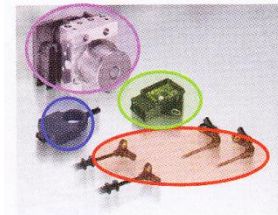


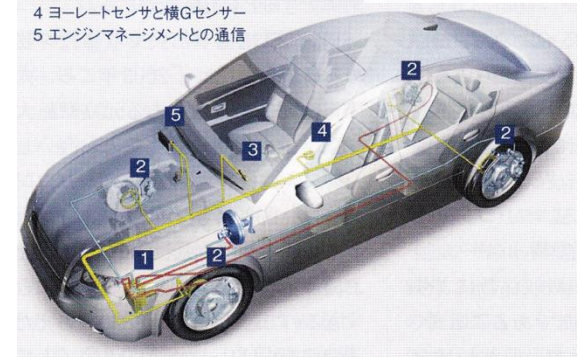
MEMS

マイクロ電子機械システム



- 車輪速センサー
- ステアリング舵角センサー
- ヨーレートセンサ&横Gセンサー
- 油圧ユニット&ECU

- 1 油圧ユニット(センサー内蔵)&制御ECU
- 2 車輪速センサー
- 3 ステアリング舵角センサー
- 4 ヨーレートセンサと横Gセンサー
- 5 エンジンマネージメントとの通信



自動車のESC(横滑り防止機構)ーボッシュ

MEMSとは

MEMS (Micro Electro Mechanical System/微小電気機械システム): LSIのような半導体製造プロセスやその他の超微細加工プロセスを利用して立体構造の成型・加工技術などを取り込んで作製する機械的と電気的な機能を併せ持った小型で多機能なユニット(例、機械的な力を検知して電気的な信号を発信する「**加速度センサー**」)。日本では「**マイクロマシン**」と呼ばれていた

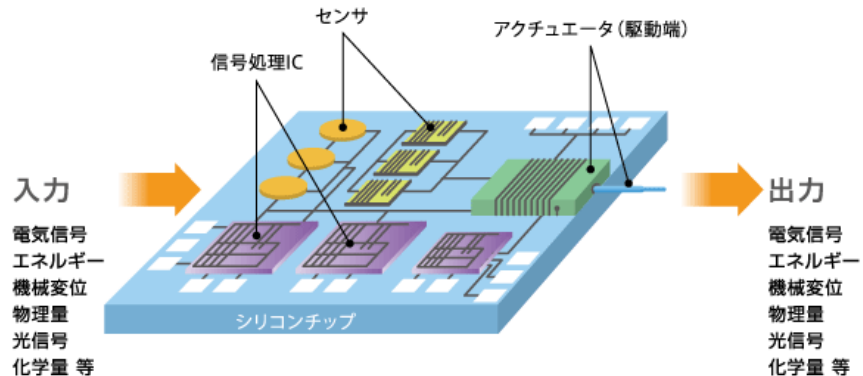
「環境・エネルギー」、「医療・福祉」、「安全・安心」分野での新しいライフスタイルを創出する革新的キーデバイスとしてその応用範囲を急速に広げている

- 半導体チップ** — 基板上に電子回路を作製する
- MEMS** — 基板上に立体構造を形成し、この部分が温度、圧力、光などを検出する

表36-1 MEMS製品の分類(マイクロマシンセンターによる)

MEMSデバイス	光MEMS	ミラー、スイッチ、スキャナ等
	RF MEMS	スイッチ、発信器、フィルタ等
	センサMEMS	加速度、角速度、圧力、ガス、温度等
	流体MEMS	マイクロ流路、マイクロリアクタ等
	アクチュエータMEMS	バルブ、ポンプ等
	パワーMEMS	燃料電池、小型発電機
	バイオ・化学MEMS	DNA/RNAチップ、化学物質検査等
	集積化MEMS	CMOS/LSA融合デバイス
MEMS応用	MEMS製品	マイクロフォン、ディスプレイ等
		微小ロボット、マイクロファクトリ、センサネットワーク
バイオ・医療関連		診断・治療用MEMS応用—DSS、ナノカプセル、DNA・RNAチップ、マイクロリアクタ、マイクロ流路 他

製品のほかに、製造関連装置、材料、微細加工、ファウンドリサービス、評価・計測・計測機器の分野がある



- 半導体加工技術を応用して、従来の機械加工の限界を超えた小型化が可能。
- LSIとの統合化により、高機能化、小型化が図れる。
- 大量生産による低コスト化が期待できる。

図36-1 MEMSの構成 (MEMS協議会)

代表的な開発・製品例:

- ・光通信で用いられる**光スイッチ用ミラーデバイス**
- ・原子力間顕微鏡に用いられる**カンチレバープローブ**
- ・自動車部品に用いられる**圧力センサ**、**加速度センサ**
- ・プリンタの**インクジェットヘッド**
- ・医療用の**DNAチップ**
- ・無線通信機器などに用いられる**RF MEMSスイッチ** (RF=Radio Frequency: 高周波)

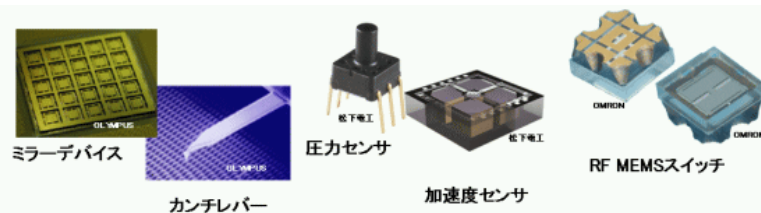


図36-2 各種のMEMSデバイス ④

MEMSセンサ

温度、力など種々の物理量を検出し、扱いやすい電気信号などに変換して出力する。検出は「**応力**」、「**変位**」、「**質量**」、「**温度**」など

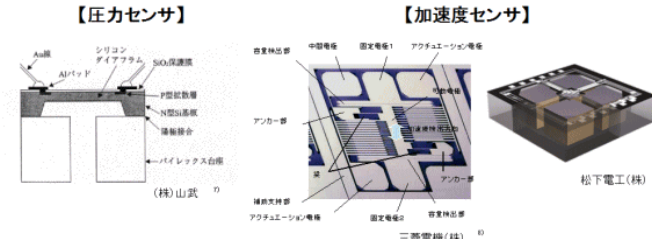
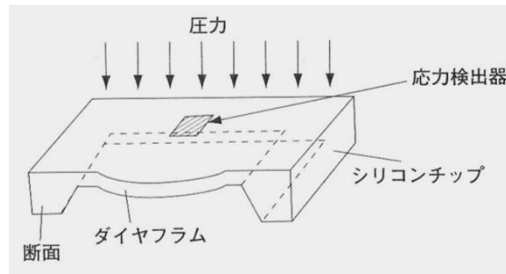
圧力センサ — ウェーハを薄く加工したダイヤモンドフラムで圧力を受けて発生する応力、変位を検出し、piezo抵抗などで電流に変換 — 圧力測定、圧力スイッチ、流量測定、気象計測、血圧計、自動車タイヤの空気圧モニタなど

加速度センサ — センサ内の錘が加速度によって発生する慣性力で支持構造を変形させ、piezo抵抗、容量、振動などの方式で検出する — 自動車エアバッグの衝撃検知、自動車・ロボットの姿勢制御、ゲーム機など

力センサ — 押し当てる力をpiezo抵抗で測定したり、レーザー光の偏光で測定 — 原子力顕微鏡(AFM)のプローブで被測定物の原子レベルの凹凸を測定、触覚センサ、指紋センサなども研究中

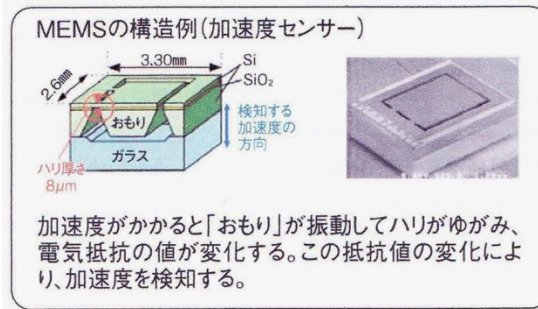
赤外線センサ — 素子に吸収された赤外線エネルギーの温度上昇による抵抗率変化を検知 — サーモグラフィなど

将来の可能性 — **音波センサ**、**位置センサ**、**磁気センサ**、**化学センサ**、**ガスセンサ**、**温度センサ**など



自動車用、血圧計、気圧計、ガス圧計、など
自動車用、携帯電話、HDD、アミューズメント、など

図36-3 圧力センサ ①、④



資料：各種資料を基に経済産業省作成



図36-4 加速度センサ ③

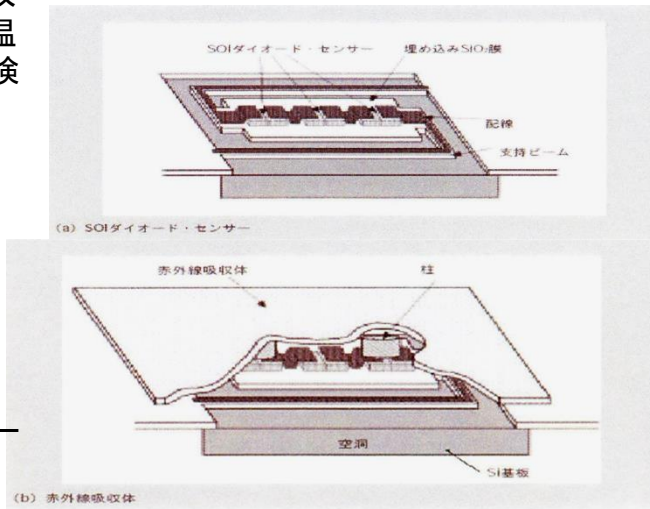


図36-6 赤外線イメージセンサ ⑤

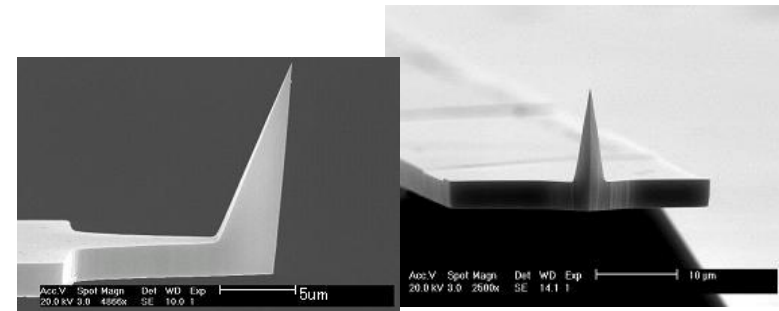


図36-5 AFMプローブ (日本MEMS株式会社)

MEMSアクチュエータ

電流・電圧等の電気的な入力を機械的な変形・運動に変換して出力する。MEMSではセンサの逆の作用。駆動原理で、静電、圧電、電磁、熱、光、毛管力、化学反応のアクチュエータなどに分類される

表36-2 各種アクチュエータの特性

	静電	圧電	電磁	光
発生力	△	◎	○	◎
応答速度	◎	○	○	△
消費電力	◎	○	○	△
低電圧駆動	△	○	○	◎
整合性	◎	△	○	○

表36-3 用例

静電型	携帯電話アンテナ切替スイッチ、DMD、時計
圧電型	磁気ディスクヘッド、光スキャナ角度制御
電磁型	光スキャナ
熱型	インクジェットプリンタヘッド

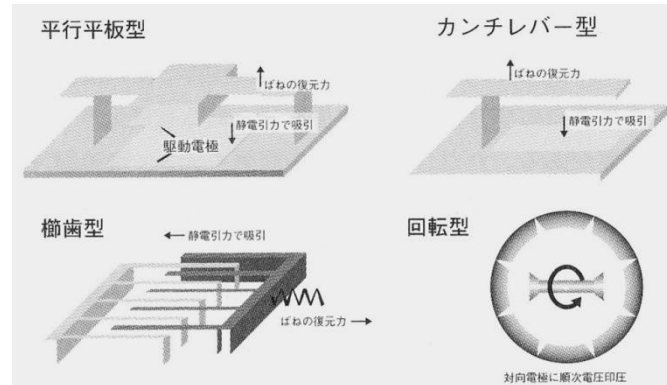


図36-7 静電アクチュエータの例 ①

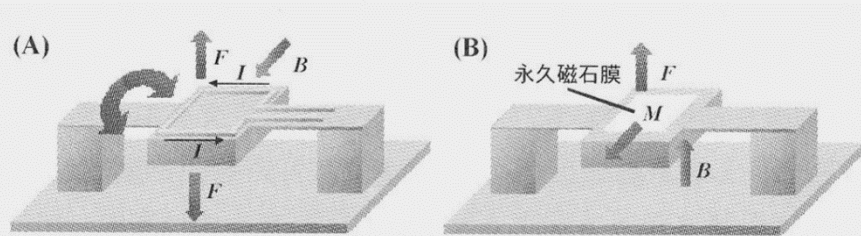


図36-9 電磁アクチュエータの構造 ①

(A)図はマイクロ構造体にコイルを仕込んだもの。(B)図は代わりに永久磁石の薄膜を作りこんだ構造

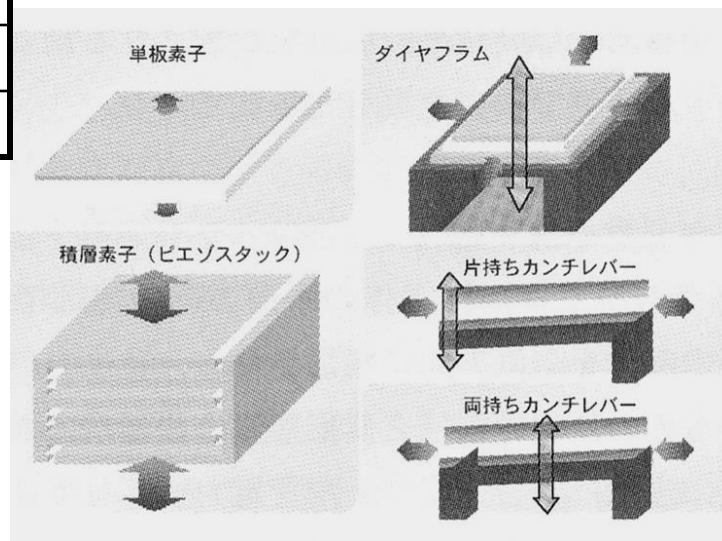


図36-8 圧電アクチュエータの構造 ①



図36-10 ミラースキャナ(光MEMS)

レーザスキャナ: MEMS加工技術による小型軽量化の電磁駆動型1次元レーザスキャナは、走査型共焦点レーザ顕微鏡に搭載 (オリンパス)

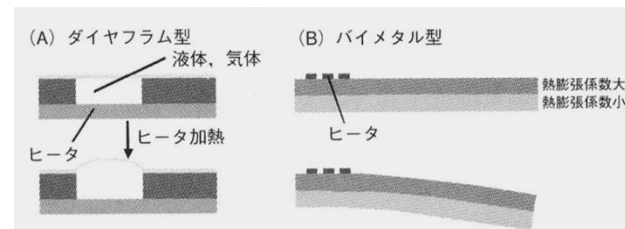


図36-11 熱アクチュエータの構造 ①

製造技術

MEMSプロセス (製造技術)

バルクマイクロ加工 - 成膜した膜と基板自体をエッチング
 表面マイクロ加工 - 成膜した膜のみをエッチング

MEMSプロセスの流れ(基本的には半導体製造プロセスと同一)。
 - 成膜、リソグラフィ、エッチングを繰り返した後、自立構造のリリースのためのリソグラフィ、エッチングをして自立構造を形成する「リリース」の工程が入る

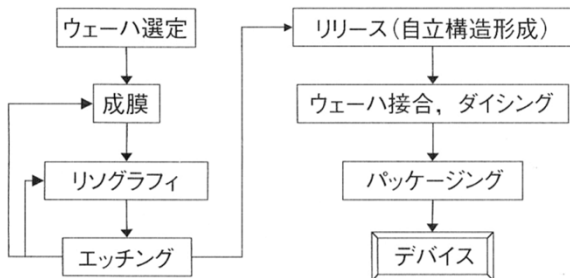
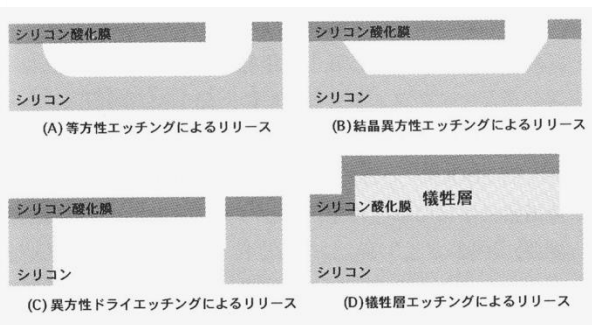


図36-14 MEMSプロセスの流れ ①



(A)~(C)はバルクマイクロ加工、(D)は表面マイクロ加工による「リリース」

図36-15 リリース工程(カンチレバー作製の例) ①

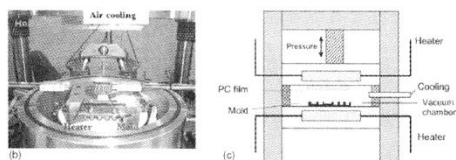
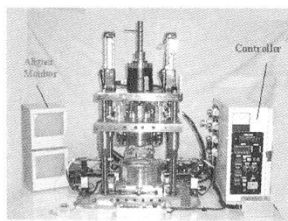


図36-16 ホットエンボス加工 ①

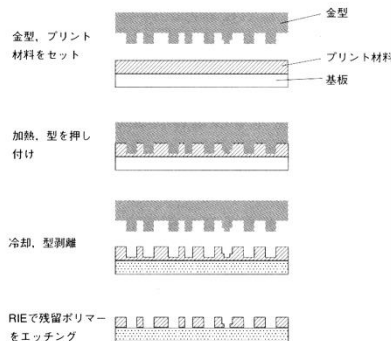


図36-17 ナノインプリントプロセス ①

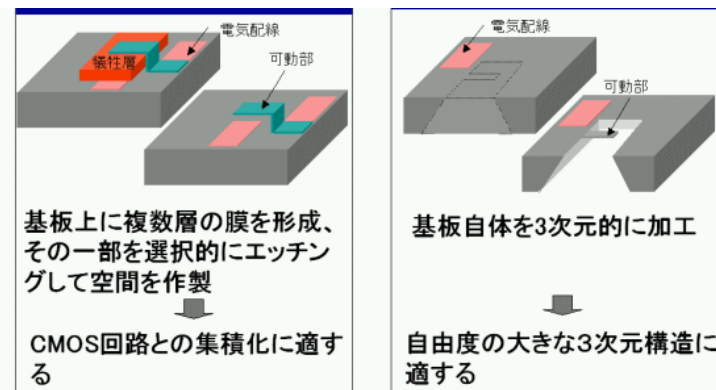


図36-12 表面マイクロ加工(左)とバルクマイクロ加工(右) ④

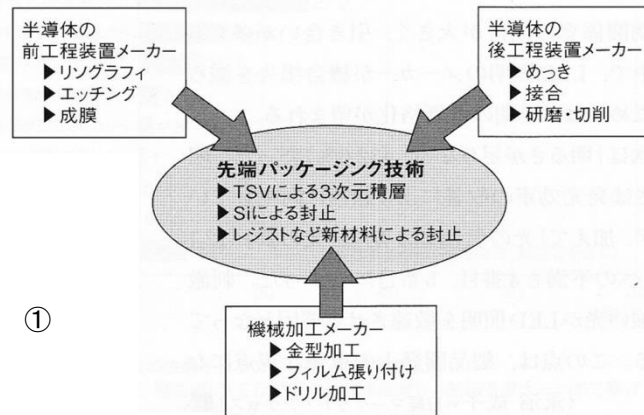


図36-13 先端パッケージング技術 ⑦

微細成形技術 - 型の微細形状を目的の材料に転写させてMEMSデバイスを作成する技術

1. 射出成形: 熱可塑性樹脂を金型に注入
2. ホットエンボス: 凸凹の型に加熱した樹脂を押し付けて型の形に転写(CDの浮き出し文字)
3. ナノインプリント: ナノオーダの微細は凹凸の型を被加工材料に押し付けて成形

各種デバイス

MEMSの応用分野—特に**通信、自動車、医療・バイオ、ロボット、民生機器、航空宇宙、福祉**など。小型、高精度、省エネルギーに優れる→高付加価値化、国際競争力強化、新産業創出(異分野融合など)

光MEMS:光通信網に導入して、小型、高性能の光スイッチが実現し、省スペース、省エネルギー、低コスト化を実現。高度情報通信社会での高速化、信頼性向上に期待

RF MEMS:基板上で機械的動作可能な構造を実現したMEMS技術をマイクロ波・ミリ波帯で使用される無線通信用部品に応用したもの。低損失、高品質のスイッチ、バラクタ等の部品が開発されている。(注:バラクタ=可変容量コンデンサの1つで、TV受像機、携帯電話器に欠かせない部品)

マイクロアクチュエータ:固定電極と可動電極の間の電位差により生じる静電気力を駆動源として可動電極を動かす。
適用例—ハードディスクヘッドの精密位置決め

マイクロ流体チップ、 μ TAS:半導体微細加工技術を利用してガラスやプラスチックの基板上に微小な溝のネットワークを作製し、バイオ・医療・環境・化学などでの操作や検出を1枚のチップ上に集積、小型化したもの。日立製作所、島津製作所、米アジレント社などにより市販。欧州では μ TAS (Micro Total Analysis System)、米国ではLab-on-a Chipと呼ぶ

エネルギー分野:光、熱、振動、生体物質等周辺環境からエネルギーを吸収し、蓄電する小型デバイスが、エネルギー変換効率の向上と実効表面積の向上の両立によって実現。未利用エネルギーの有効利用が可能。(エネルギーハーベスティングという)

環境分野:自動車、湯沸かし器などから排出されるCO₂、NO_x、SO_xなどを発生源に近い場所で固定する小型デバイスの実現が期待される。水質では上水を使用後に中水に浄化するデバイス、極微量の環境汚染物質をオンサイトで検出する小型デバイスも期待

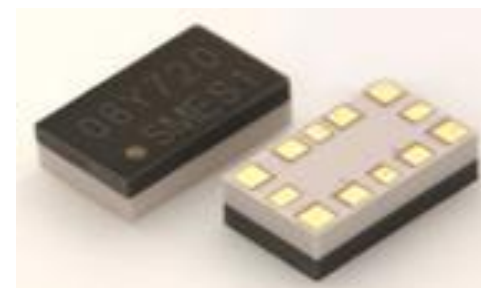
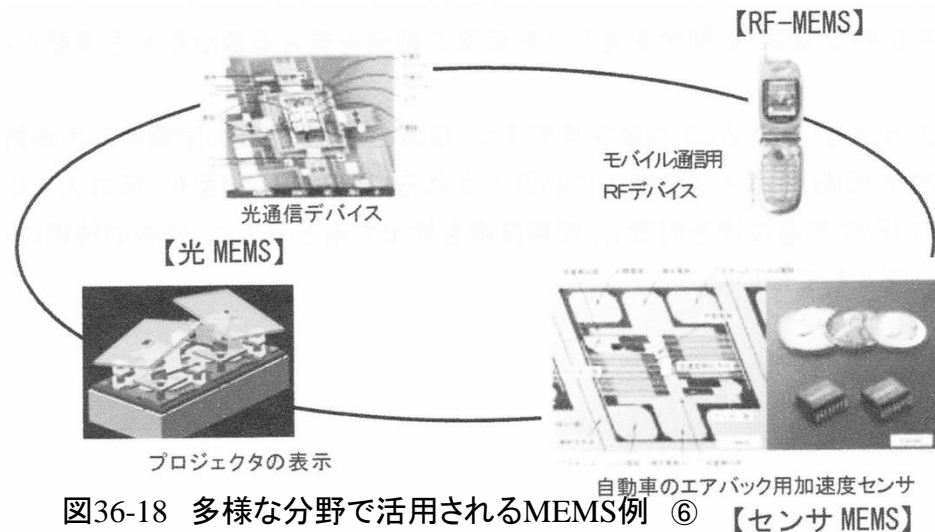


図36-19 RF MEMSスイッチ(オムロン)



図36-20 電極付きチップ加工例
(協同インターナショナル)

情報通信機器

携帯電話分野のMEMS: **シリコンマイク**、**周波数制御向けのMEMS発信器**、**MEMSディスプレイ**などが実用化され始めている

携帯電話機等モバイル機器の高周波部品がRF-MEMSに置き換わることにより、省電力、省スペース、高機能化が図られる。—**RFアンテナ**、**RFスイッチ**、**RF共振子**、**RFコンデンサ**、**チューナ・フィルタ**、**指向性マイク**等

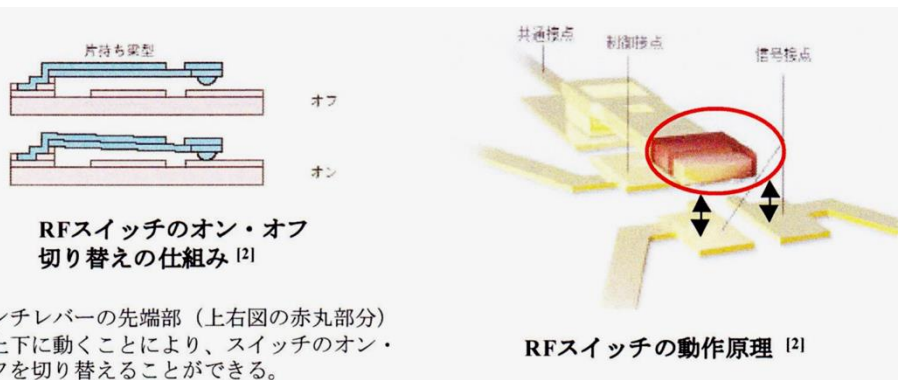


図36-22 RFスイッチの作動原理 ⑤

MEMSマイクロフォン—小型のMEMSマイクロフォンにより、極薄パッケージ(1.10mm)を実現。携帯端末、デジタルカメラ、ノートPC、PDA等に適用。従来のECM(Electronic Condenser Microphone)に代わってMEMSデバイスのSiマイクが使われるようになってきた

一般にLSIでは放熱性能の面でパッケージングによるメリットは少ない。MEMSデバイスでは音、熱、光、力など電子信号以外の物理量を扱うことからパッケージングの役割は重要。ホシデンはドイツ企業とMEMSマイクを共同開発

光スイッチ—光通信網の中継点で光信号の経路を変える素子で、次世代ネットワークの基幹系に搭載。省スペース、省エネルギーを達成。メカニカル型、平面導波路型、2次元/3次元ミラー型、バブル型などがある

MEMS用ソケット—半導体用ソケットでは接触安定性、耐久性、センサの出力信号を正確に測定するうえで必要な水平度、パッケージの固定化が求められる。エム・アイ・エス・テクノロジー社が展開中（半導体新聞2008.2.27）



図36-21 携帯電話分野での用途と参入企業 ②



図36-23 MEMSマイクロフォン(オムロン)

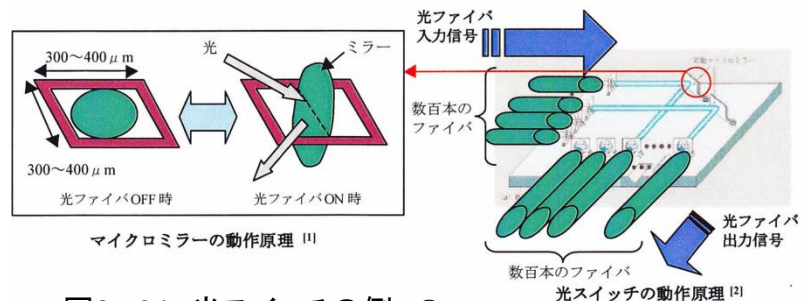
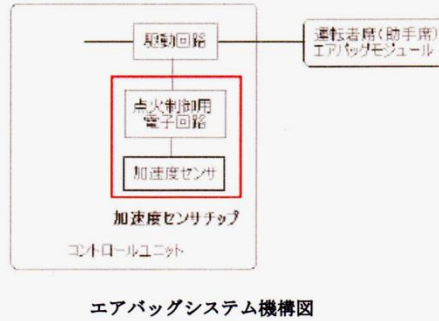
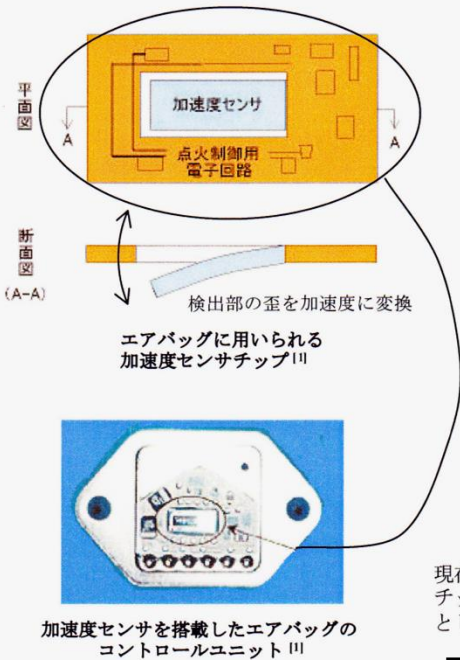


図36-24 光スイッチの例 ⑤

自動車

自動車の電子デバイスの活用ではマイコン、LED、パワー半導体と共に各種MEMSセンシングデバイスが普及



センサ制御機能 } 一体化 → 高精度化・高応答性

現在のエアバッグ用加速度センサは、チップの大きさが約2.0mm角、デバイスとして15mm角にまで小型化されている。

図36-26 エアバッグシステムの例 ⑤



注) TPMS=タイヤ圧モニタリングシステム

図36-25 自動車分野での用途と参入企業 ②

表36-4 自動車関連MEMSメーカー

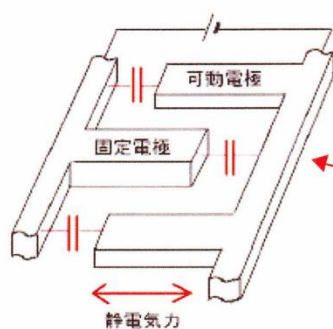
MEMSメーカー	生產品目(センサ種類)	適用
ボッシュ	加速度、ジャイロ、圧力、ヨーレート	ECUユニット、エアバッグ
アナログ・デバイス	加速度、ジャイロ	エアバッグ
フリースケール・セミコンダクタ	加速度、ジャイロ	エアバッグ
インフィニオンテクノロジーズ	圧力、ジャイロ、磁気	TPMS
デンソー	加速度、圧力など	各種
STマイクロエレクトロニクス	加速度、ジャイロ	カーナビ、ECU

MEMSセンサは自動車単価の5%を占める(2015年頃20%と予想)

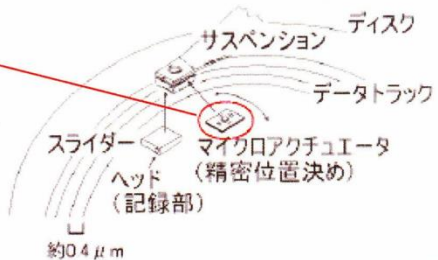
注) ECU=Engine Control Unit

民生用電子機器

ノートPCのHDDの衝撃保護用、デジカメ手ブレ補正用、インクジェットプリンタヘッド、ゲーム機(PS3、Wii)などに3軸加速度センサ、ジャイロセンサの搭載が進んでいる



- ・ハードディスクのヘッドの精密位置決めを行うアクチュエータにMEMSが用いられている。
- ・これにより、データトラック幅約 $0.4\mu\text{m}$ (2,800トラック/mm)ごとに対応してヘッドの向きを微調整している。
- ・将来は光ディスクのヘッドへの応用が期待されている。



磁気ディスクヘッドのイメージ [1]

可動電極と固定電極間の電位差により生じる静電気力を駆動源とし、可動電極が左右に運動する。

マイクロアクチュエータの駆動原理

図36-28 ハードディスクドライブのヘッド用アクチュエータ ⑤

図36-27 ノートPC分野の参入企業 ②

- HDD落下検知用途…
加速度センサー
・アナログデバイス
・STマイクロエレクトロニクス
・カイオニクス
・北陸電気工業など

- 集音用途…Siマイクロフォン
・ノルズ
・オムロン
・ヤマハ
・ホシデン×インフィニオンなど

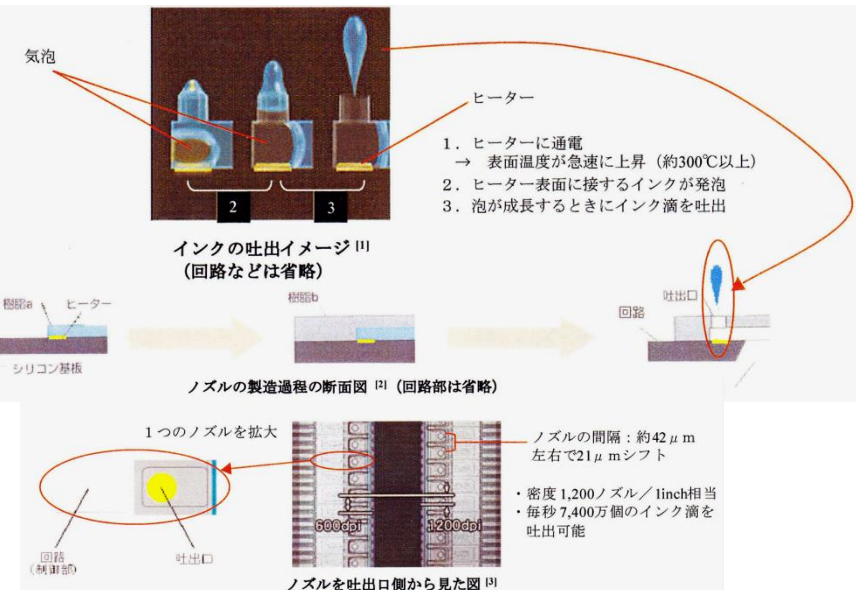


図36-29 インクジェットプリンタヘッドのMEMSアクチュエータ ⑤

【PS3】
モーションコントロール用途
…加速度センサー
・アナログ・デバイス
・カイオニクス
・フリースケール
・北陸電気工業など

国内推定累計販売台数

PS3	203万6668台 (06/11/11発売)
Wii	583万3572台 (06/12/2発売)

(エンターブレイン調べ
集計期間: 発売日~08年4月20日)

【Wii】
モーションコントロール用途
…加速度センサー
・アナログ・デバイス
・STマイクロエレクトロニクス
・北陸電気工業など

図36-30 ゲーム機分野での用途と参入企業 ②

医療・バイオ

MEMS技術による、バイオテクノロジー分野への実用化の動きが活発化。対象はDNAチップ、タンパク質チップなど診断用途での事業化。アメリカの食品医薬品局主導の官民共同プロジェクトが先行し、日本の開発は遅れている

経済産業省技術戦略マップ2009ではDNAチップを主体にナノバイオ、生体材料、生体分子、生体親和性、生体適合性、タンパク質チップなどの技術開発を基盤として、創薬、診断・治療機器、再生医療、生物機能活用、がん対策などの進展を見込む

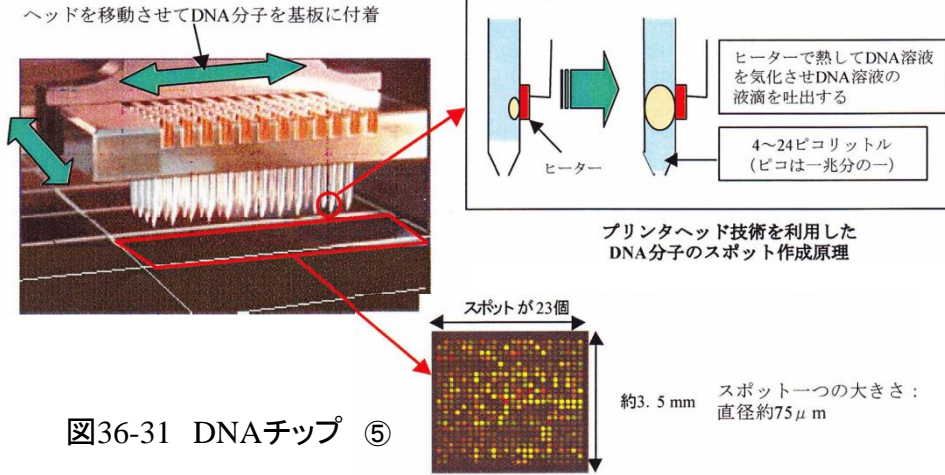


図36-31 DNAチップ ⑤

DNAチップのサイズの一例 [2]

表36-6 10年後、20年後のバイオMEMSのイメージ(技術戦略マップ)

10年後	携帯可能な小型の生体成分検査キット・バイオセンサを用いたウェアラブルMEMSデバイス。病院外(在宅など)の診断や予防医療が普及。化学的・バイオ的表面修飾技術、ナノインプリント、MEMSをプラットフォームとした細胞・生体高分子の研究用デバイス、生体適合性材料の技術が重要
20年後	体内局所に長期間留置可能な超小型デバイスの実現ーデバイス周辺の血糖値や温度、圧力など24hモニタリング可能生体分子や細胞などが融合したハイブリッドなデバイスの実現ー生体情報、環境情報を高速・高感度に検知。シート型健康管理デバイスー体表面に貼り付け、組織表層および内部の情報をセンシング、投薬操作、傷口の治療促進

表36-5 バイオMEMS関連メーカ

東芝+第一化学薬品	電流検出方式のDNAチップを開発。子宮頸がんの原因ウイルスを型判別する体外診断薬の事業化を目指す
NEC	タンパク質分離チップの実用化を検討。バイオマーカー探索ツールや診断支援ツールとしての普及を促進
大日本印刷+東京大学	マイクロ流路チップを開発。試作・量産サービスの展開を検討
東レ+DNAチップ研究所	と共同で診断用途で樹脂製DNAチップを展開。従来比100倍の超高感度化を達成
STマイクロエレクトロニクス	微細加工技術を応用して、インフルエンザ分子を高速検出できるラボ・オン・チップを商品化

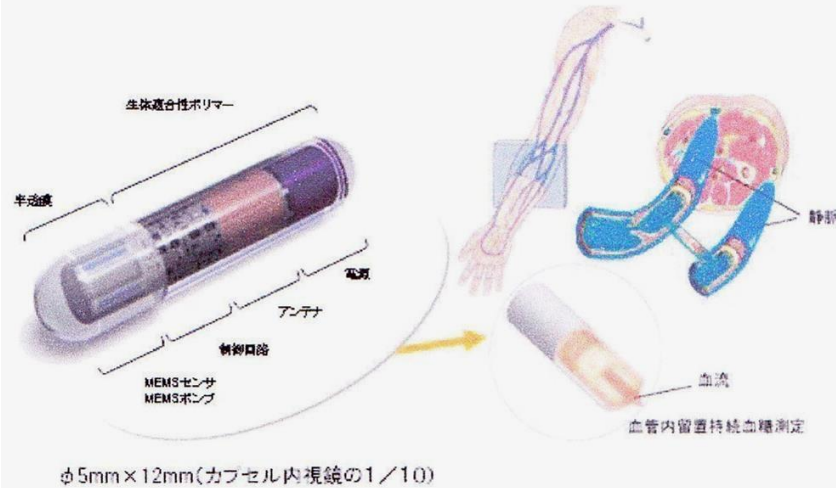


図36-32 将来製品のイメージ例 ③

将来展望

次世代MEMSの「高集積・複合型」、「異分野融合型(バイオ・ナノ技術)」の将来像を実現するための課題:

- さらなる小型化、高信頼化に貢献する高集積複合技術の開発
- 生体適合センサの超小型化・省エネ化・高感度化を実現するためのナノ・バイオ等の異分野技術の融合
- 低コストで製造するための大面積・連続製造プロセス技術の確立
- 医療分野での迅速な製品実用化に向けた医工連携体制の構築
- 海外市場獲得に向けた国際標準化の推進

経済産業省のプロジェクト:

- 高集積複合技術については、「高集積MEMS製造技術開発プロジェクト(2006-2008年度)」ー(ファインMEMS)
- 異分野技術融合のため、「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト(2009-2013年度)」ー(BEANS)

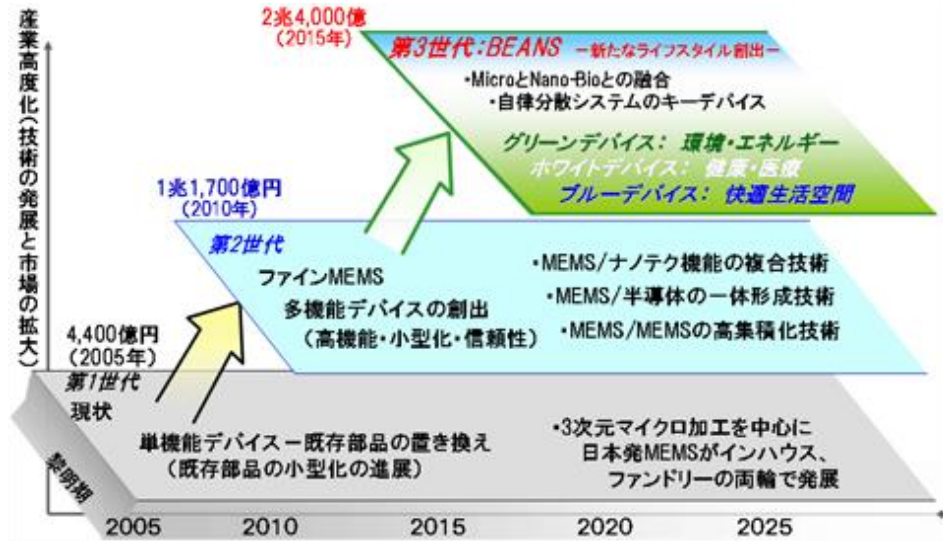


図36-33 次世代MEMSの市場展開 ③

現在市場規模(2005年度)	4,397.3億円
2010年度予想	1兆1,743.4億円
2015年度予想	2兆4,074.3億円

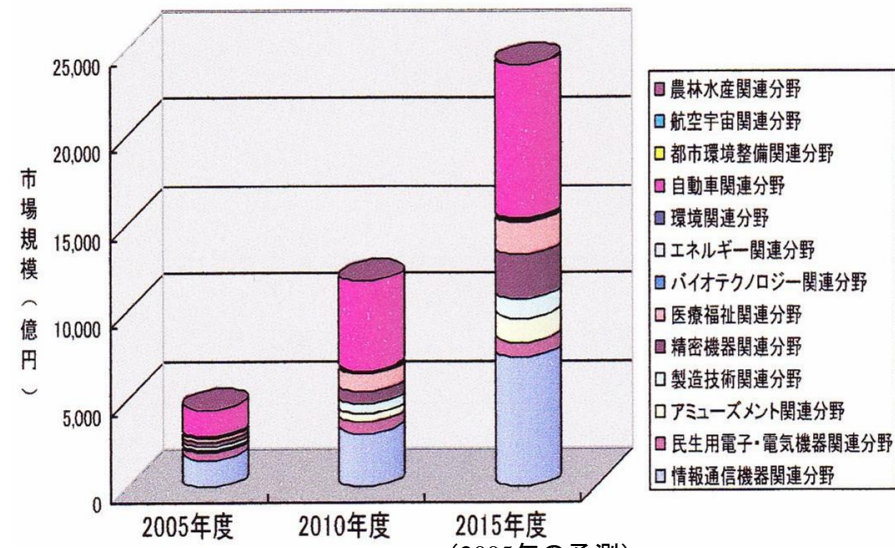


図36-35 MEMSの市場動向 ⑥ ※新データは巻末



図36-34 BEANSプロジェクトが創出する新しいライフスタイル (経済産業省) ※プロジェクト活動のまとめ報告は巻末

課題

DNAチップ	別名、DNAマイクロアレイ。細胞内の遺伝子発現量を測定するために多数のDNA断片を数十万に区切られたプラスチックやガラス等の基板上に高密度に配置・固定し、これに検体を反応させる分析器具。医療用(がん移転再発の判定用)、食品検査用など急速な市場拡大が見込まれている。アメリカでは2005年2月から食品医薬局など官民51機関が参加して「DNAチップ」による遺伝子発現解析の再現性を追求するMAQCプロジェクトでテーラーメイド医療の推進を図る
パワーMEMS	電力、推力、熱などのパワーを発生するMEMSそのもの、あるいは小型パワー源に組み込まれる要素としてのMEMS。携帯機器・ロボットなどの小型電源、建物・機械監視のための電池不要の無線センサが重要な応用先。自然界にある振動や温度差、人体のブドウ糖などのエネルギー源から発電するユビキタス発電デバイスが注目
バイオセンシングシステム	ナノグラムオーダーのサンプル測定が可能な検出装置。水晶振動子を内蔵し、その共振周波数変化によって重量変化を測定するもので、人体への負荷軽減に効果がある(セイコーインスツル)
MEMSファウンドリサービス	MEMS分野へ参入を図る企業に対して、設計、試作、量産の提供をするサービス事業。特に、製造設備など高額投資が必要となるので、既存の半導体製造設備を保有する企業などがその設備を活用して、第三者に提供(受託)するもの。MEMS協議会の下でMEMSファウンドリサービス産業(FSIC)が参加企業の紹介などを実施している

キーワード

DMD(Digital Micromirror Device)	Texas Instrument社が開発した代表的なMEMSデバイスで、16 μ m角のアルミ製微小可動反射ミラーを2次元的に配置したもの。ミラーの下には制御回路とミラーを駆動するアクチュエータが配置されている。電圧をかけるとミラーは正確に ± 10 度傾けることができる。応答速度は1 μ s。液晶ディスプレイ、プロジェクタなどに適用
Siマイク	従来の小型ECM(Electret Condenser Microphone)に代わってMEMS技術により小型化、集積化、自動ハンダ装着・基板実装を実現したシリコンマイクが、携帯電話器、PDA、デジタルスチールカメラ等のモバイル製品へ急速に普及している。市場は2007年4億個、2011年は16億個と予想(成長率43%/年)
マイクロジャイロ	ジャイロセンサはナビゲーションシステムやカメラの手ぶれ防止機能をはじめ、工業用、家庭用に使われている。その仕組みは回転する方向の角速度 ω を検出し、その速度や振幅の大きさからブレの方向を修正する
ピエゾ抵抗	物体に応力を加えたときに電気抵抗が変化することを「ピエゾ効果」という。MEMSに加わる力が電気抵抗を測ることによりわかり、加速度センサ、圧力センサなど各種MEMSセンサとして広く利用されている