

デンソーにおける車両の電動化技術

Electrification Technologies for Vehicle in DENSO

田中 政一
Masakazu TANAKA

蛭間 淳之
Atsuyuki HIRUMA

梅田 敦司
Atsusi UMEDA

大木島 俊
Shun OHKIJIMA

谷 恵亮
Keisuke TANI

井村 彰宏
Akihiro IMURA

The earth still has clean air, abundant materials and beautiful forests, but we are now facing the fatal environment issues for global future society. Especially, the greenhouse effect gas may become huge problem on automotive industry as well. We, DENSO, has challenged establishing the eco-friendly technologies for every vehicles in global so far. This paper introduces our established eco-friendly technologies with electrification focusing Motor, Inverter and Battery.

Key words :

Motor, Dual winding, Inverter, SiC, Battery, Lithium-ion

1. はじめに

世界的な平均気温上昇を受け、産業革命以前に比べ2℃より十分低く保つことを目指し2015年にパリ協定が採択された。この協定は5年ごとに削減目標や取組みを見直すことなどを規定した画期的な内容であることが知られている。この協定を受け我が国においても地球温暖化対策計画の策定が進められている。この計画では、国内の排出削減・吸収量の確保により2030年度時の温室効果ガスを2013年度比26.0%減とする中期削減目標が示されている。国内の主要部門（産業部門、家庭部門、運輸部門など）においては、この目標をもとに具体的な対策と施策が示されている。このなかで特に大きな課題が、温室効果ガス排出量の約90%を占める二酸化炭素の削減である。この二酸化炭素排出量のうち運輸部門だけで約20%を占めていることから、自動車分野の対策は地球温暖化対策において重要である。

国内での自動車分野における対策として、トップランナー制度による燃費基準導入の検討が進められている。

この基準では温暖化対策を推進するため、自動車メーカーによる技術革新への積極的な投資を促す方針が示されている。特に、燃費基準に基づく内燃機関車の燃費改善や、ハイブリッド車（以下、HEV）・電気自動車（以下、EV）・プラグインハイブリッド車（以下、PHEV）をはじめとする次世代の環境対応車の導入支援などが盛り込まれている。このような環境対応車への支援は、日本国内のみならず世界的な潮流となっている。たとえば、ノルウェーは1990年代から環境対応車を推奨する政策が導入されており、有料道路や公共駐車場は無料で使用できるほかバス専用レーンの走行も特別に許可されている。このように自動車における温暖化対策が世界的に進められていたなか、欧州メーカー製ディーゼル車の排出規制不正問題が2015年に発覚した。これは、北米の大気浄化法に基づく走行試験をクリアするために不正なソフトウェアを搭載し、試験時のみ排出ガスに含まれる有害物質を低減するものであった。この背景には、当時のディーゼル車が環境基準クリアと自動車の商品性の両立が困難であったことが挙げられる。このことから次世代

の環境対応車は、自動車としての魅力を損なうことなく各国の環境基準をクリアすることが求められる。

現在多くの車両メーカーが、将来に渡って環境基準 (Fig. 1-1) をクリアし続けるために高効率な電動部品の開発を加速している。従来の内燃機関車においては、オルタネータや EPS など低電圧補機の高効率化や高機能化が開発の中心であり、また HEV のように電動部品を主動力源として積極的に利用した車両の開発も活発になっている。これら電動部品に共通するのが、モータ、インバータなどの電力変換器、バッテリー電源の3つ基幹部品である。これらの基幹部品は産業機器や鉄道など非自動車を中心に発達してきたが、近年では車載を目的とした製品開発が業界を跨いで進められている。



Fig. 1-1 The trend of regulations for CO₂-emission¹⁾

さらに電動化による車両の進化を進めたものが Fig. 1-2 に示す EV (Electric Vehicle) である。近年では、テスラ社など EV 製造を専業とする新たな車両メーカーが国内外で勃興しており、環境対応車両の新たな動きとして注目を集めている。

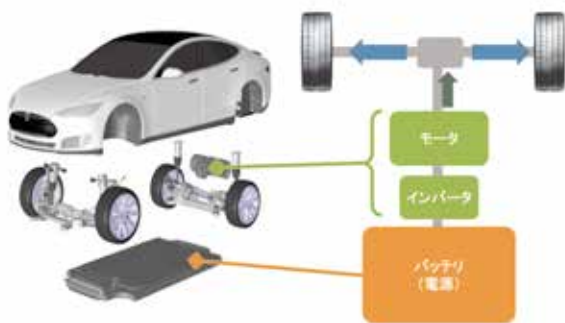


Fig. 1-2 System outline of Tesla EV²⁾

このように、自動車の進化には各 부품の電動化が必須となってきており、デンソーにおいても積極的な研究開発を進めてきた。本論文では、これまでデンソーが取り組んできた車両の電動化を支える技術開発について、モータ、電力変換器、電源の観点で紹介する。以降、2章では小型高出力化を中心としたモータ技術について、3章ではインバータに代表されるパワーコントロールユニットについて、4章では車載用の電源技術について述べていく。

2. 車載用モータ技術

自動車には多くのモータが搭載されるようになり、その数は高級車では130個を超えるまでに至っている³⁾。ここでは、その中でも出力が大きな数kW以上のオルタネータとそこから発展した高出力モータについてこれまでデンソーが取り組んできた巻線技術、制御技術について述べ、今後のモータの進化を展望する。

2.1 小型高出力技術⁴⁾

自動車の使用電力は年々増加し、発電機であるオルタネータは限られた搭載スペースの中で高出力化が要求され、結果として高い体積出力密度が必要となり、損失による発熱が課題となった。このためオルタネータは種々の損失低減に取り組んできた。その中でも最も割合の大きかった巻線抵抗による損失の低減は重要なポイントであった。

デンソーでは、鉄心の断面形状に近い角形導線を用いて占積率を向上させ巻線導体の断面積を大きくして損失低減を行った。この様子を Fig. 2-1 に示す。この結果占積率が45%から70%へと大幅に向上した。また、平角線を整列させたことでトルクに寄与しないコイルエンド部分の高さも約60%に低減出来たことで導体長が短縮し低抵抗となり損失低減を実現している。

巻線の製造は、平角線を予めU字状に成形加工し鉄心のスロット部分に揃えて差し込み、反対側の端面を連続的に高速溶接・接合する製造技術を開発し量産性を解決した。溶接箇所は192点と多いがオルタネータの例では約10秒で実現している。Fig. 2-2にこれを示す。

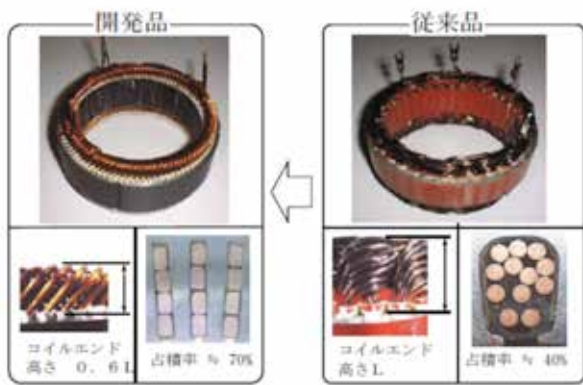


Fig. 2-1 Cross sectional view of the motor core slot

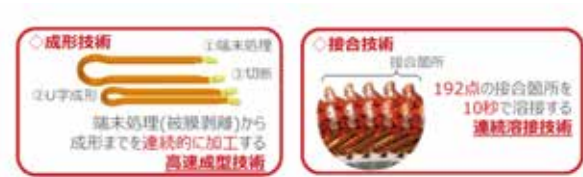


Fig. 2-2 Conductor and eld point

このオルタネータの小型高出力を実現した巻線技術の考え方を HEV・EV 用途のモータジェネレータ (MG) にも応用展開している。これを Fig. 2-3 に示す。オルタネータに比べ HEV・EV 用途は、電圧が数百 V と高く絶縁性能の向上が必要で、特にコイルエンドでは、電位差を持つコイル同士（主に異相のコイル）が接触するために、コイル同士の絶縁が必要である。特に高電圧モータでは、コイル間で部分放電が発生し、最終的に絶縁破壊を引き起こす恐れがある。そのため、部分放電を発生させないように、コイル間の絶縁距離を確保する。必要皮膜厚は、加工による皮膜厚の減少分を考慮して、厚めに設定する必要がある。その一方で、皮膜厚が厚くなるほどスロット内の占積率が低下するため、絶縁性能確保と占積率の両方を考慮して、最適なコイル皮膜厚を決定している⁵⁾⁶⁾。



Fig. 2-3 Traction motor

2.2 低騒音化技術（デュアル巻線技術）

オルタネータは、一般的なモータと同様に 3 相巻線が施されこれをダイオードで 3 相全波整流し直流の発電を行っている。ダイオード整流では、発電による合成磁界に所定の高調波が含まれ、この主成分の高調波起磁力により騒音が悪化する。これを解決するために主成分を相殺する 2 系統化したデュアル巻線とした。2 系統の 3 相巻線は電気角 30° の位相差を持たせることで Fig. 2-4 のようにシングル巻線の 3 相巻線に比べデュアルの 3 相巻線は高調波の主成分である 6 次成分をキャンセル可能となる。このことで騒音が約 10dB と大幅に低減した⁷⁾。

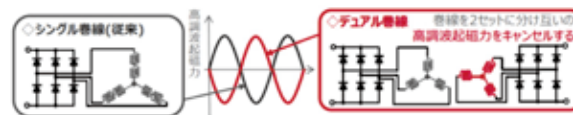


Fig. 2-4 Dual winding

2.3 デュアル巻線とモータ制御の進化

オルタネータのダイオード整流回路部分をインバータに置き換えることでモータ機能が付加出来る。この構成でアイドルストップ時のエンジンの始動が可能となりギヤ噛み合い式のスタータよりベルト駆動の静粛な始動が可能となる。このオルタネータに始動機能を付加したものを ISG (Integrated Starter Generator) と呼んでいる。

ISG は上述したデュアル巻線を採用している。デュアル巻線をインバータ駆動する場合、デュアル 2 系統分の 2 台のインバータが必要になる。ただしインバータ容量 (kVA) は $1/2 \times 2 = 1$ で同一である。この構成は、大きな電流を必要とする ISG に有利となる。一般的に電流容量をアップするにはパワー素子 (パワー MOSFET) を並列に使用するが、このときスイッチングの同時性確保が重要で素子のスイッチング特性選別が必要となる。しかし、デュアル駆動ではモータ巻線を介した並列駆動となるため素子選別は不要となる。更に 2 台のインバータ駆動とすることで制御自由度が増え以下のメリットがある。

①インバータコンデンサ容量低減⁸⁾

2 台のインバータの PWM キャリア信号の位相を 90° シフトすることでインバータの直流側リップル電流の実効値を低減可能となる。これにより平滑コンデンサ個数を削減し小型・軽量化を実現した。

② センサレス制御⁹⁾

インバータでモータ駆動を行う場合、ロータの位置の検出が必要である。このロータ位置センサは体格アップやコストアップを招く。このため、ロータ位置センサの廃止が望まれ、ロータ位置センサレス制御（以下センサレス制御）を開発した。電車等ではセンサレス制御が既に実用化されているが、ロータ位置検出のためにモータに高周波の外乱信号を重畳するため騒音が発生してしまう。これに対してデュアル巻線駆動の場合は、この2台のインバータに逆位相の外乱信号を重畳することで騒音を相殺することが可能となり▲10dB以上の低騒音化を実現した。これによりISGの小型、低コスト化が可能となる。

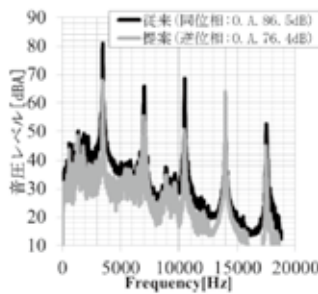


Fig. 2-5 Noise reduction results

③ 機能安全⁹⁾

デュアル巻線技術は電動パワーステアリング（EPS：Electric Power Steering）にも応用され、これを生かしたモータ制御を行っている。電動パワーステアリングは、車の安全上重要な「曲がる」機能を果たすため、万が一インバータが故障しても最低限の機能を保つことが要求される。

デュアル巻線駆動は2台のインバータを有するため、一方のインバータが故障してもこれを切り離し残りの1台が機能を果たすことで機能安全を確保することが可能でデュアル巻線を使用するメリットが大きい。

以上のようにデュアル巻線技術は、モータ単体の嬉しさに加えてモータ制御と合わせて進化を続けていくと思われる。

2.4 今後の車載用モータの展望

2次電池のコストが大幅に低下しEVも現実的となって来た。EVの特徴は、HEVに比べ「高出力」なモータが求められる事である。即ち、HEVがエンジンとモータの2つの動力源を持つのに対してEVの動力源はモータのみとなるためである。一方、HEVはエンジンルーム内にエンジンに加えモータ、インバータを搭載しなければならなかったが、EVはエンジンが不要となるため搭載制約は緩和される方向になる。このためモータへの要求は「出力密度」優先から「出力」優先になると考えられる。これまで「出力密度」を向上するため高価な高エネルギー磁石を使用するのが有効な手段だったが、「出力」を確保するには永久磁石モータが必ずしも最適とは限らない。加えて永久磁石は磁石材料の偏在性から調達リスクも考えられ、EV普及に伴ってグローバルな調達戦略を考えておく必要がある。

鉄心や導体材料は、古くから研究開発が成され現在の完成度は高いものとなっているが、より高磁束密度で低鉄損、高強度の圧粉磁心や高電流密度化が可能なカーボンナノチューブの複合材料の実現に期待したい。

更にインバータ素子のSiCも急速に実用化段階に入ってきた。SiCは高速スイッチング素子であり、インバータ出力に含まれるdv/dtが大きくなる。この大きなdv/dtによりモータの巻線と鉄心間の浮遊容量を介してコモンモード電流が流れEMIの悪化や軸電圧発生によるベアリングの電食等の背反も考慮しておく必要がある。

今後はEVも視野に入れながら車両システムの動向をしっかりと把握し、モータ単体の進化に加えてインバータ制御技術やパワーデバイス技術が密に融合しながら進化していくことが重要と思われる。

3. 車載用パワーコントロールユニット技術

2025年以降見込まれる欧州でのCO₂70g/km規制に向けて、自動車メーカーはHEVから、PHEV、EV等の次世代環境対応車へシフトし開発を加速している。これらの車両において、電氣的な動力源であるMG（Motor/Generator）を駆動する心臓部となるのがパワーコントロールユニット（PCU）である。PCUの一例として、Fig. 3-1にトヨタ自動車が2003年以降のHEV車に採用

してきた THS-II (Toyota Hybrid System II) の PCU 回路構成を示す。PCU は、バッテリーの電圧を昇圧してインバータに電力を供給する昇圧コンバータと、2つの MG の各々を制御するインバータから構成されており、昇圧コンバータ、インバータは、多数のパワーデバイス (半導体スイッチ) で構成されている。PHEV, EV 化により、車両の駆動力の主体はエンジンから MG に移り、それを駆動するインバータには更なる大電流化 (高出力密度化)、高効率化、また、普及に向けた低コスト化が求められる。

本章では、次世代パワーデバイスとして応用が期待されている SiC (シリコンカーバイド) デバイス、および、その応用開発を軸に、PCU のさらなる高出力密度化、高効率化に向けたデンソーの取り組みについて述べる。

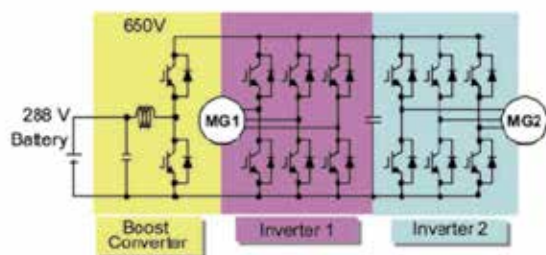


Fig. 3-1 Simplified Circuit Diagram of the Two-traction-motor System in HEV ¹¹⁾

3.1 デンソーの車載 PCU 開発の取り組み

デンソーは、半導体製品開発で培った実装技術と冷却機器開発で培った冷却技術とを生かし、世界初の樹脂モールドによる両面放熱パワーモジュール (パワーカード) を積層した両面冷却構造 (Fig.3-2) を開発し、従来技術に対し単位体積当たりの出力を 60% 向上させた PCU を 2007 年に Lexus LS600h 用 PCU として量産化した ¹¹⁾。2015 年にはトヨタ自動車の主力 HEV であるプリウスに両面冷却構造が採用され、トヨタ自動車との共同開発のもと、冷却構造の改善、電子制御回路の集積化により、前代プリウスの PCU に対し 33% の小型化を実現している ¹²⁾ (Fig. 3-3)。

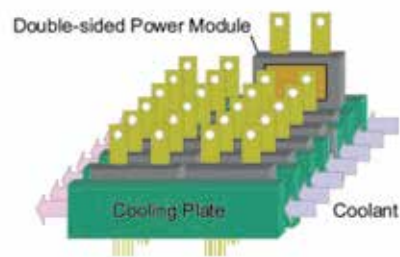


Fig. 3-2 Original concept of the stacked cooling system ¹²⁾



Fig. 3-3 View of power control unit of Toyota Prius(2015) ¹³⁾

3.2 車載用パワーデバイスの進化と SiC への期待

現在、車載用 PCU には、パワーデバイスとして、Si (シリコン) - IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が用いられてきた。しかし、そのデバイスの性能は理論限界に近くなってきており、近年、SiC のような次世代パワーデバイスの実用化開発が進められている。SiC は、理論的には Si のデバイスに比べ 1/10 の低損失、10 倍の駆動周波数、200°C 以上での高温動作 (Si では 150°C 程度) のポテンシャルがあり ¹⁴⁾、車載用 PCU の更なる低損失化、高出力密度化のための活用が期待されている (Fig. 3-4)。

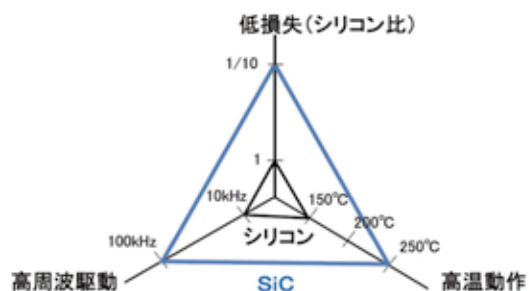


Fig. 3-4 Features of SiC semiconductors ¹⁴⁾

3.3 デンソーのSiCパワーデバイス開発およびその応用開発の取り組み

車載用PCUへのSiCパワーデバイスの応用に向けて、デンソーは、基材となるSiCウェハの生産技術開発から、SiCパワーデバイスの開発、そのPCUへの応用開発と、材料から、デバイス、アプリケーションまで一貫通貫での開発を進めている。

SiCウェハの生産技術開発においては、異方向の結晶成長を繰り返すことで、欠陥低減率99%以上と高品質なSiC結晶を成長させる技術である、RAF (Repeated A-Face growth method) 法を開発し (Fig. 3-5)、大面積パワーデバイスの高い歩留まりでの実現と信頼性の向上に取り組んでいる¹⁴⁾ (豊田中央研究所との共同開発)。

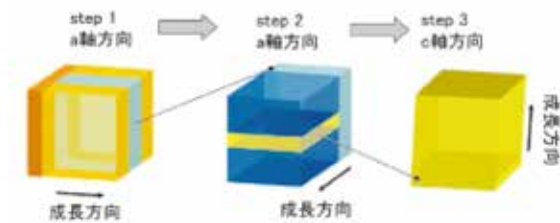


Fig. 3-5 RAF (Repeated A-Face growth method)¹⁴⁾

SiCパワーデバイスの開発においては、トヨタ自動車、豊田中央研究所と共同で、狭セルピッチのトレンチゲート構造を採用した低オン抵抗のSiC MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) を開発している¹⁵⁾ (Fig. 3-6)。

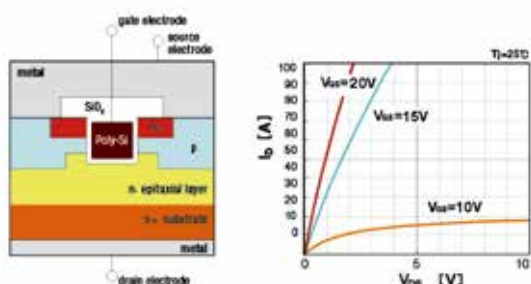


Fig. 3-6 SiC MOSFET and Characteristics in ON-state¹⁵⁾

PHEV・EV分野では、SiCパワーデバイスには耐圧が600～1200V、定格電流が100A～400A程度の大容量のパワーデバイスが求められるが、研究開発レベルの試作品では、初期特性として十分な性能が実現できており、試作車両に搭載し5%以上の燃費向上効果が確認できている¹⁶⁾。また、トヨタ自動車は、三社共同で開発したSiCを搭載した試作車を開発し、公道走行試験を実施している¹⁶⁾ (Fig. 3-7)。



Fig. 3-7 View of the test car and PCU installed SiC MOSFET¹⁷⁾

また、デンソーでは、前述の低損失の特長に加え、SiCのもつ高速・高周波駆動、高温駆動の特長をさらに生かすための開発も推進している。

SiCパワーデバイスは、電流を流したり止めたりする時の電流・電圧の変化速度 (スイッチング速度) を速くすることができ、スイッチング周波数 (単位時間あたりのスイッチング回数) を高周波化してもオン・オフ時の損失 (スイッチング損) が小さいという特徴がある。この特徴を活用することで、PCUの体積の約4割を占める、コイル、コンデンサの小型化が可能となる。事例として、従来SiのIGBTでは10kHz程度であったPCUの昇圧コンバータのスイッチング周波数を10倍の100kHzにし、さらに、高周波化に伴うコイルの磁性コアの鉄損増加と小型化による発熱密度増加に対応するため、アモルファス材と扁平構造を採用することで、昇圧コンバータ全体としての損失は同等で、コイル体格を1/4に低減できることを確認している。また、スイッチング速度の高速化によって発生する、SiC MOSFETの寄生容量と出力配線等の寄生インダクタンス間の電圧共振を抑制するためのCRスナバ回路を内蔵したSiCパワーモジュールを試作している¹⁸⁾ (Fig. 3-8)。

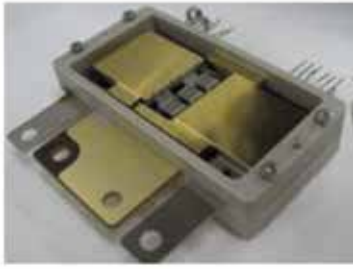


Fig. 3-8 Prototype of SiC power module installed CR snubber

また、SiC パワーデバイスとは異なる、200℃以上の高温でも動作が可能のため、PCU の冷却系の簡素化や、出力密度の向上による小型化が期待できる。しかし、現状の PCU 等で用いられているパワーデバイスの実装形態では、はんだや封止材の温度限界、アルミボンディングワイヤの電流密度限界、発生する熱応力に対する機械強度の限界により、実装面の制約で動作温度限界が決まってしまうおそれがある。そのため、従来の Si パワーデバイスとは異なる、200℃以上の高温に耐えうる実装技術の開発が必要である。デンソーは参加している NEDO プロジェクトの中で、高耐熱の Ag 焼結接合を用いて SiC パワーデバイスの両面に DBC (Direct-Bonded-Copper) 基板を接合することにより、高耐熱と応力緩和を実現する構造を大阪大学と共同で研究している (Fig.3-9) ^{19) 20)}。

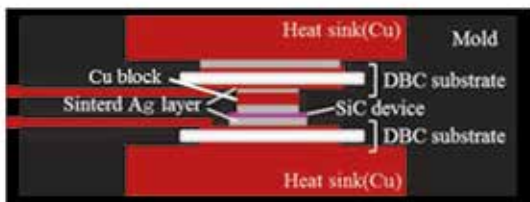


Fig. 3-9 The double side DBC substrate structure model ¹⁹⁾

3.4 今後の車載用パワーコントロールユニットの展望

本章では、次世代パワーデバイスとして期待される SiC および、その応用開発を軸に、デンソーの PCU 開発の取り組みについて解説した。これまで述べたように、パワエレの進化は、パワーデバイスの進化だけでなく、材料技術、デバイス技術、回路技術、冷却技術、実装技術等の周辺技術が総合的に両立することではじめて成

立する。近年、車両メーカーにより盛んに進められている、車両プラットフォームのモジュール化と、EV の普及による機電一体化等の新規ニーズ、究極の半導体とされ各所で開発が進められているダイヤモンド半導体等、将来の新規シーズの出現等、ニーズ、シーズの両面の様々な変化に対し、総合的な観点で柔軟に対応していくことが、今後のパワエレ開発にも継続して求められる。

4. 車載用電源技術

4.1 電動車両と二次電池 その変遷について

1873 年にダビットソンが開発した最古の実用 EV には、充電できない一次電池が使用されていた ²¹⁾。その数年後、1881 年に実用化された鉛電池 (二次電池) が当時の EV の普及を後押しするが、1908 年に登場した安価なガソリン自動車には勝てず、欧米では EV 自体が早々に市場から姿を消した。

そのような状況下、国内では戦後のガソリンが入手できなかった時期に EV が販売されていた。当社でも 1950 年に鉛電池を搭載した EV 「デンソー号」を製品化している ²²⁾。しかし、朝鮮戦争による鉛価格の上昇やガソリンの入手性が向上した事により、国内でも結局は姿を消している。

1970 年代以降にも、オイルショックや公害問題の深刻化などをきっかけに EV が普及するチャンスはあったにも関わらず、結果的には普及に至ってない。その最大の理由は電池にあり、当時の技術では市場の需要を満たすだけの性能を実現できなかったためである。

この状況を打破する高性能な二次電池が 1990 年の初頭に登場した。日本国内では 1990 年に“ニッケル水素電池”が、翌 1991 年には更に高性能な“リチウムイオン電池”が製品化され、民生用途での普及拡大とともに、車載用途に向けた開発が進んだ。そして、1997 年にはニッケル水素電池を搭載した世界初の量産ハイブリッド専用車「プリウス」が登場し、車両の電動化が再び注目を集めることになった。このプリウスには、当社が開発した電池 ECU などが採用されている ²²⁾。

更に 2000 年代に入ると、リチウムイオン電池を搭載した車両が相次ぎ登場した。例えば、2003 年にトヨタ自動車がアイドリングストップ機構を採用した「ヴィッツ」、

2009年に三菱自動車がEV「i-MiEV」、2010年に日産自動車がEV「リーフ」を製品化している。

このように二次電池の進化が電動車両の普及拡大の鍵を握っており、現在はリチウムイオン電池がその主役の座にある。

4.2 デンソーのリチウムイオン電池関連製品

乗用車アイドルストップシステム向け電池パック

近年、アイドルストップシステムは、燃費向上の有効な手段の一つとして多くの車両に搭載が進んでおり、当社では、鉛電池との併用により更なる燃費向上に貢献するリチウムイオン電池パックを製品化している²³⁾。

システム構成を Fig. 4-1 に示す。電池パックは、電池、バッテリーマネジメントユニット、電源切替スイッチを一体化したもので、車両側の指示に基づき回生電力を充電するとともに、カーナビゲーション、オーディオなどの機器へ安定した電力供給を行う。走行中には、充電した回生電力を車両側からの指示に基づき各電気部品に供給することが可能となり、発電機であるオルタネータによる発電を抑制し、オルタネータ作動のための燃料消費抑制を実現し、車両の燃費向上に寄与している。

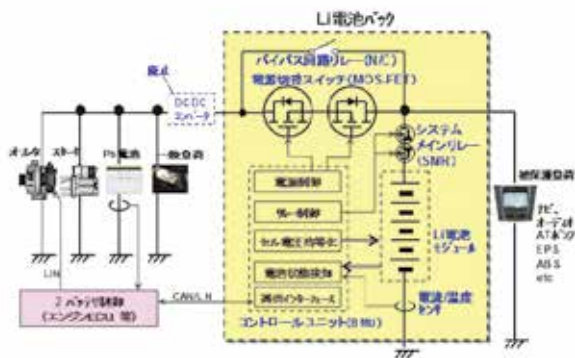


Fig. 4-1 System Construction of Lithium-ion battery pack

本製品では、正極にリチウムマンガン酸化物 (LMO)、負極にチタン酸リチウム (LTO) を用いた高入出力型の電池を採用している。

電池の高入出力特性を活かすことで、鉛電池に比べて短時間により多くの電力を充電することができ、ごく短時間に発生する回生電力を効率的に充電できる。

更に、LMO/LTO系電池を5直列したモジュールを

用いれば、Fig. 4-2 に示すように鉛電池の電圧に近づけられることに着目し、一般的には異種電池の並列接続に必要となる高価なDCDCコンバータを廃止したシステムを構築している。

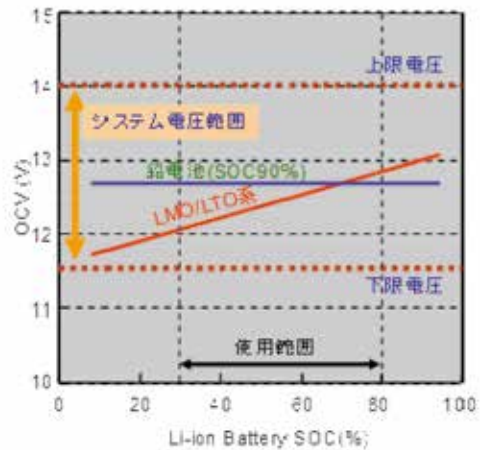


Fig. 4-2 Voltage Characteristics

車載用アイドルストップ対応冷凍機

エンジン停止時間にも冷凍運転できる冷凍機にリチウムイオン電池を活用した事例²⁴⁾を紹介する。

冷凍機のシステム構成を Fig. 4-3 に示す。エンジン駆動用コンプレッサと電動コンプレッサを備えた冷凍機システムに、アイドルストップ時の動力源となるリチウムイオン電池パックと外部電源から充電する為の専用充電器で構成している。車両走行時はエンジン駆動し、アイドルストップ時は電池駆動する。

鉛電池を用いた従来型と比較し、充電時間を半減するとともに、電池の小型化と軽量化により燃費向上を実現している。

冷凍機の長時間駆動には高容量な電池パックが必要となるため、電池は安全性を最優先に考え、電気化学的な安定性が高く、万が一の異常時においても発熱の小さいリン酸鉄系電池を採用した。電池パックを200℃以上の高電圧仕様とすることでDCDCコンバータを用いずに電動コンプレッサを作動させている。

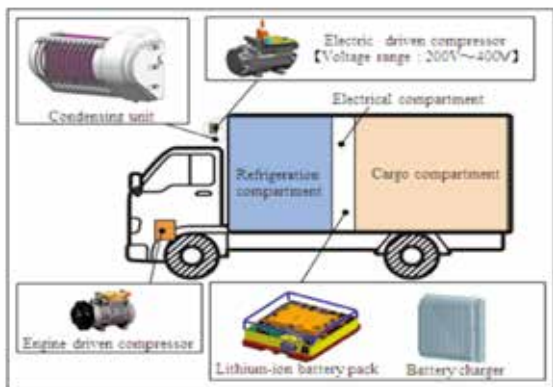


Fig. 4-3 Construction Of Refrigerator System

本製品は2017年4月に製品化しており、今後、電池パックの並列使用や大容量化により、電池運転時間の延長、更なる大型機種への展開を計画している。

4.3 今後の車載用電源技術の展望

電動車両、特にEVやPHEVの普及拡大に向けては、航続距離の伸長、販売価格の低減、充電の利便性向上、車両のスタイリングや車室レイアウトの自由度向上など、克服すべき課題が多数ある。

本節では、上記課題解決のキーテクノロジーである二次電池と充電の技術動向について、当社の取り組み事例も交えて紹介する。

二次電池技術

現在でも、航続距離の伸長、自動運転や車両IoT化による電気負荷の増加などによって、車両に搭載する電池パックの容量は増加・多様化する傾向にある。更に車種展開が進めば、電池パックの要求性能の多様化が加速する (Fig. 4-4)。従って、今後は電池パックを一品一様で開発することが難しくなり、電池をモジュール単位で標準化する動きが活発化すると予測する。

電池パックの開発にあたっては、モジュール単位での性能設計と実装技術、モジュールの直並列化技術が重要と考えている。

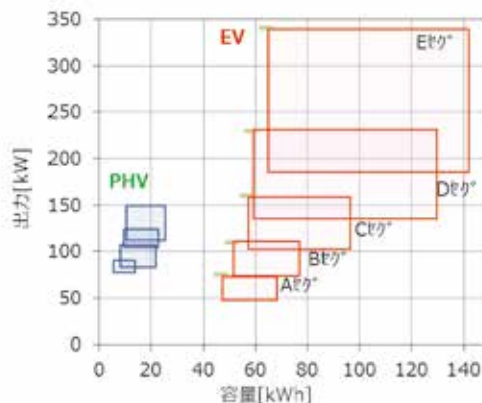


Fig. 4-4 Demand performance to battery pack

また、電池パックの更なる高エネルギー密度化、高耐久化、低コスト化の実現は、電動車両の普及拡大に向けて不可欠であり、世の中では、リチウムイオン電池の更なる改良、「全固体電池」や「空気電池」といった革新電池に向けた開発が活発化している。

電池のパック化では、電池の高密度実装や部品の簡素化等による小型、低コスト化に加えて、電池の性能を“引き出し、維持し、使い切る”ための技術が重要であり、当社では、以下に示すような取り組みを進めている。

- ・伝熱促進技術による放熱性能向上で、電池の性能を引き出し、維持する。
- ・電気化学理論に基づいた電池反応のモデル化による電池の高精度な状態推定 (Fig. 4-5) と、劣化メカニズムに基づいた高精度な電池寿命予測を駆使した制御技術で、電池の性能を使い切る。

上記の取り組みの実現には電池についての理解が不可欠であり、基盤技術として、放射光などを活用した電池反応のメカニズム研究にも力を入れている^{25) 26)}。

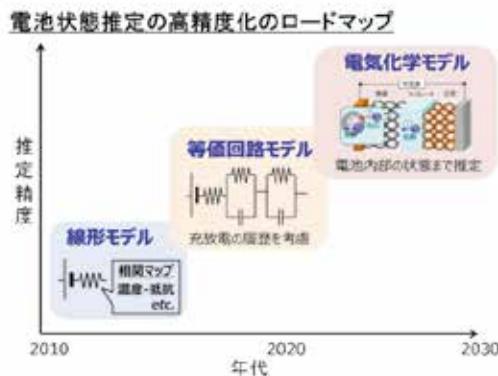


Fig. 4-5 Road map of battery modeling for state estimation

充電技術

EVの普及に向けて、充電の利便性向上や多機能化のニーズが強く、充電インフラの整備と並行して、急速充電器の高出力化、非接触充電、双方向充電などの開発が進められている。

① 急速充電器の高出力化

チャデモ協議会が策定した急速充電器のロードマップ²⁷⁾をFig. 4-6に示す。チャデモ協議会は、普及期に向けてコネクタ・ケーブルの冷却システムなどの開発により、大幅な出力アップ(350kW)を目指している。

② 非接触充電

当社が実施した非接触充電システム実証実験²⁸⁾の様子をFig. 4-7に示す。非接触充電は、電磁誘導や磁界共鳴などの原理を利用し、地上側の送電パッドから非接触で車両側の受電パッドに電気を送る技術であり、電気自動車向けには、位置自由度、伝送距離、出力などの点で磁界共鳴を用いた方式の開発が主流となっている。

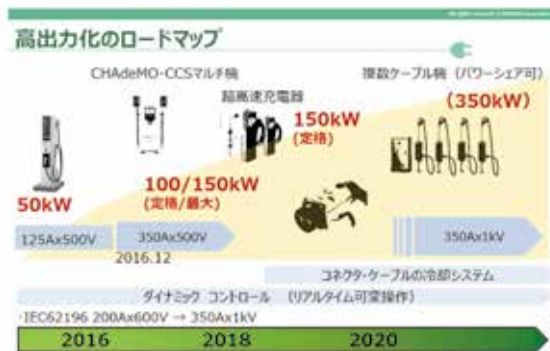


Fig. 4-6 Road map of quick-charger by CHAdeMO Ass.

非接触充電の技術を応用した走行中充電も世界的に注目されている。道路から走行中のEVに非接触で電力を送る技術で、航続距離を解決するための一手段として期待できる技術である。

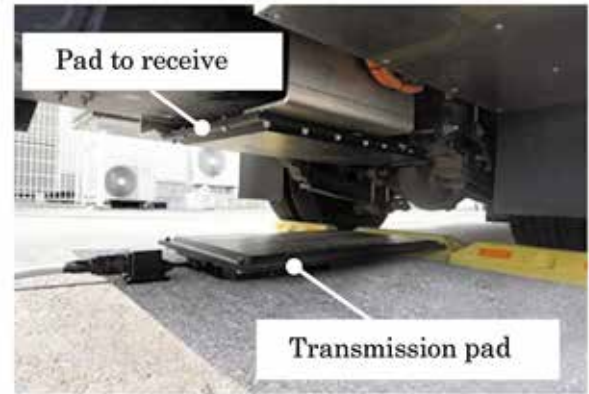


Fig. 4-7 Non-contact charger system

③ 双方向充電

ユーザーに対して新たな価値を提供する技術として、EVに搭載した電池を住宅の電力供給の調整に用いる「Vehicle to Home (V2H)」の開発も進んでいる。当社が開発したV2Hシステム²⁹⁾をFig. 4-8に示す。このシステムは、EVと住宅の間で直流による急速充電を可能にするとともに、車両に蓄えた電力を住宅に供給することができる。さらにホームエネルギーマネジメントシステム(HEMS)と連携して、住宅で発電した太陽光発電電力を含めた電気エネルギーをEVと住宅の間で最適に制御することができる。

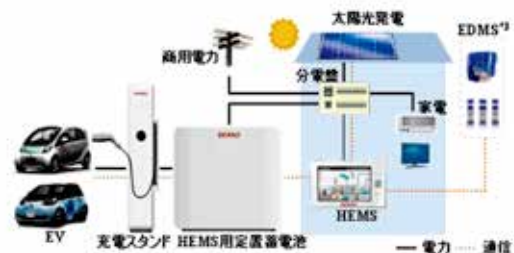


Fig.4-8 V2H system

5. おわりに

本論文では、これまでデンソーが取組んできた電動化技術について、モータ、インバータ、バッテリーに焦点を当て述べた。このような車両の電動化は、90年代後半にHEVが量産化されたことを皮切りに国内外で急速に広まっている。また電動化による車両への影響は環境性能向上に留まらず、走る、止まる、曲がるの基本性能に新たな価値を生み出している。特にEVに代表される次世

代車両においては、優れた加速性能や自動運転化を見越した運転支援技術など様々な進化の兆しが現れている。加えて、車両を公共移動手段の一部に位置づけたマルチモーダルシステムなど、新たな使われ方も提案され始めている。そのなかでデンソーは本稿で述べた電動化技術の進化に加え、次世代の運転支援技術や、新たな車両の使われ方を見据えた将来空調システムなど積極的な研究開発に取り組んでいる。われわれデンソーは先進的な技術開発を通じ、より良い自動車の実現に貢献していく。

参考文献

- 1) 環境省：「諸外国における車体課税のグリーン化の動向」, http://www.env.go.jp/policy/tax/misc_jokyou/, (2016年9月5日)
- 2) <https://www.tesla.com>
- 3) 三戸信二：自動車用補機モータの技術動向, JMA主催テクノフロンティア2014, 技術シンポジウム講演資料集
- 4) 草瀬新：自動車用モータの技術動向, 2017・05, OHM
- 5) 金岩浩志ほか：小型HEV用高電圧モータステータの開発, 電気学会回転機研究会資料RM-13-137, pp.71-76, 2013.11
- 6) 高崎哲ほか：小型ハイブリッド車のモータステータ開発, 自動車技術会2012春季学術講演会資料, No.20125129
- 7) 堀洋一ほか：自動車用モータ技術, 日刊工業新聞社, pp.81-83
- 8) 伊藤徳久：EPSモータへの期待と機電一体技術, JMA主催テクノフロンティア2015, 技術シンポジウム講演資料集, B6-3-11
- 9) 藤井淳ほか：デュアル巻線モータの特徴を活かした停止・低速センサレス制御の低騒音化技術の実機検証, H29電気学会産業応用部門大会3-50
- 10) 大橋正幸：EPS用駆動2系統MCU, デンソーテクニカルレビュー, Vol.21(2016), pp.48-53
- 11) 岡本幸司ら：ハイブリッド用パワーコントロールユニットの開発, デンソーテクニカルレビュー Vol.16(2011), p23
- 12) 株式会社デンソーニュースリリース2015.10.29 <http://www.denso.co.jp/ja/news/newsreleases/2015/151029-01.html>
- 13) トヨタ自動車株式会社 パワー半導体説明会資料2014.5.20 <http://newsroom.toyota.co.jp/jp/download/3519696>
- 14) 株式会社デンソー HP <https://www.denso.com/jp/ja/products-and-services/industrial-products/sic/>
- 15) 山口聡ら：超高品質炭化珪素単結晶の開発, SPring-8 NEWS 20号(2005) http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/news/no_20/#topic
- 16) トヨタ自動車株式会社ニュースリリース2014.5.20 <http://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/2657262>
- 17) トヨタ自動車株式会社ニュースリリース2014.1.29 <http://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/5725437>
- 18) 川原英樹ら：高周波昇圧コンバータの開発, 平成27年電気学会全国大会論文集(2015), p.153
- 19) Kazuhiko Sugiura et al., First Failure Point of a SiC Power Module with Sintered Ag Die-Attach on Reliability Tests, International Conference on Electronics Packaging (ICEP)2017(2017),p.97
- 20) K. Sugiura et al, Prominent Interface Structure and Bonding Material of Power Module for High Temperature Operation, International Symposium on Power Semiconductor Devices (ISPD) 2017, Proceedings(2017),p.491
- 21) 石井：環境省ホームページより, https://www.env.go.jp/policy/tech/nano_tech/review/theme/03/01.html
- 22) 山田：デンソーにおけるHEV/EV向け製品開発の歴史, デンソーテクニカルレビュー, Vol.16(2011), pp.9-15
- 23) 山田, 他：ISSシステムとマイクログリッドの蓄電技術, 電池技術, 第27巻(2015), pp.156-163
- 24) 渡邊, 他：リチウムイオンバッテリー式アイドリングストップ対応冷凍機, 自動車技術会, 春季大会2017前刷集
- 25) 佐藤, 他：Differences between the Kinetically Preferred States of LiFePO₄ during Charging and Discharging Observed Using In Situ X-ray Diffraction Measurements, J. Electrochem. Soc., Vol164(2017), pp.A1281-A1284
- 26) 下西, 他：The mechanism of the potential increase in LiNi_{0.5}Mn_{1.5-x}MxO₄ (M=Ti, Ge), 日本セラミックス協会, 第54回セラミックス基礎科学討論会2016前刷集
- 27) 吉田：CHAdEMOの今後の活動について, CHAdEMO協議会, 第27回整備部会活動報告資料(2016)
- 28) (一社)新エネルギー導入促進協議会：平成26年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金(次世代エネルギー・社会システム実証事業)の成果報告書, 蓄電池付き商用施設向け蓄電・蓄熱EMSの連携システムの技術開発, http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/150330/150330_44.pdf
- 29) (一社)新エネルギー導入促進協議会：平成26年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金(次世代エネルギー・社会システム実証事業)の成果報告書, 創エネ・省エネ機器と蓄電池付きHEMSの連携及びV2Hシステムの研究開発と実証検証, http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/150330/150330_37.pdf

著者



田中 政一
たなか まさかず

研究開発2部
機械系システムおよび製品の先行開発に
従事



蛭間 淳之
ひるま あつゆき

研究開発2部
モータを中心としたパワーエレクトロニクス
製品の研究・先行開発に従事



梅田 敦司
うめだ あつし

エレ機器開発部
モータおよび電機製品の先行開発に従事



谷 恵亮
たに けいすけ

研究開発2部
電力変換器の研究開発に従事



大木島 俊
おおきじま しゅん

研究開発2部
電源システムの研究開発に従事



井村 彰宏
いむら あきひろ

研究開発2部 博士(工学)
電動システムの研究開発に従事