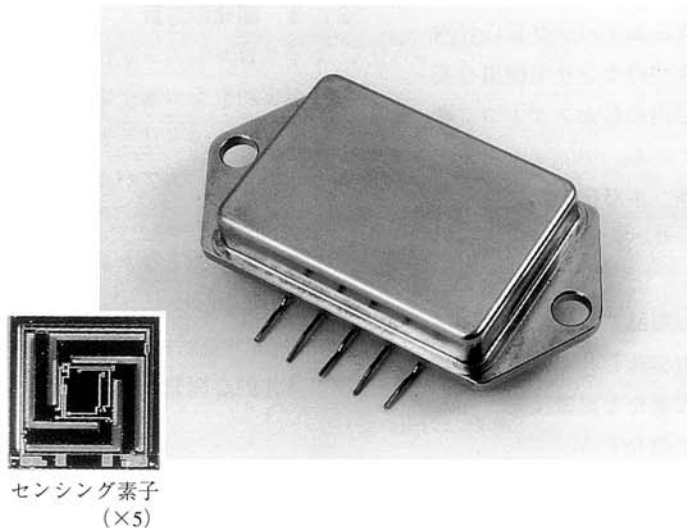


エアバッグ用加速度センサ

Acceleration Sensor for Airbag System

小林光男	Mitsuo Kobayashi
米田公久	Kimihisa Yoneda
鶴野雄二	Yuji Uno
成井譲司	Joji Narui
岸本 悟	Satoru Kishimoto



要 旨

自動車の衝突時に乗員を保護する装置であるエアバッグシステムが、米国の法規制化や欧州そして日本での安全性への関心の高まりにより標準装着が進んでいる。

当社でも、エアバッグ用 ECU をトヨタ自動車株式会社殿向けに 1993 年より納入開始している。

今回、エアバッグシステムの心臓部というべき衝突加速度検出用センサ（G センサと言う）を開発した。基本要素である加速度（力）を電気信号に変換するセンシング素子をマイクロマシニング技術で車載用センサの量産実績を持つ富士電機㈱と共同で開発し特徴ある G センサを製品化した。

エアバッグシステムは各車種毎に高度なチューニングが要求される。自社製 G センサの製品化は、アルゴリズムに適合した G センサを供給する事を可能とし、高性能な ECU 開発を円滑に行える効果をもたらした。本稿では、1994 年当社エアバッグ用 ECU に搭載した G センサ用センシング素子の構造と機能の概要、ならびに G センサに必要な要素技術の開発・評価法について特徴を紹介する。

Abstract

The legal regulation in the US and the rise of concern for safely driving in Europe and Japan has promoted equipment of the car with the airbag system which protects the crew when the mobile collides.

We developed the sensor for the collision acceleration detection (G sensor) which was main parts of the airbag system, and we have been delivering the airbag ECUs using those sensors to Toyota Motor Co., Ltd. since 1994.

The sensing element which transforms the collision acceleration into an electric signal was made a product by developing jointly with Fuji Electric Co., Ltd., which has been developing other sensors for automobile application, with applying the micro-machining technology.

A highly concerned tuning is needed for each airbag system according to each car characteristics. Our own G sensors made us to be able to develop a suitable ECU in a short term.

The paper will outline the structure, general function, elemental technology, and the evaluation method of the sensing unit for the G sensor.

1. まえがき

エアバッグシステムは、米国の法規制化、欧州・日本でも安全へ意識の高まりから全車に標準装着される方向にある。このことはエアバッグシステムのローコスト化の実現で可能となった。

その一例として図-1のエアバッグシステムの構成に示すように自動車が発した時の衝突加速度信号は、従来、車両前方両側に設置したGセンサ（フロントセンサ）と車室内前方中央付近に配置されるエアバッグECU内に取り付けられたGセンサの計3つのセンサで検出していたが、近年、エアバッグECU内のGセンサ1つで衝突を検出する方式が一般になっている。

当然ECU内のGセンサの性能、小型化、そして品質要求は厳しくなる一方で、Gセンサへの低価格化ニーズも高まっている。

当社は、Gセンサの高性能、高品質、低価格を実現するためセンシング素子を富士電機㈱と共同開発し、当社既存のハイブリットIC技術に新たな要素技術を加えて自社製Gセンサを開発したので紹介する。

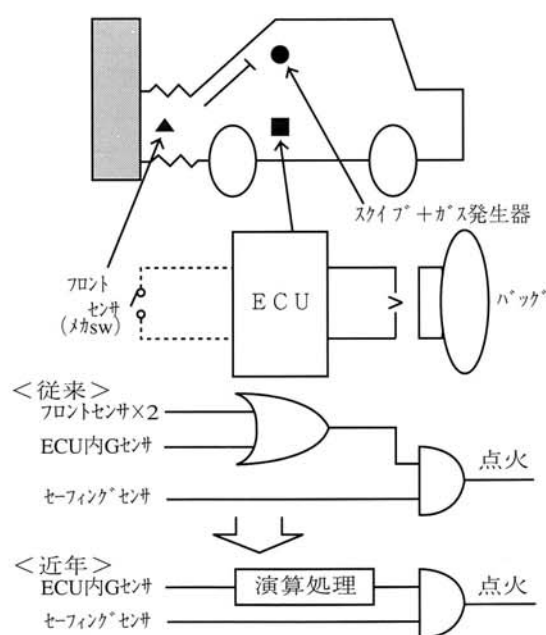


図-1 エアバッグ システム構成図
Fig.1 Airbag system configuration

2. 開発のねらい

今回の開発はGセンサの基本的性能・工法の確立を目指した。その考え方は次の通りである。

2. 1 高信頼性Gセンサの供給

- ①エアバッグECUと連動した生産体制
- ②構成部品のデータ管理体制の整備
- ③Gセンサ機能を1パッケージに集約

2. 2 最適化設計

- ①衝突信号検出の伝達関数が明確にでき精度の高いシミュレーションの実現
- ②車両毎のマッチング性能の向上

2. 3 開発の方針

マイクロマニシング技術でエンジン制御用圧力センサの量産実績をもつ富士電機㈱とシステム技術、アッセンブリ技術をもつ当社と共同で要素部品であるセンシング素子を開発し、エアバッグシステムに適合した斬新なGセンサを開発する。

- ①広いダイナミックレンジを実現しあらゆる検出条件に対応
 - ②将来の機能付加（セルフチェック・キャリブレーション）への対応
- 次に具体的な開発成果について述べる。

3. 新技術開発

3. 1 基本構成

Gセンサは図-2のブロックダイアグラムで示す3つの要素で構成されている。

- ①車両に生じた衝突加速度（G値）を検出し電気信号へ変換するためのセンシング素子
- ②センシング素子の微小出力の増幅、および不要周波数成分をカットするための処理回路
- ③ベアチップ、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車体からの衝突加速度を確実にセンシング素子へ伝達する両機能を備えたパッケージ

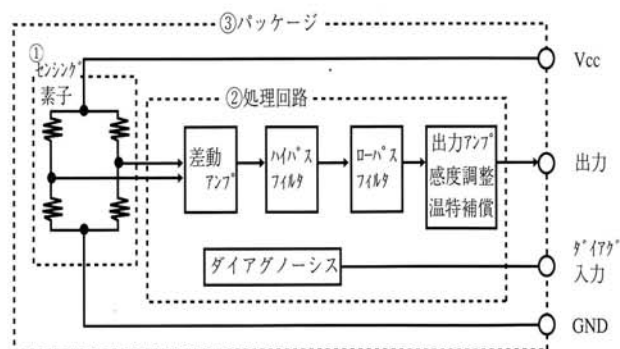


図-2 Gセンサの基本構成
Fig.2 Block diagram of Gsensor

これらの基本要素は1パッケージにまとめられ

- ① Gセンサとして要求される機能を1つのユニットで満たす事ができる
- ② Gセンサ単体で性能・信頼性の保証する事ができる等、人命をあずかる安全対策装置としての高い信頼性を設計、製造、品質管理部門がそれぞれの立場で確実に作り込みができるように配慮している。

以下に各開発要素について特徴を述べる。

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

Gセンサの性能は、その基本要素である加速度（力）を電気信号に変換するセンシング素子で決定されるといっても過言ではない。よって、車載特有の環境から、センシング素子には次の内容が要求される。

① 検出特性

自動車に搭載されるため、本来の進行方向に発生する衝突加速度成分の他に上下・左右様々な方向の加速度を受けるが、必要な信号だけを検出する

② 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

③ 使用帯域

高い固有振動数・広い周波数平坦性を有すること

④ 広い温度範囲

-40℃～85℃で安定した特性を有すること

⑤ 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

上記要求を満たす目標をたて「Si梁+ピエゾ抵抗ゲージ構成」の加速度→電気変換機構、およびダンピング機構の開発を行った。

3. 2. 2 加速度→電気変換機構の開発

高感度ピエゾ抵抗ゲージと長い梁の形成が高い出力を得る条件であることからSiを薄く加工した梁を凹型に配置しカンチレバー機能の向上を図った。

梁の高感度化による不要軸成分の発生を除去するためにシミュレーションによりピエゾ抵抗ゲージの最適配置を求め、梁の凹配置効果と合わせて高い抑制効果を得た。

＜4本梁凹型構造の利点＞

- ① 梁を長く作ることによって梁厚が厚くても高感度を得ることができる。
- ② 固有振動周波数を高くできる。（梁厚を厚くできる）→実使用帯域ではフラットな周波数特性を持つ
- ③ 構造、およびピエゾ抵抗ゲージの配置により他軸感度をキャンセルすることができる。
- ④ 検出軸に対し全方位に対称な指向性を有する。動作モデル図-3を使って特徴を示す。

＜4本梁凹型構造センシング素子の機能説明＞

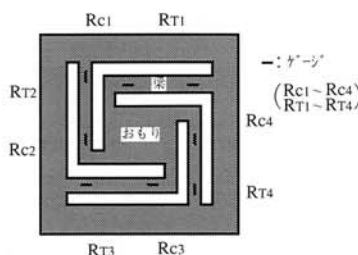
梁の構成 [図-3 (1) 参照]

凹型に配置した梁により中心部のおもりを支える構成をとる。各梁には2個ずつピエゾ抵抗ゲージを配置（梁厚40μm ゲージ抵抗2.5kΩ）

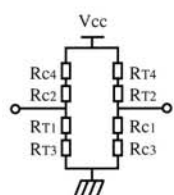
等価回路 [図-3 (2) 参照]

各梁2個、計8個のピエゾ抵抗ゲージにより平衡型ホイートストンブリッジを構成

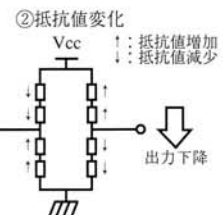
(1) 梁の構成



(2) 等価回路



(3) 感度方向の加速時



(4) 横感度のキャンセル原理

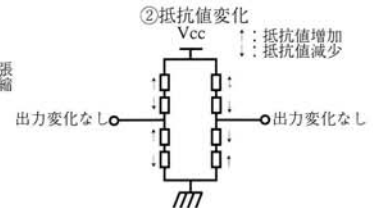


図-3 動作モデル
Fig.3 Operation model

感度出力 [図-3 (3) 参照]

加速度検出方向に力が働いた場合各々のピエゾ抵抗の抵抗値がブリッジの出力が大きくなる方向に変化

横感度 [図-3 (4) 参照]

横方向に力が働いた場合各々のピエゾ抵抗の抵抗値はブリッジの出力をキャンセルする方向に変化

3. 2. 3 ダンピング構造の開発

前節で述べた梁構造の特性を有効に引き出し、さらに耐衝撃性を向上させるため、図-4に示すように3層構造のダンピング機構を開発した。

＜ダンピング構造開発に対する目標＞

- ① 梁の共振特性が処理回路周波数特性へ影響しない
(周波数平坦性 40 Hz～700 Hzで±0.5 dB以下)
- ② 共振点、および過大加速度入力時の梁の応力を破壊応力以下に抑制する (耐衝撃性 2000 G以上)
- ③ -40℃～+85℃の温度範囲に対して安定した特性を示す

図-4の断面図に示すように3層構造のギャップ内空気粘性を利用しダンピング特性を得ている。

使用温度範囲に対してギャップ寸法一周波数特性のシミュレーションを行い加工バラツキを考慮して、最適ギャップ寸法を設定した。

共振点でオープンゲイン 23 dBを 6 dBまで抑制する効果を持たせることができ、目標を全てクリアできる性能が得られた。

＜3層構造の断面＞

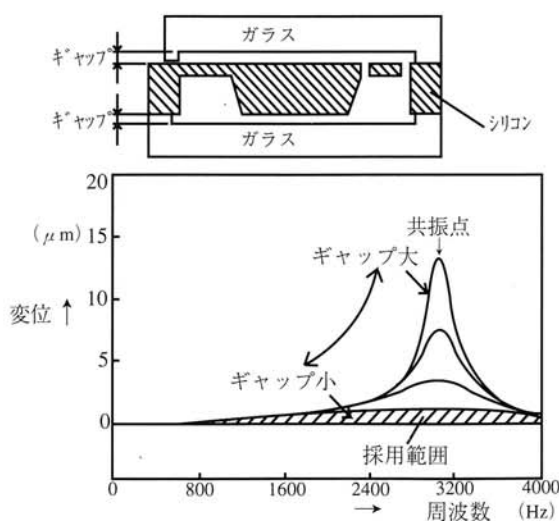


図-4 ダンピング構造検討結果
Fig.4 Damping structural examination

3. 2. 4 センシング特性

前記の梁構造、およびダンピング構造の組み合わせにより、当初の開発目標である高感度、温度特性・周波数特性の高安定性、そして、良好な直線性・指向性を実現することができた。

図-5に示す梁厚さー感度・ゲイン比特性、および梁加工精度より梁厚さの管理値を $34 \mu\text{m} \pm 4 \mu\text{m}$ に設定した。その結果表-1に示す特性が得られた。

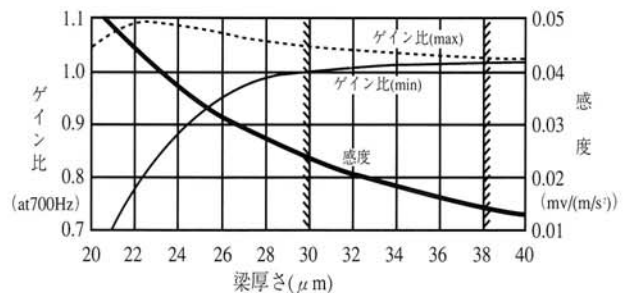


図-5 センシング素子特性
Fig.5 Sensing device characteristic

表-1 センシング素子特性仕様

絶対最大定格

項目	記号	定格	単位
電源電圧	V _{CC}	-0.3～7.0	V
動作温度	V _{OP}	-40～85	℃

電気的特性 (T_a = 25℃, V_{CC} = 5.00V)

項目	記号	MIN	TYP	MAX	単位
ブリッジ抵抗	R _B	4.000	5.000	6.000	KΩ
+出力電圧	VO+	2.400	2.500	2.600	V
-出力電圧	VO-	2.400	2.500	2.600	V
オフセット電圧	VOFF	-0.050	0.000	0.050	V

加速度感度特性 (T_a = 25℃, V_{CC} = 5.00V)

項目	記号	MIN	TYP	MAX	単位
加速度感度	V _{OG}	0.013	0.018	0.025	mv/(m/s²)
非直線性	δ	-1	0	1	%
周波数特性	V _H	-0.5	0	0.5	dB
指向性	N/S	0		10	%
斜突感度	θ ₃₀	81			%
限界加速度		2000			G
固有振動数		2000			Hz

3. 3 構造

3. 3. 1 構造への要求

開発初期よりシステム技術、および生産技術の両面から検討を進めたことにより、システムからの要求仕様と生産性をバランスさせた構造の開発ができた。

〈Gセンサに必要な機能〉

- ① センシング素子・処理回路が一体構造
 - センシング素子個々の特性に合わせる調整機能
- ② 中空パッケージ
 - センシング素子の可動部が自由に動ける状態
- ③ 耐湿性の高い気密パッケージ
 - (a) センシング素子が半導体ベアチップ
 - (b) 接続部にアルミワイヤボンドを使用
 - (c) 回路がハイインピーダンス

加速度センサの構造を図-6に示す。

処理回路部については既存のハイブリット I C 技術を用いた。セラミック基板上にセンシング素子とオペアンプ等の処理回路用 SMD 部品を実装し、レーザートリミングにより個々の特性を調整する構成をとった。基板-センシング素子、入出力リード間の接続は、アルミワイヤボンディングで行う方式をとっている。

パッケージとしては、中空気密という要求を満たすために半導体素子の封止構造として市場実績のある C A N パッケージを採用した。これは、入出力リードをガラスシール（ハーメチックシール）したシャーシに金属キャップを溶接するものである。

〈生産技術面での主な開発要素〉

- ① アルミワイヤボンド
- ② プロジェクション溶接
- ③ 調整（ファンクショントリミング）

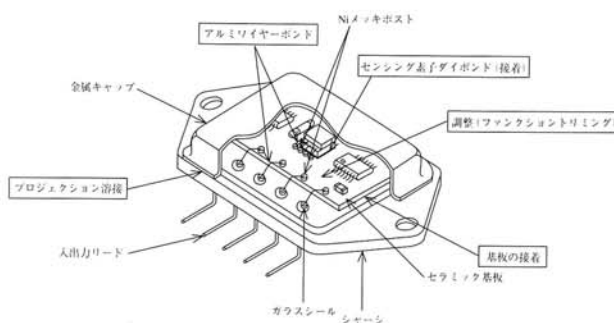


図-6 加速度センサの構造
Fig.6 Structure of G-sensor

④ 基板接着

⑤ センシング素子ダイボンド

上記項目のうち新規技術のアルミワイヤボンド、およびプロジェクション溶接について述べる。

3. 3. 2 アルミワイヤボンド

基板とセンシング素子、入出力リード間の接続には前節に示したような中空構造に対して高 G 環境で高品質を維持するため、剛性の高い線材を用いる必要があった。そこで金ワイヤボンド工法では剛性不足であるため、新規にアルミワイヤボンド工法を採用することにした。

ワイヤと接合面の材質選定に際しては以下のことを考慮して行った。

- ① 接合部分に有害な化合物を生成しないこと
- ② 工法上、接合過程において超音波の伝達が効率良く行えること

これらのことから接合品質が安定している材質の中で、車載用としての実績、信頼性があるものを選定した。

表-2にアルミワイヤボンドによる接続部分を示す。

表-2 アルミワイヤボンドによる接続部分

①	センシング素子 ↔ 基板 (アルミパッド) (Niめっきポスト)
②	基板 ↔ 入出力リード (Niめっきポスト) (Niめっき)

ボンディング条件の主なパラメータとして超音波出力と荷重があり、それらと接合力の関係を調査し、接合力の安定した領域で量産条件を設定した。

その結果、実使用条件よりも厳しいワイヤおよび接合部分をさらした（裸）状態での温度サイクル後も接合力の変化がほとんどなく、製品規格を満足する性能を得ることができた。

3. 3. 3 プロジェクション溶接

今回外装としては、C A N パッケージを採用し、シャーシと金属キャップの接合は、抵抗溶接の一種であるプロジェクション溶接で行うことにした。

図-7に、プロジェクション溶接の概要を示す。溶接条件としては、主に加圧力と充電電圧（電流で管理している）があるが、溶接後の気密性能を重視した条件設定を行った。気密性能を重視すると、スパッタ

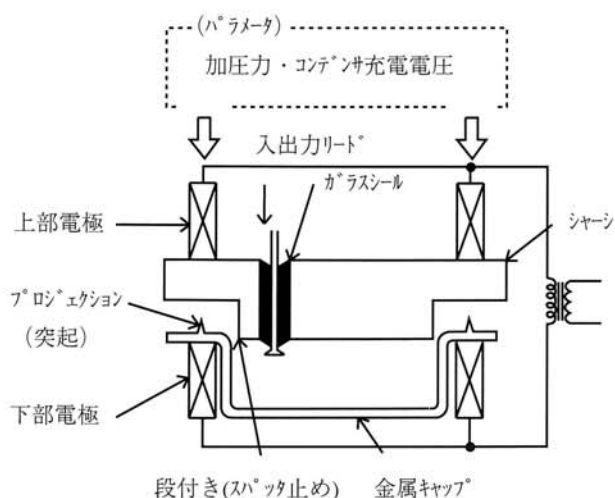


図-7 プロジェクション溶接
Fig.7 Projection welding

(溶融金属の飛び散り)が増加するが、シャーシの段付きで内部への侵入を防ぐ構造とした。

以上の構造をとる事により温度サイクル1000サイクル後も、気密性の判定基準であるHeリークテストをクリアできる性能を得ることができた。このように気密性の高いパッケージに加え、パッケージ内には露点の管理された窒素ガスを封入することにより更に信頼性を向上させた。

4. 特性測定

4.1 測定系の概要

Gセンサとしての高性能・高品質を保証するため、その測定に対しても高精度なものが要求される。Gセンサの特性測定には、特に加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-8に我々の開発した測定系のブロック図を示す。

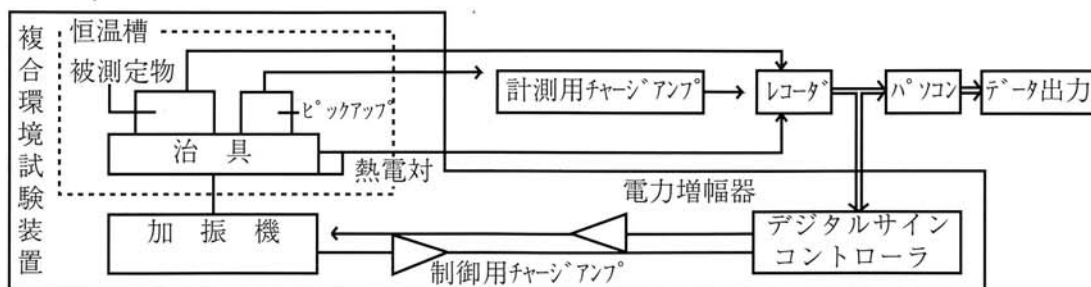


図-8 測定系構成図
Fig.8 Block diagram of Measurement System

測定系構築のポイントとして加振測定精度を確保するために供試体を加振軸の中心線に取り付け、その近傍に加振加速度モニタ用ピックアップを配置する構成をとった。温度特性測定時の正確な温度把握に対しては、恒温槽内温度・加振ジグ温度・ジグ上供試体の温度の関係を温度平衡時間を含めて管理すると共に、加振ジグ温度データも加振データと同時に取り込むようにした。その結果、繰り返し精度 $\pm 0.5\%$ の測定系を完成することができた。また、パソコン制御による自動データ収集システムを開発し、効率の良いGセンサ開発環境を構築できた。測定システムの外観を図-9に示す。

4.2 性能評価

Gセンサの性能は、仕様書に現れてくる基本性能に加え、センシング部の共振による特性への影響や衝突判別アルゴリズムとの整合性を評価する必要がある。

そこでGセンサ性能評価用設備として

- ①前記の特性評価システム
- ②高周波加振機 (40kHzまでの性能を持つ)
共振点近傍での動特性の確認
- ③衝撃試験機

過大加速度領域の特性評価、疑似衝突波形の評価
これら3種類の評価システムの開発によりエアバッグ用Gセンサに要求される全ての動特性評価を可能としている。

また、これら実機による動特性評価と並行して、コンピュータシミュレーションを活用することにより評価精度の向上やバラツキによる安全範囲の確認を十分に行えるようになった。

以上の評価技術は、そのまま製造ラインの検査装置へ展開している。

表-3 Gセンサ特性仕様

Vcc=4.3V: 温度 -40℃~85℃					
項 目	MIN	TYP	MAX	単位	備 考
0 G出力	1.52	1.6	1.68	V	任意設定可
感度	3.98	4.28	4.58	mV/(m/s ²)	任意設定可
応答周波数f _L	0.30	0.49	0.68	Hz	任意設定可
応答周波数f _H	196	230	264	Hz	任意設定可
非直線性	-1		1	%F.S.	
指向性			10	%	

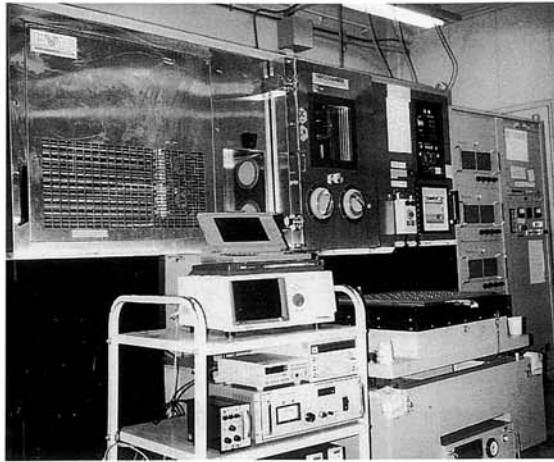


図-9 測定システム外観
Fig.9 Measurement system

5. 仕様と性能

エアバッグ用Gセンサとして要求される性能の代表特性を表-3に示す。

また、これらの特性は表-4に示す信頼性評価においても安定した性能を示しており、エアバッグ用Gセンサとして要求される信頼性も満足している。

本製品は開発段階よりECUとのマッチングをとりながら開発を進めたことから、システムとして使いやすいセンサとなっている。

＜開発品の特徴＞

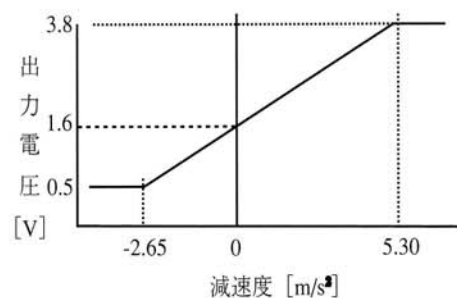
- ①回路定数の変更で広範囲な仕様に対応できる。
- ②センシング部から出力までの処理回路全体を通した自己診断機能を備えている。
- ③センサ取付け方向に対し上下、左右、全方位出力は完全に対称な出力となる。
- ④電源変動に対し、レシオメトリックに対応できる。
- ⑤電源投入時や瞬断時の誤出力の防止対策ができています。
- ⑥高性能なセンシング素子の開発より、フィルタは全て1次特性のローパス、ハイパスフィルタで構成でき、シンプルな伝達関数式となる。

6. 製造工程でのデータ管理

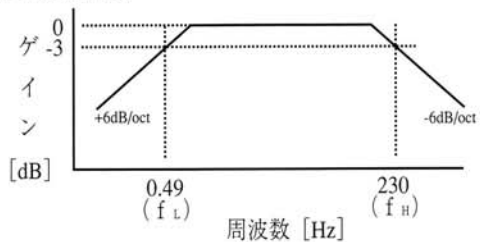
本製品は高信頼性を確保するため、構成部品および工程履歴のデータを管理している。製造工程でのデータ管理の目的を以下に示す。

- ①製造工程から出荷検査までのタイムリーなデータ管理

〔感度特性〕



〔周波数特性〕



〔指向性〕

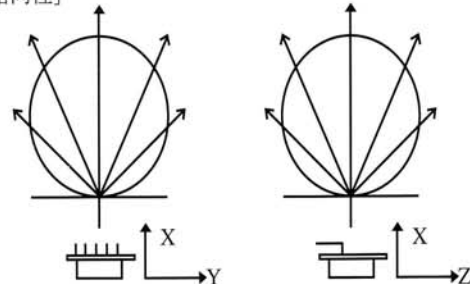


表-4 信頼性評価内容

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, 衝撃試験 等全8項目
耐環境性	熱衝撃, 高低温放置試験, PCT 高温高湿通電試験, 等全15項目

表-5 Gセンサの工程

工程フロー	工 程
	部品受入検査 チップ部品実装 ペアチップ実装 調整 組立 エージング 出荷検査

②構成部品の製造ロットを速やかに特定することができる

表-5に示す工程において工程履歴のデータ管理が行われており、市場までも考慮した履歴管理を確実にできる体制に取り組んでいる。

7. あとがき

以上、富士電機㈱と共同で自社製エアバッグ用Gセンサの開発とともに内製化生産技術の確立ができた。

さらにこの要素技術開発により将来の高密度実装技術の基礎確立もできた。

近年の車載用電子機器の低価格化の流れの中で特にエアバッグシステムの低価格化は急激である。当然Gセンサに対する価格要求も強く3年間で1/4と厳しくなっている。今回のセンシング素子の開発、および内製化技術の確立は次世代の小型・ローコストセンサ開発を可能とし、1996年夏より高性能、超ローコスト化センサの量産をする計画である。

これら内製技術の蓄積によって、当社がECUの開発技術と合わせてエアバッグシステムの発展に充分に寄与できる体制をつくりあげることができたと考える。

安全への対応は、社会全体が協力して取り組まねばならないが、我々自動車産業に関わる者として力のおよぶかぎりユーザに対し安くて安心して使える装置の開発と提供を続けて行きたい。

最後に本製品の開発に対し、多大なご協力をいただいた関係各署の方々に感謝の意を表します。

参考文献

富士通テン技報 June 1994 Vol.12 No.1

筆者紹介



小林 光男 (コバヤシ ミツオ)

1974年富士電機株式会社入社。
以来センサ、マイクロマシン技術の開発に従事。現在株式会社富士電機総合研究所応用装置研究所研究マネージャ。



米田 公久 (ヨネダ キミサ)

1988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開発部第四開発課在籍。



鵜野 雄二 (ウノ ユウジ)

1984年入社。以来自動車用電子機器の高密度実装技術開発に従事。現在モートロニクス本部開発部第五開発課在籍。



成井 譲司 (ナリ ショウジ)

1985年入社。以来自動車用電子機器の生産技術開発に従事。現在モートロニクス本部製造技術部生技開発課在籍。



岸本 悟 (キシモト サトル)

1969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開発部次長。

