

12回連載 技術エッセイ 第9話 小球 MEMS による機器の知能化

球体のはなし

柴田順二（芝浦工業大学名誉教授）

● **球体によるセンシング** 小さい転がり摩擦抵抗と多自由度の転動特性に加えて、高精度の成形加工が比較的容易であるという球体の属性を生かしたセンシング機構・装置は、歴史的にも枚挙にいとまがない。古くは衝風地動儀という落球型地震計が古都洛陽に設置された(AD132)ことを後漢書が伝えている。以来、感震センサーとして、今日でも球体が広く利用されている。しかし、何といたっても球体センサーの極めはジャイロスコープであり、嘗ては3次元空間を運動する物体の姿勢、速度、位置などの検出にとって唯一無二の存在であった。近年では、2枚貝の平衡胞構造からヒントを得た球体型平衡感覚センサーなども開発されている(図1)。そして更に、球体の物理・幾何特性をMEMS (Micro Electro Mechanical System) により抽出し、環境変化を判断する知能化機器も急速に進歩し、既に実用化が始まっている。

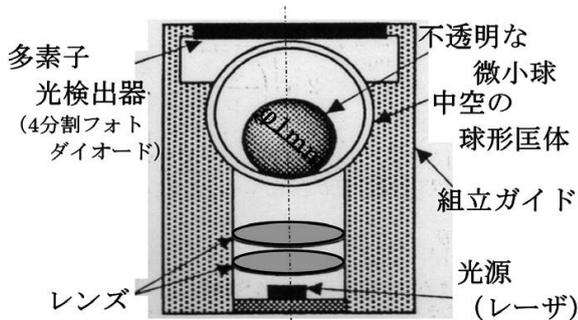


図1 平衡感覚センサーの構造

● **小球とMEMS** MEMSとは、シリコン基板などにセンサーやアクチュエータのような機能を微細加工技術によって集積した、電気・機械的マイクロデバイスを指す。その用途には、エアバッグ用加速度センサー、血圧測定用圧力センサー、通信用光スイッチ、味覚センサー、ガスセンサー、流量センサー、…など、各種のマイクロセンサーが挙げられ、情報・通信、自動車、民生・環境、製造・品質管理、医学・バイオなどの分野における機器の知能化・マイクロ化を推進する企業にとって、垂涎のセンシングデバイスである。MEMS技術によって、小球がマイクロセンサーとして用いられる事例も少なくない。本稿では球型SAWセンサーを話題に取り上げることにした。

● **球型SAWセンサーの原理** SAW (Surface Acoustic Waves)とは、物体表面の音源から発して、表面を伝播する弾性波のことである。この種の波動現象は長い距離を伝わる間に、空間的に広がる回折現象を呈することが知られている。しかし、弾性表面波が球体の表面を伝播する時には、球表面におけるある種の制約条件下、すなわち、球の直径と波長の積で決まる特定の長さの表面波に限り、弾性波の伝播特性が本来有する回折効果と球面曲率による収束効果が拮抗することで狭い帯状の領域に閉じ込められ、100回以上も周回できる無回折伝播の弾性波帯(コリメートビーム)を形成し得る(図

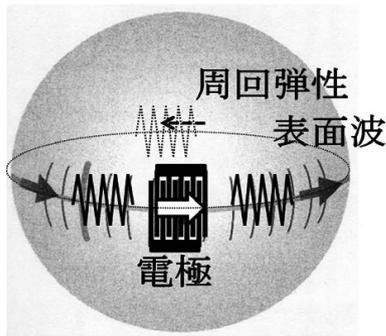


図 2 球面の周回弾性表面波

2)。この特性を利用したのが、球型 SAW センサーである。

球型 SAW をセンサーとして利用するための原理は次のようである。圧電性基板上にすだれ状電極が形成されており、電極に高周波信号を入力すると弾性表面波が励起される。その帯状伝播経路の途上にガスと反応して物理特性の変化する材料膜を形成すると、その弾性率の変化より、弾性表面波の伝播速度や位相、振幅が変化する。その信号を次のすだれ電極において再び電気信号に変換し、初期信号との波形の差異を識別する。ここで、反応膜材料を工夫することによって、ガスや味覚のセンシングに対応できるのである。なお、球型 SAW の無回折伝播周回数を増すことによって、従来の平面型弾性波センサーに比べ 10 倍以上にその感度が増幅される。

● **小球 SAW センサーの用途** 世上の関心が最も高い燃料電池の開発に際して、今、注目され始めているのが水素ガスセンサーである(図

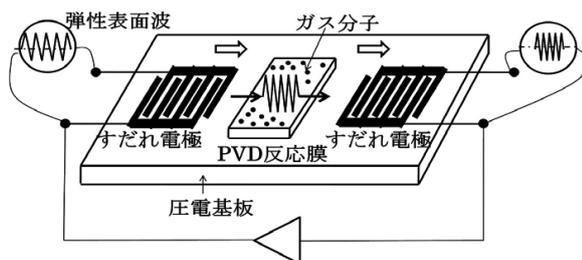


図 3 SAW センサーの原理

3)。水素濃度のコントロールに必須なセンサーであり、水素ガスが万一漏洩した時にその漏れを検出することは、安全性にとって必須不可欠な技術だからである。従来の平面型 SAW は広い濃度範囲(10ppm~100%)をカバーできる可能性を秘めているが、応答速度や感度がやや低いことの不満があった。このような折、東北大学、(株)山武、Ball Semiconductor Inc. による直径 1mm~3mm の水晶球の表面を伝わる弾性波を利用して、水素ガスを検出する共同開発が報じられた。ここでは、水晶(SiO_2)小球の表面に感応膜(Pd-Ni 合金の薄膜 20~40 nm)を物理蒸着(PVD)することにより、ガス反応薄膜部が形成された。この薄膜は水素ガス H_2 を選択的に吸着する性質を持つ。吸着した水素 H_2 が内部に拡散すると結果として、薄膜の弾性率が変化する。一方、水晶小球(1~3mm ϕ)の感応膜中心部に形成された楕形回路(すだれ状電極:高周波の表面弾性波を励起する)の圧電効果によって、赤道面を周回する弾性波を生起させ、その伝播速度の周回数を増やすことで測定精度を向上させるのである。近い将来、この水晶小球 SAW デバイスは検波回路などの回路基板に結合、実装され、ガスセンサーモジュール(チップ)として標準化できれば、次のような用途に展開されるものと予想されている。

- ・ロボットの嗅覚、触覚センサー
- ・味覚センサー
- ・水素社会における水素ガスセンサー
- ・毒性や爆発性のあるガスセンサー
- ・プロテイン(タンパク質)の測定
- ・インフルエンザなどのウイルス検出

なお、球体は精密加工と量産に適することから、小球 SAW センサーは 1 個 1000 円程度で生産できると見積もられている。