

サプライチェーンの進化を促す自動車の電動化

Dr. Ajay Sattu—Amkor Technology 社、車載製品マーケティング担当、Director

先日終了した CES[®]2022 が示すように、自動車産業は再び消費者と業界専門家の双方から注目されています。電気自動車（EV）の新モデル発表、カラーチェンジ技術、コンセプトカーなど、自動車メーカーは、メーカーからテクノロジー・プラットフォームのプロバイダーへと徐々に変貌を遂げているのです。自動車の電動化は、今や斬新なトレンドから受け入れられた現実へと変貌を遂げたメガトレンドの一つです。いくつかの環境、経済、社会的な要因が、自動車の設計や新しいパワートレインの選択に影響を与えています。しかし、これらの選択肢とそれに対応するコンポーネントの設計や製造の側面は、今後数年間でサプライチェーンの進化につながる可能性があります。

市場動向

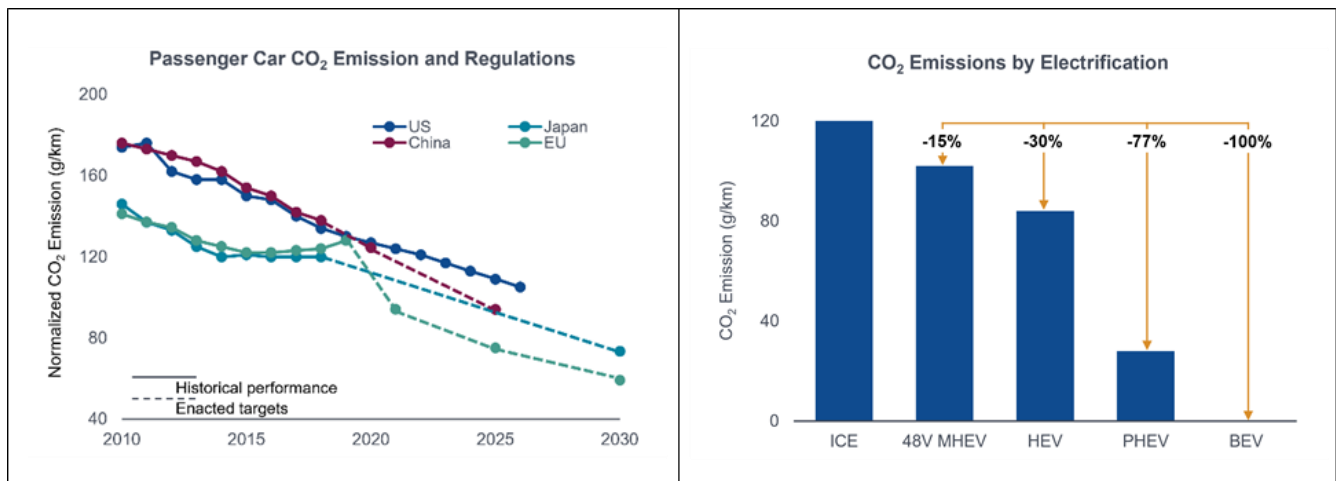


図 1 : CO₂ 排出規制と自動車の電動化[4]

様々な規制機関が設定した CO₂ 排出量規制が、エレクトロモビリティの成長を後押ししています。例えば、図 1 に示すように、左の図は 4 つの主要な自動車市場ごとに規制される CO₂ 排出量を、右の図はさまざまな電動化によって CO₂ 排出量を削減できることを示しています。内燃機関（ICE）の炭素排出量はほぼ 100%です。これに対し、マイルドハイブリッド車（MHEV）は、小型モーターで内燃機関を補助することで、15%の排出量削減を実現しています。バッテリー電気自動車（BEV または EV）は、直流バッテリーとモーターのみを使用し、二酸化炭素を排出しません。様々なパワートレインのアーキテクチャの普及により、今後 5 年以内に全生産台数の約 25%が電動化され、2030 年末までには約 50%に増加すると

予想されています[1]。このような大きな成長は、予想される需要の増加、直流バッテリーのコスト削減、そして充電インフラの成長が見込まれるためです。

これにより、EV のパワートレイン系に使用されるパワー半導体は急成長するでしょう。この成長を理解するために、EV パワートレインの簡略図を見てみましょう（図 2）。主要機能を実現する重要な構成要素は、オンボードチャージャー（OBC）、DC/DC コンバーター、メインインバータです。これらの回路を実現する重要な部品が、スイッチング素子として使用されるパワーデバイスです。システムレベルでは、電気自動車の設計者にとっての重要な優先事項は、これらの回路の効率を最大化し、1 回の充電でより多くの距離を走行できるようにすることです。システム要件が高まるにつれ、パワーエレクトロニクスのコスト（ドル/kW）や電力密度（kW/l）に対する要件も高まっています。現在、コスト目標はおよそ 5 ドル/kW で、電力密度はおよそ 12kW/l ですが、2035 年までに 3 ドル/kW、60kW/l に達すると予想されています[2]。コスト目標を達成するために、半導体サプライヤーは、炭化ケイ素（SiC）や窒化ガリウム（GaN）デバイスなどの新しいパワー技術を含む優れたソリューションを提供し、コスト効率の高いパワーモジュールパッケージを使用する必要があります。

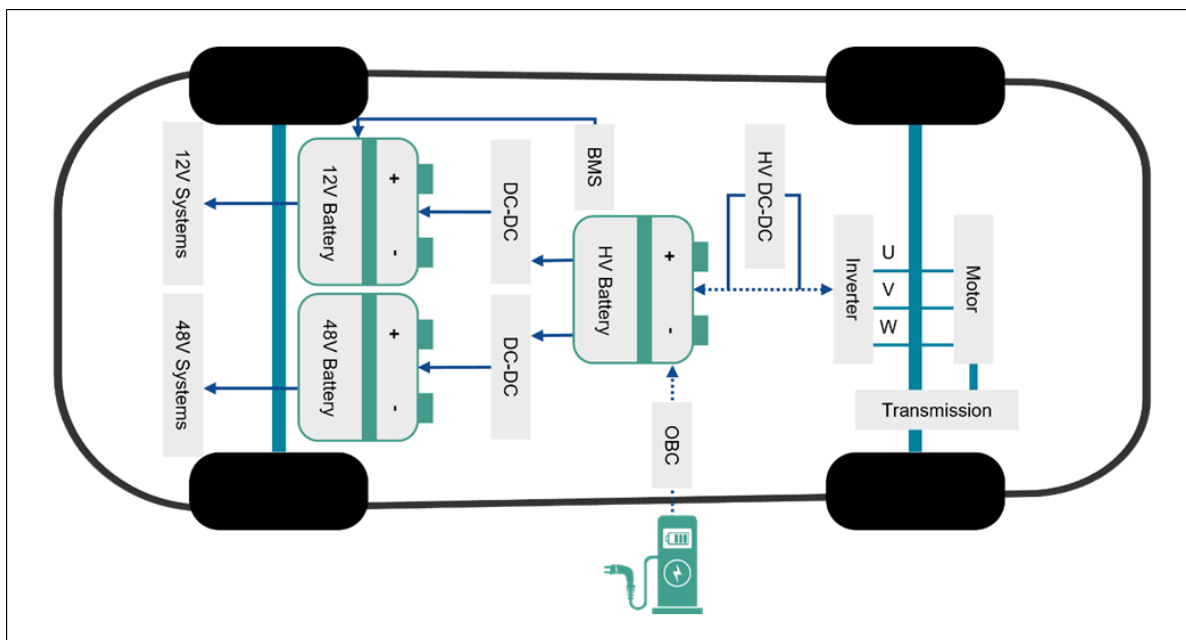


図 2 : EV パワートレインの簡略図

パワーモジュールのパッケージング

主なインバータアプリケーションでは、パワーモジュールは熱的、電氣的、機械的な制約の中で、性能と信頼性の目標に取り組む必要があります。電氣的性能の大部分を担うのは半導体デバイスですが、パワーモジュールパッケージ化は熱的、機械的目標を達成するために重要な役割を担っています。しかしながら、パッケージの寄生抵抗（R）や寄生インダクタンス（Ls）を低減することで、電氣的性能を向上させることも可能です。パワーモジュールの Ls は、基板金属部、ワイヤボンド、リードフレーム/バスバーによって

発生し、スイッチング時のオーバーシュート電圧低減のために特に重要です。これらの損失を最小化する方法の一つとして、電流ループの幾何学的な長さや面積を小さくすることが挙げられます。両面はんだ付けやセラミック基板への焼結など、ワイヤーボンディングを伴わないコンセプトは、 L_s を下げるための有効な手段です。図 3a に示すように、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) スwitchのコレクタ・エミッタ間の電流経路をワイヤーボンディングから焼結に置き換えた両面冷却 (DSC) モールドモジュールがその一例です。DSC モジュール構造は、電氣的寄生を低減するだけでなく、パッケージの上面と下面から基板を介して放熱が行われるため、高熱効率を実現します。

パワーサイクルや周囲温度の上昇により、パワーモジュールは大きな温度上昇にさらされます。そのため、システム設計を複雑にせず、コストを上げない冷却システムの重要性がますます高まっています。そこで、モーターやエンジンの冷却システムを共有するピンフィン (図 3b) を用いたパワーモジュールの設計が考えられます。信頼性を高めるためには、効率的な熱放出が必須で、それには低熱抵抗の材料を使用する以外ありません。窒化アルミニウム (AlN) や窒化ケイ素 (Si3N4) などの熱伝導率の高いセラミックスや、直接冷却構造の銅 (Cu) を使用することで、全体の熱抵抗を下げるすることができます。DSC モジュールのようなベースプレート不要のソリューションであれ、ピンフィンパワーモジュールであれ、パッケージング業界は次世代パワーモジュールのためにいくつかの技術を検討する必要があります。即ち、5 ミル超の太い銅線、銅クリップ、活性金属ロウ付け (AMB) による Si3N4 などの高度な基板、銀 (Ag) または銅焼結によるチップアタッチと基板アタッチ、銅または AlSiC ベースプレート、シリコンゲルとエポキシ樹脂カプセル化などの相互接続の進化が含まれています。

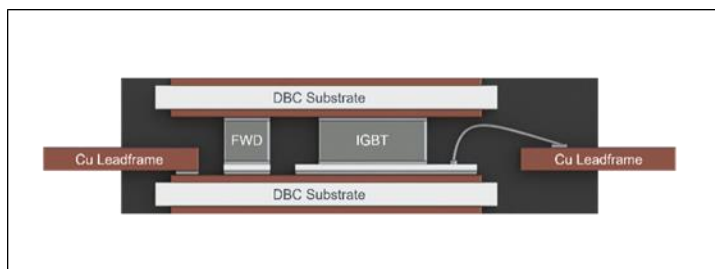


図 3a : 両面冷却成形モジュールの断面図

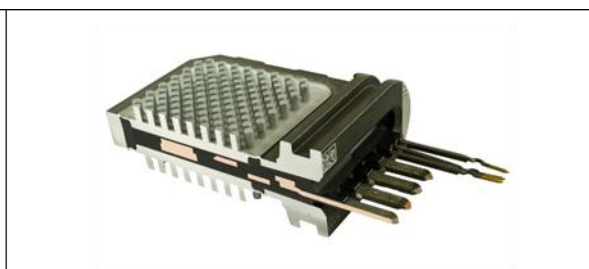


図 3b : 直接冷却用ピンフィンを備えたパワーモジュール[5]

サプライチェーンの進化

パワーモジュールのパッケージング市場は長きにわたって、細分化されたダイナミックな市場でした。この分野の魅力を理解するために、図 4a に示すモジュールコストの内訳を見てみましょう。製造コストと原材料コストが、モジュール全体のコストの 55% 近くを占めています[3]。パワーディスクリートパッケージの場合、これらのコストは一般的に総コストの 20% を下回ります。従来、パワーモジュールメーカーは、産業、鉄道、再生可能エネルギーなど、少量生産で高価格の市場セグメントに製品を供給してきました。図 4b が示すとおり、自動車の電動化によりパワーモジュール市場の成長が見込まれる中で、モジュールのサプライチェーンにはいくつかの変化が生じる可能性があります[3]。例えば、パワーモジュールの専門知識を持つ非自動車部品サプライヤーが、独自で自動車市場に進出するか、従来の自動車部品サプライヤーと提携し技術提供を受けるかのどちらかを選択することができます。これまで地理的に閉

鎖的なエコシステムが存在した状況において、一部のサプライヤーはビジネスや地域ポートフォリオを多様化するようになりました。基板、チップアタッチ、封止などのパッケージング技術を活用するため、地域的な拡大が進んでいます。

自動車産業は長きにわたり、大量生産・低価格の分野でした。パワーモジュール市場の成長に伴い、競争が激化し、価格圧力に直面することから、コストを削減して市場参入を容易にすることを目的とした提携が行われるようになるでしょう。良い面としては、モジュール技術はよく理解されており、サプライヤーが優れた性能と信頼性を持つ製品をリリースしていることが知られています。パワーモジュール以外のメーカー、例えば OSAT（半導体組立・テスト受託サプライヤー）にとって、パワーモジュール市場への参入は魅力的です。なぜなら、OSAT は折り紙付きの信頼性と魅力的なコスト構造で、製品を大量生産するため、現有の専門知識を容易に活用することができるのです。OSAT にとって有利なもう一つの要因は、自動車メーカーが競合他社との差別化とコスト抑制のために、インバータモジュール設計のサプライチェーンに強く関与する姿勢を強めていることです。

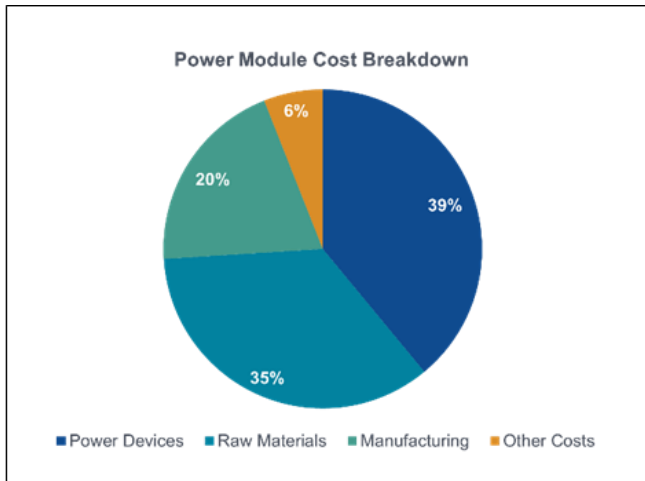


図 4a : パワーモジュールのコスト内訳[3]

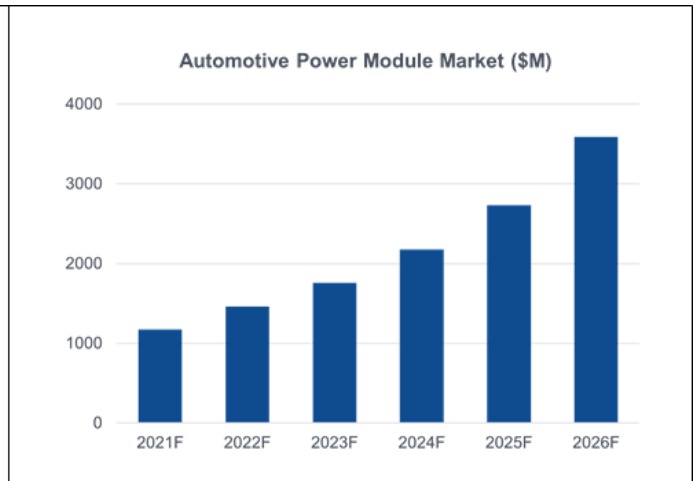


図 4b : 車載用パワーモジュール市場（単位：百万ドル） [3]

結論

エレクトロモビリティの大きなトレンドに支えられ、車載用パワーモジュール市場は 2021 年から 2026 年にかけて年平均成長率（CAGR）が 25%になると予想されています[3]。高性能・高信頼性の半導体技術が容易に入手できるようになり、パワーモジュールの設計とコストは、自動車メーカーとその Tier1 サプライヤーにとって差別化要因となる可能性があります。それと同時に、自動車メーカーや Tier1 サプライヤーからは、透明性が高く短納期のサプライチェーン実現が強く望まれています。その結果、両グループは、市場投入までの期間を短縮し、持続的な収益性を実現するために、OSAT との共同開発やパートナーシップに注力することになるでしょう。

参考文献：

[1]Credit Suisse、「Automotive Semis: Powering the EV Megatrend（自動車用半導体：EVを推進するメガトレンド）」、2021年3月22日

[2]Automotive Council UK、「The Roadmap Report | Towards 2040: A Guide to Automotive Propulsion Technologies（ロードマップ関連レポート | 2040年に向けて：自動車推進テクノロジーに関するガイド）」、2018年

[3]Yole Développement、「Status of the Power Module Packaging Industry Report（パワーモジュールのパッケージ化業界の状況に関するレポート） YINTR21196」、2021年11月

[4]Infineon Technologies AG、「Company Presentation（会社案内）」、2021年11月

[5]SystemPlus Consulting、「Power Electronics Electronic Catalogue（パワーエレクトロニクス製品カタログ）」、2021年11月

©2022 Amkor Technology, Inc. 無断転載を禁じます

バイオグラフィー



Ajay Sattu は、アリゾナ州テンピに本拠を置く Amkor Technology, Inc. の車載製品マーケティング担当の Director です。彼は、車載製品の電動化、ADAS、インフォテインメント製品のマーケティングと戦略を担当しています。Amkor に入社する前は、Infineon でワイドバンドギャップ半導体の技術および製品開発を管理していました。複数の査読済み記事を発表し、業界の会議で発表しています。彼は、サウスカロライナ大学で電気工学の博士号を取得し、UCLA アンダーソンで MBA を取得しています。メールアドレスは Ajay.Sattu@amkor.com です。