

自動運転アプリケーション 向けに設計された TIのスマート・センサ製品



Sneha Narnakaje

Product Manager, Automotive Radar
Radar Analytics and Processors

テキサス・インスツルメンツ

概要

自動車業界では、ロボットおよびマシン・ビジョンに関する技術革新やテクノロジーの進歩が活発になっています。自動車メーカ各社は、ますます拡大する消費者需要に対応するため、さまざまなテクノロジーを備えた新しい自動車の設計を進めており、こうした傾向は、安全性、快適性、利便性、エネルギー効率性を実現する先進運転支援システム(ADAS)の導入につながっています。

米国運輸省道路交通安全局などの政府機関によると、年間に交通事故で死亡する人数は、米国で3万人超、世界中では130万人に上り、これらの約94%が人為的ミスに関連する事故とされています。警告、ブレーキ、監視、ステアリング操作を支援するADASは、運転者をアシストできることから、人為的エラーの低減に役立つ可能性があります。現在では、数多くの自動車に死角検知および車線逸脱警報、前方衝突および後退時車両検知警報、自動緊急ブレーキ、車線維持支援、車間距離制御などの機能が搭載されています。これらの機能はブランドごとに異なり、自動車メーカにとっての収益源となっていますが、現時点で一部の国では、2020年までにすべての車両にADASを搭載することが義務付けられています。

ADAS-自動運転の基盤

安全性への意識の高まりと、規制や相手先ブランド製造業者(OEM)の安全性評価による影響から、ADASの需要は急速に拡大しています。[Reserach and MarketsによるADASのグローバル市場予測](#)では、2016年に約5,000万台のADAS搭載車両が出荷されており、その数は2022年までに6,000万台に達する見込みであると伝えられています。これとは別の[Research and MarketsによるADAS市場予測](#)では、ADAS部品の出荷が、2016年の2億1,800万ユニットから2025年には12億ユニットに拡大すると予想されています。安全かつ快適な運転を目指して自動車システムを自動化し、作り替え、さらに強化するため、代表的なADASには、高度な処理および通信機能と共に、さまざまなセンシング・テクノロジーが組み込まれています。自動車メーカでは、高度なセンシング・テクノロジーとイメージング/ビジョン・テクノロジーから、高性能かつ低消費電力のプロセッサ、車内ネットワークに至るまで、さまざまな車載用電子機器の提供を大手半導体サプライヤに頼っています。

ADAS部品の成熟と進歩によって、いずれ半自律型自動車や自律型自動車を実現することになるでしょう。次ページの図1は、SAE Internationalの定義に従い、6段階の運転自動化レベルをまとめたものです。

自動運転システムは、車の周囲状況について情報を取得するセンサ、通信用の集積回路(IC)、センサのデータを分析する高性能プロセッサ、機械的機能の始動と制御を行うマイクロコントローラ(MCU)など、数多くの部品を基に構築されます。

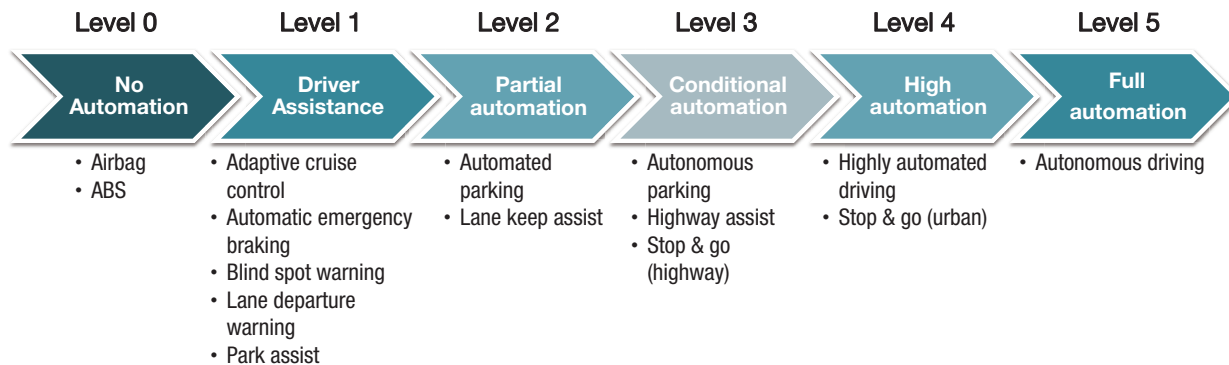


図1：自動運転のレベル

センシング・システムは、自動車にインテリジェンスを付与し、周囲状況の正確な認識を可能にすることから、ADASと自動運転にとって極めて重要なシステムです。ADASに複数のイメージ・センサを組み込むことは標準仕様となりつつありますが、レーダ、レーザ、超音波、赤外線、LIDARなどの新しいセンシング・テクノロジーもADASの強化に貢献しています。

自動車業界では特にレーダ・センサが好まれますが、その理由は、レーダ・センサがプラスチック、衣類、ガラスなどの非金属の物体を透過することに加え、通常は霧、雨、雪、不十分な光やまぶしい光などの環境要因による影響を受けないためです。車載レーダ・システムは、物体検出の範囲に応じて短距離、中距離、および長距離レーダに分けることができ、駐車支援システム向けの新しいADASアプリケーションとしては、超短距離レーダ (USRR) も利用されています。死角検知警報や車線逸脱警報などの運転支援機能には、短距離レーダ (SRR) システムが使用されています。SAE Internationalのレベル1に分類されるこれらのシステムは、発光ダイオード (LED) やステアリング・ホイールの振動を利用して運転者に報告または警告を行うことが要求されます。業界の専門家によると、現在のSRRシステムでは24 ~ 29GHzの周波数が使用されているというのですが、さらに低い周波数での出力電力に関する規制が原因で、今後この周波数は徐々に使用されなくなる可能性があります。

車間距離制御や自動緊急ブレーキなどの運転支援機能には、長距離レーダ (LRR) システムが使用されています。これらのシステムでは、単純な車両の制御動作が実行されます。現在のLRRシステムでは76 ~ 77GHzの周波数が使用されていますが、より高度なレベルの自動運転を実現するには距離と分解能をさらに引き上げる必要があるため、フロント・レーダ・システムでは76 ~ 77GHzと77 ~ 81GHzの両方の周波数がLRRと新しい中距離レーダ (MRR) システムの

組み合わせに使用されることになるでしょう。より高度なレベルの自動運転には、レーダ・センサで危険を検出してその特性 (距離と速度) を測定し、その危険を明確な特性 (距離、速度、方向、高さ) を持つ対象物に分類することにより、複雑な状況を分析することが求められます。最後に、センサには安全な運転をアシストするという役割があります。

TIの[AWR1xミリ波センサ・ポートフォリオ](#)では、より安全かつ簡単な運転体験が実現できる方法を開発者に提供します。ミリ波センシング・アーキテクチャ (図2) に基づき、AWR1xセンサでは、無線周波数 (RF)、アナログ機能、デジタル制御機能が1つのチップに統合されています。車載レーダ・システムの開発者は、オンチップの組み込み自己テスト (BIST) 機能を使用して機能安全性の準拠要件を満たすことができます。さらに、このポートフォリオに含まれるデバイスには、お客様側でプログラム可能なMCUと、ハードウェア・アクセラレータやDSPを使用したレーダ信号処理機能が組み込まれています。レーダ・センサの設計をAWR1x内の集積度によって最適化することで、サイズと消費電力を減らすことができます。

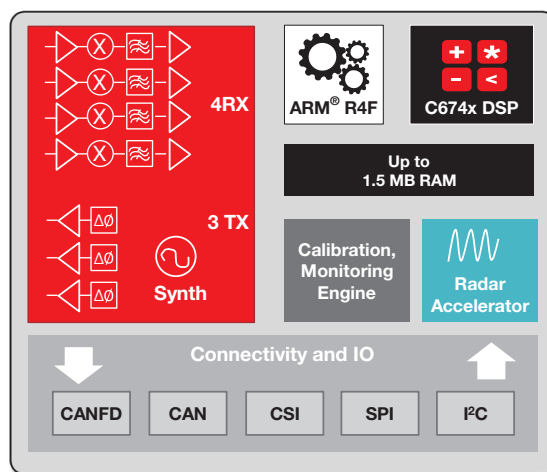


図2：AWR1xx mmWave センサのブロック図

複雑かつ密集した市街地での運転状況を分析するために必要な正確さと超高精度

車載レーダ・センサでは、76～81GHzの周波数帯の電磁波を使用して、センサの視野における対象物の距離、速度、方向を測定しています。距離、速度、方向に関するレーダ・システムの性能を定義しているパラメータはいくつかありますが、特に重要な2つのパラメータが分解能と精度です。分解能は、2つの対象物の距離、速度、または方向のうち2つの変数が同じ場合に、他の1つの変数で対象物を区別する能力として定義されています。たとえば、方向の分解能は、レーダ・センサから同じ距離だけ離れた位置を同じ速度で走行する2台の車を区別する能力です。精度は、1つの対象物の距離、速度、または方向の測定精度として定義されています。SAE Internationalのレベル2以上では、レーダ・センサにSRRアプリケーション(50m)向けの超高精度が必要とされています。

車載レーダ・システムには、周波数変調連続波(FMCW)手法が採用されていることが多く、離れた位置にある対象物の距離、方向、速度を測定するために利用されます。FMCWレーダでは、チャープの直線性によって対象物の距離の測定精度が決まります。従来のミリ波センサの実装では、開ループの電圧制御発振器(VCO)をベースにしたチャープ生成が使用されているため、チャープの直線性が悪化し結果として距離の測定精度が低下します。AWR1xミリ波センサ・ポートフォリオもFMCW手法に基づいています。このセンサでは、閉ループのPLLを使用することにより、0.01%という高い直線性を持つ正確なチャープが得られるため、距離の精度と分解能が向上します。チャープの直線性が高いと、誤検出やゴースト・オブジェクト(実際の目標物のアーティファクトや二次的イメージ)の発生を回避できます。

距離分解能はRF帯域幅の関数です。[AWR1xセンサ・ポートフォリオ](#)では、1回のスイープで最大4GHzのチャープ帯域幅がサポートされており、現在市販されているミリ波ソリューションの3倍の精度となる5cm未満の距離分解能が実現できます。

確定速度は、同じような速度の対象物を区別する能力として定義されています。与えられた距離分解能と最大距離に対して最大速度を高めるには、より広いIF帯域幅が必要です。AWR1xポートフォリオに含まれる高性能レーダ・フロント・エンドでは、15MHzのIF帯域幅がサポートされているため、250mを超える最大距離と、最高で300km/時の確定速度が実現できます。IF帯域幅と位相ノイズ性能の組み合わせにより、レーダ・センサで大きな物体の近くにある小さな対象物を検出できます。さらに、位相コヒーレンスのために高性能フロント・エンドに組み込まれた20GHz同期機能により、複数のフロント・エンドをカスケード接続して、密集した市街地での運転時に1度未満の方向精度を実現できるほか、歩道橋やトンネルなどの下を走行する状況での仰角推定の精度が向上します。

まとめると、高度な自動運転によって複雑な状況を分析するため、今後のレーダ・センサには高い精度が要求されるということになります。AWR1xポートフォリオで提供される機能を活用すれば、高精度のセンサを設計できます。

状況の変化に適応するための 多用途インテリジェンス

車載センサのメーカでは、SAE Internationalのレベル2以上に対応するため、マルチモード・レーダ・システムへの取り組みが始まっています。マルチモード・レーダ・システム構成では、1つのセンサ・モジュールでMRR構成とLRR構成の両方に対応できるようにセンサが設計されるため、各構成をサポートするために2つの個別のセンサ・モジュールを用意する必要がなくなり、自動車メーカにとっては大幅なコスト削減となります。マルチモード・レーダ・システムの設計では、ミリ波テクノロジーの提供元に対して、使いやすさ、柔軟なチャープの構成と監視など、特定の要件が課されます。AWR1xポートフォリオには、発射波生成パラメータをリアルタイムでローカル制御するために、BISTエンジンが組み込まれています。このエンジンでは、ローカル・デジタル・サブシステムや外部ホスト・プロセッサからの非リアルタイム・メッセージングを通じた動的チャープ構成がサポートされています。BISTエンジンを利用すると、環境条件、特に温度条件とエージング条件の変化に対してセンサが自動で適応できるようになります。これにより、出力電力やゲインなどのRFパラメータにおけるドリフトの自己較正が可能になります。さらに、BISTエンジンは、重要なRF性能パラメータに関するRFおよびアナログ・サブシステムの監視を継続的に行うので、安全性が強化されます。

従来のミリ波センシング・テクノロジーでは実数ベースバンドのアーキテクチャが使用されていましたが、AWR1xセンサでは、これまでにない複素ベースバンドのアーキテクチャを通じて、システム・レベルおよび性能面でのメリットを実現しています。車載レーダ・センサはバンパーの背後に搭載されているため、センサでバンパーの反射を正確に推定できれば、そのバンパーの特徴を記憶して起動のたびに較正することができます。AWR1xポートフォリオでは、バンパーの反射のゼロ距離での振幅と位相を使用して、近くにある対象物をより正確に推定することができます。このような推定方法は、バンパーの特徴の抽出困難が原因で、実数ベースバンドのアーキテクチャではほぼ不可能です。複素ベースバンドのアーキテクチャをさらに活用すると、イメージ・バンドを監視したり、対象物を正確に測定しながら他のジャミング・レーダからの干渉を検出したり、検出した干渉を抑制したりできるため、堅牢なレーダ・センサの設計が可能になります。

真のシングルチップによって レーダ・センサの小型化と低電力化を推進

自動運転の実現に伴い、レーダ・センサへの要求は電力、サイズ、コスト、距離、精度の点でさらに厳しくなります。SAEレベル2以上の自動運転システムには、現在提供されているソリューションを大きく上回る数のレーダ・センサが必要です。現在の高級車にはマルチチップ・シングル・レーダ・システムが搭載されています。このようなレーダ・システムは、多数のディスクリート部品を使用するために大型でかさばるサイズになってしまい、より小型かつ低消費電力で、コスト効率に優れた設計というニーズには合いません。将来の自動運転市場のニーズに対応するためには、センサの小型化と最適化が不可欠です。

現在市販されているレーダ・システムには、シングルチップ・ソリューションとされているものがありますが、実際には違います。現在のソリューションは、ディスクリート・チップの数が3個から1個に減り、レーダ・データの処理に外部のMCUまたはDSPを必要とするトランシーバが必須アドオンとなっているだけです。

CMOSテクノロジーを利用することにより、TIでは統合を次の段階へと進め、インテリジェントなレーダ・フロント・エンドとMCUおよびDSPの各機能をAWR1xシングルチップ・ポートフォリオに統合しました。処理機能がフロント・エンドと同じ位置に配置されていることで、レーダ・システムのサイズとフォーム・ファクタが50%低減します。これにより、複数のレーダ・システムをさらに効率的に設置できるようになります。CMOSテクノロジーとクラス最高の電力管理手法により、AWR1xセンサでは、自動車業界でエネルギー効率に優れた電気自動車を開発するためには欠かせない、低消費電力化が実現しています。設計者がより経済的で軽量のハウジングを選択できるようになったことから、低消費電力化はコスト面での利点にもつながっています。また、消費電力の低下によってAWR1xセンサがより高い周囲温度で動作できるようになったため、センサの信頼性も増えています。

信頼性と量産

これらの機能はどれも、ソリューションが信頼性の高い量産可能なパッケージで提供されたときに初めて、お客様にとって役立つ機能となります。AWR1xミリ波ポートフォリオは、車載対応のフリップチップ・ボール・グリッド・アレイ (FC-BGA) パッケージで供給されます。FC-BGAパッケージ・ソリューションでは、信頼性の高い電気的性能、機械的性能、熱性能が得られるほか、エミッションに対するシールドや、相互接続を保護するためにチップの裏側を覆うアンダーフィルが不要になっているため、ミリ波センシング・テクノロジーに使用される従来型のパッケージに比べて、コスト面での優位性が得られます。

AWR1xミリ波ポートフォリオによるADAS、車体、およびキャビン内アプリケーションの実現

TIのAWR1xミリ波ポートフォリオにより、ADAS、車体、およびキャビン内アプリケーションで高精度センシング・アプリケーションを実現できます。このポートフォリオには、高性能レーダ・フロント・エンド (AWR1243) から、シングルチップ・レーダ・ソリューション (AWR1443とAWR1642) までが含まれます。表1は、AWR1xポートフォリオに含まれる各センサの主要な機能をまとめたものです。

この3つのデバイスから成るポートフォリオでは、USRRやSRRから、MRR、LRR、およびイメージングまで、さまざまなADASレーダ・センサ構成がサポートされています。このポートフォリオにより、すべてのレーダ処理がセンサ側で行われるスマート・センサ・アーキテクチャや、追加処理およびセンサ・フュージョンのために、対象物のデータがレーダ・センサからCAN-FDを介して中央プロセッサに送信されるサテライト・センサ・アーキテクチャが実現できます。




Device	AWR1243 High-performance Radar front end	AWR1443 Ultra-high-resolution single-chip radar	AWR1642 Small, low-power, single-chip radar
			
Frequency band	76–78 GHz	76–81 GHz	76–81 GHz
Number of receivers	4	4	4
Number of transmitters	3	3	2
RF bandwidth	4 GHz	4 GHz	4 GHz
Max sampling rate	37.5 MSPS	10 MSPS	10 MSPS
IF bandwidth	15 MHz	5 MHz	5 MHz
Processing		ARM® Cortex®-R4F 200 MHz	ARM Cortex-R4F 200 MHz C674x DSP 600 MHz
Memory		Radar hardware accelerator—FFT 576 KB	1.5 MB
Interfaces	MIPI CSI2 SPI	CAN SPI	CAN-FD CAN SPI

表 1：AWR1x スケーラブル・ポートフォリオ

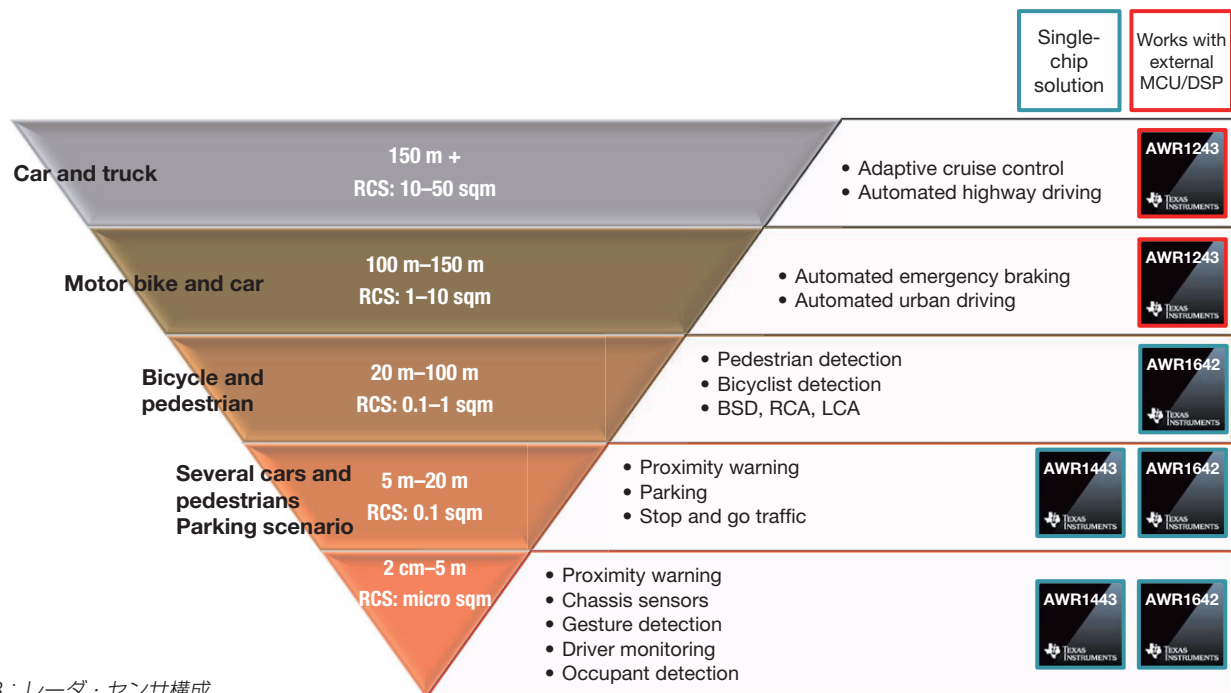


図3：レーダ・センサ構成

図3は、レーダ反射断面積 (RCS) によって定義される検出対象物の距離と種類に基づき、AWR1x ミリ波センサを各種のADAS、車体、キャビン内アプリケーションに対応付けたものです。

結論

開発者が設計ニーズに適したソリューションを自由に選択できる点から、これらのセンサは自動運転市場に対して極めて特化した製品となっています。集積度の高さと占有面積の小ささから、設計者が既存のアプリケーションに新しい機能を追加することもできます。市場がADASや自律型自動車に適応していくなかで、TIのミリ波AWR1xセンサ・ポートフォリオは、その変化に対応できる柔軟性を提供します。

関連情報

ポートフォリオの詳細については、次のリンク先をご覧ください。

www.tij.co.jp/mmwave

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。