MEMS 産業の現状と今後の展望 ～MEMS 産業の競争力強化と裾野の拡大を目指す～

小 川 陽 子*

*経済産業省製造産業局（〒100-8901 東京都千代田区霞が関 1-3-1）

MEMS, Growing Business and Growing Market with a Wide Field of Applications

Yoko OGAWA*

*Manufacturing Industries Bureau, Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (1-3-1, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8901)

Key Words : MEMS, Foundry, Micro-mirrors, Switches, Sensors, Design and Analysis Tool

1. 製造業において分野横断的な技術, MEMS

「ライフサイエンス, IT, 環境, ナノテクノロジー・材料」。総合科学技術会議において, 今後国内で重点的に取り組むとされている, いわゆる「重点四分野」と呼ばれる技術開発分野である。そして, これら重点四分野のすべてに関わり, 応用の幅をさらに広げる可能性を持つ技術が, MEMS (Micro Electro Mechanical Systems: 微小電気機械システム) である。

MEMS は, 半導体製造技術や微細加工技術により, 微小な基盤上に電気配線と機械構造を集積した部品であり, 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が活かされる領域である。MEMS 技術を利用した製品で現在市場が確立しているものの例としては, 自動車の加速度センサ, プリンタのインクジェットヘッド, 血圧計の圧力センサなどが挙げられる。前述の重点四分野のほかにも, 燃料電池, 化学工業, 産業機械, 医療, ロボット, 製薬など, 活用が想定される分野は枚挙に暇がない。

2. MEMS 技術でものを作ることの利点

MEMS 技術の利点は, なんとと言っても形状が小さいことである。これにより, 既存のデバイスの小型化が可能となる。MEMS 技術により, 圧力センサでは従来の数十分の一, 自動車用加速度センサでは 1/300～1/400 の小型化が実現している例もある。また, MEMS デバイスならば, 小さいスペースの中で直並列に多数個を動作させることも可能である。たとえば, MEMS 技術を使った小型の燃料電池は, 現在多くの企業や研究機関により開発が進められているが, 携帯電話やパソコンなど, 小型化と高性能化が同時に求められている機器の中でも直並列に配置することができるので, 電池の長寿命化とともに, 高い起電力を実現できる。そのほかにも, MEMS 技術を活用することには, 当該部品を他の電気回路などと一体化して製作することができる, 一個当たりの製作コストが低くなるなどの利点を挙げることができる。

3. 経済産業省の MEMS 支援施策

本年 6 月の総合科学技術会議で, 来年度の研究開発に関する政府予算編成の全体方針を示す「平成 16 年度の科学技術に関する予算, 人材等の資源配分の方針」が決定された。MEMS はこの中の「ナノテクノロジー・材料分野」と「製造技術」に登場している。今後の多様な分野におけるキーデバイスとして大いに期待が高まっている MEMS であるが, 以下では, 経済産業省が行う MEMS 支援施策について紹介する。

① MEMS プロジェクト

(平成 15 年度～17 年度, 平成 15 年度予算額 19.2 億円)

MEMS は, 電気, 機械, 材料, 光など異分野の技術の融合であり, 半導体製造技術(リソグラフィエッチング)や微細加工技術(電子ビーム加工など)を応用して製造する。小型で省エネ性に優れた高性能の部品を作ることができるが, 実際にはすべての企業が必要な製造設備に投資できるわけではない。こうした製造設備を持たない企業に MEMS 技術を提供するのが, MEMS デバイスの開発・生産受託事業を行う一連の「MEMS ファンドリー」企業である(表 1 (a))。これら MEMS ファンドリー企業へのヒアリングによると, 現在, 1 社当たり年間 40～50 件ほどの MEMS 開発・生産受託案件が持ち込まれているようである。

今後, MEMS 市場の拡大やニーズの多様化にともない, 必要とされる加工技術も高度化していくことが予想される。そこで, 高精度 MEMS 製造技術を有する開発拠点の整備を目的として, 経済産業省では, 平成 15 年度から 3 年間, MEMS 製造技術の蓄積を有する企業を対象に, 高精度三次元加工技術の研究開発を支援している。総事業費の半分を政府が負担, 半分を参加する民間企業が負担すること, 加えて, 開発で培われた技術は MEMS ファンドリー事業を通して自社の外にも提供することを条件に, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)において支援先企業の公募を行い, オムロン(株), オリパス光学工業(株), 松下電工(株)の 3 社が支

表 1 MEMS に取り組んでいる国内の企業、大学/研究室・研究機関

(a) 国内の MEMS ファンダリー企業の例

企 業	設計/ファンドリーサービスに関連するサイト
オリンパス光学工業(株)	www.olympus.co.jp/Special/Info/n_020213.html
オムロン(株)	www.omron-ecb.com/sc/mems/index.htm
松下電工(株)	www.mew.co.jp/mems/index.html
住友金属工業(株)	www.e2-lab.com/technology/mems/index.html
沖電気工業(株)	www.okisemi.com/jp/products/c_foundry.htm
富士通(株)	edevise.fujitsu.com/fj/FJCOT/MEMS/MEMS_j.html
(株)神戸製鋼所	www.kobelco.co.jp/p_047/erl/microprocess.html
NTT アドバンスドテクノロジー	www.keytech.ntt-at.co.jp/nano/index.html
大日本印刷(株)	saiyo.dnp.co.jp/dno_2004/g/g_laboratory/lab_kenkyu.html
(株)日立製作所	www.i-eng.hitachi.co.jp/

(b) MEMS 研究・試作が行われている主な大学/研究室・研究機関の例

大学/研究室・研究機関	ウェブサイト
東北大学 工学研究科 機械電子工学専攻 江刺研究室 他	mems.mech.tohoku.ac.jp/esashilab/top.html
東京大学 生産技術研究所 第3部 藤田研究室 他	www.fujita3.iis.u-tokyo.ac.jp/index-j.html
立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 杉山研究室(マイクロシステム研究室) 他	www.ritsumei.ac.jp/se/~sugiyama/
名古屋大学 マイクロシステム工学専攻 佐藤研究室(微細加工システム講座)	www.kaz.mech.nagoya-u.ac.jp/index-j.html
東京農工大学 工学部 機械システム工学科 池田研究室	www.tuat.ac.jp/~ikeda/index.html
早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科 庄子研究室	www.shoji.comm.waseda.ac.jp/homepage/
東京工業大学 精密工学研究所 下河邊研究室	www.nano.pi.titech.ac.jp/index.html
群馬大学 工学部 機械システム工学科 早乙女研究室	www.micro.me.gunma-u.ac.jp/
北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 民谷研究室	www.jaist.ac.jp/ms/labs/tamiya/
姫路工業大学 高度産業科学技術研究所 光応用・先端技術大部門 服部研究室	www.lasti.himeji-tech.ac.jp/NS/beamline/BL11/index.html
産業技術総合研究所 機械システム研究部門 集積機械研究グループ	unit.aist.go.jp/imse/isemi/index.htm

出典：経済産業省資料

援先として採択された(参考：NEDO ホームページ <http://www.nedo.go.jp/informations/press/>)。具体的な技術開発内容は、オムロンが超小型・高信頼性の RF(高周波)対応スイッチ、オリンパスが光稼働ミラー(光スイッチ)、松下電工が超小型 MEMS センサである(表 2)。これらは、各社の得意技術を活かす開発課題であるだけでなく、MEMS 技術の中でも今後急激な市場の成長が見込まれる、情報通信やバイオ関連 MEMS のキーデバイスである。本事業は平成 17 年度で終了の予定であるが、事業終了後に、開発された製品が市場投入されることになっている。同時に、いかなる企業も採択先 3 社の MEMS ファンダリー事業を通して、本事業により各社に培われた高精度の三次元 MEMS 製造技術の提供を受けることが可能となる。

②革新的 MEMS ビジネス支援施設整備事業

(平成 14 年度補正予算事業 総事業費 9 億円)

本事業では、(独)産業技術総合研究所(茨城県つくば市：以下産総研と略)において蓄積されてきた MEMS 技術をもとに、MEMS ビジネスを展開しようとする企業や要素技術を有する企業と連携して、コアとなる MEMS モジュールの試作支援を行うために、標準的な MEMS 加工プロセス環境を提供し、ナノテクノロジー的手法を加味した多様な革新的 MEMS ビジネスを加速的に推進する研究・試作・製造環境を整備する。薄利多売のビジネスをターゲットとしてきた我が国の製造業を、高付加価値な製品を生み出す方向に導き、新興工業国との新しい役割分担を確立することが本事業の意図するところである。

MEMS の開発・試作には、多種多様な素材の加工方法＋ノウハウ＋高価な設備が必要であり、また、異物混入を嫌うところから個々の設備や既設のラインを汎用的に使用することが困難で、従来のシリコン用設備を主体とした民間の

表2 「MEMS プロジェクト」採択先と研究開発内容一覧

技術開発課題	助成事業の名称	申請者の名称	助成事業の概要
① RF スイッチ 製造技術の開発	MEMS プロジェクト(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	オムロン株式会社	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、デバイスの寿命を延長させる技術、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損失の増加を最小限度に抑える技術を確立する。
②光可動ミラー 製造技術の開発	MEMS 実用化事業(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	オリンパス光学工業株式会社	光可動ミラーの応用製品である3D-MEMS タイプの光クロスコネクタ(OXC)などの実用化に不可欠な高精度加工技術を開発し、これらの MEMS 製品を実用化する。
③超小型 MEMS センサ 製造技術の開発	MEMS プロジェクト(超小型 MEMS センサ製造技術の開発)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ための製造技術開発	松下電工株式会社	MEMS センサの多様な分野への更なる普及を行うとともに、幅広いファンドリーサービスを提供することを狙いとして、超小型 MEMS センサの製造技術の開発を行う。そのために、微細貫通孔配線電極形成技術、低温接合技術、実装技術開発を実施するとともに一貫行程の構築を行う。

出典：NEDO ホームページ

- ・RF(高周波)スイッチ：無線 LAN や携帯電話などに組み込まれている、通信に使用する周波数を切り替える部品。MEMS 技術で作製した機械的なスイッチは、現在使われている電気的なスイッチ(半導体)に比べて、切り替えが良く漏れも少なくなり、より高速大容量通信に適しているといえる。
- ・光スイッチ：光通信において、光ファイバの分岐点に入っているデバイス。分岐点に入ってきた複数の波長の光のうち、特定波長の光を特定の出口へ向ける働きを持つ。
- ・超小型 MEMS センサ：MEMS 技術で作製されるセンサとして今後有望視されているものには、流量、温度、湿度、粒子、ガス、赤外線センサなどがある。

MEMS ファンダリーでは十分な開発に踏み切れないでいる。また、設備を持たないベンチャーなどでは、研究開発・試作段階で競合メーカーの MEMS ファンダリーと連携することが困難で、実用製品の試作を含む共同研究が可能な公共的な施設・組織を中心とした MEMS ファンダリーネットワークが必要である。特に MEMS 製品はこれから市場が拡大してゆくところであり、研究開発から商品化を短期間で行う必要があり、緊密な産学官の連携が不可欠である。今回、中核的な施設を整備し、産総研に蓄積された加工技術・ノウハウを提供することによって、これまで躊躇していた企業の MEMS 開発への参入が一気に加速するものと考えられる。

本事業により整備する設備の概要(予定)は以下の通りである(平成15年9月時点)。

建物は、産総研つくばセンター東事業所内に建設予定。総床面積約990m²、2階建て、1階部分には約300m²のクラス1000(一部クラス100)のクリーンルーム、2階部分は産学官連携研究室、実験室4室を備える予定。現在、設計を終え、基礎工事に取りかかるところである。1月初旬に建物が完成する予定であり、その後、設備搬入を行い、平成16年度内に稼働の予定である。

設置予定設備は、高性能の MEMS 作製に必須の100kV 加速電子による電子線描画装置、長焦点深度のステッパー露光装置などのナノパターン形成設備に加え、これからの新世代の高機能 MEMS の開発に必要な、石英ガラス高温成形装置、ドライエッチング装置などの、非シリコン系材料微細加工設備を新たに導入するほか、MEMS 関連の既存の設備も移設して、一貫した MEMS 製造・研究開発が可能となる施設とする予定。

なお、同施設は、先端研究のみならず、ベンチャー、中小企業との共同研究などにも開放する。広く MEMS ビジネスを支援する産官学連携の一つの大きな拠点とする構想である。

③ MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクト

(平成16年度新規事業として予算要求中)

多くの人が MEMS に挑戦し、また、効率的な MEMS 製品開発が可能となるような環境を整備するために、MEMS の製造プロセスと連携する材料特性データベースを備えた MEMS 用設計・解析支援システムの開発の予算を、現在、政府の平成16年度概算要求の中で新規に要求を行っているところである。

MEMS ファンダリー企業をはじめとする MEMS 製造企業において、現状では、MEMS 製作に対応した設計ツールはなく、さらに MEMS 加工に必要な物性データが体系的に整備されていないため、当初の設計図どおりに作製した試作品が想定された機能を持たない場合が多く、何度か試作を繰り返すことを経てやっと期待する性能を持つ製品が開発されている状態である。試作の繰り返しの際も、MEMS 加工用の整理された材料特性データが存在しないため、どの部分の材料の物性・製造工程のどのプロセスが原因で不具合が起こっているのかを特定するのが難しく、個々の技術者が個人で持つ MEMS 製造の経験に基づき不具合箇所の見当をつけて修正を行うという作業が繰り返されている。

また、MEMS 製造を自社では行わない企業が MEMS ファンダリーに MEMS 製品の製造委託を行うには、当該製品の設計図が必要であるが、MEMS デバイスの設計図を書くには加工プロセスや加工条件下での材料の物性に関する知見が必要であるため、開発に耐える設計図を書ける企業は現状では多くはない。MEMS ファンダリーを充分活用できているのは MEMS に知見のある少数の企業に限られており、MEMS 製品のアイデアは有するものの設計図を書くことのできない多くの企業は、MEMS を活用した新製品の開発に至っていない。また、MEMS の設計図を作るには、MEMS 加工プロセスに知見があるだけでは不十分で、その MEMS が組み込まれる製品全体の仕様について細かく知る必要がある。MEMS ファンダリー側も、MEMS 製造に必要なあらゆる加工技術は持っているが、設計が可能な製品の範囲は自社開発を行う分野などにごく限られている。そのため、ユー

ザー企業が製品アイデアの段階の開発案件を持ち込んだだけでは、MEMS ファンドリーではそのアイデアを実現する設計図を書けないので、結果として MEMS 製品の開発にはつながらない。

そこで、MEMS 加工の経験がなくても製品のアイデアさえあれば MEMS デバイスの設計が可能となるよう、大企業から中小企業、異業種・ベンチャー企業まで、業種を問わず利用できる設計・解析支援システム(ソフトウェア)を開発し、

従来では正確な設計図が作れなかったために開発ができなかった多くの MEMS 製品の開発と早期市場投入の促進を図る。このシステム開発により、MEMS 製品のアイデアさえあれば、誰でも正確な設計図を作製して MEMS ファンドリーに MEMS 製品の製造を委託できるようになる。また、これまですでに MEMS 開発を行ってきた企業も、本システムの利用により設計から量産までの試作回数を低減させることができ、MEMS 製品の短期間で効率的な開発が可能にな

表3 米国における研究開発状況

機 関	プロジェクトの名称	概 要
国防総省 (DOD)	国防先端研究プロジェクト (DARPA) (年間7億ドル程度)	「システムの微小化」を国防上の重要技術と位置付けている。「MEMS・集積マイクロシステム技術」の枠の中で実施。
標準技術局 (NIST)	先端技術プロジェクト (ATP) (年間1,000万ドル程度)	3年から6年間のプロジェクトが現在10個程度進行している。
全米科学財団 (NSF)		「設計、製造および産業イノベーション」の枠の中に MEMS 関連の課題を位置付け。

出典：産業技術総合研究所技術情報部門とりまとめ

<論文動向>

論文件数推移

論文件数の地域別割合
(1990～2001年の累計件数)

出典：ISI Web of Scienceを用いて産業技術総合研究所 技術情報部門作成

(欧州はEU加盟国データの合計)

(アジアは中国・韓国・台湾・シンガポールのデータの合計)

検索式：micromachine OR "micro machine" OR micromachining OR "micro machining"
OR MEMS OR MST OR LIGA OR microactuator OR "micro actuator"

<特許動向>

WIPO国際出願件数推移

WIPO国際出願件数の地域別割合
(1997～2001年の累計件数)

出典：世界知的所有権機関 (WIPO) ホームページのデータを基に日本総研作成

(欧州はヨーロッパ特許条約 (EPC) 加盟国データの合計)

(アジアは中国・韓国・台湾・シンガポールのデータの合計)

検索式：micromachine OR "micro machine" OR micromachining OR "micro machining"
OR MEMS OR MST OR LIGA OR microactuator OR "micro actuator"

出典：経済産業省資料

図1 MEMS 関連の論文および特許の動向

ることが期待される。

4. MEMS 産業の今後の展望

MEMS は欧米でも注目を集めている分野である。現在 150 社を超える MEMS 企業があるといわれている米国では、これまでに国防総省、標準技術局 (NIST)、全米科学財団 (NSF) などが大規模な国家プロジェクトを行ってきた(表 3)。MEMS 関連の論文や特許の提出状況を見てみると、日本は、論文では 1990 年から 2001 年に世界に提出された件数の 12%、特許では 1997 年から 2001 年の出願件数の 6% を占めている(図 1)。

MEMS 市場に関する調査は世界各地でいくつか行われてきたが、いずれの調査も市場規模は今後毎年 20~30% という大きな成長が見込まれるとしている。米国の調査会社 In-Stat/MDR の調査によると、2001 年に 39 億ドルだった MEMS 世界市場は 2006 年には 95 億ドルまで拡大すると予測されている。これは、1 ドル=約 120 円として計算すると、2006 年には 1 兆 1,000 億円市場になると予測されていることになる。

今後 MEMS 産業が拡大して行くにつれ、それまで参入していなかった企業の MEMS 市場への参入や、設計サービス、製品開発に必要な材料特性の測定サービスなど、これまではなかった各種 MEMS 関連サービスを提供する企業が出現することが期待される。いずれにせよ、MEMS は対象分野を特定しない、幅広い種類のデバイスの高付加価値化を実現する製造技術である。MEMS 産業の可能性を広げるのは、現在 MEMS 製造を行っている企業だけでなく、MEMS を応用した製品を製造する多くの企業でもある。MEMS 技術は、本誌をご覧になっている皆さんが持っている高度なめっき技術も十二分に活かされ、まためっき技術により新境地を開く可能性も十分にある分野である。今後、MEMS の注目が高まるにつれ、製品製造だけでなく、産学連携を通じた先端的研究の機会がめっき業界の皆さんにも多々あると思われる。ぜひ MEMS に挑戦して、これまでに実現できなかったさまざまなアイデアを MEMS 技術によって叶えていただきたい。

(2003-9-16 受理)