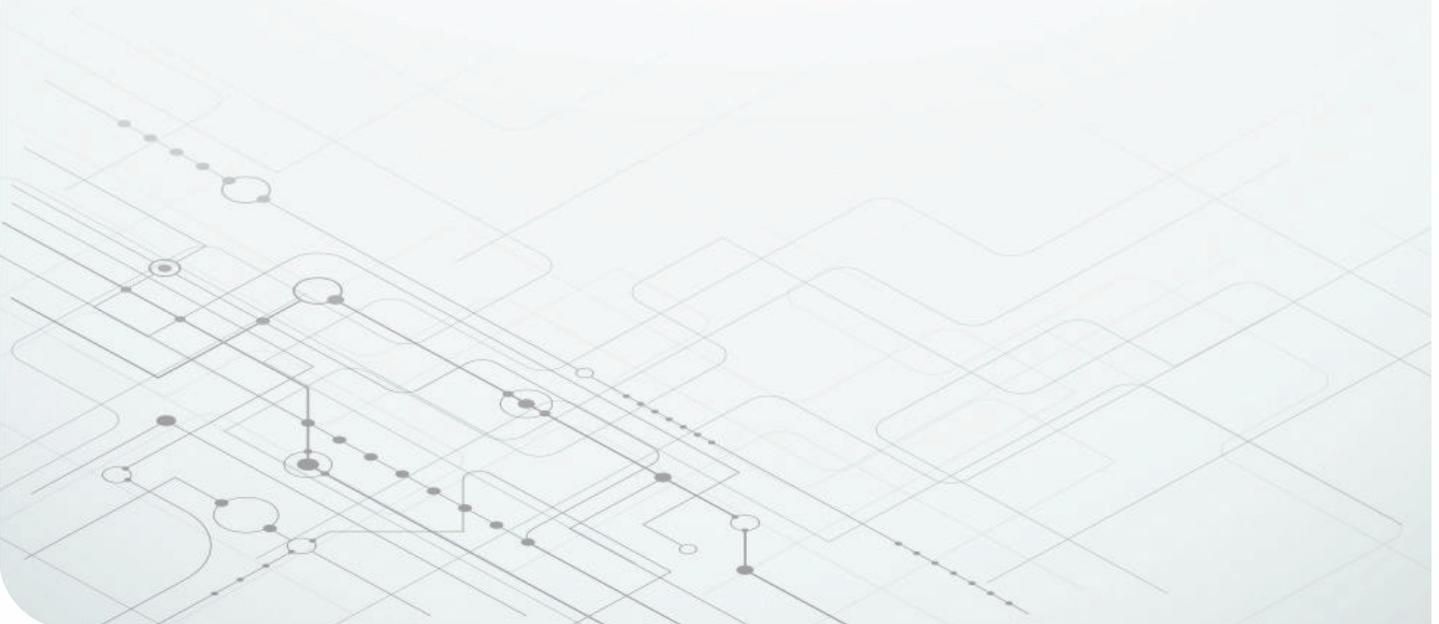


位置センサによる車載および産業用アプリケーションの革新



Manny Soltero



このホワイト ペーパーでは、車載および産業用アプリケーションにおける位置検出の動向と、それに関連する設計課題および解決策について説明します。

概要



1

トレンド 1: システムの電動化

位置センサは、電動モーターおよび電動パワー ステアリング (EPS) システムなど、進化を続ける車載システムのあらゆる場所で、複雑な角度を高精度で測定します。



2

トレンド 2: 信頼性および安全性向上の要求

機械的システムから磁気センサへの移行は、摩耗や損傷を低減すると同時に、機能安全の必要性を高めます。



3

トレンド 3: 最終製品全体の小型化

高感度の磁気センサと高集積化により、精度と分解能の低下を含む小型化に伴うトレードオフに対応できます。



4

トレンド 4: レアアース材料からフェライト材料への移行

磁気センサにおいて、フェライト材料はレアアース材料に代わる豊富でコスト効率の優れた代替品ですが、フェライト材料を採用する場合、その弱い磁界と温度ドリフトを補償する機能が必要です。

しばらく車を運転していたとしても、おそらくあなたは、ハンドルにもブレーキ システムにさえも、車種によって大きな違いがあるとは感じないでしょう。これは設計の賜物です。ハンドリングの改善によりドライバーの快適性は向上していますが、一般的には、これらのシステムの操作感が比較的変わらないように維持されてきたのは、車の年式に関係なく、ユーザーの使い勝手が変わらないようにするためです。

しかし、これらのシステムで使用される技術は時間の経過と共に進化を遂げ、位置センサはこの進化の大きな部分を占めてきました。

現在では、超音波、光学、磁気、静電容量性、誘導性など、多くの種類の位置センサが利用できます。位置検出集積回路 (IC) は物体の動きを検出し、マイコン (MCU) が処理および制御するのに適した電気信号に入力信号を変換します。このホワイト ペーパーの文脈では、位置センサについて言及する場合、IC センサはホール効果、異方性磁気抵抗 (AMR)、誘導性技術を使用しているものとします。図 1 に、これらの 3 種類のセンサの基本的な機能を示します。

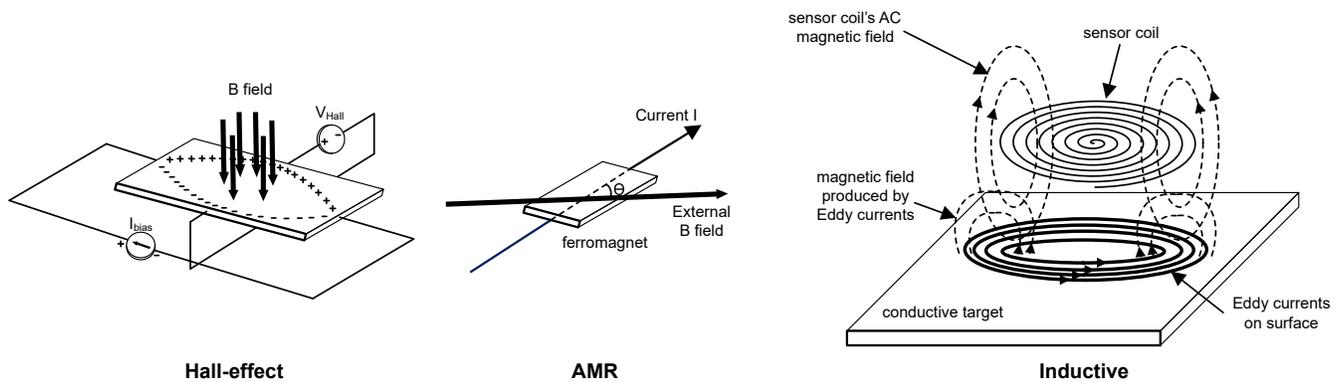


図1. ホール効果、AMR、インダクタ センサの機能

ホール効果技術では、強磁性体の中に電流が誘導されます。磁界 (B 磁界とラベル付けされています。図1を参照) を印加すると、電流の流れに垂直なホール電圧が発生します。

AMR センサの抵抗は、磁界が印加されると減少します。また、この異方性という特徴は、AMR センサが、印加された磁界の方向の影響を受けることを意味します。

誘導性センサは、自分自身の磁界を生成するためにセンサコイル (インダクタ) を使用しています。センサコイルは、金属ターゲットに発生する渦電流によって生成される磁界と結合します。

このホワイトペーパーでは、位置検出における現在の4つの動向について説明します。具体的には、システムの電動化、信頼性と安全性の向上の要求、最終製品全体の小型化、レアアース材料からフェライト材料への移行です。設計者は、ICセンサの改良に関する最新情報を理解することで恩恵を受けることができます。これらのICセンサは、従来よりもはるかに小さいパッケージに封止されているながら、精度と感度の大幅な向上、分解能と機能の向上、消費電力の低減を実現しています。

トレンド1:システムの電動化

自動運転、ユーザー体験向上の要求、温室効果ガス排出量低減の要求により、自動車の電動化が進み、位置センサを含むより多くの半導体デバイスを自動車に搭載することが必要になりました。これが第1のトレンドです。

熱効率は、電気自動車 (EV) にとって最も重要です。電動ポンプは、オイルや冷却水などの冷却剤を車両全体に循環させ、

各種システムレベル温度を抑制します。これらのシステムを制御するのは、複数の電子制御ユニット (ECU) です。EVの電源が投入されると、マイコンは温度を監視することで、特定のシステムに十分な冷却剤がポンプで送り出されたかどうかを判断できます。電動ポンプのインクリメンタルロータリーエンコーダに高分解能ホール効果センサを使用することで、マイクロプロセッサは過熱イベントに対してはるかに効率的に回答できます。高帯域幅の **TMAG5110-Q1** などのデバイスは、高感度でありながら低レイテンシの出力が可能のため、設計者はより柔軟にセンサを配置できます。

ステアリングコラムの設計は OEM (Original Equipment Manufacturer: 相手先ブランド受託製造業者) ごとに異なりますが、最も一般的な実装では、複数の制御モジュールが接続され、ウインカー、ヘッドライト、ワイパー、クルーズコントロール、スクロールホイールなど、複数のスイッチおよびボタン制御機能が管理されます。自動運転や快適性のために、以前は機械的に実装されていたこれらの機能は、磁気機能も備えた電氣的ソリューションになりました。ほとんどのアプリケーションにおいて、**TMAG5170D-Q1** と **TMAG5173-Q1** は複雑な角度を高精度で測定できるため、ASIL (Automotive Safety Integrity Level: 車載安全性インテグリティレベル) B、さらには ASIL D のシステムレベルにも適合できます。図2に、機械式接点を3Dホール効果センサ開発ボードに置き換えるために組み込まれたOEMステアリングコラム制御モジュールを示します。

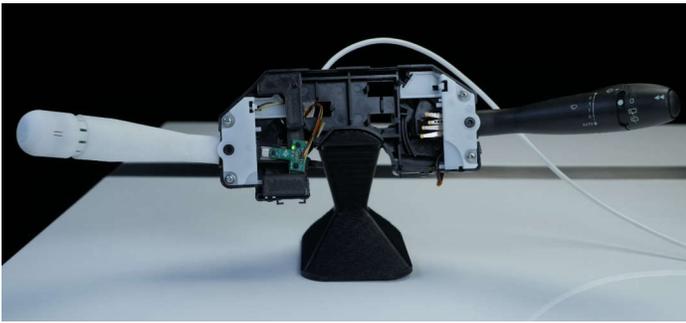


図2. テキサス・インスツルメンツの 3D センサ評価基板が組み込まれたステアリングコラム

モーター位置検出は、電気モーターを最適な効率で確実に動作させるための電気モーター設計の基本です。電力効率の要求値が高まるにつれて、モーターシャフトの正確な回転位置を高精度で監視する位置センサの性能の期待値も高まります。トラクションインバータ内のマイクロプロセッサと電力段は、モーターの位置を把握することで、モーターコイルに正確な量の電流を供給し、より効率的にトルクを管理できます。その課題は、モーターがフルスピード (100,000rpm 以上) で動作している最中に、定格温度範囲全体にわたって、あり得る最も高い精度 (約 0.5°) で角度を測定することです。

LDC5072-Q1 誘導性センサ (誘導性リゾルバとも呼びます) は、本来備わっている浮遊磁界に対する耐性を考えると、この用途に適しています。この技術のもう 1 つの利点は、磁石が不要であることです。図 3 に、トラクションインバータを上部に取り付けた電気モーターを示します。

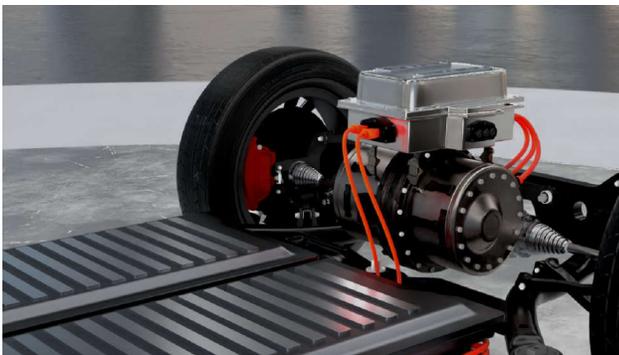


図3. 電気モーターとトラクションインバータ

自動車の電動化は位置センサの多くの使用事例を生み出しました。その中で最も普及しているのは間違いなく電動パワーステアリング (EPS) です。EPS が進化し続けるのに伴い、モーター位置センサとホイール位置センサの精度と分解能の要求値も高まっています。EPS システムにおいて、

TMAG6181-Q1 はモーターの回転子の位置を 0.4° という最小限の角度誤差で計測でき、2μs 未満のレイテンシで最大 100,000rpm に対応できます。一方、**TMAG5170D-Q1** はステアリングホイールの 3D 位置の判定に有効です。ハンドル角センサは、車両の最適な動作と制御を実現するため、ECU にデータを送信します。

電動化は、自動車だけでなく、電動バイク、電動アシスト付き自転車、電動スクーターなどの交通システムにも及んでいます。これらの製品は長年にわたって使われてきましたが、位置センサを必要とするモーター整流、ケイデンス、ホイール速度検出に新たな進歩が見られます。電動バイクには、注目しているいくつかの新しいトレンドがあります。

- 以前は、モーター整流は、3 ラッチのブラシレス DC モーターを実装することで行われていましたが、現在では、電動バイク用モーターの大半のプロバイダは高速、高精度の角度センサを使ってモーターを監視しています。**TMAG6180-Q1** AMR センサは、高精度 (室温で 0.1°C) で角度を測定できるため、このアプリケーションに最適です。
- ホイール速度とケイデンスの監視に **TMAG5115** などのホール効果ラッチを使うと、低ジッタと高速応答が実現でき、速度と方向を高精度で測定できます。以前は、ホール効果スイッチは主に車輪の速度検出に使用されていました。

トレンド 2: 信頼性および安全性向上の要求

設計者は、産業用、パーソナル エレクトロニクス、車載システムを開発する際に、製品寿命を延ばすため、設計の信頼性をより高める方法を同時に検討しています。位置検出に関する比較的最近の動向には、この目標を達成するための 2 つの方法が含まれます。それは、機械式システムから磁気センサへの移行と機能安全対応の推進です。

磁気センサは、摩擦による定常的な機械的損傷とは無縁です。たとえば、コードレス電動工具の場合、機械式トリガ設計が最も一般的な故障モードであり、メーカーは通常、製品寿命を通して >200,000 サイクルという目標を設定しています。製品寿命を通じた耐用サイクル数の目標値は最終製品によって異なりますが、磁気ベースのソリューションを使えば製品

寿命を延ばせる可能性があると期待されています。表 1 に、これらの例の一部をまとめます。

アプリケーション	既存の技術	位置センサを使用する利点 (機械式センサとの比較)	推奨される技術
コードレス電動工具と医療用電動ドリルのトリガ	機械式ポテンシオメータの設計	<ul style="list-style-type: none"> トリガ機構の製品寿命を通じた耐用サイクル数の増加 外部モジュールを必要とせずに、メイン回路基板にセンサを直接配置できます。 	ホール効果および誘導性
冷蔵庫ドアの開閉検出	マイクロスイッチ	<ul style="list-style-type: none"> スイッチが目立たない、美しい外観のドア インターフェイスを実現します。 	ホール効果
ゲーム用コントローラおよびキーボード	メカニカル設計	<ul style="list-style-type: none"> 特定のボタンまたはトリガを押すのに使われている力の大きさを検出できます。 ゲーム用コントローラでは、時間の経過に伴うドリフトの防止に有効です。 	ホール効果および誘導性
ステアリング システム: ステアリング ストック シフト、ステアリング コラム、ノブ、e シフト	メカニカル設計	<ul style="list-style-type: none"> 損傷とは無縁の、電氣的位置信号を使ったステア パイ ワイヤ方式を実現します。 	ホール効果、誘導性、AMR
ブレーキ システム	機械式油圧設計	<ul style="list-style-type: none"> 電子ブレーキ バイ ワイヤは、高速応答によって安全性を向上させます。 	ホール効果および誘導性

表 1. 非接触方式に移行しつつある産業用、パーソナル エレクトロニクス、車載システム アプリケーションの例

自動車の電動化が進み、ほぼすべての電動製品に多くの電子機器が搭載されるようになった結果、機能安全の必要性が高まりました。自動車業界は、自動車製品のための ISO (International Organization for Standardization: 国際標準化機構) 26262 に従う一方で、産業分野は、IEC (International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議) 61508 に従っています。機能安全は、電子システムの誤動作に起因する過度なリスクを排除することで、ユーザーを保護することを目指しています。システムに障害が発生した場合、そのシステムは、初期値である予測可能かつ既知の状態になる必要があります。

車載および産業用機能安全規格には、重大度 (発生する可能性がある傷害の程度)、曝露確率 (リスクにさらされる頻度)、制御可能性 (ユーザーが制御できる程度) に基づいて、複数のカテゴリがあります。最高の機能安全定格を必要とする車載システムの 2 つの例として、EPS とシフト システム (e シフト) があります。それらの故障に伴うリスクを考慮すると、どちらのシステムもしばしば最高の車載定格 (ASIL D) を必要とします。

ASIL D 要件に準拠するため、システム開発者は通常、互いに内部的に絶縁された、同一ではあるが独立した 2 つのセン

サを持つ冗長センサまたはソリューションを採用します。両方のセンサが故障する可能性は非常に低いです。この種の高性能システムは、高精度の角度検出も必要とします。

TMAG5170-Q1 3D センサと、そのデュアル ダイ相当品である **TMAG5170D-Q1** は、デバイス レベルとシステム レベルの両方の診断機能を内蔵しています。

トレンド 3: 最終製品全体の小型化

第 3 の動向は、磁気システム設計の小型化に関連しています。製品のサイズを小さくする理由には、コスト、ユーザーの使いやすさ、洗練された外観など多くの理由があります。製品のサイズを小さくするには、しばしば磁石のサイズの縮小または多軸センサを使用を必要とします。リスクがほとんどないもう 1 つの方法は、製造フローが許容する最も小さかつ最も集積度の高い部品に移行することで、基板サイズを縮小することです。これらの問題に 대응するため、テキサス・インスツルメンツは X2SON (超小型アウトライン、リードなし) (1.1mm² x 1.4mm²) と WCSP (ウェハー チップ スケール パッケージ) (0.8mm² x 0.8mm²) の小型ソリューションを提供しています。小型パッケージで高集積を実現した 1 つの例は、WCSP で提供している 3D リニア ソリューションである **TMAG3001** です。

磁石のサイズを小さくすると、磁界が弱くなり、感度の高い磁気センサが必要になるという問題があります。**TMAG5231** などの高感度ソリューションを採用すると、小型の磁石を使用できます。または、高感度のソリューションを使わずに、磁石をセンサのより近くに配置することで高精度の測定が可能です。磁界が弱い場合、信号対雑音比 (SNR) の高いデバイスは、可能な限り正確な測定を確実に行うのに役立ちます。

DRV5055 と **TMAG5253** は最大 70dB の SNR を実現できます。

最終機器の小型化という一般的な傾向は、使われている技術に関係なくどの位置センサにとっても困難な課題です。誘導性センサは、金属ターゲットを使用して物体の位置または存在を検出するため、データシートに規定されているガイドラインを満たすことで、フィットネス リストバンドのサイド ボタンほどの小さなフォーム ファクタを実現できます。誘導性センサのシステム レベルの主な要件は、ターゲットと同じサイズの検出コイルを備え、そのコイルの直径の 10%~20% 以内に

ターゲットを配置することです。小型化の傾向を示しているアプリケーションの例として、医療用インシュリン ポンプ、外科用内視鏡ツール、ファクトリ オートメーションの空気圧シリンダを挙げることができます。

また、部品点数を低減することでも小型化が可能です。たとえば、e メーター (またはスマート電子ロック、ドアおよび窓センサ) 内に改ざん検出を実装する際に、e メーターが電力使用量を正確に測定できないようにする大きな外部磁石を使った改ざんを検出するため、3 つのホール効果スイッチまたはリニア デバイスの代わりに、1 つの 3D リニア センサを使うことがあります。設計者は、e メーター設計を改善するため、3D 磁気センサ (**TMAG5273** などの低消費電力で動作する可変外部磁界検出デバイス) を採用しつつあります。このようなデバイスを使用する場合、部品点数の低減による小型化には、1 つのデジタル インターフェイスによる複数の出力の置き換え、プリント基板のアセンブリコストの低減、磁気感度設定の柔軟性の向上など、その他の利点もあります。

部品点数の低減によってシステムを小型化する場合、インクリメンタルおよびアブソリュート エンコーダの設計者が直面する課題の 1 つは、デジタル出力とアナログ出力のどちらのソリューションを選択するかなど、製品の分解能をどのようにして向上させるかということです。インクリメンタル エンコーダは、磁石が移動する速度 (変化量) と方向を監視します。アブソリュート エンコーダは同じことを行うことができ、さらに高分解能で正確な位置を常に認識しています。

デジタル出力のホール効果ラッチを使ってインクリメンタル エンコーダを設計する場合、分解能はシステムの磁極数のみによって決まります。分解能を高めるには、極数の多いリング磁石が必要です。また、極の寸法が小さくなると、磁石によって生成される磁界は本質的に弱くなるため、磁石のより近くにセンサを配置するか、より感度の高いセンサを使用する必要があります。この時点で、ほとんどの設計者は、**TMAG5111** など、デュアル ラッチを内蔵したシングルチップ ソリューションに切り替えます。デュアル ラッチ ソリューションが 2D ラッチを内蔵していることを確認することが重要です。その場合、3D 空間内の任意の 2 つの軸を非常に柔軟に監視できます。高分解能の設計には、リニア センサを備えたアブソリュート エンコーダが必要です。角度測定機能を備えた 1 つの 3D リニア

アセンサは、高分解能アブソリュート エンコーダへの移行の最終段階です。この実装では 2 つの軸のみを測定していますが、ほとんどの 3D リニア センサは任意の 2 軸を設定できる柔軟性を備えていることに注意します。3D センサを使用する

もう 1 つの利点は、プッシュ機能を検出できることです。図 4 に、エンコーダ設計のトレンドを示します。

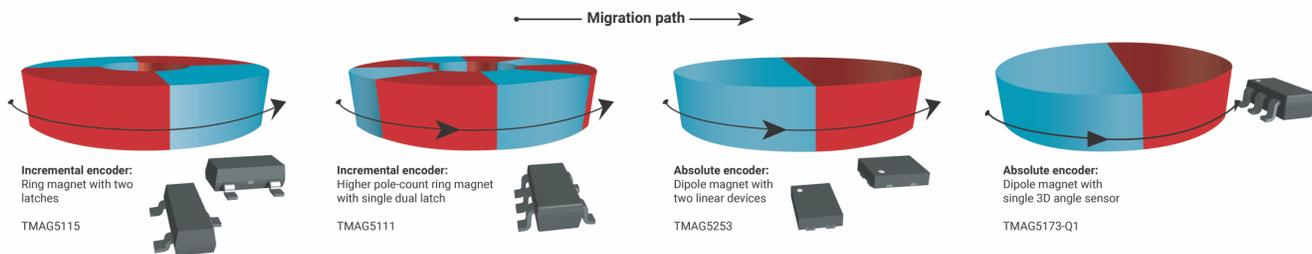


図 4. エンコーダの高分解能化のトレンド

トレンド 4: レアアース材料からフェライト材料への移行

レアアース材料の生産は、世界的に限られた国の中で集中的に行われています。これらの材料は無尽蔵ではなく、リサイクルを前提としない現在の消費量では、21 世紀後半に世界の埋蔵量が枯渇する可能性が高いと予想されています [1]。

一部の企業は、磁石の消費量の一部をフェライト材料にシフトすることで、レアアース材料への依存度と地政学的リスクを低減し始めています。フェライト材料は豊富に存在することから、フェライト磁石のコストはレアアース磁石 (ネオジウム フェライト ホウ素など) のコストの何分の 1 かであり、価格も安定しています。フェライト磁石を使う場合の欠点は、生成される磁界強度が非常に小さく (約 10 分の 1)、0.2%/°C の温度ドリフトを持つことです。

テキサス・インスツルメンツの **TMAG5170** および **TMAG5273** 磁気センサは、セラミック フェライトまたはレアアース磁石と組み合わせて動作し、これらの磁石の種類に固有の温度ドリフトを補償する機能を備えています。

まとめ

革新は、産業および車載用システムに不可欠な要素であり、そして位置センサは、線形または回転動作の高精度測定を必要とするアプリケーションにとって不可欠です。業界が最新技術を採用するにつれて、安全性とユーザー体験の向上に対する市場の要求は高まり続けており、同様に、高精度のセンシング技術に対する要求も高まり続けています。テキサス・インスツルメンツの位置センサは、これらの 4 つのトレンドに

対応するのに有効です。テキサス・インスツルメンツは、次の波に対応するため、今後とも位置センサを開発していきます。

参考資料

1. ブリタニカ (日付不明)「**存在度、産出量、埋蔵量**」アクセス日: 2023 年 10 月 24 日

その他の資料

1. ホワイト ペーパー、**『非接触型ロータリー エンコーダおよびノブ アプリケーションにおけるホール効果センサの使い方』**をお読みください。
2. デザイン ガイド、**『LDC1314 インダクタンス / デジタル コンバータを使用した 1° ダイヤルのデザイン ガイド』**をお読みください。
3. 技術記事、**メーター改ざん防止: あの迷惑なメーター改ざん行為を阻止**をお読みください。
4. アプリケーション ノート、**『2D ホール効果センサによるインクリメンタル ロータリー エンコーダの直交誤差の低減』**をお読みください。
5. **『TMAG5115 評価基板ユーザー ガイド』**をご確認ください。

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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 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