

【システム化技術分野】

プロジェクト参加研究者・

- ・本プロジェクトの成果である薄膜製造技術を活用して開発される、RF系デバイス、ミリ波発生用デバイス、共振器等は、携帯電話等の通信装置へ搭載され、小型化、高性能化等で寄与し、質の高い情報化社会形成に貢献する。
- ・本プロジェクトの研究成果である静電アクチュエータ技術及び3次元実装技術は、携帯電話用カメラ等小型光学機器開発に活かされ、携帯電話の多機能端末化を促し、高度な情報化社会形成に寄与する。

【共通基盤技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である人工筋肉アクチュエータは、携帯電話カメラ用レンズユニットのオートフォーカスとズーム機構への応用が近いところにあり、小型、省エネルギータイプの情報機器の開発に寄与する。また、人工筋肉アクチュエータは、電圧を加えると透明化する機能があり、光スイッチ用フレーム型アクチュエータとしても使用

可能であり、通信機器の高機能化等のレベルアップにも寄与する。

2) 安全、安心、生活の質

【システム化技術分野】

本プロジェクトの研究成果による技術で実用化された加速度センサは、エアバッグや、ABS 制御 (Anti Lock Brake System) 姿勢検知用に使用されて、自動車の安全性がさらに高まっている。

【機能デバイス高度化技術分野】

本プロジェクトの研究成果であるマイクロレーザを搭載した脳腫瘍治療用レーザカテーテルは、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。また形状記憶合金コイルを用いたカテーテルは内視鏡等への応用が図られ製品化された。カテーテル変形挙動が滑らかになる等、患者の負担が低減し、医療分野に寄与している。

また、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、高エネルギー転換率、多様な動作可能、静寂等の優れた機能を応用して、安全性に優れる使い捨て医療用ポンプ、電動車椅子、老人の直立支援装置、床ずれ防止機器、点字デバイス等の実用化開発が、ベンチャー企業で進められており、福祉技術分野の機器開発につながる。

【システム化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトにより開発された深掘微細加工技術により、改良されたエアバッグ用加速度センサは自動車に適用され、衝突時の安全性向上に寄与している。
- ・本プロジェクトの研究成果である加工技術、変位計測技術等をベースに開発、実用化された加速度センサはエアバッグや ABS 制御姿勢検知等に適用され、自動車の安全性向上に寄与している。

【機能デバイス高度化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果であるマイクロレーザを搭載した脳腫瘍治療用レーザカテーテルを大学と共同開発し、豚の脳を使った動物実験は既に行っており、効果を確認している。脳腫瘍の発生率は 10,000 人に 1 人程度、うち約 1/3 が悪性と言われ、5年生存率は、

95%抽出で20%程度、全てを抽出できれば、約40%に倍増する。技術的には臨床に進められる段階にあり、臨床試験が進めば実用化へ進むことが可能になる。

- ・本プロジェクトの研究成果である形状記憶合金コイルを用いた駆動技術はプロジェクト終了時点で一部製品化していたが、その後も開発を進め内視鏡等への応用が図られ製品化している。

プロジェクト参加研究者

- ・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、伸縮機構や回転機構を応用して、医療用ポンプへの適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。
- ・人工筋肉アクチュエータは、軽量、駆動時の静寂、高エネルギー転換効率等の長所があり、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。
- ・人工筋肉アクチュエータは、歪を与えると発電機としての機能を発揮し、小型で効率の良いことから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は、真っ直ぐ立てるようになる支援装置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。
- ・人工筋肉アクチュエータは車椅子に長時間座っている場合や、寝たきり病人の床ずれ現象軽減をはかる機器として有望であり研究を開始している。
- ・人工筋肉アクチュエータは、表面の形状を瞬時に変えられるスマート材料であり、電気信号を与えることによって瞬時に字の形をした凹凸が出せるので、点字用に使用することが可能と考えている。

3) エネルギー問題、環境問題への影響

【システム化技術分野】

マイクロマシン技術は小型化されているので省エネルギー化、省スペース化、少廃棄物化が図られ環境にやさしい技術である。

本プロジェクトの研究成果により開発された自動車用デバイスとして、燃料噴射センサ、ディーゼル車用インジェクタ、ディーゼルの燃料噴射アクチュエータ、フローセンサ等があり、自動車の省エネルギー対策として有効に使われている。

本プロジェクトの研究成果である薄膜の評価技術によって開発、実用化したフローセンサは、家庭用燃料電池用であり、水素等の代替エネルギー対策に寄与し、省エネルギー、CO₂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、省エネルギー、環境負荷低減技術としても寄与する。

また、本プロジェクトの研究成果である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。

【機能デバイス高度化技術分野】

本プロジェクトの研究成果である材料の計測評価技術が活かされ、電池の正極材料、電解質材料、負極材料の開発に繋がり製品化できた。電池の高性能化、品質安定化により寿命が延長し、省エネルギー化が図れる。

本プロジェクトで開発した小型で出力密度の大きい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、エネルギー転換率に優れ、省エネルギー効果が大きい。

【共通基盤技術分野】

また、本プロジェクトで開発した薄膜製造技術を用いて開発用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かされ高性能ガスタービンの開発につながっており、省エネルギーでCO₂削減に貢献する。

【システム化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・マイクロマシン技術は小型化されているので運用エネルギーは省エネルギー、省スペース、少廃棄物のものであり、環境にやさしい技術である。
- ・本プロジェクトの研究成果である薄膜の評価技術によって開発、実用化した気体のフロ

ーセンサは、家庭用燃料電池用であり、水素等の代替エネルギー対策に寄与し、省エネルギー、CO₂削減に貢献する。また、自動車等の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、省エネルギー、環境負荷低減技術としても寄与する。

- ・本プロジェクトの研究成果である高アスペクト比の深堀加工技術をベースとして開発、実用化した燃料噴射センサ、ディーゼル車用インジェクタ、及び本プロジェクトの研究成果である変位計測技術を活用して開発、実用化したディーゼルの燃料噴射アクチュエータ等は、自動車の省エネルギー化（低燃費化）に貢献する。
- ・本プロジェクトの研究成果であるマイクロファクトリ技術により小型円筒研削装置を実用化した。本機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、恒温室に設置するとしても小容積のもので済み、省エネルギー効果が大きい。

【機能デバイスの高度化技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・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エネルギー転移率が高く、パワー密度は 1W/g であり、人間の筋肉 0.2W/g に比べても 5 倍の効率がある。現在一番優れているサーボモータは 0.5W/g ぐらいであるが、減速機等が入ると効率が 10 分の 1 程度に下がって 0.05W/g となり、人工筋肉アクチュエータは約 20 倍の効率を示す。
- ・本プロジェクトの研究成果である材料の計測評価技術が活かされ、リチウム電池の正極材料、電解質材料、負極材料の開発に繋がり製品化できた。従来、単体性能は評価していたが、電池を組込んだ使用条件での評価ができるようになった。それが実際の特性を考える上で重要な指針になり、製品開発に非常に役に立っている。

【共通基盤技術分野】

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトの研究成果である積層型圧電マイクロアクチュエータの開発から継承された薄膜製造技術により薄膜温度センサを実用化した。この技術を用い開発用ガスタービン静翼上に薄膜温度センサを作製した。これにより 1000 以上になるガスタービンの静翼表面温度の測定精度が向上し、ブレードの材料開発、ガスタービン設計等の高効率ガスタービンの開発に活かされ、燃料使用量減による省エネルギー、CO₂削減が図られた。

(5) 政策へのフィードバック効果

ここでは、本プロジェクトの研究成果等による、その後の研究開発プロジェクトのテーマ設定や体制構築、産業戦略への影響についてまとめた。

本プロジェクトの事後評価において、「本プロジェクトを通じ多くの成果が得られたが、新しい開発であり、期限の制約があったため、本プロジェクト終了時点では実用化に供せられる段階に達した技術はまだ少なく、継続的に発展させる施策を講じる必要がある」との提言があった。このことを受け、マイクロマシン技術分野に含まれる小型・高機能で省エネ性に優れた高付加価値部品を製造する MEMS 技術に対し、我が国の製造業を支える新たな基盤技術としての期待も高まり、平成 15 年度に国プロジェクトとして、MEMS プロジェクトが立ち上がり、比較的短期に大きな市場が形成されると期待される RF-MEMS、光 MEMS、センサ MEMS の実用化に必要な製造技術の開発が始動した。その MEMS 技術をファンドリ事業に展開することにより MEMS 製品開発・生産が活性化する環境の構築も始まった。ファンドリ事業育成施策の一環として、(独)産業技術総合研究所において MEMS ビジネス棟の建設及び機器の整備事業が行われた。

本プロジェクトの研究開発を進めるに際して、デバイスの設計シミュレーション技術は米国中心の外国製であり、我が国が独自の研究開発を行うには、我国の設計シミュレーション技術の充実が不可欠であることが認識された。本プロジェクト実施研究者、大学関係者や有識者等からの要請も影響を及ぼし、MEMS の設計・開発を効率的なものとするため、最先端でかつ利用しやすいソフトインフラを我が国に構築しようとする国プロジェクトとして、MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクトが平成 16 年度に立ち上がった。

有識者

- ・本プロジェクトの中では MEMS は陰に隠れていた。その後主として米国の MEMS への取り組みが注目され始めた中で、科学技術基本計画でもナノテクノロジーが重点施策として取り上げられた。そしてマイクロからナノへ至る通過技術としての MEMS が注目されるようになった。このとき本プロジェクトで培われた MEMS に関する国内の情報インフラは本プロジェクトの管理法人である(財)マイクロマシンセンターを中心にその効果を発揮し、科学技術政策に対応し、MEMS 関連プロジェクト (MEMS 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等) を立ち上げるための基盤を提供できた。
- ・MEMS プロジェクトの一環として、ファンドリ産業の育成が始まり、施策の一環として (独)産業技術総合研究所では MEMS ビジネス棟の建設及び機器の整備事業が行われた。MEMS の研究開発に対する産業界への支援、中長期的視野に立つ差別化技術の育成、基礎技術の素早いビジネス化に対する社会からの期待があった。ハード面での施策に加え、

MEMS 分野での産官学の頭脳の結集や産学官の連携の強化、創造的な人材育成も行われた。

- ・本プロジェクトが終了したころ、クリントン大統領のナノテク・イニシアティブが発表され、国会図書館の蔵書を角砂糖大の中に収めるという衝撃的なPRが世間を騒がせた。ちょうどこのころ次期プロジェクトの模索を国内で始めていたが、この米国の提案が強烈であったために、良い提案を生み出すことができなかった。この時点でMEMSを提案するのは米国がナノを目指すのにマイクロを目指すイメージがあり、後退しているようで迫力がないと思われていた。
- ・当時の日本のMEMS技術は設計シミュレーション技術がすべて外国製であり、我が国のMEMS技術のノウハウは筒抜けでそれらの技術を持つ企業に流れてしまうので、技術戦略から見て危惧すべき状況にあると考えられていた。これを防ぐためにMEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトにより、日の丸シミュレーション技術の開発が始まった。当該プロジェクトが実現するシステムの目標は、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ストレスなく利用することが可能なシステムを創出することにある。また、当該プロジェクトの成果が広く国内に普及することにより、MEMS研究の裾野の拡大と高度化、MEMS開発の効率化による新製品開発の促進、科学技術シミュレーションソフトビジネスの発展等の大きな経済効果が期待される。
- ・MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクトで開発されるシミュレーションソフトには材料データが不可欠である。そのためこのプロジェクトでは材料試験も研究テーマとして含まれているが、この分野は我が国では研究論文が少なく外国に比してかなり見劣りがする。早急に充実しなければならない。

プロジェクト参加研究者

- ・ナノテクノロジーをどう展開していくのか、課題、目標をどうしたら良いか、問題意識をもっている。
- ・マイクロマシン技術とナノ技術との繋がりをどうやっていくか、検討が是非必要である。
- ・ナノテクノロジーの範囲は広いが、ナノバイオ、ナノ医療、ナノ計測等が重要と考える。

- 2 現在の視点からのプロジェクトの評価

ここでは、本プロジェクトに対する現在の視点からの評価に関連する情報として、国家プロジェクトとしての妥当性、目標設定、プロジェクトの実施方法、事後評価の妥当性、プロジェクト終了後のフォローアップ方法についてまとめた。

(1) 国家プロジェクトとしての妥当性

マイクロマシンというコンセプトを世界に先駆けて提示し、次世代の産業の基礎技術の開発にとって極めて適切で意義のあるプロジェクトであった。

超小型に収める高度実装技術や多様な加工技術の技術限界を追求できたこと等は、技術ポテンシャルとして蓄積され、派生技術の実用化が実現されてきており、国家プロジェクトとしての寄与は大きかった。

本プロジェクトによりシリコンベース加工技術と超微細機械加工技術の両方が相互に補い合って発展していく必要のある認識が出てきたこと、そしてこのような認識を持つ研究者が増強されてことは日本の技術力向上にとって極めて意義のあるものであった。

IEC に MEMS 専門用語、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及び半導体加速度センサ規格の 4 件を提案し、1 件は 2005 年 9 月に発行しており、他の 3 件は FDIS に移行するまでに至っている。IEC に新たに MEMS に関する規格領域が設定されたことは我が国の標準化戦略に合致するものであり本プロジェクトが妥当なものであったと判断できる。

プロジェクト参加研究者

- ・本プロジェクトを実施したことにより、当該分野での用語の不統一が問題となり、これを標準化する必要を感じて MEMS 関連専門用語集をまとめた。これをベースに用語の規格案を IEC に 2002 年に提案し、2005 年 9 月に国際規格として発行した。
- ・マイクロ運動機構の構成法等に関する計測評価の一環である微小材料の機械特性評価のための「マイクロ引張試験」が、「マイクロマシン材料の特性計測評価方法の標準化」(経済産業省事業)に引き継がれ、2003 年に「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」の試験法に関する規格案を IEC に提案した。規格案審議は順調に推移している。2005 年 9 月に投票を締め切り、承認後、両案とも FDIS に進んでおり 2006 年に発行予定である。
- ・センサ計測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。2005 年に FDIS に進み、2006 年に発行予定である。

有識者

- ・ マイクロマシンという機械加工と MEMS 技術を含む画期的なコンセプトを世界に先駆けて提示し、そのコンセプトに基づいて高い目標を設定したプロジェクトであり、次世代産業の基礎技術の開発にとって極めて適切で意義のあるプロジェクトであった。
- ・ 高い目標を設定し、粉骨砕身の姿勢で挑戦することで、新たな発想が生まれたり、革新的な技術がでてくる。直接効果が必ずしも販売に繋がっていないが、超小型に収める高度実装技術や多様な加工技術の技術限界を追求できたことは、ポテンシャルとして蓄積され、派生技術の実用化が実現されてきており、国家プロジェクトとしての寄与は大きかった。
- ・ 本プロジェクトにより MEMS 技術がナノテクノロジーへの通過技術としての位置づけが明らかになるとともに、一方では超微細機械加工技術の可能性も広がっており、今後の MEMS 技術はシリコンベース加工技術と超微細機械加工技術の両方が相互に補い合って発展していく必要であるとの認識になってきている。
- ・ 本プロジェクトでは、国内最強の研究者が参加し、それぞれの手法の特徴を学ぶことにより、両方の技術を理解できる研究者が増強されたこと、両者方法の融合が進展したこと等、本プロジェクトは日本の技術力向上にとって極めて意義のあるものであった。

(2) 目標設定

第 1 期では要素技術に重点を置き技術オリエンテッドな運営を、第 2 期ではシステム化技術としてもの作りを主眼に運営した。このうち第 1 期の要素技術はプロジェクトの成果として実用化されたものがいくつもあげることができる。また第 2 期に関してはマイクロファクトリの成果が、新しいコンセプトとして世の中にアピールしていることから、目標は妥当であった。

本プロジェクトはマイクロメカトロニクスの位置づけで機械加工と MEMS、あるいは MST (Micro System Technology) を包含した概念で始められた。そのためここでは機械加工だけではなくシリコンベース加工的手法によるデバイスの開発も並行して行われた。日本が得意な機械加工分野で、超精密加工技術が向上したこと、機械加工とシリコンベース加工的手法の融合がデバイス製造プロセスの量産化技術向上に役立ったこと等から目標設定は妥当であった。

プロジェクト参加研究者

- ・ 国家プロジェクトとしては、リスクを伴うが挑戦的で、高い技術を求めるべきである。第 1 期での要素技術に注力し、技術開発に重点を置いたことは、各企業の技術蓄積となり、その時点での要素技術の限界を学べた。このことは、その後の実用化開発に役立った。プロジェクト終了後に新製品を生み出すのに役立ったことからみても妥当であった。

有識者

- ・ 第 1 期ではマイクロマシンの基本的で共通的な構成要素に関する技術確立を目標とした。この要素技術すなわち製造プロセス技術が、プロジェクト終了後のもの作りに役立っている。汎用的な加工技術等の高度化が新製品開発に効果的であった。MEMS の基礎としてプロセス的な事をやっていたらもっと成果が上がった可能性はある。
- ・ 医療分野の機器開発では、工業的なハードの開発は当然であるが、臨床実験へ進み安全性の確認がとれないと実用化できない。工学的開発進捗に加えて、臨床へのビジョン、実用化への道筋が必要である。
- ・ 第 2 期は、第 1 期の要素技術をまとめるための方策としてシステム化技術に重点を置いたが、そのターゲットはかなり高度なもので、そこで得られたものは画期的なものであった。しかしそれをすぐ実用化に結びつけるためには、コスト的に全く実状に合わないものであった。
- ・ 第 2 期のシステム化技術の中で、マイクロファクトリという日本発の画期的なコンセプトのもとに機械加工をシステム化してものを作り上げる研究開発を進めた。機械部品の超小型化、高性能化等極めて高い目標に向かったことは、目標が明確であり有効であった。

成果物はコスト問題等で実用化への難題も多々あったが、性能、機能を妥協せずに追求して作り込んだ実績から、この目標設定は妥当であった。

- ・ 1cm³ に収める技術をやろう、と言うような目標は、技術の底上げに意味があったと考える。
- ・ MEMS は、本プロジェクトが発足したときにはすでに米国において研究が始まっていたが、我が国ではそれほど広く注目されていた技術ではなかった。そのためマイクロメカトロニクス的な発想で本プロジェクトは発足し、名称も微小機械のイメージを分かりやすく表現するためにマイクロマシンとした。ここではやや機械工学的色彩の強いメカトロニクスに力点が置かれたが、参加研究者の間ではすでに MEMS は暗黙の了解事項として技術的には包含するものとして理解されていた。したがってマイクロマシンのコンセプトは MEMS とヨーロッパの流れをくむ MST(Micro System Technology)をすべて含んだメカトロニクスと定義されていた。従ってここでは機械加工は当然のような形でテーマとして取り上げられたし、それとともにシリコンベース加工的手法によるデバイスの開発も並行して取り上げられた。

(3) プロジェクトの実施方法

平成 11 年度以降一部の研究開発テーマで集中研究形態がとられたが、全期間を通じて行われた持ち帰り研究方式は、各社の得意技を生かすのに有効に作用し各社の専門性を発揮することができ、プロジェクト後の成果の実用化に効果があった。

プロジェクト推進体制はプロジェクトリーダーを置かず、研究開発部会を設置して運営管理を行うとともに、その下に、システム化技術の研究開発を推進する場として、試作システム別に 4 個のワーキンググループ (WG) を設け、さらにマイクロマシシステムの実現に必要な技術等の各要素分野ごとに 4 個の分科会を設け、研究の横通しの情報交換を図った。このことは参加企業間の連携をとりやすい雰囲気を作り出し、プロジェクト後の企業連携による製品開発にも良い効果をもたらした。

また、参加企業が自分の専門分野の中に閉じこまらないように、すべての参加企業に専門とは別の分野にもコミットできるような横断的な組織を作ったことは、広範な知識を持つ技術者の育成の上で非常に効果があった。

プロジェクト参加研究者

- ・各社の専門性を活かした持ち帰り研究方式が故に上手く進められたところがある。競争関係にある企業同士が同じことを共同でやることは、機密保持の面からも難しい。第 1 期の要素技術を追求する場合でも、加工技術や評価技術等では、各企業のノウハウもあり、無理の無い形で進められたことが、技術の高度化になり、結果として派生技術の実用化へ結びついた。
- ・第 2 期のシステム化で、ものを作る段階では、とりまとめ企業で最終的には集中研究的な形態がとられたが、これも時間的には最終段階での話でそこに持ち寄るまでは持ち帰り研究が行われていた。このことは最終目標さえ明確であれば持ち帰り研究でも十分対応できることを示すものであった。
- ・プロジェクトで問われるのは、世界でトップレベルが求められるから、基本的には出口論とつじつまが合うかどうかは難しいが、会社としても新人の勉強ではなく、エース級が必要となる。しかし、そういう専門家はそう簡単にいない。それが、常時出ていると会社の中のプロジェクトが進まないことが問題である。
- ・第 2 期のもの作り段階では企業間の競争を採用せず、各社の得意技術を持ち寄って組み上げる方式をとった。このことが個々の技術を完成度の高いものにして持ち寄れたこと、またこの過程において企業間の連携に対するノウハウの育成につながり、プロジェクト後の企業連携による製品開発にも良い効果をもたらした。
- ・プロジェクト推進体制として研究テーマをまとめた部会を設置して、プロジェクト全体の運営管理を行うとともに、これとは別にワーキンググループを設置して研究の横通しの

情報交換を図った。このことは企業間で連携をとりやすい雰囲気を作り出しプロジェクト終了後も、プロジェクト参加企業同士が組んで、実用化開発、製品化を進める上で効果があった。また(財)マイクロマシンセンターにおける委員会設置にポジティブな影響を与えた。

- ・プロジェクトを実行していくに従って、それまではそれぞれが独自の文化を持っていた機械工学者と電気工学者の壁が自ずから解き放たれ、最後には相互の文化が融合する雰囲気を作り出した。本プロジェクトにはプロジェクトリーダーはおかれていなかったが、参加企業が自分の専門分野の中に閉じこもらないように、すべての参加企業を専門とは別の分野にもコミットできるような横断的な組織を作ったことは非常に効果があったものと考えられる。そのため参加研究者は機械、電子、情報、化学、医学のすべての分野の情報を共有しあえる関係になった。

有識者

- ・現代の技術者の資質として幅広い知識を持つことが強く要求されていることは当然のような状況であるが、今から十数年前まではそれほどこのことの重要性は認識されていなかった。早晩このような風潮は一般化することであったとしても、本プロジェクトが率先して行ったことは評価されるべきである。このことはその後のプロジェクトの立案に際して表には見えないが、広い基盤の上で議論される素地を作ったという効果が出ている。

(4) 事後評価の妥当性

事後評価においてマイクロマシンの今後の研究開発のあり方について、いくつかの提言が出されている。それらの提言とその後のフォローの状況について比較を行った。

事後評価において、「MEMS に関する研究を重視すべき」と提言されていたが、本プロジェクト終了後、MEMS プロジェクト⁸（平成 15 年度～平成 17 年度）、MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクト MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクト⁹（平成 16 年度～平成 18 年度）等の MEMS 関連の後継プロジェクトが立ち上がっている。

「シーズを育むための方策を考えるべきである」という提言に対しては、企業側の立場としては加工技術や評価技術等は生産手段であり、開発された加工技術や評価技術は企業の中で社内技術として有効に使われ、シーズ技術として社内で育てられている。

「国家レベルでこの分野への関心を維持し、適切な研究開発投資が必要である」との提言に対しては、実用化開発の補助金・助成金制度のプロジェクトは立ち上がっているが、高い目標に挑む、リスクのある研究や基盤研究等に関する研究開発プロジェクトは、まだ立ち上がっていない。

有識者

- ・事後評価において、「MEMS 的な研究を重視すべき」と提言されていた。また「MEMS 技術も含めマイクロマシン技術は情報通信、医療、環境（省資源、省エネルギー）等の諸問題に関わる 21 世紀のキーテクノロジーであることから、今後も国家レベルでこの分野への関心を維持し適切な研究開発投資が必要である」とも提言された。この 2 つの提言に対しては、現在、MEMS 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（MEMS-ONE）等の MEMS 関連の後継開発が立ち上がっている。
- ・「今後も国家レベルでこの分野への関心を維持し、適切な研究開発投資が必要である」との提言に対しては、実用化開発の補助金・助成金制度のプロジェクトは立ち上がっているが、高い目標に挑む、リスクのある研究や基盤研究等に関する研究開発プロジェクトは、まだ立ち上がっていない。

⁸ 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 RF-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、その技術をファンドリ事業に展開することを目的としている。

⁹ MEMS プロセスに精通していない技術者が、機構解析や製造プロセスシミュレーション及び最終機能の確認評価ができる支援システムを開発することを目的としている。

(5) プロジェクト終了後のフォローアップ方法

「MEMS 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」等の後継プロジェクトにより、研究開発を発展させている。事後評価では大学の不参加が指摘されていたが、これら後継プロジェクトでは多数の大学が参加しており、本プロジェクトに参加した企業の参加とも相まって産学共同体制が強化されている。

本プロジェクトの管理法人であった、(財)マイクロマシンセンターが中心となって、マイクロマシン、マイクロマシンング、MEMS 等の技術情報交換、動向調査、新規テーマの検討等を推進しており、また、研究開発や試作生産等に活用される、MEMS ファンドリサービスネットワーク事業を推進している。またマイクロマシン展を主催しマイクロマシン技術の国内基盤の強化に貢献した。

(独)産業技術総合研究所では、MEMS 関連研究グループとして先進製造プロセス研究部門においてマイクロ実装研究グループのほかに、集積加工研究グループ等が増設され、共用設備としてMEMS 実験棟が設置された。そしてマイクロ実装グループが中心となって、MEMS ビジネスセンターを立ち上げ、マイクロマシンング、MEMS 等のマイクロマシン関連技術に関して、長期的視野に立って産官学の MEMS 研究開発を支援している。また同部門のファインファクトリ研究グループはマイクロファクトリに関する国際会議を主導している。

従来 MEMS 材料の評価技術は十分なものはなかったが、標準化事業の中で(財)マイクロマシンセンターが MEMS 材料の機械的特性評価試験法の研究を大学に委託して行っている。

プロジェクト参加研究者

・後継のプロジェクトは

MEMS プロジェクト (NEDO) (H15~H17年) (助成：オムロン株式会社、松下電工株式会社、オリンパス株式会社) (委託：東京大学、九州大学、立命館大学)

MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクト (NEDO) (H16-H18) 委託先：日本ユニシス・エクセリョーションズ株式会社、株式会社日立製作所、みずほ情報総研株式会社、株式会社計算力学研究センター、三菱電機株式会社 (財)マイクロマシンセンター、独立行政法人産業技術総合研究所、(以下再委託：オムロン株式会社、オリンパス株式会社、大阪府立大学、岡山大学、香川大学、京都大学、東京大学、東京工業大学、豊橋技術科学大学、名古屋大学、新潟大学大学院、兵庫県立大学)

である。

有識者

- ・本プロジェクトの管理法人であった、(財)マイクロマシンセンターが中心となって、マイクロマシン、マイクロマシニング、MEMS 等に関する、産業化推進、標準化活動、調査活動、国際交流活動、新規テーマの検討等を推進している。
- ・MEMS ファンドリサービスとして、MEMS の一層の利用促進を図るため、製造設備を有しない企業でも容易に MEMS ビジネスに参入できるように平成 14 年 7 月に MEMS ファンドリサービス産業委員会(FSIC)が(財)マイクロマシンセンターに発足した。参加メンバーとともに諸々の MEMS ファンドリサービスネットワーク事業を推進している。
- ・(独)産業技術総合研究所のファインファクトリ研究グループは、産業の基礎をなす機械製造分野の維持発展に貢献するために、加工技術、生産装置技術及び精密計測技術に関する研究を行っている。また、マイクロファクトリに関連した研究発表の場として、1998 年に機械技術研究所(当時)の提唱により第 1 回 IWMF (International Workshop on Microfactories) をつくばにおいて開催したことを契機として、継続的に会議が開かれ国際的にも主導的立場にある。
- ・(独)産業技術総合研究所マイクロ実装研究グループは、MEMS 等の微細なデバイス製造のための微細加工技術及び実装技術を、産業界との密接な連携のもとに研究開発している。また、MEMS 実験棟を設置して、MEMS ビジネス支援等にも注力している。
- ・(独)産業技術総合研究所集積加工研究グループは、機能材料・ナノ材料を実用的なデバイスにつなげる革新的な低温プロセス技術や集積技術の確立と生産技術等の研究を行っている。
- ・マイクロマシンという言葉のイメージは大変わかりやすく、MEMS よりも素人向きの言葉である。そしてこの用語を使ってマイクロマシン展を毎年科学技術館で開催してきたが、年々参加企業は増加し、今年は会場がオーバーフローするような状況であった。この展示会は単に MEMS 技術の展示会でないところに特徴があり、微細加工であれば何でも受け入れられる懐の広さがある。そのため年々関係者に注目をされることになったものと考えられる。ここに出展する企業の中には微細加工のためのツールは作ったが、その用途がわからないので出展してそのニーズを探しているケースをいくつも見る事ができる。このことは我が国の微細加工のシーズを実業レベルで準備し始めていると言うことであり、マイクロ部品産業の萌芽を育てる準備が整いつつあるということもできる。

- 3. 課題と今後への提言

- (1) 日本企業は、特にここ5年ぐらい、基礎研究のリソースを縮小してきており、資金不足、人材不足等の顕在化もみられ、企業ではできないことが多くある。新しい技術を創出するためには、高い目標に挑む研究、リスクのあるやってみないと分からない研究、基盤研究等は国の主導で実行することが必要と考える。ただし、リスクと得られる基盤研究成果との分岐点をどのように考えるかは課題である。研究テーマを企画する際の事前評価が重要である。採算性、近い将来の成果を求める傾向が益々強くなる中で、10年先では何を目標に研究開発を行うか、ターゲット作りを並行して進めるべきと考える。
- (2) 国家プロジェクトのあり方として最高の英知を集めるためには、海外の優秀な人材の活用が一層必要になる。例えば、日本の研究者が提案するものに、日本は資金を提供し、研究者やネットワークは世界中どこを使っても良いが、国益を守るための守秘義務を課すこと、あるいは知的財産は日本の企業が必ず使えるようにする仕組み、制度が必要と考えられる。
- (3) 米国では、企業は、かなり目先の成果を目指して研究開発に取り組むが、将来のことは大学に委託する等の布石を打っている。また、DARPA等は軍備予算の色彩はあるものの国のプロジェクトとして、かなり長期的な研究開発テーマにも資金を投入している。2020年を目指してパワーMEMSの研究開発に大規模な予算を投入している。

我が国においても、新技術を創出するようなシーズを生み出すためには、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、例えば今回のマイクロマシン技術で言うなら、加工技術や評価技術等要素技術の先端を目指すような研究を指す。今回の追跡調査では、参加した大半の企業が本プロジェクトの成果である加工技術や評価技術等の要素技術を活かして、新たな製品を開発、製品化することに成功しており、実用化開発に使える技術の基盤研究が是非必要である。

大学における基礎研究は、技術の体系化に不可欠であること、(独)産業技術総合研究所は、大学と企業の間位置しており、両者の橋渡しに適していること等、今後の産学官研究機関の連携強化が期待される。
- (4) 機械加工手法とシリコンベース加工手法は相容れない様相があったが、本プロジェクトを経験して、一緒にしてみれば効果が大きいということが分かってきた。大量生産につなげるためには、精密な型を種々の手法で作製して生産することの有効性や、シリコンベース加工手法と精密機械加工や放電加工との組み合わせ等両者の融合で効率的、低コスト生産ができること等が認識されてきた。このような融合体質は日本の強みと思われる。両者がそれぞれの技術限界を追求すること、また両者を必要に応じて融合させていくアプローチを強化することは、マイクロマシン技術分野の開発促

進に有効と考える。

- (5) マイクロマシン技術の発展は、行き着くところは、ナノ技術の取り入れ、ナノ技術との融合が大きな方向である。ナノ技術とのつながりをどのように進めていくかが課題である。従来、微小デバイスの研究開発ではシリコン材料を主体にしており、あと10年も研究すれば、かなりやり尽くされるかもしれない。ナノ材料は日本の強い領域でもあり、金属、セラミック、高分子、生体材料等の化学種や結晶系、アモルファス系、ガラス系等状態も含めたバリエーションのあるナノ材料を使いこなすことが課題と考える。また、今回の追跡調査で認識したこととして日本は高度な機械加工技術を開発してきており、ナノオーダー機械加工技術を限界まで追求する取り組みが必要と考える。装置技術、材料技術、ソフト技術及び周辺技術を同時にレベルアップすることが必要であり、このことにより海外との差別化が図られる。
- (6) シリコンプロセスによるデバイスの開発には、加工技術、計測・評価技術と設計シミュレーション技術の3主要技術が必要であるが、これら技術を海外の企業に頼っていること、及び研究機関の間、研究者間のネットワークが弱いことは、日本の弱点である。米国を始め、ヨーロッパでもネットワークがしっかりしているいろいろな情報が集まり、企業も大学と強いネットワークで結ばれている。このような基盤技術やネットワークに関する日本の課題を明確にして、対策を立てる主導機関、主導者が必要である。
- (7) 現在、マイクロマシン分野の中でも、MEMSの発展が急速である。日本のMEMSの弱点として、信頼性評価技術で遅れている点がある。アメリカのサンディア・ナショナル・ラボラトリー等では信頼性評価研究をしっかり行っているが、日本では携わっている研究者も極めて少ない。センサやアクチュエータ等デバイスは、微小化により消費電力も少なく、製造に必要な材料も少なく、そして、なによりも組込む装置が小型化できる。その際、製品そのものの作動信頼性、実装技術の信頼性、大量生産方式が製品の信頼性に与える影響、信頼性向上のための生産方式のあり方等を検討するために、多様な信頼性評価が不可欠である。我が国のMEMS技術で開発したデバイス等の信頼性評価法はまだ不十分である。今回の追跡調査では、本プロジェクトの研究開発の中でデバイスの評価技術を開発し、それを活かして新製品の開発ができた例が多数あり、信頼性評価技術もそれ自身がキーテクノロジーになる可能性も大きい。
- (8) マイクロファクトリのコンセプトは効率性追求の一面を持っている。基本的にはマイクロマシンはユーザーが作るという思想を内包している。他の装置メーカーが作った生産設備を購入するのではなく、製品を製造する企業が製造する装置を自分で作製することによって、最適な製造プロセスを構築し、効率や経済性を追求することが必要である。そうすれば技術が製造装置と一緒に流れてしまうということはなくなり、海外との競争力強化につながる。
- (9) チップにセンサを入れてセンサネットワークを作るようなインテグレイテッド

MEMS、あるいはシステム・オン・チップがある。この分野に関し、我が国では、今まで企業に任していたが、ビジネスとして目先の採算性がまだ不明確であることから、企業では研究に力を入れることは難しくなっている。

他方、アメリカでは将来の可能性を探るために、政府や企業がこの分野に資金を出し、大学に研究を委託し、ミシガン大学やバークレー大学では力を入れている。米国では、先の探索的研究の必要性を理解し、適切な研究機関に研究を委託し、シーズの権利化等で先手を打っており、我が国の米国に対する遅れが目につく。10年先に何を研究すべきか、どのような可能性がでてきそうか、技術創出のための戦略的研究が必要である。

- (10) 本プロジェクト第2期の問題点としては、実用化のターゲットが各社違うので噛み合わなかったという点がある。各社とも、応用が間近に感じられる段階に入ったので、アプリケーション毎に柱を立て、それぞれにコンペティティブでない各社が組んだミニプロジェクトを立てるようになればもっとうまくいったのではないか。

4. 添付資料

- 添付資料 1. マイクロマシン研究開発プロジェクトが及ぼしたインパクト（総括版）
- 添付資料 2. プロジェクトの開発技術と実用化例
- 添付資料 3. 実用化技術
- 添付資料 4. 5年以内に実用化される技術
- 添付資料 5. 技術蓄積、人材育成
- 添付資料 6. 特許の動向
- 添付資料 7. 市場調査
- 添付資料 8. 各分野に与えたインパクト

【添付資料の観点】

- 添付資料 1. マイクロマシン研究開発プロジェクトが及ぼしたインパクト（総括版）
- ・主要実用化技術の適用分野、本プロジェクトの成果である要素技術と、それを活用して実用化した製品、製品化したものの売上予測、技術蓄積・人材育成、課題等全般的な概要を示す。
- 添付資料 2. プロジェクトの開発技術と実用化例
- ・本プロジェクトの開発テーマと開発成果がどのような分野で活用されているかを示す。
- 添付資料 3. 実用化技術
- ・本プロジェクトの成果である要素技術を活用して製品化したものの技術内容を示し、ヒアリング調査結果から予測した売上金額を示す。
- 添付資料 4. 5年以内に実用化される技術
- ・本プロジェクトの成果である要素技術を活用し、5年以内に実用化が確実に視されているものの開発状況を示す。
- 添付資料 5. 技術蓄積、人材育成
- ・本プロジェクト終了後、企業における研究開発部門の活性化状況、本プロジェクト参加研究者の技術継承のパターン、社会的評価、後継プロジェクト、技術の蓄積・波及・啓蒙等について示す。
- 添付資料 6. 特許の動向
- ・本プロジェクト実行中に出願して登録になった特許や本プロジェクト終了後に出願、公開された特許の技術内容動向を示す。
- 添付資料 7. 市場調査
- ・ヒアリング調査結果から整理した売上金額の累積や今後の予測、また、公開されている資料によるマイクロマシン関連、MEMS 関連の市場予測を示す。
- 添付資料 8. 各分野に与えたインパクト
- ・企業、産業、大学、海外等に与えた影響を示す。

添付資料 1. マイクロマシン研究開発プロジェクトが及ぼしたインパクト(総括版)

マイクロマシン技術追跡調査総括表

R1: 主要実用化技術の適用分野 R1 は、事後評価時点で、想定していなかった効果

| | | | | | | | |
|-----------|--|---|---|---|--|---|---|
| 既に 実用化 | 情報・通信 フォトリソグラフィ 高屈折率比で減衰が少なく、90km上空にレーザーガイドスターを形成。世界の天文台へ納入 | 精密・計測機器 高速共焦点顕微鏡 生きた細胞の動的観察可能 世界最高速、シェア: ほぼ100% ICコンタクトプローブ ナノレベルでの材料制御技術 | 工作機械・マイクロファクトリ 超精密加工機 ナノに挑む超精密加工 精密金型で大量生産達成 テジカ、DVD、携帯電話部品等 ミニ生産システム(マイクロファクトリ) 従来より重量1/80、消費電力1/5の円筒研削装置 | 自動車 高性能加速度センサ(エアバッグ、ABS制御、車両安定性制御) 自己診断機能を内蔵した超小型センサ 衝突1/10秒後にエアバッグを展開する際の信頼性向上 | 医療・福祉 超音波診断装置 小型高精度であり、内視鏡に取付け、肝臓、膵臓診断可能 形状記憶合金カテーテル 首振角度大、狭窄部や気管支末梢部の観察可能 脳腫瘍治療用レーザーカテーテル 悪性腫瘍完全除去により5年生存率の飛躍的向上 | エネルギー 燃料電池用70-センサ 家庭用燃料電池に実用化、感度10倍、微流速計測可能 薄膜温度センサ タービン静置温度測定用に実用化 タービン設計に反映、省エネ効果大 電池材料 ミニ生産システム(マイクロファクトリ) | 生活文化 人工筋肉アクチュエータ 1W/gの大バネ密度(人体0.2W/g) ロボット用サーモモーター0.5W/g) 2004年ベンチャー企業(社)設立 ネットとして一部販売、実用化開発中 車椅子等医療・福祉用途にも期待 3次元で動く指ロボット 愛知万博でドラムセットを吹き好評 |
| | 5年以内に実用化予定 | シリコン貫通孔配線加工 本プロジェクト独自方法で高Aspect比を実現 | 細胞分離装置 米国2社独占分野に挑戦 市場規模約200億円/年 | | | | |

R2: 実用化している製品名及び技術

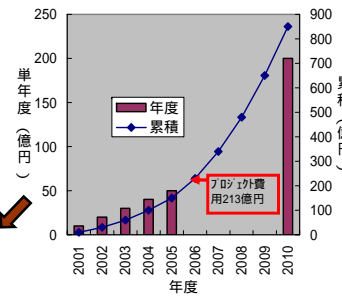
| 製品名及び技術 | 活用技術 |
|------------------|--------------|
| 高性能加速度センサ | 深堀加工技術 |
| 非冷却赤外線センサ | 薄膜評価技術 |
| 超音波診断装置 | X線リソグラフィ加工技術 |
| IC検査用コンタクトプローブ | X線リソグラフィ加工技術 |
| 共焦点顕微鏡 | MEMSレーザ技術 |
| 燃料電池用70-センサ | 薄膜評価技術 |
| ミニ生産システム | システム設計組立技術 |
| 超精密加工機 | 超精密機械加工技術 |
| 高精度エンゲ | 除去加工技術 |
| 形状記憶合金カテーテル | 複合加工技術 |
| フォトリソグラフィ | 線引加工技術 |
| 人工筋肉アクチュエータ | 高分子膜作製技術 |
| 電池材料 | 材料評価技術 |
| 薄膜温度センサ | 薄膜製造技術 |
| MEMS用材料試験法国際標準化 | 評価技術 |
| 半導体加速度センサ規格国際標準化 | 評価技術 |

R3: 5年以内に実用化を予定している製品名及び技術

| 製品名及び技術 | 活用技術 |
|-----------------|--------------------|
| CCDマイクロカメラ | 3次元実装技術 |
| RFスイッチ | 複合加工・実装技術 |
| 赤外線温度センサ | 薄膜評価技術 |
| 細胞分離装置 | マイクロ流体操作技術 |
| 形状記憶合金金点ユニット | 線引加工技術 |
| 3次元で動く指ロボット | 電磁式アクチュエータ技術 |
| シリコン貫通孔配線加工 | 除去加工技術 |
| 脳腫瘍治療用レーザーカテーテル | マイクロファクトリ、マイクロ実装技術 |
| 民生用ロボット | 精密加工技術 |

プロジェクトの成果として2001年度から2005年度までの累積で約150億円の売上を予測
 ・2004年度で約40億円の売上実績
 ・2005年度で約50億円の売上見込
 2010年度では約200億円の売上予測

R6: 製品の売上予測



(出所: セリソック調査結果による。)

- 課題
- 1) 日本企業は、特にここ5年位、基礎研究のリソースを縮小してきており、資金不足、人材不足などの顕在化もみられ、基礎研究が企業では難しくなっている。
 - 2) 米国では、DARPAなどは軍備予算の色彩はあるものの国のプロジェクトとして、かなり長期的な研究開発テーマにも資金を投入している。
 - 3) マイクロマシン技術の発展は、ナノ技術の取り入れ、ナノ技術との融合が大きな方向である。ナノ技術との繋がりをどのように進めていけるかが課題である。
 - 4) シリコンプロセスによるデバイス開発の基礎技術を海外の企業に頼っていること、及び研究機関の間、研究者間のネットワークが弱いことは、日本の弱点である。
 - 5) MEMSの発展が急速である。信頼性評価技術に関して、アメリカではしっかり行っているが、日本は携わっている研究者も極めて少なく、遅れている。
 - 6) チップにセンサを入れてセンサネットワークを作るようなインテグレイテッドMEMS、あるいはシステム・オン・チップの分野で日本は遅れをとっている。

R4: 技術蓄積・人材育成等 R5: 特許動向

プロジェクト参加25機関中で
実用化: 12企業・1研究機関: 17製品

プロジェクト参加25機関中で
5年以内に実用化予定: 9企業: 9製品

マイクロマシン研究開発プロジェクト
 1. システム化技術
 2. 機能デバイス高度化技術
 3. 共通基盤技術

【技術蓄積】

1. 関連プロジェクトへの参加 : 実施企業のうち5社が参加 「MEMSプロジェクト」(2003年度立上げ) 「MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクト」(2004年度立上げ)
2. 技術応用 : 23実施機関が実用化、派生技術に活かしている。
3. 特許 : プロジェクト終了までに563件出願した。プロジェクト終了後の出願のうち124件が公開になっており、基本特許は17件ある。全国発明表彰弁理士協会長賞受賞(高速共焦点顕微鏡の特許)、技術供与3件(形状記憶合金)
4. 論文 : プロジェクト終了までに927件の論文発表があった。プロジェクト終了後では約300件の発表があり、9論文が学会賞など受賞(IEEE Best Paper賞、電気学会論文賞等)
5. 受賞 : プロジェクト終了後、大河内賞2件、文部科学大臣賞、村産業賞2件、精密工学学会技術賞、など12件受賞
6. 継承技術者 : 本プロジェクト成果の継承は、参加研究者の約70%で、160名(全体で約230名)

【人材育成】

- ・本プロジェクト参加研究者が大学へ転出し、中小企業の人材育成や地域新生コンソーシアム研究開発事業に参加して産業活性化に寄与している。(3名)

【市場開拓】

- ・ファンドリサービス^{注)} : (財)マイクロマシンセンターは、2002年にMEMSファンドリサービス産業委員会(FSIC)を発足させ、ファンドリサービスネットワーク事業を推進している。実施企業のうち4社が立上げのメンバー。本プロジェクト成果である、加工技術等を活用する。

注) ファンドリサービス: 大がかりな設備を持たなくてもMEMSデバイスを作れるように設計、試作、評価などのサービスを行う事業

添付資料 2. プロジェクトの開発技術と実用化例

| 技術分野 | 開発テーマ名(第2期) | 実用化に寄与した (又は可能性がある) 開発技術 | 実用化例 | 開発時 想定外 の効果 | 製品 | | 適用分野 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------|------|------|------|-------|-------------|--------------------|-----|------|-------|------|-------|--|--|--|--|--|
| | | | | | デバイス | システム | 標準化 | 情報・通信 | 精密・計測 機器 | 工作機械・ マイクロファクトリ | 自動車 | 医療福祉 | エネルギー | 生活文化 | 国際標準化 | | | | | |
| システム化技術 | 管内自走環境認識 用試作システム | 1A1. 管内自走環境認識用試作 | 深堀加工技術 | 高性能加速度センサ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1A2. 光エレクトロニクスシステム | 薄膜加工技術 | 多電圧光電変換デバイス | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1A3. マイクロ視覚システム | 3次元実装技術 | CCDマイクロカメラ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1A4. 移動デバイスシステム | 静電アクチュエータ設計技術 | 高速・大変位アクチュエータ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1A5. マイクロ液エレクトロニクス-供給 | 3次元実装技術 | 集積小型モジュール | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 細管群外部検査用 試作システム | 1B1. 細管群試作システム | 深堀加工技術 | 電磁力接合素子 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1B2. 駆動デバイス | 薄膜評価技術 | 非冷却赤外線センサ、加速度センサ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1B3. 減速・走行デバイス | 薄膜加工技術 | ミリ波通信デバイス | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1B4. マイクロネットワークシステム | X線リソグラフィ加工技術 | 超音波診断装置 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 機器内部作業用 試作システム | 1C1. 機器内部作業試作システム | MEMSミクロ技術 | 共焦点顕微鏡 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1C2. 多自由度湾曲管状ユニット | マイクロ流体操作技術 | SMA、空気圧アクチュエータ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1C3. 補修用マイクロシステム | 3次元実装技術 | モニタリングデバイス | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1C4. 姿勢検出デバイスシステム | 複合加工・実装技術 | RFスイッチ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1C5. モニタリングデバイスシステム | 圧膜加工技術 | 高精度マイクロシャフト | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | マイクロ加工・組立用 試作システム | 1D1. マイクロ加工・組立システム | システム設計組立技術 | ミニ生産システム | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1D2. マイクロ加工・組立技術 | 超精密加工技術 | 超精密加工機 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1D3. マイクロ液体操作技術 | 精密加工技術 | トロコイド、スクロールポンプ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | マイクロ流体操作技術 | 細胞分離装置 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1D4. マイクロ光駆動技術 | マイクロ流体操作技術 | 環境計測機器 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1D5. マイクロ電気駆動技術 | 電磁式アクチュエータ技術 | 3次元で動く指ロボット(マイクロサーボモータ) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1D6. マイクロ搬送技術 | 薄膜加工技術 | コイル・タイードモジュール | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1D7. マイクロ検査技術 | | 薄膜加工技術 | 薄膜コイル | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 複合加工技術 | 形状記憶合金カテーテル | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 線引加工技術 | フォトニック結晶ファイバ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機能デバイス 高度化技術 | 機能デバイスの 高度化技術の 研究開発 | 2.1 人工筋肉 | 高分子膜作成技術 | 人工筋肉アクチュエータ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2.2 マイクロジョイント | 除去加工技術 | シリコン貫通孔配線加工 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2.3 マイクロバッテリー | 材料評価技術 | 電池材料 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2.4 光駆動自由関節 | 薄膜加工技術 | 光電変換デバイス | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2.5 マイクロレーザカテーテル | マイクロ実装技術 | 脳腫瘍治療用レーザカテーテル | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2.6 マイクロ触覚センサカテーテル | 薄膜加工技術 | 表面保護圧電振動子 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 共通基盤技術 | 共通基盤技術 | 3.1 分散マイクロマシンパターン形成 | 薄膜製造技術 | 薄膜温度センサ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3.2 階層型群制御技術 | システム設計組立技術 | アンプ一体型モータ、アビジョン | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3.3 マイクロマシン計測技術 | 精密機械加工技術 | 民生用ロボット | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 形状計測技術 | 高速共焦点顕微鏡 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3.4 微小運動機構評価 | 評価技術 | MEMS用薄膜材料の引張試験法 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 評価技術 | MEMS用薄膜材料の引張試験用標準試験片 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3.5 システム化技術評価 | 複数ロボット制御技術 | 追従協調ロボット | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.6 3次元微細加工技術評価 | 薄膜加工技術 | 金属酸化物半導体利用電子銃 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.7 微小機能要素評価 | 評価技術 | 半導体加速度センサ規格 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

●:実用化している技術、○:5年以内に実用化を予定している技術、△:将来実用化の可能性のある技術、□:技術は蓄積されており今後実用化が期待される技術
 ※:事後評価時点で想定していなかった効果

添付資料 3. 実用化技術

| 技術分野 | 活用技術 | 製品 | 技術内容 | 分野 | 経済効果・売上金額・億円 | | | |
|---------|--------------|---|---|----------------|--------------|--------|--------|----|
| | | | | | 2005年度までの累計 | 2005年度 | 2010年度 | |
| システム化技術 | 深堀加工技術 | 加速度センサ(エアバック用)、燃料噴射センサ | ・Siの高アスペクト比深堀加工技術を用いて加速度センサ、圧力センサ、燃料噴射センサ、流量センサ、ディーゼル車用インジェクタなどを上市した。中でも高信頼度のある加速度センサは自動車用エアバッグへ応用され、安全性向上に寄与しており、ABS(Anti Lock Brake System)や車両安定性制御システム(Vehicle Stability Control)にも使用されている。 | 自動車 | 自動車 | 0.9 | 0.3 | 20 |
| | 薄膜評価技術 | 非冷却赤外線センサ、エアロセンサ、加速度センサ | ・薄膜加工技術、巻線技術、高アスペクト比加工技術を活かして各種センサの高性能製品を上市し、自動車等へ適用した。 | 自動車 | | | | |
| | X線リソグラフィ加工技術 | 超音波診断装置 | ・X線リソグラフィによる微細加工プロセス技術で超音波発信デバイスの開発し、超音波診断装置に搭載して上市した。さらに、高周波域の小型発信器の開発を行い、胃の内視鏡に取り付けて胃に隣接している肝臓や膵臓の診断も行えるような新たな機能付加を搭載した超音波診断装置を上市した。 | 医療・福祉 | | | | |
| | X線リソグラフィ加工技術 | IC検査用コンタクトプローブ | ・除去加工技術を用いてカンチレバータイプの半導体産業の検査工程コンタクトプローブを上市した。狭ピッチ電極(パッドピッチ100μm以下対応可能)及び高周波(全長2mm以下を実現(低インダクタンス))に対応可能であり、耐熱性を有する高強度Ni-Mn合金などの薄膜をコーティングした高耐久性半導体検査用コンタクトプローブを製品化した。 | 精密機器 | | | | |
| | MEMSミラー技術 | 共焦点顕微鏡 | ・機械的に動かして共焦点顕微鏡のガルバノミラーをMEMSミラーに置き換えることにより、従来製品を小型化し、信頼性を上げることが出来た。その結果、共焦点顕微鏡レーザー顕微鏡ではトップシェアを持つに至った。 | 精密機器 | | | | |
| | 薄膜評価技術 | 燃料電池用フローセンサ | ・薄膜評価技術を活用して家庭用燃料電池用のフローセンサを開発し、プロジェクト終了2002年に上市。売上は20億円/年規模を期待。フローセンサとしては麻酔ガス用など医療用等の応用も検討中である。 | エネルギー | | | | |
| | システム設計組立技術 | ミニ生産システム | ・マイクロファクトリは、大規模なクリーンルームなどを要せず小型部品は小規模な設備で加工するというコンセプトであり、「円筒研削装置」がある。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でありながら、直径2.5mmのシリコンセラミックスの研削で真円円筒度は1μm以下と、従来の工作機械と同等、それ以上の精度を実現した。環境負荷をかけない生産システムとして2003年から実験稼働している。輸送距離が短くなり、サイクルタイムも向上する。 | 工作機械・マイクロファクトリ | | | | |
| | 超精密機械加工技術 | 超精密加工機 | ・複雑な形状のナノ加工ができる超精密5軸加工機を上市した。第一世代から、改良を加え、第3世代まで製品化している。この加工機では精密複雑形状金型の製造が可能になり、デジタル部品、携帯電話用部品、DRAM製造装置、DVD部品などの生産に寄与している。この工作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る。 | 工作機械・マイクロファクトリ | | | | |
| | 除去加工技術 | 高精度エコータ | ・超精密加工機で製作した本プロジェクトの研究成果である超精密機械加工技術を応用し、超精密金型を作り、高精度電動射出成型機で軽量かつ高精度な樹脂製エコータを实用化した。それは、小型サーボモータに適用され、性能向上、低コスト化に寄与して新機種「サーボモータ(数千台/月生産)」を上市した。金型製造やプラスチック射出成型技術を一貫して追求できたことが、新部品、新製品を上市した大きな要因といえる。 | 精密機器 | | | | |
| | 複合加工技術 | 形状記憶合金カテーテル | ・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等への応用が図られ、商品として上市した。細径内視鏡として年間約20セット販売している。細径気管支鏡、細径胆道鏡、細径耳鼻咽喉鏡等に应用され、外径が2.6~5.2mmで、首振り角度が最大180度まで可能である。 | 医療・福祉 | | | | |
| 線引加工技術 | フォトニック結晶ファイバ | ・多数の線材を束ねて延伸する「線引技術」を活かし、100μm程度のフォトニック結晶ファイバを上市した。現在の実用化対象は天文分野で、観測したい星の近く(レーザーガイドスターを人工的に作成し、ゆらぎを除いて観測する。フォトニック結晶ファイバは、高出力で精度良く目的波長のレーザーの伝達が可能となり、また、本プロジェクトの研究成果である多層膜技術を活かし必要部分反射膜を製作することにより、目的を達成した。国立天文台(ハワイのすばる望遠鏡)、ヨーロッパ南天文台(チリ、Paranal Observatory)にこのファイバを納入した。 | 情報・通信 | | | | | |
| 機能デバイス | 高分子膜作製技術 | 人工筋肉アクチュエータ | ・ゴム状のポリマーに伸縮可能な電極を貼り静電気によりゴムを変形させる。高効率、軽量、静寂等多くの優れた特性を有し、多用途が期待される。プロジェクト終了後、米政府から約30億円相当の補助金も得て、シーズ技術を確立した。2004年に研究実施者W社がベンチャー企業C社を設立し、実験キットの販売をしながら、実用化へ向けた研究開発を精力的に実行している。 | 生活文化 | 医療・福祉 | 5.1 | 1.7 | 21 |
| | 材料評価技術 | 電池材料 | ・自社で製造しているリチウム電極材料の評価技術を確立。この評価技術により高品質製品を安定的に製造するのに寄与した。 | エネルギー | | | | |
| 共通基盤 | 薄膜製造技術 | 薄膜温度センサ | ・絶縁膜を施工し、積層化技術を応用して強固な薄膜温度センサを作製した。ガスタービン静翼は1000以上になるが、従来は的確な測温技術が無く、他の技術の組み合わせで推定していた。本方法により測温精度が向上し、ブレードの材料開発、ガスタービン設計に活かされ、ガスタービンの性能向上、競争力強化に役立った。 | エネルギー | | | | |
| | 形状計測技術 | 高速共焦点顕微鏡 | ・形状計測技術が活かされ、共焦点レーザー顕微鏡の改善開発、実用化に役立った。回転数を30倍高速化し、困難と言われていた生きた細胞の動的挙動が観察できるようになった。本プロジェクト終了後に振動問題を根本的に解決し、高速共焦点顕微鏡を完成し上市した。この装置による観察画像もネイチャー誌の表紙に2回掲載され、このタイプの装置では世界のトップシェア(ほぼ100%)を獲得した。 | 計測機器 | | | | |
| | 評価技術 | MEMS用薄膜材料の引張試験法 | 「MEMS専門用語集」は2005年に国際規格として発行された。「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」の試験法に関する規格案を国際電気標準会議(IEC)に提案、承認後、いずれも最終国際規格案(FDIS)に進み、2006年に国際規格として発行される予定である。 | 国際標準化 | | | | |
| | 評価技術 | 半導体加速度センサ規格案 | 半導体加速度センサに関する規格案をIECに提案。ISO規格にはない新機軸が盛り込まれ、国際規格原案(CDV)で承認。2005年FDISに進むことが確認された。 | 国際標準化 | | | | |
| 計 売上金額 | | | | | 150.3 | 50.1 | 200 | |

売上金額の根拠はL2アソク調査結果、2010年度売上金額は、次頁の5年内実用化予定製品を含む。

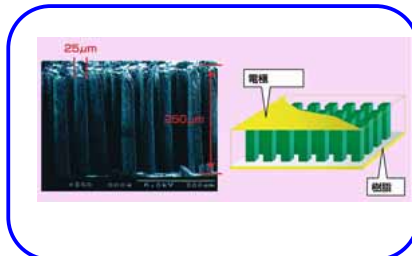
添付資料 4. 5年以内に実用化される技術

| 技術分野 | 製品 | 活用技術 | 開発状況 | 主用途 |
|---------|-----------------|--------------------|---|------------|
| システム化技術 | CCDマイクカメラ | 3次元実装技術 | マイクカメラのズームシステム、3次元実装技術を活用して、携帯電話用カメラ、小型光学機器への実用化を検討中である。 | 携帯電話 |
| | RFスイッチ | 複合加工技術・実装技術 | 1μ程度の狭ギャップの製造技術を活用し、新型RFデバイスを開発中である。 | 携帯電話 |
| | 赤外線温度センサ | 薄膜評価技術 | 事務機の温度測定等、非接触で測温できる分野を計画している。 | 事務用機器 |
| | 細胞分離装置 | マイクロ流体操作技術 | 微量液体操作技術の波及技術として、細胞分離装置を開発した。実施企業が既に有していた蛍光物質を入れた細胞に光レザをあてて識別する技術、電界場でイオン化、分離する技術とが組み合わせられたことにより成功した。細胞分離装置は国内市場約200億円/年で、現在米国2社の独占状況であるが、今後、本開発製品が上市予定である。 | 細胞分離装置 |
| | 形状記憶合金点字ユニット | 線引加工技術 | 本プロジェクトの成果である形状記憶合金コイルは駆動源として、応用が可能である。ベンチャー企業にコイル製造技術を譲渡し、点字用のデバイスの開発が行われており、福祉技術分野に活かされる。 | 点字用部品 |
| | 3次元で動く指ロボット | 電磁式アクチュエータ | 磁気的エンコーダを組み込んだ電磁サーボモータは、愛知万博の人気パビリオンであったトヨタ館のロボットに搭載した。現在、サンプル出荷しており、事業化寸前まできている。 | ロボット、産業用機械 |
| 機能デバイス | シリコン貫通孔配線加工 | 複合加工技術 | 光励起というウエットエッチングにより貫通孔と配線する技術。高アスペクト比が得られ技術的には世界トップレベル。この技術を適用できる具体的対象製品を模索中。ファンドリサービスを開始し、新規市場創出中、当面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。 | 半導体製造装置 |
| | 脳腫瘍治療用レーザーカテーテル | マイクロチップレザ、マイクロ実装技術 | カテーテルの微細薄膜加工技術の波及技術としてマイクロレザ(波長2.8μm)を治療用レザ用として開発中。東京女子医大と共同研究を行い、脳腫瘍の患部を薄く(0.1mm位)除去することにより、神経など周辺部への損傷を防止する。臨床実験へ進める段階である。 | 脳腫瘍治療用 |
| | 民生用ロボット | 精密加工技術 | 低価格、プラスチックの軽量、円滑駆動の特徴を活かして家庭用ロボットを検討している。 | 家庭用ロボット |

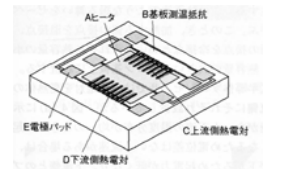
実用化-16 高速共焦点顕微鏡



【実用化、実用化予定の例】



実用化-6 燃料電池用フローセンサ



実用化-14 薄膜温度センサ

耐熱・複合材料技術
Heat-Resistant and Composite Material Technology

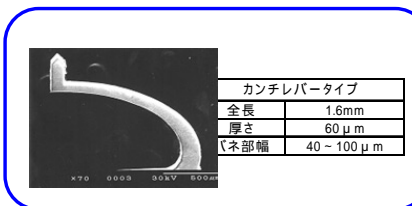
- 耐熱複合材料技術
- 耐熱保護技術
- 精密製造技術
- Technology for Producing Ceramic Matrix Composite Materials
- Technology for Thermal Barrier Coatings
- Technology for Precision Casting

セラミックガスタービンローター Ceramic gas turbine rotor

電機用セラミック複合材料コンプレックス Ceramic matrix composite complex

薄層温度センサ Thin-film temperature sensor

タービン電機用耐熱温度センサ Turbine motor resistant with a thin-film thermal sensor



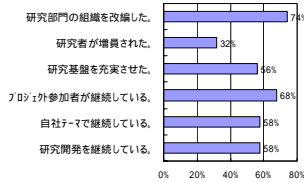
実用化-8 超精密加工機



添付資料 5. 技術蓄積、人材育成

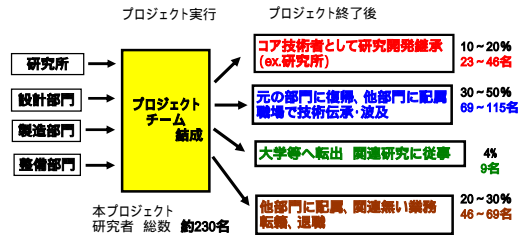
1 研究開発部門の活性化

アンケート回答数 22企業



- 研究部門の改編があり、拡大した企業がある。
・本プロジェクト終了後、関連部門を一箇所に集め、50名強と、大きくなり、集中的に研究開発できる体制になった。
・プロジェクト終了後、企業が重要性を認識し、研究者が140名程度へ増大した。
- 本プロジェクトの成果を踏まえて、研究開発の継続、関連分野でのテーマ立ち上げが多い。
・現在は適用していないが、将来必ず役立つ技術として認識し、維持している技術がある。高密度実装技術、電磁技術等
・マイクロマシン、メカトロニクスの基礎技術をロボットに活かす。
- 本プロジェクトで培った評価技術は、研究基盤を充実させると共に、製品開発にも役立っているケースが多い。

プロジェクト参加と今後の技術継承のパターン



- コア技術者を残し、技術全体の技術蓄積、継承を実施
- 多くは関連技術部門で技術波及に寄与
- 従事者の半数以上が技術継承

大学へ転出した9名

| 氏名 | 出身 | 大学 |
|----|----|----|
| S氏 | D社 | S大 |
| I氏 | D社 | K大 |
| H氏 | I社 | H大 |
| S氏 | J社 | O大 |
| D氏 | P社 | N大 |
| T氏 | T社 | R大 |
| M氏 | G社 | T大 |
| I氏 | V社 | T大 |
| H氏 | C社 | T大 |

プロジェクト内容の関連による
博士学位の取得者数

| | |
|-----|-----|
| 取得者 | 12名 |
| 候補者 | 8名 |

2 知的財産の蓄積と継承

- 技術供与は3件 形状記憶合金、加速度センサ評価技術等
- プロジェクト終了後の出願特許のうち124件が公開になっている。基本特許は17件ある。
静電アクチュエータ関連、コンタクトプローブ関連、原子間力顕微鏡関連など
- プロジェクト実行中に出願して、その後登録になった特許およびプロジェクト終了後に
出願した特許に関しては、特許の動向 (次ページ参照)
- 全国発明表彰 弁理士会会長賞 受賞…… 共焦点用光スキャナの発明

3 技術の社会的評価

(1) 技術、論文の受賞

- 技術論文は約300論文以上発表、その内9論文が受賞
- 精密工学会賞 …………… 3自由度小型アクチュエータの開発
 - 電気学会賞 …………… 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
 - 電気学会論文賞 …………… 酸素プラズマ照射による側壁保護膜を付加した新規なDRIE
 - IEEE MHS2001 Best Paper賞 …………… Wireless Link System for Communication and Energy Transmission of Microrobot
 - IEEE CPMT2005 Best Paper賞 …………… High-Density 3D Packing Technology Basic on the Sidewall Interconnection Method
 - IC/IC2実装学会賞 …………… 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
 - 機械学会関西支部研究賞 …………… マイクロマシンングによる超小型電磁モータの開発

(2) 技術の受賞

- 市村産業賞、ファインテックス賞 …………… 超音波複合圧電素子
- 大河内賞 …………… IC検査用微細コンタクトプローブの量産技術の開発
- 大河内賞 …………… 分子のダイナミクス解析が可能な高速共焦点顕微鏡の開発と実用化
- 文部科学大臣賞 …………… 高速共焦点顕微鏡の開発関係者
- 機械学会技術奨励賞 …………… 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
- 精密工学会技術賞、研究奨励賞 …………… マイクロ加工機ROBOnanoUi
- バルカテック賞 …………… 電場応答性高分子人工筋肉

(3) 英語論文の被引用回数

- 10論文(8社)が合計32回引用されている。… 最大11回被引用; 高速共焦点顕微鏡論文 7回被引用; 放電加工技術 4回; X線リソグラフィ加工技術 その他、被引用3回が1件、2回が4件、1回が2件あった。

4 後継関連プロジェクト

| MEMSプロジェクト | (参加企業) |
|--------------------------|-------------|
| MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクト | C社、B社 |
| マイクロ分析・生産システムプロジェクト | K社、B社、C社、Q社 |
| フォトニック結晶研究(文科省予算) | C社、J社、R社 |
| 地域新生コンソーシアム研究開発事業 | G社 |

5 市場の開拓

ファンドライバサービス:10社(内プロジェクト参加会社 4社)

| 企業 | 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ンングを中心とした各種MEMSの試作、独自工法の量産作成技術、電鍍量産技術によるレンズ、微細金属等の試作、量産 | |
| オリンパス | | | 光MEMS、ハイパシMEMS/高精度バルクマシンングを用いた各種MEMS、設計から量産 | |
| 日立 | | | バルクマシンングを中心とした研究開発支援 | |
| フジクラ | | | センサ、アクチュエータ、バルクマシンング、高密度実装、パッケージ、シリコン貫通電極 | |

6 技術の蓄積・波及・啓蒙

出所:(財)マイクロマシンセンター

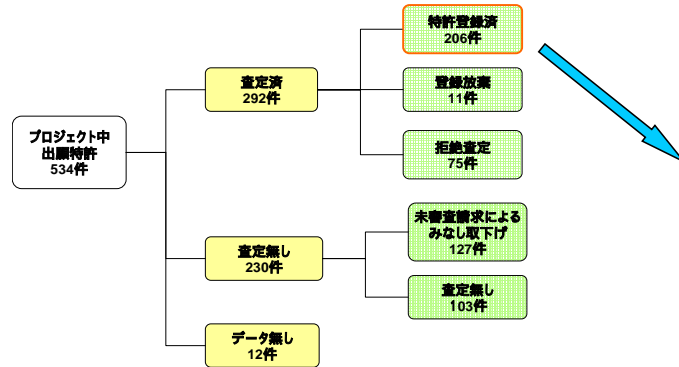
- 本プロジェクトの成果の蓄積は、(財)マイクロマシンセンターが発行した「マイクロマシン技術の研究開発 委託成果報告書」及び、第7回国際マイクロマシンシンポジウム(2001年10月31日、11月1日)における資料(マイクロマシン技術・次代の産業技術の基盤)などに纏められている。
- マイクロマシンサミット
日本が提唱したマイクロマシンの概念を国際的に認知させるために本プロジェクト事業として始めた。第1回は1995京都で開催、以降毎年日・米・欧で実施(スイス、カナダ、オーストラリア、イギリス)
(財)マイクロマシンセンターが事務局)
- マイクロマシン展
マイクロマシン技術の国内での認知度を上げるためと、プロジェクトの成果を宣伝するために始めた。H17は16回目、年々入場者、出展企業が増加
(財)マイクロマシンセンター主催)
- マイクロファクトリのワークショップ(WMF(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の概念を国際的に普及することを目的に始めた。日本主導で2年ごとに日・米・欧で開催 (独)産総研の主催で始まり、主導している。)
- 技術の標準化
国際標準化
本プロジェクトを実施したことにより、当該分野での用語の標準化する必要を感じてMEMS関連専門用語集を纏めた。これをベースに用語の規格案をIECに2002年に提案し、2005年以内に国際規格として発行予定。(財)マイクロマシンセンター)

微細材料の機械特性評価のための「マイクロ引張試験」が、2003年に「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」の試験法に関する規格案をIEC(International Electrotechnical Commission)に提案した。規格案審議は順調に推移。2005年9月に投票を締め切り、承認後、両案ともFDIS(Final Draft International Standard)に進む。
(財)マイクロマシンセンター)

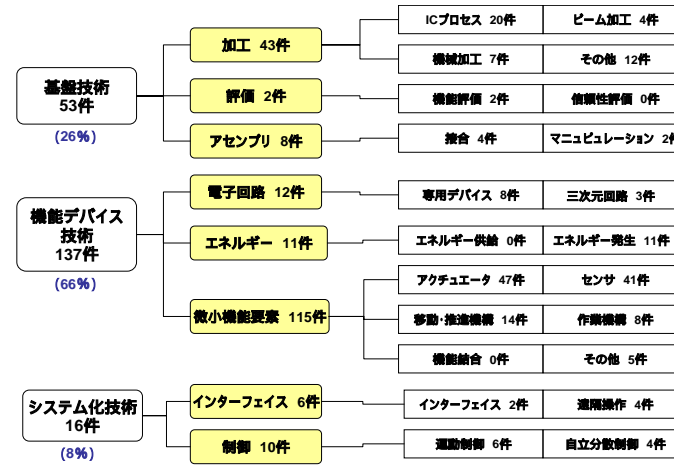
センサ計測評価技術の開発がプロジェクト後も継続され、半導体加速度センサに関する規格案をIECに提案した。2005年6月に締め切ったCDV(Committee Draft for Vote)の投票で承認され、FDISに進むことが、確認された。(独)産総研・計量研)

添付資料 6. 特許の動向

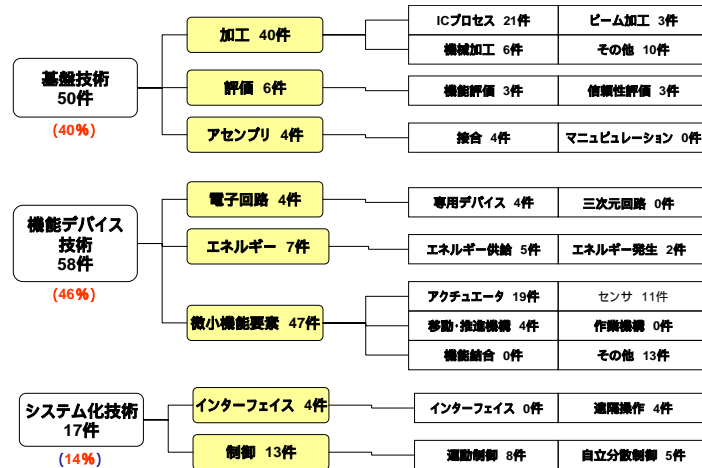
【本プロジェクト実行中に出願した特許の経過】



【本プロジェクト実行中に出願した特許で登録された特許】



【本プロジェクト終了後に出願して公開になった特許】



- プロジェクト実行中に出願された特許は563件あるが、今回、詳細が追えた534件に関して、その後の経過を分類した。審査請求、登録になった特許は重要性が高いと推定され、206件ある。その内訳の概要は、アクチュエータやセンサなどの機能デバイス関連が137件で66%を占め、重要性が高いと推定される。次いで加工技術などの基盤技術関連が53件で26%を占め、残りは制御技術やインターフェイスなどのシステム化技術関連で16件あり、8%を占める。
- プロジェクト終了後に、出願され、公開となった特許は124件ある。その内訳の概要は、アクチュエータやセンサなどの機能デバイス関連が58件で46%を占めトップであるが、加工技術や評価技術などの基盤技術関連が50件で40%を占め、前述の本プロジェクト実行中に出願し、その後登録になった特許に比べ、比率が増えている。今回のヒアリング調査でも、多くのプロジェクト参加研究者は、加工技術や評価技術が活かしたことを主張しており、これら基盤技術の重要性を認識して、特許戦略にも、基盤技術の重要性が反映されていると考えられる。残りは制御技術やインターフェイスなどのシステム化技術関連で17件あり、14%を占める。

添付資料 7. 市場調査

(1) プロジェクト成果

表 6.1 実用化製品の売上金額予測 注1) 単位: 億円

| 分野 | 2005年度 まで累積 | 2005年度 | 2010年度 | 伸び率 2010/2005 | 製品例 |
|---------------------------|----------------|--------|--------|------------------|---------------------------|
| 情報・通信 | 10.8 | 3.6 | 66 | | フォトニック結晶ファイバ、CCOマイクロカメラ |
| 自動車 | 0.9 | 0.3 | 20 | | 高性能加速度センサ |
| 精密・計測機器 工作機械・マイクロファクトリ | 132.0 | 44.0 | 72 | | 高速共焦点顕微鏡、細胞分離装置 超精密加工機 |
| エネルギー | 1.5 | 0.5 | 21 | | 燃料電池用フローセンサ、電池材料 |
| 医療・生活文化 | 5.1 | 1.7 | 21 | | 超音波診断装置、人工筋肉アクチュエータ |
| 計 | 150.3 | 50.1 | 200 | 4.0 | |

注1) ヒアリングによる積上げ金額・企業秘密等あり回答得られない場合あり。
回答が得られた企業のみ積み上げ。

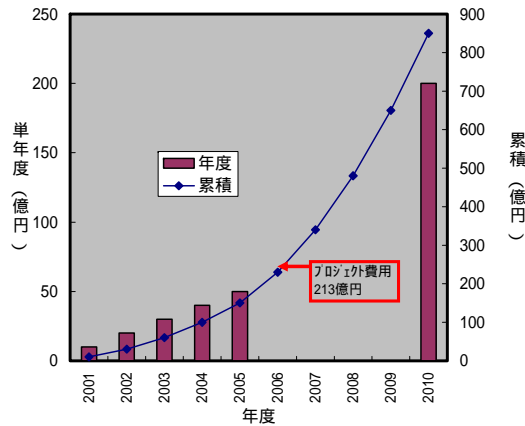


図 6.1 実用化製品の売上金額予測 単位: 億円

ヒアリングによって回答が得られた企業の売上げの積上げ
 1) プロジェクトの成果として開発後2005年度までの累積で約150億円の売上実績
 2) 2005年度では約50億円の売上見込
 3) 2010年度には約200億円の売上予測

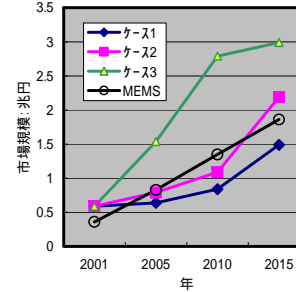


図 6.2 マイクロマシン関連市場の予測

注1) ケース1、2、3: 1997時点予測データ(進化するマイクロマシン、日刊工業新聞社2002.2)より2001年基準として作成
 ケース1: 速い市場拡大予測、ケース2: 中間的な市場拡大予測、ケース3: 速い市場拡大予測
 注2) MEMS: MEMS関連市場と現状と日本の競争力分析に関する研究(産業研究所/マイクロマシンセンター 2004.2)より作成

表 6.2 2001年を基準としたMEMS市場予測値

| 年 | 2001 | 2005 | 2010 | 2015 |
|----------|------|------|------|------|
| ケース1 注1) | 0.59 | 0.64 | 0.84 | 1.49 |
| ケース2 | 0.59 | 0.79 | 1.09 | 2.19 |
| ケース3 | 0.59 | 1.54 | 2.79 | 2.99 |
| MEMS 注2) | 0.36 | 0.83 | 1.35 | 1.86 |

1) 1997年時点で、マイクロマシン市場の予測は3ケースで試算された。
 2) 2004年実施の予測では、2005年8300億円、2010年で1.35兆円と言われている。
 3) 図6.1は、回答の得られた企業の積上げのみであり、実際には、さらに増えたと推定される。

表 6.2 MEMS技術の国内市場規模(単位: 億円)

| No | 産業分野 | プロダクト貢献型アプリケーション | 2002年 | 2010年 | 増加量 | 増加率 |
|----|-------------|---|-------|--------|------|-------|
| | | | A | B | B-A | B/A |
| 1 | 情報通信機器関連 | ・磁気ディスク装置、光ディスク装置、シリアルプリンタ(インクジェット、熱方式)、ページプリンタ、VRT/ビデオカメラ、DVD-ビデオ、ファクシミリ、複写機、磁気ヘッド、超小型モータ、光コネクタ、携帯電話 | 1492 | 3622 | 2130 | 2.43 |
| 2 | 精密機器分野 | ・カメラ、デジタルカメラ、腕時計 | 911 | 1243 | 332 | 1.36 |
| 3 | 計測機器分野 | ・SPM、カメラグラフィ、一般科学機器 | 33 | 191 | 158 | 5.79 |
| 4 | マイクロファクトリ分野 | ・産業用ロボット、金属工作機械、半導体製造装置 | 145 | 385 | 240 | 2.66 |
| 5 | メンテナンス分野 | ・工業用内視鏡、非破壊検査機器 | 13 | 28 | 15 | 2.15 |
| 6 | 医療福祉関連分野 | ・生体現象計測/監視システム、画像診断システム、処置用機器、生体機能人体機能/補助機器、治療および手術用機器、医用検体検査機器 | 122 | 384 | 262 | 3.15 |
| 7 | バイオテクノロジー分野 | ・バイオセンサ、μTAS適用可能機器、コンビナトリアルケミストリ、その他分離分析機器 | 141 | 486 | 345 | 3.45 |
| 8 | エネルギー分野 | ・エリファル燃料電池 | 0 | 371 | 371 | |
| 9 | 環境関連分野 | ・環境計測機器 | 0 | 13 | 13 | |
| 10 | 自動車関連分野 | ・センサ、センサ外システム | 1351 | 2467 | 1116 | 1.83 |
| 11 | 航空宇宙関連分野 | ・航空機、宇宙衛星 | 0 | 455 | 455 | |
| 12 | 生活文化関連分野 | ・アムースメント家電 | 120 | 3870 | 3750 | 32.25 |
| 13 | 都市環境整備関連分野 | ・ITSインフラ | 0 | 45 | 45 | |
| 14 | 農林水産関連分野 | ・食品機械工業 | 0 | 13 | 13 | |
| 計 | | | 4,328 | 13,573 | 9245 | 3.14 |

注) MEMS関連市場の現状と日本の競争力分析に関する調査研究、産業研究所/(財)マイクロマシンセンター、H16.2より作成

添付資料 8. 各分野に与えたインパクト

| 視 点 | 内 容 | 事 例 | 備 考 |
|--|--|---|--|
| 1. 企業へのインパクト (1) 研究開発政策へのインパクト | 本プロジェクトに参加したほとんどの企業では、自社の研究開発方針に大きな影響を与えた。このプロジェクトによりMEMS技術を最重要開発事項にした企業、この成果から自社内で大型投資に結びつけた企業もある。マイクロマシンはマイクロメカトロニクスとして出発し、このうちのエレクトロニクス部分はSiベース加工技術を含むものとして理解されていた。その後プロジェクトの進行に伴ってこの加工方法はMEMSの方向に近づいていった。 | ・国プロに参加したのはこれが最初で、以降MEMS関連の国プロに積極的に参加するなど、自社MEMS業務の拡大・充実に影響を与えた。 ・本プロジェクトの成果が社内で認知され追加研究費用を投資、実用化に結びついた。 | * アンケート回答数(22社) A. 派生技術がある、 :86% B. 新規事業の見込みあり、 :58% C. 研究基盤が極めて充実した、 :56% D. 政策に反映されている、 :68% |
| 2. 開発技術へのインパクト (1) 各種の研究開発賞を受賞 (2) 技術レベルの向上 | 本開発技術の技術水準は世界的レベルのものが多い。各分野で著名な賞を受賞している。 開発技術は技術レベルが高く、世界のシェアほぼ100%の製品、高度な加工技術が不可欠で、世界で3社しか実用化していない技術などがある。 | ・全国発明表彰、大河内賞、文部科学大臣賞、オムロン大賞などを受賞した。 ・論文では電気学会受賞、IEEE MHS2001 Best Paper賞などを受賞した。 ・高速共焦点顕微鏡、フォトニック結晶ファイバなどが製品化された。 | |
| 3. 次世代産業形態へのインパクト (1) 次世代技術継承への芽生え (2) マイクロファクトリの発展、拡大 (3) ファンドリサービスによる新研究開発体制 | マイクロマシンの機械加工からMEMSへ、MEMSからナノの流れの中で機械加工でもナノに対応できる技術開発も進められ、機械加工の新分野を開拓している技術や、次世代バイオに繋がる技術も生まれている。 マイクロファクトリは微小部品加工には小型の工作機械でも十分機能を発揮することを実証し、省エネルギー効果が顕著であることを世の中に知らしめた。IWMFはこのプロジェクトを契機として開催が始まり、マイクロファクトリの研究を世界中に発信するのに寄与した。 ファンドリサービスは、MEMSの設計、検証試作、製品開発、量産検討などに関するコンサルタント、設備提供を支援し、研究開発設備や多くの人材を要しなくても、MEMS研究開発に着手できるシステムである。発展目覚ましいMEMS分野で、多くの大学等研究機関や企業が、研究開発できることは画期的な研究開発システムでもあり、産業活性化、産業拡大へ大きな影響を与えた。 | ・超精密加工機が製品化され、細胞分離装置も近い将来製品化する。 マイクロファクトリのワークショップIWMF(International Workshop on Microfactories)を日本が主導している。 2002年に(財)マイクロマシンセンター内に発足したMEMSファンドリサービス産業委員会(FSIC: Foundry Service Industry Committee)は、わが国のMEMSファンドリサービス産業発展のため諸々の活動を行っている。 | |
| 4. 新ビジネス開発へのインパクト (1) ベンチャー企業の立上げ (2) マイクロマシン展の拡大、ビジネス機会の増大 | 当初の事業規模が小さい場合や直ぐ大量生産に移行せず開発品販売から始めるような場合、ベンチャー企業が立ち上がりつつある。 マイクロマシン展を毎年開催しており、年々参加企業は増加し、今年は会場がオーバーフローする状況。単に展示会にとどまらず、産学官が一堂に集まり、ビジネス機会の情報交換として活かされている。特に、微細加工に関する情報が豊富であり、マイクロマシン部品産業の萌芽を育てる準備が整いつつある。 | ・実用化した形状記憶合金(SMA)コイル技術を、ベンチャー企業が継承した。参加企業が開発したSMAコイルを使用した医療用カテーテルは医療器具専門メーカーに継承した。 ・参加企業がベンチャー企業を立上げた。日本企業も研究開発に参加している。 | 第16回マイクロマシン展(2005年11月開催)では、出展企業数は約260社、研究機関が20機関で入場者数は約9100人と1990年の第1回に比べ、規模は3倍に拡大した。 |
| 5. 大学の研究開発へのインパクト | 本プロジェクト関係者が大学に転出し、学際研究に力をいれ、学術-産業の橋渡しをしている。大学の研究姿勢にインパクトを与え今後の研究のあり方のモデルとなりつつある。中小企業の人材育成、技術力向上に寄与している。 | 大学へ転出し研究者は「ミクロものづくりネットワーク」で地域振興を推進している。 大学へ転出した研究者は中小企業5社とプロジェクトをスタートさせた。 | * アンケート回答数(22社) 研究交流基盤充実した、 :56% 産学間の連携が強化された、 :44% 大学、国等と研究を継続している、 :36% |
| 6. 外国へのインパクト (1) 海外研究機関の注目 (2) 国際標準化への規格案提出、承認への進行 | ・参加企業は本プロジェクトで技術を開発した後、アメリカ政府から資金を得てシーズ技術を確立し、多目的アクチュエータの開発を前進させた。さらに、ベンチャー企業を立ち上げ、実用化開発を促進している。 ・マイクロファクトリ、マイクロ機械加工のコンセプトに影響を受け、全米科学財団(NSF)が世界中にこの技術に関する調査団を出した。 ・フィンランド、韓国などがマイクロ機械加工関連の国プロジェクトを立ち上げた。フィンランドは第2フェーズに入っている。 「MEMS専門用語集」は2005年に国際規格として発行された。「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、「半導体加速度センサに関する規格」が2006年に国際規格として発行される予定。MEMS関連の国際規格は我が国が提案して初めて国際電気標準会議(IEC)の中に地歩を築くことができたもので、国際規格に与えた影響は大きい。 | ・本プロジェクト中一貫(10年)して、人工筋肉アクチュエータを研究開発した。本プロジェクトで長期に研究できたので、成果を得ることができた。 | * アンケート回答数(22社) わが国の当該分野技術への向上 :95% わが国がイニシアティブをとれた、 :61% 外国の技術政策に影響した、 :39% |
| 7. 国家プロジェクトへのインパクト | 本プロジェクトで培われたMEMSに関する国内の情報インフラは(財)マイクロマシンセンターを中心にその効果を発揮し、科学技術政策に対して即座に対応し、MEMS関連プロジェクト(MEMS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)を立ち上げるための基盤を提供できた。 | | |