

エネルギー消費を 最小限に抑えながら マイコンのパフォーマンスに 新たな標準を確立



Dave Smith

製品マーケティング・エンジニア
テキサス・インスツルメンツ

Evan Wakefield

新製品アプリケーション・エンジニア
テキサス・インスツルメンツ

現在および将来の製品がますますインテリジェントになる一方で、私たちは増大し続ける膨大なデータを処理する必要性に直面しています。これらのデータを収集するためにセンサ・ネットワークが展開され、数多くの場所で発生するイベントを記録しながら、異なるソースから異なる多くの種類のデータをさまざまな用途に向けて収集しています。

ホーム・セキュリティ・センサは、ドアや窓が開けられたなどのイベントを検出することで、家庭に安心感を提供します。産業用ポンプに設置されたセンサからのデータは、工場の所有者が早期の警告を検出して障害の発生を防ぎ、長期的な保守コストを削減するのに役立ちます。分散されたメッシュ・ベースのセンサ・ネットワークからのデータは、地質学的なイベントの処理にも使用され、緊急時の対応に時間的な余裕を与えます。ほとんどの場合、このようなシステムに記録されたデータは、処理、分析、および意思決定のために中央のノードに送信される必要があります。このような恒常的なデータ・ストリームは、電力と時間の両方において高コストとなる可能性があります。ローカルなインテリジェンスを追加して個々のセンサをスマート・センサ・ノードに変えることにより、より高度なローカル処理やエッジ処理を使用して、システムの全体的な応答時間および効率を向上させることができます。

また、システムのエッジで実行された推論的な計算も中央ノードに送信できます。これにより、必要な無線通信の回数が減り、重大なシステム・イベントの発生時にリアルタイムの意思決定が可能になります。たとえば、ドライブ・システム内のギアが磨耗し、歯が破損した場合には、システムの周波数シグネチャが変化します。このような変化を検出して分析することで、システムでは、技術者がモーターを調査し、必要に応じて修理できるようになるまで、モーターをシャットダウンするかどうかを決定できます。今日では、このインテリジェンスは一般に、ローエンドのデジタル信号プロセッサ (DSP) として、または高性能マイコン (MCU) として実装されています。これらの各オプションにはそれぞれ長所と短所があり、ローエンドのDSPであっても、センサ・ノードのパフォーマンス要件によっては過剰となる場合があります。多くのローエンドDSPは、データの収集と格納のために外部のA/Dコンバータ (ADC) または外部メモリを必要とします。これらの追加コンポーネントは、合計のアプリケーション・コストや消費電力に対して余分なオーバーヘッドを生じさせます。たとえば、前述のホーム・セキュリティ・システムでいえば、複数の建物に窓やドアがいくつかあるかを考えてみてください。メリットがある一方で、多くの消費者は、複数の高価なガラス破損検出システムに費用を支払うのには消極的です。これらのDSPベースのシステムでは、音声振動データの分析に高速フーリエ変換 (FFT) を利用して、窓が割られたかどうかを判断します。また、これらのシステムは比較的多くの電力を必要とするため、すべてのセンサに恒久的な有線電源が接続されていない限り、定期的なバッテリー交換が必要となります。



一方、マイコンを使用する場合は、最小限の計算能力しか利用できないことが多いため、エッジ処理は困難な課題となります。たとえば、Cコードで実装されているFFTを実行すると、専用のハードウェア・ペリフェラルを持つDSPを利用した場合と比べて、ずっと長い時間がかかります。この時間差は、マイコンが長時間アクティブ・モードで動作する非効率性だけでなく、さらに重要なこととして、時間的な要件が厳しい状況では、結果の遅延にもつながる可能性があります。本質的に、この時間ギャップは、IoT (Internet of Things) の実現可能性を低下させる要素となっています。なぜなら、IoTの概念は以下の2つの考えを前提としているからです。

1. 中央のハブが数十億個の接続されたデバイスと通信し、それらのデバイスからのデータを処理することができる。
2. 接続されたデバイスが相応のインテリジェンスを持ち、シンプルなエンドユーザー体験を実現できる。

ここで、別の例を考えてみましょう。パーソナル・アシスタントを搭載したワイヤレス・スピーカーや、モバイル・ハンドセット・デバイスでは、ユーザーの自然言語を処理して曲を選択したりピザを注文したりできます。人々はさまざまなアクセントや口調、方言などで話すため、これは非常に複雑な処理を必要とします。エンド・ノードでのデジタル信号処理を使用して、ユーザーが発声する可能性のある膨大な数のフレーズを解釈することは確かに可能ですが、それにはコストの高い、そしておそらくは物理的にも大きなソリューションが必要となり、デバイスの携帯性に影響を与えます。また、バッテリーの寿命も重要な考慮事項であり、1日に2回以上も充電が必要なようでは、消費者が興味を失ってしまいます。現在、この問題は、ポータブル・デバイスが単純に鍵となる単語やフレーズを監視して検出することにより対処されています。その検出をトリガとしてシステムは中央サーバーへのデータのストリーミングを開始し、そこで高度な分析を行って、接続されたデバイスに応答を返します。これは、このような種類の先進処理アプリケーションで一般的に使用されている手法ですが、電力効率が悪いので、ユーザーが許容できる充電間隔はどれくらいかという懸念が生じます。

アプリケーションによっては、毎日の充電が許容される場合もありますが、消費者は明らかに、1回の充電で1週間以上動作できるソリューションの方を好むでしょう。ここでもう一度、ガラス破損検出やモーター監視について考えてみましょう。たとえバッテリー充電の間隔が1週間であっても、数千個のモーターが稼働する大きな工場にとっては、実用的なソリューションとは言えません。最終的には、マイコンが持つ低消費電力という利点と、DSPの強化されたパフォーマンスとを組み合わせることで、推論的なエッジ・コンピューティングに必要なインテリジェンスとデータ処理能力に大きな進歩がもたらされます。そこで、より高度なハードウェアが要求されることになります。

古い問題への新しい解決策

専用のハードウェア・アクセラレータを使用して、マイコンがデジタル信号処理エンジンの前処理能力の一部を備えることができるとしたらどうでしょうか。これらのマイコンは、すばやくウェイクアップしてデータのフィルタリングやFFTを実行できるだけでなく、スタンバイ・モードでコンパレータやADCを活用して、ウェイクアップのタイミングを判断することもできます。これにより、産業用と民生用の両方の分野のさまざまなアプリケーションでリアルタイムの結果を提供できるほか、システムの消費電力を削減することで、バッテリー寿命を数日から数年へと延ばすことができます。

今日のいくつかのマイコンでは実際にDSPアクセラレータを選択することができますが、中央処理装置(CPU)を限界まで稼働させる傾向があるため、かなりの量のエネルギーを消費します。[MSP430™マイコン・プラットフォーム](#)に導入されている低エネルギー・アクセラレータ(LEA)をはじめとした、マイコン内の新しいDSPコプロセッサは、消費電力に配慮しコスト効果に優れた方法でパフォーマンス能力を強化することにより、マイコンとローエンドDSPの間のギャップを埋めます。LEAモジュールを搭載したマイコンは、専用のハードウェアでDSP機能を実行し、低電力モードに遷移することができるため、より複雑な推論的計算を実行しながら、システム全体の消費電力を削減できます。これによって、アプリケーションでは次のいずれかが可能になります。

- A. より長い時間にわたり低電力モードで動作することで、アプリケーションの合計消費電力を効果的に削減する。
- B. 計算に専念し、アプリケーションの動作速度を高める
- C. IoTアプリケーションでマスタ・ノードとワイヤレス通信を行うなど、アプリケーションで他の機能を実行できるようにする。

将来的に、接続されたデバイスの幅広い普及を実現するためには、これらすべてのオプションが重要となります。特に、マイコンがよりスマートになれば、接続されたデバイスはすばやく簡単に、低いコストと高いエネルギー効率でユーザーにデータを提供できるようになります。

LEAモジュールは、各種のMSP430デバイスに搭載されているベクトル数学エンジンです。このモジュールは、信号処理や行列の乗算など、通常はアプリケーションの実行時に長い時間と大きなエネルギーを要して行うような計算を実行できます。CPUの介入なしで動作するLEAモジュールは、低消費電力のコプロセッサであり、演算が完了した時点で割り込みをトリガします。LEAモジュールは、構成時に提供されたコマンドに基づいて動作します。これらのコマンドは、メモリ入力/出力バッファおよび動作の種類を指し示すポイントとして機能します。これらのコマンドは [MSP DSPライブラリ](#) を通して簡単に使用できるようになっています。このライブラリは、特にMSP430マイコン用に構築および最適化されたものであり、プログラマーによって選択されたDSPアプリケーションに対応できます。デバイスにLEAモジュールが搭載されている場合、コンパイラは自動的にそれを使用して、既に実装されているMSP Cコード最適化手法に加えてさらにパフォーマンスを最適化します。

デジタル信号処理を利用するアプリケーションでは、エンド・ツー・エンド・ソリューションの実現に必要なさまざまな異なる技術が用いられていますが、プロセスは大きく分けて3つのステップから構成されます。

- 1) データを取得する方法。これは、センサとのインターフェイスであるADC、またはSPI、I2C、UARTなどの通信モジュールです。
- 2) データを取得した後、信号処理技術によってデータセットから目的の情報を抽出する。これは、有限インパルス応答(FIR)フィルタによる信号のクリーニング、FFTによる各種周波数アーティファクトの抽出、その他の一般的なDSP型のプロセスなどです。
- 3) データセットから情報を抽出した後、それに対して操作を行う。これは、FFTやFIRからの結果に基づいた意思決定、またはWi-Fi[®]、Sub-1GHzネットワーク、UART、I2C、SPIなどの有線または無線接続を介した計算情報のエクスポートといった形を取ります。

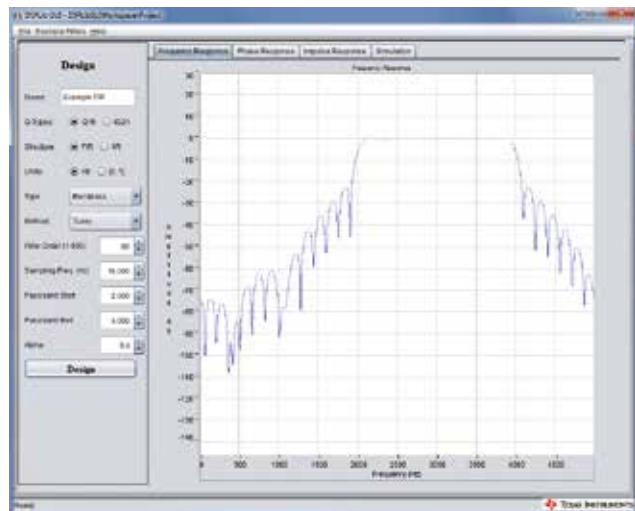


図 1. DSPLib GUI

過去には、上記のステップ2は組み込みCコードで実装されていたため、CPUへの負荷がときおり非常に大きくなり、関連する数学的計算(複雑なFIR計算など)がアプリケーションの計算時間の大半を占めることもありました。

LEAモジュールのハードウェア・アクセラレータは、消費電力とベクトル・ベース計算性能の両方に対して最適化されているため、CPUに負担のかかる機能を高速で効率的な方法によって処理し、システム全体のパフォーマンスを大きく向上させます。

このパフォーマンスの向上を実際に示す実装例が、次のTI Designリファレンス・デザインとして用意されています：[MSP FRAMマイコンでの低エネルギー・アクセラレータ\(LEA\)によるフィルタリングと信号処理](#)

下の図2は、FFT機能の処理をメインCPUで実行した場合に9.46msかかることを示しています。

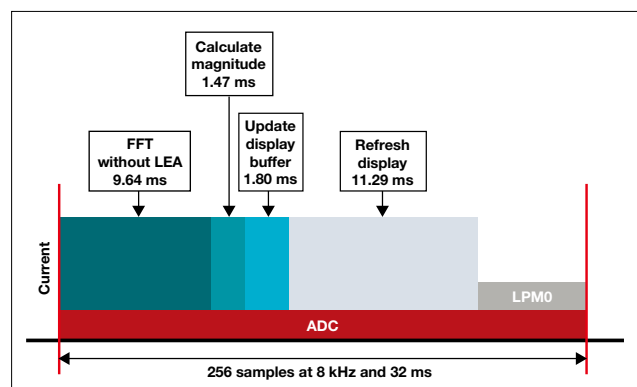


図 2. LEA モジュールがない場合の FFT ベースのアプリケーション

図3では、LEAモジュールのもたらす大きな利点として、FFT処理時間が700usに短縮されることを示しています。

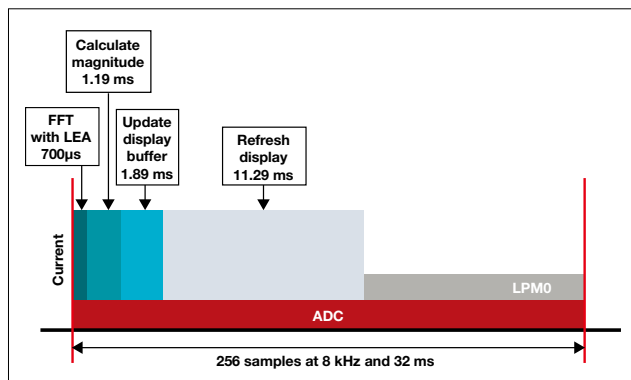


図 3. LEA モジュールを利用した FFT ベースのアプリケーション

私たちは、テストとアプリケーションによって、各種の信号処理機能を従来のCベースの16ビット・マイコンで実装した場合と比べて、パフォーマンスが最大15倍以上向上することを確認しています。また、CMSIS DSP ライブラリを使用した ARM[®] Cortex[®]-M0+ デバイスと比較すると、パフォーマンスの向上は最大40倍にも及んでいます。

LEAモジュールはこれらの複雑な信号処理動作を最適化されたCコードよりも高速に実行するだけでなく、ハードウェア・アクセラレータの消費電力が低く、LEAモジュールによってMSP430マイコンが低電力モード0 (LPM0) で動作することにより、エネルギー消費はCコードを実行する同様なMSP430マイコンと比較して最大9倍削減、またCMSIS DSP ライブラリを使用した ARM Cortex-M0+マイコンと比較すると最大12倍削減されています。

	Clock Frequency	Energy (µJ)			
		128-Point Complex FFT	256-Point Complex FFT	512-Point Complex FFT	FIR
MSP430FR5994 with LEA	8 MHz	1.228	2.219	4.424	4.378
MSP430FR5994 with LEA	16 MHz	1.182	2.092	4.184	4.065
ARM Cortex-M0+ MCU	12MHz with DC/DC	10.722	24.777	52.806	32.295
Performance improvement of MSP		9.07x	11.84x	12.6x	7.94x

表 1. パフォーマンスの比較

LEAモジュールのパフォーマンス上の利点は、実装する信号処理手法の種類によって異なります。たとえば、FFT演算のパフォーマンスは、ベクトル長や、複素FFTと実数FFTのどちらを計算しているかなど、いくつかの要素によって異なります。

FIRフィルタを実装する場合、パフォーマンスはベクトル長、順序、および複素数と実数のどちらのFIR計算を行うかなど、いくつかの変数に依存します。ただし、LEAモジュールで使用できるすべてのベクトル数学演算について、従来のCコード信号処理手法と比較して全体的に向上が見られることに着目することが重要です。

低エネルギー・アクセラレータのパフォーマンス上の利点およびベンチマークの詳細については、次のアプリケーション・ノートを参照してください：[低エネルギー・アクセラレータの信号処理能力のベンチマーク](#)

LEAを搭載したMSP430FR5994マイコン

MSP430F599xマイコンは、この新しいLEAモジュール・ペリフェラルを搭載した最初のデバイスです。これらの高性能16ビット・マイコンは、受賞歴のある超低消費電力アーキテクチャおよび最大256KBの組み込みFRAM (Ferroelectric Random Access Memory) を、高効率でありながら柔軟性も高い一連のペリフェラルと組み合わせることで、多くのデジタル信号処理アプリケーション向けの優れたマイコン・プラットフォームを形成します。

256KBの組み込み超低消費電力FRAMは、パーティションをカスタマイズ可能なプログラム・メモリおよびデータ・メモリを提供し、大きな不揮発性データ・バッファの構築を可能にします。

[MSP430FR5994マイコン LaunchPad™ 開発キット](#) (図5の写真)を使用して、今すぐ開発を開始できます。このキットには、この強力なマイコンを使用した評価や開発を開始するために必要なすべてのハードウェアが含まれています。

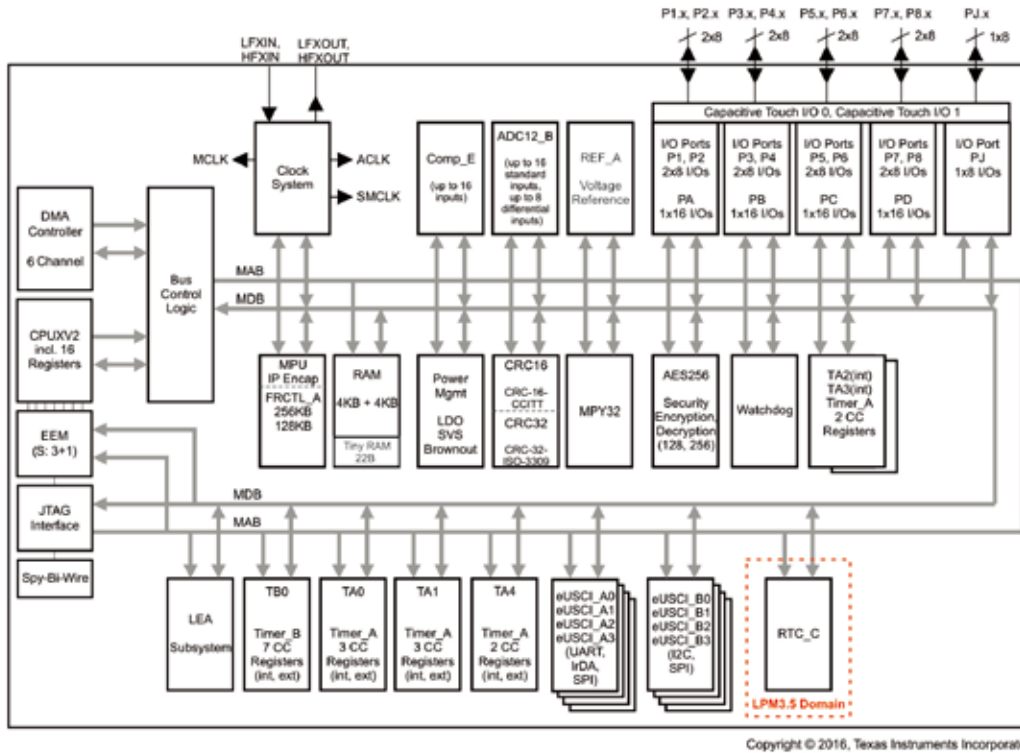


図 4. MSP430FR5994 マイコンのブロック図



図 5. MSP-EXP430FR5994 マイコン LaunchPad™ 開発キット

まとめ

マイコンまたはローエンドDSPを活用するアプリケーションは一般に多数存在します。ボコーダー、存在検出、エコー/ノイズ・キャンセル、血糖監視、構造/環境監視ネットワークなどはすべて、各種の異なる信号処理機能に分割することができます。それらの機能を使ってデータの並び替えと分析、イベントや保留中の状況の検出と対処を通じて状況を解釈することができます。それぞれのケースで、TIの低エネルギー・アクセラレータ (LEA) は、より高速でより効率的なデータ分析によってバッテリーの寿命を延ばし、パフォーマンスを向上させ、機能を高めるという利点を提供できます。

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場合がありますので、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。



ご注意

Texas Instruments Incorporated 及びその関連会社 (以下総称して TI といいます) は、最新の JESD46 に従いその半導体製品及びサービスを修正し、改善、改良、その他の変更をし、又は最新の JESD48 に従い製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての半導体製品は、ご注文の受諾の際に提示される TI の標準販売契約約款に従って販売されます。

TI は、その製品が、半導体製品に関する TI の標準販売契約約款に記載された保証条件に従い、販売時の仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査及びその他の品質管理技法は、TI が当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、適用される法令によってそれ等の実行が義務づけられている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TI は、製品のアプリケーションに関する支援又はお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI 製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI 製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションに関連する危険を最小のものとするため、適切な設計上及び操作上の安全対策は、お客様にてお取り下さい。

TI は、TI の製品又はサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、又は方法に関連している TI の特許権、著作権、回路配置利用権、その他の TI の知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TI が第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TI が当該製品又はサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証又は是認するということを含みません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない、又は TI の特許その他の知的財産権に基づき TI からライセンスを得なければならない場合があります。

TI のデータ・ブック又はデータ・シートの中にある情報の重要な部分の複製は、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と関連する全ての保証、条件、制限及び通知と共になされる限りにおいてのみ許されるものとします。TI は、変更が加えられて文書化されたものについては一切責任を負いません。第三者の情報については、追加的な制約に服する可能性があります。

TI の製品又はサービスについて TI が提示したパラメーターと異なる、又は、それを超えてなされた説明で当該 TI 製品又はサービスを再販売することは、関連する TI 製品又はサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TI は、そのような説明については何の義務も責任も負いません。

TI からのアプリケーションに関する情報提供又は支援の一切に拘わらず、お客様は、ご自身の製品及びご自身のアプリケーションにおける TI 製品の使用に関する法的責任、規制、及び安全に関する要求事項の全てにつき、これをご自身で遵守する責任があることを認め、且つそのことに同意します。お客様は、想定される不具合がもたらす危険な結果に対する安全対策を立案し実行し、不具合及びその帰結を監視し、害を及ぼす可能性のある不具合の可能性を低減し、及び、適切な治癒措置を講じるために必要な専門的知識の一切を自ら有することを表明し、保証します。お客様は、TI 製品を安全でないことが致命的となるアプリケーションに使用したことから生じる損害の一切につき、TI 及びその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI 製品につき、安全に関連するアプリケーションを促進するために特に宣伝される場合があります。そのような製品については、TI が目的とするところは、適用される機能上の安全標準及び要求事項を満たしたお客様の最終製品につき、お客様が設計及び製造ができるようお手伝いすることにあります。それにも拘わらず、当該 TI 製品については、前のパラグラフ記載の条件の適用を受けるものとします。

FDA クラス III (又は同様に安全でないことが致命的となるような医療機器) への TI 製品の使用は、TI とお客様双方の権限ある役員の間で、そのような使用を行う際について規定した特殊な契約書を締結した場合を除き、一切認められていません。

TI が軍需対応グレード品又は「強化プラスチック」製品として特に指定した製品のみが軍事用又は宇宙航空用アプリケーション、若しくは、軍事的環境又は航空宇宙環境にて使用されるように設計され、かつ使用されることを意図しています。お客様は、TI がそのように指定していない製品を軍事用又は航空宇宙用に使う場合は全てご自身の危険負担において行うこと、及び、そのような使用に関して必要とされるすべての法的要求事項及び規制上の要求事項につきご自身のみの責任により満足させることを認め、且つ同意します。

TI には、主に自動車用に使われることを目的として、ISO/TS 16949 の要求事項を満たしているとして特別に指定した製品があります。当該指定を受けていない製品については、自動車用に使われるようには設計されてもいませんし、使用されることを意図しておりません。従いまして、前記指定品以外の TI 製品が当該要求事項を満たしていなかったことについては、TI はいかなる責任も負いません。

Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位 (外装から取り出された内装及び個装) 又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で (導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

- 梱包品 (外装、内装、個装) 及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限 260℃ 以上の高温状態に、10 秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質 (硫黄、塩素等ハロゲン) のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上