

高分解能エンコーダの開発

Development of High Resolution Encoder

千坂和人*

Kazuto Chisaka

田中 信之*

Nobuyuki Tanaka

古海 洋*

Hiroshi Furumi

要 旨

'91年9月に発表したプレリウドの電子制御電動4WSの前輪・後輪用操舵角検知用センサとして、新たに開発したエンコーダを搭載した。このエンコーダは、リングマグネットとMR素子及びホールICを用いた磁気検知方式を採用し、検知素子の改良と新しい着磁パターンにより、舵角パルスの分解能向上と直進判別用の中立パルスの精度向上が図られた。

ABSTRACT

A newly developed rotary encoder for a front/rear wheel angle sensor of electronic control motor driven 4-wheel steering system (4WS) was applied to the 1992-Model New Prelude.

This rotary encoder is composed of a ring-magnet having outer circumference multi-pole magnetization, a magneto-resistance effect element and a hall effect IC.

Improvements in these magnetic field detective elements and patterns of magnetization have enabled encoders to achieve high-resolution and high-accuracy of neutral position pulse.

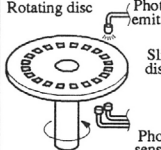
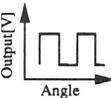
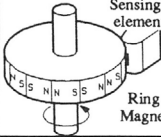
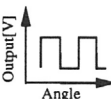
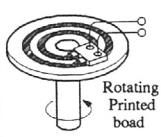
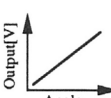
1. ま え が き

近年、自動車の制御の進化に伴いドライバーの意志と車両とのインターフェイスとなるアクセル・ブレーキ・ステアリングの各操作量を、高精度にセンシングするニーズが高まっている。特にステアリング用エンコーダは車体制御システムに広く用いられている⁽¹⁾⁽²⁾。今回開発したエンコーダは、検知素子の改良とマグネットの新しい着磁パターンにより、舵角パルスの分解能向上と直進判別用中立パルスの精度向上が図られ、当社の電子制御電動4WS⁽³⁾の前輪・後輪の操舵角検知用センサとして応用することができたので紹介する。

2. 方 式 選 定

自動車用回転角検知方式の代表的な3方式(光学⁽⁴⁾⁽⁵⁾、磁気⁽⁶⁾)、摺動抵抗⁽⁷⁾)の特徴を

Table 1 Rotate-angle sensors for automotive use.

	Sensing method	Output signal
Photo-electric type	 回転ディスクにスリットを設け、回転させる事により発光素子からの光の明暗変化を受光素子にて検知し出力する。 ——パルス出力	 Output [V] Angle
Magneto-electric type	 リングマグネットに多極着磁を行い磁気検知素子により磁界の変化を出力する。 ——パルス出力	 Output [V] Angle
Sliding variable Resistor type	 摺動抵抗を印刷した回転基板の上をブラシが摺動し抵抗値変化を電圧に変換し出力する。 ——電圧量出力	 Output [V] Angle

*朝霞北研究所

Table 2 Comparison chart of Rotate-angle sensors

	High Resolution	Temperature range -30 ~ +85℃	Sensor Size	Grease Compatibility	Cost
Photo-electric type	good	good	fair	poor	good
Magneto-electric type	good	good	good	good	fair
Potentiometer with sliding contact	poor	good	good	poor	good

Table 1 に示す。これら 3 方式の特性を比較検討すると Table 2 に示す様に、分解能、環境性に関しては光学、磁気の 2 方式が適し、それらの間には大きな優劣はない。しかしながら分解能を上げようとする、光学式では低温時、回転ディスクのスリットの結露による誤動作を防止するために、スリット幅を一定値以上にしなければならず、小型化には限界がある。またリアエンコーダはアクチュエータに内蔵されることから耐グリス性を考慮する必要があり、光学式ではシール性を持たせた複雑な構造が避けられない。以上の理由により磁気式を選定した。

磁気検知素子には大きく分けて電磁誘導作用型(磁気ヘッド・誘導コイルなど)と電流磁気効果型(磁気抵抗素子・ホール素子など)の 2 種類がある。前者ではステアリング回転停止時の静磁場状態を検知できないため、後者の電流磁気効果型に絞り、その中から最適な素子の選定を行った。

電流磁気効果型磁気検知素子には磁気抵抗素子(以下 MR 素子)とホール素子があるが、MR 素子はホール素

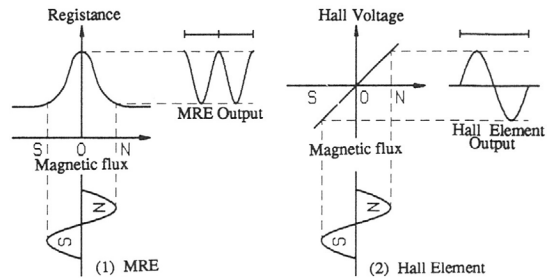


Fig. 1 Difference of output number

子に比べ Fig. 1 に示すように同じ着磁極数で 2 倍のパルス数が得られる。従って、高分解能を必要とする操舵角検知用の素子としては MR 素子を選定した。

一方、直進判別用の中立パルスとしては 1 Pulse/1 Rev. の出力が必要とされる。MR 素子では前述したように 1 極の着磁で 2 パルス出力する為、中立検出用の素子としてはホール IC を選定した。

3. 構造

3.1. フロントエンコーダ

エンコーダの出力には、操舵角検知及び操舵方向判別のための A/B 相と、直進判別のための Z 相がある。エンコーダは、Fig. 2 に示すように多極着磁(N 極 90 極・S 極 90 極)されたリングマグネットのパルス部、A/B 相検出用の MR 素子部及び Z 相検出用のホール IC 素子部、MR 素子の波形処理を行う回路部で構成される。

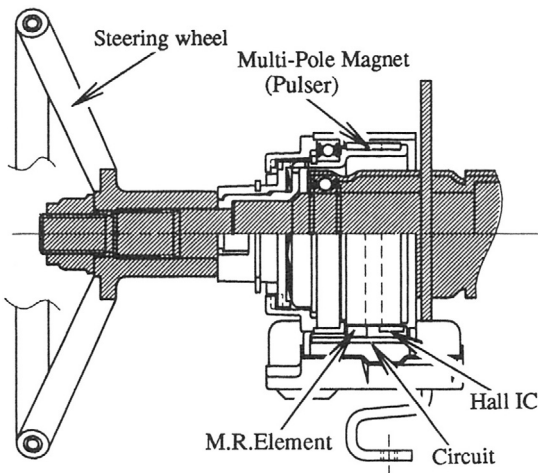


Fig. 2 Main Steering Angle Sensor

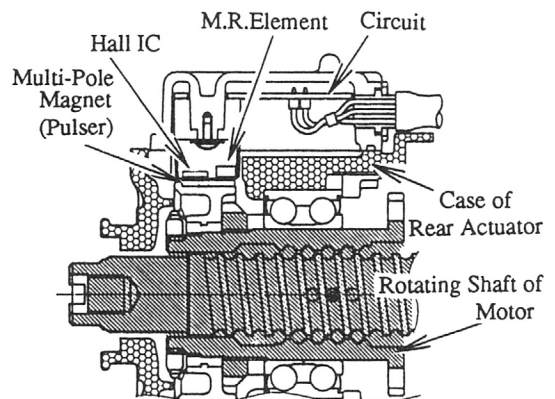


Fig. 3 Main Rear Wheel Angle Sensor

Table 3 Specification

	Main Steering Angle Sensor	Main Rear Wheel Angle Sensor
Operating temperature	-30 ~ +80℃	-30 ~ +80℃
Storage temperature	-40 ~ +100℃	-40 ~ +100℃
The Number of Pulses (P/rev)	Phase A/B	180/180
	Phase Z	1
Output signal	Phase difference	Phase difference
	Phase A	Phase A
	Phase B	Phase B
	Phase Z	Phase Z

3.2. リアエンコーダ

リアエンコーダは Fig. 3 に示す様にリアアクチュエータ部に配置されており、パルサはモータの回転軸に取り付けられ、センサ部はリアアクチュエータケースに固定されている。内部構成部品はフロントエンコーダと同様であるが、リアアクチュエータに塗布されたグリスが付着するため回路部はポッティング剤にて封止されている。

エンコーダの主要諸元を Table 3 に示す。

4. MR 素子の一般特性⁽⁶⁾⁽⁸⁾

MR 素子は Fig. 1 に示すように、ある磁界を越えると抵抗値の変化が飽和する特性を持つ。Fig. 4 に MR 素子—マグネット間の間隔（以下ギャップ）と抵抗値変化量（ ΔR ）との関係を示す。ギャップが小さいところでは抵抗値の変化量は大きく、距離が離れマグネットの磁界

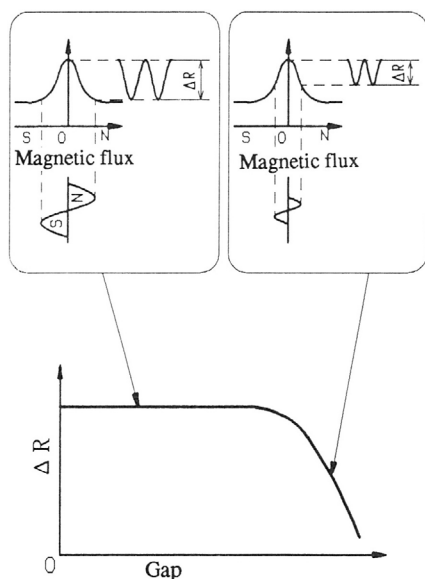


Fig. 4 Gap vs. Resistance differential

が減少すると変化量は小さくなる。

また MR 素子は、一般的には Fig. 5 に示されるように、位相が $\lambda/2$ 異なるピッチで配置された 1 組の MR 素子パターンの直列接続で構成され、その中点の電位を出力信号としている。この配置により、片方のパターン（例えば MR1）の受ける磁界が最大の時にはもう一方のパターン（例えば MR2）の受ける磁界は 0 となり、この結果出力が 1 素子のものに比べ大きくとれ、また中点電位の温度による変化が低減できる。

5. 検知素子の改良による分解能向上

一般に、民生用として用いられている磁気式エンコーダではギャップを非常に微細に管理することにより、数百～数万パルスの分解能を得ている⁽⁹⁾。

一方、自動車用磁気式エンコーダは、使用条件（温度、振動）が厳しいことからギャップの変動が大きいため、分解能を上げようとして着磁ピッチを狭くすると MR 素子出力が不足する。

Fig. 6 に MR 素子の出力とギャップの関係を示す。ギャップの大きい領域（図中 A 部）での出力低下は、主に磁束密度の減少に起因する。ギャップの小さい領域（図中 B 部）での出力低下には、二つの要因が考えられる。一つはギャップ変化によって発生する着磁のピッチと MR 素子パターンピッチのずれで、マグネットが円弧である以上避けられない。従ってもう一つの要因として

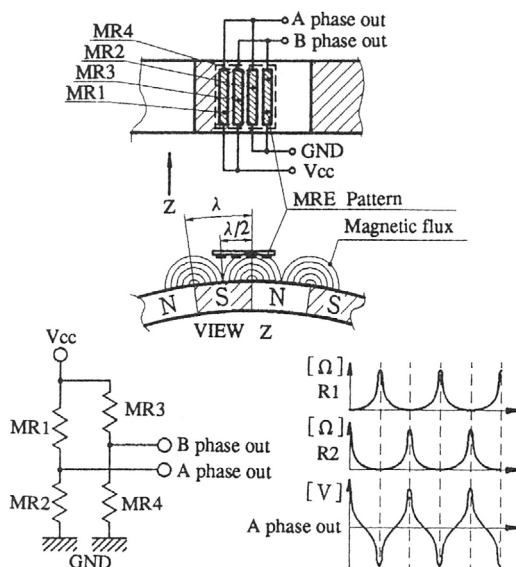


Fig. 5 MRE Pattern and Output

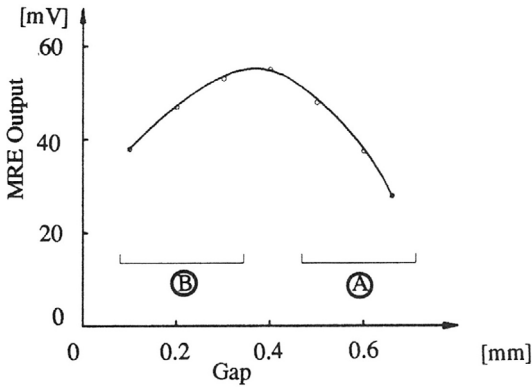


Fig. 6 Gap vs. MRE output

考えられるMR素子のパターン幅に着目し、検討した。

MR素子は、断面積あたりの電流値に制限があり、全抵抗を確保するため一般に数回折り返したパターン形状をとっている。折り返すことによりパターンのトータル幅が広くなると、Fig. 7のようにパターンの中央部の磁界が0でも面端部は磁界を受けるため、パターン全体では平均化され無磁界時の抵抗値とはならない。従って抵抗値変化量は減少し、抵抗値を電圧に変換して得られるMR素子出力は低下する。特にギャップが小さい領域でこの傾向が顕著となるのは、パターン両端部の素子がより強い磁界を受けるためと考えられる。

このパターンのトータル幅に起因するMR素子の出力低下を、磁界のシミュレーション⁽¹⁰⁾とMR素子の特性から定量化し、Fig. 8に示す。これによりギャップが小さい領域でのMR素子の出力低下を防ぐためには、パターンのトータルの幅を狭くすることが効果的であることが予測できた。

今回採用したMR素子は、このMR素子の出力低下率と前述の全抵抗とを考慮し、パターンの折り返し回数を3回から2回へ減らすことによってトータル幅を狭くした。その出力特性は、Fig. 9に示すようにギャップの小さい領域で改善されていることがわかる。

このようにパターンのトータル幅を狭くすることにより、ギャップの小さい領域でMR素子出力が改善され、その結果ギャップ設定の自由度を落とすことなく、分解能を向上できた。

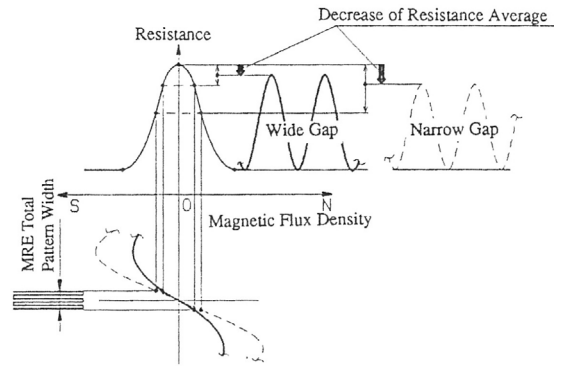


Fig. 7 Influence of Pattern Turnback number

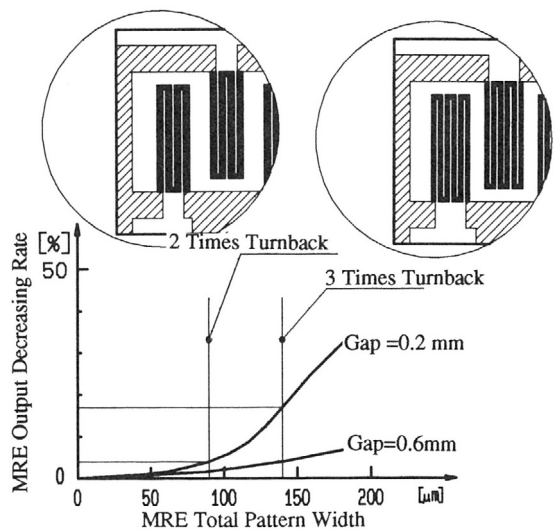


Fig. 8 MRE total pattern width vs. MRE output decreasing rate

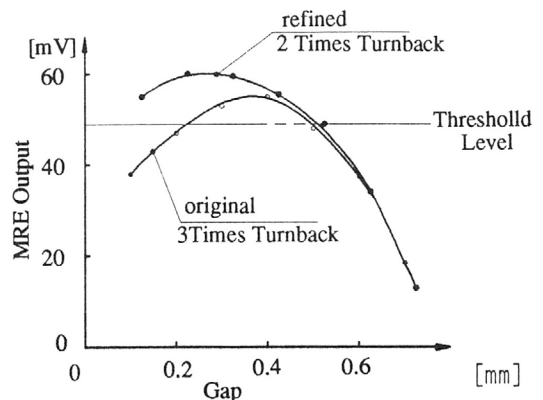


Fig. 9 Gap vs. MRE output with 2 pattern MRE

6. 着磁パターンの改良による 中立検出の精度向上

磁気式エンコーダで中立点を検出する場合、一般にN極又はS極の一極着磁を行ないホール素子(IC)にて検知する。直進判別の精度をあげるため中立パルス(Z相)の着磁幅を狭くしようとすると、マグネットの磁束密度が減少し、その結果ギャップの大きい領域ではスイッチングできないことがある。今回開発した着磁パターンは全周N極の中に挟角のS極を配置してある。この開発した着磁パターン及び磁束密度と、ホールICの動作磁束密度幅との関係を、併せてFig. 10に示す。一般的な一極着磁では、図に示すように片磁界でスイッチングするホールICを使用するが、開発した着磁パターンでは、両磁界でスイッチングするホールICを使用する事が可能となり、磁束密度のスレッシュホルドレベルに対する余裕が拡大する。この結果Z相の着磁幅を狭くし、マグネットの磁束密度が減少してもスイッチングが可能となり、中立検出の精度を向上できた。

ところがこのZ相着磁帯の全周に行なったN極着磁は磁界が強いためA/B相の磁界に干渉し、ギャップの大きい領域でA/B相のMR素子出力が減少する。そこで新たにZ相着磁の隣に全周S極(遮断着磁)を設ける着磁パターンを考案した。これらの対策前後のA/B相磁束密度の様子をFig. 11に示す。この遮断着磁のS極によ

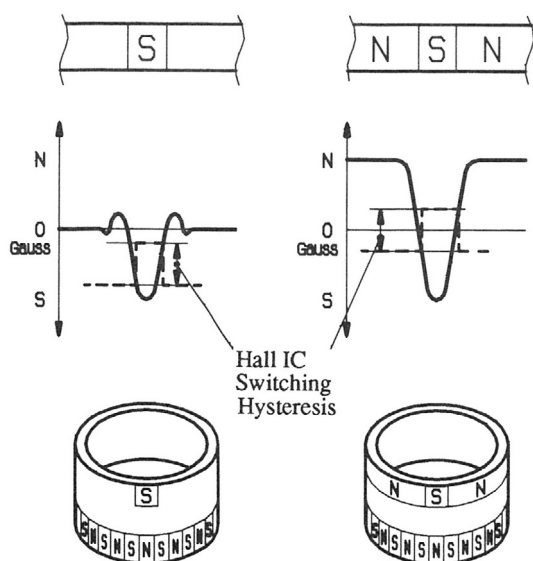


Fig. 10 Unipole magnetizing pattern and surface magnetic flux density

り、幅の広いN極の磁界が収束することでA/B相への磁気干渉がなくなり、A/B相の出力低下を改善することができた。Fig. 12は遮断着磁による改善の効果をギャップ出力特性で示したものであり、ギャップの大きい領域でもA/B相出力が確実に確保できることがわかる。この結果各着磁相の近接化が可能となり、リングマグネットの小型化が図られた。

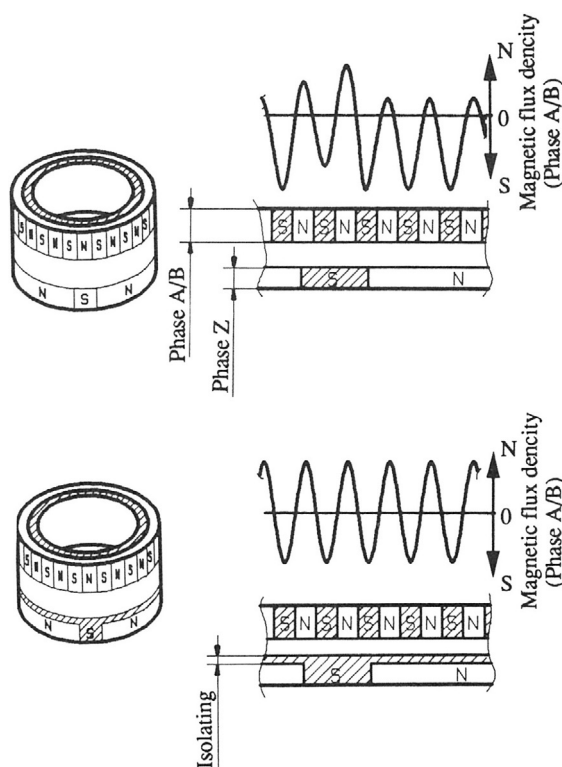


Fig. 11 Phase A/B Magnetic flux density with Isolating (Gap=0.5)

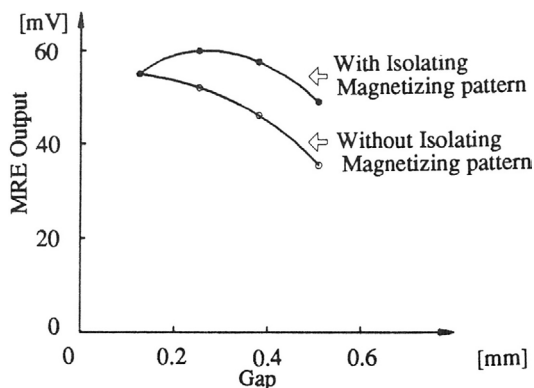


Fig. 12 Effect of isolating magnetizing pattern

7. ま と め

- (1) MR 素子のパターン幅の最適化により出力特性が改善され、その結果ギャップ設定の自由度を落とすことなく分解能を向上できた。
- (2) 新しく開発したマグネット着磁パターンにより中立検出の精度を向上できた。また各着磁相の近接化が可能となり、リングマグネットを大型化せずに分解能の向上と中立検出の精度向上を両立できた。

今回新たに開発したエンコーダは、上記によって電子制御電動 4WS の限られたスペースに搭載することができ、当初の目標通りの高精度なシステム制御が可能となった。

8. 最 後 に

車体制御システムの高精度化と共に、今後益々自動車用回転センサの精度向上へのニーズは高まるものと考えられる。今回開発したエンコーダはその要求に応える第一歩であり、更に新しい技術を取り入れ、進化させて行きたい。

最後に、この開発にあたり、松下電子部品株式会社をはじめ多くの方々に御協力いただいた。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 水野他、アクティブ操舵懸架系制御による車両運動性能の評価 自技会学術講演会前刷集 901 (1990) p.165
- (2) 宮田他、車両の駆動力制御の挙動について 自技会学術講演会前刷集 901 (1990) p.253
- (3) 阿部他、電子制御電動式四輪操舵システムについて 自技会学術講演会前刷集 921033 (1992)
- (4) 日産自動車、サービス週報 622 号 (1989)
- (5) トヨタ自動車、セリカ新型車解説書 (1989)
- (6) Y. Yoshino et.al., MRE Rotation Sensor: High-Accuracy, High-Sensitivity Magnetic Sensor for Automotive Use SAE Paper 870470 (1987)
- (7) マツダ、ルーチェ整備書 (1986)
- (8) 元川他、強磁性薄膜抵抗素子を用いた回転センサ National Technical Report Vol.31 NO2
- (9) 大島、秋山、サーボセンサの基礎と応用 オーム社 (1988)
- (10) 大川、永久磁石磁気回路の設計・特性計算法 [Ⅱ] 活用編 総合電子リサーチ (1987) p.29

■ 著 者 ■



千 坂 和 人



田 中 信 之



古 海 洋