

***Application Note 1447 Improving PSRR and CMRR in Fully Differential Amplifiers***



Literature Number: JAJA293

# 完全差動アンプのPSRR性能とCMRR性能を改善する

National Semiconductor  
Application Note 1447  
Kashif Javaid  
2006年7月



## はじめに

差動アンプの特性評価と回路設計では、電源電圧除去比 (PSRR) とコモンモード除去比 (CMRR) のふたつの仕様項目が特に重要です。差動アンプは高い PSRR 性能と CMRR 性能を達成するように設計されていますが、回路設計や外付け部品選定が適切でなければ、これらの性能に影響が及び全体性能が低下します。本アプリケーション・ノートでは、外付け部品が PSRR と CMRR に与える影響のうち、外付けゲイン設定抵抗の不整合と PSRR に対するバイパス・コンデンサの問題を取り上げるとともに、CMRR と PSRR を改善するレイアウト・テクニックの一端を紹介します。

代表的な完全差動アンプ・ブロック図を、外付けゲイン抵抗とオプシオンのバイアス・ジェネレータ・バイパス・コンデンサとともに、Figure 1 に示します。Vo1 と Vo2 には内部バイアス回路によって  $V_{DD}$  の半分の電圧にバイアスされた DC が出力されます。Vo1 と Vo2 には位相が 180 異なる AC 信号が出力され、BTL (ブリッジ接続負荷) を構成します。このアンプは少ない部品数で動作するため、レイアウト設計時間の短縮とシステムコストの抑制が図れます。ただし、アンプの性能を最大限に発揮させるには十分な配慮が必要です。

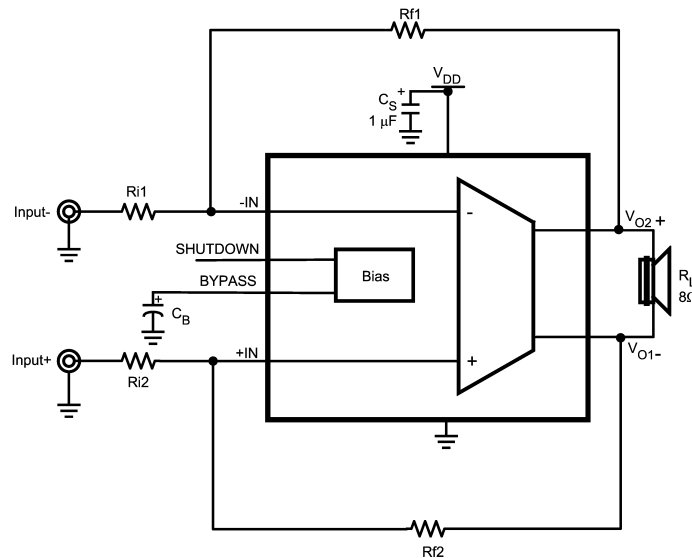


FIGURE 1. Fully Differential Amplifier Block Diagram

## アプリケーション情報

## 電源電圧除去比 (PSRR) の測定

ここで取り上げる PSRR は、電源電圧の変動に対して出力電圧の変化を見る DC 仕様ではなく、電源バス上の AC リップル電圧をアンプが除去できる AC 性能を指します。基本的に、リップル PSRR は差動出力電圧と電源リップル電圧の比で、式 1 のように表され、単位は dB です。

$$\text{PSRR} = 20 \log \frac{V_{\text{out (ac)}}}{V_{\text{Ripple}}} \quad (1)$$

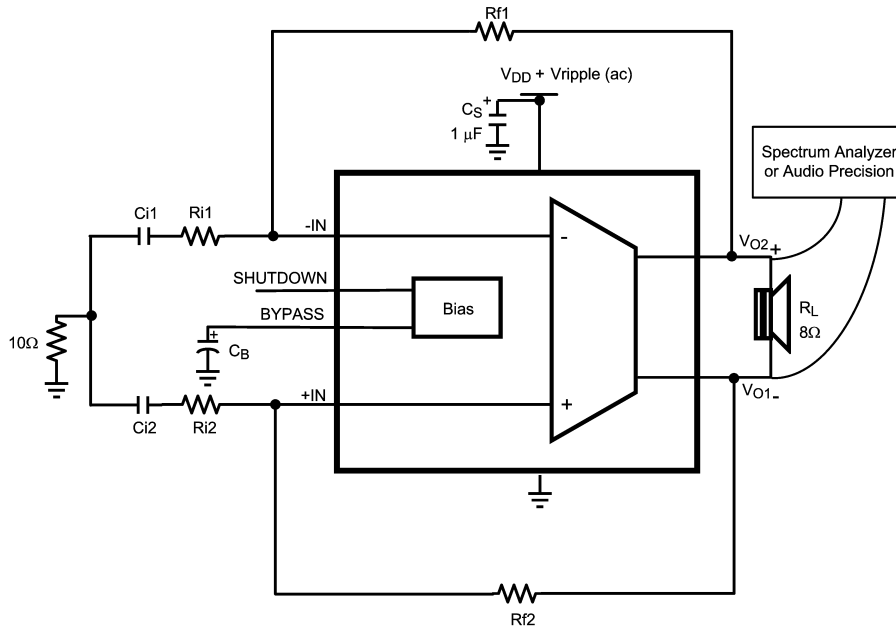


FIGURE 2. PSRR Measurement Test Circuit

PSRR の測定に使用するテスト回路を Figure 2 に示します。アンプの AC 入力には 10 Ω 程度の低抵抗でグラウンドに終端しています。入力コンデンサ Ci1 と Ci2 の容量は可能な限り整合させなければなりません。不整合は低周波領域で PSRR 性能の悪化を引き起こします。なお、入力をグラウンドに終端する入力結合コンデンサを使わない方法もあります。次に、100mVpp から 500mVpp の範囲の低レベル AC 電圧を V<sub>DD</sub> に重畳させます。AC 信号と DC 電圧を組み合わせるとこの電圧をアンプの V<sub>DD</sub> ピンに印加します。BTL 出力に現れる残存リップル周波数はアンプの PSRR の関数です。この残存信号の大きさを FFT (スペクトラム・アナライザや Audio Precision 社の測定機器) によって測定します。PSRR の値は式 1 から dB を単位として求めます。

## コモンモード除去比 (CMRR) の測定

コモンモード除去比とは差動アンプがコモンモード入力信号を除去する性能を指し、式 2 のとおり dB を単位として表します。

$$\text{CMRR} = 20 \log \frac{V_{\text{out (ac)}}}{V_{\text{cmi (ac)}}} \quad (2)$$

CMRR を測定するテスト回路を Figure 3 に示します。アンプ入力にコモンモード AC 信号を与えています。出力は高精度 AC 電圧計または Audio Precision 社の装置で測定します。dB を単位とする CMRR 値は式 2 から求めます。なお、テストする差動入力アンプが外付けゲイン設定抵抗を必要とする場合、CMRR 値は外付け抵抗およびボード・レイアウトに大きく依存します。この問題は次のセクションで説明します。なお、Audio Precision 社の機器など最新のオーディオ測定機器は、CMRR テスト (および他のさまざまなオーディオ・パラメータ・テスト) を自動的に実行してくれます。

## アプリケーション情報 (つづき)

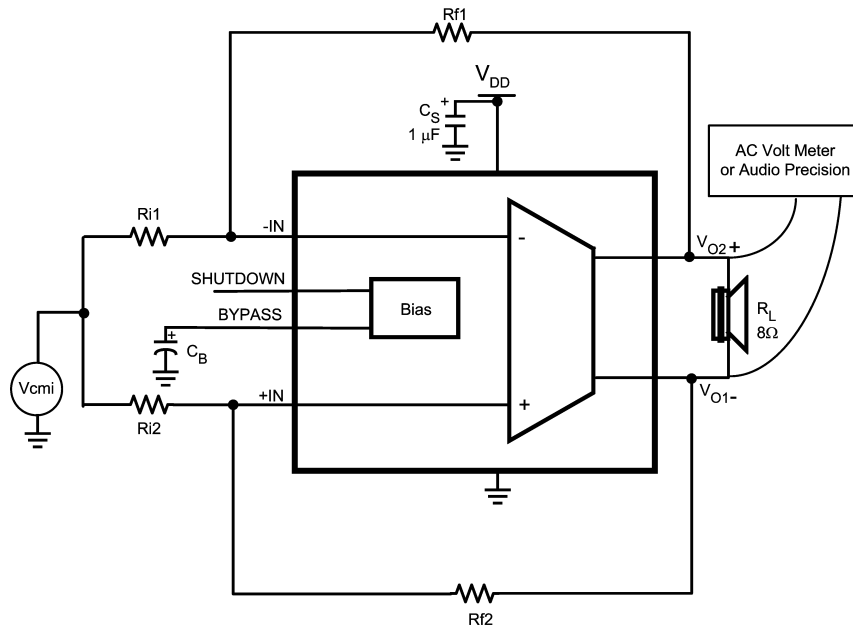


FIGURE 3. CMRR Measurement Test Circuit

## 外付けゲイン抵抗の作用

CMRR 性能を最大限に高めるには入力抵抗と帰還抵抗をそれぞれで厳格に整合させなければなりません。完全差動アンプの入力を DC 結合で使用した場合、抵抗に不整合が存在すると、差動アンプの平衡の性質によって負荷の両端に DC 電流が発生します。

完全差動アンプの内部は、差動アンプと、出力電圧を調整して公称 DC 出力バイアスを  $V_{DD}/2$  に維持するコモンモード帰還アンプの 2 つの回路段で構成されます。また、完全差動アンプは正極側と負極側の 2 つの「半分」に分けられると仮定します。Figure 1 の差動アンプで  $V_{cmi} = 0V$  とすると、単純な解析から式 3 が得られます。各「半分」は入力抵抗と帰還抵抗 ( $R_i$  と  $R_f$ ) で構成され、両方の「半分」を合わせることで式の両辺が得られます。式 3 から、帰還抵抗間 ( $R_{f1}$  と  $R_{f2}$ ) または入力抵抗間 ( $R_{i1}$  と  $R_{i2}$ ) に不整合が存在すると、出力にオフセット DC 電圧が生じることがわかります。

$$V_{o2} - V_{o1} = \frac{V_{DD}}{2} \left[ \left( \frac{R_{i2} + R_{f2}}{R_{i1} + R_{f1}} \right) \left( \frac{R_{i1}}{R_{i2}} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

$R_{i1} = R_{i2}$  で  $R_{f1} = R_{f2}$  という理想的な条件の場合、完全に整合した平衡な入力抵抗ペアと帰還抵抗ペアが得られ、オフセット

電圧は生じません。しかし、たとえば帰還抵抗に誤差が 20% あるとして、

$$R_{i1} = R_{i2} = R$$

$$R_{f1} = 1.2R \text{ および } R_{f2} = 0.8R \text{ と仮定するとどうなるでしょう。}$$

出力両端にはおよそ 0.45V のオフセット電圧が生じ、出力負荷が 8 Ω の場合はおよそ 56mA の負荷電流が流れます。オフセット電圧としてはかなり高いといえます。このようなオフセット電圧はバッテリー動作時間を短くするだけでなく、ボイス・コイルには余剰な DC 電流が常に流れるため、スピーカの性能にも大きな影響を与えるでしょう。コモンモード除去比はゲイン抵抗の不整合が大きく影響するパラメータです。コモンモード除去比と帰還抵抗の不整合の関係を Figure 4 に示します。このグラフからわかるように、帰還抵抗に 0.4 の差があるだけで、抵抗が完全に整合した理想条件に比べて、CMRR はおよそ 23dB 低下します。

PSRR もゲイン抵抗の不整合によって影響を受けますが、バイパス・ピンに小容量のコンデンサを接続することで影響は限定的となり、電源除去の性能低下は実用上は問題になりません。バイパス・コンデンサの効果は次のセクションで詳述します。結局のところ実際的な問題として、性能を適切に発揮させて可能な限り高いコモンモード除去比を得るには、誤差 1% 以下の抵抗を使う必要があります。

## アプリケーション情報 (つぎ)

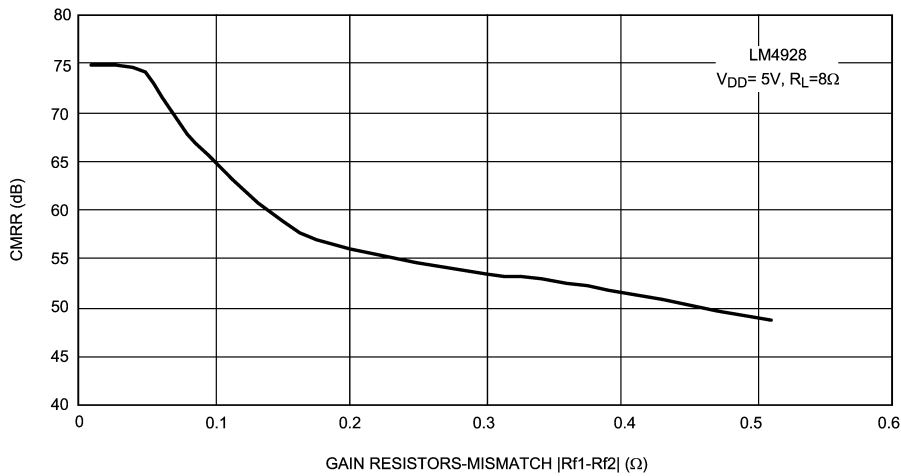


FIGURE 4. CMRR vs Feedback Resistor Mismatch

## バイパス・コンデンサの作用

完全差動アンプの場合、バイパス・コンデンサ ( $C_B$ ) はあくまで「オプション」であって、アンプ回路の部品点数を抑えたいのであれば使用しなくてもかまいません。ただし、部品点数の削減を目的としてバイパス・コンデンサを使用しないと判断する前に、アンプの全体性能に与える影響を理解しておく必要があります。内部のコモンモード・アンプは正負出力の待機時 DC 電圧を  $1/2V_{DD}$  に調整します。電源電圧の変動は両方の出力に対して同じように作用します。すなわち、理想的には差動出力に生じる DC 変化

はゼロです。したがってバイパス・コンデンサは必要ではなく、オプションとして取り扱うことができます。しかし、実際のコモンモード・アンプは理想動作とは異なります。また、外付け抵抗に存在する不整合によってアンプ動作に不平衡が生じます。このように、PSRR に最も大きな影響を与えられられるのが、バイパス・コンデンサの削除です。

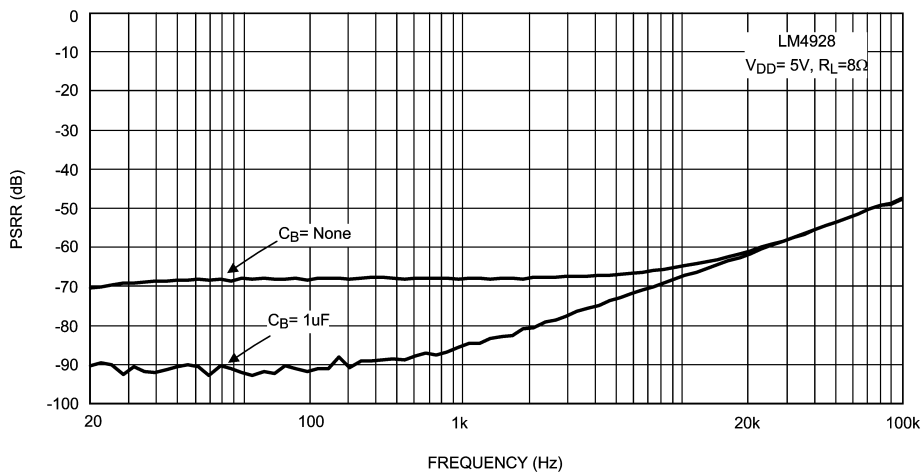


FIGURE 5. PSRR vs Ripple Frequency

差動入力アンプは、同クラスのシングルエンド・アンプと比べて、優れた低ノイズ性能と高い PSRR 特性を備えたアンプとしてみなされます。Figure 5 に示すように、バイパス・コンデンサがない構成でも、リップル周波数が低い領域で PSRR は 70dB 近くに達します。さらに  $0.1\mu\text{F}$  から  $1\mu\text{F}$  の範囲のバイパス・コンデンサを使えば、PSRR は 20dB も改善されます。アプリケーションにもよりますが、

70dB の PSRR は優れた値であり、ほとんどのアプリケーションでは十分すぎるほどです。ただし、特に低周波領域において優れた PSRR が求められる携帯電話市場では、バイパス・コンデンサを追加することで、低周波の電源除去は確実に改善されるでしょう。また、ゲイン抵抗値の不整合がアンプに及ぼす影響も軽減されるでしょう。

## アプリケーション情報 (つづき)

## レイアウトの考慮事項

プリント基板レイアウトはアプリケーションにきわめて依存する問題ですが、アンプの全体性能の最適化に役立つガイドラインが存在しないわけではありません。まず、完全差動アンプが提供されるさまざまなパッケージに関して説明します。

レイアウト設計を新規に行う場合は、パッケージ固有のアプリケーション情報について、ナショナル セミコンダクターの web サイトを参照してください。また、グラウンド構成をスター状にするかグラウンド・プレーンとして設けるか選択しなければなりません。グラウンドの設計はアプリケーションごとに異なり、また、採用するパッケージでも異なります。いずれの構成も以下に示す一般的なガイドラインと組み合わせて使用してください。

- a) 部品を対称に配置する (たとえば帰還抵抗や入力抵抗)。
- b) グラウンド・プレーンを使用しない場合は  $V_{DD}$  トレースと GND トレースをできるだけ広く確保する。
- c) 露出 DAP パッケージでヒートシンク層が必要な場合は適切な大きさと設計する。対応するデータシートの電力デレーティング特性を参照してください。
- d) デバイスとあらゆるアンテナ源との距離をできるだけ遠ざける。
- e) 出力トレースはできるだけ短く、しかも等長で配線し、かつ、アンテナ源からできるだけ遠ざける。
- f) スター状のグラウンド構成を採用する場合、バイパス・コンデンサの GND、電源コンデンサの GND、他のシステム GND などすべてのグラウンドは、できるだけ電源グラウンドの入力点となるボード上の単一点に直接接続する。

このドキュメントの内容はナショナル セミコンダクター社製品の関連情報として提供されます。ナショナル セミコンダクター社は、この発行物の内容の正確性または完全性について、いかなる表明または保証もいたしません。また、仕様と製品説明を予告なく変更する権利を有します。このドキュメントはいかなる知的財産権に対するライセンスも、明示的、黙示的、禁反言による惹起、またはその他を問わず、付与するものではありません。

試験や品質管理は、ナショナル セミコンダクター社が自社の製品保証を維持するために必要と考える範囲に用いられます。政府が課す要件によって指定される場合を除き、各製品のすべてのパラメータの試験を必ずしも実施するわけではありません。ナショナル セミコンダクター社は製品適用の援助や購入者の製品設計に対する義務は負いかねます。ナショナル セミコンダクター社の部品を使用した製品および製品適用の責任は購入者にあります。ナショナル セミコンダクター社の製品を用いたいかなる製品の使用または供給に先立ち、購入者は、適切な設計、試験、および動作上の安全手段を講じなければなりません。

それら製品の販売に関するナショナル セミコンダクター社との取引条件で規定される場合を除き、ナショナル セミコンダクター社は一切の義務を負わないものとし、また、ナショナル セミコンダクター社の製品の販売が使用、またはその両方に関連する特定目的への適合性、商品の機能性、ないしは特許、著作権、または他の知的財産権の侵害に関連した義務または保証を含むいかなる表明または黙示的保証も行いません。

## 生命維持装置への使用について

ナショナル セミコンダクター社の製品は、ナショナル セミコンダクター社の最高経営責任者 (CEO) および法務部門 (GENERAL COUNSEL) の事前の書面による承諾がない限り、生命維持装置または生命維持システム内のきわめて重要な部品に使用することは認められていません。

ここで、生命維持装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

National Semiconductor とナショナル セミコンダクターのロゴはナショナル セミコンダクター コーポレーションの登録商標です。その他のブランドや製品名は各権利所有者の商標または登録商標です。

Copyright © 2006 National Semiconductor Corporation

製品の最新情報については [www.national.com](http://www.national.com) をご覧ください。

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

[www.national.com/jpn/](http://www.national.com/jpn/)

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）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。

TI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ー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。

TI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。

TI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たり、保証もしくは是認するという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TIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、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。TI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。

TI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TI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もありません。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もありません。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 © 2011, 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