

## Application Brief

## 車載用スマート アクチュエータ



Fabian Barth

## 概要

スマートアクチュエータは、PCB をモーターに直接接続した、ローカル制御のアクチュエータとして定義されています。通信インターフェイスを使用すると、上位レベルの ECU がモーターの速度、位置、トルクを制御できます。スマートアクチュエータ市場は、車両アーキテクチャの進化に伴い、ワイヤハーネスの最適化、車両プラットフォーム全体にわたるスケーラビリティ、ローカルリアルタイムモーター制御のニーズにより、成長を続けています。自動車分野では、これらのインテリジェントモジュールがバルブ、ポンプ、ファン、ウィンドウ、ワイパー、ルーフモーターなどの重要な部品を制御することで、安全性、快適性、効率性を向上させ、車両設計の改善に貢献しています。図 1 に、PCB をポンプのハウジングに直接埋め込んだスマートオイルポンプの分解図を示します。



図 1. A2MAC1 オイルポンプの分解図

業界が電動化、自動運転、コネクテッド（ネットワーク接続型）システムへの移行を進めている中で、信頼性と多様性に優れた、将来に対応できるアクチュエータ設計のニーズが非常に重要になっています。図 2 に示す TI のスマートモーター設計は、次世代の低電圧電源ネットワークとインターフェイス向けにカスタマイズされた包括的なエコシステムを提供し、48V、24V、12V の電源をサポートします。この設計は、CAN FD、LIN、最新の 10BASE-T1S および CAN XL プロトコルなどの業界標準と互換性があり、最新の車両アーキテクチャにシームレスに統合できるようになっています。TI は、ソフトウェア開発キット (SDK) に付属している台形波制御とフィールドオリエンテッドコントロール (FOC) アルゴリズムを搭載した Arm ベースのマイコンを活用し、モーター制御を開発するための堅牢な土台を提供しています。1W ~ 1kW の範囲に対応したブラシレス DC (BLDC) モーター、ステッピング、ブラシ付き DC (BDC) モーターなど、さまざまな用途向けのドライバを内蔵し、診断機能と保護機能を内蔵しているため、多様なモーター制御用途で多様性に富んだ選択肢を実現できます。TI の設計は、スケーラブルなアプローチで多様なニーズに対応し、ダイナミックな車載市場の課題に対応しています。

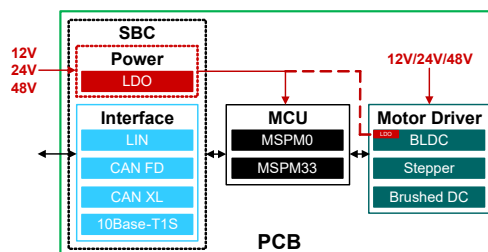


図 2. スマートアクチュエータのブロック図

## 現在の車載業界におけるスマート アクチュエータ用途の概要

スマート モーターの開発には、コスト最適化、フォーム ファクタの制約、性能仕様、信頼性など、システムレベルのパラメータを包括的に評価する必要があります。TI は現在、表 1 および表 2 に示すように、幅広い用途にわたってこれらの基本的な要件を満たすシステム設計を提供しています。

**表 1. 熱管理および HVAC システム**

|          | クーラント / オイルポンプ | ブロワ       | 冷却ファン     | バルブ             | フラップ      | グリル シャッター  |
|----------|----------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|------------|
| モーター タイプ | BLDC           | BLDC, BDC | BLDC, BDC | ステッパ, BLDC, BDC | ステッパ, BDC | ステッパ, BLDC |
| 電力範囲     | 50W-500W       | 50W-350W  | 200-1000W | 20W 未満          | 20W 未満    | 20W 未満     |

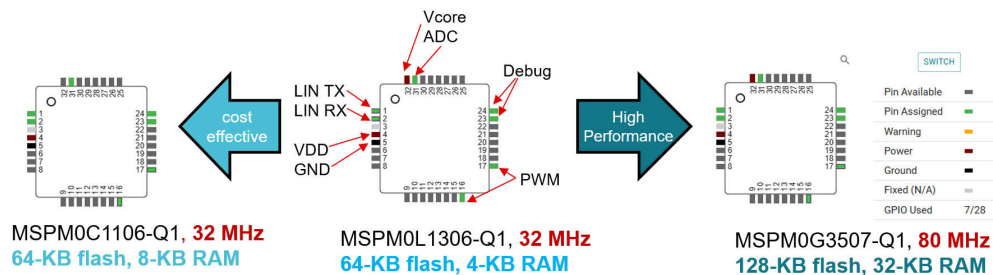
**表 2. ボディ モーター用途**

|          | ウインドシールド ワイパー | パワー ウィンドウ | サンルーフ モーター | シート ファン        |
|----------|---------------|-----------|------------|----------------|
| モーター タイプ | BLDC, BDC     | BDC       | BLDC, BDC  | BLDC, 1ph BLDC |
| 電力範囲     | 50W-200W      | 50W-150W  | 20W-200W   | <20W           |

## スマート アクチュエータに最適な、スケーラブルで安全な MSPM0 マイコン

MSPM0 マイコン シリーズは、32 ビット Arm®Cortex®-M0+ コアを中心に構築されたバランスの取れたアーキテクチャを採用しています。65nm テクノロジー ノードで製造されたこのプラットフォームは、競争力のあるコスト性能比を維持しながら、アナログおよびデジタル ペリフェラルの統合を実現します。TI は、『MSPM0 モーター制御』や『車載用途における MSPM0 マイコンの利点』などの詳細なガイドを含む、ti.com にある包括的なリソースを通じて、モーター制御ソフトウェアの開発を簡単かつ迅速に開始することができます。これらのリソースは、モーター制御設計の開発サイクルを加速し、市場投入までの時間を短縮するために、ステップバイステップの実装ガイダンス、ベスト プラクティス、および特定用途向けの詳細情報を提供します。

MSPM0 ファミリの決定的な特徴は、完全なピンツーピン (P2P) 互換性によるハードウェアとソフトウェアのスケーラビリティであり、スケーラブルで柔軟なスマート モーター アーキテクチャを実現できます。このプラットフォームレベルの設計により、フラッシュ メモリの容量や動作周波数が異なるデバイス間で、ペリフェラルのマッピングとパッケージのフットプリントが一貫していることが検証されます。以下の実装例で示すように、このアーキテクチャは統一されたハードウェア プラットフォーム内でシームレスなパフォーマンス スケーリングを可能にし、多様なモーター構成やインターフェイス仕様への適応を可能にします。たとえば、CAN ベースのスマート ブラシ付き DC アクチュエータをコスト最適化した LIN ベースのスケールダウンで実装する場合、MSPM0C1106-Q1 は MSPM0G3507-Q1 の直接の代替品として使用でき、機能的な互換性を維持しながら大幅なコスト削減を実現できます。このスケーラブルなアプローチを採用すると、エンジニアは複数の製品バリエーションにわたって共通の設計基盤を活用でき、開発時間を短縮し、設計の一貫性を維持しながら、特定の性能目標とコスト目標に合わせて最適化することが可能になります。



**図 3. スケーラブルな MSPM0 プラットフォームの例**

## スマート アクチュエータ向け MSPM0 モーター制御

車載スマート モーター用途向けに、MSPM0 プラットフォームは高性能 CPU と統合型演算アクセラレータ (MATHACL) により、非常に優れた計算効率を実現します。この専用ハードウェアユニットは、メイン CPU から複雑な数学演算をオフロードすることで、処理帯域幅を維持しながら高精度なフィールドオリエンテッド コントロール (FOC) アルゴリズムを実現します。

MATHACL は、最適化された IQMATH ライブラリを使用して完全にプログラミング可能であり、開発者は高度なモーター制御アルゴリズムを実装するためのシームレスなインターフェイスを利用できます。ベンチマーク データは、表 3 に記載されている性能比較に示すように、FOC ルーチンを実行する際に CPU 帯域幅が大幅に最適化されることを示しています。

表 3. MSPM0 FOC の性能

| FOC アルゴリズム | 製品           | CPU             | クロック  | PWM 周波数 | FOC レート | FOC 時間 | CPU 帯域幅 |
|------------|--------------|-----------------|-------|---------|---------|--------|---------|
| センサレス      | MSPM0G3507*  | M0+ MathACL     | 80MHz | 20kHz   | 10kHz   | 60.8us | 60.8%   |
|            | MSPM0G3107** | MathACL なしの M0+ | 80MHz | 20kHz   | 10kHz   | 79.9us | 79.9%   |
|            | MSPM0C1106** | MathACL なしの M0+ | 32MHz | 15kHz   | 5kHz    | 199us  | 99.5%   |
| ホール センサ付き  | MSPM0G3507*  | M0+ MathACL     | 80MHz | 16kHz   | 16kHz   | 43.9us | 70.3%   |

\* ベンチマークは SDK FOC 設計 (MSPM0-SDK) と組み合わせてテスト済みです

\*\* ベンチマークは SDK FOC 設計を使用して算出された推定値です。

- 高度なセンシング機能:** 高精度な電流検出は、高度なモーター制御用途において最適な性能を実現するための基礎になります。MSPM0 は、測定精度を最大化すると同時に、外付け部品の点数を最小限に抑えるように設計された統合型アナログ シグナル チェーンを通じて、この重要な要件に対処します。プラットフォームの特長:
  - **高分解能データ アクイジション:** デュアル 12 ビットの逐次比較型 ADC は最大 4MSPS のサンプリング レートと 11.2 の ENOB (実効ビット数) をサポートし、マルチチャネルの同時電流サンプリングを可能にしているため、高精度のリアルタイム モーター パラメータ監視を実現できます
  - **高精度シグナル コンディショニング:** 2 つの内蔵ゼロドリフト オペアンプ (OPA) により、高 CMRR と低オフセットドリフトを実現し、PGA モードをサポートし、拡張温度範囲にわたって安定した正確な電流検出を保証します。これらの OPA は、電流センス アンプを内蔵していない、コスト最適化済みのモーター ドライバを使用して、FOC BLDC モーターを動作させることができます。内蔵 OPA を外付け部品を追加せずに電流検出機能に活用できるため、システムのコストと複雑さを低減できます。
  - **リアルタイムのハードウェア保護:** プログラム可能なリファレンス スレッショルド (8 ビット DAC) を備えた構成可能な高速コンパレータにより、CPU の介入なしに即座に障害対応が可能になります
  - **強化されたシステム統合:** 電圧リファレンスの生成機能と信号ルーティング機能をオンチップで搭載しているため、外部のバッファリング部品やコンディショニング部品が不要になります
- AEC-Q100 認定済み:** MSPM0 は AEC-Q100 グレード 1 規格に完全に準拠しており、車載用途向け IC の認定試験プロトコルを厳密に遵守することで、IC が過酷な環境下でも確実に動作することを保証します。
- 機能安全 - ISO26262 ASIL-B 規格を達成:** 中リスクから低リスクのシナリオである QM および ASIL-B 向けに設計された MSPM0 は、機能安全マニュアル、FIT 率、FMEDA ドキュメント、診断ライブラリなどを含む包括的なレポート分析を提供し、システム障害の特定と回避を支援します。
- サイバーセキュリティ:** 車載オンボード ネットワークの耐障害性を強化し、欧州で普及しつつあるサイバー レジリエンス法 (CRA) の枠組みに対応するため、MSPM0 はキー ストレージ、TRNG、IP ファイアウォールを活用した AES アクセラレーションなどの強化されたセキュリティ イネーブラを提供して、お客様が EVITA-Light と PSA-L1 の要件に対応できるようにしています。デバッグ セキュリティ、セキュア ブート、ハードウェア アクセラレーション、攻撃耐性なども含まれます。

MSPM0 の機能比較については、表 4 を参照してください。迅速な選択に役立ちます。

**表 4. MSPM0 機能の比較**

|             | MSPM0C1106                   | MSPM0G3107                   | MSPM0G3507                   | MSPM0G3519                   |
|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 推奨モーター制御    | ステッパ、BDC、MCF ベースの BLDC、台形波制御 | BDC、台形波制御および低速 FOC 制御        | FOC 制御                       | FOC 制御                       |
| 周波数         | 32MHz                        | 80MHz                        | 80MHz                        | 80MHz                        |
| MATHACL     | なし                           | なし                           | あり                           | あり                           |
| フラッシュ       | 64KB                         | 128KB                        | 128KB                        | 512KB (デュアルバンク)              |
| CAN-FD      | -                            | 1                            | 1                            | 2                            |
| LIN         | 1                            | 1                            | 1                            | 2                            |
| アナログ パリフェラル | 1*12 ビット 逐次比較型 ADC (最大 27ch) | 2*12 ビット 逐次比較型 ADC (最大 17ch) | 2*12 ビット 逐次比較型 ADC (最大 17ch) | 2*12 ビット 逐次比較型 ADC (最大 27ch) |
| オペアンプ       | -                            | -                            | 2                            | -                            |
| 汎用アンプ       | -                            | -                            | 1                            | -                            |
| 高度タイマ       | 1                            | 2                            | 2                            | 2                            |
| 合計タイマ       | 5                            | 7                            | 7                            | 9                            |
| 機能安全        | FS-QM                        | ASIL-B                       | ASIL-B                       | ASIL-B                       |

### スマート アクチュエータの通信および電源要件:バス フォルト電圧と GND 喪失

LIN および CAN バスのフォルト電圧保護は、短絡フォルトに固有のリスクがあるため、12V、24V、48V の車載システム全体で非常に重要です。これらの障害はスプリアス信号を発生させたり、最悪の場合、グランドまたは電源レールへの直接パスを形成し、ECU の損傷や通信の中断を招く可能性があります。表 5 に TI の堅牢なトランシーバとシステム ベース チップ (SBC) の幅広い製品ラインアップが掲載されており、スマート モーター用途が、特に要求の厳しい車載環境において、LIN および CAN バス ネットワーク内で高性能かつ信頼性の高い通信を実現することを可能にします。

**表 5. TI インターフェイス オプションの概要**

|   | 12V   | 24V   | 48V                                |
|---|---|---|------------------------------------|
| LIN   | TLIN102x-Q1 ファミリー (±45V バス フォルト保護)                              | TLIN202x-Q1 ファミリー (±60V バス フォルト保護)                              | TLIN402x-Q1 ファミリー (±70V バス フォルト保護) |
| CAN FD  | TCAN1473A-Q1 (±58V バス フォルト保護)                                   | TCAN1473A-Q1 (±58V バス フォルト保護)                                   | TCAN1043HG-Q1 (±70V バス フォルト保護)     |
| LIN SBC (1x LDO、125mA で 3.3V/5V)<br>CAN SBC (1x LDO、100mA で 5V) | TLIN1028-Q1 (±58V バス フォルト 保護)<br>TCAN11625-Q1 (±58V バス フォルト 保護) | TLIN1028-Q1 (±58V バス フォルト 保護)<br>TCAN11625-Q1 (±58V バス フォルト 保護) | -                                  |

### スマート アクチュエータ向けの高度なモーター ドライブ

TI のモーター ドライブ製品ラインアップは、12V ~ 48V の車載システムに対応する製品ファミリーを通じて、スマート アクチュエータ 用途を実現します。BLDC 用途の場合、12V システム向けの DRV8311-Q1 のようなコスト最適化されたゲート ドライバから、24V/48V ドメイン向けの DRV8363-Q1 などの高度なドライバまで、さまざまな設計に対応できます。DRV8316-Q1 や MCx8316-Q1 ファミリーのような FET 内蔵モーター ドライバは、外付け MOSFET を不要にするとともに、最大 8A の電流に対応しているため、スペースに制約のある用途に有用です。

DRV8263-Q1 や DRV8163-Q1 のような BDC モーター ドライバは、最新の安全機能を備え、3 つの電圧ドメインすべてをサポートしており、車両アーキテクチャ全体にわたるプラットフォームの拡張性を実現します。高精度の位置決めには、DRV8899-Q1 や DRV8434-Q1 などのステッパ モーター ドライバがバルブの位置調整や HVAC ダンパーのための高精度の電流制御機能とマイクロステップ機能を提供します。

主な統合機能には、MSPM0 マイコンに直接電力を供給する 3.3V LDO 機能が含まれており、車載用の信頼性規格を維持しながら、システムのコストと複雑さを低減できます。ASIL-B 定格のオプションにより、安全重視の用途で機能安全に準拠できます。これらの設計は MSPM0 プラットフォームとシームレスに統合され、最適化されたコストで包括的な制御システムを実現します。

表 6 に、各種モーター タイプのスマートアクチュエータに適した TI モータードライバの設計の概要を示します。

**表 6. TI モータードライバの概要**

|                 | BLDC  | BDC  | ステッパ   |
|-----------------|---|--|--|
| ゲートドライバ         | DRV8311-Q1 (12V)<br>DRV8329-Q1 (12V/24V)<br>MCF8329HS-Q1 (12V/24V)<br>DRV8343-Q1 (12V/24V)<br>DRV8300-Q1 (12V/24V/48V)<br>DRV8363-Q1 (24V/48V)  | DRV8705-Q1 (12V)<br>DRV8706-Q1 (12V)<br>DRV8714-Q1 (12V)   | -  |
| 内蔵 FET モータードライバ | DRV8316-Q1 (12V)<br>MCx8316-Q1 (12V)<br>MCx8315-Q1 (12V)<br>DRV8376-Q1 (12V/24V/48V)<br>MCT8376Z-Q1 (12V/24V/48V)   | DRV824x-Q1 (12V)<br>DRV814x-Q1 (12V)<br>DRV8263-Q1 (12V, 24V, 48V)<br>DRV8163-Q1 (12V, 24V, 48V) | DRV8889-Q1 (12V)<br>DRV8899-Q1 (12V)<br>DRV8434-Q1 (12V) |
| 3.3V LDO 内蔵     | DRV8311-Q1 (12V)<br>DRV8316-Q1 (12V)<br>MCx8316-Q1 (12V)<br>MCx8315-Q1 (12V)<br>DRV8329-Q1 (12V/24V)<br>DRV8376-Q1 (12V/24V/48V)<br>MCT8376Z-Q1 (12V/24V/48V)<br>DRV8363-Q1 (24V/48V) | DRV8163-Q1 (12V, 24V, 48V)   | -  |
| ASIL B          | DRV8334-Q1 (12V/24V)<br>DRV8363-Q1 (24V/48V)  | DRV8263-Q1 (ASIL B)  | -  |

**スマートアクチュエータの通信および電源要件: 低電力モード**

多くの車載用途は、連続動作モードではなく、周期的または断続的なサイクルで動作します。消費電力を最適化し、電気自動車の航続距離を最大化するために、低消費電力管理戦略が体系的に実装されています。2 つの主要なアーキテクチャアプローチが登場しています。

- 図 4 に、低消費電力モードを実現するための上側 ECU 内のハイサイドスイッチ (HSS) または電子ヒューズ (eFuse) の実装を示します。この構成により、エッジノードの消費電力が 0 にまで減少します。TI のハイサイドスイッチ設計の包括的な製品ラインアップは性能を向上させ、オプションの I<sup>2</sup>T 配線保護メカニズムにより、システムの信頼性を向上させます。
- 図 5 に、ウェイクオーバー通信インターフェイス機能を備えたスマートアクチュエータへの連続的な電源供給を示します。この例では、スリープモードとバスを介したリモートウェイクアップの両方を可能にしています。このアーキテクチャは、上位 ECU に依存しない自律動作を維持しながら、スリープ時の消費電流を 100µA 未満に抑え、堅牢な性能を実現します。

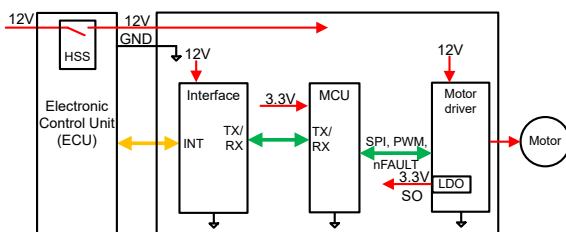


図 4. 上側レベルのハイサイドスイッチベースの低消費電力モード

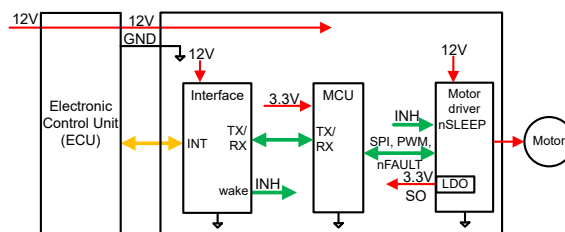


図 5. ウェイクオーバー通信インターフェイスベースの低消費電力モード

## スマートアクチュエータ BLDC 用途のブロック図例

BLDC ベースの用途の場合、TI は次の 2 つの異なる技術的アプローチに戦略的に投資しています。

- 外部制御ドライバ (DRV ベース): 制御アルゴリズムはホスト マイコン上で動作しています
- 統合型制御ドライバ (MCF ベース、MCT ベース): 制御アルゴリズムはモータードライバで動作しています

ゲートドライバと統合型 FET モータードライバはモーター制御アルゴリズム (図 6) を最大限に制御できますが、統合型制御ドライバは、低コストのホスト マイコン (図 7) で設定可能な FOC アルゴリズム (MCF) と台形波アルゴリズム (MCT) モーター制御を事前にプログラムすることで、システムの迅速な起動を可能にします。どちらのアプローチでも、ゲートドライバの内蔵 LDO を活用して MSPM0 マイコンに電力を供給することで、システムのコストと設計サイズを削減できます。電流が 8A 未満の場合、内蔵 FET によりシステムを簡素化するために、MCx8316x-Q1 または DRV8316-Q1 を使用できます。

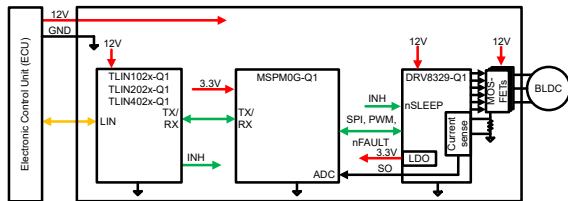


図 6. BLDC モーターの DRV ベースのブロック図

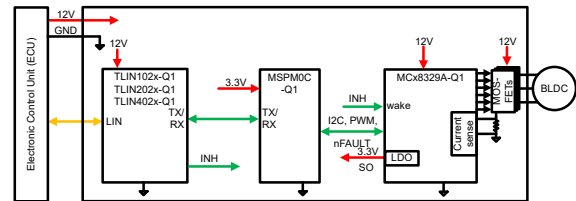


図 7. BLDC モーターの MCx ベースのブロック図

## スマートアクチュエータ、ブラシ付き DC / ステッパ用途の例

TI は、BDC とステッパ ベースのスマート モーター用途向けに、ゲートドライバと統合型 FET ドライバで構成された包括的でシームレスな製品ラインアップを提供しています。オプションのホール センサを使用して、BDC ベースシステムでの位置制御をサポートできます。TI の幅広い LIN/CAN システム ベース チップ (SBC) を活用することで、開発者は図 8 に示すように、スペースに制約のあるシステムに推奨される、コスト効率に優れた小型設計を実現できます。

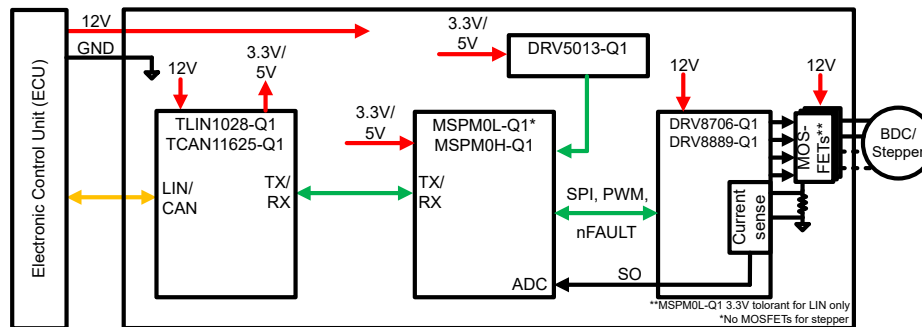


図 8. BDC モーターおよびステッパ モーターの DRV ベースのブロック図

## スマートアクチュエータのシステム要件: 設計サイズ

スマートモーターアーキテクチャは、半田付けによる相互接続を介して PCB とモーターを直接位相統合することで、中間ケーブルアセンブリを排除します。この統合型アーキテクチャには、モーターアセンブリと制御電子回路の両方を網羅する保護筐体が必要です。この結果、小型の PCB が必要になりますが、通常は部品の配置に関して複数の制約があります。TI のシステム設計は、高度に最適化されたフォームファクタとピン配置により、これらの用途に固有の厳格な空間的制約を満たします。図 9 に、TI が重要な電気的性能パラメータを維持しながら利用可能なスペースを最大限に活用する L 形状などの複雑な PCB 形状をどのように実現しているかを示します。同様に、図 10 に示すように、TI のステッパベースの高精度バルブ用の小型ドライバ設計は、制御の精度や信頼性を損なうことなく設計を可能にします。最新の市場動向では、48V スマートアクチュエータが求められており、TI の設計では図 11 に示すように小型フォームファクタを維持しながらこれに対応できます。

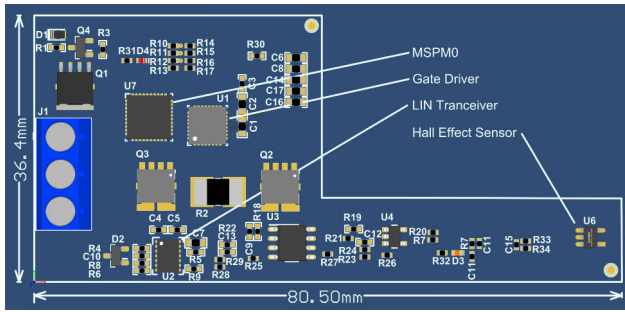


図 9. パワーウィンドウ用途向けサイズ制約付き L 字型スマートアクチュエータ PCB

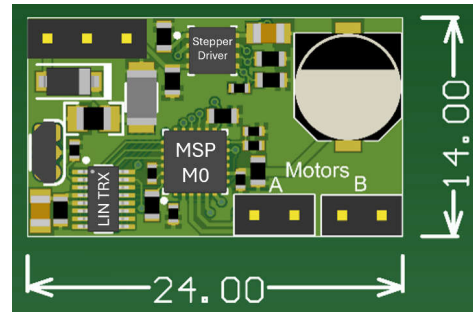


図 10. HVAC バルブ用途向けサイズ制約付きスマートアクチュエータ PCB

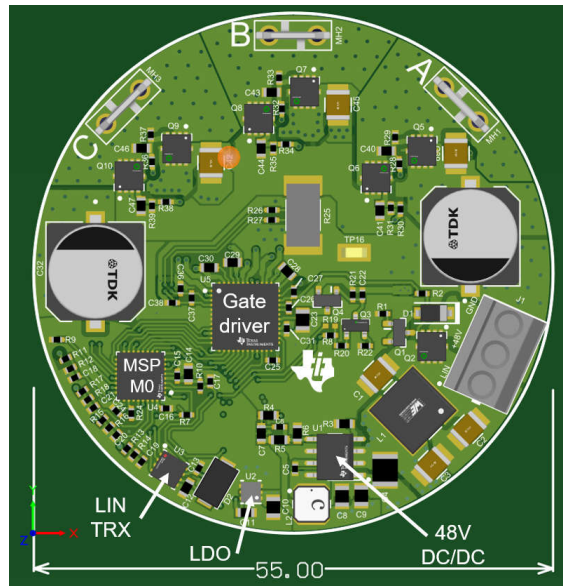


図 11. ポンプおよびブロウ用途向けサイズ制約付きスマートアクチュエータ PCB

## まとめ

テキサス インスツルメンツは、グリル シャッターやバルブから、冷却ポンプ、ファン、パワー ウィンドウまで広範な用途を網羅する、車載用スマート アクチュエータ向けの包括的なシステム設計を提供しています。スケーラブルな MSPM0 マイコンプラットフォームと、12V、24V、48V システムに対応した BLDC モーター、ブラシ付き DC モーター、ステッパ モーターをサポートする TI のモーター ドライバ製品ラインアップを組み合わせることで、厳しいフォーム ファクタ要件を満たす省スペースな PCB 設計が可能になります。安全性とセキュリティに関する要件は、ISO26262 ASIL-B への準拠と、統合型のサイバーセキュリティ機能によって満たされており、現在の車載規制規格に適合していることが検証されています。

## 商標

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、

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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月