日本機械学会誌　2012. 3　Vol. 115　No.1120

TOPICS

宇宙航空用超高性能 MEMS ジャイロスコープ

1. はじめに

MEMS（Micro Electro Mechanical Systems，メムス），あるいはマイクロマシンと呼ばれる技術やデバイスが世に出て久しい．とくに加速度センサは有名であろう．それどころか，今では，加速度センサと呼ばれるものでMEMS でないものを見つけるほうが難しいかもしれない．さらに，最近ではMEMS の超小型ジャイロスコープ（以下，ジャイロ）も普及し，デジタルカメラや携帯電話，ゲーム機，自動車などに使用されはじめている．

2. MEMS ジャイロ

MEMS ジャイロでは，回転型，ガスフロー型などさまざまなタイプのデバイスが研究・開発されているが，ほとんどの場合，コリオリ力を用いる振動型である．

振動型ジャイロにもさまざまなタイプがあるが，すべての振動型ジャイロは，重りを振動させると，その振動方向と垂直の方向にコリオリ力が発生するという原理を用いている（**図 1**）．

発生するコリオリ力 F_c は次式で表され，

$$F_c = 2mv\Omega$$

m は振動する重りの質量で，v は振動する速度，Ω は角速度である．

ジャイロの感度を上げるためには，単純に発生するコリオリ力を大きくすればよい．MEMS ジャイロの場合，小型化による共振周波数の上昇で振動速度 v は大きくなるものの，重りの質量 m が小さくなるため，簡単に性能を上げることができない．多くの場合，発生したコリオリ力を検出するために，フックの法則を用いて，力をバネの変位に変換して換算している．このため，変位の検出能力も性能を決める大きな要素である．

しかし，発生するコリオリ力は非常に小さいため，高性能な変位検出回路が必要になる．このことが性能の向上を難しくする原因でもある．それでも，MEMS 技術の向上や検出用の周辺回路の性能向上により，小さくても性能の高い MEMS ジャイロも開発されるようになってきている．

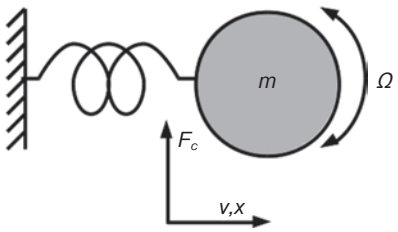

図 1　振動する重りに発生するコリオリ力

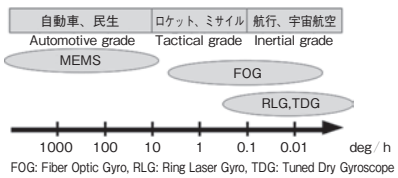

図 2　性能によるジャイロの分類

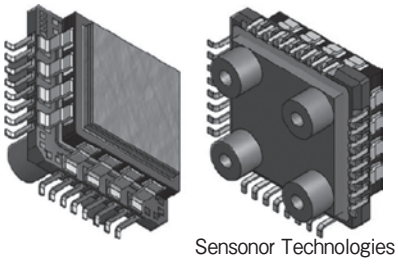

図 3　SAR-500

3. 宇宙航空用 MEMS ジャイロスコープ

MEMS ジャイロを宇宙航空分野へ応用した場合，ジャイロ自体の大きさ，ひいては衛星や探査機本体の劇的な小型化が可能である．

このような視点から，MEMS の加速度センサやジャイロを宇宙航空用に応用しようとする動きはすでに 20 年以上前からあった．

しかし，**図 2** のように宇宙航空用に使われるジャイロは高い性能が要求されるため，一部の研究段階のデバイスを除いて十分な性能をもつ MEMS ジャイロはなかった．たとえば，市販されている MEMS ジャイロの性能は，よいもので感度やバイアス安定度が数十度 /hr であるのに対し，宇宙航空用で要求される inertial grade のジャイロは，感度，バイアス安定度ともに 0.1 度 /hr 以下である．手軽に入手可能な MEMS ジャイロの性能と宇宙航空用に要求される性能の間には，実に，2 桁から 3 桁の開きがある．

また，大きなマーケットを持つ携帯機器や自動車などへの応用では，ここまでの性能を必要とせず，また，宇宙航空市場も小さいため，MEMS ジャイロの高性能化への市場の牽引力は作用しないという問題もある．

このため，MEMS ジャイロの宇宙航空用への応用は，まだ先のもの，あるいは，ローバなどの高精度な姿勢制御よりも小型化が重要なものや，衛星，探査機のヘルスモニタへの応用程度であると考えられてきた．

4. 超高性能 MEMS ジャイロスコープ

ところが，最近になってノルウェーの Sensonor Technologies 社が**図 3** に示す「SAR 500」という超高性能 MEMS ジャイロを開発し，性能という面で MEMS ジャイロの宇宙航空用への応用が見えてきた．

発表された論文 [1] から性能のデータを抽出すると，たとえばランダムウオークが 0.002 度 / $\sqrt{\text{h}}$，バイアス安定性が 0.004 度 /h と，光ファイバジャイロ（FOG）に匹敵する，あるいは，上回る性能を実現している．FOG よりも小さく，軽量で高性能な MEMS ジャイロが実現できることになれば，一挙に宇宙航空分野への応用が現実のものとなってくる．

5. おわりに

宇宙航空用の高性能 MEMS ジャイロは，夢物語のようであったが，超高性能 MEMS ジャイロの出現により，実現の可能性が見えてきた．宇宙応用を考えた場合，真空での動作や放射線耐性，打ち上げ時の振動衝撃耐性など，越えなければならない壁は，まだまだ存在する．しかし，MEMS 自体は真空での動作や放射線への耐性は高く，放射線に弱いとされる周辺回路も近年の宇宙用デバイス技術の発達により克服されてきているため，宇宙用への応用は可能であるだろう．超高性能 MEMS ジャイロスコープが宇宙に旅立つ日も，そう遠くはないだろう．

（原稿受付　2011 年 11 月 29 日）

〔三田　信　（独）宇宙航空研究開発機構〕

●文　献

（1）Lapadatu, D., Blixhavn, B., Holm, R. and Kvisteroy, T., SAR500 - A High-Precision High-Stability Butterfly Gyroscope with North Seeking Capability, *2010 IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium (PLANS)*, (2010-5).