

Techno Scope

東京・新丸の内ビル地下
駐車場で行われた電気自
動車の急速充電実証試験
(写真提供:東京電力(株))



いよいよ普及へ 電気自動車

今夏、電気自動車が市場投入される。

過去に電気自動車の開発ブームは2度あったがいずれも普及には至らなかった。3度目にあたる今回、高性能なリチウムイオン電池や小型・高効率モータの登場によって、電気自動車の性能は飛躍的に向上している。加えて消費者の環境意識は高まりつつあり、本格的な普及に至るのではないかと期待が高まっている。

一般向けの展開が視野に

2009年7月から、電気自動車が発売される。価格は未定だが、先行して発売される三菱自動車工業の電気自動車は4人乗り軽乗用車で、優遇制度を利用して1台300万円程度と言われている。すでに引き合いがあり初年度販売量は達成する見込みだ。今後、他の自動車メーカーも電気自動車の市販化に乗り出すことを発表している(2009年4月取材時の情報)。

電気自動車の開発の歴史は長く、なかでもオイルショックの影響を受けた1970年代と、米国カリフォルニア州の大気汚染規制政策が発表された1990年代に開発の気運が高まった。しかし官公庁や電力会社など、ごく一部の利用に限られ、普及には至らなかった。その理由は、一度の充電で走行できる距離が短いことや、電池が重く大きく価格が高いこと、充電インフラの整備が必要、等が挙げられる。

しかし近年になって、地球温暖化防止は喫緊の課題となり、運輸部門における大幅なCO₂削減は急務となっている。このような状況にあって、電気自動車は、エネルギー効率がよくガソリン車に比べCO₂排出量が少ないことから、その優れた環境性能に期待が集まるようになった。

これまで不十分であった性能も、電池やモータの技術革新が

進んだことで大幅に向上し、さらには家庭のコンセントから直接充電できるようになったことで利便性が向上し、一般向けへの展開が視野に入れられるようになってきた。

走行中のCO₂ゼロ。高い環境性能に期待集まる

電気自動車で特に注目されているのが、そのCO₂排出量である。電気自動車はガソリン車に比べエネルギー効率がよく、CO₂排出量が少ない。また走行中はCO₂を全く排出しない。最近ではCO₂排出量を試算する際は「Well-to-Wheel」という考え方が採り入れられているが、これはWell(油井)からWheel(ホイール)まで、つまり燃料の採掘から車両走行まで全工程に至る総排出量を評価するというものだ。各種車両のWell-to-WheelでのCO₂排出量を比較すると、電気自動車が最も優れており、ガソリン車の約1/4の排出量となっている。これは近年コンバインドサイクルの導入等によって火力発電所の効率が向上していることも寄与しており、さらには太陽光や風力、原子力など化石燃料以外を用いた電源を利用すれば、CO₂排出量はいっそう低減する。

また燃料代(電気代)が安く、経済的という利点もある。例えば三菱自動車工業の電気自動車は、軽ガソリン車に比べ燃料代を約1/3に抑えられる。夜間の電力料金単価が割安な電気料金メ

Well-to-Wheel CO₂総排出量の比較

車両種類	1km走行当りCO ₂ 総排出量 (10・15モード) 単位:g-CO ₂ /km				
	0	50	100	150	200
燃料電池車現状		86.8			
燃料電池車将来		58.2			
ガソリン車				193	
ガソリンハイブリッド車			123		
ディーゼル車				146	
ディーゼルハイブリッド車		89.4			
天然ガス車				148	
電気自動車	49.0				

燃料電池車現状：水素ステーション、燃料電池車データはJHFC実証結果トップ値、その他のデータは文献トップ値により算出

燃料電池車将来：燃料電池車の将来効率60%と文献トップ値により算出
電力構成：日本の平均電源構成

出典：JHFC（水素・燃料電池実証プロジェクト）総合効率検討結果2006.9

ニューで夜間に充電した場合、最大で約1/9に抑えられる（ガソリン価格：140円/ℓ、電力価格：昼間22円/kWh、深夜9円/kWhの場合）。

さらに走行性能も優れている。モータはガソリンエンジンに比べトルク応答性が良いのが特長であり、広い速度域で効率よくトルクを発生することができる。内燃機関のように変速機を用いる必要がないのである。良好な加速性能を持ち、アクセルを踏むと早期に加速することができる。またガソリンエンジンのような上下振動が少なく、静粛性が高い。静かで、軽快な走りが特徴的だ（モータの詳細は後述）。

活発化する車載用リチウムイオン電池の開発

電気自動車のキーテクノロジーとなるのがリチウムイオン電池である。これまで電気自動車が普及に至らなかった最大の理由は、一度の充電で走行できる距離（航続距離）が短かったということである。航続距離は電池を多く搭載すれば延長できるが、重量がかさみ充電時間も長くなる。また車両価格も高くなる。そこで重視されるのが、電池のエネルギー密度である。電池の性能は放電時の電力の高さを示す「出力密度」と、一定の重量、体積中に電力をどこまで蓄えられるかを示す「エネルギー密度」が指標の一つだが、パワーよりも航続距離が課題とされる電気自動車においては、主にエネルギー密度に重点をおいた開発が行われてきた。

リチウムイオン電池の重量エネルギー密度は従来の鉛電池に

三菱自動車工業の電気自動車「i MiEV」の概要

主要部品の構成

軽ガソリン車の燃料タンクがあった床下のスペースにリチウムイオン電池を搭載し、エンジン・トランスミッションのあったエンジンルームにモータ、インバータ、充電器を配置し、大人4人が乗車できる十分な室内空間と荷室スペースを確保している。現行軽ガソリン車の車両のプラットフォームや部品を利用しており、車体開発を最小限に抑えている。

- ・全長×全幅×全高：3,395×1,475×1,600mm
- ・最高速度：130km/h
- ・車両重量：1,080kg
- ・航続距離（10・15モード）：160km[※]
- ・乗車定員：4名

※実際の走行距離は、エアコン仕様の有無、道路状況、運転操作などにより変動する。



搭載されるリチウムイオン電池

4個のセルで構成されたモジュールが22個直列に繋がれている。セルの総数は88個。この電池を積んだ車両の航続距離は160kmとなっている。

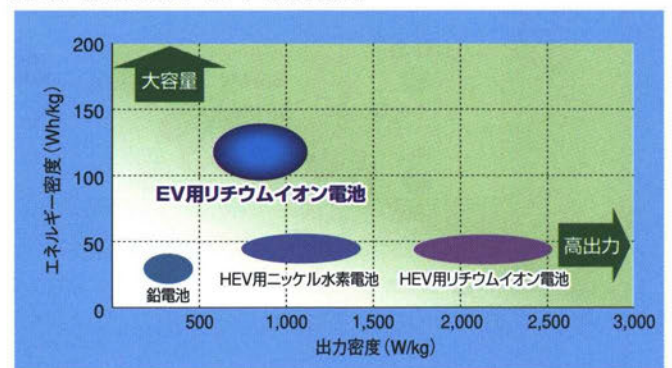


モジュール

資料提供：三菱自動車工業（株）

各種電池の性能

電気自動車用電池は大容量を求めエネルギー密度を重視し、ハイブリッド車用電池は高出力を求め、出力密度を重視する。電気自動車用リチウムイオン電池は従来の鉛電池に比べ約4倍の重量エネルギー密度を持つ。



資料提供：三菱自動車工業（株）

比べ4倍以上で、現存する二次電池のなかで最も高い。これによって電池の小型軽量化が可能となった。またリチウムイオン電池は電圧が高く、電圧は高いほど出力が大きくなり加速性能が良くなる。この他にも高い充放電エネルギー効率、低い自己放電率、メモリー効果がない*等の特性を持つ。さらに従来の電池に比べ寿命が長く、このような優れた特性からリチウムイオン電池は今後の車載用電池として最も有望視されている。

最近では、車載用リチウムイオン電池の量産化に向けて自動車メーカーと、電池メーカーや電機メーカーとの間で開発提携や合弁会社設立などが相次いで行われている。量産化が進むことによって、現在は高価なリチウムイオン電池の価格が低減することが期待されている。リチウムイオン電池は今後の応用分野が広く、その動向は他分野からも注目が集まっている。



2008年6月に行われた「CO₂削減EV洞爺湖キャラバン」(日本EVクラブ主催)では東京から洞爺湖までの858.7kmを電気自動車が走行し、電気代は1,713円、CO₂排出量は35.12kgであった。同時期にガソリン車で走行した場合、ガソリン代は12,956円(172円/ℓ)、CO₂排出量は174.6kgとなる。(資料提供:日本EVクラブ、撮影:三浦康史)

さらなる性能向上を目指した電極材料の開発

エネルギー密度をはじめとして、リチウムイオン電池のさらなる性能向上が進められている。現在、いち早く量産を開始した電池メーカーの車載用リチウムイオン電池(50Ah)の重量エネルギー密度は109Wh/kgで、同社従来品に比べ51%も向上している。

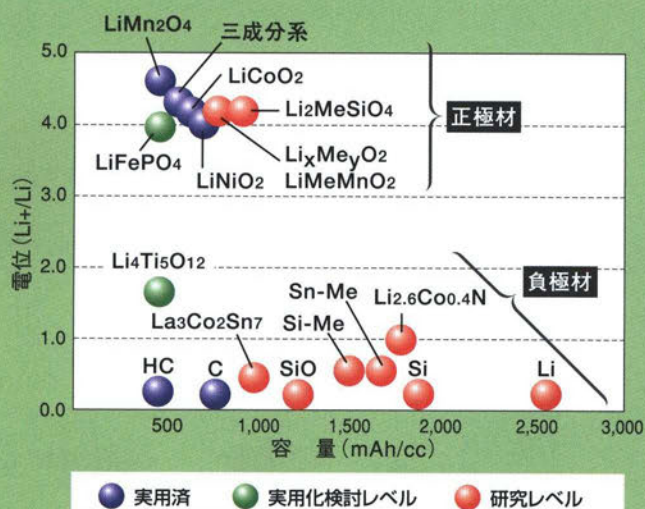
経済産業省の「新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会」の報告書(2006年8月)によると、普及のためには2015年までに電池の重量エネルギー密度を150Wh/kgとし、電池性能を1.5倍、コストを1/7にする必要があると提言している。

リチウムイオン電池は、構成材料の組み合わせ等によって性能を向上させることができるため、様々な材料が提案されている。現在、一般的な構成材料は、正極がリチウム含有遷移金属酸化物、負極が炭素材料、電解液は有機溶媒にリチウム塩を溶解させたものとなっている。その動作原理は充電時に正極からリチウムイオンが脱離し、電解液中を拡散して負極内へ挿入される。放電時は逆のことが起こる。特に最近では、リチウムイオン電池の安全性向上が求められているため、より安全で安価な材料の開発が進められている。例えば電解液は可燃性の有機溶媒が使用さ

いち早く量産が始まった
車載用リチウムイオン電池
マンガン系正極材料が使用されている。重量エネルギー密度は109Wh/kg、体積エネルギー密度は218Wh/ℓ。電池ケースは角形状のステンレスケースが使用されている。

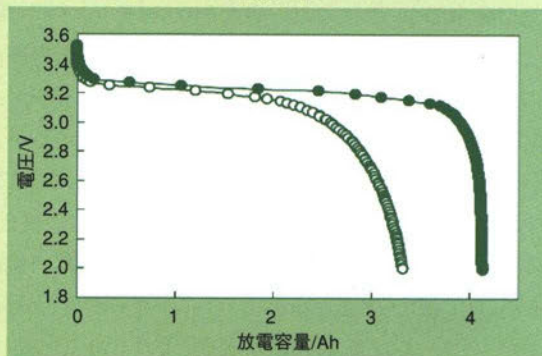


■リチウムイオン電池電極材料開発の現状



■LiFePO₄へのカーボン持込が放電特性に及ぼす影響

LiFePO₄にカーボン持込しない場合は放電容量は3.3Ahしか得られないが、持込した場合は4.1Ahまで増加する。



資料提供: (株)ジーエス・ユアサコーポレーション

*メモリー効果: 電池を使い切らずに充放電を繰り返すと容量が下がったり、放電電圧が低下する現象をいう。主にニッケド電池でみられる。

れているが、安全性確保のため、外部保護回路を設けることに加えて、電解液の難燃化を目指した開発等が行われている。

構成材料のなかでも、正極材料は電池性能に影響を及ぼす重要な材料である。正極材料に多用されている LiCoO_2 は、電圧は高いものの、Coが希少金属であることや安全性に懸念があることが指摘されている。そのため廉価で安全性に優れた LiMn_2O_4 が実用化され、車載用に採用されている。

最近、正極材料の候補の一つとして注目されているのが、資源が豊富な鉄を用いた LiFePO_4 だ。Pと酸素の結合が強く安定な結晶構造を持つことから、温度上昇に伴う酸素の放出が抑えられる。酸素が放出されにくいと電解液と反応しにくく、 LiFePO_4 は本質的な安全性が高いとされる。エネルギー密度は従来のリチウムイオン電池と同程度が期待できるが、 LiFePO_4 は電気伝導性が低いという欠点がある。そのため表面にカーボンを担持したり、ナノ粒子化する方法によって高出力化が図られている。さらには高電位化、高容量化を目指した研究開発も進められている。

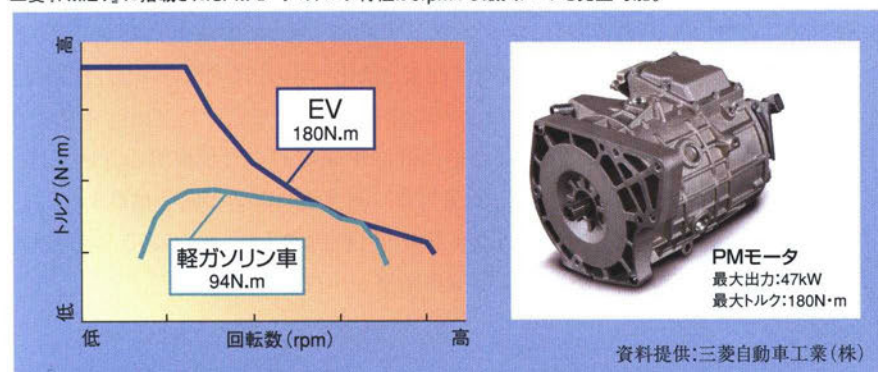
軽快な走りを支える小型・高効率なモータ

リチウムイオン電池だけでなく、電気自動車の高性能化に大きく貢献しているのがモータである。

電気自動車ではモータの効率が低いと航続距離も短くなる。航続距離を伸ばすためには電池容量を増やすことが有効だが、高価な電池はできるだけ容量を抑えたいため、より高効率なモータが必要となる。また限られたスペースに収容されるため小型軽量であることも重要だ。そこで採用されているのが、永久磁石界磁式同期モータ(Permanent Magnet, PMモータ)である。PMモータは高性能な永久磁石を使用するため効率が高く、小型、軽量化を図ることができる。駆動モータには様々な種類があるが、現在国内の電気

■モータのトルク特性

三菱「i MIEV」に搭載されたPMモータのトルク特性は0rpmから最大トルクを発生可能。



自動車やハイブリッド車では、PMモータが主流となっている。

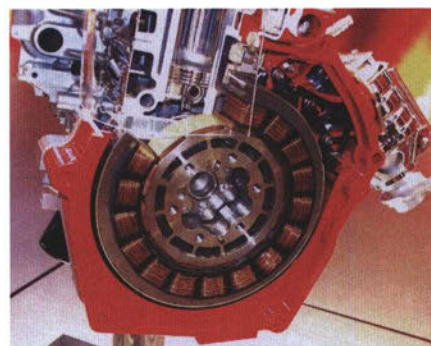
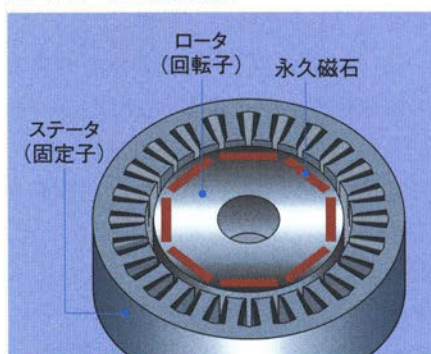
PMモータは、磁石をロータ(回転子)の表面に取り付けた表面磁石形(Surface Permanent Magnet, SPM)と、ロータ内部に磁石を埋め込んだ埋込磁石形(Interior Permanent Magnet, IPM)に分類される。量産型ハイブリッド車にIPMモータが採用されてから、国内ではNd-Fe-B系磁石を使用したIPMモータの採用が多い。

最近では、ハイブリッド車や電気自動車などモータを搭載する車両が増え、さらにはハイブリッド車と電気自動車の中間にあたるプラグインハイブリッド車*の市販化も予定されている。需要増に伴い、PMモータに不可欠なNd-Fe-B系磁石の希土類元素の確保が難しくなることが懸念されている。現在、PMモータにおける希土類元素の使用量低減や、新たなモータの構造が検討されている。また現在のPMモータのさらなる効率向上を目指した開発も続けられており、開発は活発化している。

モータの効率向上を目指した電磁鋼板の開発

駆動モータの高効率化に寄与する材料の一つに電磁鋼板がある。電磁鋼板はモータのロータ(回転子)とステータ(固定子)の鉄心に使用される磁性材料だ。電磁鋼板には方向性電磁鋼板と無方向性電磁鋼板があるが、一般にモータの鉄心には無方向性電磁鋼板が使用されている。

■PMモータの断面略図



2003年東京モーターショーにて公開されたPMモータの内部

*プラグインハイブリッド:家庭用電源から充電できるハイブリッド車。近距離は電気自動車として、遠距離はハイブリッド車として走ることができる。

普及の鍵となる充電インフラの整備

電気自動車の電池の充電は、家庭用充電器と急速充電器の2タイプで行うことになる。家庭用充電器は自動車に搭載されており、家庭用コンセントに接続するだけで充電可能だ。例えば富士重工業の電気自動車の電池は、家庭用コンセントに接続すると約8時間で100%充電できる。最近では一般家庭での電圧が単相100Vだけでなく、単相200Vも使用される場合があるため、いずれの電圧にも対応できるようになっている。

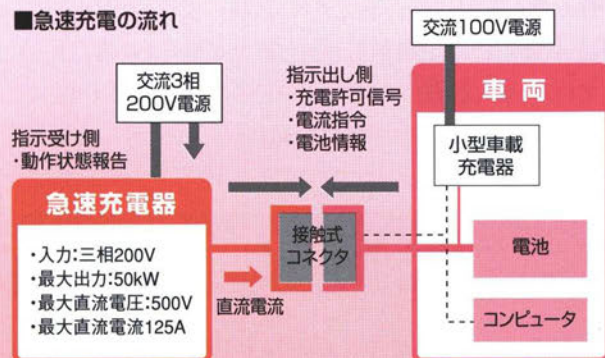
また充電し忘れた場合や、外出先などで短時間に充電したい場合を想定し、急速充電器が開発されている。使用する電源は3相200V-50kWで、5分で40km、10分で60kmの走行分が充電できる。今後メーカーや車種によって、採用する電池や充電

方式が異なることが想定されるため、急速充電器は充電時に車両と通信し、車両側の充電制御指令に応じて必要な電力量を供給する設計となっている。

今後の普及のためには、急速充電器の設置が必要となっている。いつでも、どこでも、短時間で充電できる環境が整っていることは、利便性の向上となる。実際に東京電力が業務車に電気自動車を使用した際に、急速充電器を設置すると電池切れの不安がなくなり、業務車の行動範囲が広がったということがあった。電池切れの不安は普及のネックとなるものであり、充電インフラの整備が望まれている。

現在、電力会社やショッピングセンター、駐車場等で、急速充電器の実証試験が進められている。しかし充電インフラ整備のためのビジネスモデルは確立しておらず、今後、企業や行政機関をはじめとして幅広い分野においての協力が必要となっている。

■急速充電の流れ



首都高速湾岸線の大黒パーキングエリアに設置された急速充電器(写真左)と富士重工業の電気自動車(写真右)。(写真提供:東京電力(株))

駆動モータは広い出力域での高効率が求められるが、特に自動車発進時に必要となる高トルク、最高速度に対応する高回転数、燃費に関わる高頻度走行域での高効率が要求される。さらに小型軽量化も重要となる。

高トルク化に寄与するのが鉄心の磁束密度であり、電磁鋼板の磁束密度の向上が求められている。またモータの小型化には回転数の増加が有効なため、最近ではモータの高速回転化が積極的に進められているが、高速回転化に伴い電磁鋼板には高周波域での鉄損が課題となっている。鉄損とは鉄が磁化する際のエネルギー損失のことで、ヒステリシス損と渦電流損の2種類からなる。さらに高速回転によってロータには大きな遠心力がかかるため、高強度、高疲労強度も電磁鋼板には求められる。

このような様々な要求に対して、モータの性能や構造等に合せ

た各種電磁鋼板が開発されている。例えば高トルクモータ用高磁束密度電磁鋼板は、鉄損を抑えながら磁束密度を向上させており、モータの高トルク化への寄与が期待できる。高周波モータ用電磁鋼板として開発されているのが薄電磁鋼板で、高周波域で増大する渦電流損の低減に有効な電磁鋼板の板厚低減が図られている。高強度電磁鋼板は、高速回転で大きな遠心力のかかるロータ用鉄心材として、高い降伏強度と疲労強度を持つ。さらに最近では鉄心材料の加工、組立が磁束密度の低下、鉄損の増加をもたらすことがわかっており、そのため最適な鉄心設計や鉄心製造工程等の提案が行われている(詳しくは連携記事を参照)。

積極的な技術開発によって、電池やモータ等の性能は著しく向上し、これによって電気自動車は本格的な普及が視野に入られるようになってきた。実際に、かつての電気自動車と乗り比べた人々は、今回は従来とは比べものにならないほど性能が良く、特に加速性能はガソリン車を凌ぐほどだと話す。今後、本格的な普及に至るには価格の低減や充電インフラ整備等の課題が残っている。一方で、低公害車に対する消費者の関心は高まっており、また普及に向けた支援制度、税制等も整いつつある。追い風が吹くなか、今夏、電気自動車が街を走り出す。

●取材協力 三菱自動車工業(株)、(株)ジーエス・ユアサコーポレーション、東京電力(株)、新日本製鐵(株)

●文 藤井 美穂