

事業原簿

公開版

第1回「MEMSプロジェクト」(事後評価) 分科会

資料5-1

「MEMSプロジェクト」

事業原簿

公開版

作成者	新エネルギー・産業技術総合開発機構 機械システム技術開発部
-----	----------------------------------

— 目 次 —

概要	2
(新製造技術プログラム)「MEMSプロジェクト」技術開発課題	8
新製造技術プログラム 基本計画	13
I. 事業の目的・政策的位置付けについて	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	19
1.1 NEDOが関与する意義	19
1.2 実施の効果(費用対効果)	20
2. 事業の背景・目的・位置づけ	
2.1 事業の背景・目的	22
2.2 事業の位置づけ	22
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	29
2. 事業の計画内容	29
2.1 研究開発の内容	29
2.2 研究開発の実施体制	33
2.3 研究開発の運営管理	33
3. 情勢変化への対応	34
4. 中間評価結果への対応	36
5. 評価に関する事項	36
III. 研究開発成果について	
IV. 実用化、事業化の見通しについて	
1. 事業全体の成果	37
2. 各テーマ成果まとめ	40
3. 各テーマの成果詳細	
3.1 RFスイッチ製造技術の開発(オムロン株式会社)	i-1～i-33
3.2 光可動ミラー製造技術の開発(オリンパス株式会社)	ii-1～ii-13
3.3 超小型MEMSセンサ製造技術の開発(松下電工株式会社)	iii-1～iii-12
3.4 MEMSデバイスの研究開発	
3.4.1 スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイと その信号接続方法の研究(東京大学)	iv-1～iv-18
3.4.2 マイクロ走査型顕微鏡の研究開発(九州大学)	v-1～v-16
3.4.3 超小型6軸フォースセンサの研究開発(立命館大学)	vi-1～vi-51

添付資料1 (出願特許)

添付資料2 (学会発表、論文、プレス発表等)

概 要

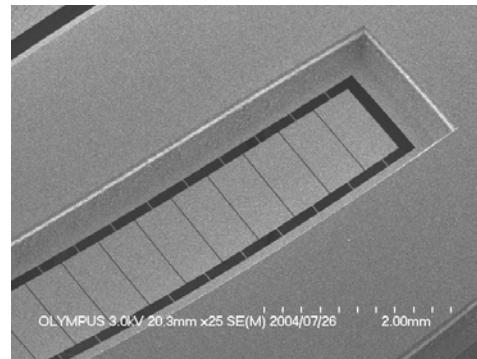
作成日	平成18年12月11日
-----	-------------

制度・プログラム名	新製造技術プログラム		
プロジェクト名	MEMSプロジェクト	PJコード	P03025
担当推進部・担当者	機械システム技術開発部 浅海 一志		
0. 事業の概要	<p>本プロジェクトは、経済産業省において研究開発の成果が迅速に事業化に結びつき、産業競争力強化に直結する「経済活性化のための研究開発プロジェクト（フォーカス21）」の一つとして、今後比較的短期に大きな市場が形成されると期待されるMEMS(RF (Radio Frequency、高周波) – MEMS、光MEMS、センサMEMS)の実用化に必要な製造技術を開発するとともに、これらのMEMS製品の実用化、「MEMSデバイスの研究開発」等を通じ、多様な産業・民生分野におけるエネルギー使用の合理化を図る。</p>		
I . 事業の位置付け・必要性について	<p>グローバル化の進展やアジア諸国の製造業の台頭など、我が国製造業を取り巻く環境が厳しさを増す中で、製造業の高付加価値化による競争力の強化が急務となっている。このような観点から、情報通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野において、小型・高機能で省エネ性に優れた高付加価値部品の製造を可能とするMEMS(Micro Electro Mechanical Systems、微小電気機械システム)技術に対し、我が国製造業を支える新たな基盤技術としての期待が高まっている。</p> <p>MEMSは、自動車用加速度センサやインクジェットプリンタのヘッドなど一部の分野で既に実用化が始まっています。2003年時点でのMEMSを活用した製品は国内で約5,000億円の市場を形成しているとも推定される。今後は、光通信や高速無線通信といった通信分野、血液検査や環境計測などの化学・バイオ分野等を中心に、2010年までに国内市場は1.35兆円程度に成長すると見込まれているが、一方で、これらの新しいMEMSは、現在実用化されているMEMSと比べて更なる高性能化や構造の複雑化等が進むと考えられている。このようなMEMSの実用化を図るために、深さ方向の高精度な加工や複雑なパッケージングなどに代表される高度なMEMS製造技術の確立が不可欠である。</p> <p>また、今後、MEMS技術をより多様な分野における製品に活用し、大きな市場を形成していくためには、このような高度なMEMS製造技術が多様な主体に提供可能となるファンドリー等の環境整備が重要である。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>フォーカス 2.1 の要件に照らし、今後比較的短期に大きな市場が形成されると期待されるMEMS（RF（Radio Frequency、高周波）-MEMS、光MEMS、センサMEMS）の実用化に必要な製造技術を開発する。</p> <p>（1）RFスイッチ製造技術の開発 高精度3次元加工技術開発においては、加工条件を確立して、量産レベルで加工精度1%を実現する。接点固定防止技術開発においては、固定の起きにくい金属材料の製作プロセスを確立し、開閉回数10億回を達成する。低損失パッケージ技術開発においては、損失の少ないパッケージ技術を確立し、量産レベルでパッケージ損失0.1dB(@10GHz)を達成する。</p> <p>（2）光可動ミラー製造技術の開発 光可動ミラーの加工要素技術とそれをアレイ化するための加工技術課題に取り組み、トータルな可動ミラーモジュールの加工技術を確立する。また、光可動ミラーを2/1000度以下の精度で自由に角度制御できる高精度角度制御技術を確立する。これらの技術を用いて試作した最終光学モジュールにおいて、光可動ミラーの可動回数が100億回以上可能なことを確認する。</p> <p>（3）超小型MEMSセンサ製造技術の開発 貫通孔配線・電極形成技術は、厚み500μmのシリコンウェハに10μmφの貫通孔形成を達成する。配線電極埋め込みについては、Cuを貫通孔に埋め込む安定した工程を確立する。最適接合方式でのウェハレベルパッケージを用いたセンサ・回路一体モジュールを試作検討し、サイズ1/10の小型化を検証する。一貫工程の構築を3軸加速度センサとジャイロセンサを用いて試作検証する。</p> <p>また、本プロジェクトで開発した要素技術の成果を、目標とする製品のみならず、より多様な分野における製品に活用し、さらにはMEMS製造設備を十分有しない大学や新規事業者等の参入障壁を下げるファンドリー事業を整備する。</p> <p>本プロジェクトで整備したファンドリーの有効性を検証するために、平成17年1月より、委託事業を追加した。この委託事業では、高度な製造プロセスを必要とする先進的なデバイス開発を、全工程ファンドリーを活用して試作することにより、プロジェクト期間中にファンドリーの有効性検証を行うため的具体的なテーマは以下のとおり。</p> <p>（4）MEMSデバイスの研究開発 超小型6軸フォースセンサの研究開発、マイクロ走査型顕微鏡の研究開発、スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究については、ファンドリーを活用してそれぞれ目標とするデバイスの試作を完了する。</p>
-------	---

事業の計画内容	主な実施事項	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
	①RF スイッチ 製造技術の開発			→	
	②光可動ミラー 製造技術の開発			→	※半年間延長
	③超小型 MEMS センサ 製造技術 の開発			→	
	④MEMS デバイスの研究開発			→	
【開発予算】 助成事業の 助成率:1/2	(単位:百万円)	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
	一般会計				
	特別会計 (高度化)	助成 591(上期) 560(下期)	1,765	1,306	26 ※前年度からの繰越し分
	委託			86	
	総予算額 4,334	1151(独法化により 半期毎に契約)	1,765	1,392	26 ※前年度からの繰越し分
【開発体制】	経済省担当原課	製造産業局産業機械課			
	運営機関	新エネルギー・産業技術総合開発機構			
	助成先・委託先	<助成先> オムロン株式会社 オリンパス株式会社 松下電工株式会社 <委託先> ※平成 17 年 1 月より追加 国立大学法人東京大学 国立大学法人九州大学 学校法人立命館大学			
	【情勢変化への対応】	平成 16 年度技術委員会(平成 16 年 6 月 23 日開催)にて、ファンドリー整備状況について、ファンドリーがどこまで対応できるかの有効性については未知数。プロジェクト期間中に、ファンドリーの有効性検証を行うべきとの委員の指摘を受け、プロジェクト期間中にファンドリーの有効性検証を行うための委託事業を、平成 17 年 1 月より追加した。 この委託事業は、高度な製造プロセスを必要とする先進的なデバイス開発を、ファンドリーを活用して試作することにより、本プロジェクトで整備したファンドリーの有効性を検証すること、および助成事業との連携により MEMS 技術の高度化を図ることを目的とするものである。			

III. 研究開発成果について	<p><u>(1) RFスイッチ製造技術の開発</u></p> <p>①高精度材料加工技術 実機テストを通じて、ばらつきも含めて加工精度 1%を達成するとともに、ファンドリーへの技術移転を行った。</p> <p>②接点固定技術 固定の起きにくい金属材料とその製作プロセスを確立し、開閉回数 10 億回を達成した。</p> <p>③低損失パッケージ技術 高周波の断続負荷および連続負荷等の各種信頼性試験を行い、パッケージ損失 0.09dB (@10GHz) と目標 0.1dB (@10GHz) 以下を達成した。</p>
	 <p><開発したRF-MEMSスイッチ写真></p> <p><u>(2) 光可動ミラー製造技術の開発</u></p> <p>①高精度 3D 加工技術開発 低応力成膜と新たな加工プロセスを開発して、ミラー面のソリ量が 1.25nm/100 μm の平坦なミラーを実現できた。</p> <p>②高精度制御技術開発 容量変化により、ミラー角度 2/1000 度以下を検出できることが確認できた。</p> <p>③信頼性の計測・評価技術開発 加速試験を行い、その換算値から 100 億回以上可動できる耐久性を見積もることができた。</p>  <p><試作したミラーデバイス写真></p>

(3) 超小型MEMSセンサ製造技術の開発

①ウエハ低温接合技術

Siウエハの常温直接接合に関して、ボイドレス接合を実現し、歩留りに問題がないことを確認した。また、各種信頼性試験を行い、接合信頼性にも問題がないことを確認した。

②貫通孔配線・電極形成技術

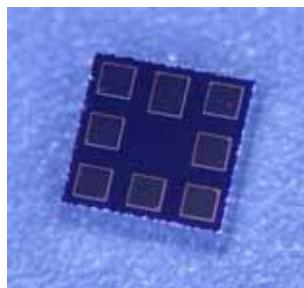
深さ $500 \mu\text{m}$ (孔径 $10 \mu\text{m}$) のウエハ貫通配線を実現し、歩留りに問題がないことを確認した。また、各種信頼性試験を行い、配線の信頼性にも問題がないことを確認した。

③センサ、回路一体化技術

MIDへのチップの常温バンプ接合に関して、各種信頼性試験を行い、接続信頼性に問題がないことを確認した。

④ウエハレベルパッケージング一貫工程の構築

構築した一貫工程により、3軸加速度センサモジュールとジャイロモジュールを試作し、その動作を確認するとともに、従来品と比較して、体積比 $1/10$ 、コスト比 $1/2$ を実証した。



<小型センサエレメント外観写真>

(4) MEMSデバイスの研究開発

超小型6軸フォースセンサの研究開発、マイクロ走査型顕微鏡の研究開発、スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究について、ファンドリーを利用したデバイスの開発試作を完了した。

本試作により、概ねファンドリーの有効性が確認された。またプロセス条件の最適化に伴う試作の遅延、高精度アセンブリの技術力向上が課題であることが明らかになった。

【特許出願数および成果発表数】			
	論文等誌上発表	特許	報道
(1) R F スイッチ 製造技術の開発	19	10	20
(2) 光可動ミラー 製造技術の開発	24	4	19
(3) 超小型MEMS センサ製造技術の開発	9	88	9
(4) MEMSデバイス の開発	25	2	3
合計	77	104	51
IV. 実用化、事業化の見通しについて	本プロジェクトの開発成果を応用したデバイスを各社の事業戦略に則って量産化する計画である。また、ファンドリーへの技術展開もすでに着手しており、問い合わせ件数、委託件数とも着実に増加している。又、ユーザも、従来の大企業から中小企業に確実に拡大しており、こうしたファンドリーユーザが、自社で高額な設備の投資とプロセス開発に多数の人員を投資することなく、MEMSを適度の開発コストで早期に調達できることを可能にし、MEMSの研究開発、並びに、MEMS応用商品を含む革新的な商品造出に寄与し、我が国の製造業の発展を大幅に加速できることと考える。		
V. 評価に関する事項	事前評価	なし	
	評価予定	平成18年度 事後評価実施予定	
VI. 基本計画に関する事項	策定期限	平成15年3月 策定	
	改訂履歴	平成17年1月 改訂	

(新製造技術プログラム)

「MEMSプロジェクト」技術開発課題

機械システム技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

本プロジェクトは、経済産業省において研究開発の成果が迅速に事業化に結びつき、産業競争力強化に直結する「経済活性化のための研究開発プロジェクト(フォーカス21)」の一つとして位置付けられており、以下の要件を前提に実施するものである。

- ・技術的革新性により競争力を強化すること。
- ・研究開発の成果を新たな製品・サービスに結びつける目途があること。
- ・比較的短期間で新たな市場が想定され、経済波及効果が期待できること。
- ・産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取組が示されていくこと。

具体的には、成果の実用化に向け、本事業によって確立される高度なMEMS製造技術をファンドリ事業に適用することで、多様な主体によるMEMS製品開発・生産が活性化する環境を構築することを助成事業者に対し求める。

なお、適切な時期に、実用化・市場化状況等について検証する。

グローバル化の進展やアジア諸国の製造業の台頭など、我が国製造業を取り巻く環境が厳しさを増す中で、製造業の高付加価値化による競争力の強化が急務となっている。このような観点から、情報通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野において、小型・高機能で省エネ性に優れた高付加価値部品の製造を可能とするMEMS(Micro Electro Mechanical Systems、微小電気機械システム)技術に対し、我が国製造業を支える新たな基盤技術としての期待が高まっている。

MEMSは、自動車用加速度センサやインクジェットプリンタのヘッドなど一部の分野で既に実用化が始まっていますが、MEMSを活用した製品は世界全体で約5,000億円の市場を形成しているとも推定される。今後は、光通信や高速無線通信といった通信分野、血液検査や環境計測などの化学・バイオ分野等を中心に、2010年までにその市場は2兆円程度に成長すると見込まれているが、一方で、これらの新しいMEMSは、現在実用化されているMEMSと比べて更なる高性能化や構造の複雑化等が進むと考えられている。このようなMEMSの実用化を図るために、深さ方向の高精度な加工や複雑なパッケージングなどに代表される高度なMEMS製造技術の確立が不可欠である。

また、今後、MEMS技術をより多様な分野における製品に活用し、大きな市場を形成していくためには、このような高度なMEMS製造技術が多様な主体に提供可能となる環境整備が重要である。

このような観点を踏まえ、本事業では、フォーカス21の要件に照らし、今後比較的短期に大きな市場が形成されると期待されるMEMS(RF [Radio Frequency、高周波]—MEMS、光MEMS、センサMEMS)の実用化に必要な製造技術を開発するとともに、これらのMEMSの実用化等を通じ、多様な産業・

民生分野におけるエネルギー使用の合理化を図ることを目的とする。

(2) 研究開発の目標

平成17年度までに、RF-MEMS、光MEMS、センサMEMSの各分野において特に有望と期待されるデバイスの実用化に必要な製造技術を確立するとともに、これらのMEMSを実用化する。

(3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の項目について技術開発を行う。

① RFスイッチ製造技術の開発

RFスイッチは、RF-MEMSの中で現在最も期待される需要が大きく、かつRF-MEMSに共通の課題を多く含んでいることから、その実用化技術開発はRF-MEMS全般の実用化に波及効果が大きい。従って、本技術開発においては、RFスイッチの製造技術の開発を行うこととする。

イ. 技術開発の具体的な内容

1) RFスイッチの高周波信号線路、接点に用いられる金属薄膜、及びアクチュエータの形状を精密に制御して、高周波の反射・損失を最小限に抑える高精度材料加工技術を開発する。

2) 金属接点に発生する固着を、接触部分の材料の選定や接触部分を保護するパッケージ技術により低減させ、デバイスの寿命を延伸させる技術を開発する。

3) 高周波に対応したパッケージ方法を開発し、封止パッケージによるインサーションロスの増加を最小限に押さえる技術を確立する。

ロ. 達成目標

1) 厚さ $2\mu m$ 程度の金属薄膜等を用いた高周波信号線路、接点及びシリコン等のアクチュエータ構造において、寸法精度1%以下の高精度材料加工技術を構築する。

2) 動作回数 10^9 回以上の確保が可能な接点固着防止技術を構築する。

3) DC～10GHzの信号伝送で、パッケージングによるインサーションロス増加を0.1dB以下に抑えるパッケージ技術を構築する。

② 光可動ミラー製造技術の開発

单一または複数の微小ミラーを用いて光制御を行う光可動ミラーアレイは、光スイッチ、マイクロ光スキャナ等、多くの光MEMSに共通の機能素子であり、その実用化技術開発は光MEMS全般の実用化に波及効果が大きい。従って、本技術開発においては、光可動ミラーの製造技術の開発を行うこととする。

イ. 技術開発の具体的な内容

1) 微小可動ミラーの表面粗さをナノレベルにすることで、インサーションロスを抑えることが可能な高精度加工プロセス技術を開発する。

2) 微小可動ミラーを駆動するアクチュエータ素子と、位置検出を行う集積化されたセンサ素子を組み込んで、微小ミラーを高精度かつ自由に角度制御することを可能とする集積化光制御素子を開発する。

3) 実用上十分な駆動信頼性を確保するため、信頼性を含む計測・評価技術を開発する。

ロ. 達成目標:

- 1) 微小可動ミラーの表面粗さの絶対値が、 $100 \mu m$ 角平方の面積に渡って50mm以下の平坦度を達成する高精度加工技術を開発し、光学モジュールと一体化した後のインサーションロスとして3dB以下を実現する。
- 2) 微小可動ミラーを2/1000度以下の精度で自由に角度制御することを可能とするセンサ・回路集積化加工技術、及び高精度制御技術を構築する。
- 3) 信頼性を含む高精度計測・評価技術を開発し、常温にて 10^{10} 回以上の駆動信頼性を有する高精度微小可動ミラーを実現する。

③超小型MEMSセンサ製造技術の開発

MEMSセンサは、自動車分野などに幅広く普及しているが、今後、更なる小型化と機能集積を実現する「超小型センサ」の実用化が期待されている。このためにはウェハレベルパッケージ技術の開発が重要であること、及び、同技術はMEMS全般の実用化共通課題でもあり波及効果も大きいことから、本技術開発においては、ウェハレベルパッケージの実用化技術開発を通じた超小型MEMSセンサの製造技術の開発を行う。

イ. 技術開発の具体的内容

- 1) Siセンサウェハに接合されたパッケージ基板(ガラス、Si等)を通じてSiセンサ信号を外部に取り出すための量産に適合した配線・電極形成技術を開発する。
- 2) 封止工程によるSiセンサ部への内部熱応力を抑制するため、Siセンサウェハに接合するパッケージ基板とセンシング部本体ウェハの量産に適合した低温接合技術を開発する。
- 3) パッケージ化したセンサとその信号処理を行う回路部品(ICや電子部品)を一体化する工程を開発する。
- 4) 上記1)～3)の技術開発を行うことにより、MEMSのウェハレベルパッケージ一貫工程を構築し、センサチップ体積に対するパッケージ体積の抜本的小型化と低コスト化を可能とする実装技術を開発する。

ロ. 達成目標:

- 1) 厚み数百 μm 程度の基板(ガラス、Si等)に、 $10 \mu m$ 以下の口径の貫通孔を形成する量産に適合した工程とこれに電気配線材料を埋め込む量産に適合した工程を構築する。
- 2) Siセンサウェハに接合するパッケージ基板とセンシング部本体を $\pm 5 \mu m$ 以内の高精度に位置合わせて常温で接合する量産に適合した工程を構築する。
- 3) パッケージ化したセンサとその信号処理を行う回路部品(ICや電子部品)を一体に実装し、モジュールに仕上げる量産に適合した工程を構築する。
- 4) 上記1)～3)の技術開発を行うことにより、MEMSのウェハレベルパッケージ一貫工程を構築し、現状の樹脂パッケージやセラミックパッケージに対して、センサチップ体積に対するパッケージ体積比率を1/10以下に、コストを1/2以下に低減可能な実装技術を構築する。

④MEMSデバイスの研究開発

具体的なMEMSデバイスの研究開発を委託事業にて実施する。製作をファンドリーに依頼して進め、MEMS技術の高度化及びファンドリー事業の促進を図る。

イ. 技術開発の具体的内容

1) スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究

可変ノズルアレイを用いたエアーフロー方式アクチュエータに関し、基板両面からのエッチングにより静電駆動可能なアクチュエータのアレイ構造を実現するとともに、基板下部から電気的接続を行う方法を開発する。

2) マイクロ走査型顕微鏡の研究開発

高精度に位置決めボンディングした半導体レーザやフォトダイオードチップなどの光学素子、マイクロミラー等からなる集積型のマイクロ光走査型顕微鏡を設計・製作し、パッケージング技術、ボンディング技術の開発を行う。

3) 超小型6軸フォースセンサの研究開発

センサ内に形成したシリコンビームに発生する応力をピエゾ抵抗素子によって検出する方式を用いた6軸フォースセンサを設計・開発し、センサ内に配置した複数のピエゾ抵抗素子の抵抗変化を組み合わせて、6成分の力を求める信号処理方法等の研究開発を実施する。

4) 技術検討会の実施

委託事業者と助成事業者による技術検討会を実施し、デバイス特性及び製造プロセスの高度化、ファンドリー事業の促進を図る。

ロ. 達成目標:

1) スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究

開発したMEMSアレイの仕様が、アレイの数 10×10 、駆動電圧150Vを達成し、エアーフローの制御を確認する。

2) マイクロ走査型顕微鏡の研究開発

開発した顕微鏡の仕様が、分解能 $5 \mu\text{m}$ 、寸法 $5 \times 10 \text{mm}$ (マイクロマシン部分)を達成する。

3) 超小型6軸フォースセンサの研究開発

開発したセンサの仕様が、寸法5mm角以下、軸力レンジ $0.2 \sim 1.0 \text{N}$ 、モーメントレンジ $50 \text{N} \mu\text{m} \sim 100 \text{N} \mu\text{m}$ を達成する。

2. 研究開発の実施体制

<助成事業>

「RFスイッチ製造技術の開発」、「光可動ミラー製造技術の開発」及び「超小型MEMSセンサ製造技術の開発」は、NEDO技術開発機構が、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）から、公募によって技術開発実施者を選定する。

(なお、実用化を目的とすることから、技術力を有する極力少数の企業等による役割分担の明

確な開発体制が望ましい。)

<委託事業>

「MEMSデバイスの研究開発」は研究要素が高いために委託事業とする。また、本事業は、助成事業者との技術的な連携が必要なため、当該助成事業に技術委員として最も精通・関与しており、かつ上記の研究開発に係る分野の第一人者で、上記研究開発を遂行するために基礎となる研究実績と高い技術的な知見および能力を有している3大学への特命とする。

3. 研究開発の実施期間

<助成事業>

「RFスイッチ製造技術の開発」、「光可動ミラー製造技術の開発」及び「超小型MEMSセンサ製造技術の開発」の期間は、平成15年度(2003年度)から平成17年度(2005年度)までの3年間とする。

<委託事業>

「MEMSデバイスの研究開発」の研究機関は、平成16年度(2004年度)から平成17年度(2005年度)までの2年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び産業政策的観点から見た技術開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等の観点から、外部有識者による技術開発の事後評価を平成18年度に実施する。その他、必要に応じ適宜開催することとする。

5. その他の重要事項

(1) 技術開発課題の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、技術開発体制等技術開発課題の見直しを弾力的に行う。

(2) 根拠法

<助成事業>独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構法第15条1項3号に基づき実施する。

<委託事業>独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構法第15条1項1号ハに基づき実施する。

6. 技術開発課題の改訂履歴

(1) 平成15年3月、制定。

(2) 平成17年1月、改訂

平成16・02・03 産局第11号
平成16年2月3日

新製造技術プログラム基本計画

1. 目的

IT等最新の技術を導入し、プロセス技術の革新を図ることにより、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を目指す。

2. 政策的位置付け

科学技術基本計画（2001年3月閣議決定）における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化分野である製造技術分野、分野別推進戦略（2001年9月総合科学技術会議）における重点分野である製造技術分野に位置づけられるものである。

また、産業技術戦略（2000年4月工業技術院）における革新的・基盤的技術（製造技術）の涵養、知的な基盤の整備とともに「産業発掘戦略－技術革新」（「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2002」（2002年6月閣議決定）に基づき、2002年12月取りまとめ）の情報家電・ブロードバンド・IT分野における戦略目標（国民、産業界、政府等共有の目標により、国民の存在需要を発掘）、及びナノテクノロジー・材料分野における戦略目標（10年後に、世界市場を主導できる我が国発の企業をナノテクノロジー・材料分野の‘5つの産業’で創出する。）等への対応を図るものである。

3. 目標

2007年度までに、現在の製造に要する時間やコスト等を半減することを目標に、プロセスの一層の合理化を図るとともに、新たな高付加価値産業を生み出すプロダクトイノベーションの環境を整える。

4. 研究開発内容

【プロジェクト】

I. 新製造技術の新たな領域開拓

（1） MEMSプロジェクト（フォーカス21）（運営費交付金）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、我が国に蓄積された半導体製造技術やマイクロマシン技術を活用し、情報通信、医療・バイオ、産業機械など多様な分野におけるキーデバイスとして期待が高まっているMEMSのうち、今後比較的短期に大きな市場が形成されると期待されるMEMS（RF-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、これらのMEMS製品の実用化等を通じ、多様な産業・民生分野におけるエネルギー使用の合理化を図る。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに、RF-MEMS、光MEMS、センサMEMSの各分野において特に有望と期待されるデバイスの実用化に必要な高精度の三次元MEMS製造技術を確立するとともに、これらのMEMS製品を実用化する。

③研究開発期間

2003年度～2005年度

④中間・事後評価の実施期間

事後評価を2006年度に実施。

⑤実施形態

民間企業、大学、公的機関等から最適な研究体制を構築し、実施。

(2) MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、MEMS（Micro Electro Mechanical System）技術を活用した製品のアイデアを持つ異業種・ベンチャー企業等の多様な主体が開発に取り組むための産業基盤として、技術者に蓄積された加工ノウハウや加工条件と連携する材料特性データを組み込んだMEMS設計・解析支援システムを構築する。本事業により、大企業から中小・ベンチャー企業まで、従来MEMS製品のアイデアを持ちながらMEMS加工プロセスや材料特性の知見が無いため設計・開発ができなかった多様な主体によるMEMSデバイスの開発を可能とする。

加えて、設計・試作回数の削減によりデバイス開発の省エネルギー・省資源化を実現する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに、MEMS用設計・解析支援システムを開発し、MEMS製品のアイデアは有するものの必要な設備・技術を持たない企業等に、MEMSデバイス開発を可能とする環境を整備する。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

④中間・事後評価の実施期間

事後評価を2007年度に実施。

⑤実施形態

民間企業、大学、公的機関等から最適な研究体制を構築し、実施。

(3) インクジェット法による回路基板製造プロジェクト（フォーカス21）（運営費交付金）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、金属インク、絶縁物インク等をインクジェットヘッドから基板に吐出して回路基板を製造する技術の開発を行う。メッキ、レジスト塗布、露光、現像、エッチング等の一連の工程を行う従来法（エッチング法）に比べ、本プロジェクトの回路基板製造方法は数分の1の工程で行うため、製造工程の省エネルギー化が可能

となる。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに、インクジェット法による回路基板の製造技術を確立する。

③研究開発期間

2003年度～2005年度

④中間・事後評価の実施時期

事後評価を2006年度に実施。

⑤実施形態

民間企業、大学、公的機関等から最適な研究体制を構築し、実施。

(4) クラスターイオンビームプロセス技術ノロジー（一部運営費交付金）

①概要

イオン化した原子・分子集団からなるクラスターイオンビームを活用した大電流ビーム発生・照射技術の開発及び超硬質薄膜形成等の新規材料プロセス技術の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2004年度までに、ビーム電流 1mA のクラスターイオンビーム発生装置を開発し、超硬質薄膜形成等の新規プロセス技術の実用化を図る。

③研究開発期間

2000年度～2003年度

④中間・事後評価の実施時期

ミレニアム・プロジェクトの評価・助言会議において、毎年度、評価を実施。

⑤実施形態

民間企業、大学、公的機関等から最適な研究体制を構築し、実施。

II. 生産システムの高度化・効率化

(1) デジタルマイスタープロジェクト

①概要

設計・製造現場に、「暗黙知」として存在する技能やノウハウを科学的な分析を通じて「形式知」化し、情報技術を活用してソフトウェア化、データベース化する手法等の開発を行うことにより、情報技術と製造技術が融合した、時間・コスト・品質競争力のある新たな生産システムの構築を図る。この一部については、現場技能の形式知化等を通じた加工工程の効率化・省エネルギー化により、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2003年度までに、金型設計・製造に係る熟練者の技能をCAD/CAM等の設計・製造支援アプリケーションに組み込んで活用するシステムの高性能化、及び金型加工機等の高速・高精度化のための技術とともに、複雑曲面形状等を有する超精密金型を高精度で加工・計測する技術を開発する。また、2005年度までに、金型設計・製造分野をはじめ、一般製造分野に関する技能の抽出・整理・体系化手法を確立し、当該手法を活用してデータベース等を開発するとともに、当該システムを企業で効果的に活用し、IT等を駆使した新しいものづくりの方法を提案す

る。

③研究開発期間

2001年度～2005年度

④中間・事後評価の実施時期

中間評価を2003年度（一部の事業については2004年度）に、事後評価を2006年度に実施。

⑤実施形態

民間企業、大学、公的機関等から最適な研究体制を構築し、実施。

（2）革新的鋳造シミュレーション技術開発

①概要

鋳造法における精密化、生産性向上、低コスト化、開発期間の短縮化等を実現するため、超耐熱合金精密鋳造法及び一般精密鋳造法における湯流れ及び凝固過程のシミュレーション技術、鋳造組織及び欠陥生成シミュレーション技術、並びに関連測定技術の開発を行う。この一部については、伝熱、物質移動及び結晶欠陥生成等の革新的シミュレーション技術の開発を通じた精密鋳造工程の効率化・省エネルギー化により、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2002年度までに、鋳造時の鋳型充满時間、充满直後の鋳型、溶湯温度及び引け巣発生位置・程度等を、高精度に且つ短時間で予測する技術を開発する。

③研究開発期間

1999年度～2002年度

④中間・事後評価の実施時期

事後評価を2003年度に実施。

⑤実施形態

民間企業、大学、公的機関等から最適な研究体制を構築し、実施。

III. 国際協力

IMS国際共同研究プロジェクト

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、先進国の製造業が共通して抱える環境問題や製造現場の省エネルギー推進などの課題について国際的な共同研究により効率的解決を目指すIMS（Intelligent Manufacturing System）プログラムの枠組みの中で、効率的な設計・製造工程の実現など次世代高度生産システムを目指した研究開発を行う。具体的には、省エネルギー化・省資源化を考慮した設計システムが期待される研究開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2004年度までに、多様なユーザニーズに対応できる柔軟かつ効率的な生産システムなど次世代高度生産システムに必要とされる技術基盤の確立を目指す。

③研究開発期間

1995年度～2004年度

④中間・事後評価の実施時期

中間評価を2000年度に、事後評価を2005年度に実施。

⑤実施形態

民間企業、大学、公的機関等から最適な研究体制を構築し、実施。

5. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、運営費交付金の総額を算定する際に使用するものであることから、当該部分は、国の裁量によって実施されるものではなく、中期目標、中期計画等に基づき当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

【フォーカス21の成果の実用化の推進】

フォーカス21は、研究開発成果を迅速に事業に結び付け、産業競争力強化に直結させるため、次の要件の下で実施。

- ・技術的革新性により競争力を強化できること。
- ・研究開発成果を新たな製品・サービスに結びつける目途があること。
- ・比較的短期間で新たな市場が想定され、大きな成長と経済波及効果が期待できること。
- ・産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されていること。

具体的には、成果の実用化に向け、実施者による以下のような取組を求める。

・MEMSプロジェクト

事業費の1／2負担により、今後成長が期待される情報通信分野のMEMS等の実用化に必要な高精度三次元加工技術等の開発を行う。また、本プロジェクトによって確立される高度なMEMS製造技術を活用し、多様な主体によるMEMS製品開発・生産が活性化する環境を構築する。

・インクジェット法による回路基板製造プロジェクト

事業費の1／2負担により、金属インク、絶縁物インク等をインクジェットヘッドから基板に吐出して回路基板を製造する技術を確立する。

なお、適切な時期に、実用化・市場化状況等について検証する。

6. プログラムの期間、評価等

プログラムの期間は2002年度から2007年度までとし、プログラムの中間評価を2005年度、事後評価を2008年度に行うとともに、研究開発以外のものについては2010年に検証する。

また、中間評価等を踏まえ、必要に応じ基本計画の内容の見直しを行う。

7. 研究開発成果の政策上の活用

- ・研究開発成果啓蒙普及事業公益法人等を活用した成果の積極的な啓蒙普及に取り組む。

例えば、IMSプログラムの成果については、一般を対象としたフォーラムやインターネットを通じて公開する。

- ・標準化戦略

各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。

8. 政策目標の実現に向けた環境整備

- ・MEMS製造拠点の検討

MEMS技術の多様な分野での展開を推進するため、大規模な製造設備が必要なMEMS製造拠点（ファウンダリー）の整備を検討していく。

9. 改訂履歴

- (1) 平成14年2月28日付け制定。
- (2) 平成15年3月10日付け制定。新製造技術プログラム基本計画（平成14・02・25産局第6号は、廃止。）
- (3) 平成16年2月3日付け制定。新製造技術プログラム基本計画（平成15・03・7産局第9号は、廃止。）

I. 事業の目的・政策的位置付けについて

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与する意義

グローバル化の進展やアジア諸国の製造業の台頭など、我が国製造業を取り巻く環境が厳しさを増す中で、製造業の高付加価値化による競争力の強化が急務となっている。このような観点から、情報通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野において、小型・高機能で省エネ性に優れた高付加価値部品の製造を可能とするMEMS技術に対し、我が国製造業を支える新たな基盤技術としての期待が高まっている。

経済産業省では、研究開発の成果が迅速に事業化に結びつき、産業競争力強化に直結する「経済活性化のための研究開発プロジェクト（フォーカス21）」の一つとしてMEMS分野を位置付けており、比較的短期間で新たな市場が想定され、経済波及効果が期待できる分野のMEMS製品の開発を国が支援することにより、国際競争力を強化することを目的としている。

MEMSは、自動車用加速度センサやインクジェットプリンタのヘッドなど一部の分野で既に実用化が始まっているが、2003年時点でのMEMSを活用した製品は国内で約5,000億円の市場を形成しているとも推定される。今後は、光通信や高速無線通信といった通信分野、血液検査や環境計測などの化学・バイオ分野等を中心に、2010年までに国内市場は1兆3500億円程度に成長する（基本計画策定時の予測2兆円よりその後修正された）と見込まれているが、一方で、これらの新しいMEMSは、現在実用化されているMEMSと比べて更なる高性能化や構造の複雑化等が進むと考えられている。このようなMEMSの実用化を図るために、深さ方向の高精度な加工や複雑なパッケージングなどに代表される高度なMEMS製造技術の確立が不可欠である。

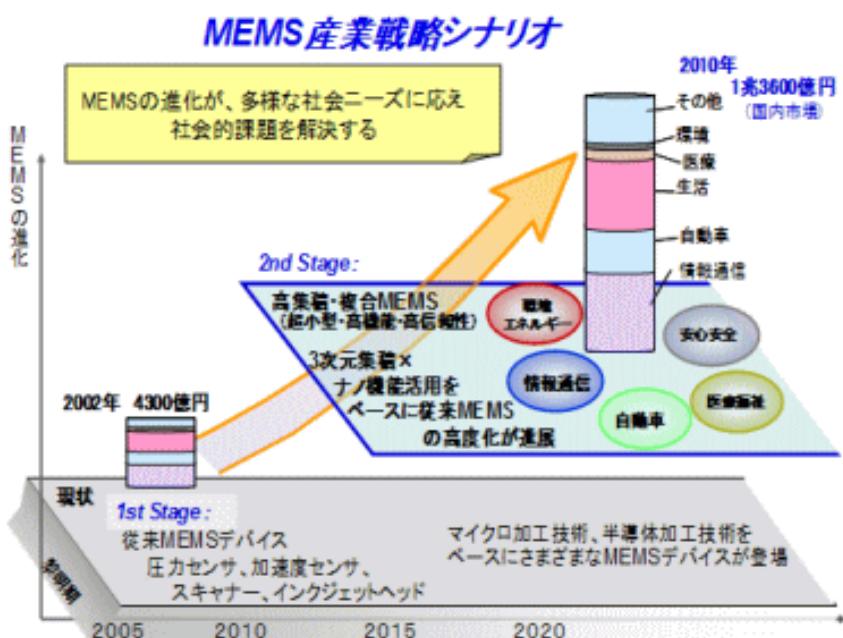


図 1.1 MEMS 進化のシナリオ

また、今後、MEMS技術をより多様な分野における製品に活用し、より大きな市場を形成していくためには、このような多様なMEMS製造技術が迅速に提供可能となる環境整備が重要と考えられる。

つまり、昨今急速に立ち上がっていく市場においては、早期に上市したメーカーがデファクトスタンダードとして市場を独占する傾向が強いため、競争力を確保するためには短期間での実用化が重要となる。また、多様なMEMS製品の開発には、ファンドリー事業の活性化にも目を向ける必要がある。大学やベンチャー企業等充分なファブを持たない開発者に広く活用してもらい、MEMS産業の裾野を拡大して、優れたアイデアを具現化させる必要がある。

しかしながら、企業単独で行う場合には以下のような困難な点がある。

- 今後成長が期待される分野におけるMEMS製造技術の開発とその実用化には、短期間に莫大な投資が必要である
- これから成長する分野における市場予測精度の不確かさ、新たな技術分野に見られる高い技術ハードル等、高いリスクが存在する
- ファンドリー事業への展開は、最終的に国内のファンドリー拠点をつくることが狙いであり、多くの研究者が利用できる公共性の高いものである

これらの観点から、産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的なコミットメントを得つつも、NEDOが関与することで実用化を促進し、国際競争力を有利なものにすべきである。

1.2 実施の効果(費用対効果)

NEDOが本プロジェクトを実施する効果として、以下の4つが挙げられる。

(1) MEMS 製造技術の国際競争力の向上

本プロジェクトにより、難易度の高い高精度三次元加工によるMEMSの実用化が進むことで、高い成長率が期待される情報通信MEMSやバイオMEMSについて我が国の競争力の強化が図られる。

(2) 我が国のMEMS市場の拡大

R F-MEMS、光MEMS、センサMEMSの各分野において高度な製造技術が確立されるとともに、具体的なMEMSが実用化されることで、我が国MEMS産業の市場拡大が見込まれる。

(3) 多様なMEMS製品の開発の加速化

また、開発したMEMS製造技術がファンドリー事業に展開されることで、MEMS産業の裾野の拡大と、国際競争力を持った多様なMEMS製品の開発の加速化が期待できる。

(4) ファンドリー事業の発展と新規参入者の拡大

国内研究機関のアイデアがファンドリー事業者を利用することにより実現されるため、MEMS技術力が向上するばかりでなく、ファンドリー事業に対する評価も高くなり、事業の展開が容易になる。

プロジェクトの総実績額は43億円であったが、各社とも本プロジェクトの成果の製品化、実用化のシナリオに沿った事業展開を着実に進めており、ハイリスクな分野での新たな市場創生・拡大を考えれば、費用に対する効果は絶大なものがあったといえる。また、各種展示会等で本プロジェクトの成果である新規プロセスを取り入れたファンドリー事業の拡充も広くPRしており、ファンドリー事業に対する引き合い件数も着実に増加している。

なお、本プロジェクトの展示・PR活動は昨年開催された「愛・地球博」会場のNEDOパビリオンでの展示も含め約39件を行い、また報道数も約51件に上るなど、広く一般国民へその成果を公開し、MEMSをより身近にすべく努めている。

2. 事業の背景・目的・位置付け

2.1 事業の背景・目的

これまで、日本におけるMEMS産業はインクジェットプリンタヘッドや自動車用加速度センサに代表されるように、マイクロマシン分野やセンサ分野で成長してきた経緯がある。同様に欧米でもボッシュやアナログデバイセズ等が自動車用やコンシューマー用に高信頼性、低コスト化の集積化センサを開発し、市場を席巻しつつある。一方で、T I (テキサス・インスツルメンツ) が光学機器向けのDMD (Digital Micromirror Device) を開発し、光MEMS市場を開拓するなど、海外メーカーの成長が著しい。しかしながら、国内のMEMS産業に目を向けると、新たな市場展開は目に見える形では起きていない。今後新しいMEMSは、現在実用化されているMEMSと比べて更なる高性能化や構造の複雑化等が進むと考えられているが、MEMS技術をより多様な分野における製品に活用し、より大きな市場を形成していくためには、新たなMEMS分野において多様なMEMS製造技術が迅速に提供可能となる環境整備が重要である。

また、多様なMEMS製品の開発には、ファンドリー事業の活性化にも目を向ける必要がある。欧米では比較的早い段階でMEMSファンドリーサービスが開始され、米国ではMUMPs、欧州ではEUROPRATICが有名である。日本においても、一部の民間企業がファンドリーサービスを行っているが、より使いやすいサービスにするためにファンドリーメニューをさらに充実させるための技術開発が重要となる。これにより、大学やベンチャー企業等充分なファブを持たない開発者に広く活用してもらうことで、MEMS産業の裾野が拡大されることになる。

以上の2つの視点から今後のMEMS分野の産業競争力強化につなげていくことが、本プロジェクトの目的である。

2.2 事業の位置付け

このような状況の中、我が国の製造技術をより高付加価値化するための施策として、経済産業省が新製造技術プログラムを制定した。本プログラムは、科学技術基本計画（2001年3月閣議決定）における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化分野である製造技術分野、分野別推進戦略（2001年9月総合科学技術会議）における重点分野である製造技術分野に位置づけられ、目標として2007年度までに、現在の製造に要する時間やコスト等を半減することを目標に、プロセスの一層の合理化を図るとともに、新たな高付加価値産業を生み出すプロダクトイノベーションの環境を整えることを掲げている。

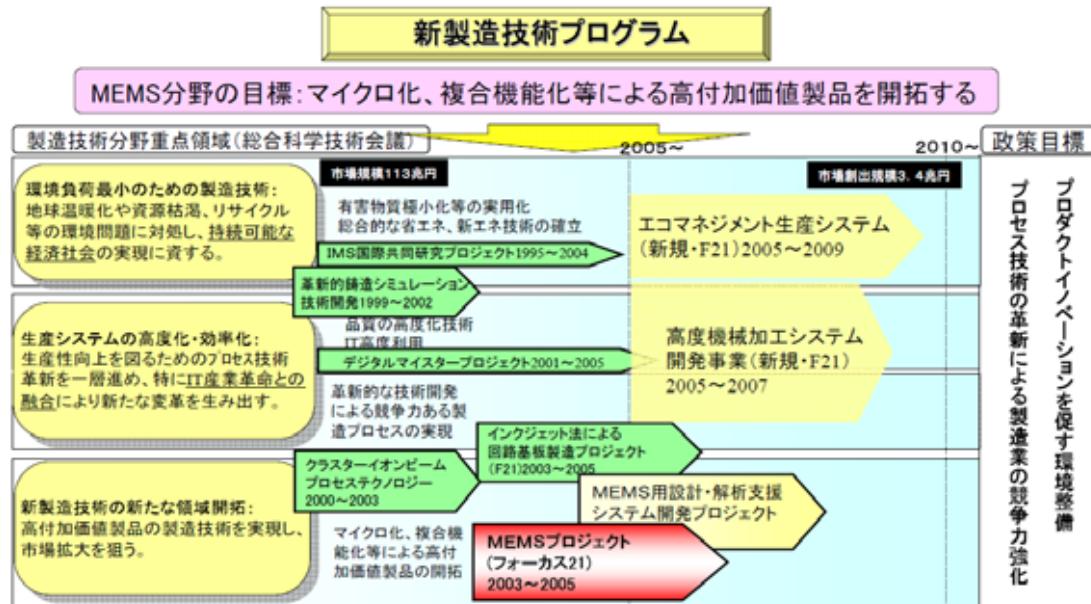


図1.2 新製造技術プログラム

この新製造技術プログラムの中で、MEMSプロジェクトは、マイクロ化・複合機能化等による高付加価値製品の開拓により市場拡大に貢献することで目標に合致している。

なお、本プロジェクトは、経済産業省において研究開発の成果が迅速に事業化に結びつき、産業競争力強化に直結する「経済活性化のための研究開発プロジェクト（フォーカス21）」に位置付けられており、次の条件のもとで実施した。

- ・技術的革新性により競争力を強化できること。
 - ・研究開発成果を新たな製品・サービスに結びつける目途があること。
 - ・比較的短期間で新たな市場が想定され、大きな成長と経済波及効果が期待できること。
 - ・産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取組みが示されていること。

フォーカス21は、比較的短期間に実用化が見込まれる重点4分野（ライフサイエンス、環境、情報通信、ナノテクノロジー・材料）において、経済活性化を促進するプロジェクトであり、M
EMSプロジェクトは情報通信分野における重要プロジェクトのひとつと認識されている。

実用化に直結した経済活性化プロジェクトの創設 (フォーカス21)

ライフサイエンス、情報通信など重点4分野において、比較的短期間に実用化が見込まれ、その結果として民間企業のコミットメントが得られた経済活性化プロジェクトを「フォーカス21」として厳選し、予算の集中投入(367億円)を行う。

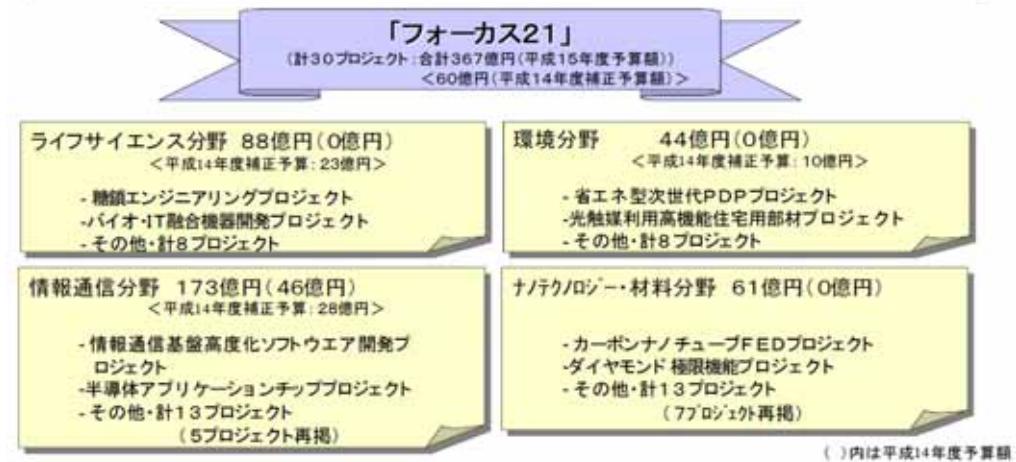


図 1.3 フォーカス21の創設

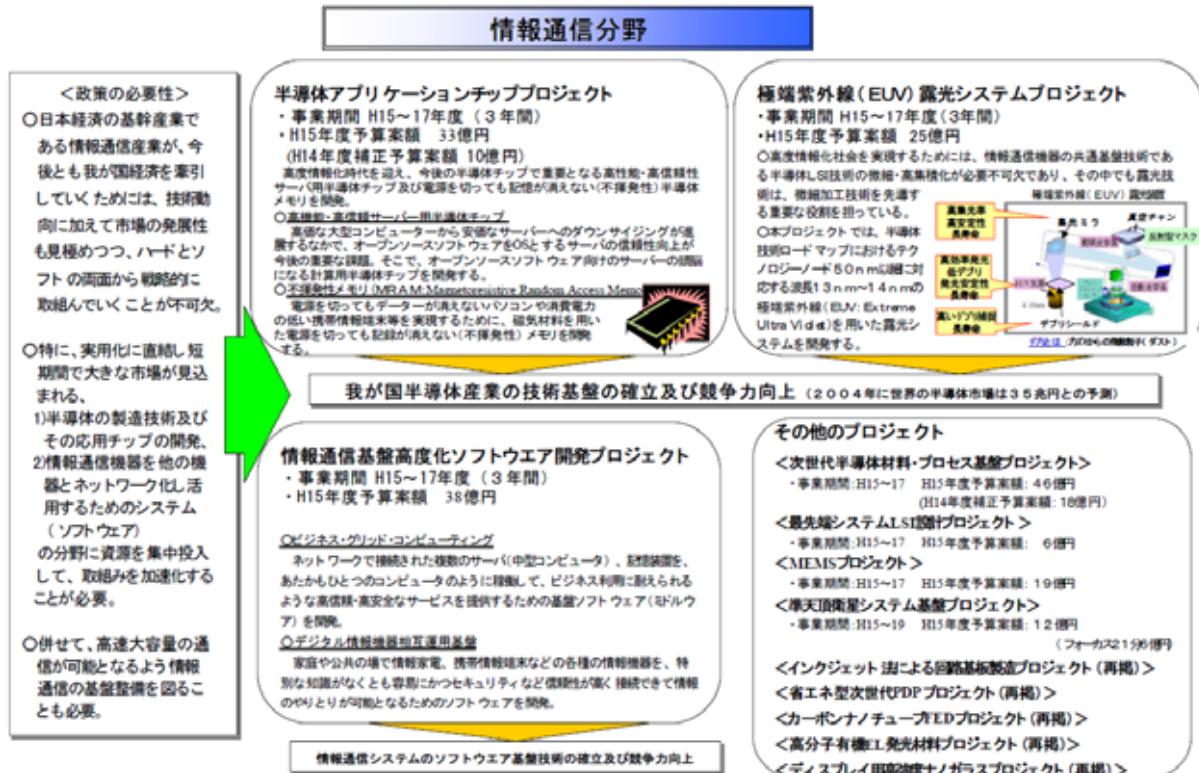


図 1.4 フォーカス21における MEMS プロジェクトの位置づけ

今後、国内の MEMS 市場では、光通信や高速無線通信といった通信分野、血液検査や環境計測などの化学・バイオ分野を中心に MEMS が普及していくと予想され、2010 年には 1 兆 3500 億円の市場規模に拡大していくと考えられる。

こうした状況の中、MEMS 産業の国際競争力を確保するためには、新たな市場での早い段階での市場投入が重要である。今後早い時期に、新たに創出される分野を調査し、

- ①RF-MEMS
 - ②光 MEMS
 - ③センサ MEMS
- と予測した。

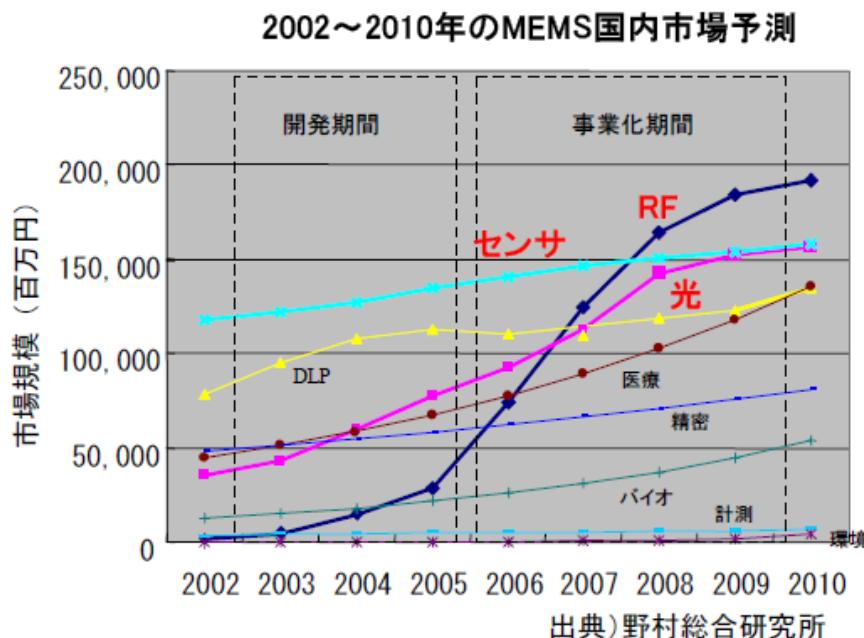


図 1.5 2002～2010 年の MEMS 市場

RFMEMS では主に RF スイッチ、アンテナなどの市場が今後急速に立ち上ると考えられる。これは、高周波帯域における MEMS スイッチの高特性により、次世代携帯電話を中心とした高周波を用いるアプリケーションにて、従来ディスクリートにて行われてきたスイッチ回路が RFMEMS に置換わることを想定している。

3GHz 以上の周波数帯では、既存のディスクリート (GaAs FET、PIN ダイオード) のスイッチ回路では挿入損失が大きくなり、良いスイッチ特性が出ない。一方、RFMEMS では、周波数が変化しても挿入損失がほとんど変化しない特性をもつことから、スイッチングデバイスとして非常に有望なものとして期待されている。

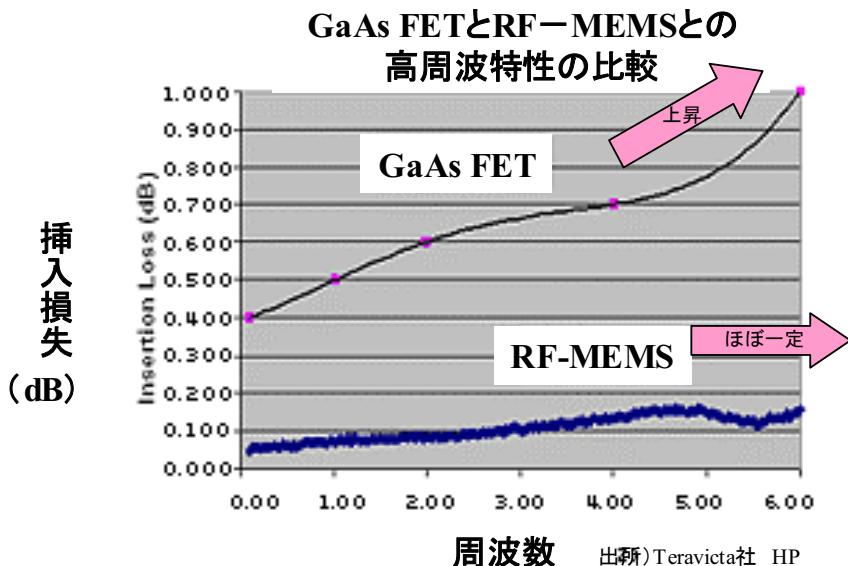


図 1.6 GaAsFET と RE-MEMS との高周波特性の比較

また、RFMEMS が搭載されるアプリケーションの市場を見ると、RFMEMS がその優位性を発揮できる 2GHz 以上の高周波携帯電話の市場は 2005 年の 6,800 万台から 2010 年の 2.5 億台に欠けて急速に拡大していくと考えられる。こうした市場にて、ディスクリート回路から RFMEMS に置き換えが進行すると、RFMEMS の市場は 2006 年をめどに急速に立ち上がる事が期待される。

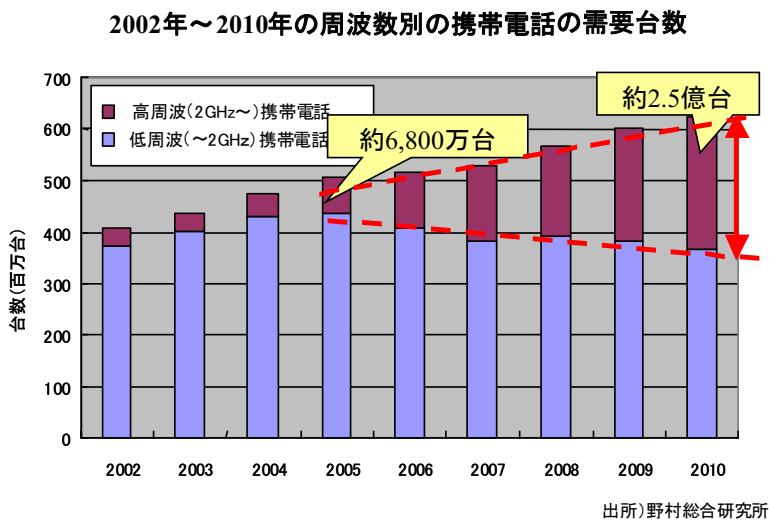


図 1.7 2002～2010 年にかけての携帯電話国内市場予測

光 MEMS の分野では、アプリケーションの多くに光可動ミラー素子が用いられる共通の素子である。光可動ミラー素子とは、单一もしくは複数の微小ミラーを用いて光制御を行うデバイスであり、光スイッチ、マイクロ光スキャナ、偏向ミラー、DLP などに用いられている。また、光通信機器、光計測機器、表示装置など今後の成長潜在力の高いアプリケーションにも用いられている。2006 年までの素子別の市場規模を見ると、光スイッチを中心に市場が拡大していくものと考えられる。

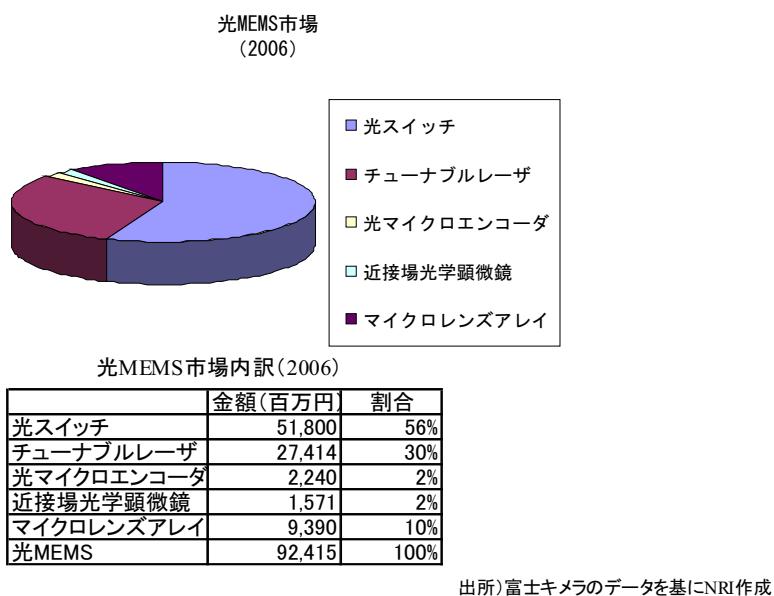


図 1.8 光 MEMS のデバイス別国内市場

センサ MEMS の中でも特に自動車用センサは市場規模としては非常に大きく、他の MEMS に比べても成熟している領域であるが、今後この自動車向けを中心とするセンサ MEMS に大きな変化が生じると考えられる。1 つのトレンドとして、車両制御の統合化に伴い、MEMS センサの複合化がニーズとして新たに求められると考えられる。

もう 1 つのトレンドとしては、ユビキタスネットワーク社会などの次世代の生活シーンとして、コンシューマー向けのセンサ MEMS が増加していく。ユビキタスネットワーク社会を中心とする次世代生活シーンでは、多くのセンシング技術が必要になると考えられている。自動車用センサとして用いられている加速度センサ、圧力センサなどは人の動きやバイタルサインなどを計測する際に非常に有望であると考えられている。これらの事例に共通して言えることとして、次世代生活シーンでは、センシング技術が必要となり、かつそのデバイスは非常に小さいものが要求されていることがある。

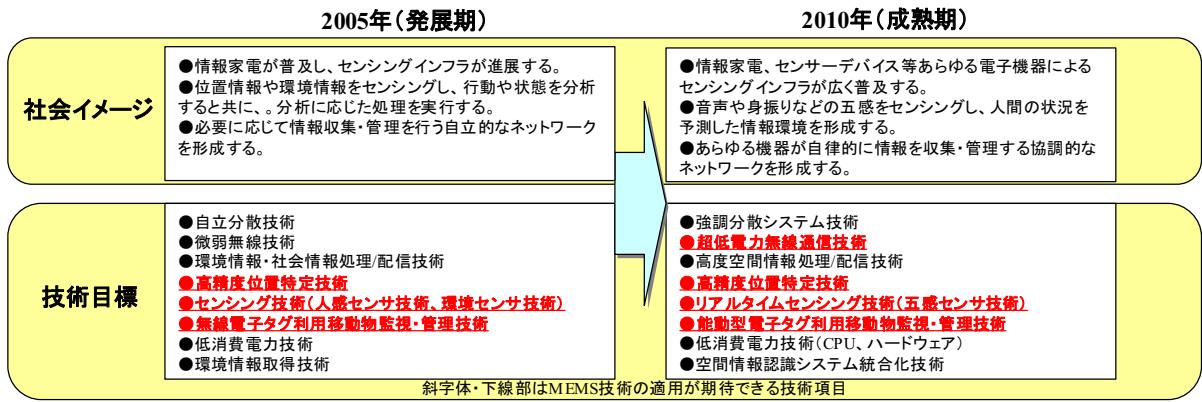


図 1.9 ユビキタス社会の社会イメージとそこで用いられる技術

II. 研究開発マネージメントについて

1. 事業の目標

フォーカス21の要件に照らし、今後比較的短期に大きな市場が形成されると期待されるMEMS（RF（Radio Frequency、高周波）-MEMS、光MEMS、センサMEMS）の実用化に必要な製造技術を開発する。また、本プロジェクトで開発した要素技術の成果を、目標とする製品のみならず、より多様な分野における製品に活用し、さらにはMEMS製造設備を十分有しない大学や新規事業者等の参入障壁を下げるファンドリー事業へ展開する。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の項目について技術開発を行う。

また、各々の達成目標は、市場の要求スペックおよびコストがその設定根拠となる。

①RFスイッチ製造技術の開発

RFスイッチは、RF-MEMSの中で現在最も期待される需要が大きく、かつRF-MEMSに共通の課題を多く含んでいることから、その実用化技術開発はRF-MEMS全般の実用化に波及効果が大きい。従って、本技術開発においては、RFスイッチの製造技術の開発を行うこととする。

イ. 技術開発の具体的な内容

- 1) RFスイッチの高周波信号線路、接点に用いられる金属薄膜、及びアクチュエータの形状を精密に制御して、高周波の反射・損失を最小限に抑える高精度材料加工技術を開発する。
- 2) 金属接点に発生する固着を、接触部分の材料の選定や接触部分を保護するパッケージ技術により低減させ、デバイスの寿命を延伸させる技術を開発する。
- 3) 高周波に対応したパッケージ方法を開発し、封止パッケージによるインサーションロスの増加を最小限に押さえる技術を確立する。

ロ. 達成目標

- 1) 厚さ $2\mu m$ 程度の金属薄膜等を用いた高周波信号線路、接点及びシリコン等のアクチュエータ構造においてアクチュエータ以下の高精度材料加工技術を構築する。
- 2) 動作回数 10^9 回以上の確保が可能な接点固着防止技術を構築する。
- 3) DC～10GHzの信号伝送で、パッケージングによるインサーションロス増加を0.1dB以下に抑えるパッケージ技術を構築する。

②光可動ミラー製造技術の開発

単一または複数の微小ミラーを用いて光制御を行う光可動ミラーアレイは、光スイッチ、マイクロ光スキャナ等、多くの光MEMSに共通の機能素子であり、その実用化技術開発は光MEMS全般の実用化に波及効果が大きい。従って、本技術開発においては、光可動ミラーの製造技術の開発を

行うこととする。

イ. 技術開発の具体的内容

- 1) 微小可動ミラーの表面粗さをナノレベルにすることで、インサーションロスを抑えることが可能な高精度加工プロセス技術を開発する。
- 2) 微小可動ミラーを駆動するアクチュエータ素子と、位置検出を行う集積化されたセンサ素子を組み込んでアクチュエータ精度かつ自由に角度制御することを可能とする集積化光制御素子を開発する。
- 3) 実用上十分な駆動信頼性を確保するため、信頼性を含む計測・評価技術を開発する。

ロ. 達成目標:

- 1) 微小可動ミラーの表面粗さの絶対値が、 $100 \mu m$ 角平方の面積に渡って $50mm$ 以下の平坦度を達成する高精度加工技術を開発し、光学モジュールと一体化した後のインサーションロスとして $3dB$ 以下を実現する。
- 2) 微小可動ミラーを $2/1000$ 度以下の精度で自由に角度制御することを可能とするセンサ・回路集積化加工技術、及び高精度制御技術を構築する。
- 3) 信頼性を含む高精度計測・評価技術を開発し、常温にて 10^{10} 回以上の駆動信頼性を有する高精度微小可動ミラーを実現する。

③超小型MEMSセンサ製造技術の開発

MEMSセンサは、自動車分野などに幅広く普及しているが、今後、更なる小型化と機能集積を実現する「超小型センサ」の実用化が期待されている。このためにはウェハレベルパッケージ技術の開発が重要であること、及び、同技術はMEMS全般の実用化共通課題でもあり波及効果も大きいことから、本技術開発においては、ウェハレベルパッケージの実用化技術開発を通じた超小型MEMSセンサの製造技術の開発を行う。

イ. 技術開発の具体的内容

- 1) Siセンサウェハに接合されたパッケージ基板(ガラス、Si等)を通じてSiセンサ信号を外部に取り出すための量産に適合した配線・電極形成技術を開発する。
- 2) 封止工程によるSiセンサ部への内部熱応力を抑制するため、Siセンサウェハに接合するパッケージ基板とセンシング部本体ウェハの量産に適合した低温接合技術を開発する。
- 3) パッケージ化したセンサとその信号処理を行う回路部品(ICや電子部品)を一体化する工程を開発する。
- 4) 上記1)～3)の技術開発を行うことにより、MEMSのウェハレベルパッケージ一貫工程を構築し、センサチップ体積に対するパッケージ体積の抜本的小型化と低コスト化を可能とする実装技術を開発する。

ロ. 達成目標:

- 1) 厚み数百 μm 程度の基板(ガラス、Si等)に、 $10 \mu m$ 以下の口径の貫通孔を形成する量産に適合した工程とこれに電気配線材料を埋め込む量産に適合した工程を開発する。
- 2) Siセンサウェハに接合するパッケージ基板とセンシング部本体を土数 μm 以内の高精度に位

置合わせして常温で接合する量産に適合した工程を構築する。

3)パッケージ化したセンサとその信号処理を行う回路部品(ICや電子部品)を一体に実装し、モジュールに仕上げる量産に適合した工程を構築する。

4)上記1)～3)の技術開発を行うことにより、MEMSのウエハレベルパッケージ一貫工程を構築し、現状の樹脂パッケージやセラミックパッケージに対して、センサチップ体積に対するパッケージ体積比率を1/10以下に、コストを1/2以下に低減可能な実装技術を構築する。

また、本プロジェクトで開発した要素技術の成果を、目標とする製品のみならず、より多様な分野における製品に活用し、さらにはMEMS製造設備を十分有しない大学や新規事業者等の参入障壁を下げるファンドリー事業を整備する。

平成17年1月より、プロジェクト期間中にファンドリーの有効性検証を行うための委託事業を追加した。この委託事業では、高度な製造プロセスを必要とする先進的なデバイス開発を、全工程ファンドリーを活用して試作することにより、本プロジェクトで整備したファンドリーの有効性検証を行う。

④MEMSデバイスの研究開発

超小型6軸フォースセンサの研究開発、マイクロ走査型顕微鏡の研究開発、スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究については、それぞれ目標とするデバイスの開発試作を完了する。

これらの研究開発スケジュールと開発予算の推移を下表に示す。

光可動ミラー製造技術の開発に関しては、プロジェクト中に達成目標2)の角度制御をクリアするための新たな課題が見つかり、その対策に予想以上の時間を要することになった。しかしながら、原因是明らかであり、開発期間を延長することで目標を満足する目処が立っていたことから、半年間期間を延長して実施した。本プロジェクト3年間の総予算額は約43億円である。

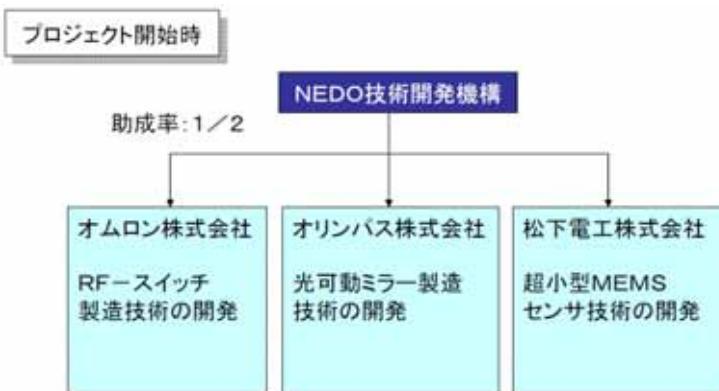
表2.1 研究開発スケジュールと開発予算

		平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	
(1)RFスイッチ製造技術の開発		—	—	→		
(2)光可動ミラー製造技術の開発		—	—	→		※半年間延長
(3)超小型MEMSセンサ製造技術の開発		—	—	→		
(4)MEMSデバイスの研究開発			—	→		
年度別予算(百万円)						総額(3年間)
一般会計						
特別会計 (高度化)	助成	591 (上期) 560 (下期)	1,765	1,306	26 ※前期からの 繰越し分	4,248
	委託			86		86
総予算額(計)		1151	1,765	1,392	26	4,334

2.2研究開発の実施体制

経済産業省の政策原課及び予算原課は、それぞれ製造産業局産業機械課及び産業技術環境局研究開発課であり、NEDOから各実施者に助成率1/2で助成を行う体制とした。公募により6件の応募があり、プロジェクトの目的および審査基準に合致した3件を採択した。プロジェクト開始時の実施体制を以下に示す。RFースイッチ製造技術の開発はオムロン株式会社、光可動ミラー製造技術の開発はオリバス株式会社、超小型MEMSセンサ技術の開発は松下電工株式会社がそれぞれ開発を実施した。

また各実施者の行う研究テーマ間に密接な関連はなく、プロジェクト遂行に当たって個別の運用・管理が可能であることから、プロジェクトリーダは置かずNEDOが直接マネジメントを行う体制とした。



2.3 研究開発の運営管理

運営管理方法は、立命館大学 杉山教授を委員長とした技術委員会を設置した。この委員会は各テーマの専門家および有識者で構成され、研究開発の進捗状況、競合技術とのベンチマーク、事業化計画に関する議論を2回／年の頻度で実施した。その中でNEDOは、運営管理体制の見直し、プロジェクト途中での事業追加、開発期間の延長等の企画立案、調整を行った。また、技術委員とともに実施者を個別訪問して、試作サンプルを確認しながら進捗確認・技術相談を行うなど、研究開発を機動的に管理し課題の吸い上げと迅速な対応を心がけた。

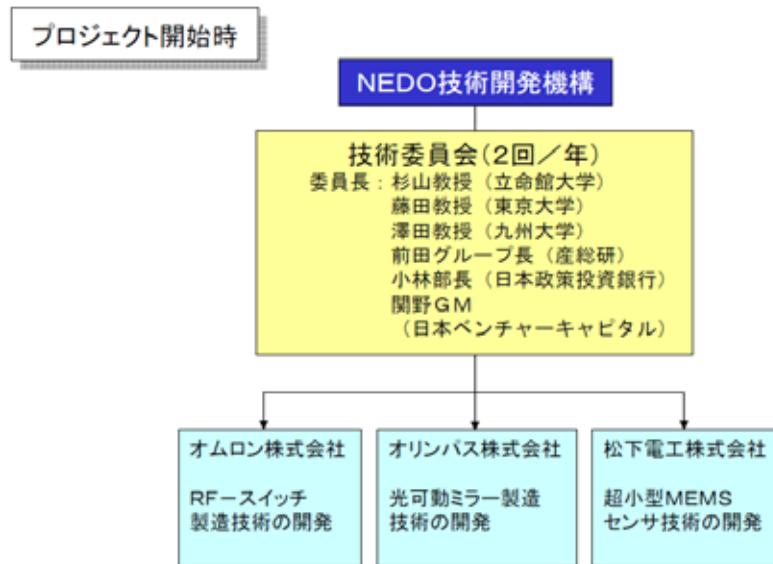


図2.2 プロジェクト運営管理（プロジェクト開始時）

3. 情勢変化への対応

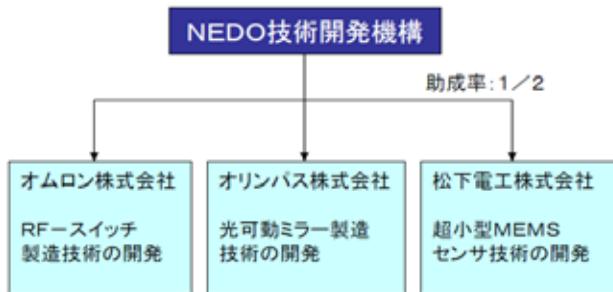
平成16年度技術委員会（平成16年6月23日開催）にて、ファンドリー整備状況について、ファンドリーがどこまで対応できるかの有効性については未知数。プロジェクト期間中に、ファンドリーの有効性検証を行うべき。との委員の指摘を受け、プロジェクト期間中にファンドリーの有効性検証を行うための委託事業④MEMSデバイスの研究開発を、平成17年1月より追加した。委託先の選定においては、助成事業者との技術的な連携および技術的に最も精通・関与しており、上記研究開発を遂行するために基礎となる研究実績と高い技術的な知見および能力を有している3大学への委託事業とした。

この委託事業は、高度な製造プロセスを必要とする先進的なデバイス開発を、ファンドリーを活用して試作することにより、本プロジェクトで整備したファンドリーの有効性検証を行うことを目的としたものである。また同時に助成事業者との連携により、技術レベルの高度化を狙った。

これにより、実施体制を以下のように変更した。

平成17年1月～

【助成事業】



【委託事業】

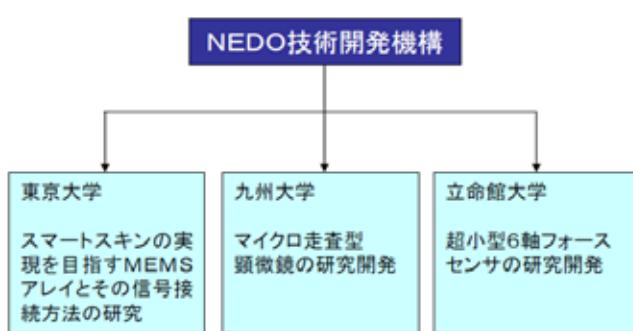


図2.3 実施体制（平成17年1月～）

また同時に運営管理方法も見直し、委託事業であるファンドリーの有効性を検討する技術検討会を新たに設置した。この技術検討会では、委託事業者が助成事業者に対してファンドリーによる試作進捗を報告し、課題についての議論とそこで明らかになった成果やノウハウを助成事業へ展開し、技術レベルの高度化を図ることを目的とした。

このように、これまでの技術委員会では助成事業の進捗管理、技術検討会では委託事業の進捗報告および情報共有と役割を分けることで効率的なマネジメントを実施した。

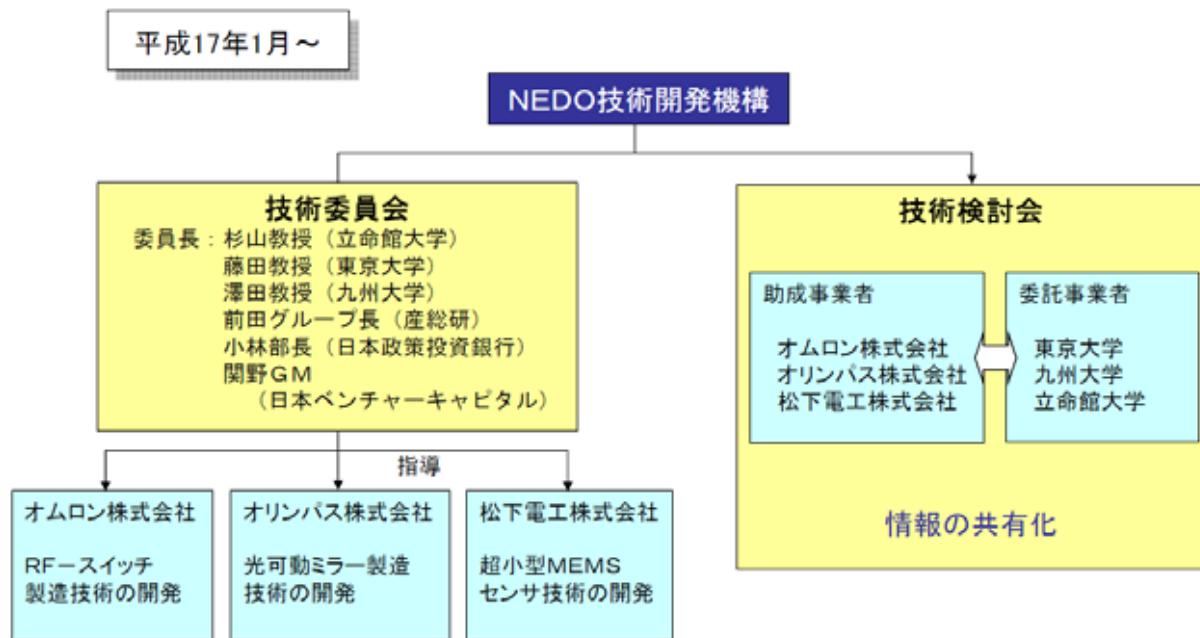


図2.4 プロジェクト運営管理（平成17年1月～）

4. 中間評価結果への対応

本事業は、開発期間が3年間のため中間評価は実施していない。

5. 評価に関する事項

N E D Oは技術的及び政策的観点から見た技術開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等の観点から、外部有識者による技術開発の事後評価を平成18年度に実施する。

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

(1) 目標の達成度

助成事業では一部開発期間を延長したものの、RF-MEMS、光MEMS、センサMEMSの各分野において設定したRFスイッチ、光可動ミラー、超小型MEMSセンサの実用化に必要な製造技術を確立し、当初の目標を達成できた。また委託事業では、マイクロ走査型顕微鏡の研究開発において一部目標性能を満足できなかったものの、ファンドリーを利用した先進的なデバイス開発試作は概ね目標を満足することが出来た。

目標性能を満足できなかった原因は、一部のファンドリー試作でのアセンブリの精度不足によることが判明した。これについては現時点で高精度アセンブリの技術力が不足していること、また必要に応じプロセスを補完できるファンドリー企業間のネットワークが必要である点を浮き彫りにした。これらは財団法人マイクロマシンセンターに設置されたMEMS協議会等にも働きかけ、MEMS ファンドリーサービスの更なる充実を目指していきたいと考える。

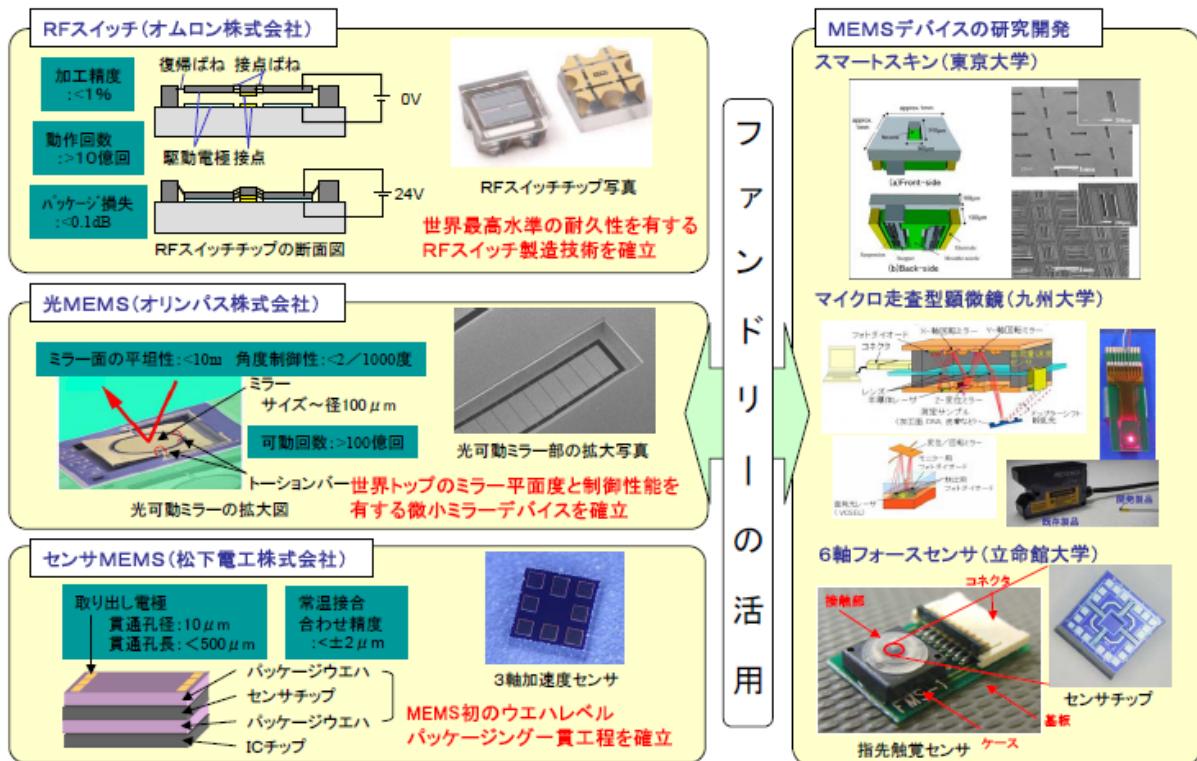


図 3.1 事業全体成果

表 3.1 事業全体の達成度

テーマ	目標	成果	達成度
(1)RFスイッチ製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・量産レベルで加工精度1%を実現する ・開閉回数10億回を達成する ・量産レベルでパッケージ損失0.1dB(@10GHz)を達成する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ばらつきも含めて加工精度1%を達成するとともに、ファンドリーヘの技術移転を行った ・接点固定防止技術固着の起きにくい金属材料とその製作プロセスを確立し、開閉回数10億回を達成した ・パッケージ損失0.09dB(@10GHz)実用性を確認した 	○
(2)光可動ミラー製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> i)表面粗さ100 μm角平方の面積に渡ってPV値で50nm以下 ii)ターゲットAデバイスマラーソリューション100 μm角平方の面積に渡ってPV値で1.5nm以下 ターゲットBデバイスマラーソリューションがPV値で6nm以下 ・微小可動ミラーを2/1000度以下の精度で自由に角度制御する ・常温にて10¹⁰回以上の駆動信頼性を実現する ・MEMSミラー及び空間光学系からなるモジュールを製作し、波長選択スイッチ(WSS)機能を実現する 	<ul style="list-style-type: none"> i) PV値で20nm以下のエッティングが可能となった ii) ターゲットA: そりが曲率で1m以上(ソリ量で1.5nm以下)、ターゲットBのミラーデバイスのそりが曲率20cm以上(ソリ量で1.5nm以下)となり目標を達成した ・ターゲットBミラーデバイスの試作評価を行い制御角度、ほぼ2/1000度の制御分解能を確認した ・ミラーデバイスのビンディング材料、3種類のミラーの駆動信頼性評価を実施し、ほぼ10¹⁰回以上の駆動信頼性があることを確認 ・MEMSミラー及び空間光学系からなるモジュールを製作し、波長選択スイッチ(WSS)機能を実証した 	○
(3)超小型MEMSセンサ製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・貫通孔配線・電極 径10 μm、深さ500 μm ・低温接合: 常温 ・アライメント精度±2 μm ・低温実装: 常温 ・小型パンプ: 径30 μm ・一貫工程構築し、超小型センサで検証 コスト1/2 ・パッケージ/チップ体積従来比1/10以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・径10 μm、深さ500 μmの貫通孔配線電極を実現 ・表面活性化により、Siウエハ常温接合を実現 アライメント精度<±2 μm ・活性化フリップチップ工法により常温接合を実現 パンプ径30 μm ・ウエハレベルパッケージングの一貫工程を構築し、コスト1/2を実現 ・加速度センサにおいて、パッケージ/チップ体積従来比<1/10 	○
(4)MEMSデバイスの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究、マイクロ走査型顕微鏡の研究開発、超小型6輪フォースセンサの研究開発のデバイスの開発試作を完了する 	<ul style="list-style-type: none"> スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究、マイクロ走査型顕微鏡の研究開発、超小型6輪フォースセンサの研究開発のデバイスの開発試作を完了した。 	概ね○ (一部において目標未達)

※達成度は、目標を達成したものを○とした

(2) 成果の意義

今後比較的短期に大きな市場が形成されると期待されるMEMS（RF-MEMS、光MEMS、センサMEMS）の実用化に必要な製造技術として、

- ・世界最高水準の耐久性を有するRFスイッチ製造技術（オムロン株式会社）
- ・世界トップのミラー平面度と制御性能を有する微小ミラーデバイス（オリエンパス株式会社）
- ・MEMS初のウエハレベルパッケージング一貫工程（松下電工株式会社）

に示される製造技術を開発できたことは、国際競争力の大きなアドバンテージになったといえる。

また、本プロジェクトで開発した要素技術の成果をファンドリー事業に展開したことで、ファンドリー事業に対する引き合い件数も着実に増加している。この結果は、ユーザーのニーズに合致するプロセスが提供できることを意味しており、MEMS産業の裾野が拡大されつつある。

以上のことから、本プロジェクトは当初の目的を果たしたといえる。

(3) 特許の取得状況

本プロジェクト全体の特許の出願状況は、国内出願95件、外国出願9件、計104件であり、戦略的に出願している。

(4) 論文発表・成果の普及

論文発表は、国内 51 件、海外 26 件の計 77 件、新聞雑誌等による報道は 51 件を数えた。

また、展示会等での P R 活動はのべ 39 件に上る。昨年開催された「愛・地球博」会場の NEDO パビリオンでも本プロジェクトの成果を紹介するなど、広く一般国民へその成果を公開し、より MEMS を身近なものにするよう努めた。

表 3.2 論文、特許出願、報道数一覧

	論文等誌上発表 (論文誌、学会誌、国際会議)		特許		報道 (新聞、雑誌等)
	国内	海外	国内	海外	
(1)RFスイッチ製造技術の開発	15	4	7	3	20
(2)光可動ミラー製造技術の開発	24	0	4	0	19
(3)超小型MEMSセンサ 製造技術の開発	5	4	82	6	9
(4)MEMSデバイスの研究開発	7	18	2	0	3
計	51	26	95	9	51
合計	77		104		51

2. 各テーマ成果まとめ

(1) 目標の達成度

1-1 RFスイッチ製造技術の開発

超小型、高信頼性で封止パッケージ化した高周波RFスイッチの製造技術の開発

研究項目	目的	目標	成果	達成度
高精度3次元加工技術開発	絶縁膜、シリコン加工形状、電極金属成膜のそれぞれの高精度加工を実現する。	加工精度±1%以下を実現する。	<ul style="list-style-type: none"> ・絶縁膜の高精度成膜技術を取得 ・シリコン加工の高精度加工技術を取得 ・電極金属の高精度成膜技術を取得 ・高速・高精度計測評価技術を取得 	絶縁膜成膜精度≤0.93%，シリコン加工形状≤1%電極金属膜≤0.92%となり、目標を達成した。
接点固定防止技術開発	超長期開閉寿命を実現する。	・10億回以上の接点開閉を実現する。	<ul style="list-style-type: none"> ・高耐久材料データベースを構築。最適材料、成膜構成の抽出を実現。 ・高耐久材料の表面処理、加工技術を取得。 ・超長期接点寿命評価技術の取得。 	・接点開閉回数において、目標10億回<20億回となり、目標を達成。
低損失パッケージ技術開発	低損失パッケージを実現する。	・10GHzでの伝送損失が0.1dB以下となるパッケージを実現する。	<ul style="list-style-type: none"> ・低損失パッケージ材データベースを構築。 ・低損失パッケージ技術を取得。 	・10GHzでの伝送損失が0.1dB>0.09dBとなるパッケージを実現。

1-2 光可動ミラー製造技術の開発

光スイッチの高精度加工技術の開発

(1) 目標の達成度

研究項目	目的	目標	成果	達成度
高精度3D 加工技術開発	ミラーの光学特性を向上するために、ミラー表面をナノ精度の粗さ、ソリに仕上げる高精度加工技術を開発する。	i)表面粗さの絶対値が、 $100 \mu m$ 角平方の面積に渡って PV 値で $50nm$ 以下 ii)ターゲットAデバイスマミラーソリ量が $100 \mu m$ 角平方の面積に渡って PV 値で $1.5nm$ 以下* ターゲットBデバイスマミラーソリ量が PV 値で $6nm$ 以下*	i)DeepRIE エッチング装置を高精度エッチング技術を獲得とともに、デバイス構造に適した後加工技術を開発した。 ii)ミラー薄膜成膜の内部応力を制御する技術を獲得し、ミラーデバイス構造、加工工程を改善することに成功した。	i)表面から垂直平面の凹凸が PV 値で $20nm$ 以下のエッチングが可能となり目標を達成した。 ii)ターゲットAのミラーデバイスのソリが曲率で $1m$ 以上(ソリ量で $1.25nm$ 以下)、ターゲットAのミラーデバイスのソリが曲率 $20cm$ 以上(ソリ量で $6.0nm$ 以下)となり目標を達成した。
高精度制御技術開発	微小ミラーを高精度かつ自由に角度制御する技術を開発する	微小可動ミラーを $2 / 1000$ 度以下の精度で自由に角度制御することを可能とするセンサ・回路集積化加工技術、及び高精度制御技術を構築する。	容量センシング方式を選択して、ミラーデバイス専用のアンプ IC の設計を行うとともに、ミラーデバイスに IC を実装一体化する技術開発を行った。	ターゲットBミラーデバイスの試作評価を行い制御角度、 $2mm$ 度の制御分解能を確認した。目標を達成した。

信頼性・計測・評価技術開発	実用上十分な駆動信頼性を確保するため、信頼性を含む計測・評価技術を開発する。	常温にて10 ¹⁰ 回以上の駆動信頼性を有する高精度微小可動ミラーを実現する。	ミラー反射面の光学特性の高温高湿耐性、ミラー配線の信頼性、電極基板の絶縁耐性、ミラード駆動信頼性夫々の信頼性評価を行い、ミラーデバイスの信頼性評価技術を開発した。	ミラーデバイスのヒンジ材料、3種類(ポリイミド、SiN、シリコン)のミラード駆動信頼性評価を実施して、ほぼ10 ¹⁰ 回以上の駆動信頼性があることを確認。目標を達成した。
光ミラーアレイモジュール製作	光学的な位置合わせ精度を確保した光SW専用のインターフェイスとモジュール全体の信頼性を確保するためのケーシング技術を開発する。	MEMSミラー及び空間光学系からなるモジュールを作成し、波長選択スイッチ(WSS)機能を実現する。	ミラーアレイデバイスを試作し、光学部品と高精度に実装する技術を開発した。	MEMSミラー及び空間光学系からなるモジュールを作成し、波長選択スイッチ(WSS)機能を実証し、目標を達成した。

* ミラーのソリ量は、光SWモジュール開発の過程で、当初の目標値の50nmでは、特性として不十分なことが判ったので、変更した。2つの数値目標があるのは、2つの仕様の光 SW デバイスを開発目標としたため。

1-3 超小型MEMSセンサ製造技術開発

MEMSセンサの小型化、低成本化とファンドリーサービス展開の為の製造技術の開発

研究項目	目的	目標	成果	達成度
①貫通配線・電極形成技術の開発	センサウェハの電気信号を外部に取り出す為のウエハ貫通配線・電極を形成する。	・孔径 $\phi 10 \mu m$ 、深さ $500 \mu m$ ・量産に適した工程の構築	・シリコンウェハを孔径 $\phi 10 \mu m$ で貫通するエッチング技術と、上記の貫通孔へCuを埋め込むめつき技術による貫通配線・電極形成技術を得。 ・貫通配線を直列に接続した貫通配線・電極評価デバイスの試作評価により、歩留り、及び各種信頼性試験により特性変動なきことを確認し、量産に適した工程を構築。	・孔径 $\phi 10 \mu m$ 、深さ $500 \mu m$ 以下の貫通孔配線を形成。抵抗は、ほぼ理論値に合致しており、目標を達成。 ・貫通配線の電気的特性、歩留まり、および信頼性の評価により、量産に適した工程を構築し、目標を達成。
②シリコンウェハ低温接合技術開発	シリコンウェハを、低温度、高精度で接合するウエハ接合技術を開発する。	・接合温度 $25^{\circ}C$ ・アライメント精度 $\pm 2 \mu m$ ・量産に適した工程の構築	・シリコンウェハを常温、高精度で接合する表面活性化ウエハ常温接合技術を取得。 ・ウエハ接合特性評価デバイスの試作評価により、歩留り、及びボイド、シェア強度特性の各種信頼性試験による特性変動なきことも確認し、量産に適した工程を構築。	・シリコンウェハ低温接合において、接合温度：常温 ($25^{\circ}C$)、アライメント精度 $2 \mu m$ 以下を実現し、目標を達成。 ・ボイド、シェア強度特性、歩留まり、および信頼性の評価により、量産に適した工程を構築し、目標を達成。

③センサ・回路一体化 実装技術の開発	MEMS技術 によって作ら れたセンサと 信号処理ICチ ップを、低スト レスで一体化 する	<ul style="list-style-type: none"> ・バンプ接合温度 25°C ・バンプ径 30 μm ・量産に適した工程の構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・Au バンプを用い た表面活性化フリ ップチップ工法によ りセンサ・回路一 体化常温接合技術、 及び金スタッドバン プによる小径バン プ形成技術を取 得。 ・バンプ接続抵抗 評価素子を試作 し、各種信頼性試 験後に、接続抵抗 変動なきことを確 認し、量産に適した 工程を構築。 	<ul style="list-style-type: none"> ・低温バンプ実装に おいて、 接合温度 25°C、バ ンプ径 30 μm 以下 を実現し、目標を達 成。 ・電気的特性、歩留 まり、および信頼性 の評価により、量産 に適した工程を構 築し、目標を達成。
④MEMSウェハレベルパッケージング一貫 工程開発 (a)3軸加速度センサ	ウェハレベル パッケージング 技術による MEMSセンサ の小型化検証	パッケージ/チップ 体積従来比 1/10 以 下、感度 : 0.5 ± 0.05V/G、オフセット電 圧 : 1.5 ± 0.06V、他 軸感度: ± 2%	ウェハレベルパッ ケージングプロセス のデバイス応用技 術を取得	パッケージ/チップ 体積従来比 1/10 以 下、感度 : 0.5V/G、オフセット電 圧 : 1.5V、他軸感 度: ± 2%以下となり、 目標を達成。
(b)ジャイロセンサ	ウェハレベル パッケージング 技術による MEMSセンサ の小型化検証	パッケージ/チップ 体積従来比 1/10 以 下、感度: 10mv/dps 以上、精度: ± 1dps 以下	ウェハレベルパッ ケージングプロセス のデバイス応用技 術を取得	パッケージ/チップ 体積従来比 1/10 以 下、感度: 10mv/dps 以上、精度: ± 1dps 以下となり、目標を 達成。

1-4 MEMSデバイスの研究開発

1-4-1 スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究

研究項目	目的	目標	成果	達成度
アクチュエータアレイデバイスの製作	(1) 多数のアクチュエータを持つデバイスを歩留まり良く製作するプロセス (2) アレイ化マイクロアクチュエータの電気的信頼性評価計測手法 (3) 2次元カンチレバー・アクチュエータアレイの作製	(1) シリコンのバルク加工で 500 個以上のアクチュエータを持つデバイスを 10 個以上作製 (2) 電気的測定のみで、アレイ化マイクロアクチュエータの信頼性を評価する (3) 表面マイクロ加工で 1000 個以上のアクチュエータを持つデバイスを作製	(1) 気層フッ酸犠牲層エッチング技術をファンドリー企業に技術移転し、製作歩留まりを向上 (2) アクチュエータの共振周波数を電気測定し、その変化から信頼性を評価 (3) ガラス基板上に熱駆動カンチレバー・アクチュエータアレイのデバイスを作製した	(1) 560 個のアクチュエータを持つ 17 個のチップを作製し、目標を達成した。 (2) 実際のアクチュエータアレイデバイスに適応し融合性を確認し、目標を達成 (3) 1024 個のアクチュエータを持つチップを作製し、目標を達成
アレイデバイスの分散制御法	(1) スマートスキン概念に基づくセンサ・アクチュエータ集積システムの分散制御 (2) 2次元カンチレバー・アクチュエータアレイとフォトダイオードアレイとの積層化によるフィードバック制御	(1) アクチュエータアレイデバイス上の物体の位置を検出しそれを動かす分散制御を実現する (2) 2次元カンチレバー・アクチュエータとフォトダイオードアレイを積層集積しフィードバック制御を実証する	(1) 搬送物体のエッジの検出およびエッジへのエアーフロー印加という、フィードバック制御を行った。 (2) アクチュエータと同ピッチのフォトダイオードアレイと積層して、デバイス上の搬送物検出しフィードバック搬送した	(1) 局所的分散情報処理に基づく制御が有効に働くことを示し、目標を達成した。 (2) 積層集積したセンサ・アクチュエータアレイで物体の検出とその情報に基づくフィードバック制御を行い、目標を達成した
回路チップとの信号接続法	高電圧制御回路の集積化によりアクチュエータアレイを高機能化する	高電圧制御用ICチップをアクチュエータアレイと集積し信号線を接続する	LSIをMEMSチップ中にうめこむドロップイン集積化手法でICチップを一体化し、ワイヤーボンディングで信号線を接続できた	高電圧制御用ICチップをアクチュエータアレイと集積し信号線を接続でき、目標を達成した。

1-4-2 マイクロ走査型顕微鏡の研究開発

研究項目	目的	目標	成果	達成度
積層タイプマイクロ走査型顕微鏡試作	1) マイクロ走査型顕微鏡の製造を通しての光MEMS 製造技術のレベル把握と技術レベル向上 2) 走査型顕微鏡(プロトタイプ)の実現	走査画像を得る。	個々の部品製造について成功。個々の部品組み立て技術に課題があることを確認。	総合的には不満足。部品組み立てを除く個別部品の製造は成功。
本体個別技術1:シリコンミラー基板ファブリケーション	シリコン基板載置可能マイクロミラーチップの実現(3種類:x、y軸回転Z軸方向変位ミラー)	走査範囲<100ミクロン角以上。Z軸方向変位 10ミクロン以上	シリコンミラー基板ファブリケーション技術の確立確認	成功
本体個別技術2:LD, PD実装	光学素子の高精度、無損失ボンディング	ボンディング精度: 数ミクロン	得意な企業で行えば実現可能。	成功
本体個別技術3:レンズガラス基板	フォトリソグラフィ技術でのマイクロ非球面レンズ形成(グレーマスクレンズ作製)	レンズ形状誤差<数%	得意な企業で行えば実現可能。	成功
本体個別技術4:PD、ミラー駆動回路、制御回路などの電気回路	基本的な電気回路、制御技術の確認	正常動作	個別に正常動作確認	成功

本体個別技術6:個別基板の高精度アセンブル(組み立て)	MEMS光学部品の高精度ポンディング	積層基板の合わせ精度 10 ミクロン以下(アクティブアライメントでも可)。	MEMS光学部品の高精度ポンディング技術の不足を確認。	不成功
内蔵型変位センサの個別技術1:光素子、シリコン枠、シリコンベース、ガラスカバーの作製と個々の部品のポンディング	MEMSに関する基本的な製造技術の確認と変位センサの実現	実現可能	実現可能	成功
個別技術8:貫通穴電極	MEMSパッケージング技術には不可欠な縦方向配線技術レベルの確認	断線、ショートなし。	得意な企業で行えば実現可能。	成功
個別技術9:血流センサ受光部	ピンホールの作製とPD素子上への載置(ポンディング)	ピンホールサイズ; 穴径 40 ミクロン、長さ 400 ミクロン	得意な企業で行えば実現可能。シリコン貫通穴形成技術確認。ポンディング技術確認。	成功

1-4-3 MEMS 技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発

研究項目	目的	目標	成果	達成度
MEMS 技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発	ロボットハンドの指先に搭載可能な柔軟接触部を有する指先触覚センサを開発する。	MEMS ファウンドリーを活用し、3mm 角以下の多軸フォースセンサチップおよび装着容易なパッケージ構造を持った触覚センサの実用化開発を行う。	MEMS ファウンドリーを活用し、2mm 角の 6 軸フォース・モーメントセンサチップおよび装着容易なパッケージ構造を持った4成分検出可能触覚センサを開発した。	4 成分検出、チップ寸法 2mm 角、センシング部のパッケージ寸法 5 mm(W) × 5 mm(L) × 3.3 mm(T)となり、目標を達成した。

(2) 成果の意義

1-1 RFスイッチ製造技術の開発

超小型、高信頼性で封止パッケージ化した高周波RFスイッチの製造技術の開発

研究項目	成果の意義
高精度3次元加工技術開発	半導体およびMEMS技術を活用して、高精度絶縁膜成膜技術、高精度シリコン加工技術、高精度金属膜成膜技術、高速・高精度計測評価技術を取得したことは、MEMS加工精度の能力を飛躍的に向上させたことを示したもので意義がある。
接点固定防止技術開発	構築した高耐久材料データベース、最適材料、成膜構成の抽出、および取得した高耐久材料の表面処理、加工技術を活用し、超長期接点寿命評価技術を取得したことは、MEMSスイッチの接点耐久性が実用上問題にならないことを示したもので意義がある。
低損失パッケージ技術開発	構築した低損失パッケージ材データベースを活用し、低損失パッケージ技術を取得したことは、MEMSスイッチの能力を充分引き出せるパッケージを実現したことを示したもので意義がある。

1-2 光可動ミラー製造技術の開発

光スイッチの高精度加工技術の開発

研究項目	成果の意義
高精度3D加工技術開発	世界トップのミラー平面度を有するMEMS加工技術を獲得した。これらの高精度加工技術は、今後、実用化を進める波長選択スイッチにとまらず、様々な光通信向けのMEMSへの応用が考えられ、実用化を加速していると考えている。また、当社のMEMSファンドリーサービスへの適用を進めることにより、様々な高性能MEMSの実用化を加速すると考える。
高精度制御技術開発	微小ミラーデバイスにセンサ・IC集積化して、世界トップの制御性能を実現した。この成果は、光SW用のミラーデバイスへの適用だけではなく、現在の光スキャナー用ミラーを高性能化に寄与できる技術である。例えば、ミラー角度を高精度にコントロールできると表示装置、等への応用展開が可能である。また、極微小容量変化や抵抗変化を検出するアンプICを開発し、それらを小型実装する技術開発を行ったことになる。この成果は、様々な超小型センサMEMSモジュールを小型化するための基礎技術を獲得した。

信頼性・計測・評価技術開発	この結果は、駆動部をもつ、光 MEMS デバイスが最高10年程度は連続して使用されることが想定される光 SW システムを構成するモジュール、デバイスとして、充分、信頼性があることを示しており、その他の様々な応用分野への応用を加速できると考える。
光ミラーアレイモジュール製作	波長選択スイッチモジュール、あるいは3次元型の光SWモジュールに応用するとともに、光 SW 以外の光 MEMS を搭載する様々な製品への応用するための MEMS+光学部品実装技術を獲得できた。

1-3 超小型MEMSセンサ製造技術開発

MEMSセンサの小型化、低コスト化とファンドリーサービス展開の為の製造技術の開発

研究項目	成果の意義
①貫通配線・電極形成技術の開発	シリコン貫通エッチング技術とCuめつき技術を活用して孔径 $10\mu\text{m}$ 、深さ $500\mu\text{m}$ の貫通孔配線・電極を開発、世界最高の高アスペクト貫通孔配線・電極形成技術を取得したことは、貫通配線を通してセンサ信号を伝送できるウエハレベルパッケージング、及び、それによるMEMSデバイスの超小型、低コストの実現性を示したもので意義がある。
②シリコンウエハ低温接合技術開発	MEMS 分野で初めて、表面活性化接合技術を活用して、シリコンウエハを常温、高精度で接合するウエハ接合技術を開発、取得したことは、残留応力や残留歪を抑制できるウエハレベルパッケージング、及び、それによるMEMSデバイスの超小型、低コストの実現性を示したもので意義がある。
③センサ・回路一体化実装技術の開発	MEMS 分野で初めて、3次元立体回路(MID)基板に MEMS センサと IC チップを低ストレスかつ超小型に一体化する常温バンプ接合技術を開発、取得したことは、センサと IC との一体化によるMEMSデバイスマジュールの超小型、低コストの実現性を示したもので意義がある。
④MEMSウエハレベルパッケージング一貫工程開発 (a)3軸加速度センサ	センサと IC との一体化プロセスを含むウエハレベルパッケージング一貫工程のデバイス応用技術を取得したことは、MEMS デバイス、モジュールの超小型、低コストの実現性を示したことで意義がある。
(b)ジャイロセンサ	センサと IC との一体化プロセスを含むウエハレベルパッケージング一貫工程のデバイス応用技術を取得したことは、MEMS デバイス、モジュールの超小型、低コストの実現性を示したことで意義がある。

1-4 MEMSデバイスの研究開発

1-4-1 スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究

研究項目	成果の意義
アクチュエータアレイデバイスの製作	気層フッ酸犠牲層エッチング技術をファンドリー企業に技術移転し、製作歩留まりを向上したことは、MEMSファンドリーの技術強化に意義がある。また、アクチュエータの共振周波数の電気的に測定し、その変化から信頼性を評価したことは、アレイ化MEMSの信頼性を容易に評価できる方法を示したもので意義がある。さらに、ガラス基板上に1024個もの熱駆動カンチレバー・アクチュエータをアレイ化したことは、多数のMEMSアクチュエータの一括製作が可能なことを示したもので意義がある。
アレイデバイスの分散制御法	搬送物体のエッジの検出およびエッジへのエアーフロー印加という、フィードバック制御を行ったこと、およびアクチュエータと同ピッチのフォトダイオードアレイと積層して、デバイス上の搬送物検出しフィードバック搬送したことは、センサ・アクチュエータのアレイデバイスを用いて分散フィードバック制御が可能なことを初めて示したもので意義がある。
回路チップとの信号接続法	LSIをMEMSチップ中にうめこむドロップイン集積化手法でICチップを一体化し、ワイヤーボンディングで信号線を接続できたことは、駆動に高電圧が必要な静電アクチュエータアレイデバイスを最低限の配線数で容易に駆動する方法を示したもので意義がある。

1-4-2 マイクロ走査型顕微鏡の研究開発

研究項目	成果の意義
マイクロ走査型顕微鏡の研究開発	提案した光MEMS技術を用いて作製可能な積層タイプのマイクロ走査型顕微鏡デバイスを助成事業者も含むファンダリー企業で試作することにより、実用化に必要な光MEMS製造技術のレベルの把握と技術レベルの向上を図ったことは意義がある。

1-4-3 MEMS技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発

研究項目	成果の意義
MEMS技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発	国内MEMSファウンドリーの技術力の向上、MEMSのロボット応用への拡大のみならずネットワークセンシングやユビキタスセンシングなどへの応用展開も含め広く産業に貢献するものと考える。

(3)特許の取得状況

1-1 RFスイッチ製造技術の開発

超小型、高信頼性で封止パッケージ化した高周波RFスイッチの製造技術の開発

特許の名称	特徴・強み・新規性
接点開閉器および接点開閉器を備えた装置	ばらつき低減
静電マイクロスイッチ	高抵抗半導体の可動電極に低抵抗領域を設けて動作時間遅延を抑制
配線基板の製造方法、フォトマスク、配線基板、回路素子、通信装置、および計測装置	フリット密着する配線の側面にギザギザを設けて封止性向上
静電マイクロ接点開閉器およびその製造方法、ならびに静電マイクロ接点開閉器を用いた装置	復帰バネと接触力バネを分離して低電圧化(チビ)
接点支持機構、接点開閉器、計測装置及び無線機	ステイック防止
半導体装置の電気的接続構造及び当該構造を備えた機器	アンカにスリット入れて陽極接合安定化
静電マイクロ接点開閉器およびその製造方法、ならびに静電マイクロ接点開閉器を用いた装置	低電圧化

1-2 光可動ミラー製造技術の開発

光スイッチの高精度加工技術の開発

特許の名称	特徴・強み・新規性
光スイッチ	環境変化、経時変化に影響されず、出力用の光ファイバに正確に出力(スイッチ)することが可能な、信頼性の高い光スイッチを提供すること。
静電気駆動素子	可動部の変形を高感度かつ高精度に検出可能な静電駆動素子を提供する。
光スイッチ装置	小型・低光損失活の光スイッチ信頼性の高い光スイッチを提供すること。
波長選択スイッチ	光スイッチ用におけるミラーデバイスの取り付け構造。高精度な光 SW 取り付け構造を実現する。

1-3 超小型MEMSセンサ製造技術開発

MEMSセンサの小型化、低コスト化とファンドリーサービス展開の為の製造技術の開発

①貫通配線・電極形成技術の開発

特許の名称	特徴・強み・新規性
貫通孔配線の製造方法:6件	貫通孔配線の製造工程簡略化、及び、信頼性向上
貫通孔配線、及び、その製造方法:2件	貫通配線の小型化
貫通孔へのめっき埋め込み方法及びめっき装置:1件	貫通配線の埋め込み性向上
MEMSデバイス及びその製造方法:1件	貫通配線の導通性向上
貫通孔配線の形成方法、ウェハレベルパッケージ構造体の製造方法:1件	貫通配線の工程短縮化

②シリコンウェハ低温接合技術開発

特許の名称	特徴・強み・新規性
駆動装置及び光デバイス	駆動装置及び光デバイスの小型化、高歩留り化
半導体装置の製造方法、半導体アクチュエーター及び光デバイス	構造設計、プロセス設計の自由度が高い半導体装置の製造方法、半導体アクチュエーター及び光デバイス
半導体装置の製造方法	半導体構造の高電気絶縁化
半導体構造の製造方法、半導体アクチュエータ及び光デバイス	構造設計、プロセス設計の自由度が高い半導体装置の製造方法、半導体アクチュエーター及び光デバイス
半導体センサおよびその製造方法	半導体センサの小型、高性能化
センサエレメント	半導体センサの低歪化
ウェハレベルパッケージ構造体およびセンサエレメント	センサ、ウェハレベルパッケージ構造体の工程簡略化
センサエレメントおよびウェハレベルパッケージ構造体	センサ、ウェハレベルパッケージ構造体の高接合特性化
ウェハレベルパッケージ構造体およびセンサエレメント	センサ、ウェハレベルパッケージ構造体の高接合特性化

ウェハレベルパッケージ構造体およびセンサエレメント	センサ、ウェハレベルパッケージ構造体の高接合特性化
センサ素子の製造方法	センサの高性能化
センサエレメント	センサの高性能化
ウェハ接合装置およびウェハ接合装置	センサの高性能化

③センサ・回路一体化実装技術の開発

特許の名称	特徴・強み・新規性
フリップチップ実装方法:4件	低ストレス(常温)実装。接続信頼性向上。小型化。
バンプ形成方法:2件	接続信頼性向上。バンプ形状小型化。
パッケージ製造方法:1件	実装チップの低ストレス化。パッケージ小型・低背化。ICとセンサ一体化。
パッケージ構造:10件	実装チップの低ストレス化。パッケージ小型・低背化。ICとセンサ一体化。
パッケージ配線構造:1件	基板へのパッケージ実装品質向上。パッケージ小型化。

④MEMSウェハレベルパッケージング一貫工程開発

(a)3軸加速度センサ

特許の名称	特徴・強み・新規性
半導体多軸加速度センサ 4件	センサの温度特性向上
ウェハレベルパッケージ構造体およびその製造方法、加速度センサ 1件	センサウェハのウェハレベルパッケージングによる構造体、およびその製造方法
センサエレメント 1件	ウェハレベルパッケージングによる小型化および、接合信頼性の向上。
センサエレメント 1件	配線および接合信頼性の向上。
物理量センサ 1件	接合信頼性の向上
物理量センサおよびその製造方法 1件	物理量センサ性能検査の簡略化

(b)ジャイロセンサ

特許の名称	特徴・強み・新規性
ジャイロセンサおよび角速度検出方法:1件	検出精度と感度の向上
半導体センサ及びその製造方法:1件	高い配線接続性の高精度、工程簡略化
ジャイロセンサ:2件	センサの温度特性向上
半導体装置の製造方法:1件	貫通孔形成工程の簡略化
ジャイロセンサおよびそれを用いたセンサシステム:10件	センサの温度特性向上
半導体力学量センサ:1件	センサの高精度化
ジャイロセンサの製造方法:1件	センサの工程簡略化
ジャイロセンサおよび角速度検出方法:1件	センサの検出精度の向上
微小電気機械デバイスおよびその製造方法:1件	センサの高集積化
微小電気機械デバイス:5件	デバイスの小型化
MEMSデバイスおよびその製造方法:1件	デバイスの気密性向上
角速度検出装置:3件	センサの検出精度向上
角速度検出装置:1件	センサの検出精度向上
角速度センサ:1件	振動体の安定駆動化
センサ装置:1件	振動体の制御精度の向上

1-4 MEMSデバイスの研究開発

1-4-1 スマートスキンの実現を目指す MEMS アレイとその信号接続方法の研究

特許の名称	特徴・強み・新規性
無し	

1-4-2 マイクロ走査型顕微鏡の研究開発

特許の名称	特徴・強み・新規性
変位測定装置	MEMS内蔵可能な超小型光学式回転角/変位センサ。しかも高精度:Z変位測定で数10nm の分解能。

1-4-3 MEMS 技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発

特許の名称	特徴・強み・新規性
加速度センサおよび加速度センサの製造方法	<ul style="list-style-type: none">特徴:起歪ビームを従来の直交より平行型にし、かつ温度の影響を受けにくい構造とした。強み:高感度超小型化に適する。新規性:大

(4) 論文発表・成果の普及

1-1 RFスイッチ製造技術の開発

超小型、高信頼性で封止パッケージ化した高周波RFスイッチの製造技術の開発

論文等紙上発表(論文誌、学会誌、国際会議)		口頭発表		特許		報道(新聞、雑誌等)
国内	国外	国内	国外	国内	国外	
4	1	11	3	7件	3件 5ヶ国	20

1-2 光可動ミラー製造技術の開発

光スイッチの高精度加工技術の開発

論文等紙上発表(論文誌、学会誌、国際会議)		口頭発表		特許		報道(新聞、雑誌等)
国内	国外	国内	国外	国内	国外	
8	0	16	0	4	0	19

1-3 超小型MEMSセンサ製造技術開発

MEMSセンサの小型化、低コスト化とファンドリーサービス展開の為の製造技術の開発

論文等紙上発表(論文誌、学会誌、国際会議)		口頭発表		特許		報道(新聞、雑誌等)
国内	国外	国内	国外	国内	国外	
2	2	3	2	82	6	9

1-4 MEMSデバイスの研究開発

1-4-1 スマートスキンの実現を目指すMEMSアレイとその信号接続方法の研究

論文等紙上発表(論文誌、学会誌、国際会議)		口頭発表		特許		報道(新聞、雑誌等)
国内	国外	国内	国外	国内	国外	
0	5(他1件採択済み)	0	0	0	0	0

1-4-2 マイクロ走査型顕微鏡の研究開発

論文等紙上発表(論文誌、学会誌、国際会議)		口頭発表		特許		報道(新聞、雑誌等)
国内	国外	国内	国外	国内	国外	
0	1	0	1	1	0	2

1-4-3 MEMS技術を用いた小型多軸フォース・モーメントセンサの開発

論文等紙上発表(論文誌、学会誌、国際会議)		口頭発表		特許		報道(新聞、雑誌等)
国内	国外	国内	国外	国内	国外	
0	9	7	1	1	0	1