

Application Note

ホール エフェクト センサを使用した E-シフトの設計



概要

電子シフト (E-シフト) は自動車の動作モードを決定するため、どのようなグリッチが発生しても重要な機能を維持できるように堅牢な冗長性が必要です。その冗長性のために、多くのメーカーは同一の独立したセンシング デバイスを使用して設計しています。このドキュメントでは、2 つの独立したセンシング デバイスが 1 つのパッケージに統合された **TMAG5170D** を使用して、E-シフトを設計する方法について詳しく説明します。

目次

1 はじめに.....	2
2 機械的実装の選択.....	3
3 マグネット実装の選択.....	4
4 マグネット センサの配置.....	6
5 プロトタイプ製作とベンチテスト.....	8
6 誤差発生源.....	11
7 まとめ.....	12
8 推奨デバイス.....	13
9 参考資料.....	14
10 改訂履歴.....	15

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

エンドユーザーは通常、E-シフタが堅牢で、触知でき、操作が非常に簡単であることを期待しています。自動車メーカーとの契約の観点では、設計は機能安全の要件を満たす必要があり、基盤となる設計は、いくつかの異なる車両モデルでパッケージングされ、再利用できるように柔軟性と精度が十分に高い必要があります。これらの基本的な目標を満たした後、コスト、消費電力、設計サイズを最小化したいという希望があります。

この資料では、機能安全を必要とするシステムで必要とされる冗長性を実現するために特に設計されたマルチセンサデバイスである **TMAG5170D** を使用した E-シフタの使用可能なバージョンの設計プロセスを示します。主な積層ダイは、パッケージに收容されているため、センシング素子間の間隔を狭くでき、センサ間の誤差を低減できます。また、電子シフタは低ウェークアップおよびスリープモードで消費電力を最小限に抑えることができます。

図 1-1 は、このドキュメントに示されている設計フローをまとめたものです。

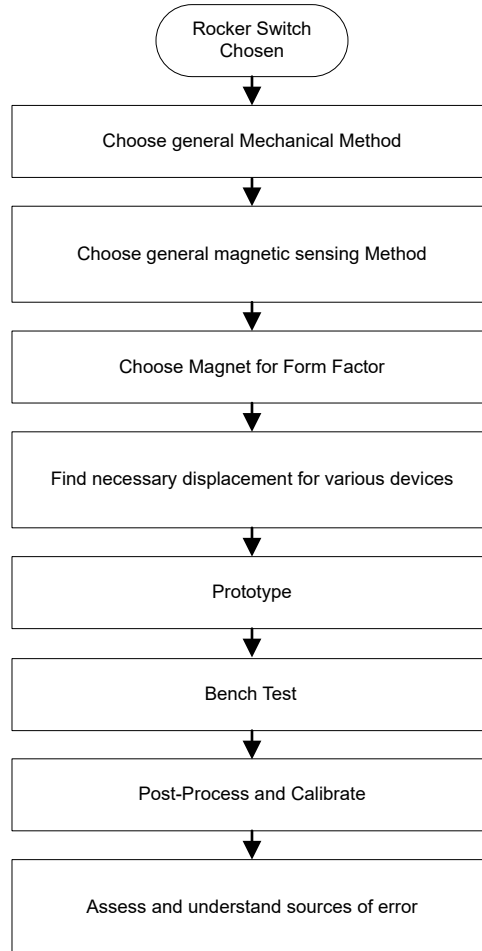


図 1-1. 開発フロー

2 機械的実装の選択

E-シフトの機械的な実装は、エンドユーザーの体験に影響を及ぼすだけでなく、可能なマグネットとセンサのペアリングにも影響を及ぼします。図 2-1 では、機械的実装には 5 種類あります。左から右に、ボタン、ダイヤル、ジョイスティック、レバー、パドルの実装です。このドキュメントでは、レバーの設計について説明します。他の実装に関連するコンテンツについては、[セクション 9](#) を参照してください。

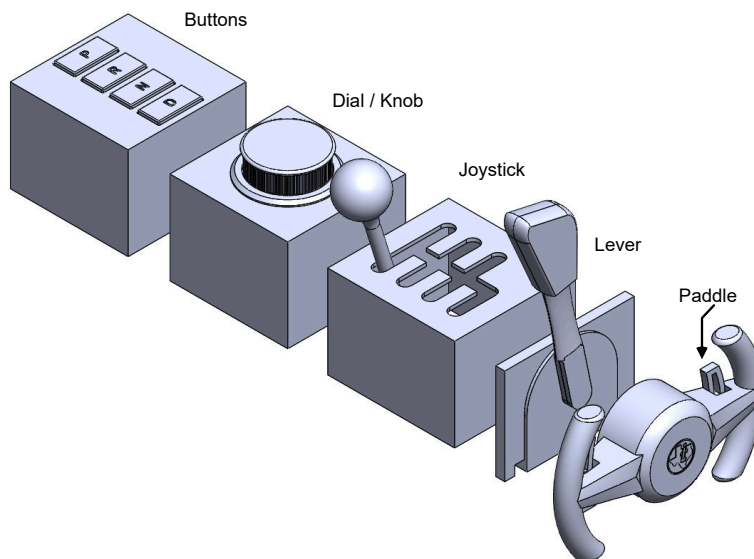


図 2-1. E-シフトの機械的実装

3 マグネット実装の選択

多くの設計では、マグネットを配置する最も論理的な場所は、遠く離れた電源から配線されたトレースや配線を通じて電力が供給される可能性のあるセンサではなく、感知したい可動部品内です。このため、マグネットはシフトレバーのどこかに収まる必要があり、マグネットを配置する場所に応じて、異なる種類のマグネットが適しています。図 3-1 に、2 つのマグネットの実装が可能です。左側はレバーの支点を中心に径方向磁化マグネット、右側は回転軸からある程度の距離を置いている軸方向マグネットです。

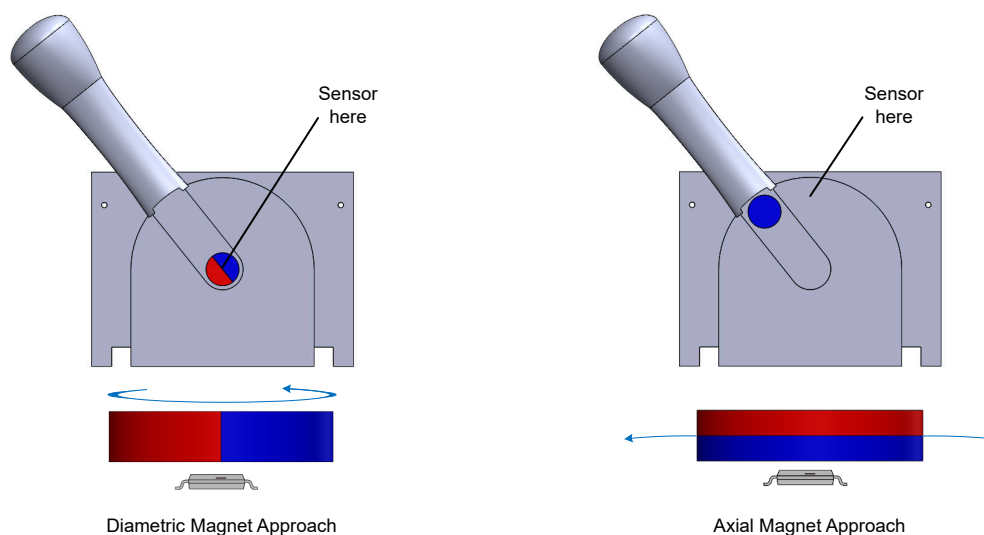


図 3-1. マグネットの実装

このアプリケーション ノートで説明する設計の目標は、図 3-2 に示す目的の信号など、エイリアシングなしで線形化された出力を得ることです。軸を中心に回転する物体を検出するため、1 軸のセンシング デバイスよりも 3D または多軸のセンシング デバイスの方が設計されています。多軸センシング デバイスはパッケージ向きが柔軟であるだけでなく、1 軸センシング デバイスでは避けられないエイリアシングにも耐性があります。これは、互いに垂直な場が正弦波と余弦波に類似した振る舞いを示すという事実によります。2 つの直交する磁場の逆正接を取ることで、マグネットの広範囲の動作にわたって線形出力を導き出すことができます。

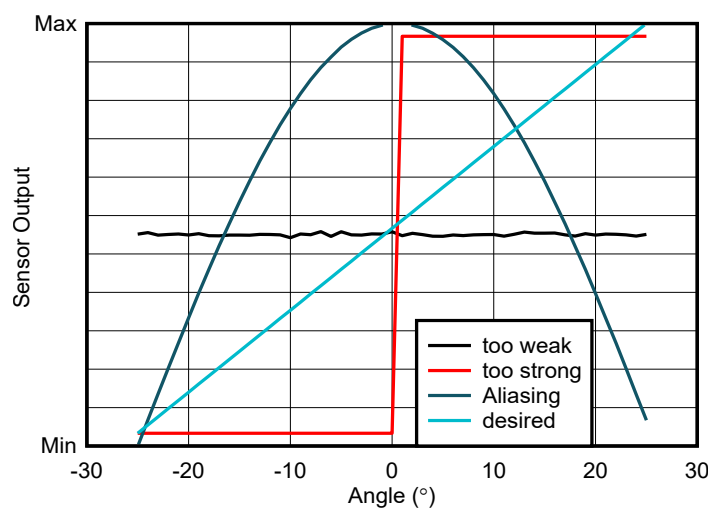


図 3-2. 出力プロット

直径方向のマグネットの場合、図 3-3 のような磁場の挙動が予想されますが、軸方向のマグネットの場合、図 3-4 のような磁場の挙動が予想されます。

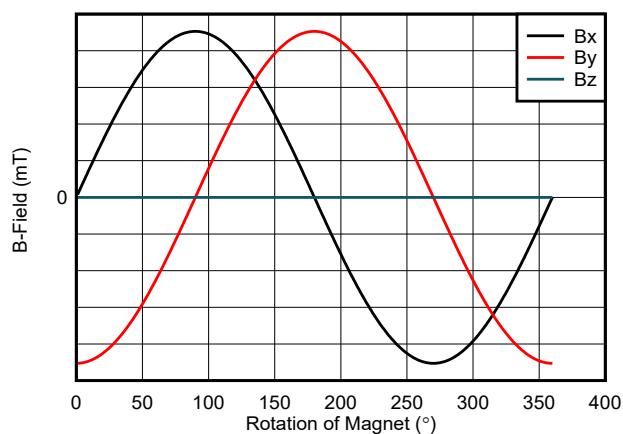


図 3-3. 対角接近時の B フィールド挙動

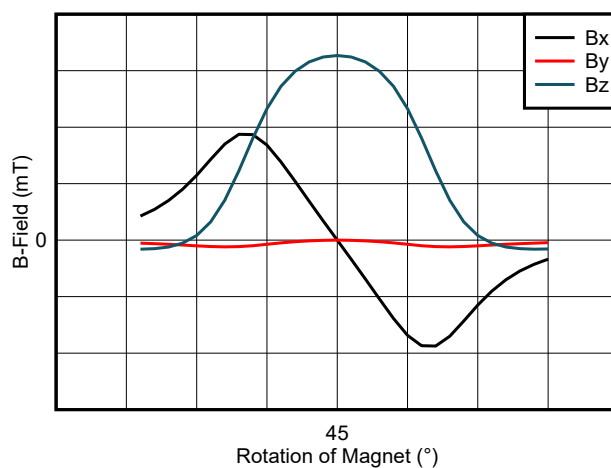


図 3-4. 軸方向アプローチの B フィールド挙動

この設計ではシフタが回転し、冗長測定が必要となるため、TMAG5170D が選択されます。

4 マグネット センサの配置

このアプリケーション レポートが提示する設計では、シフタ センシング システムを内蔵した筐体以外に、マグネットとセンサの間の相対配置を決定する制約が二つあります。その制約とは、デバイスのノイズフロアと最大センシング範囲です。目標は、信号対雑音比を最適化するために、デバイスで検出される最大フィールドを最大センシング値より少し小さくすることです。ただし、これは不可能な場合があるため、異なるピーク磁界強度に関連する誤差を定量化すると、マグネットが望ましい機械的磁気的実装に十分に近いか、十分に強いかを測定するのに役立ちます。直径アプローチでは、ピーク B_x フィールドと B_y フィールドがほぼ等しくなることが予想されます。図 4-1 は、1 シグマの磁気ノイズ $185\mu\text{T}$ に対する最大誤差の推定値を示しています。図 4-1 およびこのセクション以降のすべてのグラフは、[テキサス インスツルメンツ マグネティック センシブ シミュレータ \(TIMSS\)](#) で実行したシミュレーションから推定されたものです。

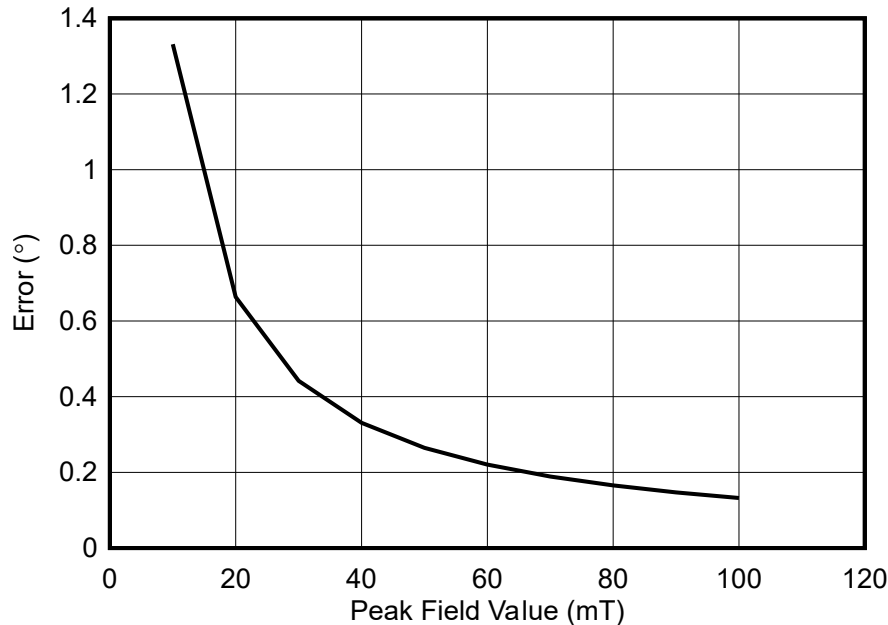


図 4-1. 直径アプローチにおける誤差とピーク電界強度との関係

図 4-1 で観察された結果から、マグネットのサイズとグレード、およびマグネットとデバイス間の適切な距離または空間距離を決定するためのガイドラインが得られます。図 4-2 に空間距離として示されているマグネットとデバイス間の距離の影響を測定するために、図 4-3 にマグネットの原点からの -8mm ～ -2.5mm の任意の Z オフセットに対して TMAG5170 によって測定された N42、直径 12.7mm 、厚さ 3.175mm のピーク磁場値を示します。

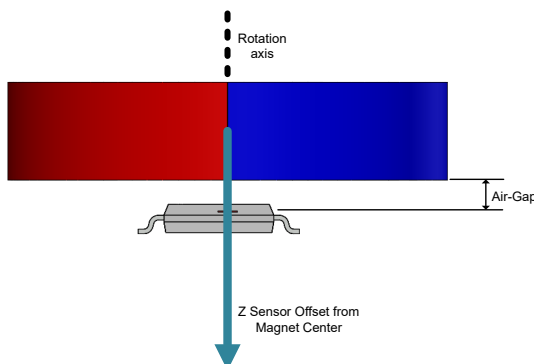


図 4-2. センサ Z オフセットのスweep図

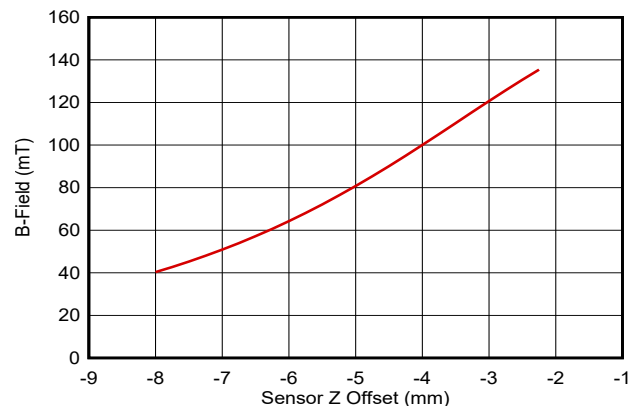


図 4-3. 最大 B_x または B_y フィールドとセンサ Z オフセットとの関係

マグネットのサイズの影響を測定するために、図 4-4 に、N42、厚さ 3.175mm、直径 2mm ~ 20mm、センサからの空間距離 7mm にどのような磁界値を観測できるかを示します。

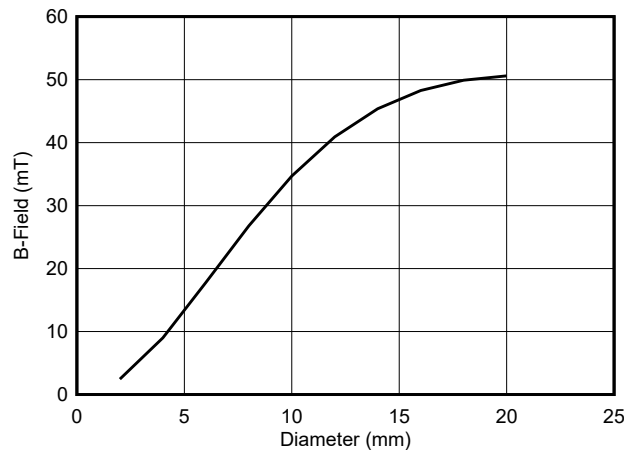


図 4-4. 最大 Bx または By フィールドとマグネット直径との関係

図 4-1 から、デバイスのノイズフロアあたり 1° 以下の誤差を実現するには、最低でも約 15mT が必要です。図 4-3 は、マグネットとデバイスの間の空間距離が大きい場合、予測される信号振幅が減少することを示していますが、対象となる配置領域で選択したマグネットのサイズについては、その振幅は 1° の誤差に必要な値の約 2 倍になるようです。最後に、図 4-4 は、目的のオフセットを 7mm として、ノイズによる誤差のみを考慮する場合、直径が 5.4mm という小型のマグネットを 1° 誤差に使用できる可能性があります。

ノイズは誤差の原因となるだけではないため、製造単位のスイープ オフセットとアセンブリの許容誤差を使用した解析を推奨します。図 4-5 は、同じオフセットに対して、小さい直径が誤差の許容範囲を小さくしていることを示しています。ここに示されていない大きなシミュレーション データ グループが原因で、マグネットの直径の 10% 未満のオフセットは、 1° 未満の誤差が多いように見えます。マグネットの厚さについては、図 4-6 が、厚さが異なっても角度誤差がわずかに変化するだけであることを示しています。

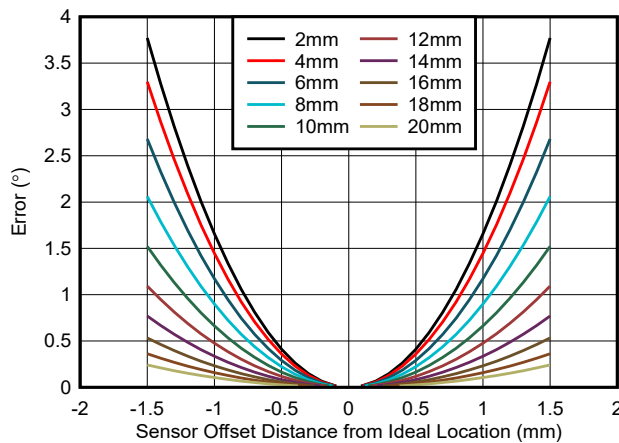


図 4-5. 直径スイープ

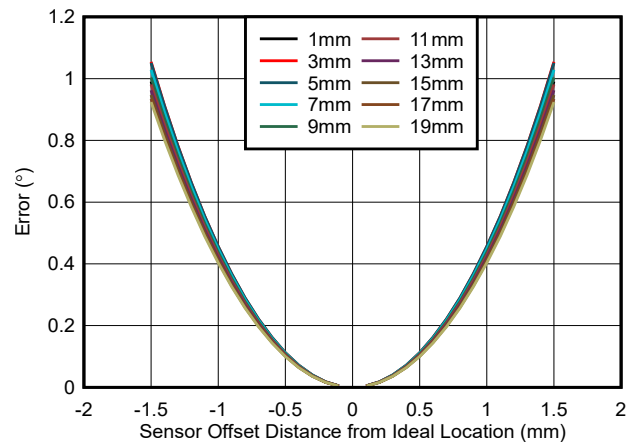


図 4-6. 厚みスイープ

5 プロトタイプ製作とベンチテスト

シミュレーションは予備設計や実行可能性の評価に役立ちますが、実際の性能を検証するにはプロトタイプ製作とベンチテストが必要です。シミュレーションでは未実現変数が除外されるため、実際のテストケースに正確に一致させるために必要なパラメータがすべて含まれているわけではありません。ベンチテストでは、シミュレーションと製造および組立の許容誤差を持つ製造システムとの間に起こりうる矛盾のいくつかが明らかになりました。

このアプリケーションノートで提示している製造済みの径方向設計と、性能をベンチマークするための設定を [図 5-1](#) に示します。このセットアップでは、Newport URS50BCC の回転段が E シフタ スティックを回転させ、Python プログラムが Newport の角度、TMAG5170D の磁束測定と角度計算を収集します。データが収集された後、TMAG5170D から収集された最初の角度が Newport で報告される最初の角度と比較され、1 ポイントキャリブレーションについて TMAG5170D から後続で計算されたすべての角度から、これら 2 つの値間の差が減算されます。次に、Newport とシフトした TMAG5170D の角度の差を計算し、[図 5-2](#) に示すように 1 ポイント キャリブレーション角度誤差 (度) を決定します。

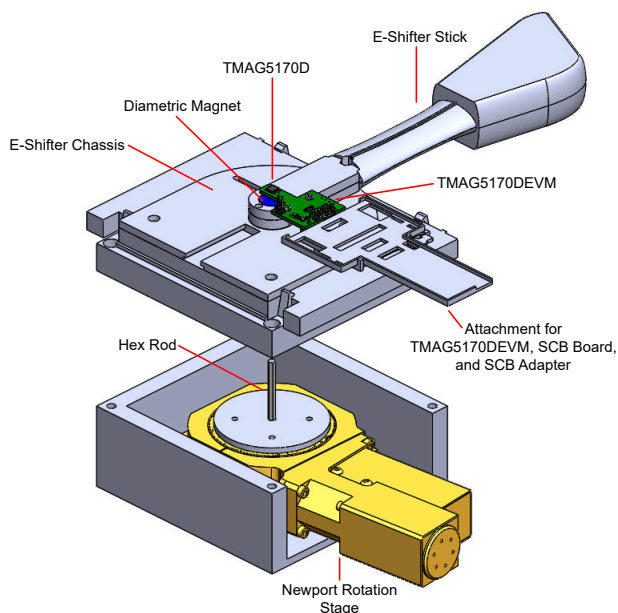


図 5-1. テスト セットアップの分解図

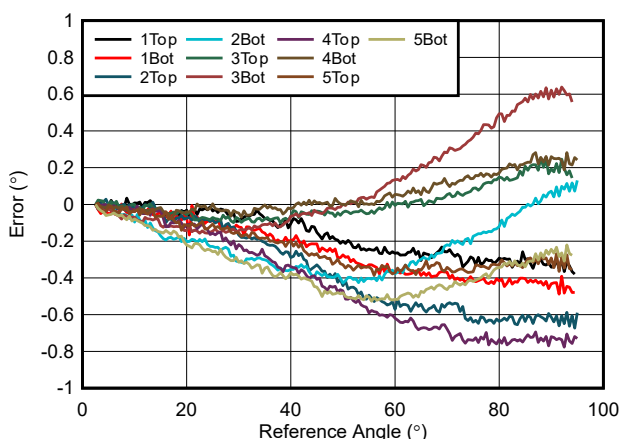


図 5-2. 1 ポイント キャリブレーション

1 ポイント キャリブレーション済みデータと、絶対角度基準点として扱われる **Newport** の角度を対比してプロットすると、[図 5-3](#) のデータは直線的であり、基準と類似しているように見えますが、[図 5-2](#) に示すように、正確な 1 対 1 の関係はありません。絶対角度ソースと **TMAG5170D** から生成される角度の差を最小限に抑えるため、2 つ以上のポイント キャリブレーションを実行してもいいでしょう。このデモンストレーションでは、2 ポイント キャリブレーションに移動範囲を使用しました。[図 5-4](#) に示されているように、境界点間の差を **TMAG5170D** から計算された角度に対する誤差を表す方程式の係数を決定するために使用しました。

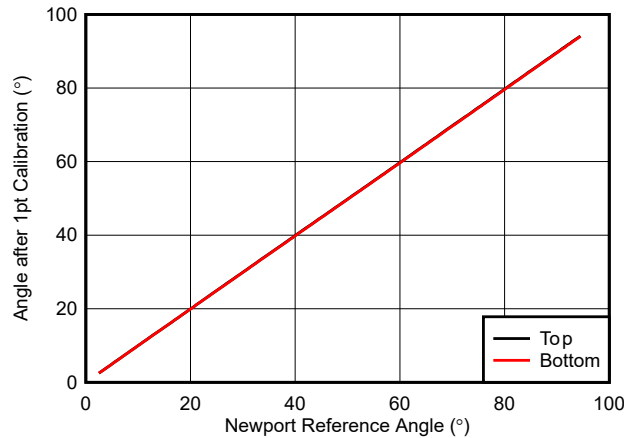
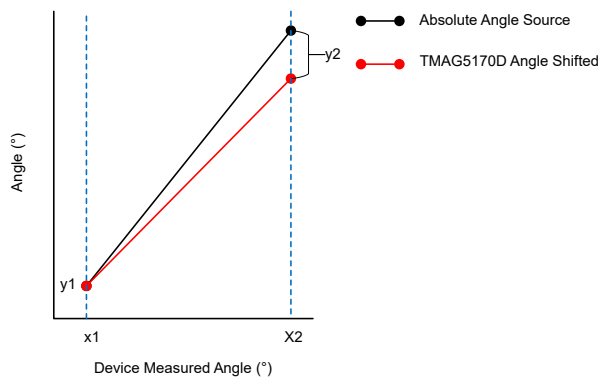


図 5-3. 角度の比較



$$y = mx + b \quad (1)$$

$$y = \text{error} \quad (2)$$

$$x = 1 \text{ pt calibrated TMAG5170 data} \quad (3)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (4)$$

$$b = y_2 - mx_2 \quad (5)$$

$$\text{Angle}_{\text{Cal}} = \text{Angle}_{\text{TMAG}} + (m \times \text{Angle}_{\text{TMAG}} + b) \quad (6)$$

図 5-4. 2 ポイント キャリブレーション法

2 ポイント キャリブレーションから [図 5-5](#) が得られました。これらの結果は、以前の誤差が $-0.8^\circ \sim 0.63^\circ$ の範囲内であったのに対し、最大誤差が $-0.5^\circ \sim 0.12^\circ$ の範囲内であることを示しています。これは、最大誤差を最小 $\pm 0.5^\circ$ にキャリブレーションでき、誤差の拡散を 60% 近く低減できることを示しています。キャリブレーションを 3 ポイントに拡張すると、[図 5-6](#) が得られました。このセットの誤差は $-0.15^\circ \sim 0.14^\circ$ であり、1 ポイント キャリブレーションによる誤差の拡散が 80% 削減されます。

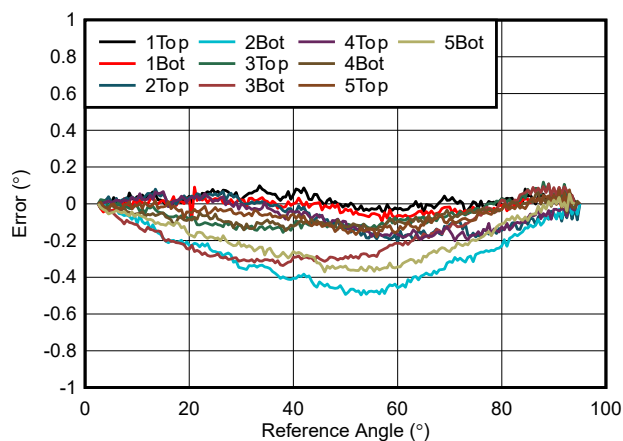


図 5-5. 2 ポイント キャリブレーション

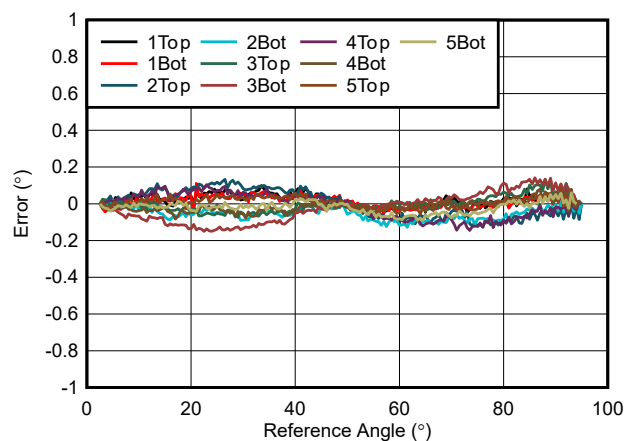


図 5-6. 3 ポイント キャリブレーション

E-シフタは冗長化する必要があるため、センサ間の誤差も非常に重要な指標となります。図 5-7 から 図 5-10 は、各デバイスのセンサ間で観測された差異の度合いを示します。検査の結果、キャリブレーションなしの場合、誤差はおよそ ± 0.6 度に制限されていたのに対し、1 ポイント キャリブレーションの場合、誤差範囲は $-1.2 \sim 0.2$ にオフセットされていたことがわかりました。これは、両方のセンサの開始角度が 1 ポイント キャリブレーションでゼロにされるという観点からは理にかなっています。誤差を補正するポイントがさらに多く含まれるキャリブレーションでは、追加されたキャリブレーションポイントごとに誤差の範囲が狭くなります。

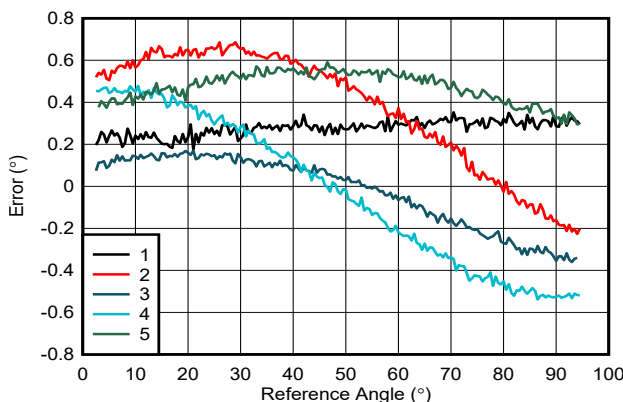


図 5-7. センサ間のキャリブレーション誤差なし

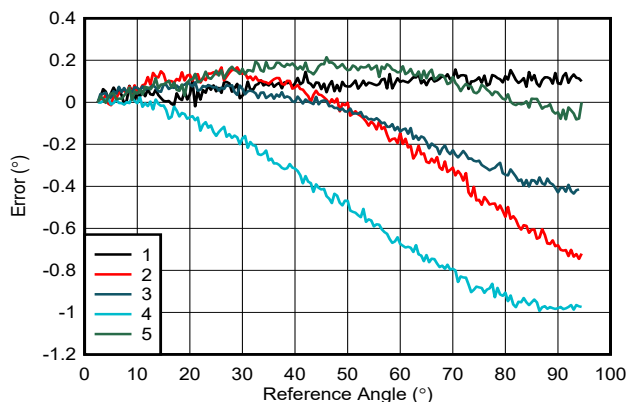


図 5-8. センサ間の 1 ポイント キャリブレーション誤差

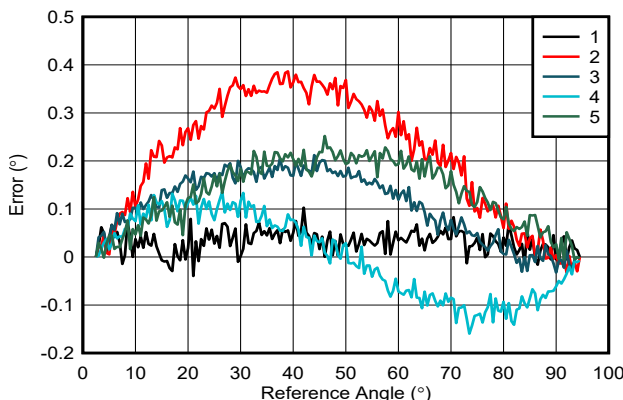


図 5-9. センサ間の 2 ポイント キャリブレーション誤差

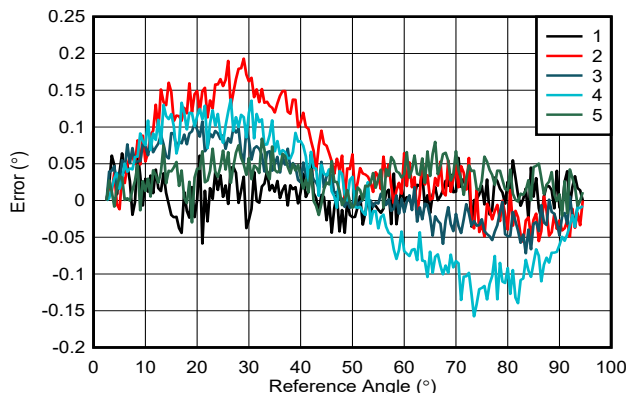


図 5-10. センサ間の 3 ポイント キャリブレーション誤差

6 誤差発生源

誤差の原因はいくつか考えられますが、その多くは製造とアセンブリに関係しています。ベンチ評価プロセスでは、このような誤差の原因特定が容易であるため、大量生産に進む前にベンチテストを実施することが適切かつ必須となります。以下のリストに、この設計で特定されたすべての誤差発生源を示します。暫定設計で考慮されている誤差の発生源も含まれます。

- マグネットの回転軸からのオフセット (離心率)
- マグネットの傾き
- センサ オフセット
- センサの傾き
- マグネットの変動
- デバイスの変動
- 外部フィールド
- 近接する物質の影響
- ベンチ セットアップ誤差
- 後処理誤差

マグネット オフセットおよびセンサのオフセットが設計に与える影響についての詳細は、「デュアルダイ磁気位置センサでのスタックダイとサイドバイサイドダイ実装の比較」アプリケーションノートを参照してください。

ベンチ セットアップ誤差は、設計で想定されるリファレンス角度ソースの精度と、テスト対象デバイス (DUT) 信号を対象の位置で測定できる精度に対応します。ベンチ セットアップ誤差の例として、図 6-1 に、このアプリケーション ノートで紹介されている設計を評価するために最初にデータが収集された方法を示しています。予備的な設定によってもたらされた測定誤差は、人間の光学分解能の限界、正確な位置を維持する能力、および平均データの時間同期の限界によるものです。図 5-1 に示すセットアップにより、これらの誤差の原因が排除されました。

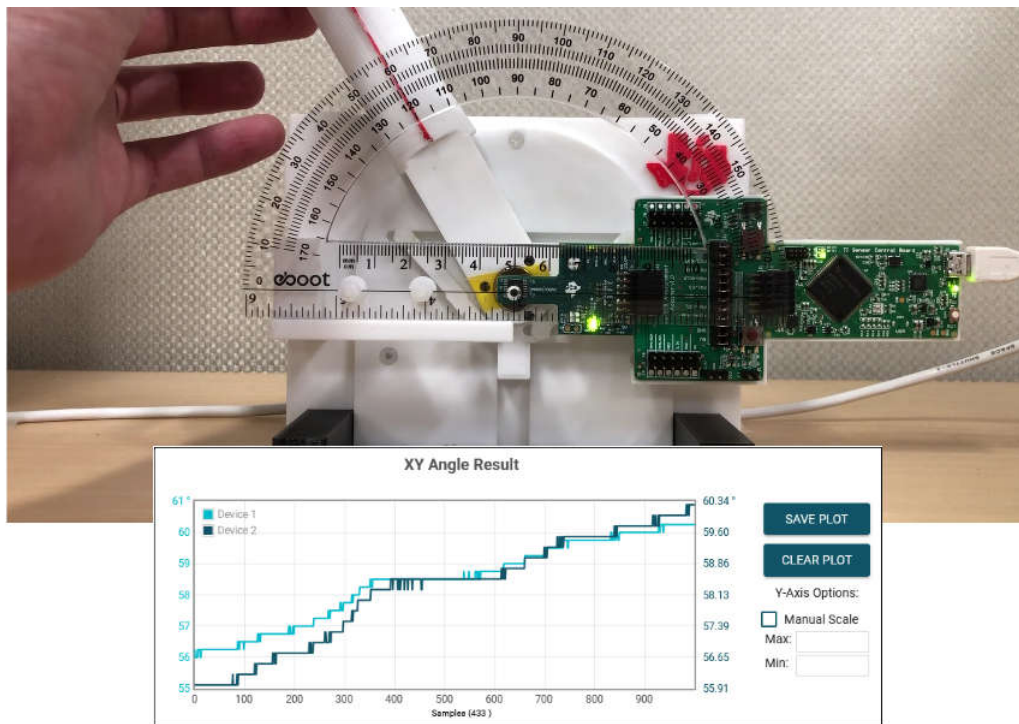


図 6-1. 予備テストセットアップ

後処理誤差は、データの平均化方法、データがあるスケールから別のスケールに変換する方法、およびキャリブレーションアルゴリズムの実行方法によって発生する可能性があります。後処理誤差の例を [図 6-2](#) に示します。この特定のケースでは、ノイズを考慮するために、ベンチテスト中に実行された各個別のステップで複数の測定が行われました。2 の補数形式であるこれらの測定値は、2 の補数ではない数値のように誤って平均化されました。2 の補数で 0 に近い負の数は、2 の補数ではない大きな数と同じ 2 進形式であるため、2 の補数ではない数のように平均化すると、標準的な 2 の補数ではない形式では 0 に近いはずの値に対して平均値が非常に大きくなります。

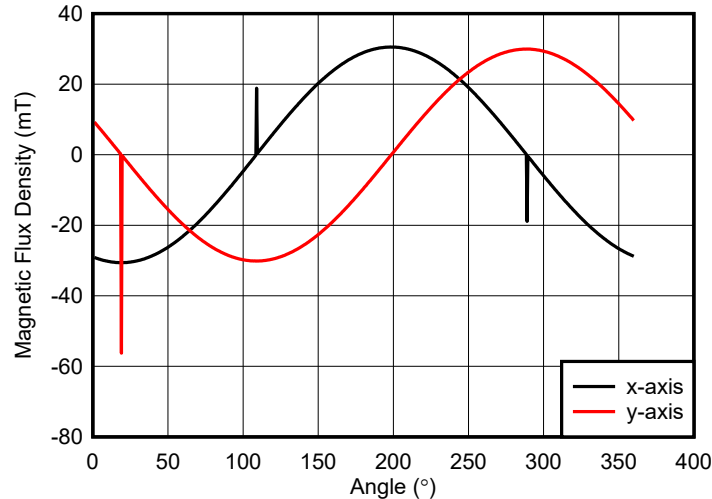


図 6-2. ユーザーによる不適切な後処理から生じる誤差

7 まとめ

このアプリケーションノートでは、E-シフトの設計について説明します。設計フローは、エンドユーザーの位置選択をシフトシステムが処理できる電氣的刺激値に変換する一般的な方法を決定することから始まります。次に、どのようなホール効果デバイスを設計できるのか、およびそれに応じて対応するマグネットのサイズとスペースを決定する方法を説明します。本設計の結果から、どのような性能が達成できたか、また、設計の精度をさらに向上させるためのキャリブレーション方法が可能であることが示されました。アセンブリで導入される設計には多少の誤差マージンがあるため、さまざまな課題を設計者に警告するために誤差の発生源が提示されました。これらの課題にもかかわらず、この設計では絶対角度誤差と $\pm 0.2^\circ$ 未満の冗長性誤差を実現しました。

8 推奨デバイス

表 8-1. 推奨デバイス

センシング アプリケーション	問題	推奨センサ	センサ機能を向上させる仕組み
E シフト制御モジュール	エンドユーザーに、パーキング、リバース、ニュートラル、ドライブの自動車の動作状態を切り替える方法を提供します	TMAG5170D-Q1	3D ホール効果センサは、絶対角度位置 (軸上または軸外) の検出や、3D 空間での複数の位置の解決を可能にします。SPI、I2C、Sin/Cos インターフェースが利用可能です。堅牢な機能安全性 (ASIL-D まで) を実現するデュアルダイ。
		TMAG5170-Q1	
		TMAG5173-Q1	
		TMAG6180D-Q1	
		TMAG6180-Q1	
電子シフトのアクチュエータ	E-シフト制御モジュールからのフィードバックを利用して、ギア設定を正確かつ効率的に変更します	LDC3114-Q1	設定可能なスレッシュホールド スイッチ出力を備えた 4 チャンネル誘導センサは、破片、液体、マグネットの影響を受けない低電力設計を実現しながら、手袋との互換性も備えています。
		DRV5013-Q1	SOT-23 および TO-92 パッケージで提供されるホール効果ラッチは、歯数の少ないギア上でリングまたは直径方向のマグネットが回転するときに極性の変化を検出できます。
		DRV5015-Q1	
		TMAG5170-Q1	歯数の多いギアの高解像度絶対角度位置 (軸上または軸外) を可能にする 3D ホール効果センサ。SPI。堅牢な機能安全性 (ASIL-D まで) を実現するデュアルダイ バージョン。
クラッチ シフト	デュアル クラッチ トランスミッションのアクティブ ギア設定を監視し、E シフト制御モジュールからのフィードバックに応じて、どのクラッチ ディスクを接続して車両速度を調整できるかを決定します。	TMAG5170D-Q1	
		DRV5013-Q1	複数の電源、感度、パッケージ オプションを備えたホール効果ラッチにより、ギアシャフトにあるリング マグネットの極性の変化を柔軟に監視できます。
		DRV5015-Q1	

9 参考資料

- テキサス・インスツルメンツ、[HMI ボタン アプリケーション用の誘導性タッチ システムの設計ガイド](#)アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、[ホール効果センサによるジョイスティックおよびレバー設計](#)、アプリケーション ノート。
- テキサス・インスツルメンツ、[家電製品のノブ用の 3D ホール効果センサアプリケーション ノート](#)。
- テキサス・インスツルメンツ、[テキサス・インスツルメンツ磁気検出シミュレータ](#)。
- テキサス・インスツルメンツ、[誘導性センシング カリキュレータ ツール](#)。
- テキサス・インスツルメンツ、[TMAG5170D-Q1 デュアルダイ高精度 3D リニア ホール効果センサー \(SPI 対応\) データシート](#)。
- テキサス・インスツルメンツ、[デュアルダイ磁気位置センサにおけるスタック ダイとサイド バイ サイド ダイの実装の比較](#) アプリケーションノート。

10 改訂履歴

Changes from Revision * (February 2024) to Revision A (August 2025)	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
• 推奨デバイスセクションに推奨デバイス表を追加.....	13

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 © 2025, 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、TI は一切の責任を拒否します。

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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月