

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

人を支援するロボットとセンサ

東京大学 大学院 情報理工学系研究科 教授 IRT 研究機構長 下山 勲

日本は 2055 年に 65 歳以上の人口が占める割合が約 40% と推定され、また、1990 年生まれの女性が孫を持たない確率は約 50% と推定されている（国立社会保障・人口問題研究所）。人口の分布だけでなく、家族の構成も変わると推定されている将来、社会を持続的に発展させ、QoL (Quality of Life) を高めていくためには、社会制度の改革や、社会と家族の理解などとともに、科学技術が果たす役割も大きい。とくに、GDP に反映されない家庭内活動（Home Production）の生産性の向上のためには、科学技術の中でも情報技術（ICT）とロボット技術（RT）を融合した技術（IRT）によって、機械が代替することが適切である仕事を、家庭用ロボットで行うことが有効であると考えられる。たとえば図 1 に示すように、洗濯ものを洗濯メニューに合わせて仕分けし、洗い終わって乾燥がすむと、畳んで収納したり、テーブルの食器を片づけて食洗機の中に入れ、自動的に洗ったあとで収納するなどである。

図 2 に、電通総研と IRT 研究機構でおこなった、家事負担感とロボットのニーズについて

ての調査の結果を示す。

これによると、食事の後片付けや掃除など、グラフ右上の家事は、負担感を感じてロボットに対するニーズがあるものと分類された。

今後、男女共同参画社

会のなかで、子育てをしながら夫婦共に働く家庭がさらに増加し、家事を効率的にこなすニーズが大きくなると考えられる。

東京大学 IRT 研究機構では、図 3 の家庭用キッチンロボットを企業と共同研究した。この

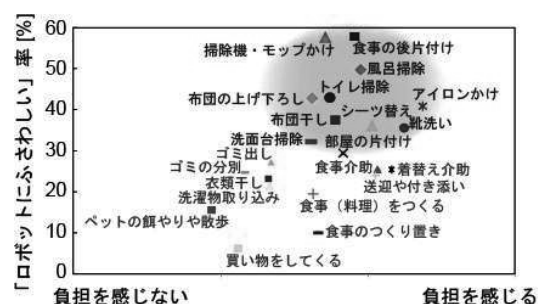


図2 ロボットの家事支援のニーズの大きな作業

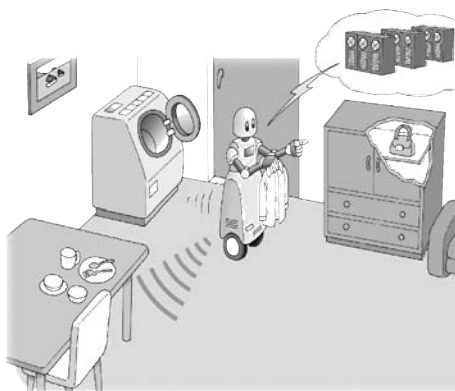


図1 人を支援するロボットの働くシーン



図3 食洗機を使うキッチンロボット

ロボットは触覚をもち、手探りで食器を把持して、食洗機に入れ、食洗機のスイッチを入れるというものである。将来の家庭用ロボットを垣間見るものであるが、実際に実用化されるまでの技術以外の課題も多々ある。

ロボットにはさまざまなセンサが取り付けられて安全性、信頼性を確保すると同時に、人や環境の状態の検知にも使うことができる。たとえば、視覚情報を使って、ハンドバックやTVのリモコンの位置を検知したり、日常生活をいつもと同様におくっているかを判断したりできる。触覚センサは、ロボットがものを器用に扱うときや、人と接触するときの、重要な接触情報を提供する。また、これらのセンサで得られた情報は、インターネットを介してコンピュータシステムにアップロードして、必要に応じて共有したり、再利用したりできる。

ロボットが必要とするセンサは、人の触覚、視覚、聴覚、味覚、嗅覚の五感に相当する感覚と、人が持っていない感覚であり、前者は、触覚センサ、近接覚センサ、角速度（ジャイロ）センサ、視覚センサ、味覚や嗅覚センサなどが代表である。後者は赤外線センサや人の感覚受容体でない匂いや味のセンサである。無臭をかぎとれる二酸化炭素センサなど、第六感センサといえるものである。しかしながら、現在ロボットで利用できるセンサは、ロボットのためのセンサではなくて、市場にあるセンサをシステムに組み込んだものであり、たとえば、手でペットボトルを扱うときに、指や掌の力感覚を与えるセンサ、とくに、摩擦力に相当する、面に平行な力を薄い皮膚のようなセンサでとるものがなかった。したがって、ペットボトルを握って滑り始める直前まで握力をゆるめるようなことができなかった。

外界の情報を得るために感覚毛を利用している生き物がある。図4は昆虫の感覚毛であるが、空気の流れによってこの感覚毛が倒れ、ねもとにある神経細胞が変形し、その信号が神経細胞を伝わって情報を神経系に送っている。

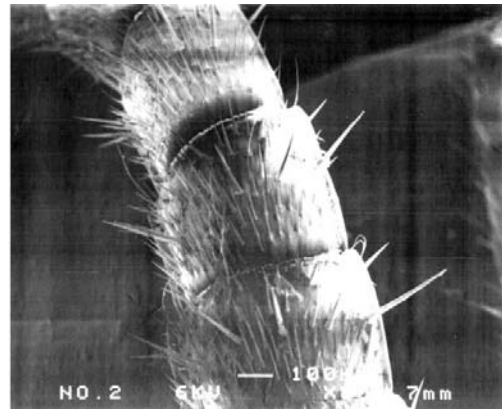


図4 昆虫の尾葉上の感覚毛



図5 触覚センサの原理図

同様な構造は、SOI ウェハのシリコンデバイス層に厚さ 300 nm のカンチレバーを形成し、そのねもとにピエゾ抵抗層を形成し、カンチレバーを折り紙のように曲げ、樹脂で表面を覆うとすることができる。樹脂の変形に応じてカンチレバーが変形し、抵抗変化が生じ、その変化量から樹脂の変形、さらには樹脂にかかる力が計算できる。圧力方向の力は、MEMS のダイアフラム構造でも計れるが、摩擦方向の力は、その方向に垂直な平面にピエゾ抵抗層をつくるのが基本である。また、埋め込む構造に影響を与えないように薄く小さくするのがよい。さらに、キャパシタ容量を用いた計測では、スケールを小さくすると信号に対してノイズが大きくなるので、上記の構造が有利であると考えている。

この触覚センサは、ロボットの手や足の力ベクトルの計測にとどまらず、嚥下を解析するために口蓋に貼付して口蓋に対する舌の運動を計測したり、蝶が飛翔しているときに翼面にかか

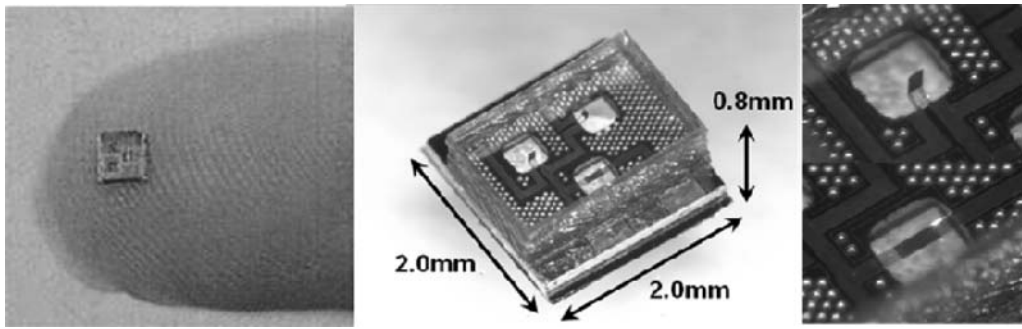


図6 触覚センサの外観

る圧力を計測したり，ゴルフのクラブがボールに与える撃力を計測したり，10 cm の高度差による圧力変化を計測したり，パーティクルがカンチレバーに当たったときの信号からパーティクルの数を数えたり，マイクとして使うことができる。

生物は薄い膜で覆われた構造を持っている。人の目のように，この膜構造が変形して焦点を調節する例もある。昆虫では個眼が集まって複眼を形成している（図7）。図9のように蒸気圧の小さい液体，たとえば，シリコンオイル上

に蒸着装置でパリレンを蒸着すると一様な膜が形成され，液体を封止することができる（図8）。封止した構造の上面に薄い電極を付け，上下面に電圧を加えると，静電気力によって曲率半径が小さくなるように変形する。これによって可変焦点のレンズができる（図10）。

可変焦点レンズを使って，図11の距離センサを試作した。原理は，レンズの焦点距離を変えながら物体で反射する光の輝度を共焦点系で検出し，輝度が最大になるときのレンズの変形量をもとに物体までの距離を計測するものである。



図7 はえの複眼

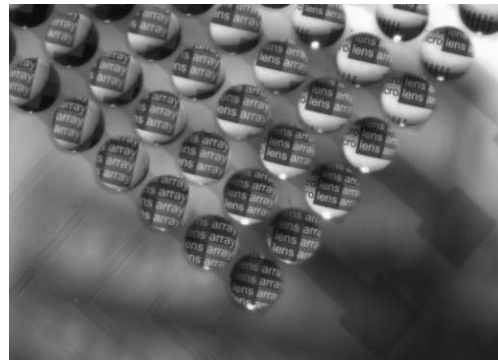


図8 液体封止マイクロレンズ

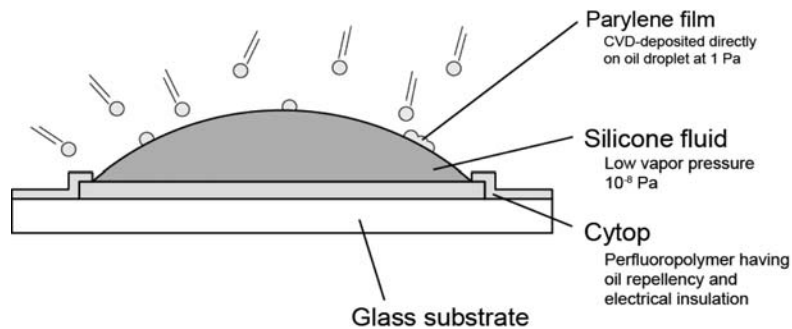


図9 パリレン蒸着による液体封止

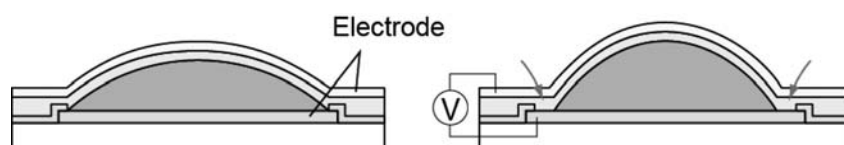


図 10 静電気力による可変焦点液体レンズ

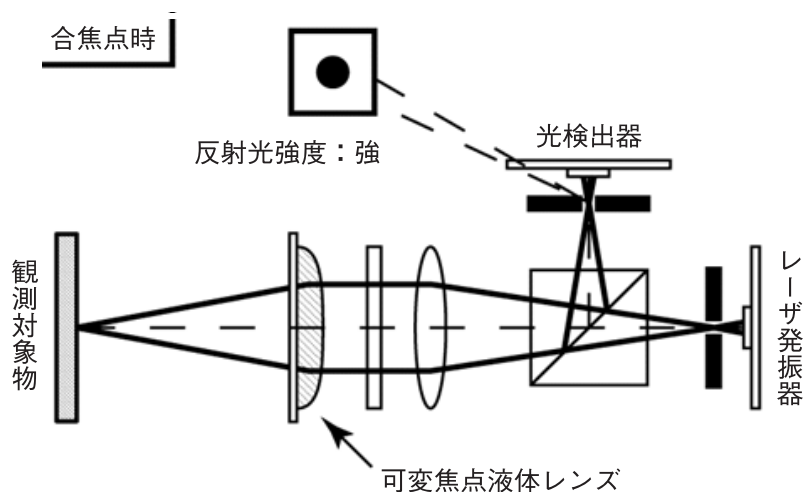


図 11 距離センサ

パリレンによる液体封止技術は、距離センサだけでなくプリズムや導波路などの光学部品や、機能性液体を封止することで化学量センサや発光素子なども実現できる。

今回の受賞後も、ロボットとセンサを中心にオリジナルな研究を続け、人材の育成にもさらに貢献していきたい。最後になりましたが、大学院入学以降ご指導いただきました三浦宏文名

誉教授、井上博允名誉教授、研究活動でお世話になりました研究室の同僚と学生、IRT 研究機構、情報理工学系研究科の皆様、共同研究を通して明快な課題を提示いただきました企業の皆様、産学官の連携を促進していただきました(財)マイクロマシンセンタの皆様に心からお礼を申し上げます。