

リチウムイオン電池とスマートグリッド

株式会社ビー・フロンティア
顧問 福島利明

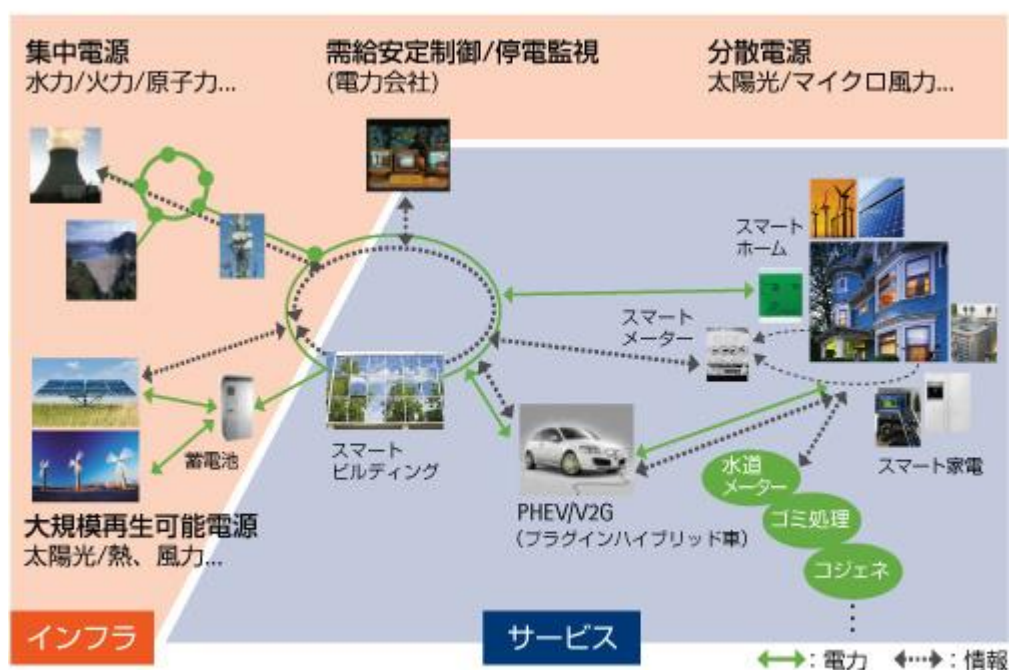
[1] スマートグリッドと電池

日本では真夏の冷房時期に電力が最も消費される。今までの概念では、『電気は貯められない』が常識であり、最大電力を供給する真夏にあわせた発電施設を設ける必要があった。このため、春や秋には過剰設備となり、発電能力の半分も稼動しないことがあった。

スマートグリッドのコンセプトは

- ① インターネットのように、電力の需要と供給を網の目のようにつなぎあわせる。
- ② 電力を必要とする場所の近くで発電する（太陽光発電や風力発電など）。
- ③ 電力が余ったときに蓄電し、不足したときに放電する。

スマートグリッドによる“新しい世界”



Copyright © 2009 Accenture All Rights Reserved.

③ の『電力が余ったときに蓄電し、不足したときに放電する。』 この役割を担うのが、次項で述べる二次電池であり、その中でも最も期待されているのが本報で述べるリチウムイオン電池である。

〔2〕電池の種類とリチウムイオン二次電池の位置付け

表1に示すように、電池を分類すると、使い捨ての「一次電池」と充電により再使用可能となる「二次電池」に分類される。また用いられる電解液の種類により、水系電解液電池と非水系電解液電池とに分類される。

表1. 電池の種類

電池	水系電解液電池	非水系電解液電池 (高電圧・高容量)
一次電池 (使い捨て)	マンガン乾電池 アルカリ乾電池	金属リチウム一次電池
二次電池 (充電可能)	鉛電池 ニカド電池 ニッケル水素電池	リチウムイオン二次電池

水系電解液電池は電解液に水を用いるため、原理的に1.5V前後が限界である。即ち、水の電気分解以下の起電力しか取り出せないという欠点があり、高容量化（即ち小形・軽量化）の観点からは限界がある。

それに対し、非水系電解液電池は3V以上の起電力を得ることが可能である。

1991年ソニーにより、正極にリチウムを含有するコバルト酸化物、負極に炭素を用いた二次電池が商品化された。この電池はリチウムイオン電池と呼ばれ、現在高性能二次電池といえほとんどこのリチウムイオン電池を指している。

〔3〕リチウムイオン電池の原理、特徴および課題

図1はリチウムイオン電池の反応を模式的に表したものである。

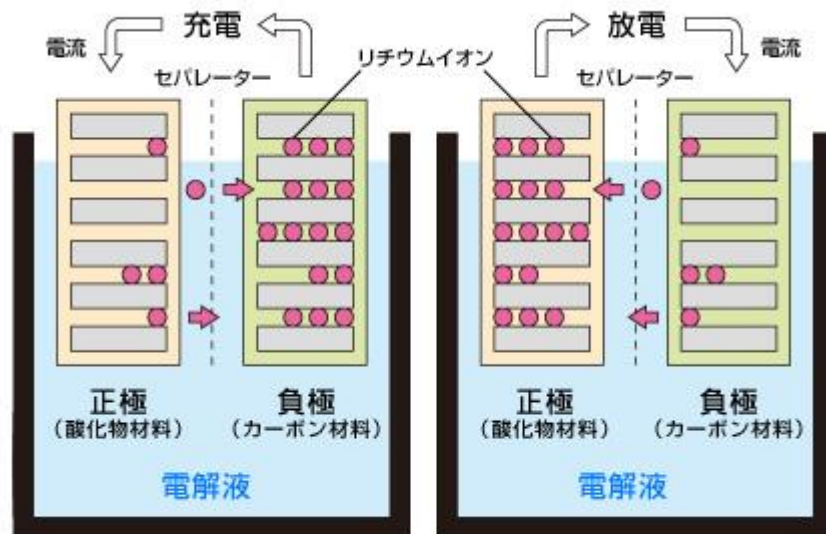


図 1. リチウムイオン電池の反応

正極の酸化物材料（コバルト酸リチウム）と負極のカーボン材料（黒鉛）はいずれも層状の結晶構造を持っている。充電時には、正極から負極にリチウムイオン（ Li^+ ）が移動し、放電時には逆に、負極から正極にリチウムイオンが移動する。このように層状構造の物質の層間にイオンが入る反応は「インターカレーション」と呼ばれ、物質の基本構造が変化しないため、充放電を繰り返す二次電池の電極に適している。

200 年以上になる電池の歴史の中で、リチウムイオン電池は最も新しい部類に入るが、過去十数年の実績において最も生産量（金額）が大きく、注目度の高い電池となっている。即ち、リチウムイオン電池は以下のように、他の二次電池に優る多くの長所を有している。

- ① エネルギー密度が高い：普及している二次電池の中で、最もエネルギー密度が高く、小形・軽量化に適している。
- ② 起電力が高い：4 V 級であり、他の二次電池と比べ使用本数を減らすことができ、機器設計上の利点となる。
- ③ エネルギー効率が高い：充電・放電の際のエネルギー損失が小さいため、電力貯蔵用途にも適している。
- ④ メモリー効果がない：二次電池を少し使用し、その度に充電を繰り返すことにより放電容量低下する現象（メモリー効果）がないため、つぎ足し充電使用に問題が生じない。
- ⑤ 使用温度範囲が十分広い。
- ⑥ 充放電サイクルの寿命が長い。

リチウムイオン電池はエネルギー密度が高い等の特徴が活かされ、小形の携帯型機器を中心に広く普及し、また次世代の電気自動車用パワーソースとしても本命視されているが、以下のようなさまざまな課題があることも指摘されている。

(1) エネルギー密度

二次電池のエネルギー密度は、モバイル機器の連続使用時間や電気自動車の航続距離に直結するため、更に改良が求められている。

(2) 入出力密度

パワーを要する用途では出力密度が重要になってくる。また入力密度は急速充電性能に影響する。今後、ハイブリッド電気自動車などのパワーソースに用いるためには、入出力性能がまだ不十分と考えられている。

(3) 寿命

電気自動車用や電力貯蔵用の二次電池は使用環境が苛酷な場合もあり、また稼働年数が長いことなどから、リチウムイオン電池の充放電回数や耐用年数も大幅な改善が必要である。

(4) 安全性

エネルギー密度が大きくなるほど、また総エネルギー量が大きくなるほど、電池の安全性確保は難しくなる。EVに必要なエネルギー量は携帯電話の10,000倍以上にもなるため、電解液、電極材料の改良が必要と考えられている。

(5) コスト

電気自動車や電力貯蔵用途ではエネルギーの値段が問題になり、電池のコストダウンが求められている。現在のリチウムイオン電池は、各種二次電池の中でも比較的高価な材料を使っているため、今後は素材レベルでの低コスト化が必要になってくる。

(6) 資源

リチウムイオン電池の主要原料は、レアメタルの1種であるリチウムの化合物であり、地球上の資源が枯渇するのではないかと心配されている。これについては次章で詳細に述べるが、海中には2300億トンのリチウムが溶けていて、事実上無限の埋蔵量を有しており、いかに効率よくリチウムを抽出、製錬するかが鍵を握っている。一方では、今後もリチウムイオン電池の生産量が増え続けると予想され、各国で使用後の電池の回収、リサイクルについて検討が進んでおり、ドイツでは既にリサイクルプラントが稼働し始めている。

[4] リチウム資源について

リチウムは水素、ヘリウムと共に宇宙の始まりとも言われているビッグバンによって合成された初めの元素の1つであり、地球上に広く分布しているが、非常に高い反応性のために単体としては存在していない。

海水に含まれるリチウムの総量は非常に多く、2300億トンと推定されていて、0.14から0.24 ppmと比較的安定した濃度で存在している。地殻中のリチウム濃度は20から70 ppmと見積もられており、地殻中で25番目に多く存在する元素である。

リチウムは水分蒸発量の多い乾燥した地域の塩湖などにおいて、非常に長い時間をかけて濃縮され、鉱床を形成することも知られている。ボリビアのウユニ塩湖やチリのアタカマ塩湖などは、世界でも有数のリチウム埋蔵量が多い塩湖である。

表 2. リチウム生産量（2011 年）及び可採埋蔵量

国	生産量(トン)	可採埋蔵量(千トン)
チリ	12600	7500
オーストラリア	9260	970
中華人民共和国	5200	3500
アルゼンチン	3200	850
ポルトガル	820	10
カナダ	480	180
ジンバブエ	470	23
ブラジル	160	64
世界計	34000	13000

アメリカ地質研究所の 2010 年の推定によると、最大の可採埋蔵量を有する国はチリの 750 万トンであり、生産量も世界最大である。他の主要なリチウム産出国としては、オーストラリア、アルゼンチン、中国が含まれる。

リチウム電池の需要が年におよそ 25% ずつ増加しており、世界的なリチウムの消費量は 2012 年の 15 万トンから、2020 年には 30 万トンにまで急増する可能性がある。しかしながら、ミシガン大学及びフォード・モーター社が 2011 年に行った研究によると、2100 年までのリチウム需要を支えるのに十分なリチウム資源が存在することが示され、そこにはリチウムを広範囲に必要とする電気自動車やプラグインハイブリッドカー、バッテリー式電動輸送機器などの用途が含まれている。

また、海水中には 2300 億トンのリチウムが溶けており、事実上無限の埋蔵量を有する。効率的な回収方法が開発されれば経済的に実用可能性が出てくるが、回収の為にパイロットプラントではコストが従来法の 20 倍かかるなどの課題が残っている。

〔5〕電気自動車用に使われているリチウムイオン電池

電気自動車はエンジンの代わりにモーターと制御装置を使い、ガソリンの代わりにバッテリーに蓄えた電気で走る車で、図 2 のような構造をしている。

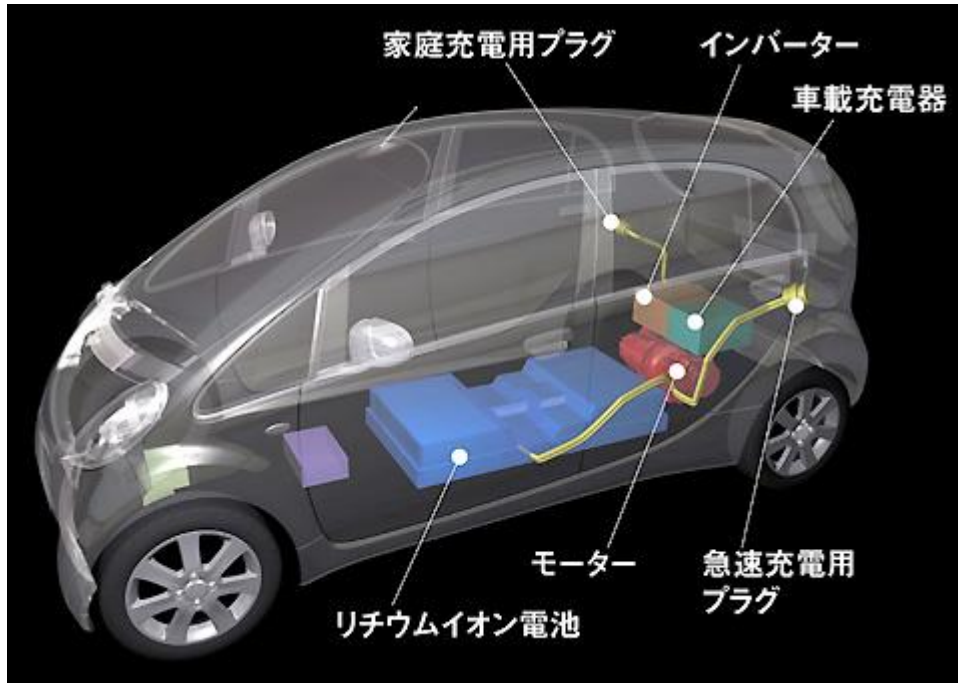


図2. 電気自動車の構造

近年普及してきたハイブリッド車（ガソリンと電気の二つのいいところを組み合わせる車）や天然ガス車（天然ガスを燃料にする車）、将来性が期待されている燃料電池自動車（水素と酸素で発電しながら走る車）などのさまざまな方式の車の中で、電気自動車は急成長している。それは、携帯電話普及の副産物としてリチウムイオン電池が飛躍的に小型化・大容量化し、車載用としても実用に達したからである。

現在ハイブリッドカーに人気を集めているが、ハイブリッド車に搭載されている電池だけで走行すると、わずか5kmほどしか走れない。これを改良するため、ハイブリッド車のバッテリーをパワフルにしてモーターでの走行距離をさらに伸ばしたのが、家庭用電源から充電できるプラグインハイブリッドカーである。しかしながら、燃料費から見ると、電気自動車の方がはるかに勝り、またガソリンエンジンのうるさいノイズもない。各社から発表されているリチウムイオン電池及び自動車の車種を下表に示す。

表 3.各社の自動車用リチウムイオン電池

メーカー	オートモーティブ エナジーサプライ	リチウムエナ ジージャパン	ブルーエナジー	日立ビークル エナジー	東芝	三洋電機
製品名	L3-10	LEV50	GSユアサ「EH6」 ベース	第三世代	SCiB	-
正極材料	マンガン系	マンガン系	三元系	マンガン系	マンガン系	三元系
負極材料	カーボン系	カーボン系	カーボン系	カーボン系	チタン酸リチウム	カーボン系
搭載車種	富士重工「プラグ インステラ」、 日産「リーフ」(推 定)	三菱自動車 「i-MiEV」	ホンダ「シビック・ ハイブリッド」	GM車に搭載 予定	-	Audiに搭載予定

出所:テクノアソシエーツ作成

[6] マイクログリッドと大型リチウムイオン電池

スマートグリッドは発電所、送配電、変電所を経て家庭に設置される電力メーターまでの範囲を制御の対象としている。

一方、マイクログリッドは、分散型電源をネットワーク化した電力マネジメントである。分散型電源のエネルギー供給源としては、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、コジェネレーション、燃料電池等が挙げられる。その間欠的なエネルギー供給網を補い、住宅、オフィス、学校などのエネルギー需要に適合させるよう、ITを駆使してネットワーク全体を管理することが必要不可欠になってくる。

マイクログリッドのシステム概念を図3に示す。マイクログリッドは分散型電力網とも呼ばれ、建設費用が安価で、送電によるエネルギーロスが少ないなどのメリットがある。複数のビルや街区ごとに自律動作が可能なマイクログリッドは停電にも強く、また再生可能エネルギーの利用にも適している。

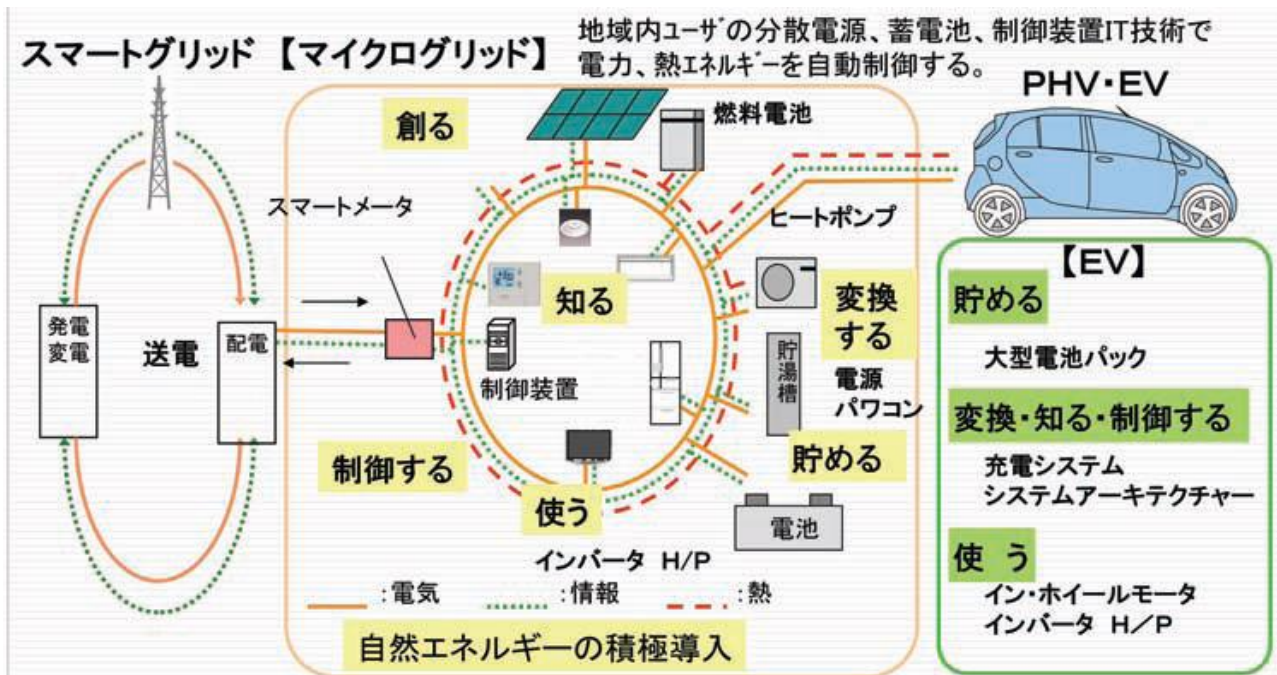


図3. マイクログリッドのシステム概念図

プラグインハイブリッド車 (PHV)、電気自動車 (EV) はマイクログリッドの構成要素の1つになる。前報でも述べたが、車から住宅に電力を供給することは V2H (Vehicle to Home) と呼ばれ、車から配電網に電力を供給することは V2G (Vehicle to Grid) と呼ばれている。

マイクログリッドを構成する要素の中で、従来の住宅に無かった機能は「蓄電」であり、PHV, EV の分野においても「蓄電」の機能は、自動車の走行距離、燃費などに影響を与える重要な要素技術になっている。リチウムイオン電池は「蓄電」の機能を兼ね備えており、マイクログリッドの構成要素の中でも、重要な役割を担っている。今後マイクログリッドを作り上げていくためには、大容量の電池が必要であり、マイクログリッドシステムに適している“大型”のリチウムイオン電池の開発に、各社しのぎを削っているところである。

三菱重工業は大型のリチウムイオン二次電池システムに注力している。同社は 2009 年にリチウムイオン二次電池事業に参入し、2010 年 11 月には電池の量産化実証工場を完成している。2012 年 12 月 26 日、建物内に設置するものとしては国内最大級の“リチウムイオン二次電池蓄電システム”を清水建設に納入したと発表した (図4)。清水建設は、複数の建物から構成されるマイクログリッドや BEMS (Building and Energy Management System) などの実証試験を続けており、三菱重工業と共同で今回の電池システムを利用する。



図4. 三菱重工業のリチウムイオン二次電池蓄電システム

12フィートコンテナ（約3.7m x 2.4m x 2.6m）の中に、リチウムイオン電池が収納されている。容量50Ahの大型電池セル（図中左下）を320個使用している。

IHIも総合的なエネルギーカンパニーとして、リチウムイオン電池を核とした蓄電池システムの開発に取り組んでいる。IHIは、安全性と耐久性で定評のあるリチウムイオン電池技術を有する米国A123System社と事業提携し、IHI独自のノウハウや技術を付加して、リチウムイオン蓄電池システムを開発している。

2011年度には、商業用電力を蓄電し、停電時や電力需要の高い時間帯に、蓄えた電力を利用できる定置型タイプを製品化し、東京消防庁に納入している。図5は、平成25年2月に東京都内のマンションに納入されたIHIマイクログリッドシステムである。太陽光発電と連携し、日常のピークシフトと非常時の照明 / コンセントの運用に用いられている。



図5. IHI マイクログリッドシステム

〔7〕 まとめ

本報ではスマートグリッドにおけるリチウムイオン電池の果たす役割について述べた。リチウムイオン電池は、エネルギー密度が高い、起電力が高い等の特徴が活かされ、次世代の電気自動車用パワーソースとして本命視されている。

一方、分散型電源をネットワーク化した電力マネジメントであるマイクログリッドシステムでは、PHV、EVが構成要素の1つになっている。従来の住宅に無かった「蓄電」機能をリチウムイオン電池は兼ね備えており、マイクログリッドの中でも、重要な役割を担うようになっている。今後マイクログリッドシステムを作り上げていく上で、大容量の大型リチウムイオン電池の開発が急がれている。分散型電源のエネルギー供給網を補い、住宅、オフィス、学校等のエネルギー需要に対応していくためには、ITを駆使して、ネットワーク全体を管理することが、必要不可欠になってくる。

分散型電源のエネルギー供給源である、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電等については次回報告の予定である。