

米国の産学連携

— MEMS 分野の事例から —

和 賀 三 和 子

University-Industry Collaboration in the US: A Case of MEMS Technology Development

Miwako WAGA

MEMS (micro-electro-mechanical systems) technology is an enabler and differentiator for various application products in many industrial sectors. A literature survey reveals that US DARPA's (Defense Advanced Research Projects Agency) continued funding for applied research has been instrumental to the significant increase in the number of papers published by US university research groups over the years. On the other hand, the number of papers published by Japanese universities and companies has reached a plateau since the late 1990s. The number of Japanese universities engaged in MEMS R&D has not increased notably and Japanese companies no longer publish as actively as they did in the 1990s. The gap seems to have come from the difference between how the US and Japan have managed high-risk applied research programs in the last 15 years.

Key words: MEMS, public support, high-risk research programs, international comparison, US patents

1. MEMS 技術とその特殊性

MEMS (micro-electro-mechanical systems: 微小電気機械システム) は、半導体製造技術や三次元加工技術を駆使して小さなスペースに微小な異種要素を集積したシステム¹⁾であり、これまでなかったような製品を実現したり、既存製品を低コストで置き換えることができる。インクジェットプリンターのプリントヘッドや、自動車のエアバッグシステムに搭載されている加速度センサーなど、MEMS はすでに身近に使われている^{2,3)}。

MEMS は「多様性」をもつ技術領域である。製造の立場からみると、材料 (Si, SiO₂, Si₃N₄, Quartz, SiC, AlN, Al₂O₃, SiGe 等)、プロセス (表面マイクロマシニング、バルクマイクロマシニング、LIGA, 異方性エッチング、犠牲層エッチング、陽極接合等)、構造 (櫛歯、メンブレン、片持ち梁、ビーム、流体用ノイズ等)、デバイスタイプ (圧力センサー、加速度センサー、ジャイロ、マイクロミラー、

プリントヘッド、DNA チップ、スイッチ、スキャナー等)、検知方式 (ピエゾ抵抗、容量型等)、駆動方式 (静電、圧電、熱、磁気、形状記憶性合金等)、応用分野 (自動車、情報通信、バイオ・医療、産業、家電、娯楽、航空宇宙、国防等)、利用環境 (温度、湿度、圧力、衝撃、振動、生体内等) など、きわめて多岐にわたる⁴⁾。しかも、異種要素の集積化を実現するには、多角的な専門知識 (電気電子工学、機械・精密工学、光学、材料科学、化学、医学・生物学など) が欠かせない。よって、自社の強みをどう生かしてどの分野に事業展開するかの見極めが非常に重要である。高度に知識集約的なので、大学や研究機関との連携が必要になる場合が多い。経済社会に及ぼすインパクトという観点からみると、MEMS は多面性のある技術分野である。MEMS は、既存産業分野の中でエッセンス的に用いられて適用システムの付加価値を格段に高め、それまで存在しなかったような製品を可能にする “イネープリング・テクノロジー

グローバル・エマージング・テクノロジー・インスティテュート (GETI) (〒150-6018 渋谷区恵比寿 4-20-3) E-mail: miwako@getinet.org

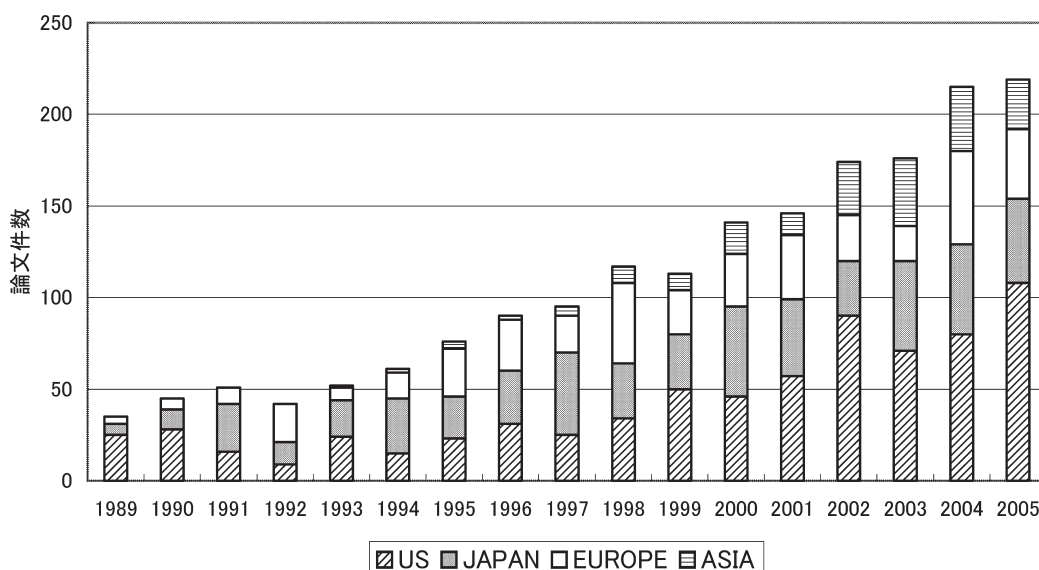


図1 IEEE MEMS 国際会議 地域別論文数推移 (1989～2005年)。MEMS 国際会議予稿集をもとに作成。

(enabling technology：実現化技術)”としての側面がある。その一方で、MEMS は、既存の産業勢力図を根底から覆す“ディスラプティブ・テクノロジー (disruptive technology：破壊的技術)”になる可能性を秘めた怖い存在でもある⁵⁾。

MEMS 技術の「多様性」は、製品の実用化に際して難しい課題を企業に突きつける。なぜなら、限られた経営資源を用いて、どの市場に参入することが解であるかの見極めが難しいからである。しかし近年は、境界領域にしか今後の大きな産業発展の芽はないといわれるほどであり、知識集約的分野の技術力を高めることは、地域経済振興ひいては日本の産業競争力の強化に不可欠である。したがって、このような MEMS 分野の産業力を伸ばすことは、長期的に大きなインパクトがあると予想される。

2. 世界における MEMS 分野への公的予算投資状況と研究のアクティビティ

2.1 公的予算投資状況

MEMS 技術は、次世代の高付加価値製品の創出に寄与するものとして世界的に大きな期待が寄せられており、日米欧はもとより、アジア各国においても公的予算が重層的に投入されている。MEMS 研究開発には半導体製造装置が多用されるため、開発環境の整備には少なからぬ初期投資と運営予算が必要である。この問題は MEMS 研究開発に取り組む世界の関係者の共通認識であり、各国とも、自国の状況、強み、制約などを踏まえて、この点を克服しようとして努めている。そうした解のひとつが、製品開発に先立

つプレ・コンペティティブ (競争前段階) な応用技術開発を行う、中核機関への戦略的投資とインフラ整備である。こうした中核機関の例として、欧州ではフラウンホーファー研究機構 (ドイツ)、IMEC (ベルギー)、CSEM (スイス) などを挙げるができる。

米国では、1990 年代はじめから、MEMS 技術開発資金を DARPA (国防総省高等研究計画局) が継続的に提供してきた。DARPA の「MEMS プログラム」の予算規模は、多いときで年間 7000 万ドル程度、現在 4～5000 万ドル程度で推移している。研究資金の助成先は大学の研究グループが圧倒的に多いが、国立研究所や大企業、ベンチャー企業も頻繁に助成を受けている。DARPA は、応用研究の成功の可能性を高めるため、大学と企業による連携を奨励している。DARPA 内では「MEMS プログラム」以外にも MEMS 技術を応用開発する取り組みが数多く存在するし、DARPA 以外の助成機関も研究開発資金を投入しているので、米国での実質的な研究支援の規模は前述の数字をはるかに上回っている。

2.2 研究のアクティビティとその分析

これまでに IEEE MEMS 国際会議で発表された約 1850 本の論文を筆者の所属機関や国・地域別に分析し、研究開発の傾向をみた⁶⁾。MEMS 国際会議は 1987 年にマサチューセッツ州で開催された“Micro Robots and Teleoperators Workshop”を源流としており、2005 年に開催された会議で 18 回目を数える。この会議での論文採択率は 30～40% 程度であり、かなり競争が激しい。図 1 は、筆頭著者を地域別にみた発表論文数 (口頭およびポスター)

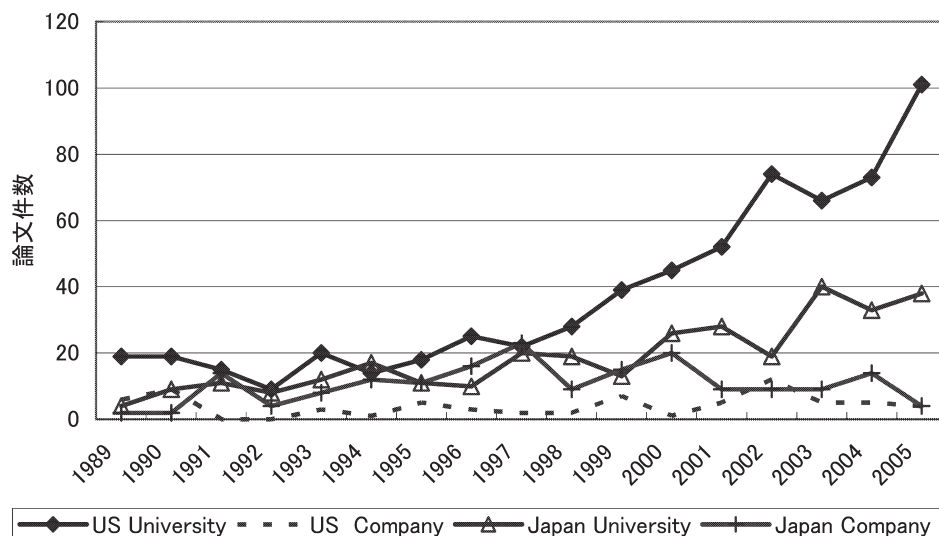


図2 IEEE MEMS 国際会議 筆頭著者の所属別論文数推移 (1989~2005 年). IEEE MEMS 国際会議予稿集をもとに作成.

の推移である。

図から、1990 年代終盤まで日米欧間でほぼ均衡していた論文数のバランスが、2000 年を過ぎたところから変化をみせはじめ、米国が一人勝ちの様相を示すとともに、欧州と日本の件数が伸び悩み、そのぶんアジア勢が伸びてきていることがわかる。2005 年にいたっては (フロリダで開催されたという要因もあるが)、論文の半数は米国の研究者によるものだった。ちなみに、2003 年の会議は京都で開催されたが、それにもかかわらず、米国の論文数は日本の大学や企業が発表した論文数を上回っていたことは注目に値する。

図 2 は、MEMS 国際会議で発表された論文を筆頭著者の所属機関別にみた推移である。図から、1997 年までは米国の大学、日本の大学、日本企業の論文はおおむね拮抗しているが、それ以降は米国の大学が圧倒的な強みをみせはじめ、それと対照的に日本企業は特に 2001 年以降あまり積極的に発表しなくなったことがわかる。日本の大学による発表件数は 2000 年以降、着実な伸びをみせている。1991 年、1994 年、1997 年、2000 年は会議が日本で開催された年であり、国内勢は特に積極的に投稿したと考えられる。

MEMS 研究開発に取り組む主体 (アクター) の広がり と産学連携の実態を把握するために、研究成果を発表している機関や企業数の推移と産学による共著論文の割合も調べた。その結果、米国で世界水準の研究成果を出せる大学の数は確実に増えていることが判明した。1990 年代前半は約 10 大学、後半は約 15 大学、2001 年以降は約 25 大学が顔を出している (2005 年は 35 大学)。米国は研究者の流動性が高く、博士号を取得してから他の大学で職を得る場合

が多い。MEMS 研究開発に携わる人材が各地に広がり、新たな研究拠点を形成している。そこでは、学生の教育も行われるので、研究者の異動は人材育成の面からプラスの成果を生んでいる。これを可能にしているのは、連邦政府からの研究資金である。しかし、大学と企業が共著で発表している論文数は全体の 1 割程度である。一方、世界水準の成果を出している日本の大学数はやや増加傾向がみられるものの、せいぜい 10 大学程度であり、東京大、東北大、名古屋大、立命館大、豊橋技術科学大などがその中核をなしている。日本企業は 1990 年代半ばから毎年 10~15 社 (多いときで 20 社程度) が単独もしくは共著の論文を発表していたが、2001 年以降は論文を発表する企業数にやや陰りがみられる。日本の場合、産学が共著した論文は全体の 3~4 割を占める。近年、日本企業が単独で発表する論文は減っており、そのぶん大学との連携が増えている。最近の傾向は、日本企業による技術開発がより短期のものとなっており、リスクのある研究開発では大学への依存度が高まっていることを示唆しているように思われる。

2.3 みえてくる日米の産学連携の状況

イノベーション活動の上流ともいえる大学や企業での研究活動の傾向をおもな国際学会の論文数から分析してみると、日本企業や大学は 1990 年代中盤ごろまでは米国の大学と拮抗する活動レベルを維持していたが、1990 年代終盤を境として日米の格差が開きはじめた。これは、米国では DARPA を中心として大学や企業に対する比較的大規模な研究助成が現在も継続的に行われているのに対して、日本では旧通産省の「マイクロマシン技術開発プロジェクト」が 2000 年度に終了したことと、大学でのインフラ整

備や人材育成が遅れ、米国のように研究開発のアクターが大きな広がりを見せなかったことに起因すると考えられる。

米国の論文発表のほとんど(80~90%)は、大学の研究グループによるものである。日本では1990年代後半は50~60%が大学、40~50%が企業による発表だったが、2000年代に入ると大学の比率が高まり70~80%が大学、20~30%が企業による発表に変容してきた。日本企業がビジネスの「集中と選択」を推し進めた結果、中長期的な研究活動に対して非常に選択的になったことの表れであると考えられる。日本で、MEMS開発の指導的人材が次々と会社を辞めて、大学に移ったことも関連していると思われる。

論文数の推移からみれば限り、日本企業と日本の大学は米国勢よりも積極的に連携している。大学と企業が共著している割合は米国が1割程度、日本が4割程度である。単独か共著かにかかわらず、発表論文に名前を連ねている日本企業数は15社程度あり、そのほとんど全部が一部上場企業である。論文を発表する日本企業数は近年、やや低下傾向にある。

前段では米国の大学と企業による共著の論文発表の割合が日本と比べて少ないことを指摘したが、だからといって、産学連携が少ないわけではない。カリフォルニア大学バークレー校やミシガン大学などでは産学共同研究センターが設置されており、企業が年間数百万円の会費を払って会員となっている。技術移転の仕組みも整っており、大学が取得している特許件数も多い⁷⁾。また、ある研究によると、米国の産業界が大学に期待する最大の貢献は、すぐれた「知」を創出し続けることだという。そうであれば、大学がすぐれた研究成果を積極的に発表している現在のMEMS研究開発状況は、企業にとって非常に有利なものであるといえる。米国の産学連携のかたちは、人材の流動性の高さゆえに権利意識が非常に明確であり、形式が整っている。これに対して、日本では長期雇用が主流であることから企業は安心して技術者を有力大学の研究室に送り込み、先進的な共同研究を通じて実質的な関係を保ってきた。つまり、研究の初期段階で大学の知恵を借りる方法である。企業が大学での研究を発展させるようなかたちで中長期的な応用研究を自前で行えるうちはこのやり方も有効であろうが、収益性を高めるために短期の開発業務に特化せざるを得ないような状況になれば、従来のような時間のかかる産学連携のプロセスでは立ち行かなくなるのではないかと懸念される。

3. 産学連携への政策提言

MEMS実用化における欧米の先行事例を分析してみると、いくつかの共通項があることに気づく。すなわち、①中核となる大学や研究機関にインフラ整備のための公的な投資を行っている、②研究資金を継続的かつ競争的に提供している、③大学や研究機関で生み出される「知」をビジネスに活用するための仕組みが整っている、④アクター同士を結びつけるネットワーク活動にも公的支援が回されている、そして、⑤ベンチャー起業を支えるVCが存在していることなどである(特に米国)。換言すれば、産官学が一体となって、リスクの高いイノベーションの初期段階を小企業に試験的に担わせる仕組みが機能しているのである。

翻って日本の状況を見ると、過去10年間、イノベーションを誘発する仕組みには変革が加えられ、大学等の研究成果に基づくベンチャーも設立しやすくなった。しかし、MEMS分野に限って言えば、日本では半導体設備を社内に保有する大手企業が多数存在するがゆえに、オープンな共用施設に投資する必然性が乏しく、公的機関のインフラが整備されていない。一部の企業がMEMSのファンダリーサービスを提供しているが、あくまでも商業的な顧客向けであり、ユニークなアイデアをもつ大学の研究グループがこれを安価に使えるわけでもない。一方、大学の設備を使って開発したプロセスはそのままでは産業界で利用できないので、企業側でさらなる開発が必要となり、イノベーションのコストとリスクが高くなる。

MEMSならではの革新性と多様性を将来の産業競争力の源泉としていくためには、不確実性の高いプレ・コンペティティブな研究開発のコストを公共部門で負担すべきである。しかし、近年は公共部門も財政悪化のせいで実用化に近い技術開発の支援にシフトしており、ハイリスクの部分の支援が空洞化している。大企業が(グローバル化の進展や株主構造の変化などにより)中短期的な収益確保に一層注力しなければならぬいまだからこそ、国の産業競争力を長期的に強化していくためには、ハイリスクの応用研究を積極支援し、産官学を巻き込んだイノベーションの仕組みを大胆にアップグレードしていくことが必要である⁸⁾。

実は上記のような施策を、アジア諸国の中では台湾がもっとも熱心に模倣し推進している。台湾は諸外国の専門家の助言を受けてITRI(工業技術研究院)にMEMS開発のための中心的なインフラ設備を設けるとともに、研究資金を継続的に提供し、技術移転を積極的に進めてきた。台湾は米国との人的つながりも非常に強く、半導体業界で培っ

たファンダリーサービスをコアコンピテンスとして、MEMS 産業育成にまい進している。前述のような手法は欧米に固有のものではなく、グローバルな競争が強まる 21 世紀の知識社会においては普遍性をもった取り組みである。日本の場合、これまで企業発のイノベーションが中心だっただけに、オープンな場（＝大企業の外）でこうした取り組みを企画・実行する人材を確保するところから始める必要がある。そのプロセスにおいては、関係者のインセンティブを高めることで、実効性を上げていく工夫が欠かせないと考える。

文 献

- 1) N. Maluf: *An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering* (Artech House Publishers, Boston, 2000).
- 2) 和賀三和子: MEMS 実用化の取り組みと課題 (ED リサーチ社, 2003).
- 3) 藤田博之: マイクロ・ナノマシン技術入門 (工業調査会, 2003).
- 4) M. Madou: *Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization* (CRC Press, Boca Raton, Florida, 2002).
- 5) クリステンセン: イノベーションのジレンマ, 玉田俊平太監修 (翔泳社, 2001).
- 6) *IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, Technical Digests 1989-2005*.
- 7) 和賀三和子: “MEMS 技術開発と市場化の動向”, 電子材料, 11 月号 (2004).
- 8) H. Chesbrough: *Open Innovation* (Harvard Business School Press, Boston, 2003).

(2005 年 3 月 23 日受理)