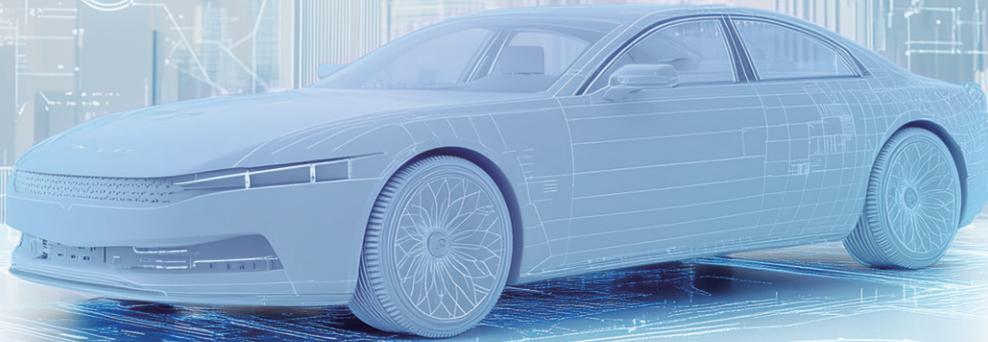


電動化で変わる自動車部品と材料

現在、世界的にクルマの電動化が進んでおり、多くの国や企業がEVへの移行を推進している。これに伴い、自動車部品には走行距離を伸ばすためさらなる軽量化や、これまでとは異なる要求性能への対応が求められる。電動化に対応する鉄鋼製品や材料の開発例を紹介する。



次世代自動車のイメージ

電動化が部品に及ぼす影響

2016年、ダイムラーが「CASE」という新しいビジョンを発表し、自動車産業は100年に一度の大変革期を迎えたといわれる。CASEのうちのE (Electric)である電動化の流れは、それ以降世界的に大きく広がった。従来のガソリン車に代わる電動車には、ハイブリッド車(HV)やプラグインハイブリッド車(PHV)、燃料電池車(FCV)など様々な種類があるが、特に欧米や中国で市場が拡大したのが電気自動車(EV)である。EVは電気エネルギーのみを動力源として走る自動車で、走行中にはCO₂や排出ガスを一切出さ

ない。水しか排出しない燃料電池車と合わせて、「ゼロエミッションビークル(ZEV)」とも呼ばれ、カーボンニュートラルの達成に貢献するものと世界的に期待されている。EVの普及を促進するために、各国では充電インフラの整備などに取り組んできた。自動車メーカーでは、電動化された車両のラインナップを検討し、新興企業のEV市場参入も相次いでいる。

日本では得意とするHVの普及が加速し、PHVやEVの車種も増えている。図1は、日本での次世代自動車(HV、PHV、EV、燃料電池自動車、クリーンディーゼル乗用車など)の新車販売台数(乗用車)に占める割合の推移である(日本自動車工業会調べ)。日本政府による補助金や優遇税制などの普及促進策が開始された2009年以降、次世代自動車の割合は増加した。2020年は新型コロナウイルスの感染拡大の影響を受けたものの、その後は増加傾向にあり、2023年は約54%に達している。

これまでの自動車の主役であるガソリン車では、搭載される部品数は約3万点と言われたが、ガソリン車からEVに替わることによって不要になる部品は多い。ガソリンエンジンがモータに替わることにより、エンジン部品(シリンダ、クランクシャフト、コンロッド、ピストン、カムシャフト、バルブ、バルブスプリングなど)、エンジン補機類(エアクリーナ、吸気マニホールド、燃料タンク、燃料ポンプ、燃料噴射装置、触媒、マフラー、点火装置、オルタネータ、スターターモータなど)、冷却系や潤滑系の部品も不要になる。



図1 新車販売台数(乗用車)に占める次世代自動車の割合

一方、新たに必要になる部品としては、モータ、インバータ、パワーコントロールユニット、電池ユニットなどがある。また、ステアリング系、サスペンション系、ブレーキ系、シャーシ・ボディ系などは、引き続き必要となる。

EVが増えることにより、多くの部品メーカーは大きな影響を受けることになった。これまでガソリン車向けに供給してきた部品が不要になるだけでなく、引き続き必要な部品を製造する場合も新たな対応が迫られることがある。例えば、部品の軽薄短小化ニーズがいつそう高まることが挙げられる。自動車の快適装備や安全装備の充実化が進むことにより、車両重量は増加する。また、電動化により高価で重量のあるモータやバッテリー、インバータなどが搭載される。こうして増加する重量やコストを相殺するために、各部品の軽量化や低コスト化が従来にも増して求められるようになっていく。

パワートレイン部品への新たなニーズ

自動車に使われている鉄鋼材料の量は、車種や部品によって異なるが、一般的に車両重量の約7割を占めると言われてきた。EVでは、ガソリン車に比べ鉄鋼材料の使用量は減るように思えるが、安全性や強度、コストなどの優位性から多くの鉄鋼製品が使用される。例えば、構造系ではフレームやボディパネル、足回りではサスペンション部品やブレーキ部品、パワートレインでは動力を伝達するギアやシャフト、モータ部品などが挙げられる。

なかでもパワートレインには、多くの鉄鋼製品が使われる(詳しくは連携記事参照)。例えば、変速機や減速機はエンジンやモータからの動力を回転数、回転方向を変えて伝達する装置であり、複数の歯車や軸等を組み合わせ、減速比を変更する。変速機には、歯車、シャフトなどの鉄鋼製品が使われ、一般的には合金鋼に表面硬化処理を行って使用されることが多い。EVでは主に変速機構のない減速機となるが、変速機と同様の鉄鋼製品が用いられる。これらのサイズ縮小のために、歯車に小型化、高強度化が要求され、強度を確保するために浸炭焼入れなどの熱処理が施される。EVでは、歯車の数はガソリン車に比べて少なくなるが、エンジン音がないため、より高い静粛性が求められる。またモータの効率を高めようすると回転数が増加することから、歯車には高回転に耐えることが求

められる。

パワートレインをはじめ自動車に多く使われるボルトは高強度化のニーズが高く、さらにボルトの細軸化や使用本数の低減、サイズ縮小などにより軽量化に貢献できる。しかし、ボルトは高強度化すると遅れ破壊が発生するという問題がある。遅れ破壊は、環境中から侵入する水素により、静的荷重下で時間が経過した後に、ほとんど塑性変形を伴わずに脆性的に破壊する現象である。これまで高強度材料は耐遅れ破壊性が劣ると言われていたが、最近では耐遅れ破壊特性を高めた鋼材の開発が行われている。

駆動モータの高効率化と電磁鋼板

次に、EVでの動力源となる駆動モータを見てみる。駆動モータでは、鉄鋼材料が重要な役割を果たす。

そもそもモータは、電気エネルギーを運動エネルギーに変換する装置であり、高効率化が強く求められる。自動車の駆動モータには軽量化、小型化、高トルク化への要求が強く、これらのニーズに対応するため、主に埋込磁石型 (Interior Permanent Magnet、IPM) モータが採用されている。

駆動モータの構造は、外側にはステータと呼ばれる動かない部分があり、ロータと呼ばれる回転する部分が内側に配置されている(図2)。ステータの巻線に電流を流すと、回転体であるロータがそれを回転エネルギーに変換する。電流が流されるステータ側は、常に磁力の向きが入れ替わっている。ロータ側は磁極によって引き寄せられた後に反発力で引き離され、再

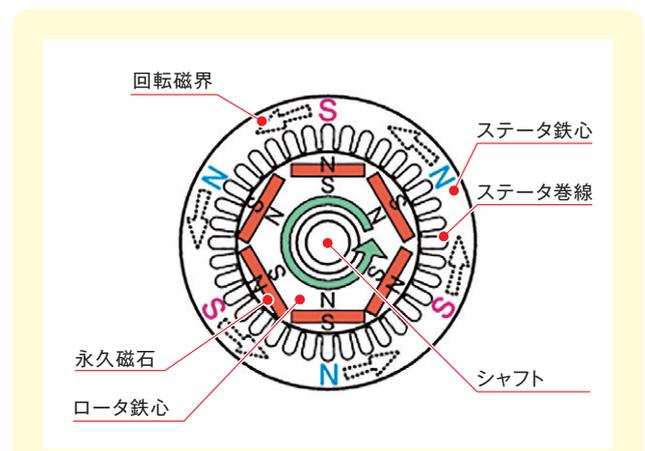


図2 IPMモータの断面図

出典 知っておきたいPMモータ、(一社)日本電機工業会を元に作成

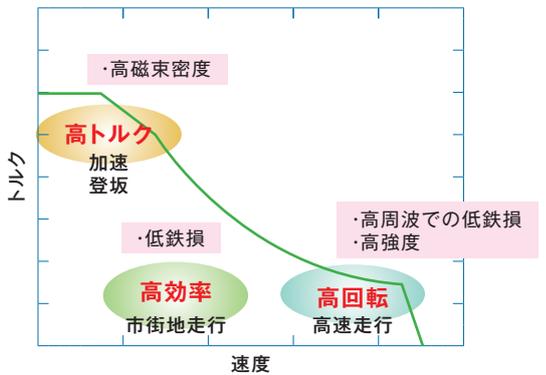


図3 駆動モータと電磁鋼板に求められる特性

出典 大久保智幸：日本磁気学会MSJ講習会(2025.1)「電磁鋼板の基礎と応用」資料

び引き寄せられるという動作を繰り返す。そのためステータの鉄心には、電流の向きを反転させると磁化が反転する軟磁性材料（電磁鋼板）が使われ、ロータの鉄心には、電流の向きが変わっても磁化を維持し続ける硬磁性材料（永久磁石など）が組み込まれ、磁石を保持するコア材料には、ステータと同じ電磁鋼板が使用されることが一般的である。

駆動モータの効率はモータの構造や設計だけでなく、鉄心材料である電磁鋼板の特性に大きく左右されるため、電磁鋼板の特性向上が求められている（詳しくは連携記事参照）。

図3はトルクと回転数に対する駆動モータの運転

可能領域を示しており、各領域でモータと電磁鋼板に求められる特性を併せて記載したものである。

グラフの左上の高トルク・低速領域は、車の発進や、加速および登坂時に対応する領域である。ここでは、高いトルクが必要になるため、巻線に大電流が投入され、鉄心は磁束密度が高い領域まで磁化される。そこでトルクの高いモータを得るため、電磁鋼板には高い磁束密度が要求される。

低トルク・中速領域および高速領域は、市街地および高速道路の走行に対応する領域である。自動車が走行する際の消費エネルギーの大部分はこの領域で発生するため、燃費・電費を改善するには、この領域でのモータ効率を向上させることが有効である。高速領域ではモータの回転数が高いため鉄損の割合が大きく、電磁鋼板には高周波励磁下での鉄損が低いことが要求される。

また、IPMモータでは永久磁石がロータの内部に埋め込まれているため、高速回転では磁石を保持する部位（ブリッジ部）に高い応力集中が発生する。高速回転時のロータの破壊と永久磁石の飛散を防止するため、電磁鋼板には高強度および高疲労強度が要求される。

このように電磁鋼板には、低鉄損、高磁束密度、高強度などが要求されるが、これらは相反する性質であり、すべての特性を満足することは難しい。そこで、使用するモータの構造や設計に合わせて、様々な種類の電磁鋼板が使い分けられている。

ネオジム (Nd) 磁石の省資源化と電動アクスルの提案

ロータに使われる硬磁性材料には、残留磁束密度や保磁力が高いことが求められる。ロータに使われる代表的な材料がNd磁石である。駆動モータでは耐熱性が要求され、ジスプロシウム (Dy) やテルビウム (Tb) を添加して保磁力を向上させることが多いが、一方で残留磁束密度が低下する。またDyやTbは資源リスクが高く、使用量低減のニーズも強まっている。

駆動モータ1台には約1kgのNd磁石が使用されており、電動化に伴いNd磁石の需要は2050年に2.5倍に増加すると予想されている。しかし現在、NdおよびDyの生産の9割以上は中国に依存しており、今後のNd磁石の材料供給不足が懸念されている。

この課題に対して、Dyを使用しないNd系異方性ボンド磁石を用いた駆動モータを超高速化して、小型軽量化を目指す提案がされている。愛知製鋼では、この駆動モータと、小型で減速比の高い減速機を組み合わせた電動アクスルのコンセプトを提案している（図4）。モータを小型化することにより、磁石や電磁鋼板、巻線コイルに用いられる銅などの資源を削減することができるものと期待されている（詳しくは連携記事参照）。

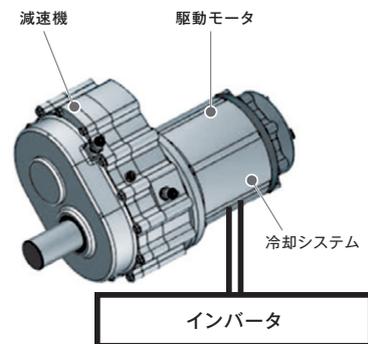


図4 電動アクスルの構成

出典 度會重起、特殊鋼, 71(2022)1, 41

駆動モータに使われる電磁鋼板と低鉄損のニーズ

駆動モータは、電気エネルギーを運動エネルギーに変換する装置であり、高い変換効率や、大きなトルクを発生させることが必要である。そこで、鉄心材料として使われる無方向性電磁鋼板には、①励磁にともなうエネルギー損失・発熱が小さいこと(低鉄損)、および②強い電磁石になること(高磁束密度)、がそれぞれ求められる。

鉄損は、磁化の際に材料内で失われるエネルギーであり、ヒステリシス損と渦電流損の合計である。ヒステリシス損は、材料内部で磁化の方向が変わる際に、内部の磁区が移動や回転を行う過程で失われるエネルギーのことであり、渦電流損は、磁化の際に材料内部に渦電流が発生し、ジュール熱により発熱したエネルギーのことであり、材料の板厚が厚いと渦電流損が高くなるため、板厚を薄くすることが必要である。

鉄損の低減は、電磁鋼板の特性改善の重要項目である。そのための方策として、Siを添加して材料の固有抵抗を上げることが挙げられる。しかし、飽和磁化はSiの添加によって減少し、磁束密度は減少する。低鉄損と高磁束密度のどちらを重視するか

はモータの形式や設計によって異なるが、駆動モータの場合は低鉄損のニーズが強い。

さらにSiの添加量が多いと材料が硬くなり、板厚を薄くする際の生産性が低くなる。この課題を克服するために開発された材料がSi傾斜電磁鋼板である。例えばJFEスチール「JNHFCコア[®]」では、独自開発のCVD*連続浸珪プロセス技術(図5)を用い、板厚方向のSi濃度を表層部で6.5%、中心部ではそれより低めになるようにコントロールし、Si濃度6.5%の従来鋼板より少ないSi量で、6.5%鋼板より優れた高周波低鉄損を実現した。この技術を応用し、従来にない高性能かつ省資源型のSi傾斜電磁鋼板が開発されている。

*CVD: 化学気相成長法 (Chemical Vapor Deposition)

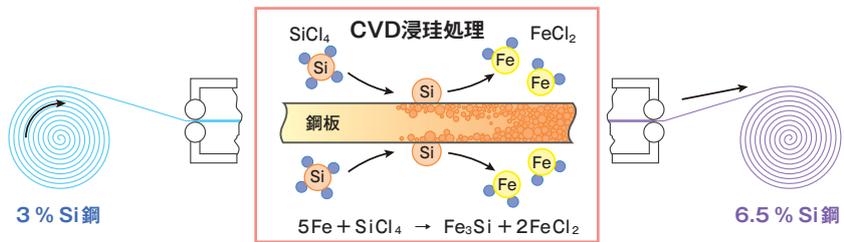


図5 CVDによる連続浸珪プロセス

出典 大久保智幸:ふえらむ, 28 (2023) 2, 97

今後のEVの方向性

EVは、モビリティの脱炭素化の切り札とされ世界で普及が進みつつあったが、最近では世界的に需要



2024FIA世界耐久選手権でマニュファクチャラーズタイトルを獲得したTOYOTA GAZOO Racingの駆動モータには、パワーと省エネを高い水準で両立するSi傾斜電磁鋼板が採用されている。

(写真はTOYOTA GAZOO Racingの車両(GR010 HYBRID8号車))

が失速しており、一方、HVやPHVの需要が伸長している。EV失速の要因には、リチウムイオン電池のコストを主因とする高価格、ドイツなどの購入補助金制度の打ち切り、充電インフラの不足などが挙げられている。

このような状況の中、一部の自動車メーカーは、HVやEV、ガソリン車、水素自動車、燃料電池車など、多様なパワートレインを準備するという戦略を取ってきた。しかし、今後どの自動車普及するかは予測が難しく、今後の市場原理に依るところも大きいと考えられる。

2025年4月の米国政府の関税措置の発動など、世界的に自動車部品や材料の業界を取り巻く環境は大きく変化している。海外でも品質に定評のある日本の自動車部品も、変化する世界の経済状況を見極め、的確な対応が求められる局面を迎えている。

●文 杉山香里