

Application Note

ホール効果センサを使用した電子スマート・ロックの位置センシング



Justin Beigel

Position Sensing

概要

電子スマートロックのホール効果センサには、改ざん検出とデッドボルトの位置センシングの主に 2 つの用途があります。位置センシングは、システムに必要な情報のレベルに応じて、ホール効果センサを使用してさまざまな方法で実装できます。この資料では、電子スマートロックの位置センシングに関するさまざまなアプローチについて説明します。

目次

1 スマート・ロックのホール効果センサ.....	2
1.1 改ざん検出.....	2
2 ホール効果ベースの回転位置センシング方法.....	3
2.1 スイッチの実装.....	3
2.2 3D ホール効果センサによる回転センシング.....	6
3 まとめ.....	9
4 参考資料.....	9
5 改訂履歴.....	10

図の一覧

図 2-1. ホール効果スイッチの実装例.....	3
図 2-2. ホール効果センサ、ギャップ 2mm - 1/8 インチ磁石 1 個.....	4
図 2-3. ホール効果センサ、ギャップ 4mm - 1/8 インチ磁石 1 個.....	4
図 2-4. ホール効果センサ、ギャップ 2mm - 1/4 インチ磁石 1 個.....	5
図 2-5. 3D ホール効果センサの配置例.....	6
図 2-6. 3D ホール・センサの回転の例.....	6
図 2-7. ホール・センサの回転軸からのオフセット.....	7
図 2-8. 磁石の回転軸からのオフセット.....	7
図 2-9. ギア上の磁石の例.....	8

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 スマート・ロックのホール効果センサ

電子スマート・ロックはスマート・ホームの重要な要素となっており、さまざまな方法で実装できます。スマート・ロックの一般的な主要要素の 1 つは、デッドボルトの位置を検出することです。これを使用してモーターへの負荷を低減するだけでなく、ロックの現在の状態に関する情報を提供することができます。ロックが完全に施錠せずに途中で止まってしまった場合は、ドアが完全に施錠していない可能性があることをユーザーに通知できます。デッドボルトの位置検出には、光学スイッチ、ロータリー・エンコーダ、機械式スイッチ、ホール効果センサなどの部品が使用されています。ホール効果センサは、デッドボルトの位置検出に加えて、ロックの改ざんや内部回路へのアクセスが試みられているかどうかを判定するのに使用できます。改ざん検出機能は、誰かがスマート・ロックをすり抜けて家に侵入するリスクを低減するための追加のセキュリティ機能を提供します。

1.1 改ざん検出

スマート・ロックの改ざん方法はいくつかあります。その 1 つは、外付けシェルを取り除くことによりデバイスを欺いてセキュリティを解除させ、デバイスの内部構造にアクセスしようとする方法です。この場合、スイッチを使用して、シェルが取り除かれたか、位置がずれているかを判定できます。この実装については、『[ホール効果センサを使用した改ざんおよび移動終了検出の限界検出](#)』アプリケーション・ブリーフで説明しています。スマート・ロックでホール効果センサを使用して磁石の位置を判定する場合、誰かが大きな磁石を使用してセンサを欺いてトリガさせようとする可能性があります。このリスクを排除する 1 つの方法は、設計よりも強い磁界がシステム内に存在する場合に、スマート・ロックのメイン・コントローラにアラートを送信する追加のセンサを用意することです。追加のセンサ実装については、『[外部フィールド保護付き非接触型、ホール効果可変速度トリガのリファレンス・デザイン](#)』デザイン・ガイドも参照してください。

2 ホール効果ベースの回転位置センシング方法

電子スマート・ロックに位置センシングを実装する方法は、必要な分解能によって異なります。スイッチ実装を使用すると、レイアウト内のスイッチの位置に応じて、デッドボルトの絶対位置を完全に解錠、完全に施錠、またはその中間のどこであるかを検出できます。使用するスイッチの数は、必要な状態の数によって異なります。もう 1 つの方法は、ホール・センサを使用して、ロックのモーターまたはセンター・シャフトの回転角度を測定することです。最後に、モーター自体にエンコード機能を搭載することもできます。ホール効果センサは、モーター・エンコーディングの実装にも使用できます。ホール・センサ・モーターのエンコードの詳細については、『増分ロータリー・エンコーダ』アプリケーション・ブリーフを参照してください。

2.1 スwitchの実装

スイッチを使用してデッドボルトの位置を検出するには、磁石をセンター シャフトを中心に回転させるのが 1 つの方法です。これにより、ホール効果スイッチを配置して、デッドボルトが解錠位置にあるか施錠位置にあるかを判定できます。これらのスイッチは、ロックが右開きドアと左開きドアのどちらに取り付けられているかを判定するように配置することもできます。

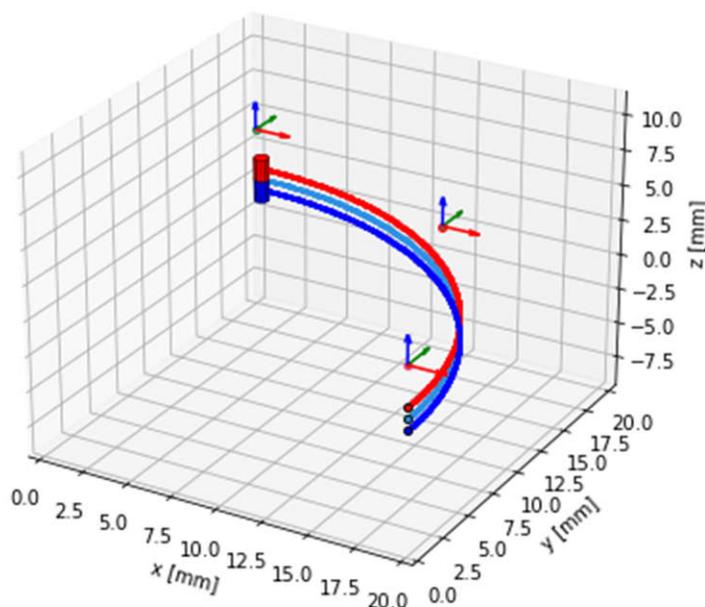


図 2-1. ホール効果スイッチの実装例

この例では、磁石がセンター シャフトを中心に回転するときに、デッドボルトの回転位置を決定する 3 つのスイッチがあります。中央のスイッチは、デッドボルトが完全に開いているかどうかを判定するのに使用し、2 つのエンド スwitch (1 つは左開きドア設置用、もう 1 つは右開きドア設置用) は、デッドボルトが完全に閉じているかどうかを判定するのに使用できます。これにより、ロックがどんなドアに取り付けられていても、デッドボルトの位置を検出できます。図 2-2 に、磁界がこの経路に沿って移動する際の磁石の磁界とスイッチのデジタル出力の例を示します。Bz1、Bz2、Bz3 の各ラインは各センサの磁界強度であり、D1、D2、D3 の各ラインはセンサの Bop に基づくデジタル出力です。このグラフでは、デバイスの小さな B_{rp} によるデバイス ヒステリシスは考慮されていないため、スイッチが両方向でオンになった場合のみを示しています。

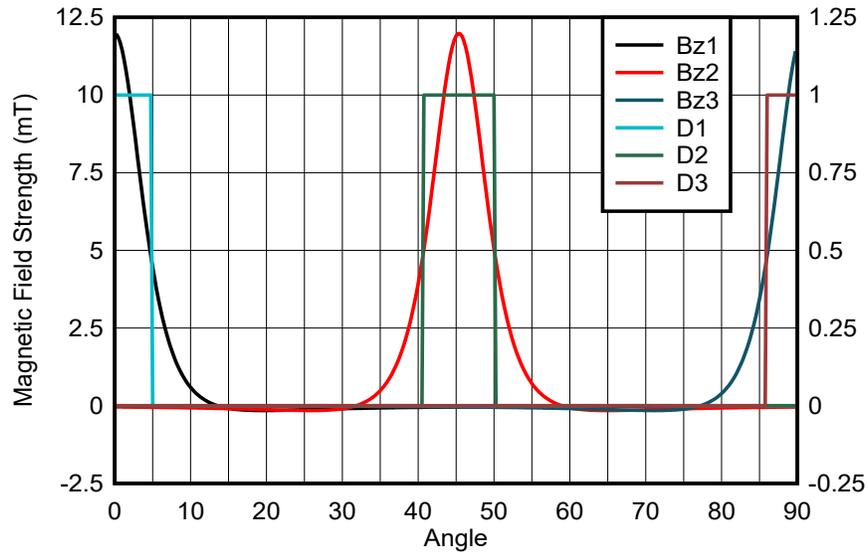


図 2-2. ホール効果センサ、ギャップ 2mm - 1/8 インチ磁石 1 個

このシミュレーションでは、標準的な磁気スレッシュホールド 3mT の DRV5032FB の使用を想定しています。ただし、パッケージのマーキング面と平行な磁界を検出する面内ホール効果スイッチが必要な場合は、TMAG5233 を検討できます。センサは磁石の端から 2mm 離れた場所に配置されており、検出された磁界で 12mT のピークが得られます。各スイッチの機械的誤差は、磁石とセンサの距離を変更するか、スレッシュホールドの異なるデバイスを使用して調整できます。距離を広げると、図 2-3 に示すように、スイッチが磁石を検出するときの許容誤差が小さくなります。

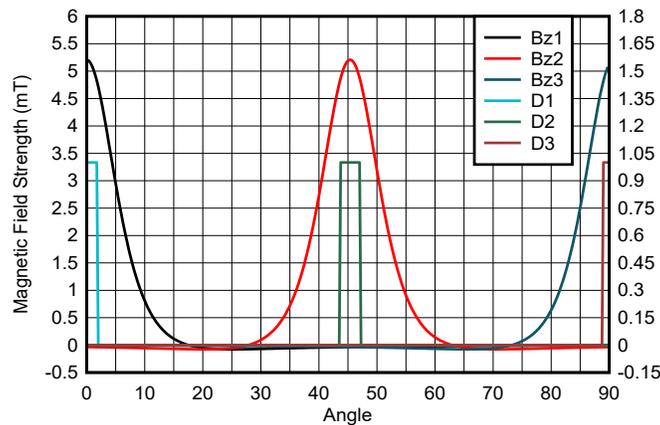


図 2-3. ホール効果センサ、ギャップ 4mm - 1/8 インチ磁石 1 個

この実装では 3 個のスイッチしか使用していませんが、スイッチを追加したり、スイッチの配置を変更したりすると、デッドポルトの位置に関する追加情報が得られます。上記のシミュレーションで使用した磁石は、直径 1/16 インチ、1/8 インチ厚の N52 バー磁石です。これより大きな磁石を使用すると、磁界強度が大きくなり、回転動作に対してスイッチをより早くオンにすることができます。たとえば、1/4 インチ厚の類似のバー磁石を使用し、磁石の端とセンサの距離を 2mm にすると、以下のような結果が得られます。

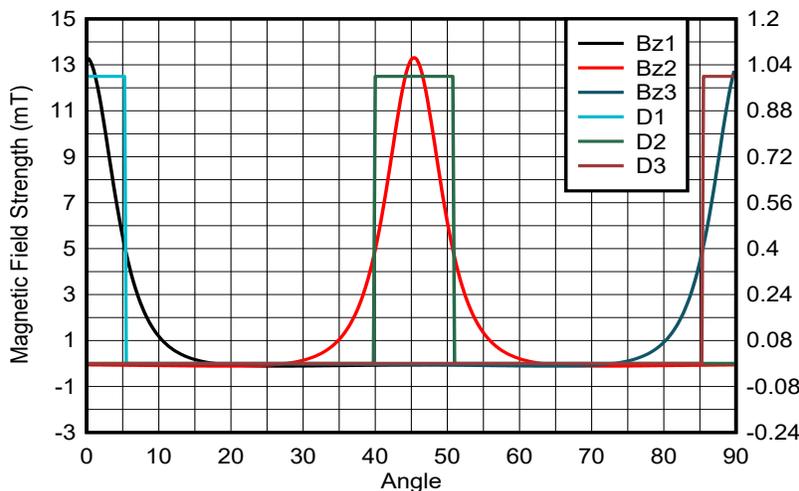


図 2-4. ホール効果センサ、ギャップ 2mm - 1/4 インチ磁石 1 個

新しいピーク磁界は約 13.3mT です。この増加はそれほど大きくはありませんが、センサ出力がトリガされる時の角度範囲も広がります。このアプリケーション用に磁石を選択する場合、システムで利用可能なスペースが大きく影響する可能性があります。望ましい許容誤差などの要因を考慮し、センサの磁石スレッシュホールドと比較する必要があります。

ホール スイッチは、低消費電力および低コストで実装できます。前述の DRV5032FB は 1 μ A 未満で動作できるため、このアプリケーションでバッテリー寿命を維持できます。代替設計は、低コストの同一面内ホール効果スイッチである TMAG5233 です。TMAG5233 はオムニポーラ磁気応答を備えており、デバイスはパッケージのマーキング面に水平平行な N 極と S 極の両方に反応できます。TMAG5233 は 5Hz と 40Hz のデューティ サイクル オプションで供給されま

す。また、ホール センサの製品寿命は、リード付きスイッチよりも長くなっています。リード付きスイッチとホール センサの比較の詳細については、『[リード スイッチを テキサス・インスツルメンツのホール効果センサとリニア 3D ホール効果センサに置き換える](#)』アプリケーション ノートを参照してください。

2.2 3D ホール効果センサによる回転センシング

回転角度により高い分解能を必要とするシステムでは、単一の 3D ホール・センサを使用して磁石の角度を検出できます。これは 1 つのデバイスしか必要としないため、センサは磁石の真上に配置するのが最適で、回転はセンサの Z 軸でのみ発生します。

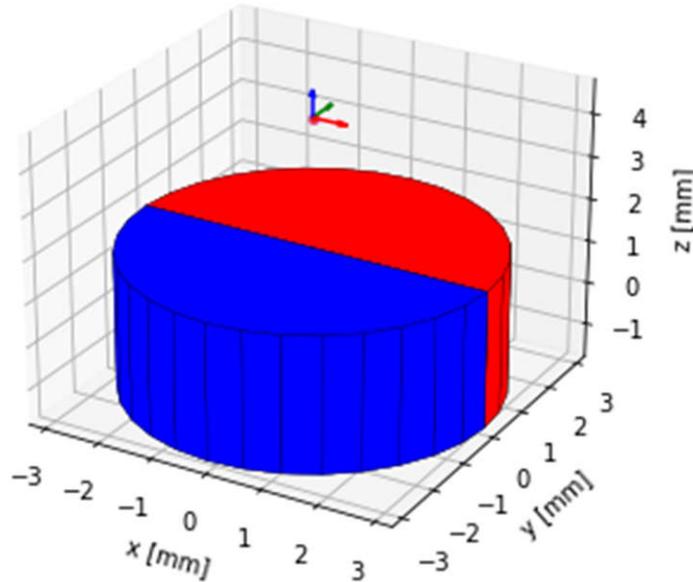


図 2-5. 3D ホール効果センサの配置例

センサと磁石は完全に位置を揃えているため、磁石の回転中は磁界の X 成分と Y 成分のみが変化します。

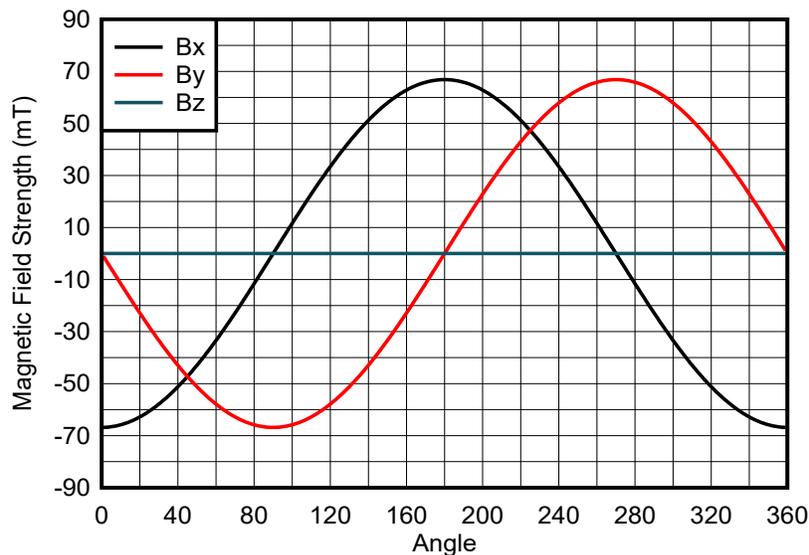


図 2-6. 3D ホール・センサの回転の例

図 2-6 に示すように、磁石の角度を判定するのに必要な磁界軸は 2 つのみであり、3 番目の軸は改ざん検出を実装したり、デバイスのステータスに関する追加情報を収集したりするのに使用できます。磁石の角度を決定するには、MCU を使用してデータを処理します。ただし、TMAG5273 や TMAG5170 などのデバイスには、角度をレジスタ値として報告する CORDIC アルゴリズムが内蔵されているため、MCU による追加計算は不要です。磁石とセンサの配列にシフトまたはオ

フセットがある場合、磁界の Z 軸が変化します。磁石が回転軸と位置を合わせていても、センサと位置を合わせていない場合、Z 軸の正弦波パターンが変化し始めます。

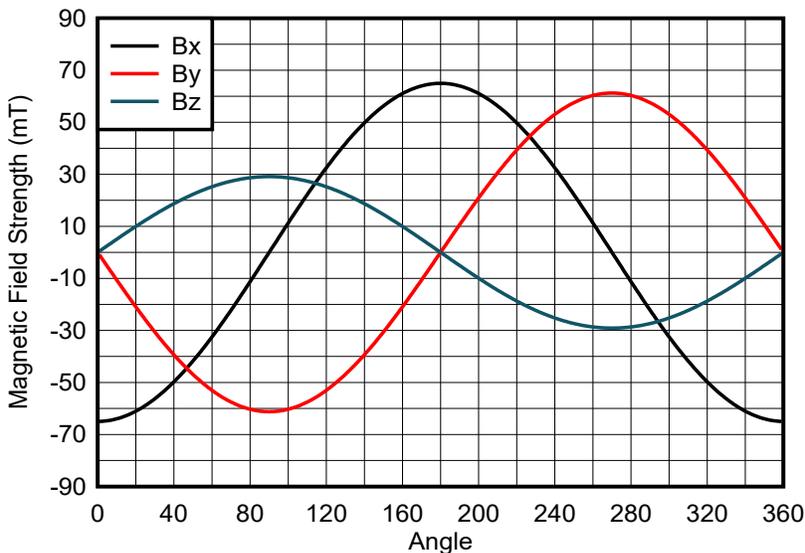


図 2-7. ホール・センサの回転軸からのオフセット

Z 軸の磁界がこのように変化しているということは、磁石は軸を中心に回転しているが、センサとは位置を合わせていないことを示しています。別のオフセットとして、磁石が回転軸上からずれることもあります。この場合、センサが回転軸に沿っていれば、Z 軸の磁界は一定になります。

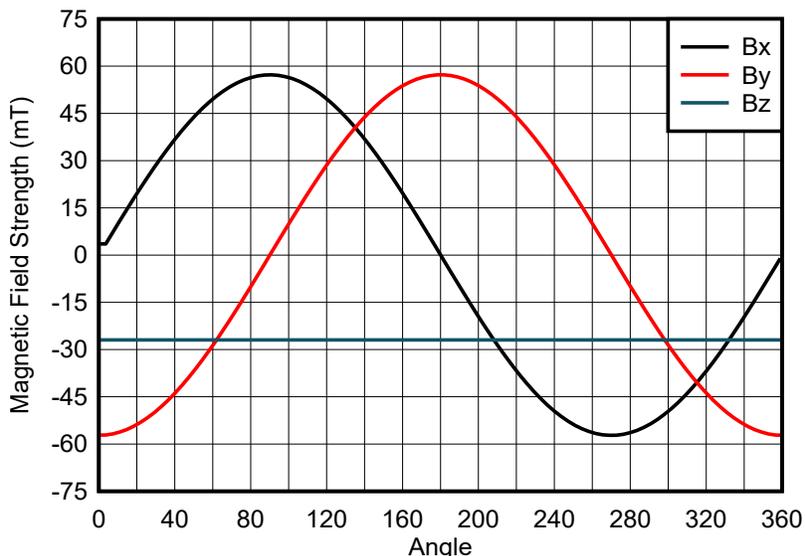


図 2-8. 磁石の回転軸からのオフセット

これら 2 種類のオフセットから予想される結果を把握しておく、磁界の Z 軸を使用してシステムを予測に基づいてメンテナンスできます。製品の使用中にこれらのオフセットが現れる場合は、何かがずれたことを意味しており、位置を設定し直す必要がある可能性があります。Z 軸のオフセットを使用して、システムに外部磁石が印加されているかどうかを判断することもできます。この場合、磁界の X 軸および Y 軸に予測されるデータにも影響が及ぶ可能性があります。

多くの場合、この実装用の磁石は、センター・シャフトまたはモーターに直接配置することはできません。この場合、ギアを使用して磁石の回転をオフセットし、デッドボルト位置に対する磁石の角度分解能を変更できます。磁石をセンター・シャフトよりも速く回転させるギア比を使用すると、デッドボルトの動きに対してより大きな角度変動が発生します。これを利用すると、必要に応じてデッドボルトの位置に対する分解能を高めることができます。図 2-9 にこの例を示します。

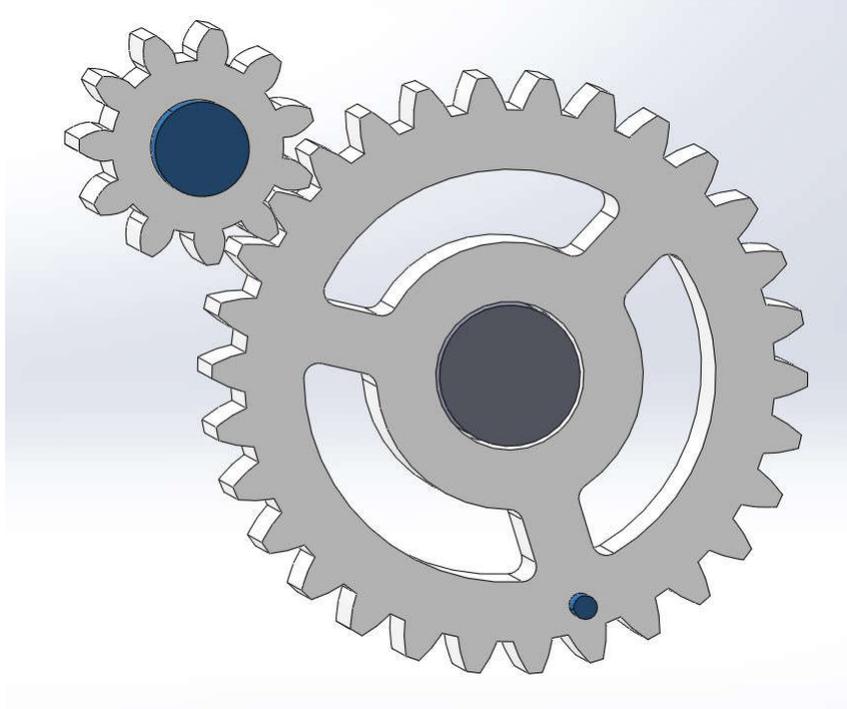


図 2-9. ギア上の磁石の例

この例では、リニア・ホール・センサの真上にある磁石を回転させるオフセット・ギアと、より大きなギアの外縁に沿って移動する磁石を使用しています。小さい方の磁石はアーク・パス上を移動するので、これを前述のスイッチ実装で使用できます。これは、このアプリケーションでこれらの磁石を実装するための 1 つの方法にすぎません。磁石は主要な検討事項であるため、アプリケーションに合わせて機械的な動き方を変更または調整できます。

3 まとめ

ホール効果センサを使用して電子スマートロック内のデッドボルトの位置を判定する方法は、主に 2 つあります。スイッチ実装ではデバイスあたりの消費電力が低くなり、3D ホールセンサではデッドボルトの位置に関する追加情報を取得できます。設計の許容誤差も、必要に応じて異なる磁石またはセンサを選択することで変更できます。

表 3-1. 推奨デバイス

デバイス	特性	設計上の考慮事項
DRV5032	超低消費電力デジタル スイッチ ホール効果センサは、SOT-23、X2SON、TO-92 パッケージで供給されます。オムニポーラとユニポーラの両方のオプションが利用可能です。	低消費電力アプリケーションに最適です。このデバイスは最小 1.65V で動作し、標準消費電流は 1uA 未満です。X2SON の DU および FD バリエーションは、デュアル ユニポーラ機能を備えています。
TMAG5233	同一面内ホール効果スイッチ (垂直センサ) は、業界標準の SOT-23 パッケージで供給されます。	パッケージのマーキング表面に平行な N 磁極と S 磁極の両方に反応するオムニポーラ磁気応答を備えています。
TMAG5170	高精度リニア 3D ホール効果位置センサは、SOT-23、X2SON、TO-92 パッケージで供給されます。オムニポーラとユニポーラの両方のオプションが利用可能です。	3 軸すべての磁界強度を測定し、SPI 経由でデータを報告します。このデバイスは、高精度であり、システム監視に役立つ自己診断機能を備えています。
TMAG5273	低消費電力のリニア 3D ホール効果位置センサ、I2C インターフェイス付き、6 ピン SOT-23 パッケージで供給。	3 軸すべての磁界強度を測定し、I2C インターフェイス経由でデータを報告します。このデバイスは、最小 1.7V で動作できます。電力モード オプションが構成可能なため、システム性能と消費電流を最適化できます。
TMAG3001	YBG パッケージに I2C インターフェイスとウェイクアップ検出機能搭載、低消費電力リニア 3D リニア / 角度ホール効果センサ。	X、Y、Z 軸の磁界を測定し、I2C インターフェイス経由でデータを報告します。低消費電力アプリケーションに最適です。このデバイスは、最小 1.65V で動作できます。電力モード オプションが構成可能なため、システム性能と消費電流を最適化できます。

4 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、『ホール効果センサを使用した、干渉および移動終了検出における、限界検出』アプリケーション ブリーフ。
2. テキサス・インスツルメンツ、『外部フィールド保護付き非接触型ホール効果可変速度トリガのリファレンス デザイン、デザイン ガイド』。
3. テキサス・インスツルメンツ、『インクリメンタル ロータリー エンコーダ』アプリケーション ブリーフ。
4. テキサス・インスツルメンツ、『リード スイッチをテキサス・インスツルメンツのホール効果センサとリニア 3D ホール効果センサに置き換える』アプリケーション ノート。

5 改訂履歴

Changes from Revision * (June 2022) to Revision A (September 2024)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	1
• 「ただし、パッケージのマーキング面と平行な磁界を検出する面内ホール効果スイッチが必要な場合は、TMAG5233 を検討できます」という文を追加	3
• 推奨デバイスの表を追加	9

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated