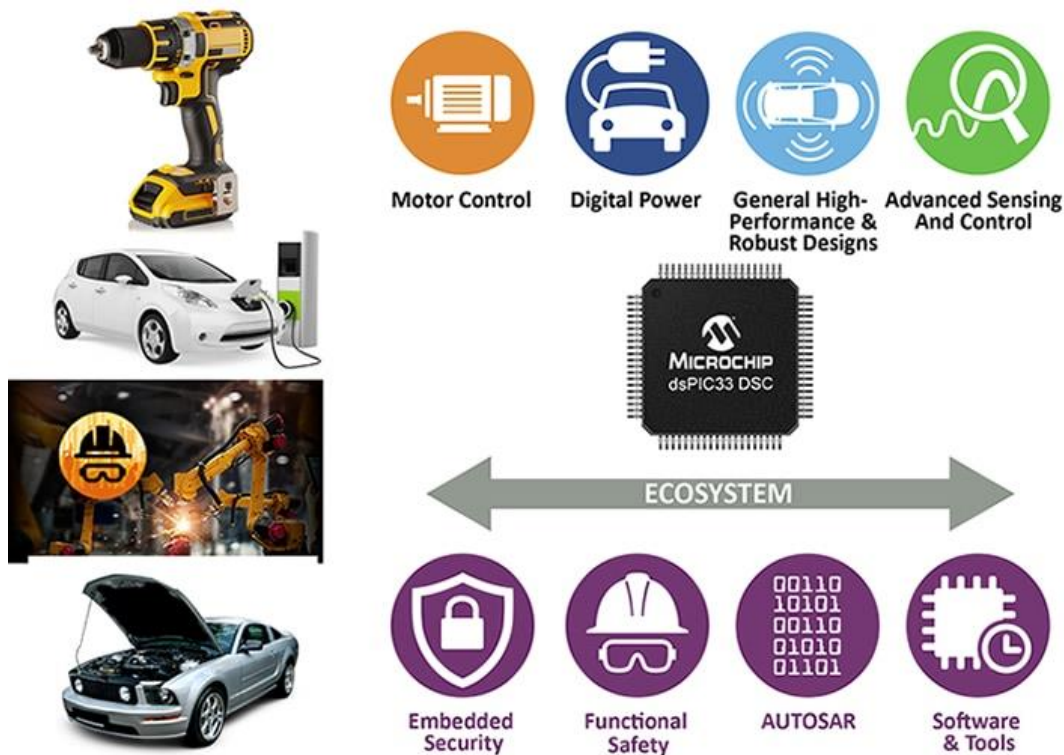


dsPIC® DSC: DSP のパワーと MCU のシンプルさを合体

[Gaurav Chawla](#)

このブログ記事では、Microchip 社の dsPIC® DSC(デジタルシグナル コントローラ)の詳細とお客様のアプリケーションで活用する方法を紹介します。

Microchip 社の dsPIC® DSC(デジタルシグナル コントローラ)が初めて市場に出てから 20 年近く経とうとしています。dsPIC DSC はモータ制御、デジタル電源、先進のセンシングおよび制御、堅牢なタッチ、組み込みセキュリティ、機能安全、その他各種の高性能で堅牢な設計を含むアプリケーションを主なターゲットとしてきました。



dsPIC DSC は MCU(マイクロコントローラ)に DSP(デジタルシグナル プロセッサ) エンジンの性能と機能を持たせると共に、それに必要となるアーキテクチャと命令セットを提供する事を主な目的として設計されました。これらの DSC は、今や大きな進化を遂げ、メインストリームのリアルタイム制御アプリケーションに適応し、多種多様なアプリケーションに適合するようになりました。製品化予定の dsPIC33 DSC には、新しい技術とそのアプリケーションをサポートするために強化された機能が搭載される予定です。

dsPIC33F	dsPIC33E	dsPIC33C	dsPIC33
40 MHz	70 MHz	100 MHz	
Single Core	Single Core	Single/Dual Cores	
Flexible PWMs	Improved PWMs	Improved PWMs	
Multiple S/H 10-bit ADC	12-bit ADC	3.5 Msps ADCs	
16–256 KB Flash	Integrated Op-Amps	Integrated PGAs	
	32–512 KB Flash	Functional Safety	
	5 x 5 mm Package	4 x 4 mm Package	

詳細は Microchip 社の [dsPIC ウェブページ](#)を参照してください。

dsPIC33 DSC — ただの MCU ではない

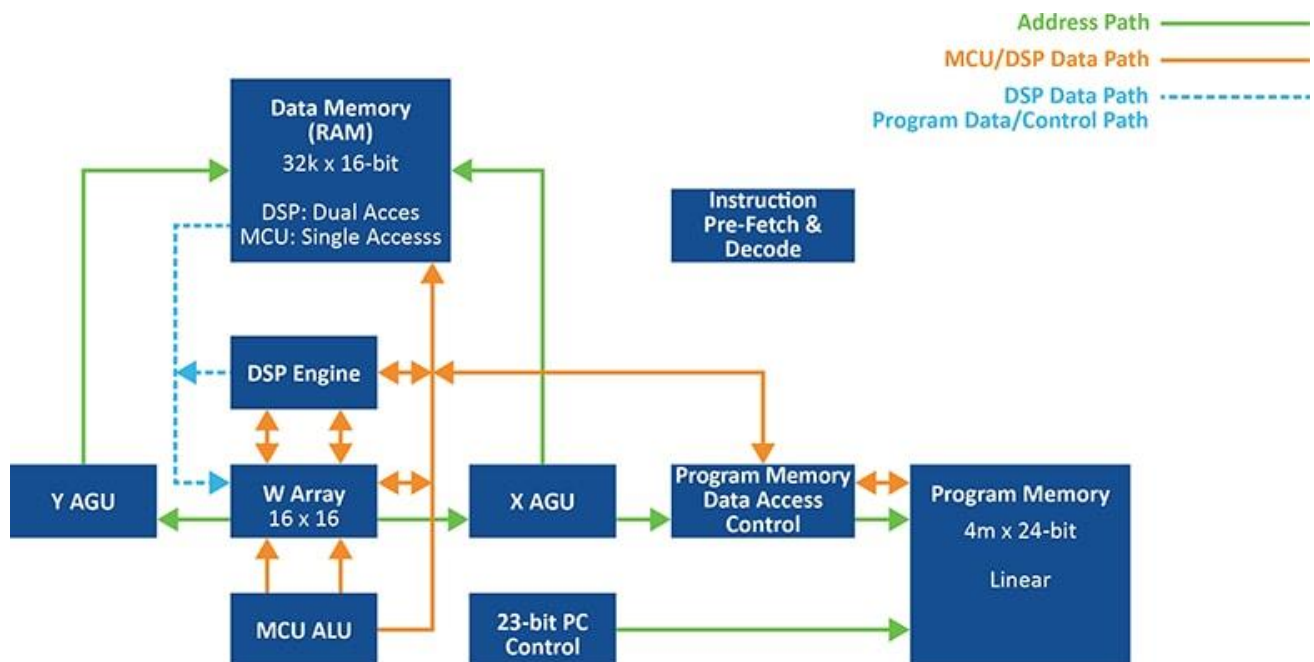
MCU はユーザーとセンサのインターフェイスが必要なアプリケーションに理想的です。アプリケーションの初期化と制御、入力の監視、割り込みへの対応、ディスプレイやアクチュエータによる出力の駆動を行う事ができます。ところが、リアルタイム信号の処理となると、MCU はさらに多くの機能を必要とします。

DSC は、DSP の計算機能とスループットに MCU の制御適性がシームレスに統合された、シングルチップ組み込みコントローラです。Microchip 社の dsPIC DSC は数学演算の高速化、高速かつ高度で柔軟な割り込み処理、機能安全、セキュリティ機能等、パワフルなコントローラに期待される全ての機能を備えています。dsPIC DSC はほとんどの命令を 1 サイクルで実行します。これを高い命令スループットと真の DSP 機能(シングルサイクル乗算、ゼロ オーバーヘッド ループ処理等)と組み合わせる事で、組み込み制御設計向けの非常に強力な MCU ができあがります。dsPIC DSC には、実環境の設計要件に必要とされる高速な決定論的処理時間と共に、リアルタイム制御システムの開発を支援する特定用途向け周辺モジュールが豊富に含まれています。

- 高分解能のモータ制御 PWM(パルス幅変調器)と非常に高速で高精度な 12 ビット ADC (A/D コンバータ)を DSP エンジンと組み合わせる事で、幅広いモータ制御アプリケーション向けに、高効率、高精度、可変速、定トルク、PI(比例積分)制御、FOC(界磁制御)を実装できます。
- SMPS(スイッチング電源)PWM、複数の高速 ADC、PGA(プログラマブル ゲインアンプ)、高速で予測可能な割り込みを備えた CPU(中央演算処理装置)により、高速制御ループと強力なアルゴリズムの実行を可能にし、あらゆる負荷条件下でデジタル電力変換の効率を最大化します。
- 多くのアナログ機能を統合している dsPIC33 DSC は先進のセンサ インターフェイス アプリケーションと堅牢なタッチ アプリケーションに適しています。これらの DSC は高性能な CPU(中央演算処理装置)と決定論的でリアルタイムの応答を実現する DSP エンジンを提供します。
- 一部の DSC はノイズ耐性と堅牢性を向上させるために 5 V で動作します。

- -40 °C ~ +150 °C動作(AEC-Q100 グレード認定済み)に対応しており、エンジンルーム機器の設計に理想的です。
- Microchip 社の機能安全対応および機能安全準拠の dsPIC33 DSC の幅広いポートフォリオは、ISO 26262、IEC 61508、IEC 60730 の要件を満たすセーフティ クリティカル アプリケーションを開発するための内蔵のハードウェア安全機能、障害モード、FMEDA(故障モード影響診断解析)レポート、安全マニュアル、診断ソフトウェア ライブラリを提供します。
- セキュリティ サブシステムを内蔵した dsPIC33 DSC または任意の dsPIC33C DSC は、CryptoAuthentication および CryptoAutomotive セキュリティ IC と連携して信頼性の高いシステムレベルのセキュリティを実装できます。

dsPIC DSC に含まれる DSP エンジンは通常の MCU の機能に加えて、DSP のアルゴリズム実行を最適化するために 2 つの AGU(アドレス生成ユニット)、1 つのパレルシフタ、1 つの乗算器および加算器、デュアル アキュムレータとコンテキスト レジスタ等、以下に示すハードウェア上の機能を備えています。



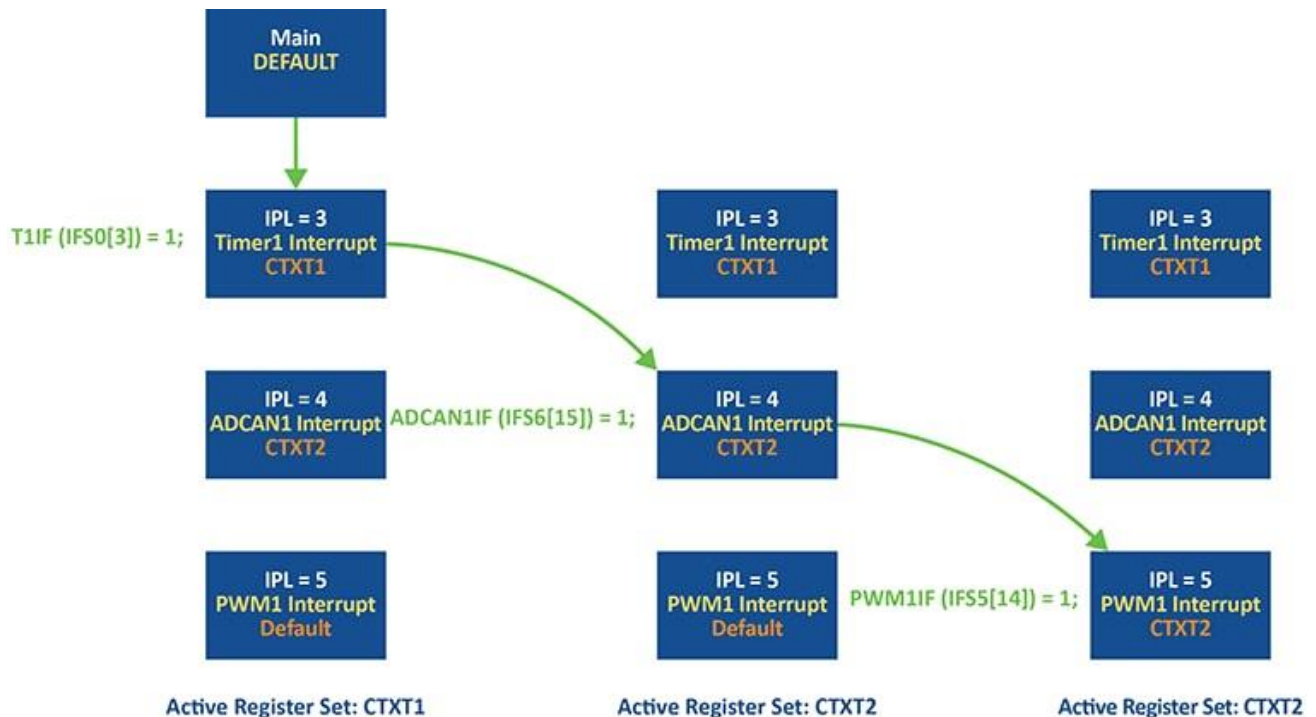
- dsPIC アーキテクチャには、改良型ハーバード アーキテクチャを採用した MCU および DSP 機能が内蔵されています。複合命令パイプラインは、最大 3 つのオペランドを持つ CPU 命令をサポートし、実行時間を最適化します。
- DSP エンジンの心臓部にあるのは、1 つの 40 ビット ALU と 2 つの 40 ビット飽和処理アキュムレータです。これを補助するのは、1 サイクルで 40 ビット値を 16 ビットまで左右にシフト可能な、1 つの双方向パレルシフタです。ハードウェア乗算器は高速な算術演算と論理演算をサポートします。

- 特定のアドレス指定モードを持つ MAC 命令と DSP アルゴリズムをサポートするため、データアドレスの計算、アクセス、保存のプロセスを高速化する 2 つの AGU(アドレス生成ユニット)が用意されています。
- 明確に定義されたシングルサイクル MAC 命令はフィルタ処理、FFT 処理、ベクトル演算処理をサポートしています。実行時間を短縮するために、最適化された DSP ルーチンを XC-DSC コンパイラのライブラリとして利用できます。

Function	Cycle Count Equation	Conditions*	Number Of Cycles	Execution Time At 100 MIPS
Complex FFT**	-	N=128	8485	84.84μs
Complex FFT**	-	N=256	19055	190.56μs
Complex FFT**	-	N=512	42361	423.61μs
Single Tap FIR	-	-	1	9.9μs
Block FIR	53+N(4+M)	N=32, M=32	1205	12.06μs
Block FIR Lattice	41+N(4+7M)	N=32, M=32	7337	73.38μs
Block IIR Canonic	36+N(8+7S)	N=32, S=4	1188	11.88μs
Block IIR Lattice	46+N(16+7M)	N=32, M=8	2350	23.49μs
Matrix Add	20+3(C*R)	C=8, R=8	212	2.1μs
Matrix Transpose	16+C(6+3(R-1))	C=8, R=8	232	2.13μs
Vector Dot Product	17+3N	N=32	113	1.14μs
Vector Max	19+7(N-2)	N=32	229	2.28μs
Vector Multiply	17+4N	N=32	145	1.44μs
Vector Power	16+2N	N=32	80	0.81μs
PID Loop Core	-	-	7	69.3ns

*C= #Columns, N= #Samples, M= #Taps, S= #Sections, R= #Rows
 **Complex FFT routine inherently prevents overflow
 1 cycle = 10 nanoseconds at 100 MIPS

- ハードウェアコアからのゼロ オーバーヘッド ループ処理命令と専用処理機構により、ループ処理の命令処理時間が不要となり、コードの性能と速度が向上します。
- コンテキスト レジスタは、高速な決定論的割り込み応答と柔軟なソフトウェア スタック オーバーフロー検出の利点を活かしながら DSP 機能の切り換えを素早くするのに役立ちます。



最新の dsPIC DSC は最大 100 MHz の性能を提供するよう設計されており、CAN-FD、CLC(構成可能なロジックセル)、タッチ コントローラ、セキュリティ サブシステム、OP-AMP(オペアンプ)、CBG(電流バイアス ジェネレータ)、PTG(ペリフェラル トリガ ジェネレータ)等、高速バスで接続された周辺モジュールを豊富に備えています。内蔵メモリは、プログラムメモリとして 32 KB~1 MB のフラッシュ、データメモリとして 8 KB~128 KB の RAM を搭載しています。

dsPIC の対象アプリケーション

モータ制御

dsPIC33C DSC は、専用タイムベースを持つ高分解能 PWM 出力と高速かつ高精度な 12 ビット ADC に加え、これらを補完するアナログ周辺モジュールを豊富に備えています。これらの周辺モジュールは、モータ制御アプリケーションにおいて、一定トルクの可変速制御や FOC(界磁制御)を行う時にエネルギー効率を最大限に高められるように設計されています。以下に、モータを効率的に回転させるための dsPIC33C DSC の周辺モジュールの機能の一部を示します。

- 独立したエッジまたはセンターアライン PWM 動作モードをサポートし、デッドタイムの挿入および補償が可能な高分解能相補 PWM 出力
- 高電圧アプリケーション向けにクワッドモータ制御および/または内蔵 PFC を実現する最大 24 チャンネルの高分解能 PWM 出力

- 最大 27 個のアナログ入力をサポートし、高精度な A/D 変換(有効ビット数(ENOB): 10.5 ENOB typ.)、内蔵のデジタル コンパレータ、オーバー サンプリング フィルタ、複数の S&H(サンプルホールド)回路を備える最大 5 個の非常に高速な(3.5 MSPS) 12 ビット ADC
- 過電流検出時の自動 PWM シャットダウンを判定する高速(15ns)差動アナログ コンパレータと閾値を与える 12 ビット DAC(D/A コンパレータ)
- 高速なスルーレート(40 V/s)と低いオフセット入力電圧(1.5 mV typ.)を持つ 3 つの広帯域(20 MHz)オペアンプ、またはモータ電流検出回路用の PGA(プログラマブル ゲインアンプ)
- ホール効果センサおよび光学式(インクリメンタル) エンコーダロータ位置フィードバックをサポート (QEI モジュール)
- CPU の介在なしに高速かつ予測可能な制御ループをサポートする、密に結合された PWM、ADC、オペアンプまたは PGA、コンパレータ
- デュアルコア DSC によって複数チームや別な場所にいるチームのソフトウェア統合を容易にし、リアルタイム応答性も最適化
- 部品コストを削減する多数の内蔵アナログ機能

Microchip 社では dsPIC DSC をモータ制御向けに設計するだけでなく、開発ボード、リファレンス デザイン、ソフトウェア ツール、モータ制御アプリケーションのラピッド プロトタイピングを可能にするコードが収録されたアプリケーション ノート等の充実したエコシステムを提供しています。また、世界中のモータ制御専門チームが各地域に特化した専門的なサポートを提供しています。詳細は Microchip 社の[モータ制御ウェブページ](#)を参照してください。

デジタル電源

dsPIC33 ファミリデバイスは、デジタル電力変換および照明アプリケーションにおいて幅広い負荷条件で効率を向上するため、複数の先進アナログ高分解能 PWM ジェネレータを含む専用の周辺モジュールを備えています。

dsPIC33 DSC の特長の一部を以下に挙げます。

- 電源 PWM モジュール
 - 設計条件を高いスイッチング周波数に対応できるよう、デューティ サイクル、位相シフト、周期、デッドタイムを 250 ps 単位で設定可能
 - 各種電源回路方式にソフトウェアにより柔軟に対応可能
 - 外部イベントにハードウェアでトリガをかける事ができる PWM により応答性の高い制御が可能
- 同時サンプリングを実現する最大 5 つの高速 12 ビット 3.5 Msps ADC
 - レイテンシが全体でわずか 0.89 μ s の高度なトリガ機能
- シグナル コンディショニング用 PGA 内蔵
- 最大 4 個の応答時間 15 ns のアナログ コンパレータと波形生成機能付き 12 ビット DAC

- PWM、ADC、CPU が効果的に連携
- 16/32 ビットタイマ、入力キャプチャ、出力コンペア、PWM の追加チャンネル
- UART、SPI、I²C、PMBus™、CAN/CAN FD インターフェイスを含む通信周辺モジュール

詳細は、Microchip 社の[デジタル電源ウェブページ](#)を参照してください。

高性能で堅牢な設計

dsPIC33 DSC は高性能アプリケーションの多様なニーズを満たすように設計された周辺モジュールを数多く備えています。これらの DSC はリアルタイム制御、信頼性の高い接続、先進のセンサ インターフェイスのアプリケーション向けに高速な CPU 性能と多くの内蔵アナログ機能を提供します。

高性能なタイム クリティカルなアプリケーションの実行を可能にする dsPIC33 DSC の特長の一部を以下に示します。

- 100 MHz の性能と決定論的応答時間を備えた拡張 CPU
 - FIR フィルタ、IIR フィルタ、FFT、データ変換関数等のリアルタイム信号処理を高速化する DSP エンジン
 - 最適化された DSP ルーチンを MPLAB® XC16 コンパイラの内蔵ライブラリとして利用可能
 - 一般的な汎用 MCU と比較して DSP 関数の実行が 15 倍高速*
- 5 組のコンテキスト レジスタと DSP アキュムレータによる短い割り込みスイッチング レイテンシ
- 高精度/高速内蔵オシレータにより外部水晶振動子が不要
- サーバの電源ファームウェアをダウンタイムなしにリアルタイムでアップグレードできるライブ アップデート機能
- 高速/同時信号サンプリングを可能にする最大 5 個の独立した 3.5 Msps 12 ビット ADC
- ADC コントローラにノイズ処理のためのオーバー サンプリング フィルタとデジタル コンパレータを内蔵
- アクティブ フィルタ処理、信号コンディショニング、電源外乱低減(ユニティゲイン バッファ時)のための高速オペアンプ
- イベント検出を高速化する高速アナログ コンパレータ
- CPU の介在をオフロードする ADC 用の DMA
- I/O ピンの再マッピングを可能にして占有 PCB 面積を削減し配線を容易にする PPS(ペリフェラルピンセレクト)
- センサに正確な参照電圧を供給する高速 12 ビット DAC
- 外部回路またはセンサにバイアス電流を供給する CBG(電流バイアス ジェネレータ)
- 一部の DSC は 5 V で動作し、ノイズ耐性と堅牢性を向上
- エンジンルーム機器の設計に適した、AEC-Q100 グレード 0 認定済みの-40 °C ~ +150 °C動作
- CAN FD、LIN、SENT、その他のプロトコルによる信頼性の高い通信

- 内蔵プログラムメモリを使って高書き込み耐性 EEPROM をエミュレート可能にするデータ EEPROM エミュレーション ライブラリ

詳細は、Microchip 社の[先進のセンサ インターフェイス ウェブページ](#)を参照してください。

機能安全

Microchip 社の dsPIC33 DSC ファミリは、ISO 26262 と IEC 61508 の要件を満たすセーフティ クリティカル アプリケーションを開発するための内蔵のハードウェア安全機能、障害モード、FMEDA(故障モード影響診断解析)レポート、安全マニュアル、診断ソフトウェア ライブラリをサポートする機能安全対応かつ機能安全準拠デバイスの幅広いポートフォリオを提供しています。

dsPIC33 デバイスに専用の周辺モジュールと機能を内蔵する事で、セーフティ クリティカル アプリケーションの信頼性と監視性を向上させました。これらの特長はエンド アプリケーションを意図した通りに動作させるのに役立ち、例外や問題の発生時には安全にシャットダウンできます。

対象とする機能安全規格を以下に示します。

- ISO 26262 (ASIL): 自動車の機能安全
- IEC 61508 (SIL): 産業用アプリケーションの機能安全
- IEC 60730: 家電製品の機能安全

詳細は、Microchip 社の[機能安全ウェブページ](#)を参照してください。

組み込みセキュリティ

Microchip 社の dsPIC33 DSC ファミリに、Microchip 社の ATECC608 CryptoAuthentication™および TrustAnchor100 (TA100) CryptoAutomotive™セキュリティ IC と、HSM(ハードウェア セキュリティ モジュール)アーキテクチャをベースとし車載セキュリティの EVITA Full 仕様に準拠したセキュリティ サブシステムを内蔵する dsPIC33C MPT ファミリのセキュリティ DSC を組み合わせる事で、設計に信頼性の高いセキュリティを実装できます。

このセキュアシステムの特長の一部を以下に挙げます。

- セキュアな鍵保存
- NIST SP800-90 A/B/C 乱数生成器(RNG)
- ECC、RSA、AES、SHA、HMAC、CMAC をサポートする先進の高速暗号化エンジン
- ECDSA、ECDH、ECDHE、ECBD 鍵合意
- ECDSA および RSA ベースの署名と検証
- 車載セキュリティの EVITA Full 仕様に準拠
- 以下を達成した先進の暗号化エンジン

- コモン クライテリアの JIL (Joint Interpretation Library)で高評価を取得
- FIPS(連邦情報処理標準)の CAVP(暗号アルゴリズム認証制度)認証済み

詳細は、Microchip 社の[組み込みセキュリティ ウェブページ](#)を参照してください。

dsPIC のエコシステム

Microchip 社は dsPIC33 向けに設計サイクルを効率化できる各種ハードウェア開発ボードを提供しており、迅速な試作が可能です。これらのボードは MPLAB ICE 4 インサーキット エミュレータ、プログラマ、デバッガ、MPLAB PICKit™ 4 インサーキット デバッガ、Lauterbach 社の TRACE32 デバッガと接続できます。多くのボードはプログラマ/デバッガも内蔵しています。MPLAB 開発エコシステム(MPLAB X IDE、MPLAB XC16 コンパイラ等)を利用すると、dsPIC33 DSC を最大限活用できます。



motorBench®開発スイート



[motorBench®開発スイート](#)は無償の FOC(界磁制御)向けソフトウェア開発用 GUI ツールであり、MCAF(モータ制御アプリケーション フレームワーク)を使ってモータの重要パラメータの正確な計測、フィードバック制御ゲインの自動チューニング、MPLAB X IDE プロジェクト用ソースコードの生成を行います。モータ制御組み

込みエンジニアはこのグラフィカルでインタラクティブな開発環境を利用する事で、特にモータパラメータが未知の場合に、新しいモータを無負荷または一定の負荷で起動し動作させるまでの評価時間を短縮できます。motorBench 開発スイートは MPLAB X IDE 用のプラグインである MCC (MPLAB Code Configurator)と合わせて使うライブラリです。

MPLAB PowerSmart™開発スイート



MPLAB PowerSmart™開発スイートはシステム定義、システムのモデル化、コード生成、制御システムの微調整、リアルタイム デバッグ向けの複数の選択可能なコンポーネントで構成されるソフトウェア スイートです。このスイートは、Microchip 社の dsPIC DSC を使う SMPS(スイッチング モード電源)の完全デジタル制御システム向けに設計されています。DSP 固有のコードを手動で記述する手間を省き、電源設計にかかる時間を短縮します。

その他のリソース

MCU と DSC の違いの詳細は、[YouTube 動画](#)をご覧ください。

利用可能なハードウェア開発ツールの詳細は [dsPIC ウェブページ](#)を参照してください。

[リファレンス デザインの詳細はウェブページ](#)を参照してください。

詳細については、[Microchip 社のツール ウェブページ](#)を参照してください。

dsPIC DSC の詳細は [Microchip 社の MPLAB 開発エコシステム](#)を参照してください。