

医療・福祉の世界を拓くかがわ発 MEMS ～ MEMS to HEALTH, Kagawa. ～

かがわ健康関連製品開発地域 地域連携コーディネーター（かがわ産業支援財団） 山本 知生
香川大学 工学部 知能機械システム工学科 准教授 鈴木 孝明



上左：かがわ健康関連製品開発地域 地域連携コーディネーター（かがわ産業支援財団） 山本 知生
上右：香川大学 工学部 知能機械システム工学科 准教授 鈴木 孝明

微小なセンサやアクチュエータを集積したマイクロマシン（MEMS；Micro electro mechanical systems）は多くの分野への応用が期待されている。香川大学のマイクロマシン技術は国内外の学会で数々の表彰を受けるなど高いポテンシャルを有している。この技術を基にした「香川大学 ナノテクノロジー支援室」は、香川県で産学官の連携により策定された「かがわ健康関連製品開発地域構想」と連携して、マイクロマシン技術を用いた医療福祉への貢献、地域活性化、地元産業強化に取り組んでいる。この産学官連携、医工連携の取り組みは、国際総合展示会 nano tech 2013 において「日刊工業新聞社賞」を受賞するなど、研究水準の高さとともに高く評価されている。

本報告では、「ナノテクノロジープラットフォーム事業」と「かがわ健康関連製品開発地域」の取り組み内容とともに、香川大学、県内企業で研究開発が進むマイクロマシン技術を紹介する。



1. "四国らしさ"・"香川らしさ"

"四国らしさ"・"香川らしさ"とは何だろうか？ 日本国内の面積・人口・経済のいずれで比べても、四

国は非常に小さな存在であるが、違った視点でとらえると、"らしさ"が見えてくる [1]。四国は、面積では 18,791km²（日本全体の 5%）であり、世界の中ではクエート、イスラエル、スロベニアなどと近い。人口では 404 万人（日本全体の 3%）であり、北欧諸国やシンガポールなどと近い。また、GDP では 1,174 億ドル（日本全体の 3%）であり、東欧諸国やシンガポールなどと近い。日本の中では非常に小さな存在であるが、世界と比べると意外と存在感がある。

このような四国には「100 社を超すシェア世界一・日本一企業」が立地されており [2]、こうした多数の企業の存在が"四国らしさ"の一つとして挙げられている。また、それらの企業のほとんどは中堅・中小企業であり、かつ、特徴的なニーズを手掛けるニッチトップ企業といえる。巨大市場から離れている状況が独自進化を促し、徹底的な顧客志向のものづくりと蓄積された技術でトップの地位を切り開いている。国立大学法人が地域と連携して行うべきことは、四国のニッチトップ企業に倣い、企業ニーズを深く洞察し、大学が進める先端的研究開発を活かした、四国らしい"おもてなし"をつくした最先端の支援だろう。



2. 四国で唯一のナノテク研究支援機関： 香川大学

2.1 香川大学工学部

香川大学は、1949年、2つの学部から開学した。ひとつは香川師範学校・香川青年師範学校が母体の学芸学部（1966年、教育学部に改称）であり、もうひとつは、戦前、四国唯一の官立高商として多くの政財界人を輩出した高松経済専門学校が母体の経済学部である。その後、農学部（1955年）、法学部（1981年）、工学部（1997年）を新設し、さらに21世紀に入って香川医科大学と統合し医学部（2003年）を増設した。1997年に新設された工学部は国立大学としては最後発であるが、教授陣には企業出身の研究者が多く、産学協同の意識が高い。工学部は、香川県が旧高松空港跡地に整備した高松市南部の広大な「香川インテリジェントパーク」に設置されており、ここには県立図書館や大型イベント会場である「サンメッセ香川」のほか、産業技術総合研究所四国センター、香川産業頭脳化センターなどが集積しており、高速道路のICにも近い。県内の各都市からは車で1時間以内、空港からは30分という立地であり、また、徳島、高知、愛媛からもそれぞれ1.5、2、2.5時間の範囲内にあり、四国近県、および、東京からのアクセスも良く、四国唯一のナノテク研究拠点として理想的な研究環境である。

2.2 香川大学のナノテク研究

香川大学では、微細構造デバイス等の分野で最先端の研究が行われている。ものづくりの高付加価値化への貢献が大いに期待されている基盤技術であるMEMS技術については、香川県が整備した香川県科学技術研究センター（FROM香川）を拠点として（図1）、マイクロデバイス分野の研究開発を進めており、2005年4月には、「微細構

造デバイス統合研究センター」を設置し、MEMS技術に関する総合的な研究開発の拠点機能を強化した。さらに、2011年2月には、工学部に総合研究棟が新設され、クリーンルームや光学実験室などの新規施設内に、電子線描画装置やナノインプリント装置など、ナノスケールの先端デバイス研究に必要な研究設備が導入されている。2012年6月に採択された文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 [3] に関係するスタッフの研究専門分野は、主にマイクロ・ナノ加工技術、光学技術、バイオ技術、マイクロマシン技術、先端半導体デバイス技術分野を網羅している。また、それぞれの専門分野における第一線の学術論文誌や国際会議における論文発表、学術賞受賞、ならびに学会部門や学術会議の運営委員など、活発な研究活動を行っている。この様に、多方面における活動を通じて、プラットフォーム運営に関わるスタッフは、各分野の研究で深い知識を有するとともに、最先端水準の研究ニーズ・シーズや最新の専門知識を常に掌握しており、設備の提供と併せて、プラットフォームを活用するユーザーに対する十分な研究支援体制を構築している。

また、香川県及び（公財）かがわ産業支援財団では、企業や大学がお互いの持つ優れた技術を連携しながら、IT、バイオ、医療などの幅広い分野の産業へ展開することをめざして、2005年4月に「微細構造デバイス研究開発フォーラム」を結成して、人的ネットワークの形成を図っている。また、四国経済産業局は、もの作りと健康・バイオ分野をターゲットとする「四国テクノブリッジ計画」を策定し、香川大学工学部を中心とする産学連携拠点を「微細構造加工デバイスクラスター」と位置付け、香川県と連携しつつ、研究開発や販路開拓等を重点的に支援している。今後は、香川大学のMEMS技術等を、地元の主要産業である機械・金属系産業、基礎素材型産業、食料品関連産業をつなぐキーテクノロジーとしてさらに広く普及し、様々な分野の企業の技術の高度化、製品の高付加価値化を図ることが、ものづくり産業の発展、引いては地域経済の継続的な成長の鍵になる。



図1 利用者の活気みなぎるクリーンルーム（FROM香川）



3. そして健康関連へ

3.1 かがわ健康関連製品開発地域構想

四国四県は日本全国に比べて高齢化が10年近く早く進んでいると言われている。図2に、総人口に占める老年人口の割合の経年変化を示す[4]。老年人口とは65歳以上の人口を言う。四国四県の平均では2000年にはすでに65歳以上人口の割合が21%を超えており超高齢社会に移行しており、香川県もほぼ同等の数値を示している。一方、全国平均では2007年頃に65歳以上人口の割合が21%を超えて超高齢社会に移行している。

このように世界に先駆けて高齢化が進む我が国において医療・福祉などの健康関連産業は高い成長が見込まれている。香川県では健康関連分野での市場ニーズに応じた製品開発を行い新たな産業の創出を目指して産学官金の15機関*が「かがわ健康関連製品開発地域構想」を策定して2011年8月に「地域イノベーション戦略推進地域」(文部科学省、経済産業省、農林水産省共同事業)に選定された[5]。「かがわ健康関連製品開発地域構想」は、香川大学等の「医農工連携」研究開発により創出された高付加価値な健康関連製品を生み出す技術シーズを成長市場である健康関連分野における製品化・事業化へ展開するものである。この産学連携での研究開発を加速するために、県内研究開発施設および2009年度JST地域産学官共同研究拠点整備事業(構想支援地域)で採択された「医工情報領域融合による新産業創出拠点」を活用する。さらに、「かがわ健康関連製品開発フォーラム」と「微細構造デバイス研究開発フォーラム」はシンポジウム・各種セミナー等の開催等を通じて人的ネットワークを構築して企業等の技術シーズと医療福祉現場のニーズとのマッチング支援等を行い、県内企業の医療福祉機器産業への

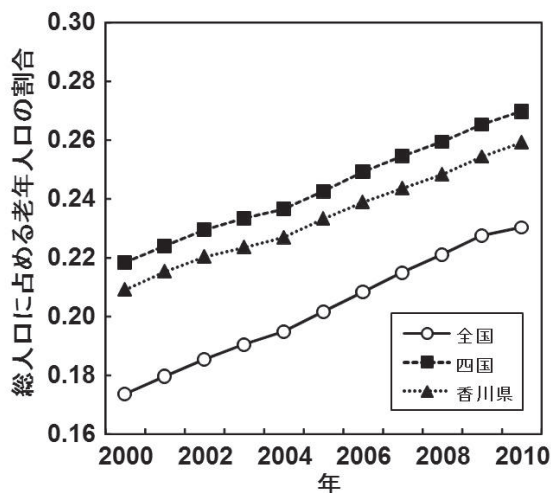


図2 総人口に占める老年人口(65歳以上)の割合の経年変化

参入を促進する。また、「21世紀源内ものづくり塾」は、香川大学が2008年10月に開設(文部科学省科学技術振興調整費・地域再生人材創出拠点の形成事業)した"ものづくり"人材育成システムをベースに健康関連分野を視野に入れ編成されており、健康関連分野における高機能な部材・デバイスや診断装置を開発できる人材を育成して県内企業の医療福祉機器産業への参入に貢献する。

*【構想の策定機関】 ①(社)香川経済同友会 ②香川大学 ③徳島文理大学 ④香川高等専門学校 ⑤(独)産業技術総合研究所四国センター ⑥(株)テクノネットワーク四国(四国TLO) ⑦香川県(保健医療大学、産業技術センターを含む。) ⑧高松市 ⑨三豊市 ⑩さぬき市 ⑪三木町 ⑫百十四銀行 ⑬香川銀行 ⑭高松信用金庫 ⑮(公財)かがわ産業支援財団

3.2 「かがわ健康関連製品開発地域構想」+「香川大学 ナノテクノロジー支援室」

上述のように「かがわ健康関連製品開発地域構想」は、「医工情報領域融合による新産業創出拠点」として整備された香川大学工学部と医学部の研究機器・設備を活用している。2011年3月に整備を完了して2012年度より事業を開始しており、導入された装置の地域企業との共同利用を通じて医工連携産学官連携拠点を形成することを目的としている。一方、2012年6月に文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業で採択された「香川大学 ナノテクノロジー支援室」は香川大学工学部、微細構造デバイス統合研究センターの研究機器・設備からなり、最新のマイクロ・ナノ加工技術・集積化技術を提供し先端デバイス開発・評価を支援することを目的としている。前者の「かがわ健康関連製品開発地域構想」は各種分光測定装置を中心とする物質材料の特性評価技術からデバイスの性能評価技術までを、後者の「香川大学 ナノテクノロジー支援室」は微細加工技術からマイクロマシン(MEMS)の作製技術までを基盤としている。このように、「かがわ健康関連製品開発地域構想」と「香川大学 ナノテクノロジー支援室」の連携(図3)による、材料、加工、デバイスに関係する一貫したナノテク関連装置群は全国屈指であり、香川県におけるマイクロマシンの医療福祉分野応用に向けた研究開発に貢献することが期待できる。

香川大学が実施してきたMEMS研究の地域活性化に関するこれらの取り組みは、2013年1月に東京ビッグサイトで開催された「第12回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議(nano tech 2013)」にて、「日刊工業新聞社賞」を受賞した(図4)。受賞理由は、「香川大学に設立されて15年目の工学部が最先端のMEMSを医療分野に活用するため医学部との共同研究を進める。MEMSの技術を使って医療への貢献、地域活性化、地元産業強化に力を入れている点を賞す。」であった。

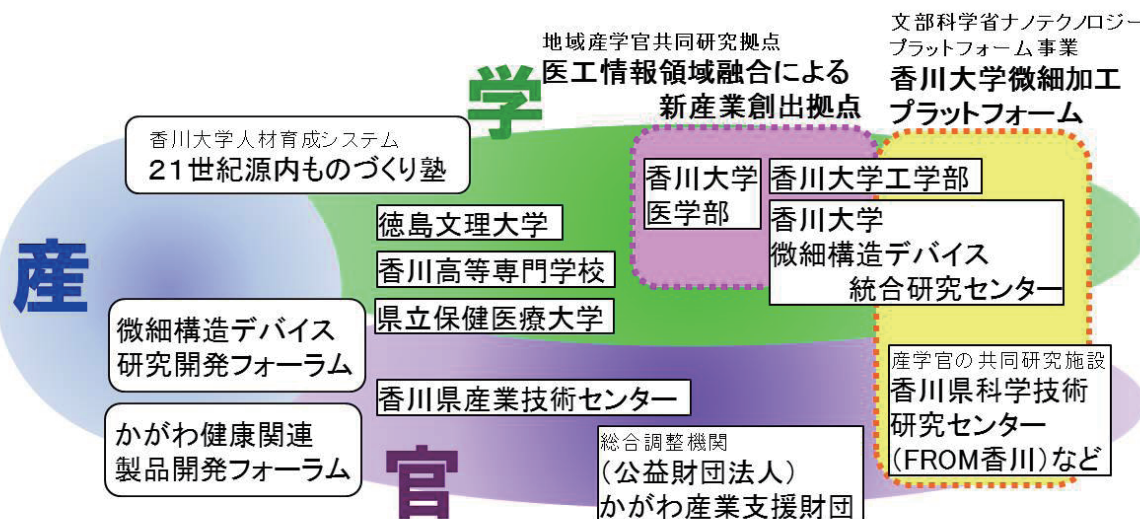


図3 かがわ健康関連製品開発地域構想



図4 nano tech 2013 受賞式の様子



4. MEMS to HEALTH, Kagawa

今後、四国でマイクロマシンをどのように医療福祉分野に展開するか？

この問いにマイクロマシンの製造という観点のみで答えることは難しい。四国四県には半導体プロセス設備、ナノ・マイクロ加工設備を有する企業は少ないからである。しかし、「マイクロマシンを使う」という観点でマイクロマシン周辺技術に視野を広げれば解は見えてくる。本章では「マイクロマシンを作る」から「マイクロマシンを使う」の過程において、香川県内企業のMEMSデバイスを紹介するとともに今後のMEMSデバイスの医療福祉分野への展開の可能性について述べる。

4.1 かがわ発 MEMS デバイス (1) ナノピンセットの挑戦

アオイ電子株式会社 [6] は、1969年設立の香川県高松市の企業である。電子部品製造会社としてスタートし、現在は半導体ICや半導体モジュールの後工程（パッケージング～電気特性テスト）やサーマルプリントヘッド等を主力製品としている。香川大学工学部が設立されたことを機に、MEMSの研究開発を始め、香川大学と密接な技術交流が続いている。

ナノテクノロジープラットフォーム事業開始前に実用化に成功した例としては、1～数十 μm のサイズのものをつかむことに特化した、静電アクチュエータで開閉するナノピンセットがある（図5）。半導体関連企業のマイクロサイズの物体をつかめるツールに対するニーズがナノピンセット開発のきっかけとなり、製品化構想から設計、試作、動作試験、装置への組み込み実験等を進め、試行錯誤しながら4年間かけて製品化された。アプリケーションとしては、半導体やディスプレイなどの歩留り向上を目的とした異物の除去、トナーや結晶などの材料の評価、細胞の搬送など幅広い分野がある。さらに、ナノピンセットに接触センサ機能を追加するデバイスの研究、開発に取り組み、実用化に成功している。ナノピンセットの先端を微小に振動させ、先端が物体に接触すると、物体との摩擦によって振動が変化する。これを検知することで接触を判定している。今後、自動機への搭載、工場内での使用という新たな市場へのアプローチが検討されている。

また、近年、カリウムイオンをドープすることで、アスペクト比10以上の櫛歯構造の側面にシリコン酸化膜からなる無機エレクトレットを形成し、それによって100Vを超える電位を持つ静電誘導型の振動発電素子を試作、発表した（図6）。この素子の作製プロセスの一部には、

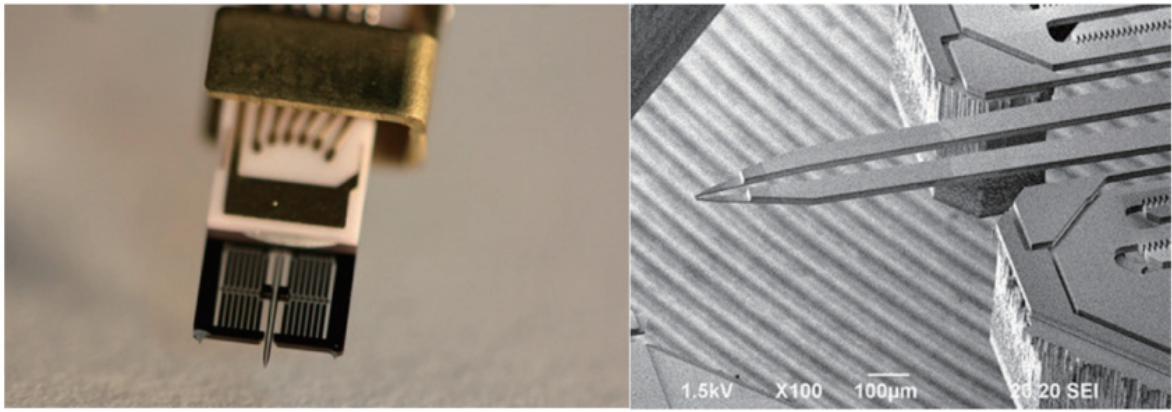


図5 ナノピンセット

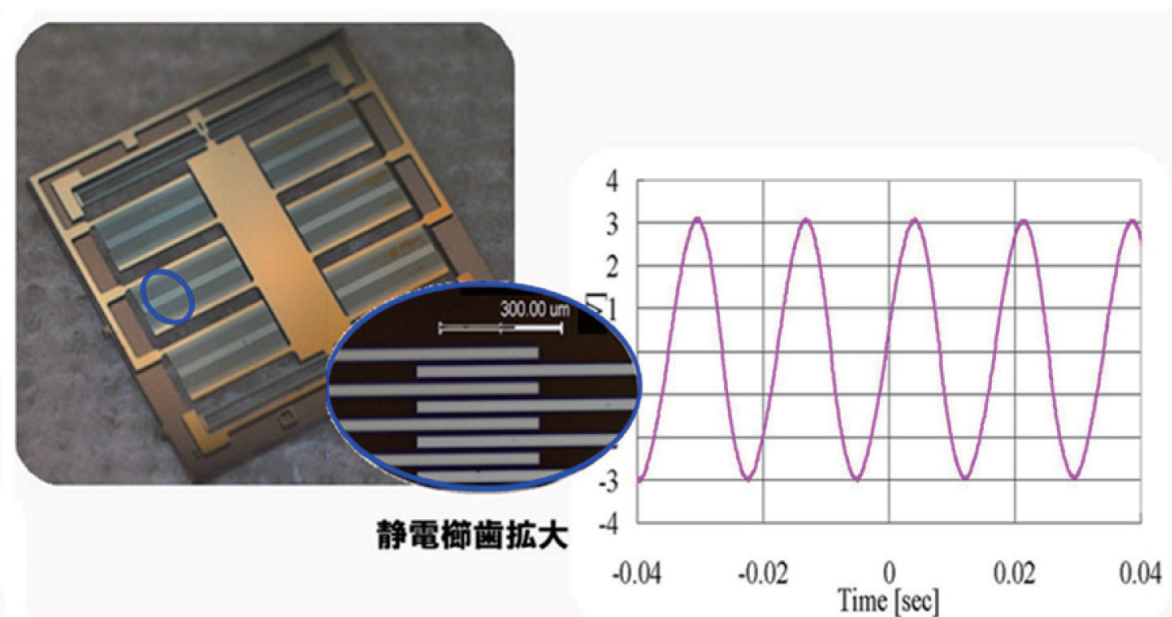


図6 振動発電素子

ナノテクノロジープラットフォーム事業の支援装置群が使用されている。振動発電素子は、エレクトレット酸化された櫛歯が振動することで、電荷が移動し発電する仕組みとなっており、人体に有害な物質を使用することなく発電することに成功している。さらにこの技術を応用することで、MEMS技術によって作製されたシリコン酸化膜エレクトレットをもつシリコン製三端子静電アクチュエータが、昇圧/降圧トランスとして機能することも確認している。一般に、AC電圧を変換するにはコイルによるトランスや、圧電素子が用いられるが、MEMS静電トランスによって、磁界への影響がなく、サイズが小さく、微弱な電圧から高電圧にまで昇圧可能なトランスを作成することができる。これらのデバイスは、人体に無害、無磁界であることから環境や健康、計測分野でのアプリケーションが考えられ、たとえば、手術室内での電子機器への組み込みなどの応用がある。

4.2 かがわ発 MEMS デバイス (2) 進化するバイオセンサ

株式会社レクザム [7] は香川県高松市に主力工場を持つ多様な製品群を擁する企業である。レクザムではコア事業であるエレクトロニクス技術に「メカ」、「光学」、「ソフトウェア」といった各種要素技術を組み合わせることで、幅広い開発事案に対して企画・設計から開発・各種認証試験といった様々な開発段階を、顧客のニーズに合わせてトータル的にサポートする開発力が評価されており、これが企業としての強みともなっている。

レクザムではOEM製品を中心に各種コントローラー、IHジャー、電子ポットといった生活に身近な製品から眼科医療機器、各種搬送用ロボット、スキーブーツといった高度な製造ノウハウを必要とする製品まで幅広い分野の製品の開発・製造を行なっている。このようなレクザ

ムの開発製品の中にも大学との産学協同開発成果が数多くあり、その一例として「超臨界洗浄・乾燥装置」(図7)を挙げることができる。

この超臨界洗浄・乾燥装置が「洗浄液の蒸発時に溶媒の表面張力で壊れやすい」という特徴を持ったMEMSデバイスの洗浄・乾燥に有用であることが香川大学との共同研究で得られた結果、現在の製品販売に生かされている。本装置を使用して作製したMEMSデバイスの一例では、2012年の電気学会のシンポジウムで最優秀技術論文賞を受賞している[8]。

また近年は香川大学との共同でバイオ関連機器の開発も行っており、その成果としてSPR(表面プラズモン共鳴)装置とエバネッセント蛍光検出装置などのバイオセンサを上市している(図8)。SPR装置の開発においては金チップ上に微細構造を配置する検討や、マイクロ流路のパターンニング検討でナノテクノロジープラットフォーム事業の支援設備が利用されている。現在もバイオ機器の新製品開発や付加価値向上を目指し、MEMSとバイオ技術の境界領域に位置する製品開発が積極的に展開されている。

4.3 マイクロマシンを"使う"

マイクロマシンの健康関連製品への応用例としてウェアラブルセンサを挙げて説明する。ウェアラブルセンサを用いたモニタリングシステムは在宅医療を推進・支援するシステムとして注目されている。ウェアラブルセンサは在宅患者、高齢者などの日常的な生体情報(バイタルサイン)、例えば脈拍や血圧、呼吸、血中の酸素飽和量などを検出する。そのデータを医療機関に送信すれば医師による診断に利用できる。また、ウェアラブルセンサはアスリートの運動時における生態情報をモニタリングしてデータを解析することもできる。

図9にウェアラブルセンサを例とするマイクロマシン周辺技術の概略図を示す。電気・電子回路技術はマイクロマシンの制御、信号処理に適用できる。マイクロマシンを駆動型マイクロミラーのように光学系に利用する場合には光回路、光学部品との統合が重要となる。マイクロマシン、電気・電子部品、光学部品を集積してデバイスとして製品化するためには微細加工部品を用いた実装技術も重要である。また、Bluetoothを介した無線通信、



図7 レクザムの超臨界洗浄装置の製品ラインナップ

SPR 装置

エバネッセント蛍光検出装置



図8 レクザムのバイオ機器の製品ラインナップ

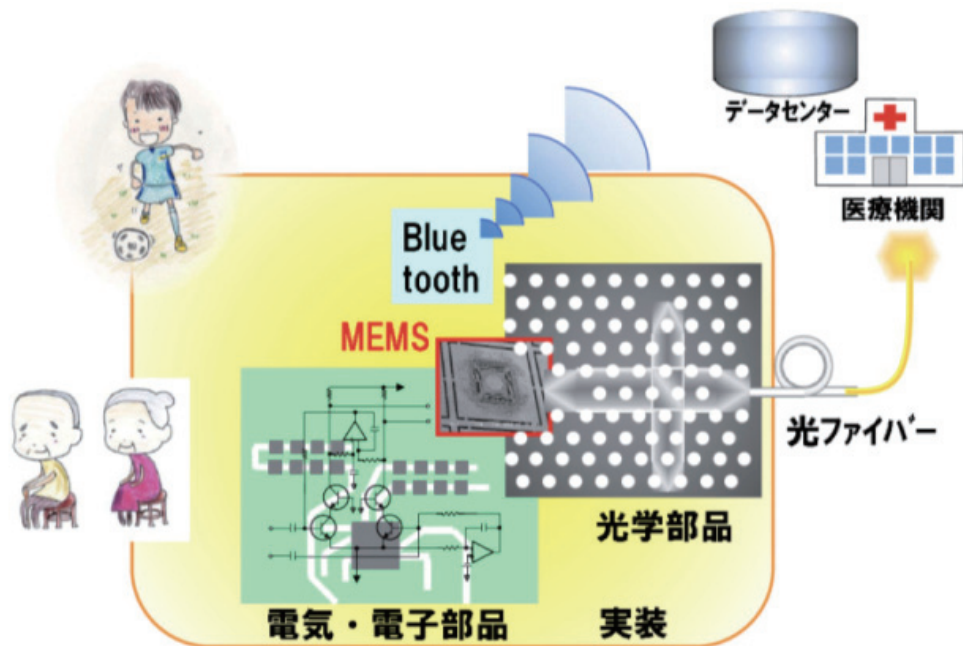


図9 ウェアラブルセンサを例とするマイクロマシン周辺技術

光ファイバを介したファイバ通信をベースとしたクラウドコンピューティングを活用できれば、データセンターやサーバ群を有するプロバイダー、ソフトウェア企業などのICT関連企業も参入できる。さらに、ウェアラブルセンサの衣服、シューズ等への装着では服飾関連企業、スポーツ用品メーカー等の参入も考えられる。このようにマイクロマシン周辺技術を視野に入れば、マイクロマシン製造だけでなく金属加工、プラスチック成形、電気・電子制御から服飾関係等まで多くの企業にマイクロマシンを用いた医療福祉分野への参入が期待できる。



5. "最先端のおもてなし" 香川大学 ナノテクノロジー支援室

「おもてなし」とは、四国において、お遍路さんを支援する昔ながらの風習である。したがって、四国で"ものづくり"に携わる以上、"おもてなし"の心を欠くことができないと信じる。香川大学 ナノテクノロジー支援室は、"おもてなし"の心をもって最先端装置の県内企業等との共用化を促進するとともに、将来の"ものづくり"に向けた人材育成にも取り組んでいる。

5.1 "うどん県"型ナノテク支援

これまで述べてきたように、グローバルな視点と四国経済の特徴を意識した支援の両立をめざし、ナノテクノロジープラットフォーム事業採択に合わせて、香川大学内にナノテクノロジー支援室を設置した。支援室では、

図10に示すような3つの支援形態と、技術相談の窓口を設置し、支援に当たっている。地域の企業・研究開発者に親近感を持ってもらい、活気ある情報交換の場とした。

5.2 ナノテク人材を育てる"源内ものづくり塾"

平賀源内を輩出した讃岐・香川で、地域に根ざした中堅・中小企業が、これからのグローバル競争を乗り越えていくためには、薬工、医工、画像処理・微細加工技術など異分野の技術を融合し、製品開発を進めることが生き残りのポイントである。香川大学では、次世代(地域)産業の創出を目指す地方自治体との共同事業「21世紀源内ものづくり塾」を通じた若手社会人の人材育成事業にも積極的に取り組んでおり、毎年10名程度の社会人卒業生を輩出していることから、ナノテクノロジー分野のシーズ先行型研究のみならず、各種業界における新しいニーズが牽引する異分野融合研究も年々増加している。単なる研究設備の利用にとどまらず、異分野専門家との技術相談や、その先にある共同研究へと発展する機会を多数設けてゆくことで、プラットフォームを通じた産学官の連携研究機能は大幅に強化される。

5.3 地域とともに

2013年3月7日、「人材育成と最先端設備共用に関する合同記念シンポジウム」を開催した。当日は香川リサーチパーク内にあるサンメッセ香川に130名の参加者が集まった。シンポジウムでは香川県知事の浜田恵造氏[9]、



図 10 「うどん県」型利用形態-「おもてなし」の心



図 11 記念シンポジウムの様子

文部科学省の永井室長殿から両事業に対して期待が寄せられた(図 11)。

香川県は県内産業における将来持続的な成長の指針となる産業成長戦略の策定を進めている。この中で、香川県はナノテクノロジー等の先端技術や基盤技術を活用して"ものづくり"分野を振興するとともに、産業の成長を支える人材の育成・確保に積極的に取り組んでいくものとしている。

国立大学法人の存在意義が地域における教育、研究の拠点にあることを鑑みれば、大学は最先端研究をもって、地域のものづくり産業の製品開発における付加価値向上に貢献する義務がある。しかしながら、地域企業を感じる最先端の研究に対する敷居の高さが、大学の研究成果(シーズ)を地域企業に展開する上で障害になっているとも言える。香川大学ナノテクノロジー支援室は、その敷居を下げるべく"おもてなしの心"をもって、装置共用・

技術提供による製品開発支援、地域のものづくり人材の育成、さらに先端医療・福祉への技術応用による安全安心な社会の構築に貢献するため、今後も益々努力する所存である。

参考文献

- [1] 経済産業省四国経済産業局 「四国らしさ」ってなんだろう？ノート
http://www.shikoku.meti.go.jp/soshiki/skh_a1/kouhou/5_houkoku/100426/100426.html
- [2] 日本政策投資銀行四国支店 調査レポート「進化する四国ニッチトップ企業」
- [3] 香川大学 ナノテクノロジー支援室
<http://www.kagawa-u.ac.jp/nanoplatform/>

- [4] 総務省統計局 統計データ「人口推計・長期時系列データ（平成12年～22年）」
- [5] 香川大学 地域イノベーション戦略推進地域「かがわ健康関連製品開発地域」
<http://www.kagawa-u.ac.jp/ccip/inno/>
- [6] アオイ電子株式会社
<http://www.aoi-electronics.co.jp/>
- [7] 株式会社レクザム
<http://www.rexxam.co.jp/>
- [8] MEMS技術を利用した高速DNAファイバ解析デバイスの開発, 電気学会論文誌 (E, 2013)
<http://dx.doi.org/10.1541/ieejsmas.133.139>
- [9] 香川県知事ブログ 平成25年3月11日
http://www.pref.kagawa.lg.jp/chiji/blog/25_3_11.shtml
- (香川大学工学部知能機械システム工学科准教授 鈴木孝明)



【お問い合わせ】

微細加工プラットフォーム

香川大学

☎ 087-864-2529

E-mail suzuki@eng.kagawa-u.ac.jp

ホームページ

<http://www.kagawa-u.ac.jp/nanoplatform/>