

Technical White Paper

センサなしのセンシング: Wi-Fi がスマートな選択肢である理由



Maddy Marsh

概要

Wi-Fi® センシングは、既存の Wi-Fi インフラを、動作追跡機能がある非接触型の空間認識センサに変換する、急速に台頭している技術です。エッジ AI (人工知能) の最近の進歩により、Wi-Fi センシング モデルとアルゴリズムは、低コストの Wi-Fi マイコンで直接動作し、既存の Wi-Fi インフラを活用できる可能性が出てきました。このホワイトペーパーでは、Wi-Fi センシングの目的と利点を解説するとともに、組込みプロセッシングおよびソフトウェアの進化により、さまざまなアプリケーションにおいて実装がこれまで以上に容易になっていることについて説明します。このホワイトペーパーでは、業界の活動と、Wi-Fi Alliance や IEEE のような標準化団体が、技術の標準化と相互運用性にどのようにアプローチしているかを説明します。また、このような新しい使用事例を実現するために TI の Wi-Fi が開発しているハードウェアとソフトウェアのソリューションについても説明しています。

目次

1 概要.....	2
2 Wi-Fi センシングの利点とは？.....	3
3 現在どのような業界活動が行われているか？.....	5
4 テキサス・インスツルメンツは Wi-Fi センシングの成長にどのように対応しているのか？.....	5
5 その他資料.....	6
6 まとめ.....	6

商標

CCStudio™ is a trademark of Texas Instruments.

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth® SIG, INC.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries or affiliates) in the US and/or elsewhere.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

世界がスマートなコネクテッド デバイスへの依存度を高めるにつれて、革新的な使用事例が出続けています。**Wi-Fi センシング**は、**IoT (モノのインターネット)** 市場で勢いを増している技術の 1 つです。専用ハードウェアを必要とする従来のセンサとは異なり、**Wi-Fi センシング**は、ほとんどの建物やデバイスに既に存在している既存のワイヤレス インフラを活用し、活動検知および環境認識のための、より費用対効果が高く、拡張性のある設計を実現します。

従来、**Wi-Fi** は、デバイス間でデータをワイヤレス送信するという単一の目的を果たしてきました。データ パケットは、インターネットトラフィック、ビデオ ストリーム、**Web** ページなどの有用な情報を伝送します。**Wi-Fi センシング**は、**Wi-Fi** 信号をまったく異なるアプリケーションに再利用することで、この慣例を変えます。つまり、動きに付随するデータをキャプチャせずに、動きを検出して分析します。**Wi-Fi センシング**は、データ パケット内の情報に焦点を当てるのではなく、データ パケットを伝送する **Wi-Fi** チャンネルの品質と特性を分析します。

Wi-Fi 無線機が空中にパケットを送信する際、信号はその経路上にある壁、家具、人などの障害物に遭遇し、複雑なパターンで反射します。反射は、信号路内で物体や人が動くとはっきりと変化します。これらの変化は、チャンネル状態情報 (**CSI**) を通じてキャプチャできます。**CSI** は、標準の **Wi-Fi** 無線データですでに利用可能な **OFDM** サブキャリアでの信号振幅や位相などの物理層特性を詳細に測定したものです。**CSI** は基本的に、トランスミッタとレシーバ間の **Wi-Fi** チャンネルにおける現在の状態を特性評価し、チャンネルの周囲の環境を反映するデータ ストリームを提供します。**CSI** 測定を継続的に分析することで、システムは環境の微妙な変化を検出し、発生している動きや活動について推論することができます。

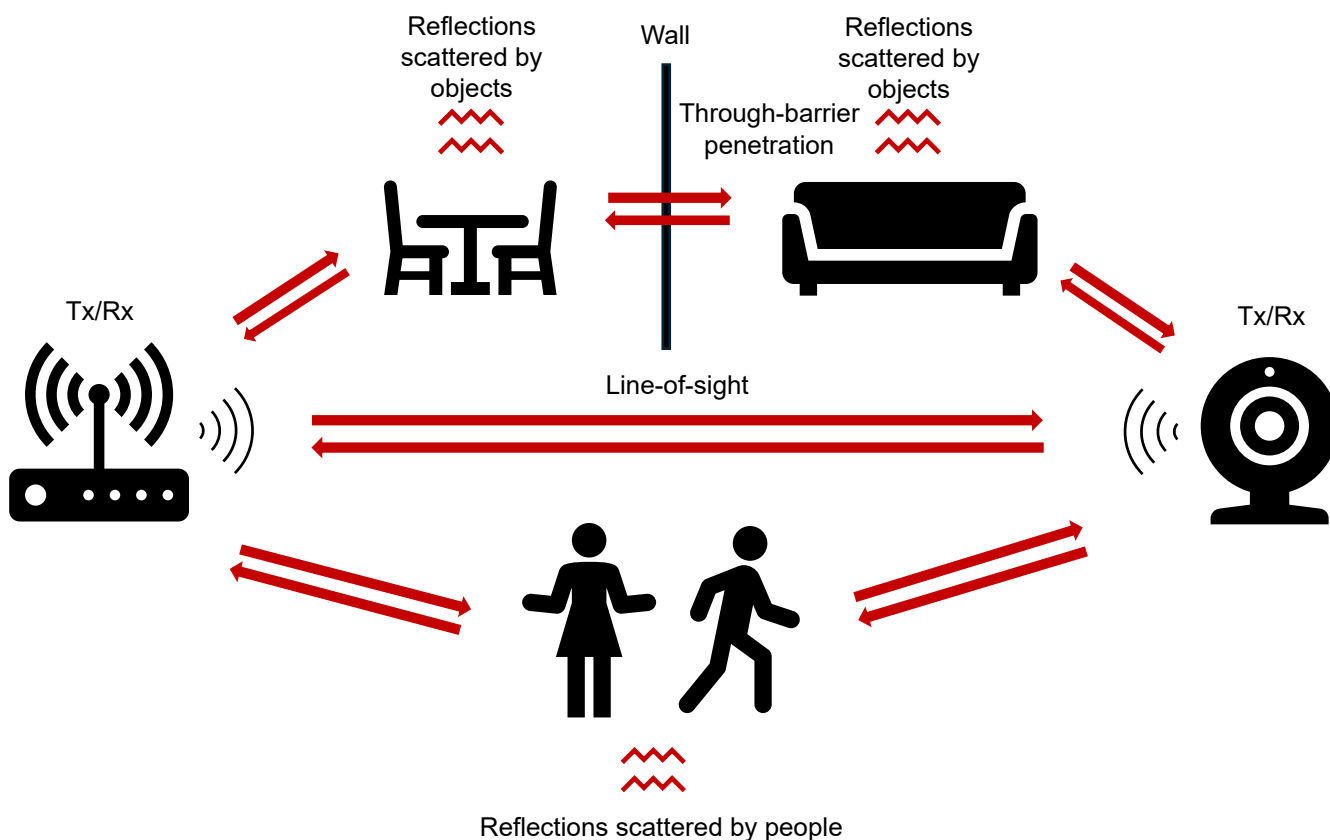


図 1-1. フロー図

未加工の **CSI** データには、有意義なインサイトを得るための高度な分析が必要です。この場合、データの出所に近い場所で **AI** モデルをローカルで実行する能力であるエッジ **AI** が重要な役割を果たします。**CSI** パターンでトレーニングされた機械学習モデルは、特定の動作の認識、人の有無の検出、バイタルサインの監視、ジェスチャの識別などを学習できます。これらのツールを使用することで、開発者はリソースに制約のあるデバイスでモデルを効率的にトレーニングし、これらのモデルを最終製品に導入することができます。

2 Wi-Fi センシングの利点とは？

Wi-Fi センシングには、製品開発者にとってこの技術を魅力的にする、いくつかの注目すべき利点があります。1 つ目は、既存の Wi-Fi プロトコルとインフラストラクチャを活用して、802.11 伝送プリアンプルにネイティブであるレガシー ロングトレーニング フィールド (L-LTF) からチャネル状態情報を計算できることです。802.11 フレームは、すべてのサブキャリアで既知のシンボルを含む L-LTF で送信されます。これにより、レシーバは、サブキャリアごとに 1 つずつ、複素数の配列として表されるチャネル状態を抽出できます。20MHz チャネルで OFDM 送信を行う場合、このようなサブキャリアは 52 個あり、その結果チャネル状態で 52 個の複素数が生じます。通常、チャネル状態はレシーバでデータ ペイロードをデコードするために使用された後、破棄されますが、Wi-Fi センシングの場合、個別のチャネル状態そのものが重要になります。フレーム間でチャネル状態がどのように変化するかを比較することで、トランスミッタとレシーバとの間で無線周波数チャネルの物理的な変化を検出できます。これは、物体の動きやその他の物理的な変化に対応します。

したがって、CSI は 802.11 OFDM のネイティブ機能であり、プロトコルの変更や追加のハードウェアは必要ありません。これが意味するのは、任意の最新 Wi-Fi チップに対して追加のシステム コストをかけることなく、Wi-Fi センシングを活用して既存の Wi-Fi ネットワークを再利用できる可能性があるため、コネクテッド デバイスにセンシング機能を追加できる費用対効果がより高い方法を実現できます。

加えて、Wi-Fi 信号は周囲の照明条件に関係なく動作できます。Wi-Fi 信号は物理的なバリアを貫通する可能性があるため、Wi-Fi センシングでは直接の見通し距離を必要としません。たとえば、寝室にあるスマート プラグは、外の廊下での動きを検知できます。これは従来のモーション センサでは不可能な機能です。Wi-Fi センシングは標準的な無線信号に完全に依存しているため、個人データのプライバシー保護は Wi-Fi センシングがもたらす最も重要な利点の 1 つであり、カメラや他の侵襲的な監視機器が不要になります。

これらの利点により、IoT 市場全体で新しい用途が開発されました。その結果、Wi-Fi は、より費用対効果の高いセンシングを実現するための新たなオプションを提供できるようになりました。ホーム セキュリティまたはビデオ監視の分野で、Wi-Fi センシングは、カメラが死角を持つ領域で人の存在を検出する壁透過機能を実現します。スマート HVAC、スマート照明、スマート家電の各システムは、Wi-Fi センシングを使用してエネルギーを最適化します。たとえば、スマート サーモスタットは長時間の不在を検出し、居住者が家に戻るまでエアコンの使用を減らすことができます。エネルギー節約から、強化されたセキュリティ、ヘルスモニタリングに至るまで、Wi-Fi センシングは、よりスマートでより空間を意識した製品の実現に役立つ技術を可能にします。

Wi-Fi sensing enabled devices for occupancy detection

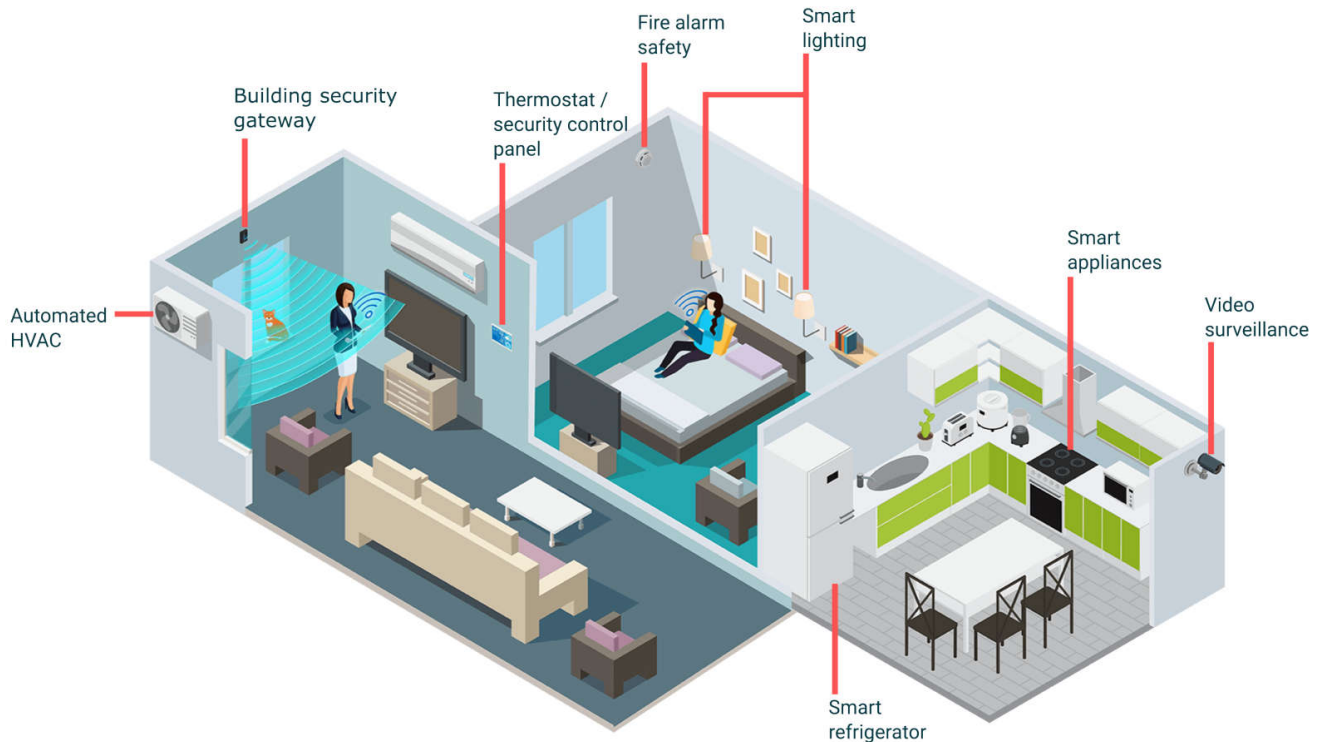


図 2-1. スマートハウス

スマートデバイス市場で Wi-Fi センシングが注目を集めている現状で、製品を導入する前に理解する必要のある重要なトレードオフが存在します。高精度の位置測定や速度測定に優れたレーダーなど他の技術と比較して、Wi-Fi センシングは位置識別精度と引き換えに、障害物を透過して動作し、既存のインフラを活用できる利点があります。

消費電力ももう 1 つの問題です。Wi-Fi センシングは、受動型赤外線センサなどの超低消費電力センシングに比べて、一定の期間にわたって連続的なパケット送信を必要とし、消費電力が大幅に増加します。その結果、現在の Wi-Fi センシングは一般的に、バッテリー動作設計向けに最適化されていません。

さらに、Wi-Fi センシングには、CSI データを抽出するために、送信側と受信側のペアという 2 つのデバイスが必要です。これは、基本的なアーキテクチャ上の制約です。環境要因は重要な役割を果たすことがあります。たとえば、室内の高密度な障害物が信号を弱める可能性があり、送信側と受信側の物理的な配置がセンシングの精度に直接影響を及ぼす可能性があります。開発者は、特定の環境に合わせてデバイスの配置とアルゴリズムの調整を注意深く検討する必要があります。これは、TI において積極的に研究開発を行っている分野です。

表 2-1. Wi-Fi センシングの利点と問題

利点	注意事項
<ul style="list-style-type: none"> 既存の Wi-Fi インフラを活用でき、追加のハードウェアやプロトコルの変更は不要 あらゆる照明条件で動作 物理的な障壁や壁を貫通し、見通し線は不要 カメラや侵襲的な監視装置を必要とせずにプライバシーを保護 多様な空間認識アプリケーション (ホーム セキュリティ、存在検知、エネルギー最適化、ヘルスマモニタリングなど) を実現可能 	<ul style="list-style-type: none"> レーダーと比較して位置識別精度が低い 連続的なパケット送信が必要 (高消費電力) 送信側と受信側のペア アーキテクチャが必要 環境要因や障害物に敏感で、デバイスの配置が精度に影響を及ぼす 特定の環境に合わせて慎重なアルゴリズム調整が必要

3 現在どのような業界活動が行われているか？

Wi-Fi センシング技術は 10 年以上にわたって存在してきましたが、標準化への取り組みが開始されるまでは、実装の多くは独自仕様であり、専用のハードウェアでのみサポートされていました。Wi-Fi センシングの初期には、多くの研究者が Wi-Fi 信号を再利用して位置検知や動体検知を行う方法を学び始めました。数年後に、開発者は、人間の転倒を検出する Wi-Fi センシング設計を開発しました。この技術が 2019 年に消費者市場に到達したとき、IEEE はこの技術の研究に介入し、最終的に 2020 年に公式の WLAN センシング規格として 802.11bf 規格を確立しました。802.11bf 規格は、現在のインフラストラクチャで Wi-Fi センシングを実行するために必要ではありませんが、この規格は高度な機能を実現するオプションの拡張機能を提供しています。

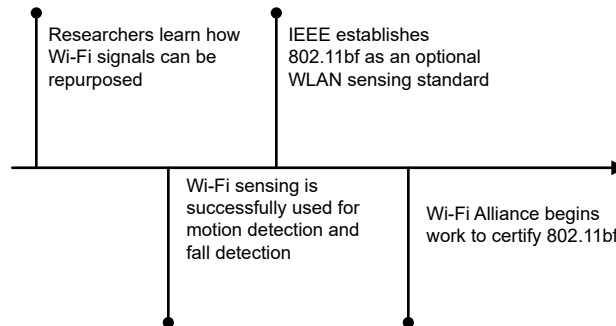


図 3-1. Wi-Fi センシング開発のタイムライン

802.11bf 規格は、制御と調整のための標準化されたメカニズムを追加することで、Wi-Fi センシング機能を拡張します。この規格では、WLAN センシング デバイスが他のステーションに WLAN センシング機能を通知し、センシング対応の送信を要求および設定し、センシング フィードバックと情報を交換する方法を定義しています。

Wi-Fi センシングへの関心が開発者の間で高まっている現状で、Wi-Fi Alliance は、802.11bf 規格の実装を認証するためのフレームワークの設計を開始しています。この認定プログラムは、異なるベンダーのデバイス間の相互運用性を促進し、市場での採用を促進することを目的としています。

4 テキサス・インスツルメンツは Wi-Fi センシングの成長にどのように対応しているのか？

テキサス・インスツルメンツは、ハードウェアとソフトウェアの両方の革新を通じて Wi-Fi センシングの採用を実現しています。CC3551E は、センシング アプリケーション向けに構築された Wi-Fi 6 および Bluetooth® Low Energy 5.4 ワイヤレス マイコンです。このマイコンは、Arm® Cortex®-M33 プロセッサと組込みニューラル プロセッシング ユニット (NPU) を組み合わせ、カスタム データ パス拡張 (CDE) により、高性能かつ電力効率の優れた AI アクセラレーションを実現します。

CC3551E のアーキテクチャは、標準アプリケーション コードとワイヤレス ネットワーク スタックを処理するためのプライマリ M33 プロセッサを使用してワークロードを分散する一方、NPU は CSI データ分析のための機械学習アルゴリズムと複雑な演算を並列に実行します。このデバイスは、接続されているピアとやり取りされる標準 Wi-Fi 信号から CSI データをネイティブに抽出し、アプリケーションがアクセスしてさらなる分析のために NPU に渡すことができる API を介してこのデータを公開します。

CSI データの抽出は、最初の手順にすぎません。開発者には、プログラミングに関する専門知識をほとんど必要とせず、AI モデルの分析、テスト、導入を行うためのツールが必要です。テキサス・インスツルメンツは、2 つの補完的なアプローチによってこの問題に取り組んでいます。Wi-Fi センシングの実装全体を包括的に制御することを検討している経験豊富な開発者は、独自のセンシング機能を備え、市場差別化を図るカスタム設計を開発することができます。モデル開発に関する深い専門知識なしで Wi-Fi センシング アプリケーションの実験を希望される開発者向けに、テキサス・インスツルメンツは CCStudio™ Edge AI Studio を提供しています。

TI の CCStudio™ Edge AI Studio は、CC3551E などのテキサス・インスツルメンツ製組込みデバイスにおけるエッジ AI 開発を簡素化し、迅速化するグラフィカル ツールおよびコマンドライン ツール群です。このツールには、Model Composer、Model Analyzer、モデル選択ツール、Model Maker が含まれており、設計者は評価基板に物理的に接続することなく、モデルとその性能を迅速に評価できます。また、開発者は、独自データを使用してモデルを学習させ、環境に応じた最適化を実現できます。その後、CC3551E 向けのモデル圧縮とオンデバイス AI 処理に対応する統合ツールを

使用して、それらのモデルを展開することもできます。幅広い開発パスを備えた CCStudio™ Edge AI Studio により、より幅広い層の開発者が革新的なアプリケーションを市場に投入できるようになります。

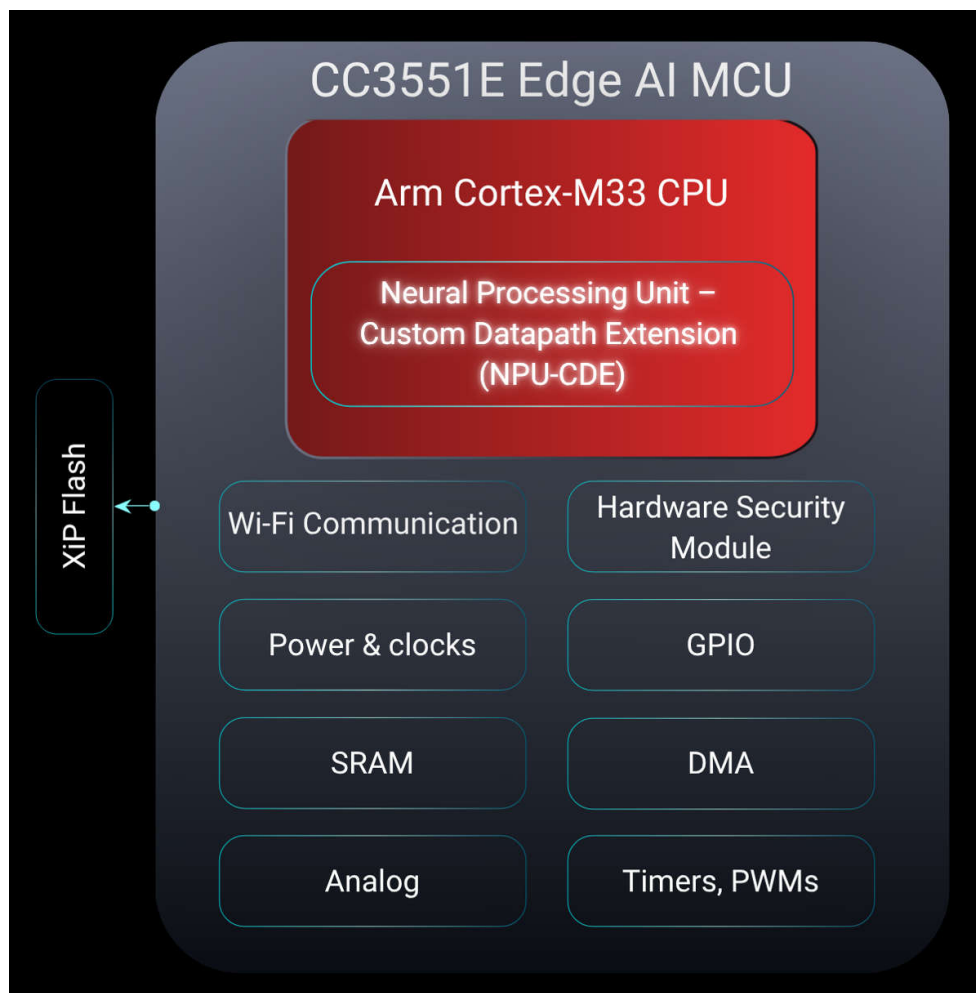


図 4-1. エッジ AI + CC3551E のブロック図

5 その他資料

- TI の [CC3551E](#) – Wi-Fi 6 + BLE 5.4 コンボ ワイヤレス マイコンをご確認ください
- TI の [LP-EM-CC35X1](#) 評価キットを使用して始めましょう
- TI の [エッジ AI Wi-Fi センシングの使用事例](#)をご確認ください

6 まとめ

Wi-Fi センシングはまだ初期段階にあります。空間認識アプリケーションを再構築する Wi-Fi センシングの可能性は、特に専用のハードウェアやカメラを必要とせずにインテリジェント センシング機能を追加する機能に関して明確になってきています。802.11bf 規格のような標準化の取り組み、AI アクセラレーションを統合した CC3551E などのハードウェアの改善、CCStudio™ Edge AI Studio のような直感的なソフトウェア ツールにより、Wi-Fi センシングを実装する障壁はこれまでになく低くなっています。経験レベル問わず、あらゆる設計者が、センシング アプリケーションの実験、独自のデータによるモデルの学習、特定の環境に合わせた設計の導入を行えるようになりました。この技術に精通する開発者が増えるにつれ、Wi-Fi センシングがスマートハウス デバイス、産業用 IoT システム、ネットワーク接続型アプリケーションの標準機能になることが業界では期待されます。Wi-Fi デバイスや関連ツールが世代を重ねるごとに、Wi-Fi センシングは、プライバシーを保護しつつ、コスト効率に優れたセンシング機能を実現する新たな可能性を継続的に切り開いています。

重要なお知らせと免責事項

TI 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みいかなる保証も、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、TI 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 TI 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、TI は一切の責任を拒否します。

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 TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI 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。TI 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、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI 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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月