

MSP430x4xxとADS1240を使用した直接熱電対 インターフェイスの実装

Mike Mitchell

MSP430

概要

このアプリケーション・レポートでは、熱電対に通常必須とされる信号処理回路を使用せずに直接熱電対インターフェイスを実装する方法を説明し、紹介します。熱電対はTexas Instruments, Inc.から発売されている24ビットADC(バー・ブラウン製品)ADS1240に直接接続されています。ADCとの通信には超低消費電力マイクロコントローラMSP430F41xが使用されており、これが変換値を読み取り、温度に変換してLCDに表示します。完全な回路図とコード・リストがこのアプリケーション・レポートの末尾に記載されています。このアプリケーション・レポートではMSP430F413が使用されていますが、他のどのMSP430デバイスもこのアプリケーションの実装に使用することが可能です。

目次

はじめに.....	1
熱電対.....	2
回路.....	2
実装とコードについての詳解.....	4
初期化とセットアップ.....	5
メインループ.....	5
ReadTCルーチンとReadTRルーチン.....	5
Get_TR_Temp -- サーミスタ温度の判定.....	6
Get_TC_Temp -- 熱電対の相対温度の判定.....	7
Get_ABS_Temp -- 絶対温度の判定.....	7
DISPLCD -- 絶対温度をLCDに表示する.....	8
結論.....	8
参考文献.....	8
付録A. 回路図.....	8
付録B. コード.....	8

図目次

図 1 回路図.....	3
図 2 プログラムのフロー.....	5

はじめに

このアプリケーション・レポートでは、熱電対に通常必須とされる信号処理回路を使用せずに直接熱電対インターフェイスを実装する方法を説明し、紹介します。熱電対はTexas Instruments, Inc.から発売されている24ビットADC(バー・ブラウン製品)ADS1240に直接接続されています。ADCとの通信には超低消費電力マイクロコントローラMSP430F41xが使用されており、これが変換値を読み取り、温度に変換してLCDに表示します。このレポートで使用されている完全な回路図と、完全なコードは付録に記載されており、インターネットからダウンロードできます。

熱電対の電圧をADCの電圧範囲まで増幅して、必要な任意のオフセット電圧を供給するために、熱電対には通常、信号処理が必須になります。このアプリケーション・レポートでは、24ビットADS1240のような高分解能A/Dコンバータを使用して、信号処理を必要としない直接熱電対インターフェイスを実装する方法を紹介します。熱電対は、A/Dコンバータの入力に直接接続されます。ADS1240と通信を行い、ADCの値を読み取るために、MSP430が使用されます。MSP430ではその後ADCの値を温度に変換して、LCDに表示します。このアプリケーション・レポートではK型熱電対を使用し、温度範囲を0～99.9℃に限定してあります。

熱電対

熱電対は、一方の端で溶接した2つの異なる金属からできています。熱電対の溶接されていない方の端では、熱電対の両端間の温度差に比例する電圧が生成されます。熱電対には様々なタイプがあり、熱電対や熱電対の使用方法についても多くの資料があります。このレポートでは扱っていない熱電対や熱電対の使用方法の複雑な詳細について詳しく知りたい方は、インターネットで検索していただければ、役に立つ情報を数多く見つけられます。

熱電対で生成される電圧は、熱電対の両端間の温度差に依存します。したがって電圧を測定するだけでは、温度を判定するには不十分です。電圧を測定して分かるのは、熱電対の両端間の温度差だけです。冷接点(熱電対と測定機器の接続部)の温度は、熱電対の端で生成される電圧に影響します。その結果、冷接点補償と呼ばれる処理が必要になります。多くの場合、複数の回路を使用して冷接点の温度に比例する電圧が生成されます。この電圧が回路に注入され、標準的な熱電対信号処理回路の一部となります。

冷接点補償の技法としてはもうひとつ、接合部の温度をサーミスタ等の温度センサで測定するというものもあります。このレポートでは、この技法を採用しています。この技法では、冷接点の温度を調べて熱電対の電圧を測定することにより、熱電対の溶接端の温度を判定します。この技法で正確な結果を得るには等温ブロックを使用して、冷接点温度センサの温度を冷接点温度と同じにしておく必要があります。

熱電対が生成する電圧は、米国標準技術局(NIST)(<http://www.nist.gov>)によって規格化されています。熱電対電圧のデータ表は、NISTの<http://srdata.nist.gov/its90/main/> から入手可能です。JIS規格はJIS C-1602ですが、WEBではデータ表を公表していません。

回路

このアプリケーション・レポートで使用されている回路の回路図を、図1に示します。完全な回路図は、付録Aに記載されています。

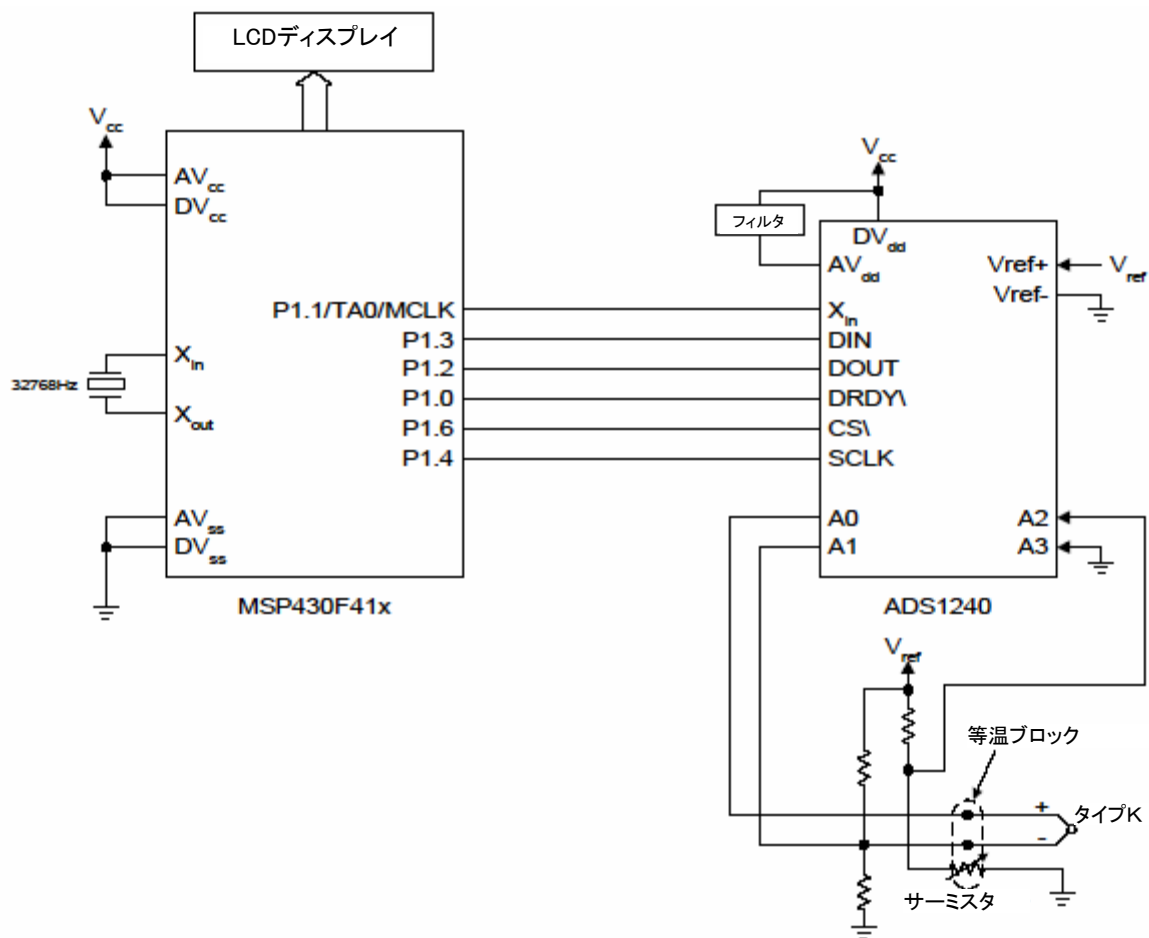


図 1 回路図

冷接点補償の機能を提供するために、サーミスタが使用されています。MSP430のポートP1からのピン数個を使用して、ADS1240とのシリアル通信を実装しています。熱電対の負側端子にバイアス電圧をかけるために、分圧器が使用されています。ADS1240には、MSP430のMCLK出力からクロックが供給されています。クロック周波数は1.5MHzに設定されています。

実装とコードについての詳解

プログラムのフローを図2に示し、以下のセクションで詳細に説明します。

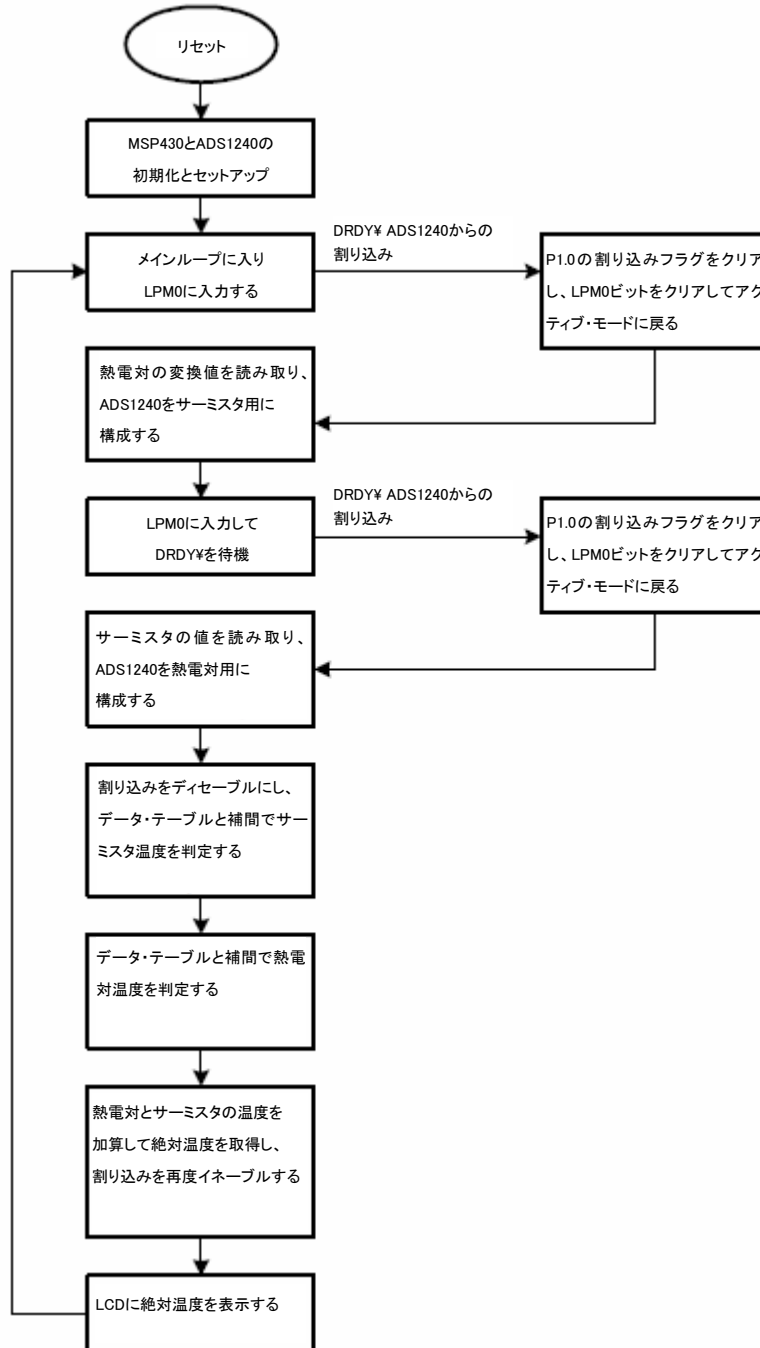


図2 プログラムのフロー

初期化とセットアップ

MSP430とADS1240は両方とも、リセット後に初期化されます。MSP430では、ウォッチドッグ・タイマがディセーブルになります。FLL+とDCOは、MCLKクロック1.507MHzを供給するように構成されます。この周波数はCPUに使用されるだけでなく、ADS1240にクロックを供給するために外部的にも使用されます。この周波数がADS1240用に選択されたのは、このアプリケーションにとって十分高速でありながら、ADS1240のデータ・シートに記載されている公称2.4576MHzというリファレンス(基準クロック)を使用する場合よりもある程度電力が節約できるためです。ベーシック・タイマー(基準タイマー)とLCDモジュールはLCD用に構成されており、LCDメモリはクリアされています。I/Oポートは、方向や割り込みエッジに対し適切な機能に設定されています。未使用のI/Oポートは出力方向に設定されています。最後に、ADCのセットアップ・ルーチンを呼び出す前に遅延が実行されます。遅延により、FLL+に、DCOを所要の周波数である1.507MHzに調整する時間が与えられます。FLL+、DCO等の、MSP430x41xのペリフェラルの詳細については、MSP430x4xx Family User's Guide[1]を参照してください。MSP430F41xのデバイスの詳細については、MSP430x4xxのデータ・シート[2]を参照してください。

ADS1240をセットアップするために、リセット・コマンドが最初に発行されます。次に入力マルチプレクサが、正負それぞれの入力用にチャンネル0および1に設定されます。これらは熱電対の正側と負側に対応しています。ADS1240用のデータ・レートは、最も低速なものを選択します。

この結果、1秒間の変換回数は約2.3回となり、データ・シートに記載されている3.75回とは異なる値になります。データ・シートの値は1クロックが2.4576MHzであることを前提としていますが、このアプリケーションでは1.5MHzのクロックを使用しているためです。ADS1240のデータI/Oレジスタへの書き込みのたびにWREGコマンドを毎回送信する必要はないことに注意してください(詳細については、ADS1240のデータ・シート[3]を参照してください)。

次にMSP430で割り込みがイネーブルになり、ADS1240に対してSELFGCALコマンドが発行されます。SELFGCALコマンドはPGA = 1の場合に最も有効であり、完了までにある程度の時間を要します。ADS1240のDRDY\ラインがLowになり、SELFGCALプロセスの完了を通知します。この時点でMSP430では割り込みがイネーブルになり、SELFGCALが実行されている間にMSP430が低消費電力モード(LPM0)になり、SELFGCALの完了時にADS1240が割り込むことが可能になります。最後に、プログラマブル・ゲイン・アンプ(PGA)のゲインが16に設定され、SELFOCALコマンドが発行されます。ADS1240の詳細については、データ・シート[3]を参照してください。

メインループ

メインループは、LPM0に入力する2つのステートメントを使用した一連の他ルーチンの呼び出しです。メインループの最初の命令により、MSP430がLPM0に書き込まれます。ADS1240からのDRDY\ラインがLowになり、データ読み込みの準備ができたことが通知されるまで、MSP430はLPM0に書き込まれた状態になります。

DRDY\ラインがLowになると、MSP430ではP1.0割り込みを受信し、低消費電力モードから復帰して割り込み処理に対応します。すると割り込みサービス・ルーチンでは、該当するステータス・レジスタ・ビットをクリアするので、MSP430はアクティブ・モードにおける割り込みから戻ります。次に、ADS1240を読み出すルーチンに対して呼び出しが行われます。この値は熱電対用です。そのルーチンから戻ると直ちにMSP430は再度LPM0に書き込まれ、次のDRDY\を待機します。次のDRDY\の後、ADS1240が再度読み出せるようになり、サーミスタ値を読み込むルーチンへの呼び出しが行われます(図2のプログラム・フロー参照)。サーミスタ値の読み込みから戻ると直ちに、MSP430では温度の判定が可能になります。割り込みがディセーブルになり、サーミスタと熱電対のADC値をそれぞれの温度に変換するルーチンが呼び出されてから、サーミスタと熱電対の温度に基づいて絶対温度を判定するための呼び出しが行われます。温度が判定されると、割り込みが再度イネーブルにされ、LCDに絶対温度を表示するための呼び出しが行われます。その後、メインループがまた最初から開始されます。

ReadTC ルーチンと ReadTR ルーチン

ReadTCおよびReadTRの両ルーチンでは、熱電対とサーミスタそれぞれの値をADS1240から読み取ります。これらのルーチンは互いに非常に似ています。各ルーチンはRDATAコマンドを送信してから、ADS1240から出力されたデータにクロックを供給します。各ルーチンではその後、次の変換用にADS1240のPGAとマルチプレクサの設定を行います。熱電対のADC値を読み取るルーチンではADS1240を設定して、サーミスタ側の変換が行われるようにします。これで、サーミスタのADC値が次の

DRDY\で使用可能になります。同様に、サーミスタ値を読み取るルーチンではADS1240を設定して、熱電対側で変換が行われるようにします。

Get_TR_Temp -- サーミスタ温度の判定

このアプリケーションでサーミスタを読み取るために、10Kohmの抵抗と10Kohmのサーミスタで抵抗分圧器を形成します。分圧器の上部は基準電圧に、下部はグラウンドに接続します。これにより、温度によって変化する電圧がADCへ入力されるようになります。サーミスタの抵抗値は温度が上昇するにつれて減少するため、この分圧器からの電圧も温度とともに低下します(図1参照)。サーミスタの測定方法としてはおそらく、積分方式によるスロープA/D変換を使用する方法がより一般的です。高パフォーマンス、高精度のADCが入手可能であったため、また、スロープA/D変換を使用するとアプリケーションとコードが不必要に複雑になるため、MSP430内蔵のスロープ変換機能はこのアプリケーションでは採用しませんでした。完全なアプリケーション・レポートとコード例を入手して、MSP430を使用したスロープA/D変換を行う方法を知ることができます(MSP430のコード例のウェブサイトと、アプリケーション・ノート「MSP430 Based Digital Thermometer (MSP430ベースのデジタル温度計)」の[4]を参照してください)。

サーミスタの温度をADC値から判定するには、データ・テーブルを用意して最も近い温度を1度単位で判定します。次に補間を行って、最も近い温度を10分の1度単位で判定します。これを行うには、まず最も近い整数値の温度を10倍してから、その値をRAMに保存します。次に、次の式から10分の1単位の度数を判定します。

((高い方の値-ADC値)×10)/(高い方の値-低い方の値)

ここで、次のようになります。

ADC値 = サーミスタ電圧のADC 変換値

高い方の値 = 表中で二番目に高い値

低い方の値 = 表中で二番目に低い値

10分の1値の補間を計算した後、その10分の1値を、あらかじめ10倍された最も近い整数温度値に加算します。これで、サーミスタの温度がバイナリ形式の"XX.X"というフォームで保存されます。

付録のコードに示されているサーミスタ値の表は、このアプリケーション固有のもので、抵抗10Kの測定値とADCの基準電圧の測定値を使用しており、ADCの24ビットのうち16ビットしか使用していません。表を計算するための一般式を次に示します。

$$ADCvalue = hex \left[2^N \times \frac{voltage}{2 \times Vref} \right]$$

ここで、次のようになります。

N = A/D変換に必要な分解能(ADS1240は24ビットA/Dコンバータですが、このアプリケーションの場合は上位16ビットのみが使用されるため、この場合のNは16になります)。

Voltage (電圧) = 分圧器で分圧された結果の電圧

Vref = ADS1240の基準電圧

このアプリケーションでは、分圧器の式は次のようになります。

$$voltage = \left(\frac{V \times R_t}{R_t + 10K} \right)$$

ここで、次のようになります。

Rt = サーミスタの抵抗値

V = 分圧器の電圧源 - このアプリケーションの場合はVref

2つの式を結合すると次のような結果になります。

$$ADCvalue = hex \left[\left(\frac{2^N}{2 \times Vref} \right) \left(\frac{Vref \times Rt}{Rt + 10K} \right) \right]$$

これは、次のように変形できます。

$$ADCvalue = hex \left[\frac{2^{N-1} \times Rt}{Rt + 10K} \right]$$

Get_TC_Temp -- 熱電対の相対温度の判定

熱電対の非直線性により、アプリケーションによっては、熱電対の電圧測定値を温度に変換することが難しい作業になる場合もあります。ただしこのアプリケーション・レポートでは、測定可能な温度範囲を限定し、また数学的な計算ではなくデータ・テーブルを使用することにより、この作業を簡素化しています。このアプリケーション・レポートでは、K型熱電対を使用しています。

熱電対の相対温度の判定はサーミスタ温度の場合同様に、データ・テーブルと10分の1補間を使用して行います。熱電対の先端 (tip) の温度が冷接点の温度より低い場合は、熱電対からの電圧が負の値になり、ADCの値も負になります。ルーチンが完了すると、熱電対の温度はXXX.XのフォームでRAMに保存され、該当する符号が付けられます。

サーミスタの場合同様に、熱電対温度の検索に使用される値のテーブルは、このアプリケーションに固有のものであり、測定値を包含しています。表を計算するための一般式は次の通りです。

$$ADCvalue = hex \left[\frac{2^N \times PGA \times Vtc}{2 \times Vref} \right]$$

ここで、次のようになります。

N = A/D変換に必要な分解能(ADS1240は24ビットA/Dコンバータですが、このアプリケーションの場合は上位16ビットのみが使用されるため、この場合のNは16になります)。

PGA = プログラマブル・ゲイン・アンプからのゲイン

Vref = ADCの基準電圧

Vtc = 熱電対の電圧

Get_ABS_Temp -- 絶対温度の判定

Get_ABS_Tempルーチンでは、サーミスタ(冷接点)の温度を熱電対の相対的な測定値に加算して、絶対温度を生成します。加算後、結果が負の値になっているかどうかチェックされます。負である場合は、このアプリケーション・レポートの対象範囲外(0~99.9°C)になります。しかし、範囲のチェックはこのルーチンではなく、ディスプレイ・ルーチンで行われます。したがって、絶対温度が負である場合は、負の値として単にRAMに保存されるだけになります。一方、温度が正の値の場合はBCD形式に変換されて、BCD形式でRAMに保存されます。

DISPLCD -- 絶対温度をLCDに表示する

DISPLCDルーチンでは、絶対温度をチェックして、指定範囲内の値であることを確認します。指定範囲内でない値の場合は、LCDにLまたはHを表示して、対象範囲外の温度であることを示します。範囲内の値の場合は、ビットが適切に操作されて、LCDに数値が表示されます。

このアプリケーション・レポートに記載したコードは、MSP430x33xのEVK（評価用キット）に付属するTIのLCD上でのデモンストレーションを目的として作成されたものです。お使いのLCDに合わせて、表示ルーチンを修正していただく必要があります。

結論

従来の熱電対回路の設計と実装は複雑なものになることもありましたが、このレポートでは、新しい高分解能A/Dコンバータとマイクロコントローラを使用してこの作業の簡素化を可能にする方法を紹介しました。

参考文献

1. MSP430x4xx Family User's Guide (SLAU056)
2. MSP430x4xx data sheet (SLAS340)
3. ADS1240 data sheet (SBAS173)
4. MSP430 Based Digital Thermometer (SLAA038)

付録 A. 回路図

付録 B. コード

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといたします)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIJといたします)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは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。従いまして、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。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIJは、そのハードウェア製品が、TIの標準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、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およ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に関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIJは、製品のアプリケーションに関する支援もしく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ついて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIJは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしく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いません。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が当該製品もしく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、保証もしくは承認をすることを意味しません。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場合もあり、また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て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIJにより示された数値、特性、条件その他のパラメータと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしく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、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIJは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIJは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション(例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの)に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIJがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2009, 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 °C、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。)

直射日光があたる状態で保管・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 °C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