参考資料

Technical White Paper

*ドローン インテリジェンスの強化：次世代 **AI** コンパニオン コンピュータを支える **TDAx** プロセッサ*

Ruben D. Perez, Chris Tsongas

概要

車載用 ADAS アプリケーション向けに開発されたテキサス・インスツルメンツの TDAx システムオンチップ (SoC) ファミリは、–40℃ ～ 125℃ の受動冷却パッケージ オプションと異種アーキテクチャにより、ドローンのコンパニオン コンピュータのサイズ、重量、消費電力、コストの制約に対応します。AEC-Q100 認定、ISO 26262 ASIL D 認証対応、統合型リアルタイム マイコン セーフティ アイランドにより、ドローンの安全認証にそのまま適用可能なハードウェア信頼性の証明を提供します。このホワイトペーパーでは、ドローンのコンパニオン コンピュータの要件を示しながら、TDA4VH-Q1 アーキテクチャについて解説します。また、長期的な供給と高い信頼性が保証されたプラットフォームに、実製品開発に対応した AI を導入するための実用的な方法として TI のエッジ AI ツールチェーンについて紹介します

目次

1 概要 1
2 SoC アーキテクチャ 3
2.1 ベクトル DSP と行列演算のコンピューティング クラスタ 3
2.2 ビジョンおよびモーション処理アクセラレータ 4
2.3 ARM® Cortex®-A72 CPU コア 5
2.4 ARM Cortex-R5F CPU コア 5
2.5 オンチップ メモリと高性能インターフェイス 5
2.6 パッケージと消費電力 6
3 機械学習ソフトウェア開発ツール 6
3.1 TI ディープ ラーニング ツール 6
3.2 TI Edge AI Studio 6
4 TDAx ファミリのスケーラビリティ 7
5 まとめ 7
6 参考資料 8

商標

C7000™ and C7™ are trademarks of Texas Instruments.
ARM®, Cortex®, and TrustZone® are registered trademarks of Arm Limited.
Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

テキサス・インスツルメンツ (TI) の TDAx ファミリのデバイスは、エッジ コンピューティング、人工知能 (AI)、コンピュータ ビジョンなどの処理をオフロードするドローン システムのコンパニオン コンピュータ機能に最適です。このスケーラブルな SoC デバイス ファミリは、先進運転支援システム (ADAS) の車載ビジョン、センサ フュージョン、自動運転向けに設計されています。このホワイトペーパーでは、空中システムに焦点を当てていますが、ここで説明する TDAx デバイスの機能は、海上アプリケーションや無人地上車両にもメリットがあります。

図 1-1 に示すように、最新の自律型無人航空機システム (UAS) は、フライト クリティカルな機能とより高度なインテリジェンスを分離する 2 プロセッサ アーキテクチャを採用しています。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

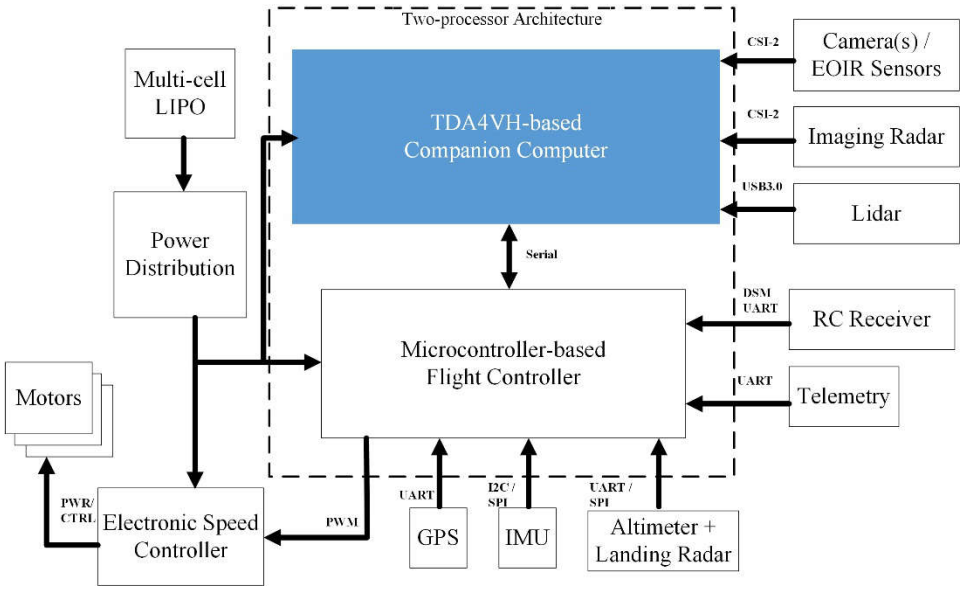


図 1-1. 代表的な自律型 UAS の電子システム ブロック図

フライト コントローラ (通常、リアルタイム ファームウェアを実行する専用マイコン) は、低レイテンシの安定化、姿勢推定、モーター制御を管理します。コンパニオン コンピュータはそれと並行して配置され、フライト コントローラの能力を上回る演算集中型のタスクを実行する強力なコプロセッサとして機能します。たとえば、カメラと LiDAR の間でのセンサ フュージョン、物体検出と回避を目的とするディープラーニング推論、自己位置推測と地図作成の同時実行 (SLAM)、ミッション プランニング、高帯域幅のテレメトリ処理です。コンパニオン コンピュータはシリアル リンク経由でフライト コントローラと通信し、ナビゲーションに関するハイレベルな決定を速度または位置の設定値コマンドに変換します。ドローンの自律性要件が、単純なウェイポイントの追従からリアルタイムの状況把握や適応型の再計画に拡大するにつれ、コンパニオン コンピュータはシステム全体のインテリジェンスを決定する要因となっています。高い計算処理スループットだけでなく、航空機搭載プラットフォーム固有の厳しいサイズ、重量、電力、環境の制約を満たすプロセッサへの需要が高まっています。

商用ドローンの運用を管理する規制の枠組みが広がり、許容ミッションの範囲も拡大し、システムに求められる能力水準も高くなっています。FAA の BVLOS 免除 [7]、EASA の U-Space フレームワーク [8]、リモート ID の義務化 [9] により、ドローンには、リアルタイムの検出回避、暗号化されたテレメトリ ブロードキャスト、無人航空機運航管理 (UTM) システムとの統合 [10] が求められ、コンパニオン コンピュータにすでに課せられている AI とセンサ フュージョンに対する負荷がさらに高まっています。これらの要件を満たすには、処理能力に余裕のあるプロセッサが必要です。センサ データの処理で能力の限界に近づいているコンパニオン コンピュータでは、プラットフォームを再設計せずに、法規制に対応するためのワークロードを追加することはできません。TDAx ファミリの異種アーキテクチャは、AI 推論、深度処理、汎用コンピューティングを同時に実行するための専用アクセラレーションを備えており、コアの自律機能を損なうことなく、このような規制対応のワークロードにも対応することができます。

自動車メーカーが物体検出、ドライバー監視、衝突回避などのため ADAS への機械学習ハードウェアの導入を急速に進めている中、ドローン コンパニオン コンピュータに似たエッジ コンピューティング要件が自動車業界でも高まっています [1]。このような ADAS コンピューティング プラットフォームは、サイズ、重量、電力、コスト (SWaP+C) の点で非常に制約があり、エネルギー効率の向上が課題となっています。消費者の需要、政府の安全規制、レベル 5 自動運転の実現に向けた競争から継続的な投資が進み、世界中の量産型 ADAS ソリューションへエッジ コンピューティングと AI アクセラレーションを組み込む手段として TI の TDAx プロセッサが広く採用される状況となっています。TDAx デバイスは、従来の信号処理や機械学習の推論アルゴリズムを実行する目的で、汎用コンピューティング クラスタとデジタル信号処理コンピューティング クラスタを統合しています。受動冷却を活用する小型パッケージにより、スペースに制約のあるシステムでも動作できるようになっています。これらの ADAS 市場主導の SWaP+C 最適化を活用し、UAS システムの革新と最適化を実現できます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

ドローン設計者は、コンパニオン コンピュータ アプリケーションにいくつかのプロセッサ プラットフォームを利用できます。また、プロセッサの選択は、システムの信頼性、開発コスト、長期的な供給確保に大きな影響を及ぼします。主にクラウド エッジまたはロボット アプリケーション向けに設計されたコンシューマおよび組込みコンピューティング用のプラットフォームは通常、過酷でない動作環境を対象としており、産業用温度範囲、パッシブ熱管理機能、供給継続性に対するコミットメントには、これらの優先事項が反映されています。これに対して TDAx ファミリは、自動車の室内やボンネット下の厳しい熱、振動、湿度環境でも動作するように設計されています。これらは、航空機搭載プラットフォームで発生する環境ストレスと非常に類似しています。TDAx は、–40℃ ～ 125℃ の接合部温度範囲、受動冷却機能、AEC-Q100 車載認証を備えており、コンシューマ グレードの AI アクセラレータにはない信頼性を提供します。大幅なディレーティングまたはアクティブ熱管理が必要なコンシューマ向けのシリコン製品とは異なり、TDAx は、ドローンの性能に影響を及ぼす重量や電力消費の課題を解決できます。

2 SoC アーキテクチャ

このホワイトペーパーで説明している TDA4VH-Q1[2] は、TI の TDAx シリーズの中で最も統合度の高いメンバーです。TDA4VH-Q1 は、16nm FinFET プロセスを基礎として構築されており、一連の異種コンピューティング クラスタを統合しています。各クラスタは、特定のタスクを効率的に実装できるように特化された設計になっています。オンチップ メモリと高性能ペリフェラルを内蔵しており、TDA4VH-Q1 SoC 内、および外部デバイスやドローン サブシステムとの間で、効率的なデータ転送を実現できます。

TDA4VH-Q1 の接尾辞である -Q1 は、完全な AEC-Q100 車載認定 [11] を取得し、システム レベルで ASIL-D までの ISO 26262[12] 機能安全開発に対応していることを表しています。この認証は、ハードウェアの信頼性の実証と文書化された安全開発プロセスが前提条件である FAA または EASA フレームワークにおいて、目視外 (BVLOS) 運用の規制承認を取得する商用ドローン設計者にとって重要性を増しています。TDA4VH-Q1 には、ロックステップ CPU コア、ECC (誤り訂正符号) メモリ保護、内蔵セルフテスト (BIST) 機能などの専用の安全機能が搭載されています。これらは、コンシューマ用または一般的な組込み市場向けに設計されたプロセッサには搭載されていません。ドローン OEM は、ゼロから構築する代わりに、TI の既存の車載用安全資料と機能安全マニュアルを活用することで、迅速に安全ケースを開発できます。

2.1 ベクトル DSP と行列演算のコンピューティング クラスタ

DSP コンピューティング クラスタには、TI C7000 ベクトル DSP コアと行列乗算アクセラレータ (MMA) が搭載されています。分かりやすくするため、C7000™ デジタル信号プロセッサ (DSP) と MMA の組み合わせを、以下では C7™ ニューラル プロセッシング ユニット (NPU) と呼びます。図 2-1 に示すように、TDA4VH-Q1 DSP コンピューティング クラスタで使用可能な C7 NPU コンピューティング エンジンのインスタンスは 4 つあります。

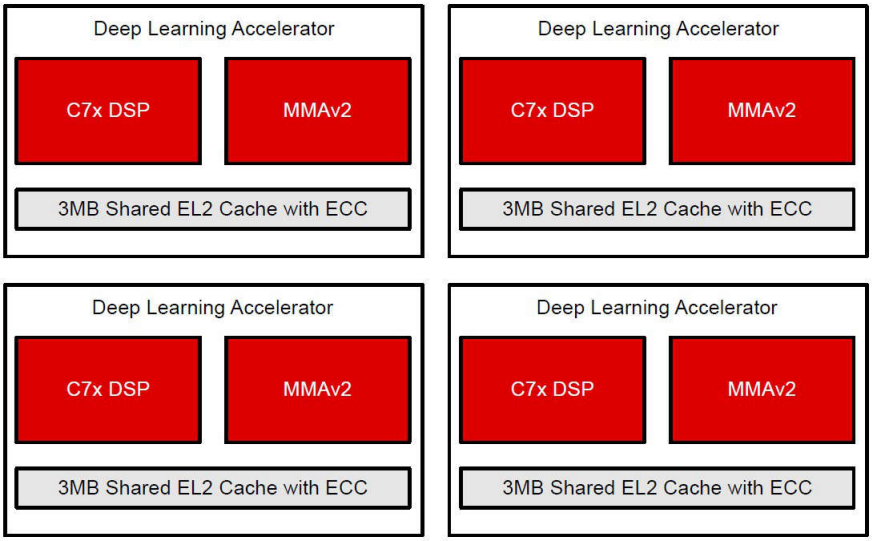


図 2-1. TDA4VH-Q1 のクワッド C7 NPU コンピューティング クラスタ

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

512 ビットのデータ幅と効率的なデータ ストリーミング アーキテクチャにより、MMA は機械学習の推論処理において行列演算で高いスループットを維持できます。たとえば、MMA は 8 ビット オペランドを使用して、クロック サイクルごとに 64 要素の内積を 1 つのスループットで実行できます。これには、クロック サイクルごとに 4,096 の積和 (MAC) 演算が含まれ、合計の演算数は 8,192 回になります。MMA はこの計算を継続的に実行でき、最大 1GHz のクロック レートで動作するため、MMA は 1 秒あたり 8 TOPS の処理が可能です。

4 個の C7 NPU サブシステムのそれぞれで個別のニューラル ネットワーク モデルを計算することができ、合計 32TOPS の機械学習推論性能を実現します。また、単一の大型モデルを複数の C7 NPU で実行することもできます。C7 NPU メモリ システムは、このパフォーマンスを最大限に活用するように設計されています。4 つの C7 NPU コンピューティング・エンジンのそれぞれは、レベル 1 (L1) 命令キャッシュとデータ・キャッシュ、レベル 2 (L2) キャッシュ RAM、モデルの保存および実行用の 3MB 拡張 L2 RAM と緊密に結合されています。

C7 DSP コアのプログラミングの柔軟性により、AI 計算を実行しない場合は、高速フーリエ変換 (FFT) や SLAM 計算で一般的に必要な複雑な行列演算など、従来の信号処理タスクにネイティブのベクトル DSP 命令を活用できます。C7000 VLIW (Very Long Instruction Word) アーキテクチャは、高度な並列処理を実現して、高スループットの SIMD (Single Instruction Multiple Data) 演算を可能にします。表 2-1 に示すように、テキサス・インスツルメンツが最適化した FFT ライブラリ [3] には、FFT 計算用に高度に最適化されたカーネルが含まれています。

表 2-1. シングル C7 DSP の FFT 性能

FET のパラメータ		512 ビット幅の C7 DSP 性能 (サイクル)	
FFT サイズ	FFT の数	Int16 データ型	32 ビット浮動小数点データ型
512	32	7,195	15,521
1024	16	9,364	17,988
2048	8	8,708	18,674
4096	4	11,281	21,945
8192	2	10,418	22,642

たとえば、16 個のデータ チャネルの距離計算では、1 個の C7 DSP は、17,988 の命令サイクル内で最大 16 個の 1,024 ポイント浮動小数点 FFT を同時に計算できます。1GHz フル クロック レートで動作している場合、これら 16 個の FFT 計算は 18uS 未満で完了します。ただし、このような計算を継続的に実行すると、バックグラウンドのデータ移動に対して 12 ～ 17% のサイクル ペナルティが追加で発生します。したがって、メモリ転送の 16% オーバーヘッドを考慮すると、持続的なスループットは 767,000 回の 1,024 ポイント FFT/秒になります。

2.2 ビジョンおよびモーション処理アクセラレータ

TDA4VH-Q1 は、C7 NPU コンピューティング クラスタに加えて、オンチップのビジョン処理アクセラレータ (VPAC) や、深度 / モーション認識アクセラレータ (DMPAC) も搭載しています。これらのアクセラレータは、画像とモーションの前処理を行い、コンピュータ ビジョン アプリケーション向けのディープ ラーニング アルゴリズムと組み合わせて動作するように設計されています。VPAC パイプラインが、ハードウェア アクセラレーションによるレンズ歪み補正、ノイズ フィルタリング、画像統計の抽出を実行するため、C7 NPU サイクルを消費せずに、AI 推論用にカメラ フレームを調整できます。これは、複数の独立したビデオ ストリームを同時に処理する必要がある、マルチカメラのドローン構成では特に重要です。

DMPAC は、高密度のステレオ デプス マップとピクセル単位の光学フロー ベクトルをハードウェアで計算し、自律型ドローンのナビゲーションとして、最も計算負荷の高い 2 つの演算をオフロードします。ステレオ デプス マップは、リアルタイムの衝突回避に必要な障害物近接データを提供します。高密度の光学フローは、慣性計測ユニット (IMU) データと融合することで、GPS 受信不能環境で安定したホバーリングを実現する速度推定を行うことができます。これは、屋内検査、トンネル調査、電波競合環境での処理に不可欠な機能です。どちらの出力も決定論的なレイテンシで生成されるため、Micro Air Vehicle Link (MAVLink) [13] または Robot Operating System 2 (ROS 2) [16] 経由でのフライト コントローラへの閉ループ フィードバックに活用できます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.3 ARM® Cortex®-A72 CPU コア

TDA4VH-Q1 には、クロック速度が最大 2GHz の ARM®Cortex® -A72 コアが 8 個搭載されています。8 個のコアは 2 つの独立したクワッドコア クラスタとして構成され、それぞれに専用の 2MB 共有 L2 キャッシュがあります。また、各コアには 48KB L1 命令キャッシュと 32KB L1 データ キャッシュがあります。2 クラスタ構成になっているため、各クラスタを個別のオペレーティング システム インスタンスに同時に割り当てることができます。たとえば、ソフトウェア ハイパーバイザ全体のオーバーヘッドを発生させることなく、1 つのクラスタで Linux® を実行し、もう 1 つのクラスタで QNX や FreeRTOS などのリアルタイム オペレーティング システムを実行できます。より複雑なマルチ OS 構成には、ARMv8-A EL2 例外レベルでのハードウェア仮想化を使用できます。ARM TrustZone® のセキュリティ拡張機能により、セキュアな実行環境とセキュアでない実行環境をハードウェアで強制的に分離し、暗号化されたテレメトリとリモート ID 準拠のワークロードに対して、信頼できる実行環境とセキュア ブート フローを実現できます。

このクラスタは、システム アプリケーション全体と汎用タスクの実行に使用します。通常は、Linux などの汎用オペレーティング システム内で実行します。このクラスタには、機械学習アクセラレーションもホストできます。C7 NPU 用に最適化されていないモデルにフォールバック実行パスを提供し、開発に最大限の柔軟性をもたらすことができます。TI のプロセッサ SDK は、TDA4VH-Q1 で Linux、QNX、FreeRTOS の事前統合サポートを提供します。OpenVX ミドルウェアと TIDL ランタイムライブラリを使用することで、A72 クラスタは SoC 上のすべてのコンピューティング エレメントのワークロードを調整することができます。

2.4 ARM Cortex-R5F CPU コア

TDA4VH-Q1 には、最大 1GHz で動作する 8 個の ARM Cortex-R5F コアが搭載されており、異なる役割と安全特性を持つ 2 つの異なるサブシステムが編成されています。これらのコアのうち 2 つは専用のマイコン セーフティ アイランドを形成し、メイン SoC コンピューティングとは独立した絶縁型電源ドメインで動作することで、Cortex-A72 クラスタから完全に独立してファームウェアを実行します。メイン コンピューティング ドメインの電源がオフになっているか、故障が発生した場合でも、動作を継続できます。残りの 6 個の Cortex-R5F コアはメイン コンピューティング ドメインに配置されており、確定的なタイミングを必要としますが、セーフティ アイランドと同じ絶縁要件を持たないリアルタイム ミドルウェア、センサ インターフェイス管理、プロセッサ間通信タスクに使用されます。

従来型のドローン アーキテクチャでは、フライト コントローラの機能 (安定化ループ、姿勢推定、モーター制御) は、コンパニオン コンピュータの外部にある別の専用マイコンにホストされ、MAVLink または DroneCAN を介して通信を行います。この分離はほとんどのプラットフォームに適しており、フライト コントローラ ハードウェアを独立して選択し、認定することができます。しかし、固定翼の micro-UAS、シングルボード ナノドローン プラットフォーム、密統合のペイロード モジュールなど、SWaP の制約が厳しい設計の場合、TDA4VH-Q1 の組込みマイコン機能により、フライト コントローラとコンパニオン コンピュータの機能を単一の SoC に統合できます。この統合パスは、安全性絶縁の認証を取得した専用のリアルタイム マイコン サブシステムがない汎用 AI アクセラレータでは利用できません。

2.5 オンチップ メモリと高性能インターフェイス

TDA4VH-Q1 SoC アーキテクチャには、密結合されたオンチップ RAM が搭載され、各コンピューティング クラスタにマルチレベル キャッシュ システムの洗練された配置が採用されています。8MB の L3 共有 RAM により、デバイス内でのスループットとデータ共有を効率的に行うことができます。SoC は ARM、DSP、MMA コアで共有 RAM アーキテクチャを活用しており、コストのかかるメモリ コピーではなく、ポインタを渡すことでデータを共有します。TDA4VH-Q1 には、LPDDR4 メモリと互換性のある 4 つのメモリ インターフェイス モジュールがあり、68GB/秒の合計 DDR スループットを実現します。さらに、10Gb/秒のイーサネットやマルチレーン PCIe など複数の高速インターフェイスを活用して、柔軟なシステム データ フローを実現できます。

TDA4VH-Q1 の柔軟なシリアル ペリフェラルおよびネットワーク ペリフェラルを使用して、ドローンのフライト コントローラとの統合を実現しています。このデバイスは UART、CAN-FD、ギガビット イーサネット インターフェイスをサポートしており、すべて一般的なオートパイロット ファームウェアで使用されます。UART または UDP を介した MAVLink 2 メッセージングにより、コンパニオン コンピュータは機体状態のテレメトリを受信し、PX4 [14] または ArduPilot [15] を実行しているフライト コントローラに速度、位置、または姿勢の設定値コマンドを発行できます。ROS 2 アーキテクチャを使用する設計では、PX4 v1.14 以降で利用可能な Micro XRCE-DDS [17] ブリッジを使用すると、コンパニオン コンピュータがイーサネット上のネイティブ ROS 2 ノードとしてフライト コントローラと対話できます。これにより、UART ベースの MAVLink よりも低レイテンシになり、メッセージのスループットが高くなります。さらに、CAN-FD インターフェイスは、UAVCAN/DroneCAN[18]

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

ペリフェラル ネットワークと統合するためのパスを提供します。フライト コントローラを経由することなく、ESC テレメトリ、GPS モジュール、対気速度センサに直接アクセスできます。

2.6 パッケージと消費電力

TI TDA4VH-Q1 は、IPC Class 3 PCB 配線が可能な小型の 31mm×31mm フリップ チップ ボール グリッド アレイ (FCBGA) パッケージに封止されています。動作接合部温度範囲が –40°C ～ 125°C のため、受動冷却設計での採用が可能です。TDA4VH-Q1 の総消費電力は、使用事例だけでなく、アプリケーション ソフトウェアで有効にする機能によっても異なります。ただし、TI では、実際のシステム ハードウェアを設計する前にさまざまな使用事例で消費電力を迅速に評価できるように、使いやすい消費電力推定ツール [4] を提供しています。すべてのコンピューティング コアとインターフェイスを完全に使用したワーストケースでは、TDA4VH-Q1 の消費電力は 105°C の接合部温度で 35W 未満です。

TDAx 導入に最も関連性のあるクラスのドローン プラットフォームの場合 (産業検査、調査、ロジスティクス、防衛アプリケーションに使用される離陸重量範囲 3kg ～ 25kg のマルチローター システム)、標準的なコンパニオン コンピュータの電力バジェットは、10W ～ 20W です。TI の消費電力推定ツールを使用すると、ワーストケースのシナリオではなく、現実的なワークロードをモデル化できます。たとえば、C7 NPU クラスタで 2 つの物体検出モデルを同時に実行する代表的な構成、DMPAC でのステレオ深度処理、Cortex-A72 クラスタでの Linux アプリケーションの管理は、10W ～ 15W の範囲内で適切に動作します。これにより、追加のワークロードやより積極的なデューティ サイクル用に熱および電力的に余裕を残すことができます。消費電力バジェットがより厳密で小規模なプラットフォームを採用した場合は、TDAx ファミリのより下位のメンバーを利用することで、アプリケーションに適したサイズのコンピューティング能力と消費電力を実現することができます。

3 機械学習ソフトウェア開発ツール

TI の開発ツールとソフトウェア開発パッケージを活用すると、各コンピューティング クラスタ向けに最適化されたファームウェア イメージの開発と準備を容易に行うことができます。

3.1 TI ディープ ラーニング ツール

機械学習ソフトウェア開発という点では、TI ディープラーニング (TIDL) ツール [5] は独自モデルの導入 (BYOM) アプローチを採用しています。データ サイエンティストや組込みシステム設計者は、既存のカスタム ツール フローやオープンソースの AI トレーニング プラットフォームを再利用できます。SoC にニューラル ネットワーク モデルを導入するために、以下の業界標準の機械学習モデル ランタイム フォーマット オプションを使用できます。

- TensorFlow Lite ベースの推論
- ONNX ランタイムベース推論
- TVM/Neo-AI-DLR ベースの推論

TIDL ライブラリを使用して、これらの各ランタイム モデルをコンパイルすると、C7 NPU (TIDL-RT) 上でのみ実行するか、Cortex-A72 + C7 NPU (OSRT) 全体で実行することができます。

3.2 TI Edge AI Studio

TIDL に加えて、TI の Edge AI Studio [6] は TI TDAx エッジ プロセッサ上で AI アプリケーションを開発するための包括的なツール スイートを提供します。Edge AI Studio は、すべての TI デバイスでロイヤリティフリーで利用できます。このスタジオには、以下のツールが含まれています。

- Model Composer は、エッジ AI アプリケーションへのモデルの展開に適した、トレーニングおよびコンパイル用の統合型ノーコード ソリューションです。このツールは BYOD をサポートしており、TI Model Zoo と開発者独自のカスタム データを使用して、モデルの再トレーニングを実施することができます。ローカルの開発ボードにデプロイできます。
- Model Analyzer は、リモート アクセス可能な開発ボードを使用し、アクセラレーション形式のディープ ラーニング推論機能を評価することができます。数百種類の最適化済みモデルからモデルを選択できます。また、カスタム モデルを使用して、TI の TDAx SoC 上でレイテンシ、フレーム/秒の処理能力、DDR の帯域幅、精度に関するベンチマークを取得することができます。
- TI Model Zoo は、コンピュータ ビジョンのさまざまなタスク向けのディープ ラーニング モデルのサンプルを集めた TI のリポジトリです。これらのタスクには、画像分類、セグメンテーション、物体検出が含まれます。このリポジトリのモデルは、x86 PC 上のホスト エミュレーション モードまたは TI の開発ボード上で実行できます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

図 3-1 に、TI デバイスにおける DNN の開発と導入の全体的なワークフローを示します。

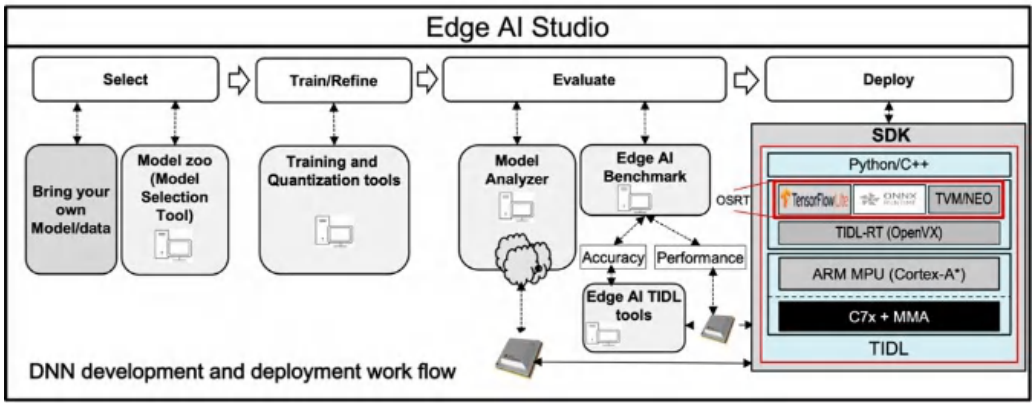


図 3-1. TI デバイスにおける DNN の開発と導入

付属のトレーニングおよび量子化ツールは、一般的なフレームワークに対応しています。データ サイエンティストは、TI のデバイス上で DNN を効率的に操作することができます。TIDL ツールには、開発者が TI の TDAx SoC に導入したエッジ AI モデルの精度と性能のベンチマークを実行するための AI ベンチマーク フレームワークも含まれています。

4 TDAx ファミリのスケーラビリティ

このホワイトペーパーで説明している TDA4VH-Q1 は、TI の TDA4x プロセッサファミリの中で最も統合度の高いメンバーです。このファミリは、さまざまなコンピューティング性能やパワー エンベロープなど、実製品の開発に対応したさまざまなオプションを備えています。これにより、ドローン設計者はアプリケーション ソフトウェアを書き直すことなく、プラットフォーム クラスに適したデバイスを選択できます。プロセッサ SDK と TIDL の各ツールチェーンはファミリ全体で共通しています。そのため、一方のデバイスで開発したソフトウェアは、最小限の変更だけで他のデバイスに再展開できます。さらに、TDA5 次世代デバイスは、性能と IP 統合をさらに強化します。表 4-1 に、TDAx ファミリの一部の製品のキー パラメータを示します。

表 4-1. TDAx ファミリのスケーラビリティ

プロセッサ ファミリのメンバー	アプリケーション コア (MPU)	ディープ ラーニング (C7x DSP/MMA)	オンチップと外部メモリ インターフェイス
TDA4VM-Q1	2 個の Arm Cortex-A72	1 個の C7x DSP + MMA	8MBytes L3 + 1x LPDDR4
TDA4VE-Q1	2 個の Arm Cortex-A72	2 個の C7x DSP + MMA	4MBytes L3 + 2x LPDDR4
TDA4VH-Q1	8 個の Arm Cortex-A72	4 個の C7x DSP + MMA	8MBytes L3 + 4x LPDDR4
TDA54-Q1 (次世代)	8 個の Arm Cortex-A720AE	4 個の C7 ニューラル プロセッシング ユニット (最大 400TOPS)	24MBytes L3 + 4 LPDDR4/5x

このスケーラビリティは、軽量の固定翼監視プラットフォームから大型貨物用の UAS まで、さまざまなペイロード クラスの製品ファミリを開発しているドローン メーカーにとって実用的なメリットとなります。これにより、統合された AI ソフトウェア スタックをパフォーマンスとパワー エンベロープが異なるプロセッサ上で実行することができます。さらに、共通のツールチェーンにより、ターゲット プラットフォームの最終的な最適化の前に、より高性能なデバイスでアルゴリズムの開発と検証を開始することもできます。

5 まとめ

TI の TDAx プロセッサ SoC は、ADAS アプリケーションで 3 年以上の大量導入実績がある AI コンピューティング プラットフォームであり、専用開発またはコンシューマ グレードの代替製品では実現できない信頼性と供給継続性を備えています。この実績は、単なるマーケティングにとどまらず、自律型ドローンの熱、振動、運用上の要求に対する検証済みの堅牢性を実証するものです。この実証には、長期的な産業および防衛プログラムをサポートするように設計されたサプライチェーンも含まれています。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

ADAS とドローンのコンパニオン コンピュータのアーキテクチャ要件は一致しています。異種 AI アクセラレーション、ハードウェア アクセラレーションによるビジョンおよび深度処理、パッシブな熱処理、広い産業用温度範囲により、空中、海上、陸上の各プラットフォームにおけるコア SWaP+C の制約に妥協なく対応できます。コンピューティング層全体にまたがる TDA4x ファミリのスケーラビリティと、オープン標準ベースで構築された共通のソフトウェア スタック (TensorFlow Lite、ONNX Runtime、ROS 2、MAVLink) を組み合わせることで、ドローンの設計者はゼロから開発するのではなく、成熟した開発エコシステムを継承することができます。

厳格化を増す規制環境に直面しているドローン OEM にとって、TDA4VH-Q1 の AEC-Q100 認証と ISO 26262 の機能安全サポートは、BVLOS 認証取得に向けた確固たる基盤を提供します。TI の Edge AI Studio と TIDL ツールチェーンとの連携により、AI モデルの開発からフライト対応のコンパニオン コンピュータの導入までの過程を適切に定義し、十分なサポートを利用しながら進めることができます。

6 参考資料

1. P. S. Chib and P. Singh、「Recent Advancements in End-to-End Autonomous Driving Using Deep Learning: A Survey」、*IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*、vol.9、no. 1、pp. 103 ～ 118、2024 年 1 月
2. テキサス・インスツルメンツ、「ビジョン認識と分析向け、Octal Arm® Cortex®-A72、32 TOPS の AI、C7xDSP および GPU を搭載した TDA4VH-Q1 SoC」、製品ページ
3. テキサス・インスツルメンツ、プロセッサ SDK RTOS J784S4
4. テキサス・インスツルメンツ、J784S4、TDA4VH、TDA4AH、TDA4VP TDA4AP、AM69 消費電力推定ツール
5. テキサス・インスツルメンツ、TIDL-TI ディープ ラーニング製品、Github リポジトリ
6. テキサス・インスツルメンツ、CCStudio™ Edge AI Studio
7. 米連邦航空局、「*Normalizing Unmanned Aircraft Systems Beyond Visual Line of Sight Operations*」、立法案公告
8. 欧州委員会、「Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 — Regulatory Framework for the U-Space」
9. 米連邦航空局、「Remote Identification of Unmanned Aircraft」、14 CFR Part 89、最終規則、2021 年 1 月
10. 米連邦航空局、「Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM) Concept of Operations, Version 2.0」、運用計画書
11. Automotive Electronics Council、「AEC-Q100 Rev J: Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Integrated Circuits」
12. 国際標準化機構、「ISO 26262-1:2018 — Road Vehicles:Functional Safety」、2018 年第 2 版
13. MAVLink Community / Dronecode、「MAVLink 2 Protocol Specification」
14. PX4 Development Team / Dronecode、「PX4 Autopilot User Guide」Zenodo, doi: 10.5281/zenodo.20170875
15. ArduPilot Development Team、「ArduPilot Documentation」
16. S. Macenski、T. Foote、B. Gerkey、C. Lalancette、W. Woodall、「Robot Operating System 2: Design, Architecture, and Uses In The Wild」、Science Robotics、vol. 7、no. 66、2022 年、doi: 10.1126/scirobotics.abm6074
17. Object Management Group。「DDS for eXtremely Resource Constrained Environments (DDS-XRCE) Specification, v1.0」、2018 年
18. DroneCAN Community、「DroneCAN Specification v1」、Github ページ

Copyright © 2026 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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月