

Technical White Paper

次世代レーダー センサにより ADAS システムで検出と計算能力を強化。



Habeeb Ur Rahman Mohammed, Systems and Applications Manager
 Ehtesham Ahmed Shareef, ADAS Applications Engineer

概要

テキサス インストルメンツ (TI) の次世代レーダー センサ **AWR2E44P** および **AWR2944P** は、厳格な NCAP (新車評価プログラム) や FMVSS (連邦自動車安全基準) の自動運転と安全性の規制に適合するよう、性能向上に注力することで、TI の ADAS レーダー製品ラインアップを拡大します。これらのレーダー デバイスは **AWR2944** プラットフォームに「高性能」拡張機能を追加し、RF と計算能力の大幅な進歩を組み込み、ADAS アプリケーションの進化ニーズに対応します。**AWR2E44P** と **AWR2944P** は最適化された社内プロセス技術を活用し、信号対雑音比の向上、処理能力の向上、大容量のメモリにより、コーナー レーダーとフロントレーダー センサの機能を強化するように設計されており、国連規則第 79 号 (UN R79) のニーズに対応します。こうした改善により、検出範囲が拡大し、角度の精度が向上します。これにより、追跡や分類のようなアプリケーションで、より洗練された処理アルゴリズムが実現できるようになります。加えて、ユーザーは信号処理アルゴリズムとレーダー認識のような演算集中型の AI/ML タスクを取り扱うことができます。

TI 独自の第 2 世代 LoP (launch-on-package: 立体配置パッケージ) テクノロジーは、RF 性能をさらに強化し、各デバイスが製造の変動する状況下での堅牢性を維持しながら、コスト効率を高めています。ソフトウェア コンポーネントでサポートされる使いやすいハードウェア評価基板により、開発サイクルを短縮できます。これらの新しいレーダー デバイスは、前世代との間で後方互換性を維持しているため、移行プロセスを効率化し、リスクを最小化するとともに、開発コストの節減、安全認証に要するスケジュールの短縮に貢献します。このホワイト ペーパーは、**AWR2E44P** と **AWR2944P** の各レーダー センサが性能上の新しい基準をどのように確立することで、OEM が将来の ADAS 要件を満たす強力な信頼性の高いデバイスを実現し、ソフトウェアの再利用性やスケーラビリティに関して妥協なく自動運転能力を向上させるかを解説します。

目次

1 はじめに.....	2
2 ADAS レーダー市場のトレンドと要件の進化.....	2
3 AWR2E44P と AWR2944P の性能、処理能力、メモリの拡張.....	2
3.1 信号対雑音比 (SNR) の改善.....	3
3.2 TI の第 2 世代立体配置パッケージ技術 (LOP).....	4
3.3 計算能力の向上.....	4
3.4 レーダー データ キューブ用の拡張メモリ.....	5
3.5 1Gbps イーサネット インターフェイス.....	5
3.6 強化されたセキュリティと信頼性.....	5
3.7 eBOM の最適化.....	5
4 ソフトウェアの拡張性と再利用性に妥協する必要はありません.....	5
4.1 ソフトウェア開発キット.....	5
4.2 マイコン抽象化層.....	5
4.3 mmWave DFP (デバイス ファームウェア パッケージ).....	6
4.4 TI の基本的なセキュリティ.....	6
4.5 安全診断ライブラリ.....	6
5 AWR2E44P の評価と測定.....	6
6 まとめ.....	7
7 謝辞.....	7

1 はじめに

自動車業界は、高度な自律性レベルへの移行を進めているので、安全性と性能に関する厳格な基準を満たすレーダーセンサを必要としています。レーダー技術は ADAS 向けのリアルタイム データの提供、ACC (アダプティブ クルーズ コントロール)、LCA (車線変更支援)、衝突防止など自動車の機能のサポートにおいて重要な役割を果たしています。規制やコンシューマからの期待が高まる中で、レーダー センサは検出範囲を拡大し、物体を識別する分解能を向上させ、堅牢なデータ処理能力をサポートする必要があります。AWR2E44P と AWR2944P の各センサは、性能、計算能力、製造品質に関する重要な技術的進歩を通じてこれらのニーズに対応し、高性能でコスト効率の優れたレーダー システムの新たな基準を打ち立てます。AWR2E44P はアンテナに対する TI の LoP インターフェイスをサポートしており、AWR2944P はアンテナに対する PCB インターフェイスをサポートしています。

2 ADAS レーダー市場のトレンドと要件の進化

5 ～ 6 年前、ADAS 市場では OEM 各社が NCAP BSD (死角検知)、ACC (アダプティブ クルーズ コントロール)、AEB (自動緊急ブレーキ) を自社の自動車に搭載する必要があり、検出範囲は 150 ～ 200 メートル程度でした。OEM のアーキテクチャは主に、データレートが最大 6 ～ 8Mbps に制限された CAN-FD インターフェイスを備えたエッジ センシング システムに依存しています。今日、UN R79 の導入によって、より厳格な NCAP 要件に向かって市場のトレンドが加速しています。コーナー レーダーとフロントレーダーの距離要件は 30 ～ 40% 増加し、高度検出などの追加機能が必要になりました。また、OEM のアーキテクチャも高速イーサネット インターフェイスに移行しており、最大 100Mbps 以上のデータレートをサポートしています。AWR2944 レーダー センサはこのようなトレンドに応答するために導入され、4 つの受信チャンネルと 4 つの送信チャンネルなどを拡張する構成を実現します。将来を見据えて、各種レーダー センサはレベル 3 と自動運転をサポートするために、静止物体を区別し、物体の分類を改善する複雑な検出機能など、さらに上位の規格を満たす必要があります。これらのシステムでは、出力電力のみを増加させるのではなく、ノイズ指数を低減することを重視して信号対雑音比を最適化する必要があります。これは、出力電力のみを増加させると、場面内にブロッカーや大きな物体が存在する場合に熱的な課題やノイズフロアの課題が発生するためです。AWR2944P と AWR2E44P の各レーダーセンサは、TI 独自の強化プロセス技術と第 2 世代の LoP テクノロジーを活用し、信号対雑音比の向上や計算性能の強化を実現することで、高速道路や交差点でのアイズオフやハンズオフによる自動運転のような複雑なシナリオをサポートします。

3 AWR2E44P と AWR2944P の性能、処理能力、メモリの拡張

AWR2E44P および AWR2944P は、AWR2944 製品ファミリに比べて性能が向上しており、NCAP および AD の要件を満たす RF 性能と計算能力が強化されています。図 3-1 に、AWR2E44P/AWR2944P アーキテクチャのブロック図を示します。これらのデバイスはどちらもシングル チップの 76 ～ 81 GHz FMCW レーダー センサであり、以下の機能を備えています。

- 4 個の内蔵トランスミッター
- 4 個の内蔵レシーバ
- キャリブレーション エンジン
- 監視エンジン
- シンセサイザ
- C66x DSP
- ハードウェア セキュリティ モジュール (HSM)
- ハードウェア アクセラレータ (HWA)
- メモリ
- インターフェイス

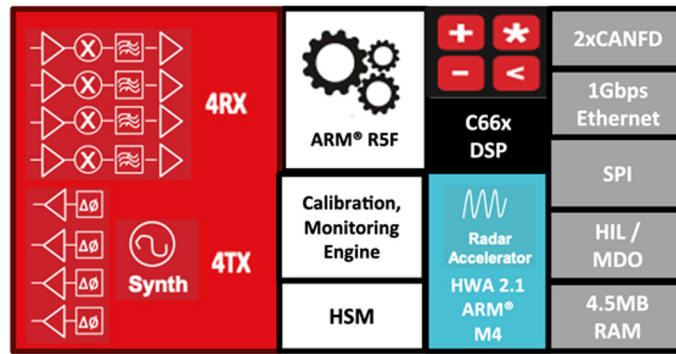


図 3-1. AWR2E44P / AWR2944P のブロック図

AWR2E44P と AWR2944P は、センサ全体の信号対雑音比の改善、コンピューティング機能の強化、メモリの増強、TI 第 2 世代 LoP の使用、10 倍のデータ転送レート、HSM の改善、eBOM (電子部品表) の最適化を実現します。

3.1 信号対雑音比 (SNR) の改善

LNA (低ノイズアンプ) および PA (パワー アンプ) のターゲットトランジスタの変更により、AWR2E44P および AWR2944P は SNR で 2 ~ 3dB のゲインを達成します。複雑な運転環境で高精度の検出と分類を実現するには、この改善が不可欠です。これらのターゲットトランジスタの拡張機能により、トランジスタの F_t (トランジット周波数) および F_{max} (最大発振周波数) が向上します。 F_t は、電流ゲインが 1 または 0dB に近づく周波数です。 F_t を高くすることで、スイッチング回路に不可欠な、より高速なクロック速度をサポートでき、またノイズ指数も向上することで、ミリ波アプリケーションのフロント エンド性能が向上します。 F_{max} は、電力ゲインがゼロに近づく周波数です。 F_{max} を高くすると、トランジスタ ゲインが改善され、電力効率が大幅に向上します。TI 製品は、より高い F_t と F_{max} を有することで、消費電力を増やさずに、より優れた SNR を実現できます。図 3-2 に、AWR2944P と AWR2E44P の F_t と F_{max} において、AWR2944 に比べてそれぞれ +20% と +10% の割合で上昇させ、SNR を向上させる方法を示します。図 3-2 および図 3-4 に、標準的な条件下で達成された AWR2944P の出力電力とノイズ指数の拡張を示します。したがって、AWR2E44P と AWR2944P は、ノイズの多い環境での高精度検出に不可欠であり、SNR の改善を通じて、信号の明確さを向上させることができます。

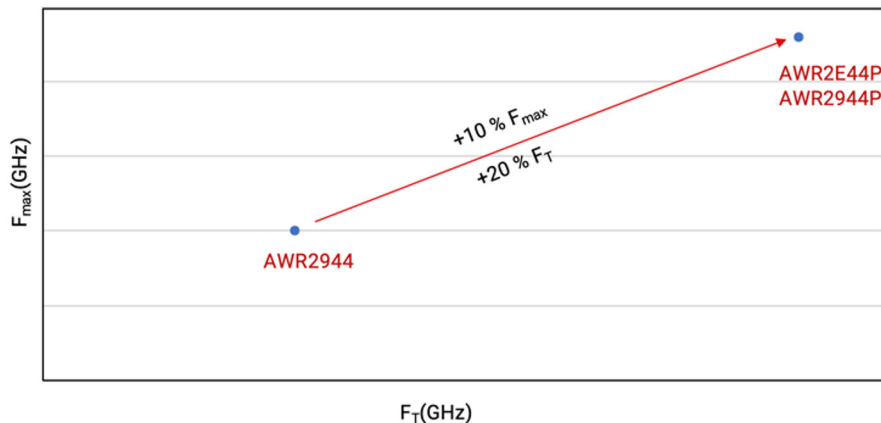


図 3-2. AWR2E44P と AWR2944P の F_t と F_{max} を拡張

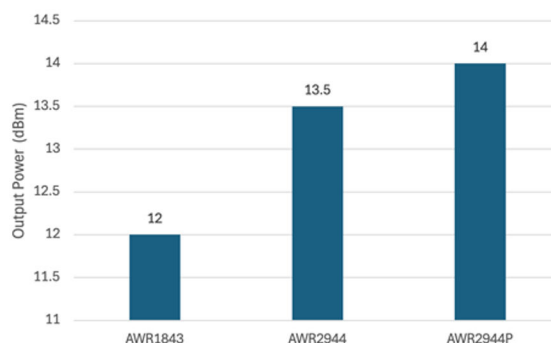


図 3-3. AWR2944P の出力電力拡張

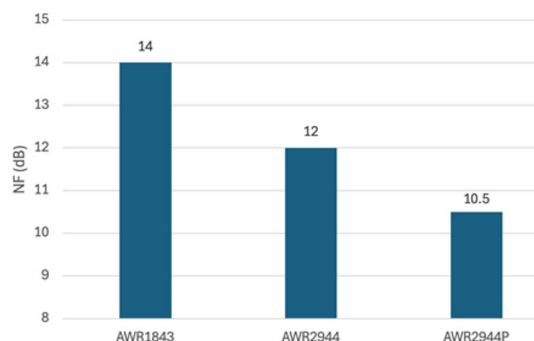


図 3-4. AWR2944P のノイズ指数拡張

3.2 TI の第 2 世代立体配置パッケージ技術 (LOP)

TI の LoP 技術を使用すると、パッケージ放射素子から 3D アンテナに PCB 内の導波管を経由して直接信号を送信できるので、効率的な電磁信号伝達を実現できます。AWR2E44P は第 2 世代の最適化された遷移を使用して、アンテナ素子までの伝送距離を短縮し、RF 性能と熱管理を改善します。図 3-5 は、第 2 世代 LoP 技術によるダブルリッジ導波管の使用を示しています (前世代で使用されていた楕円導波管と比較)。ダブルリッジ導波路により、遷移サイズを約 17% 削減できます。サイズの低減により、ボードレベルの信頼性が向上し、PCB やアンテナ アセンブリのバラツキに対して安定した性能が保証されます。また、このコンパクトなパッケージは RF 損失の低減を可能にし、検出機能の強化にとって重要なアンテナの視野角 (FOV) を拡大することで空間範囲を拡大します。

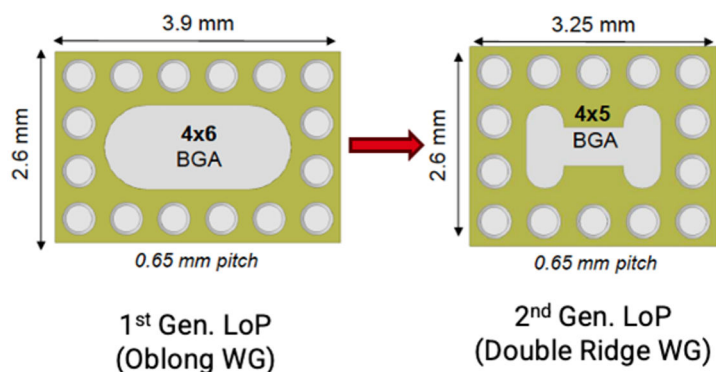


図 3-5. TI の第 2 世代テクノロジーの拡張

3.3 計算能力の向上

AWR2E44P および AWR2944P により、処理能力が約 30% 向上します。これは、追跡、クラスタ化、分類などの複雑な後処理アルゴリズムの実現と改善を進めるうえで重要です。その結果、ADAS の意思決定に適した高度なデータを提供

できます。この計算能力により、これらの製品は AI および ML タスクをさらに処理できます。レーダー認識のように、信号処理アルゴリズムとの組み合わせで使用できます。[AWR2944P と AWR2E44P での計算能力の拡張](#) に、AWR2944 に対して AWR2944P と AWR2E44P での計算能力が拡張していることを示します。

表 3-1. AWR2944P と AWR2E44P での計算能力の拡張

	AWR2944	AWR2944P / AWR2E44P	AWR2944P – AWR2E44P での計算能力の拡張
MCU	Arm® Cortex®-R5F, LS, 300MHz, 606 DMIPS	Arm® Cortex®-R5F, LS, 400MHz, 808 DMIPS	<+50% DMIPS
		Arm® Cortex®-M4 100MHz, 125 DMIPS	
DSP	C66x, 360MHz, 11.52 GMAC	C66x, 450MHz, 14.4 GMAC	<+25% GMACS
HWA	HWA 2.1, 300MHz, 8.4GOPs	HWA 2.1, 400MHz, 11.2GOPs	+33.33% の GOPs

3.4 レーダー データ キューブ用の拡張メモリ

AWR2944P と AWR2E44P は、AWR2944 に比べてメモリ容量が 20% 増加しています。これにより、さらに大型のレーダー データ ストレージが可能で、高分解能のデータ分析をサポートできます。

3.5 1Gbps イーサネット インターフェイス

信号対雑音比が向上すると、検出する物体数が増加し、イーサネット帯域幅が高くなると、データ転送能力が強化されます。AWR2E44P と AWR2944P は、1Gbps のデータ レートに対応する専用イーサネット IP を搭載しています。その結果、ADAS システム間でのシームレスなデータ通信を確保し、コネクテッド車両システムの高速要件を満たすことができます。

3.6 強化されたセキュリティと信頼性

内蔵のハードウェア セキュリティ モジュール (HSM) は、AES-256、SHA-512、PLA、TRNG、SM2/3/4 などの高度な暗号化アルゴリズムをサポートしており、データ整合性の向上や自律アプリケーションの厳しいサイバー セキュリティ要件を満たすことができます。

3.7 eBOM の最適化

AWR2E44P と AWR2944P は 25MHz クロックを出力し、イーサネット PHY チップ向けの外部水晶振動子を置き換えることができるため、レーダー センサ モジュールの電子部品表 (eBOM) を最適化できます。

4 ソフトウェアの拡張性と再利用性に妥協する必要はありません

ソフトウェアは、TI 製品の不可欠な部分です。AWR2E44P と AWR2944P は、機能安全ソフトウェア開発に関する ISO 26262 と IEC 61508 に準拠しているとして、TÜV SÜD による認証を取得しています。開発サイクルを短縮し、安全認証時間を短縮できるように、AWR2E44P と AWR2944P には、以下のソフトウェア パッケージを使用して顧客のアプリケーションを実装できるように、リファレンス コードも提供されています。

以下のソフトウェアの大部分は、TI.com TI-REX (TI Resource Explorer) から提供されています。TI-REX では、TI の使用事例に関連するリファレンス アプリケーション、SBL ツール、詳細資料 (TI Radar Academy)、トレーニング資料をワンストップで入手できます。

4.1 ソフトウェア開発キット

AWR2E44P と AWR2944P には [MCU Plus SDK](#) が付属しています。これには、アプリケーション サンプルが付属した SoC ペリフェラルドライバ、UART、CAN、イーサネットをサポートする SBL (セキュア ブート ロード) が含まれています。開発サイクルを短縮するために、[OOB \(out of box\) デモとビジュアライザ](#)を使用できます。

4.2 マイコン抽象化層

TI は、マイコンドライバ、メモリドライバ、通信、IO ドライバを [サンプル アプリケーション](#)とともに提供するマイコン抽象化レイヤ (MCAL) を提供しています。[図 4-1](#) に、TI が提供する MCAL 層を採用した AUTOSAR (AUTomotive Open

System ARchitecture) アーキテクチャを示します。Vector など、TI の優先順位の高い多くのパートナーは、ティア 1 ソフトウェア リリース向けに TI-MCAL と AUTOSAR® を統合しています。

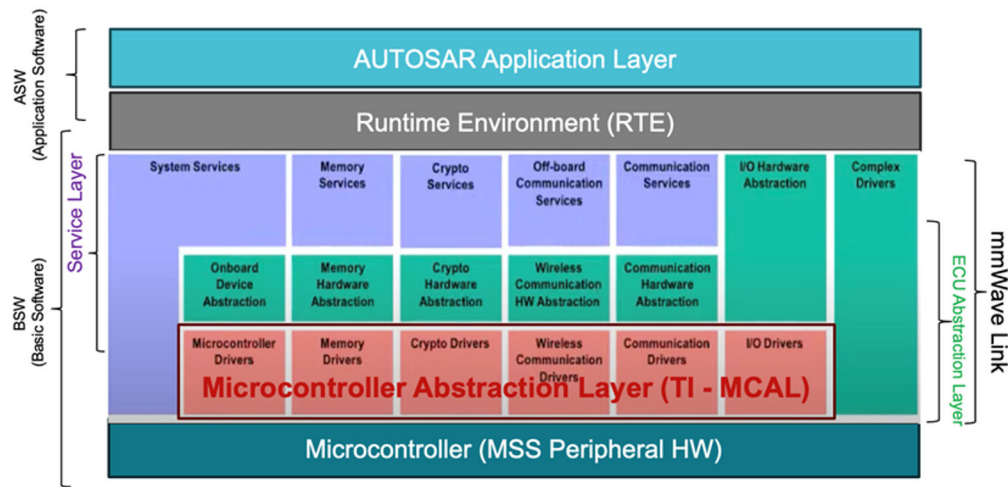


図 4-1. AUTOSAR アーキテクチャ、TI 提供の MCAL ドライバ パッケージ付き

4.3 mmWave DFP (デバイス ファームウェア パッケージ)

TI は AWR デバイスの RF フロント エンドを制御するためのクリーンな API セットを提供しており、**TI mmWave DFP (デバイス ファームウェア パッケージ)** に対応する **ICD (インターフェイス制御資料)** の広範な資料も付属しています。DFP により、ある AWR バリエーションから別の AWR ハードウェア バリエーションへの迅速な移行が可能になります。

4.4 TI の基本的なセキュリティ

AWR2E44P と AWR2944P には TIFS パッケージが付属しているため、セキュリティ機能を迅速に開発できます。お客様は TIFS を、サードパーティーの HSM (ハードウェア セキュリティ モジュール) ソフトウェア開発の出発点として使用できます。暗号化アクセラレータドライバとサンプル、HSM ランタイム リファレンス アプリケーションは、TIFS パッケージの一部として提供されています。

4.5 安全診断ライブラリ

AWR2E44P および AWR2944P には TI の SDL (安全診断ライブラリ) が付属しているため、安全診断機能を容易に実装し、安全認証の開発を迅速化できます。セーフティー マニュアルに詳細な資料も付属しています。

5 AWR2E44P の評価と測定

AWR2E44P と AWR2944P の各デバイスで利用できる使いやすい評価基板 (EVM) は、未加工データ キャプチャの目的で **DCA1000EVM に直接接続できます**。図 5-1 に、3D 導波管アンテナを取り付けた AWR2E44PEVM を示します。この評価基板 (EVM) キットには、オンチップの C66x DSP、ARM® Cortex®-R5F コントローラおよびハードウェア アクセラレータ (HWA 2.1) 向けのソフトウェア開発を開始するために必要なものがすべて付属しています。ソフトウェア開発やハードウェア評価に役立つ複数のデバッグ機能が含まれています。これらのキットには、オンボード XDS110、CAN-FD トランシーバ、イーサネット PHY、温度センサ、電流センサ、および DCA1000EVM または外部デバッガとのインターフェイスに使用できる高速コネクタが含まれています。図 5-2 に、AWR2E44PEVM の方位角アンテナ パターン測定値と仰角アンテナ パターン測定値を示します。

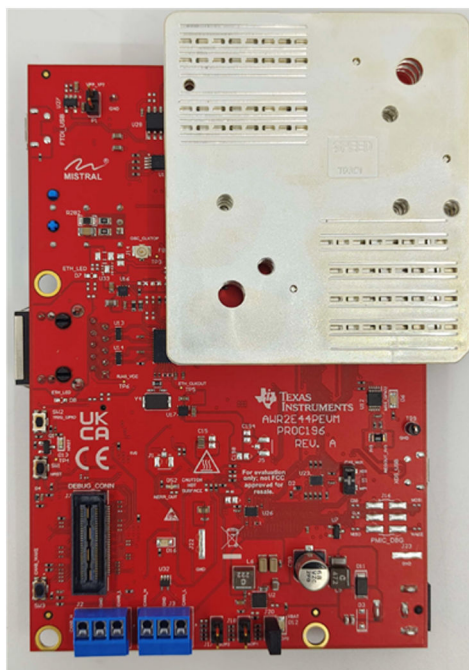


図 5-1. 3D 導波管アンテナ搭載の AWR2E44P 評価基板

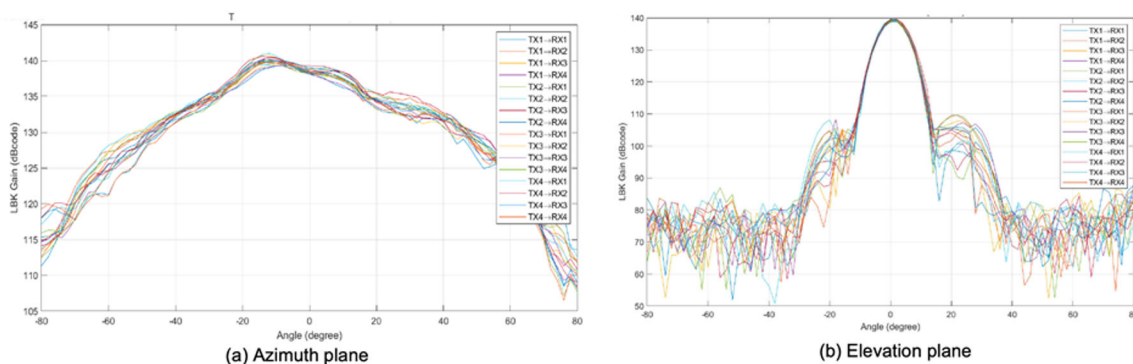


図 5-2. AWR2E44P アンテナの測定結果は水平面と垂直面の結果です

6 まとめ

AWR2E44P と AWR2944P の各レーダー センサは、ADAS レーダー テクノロジーの分野で飛躍的な進歩を実現し、検出距離、角度精度、計算能力の面で性能を向上させています。先進的なトランジスタ最適化や先進的な第 2 世代 LoP パッケージなど、独自のプロセス技術を活用し、高い精度と信頼性を求める自動車業界のニーズにコスト効率よく対応します。従来のモデルとのハードウェアとソフトウェアの互換性を重視した設計を採用したこれらの新しいレーダー センサは、シームレスなアップグレードパスを実現するとともに、OEM の開発コストの削減と開発期間の短縮に貢献します。ハードウェア性能の継続的な革新と、スケーラブルで再利用可能なソフトウェアを組み合わせることで、TI は ADAS や自動運転の将来の進化を支援し、より安全で、応答性が高く、さらにインテリジェントな自動車の開発を支援しています。

7 謝辞

著者らは、このホワイトペーパーへの貢献に対して、*Snehaprabha Narnakaje, Gerold Joseph Dhanabalan, Peter Aberl, Krishnanshu Dandu, Sami Mardini, Aydin Kiasat, Sunil T. V., James Murdock, Srinivas Lingam, Venkatesh Srinivasan, Mac Skinner*, および *Michelle Johnson* に感謝申し上げます。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated