

圧電ジャイロ

(1965年～現在)

Key-words：角速度、ジャイロ、手振れ、カーナビゲーション

注1 回転する系で移動する物体はその移動速度に比例し、回転軸方向と移動方向の両者に垂直な方向に力を受ける。この力がコリオリ力で台風の渦巻きを発生させる力として現実存在する。

注2 熱膨張係数の異なる2枚の金属を接合したもの。接合時からの温度が変化すると熱膨張差による2枚の体積変化がバランスを取り合い板が屈曲する。簡便な温度スイッチとして使われる。

ジャイロセンサーはカーナビゲーションの走行軌跡検出用やカメラの手振れ検出用として近年盛んに利用されるようになった。ジャイロが対象とする角速度という物理量の検出は光ファイバー型などの高精度なものを除き、固体の共振振動を利用した振動型がコスト的にも形状的にも有利であるとされるようになった。その中でも圧電効果／逆圧電効果をたくみに利用したいわゆる圧電ジャイロは一層安価でかつ感度の優れたものが供給できるので、手振れ検出にはよく普及している。最近ではマウスやリモコンといったパソコンやゲーム機の入力デバイス用としても利用が進んできた。一方Siの高度な深堀技術が可能になり静電駆動する振動型の裾野が広がっておりそれぞれの長所を生かしたすみわけが進んでいる。

1. 製品適用分野

カーナビゲーションや手振れ補正機能などの角速度信号を利用した機器。

2. 振動ジャイロの原理

振動ジャイロの原理は1943年の米国特許の中にすでに描かれている。圧電型が本格的に商用化されたのは1960年代のGEによる“Vyro”がはじめてである。したがって圧電ジャイロの原理はこの四角柱音片を利用したGEモデルをもとに語られることが多い。日本では今野、富川ら^{1), 2)}のグループが1980年代以降精力的に研究を重ねている。

振動面に垂直な方向に回転を与えると振動面がコリオリ力^{注1)}の影響で楕円の軌跡を描く。図1に示すように四角柱の自由共振は中央部が節部を支点として中央部があたかもこの振り子のように振動している。

四角柱の軸方向に回転を加えると上下方向の振動が横にずれる応力を受け楕円運動を始める。振動の周波数振幅を一定に制御すれば楕円の横方向応力の大きさは入力する回転角速度(1秒間の角度変化—単位はdeg/s)に比例する。四角柱に圧電素子を貼り付けて電圧を加えるとそれ自身が伸縮する結果あたかもバイメタル^{注2)}のように屈曲振動が始まる。一方側面に固着された圧電素子は応力を受けて電圧を発生させコリオリ

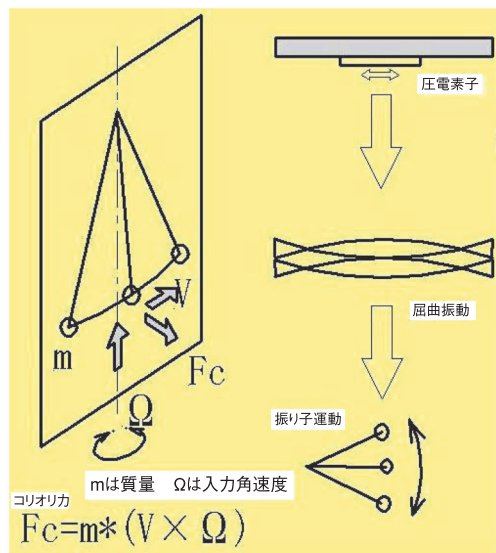


図1-1 コリオリ力

振り子の振動面に垂直な方向の回転を加えると振動面外に駆動力が働く。この駆動力はコリオリ力と呼ばれ質点の重さと振動速度に比例する。一方板に圧電振動子を貼り付け電圧を加えると伸縮し、結果として屈曲振動する。つまり圧電素子を使って電氣的振り子が形成できる。

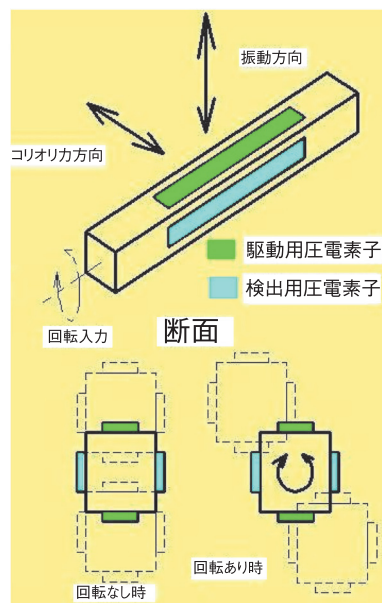


図1-2 検出原理

振動する角柱を圧電素子により実現できるが、この振動面に垂直な方向に同じく圧電素子を配置するとコリオリ力による応力に比例した電圧を出力する。この電圧は質量が一定で振動速度も一定に管理すれば入力角速度に比例する。

リカに比例した電圧が得られる。圧電の可逆性をうまく使いこなし、しかも共振状態で大きな振幅を稼ぐことで感度を上げるという工夫がなされている。

圧電ジャイロには上記の四角柱の三角柱や円柱を利用したもののように縦方向／横方向が同一面上にあるもののほか音叉のように駆動片と検出片が別体となったものもある(図2)。最近では水晶や圧電薄膜を利用したタイプも実用化が進んできた。

3. 応用分野と性能

車の走行のように刻々と回転中心が変化し、それが車外にあるような運動はどのように角度を測ればよいか。ビデオカメラの手振れはおそらく肩や手首を支点にした回転運動なのだが関節に角度計を付けるわけにもいかない。こうした回転系の計測については車内／セット内のどの場所でも同じ値が得られる角速度センサが必須である。

交流的な変化を捉える手振れ補正(感度ピークが10Hzにある)用途はセットの小型化に適合するため出来る限り小さく低コストが要求されるほか高速応答が要求される。一方カーナビゲーションのように初期方向からの角度変化を問題にする測定系では角速度値を積分するという処理が必要である。そのため左右の角度変化の中間は常に基準電位である必要がある。基準電圧からのずれ、いわゆるオフセットは温度変化などで発生するが、積分すると常に角度誤差として加算されていくので好ましくない。したがってこの用途でのジャイロは特別に安定なオフセット性能が要求され、場合によってはメモリーを使って数値的な補正がなされる。

4. 製法と回路系

いろいろな圧電ジャイロが商品化されているが、手振れ検出用途でもっともポピュラーなバイモルフ音片

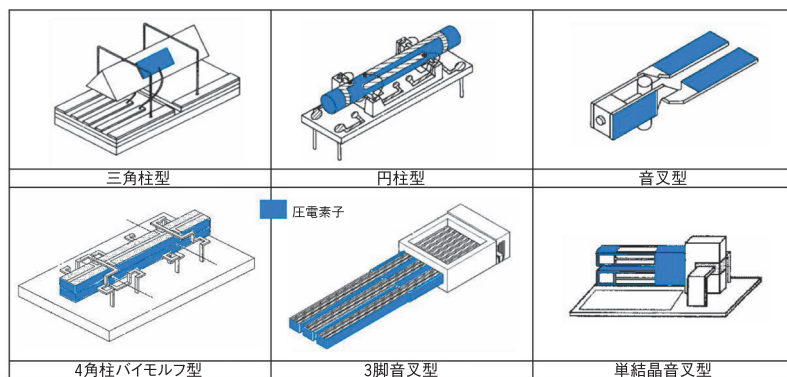


図2 実用化された圧電ジャイロ

三角柱四角柱円柱などの棒状振動子(音片型)とさまざまな材質や形状による音叉型に大別される。出展は日本特許公報。

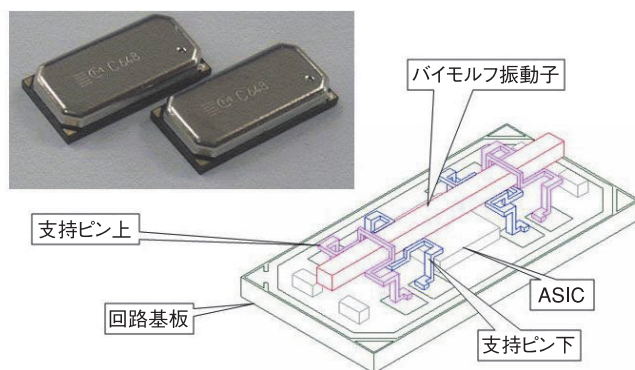


図3 バイモルフ型圧電ジャイロの概観と構造

基板の上に駆動検出用のICおよび回路が構成され3次元構造の支持ピンを通してバイモルフ素子と電気信号がやり取りされる。この立体構造により駆動や検出方向の振動が阻害されることなく自由に共振している。

注3 Application Specific Integrated Circuit の略で特定用途向けにはじめから設計した集積回路。通常は汎用的な回路を組み合わせるが、無駄な回路も取り込まれるのでサイズが大きくなる。用途が限定されるので特性を最大限に引き出せるが他の用途には使えないので、少量生産品には向かない。

注4 交流信号のある特定の位相点での電圧値や電流値をピックアップする技術。外部のいろいろなノイズはランダムに発生するが一定周波数の一定時間点に焦点を当てることによりノイズに埋もれている信号をその周期性を利用して効果的に取り出せる。

注5 Micro Electro-Mechanical System の略で狭義にはシリコンの微細加工によりさまざまな形状の共振子を形成し静電的に振動させるメカニズムをさす。最近では水晶や圧電薄膜を利用したものもこのカテゴリーに含まれるようになってきた。

を利用したものについて図3に概観とその構造を示す。ASIC^{注3)}を搭載した基板の上に支持ピンといわれる成型金属部品が搭載されている。バイモルフ振動子は上下からサンドイッチされていて支持ピンは電極からの取り出しの機能も果たしている。

図4に示すようにバイモルフ素子は圧電素子の分極を反対同士にして接合したウエハーから切り出される。この状態で電圧を印加すると下が伸びるとき上が縮み、逆電圧では反対になり結果として交流信号で屈曲共振が励振できる。さらに上の電極は2分割され回転によるコリオリ力を受けると分割溝を境に伸縮応力が逆転して左右電極間に電位差が発生する。発振信号を基準としてこの差動信号を同期検波^{注4)}するとコリオリ信号に比例した電圧が得られこれを直流化して出力する。

5. 今後の動向

圧電ジャイロは圧電の可逆的な性質をうまく使い、

加速度にすれば0.01Gに満たないような微小な力を検出する優れたしくみにより成立している。しかし、角速度検出の精度が上がれば上がるほどより安定なオフセット性能も要求されている。材料的にはより安定なシリコンを利用したMEMS^{注5)}ジャイロが注目を浴びている。コストと性能からの使い分けにより振動型ジャイロの応用が拡大していくと考えられる。

文献

- 1) 近野, 菅原, 工藤, “圧電形振動ジャイロスコープ角速度センサ”, 電子情報通信学会論文誌, C-1, J78-C-1, No.11, 547-556 (1995-11).
- 2) 菅原, 富川, “振動ジャイロ, 小特集—実用化が進む「弾性波機能デバイス」—”, 音響学会誌, 55, 7号, 496-503 (1999-07).

[連絡先] 株式会社 村田製作所
デバイス事業本部
藤本克己

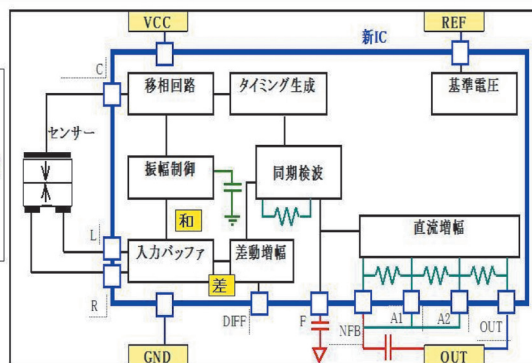
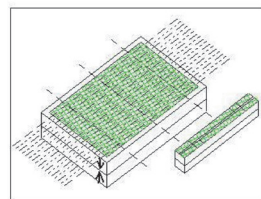


図4 加工方法

バイモルフはダイヤモンド歯によりカットされ1枚のセラミックウエハーから数十個が取れる。電極の形成も同時に行うのでこのままですぐ駆動検出が可能である。信号はASICで処理されるが発振ループと同期検波によりコリオリ力信号だけが抽出される。