

磁気抵抗素子の車載用センサへの応用

Applications of Magnetoresistive Element for Motor Vehicle Sensors

清水 信 吉⁽¹⁾ 清水 慎 二⁽²⁾ 一津屋 正 樹⁽³⁾
Nobuyoshi Shimizu Shinji Shimizu Masaki Hitotsuya

要 旨

磁気抵抗素子（MR素子）は、非接触センサの検出素子として広く用いられている。本稿では、当社で開発しているMR素子応用センサ（MRセンサ）とMR素子の紹介を行う。

MR素子については、構造面の特色とそれに基づく素子特性の特徴を紹介する。

MRセンサについては、磁気ポテンシオメータ、回転速センサ、加速度センサ各々の原理を説明し、さらに車載用センサとしての応用例を紹介する。

Magnetoresistive element (MR element) is widely used as a detecting device in non-contactive sensors. This paper introduces the MR element and the sensors which apply the MR element (MR sensor), which we develop.

As to MR element, we introduce its distinctive point in structure and its characteristics which derive from its structure.

As to MR sensors, we explain the principle of each magnetic potentiometer, rotation speed sensor and accelerometer, and introduce their applications for motor vehicle sensors.

(1) 富士通機構部品事業部開発部

(2), (3) モータロニクス本部技術部

1. はじめに

自動車用センサには、精度や感度といったセンサ本来の性能の他に、自動車特有の使用環境への適性が必要である。自動車の環境は、一般の機械の置かれる環境に比べて、温度変化の範囲が広く、振動、汚れなどの条件もかなり悪い、センサはこれらの環境条件を満足したものでなければならない。

ここに紹介するMRセンサは、磁気抵抗素子(MR素子)を応用した一連のセンサである。MRセンサには非接触検出という大きな特徴があり、耐久性や精度に優れている。さらに使用温度範囲、耐汚れ性にも優れ、これからの自動車用センサとしての適性を数多く備えている。

本稿ではMR素子の原理を説明し、さらにこれらを応用したMRセンサのいくつかを紹介する。

2. MR素子

磁気抵抗素子は、非接触検出センサの検出部として広く用いられている。当社で使用しているMR素子は、強磁性金属膜と独自の電極構造を用いてあり、自動車用としても好適に使用できるものである。

2.1 MR素子の特徴

当社で使用しているMR素子には、次の特徴がある。

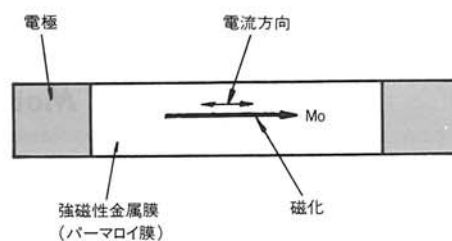
- (1) 使用温度範囲が広い。
- (2) 出力の温度係数が小さい。
- (3) 低磁場を高感度で検出できる。
- (4) 磁場の極性を判別できる。

上記のうち(1)(2)はパーマロイ系(鉄-ニッケル合金)の強磁性金属膜の使用による特徴で、(3)(4)は電極構造による特徴である。

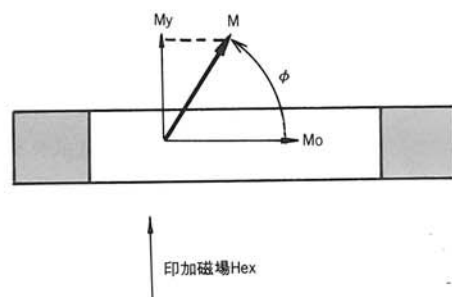
2.2 MR素子の原理

2.2.1 磁気抵抗効果¹⁾

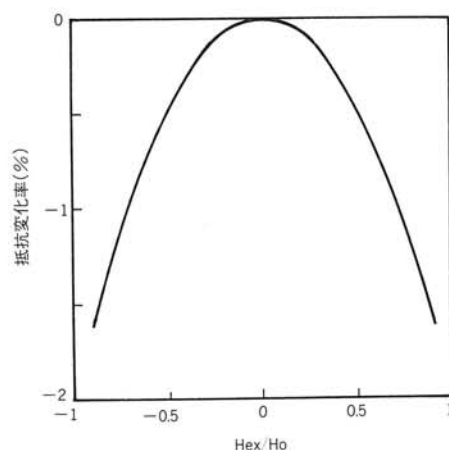
強磁性体には、磁化の方向によって電気抵抗が変化するものがある。これを磁気抵抗効果と呼ぶ。



a) 電極構成



b) 印加磁場による磁化の回転



c) 抵抗変化率

図-1 磁気抵抗素子の原理

Fig. 1 Principle of magnetoresistive element.

磁気抵抗効果を利用して磁気を検出する素子が、磁気抵抗素子である。

磁気抵抗素子の原理を図-1a)を用いて説明する。強磁性金属膜には磁化容易軸が長手方向に形成されており、その方向に磁化してある。電極に電流を流すと、磁化の向きと平行に電流が流れる。

ここで強磁性金属膜の幅方向に外部磁場を印加すると、磁化の向きが図-1b)のように回転する。磁化の回転角は印加磁場が強いほど大きい。磁化の向きが回転すると、磁気抵抗効果によって強磁性金属膜の電気抵抗値が変化する。電気抵抗値は印加磁場の強さに応じて変化するので、これに適当な電気回路を接続すれば、磁気検出センサが構成できる。

図-1c)の特性曲線を見ると、低磁場領域での感度と直線性が相対的に悪くなっている。さらに特性曲線が左右対称形であり、磁極の判別ができない。これらは図-1a)の電極構造をもつ磁気抵抗素子の欠点である。

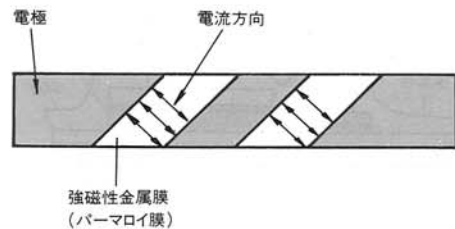
2.2.2 パーバーポール型電極^{2),3)}

当社で使用しているMR素子は、パーバーポール型電極を採用することにより、上記の欠点を解決している。パーバーポール型電極は強磁性金属膜の上に形成した斜めの電極パターンで、長手方向に対し電流が斜めに流れる。外部磁場がないときでも、磁化の向きと電流の向きは一定の角度を持っている。

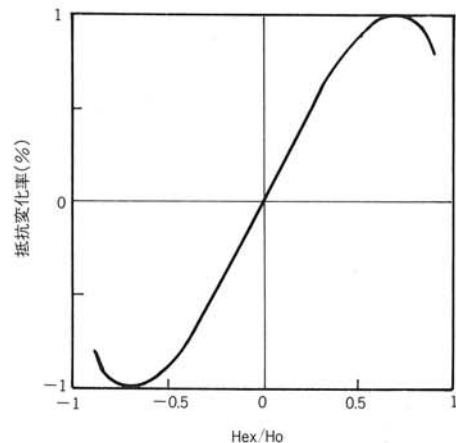
この電極構造によって低磁場領域での感度と直線性が大幅に改善され、また磁極の判別もできるようになっている。

2.3 MR素子の構造

図-3a)はMR素子の断面構造である。強磁性体金属膜には鉄-ニッケル合金のパーマロイを用いている。表面を酸化させたシリコンウエハの基板



a) 電極構成



b) 抵抗変化率

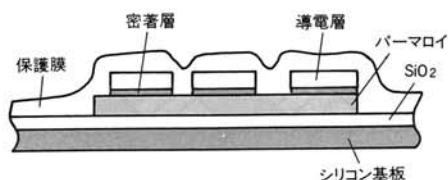
図-2 パーバーポール型電極

Fig. 2 Barber pole type electrode.

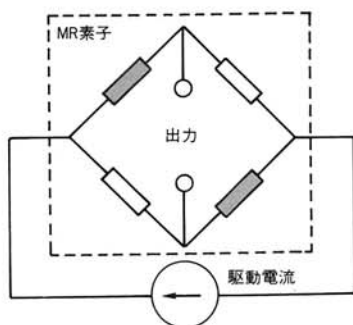
上に磁性層、密着層、導電層を積み重ね、表面を保護膜で覆ってある。

実際に使用しているMR素子は、感度向上のため逆特性の単素子を2組、計4個組み合わせて、ブリッジ構造にしてある。逆特性の単素子は、電極の傾きを逆にすることで得られる。

アナログ素子として使用するため、レーザトリミングを用いて各単素子の電気抵抗値ばらつきを押さえ、さらに磁気的ヒステリシスを低減するための対策が施されている。



a) 単素子の構造



□ :正特性の単素子
 □ :負特性の単素子

図-3 MR素子の構造

Fig. 3 Structure of MR element.

3. MR センサ

MR素子をセンサとして利用するには、検出対象の変化を磁場の変化に置き換えればよい。この目的に磁気回路が用いられる。磁気回路は永久磁石と磁性板を組み合わせたもので、検出対象によって構造が異なる。以下にこれらを紹介する。

3.1 磁気ポテンシオメータ⁴⁾

磁気ポテンシオメータは、漏洩磁界型の磁気回路を用いて直線変位または回転角を検出するセンサである。出力はアナログ電圧であり、絶対位置を検出できるアブソリュート型センサである。

3.1.1 特徴

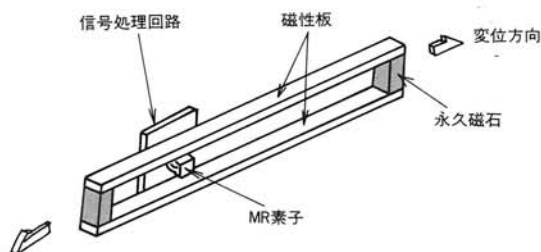
磁気ポテンシオメータの特徴として次のものが挙げられる。

- (1) 非接触検出であるため耐久性が高く、データに振動ノイズが発生しない。
- (2) 磁気センサであるため汚れに強い。
- (3) 直線性の高いアナログ電圧出力で、高精度な検出ができる。
- (4) 電源リセット時の初期化が不要である。

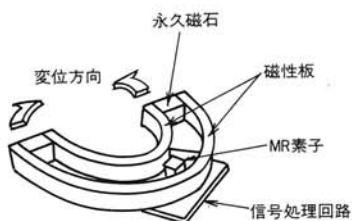
上記のうち(1)の振動ノイズは、従来から用いられてきた振動抵抗式のポテンシオメータに発生するもので、検出部が振動ブラシであるために生じる。磁気ポテンシオメータは非接触検出であるため、このようなノイズは発生しない。

3.1.2 構造

磁気ポテンシオメータの磁気回路は、2個の永



a) 直進型



b) 回転型

図-4 磁気ポテンシオメータの構造

Fig. 4 Structure of magnetic potentiometer.

久磁石を2枚の磁性板で連結したもので、直進型と回転型では磁性板の形状が異なる。磁気回路は検出軸に直結されており、検出軸の動きに従って直進移動したり回転したりする。

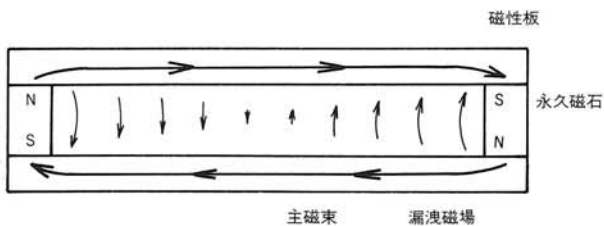
MR素子は、2枚の磁性板にはさまれた空間に配置される。センサの小型化のため、信号処理回路はMR素子の側近に配置され、MR素子を直接実装している。

3.1.3 原理

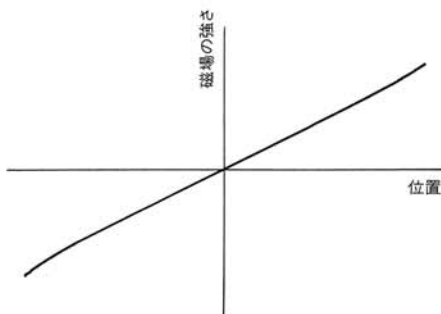
磁気回路の閉ループにおいて、磁束の大部分は閉ループ内を流れて主磁束をなす。しかし一部の磁束は磁性板間を短絡して流れ、磁性板間に漏洩磁場が発生する。漏洩磁場の強さは、一方の磁石側から他方へ連続的に変化し、磁気回路中点では零である。この中にMR素子を置くと、その位置に応じた出力が得られる。

3.1.4 自動車への応用⁶⁾

自動車への応用例として、以下のものがある。



a) 磁束の流れ



b) 漏洩磁場の分布

図-5 磁気ポテンシオメータの原理

Fig. 5 Principle of magnetic potentiometer.

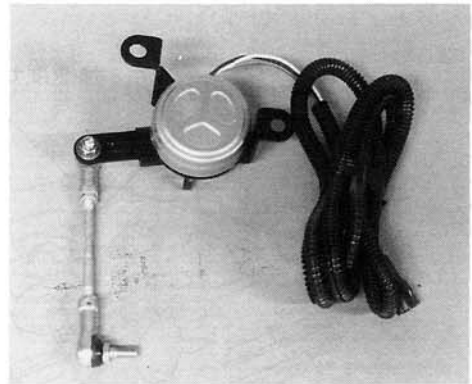


図-6 磁気ポテンシオメータ外観（車高センサ）

Fig. 6 Exterior view of magnetic potentiometer. (Height sensor.)

(1) 車高センサ（ハイトセンサ）

車体の上下動を検出するセンサで、回転型が用いられる。センサはフレームとサスペンションアームの間に取り付けられ、フレーム側にセンサ本体が固定される。サスペンションアームが上下に揺動し車高が変化すると、その運動がリンク機構を介してセンサの回転軸に伝わる。

車高センサは、車高調整制御システムやサスペンション制御システムに用いられる。いずれも走まわり制御の代表的なもので、走行安定性や乗りごちの向上を目的としている。

(2) 操舵角センサ

タイヤの切れ角を検出するセンサである。ラックアンドピニオンによる操舵方式では、タイヤの切れ角はラックの移動量として検出できる。ラックはフレームに対して平行に動くので、直進型センサの取付けが簡便である。

操舵角センサはハイトセンサと同様、車高調整制御システムやサスペンション制御システムに用いられる。さらに操舵応答性の向上を目的とした四輪操舵システム（4WS）への応用が期待される。

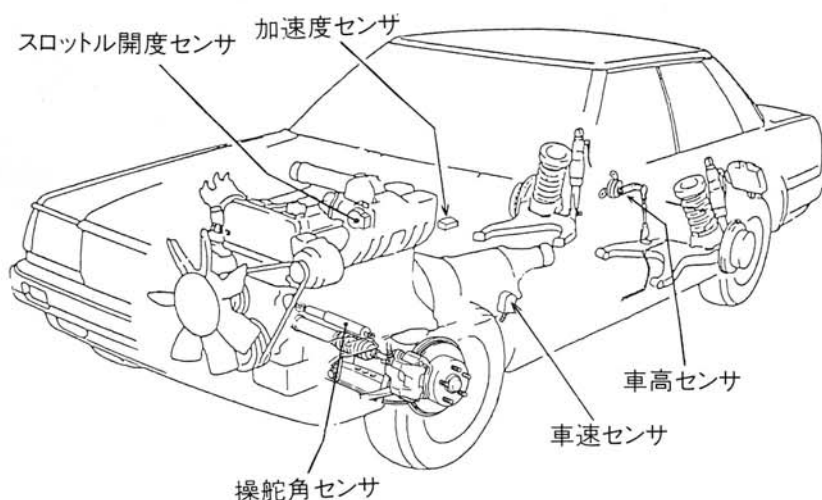


図-7 MRセンサ搭載位置

Fig. 7 Installation of MR sensor.

(3) スロットル開度センサ

(スロットルポジションセンサ)

スロットルバルブの開度を検出するセンサで、回転型のセンサをスロットルシャフトに直結して用いる。スロットルバルブはエンジンへの供給空気を調整するバルブで、アクセルペダルの踏み込み量に連動して回転するスロットルシャフトによって開閉する。

スロットル開度センサは、エンジン制御、トランスミッション制御などに用いられ、アイドル状態、加速状態など、運転者が自動車をどう走らせようとしているかの意志を知る手段になっている。

3. 2 回転速センサ

回転速センサは、ロータとステータに歯車状の磁気回路を用いた、ハイ/ロー出力のインクリメンタル型の回転センサである。

3. 2. 1 特 徴

回転速センサの特徴として、次のものが挙げられる。

(1) 多極着磁方式と比較して、多パルスのもの

が得られ、小型化できる。

(2) 磁束の絶対値を検出するもので、高速回転から停止まで、安定した出力が得られる。

(3) 磁気センサであるため汚れに強く、高温で使用できる。

3. 2. 2 構 造

ロータは軸方向に着磁した永久磁石を、2枚の歯車(A)(B)ではさんだ構造で、歯車(A)(B)は歯の位相を $\frac{1}{2}$ ピッチずらして組み立てられる。

ステータは、周方向に分割された2枚の歯車(C)、(D)より成り、歯車(C)、(D)も位相が $\frac{1}{2}$ ピッチずらして配置してある。

MR素子は、ステータの分割部に配置され、信号処理回路の基板上に実装されている。

3. 2. 3 原 理

ロータ歯車—ステータ歯車間のギャップの磁気抵抗は、歯の山どうしが向き合っているとき(対向)小さく、歯の山と谷が向き合っているとき(背向)大きい。このためステータ歯車(C)、(D)を

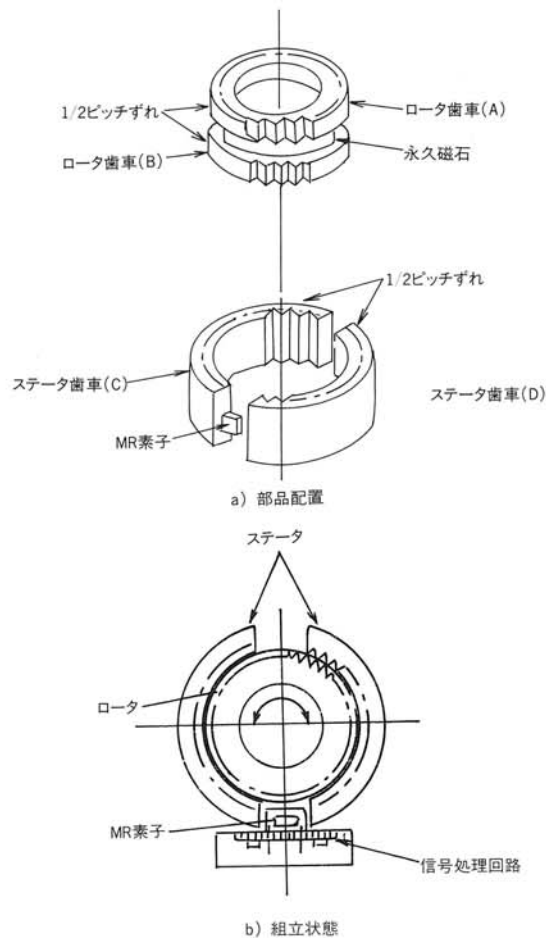


図-8 回転速センサの構造

Fig. 8 Structure of rotation speed sensor.

通る磁束に差が現われ、(C)、(D)間を短絡する磁束が周方向に発生する。この磁束はロータの1ピッチ回転ごとに規則的に向きが変わる交番磁束である。これをMR素子で検出する。

3. 2. 4 自動車への応用

回転速センサの自動車への応用例として、車速センサが挙げられる。

(1)車速センサ (スピードセンサ)

車速を検出するセンサで、トランスミッションのギア回転から検出する。従来のリードスイッチ方式の車速センサでは、メータケーブルを介してギア回転を検出していたが、メータケーブルのね

じれによる検出精度の低下が問題となっていた。

トランスミッションに直接取り付けする方法で、この問題は解決する。しかし取り付け場所の環境が、格段に悪くなるので、センサはこれに耐えるものでなければならない。MR方式は、温度、振動、汚れなどの面で有利である。

3. 3 加速度センサ⁵⁾

加速度センサは、センサに加わった加速度を金属ばねのたわみ量で検出する、アナログ出力型のセンサである。

3. 3. 1 特徴

加速度センサの特徴として、次のものが挙げら

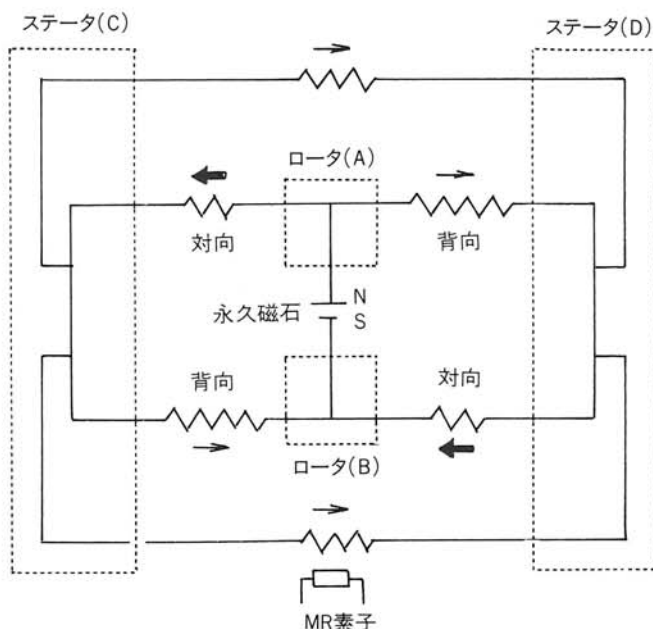


図-9 回転速センサの磁気回路の等価電気回路

Fig. 9 Equivalent electric circuit to magnetic circuit of rotation speed sensor.

れる。

- (1) 小型、軽量でプリント基板上に実装できる。
- (2) 可動部が金属の板ばねのたわみだけであるため、耐衝撃性、耐久性が高い。
- (3) アナログ電圧出力で、高精度な加速度検出ができる。

3.3.2 構造

非磁性金属ばね製の片持ちばりが中央にあり、自由端に永久磁石が取り付けられている。ベース上の磁石両脇位置にMR素子が配置してある。

センサは磁気シールドケースに収納され、ハーメチックシールを施してある。ケース内にはダン



図-10 回転速センサの外観（車速センサ）

Fig. 10 Exterior view of rotation speed sensor (Vehicle speed sensor).

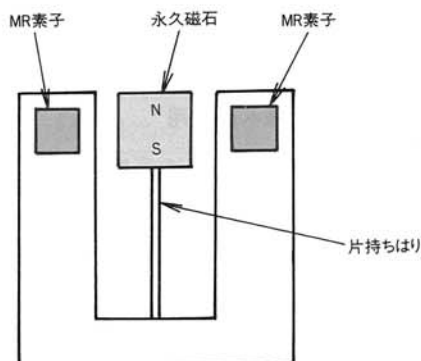


図-11 加速度センサの構造

Fig. 11 Structure of accelerometer.

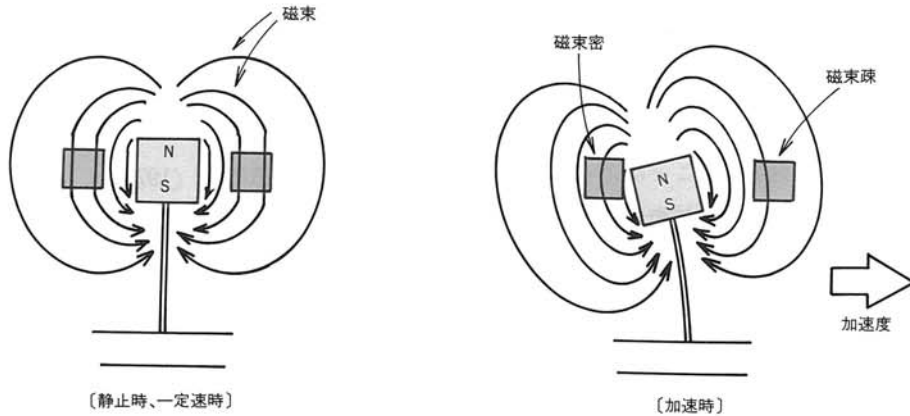


図-12 加速度センサの原理

Fig. 12 Principle of accelerometer.



図-13 加速度センサの外観

Fig. 13 Exterior view of accelerometer.

パオイルを充填してある。

3. 3. 3 原 理

センサが外部から加速度を受けると、慣性力により加速度の大きさに比例して片持ちばりがたわむ。はりのたわみによって永久磁石が移動するので、MR素子周辺の磁場が変化する。これを検出することにより加速度が検出できる。

3. 3. 4 自動車への応用例

加速度センサを利用できるシステム例として、次のものがある。

- (1) アンチロックブレーキシステム
対地速度の検出
- (2) サスペンション制御システム
横加速度、車体上下動の検出
- (3) セキュリティシステム
ジャッキアップの検出

4. む す び

半導体技術の進歩によって、マイクロコンピュータは非常に発達をとげた。車載用コントローラにこれら高度なマイクロコンピュータを搭載することも容易になり、制御内容の高度化が可能になった。

当社では、豊富なマイクロコンピュータ技術のもとに、コントローラユニットを中心とした自動車用電子機器を多数生産している。2000年までには、さらに自動車の電子化が進展する。今後の制御系の高級化を考えたとき、コントローラ単品での性能向上には限界があり、システムとしての適合が不可欠になってくると考える。制御系各要素

の機能分担、要求仕様を適切に配分することによって、より低コストで高機能なシステムを開発することができる。

今回開発されたMR素子は、汎用素子として広く利用可能なものであるが、その原理、特性から考えて、自動車用に非常に好適に利用できるものである。MRセンサを開発することによって、センサ技術を育成したい。センサ技術と現有のコンピュータ技術を融合することによって、より強力なシステム開発が行えるようになるものと考えている。

参考文献

- 1) 若月：「磁気センサ」、日経メカニカル、1989. 2. 20, pp. 210, 日経BP
- 2) K. E. Kuijk, W. J. van Gesrel and F. W. Gorter: The Barber Pole, a Linear Magnetoresistive Head. IEEE Trans. MAG, 11, 5, pp. 1215-1217 (1975)
- 3) M. Endoh, et al.: Highly Sensitive Thin Film Magnetoresistive Sensor with Good Linearity. IEEE fifth IEMT Symposium, Lake Buena Vista, Florida, pp. 210-214 (1989)
- 4) 清水、遠藤、若月：漏洩磁界型ポジショナ、信学技報、88. 361. pp. 13-18 (1989)
- 5) 清水、遠藤、倉島：「磁気センサとその応用」、FUJITSU. 40, 4, pp. 235-241
- 6) トヨタ技術会：エレクトロニクス用語事典、トヨタ自動車 (1986)