

# 低炭素社会の構築に貢献する 電池・電動コンポーネント

Battery and Electric Motorization Components Contributing to Construction of Low-carbon Society

**大野 浩市**      **宮崎 英樹**  
Ohno Kouichi      Miyazaki Hideki  
**関 秀明**      **大田黒 俊夫**  
Seki Hideaki      Otaguro Toshio

## 電池・電動コンポーネントの動向について

### 電池・電動コンポーネントの位置づけ

近年、環境問題は地球規模の深刻な課題となっており、世界各国で地球温暖化防止やCO<sub>2</sub>排出量抑制などの環境問題への対応と、社会の発展・経済の成長をバランスよく両立できる低炭素社会の実現に向けた取り組みが進められている。

わが国も、2009年末に閣議決定された「新成長戦略(基本方針)」において、2020年に向けてわが国の強みを生かす成長分野として、グリーンイノベーション(環境エネルギー分野革新)を位置づけている。グリーンイノベーションを積極的に推進し、世界に先駆けて課題を解決することにより、社会の発展・経済の成長を実現することが必要と示されている。

日立グループもまた、産業・交通・都市開発システム、電力システムから成る社会インフラ、および情報・通信システムから成る最新のITを融合させることによる社会イノベーション事業に注力し、2025年度までに、日立グループ製品・サービスによって年間1億tのCO<sub>2</sub>排出量抑制に貢献することを目標にしている。

そして、それらの製品を支えるキーコンポーネントとして電池・電動コンポーネント(モータ、インバータ)を位置づけている(図1参照)。

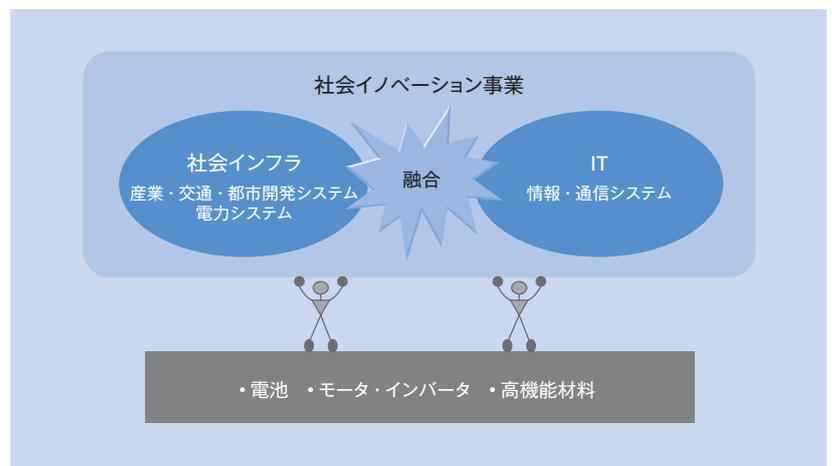


図1 社会イノベーション事業を支えるキーコンポーネント

日立グループは、社会・産業向けのシステム構築力と電池・電動コンポーネントを一体化したソリューションを提案する。

### グリーン社会の市場環境

世界のCO<sub>2</sub>排出量を2005年の280億tを基準として、2050年までに半減させるという目標を達成するためには、2025年の段階で、世界全体の対策投資額が92兆円に拡大すると推計されている。その内訳は、自動車・鉄道・船舶・航空などの移動体のハイブリッド化や電動化などが最も多く66兆円、次いで産業や発電分野における新エネルギーの導入などで11兆円などとなっている(図2参照)。したがって、これからのグリーン社会の進展によって、電池・電動コンポーネントがかかわる市場は、大きく拡大すると予測される。

地球温暖化の防止やCO<sub>2</sub>排出量の抑制をするためには、エネルギー消費を抑えることが重要である。具体的には、製品を支

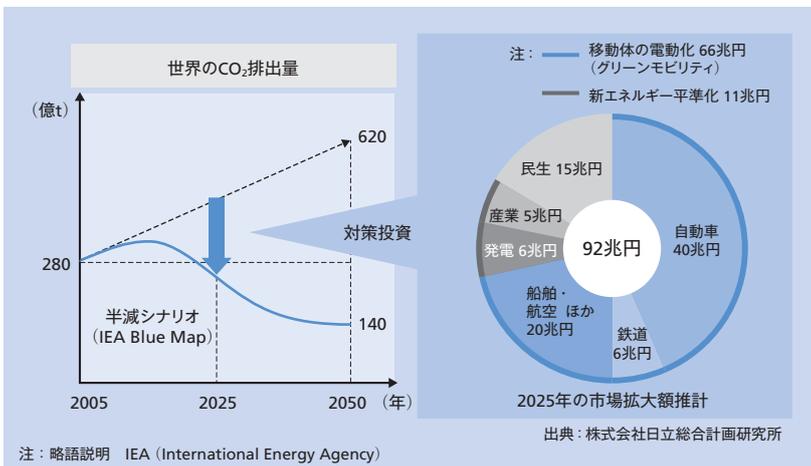


図2 | グリーン社会の進展による市場の拡大  
これからのグリーン社会の進展により、電池・電動コンポーネントがかかわる市場は大きく拡大すると予想される。

えるキーコンポーネントであるモータの省エネルギー化を推進し、消費電力を低減することであり、エンジンや油圧で駆動しているシステムをモータシステム（モータ、インバータ、電池の融合システム）に置き換え、エネルギー消費を低減することである。さらに、電池を活用して出力変動を安定化した風力発電や太陽光発電などの新エネルギーを電力系統に連系させ、積極的に新エネルギーを活用できる環境を整備することなどが考えられる。

(a) CAFE (企業平均燃費)

CAFEはCorporate Average Fuel Efficiencyの略。米国内で販売される乗用車とトラックについて、自動車メーカーごとに自社製品の平均燃費を算定し、それが基準値を達成することを義務つけた規制。米国内で製品を販売している企業はすべてが対象となる。2007年までの基準は乗用車が1ガロン当たり27.5マイル（1L当たり約11.7 km）だったが、米国政府は2016年までに1ガロン当たり35.5マイル（1L当たり約15.1 km）に基準を引き上げる方針を発表している。

モータ省エネルギーの潮流

モータは、全世界の発電量の約40%を消費しており、省エネルギー推進に貢献するため、IEC (International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議) が誘導モータの単一速度に関する効率クラスを制

定し、IEC60034-30で発行した。IECが定めたガイドライン (IE1～IE4) を図3に示す。例として、IE2はIE1を基準にモータ損失を15%削減したレベルであり、同様に、一つ下位のレベルに対して損失を15%削減することで、IE3、IE4とレベルアップする。米国は2011年までに、EUも2014年までにIE3に対応する計画である。日本は、IECに対応するJIS規格を2010年に発行予定である。

参考として、一定速度で駆動するIE1レベルの誘導モータ (7.5 kW) をIE3レベルの磁石モータに置き換えた場合のエネルギー削減効果を試算した。両モータはインバータで駆動する条件で比較しており、磁石モータによる年間CO<sub>2</sub>排出量の削減効果は1台当たり1.9 t (10%) である。

電動分野に向けたモータシステム

従来、エンジンや油圧で駆動していたシステムを電動化する動きも活発である (図4参照)。米国は、CAFE (企業平均燃費)<sup>(a)</sup> 規制で2012年からPHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle：プラグインハイブリッド車) のクレジットを認めることから、今後はPHEVがHEV (Hybrid Electric Vehicle：ハイブリッド車) と同様に普及する予想である。一方、建設機械の分野では、ディーゼルエンジンの排ガス規制が2015年から強化されるため、ハイブリッド建設機械が2015年から2020年にかけて普及する見通しである。

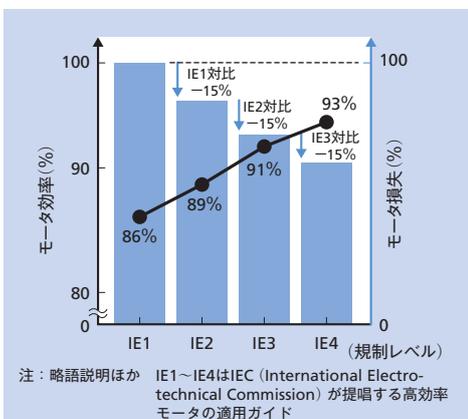


図3 | 誘導モータの国際的な省エネルギー規制  
一つ下位のレベルに対して損失を15%削減することでレベルアップする。

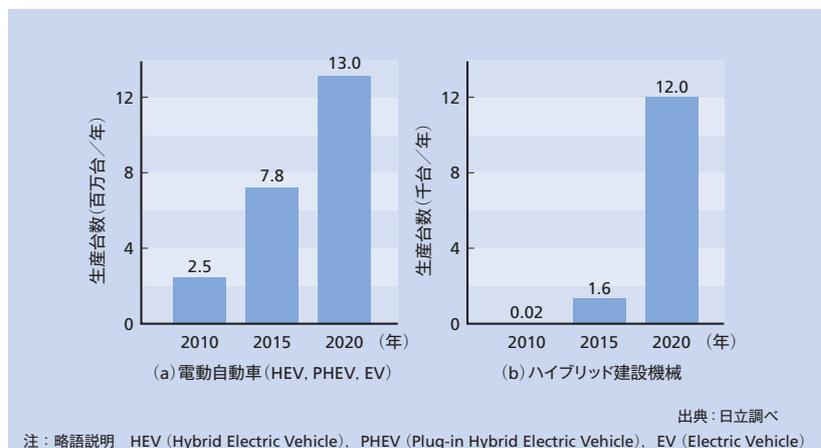


図4 | 電動化分野の市場予測  
エンジンや油圧装置を搭載した移動体から電動化が進展し、2020年には大きな市場に成長する。

電動化とは単にエンジンや油圧機構をモータに置き換えることではなく、モータを工夫して使用する、言い換えればモータのシステム化を言う。図5に電動化システムの基本構成を示す。電源、電池の出力は直流の電力であり、これをインバータで交流電力に変換してモータに供給し、モータで電気を機械力に替えて機構を動かす。

モータ使用上の工夫とは、第一が省エネルギーであり、効率が高く小型化に適した磁石モータの使用が挙げられる。第二は高効率化であり、モータとインバータを総合したエネルギー変換効率の改善が課題である。第三は高性能化であり、エンジンに比べて100倍ほど応答性が高いモータで、機構を高性能に制御することがシステム上の工夫である。

電動化事例に関する各分野の報告から、電動化の前と後でのエネルギー削減率を調査した結果を図6に示す。この図は、エネルギー削減率とトルク応答性の相関をまとめたものである。最も応答性が高いサーボ工作機は、数万Nmの高トルクを0.2秒程度で制御する。従来、連続的に稼動していた油圧機構に対し、高出力・短時間の稼動を電気で制御することで、大幅な省エネルギーを達成することができる。これが電動化の大きな特長である。

電動自動車は、HEV, PHEV, EV (Electric Vehicle) と電池の搭載量が増えるのに応じてエネルギー削減率が増加する。また、制動時に車両が持つ運動エネルギーでモータを発電させ、その電気エネルギーを電池に蓄え、次の加速時に使う電力回生により、さらに省エネルギーを達成することができる。

### 注目されるリチウムイオン電池

リチウムイオン電池は、わが国で生まれた技術である。近年、携帯電話やノートPCのようなモバイル機器など、民生機器を中心に小型・軽量のリチウムイオン電池が実用化されている。

電気を繰り返し蓄えることができ、運搬することができるようにした二次電池の意

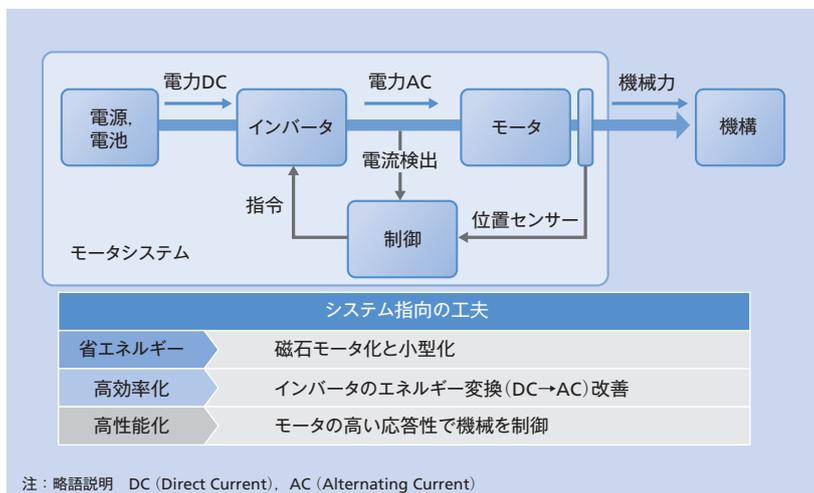


図5 | 電動化システムの基本構成  
電動化とはモータを工夫して使用することであり、モータのシステム指向である。

義は大きい。この二次電池の仲間には、150年の歴史と実績を持ち、主に自動車用、バックアップ電源用として使用される鉛蓄電池や、主にHEV用として使われているニッケル水素電池などがある。

特にリチウムイオン電池が注目される理由は、高エネルギー密度(持続力)と小型・軽量性にある。同じエネルギー密度で比べた場合、リチウムイオン電池は鉛蓄電池の約1/3、ニッケル水素電池の約1/2の体積・重量で実現することができる。

この高エネルギー密度を有する小型で軽量という特徴から、今後は、HEV, PHEV, EVといった環境対応車向けや、電動二輪車、建設機械などの産業用途を中心に市場が拡大し、将来的にはスマートグリッドなどへの適用が見込まれている。

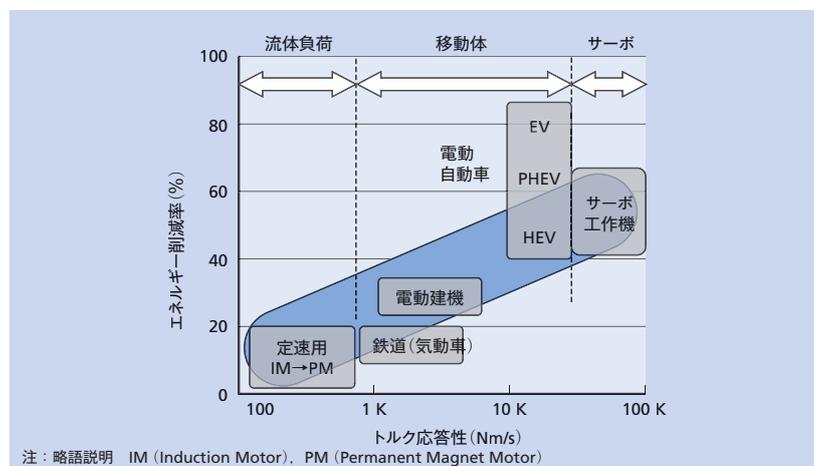


図6 | 電動化の前後におけるエネルギー削減率とトルク応答性の関係  
電動化は高トルクを短時間に制御して省エネルギーを図るため、エネルギー削減率とトルク応答性はおおむね相関がある。

しかし、リチウムイオン電池は、制御を必要とする電子機器という難しい一面も持っている。電池単体では使えず、電池の性能を引き出すためには、制御システムが必要となる。充放電時のスピードや容量を制御しなければ、異常な発熱を引き起こす

原因になる可能性がある。言い換えれば、リチウムイオン電池は、適切な制御システムを実装することによって、高い電池性能を安全に引き出すことができる電子機器である。

### 日立グループの電池・電動コンポーネントへの取り組み

#### 電動化事業に向けた取り組み

日立グループは、2010年に創業100周年を迎えた。1910年の創業製品は5馬力(3.7 kW)誘導モータである。現在の電動化事業を図7に示す。産業分野、家電・民生機器、自動車分野、建設機械、電力システム、社会システム(鉄道車両、エレベーター・エスカレーター)向けのモータと周辺装置を製造している。電動化は、モータとインバータ(制御を含む。)を組み合わせた総合性能での評価が技術趨(すう)勢であり、モータがシステムに適した専用化の時代に入ることを意味する。

さらに、高効率モータへの規制強化の流れも考慮して、誘導モータから磁石モータへの電動化を強化している。なお、大型の発電機や鉄道分野のような高圧(600 kWクラス超)の磁石モータには、今後、ニーズを見極めながら対応していく。

#### ハーモニアス・モータシステム

今後、日立グループが電動化分野で提案する「ハーモニアス・モータシステム」のコンセプトを図8に示す。ハーモニアス・モータシステムは、顧客のニーズに応じた最適なモータソリューションを提供することをめざしている。今後のモータシステムには、環境性と駆動性を両立させることが求められており、そのためには電源、電池、インバータ、モータ、制御、そして機構が絡み合った問題を解決しなければならない。

モータ、インバータ、電池、そして機構系に関して、それぞれのニーズと課題を図9に示す。小さな体格と高トルクの両立を求められるモータでは、磁石の使い方と効率が課題である。モータが低速で高トル

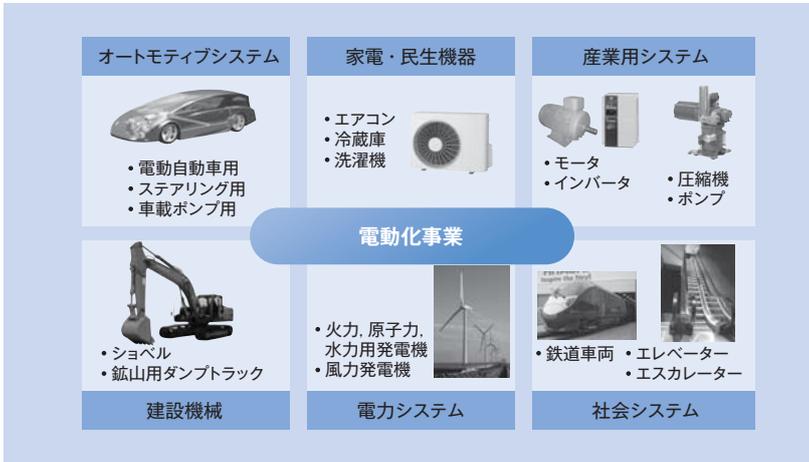


図7 | 日立グループの電動化事業  
日立グループは、産業分野、家電・民生機器、自動車分野、建設機械、電力システム、社会システム(鉄道車両、エレベーター・エスカレーター)向けのモータと周辺機器を製造している。

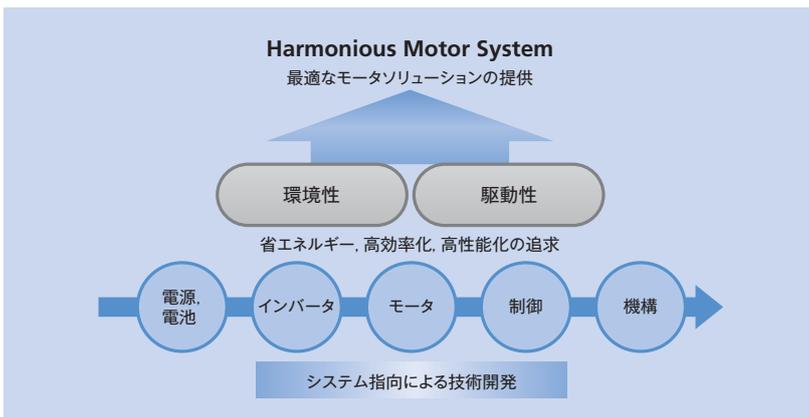


図8 | 日立グループが提唱するハーモニアス・モータシステム  
ハーモニアス・モータシステムは、環境性と駆動性を両立させることで、顧客のニーズに応じた最適なモータソリューションを提供することをめざしている。

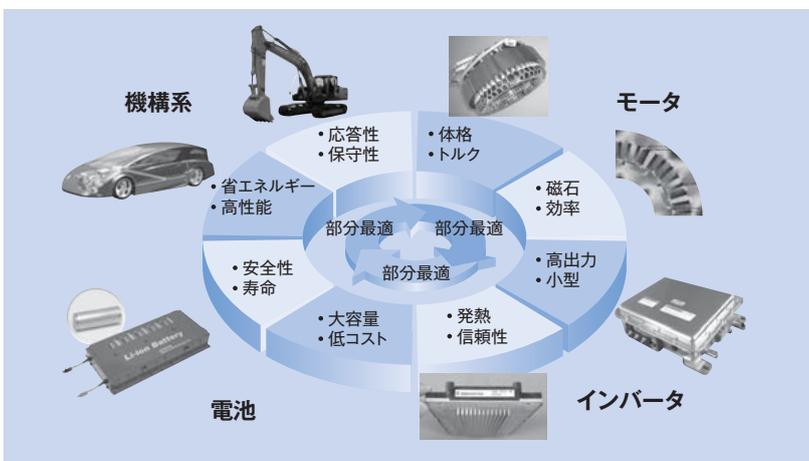


図9 | 電動化コンポーネントのニーズと課題  
各コンポーネントの部分最適が他のコンポーネントの課題を増すということも起きるので、全体が調和する解決策が望ましい。

クを出す際には、磁石量が多いほど電流が少なくて済むが、高速になるほど磁石が逆起電圧を発生し、これを打ち消すために電流が増加して効率に影響する。また、モータが単体でニーズと課題を対比しながら問題を解決する部分最適解は、モノづくりの視点からは重要であるが、インバータや電池と組み合わせる際に、モータの部分最適解がインバータや電池に影響を及ぼす可能性もある。

同様にインバータも高出力・小型化が求められており、パワーデバイスやキャパシタなどの発熱と、温度上昇によるはんだの疲労などの信頼性が課題となっている。一方、インバータは電力を制御する機能を持ち、発熱の原因である損失を軽減することも可能である。そのためには、インバータ単体の部分最適ではなく、モータと電池をも考慮した対応が求められる。

電池は、HEVからPHEV、EVに向けて高出力・大容量化が期待される。課題は安全性と寿命だが、これらに起因する電池の仕様は、機構からモータ、インバータという動力、電力の要求で決まる。電池単体の安全性改善、長寿命化も重要だが、システム全体でのエネルギー需給から検討することが全体の高効率化につながる。

望ましいのは、上位の機構系から下位のコンポーネントまでの諸問題を整理し、課題どうしを調和してソリューションを得ることである。そのために、電源、電池、インバータ、モータ、制御、機構を一貫設計できる解析技術と、コンポーネントどうしの課題を調和して対処できる制御技術が求められる。

ハーモニアス・モータシステムの実現に向けて開発中の制御・システム技術を **図10** に示す。一つのコンポーネントの部分最適を避け、コンポーネント間にまたがる複合的な問題を制御とシステムの面から改善することをねらいとしている。高応答なサーボ用途には、機構とモータシステムを一貫解析するシミュレーション技術を、移動体の高効率化には、モータ、インバータ、電池を総合的に効率改善する **PHM (高**

**調波変調省パルス駆動) 制御<sup>(b)</sup>** を開発中である。また、応答性が低くてもよい圧縮機・ポンプ向けにはモータとインバータの小型・低コスト化に寄与する **非線形制御<sup>(c)</sup>** を、そして、全体にわたって磁石モータの基盤技術を開発している。

### モータの小型化、高効率化を実現する 高機能材料

モータの小型化、高効率化のために、モータを構成する材料についても研究開発が進められている。具体的には、永久磁石、コア材料、電線材料、含浸ワニスなどの主要構成材料であり、それぞれの研究課題は次のようなものである。

永久磁石については、ネオジウム焼結磁石 (Nd-Fe-B) のさらなる高性能化および低コスト化がある。モータのコア材料については、鉄損が小さく、透磁率が高いアモルファス金属材料の開発と実用化が挙げられる。電線材料については、耐熱性のあるエナメル線の開発と、スロット内占積率の向上(高占積率化)、含浸ワニスとの接着性向上、インバータ制御時の高電圧駆動対応、含浸ワニスについては揮発性有機化合物 (VOC: Volatile Organic Compounds) の低減と高耐熱性を進めている。

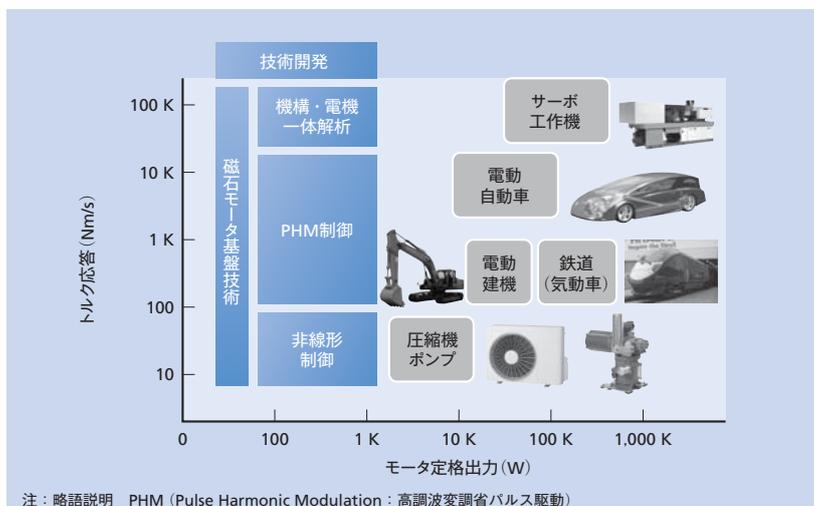
材料を設計する場合、従来は実験だけで材料の組成や構造を決定することが多かったが、最近の計算科学と計算機能力の発展

### (b) PHM (高調波変調省パルス駆動) 制御

PHMはPulse Harmonic Modulationの略。日立グループが開発した自動車用モータなどの高速走行時の効率を高める新制御方式。現行のPWM (Pulse Width Modulation: パルス幅変調) 制御よりもパルス数を $\frac{1}{2}$ に削減し、電流波形のひずみを抑制することで、インバータの発熱量を最大40%低減し、高速回転時のモータ出力を10%向上できる。

### (c) 非線形制御

モータの小型化に伴って生じる磁気飽和(電流を増加しても磁束が増えず、出力が飽和する磁性体の特性)を考慮し、非線形関数式で電流と磁束の関係を近似して制御する技術。これにより、高効率を保ったまま、圧縮機やポンプ用のモータを最大20%小型化することができる。



**図10** | ハーモニアス・モータシステムに向けて開発中の制御・システム技術  
電源、電池、インバータ、モータ、制御、機構を一貫設計できる解析技術と、コンポーネントどうしの課題を調和して対処できる制御技術を開発している。

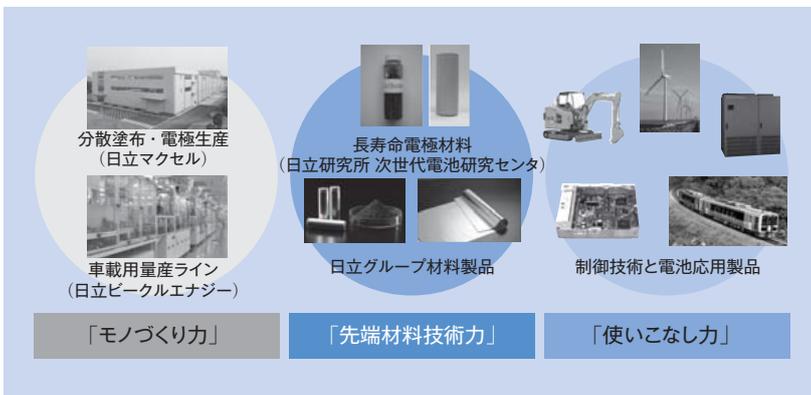


図11 | 日立電池事業を支える基盤技術

日立グループの強みは、「モノづくり力」、「先端材料技術力」、「使いこなし力」の三つである。長寿命電池材料は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託研究の成果によるものである。

に伴い、シミュレーションによる新材料設計が試みられるようになってきた。

### リチウムイオン電池事業に向けた取り組み

日立グループは、1990年代からHEV用リチウムイオン電池をモータ、インバータと組み合わせて開発を進めてきており、高性能、長寿命なリチウムイオン電池を世界に先駆け量産し、市場に投入している。

また、自動車用リチウムイオン電池を主軸とした産業分野向け電池事業の強化を進めている。電池セル単体を販売する事業の拡大とともに、電池の「使いこなし」提案を含めた電源ソリューションの事業展開を強化している。すでに、鉄道分野でも、この分野で培った豊富な経験とノウハウと自動車用リチウムイオン電池を融合し、ハイブリッド駆動システムの実用化や回生エネルギーを有効活用するための蓄電池式回生

電力吸収装置を製品化している。

日立グループの電池事業の特徴は、携帯電話やゲーム機向けの民生用リチウムイオン電池、HEVやPHEV向けのリチウムイオン電池、バックアップ用大型産業用リチウムイオン電池や電力貯蔵用の長寿命鉛蓄電池など、さまざまな用途に向けた電池を有している点である。さらに、リチウムイオン電池の電極材料から、電池セル、電池パック、制御システム、電池応用となる装置・システム・ソリューションの設計・製造を行う関連部門までグループ内にそろっている。つまり、「モノづくり力」、「先端材料技術力」、「使いこなし力」の三つが、日立グループの強みだと言える（図11参照）。

「モノづくり力」については、磁気テープ製造で長年培ってきた分散・塗布技術が、高性能、高信頼電極技術の基盤となっている。さらに、自動車用リチウムイオン電池は、これまで120万セル以上の納入実績があり、電池を搭載した車がすでに5年走行している。

「先端材料技術力」は、研究開発部門が担っており、これまでに電池の長寿命化に寄与する正極材料の開発に成功するなど着実に成果を上げている。これは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託研究の成果である。

「使いこなし力」では、電池セルの性能を最大限に引き出す制御技術と電池応用製品分野で培った豊富な経験とノウハウを融合して、日立グループが連携して産業分野向け電池事業の展開を強化していく。

### 電源ソリューション事業の事業戦略

電源ソリューション事業の事業戦略は、世界に先駆け開発した高性能、長寿命な自動車用リチウムイオン電池を主軸に、日立グループ連携の「使いこなし力」を活用したソリューションを展開して、新しい用途開拓を拡大していくことである。あわせて、電池そのものの性能を向上させることも重要と考えている（図12参照）。

現在、自動車用リチウムイオン電池は、2,600 W/kgの出力密度（瞬発力）を有して

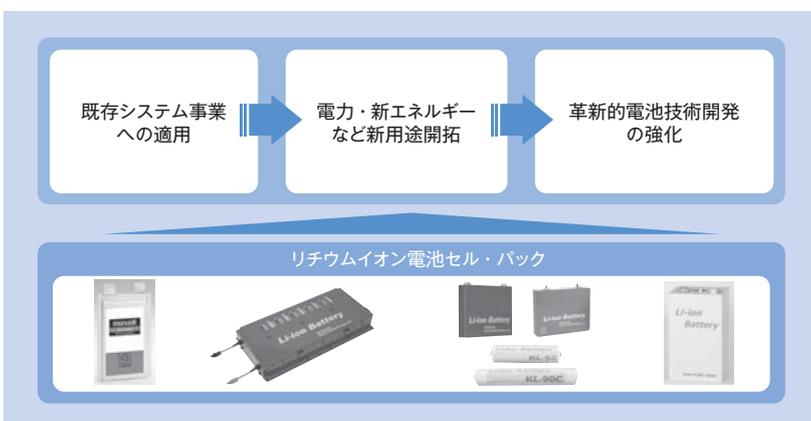


図12 | 電源ソリューション事業の事業戦略

電池そのものの性能を向上させることと、日立グループ連携の「使いこなし力」を強化することで、新用途の開拓を拡大していく。

いる第二世代HEV用電池を量産中である。今回、HEVの高性能化に対応すべく、材料面や構造面を改良して3,000 W/kgの出力密度を有する第三世代HEV用電池を開発し、月産30万セルに対応する量産ラインを完成させた。さらに、高出力、放熱性を追求した4,500 W/kgの出力密度を有する第四世代HEV用電池と、高エネルギー(EV走行)かつ高出力(HEV走行)なPHEV用電池も開発中である。

系統電力の安定化用途に開発した制御弁式鉛蓄電池は、寿命性能を3,000サイクル、4,500サイクルと大幅に向上させた。今回、長寿命化技術を取り入れた電池使用と使用条件の適正化により、風力発電変動抑制用として期待寿命17年の長寿命の制御弁式鉛蓄電池を開発した。

また、通信機器バックアップ用に開発した大容量のフロート仕様リチウムイオン電池は、難燃化と長寿命化に優れた性能を実現している。

モバイル機器の高機能化に伴い、電池の高容量化に対する要求は強い。高容量化に向けた対策は、新しい活物質の活用が課題であり、シリコン系負極材料と酸化物系正極材料の改良を進めている。高容量とトレードオフとなる安全性を確保するために、セラミックスセパレータの開発も進めている。これら、モバイル電池で培われた

電池材料とプロセス技術を基に、中小型産業用リチウムイオン電池の開発を進め、電動工具用円筒電池を製品化し、さらに、10 Ah容量のラミネート封止構造の大容量電池を開発中である。

これからの大型リチウムイオン電池の開発には、革新的電池技術の開発が必要である。高出力密度と高エネルギー密度を両立し、加えて長寿命化や低コスト化に対応することが重要となる。これまで、電池材料の技術開発として、長寿命化を実現するマンガン系正極材料、急速充電特性の大幅向上を実現する炭素系負極材料、低温特性に優れた低抵抗を実現する電解液、大型電池に適した電極構造の設計について革新的な技術開発を進め、着実に成果を出している。

### 低炭素社会実現に向けて

これまで述べてきたように、環境問題に対しては、世界的に早急な取り組みが必要となっている。日立グループは、社会イノベーション事業を支えるキーコンポーネントとなる電池・電動コンポーネントの性能向上と、それらを融合した「使いこなし力」を生かしたソリューションをグループ内の連携で展開することにより、今後も低炭素社会の構築に貢献していく。

#### 参考文献など

- 1) 経済産業省産業構造審議会産業技術分科会基本問題小委員会報告書(2010.5)
- 2) 資源エネルギー庁：蓄電池システム産業のあり方について(2010.5)
- 3) 産業競争力懇談会2009年度推進テーマ報告、リチウムイオン電池の用途拡大による低炭素社会化促進プロジェクト(2010.3)
- 4) 日立製作所ニュースリリース、リチウムイオン電池を軸とした電池事業の強化について(2010.6)  
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2010/06/0617-pre.pdf>
- 5) 日立製作所ニュースリリース、日立のモーターシステム技術に関する開発戦略(2010.8)  
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2010/08/0804-pre.pdf>

#### 執筆者紹介



**大野 浩市**  
1979年日立製作所入社、電池システム社 事業統括本部 営業センター 所属  
現在、産業用電池電源ソリューションの事業開発に従事  
日本機械学会会員



**宮崎 英樹**  
1983年日立製作所入社、電動応用統括推進本部 統合開発センター 所属  
現在、電動化分野におけるモータシステムの開発に従事  
電気学会会員



**関 秀明**  
1979年日立製作所入社、電動応用統括推進本部 所属  
現在、モータ、インバータの開発強化プロジェクトに従事



**大田黒 俊夫**  
1993年日立製作所入社、電池システム社 事業統括本部 所属  
現在、電池事業の戦略立案、事業企画などに従事  
工学博士  
日本機械学会会員