ホワイトペーパー

SiC MOSFETの性能改善と電圧範囲の向上

本記事では、インフィニオン テクノロジーズが最近リリースしたCoolSiC™ MOSFET G2の性能上の利点を紹介します。

炭化ケイ素 (SiC) デバイスは、電気自動車 (EV) のトラクション インバーターや車載充電器 (OBC)、急速EV充電インフラ、モーター制御、太陽光発電、蓄電、ソリッドステート トランスなどの産業用および車載用アプリケーションで広く採用されてきています。これらのアプリケーションやさらに新しいアプリケーションにおいて、性能やコストの継続的な改善にはデバイスの成長が不可欠です。本記事では、インフィニオン テクノロジーズが最近リリースした、業界初の400 V SiC MOSFETを含む、幅広い製品ラインアップを取り揃えたCoolSiC™ MOSFET G2の性能上の利点に焦点を当てています。

CoolSiC™ MOSFET G2

インフィニオンのCoolSiC™ MOSFETは最先端のトレンチゲート技術を採用し、優れたゲート酸化膜の信頼性や導通損失の低減、スイッチング損失指標の改善など、さまざまな利点を備えています。2017年に最初に発表されたG1ファミリーは、ハードスイッチング、ソフトスイッチング、部分負荷アプリケーションにおいて優れた性能を発揮する複数の機能を備えています。堅牢で高い信頼性を誇るプラットフォームの特長は、広いゲート電圧 (V_{GS}) の駆動範囲や、ゲート ターンオフ電圧0 Vでも寄生ターンオンを防ぐ高い閾値電圧 (V_{th})、整流時においても堅牢なボディ ダイオード動作です。

ディスクリート デバイスやパワー モジュールなど、数百万個のSiCパワー スイッチのフィールド信頼性 (DPM) はSiデバイスよりも優れています。デバイスのパッケージは、電力密度が高くなるにつれて全体性能に重要な役割を果たすようになります。通常、ジャンクション-ケース間の熱抵抗 ($R_{th、j\text{-}c}$) は、ジャンクション温度 (T_{vj}) の許容上昇に対するデバイスの最大電力範囲を設定でき、この温度上昇率が小さいほどそれに対応してデバイスのオン抵抗$R_{DS(on)}$ の上昇も小さくなるため、部分負荷条件下での効率向上につながります。

所定の出力性能であれば、パッケージやモジュールの$R_{th、j\text{-}c}$を改善することで放熱を簡略化し、コストメリットを生み出すことができます。デバイスの信頼性は、パッケージによって何度も制限される場合があります。特にSiCはSiよりもヤング率が高く、はんだ接合部に熱機械的応力を生じさせるおそれがあります。CoolSiC™ G1およびG2ファミリーは、インフィニオン独自の.XTパッケージ相互接合技術を採用し、リードフレームからダイが剥離する原因となるSiCダイへの負荷やひずみを軽減しています。拡散はんだ付けによる極めて堅牢なダイアタッチで、信頼性だけでなくR_{th}も向上させます。
2024年に発表されたG2ファミリーは、G1テクノロジーを土台としています。セルの小型化により価格性能が向上しているほか、いくつかの機能が追加されデバイスの主要機能も向上しています。改善された特性の概要は以下の通りです:

- 一般的なユーザー負荷条件における電力損失を約5～20%低減
- .XTテクノロジーの改良により$R_{th、j\text{-}c}$ を12%低減
- 650 Vと1200 Vの両方で1桁台の$R_{DS(on)}$ まで対応可能
- 広い最大ゲート駆動電圧V_{GS} 範囲: -10 V～+25 V
- 1200 Vデバイスは、データシートに記載された条件下で、最低2 µsの短絡耐量時間、最大T_{vj} 200 °Cの過負荷動作を保証
- 非常に低いDPMレートでG1デバイスの高い信頼性を維持

1200 V G2とG1および他の競合1200 V SiCデバイスとの性能比較 (FOM) を図1に示します。G2は、ハード スイッチング、ソフト スイッチング、部分負荷条件において、大幅な効率向上を実現しています。また、所定の$R_{DS(on)}$ に対する総ゲート電荷量Q_Gが低いためゲート駆動電力損失も低減しています。

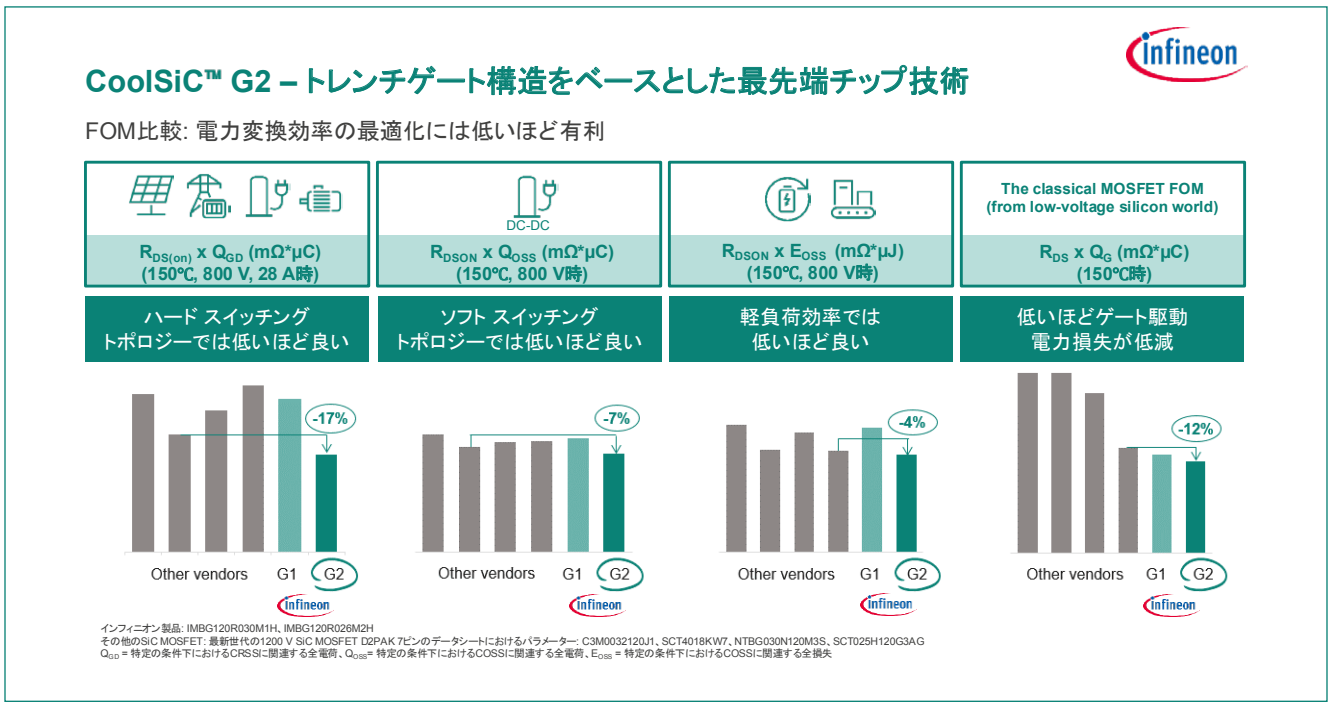


図1: 電力変換に一般的に使用されるFOMの比較

図2に示すのは、G2ファミリーに実装された.XTパッケージ相互接合技術による性能の向上です。図に示されているように、G2ファミリーの$R_{th,\ j\text{-}c}$の改善によりT_{vj}が一定の場合、電流が6～7 %増加、またはスイッチング周波数が最大50 %増加します。また、同じ電力であればジャンクション温度を約5 K低減できます。

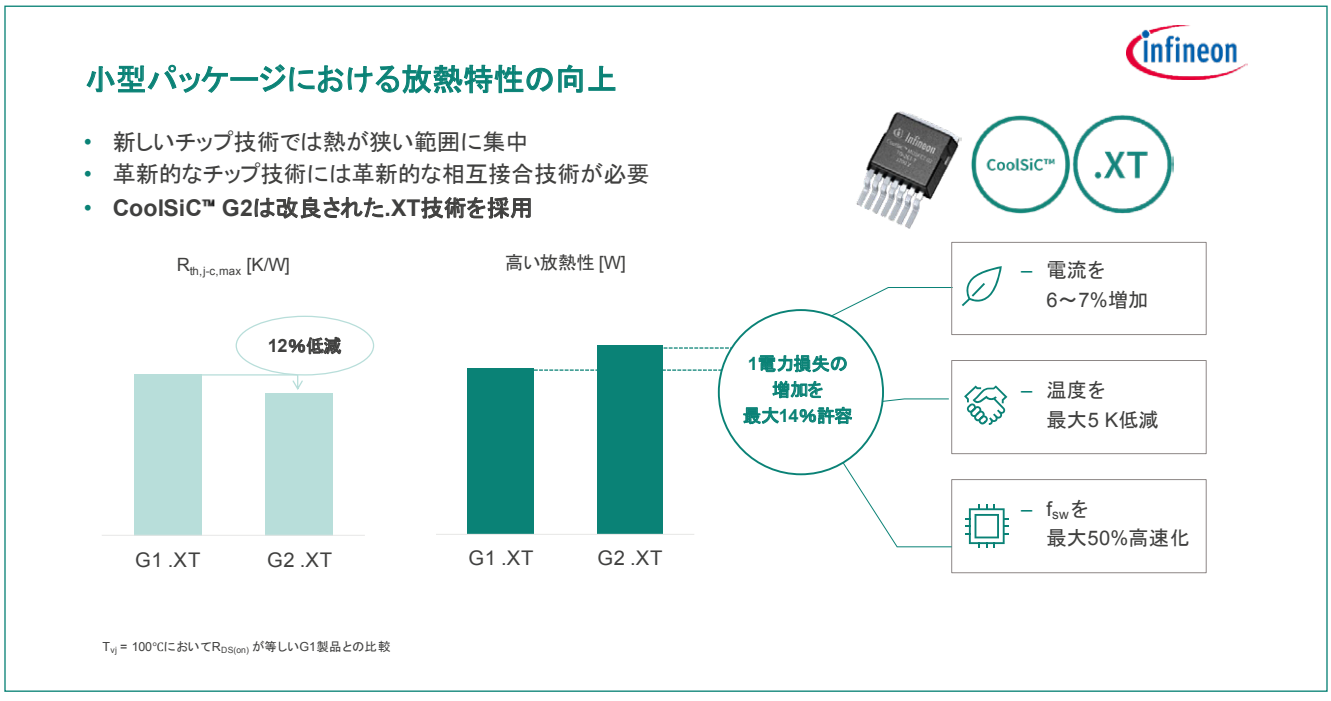


図2: G2ファミリーにおける.XT技術搭載パッケージの向上

G2ファミリーの現行リリース製品は、400 Vから1200 Vまで、TOLL、D2PAK-7、TO-247-3、TO-247-4下面放熱、TOLT上面放熱パッケージなど、さまざまなパッケージで提供しています。これらのパッケージの利点については以下で説明します。CoolSiC™ 750 Vおよび1200 V G2デバイスを使用した車載グレードのHybridPACK™パワー モジュールも、ハイブリッド車や電気自動車、その他のモーター制御アプリケーション向けに量産されています。

上面放熱 (TSC) パッケージ

TOLTパッケージのような上面放熱 (TSC) SMDは、TO-247のようなスルーホール パッケージの堅牢な熱性能の利点と、SMDの下面放熱パッケージで利用可能な完全自動制御の可能性を兼ね備えています。ドレインパッドが上面にあるため、パッケージの絶縁された下面をデジタルIC、ゲートドライバーなど、磁気部品などを実装した標準的なPCB上に配置できることも重要な利点の一つです。

これにより、標準的な下面放熱パワー　デバイスに使用されるIMS基板が不要となり、図3のサーボモーター制御アプリケーションの例に示すように全体的に設計が簡素化されます。コスト面での利点に加え、浮遊インダクタンスの低減はシステム全体での性能向上にもつながります。TSC G2 CoolSiC™製品は、650 V TSC Thin-TOLL 8×8、1200 V Q-DPACKハーフブリッジ、Q-DPACKで、さまざまな$R_{DS(on)}$ の製品として近々発売が予定されています。

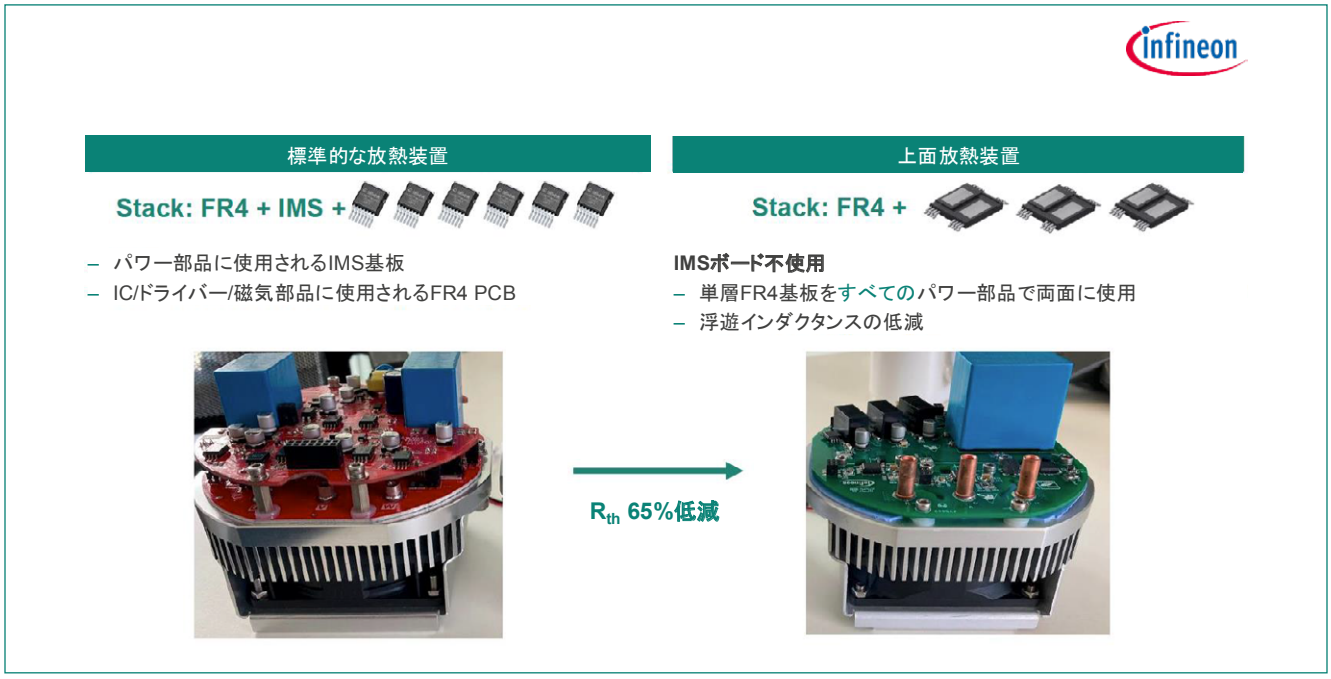


図3: 上面放熱パッケージの利点

新しいCoolSiC™MOSFET 400 V G2

サーバー電源はますます高出力化しています。人工知能 (AI) トレーニング用の高度なGPUは、10年後にはプロセッサーあたり3 kWもの電力が必要になると予測されています。AIサーバー ラックに複数のGPUが搭載されるため、電源ユニット (PSU) の定格電力は8 kW以上となりつつあります。

新たにリリースされたCoolSiC™ MOSFET 400 V G2は、フライング コンデンサー トーテムポールPFCなどのマルチレベル アクティブ フロントエンド (AFE) トポロジーで使用される場合、将来の効率性や電力密度の要件を理想的に満たします。

CoolSiC™ MOSFET 400 V G2は、650 Vの同等品に比べて導通損失とスイッチング損失が低減され、効率が最大で0.3%向上します。$R_{DS(on)}$ に対するT_{vj}の曲線はさらにフラットになり、25°Cから100°Cへの上昇はわずか11%となるため、システムのコスト性能比がさらに最適化されます。これは、極端なAIサーバー負荷プロファイルを考慮するのに特に重要な点です。一方ボディ ダイオードでは、スイッチング波形が動作温度および負荷電流共にほとんど依存せず、SMPSアプリケーションでみられる高いdi/dt条件下においても堅牢な整流を実行できる低逆回復電荷 (Q_{fr}) が最適化されています。これらのデバイスは100%アバランシェ耐量出荷テストに対応済みです。

初期の出荷品にはD2PAKとTOLLパッケージの両方で、$R_{DS(on)}$ は11 mΩ ～ 45 mΩです。TOLLパッケージの低いソース抵抗、低いミラー電荷 Q_{gd}、出力電荷 Q_{oss}、Q_{fr}により、V_{DS}のオーバーシュートとリンギングの大幅低減に加え、デッドタイムも短縮されて高速スイッチングが可能になります。

CoolSiC™ 400 Vデバイスを第1世代および第2世代AIサーバーPSUスペースで使用する場合は、図4に示されているように、第1世代サーバーには277 $V_{AC.RMS}$、第2世代サーバーには347 $V_{AC.RMS}$に完全に適合する400V V_{DSS}の3レベルPFCが推奨されます。

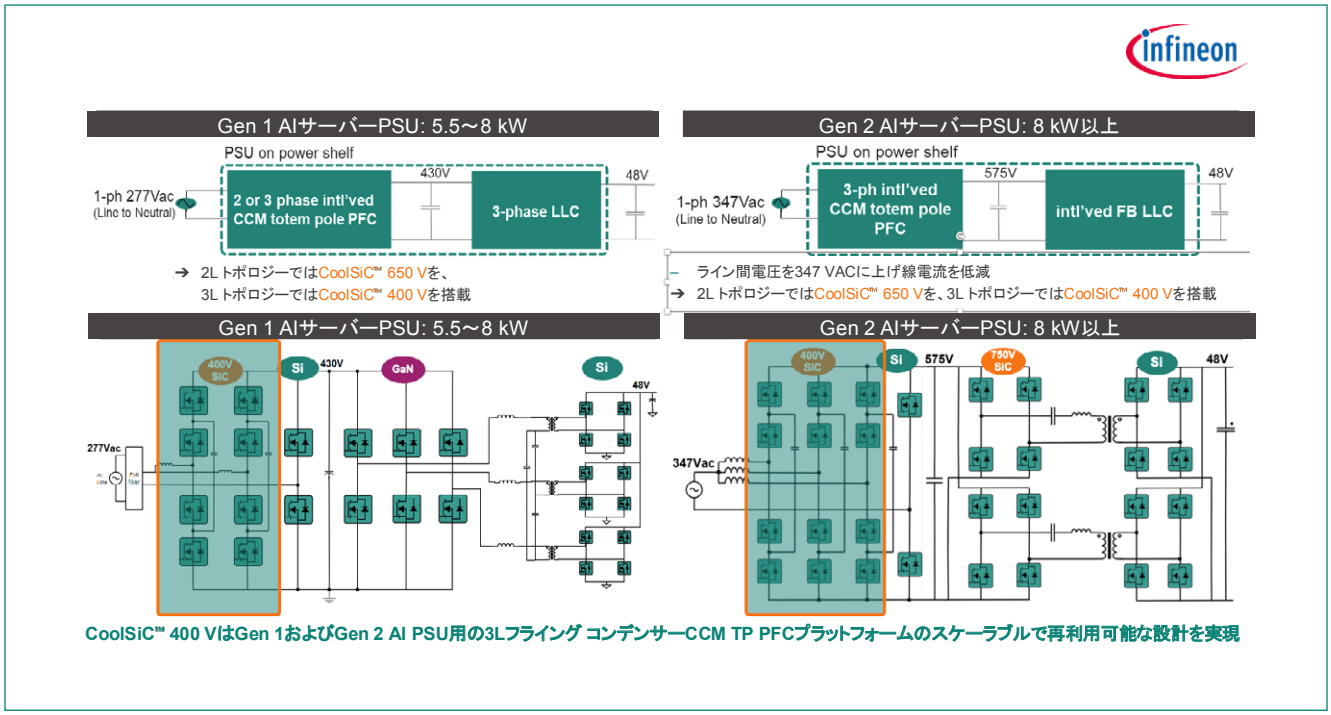


図4: CoolSiC™ 400 Vデバイスを使用したAIサーバー用電源ユニットのフライング コンデンサー、3レベル・トーテムポールPFCステージをわかりやすく示した基本回路図

図4に示すGen 1の例では、650 VのSiC MOSFETを使用した最新式の2レベル トーテムポール型PFCと、CoolSiC™ 400V MOSFETを使用した3レベル フライング コンデンサー CCM トーテムポール型PFCを比較しています。この設計ではインターリーブされた2つの2.8 kWの高周波レッグで構成されており、デバイスのスイッチング周波数は80 kHz、インダクターのスイッチング周波数は160 kHzです。図5に示すように、400 Vデバイスの性能上の利点により、効率が99.4%以上、電力密度が100 W/in³以上のフラットな効率曲線を実現できます。

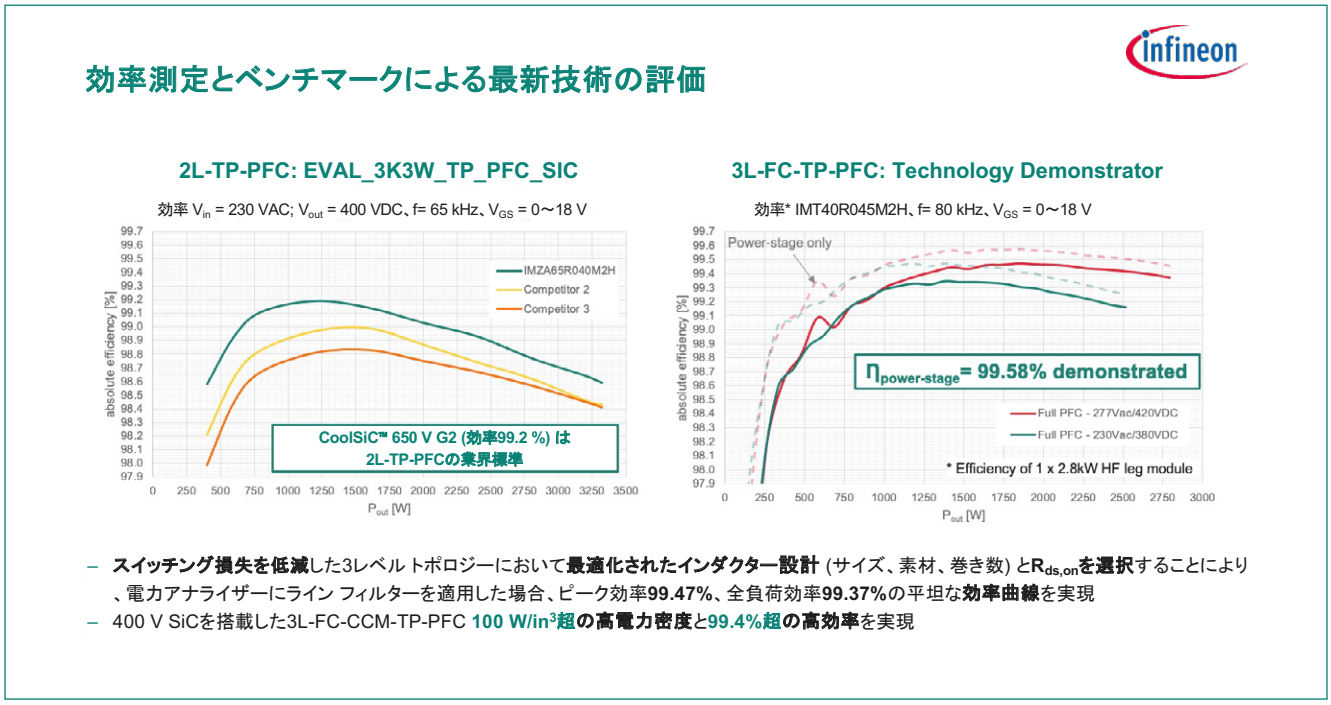


図5: サーバーPSU PFC段の効率比較



Sonu Daryanani

Sonu Daryananiは、ニュージャージー州にあるAT&Tベル研究所でGaAsオプトエレクトロニクスの研究者として勤務しながら、1993年に英国ブラッドフォード大学で電子工学の博士号を取得しました。その後25年にわたり、米国アリゾナ州のMicrochip Technology社において、デバイス/プロセス統合エンジニアとしてマイクロコントローラーとディスクリート デバイスの開発に従事しました。現在はPowerElectronics Newsのコンサルタント兼ライターを務めています。

本資料は2024年7月発行「Power Electronics News」掲載の技術記事の日本語抄訳です。

https://www.powerelectronicsnews.com/improvements-in-performance-and-voltage-range-of-sic-mosfets/

発行元:
インフィニオン テクノロジーズ ジャパン株式会社

© 2025 Infineon Technologies AG.
All rights reserved.

Public

Version: V1.0_JP
Date: 2/2025

Stay connected!

Scan QR code and explore offering
www.infineon.com/jp

Please note!
This Document is for information purposes only and any information given herein shall in no event be regarded as a warranty, guarantee or description of any functionality, conditions and/or quality of our products or any suitability for a particular purpose. With regard to the technical specifications of our products, we kindly ask you to refer to the relevant product data sheets provided by us. Our customers and their technical departments are required to evaluate the suitability of our products for the intended application.

We reserve the right to change this document and/or the information given herein at any time.

Additional information
For further information on technologies, our products, the application of our products, delivery terms and conditions and/or prices, please contact your nearest Infineon Technologies office (www.infineon.com).

Warnings
Due to technical requirements, our products may contain dangerous substances. For information on the types in question, please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by us in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, our products may not be used in any life-endangering applications, including but not limited to medical, nuclear, military, life-critical or any other applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can result in personal injury.