



図4 開発が進むウェアラブルコンピュータ



図2 ARサービスの例(星座ナビ)

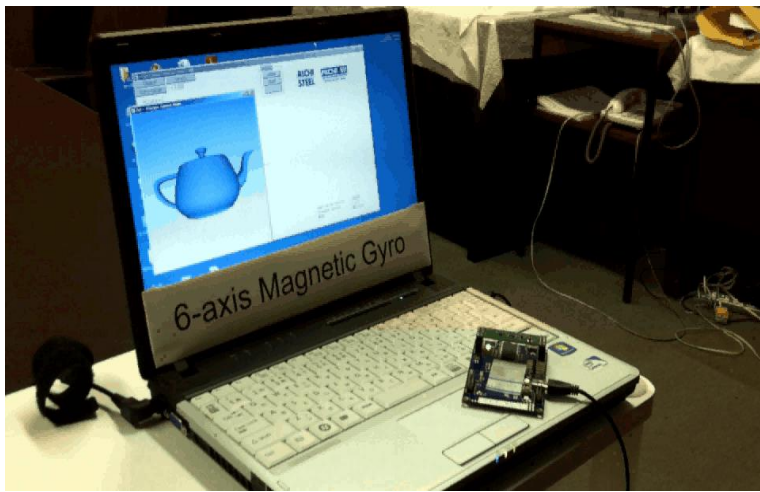


図12 磁気ジャイロの性能デモ

$$\omega = \frac{H_0}{(H_0)^2} \times \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (4)$$

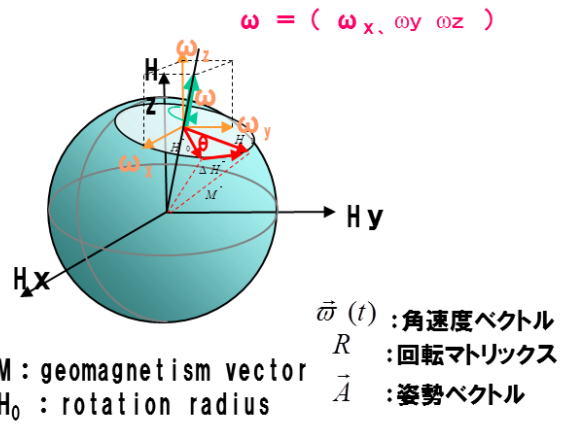


図7 無限小回転モデルの磁気ジャイロ

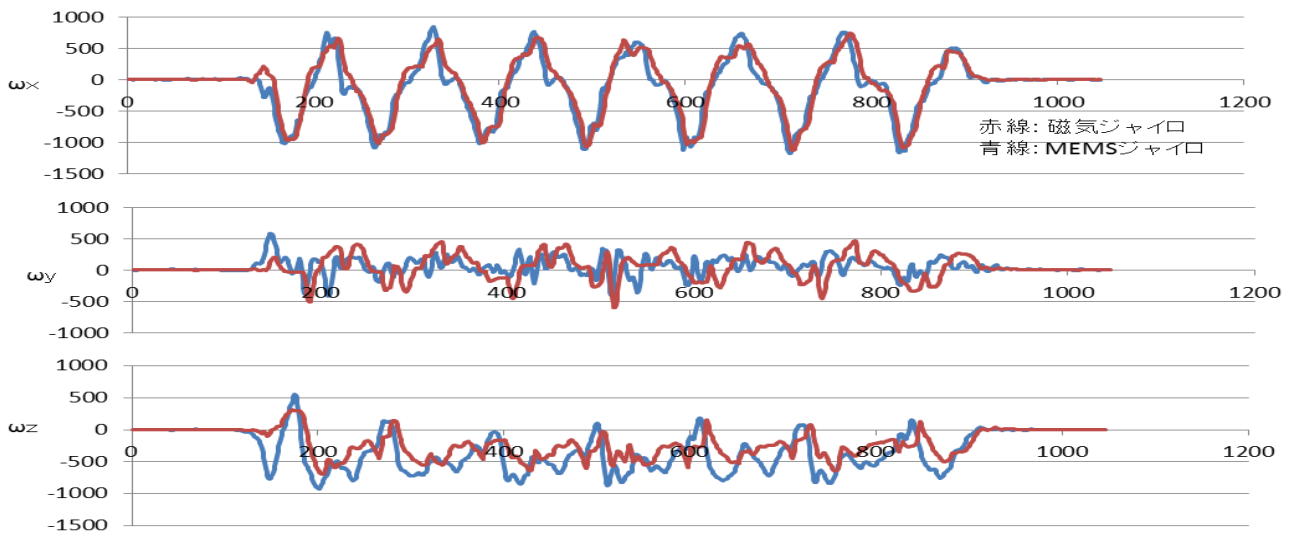


図11 磁気ジャイロとMEMS ジャイロの課題申請書 実用化挑戦タイプ

(シーズとそれを基に目指す製品・サービスの内容)

1. シーズについて

(1) シーズの内容・特徴

磁気ジャイロおよびそれを内蔵した超小型 6 軸 Fusion センサの開発

1) 研究の背景

6 軸 Fusion センサは電子コンパスと加速度センサからなる複合センサで、モーション入力装置としてスマートフォンに標準装備されている。さらに動きをスピーディに改善するために MEMS ジャイロと融合した 9 軸 Fusion センサが一部採用されはじめています。6 軸または 9 軸 Fusion センサは、3 次元の方位情報を提供するもので、GPS の位置情報と組み合わせることで、現実空間での視界情報・運動情報と IT 情報を融合した AR (拡張現実) サービスやインドアナビゲーションを可能とする注目デバイスの一つです。これらのサービスは、スマートフォンの普及に伴い日常生活の利便性を多に高めている。さらに本デバイスは、将来ウェアラブルコンピュータに搭載され、人の日常的な動きを介して、ごく自然な形で人とインターネット情報との連携を強め、健康・安全管理、スポーツ教育、医学サービスなどへの応用が期待される。モーション入力装置の市場規模はすでに年 10 億個を超えて 15 億個へと拡大しようとしている。さらにウェアラブルコンピュータの普及に伴い年 30 億個へと拡大が期待される。

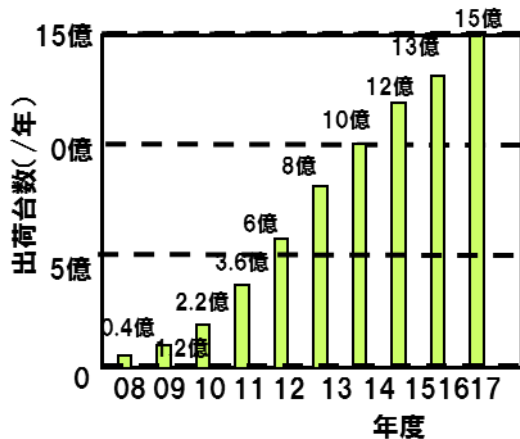


図1 市場規模の予測(Invensense社ホームページ)
【スマホ10億、タブレット3億、カメラ補正7億、タブレット⑥億、合計26億個 その60%として試算
Internet TV



図3 Air mouse application



図2 ARサービスの例(星座ナビ)



図4 開発が進むウェアラブルコンピュータ

標準装備されている 6 軸 Fusion センサは電子コンパスと加速度センサからなっている (一例を以下の図に示す) 6 軸 Fusion センサは地磁気ベクトル M と重力ベクトル G を測定 (式 (1)) して 式 (2) の回転マトリックス方程式から方位 (θ 、 η 、 ϕ) を計算することができる。しかし、動きがあると加速度同加速度をセンサは、重力に加えて動加速度を検知するため計算できなくなるつまり、回転状態にあっては大きな誤差が出てしまい使用できない。

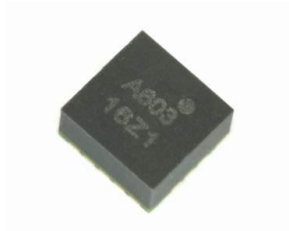
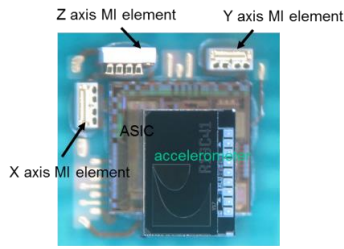


図 4-1 外観
サイズは 3×3×1



Internal structure
図 4-2 内部構

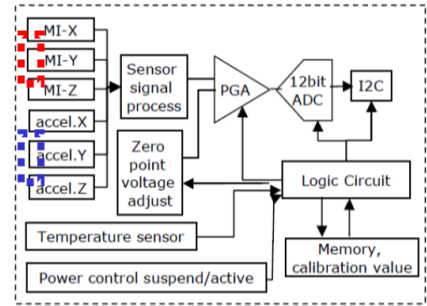


図 6軸Fusion センサの回路構成

図5 6軸 Fusion センサ (3軸電子コンパス+3軸加速セ

$$G^S = (G_x, G_y, G_z) \quad M^S = (M_x, M_y, M_z) \quad (1)$$

$$A_s(G^S, M^S) = R(\theta, \eta, \phi) A_E(G^E, M^E) \quad (2)$$

9軸 Fusion センサ

は、スピーディな動きを検知して3次元方位をリアルタイムに提供することを可能にするが、MEMS ジャイロセンサは、価格、消費電流、サイズの問題があり、その改善が強く求められており、現時点では標準装備されるに至っていない。



図6 9軸 Fusion センサの応用例(3軸 MEMS ジャイロ+3軸電子コンパス+3軸加速度)

本開発は、磁気ジャイロプログラムを開発し、6軸 Fusion センサに 9軸 Fusion と同等の機能性を与えると同時に超小型化と低消費電流化を実現するものである。

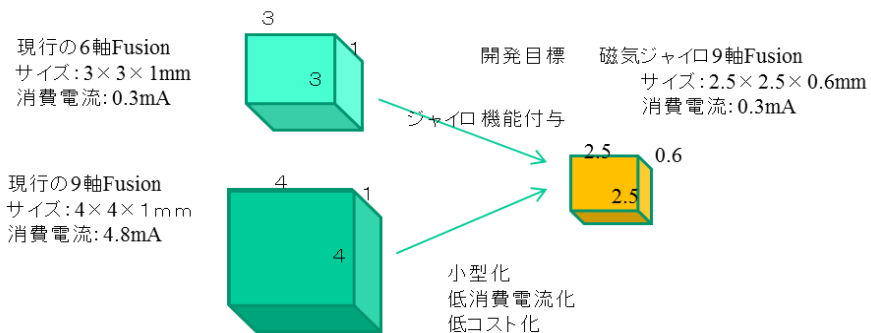


図7 磁気ジャイロ6軸Fusion センサの開発目標

2) 研究の内容

リアルタイム3次元方位計は、それぞれ3軸の電子コンパスと加速度センサとジャイロ機能から構成される。静止状態の3次元方位情報は電子コンパス（地磁気ベクトル計測）と加速度センサ（重力ベクトル計測）の二つの測定値から求める。回転状態の3次元方位情報は静止状態の3次元方位値を初期値として、ジャイロから求めた瞬間の角速度を積分して加算続けることで求めることができる。

ジャイロとして、安価で小型な3軸MEMSジャイロが開発され、リアルタイム3次元方位計を使ったモーション入力サービス装置の開発が注目されている。しかし標準装備されている6軸Fusionセンサに比べてMEMSジャイロを付け加えて9軸Fusionセンサと使用するので、価格(1\$が3\$にアップ)、サイズ(2倍)、消費電流(10倍)などの点で改善が求められている。

本開発はまず、MEMSジャイロに代わる磁気ジャイロを開発する。これは、電子コンパスで計測した地磁気ベクトルを使って、角速度を算出するものである。

磁気ジャイロの開発は、原理方程式は式(3)を使って長年研究されてきたが、式が成立する前提は有限回転の存在である。回転軸の判定に十分な角度が必要で、これは本質的に大きく遅れることを意味しており、回転軸そのものが動く自由回転の場合には計測は不可能である。

そこで、申請者は無限小回転をベースにした世界初の磁気ジャイロプログラムを考案し、回転軸変動を伴う自由回転に対応できる磁気ジャイロアルゴリズムを発明し、現在特許出願中(特願2013-012697)である。これは、無限小回転の基本方程式(4)に着目したものである。2点のみを使用する本モデルでは回転軸は不定となり定まらない。回転軸特定には3点は必ず必要であるからである。この矛盾を解消するためにfeedbackによる微小調整方式を導入した。ある時刻において回転軸 $n(i)$ を仮定し、もし $n(i)$ が正しければ、この微小磁界変化量 ΔH との関係は、 ΔH は回転軸に垂直で、回転半径の接線方向成分のみとなる。このことに着目して微小調整を繰り返すことによって、刻々と変化する回転軸を計算し、自由回転に対応する漸化式を発案した。なお、初期値 $n(1)$ の時の値は、準静止状態の方位変化から求めることにした。

また地磁気ベクトルと回転軸が一致する回転が検出できない。この特異軸処理方法としては組込み理論的な処理で解消した。今後、実用プログラムの開発に取り組む必要がある。

$$\vec{\omega} = \frac{\overrightarrow{\Delta H_1} \times \overrightarrow{\Delta H_2}}{|\Delta H_1| |\Delta H_2| \Delta t} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{H_0}{(H_0)^2} \times \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (4)$$

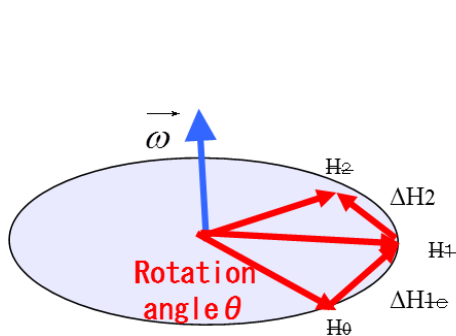


図 有限回転モデルのより磁気ジャイロ
(固定軸回転)

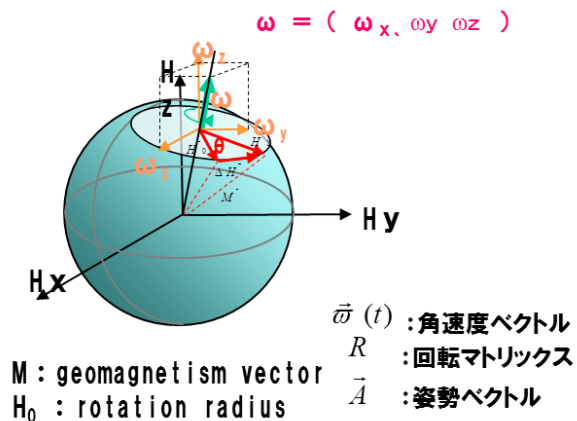


図7 無限小回転モデルの磁気ジャイロ

磁気ジャイロの性能は微小時間 Δt 内で、いかに精度よく微小磁界変化量 ΔH を測定できるかに依存する。既存の電子コンパスはノイズレベルは標準偏差 σ で2mG、方位分解能は ± 1 度に対して、0.5mG以下、 ± 0.2 度以下に改善されることが望まれる。ノイズFilterによって実現できるが、プログラムサイズが大きくなり、CPUに負荷をかけて消費電流の増大をもたらすので、できる限り電子コンパスの高性能化を図るべきである。

MI素子の製作方法を、メッキ工法から蒸着膜法に切り換えて、コイルピッチを $30\mu m$ から $3\mu m$ と微細化を図ることと、マルチアモルファスワイヤを単線から複線化構造にすることで、コイル巻き数を17

回から 100 回から 200 回程度に増加させて、検出力を 10 倍から 20 倍程度アップさせる。見方を変えると低ノイズ化を実現する。

同時に、コイル抵抗が増大するので、コイル電圧を直接検波する方式に回路を修正する必要がある。そのための回路は特許出願中（特願 2013-012698）である。

小型化については、9 軸 Fusion センサ（invensense 社の MPU-9150 ）のサイズ $4 \times 4 \times 1$ mm に対して、 $2.5 \times 2.2 \times 0.6$ mm と $1/5$ 化を目指す。とくに高さを低減するためには、Z 軸素子の高さ低減が重要であるが、その方策については特許出願中（特願 2013-025648）である。現行組立て技術は部品組み立て法を採用しているため、誤差が大きくしかも高価である。性能アップのためには、MEMS 工法で基板平面上にフォトリソ工法で形成させる方法を開発することが重要である。

3) 特徴（独創性、新規性、現状の問題点を含む）

独創性は、

世界初の MEMS ジャイロを代替できる自由回転に対応できる磁気ジャイロを開発する点である。

新規性は、

またそれを使ってリアルタイム 3 次元方位計を 9 軸 Fusion に代わって 6 軸 Fusion (電子コンパスと加速度センサ) センサで実現し、超小型、低消費電流化してウェアラブルコンピュータのモーション入力装置を提供するものである。

現状の問題点は、

磁気ジャイロのプログラム開発は、既存電子コンパスを使ってアルゴリズムを考案した段階で、今後商用プログラムの開発が必要である。

電子コンパスの小型化、低消費電流化および低ノイズ化はそれトレードオフの関係にある。総合的なパフォーマンスアップのためには、MI 素子の微細化技術、MEMS 製作技術および電圧検波型の電子回路など技術要素のレベルアップを図る必要がある。

(2) これまでに得られている研究開発成果

1) 磁気ジャイロ開発

無限小回転をベースにした磁気ジャイロアルゴリズムを考案して、特許出願実施した。さらにまデモ用のプログラムを制作した。そのプログラムを使って 6 軸 Fusion センサを試作し、説明用のデモボードを製作した。これは画面上のポットを 6 軸 fusion で自由に回転して表示するものである。同時に 6 軸 Fusion と 9 軸 Fusion の両方の角速度を出力して比較できるようにした。使用している電子コンパスの性能に限界があるが、同等の出力を得ることができている。結果の一例を図に示す。

基本回転軸と他の 2 軸との分けてチェックすると、絶対値は 3 軸ともほぼ一致している。位相については、基本軸は完全に一致し、他の 2 軸は filter の関係で遅れが見えるが同期されているので問題はない。またノイズが大きいので電子コンパスの性能向上が求められる。

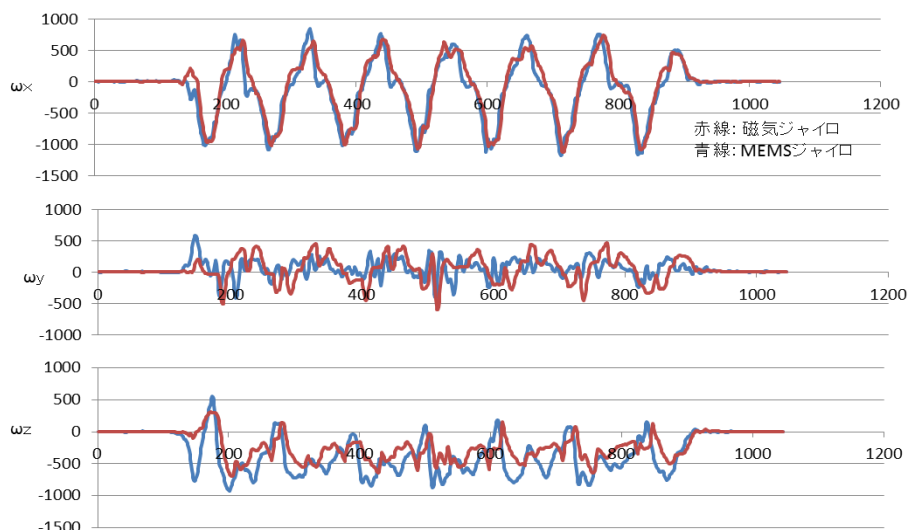


図11 磁気ジャイロとMEMS ジャイロ
課題申請書 実用化挑戦タイプ

2) 電子コンパスの高性能化について

磁気ジャイロの基本アルゴリズムの発明が完了したので、次に電子コンパスの高性能化について検討を始めた。その結果、研究のアプローチ方策を決定した。つまり、①ノイズ filter の研究（特許出願）②コイルピッチを微細化し検出能を高めると同時に XYZ 軸素子をワンウェハ上に形成して小型化を図る（特許出願）さらに、③その出力電圧を直接検知する回路を考案し、特許出願を実施した。

現行 MI 素子を図●に示す。メッキ工法でコイルを製作しているため微細化が困難である。現在、コイル微細化のために厚膜コイルから薄膜コイル製作を検討中。10 月から名古屋大学の微細加工プラットフォームの設備を借りて実験開始の予定。必要な特殊な研究設備（アモルファスワイヤ基板接続装置など）はマグネデザイン(株)がエフエー電子に依頼して現在制作中で、9 月末に納入予定である。繰り返すが、微細コイルは電気抵抗が高いので現在の電子回路では信号を増幅できない。