

# マイクロ・ナノ融合技術を用いた ユビキタス生活デバイスの実現

下山勲 松本潔 星野一憲

情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

## 概要

我々のグループでは、マイクロ・ナノ融合領域での新機能を探求し、それを応用したウェアラブル/モバイル/インターフェースを構築する。さらにそれを発展させ、ユビキタス生活デバイスの実現を目指す。本年度は、MEMS微細加工技術を応用し、小型、薄型、あるいは新機能発現を目指した複数のインターフェースデバイスを提案し、その機能の確認を行った。

## 1. 序論

ユビキタス社会においては、いつでもどこでも情報にアクセスすることができる。これを実現するためのウェアラブル/モバイル機器は、小型軽量でなければならない。これらの機器への実装を想定して、MEMS技術を応用し、小型、薄型、かつ新しい機能を発現するインターフェースデバイスを提案する。

具体的には、力覚デバイスとしてロボットハンドへ装着するためのフレキシブル触覚センサ、また視覚デバイスとして反射型ズームカメラ、液体プリズムを用いたパンチルトカメラ、さらにセンサデバイスとして気柱共鳴を用いた超音波センサを提案し、その基本機能を確認した。

## 2. フレキシブル触覚センサ

ロボットハンドでの物体把持能力を向上させるためには、把持力の圧力分布だけでなく、せん断力分布も計測する必要がある。フレキシブル触覚センサは、薄型のシート状で、圧力、せん断力を計測できるフレキシブルなセンサである。

図1に、触覚センシングシートの構造を示す。カンチレバー形の検出部が、ゴム状の弾性体に埋め込まれた構造となっている。カンチレバーは、基板に平行、あるいは直立した状態で、アレイ状に配置される。またカンチレバーの根元にはピエゾ抵抗素子が形成されており、その傾きの変化を

高感度に検出できる。応力あるいはせん断力が加えられると弾性体に変形し、その変形をカンチレバーで検出する。カンチレバーは一方向の変形にのみ高感度に反応するので、圧力、あるいはせん断力成分を分離することができる。

図2に、フレキシブル触覚センサの製作プロセスを示す。MEMSプロセスで製作したカンチレバーに磁性体であるクロム層を形成しておく。そこに磁場をかけ磁気異方性により直立させ、PDMSを流し込み固化させる。最後にDRIEで基板のシリコンを除去し、柔軟構造を実現する。

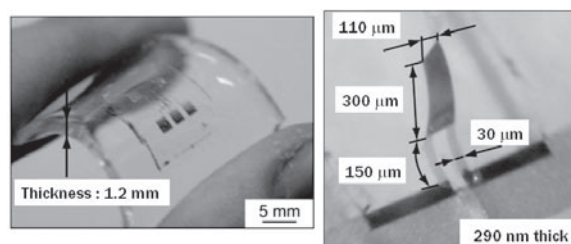


図1 フレキシブル触覚センサの構造

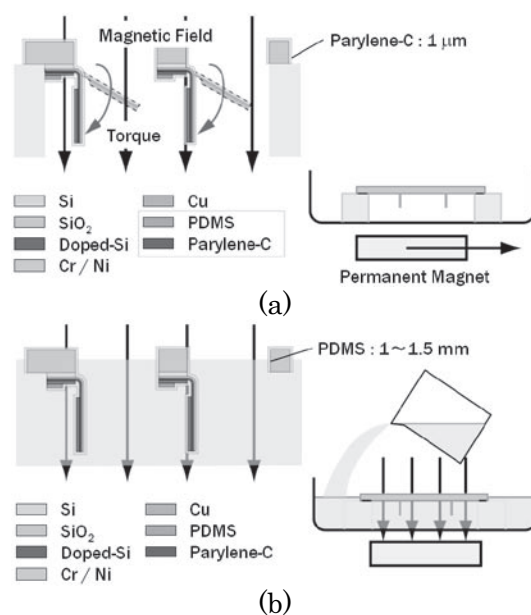


図2 フレキシブルセンサの製作プロセス

図3(a)にせん断力をかけた時のせん断力の出力を、図3(b)に圧力をかけたときのせん断力の出力を示す。十分な直線性、および力の分離性能を有することがわかる。このセンサで、せん断力の方向を変化させた時の検出性能を図4に示す。せん断力の方向の検出精度は $4^\circ$ 、また方向を変えた時のせん断力検出誤差は10%以内であった。また図5に示すように、指に巻き付けた状態でも使用可能で、十分な力の検出性能を持つことが確認できた。

### 3. 反射型ズームカメラ

カメラでズーム機能を実現するには、レンズを移動させ長焦点化する必要がある、カメラが厚くなる、レンズ移動機構が必要となる、等の問題が生じる。本研究では、反射光学系をおよびMEMSシャッターを用い、薄型かつ高速動作可能な反射型ズームカメラを提案する。

反射型ズームカメラの原理を図6に示す。レンズは同心円状に2重になっており、内側が広

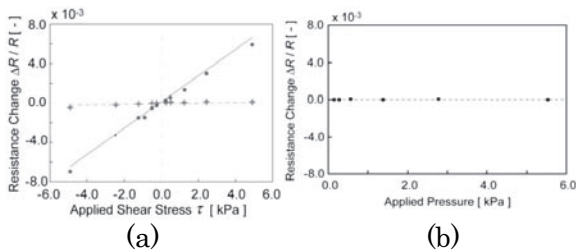


図3 力の検出性能

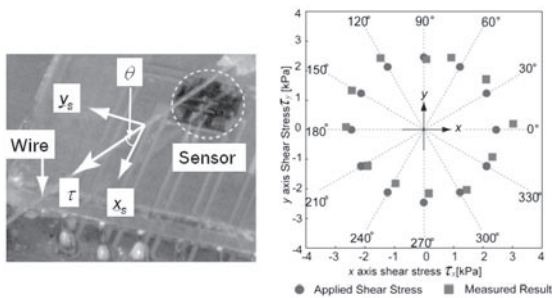


図4 せん断方向の分解性能

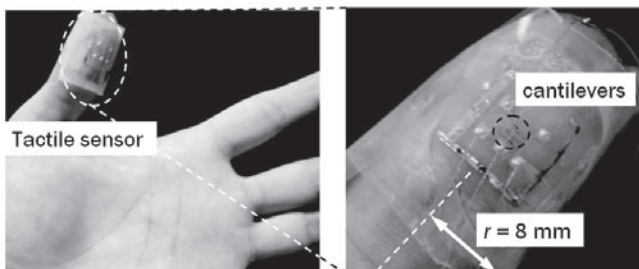


図5 指に取り付けたフレキシブル触覚センサ

角、外側が望遠レンズである。レンズの下にはMEMSシャッターが配置され、広角と望遠の切り替えを行う。MEMSシャッターが開いた状態では、内側の広角レンズを通った光がCCD上に結像する。それに対してシャッターが閉じた状態では、外側の望遠レンズを通った光がミラーで反射し、CCD上に結像する。この時、光路が折り返されているため、レンズとCCDの距離は、広角レンズの場合と同じである。

図7に、MEMSシャッターの構造を示す。シャッター上には磁性体が塗布されており、磁場を印加して開閉を行う。図8に反射型ズームカメラの構成要素を、図9に組み立てた状態を示す。画質向上のため、レンズは削りだしによる非球面レンズを用いている。

図10は、試作した反射型ズームカメラで撮影した広角と望遠の画像である。広角と望遠の焦点距離は、1:2.7に設定した。望遠側のレンズ

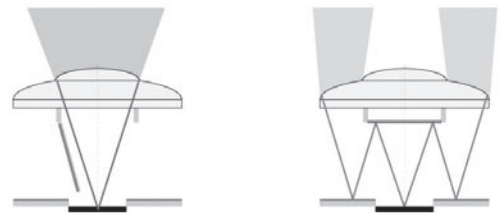


図6 広角・望遠の切り替え方式

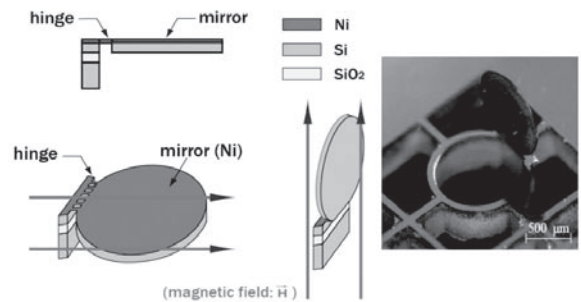


図7 MEMSミラーの構造

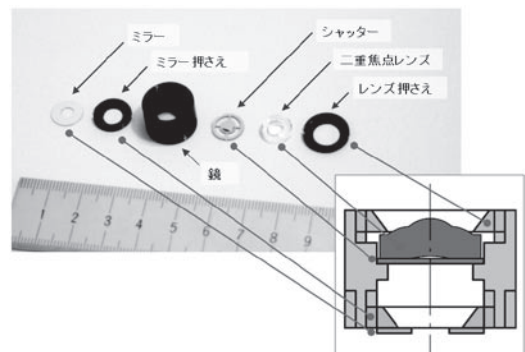


図8 反射型ズームカメラの部品

の集光性能がやや劣るが、ほぼ期待通りの性能が得られている。

#### 4. 液体プリズムを用いたパンチルトカメラ

本研究では、液体プリズムをエレクトロウエットティングで駆動し、レンズを移動することなくパン、チルトを行う機構を提案した。

光はプリズムにより、その進む方向を変化させることができる。本研究では図1-1に示すように、媒質に液体を用い、偏向角を変化させる液体プリズムを実現した。さらに図1-2に示すように、エレクトロウエットティングにより液体の接触角を変化させ、プリズムの偏向角を制御した。

図1-3に印可電圧を変えたときのプリズム角の変化を、また図1-4に光を透過させた時の、印可電圧と偏向角の関係を示す。150Vの電圧で、10度以上の偏向角が得られている。図1-5は、パン動作を行ったときの、取得画像の様子である。電圧を変化させることで、視野の方向を左右に変化できることを確認した。この実験ではパン方向の1次元駆動であるが、駆動電極を4分割し、可動部のジンバル2次元にすれば、パンチルトの2次元走査も可能である。

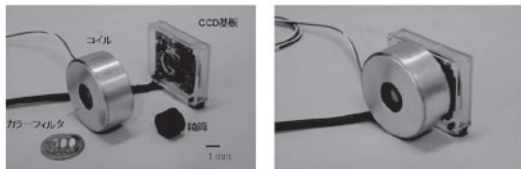


図9 組み立てた反射型ズームカメラ

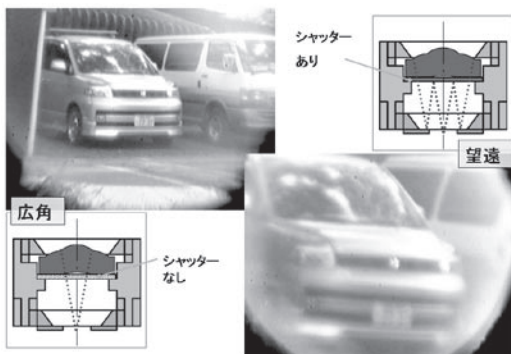


図10 撮影した広角・望遠画像

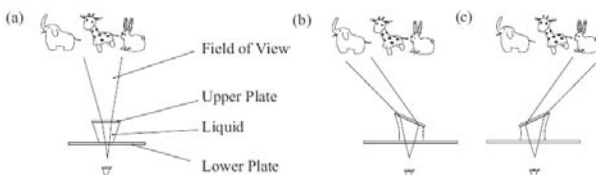


図11 液体プリズムによる光の偏向の原理

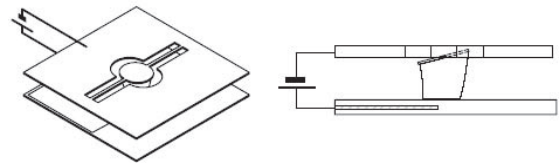


図12 エレクトロウエットティングによる駆動原理

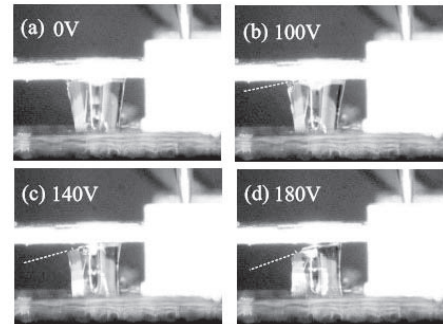


図13 印可電圧によるプリズム角の変化

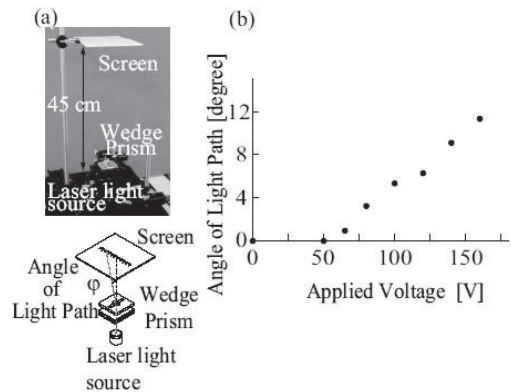


図14 液体プリズムによる光の偏向

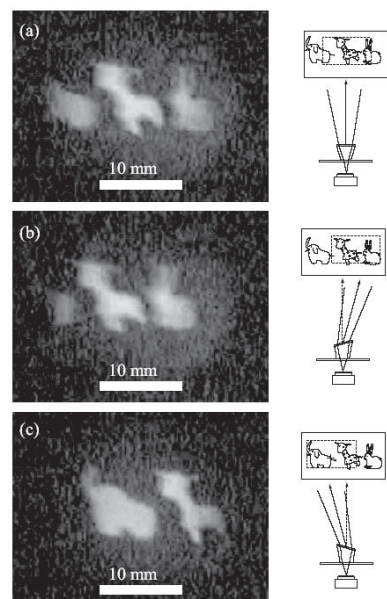


図15 液体プリズムによるパン動作

## 5. 気柱共鳴を用いた高感度超音波センサ

本研究では MEMS 技術を用いた高感度な超音波センサを提案する. 図 16 に示すように, 超音波の検出にはカンチレバー構造を用い, 根本に埋め込んだ piezo 素子の抵抗変化により検出を行う. カンチレバー単体と比べ, 気柱共鳴を起こすキャビティを設けることで, 高感度化できる.

図 17 に気柱共鳴の原理を示す. 一方を閉じた音の波長の 1/4 の長さの共鳴管では, その開口端が音の腹となり, 振幅が大きくなる. この位置にカンチレバーを設けると, 高感度の音の検出が可能となる. 図 18 に, 製作した超音波センサを示す. カンチレバーは, 長さ 80 μm で, 空気中での共振周波数は 30.7 kHz である. カンチレバーの脚部には piezo 抵抗が作り込まれ, 抵抗は 22.4 kΩ である.

図 19 に, 気柱共鳴による感度向上の効果を示す. 共鳴管は, カンチレバーと同じ 30.7 kHz に共鳴するよう設計してある. 22 dB の感度向上効果が確認できた. 図 20 (a) は, 共鳴管の直径を変えたときの感度の変化を計測したものである. 共鳴管の共振周波数は, カンチレバーと同じである. 直径が小さいほど, 感度が高く, 共鳴も鋭いことがわかる. 図 20 (b) は, 共鳴管の長さを変え, 共鳴周波数を変えたときの感度変化の様子である. カンチレバーと共鳴管の共振周波数が一致したときが最も高感度であるが, 感度変化はカンチレバー単体時と比べ緩やかである. このことから, 共鳴管の長さを動的に変化させることで, 広い周波数に適應するセンサも可能であると思われる.

今後はカンチレバーおよび共鳴管を一体で MEMS プロセスにより作成し, 小型化することで 100 kHz 以上への高周波数化をはかる.

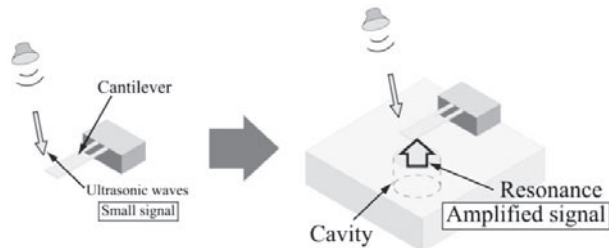


図 16 気柱共鳴による高感度化

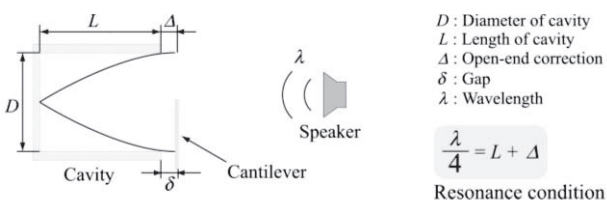


図 17 気柱共鳴の原理

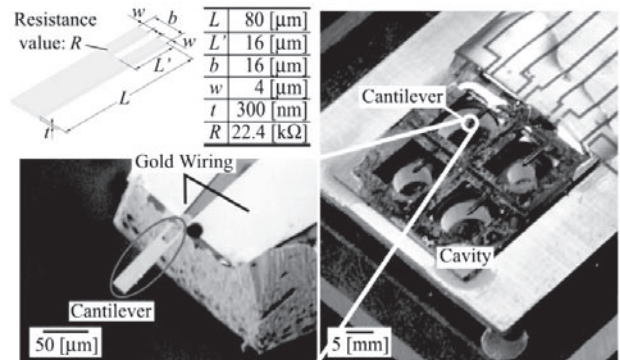


図 18 製作した超音波センサ

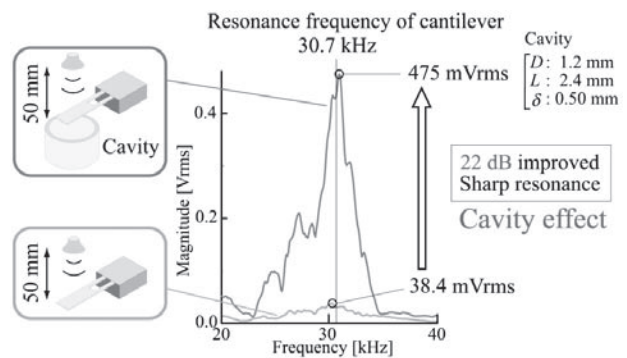


図 19 気柱共鳴による高感度化

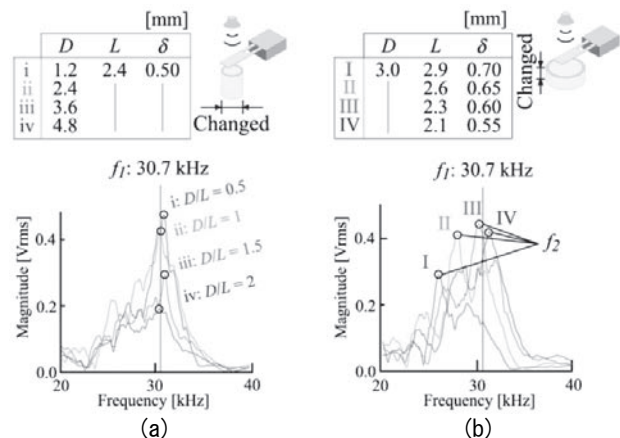


図 20 共鳴周波数と感度上昇

## 6. 結論

MEMS 技術を応用した, 小型, 薄型, 新機能のインターフェースデバイスとして, フレキシブル触覚センサ, 反射型ズームカメラ, 液体プリズムを用いたパンチルトカメラ, 気柱共鳴を用いた高感度超音波センサを提案し, その基本機能を確認した. 今後はこれらのデバイスの完成度を高めるとともに, ユビキタス情報機器への適用を目指す.