

先端研探検団Ⅱ #file 12

センサ社会の盲点を解決する

極小デバイス理工学
年吉 洋 教授

製造業のキーデバイスと注目されるMEMS。MEMSとはMicro Electro Mechanical Systemの略で、半導体製造技術やレーザー加工技術などの微細加工技術を応用した微小電気機械システムのこと。スマートフォンや自動車用部品のセンサなど、すでに身近な製品に組み込まれています。あらゆる製品がセンサを搭載しビッグデータが社会を変えると期待される今、言われてみれば納得の問題とその解決策とは？

■ センサの中にMEMSあり

スマートフォンの向きを縦から横に90度回転させると画面がクルリ。全長数mm、各部品はμmのミクロの機械「MEMS」がこの技術を支えている。一見PCのICチップと似ているが、機械自体が動くことが大きな違いだ。「MEMS」には、カバンの中でも計測できる万歩計や、自分の動きが反映されるゲーム機のコントローラーのように物理的な動

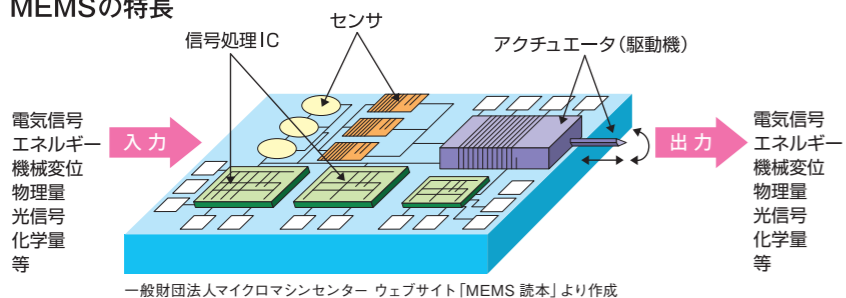
きを信号に変えるセンサ系と、レジのスカナ、シネコンのデジタル映画プロジェクタのように、電気信号を物理的な動きに変えるアクチュエータ系がありますが、いずれも信号 ↔ 動きの変換という特長があります。

話題のビッグデータをいかに集めるかは、センサにかかっているといっても過言ではない。腕時計なのに運動や健康データを記録し、SNSなどのネットワークとつながるスマー

「MEMS」が製品の付加価値を高める

半導体は電気の流れを小さくする電気回路で、固定された基板の電気信号のみを処理します。一方MEMSは、そこに動く構造を盛り付けたもの。様々な信号を処理できるため、製品に組み込むことで、優れた付加価値を生み出します。

MEMSの特長



半導体微細加工（一括加工）技術で作られるMEMSは、超小型、高精度、高品質な部品。1つの基盤にセンサや信号回路、アクチュエータなどを搭載できる3次元構造で、電気信号以外にもエネルギーや物理量など多様な入出力信号を伝えるため、最終製品に組み込むことで製品を高付加価値化できます。

フィジカル MEMS①



スマートフォンの「加速度センサ」

大きな「おもり」を梁などで支える構造。加速度によって「おもり」に発生する慣性力が構造を変形させ、その変形を検出する。

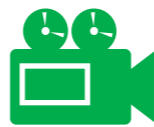
フィジカル MEMS②



自動車の「圧力センサ」

シリコンダイアグラムが圧力を受けたときの応力・変異を電気信号に変換し、圧力を計測する。エンジンの圧力測定などに搭載。

光 MEMS

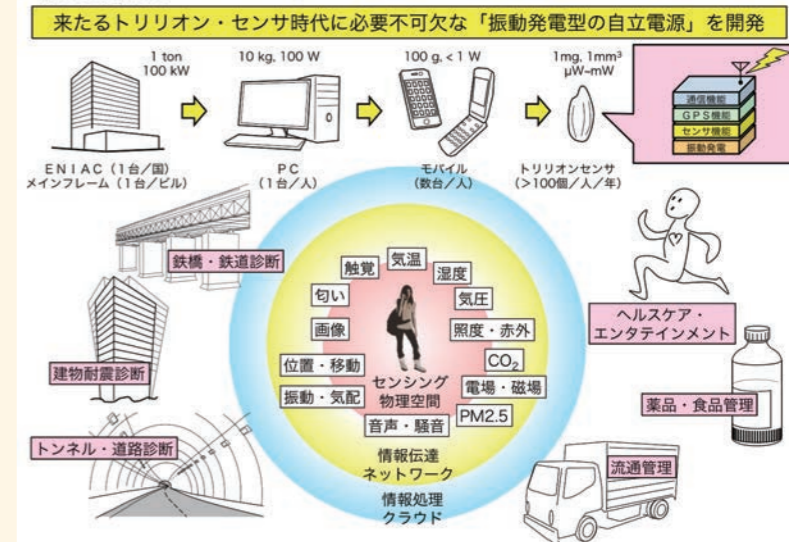


デジタル配信映画の「デジタルミラーデバイス」

ディスプレイ画像の画素に相当する部分をマイクロミラーで構成。ミラー反射光量を制御してディスプレイ画素の明るさを調節。

トウオッチのようなウェアブルデバイスから便利なスマート家電まで、モノが直にインターネットへつながる＝あらゆる場所にセンサが存在するInternet-of-Things (IoT) 社会が目前に迫っている。「一人1台のPCから一人数台のモバイル。次は一人100個のデバイスを持つ時代が来るかもしれません」と年吉教授。「テクノロジーが進化してデバイスのサイズも消費電力もどんどん小さくなり、米粒くらいの中にGPS、通信機能、センサ機能が入ると予測されています」。米国では全世界で使用されるセンサが10年後には100倍になると予測され、年間1兆個のセンサを活用する社会「トリリオンセンサー・ユニバース」への動きが本格化しているという。東京の面積と人口で計算すると1mに1個。「でもね、実は“電源”が問題なんですよ」。

研究開発コンセプト



▲トリリオンセンサ時代に米粒くらいのセンサが実現すれば、これまで欲しくても取れなかったデータが取得可能になり、多くの現場で活用できる。

■ もう充電はいらない

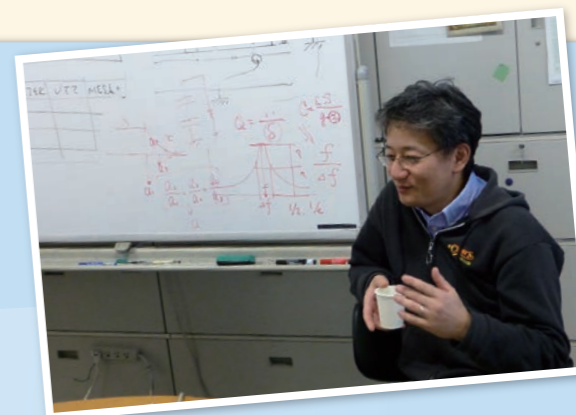
私たちが目にする情報は、テクノロジーによる新たな機器の開発や劇的に変化する社会に焦点が置かれているが…。「米粒くらいのデバイスに機能を入れることは技術的にはほぼできるとわかっています。唯一の課題は電源をどうするか。電源があればほぼ実現できるのに、まだ方法がわからない」。壁掛け時計ほどの大きさなら可能だが米粒になると難しい。そこで年吉教授が作るうとしているのが“発電するMEMS”。センサや通信機能を担うMEMS自体が発電すれば電源につなぐ必要はなくなる。「目標は乾電池と置き換えること。乾電池をガーンと振るだけで発電できて、しばらく使えたらうれしいですね？ 携帯電話も持っているだけで発電できる。充電不要！」。



▲ライブラリーのような年吉研究室。企業に所属する研究者も多く在籍する。みんな和気あいあいとした雰囲気。

教授の横顔

小さな頃になりたかった職業は、大工。「端材を正確に測って額を作ったら棟梁がスカウトに来た」という実績もある。大学院進学前の研究室見学でMEMS研究に出会い、今や大きな家ではなく極小のデバイスを作る研究者。「モノを作るという根本は同じだよ」と笑いながらも「自分の研究が最先端になる若い分野で自由にやりたかった」と語る。年吉研究室の運営方針は「放牧（笑）」だが、学生の傍らには企業研究者が机を並べ「マナーも自然と身に付いて、ありがたい」環境。実験でモノが動いた瞬間には、クリーンルームにいた全員が“原始人の収穫の舞”のような意味不明な踊りをしたとか。終始笑いの絶えない取材でした。



1996年3月東京大学工学系研究科博士課程修了。1996年4月東京大学生産技術研究所講師、2002年4月東京大学生産技術研究所助教授、2002年5月東京大学大規模集積システム設計教育センター助教授、2005年東京大学生産技術研究所マイクロメカトロニクス国際研究センター助教授を経て、2009年7月より現職。

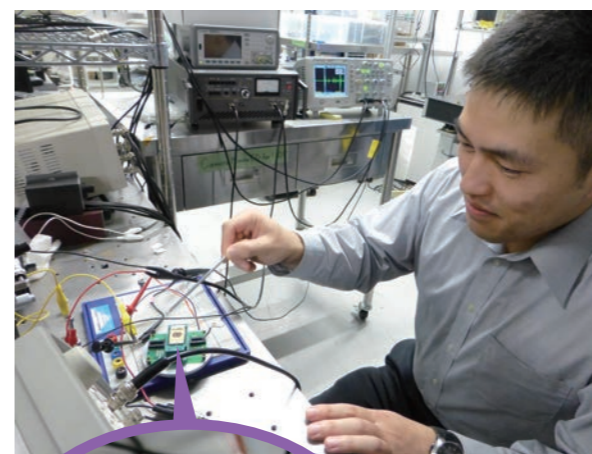
振動からエネルギーを作り出す技術は振動発電と呼ばれるが、多くはデバイスに広い面積が必要になる。「小さな面積に電極をたくさん刻み込めば面積が多数ある構造になり、極小のデバイスでも発電できる」と年吉教授は説明する。「すると弱い振動でも発電できるんですよ。エアコンの風とか、車が通ったすぐ脇の道路とか」。名付けて『環境振動』。日常生活で発生する些細な振動でMEMSが自己発電し、動くのだ。道路脇の振動は約数10Hz。この振動を拾いMEMSに埋め込んだ電極と電極の間で静電誘導を起こすと、相対的なズレによって電流が流れるという。「今、スマホに入っているGPSは10mWくらい消費しています。これは未来永劫の値ではなく、部品や機器が微細化すると消費電力は下がっていくんです。国際的な指針となるITRSのロードマップでは、MEMSがスマホの消費電力をまかなえるのは2040年。でも、待てないですよ（笑）」。

■ 2020年にはお目見え？

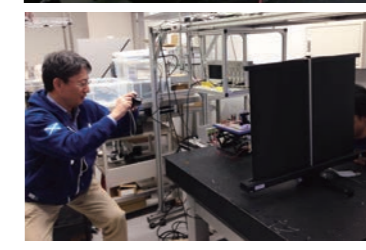
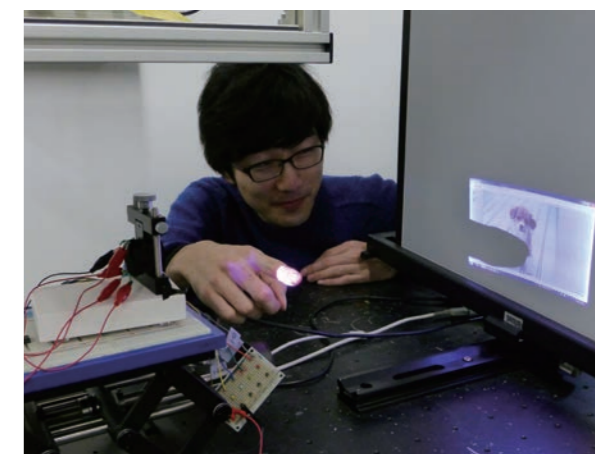
「橋の裏や線路脇にセンサを付けてインフラの修繕計画に活用したくても、電源供給の電線を引くのは難しいそうです。無人センサに電池を使う現状から環境振動のMEMSに変えれば、電線を引くことも人による点検や電池交換も不要になります」。

トリリオンセンサ時代は、建造物から道路、鉄道、街路樹からゴミ箱までセンサが取り付けられ、建築、交通、農業、医療などの情報がつながることで社会インフラや経済活動に役立つと期待されている。1個10mWのセンサが1兆個あると1,000万kWhの電力が必要となり、さらに通信やデータ処理の電力を加算すると、原子力発電所10基分の膨大な電力が必要になる。「米粒ほどのセンサにコネクタを差し込むのは無理。でも、米粒センサが電源をしょってあげればいいんです」。

年吉研究室のポリシーは“役に立つMEMSを作る”。「一円玉はちょうど1g。重力と同じ1Gで振動すると約2mWの発電。半分は取り出せるだろうから、1mWは発電できる」。課題となる取り出す技術の研究プロジェクトも動き出した。「最初に環境振動を考えたのは別の人ですよ。僕も最初は、マイクロワット？役に立つの？と思いました。でも自分でロードマップを引いてみたら、技術が向上しデバイスの消費電力が下がれば交点ができる。これは使えると思ったんです」と話す。夢はこうだ。「まずは、2020年東京オリンピックの頃までに十円玉くらいのセンサを作り、東京に来る人たちを驚かせたい。ふふふ。息の長い仕事、と言いつつ、とても楽しそうな表情で話す。「でも夢物語じゃないんです」。

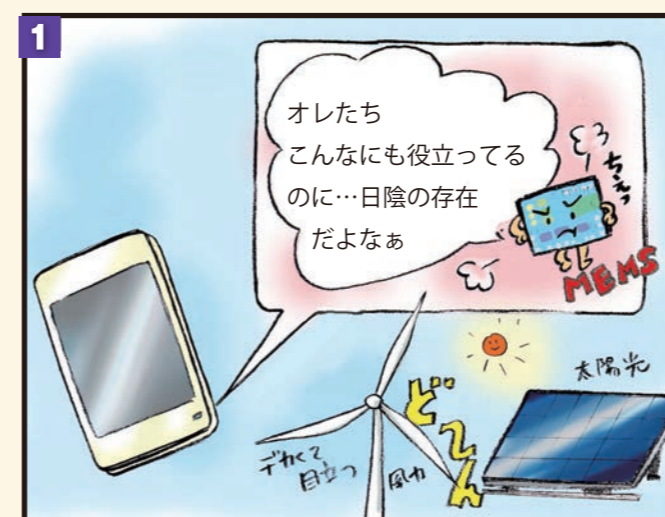


振動発電のデモ。振動させると、奥の計測器で発電量が測定される。目標は0.1Gで10mW。腕時計を動かすことができる電力の1,000倍。

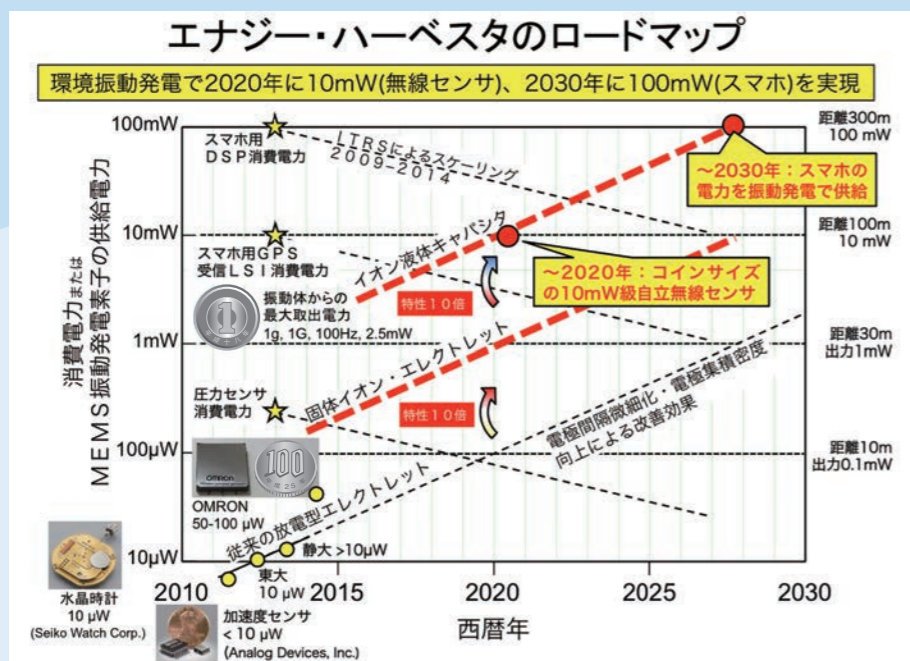


光スキャナを内蔵したスマートフォンサイズの画像ディスプレイ。指でサッと光を遮ると次のスライドに進む。実験室が暗くうまく撮影できない様子が見かねて、年吉教授が急遽カメラマンに変身。

ガンバレMEMS



そこが知りたい! デバイスのサイズも消費電力も小さく、MEMSの発電は大きくなる



国際半導体技術ロードマップに基づいて作成した、年吉教授オリジナルロードマップ。横軸が西暦、縦軸が消費電力と発電の電力。エレクトロニクスが微細化していくと消費電力は下がり、将来的にはMEMSの発電量との交点ができる。