

# 次世代の 産業用ドライブおよび 制御システムの設計



**Sam Saba**

C2000™ MCU DesignDRIVE システム・エンジニアリング

**Brian Fortman**

DesignDRIVE マーケティング・マネージャ

テキサス・インスツルメンツ

## 概要

一般的な産業用システムには、制御、アプリケーション、および接続機能が必要です。制御サブシステムはモーターの動作とフィードバックを直接管理し、アプリケーションは全体的な動作を指示し、接続サブシステムはアプリケーションや制御データをダウンロードして、システムのリモート管理を可能にします。

一般に、これらの各サブシステムの基盤となるコア・テクノロジーについては、明確に理解されています。ハイエンドでは、全体の性能や精度をさらに向上させるための新しい方法の開発が続けられています。これらのテクノロジーが成熟し、その実装コストが低下するにつれ、ハイエンド・アプリケーション向けだったこれらのソリューションがローエンド製品にも利用できるようになっていきます。

次世代システムの開発者が現在直面している課題は、ターゲット・アプリケーションに対し、より短いレイテンシおよび高い精度で性能を向上させるために、段階的な革新を効率的に実装することです。市場シェアを拡大するためには、新しいフィードバック・アルゴリズムや、より低コストで位置精度や電流センシングを向上させる新しいアプローチなど、より優れた機能を提供できる必要があります。

これを実現するために、より高い性能と緊密な統合を可能にするプロセッサが必要となりますが、これは開発コストの上昇およびシステムの複雑化を招き、結果として市場に出すまでの期間が長びいて、結果的に次世代設計を提供することの競争優位性が低下します。新しいテクノロジーの実装は、シームレスでシンプルでありながら、エンド・ユーザーと開発者の両方に対して付加価値をもたらす必要があります。

## 次世代の産業用設計のための新しいアーキテクチャ

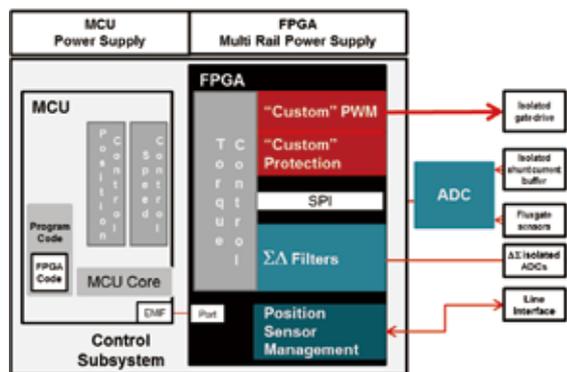
従来、相手先ブランド製造業者(OEM)の多くは、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ(FPGA)テクノロジーを用いてマイコン(MCU)を強化し、トルク・ループ管理などの重要な機能で最先端の性能を実現してきました。ただし、FPGAはシステム・コストの増加につながり、プログラミングの難易度が高くなります。さらに、FPGAは比較的固定された実装となるため、複数のアプリケーションで再設計なしに利用するためのスケーラビリティに欠けます。

TIのデュアル・コアC2000™ Delfino™ F2837xDマイコンは、各種の数学的変換や三角関数を多用する計算などの実装を容易にし、プログラマブル・プロセッサ・プラットフォームでの効率的なトルク・ループ管理を可能にします。また、Delfinoマイコンのデュアル・コア・アーキテクチャは、産業用

ドライブ/制御アプリケーションに対してハードウェアとソフトウェアの性能を最大限に高めるよう設計されています。たとえば、その高速トルク・ループの計算時間は2マイクロ秒以下であり、これはFPGAの実装に匹敵します。

F2837xDマイコンは、その高速CPUを密結合アクセラレータによってさらに強化することで、制御ループ性能を拡張しています。このデュアル・コア・マイコンは、TIの定評あるC28x CPUをベースとしています。各CPUコアが32ビットの浮動小数点演算を200MHzで実行し、デュアル・リアルタイム制御アクセラレータ(CLA)もそれぞれ200MHzで動作しています。各C28x CPUは固有の三角関数演算ユニット(TMU)アクセラレータによって強化され、制御タスクに役立つハードウェア・ベースの高速化を実現します。これら4個の強力なエンジンによって、800MIPSまたは1600MFLOPSに相当する性能を達成でき、制御ループ・システム内でマルチプロセッサ・アーキテクチャの統合が可能になります(図1)。

## 現在の産業用ドライブ



## C2000™ DesignDRIVE 対応の産業用ドライブ

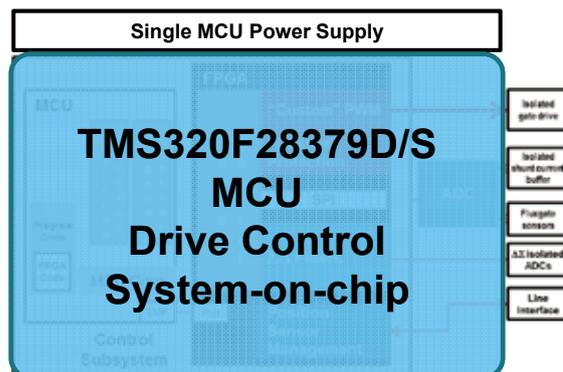


図 1 : C2000™ Delfino™ F2837xD 以前の産業用ドライブ・システムは複雑で高価

たとえば、産業用ドライブ・アプリケーションでは、1組の CPU + CLA + TMU を使用して、制御側の機能、つまりトルク・ループを実装できます。もう1組の CPU + CLA + TMU は、システムのアプリケーション側の実装に使用できます。これは、速度や位置の追跡、軌道の計算、動作プロファイルの比較などです。

このように産業用ドライブ・システムを CPU 間で制御部分とアプリケーション部分に分けることで、開発者は明確なパーティション分割によって設計を単純化できます。一方の CPU

Processing	Processing
<b>C28x DSP core</b> 200 MHz	<b>C28x DSP core</b> 200 MHz
FPU	FPU
TMU	TMU
VCU-II	VCU-II
<b>CLA core</b> 200 MHz	<b>CLA core</b> 200 MHz
Floating point	Floating point

図 2 : デュアル C28x コアおよび付随するアクセラレータの詳細

では制御コードだけが実行され、アプリケーション・コードからは分離されています。そのため、開発者はアプリケーション・コードがリアルタイム・タスクの応答性やレイテンシに与える潜在的な影響を軽減するための作業に貴重な開発時間を費やす必要がなくなります。

Delfino F2837x マイコンを使用することで、開発者はハイエンドの機能をバリュー・チェーンの下位に位置するミッドレンジ/ローレンジのアプリケーションに移植できます。これは、以下のような革新的なテクノロジーの組み合わせによって実現されます。

- 現在のソリューションよりも高い処理能力をさらに低コストで実現
- 高い性能を決定的な方法で提供する、合理化された低レイテンシ・アーキテクチャ
- 一般的でかつ計算負荷の重いタスクを高速化する高度なハードウェア・ベースのエンジン
- 基本的な機能をプロセッサのアーキテクチャに統合して、外部部品の数およびコストを削減
- 新しい設計の移植や OEM の既存のコード投資の再利用を単純化
- デバイス間のピンおよびソフトウェア互換性により、Piccolo™ F2807x マイコン・ファミリも含め、複数の性能およびフラッシュ容量オプションを提供

## システム性能の強化

F2837xD マイコンは、800 MIPS の全体システム性能を実現する原動力です。この性能は、デュアルC28x CPUおよびデュアルCLAを通して提供されます。また、CPUにはハードウェア・アクセラレータも内蔵され、超高速電流ループの実行に最適な三角関数ベースの制御機能、および振動解析やエンコードされた通信アプリケーションでよく使用される複雑な数学演算を迅速に実行できます。これらのハードウェア・アクセラレータには、以下が含まれています。

- **Trigonometric Math Unit (TMU)** : TIでは、メインのC28x CPUによるSIN、COS、ARCTAN、1/Xなどの三角関数の実行を支援するために、TMUハードウェア・アクセラレータを開発しました。これらの関数は、関節部分で直線運動から回転運動への変換を必要とするロボット動作などのアプリケーションで一般に使用されます。これらの複雑な関数は集中的な計算を必要とし、浮動小数点機能を持つCPUを使用した場合でも、通常、完了までに30 ~ 90サイクルを要します。

TMUを強力なアクセラレータとして使用することにより、浮動小数点演算をCPUと並列に実行できます。1命令あたり5サイクルという平均実行時間によって、TMUを使用した場合には、三角計算を必要とする数学的変換の速度が競合製品と比較して10倍向上します。

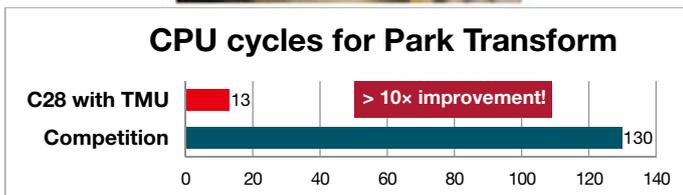


図3 : C28x マイコンと TMU の組み合わせは、負荷条件の変化に対して非常に高速なシステム応答を可能にし、FPGA のトルク・ループ性能に匹敵

- **Viterbi Complex Math Unit (VCU II)** : このアクセラレータは、複雑な数学関数を効率的に処理します(図4)。VCUは、各種の通信テクノロジーを柔軟にサポートできるよう設計されています。通信ベースのアルゴリズムの性能を最大10倍高速化することで、C2000マイコンがより低い周波数で動作できるようになり、システムのコストおよび消費電力が削減されます。VCU IIによる高速化は、OFDMインタリーブ/デインタリーブ、Viterbiデコード、CRC計算などに最適です。

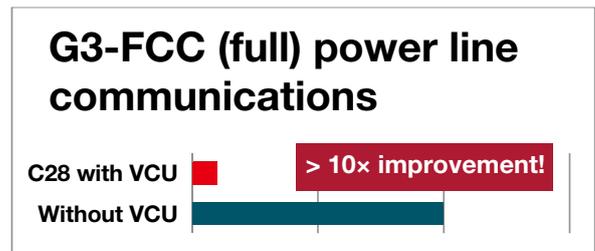


図4 : RTB 電圧の分布、1kVrms/秒の上昇レート

一般的なマイコンの場合、複雑な高速フーリエ変換(FFT/iFFT)や複雑なフィルタの実行時には、主要な信号処理動作によって処理能力の多くが消費されます。通信だけでなく、VCUはフィルタリングやスペクトル分析などの汎用DSPアプリケーションにも非常に役立ちます。産業用モーター・ドライブの観点からは、スペクトル分析はモーターの振動ノイズを処理してシステムへの振動の影響を判断したり、モーターの動作寿命を見積もったり、効率向上のために制御ループを校正したりするのに利用でき、それによって動作効率を向上し、システムのダウンタイムを減らすことができます。

VCUのハードウェア機能を使用することで、ドライブ・アプリケーションの性能はソフトウェア実装と比較して大きく向上します(図5)。

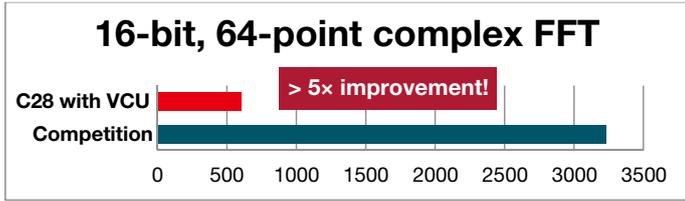


図5: Viterbi Complex Unit (VCU II) によって複雑な数学関数および信号処理機能の効率が向上

TMUおよびVCU IIハードウェア・アクセラレータに加え、F2837xDマイコンには2つのリアルタイムCLAが内蔵され、ドライブ・システムにおける重要な制御タスクをインテリジェントに分割して処理を最適化できます。

- **リアルタイム制御アクセラレータ(CLA)**: CLAは、メインCPUに結び付けられたスタンドアロンの浮動小数点プロセッサです。CLAは、CPUに似た低レイテンシの専用アーキテクチャを備え、制御ペリフェラルに直接アクセスします。これは、メインCPUとは独立に動作する純粋な数学エンジンです。

CLAは、計算集中型の信号処理タスクをCPUから完全にオフロードするために、さまざまな方法で使用できます(図6)。たとえば、CLAはアナログ/デジタル変換の一環として入力信号の後処理としてノイズをフィルタリングした後、固有のランダム・アクセス・メモリ(RAM)にデータをバッファリングできます。これにより、CPUは、前処理されたデータがそろってから処理を開始します。また、CLAの別の使用方法として、入力された電流波形に高速フーリエ変換を実行することで、モーターのリアルタイム性能をプロファイリングできます。そして、このプロファイルをもとにモーターの種類に基づく“ゴールデン・シグネチャ”と連続的に比較します。プロファイルが期待されるシグネチャから外れ始め、障害の可能性が示されると、産業用ドライブ・システムではオペレータに警告を発して、障害が発生する前に予防的な措置を取ることができます。CLAが実行できる他のタスクには、フィードバック前処理、フィードフォワード制御、特殊な信号分析やパケット処理などがあります。

これらは、CLAを使用して実装できる多くの機能の数例にすぎません。

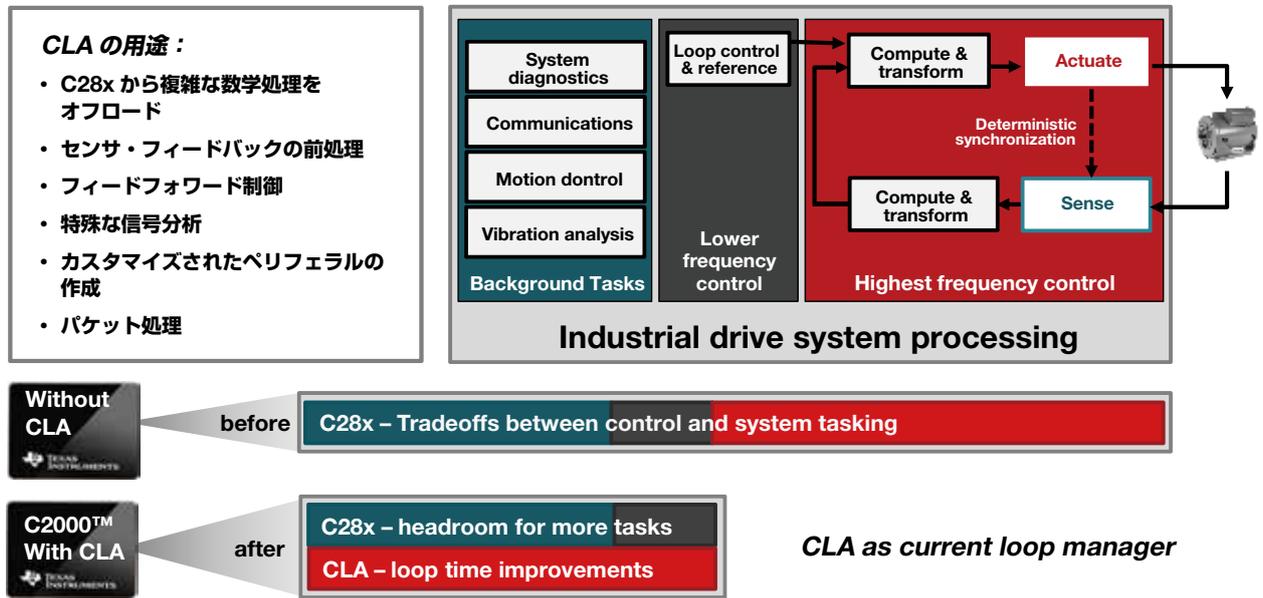


図6: CLAによって制御ループの周波数または個数を増やすことで、C28xの負担が軽減され、より多くのバックグラウンド制御やシステム・タスクを実行可能

## 低レイテンシおよび 決定的アーキテクチャ

産業用ドライブには高い性能が必要ですが、システム設計を単純化することも求められます。機能強化によって設計の複雑さが増すと、開発時間の増加につながるおそれがあります。たとえば、制御ベースのアプリケーションでは、決定性が重要です。決定性は基本的には、PWM信号を使用した制御ループの作動のために、フィードバック信号がどのようにサンプリングされるか、正確に処理されるか、および時間内に到着するかどうかを意味します。

キャッシュやメモリ管理ユニット (MMU)などを備えた疎結合メモリ・アーキテクチャでは、キャッシュ・ミスやMMUルックアップの予測できないタイミングを考慮することで、ワーストケースの応答性の決定が非常に難しい計算となります。設

計者は一般に、システムのリアルタイム実行のプロファイリングによって、**ワーストケース動作** (可能な最大のサイクル数)での性能低下を確認する必要があります。そのため、システムのコードに変更を加えた場合には、システムのプロファイリングを複数回行って、システムの決定的制限を超過していないことを確認する必要があります。

このC28x CPUコア・アーキテクチャの決定性は、Delfino F2837xマイコンのペリフェラルにも適用されます。ADC変換のレイテンシは、すべてのサンプルに対して一貫した短い時間です。ADCおよびPWMレジスタに対するCPUの読み取りおよび書き込みは、すべて待ち状態ゼロで行われます。これにより、ワーストケースの実行パスを見積もる必要がないため、システム全体の設計が大きく単純化されます。

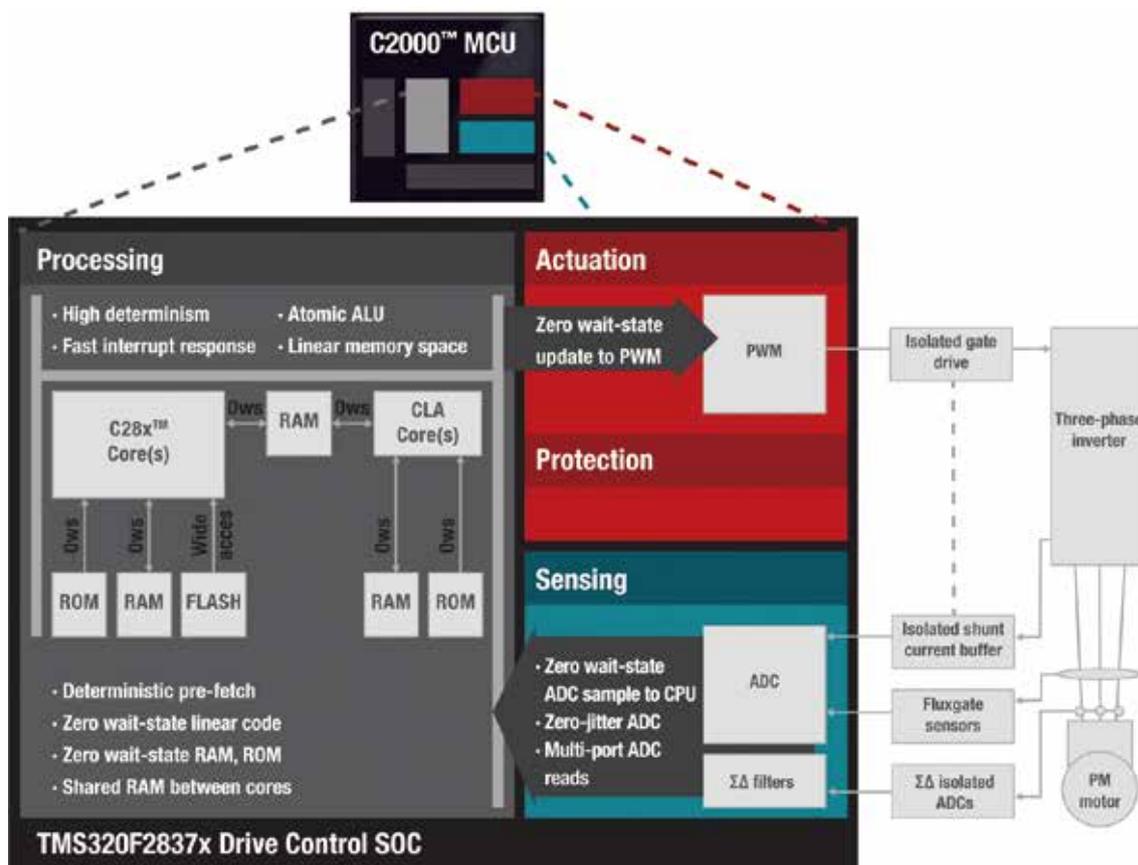


図 7: 産業用ドライブ制御のために構築された独自のアーキテクチャ

Delfino F2837xDマイコンのアーキテクチャは、決定性の基盤上に構築されているため、開発者は設計の複雑さを増すことなく信頼性を確保できます(図7)。その密結合メモリ・アーキテクチャによって、キャッシュが不要になり、キャッシュ・ミスによる遅延がなくなります。静的ランダム・アクセス・メモリ(SRAM)、フラッシュ、およびペリフェラルへのすべてのメモリ・トランザクションは、有限の一貫したバス・サイクル数に収まるよう設計されているため、決定性の高いスループットが得られます。6チャンネルのデュアル・ダイレクト・アクセス・メモリ(DMA)ペリフェラルによって、効率的なメモリ管理が強化され、CPUまたはアクセラレータが必要とするタイミングでデータが常に使用可能になります。

コア間での効率的な通信を容易にするため、Delfino F2837xマイコンでは共有メモリを使用し、このメモリのデータに対しては両方のコアが読み取り/書き込みアクセスできます。また、開発者は2つのメッセージRAMにアクセスできます。各コアは一方のメッセージRAMに対する書き込み権限と、他方に対する読み取り権限を持ちます。このようにして、一方のコアのコードが、もう一方のコアに属する重要なデータを誤って破損することを防いでいます。これにより、特にデュアル・コア設計に慣れていない開発者に対して、メッセージングが大きく単純化されます。

注意する点として、Delfino F2837xマイコン・アーキテクチャでは、複数のサブシステムにわたっていくつかのエラー・チェック機能があります。不揮発性メモリとSRAMには、ECCおよびパリティ機能があります。また、デバイス・レベルの診断結果を照合することで、フラグ、割り込み、および外部エラー信号を生成します。これは、アプリケーションのパワーアップ中または実行中にイネーブルにできます。

## 制御およびアナログ・ペリフェラルの内蔵によるシステム統合

Delfino F2837xマイコンの大きな特徴は、その制御ペリフェラルです。これには、産業用途の実績がある強力なPWMタイマ、32ビットの強化キャプチャ・ユニット(ECAP)、および直交エンコーダ・ペリフェラルが含まれます。各PWMモジュールは、AチャンネルとBチャンネルの両方で高分解能機能をサ

ポートするよう強化されています。これらの高分解能チャンネルは、150psのPWMステップ分解能を拡張して、高周波数のPWM変調手法および高度な制御トポロジを実現します。

性能は、PWM制御フィードバック・ループの精度によって直接影響を受けます。アナログ・ペリフェラルを内蔵することにより、外部部品を使用した場合と比較して、レイテンシおよびコストが低減されます。サーボ・ドライブなど、よりハイエンドな制御アプリケーションでは、低いトルク・リップルおよび高精度な位置決めのために高精度の位相電流測定が求められ、高分解能のフィードバックを必要とします。ただし、高速のローサイド・シャント電流測定を行う場合など、いくつかの測定については、高分解能よりも正確なサンプル・レートの方がより重要になります。

異なるセンシング精度要件をサポートするため、Delfino F2837xDマイコン・アーキテクチャは、2つの分解能モードをサポートできる柔軟なADCを備えています。1.1 MSPSの16ビット分解能と、3.5 MSPSの12ビット分解能です。F2837xDマイコンは、同時に変換を実行できる4つの独立した内蔵ADCを搭載することで、産業用システムにおける複数信号のリアルタイムでの正確な監視を可能にします(次ページの図8)。たとえば、サーボ・ドライブでは、設計者は三相モーターの位相電圧と電流を監視しながら、同時にDCリンク電圧をサンプリングできます。

Delfino F2837xマイコンは、12ビットのバッファリングされたD/Aコンバータ(DAC)を3個搭載することで、リゾルバ励磁を含むアナログ作動信号を提供します。これらは、エンジニアリング・パラメータをシステム・レベルで追跡するのに非常に役立ちます。また、8個のシグマ・デルタ復調器/フィルタによって、さらに統合が強化されています。産業用モーター制御には高電圧が伴うため、フィードバック信号を測定する際には絶縁が必須です。開発者はTIのAMC130xデルタ・シグマ・コンバータを使用することで、たとえば、アナログ値をデジタル・ビットストリームに変換することができます。このビットストリームは、Delfino F2837xDマイコンのシグマ・デルタ・インターフェイスに直接供給され、フィルタによって再構築されます。これにより、モーターの各相のホットサイド/ハイサイドでの電流センシングが可能になり、高性能の産業用ドライブでは不可欠なフィードバック忠実度の要件が満たされます。

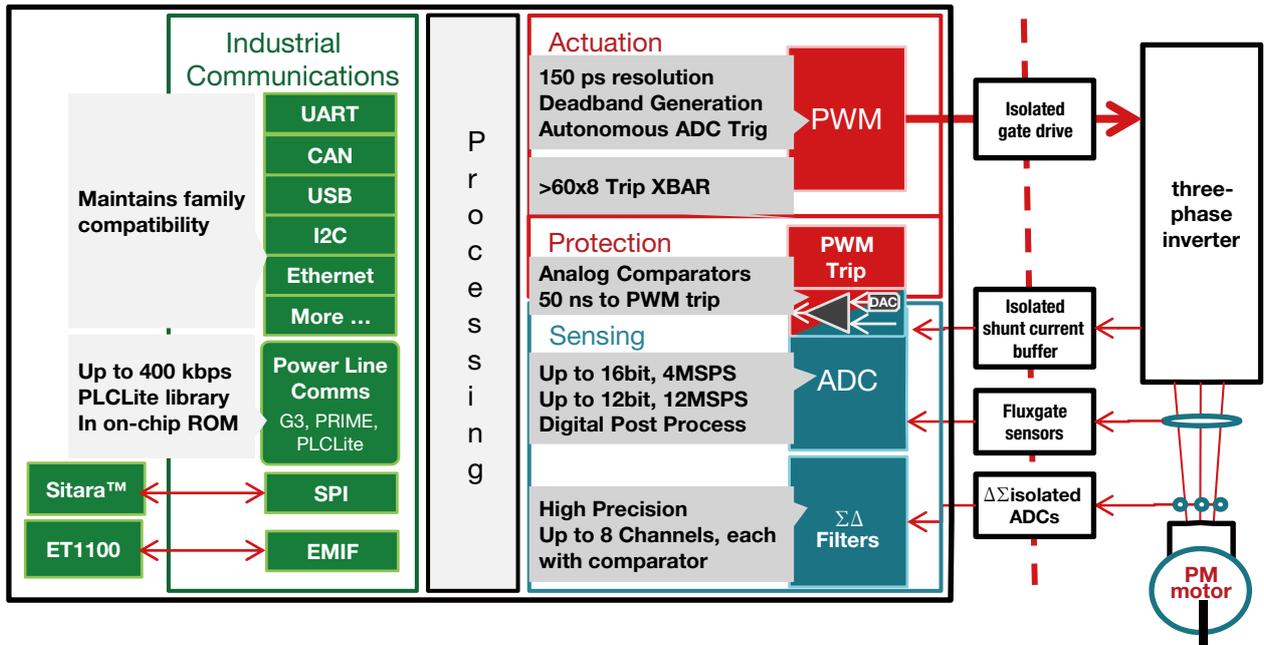


図 8：チップに内蔵された高信頼性アナログおよび制御ペリフェラルによるシステム統合の実現

Delfino F2837xD マイコン・アーキテクチャには8個のウィンドウ・コンパレータが内蔵され、過電圧または低電圧の“トリップ点”を提供します。これらはCPUとは独立して動作するため、CPUへの余分な負荷はありません。また、これらのコンパレータは高速で動作し、トリップ信号のレイテンシを最小限に抑えているので、システムは何らかの異常な事象や制限超過状態に対して迅速に対応できます。コンパレータのトリップ・イベントは、致命的な事象の発生時には50nsで完全なシャットダウンを行うよう設定できるため、産業用ドライブおよび電力システムの弾力性を高めることができます。

## Position Manager

歴史的に、位置センサとマイコンとの間のインターフェイスの構築は時間のかかる作業であり、多くの場合、FPGAへの通信プロトコルの統合や、デコード・プロトコルを備えた追加マイコンのプログラミングを必要とします。また、それぞれ特定の種類の機能やサブシステムに適したエンコーダ・プロトコルが複数存在するという事実も問題を複雑にしています。システム設計チームは、アプリケーション間で効果的にスケールリングできない、いくつかのプロトコル固有のFPGAを開発することを余儀なくされる可能性があります。もちろん、このようなFPGA実装では、システムの電子部品のBOM（部品表）や必要な基板面積が増大し、開発サイクルが長期化することで、システムのコストが上昇します。また、開発者は業界標準への適合を証明するために、広範な準拠テストを完了する必要があります。

このような状況により、産業用ドライブ・システムの位置センサと制御要素間のインターフェイスを単純化できるようなソリューションが求められています。設計者はそれによって、システムを真に差別化し市場での競争力を高めるような特徴や機能の設計に専念できるようになります。

## 位置フィードバックの統合

C2000 Delfino **F28379D** および **F28379S** マイコンは、洗練された高精度の制御システムで必要とされる処理能力をはじめとして、あらゆる種類のオンチップ・リソースを搭載しています。現在市販されているほとんどの主要なアナログおよびデジタル位置センサ・インターフェイスをサポートする、**DesignDRIVE Position Manager** テクノロジーもその1つです(図9)。これにより、システム設計者は、多くの基本的な繰り返し作業から解放され、設計時間を短縮できるようになります。

TIは、位置センサとデジタル・コントローラ間のインターフェイスに関して幅広い専門知識を有しています。**TMDSRSLVR** などのリゾルバ-デジタル間ソリューション用のスタンドアロン・インターフェイスを始めとして、TIは継続的に位置フィードバック・インターフェイスのサポートを追

加してきました。C2000マイコンは、高性能のADCおよびDACを活用することで、高価なリゾルバ-デジタル・チップセットの代替となります。さらに、C2000マイコンの強力な三角関数処理機能は、角度の計算や、リゾルバの振幅変調正弦信号からの高分解能速度情報の抽出などに必要とされる追加処理に特に適しています。

C2000 F28379マイコンは、最大3個の拡張直交エンコーダ・パルス(eQEP) モジュールをサポートします。これらのeQEPモジュールは、リニアまたはロータリー・インクリメンタル・エンコーダと直接インターフェイスします。これらのエンコーダは、高性能の動作および位置制御システムで使用される回転体から、位置(インデックスが既知の場合)、方向、および速度情報を取得するために、パルスを計数しています。さらに、eQEPは、パルス・トレイン出力(PTO) 信号へのインターフェイスにも使用できます。これは一般に、産業用オートメーションでの動作制御用にプログラマブル・ロジック・コントローラ(PLC) によって出力される信号です。また、C2000マイコンのeQEPは、時計回り/反時計回り(CW/CCW) 信号へのインターフェイスが可能です。CW/CCW信号は通常、ステッパまたはサーボ・ドライブでモーターや他のモーター・ベースのハードウェアを制御するために使用されます。

TMS320F28379S		Temperatures		
		105°C	125°C	Q100
<b>Connectivity</b>	<b>Processing</b>	<b>Actuation</b>		
USB 2.0 OTG FS MAC & PHY	<b>C28x DSP core</b> 240 MHz	12x ePWM modules (Type 3) 24x outputs (16x High-res)		
2x CAN 2.0B	FPU	Fault trip zones		
4x SPI	TMU	3x 12-bit DAC		
2x McBSP	<b>CLA real-timecoprocessor</b> 240 MHz	<b>Sensing</b>		
4x UART	Floating point	ADC1: 16-bit, 1.1 MSPS 12-bit, 3.5 MSPS		
2x I <sup>2</sup> C (w/ true PMBus)	<b>Memory</b>	ADC2: 16-bit, 1.1 MSPS 12-bit, 3.5 MSPS		
<b>System Modules</b>	Up to 1.5 MB Flash	ADC3: 16-bit, 1.1 MSPS 12-bit, 3.5 MSPS		
3x 32-bit CPU timers	Up to 256 KB SRAM	ADC4: 16-bit, 1.1 MSPS 12-bit, 3.5 MSPS		
Missing clock detection	6-ch DMA	8x Windowed comparators w/ integrated 12-bit DAC		
Watchdog timer	2x 128-bit SecurityZones	8x Sigma-Delta interface		
2x 192 interrupt PIE	Boot ROM w/ InstaSPIN™	Temperature sensor		
<b>Power &amp; Clocking</b>	EMIF	3x eQEP		
2x 10-MHz OSC		6x eCAP		
Ext OSC input		<b>Position Manager</b>		
POR protection		EnDat, BiSS, SINCOS ...		
<b>Debug</b>				
Real-time JTAG				

図9: DesignDRIVE Position Manager を搭載した C2000 シングル・コア F28379S マイコンの詳細

リゾルバおよびQEP機能によって、位置センサをC2000 Delfinoマイコンに対して効果的にインターフェイスするための高速で高効率の統合ソリューションが提供されます。次のステップは、このサポートを補完的なソリューションによって拡張し、マイコンをさらに高度なデジタルおよびアナログ位置センサに直接接続できるようにすることです。

### DesignDRIVE Position Manager テクノロジー

TIのDesignDRIVEプラットフォームで利用できるPosition Managerテクノロジーは、C2000 Delfino F28379SおよびF28379Dマイコンのオンチップ・ハードウェア・リソースを活用して、最もよく利用されるデジタルおよびアナログ位置センサへのインターフェイスを実現します。インクリメンタル・エンコーダ(eQEP)、CW/CCW通信、およびスタンドアロン・リゾルバ・ソリューションのサポートを既に組み込んでいるPosition Managerは、アナログ位置センシングのソリューションを追加で提供しながら、リゾルバ励磁とセンシング、およびSinCosトランスデューサ・インターフェイス/マネージャも統合します(図10)。C2000マイコンの独自の機能として、

Position Managerは、一般的なデジタル・アブソリュート・エンコーダ EnDat 2.2およびBiSS-Cにアナログ・センサのサポートを組み合わせることで、システム設計者が幅広い種類の位置センサを選択できるようにしています。

この統合Position Managerテクノロジーにより、FPGAで特定のエンコーダにインターフェイスする必要がなくなり、他の機能に引き続きFPGAが必要な場合でもそのサイズを大幅に縮小できます。その結果、システム設計者は、実際に開発サイクルを加速し、BOMコストを削減することが可能になります。次ページの図11は、Position Managerテクノロジーによって、システム設計者が、ハイレベルおよびローレベルのソフトウェア・ドライバや、以前であれば外部FPGAに実装されていたカスタムのハードウェアやロジックなどを開発する負担から解放されることを示しています。DesignDRIVEからダウンロードした位置センサ・ベースの閉ループ制御プロジェクトのサンプルに変更を加え、顧客プロジェクトに統合することができます。より低いレベルのシステム階層は、オンチップで搭載されるか、リファレンス・デザイン、およびすぐに使えるアプリケーション・プログラミング・インターフェイス(API)モジュールのライブラリを通じて提供されています。

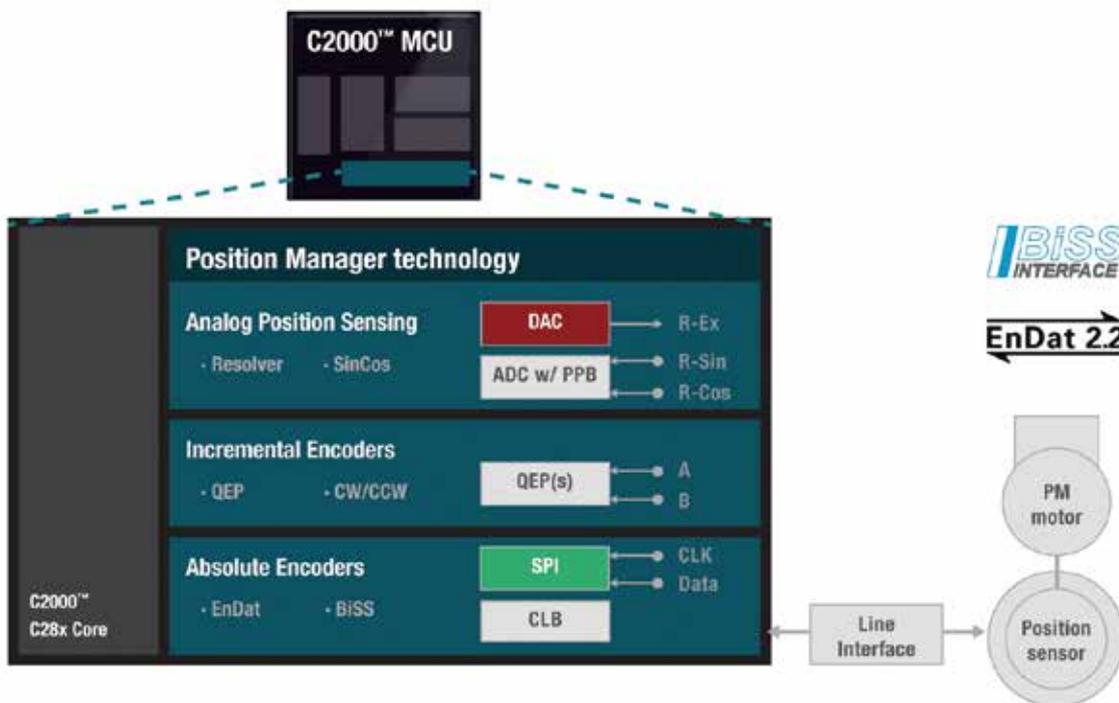


図 10 : Position Manager で C2000 マイコンのオンチップ・リソースを活用

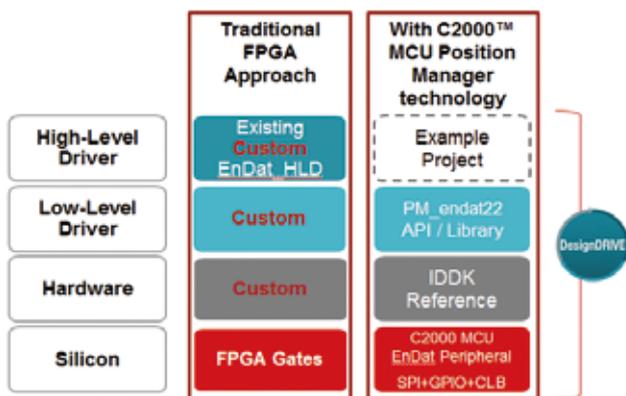


図 11 : EnDat 2.2 ソリューション例 : スタックアップ vs. FPGA

Position Manager テクノロジーを使用すると、開発時間の短縮に加えて、システム製造業者が過去に受けてきた適合性や相互運用性のテストも減らすことができます。Position Manager テクノロジーは、各種センサに対して完全にテスト済みです。テスト結果の詳細については、ユーザーズ・ガイドを参照してください。さらに、Position Manager テクノロジーでは、該当する規格の将来の改定や更新もサポートされます。

## 新しい位置センサ・インターフェイス機能

TIでは、位置フィードバック・テクノロジーの豊富な伝統に基づき、位置センサ・インターフェイス・ソリューションの機能や性能を強化してきました。表1に、DesignDRIVE Position Manager テクノロジーを通じて実現されるソリューションの例を示します。

Position Manager テクノロジーによってC2000マイコンと位置センサとの間の直接接続が可能になることで、開発者はデバイス接続の日常的な作業から解放され、システム・ソリューションの市場での存在感を高め大きな競争的優位が得られるような、特長や機能の開発に専念できます。

Position Manager の詳細については、**Position Manager ホワイト・ペーパー**、Position Manager ソリューション・ユーザーズ・ガイド、および DesignDRIVE アプリケーション・ページを参照してください。

## C2000マイコンの最新機能を最適に評価するための DesignDRIVE ソフトウェア・サンプル

アーキテクチャ、ペリフェラル、およびCPUの新しい革新的な機能の活用方法を示すために、DesignDRIVE によるサンプル・ソフトウェアが構築されています(図12)。これらのプロジェクトでは、以下が示されます。

Sensor type	Speed	Tested length	Resolution	C2000 MCU supported devices
Incremental	~ 12,000 rpm	N/A	Encoder dependent	F2803x, F2806x, F2807x, F2837xS, F2837xD <sup>1</sup>
EnDat 2.2 / 2.1	8 MHz	100 m	Up to 35 bits	F28379S, F28379D
BiSS-C	5 MHz	100 m	Up to 26 bits	F28379S, F28379D
t-format (Tamagawa)	2.5 MHz	100 m	–	F28379S, F28379D
SIN/COS	~ 12,000 rpm	70 m	± 4.5 arcsecs	F2807x, F2837xS, F2837xD
Resolver	> 3,000 rpm	~1 m	> 13.47 ENOB	F2802x, F2807x, F2837xS, F2837xD

注1:このプロジェクトは他のC2000マイコンにも移植できますが、現時点でcontrolSUITEを通したリリースはされていません。

表 1. センサ種別ごとの Position Manager ソリューション

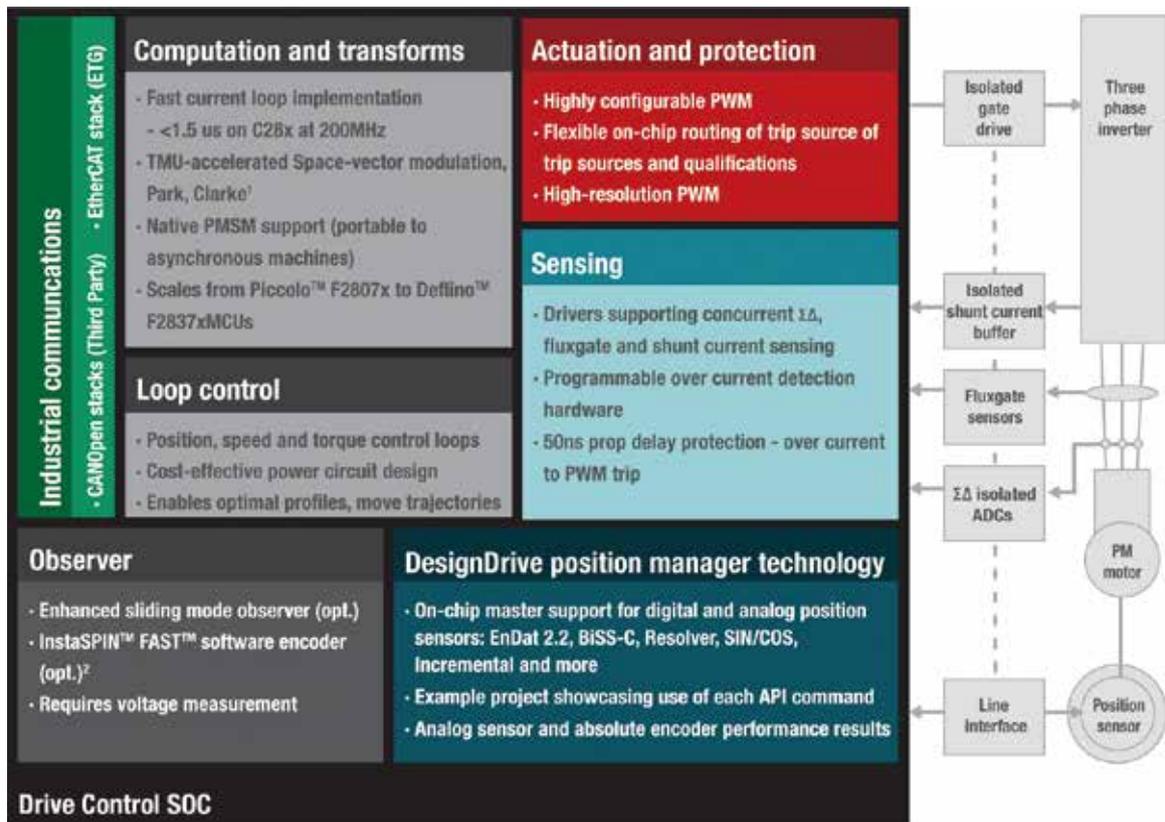


図 12: DesignDRIVE フィールド・オリエンテッド制御サンプルのブロック図

- 計算処理をCLAにオフロードすることで制御帯域幅に影響を与えずに電流ループ・タイミングを改善する方法
- 電流ループ・タイミングに対するTrigonometric Math Unitの利点
- 多くの異なる位置センサとのインターフェイス方法
- オンチップの過電流保護回路の構成方法
- 絶縁型デルタ・シグマADC変調器との通信方法
- 電流センシングに対するシャント抵抗およびフラックスゲート・センサの使用法
- 電流、速度、位置に対する単純なP-I制御ループの使用（および必要に応じて置換）方法

## シームレスな移行と開発

複数の処理ユニットとアクセラレータを使用することで、システムの性能を大きく向上できます。

ただし、多くのOEMでは、既存の設計をベースにシステムを構築し、Delfinoや他のマイコンでのコード・ベースの開発に大きな投資を行っています。

ファームウェアのパーティション分割を単純化することで、強化されたアーキテクチャを開発者がシームレスに活用できるようにする必要があります。たとえば、TMUの使用は、Cコンパイラによって管理されます。ネイティブのTMU関数が使用できる場合、コンパイラは、数学ライブラリの関数を呼び出す代わりに、自動的にTMUを利用します。

そのため、既存のC28x CPUベースの設計では、コードを書き換える必要なしに、TMUの5倍の性能向上というメリットをすぐに活用できます。TMUは、MathLAB®/SIMULINK® ベースのアプリケーション・コードの性能も向上させます。また、それにより、TIマイコンがTMU機能を持つかどうかにかかわらず同じコードを使用できるため、知的財産(IP)の移植性が高まります。メモリ・サブシステムは、ベンダや開発者が付加価値のあるIPをやり取りするのに役立つ、非常に柔軟性の高いコード保護メカニズムを提供します。

開発を高速化するため、TIとそのパートナーは、その広範な開発エコシステムの一部として、**幅広い範囲のソフトウェア・ライブラリ、ツール、開発キット、およびテクニカル・サポート**を提供しています。たとえば、数学ライブラリはCPUとCLAの両方に対して用意され、開発者がDelfino F2837xマイコンから最高の性能を引き出すのを支援します。また、TIでは、制御アプリケーションの設計を迅速化するための幅広い範囲の低レベル・ライブラリやアプリケーション固有ライブラリに加え、Delfinoの制御ベース機能のすべてに簡単にアクセスできる開発ボードも提供しています。

通信を必要とするアプリケーションに対しては、Delfino F2837xマイコンにいくつかのシリアル・ポートのオプションが用意されています(USB、UART、SPI、CAN、I2C)。また、プロセッサ間接続およびネットワーク接続用には高速シリアル・ペリフェラル・インターフェイス(SPI)が使用できます。

イーサネットおよびリアルタイム・イーサネットの接続およびプロトコルを必要とするアプリケーションに対しては、コンパニオン通信プロセッサとしてTIの**Sitara™ AM335xプロセッサ**が使用できます。Sitara AM335xプロセッサは、ARM® Cortex®-A8コアをベースとし、差別化されたペリフェラルや、PROFINET®やEtherCAT®などの認証済みの産業用通信スタック/プロトコルを備えています。これらのデバイスは、必要に応じて、拡張されたアプリケーション処理用のARMエコシステムを完全にサポートしています。

Delfino F2837xデュアル・コア・デバイスには、複数のバリエーション・ポイントに対応したスケラブルな派生製品があります。これにより、ローエンドの産業用ドライブから業界全体にわたるエネルギー変換まで、さまざまなアプリケーションを実現できます。

さらに、コードやピン配置の互換性を維持しながら、より幅広い範囲の産業用ドライブ・アプリケーションをサポートするために、シングル・コア・バージョンのDelfino F2837xおよびPiccolo F2807xマイコンも用意されています。

## 結論

TIのC2000 **Delfino F28379マイコン**のような強力なプログラミング可能なマイコンは、産業用ドライブ制御SoC(System-on-Chip)に向けた次のステップを表しています。これらは、外部FPGAを不要にしたり、FPGAのサイズを大きく削減したりすることで、付随的な処理や補助ドライブ・ペリフェラル用のより効果的で効率的なシステム・アーキテクチャを実現します。

TIは、Delfino F2837xマイコンによって、産業用ドライブの設計方法を再定義しました。性能、統合、単純化、および透明性を重視したDelfino F2837xDマイコンのアーキテクチャによって、開発者は、古典的な実証済みの制御システムに次世代の機能を実装できます。その高度なハードウェア・ベースのエンジンと高いレベルのサブシステム統合によって、より優れた性能をより低コストおよび小さな専有面積で実現します。また、開発者は、低レイテンシの決定性アーキテクチャに基づく単純化された設計によって開発期間を短縮するとともに、DesignDRIVEのIDDKやソフトウェア・サンプルを利用して、Delfino F2837xマイコンのアーキテクチャの強化点を新しいまたは既存の産業用ドライブ・アプリケーションにシームレスに実装できます。

**DesignDRIVE**は、多くの産業用ドライブ、モーター制御、およびサーボ・トポロジに対するソリューションを簡単に開発および評価できる、単一のハードウェアおよびソフトウェアプラットフォームです。

DesignDRIVEは、幅広い種類のモーター、センシング技術、エンコーダ規格、および通信ネットワークをサポートしながら、産業用通信および機能安全トポロジに基づく開発用に簡単に拡張できるため、より包括的で統合されたドライブ・システム・ソリューションを実現できます。TIのC2000マイコンのリアルタイム制御アーキテクチャに基づくDesignDRIVEは、ロボット、コンピュータ数値制御機械(CNC)、エレベータ、資材運搬、その他の産業用製造アプリケーションで使用される、産業用インバータおよびサーボ・ドライブの開発に最適です。

## DesignDRIVE 産業用ドライブ開発キット (IDDK)

DesignDRIVE 開発キット (IDDK) を使用して、産業用ドライブやサーボ制御の評価および開発を今すぐ開始できます。このキットには、以下が含まれています。

- トルク、速度、位置を含むモーターのベクトル制御のサンプル
- 複数の電流センサ・トポロジ
  - 強化絶縁型デルタ・シグマ変調器ADC、ホール/フラックスゲート・センサ、およびシャント抵抗電流センシングをサポート
- アナログおよびデジタル位置センサ・インターフェイス
  - Position Manager テクノロジーをサポート：  
EnDat2.2、BiSS-C、SIN/COS、リゾルバ、およびインクリメンタル・エンコーダ
- 内蔵電源モジュールおよび DC Link 電源、さらに制御回路用の DC バイアス電源：単一の AC 電源接続から動作
- 柔軟なリアルタイム接続
  - 複数のリアルタイム・イーサネット・プロトコルに対する拡張サポート
- 制御回路用の電源プレーン配置を設定可能（ホット側またはコールド側）



図 13: IDDK (TMDXIDDK28379D) - 999 米ドル

## Delfino F28379D controlCARD



図 14: Delfino F28379D controlCARD (TMDSCNCD28379D) - 159 米ドル

テキサス・インスツルメンツの **Delfino F28379D controlCARD** は、Position Manager に対応した、初期のソフトウェア開発や短期ビルド用に最適な製品であり、システム・プロトタイプ、テスト・スタンド、および高性能コントローラへの簡単なアクセスを必要とする他の多くのプロジェクトに理想的です。C2000マイコン用の controlCARD はすべて、HSEC180 または DIMM100 のフォーム・ファクタを使用した完全な基板レベル・モジュールであり、低プロファイルのシングルボード・コントローラ・ソリューションを提供します。ホスト・システムによって1つの5V電源レールを提供するだけで、controlCARD は完全に機能できます。

## C2000マイコン実験キット

C2000マイコン実験キットは、テキサス・インスツルメンツの **C2000 32ビット・マイコン・ファミリ** によるリアルタイムの閉ループ制御開発用に、堅牢なハードウェア・プロトタイプピング・プラットフォームを提供します。このプラットフォームは、**産業用ドライブ、モーター制御、デジタル電源、ソーラー・インバータ、デジタルLED照明やその他** 多くの一般的なパワー・エレクトロニクス・アプリケーションに対するソリューションのカスタマイズや実証のための優れたツールです。

C2000マイコン実験キットの基板ハードウェアには、プログラミングやデバッグを簡単にする絶縁されたXDS100 USB JTAGエミュレーション、主要なマイコン信号へのヘッダ・ピン・アクセス、カスタマイズ可能な配線用のブレッドボード領域、HSEC controlCARDプラグイン・スロット、およびDelfino TMS320F28379Dマイコンに基づくcontrolCARDなどが含まれています。



図 15 : **Delfino F28379D 実験キット (TMDSDOCK28379D)**  
- 219米ドル

S-0107

**ご注意：**

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をすることがありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。



## TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。