

磁気センサー
アナログリニア出力タイプ°
HGARAP001A
デザインガイド

目次

1. 磁気角度センサーの概要	3
2. 磁気角度センサーの角度算出	5
3. 磁気角度センサーの設計例	8
4. 角度計算方法	10
5. 演算方式の説明	11
6. 磁気センサーと磁石を使用する際の注意点	19
7. ご注意事項	20

アナログリニア出力タイプ 磁気角度センサー HGARAP001A

当社の高精度磁気センサーは、長年の磁気ヘッド事業で培われた先端技術から生まれ、水平方向の磁場を検知する MR センサーとして設計されています。その中でも出力が高く、高温、高磁場耐性に優れる GMR 素子の採用により、ホール素子の約 100 倍、AMR 素子の約 10 倍と出力が非常に高く、高感度なセンサーになっています(当社比)。外部磁界に応じて非接触のスイッチ、リニアポジションや角度、回転スピードや方向の検知に使用可能な磁気センサーをラインナップしています。

アナログリニア出力タイプ磁気角度センサー（以下、磁気角度センサー）のラインナップには、アンプ内蔵タイプとアンプ非内蔵タイプがあります。“HGARAP001A” はアンプ非内蔵タイプです。

本書では、磁気角度センサーの使用方法を理解し、設計を進めて頂くための参考情報を記載しています。

1. 磁気角度センサーの概要

高感度、高精度の GMR 磁気検出素子を使用したもので、車載、産業機器、家電、ゲーム、携帯機器の中で広く使用されており、水平方向の磁場を検知するセンサーとして設計されています。外部磁界に応じてリニアポジションや角度、回転スピードや方向の検知に使用可能で、回転角度検知が特に適した分野となります。

主な用途

■ エネルギー産業

- モーターの回転検出
- ロボットの関節、アームの角度検出
- リニアストロークの移動量検出

■ ゲーム、VR-AR

- ジョイスティック角度
- パドルポジション

■ 医療

- 介護用ベッドの角度検知
- 輸液ポンプのモーター回転角度

■ 自動車

- モーターの回転検出（EPS、EV メインパワーモーター、オイルポンプ）
- ペダル・レバーの角度検出（ステアリングアングル、ペダルアングル、バルブアングル）

主な特徴

- 本製品は、GMR 磁気センサーによる、磁石の回転角度を検知するためのセンサーデバイスです。
- GMR 磁気センサーとは、磁界角度に対応して出力電圧が変化するセンサーです。
- Hall、AMR、TMR センサーに比べて波形安定性が高く、補正により誤差 0.05 度以下の高精度で使用可能です。
- 水平磁界角度のみを検出して、磁界強度変化の影響は受けません。
- 着磁ピッチによらず、Sin と Cos の 2 相信号を出力可能です。
- 磁石に対して対向面配置と側面配置が可能です。
- 磁石とセンサーのギャップ変動に対して高いロバスト性を持ちます。
- 非アンプ内蔵タイプのため、外付けの増幅アンプを追加して、マイコンの仕様に合わせた増幅をすることをお勧めします。センサーブリッジ抵抗値は、1.75kΩです。

2 極磁石の場合

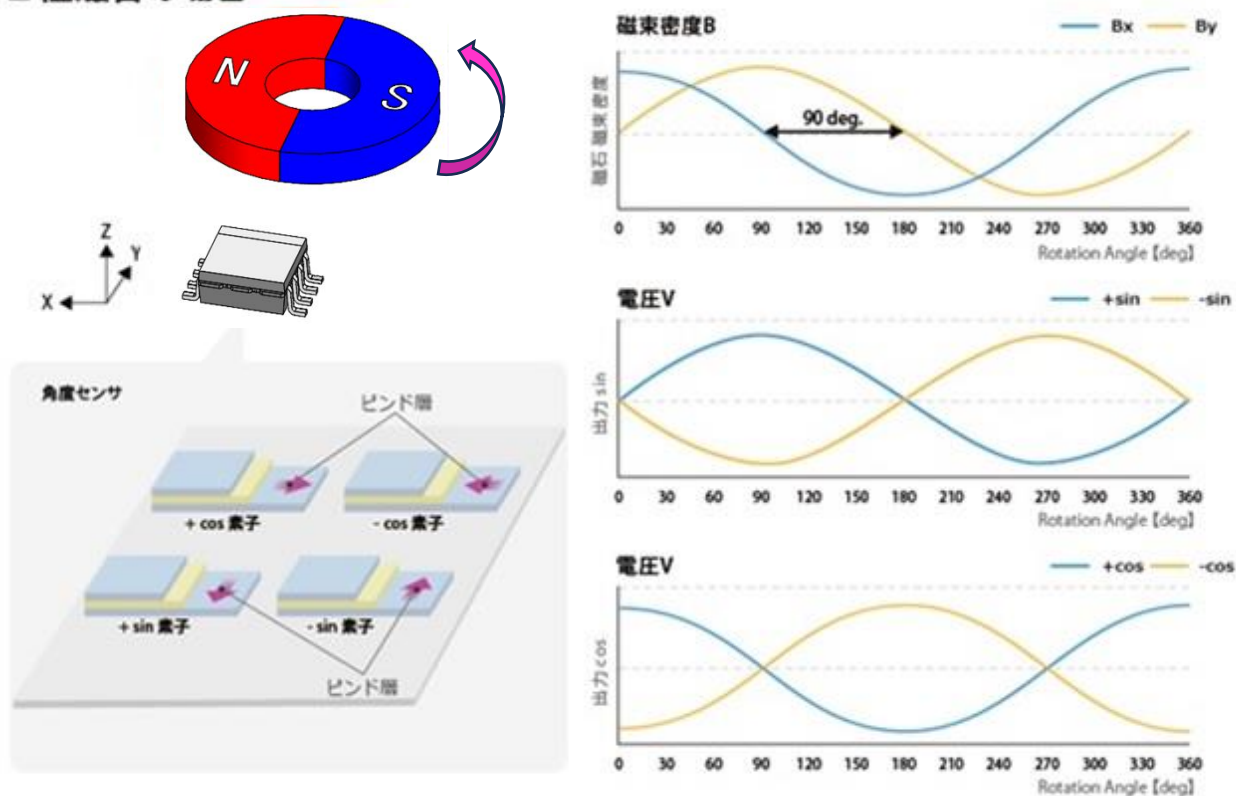


図 1. 磁気角度センサーの出力信号

2. 磁気角度センサーの角度算出

角度算出システム原理

磁気角度センサーはパッケージ内に4本のMRセンサーブリッジを配置し、90度位相差の2相信号を出力します。

- ① 磁気角度センサーは+sin、-sin、+cos、-cosの4つのアナログ信号を出力します。
- ② +sinと-sinの差（+cos、-cosも同様）を計算することで、sin、cosの信号を取得します。
必要に応じて信号レベルの増幅（減衰）を行います。
- ③ sin、cosの信号を用いて演算することで角度が得られます。

絶対角度範囲: 0~360deg

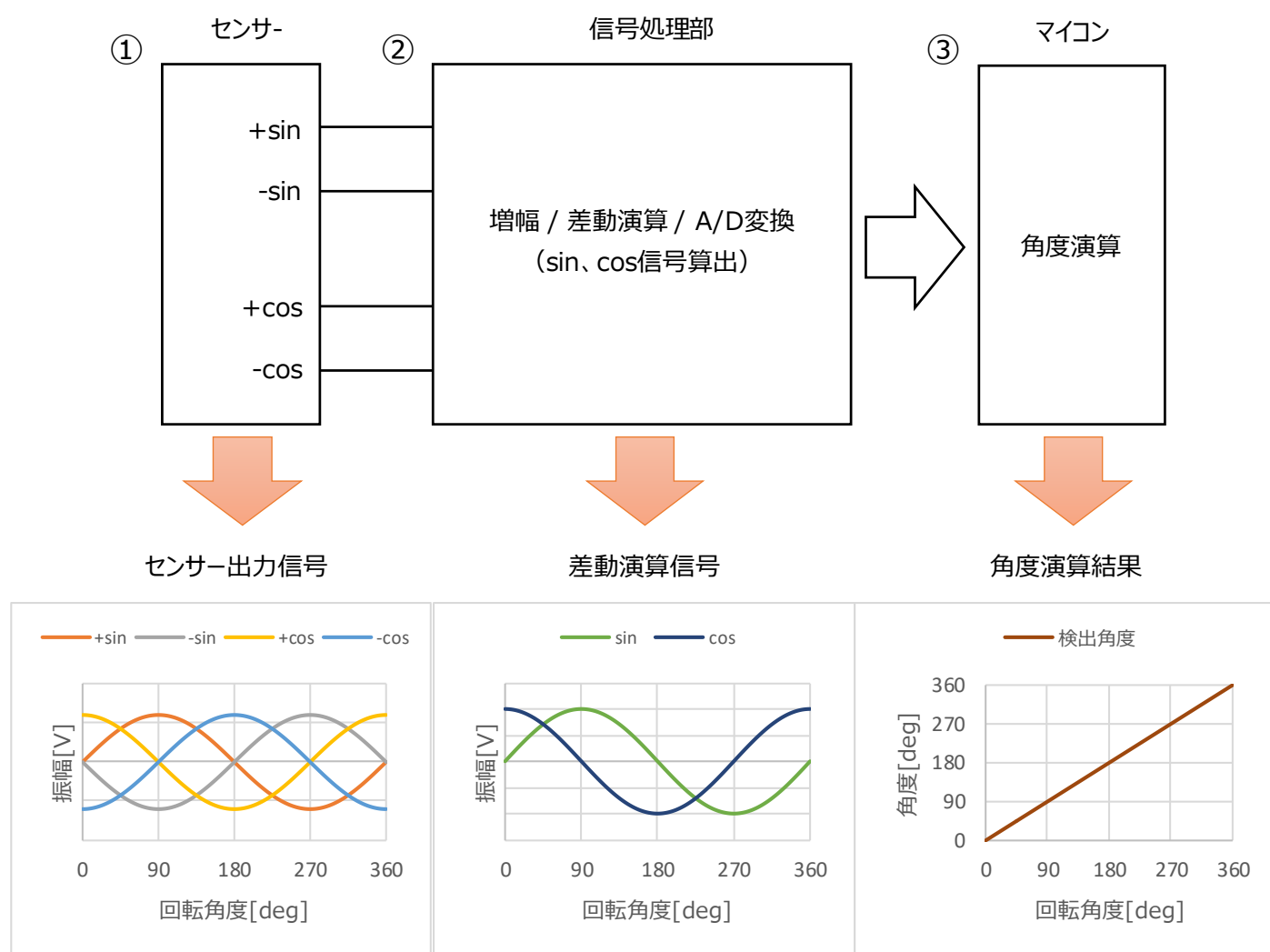
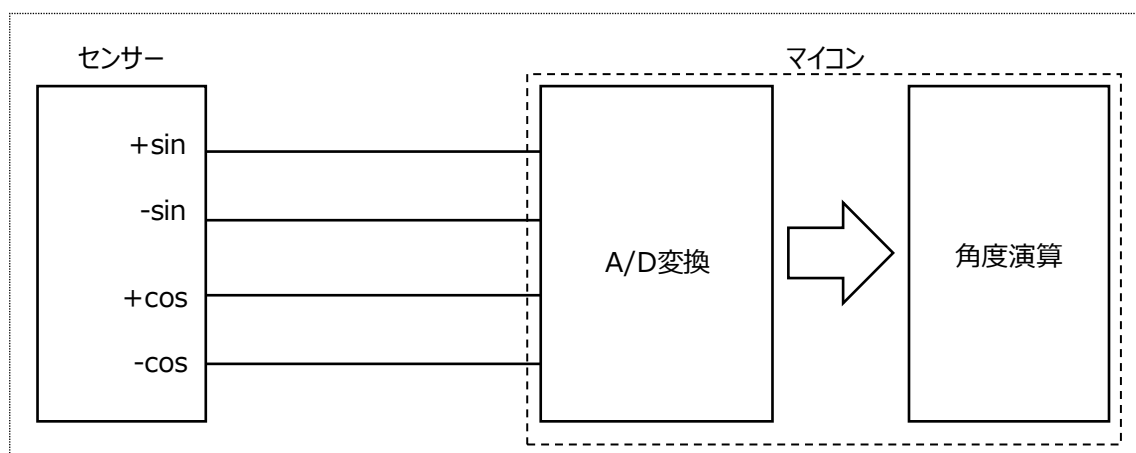


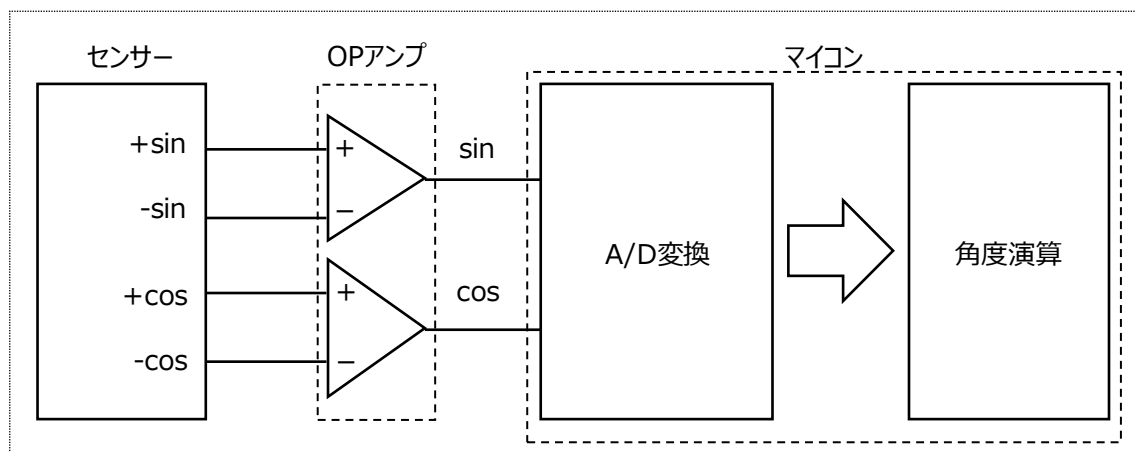
図 2. 角度算出フロー

角度算出システム構成例（参考）

(i) センサー出力信号をA/D変換後にsin、cos信号を生成する構成



(ii) アナログsin、cos信号を生成後にA/D変換する構成



(iii) センサー出力信号をADCでA/D変換後にsin、cos信号を生成する構成

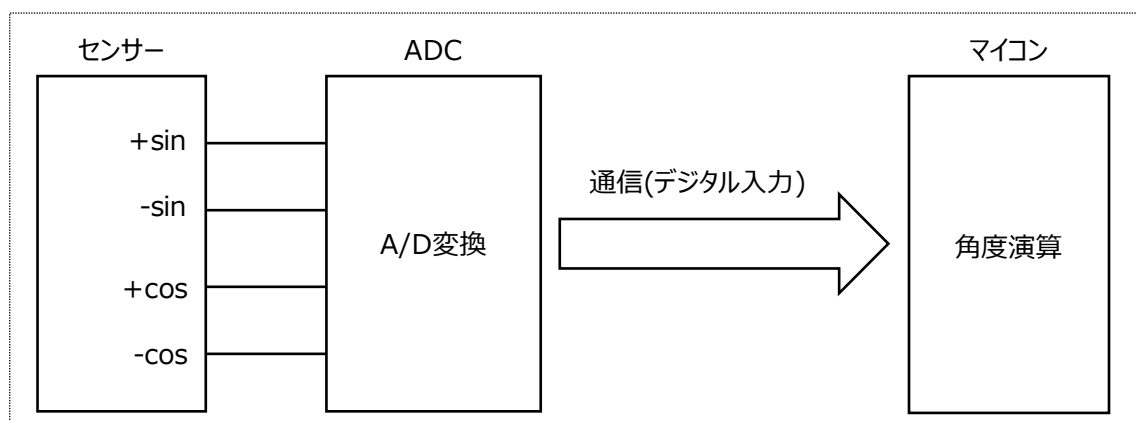


図 3. システム構成例

磁石に対するセンサーレイアウト

磁気角度センサーで使用する磁石は、図 4 のような円柱型、リング型の 2 極磁石を推奨します。



図 4. 磁石の形状

磁石に対する磁気角度センサーのレイアウトは、図 5 のようなレイアウトが可能です。

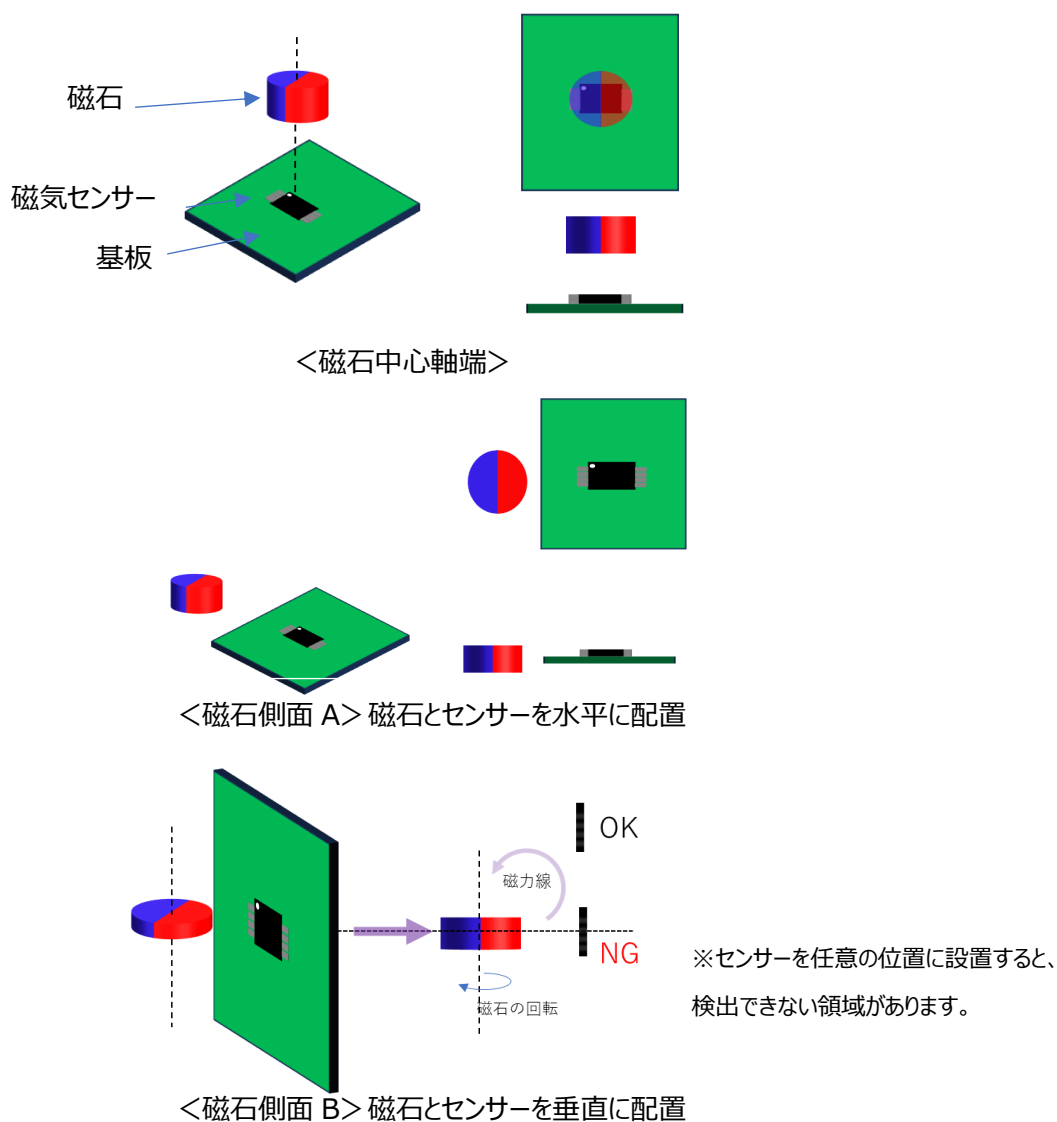


図 5. 磁気角度センサーのレイアウト

3. 磁気角度センサーの設計例

使用する磁石の種類を指定して、磁気角度センサーに対して磁石を垂直に回転させる場合の設計例を記載します。

条件

磁石タイプ：フェライト、リング形の2極磁石

磁石サイズ：直径 10mm

センサー配置：磁石の軸端

磁場強度：50mT

● 磁場強度の目標値

磁場強度が 20mT～60mT の範囲内に入るように、磁石と磁気角度センサーのレイアウトを調整してください。図 6 に示すように、約 10mT 以上は出力電圧がほぼ飽和し、20mT 以上では 100%の出力で安定します。60mT を大きく超える磁場を与えた場合は波形歪みが生じます。また、強過ぎる磁場はセンサーを破壊する恐れがあります。

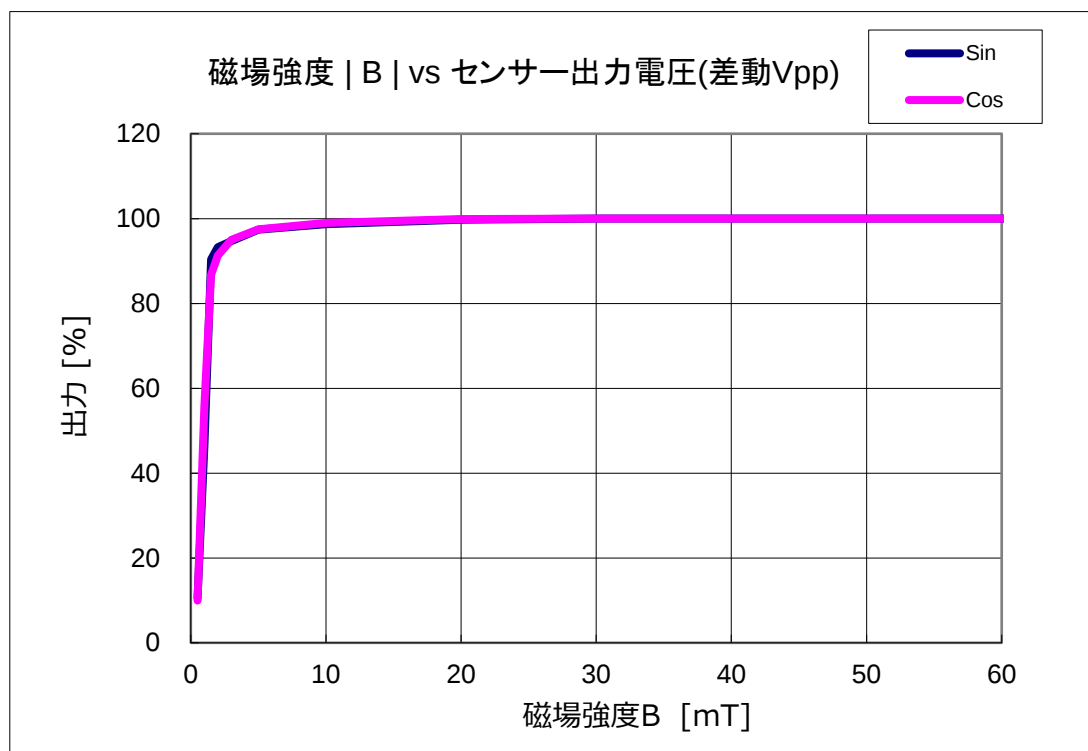


図 6. センサーの出力特性(@VDD 5V)

磁気角度センサーの推奨回路(図 7)と設計値の例を記載します。

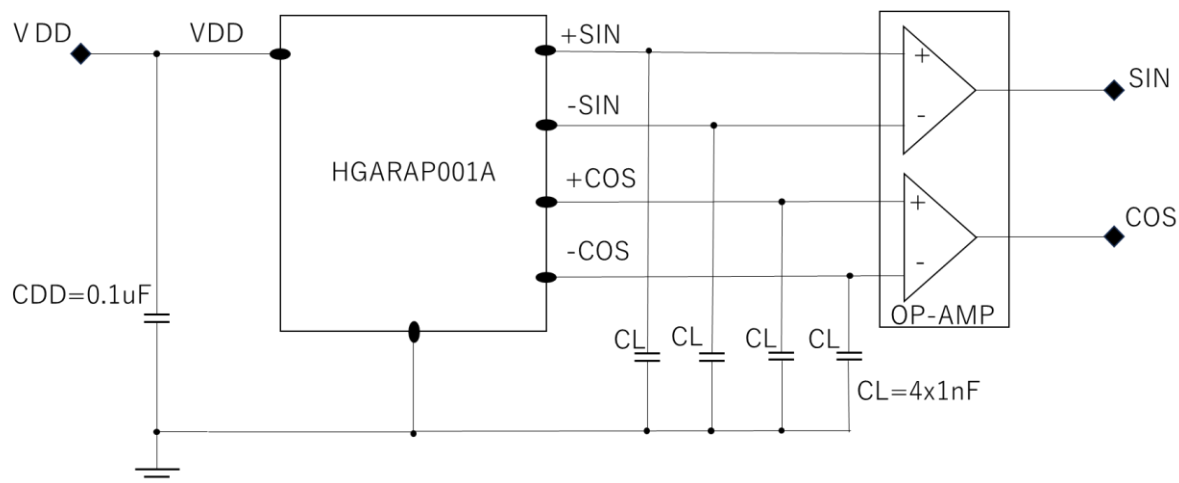


図 7. 磁気角度センサー推奨回路

電源電圧： VDD=3.3V
VDD バイパスコンデンサー： CDD=0.1uF
信号用バイパスコンデンサー： CL=1nF

信号用コンデンサーCL は、ご使用する回路に合わせて追加してください。CL の容量は 10nF 以下を推奨します。センサー出力にコンデンサーを追加することで発振や波形歪みが発生する恐れがあります。必ず実機での動作確認の上、CL の値を決定してください。

4. 角度計算方法

角度計算方法は、大きく分けて次の2通りです。

- ◆ 角度演算方式
- ◆ テーブル変換方式

磁気角度センサーを用いて正確な角度を取得するには、結果に影響を与える誤差要因を取り除く必要があります。誤差要因とは、センサーの特性ばらつきや磁石のN極・S極の非対称性、センサーと磁石の位置ずれ等が該当します。これらの要因を物理的に取り除くことは非常に困難です。

そこで、簡単な補正処理を行うことで、より高い精度で角度を検出することができます。

角度演算方式における補正計算は、ユーザーが求める精度に応じてレベルを選択することができます。尚、当社ではレベル1の補正計算を試すことができる評価キットを用意しています。（評価キットマニュアル(HGARPS011A)参照）

角度演算方式は補正レベルを3段階から選択でき、以下処理で補正を実施します。

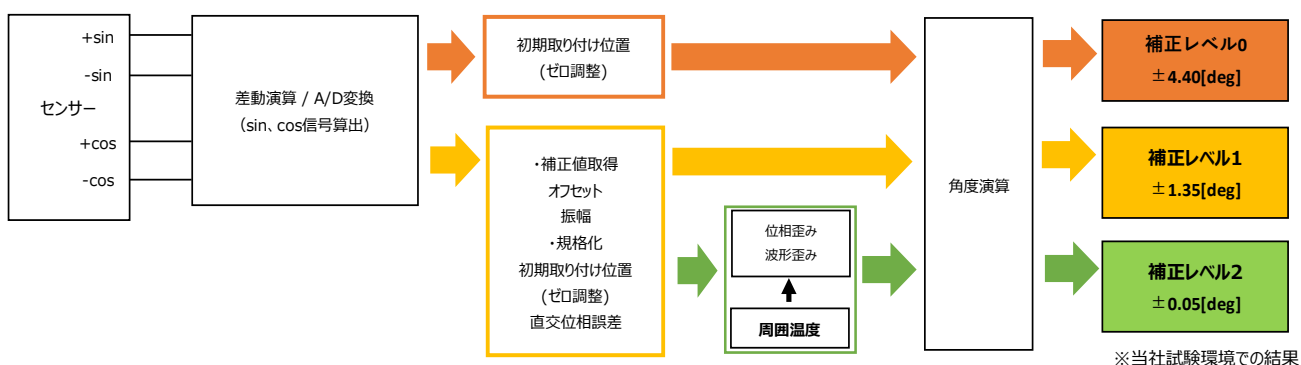


図 8. 各補正レベルのフロー図

角度演算方式の他に、補正テーブル(Look Up Table)を作成して補正する方法があります。360 度範囲を超える角度誤差プロファイルを取得し、任意の補正プロセスを通して事前に角度演算を実施します。演算結果を補正テーブルとして作成し、作成したテーブルを EPROM に書き込み、参照することで毎回の計算を行わなくても角度演算結果を得ることができます。

5. 演算方式の説明

補正レベルごとに順を追って計算することで、角度を計算することができます。

角度演算方式の補正手順

補正レベルにより角度誤差は異なりますので、ユーザーの用途に合わせて補正を実施ください。

ここでは演算方式を用いた角度算出方法の説明をします。

補正レベル 0 計算手順

手順 1. sin、cos 差動信号を AD 変換

センサーから出力される (+sin、-sin、+cos、-cos) の差動信号を AD 変換した $V(\sin)$ 、 $V(\cos)$ を取得します。

(ユーザーの回路構成により、差動信号の取得方法は異なります。)

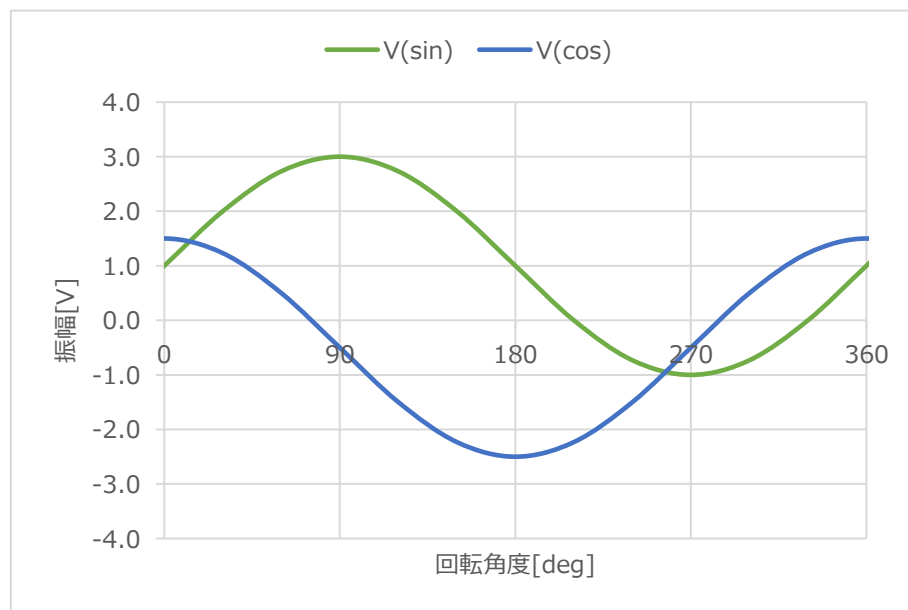


図 9. sin、cos 信号

手順 2. 初期取り付け位置 Zero angle0 [deg]を取得

初期取り付け位置（ユーザーが決めた 0 度位置）における検出角度 Zero angle0 [deg]を取得します。

$$\text{Zero angle0 [deg]} = \text{ATAN2}^*(V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

(V(sin) < 0 の場合 : Zero angle0 = Zero angle0 + 360deg)

※ATAN2 関数は直交座標における偏角を計算する場合に使用します。

手順 3. 検出角度 Raw angle [deg]を計算

$$\text{Raw angle [deg]} = \text{ATAN2} (V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

(V(Sin) < 0 の場合 : Raw angle = Raw angle + 360deg)

手順 4. 検出角度 Lv0 angle [deg]を計算

$$\text{Lv0 angle [deg]} = \text{ATAN2} (V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi} - \text{Zero angle0}$$

(V(Sin) < 0 の場合 : Lv0 angle = Lv0 angle + 360deg)

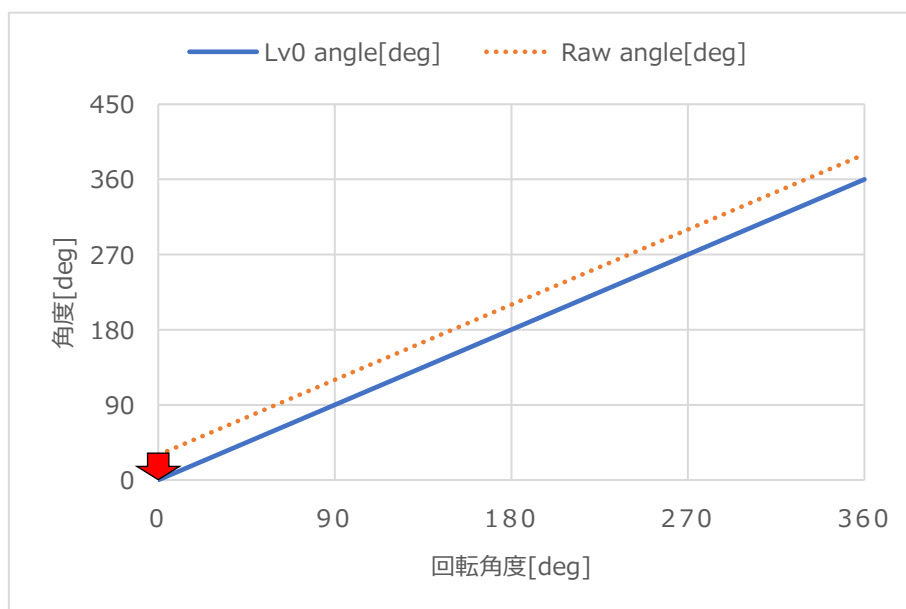


図 10. 角度演算(ゼロ調整)

補正レベル 1 計算手順**手順 1. 最大値/最小値を取得**

磁石を 360 度回転させて、1 周期分の角度センサー出力信号を取得します。

取得したデータから sin、cos 信号の最大値/最小値を取得します。

$V(\sin)_{\max}$ 、 $V(\sin)_{\min}$ 、 $V(\cos)_{\max}$ 、 $V(\cos)_{\min}$

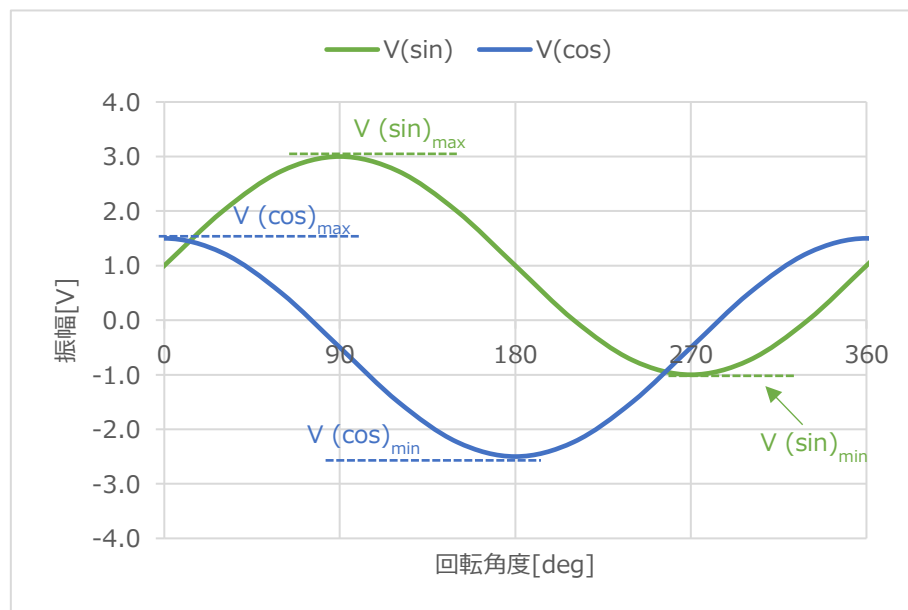


図 11. sin、cos 信号の最大最小値

手順 2. sin、cos 信号の規格化

オフセット補正值と振幅補正值を計算し、振幅 1、オフセット 0 に規格化します。

$$\text{Offset : Off sin [V]} = \frac{V(\sin)_{\max} + V(\sin)_{\min}}{2}$$

$$\text{Off cos [V]} = \frac{V(\cos)_{\max} + V(\cos)_{\min}}{2}$$

$$\text{Gain : Amp sin [V]} = \frac{V(\sin)_{\max} - V(\sin)_{\min}}{2}$$

$$\text{Amp cos [V]} = \frac{V(\cos)_{\max} - V(\cos)_{\min}}{2}$$

$$V_{\text{norm}}(\sin) [-] = \frac{V(\sin) - \text{Off sin}}{\text{Amp sin}}$$

$$V_{\text{norm}}(\cos) [-] = \frac{V(\cos) - \text{Off cos}}{\text{Amp cos}}$$

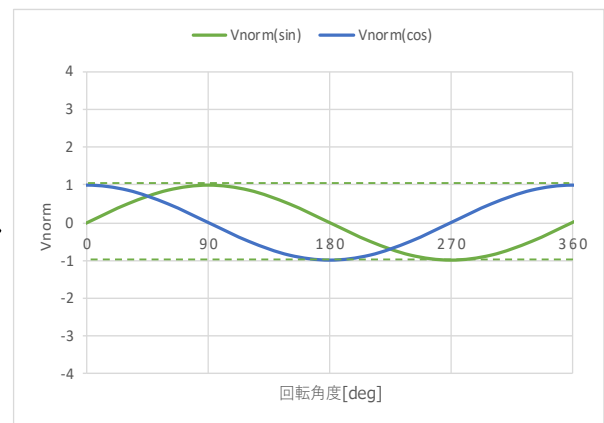
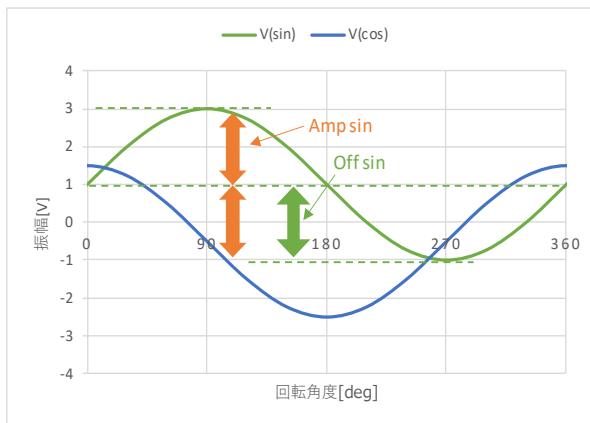


図 12. 振幅 1、オフセット 0 の規格化イメージ

手順 3. P_{diff} を計算 (P_{diff} : sin-cos 直交位相誤差)

$$V_{norm}(\sin - \cos) = V_{norm}(\sin) - V_{norm}(\cos)$$

$$V_{norm}(\sin + \cos) = V_{norm}(\sin) + V_{norm}(\cos)$$

合成波の最大値 $V_{norm}(\sin - \cos)_{max}$ 、 $V_{norm}(\sin + \cos)_{max}$ から、 P_{diff} を計算します。

$$P_{diff}[\text{deg}] = 1.92 * (\text{ATAN} \left(\frac{V_{norm}(\sin - \cos)_{max}}{V_{norm}(\sin + \cos)_{max}} \times \frac{180}{\pi} \right) - 45)$$

手順 4. 振幅 1、オフセット 0 への規格化

初期取り付け位置（ユーザーが決めた 0 度位置）での角度を計算します。

$$\text{Zero angle0} = \text{ATAN2} * (V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

($V(\sin) < 0$ の場合 : $\text{Zero angle0} = \text{Zero angle0} + 360\text{deg}$)

$$\text{Zero angle1}[\text{deg}] = \text{Norm angle0} - \frac{P_{diff}}{2} - \frac{P_{diff}}{2} \times \sin((2 \times \text{Norm angle0} - 90) \times \frac{\pi}{180})$$

$$\text{Norm angle0}[\text{deg}] = \text{ATAN2}(V_{norm}(\cos), V_{norm}(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

($V_{norm}(\sin) < 0$ の場合 : $\text{Norm angle0} = \text{Norm angle0} + 360\text{deg}$)

規格化した値を用いて角度を計算します。

初期取り付け位置 0 調

$$\text{Norm angle}[\text{deg}] = \text{ATAN2}(V_{norm}(\cos), V_{norm}(\sin)) \times \frac{180}{\pi} - \text{Zero angle1}$$

($V_{norm}(\sin) < 0$ の場合 : $\text{Norm angle} = \text{Norm angle} + 360\text{deg}$)

手順 5. 角度補正計算

算出した補正值を用いて角度を計算します。

$$\text{Lv1 angle}[\text{deg}] = \text{Norm angle} - \frac{P_{diff}}{2} - \frac{P_{diff}}{2} \times \sin((2 \times \text{Norm angle} - 90 + \text{Zero angle1} \times 2) \times \frac{\pi}{180})$$

補正レベル 2 計算手順

補正レベル 1 の計算フロー実施後に以下の計算を行います。

手順 1. 角度補正計算

$$\begin{aligned} \text{Lv2 angle [deg]} = & \text{Norm angle} - \underbrace{\left(\frac{P_{\text{diff}}}{2} - \frac{P_{\text{diff}}}{2} \times \sin \left((2 \times \text{Norm angle} - 90 + \text{Zero angle1} \times 2) \times \frac{\pi}{180} \right) \right)}_{\text{Pdiff 補正項(0 次と 2 次成分)}} \\ & - \underbrace{Wd2(\text{Temp}) \times \sin(2 \times \text{Norm angle} + \text{Zero angle1} \times 2)}_{\text{波形歪補正項(2 次成分)}} - \underbrace{Wd4(\text{Temp}) \times \sin(4 \times \text{Norm angle} - 180 + \text{Zero angle1} \times 4)}_{\text{波形歪補正項(4 次成分)}} \end{aligned}$$

注記：

Wd2 および Wd4 は以下のように定義します。

$$\begin{aligned} Wd2(\text{Temp}) = & \left(4.8 \times 10^{-8} \times (\text{Temp})^3 - 128 \times 10^{-7} \times (\text{Temp})^2 + 106 \times 10^{-5} \times (\text{Temp}) - 0.0294 \right) \\ & \times \left(0.0000074 \times B^2 - 0.001869 \times B + 0.5267 \right) / 0.4773 \end{aligned}$$

$$Wd4(\text{Temp}) = \left(-18 \times 10^{-4} \times (\text{Temp}) + 0.526 \right) \times \left(0.0000074 \times B^2 - 0.001869 \times B + 0.5267 \right) / 0.4773$$

Temp: 周囲温度[deg]

B: 印加磁場強度[mT]

Wd2(2 次), Wd4(4 次) 周期角度誤差... 計算式中の係数は製品固有値

テーブル変換方式の補正手順

この手法は、センサーの出力がきれいな $\sin$ 、 $\cos$ 信号にならない場合に特に有効です。図 13 に示すように、磁石の側面にセンサーを配置して使用する場合は 3 次高調波が重畳した出力波形図 15 になります。この波形を基に補正を行うには毎回複雑な計算を行う必要がありますが、テーブル変換方式を使えば、簡単な処理で角度演算結果を取得できます。

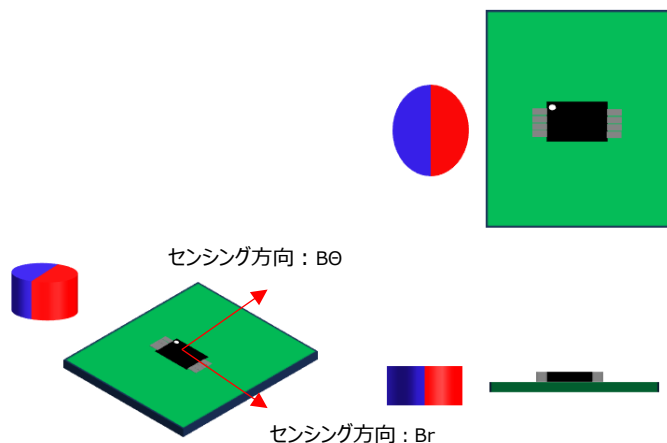


図 13. 磁石のレイアウト

磁場とセンサー出力例

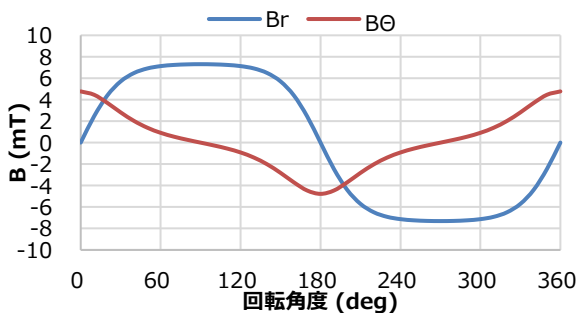


図 14. 磁石の横にある磁場フィールド(B_r , B_θ)

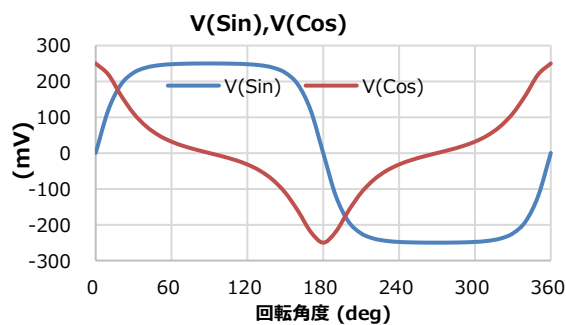


図 15. センサー出力

補正テーブル作成例

簡単な補正テーブルの作成手順は以下の通りです。

- 手順 1. システムにおける角度 0 度の位置を決めます。
- 手順 2. 磁石を任意の角度刻みで 360 度回転させて、1 周期分の角度センサー出力信号を取得します。
仮に、1 度刻みで回転させた場合は 361 個（0 度～360 度）のデータを取得します。
このとき、絶対角度がわかっていることが前提です。
- 手順 3. 取得した sin、cos 信号から角度演算を行います。
演算方法は任意としますが、最も簡単な演算方法は下記の三角関数計算式です。
- $$\theta = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$
- 手順 4. 演算結果と絶対角度で 1 対 1 の対応表を作成します。これが補正テーブルになります。
- 手順 5. 任意の位置に磁石を回転させ、手順 3 と同様の演算からセンサー検出角度を取得します。
- 手順 6. 手順 5 で得られた角度と補正テーブルを照合することで、正しい角度情報を得ることができます。
- 手順 7. 補正テーブル内に該当する角度が存在しない場合は、最も近い前後 2 点間の直線近似から角度を算出することができます。

センサー検出角度が 1.9 度の場合、テーブルから絶対角度は 2 度であるとわかります。

センサー検出角度が 358.7 度の場合、テーブルには一致する絶対角度の値が無いため、前後 2 点のデータである、検出角度 358.1 度と 358.9 度を使って直線近似計算を行います。

絶対角度を y、検出角度を x とすると、

$$y = a \times x + b$$

$$358 = 358.1 \times a + b$$

$$359 = 358.9 \times a + b$$

$$a = 1.25, \quad b = -89.625$$

$$y = 1.25 \times x - 89.625$$

よって、絶対角度は 358.75 度となります。

絶対角度 [deg]	検出角度 [deg]
0	-0.1
1	0.8
2	1.9
3	3.0
⋮	⋮
357	357.3
358	358.1
359	358.9
360	359.6

6. 磁気センサーと磁石を使用する際の注意点

磁気センサーと磁石を使用する際の一般的な注意点について以下に記載します。

適切な磁石の選択

磁石の種類と強さを選択する際は、磁気センサーの仕様とアプリケーションの要件に合わせて選定してください。磁石の強さがセンサーに過度に影響を及ぼす場合など、誤動作が発生する可能性があります。

磁石の熱対策

磁石は温度に敏感で、温度の変化によって磁力が変わります。磁気センサーや磁石が熱にさらされる場合、磁場の安定性に影響を及ぼす可能性があるため、適切な熱対策を検討する必要があります。

磁石配置と周辺磁性材の影響

磁気センサーは周辺磁性材(磁石や鉄など)の影響を受けます。磁場の乱れが磁気センサーの性能に影響を及ぼすかどうかを確認して、磁石、周辺磁性材とセンサーを適切な位置関係に調整してください。

静電気対策

磁気センサーは IC です。静電気保護回路の能力を超える静電気が加わった場合には破壊されます。取り扱いの際には十分な静電気対策を実施してください。

EMC 対策

車載環境での電源電圧ストレス、電波照射により磁気センサーが破壊や誤動作を起こす可能性があります。必要に応じて保護部品による対策を実施してください(ツェナーダイオード、コンデンサー、抵抗、インダクターなど)。

7. ご注意事項

1. 本書の記載内容は、予告なく変更することがあります。
2. 本書の一部または全部を当社の許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。
3. 本書に記載のソフトウェア、回路例などの情報は、本製品の標準的な動作や使い方を紹介したものであり、専らお客様ご自身の判断と責任において使用又は参考にしていただくことを目的としたものであるため、内容の正確性・特定の商品への適合性・安全性・その他一切の事項について何らの保証を行うものではありません。また、実際の設計にご使用になる場合には、お客様の責任において、お客様の製品を設計してください。本書を使用あるいは参考としたことに起因してお客様または第三者に生じたいかなる損害に関しても、当社は一切その責任を負いません。
4. 本書に記載された製品データ、図、表、プログラム、回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
5. 国内外の輸出関連法規により規制されている製品の輸出に際しては、同法規を遵守の上、必要な許可、手続きなどを取ってください。
6. 本書に記載されている内容、製品についてのご不明な点は、当社担当営業までお問合せください。

製品・サービスについてのお問い合わせ窓口

当社の製品やサービスに関するお問い合わせは、当社ホームページのお問い合わせ窓口までお願いします。

改訂履歴

日付	版	変更内容
2024 年 10 月 21 日	1.0	初版発行