

# ロールオーバーセンサの開発

Development of a Roll-over Sensor

谷内 雅紀 *Masanori Yachi*  
森宗 克文 *Katsufumi Morimune*  
貝野 秀昭 *Hideaki kaino*



## 要 旨

自動車の衝突時に乗員を保護する装置のエアバックシステムは、ほとんどの車両に搭載されている。

当社でも、エアバック用ECUを生産し、国内自動車向けに納入している。

ところが、米国をはじめ、欧州においては、車両横転時に乗員が下敷きになり亡くなるという事故が多発しており、従来のエアバックシステムに車両横転時、乗員を保護する機能（ロールオーバー検出機能）を追加する要求が出てきている。

今回、ロールオーバー検出機能のキーデバイスである横転角速度検出センサ（ロールオーバーセンサと言う）を同じ富士通グループである富士通メディアデバイス株式会社殿と共同で開発し、他社に類を見ない車載用として超小型化、高精度なロールオーバーセンサを開発した。

本稿では、1998年時点でのロールオーバーセンサの構造と機能の概要、ならびにそれに必要な要素技術、評価法について特徴を紹介する。

## Abstract

Almost all the new automobiles come equipped with the air bag system: the device that will protect passengers in car collisions.

The air bag system is controlled by the "air bag ECU(Electronic Control Unit)".

We at Fujitsu Ten have been manufacturing and supplying air bag ECUs to Japanese auto makers for their domestic cars.

Lately, there have emerged new demands for much more reliable system than the air bag alone system. Such demand is very strong especially in the United States and Europe where there are lots of fatal car accidents reported daily: many of those ending up in overturning of cars with passengers inside.

As an answer to the market demand, Fujitsu Ten and Fujitsu Media Device Co.Ltd.(a Fujitsu Group member) have jointly developed a key device that will detect the roll-over of a car. The new-developed device is an angular velocity sensor (known as "the roll-over sensor"), which by far is superior in its compactness and accuracy to the counterpart products manufactured by competitors.

The following thesis explains a structural and functional overview of the roll-over sensor (as of 1998) and introduces features of its essential element technologies and evaluation method.

## 1. まえがき

### 1.1 背景

エアバックシステムは、米国の法規制化、欧州・日本での安全への意識の高まりから96年より全車に標準装備された。

ところが、米国をはじめ、欧州においては、車両横転（ロールオーバー）時に乗員が下敷きになり亡くなるという事故が多発している。特に、米国のある車種においては、衝突死亡事故の約半数がロールオーバー（以下R/Oと略す）によるものである。

また、欧州においてもその3割弱が亡くなっている。

このような背景から、現在のエアバックシステムに車両横転時、乗員を保護する機能（R/O検出機能）を追加する要求が出てきている。

### 1.2 システム構成

一般的に、エアバックシステムは、図-1の構成に示すように車室内前方中央部に設置されたエアバックECU内のGセンサにより前突を検出し、エアバックを作動させている。これにR/O検出機能を追加したシステムは、ECU内に前突検出用のGセンサと横転検出用のR/Oセンサを搭載し、エアバックをはじめとする乗員保護補助装置(1.SRS)を作動させることで乗員を保護し、より安全性を追求したシステムを目指している。

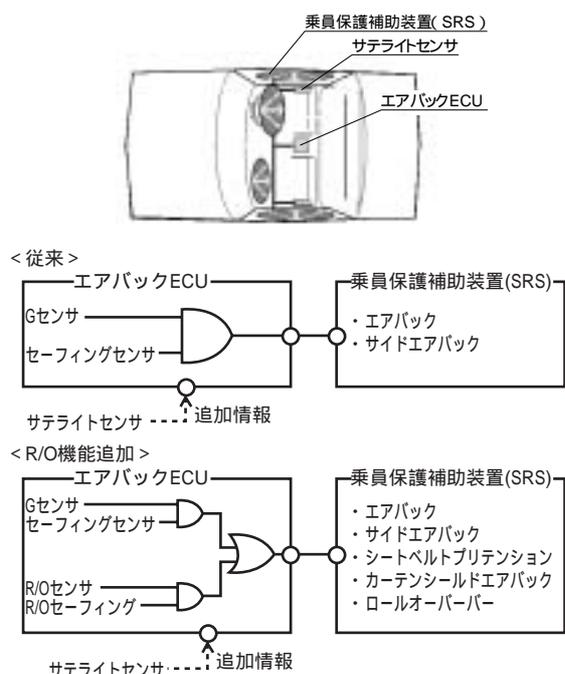


図-1 エアバックシステムの構成  
Fig.1 Configuration of air bag system

これを実現する為には、現在のエアバックECUのサイズ、コストを損なうことがないような小型、低価格の横転（ロール）を検出するセンサ、R/Oセンサが必要である。

当社では、ナビゲーションシステム向けに開発中であった角速度センサに当社の車載用製品で得られた技術を生かしてR/Oセンサの小型、低価格、高信頼性を実現したので、これらの概要について紹介する。

## 2. 開発のねらい

今回の開発は、角速度センサのエアバックECUへの搭載と車両へ応用するための特性改善を目指した。

それを実現する条件は、以下のとおりである。

エアバックECUへの内蔵可能なサイズであること。

15年保証できる高信頼性センサであること。

車両の振動に対して、信号出力に影響が出ないこと。

（これは、センサの特性仕様において、耐振動特性と呼んでいる。）

低価格であること。

これらを満たすために当社では、材料精製から素子開発を手がけていた富士通メディアデバイス（株）殿と共同開発し、図-2に示すような他用途に適用されている角速度センサに対し、精度、対サイズでは、最小のセンサを開発する事をねらいとした。

一般に、角速度センサは、総称してジャイロ（ジャイロ

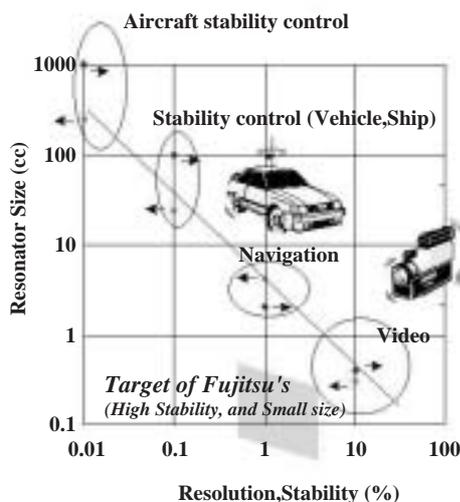


図-2 角速度センサの用途  
Fig.2 Application of angular velocity sensor

スコープ)と呼ばれている。ジャイロは、高精度で高価な航空機の慣性航行用から、低精度で安価なVTRなどの手ぶれ防止用まで、その用途は、多岐にわたっている。

今回の開発は、車の姿勢制御用として、サイズ、価格のバランスを考慮し、ナビゲーション用程度の精度を持った低価格のセンサの開発を目指している。

表-1に、我々が目指したR/Oセンサの目標諸特性を示す。

表-1 R/Oセンサ目標仕様

項目	目標仕様
電源電圧	5 ± 0.5V (レシオメトリック)
使用温度範囲	-40 ~ 85
静止時出力電圧	2.5 ± 0.25V
感度	6 ± 0.6mV/deg/S (任意設定可能な事)
周波数応答性	DC ~ 30Hz以上
消費電流	5mA以下
耐振動性	1deg/S以下
体積	10cc以下

### 3. 新技術開発

#### 3.1 基本構成

##### 3.1.1 システム

R/O検出機能は、図-3に示すアルゴリズムで実現しようと考えられている。

車両の横転角速度(ロールレイト)を検出するR/Oセンサ。

ロールレイトを、積分し、車両の角度(ロール角)を演算。

ロールレイトとロール角から、図-4に示す2次元マップを描き、ある判定領域を超えた場合、R/Oと判定する。

これら3つのブロックにより、さまざまなSRSを作動し、乗員を保護する。

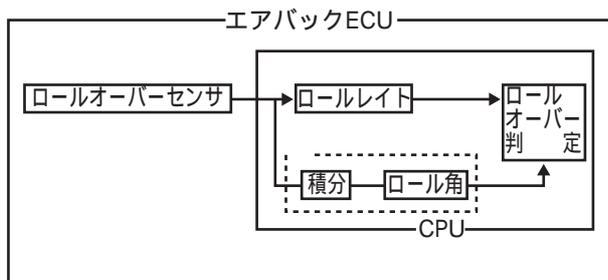


図-3 検出システムの概要  
Fig.3 Outline of detecting system

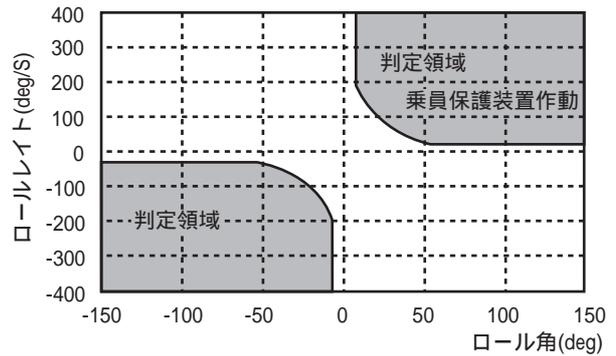


図-4 判定マップ  
Fig.4 Judgment map

#### 3.1.2 センサ

R/Oセンサは、図-5のブロックダイアグラムで示す4つの要素で構成されている。

車両が横転する時に発生する角速度(2コレオリカ)を検出し電気信号に変換するためのセンシング素子

センシング素子を駆動し、角速度に応じた電気信号を取り出すための処理回路。

車両の振動に耐えるためのダンパ構造、及び、落下等の衝撃に対し、素子を保護するストップ構造。

ファインピッチパターンで構成された電気回路の保護と、素子を湿度から守る不活性ガス入りハーメチック金属ケース。

これらの基本要素は、1パッケージにまとめられ、センサ単体での性能、及び、人命を預かる車載用乗員保護補助装置に必要な信頼性を保証している。

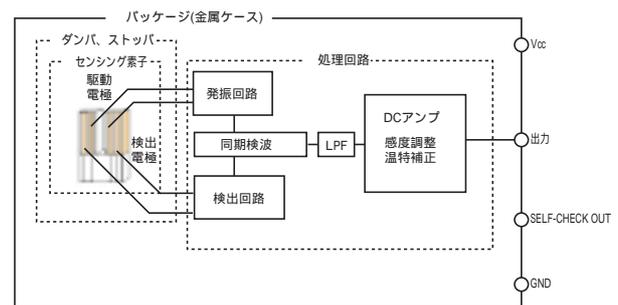


図-5 R/Oセンサの基本構成  
Fig.5 Basic configuration of roll-over sensor

#### 1 SRS

Supplemental Restraint System=乗員保護補助装置

エアバック、サイドエアバックなどは、メインの拘束装置であるシートベルトの補助装置なので、よく自動車メーカーのカatalogなどには、“SRSエアバック装備”等と書かれている。

## 2 コレオリカ

物体が回転した時に働く見かけ上の力の一種。

物体が回転した時、発生する慣性力は、遠心力+コレオリカであり、質量をm、回転速度をV、角速度を  $\omega$  とするとコレオリカは、 $2mV\omega$  で表される。

### 3.2 センシング素子の開発

#### 3.2.1 センシング素子への要求

R/Oセンサの性能は、その基本要素であるコレオリカを電気信号に変える素子によって決定される。ゆえに、センシング素子には、車特有の環境から、次の内容が要求される。

広い温度範囲（低ドリフト）

-40~85 で安定した特性を有すること。

R/Oセンサから出力される信号は積分され、ロール角として横転判定に用いられる。もし、信号成分が温度に対して不安定であると、積分した時、誤差が大きくなりすぎるという問題が生じる。従ってセンサの出力の温度に対する変動は、小さいほど良い。（低ドリフトが良い。）

振動による他軸感度の緩和（耐振動性）

車両の横転方向以外の角速度を検出しないこと。

車両に搭載されるため、常に車両の前後方向及び、左右方向に振動がかかっている。これらは車両の横転方向に回転運動を発生しないが、センサの構造上ある程度の振動を拾っている。この特性と次の高感度、高出力は、互いにトレードオフの関係にある。

センサ構造については、3.2.4章で述べる。

高感度、高出力

処理回路での過大な増幅は、S/N比を下げ、信号の信頼性が落ちる、従って増幅の必要がない高出力、高感度が望ましい。

耐衝撃性

衝突時の強い衝撃に対して十分な強度を持つこと。

使用帯域

高い固有振動数、広い周波数平坦性をもつこと。

R/Oセンサは、人命に関わる制御に用いるセンサであるために横転現象をより早く検出することが必要である。このためVTR、ナビ用途のそれに比べ3倍程度の応答性が必要である。

上記要求を満たす目標をたて、圧電単結晶による音叉型振動子の角速度を電気信号にする変換機構、ダンピング機構、全体構造の開発を行なった。

#### 3.2.2 角速度を電気信号にする変換機構の開発

角速度の検出方式には、図-6に示す代表例のように音

叉型、三角柱型、円柱型、があり、これらを総称して、圧電振動ジャイロと呼んでいる。圧電振動ジャイロは、素子自体が常に一方方向に振動しており、回転を受けるとコレオリカにより直交方向に振動をはじめ。その際の圧電効果で発生する電位が角速度に比例しており、圧電振動ジャイロ(角速度センサ)として機能している。ちなみに、圧電振動ジャイロに使われている素子を一般に振動子と呼んでいる。

圧電振動ジャイロは、無回転時でも発生する漏れと呼ばれる不要なノイズが存在し、いかにノイズを小さくするかが精度向上へのポイントである。さらに、回転運動のみ出力すべきであるが素子自体が振動しているため、外来振動の影響を受けやすく振動による他軸感度がやすいという問題がある。

これらの課題を解決するために、R/Oセンサでは上述した代表例の内、音叉型を採用した。

#### 圧電振動ジャイロの駄代表例

名称	当社	音叉型	三角柱型	円柱型
タイプ	音叉	音叉(ワトソン型)	音片	音片
材料	LiTaO3結晶	エリンバ+セラミクス	エリンバ+セラミクス	セラミクス
構造				
特徴	小型化 高感度 応答性 量産性	×		×

図-6 電圧ジャイロの代表例

Fig.6 Typical example of voltage gyro

音叉型は三角柱型、円柱型と比べ振動部分を直接保持しないので、特性を損なわずに保持できるという特徴がある。一般的な音叉型センサは別名ワトソン型とも呼ばれ、図-7に示すように温度安定性が比較的良好な恒弾性金属（エリンバ）をプレスなどで打ち抜き中央部を直交曲げし、その4つの音叉片に圧電セラミクスをエポキシ系接着剤で接着している。4つの音叉片の内、下部の音叉片は駆動音叉片であり、上部の音叉片は検出音叉片である。しかし、この構成だと左右のアンバランスによって共振が弱くなり感度がとれなくなる。また、圧電セラミクス自体がヒステリシスを持つため特性変化が直線的になり難いなどの課題がある。したがって電気回路によるゲイン、大規模な温度補正が必要である。また、高精度にするには、サイズが大きくなるので、ECUに搭載できる小型化をはかるのは困難である。

R/Oセンサではこのような問題を解決するために圧電単結晶を用いた独自の音叉型振動子を開発し、以下に示すような高い効果が得られた。

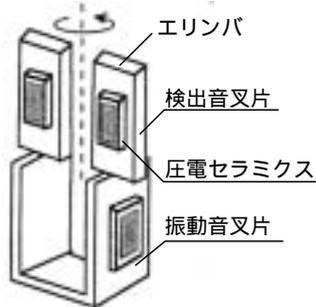


図-7 一般的な音叉型センサ  
Fig.7 Ordinary tuning fork-type sensor

< 圧電単結晶を用いた音叉型振動子の利点 >

素子の選定について

タンタル酸リチウム結晶(LiTaO<sub>3</sub>)単結晶、または、ニオブ酸リチウム結晶(LiNbO<sub>3</sub>)を用い、音叉型振動子を構成することで、小型、高感度を実現できる。

音叉の加工について

結晶体に電極パターンをホットエッチングするなど、半導体と同等のプロセスで製造できるため、振動子の量産性が高くなる。

電極配置について

左右の音叉(それぞれをアームという)に対して対称なバランス型電極構造にすることで、不要出力を相殺し、直線性と温度特性を改善することができる。

以下、それぞれに対して詳細を示す。

素子の選定について

LiTaO<sub>3</sub>または、LiNbO<sub>3</sub>で構成された音叉型振動子は、図-8に示すように圧電セラミクス比べ共振の鋭さを示すQ値が高く、水晶に比べ角速度を電気信号に変える変換効率(電気機械結合係数)が高い。

このため、先に述べたワトソン型より圧倒的に小型化することができた。

さらに、温度特性に関しても温度変化が最小となる結晶方位を使用することで、素子による温度特性を緩和している。

これら、素子育成のノウハウは富士通既存の技術であり、すでに携帯電話のSAWデバイスとして世界シェアの40%を占めている。

尚、現在は、結晶としてLiTaO<sub>3</sub>を使用しているが、今後、温度特性の良さからLiNbO<sub>3</sub>結晶を採用していく予定である。

音叉の加工について

育成された結晶は、ウェハに分割され、ダイシングソーにより音叉の形に切り出される。これに、信号を取りだすための電極を蒸着し、ホットエッチング技術で電極パターンを形成している。この電極形状によって素子の特性が決定されるため、半導体のパターンニング技術によって高い精度を得ている。

電極配置について

電極配置については、FEM(有限要素法)解析を行ない漏れがもっとも少なくなるように電極を配置した。更に、左右の音叉それぞれに検出電極と駆動電極を設けること(バランス型電極構造)で漏れを相殺し、直線性と温度特性を改善することが出来る。

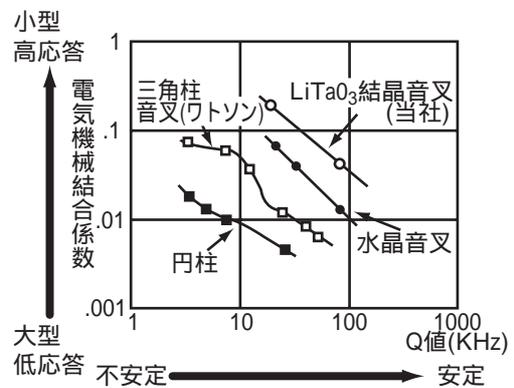


図-8 素子特性  
Fig. Element characteristic

3.2.3 ダンピング構造の開発

前節で述べた圧電単結晶を用いた振動子の特性を有効に引き出し、更に耐振動性を向上するため図-9に示したダンピング構造を開発した。

ここで、ダンピング構造の説明をわかりやすくするためにR/Oセンサの検出原理について述べる。

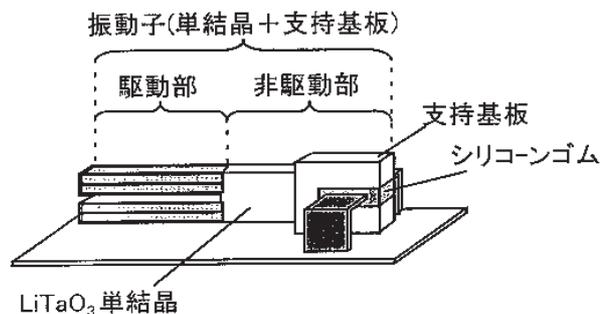


図-9 ダンピング構造  
Fig. Damping structure

図-10に示すように振動子は常に音叉が広がる方向に振動しており回転が加わるとコレオリカにより直交方向（検出方向）に振動をはじめめる。この振幅の大きさが、感度に依存しており振幅が大きいほど感度は高い。ところが車両においては、振動、衝撃はつきものである。これらの影響を緩和するためには振動子を強固に取り付けられが良いが、感度を妨げることになる。振動を緩和しつつ、感度を妨げない為には、以下の要素の最適化が必要である。

支持アームと振動子を固定するシリコンゴム材の弾性（ヤング率、硬度）

振動子の非駆動部と駆動部の比率

振動子、支持アームの相対寸法

これらは、全て最新の圧電シミュレーションによって最適化がはかれ、図-9に示したダンピング構造を開発した。図-11は、振動子の非駆動部と駆動部の比率と漏れの影響をFEM解析した物である。

非駆動部の変形が小さい方が広い範囲で保持しても特性劣化が少なくなる。

図-12は、最適化を行なう前と後における耐クロストーク特性の比較である。

最適化前に比べ、最大で10倍くらいの効果が期待できることが確認できた。

コレオリカ $F_c$   
( $= 2mV$ )

{ 速度  $V$   
質量  $m$

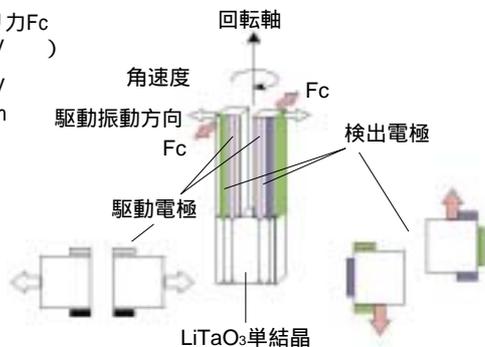


図-10 検出原理

Fig. Mechanism of detection

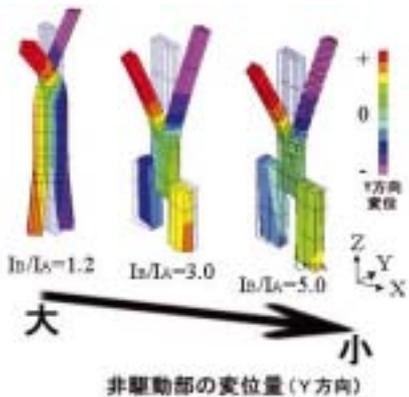


図-11 FEM解析

Fig. FEM analysis

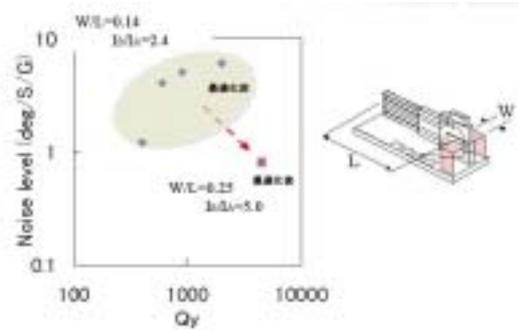


図-12 最適設計

Fig. Optimal design

### 3.2.4 構造

構造への要求

素子開発時点から車載用仕様を検討し、センサ開発に折り込んだために車載用独自の構造開発が出来た。

<R/Oセンサに必要な構造要素>

振動子と処理回路が一体構造

振動子と個々の特性に合わせた調整機能

耐湿性の高い中空気密パッケージ

- ・素子の振動部が自由に動ける状態。
- ・接続部に微細銅線（30 $\mu$ 単線ワイヤ）を使用。

R/Oセンサの構造を図-13に示す。

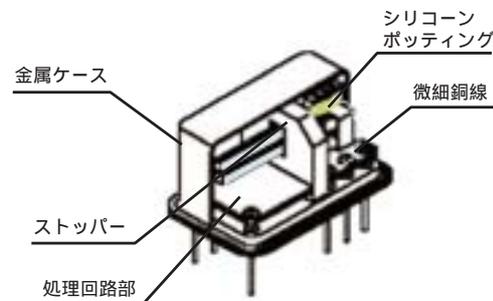


図-13 R/Oセンサの構造

Fig. Structure of roll-over sensor

処理回路部については、素子を駆動させる発振器と角速度を検出する機能を持った専用ICと電気的な調整を行なうトリプルチップで構成した。振動子を支える支持アームの固定は、外来ノイズにより処理回路基板が二次共振する影響を受けないようにするために、金属ステムに直接固定する方法をとった。振動子と処理回路は、素子の振動を妨げない微細銅線で接続され、振動、衝撃等により銅線が切断しないようにシリコンポッティングによる保護されている。ストッパーは、落下衝撃のために設けられており、1500G保証を実現している。パッケー

ジとしては、中空気密、ローコストという要求を満たすために、汎用で市場実績のある金属パッケージを採用した。また、パッケージ内部には窒素ガスを封入することにより耐湿性、耐衝撃性を高めている。

#### 4．特性測定

##### 4.1 測定系の概要

R/Oセンサとしての性能、品質を評価するため、測定に対しても高精度なものが要求される。R/Oセンサの特性測定には、特に角速度検出性能を高精度に測定できる装置が必要となる。図-14に現在の測定系を示す。

回転板にセンサを治具によって固定し、サーボモータで回転板を一定速度で回転しセンサ信号をスリップリングを通じ取り出しオシロスコープで測定している。

また温度特性を評価する恒温槽は、外部との気密がはかられ結露を防止している。

##### 4.2 性能評価

R/Oセンサが他用途の角速度センサと異なるのは、車特有の振動、衝撃に対して優れていることである。このため、センサの共振による特性への影響を評価し、信頼性を確保していく必要がある。

そこで、R/Oセンサ性能評価設備として、当社、エアパックで培われてきた下記の評価設備が使用できる。

加振機

クロストーク性の確認

衝撃試験機

過大加速度領域の特性評価

これら、2つの評価システムと上述した特性評価設備をあわせた3つの評価システムにより、R/Oセンサの特性測定を可能としている。

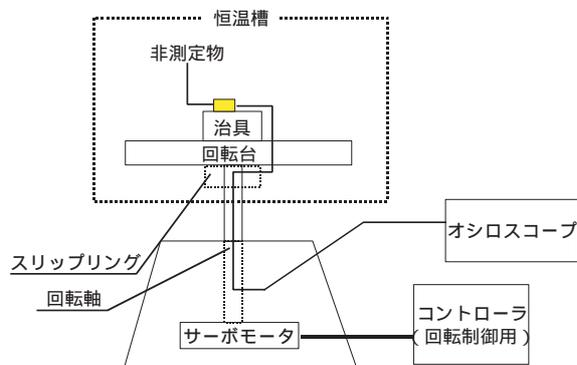


図-14 測定系構成図

Fig. Configuration of measuring system

#### 5．仕様と性能

R/Oセンサとして要求される性能の代表特性を表-2に示す。

また、これらの特性は、表-3に示す信頼性評価においてほぼ安定した性能を示しており、R/Oセンサとして要求される信頼性も満足している。

本センサは、開発段階より車載用の仕様を折り込んだために、ECUに搭載しやすいセンサとなっている。

<開発品の特徴>

回路定数の変更で広範囲な仕様(感度60～300deg/S)に対応できる。

素子の小型化により、高応答性を実現できる。

電源変動に対し、レシオメトリックに対応できる。

耐クロストーク特性が高く、ECUの固定方法を制限しない。

ただし、これら特徴の内、耐振動性については更に厳しくなっていくものと考えられる。

現在、既存の車載仕様から考えて、約5倍を想定している。これを実現していくためには、センサの構造改良はもちろん、システム全体を考えた改善を図ることが今後の課題である。

表-2 R/Oセンサ特性仕様

Vcc=5.0V: 温度 -40～85

項目	MIN	TYP	MAX	単位	備考
静止時出力電圧	2.25	2.50	2.75	V	任意設定可
感度	5.40	6.00	6.60	mv/deg/S	任意設定可
周波数応答性	0		30	Hz	任意設定可
非直線性	-1		1	%FS	
消費電流		6		mA	
体積		2.6		cc	

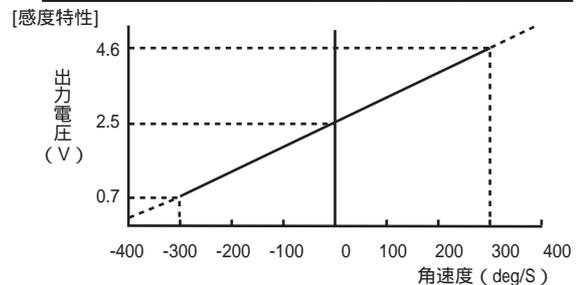


表-3 信頼性評価内容

評価目的	評価項目
機械的強度	高低温作動耐久試験、作動耐久試験、落下試験、高低温振動試験、等全7項目
耐環境性	熱衝撃、高低温放置試験、高温高湿通電試験、等全15項目

## 6. あとがき

当社の車載用技術と、富士通メディアデバイスのセンサ素子開発の強みを生かした共同開発により当社カスタム仕様のR/Oの量産化できる目処がたったことに対して大きな成果が得られている。

現在、欧州、北米地域では、2000年に自動車の安全性を追及したシステムとして、R/O検出機能をエアバッグECUに搭載する動きが高まってきている。

それに伴って、キーデバイスとしてのR/Oセンサの要求度も高まってきておりECUに内蔵できるセンサを実現しようと各社開発途上である。

これに対して当社のR/Oセンサは、要求に対して圧倒的に小型化した製品であり、車載用として応用できる技術を開発できたことで、高い評価が得られている。

今後、99年までに量産ラインの構築、2000年の量産化を目指していく。

また、次世代開発アイテムとして、マイクロマシニング技術を応用したセンサ開発を検討していく予定である。

最後に本製品の開発に対し、多大なご協力をいただいた富士通メディアデバイス株式会社殿に感謝の意を表します。

## 筆者紹介

谷内 雅紀(やち まさのり)



1987年富士通入社。以来圧電単結晶デバイスの開発に従事。現在富士通メディアデバイス(株)圧電デバイス製造部在籍。

森宗 克文(もりむね かつふみ)



1992年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モートロニクス本部第一技術部第14技術課在籍。

貝野 秀昭(かいの ひであき)



1982年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モートロニクス本部第一技術部第14技術課長。