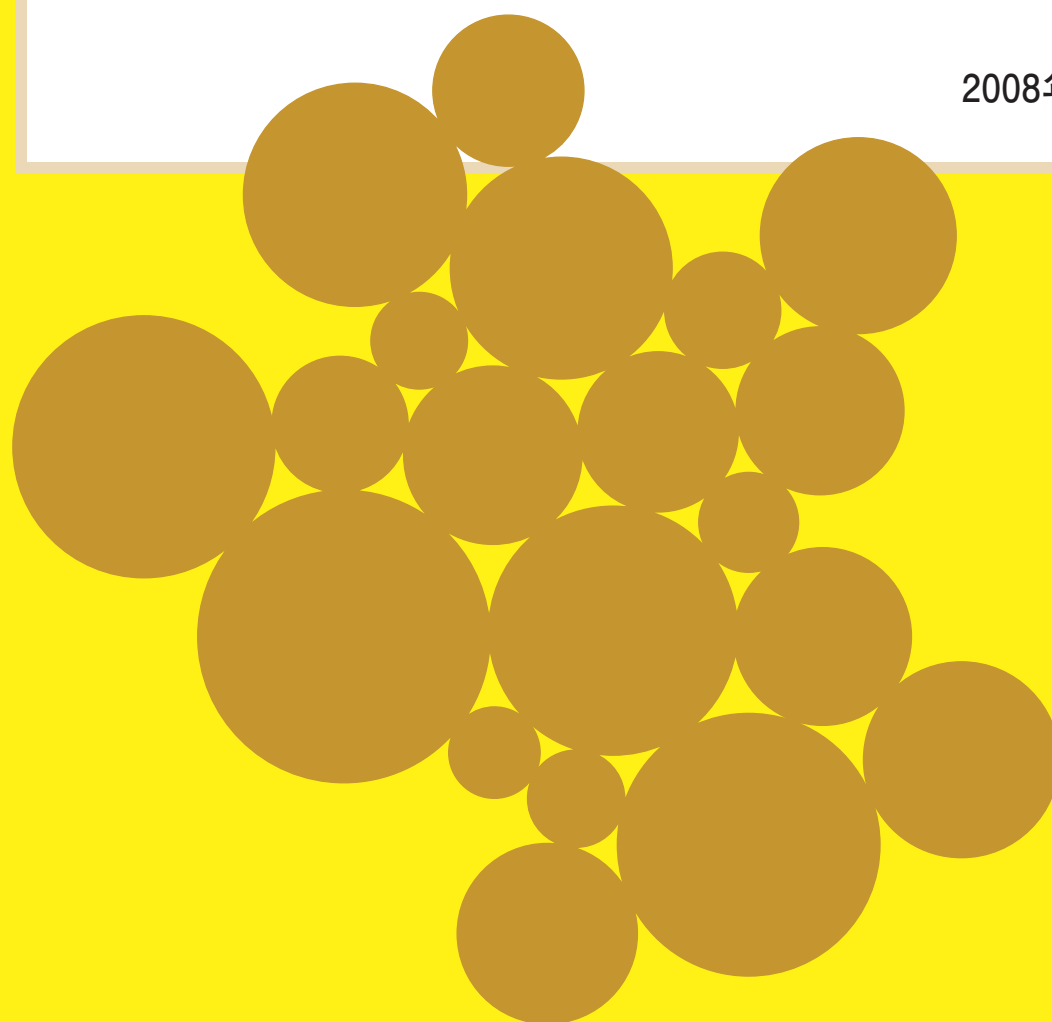


新エネルギーの展望

二次電池

—改訂版—

2008年3月



まえがき

今日、地球温暖化に代表される地域規模の環境問題や石油価格の高騰化現象に見られる石油供給への懸念（エネルギーセキュリティー問題）が現実の問題として議論されるようになり、脱石油の要求が以前にも増して大きくなってきている。

その手段の一つとしていわゆる新エネルギーの開発あるいは導入・普及が益々重要視されてきているが、一般に、新エネルギーの多くは自然エネルギーを利用するものであり、エネルギー出力が不安定であるという課題があり、その欠点を補うものとして適切な二次電池の導入が必要とされている。

さらに自動車用エネルギーとしては、従来の石油燃料利用自動車に代り、昨今ハイブリッド車、電気自動車、あるいは燃料電池自動車等の電気利用の機会が増え、その際の成否に係わる技術の一つとして二次電池があげられる。

一方、二次電池は、初期に広く普及し、現在も一部で利用されている鉛蓄電池時代から、近年はパソコン用等の民生用、電力負荷平準化用、風力発電、太陽電池などからの発電用、自動車用、それぞれの用途に応じた種類と規模、特性が求められ、常に日進月歩の技術開発を要求されている。

上述のような状況から、今後の二次電池の展望を検討する際に資することを目的として、その意義、開発状況、見通し等を紹介することとした。

当所では先に本シリーズにおいて「二次電池（1988年度版）」編（1989年3月刊行）を取りまとめたが、その後、上述の状況に見られるように、かなり状況が変わってきたので、今般その改定として、新しく二次電池を解説したものである。

なお、本編は、プロジェクト試験研究部蓮池宏部長および小川紀一郎参事の協力を得て、エネルギー技術情報センター下岡浩主管研究員が執筆し、エネルギー技術情報センターにおいて編集した。

終わりに、このシリーズの刊行は、電力中央研究所からの委託業務「エネルギー技術情報に関する調査」の一環をなすものであり、同研究所に対して深く謝意を表する。

2008年3月

財団法人 エネルギー総合工学研究所
理事長 秋山 守

新エネルギーの展望
二次電池（改訂版）

目 次

| | |
|-------------------|----|
| はじめに | 1 |
| 1 二次電池の概要 | 2 |
| 1.1 電池の歴史と概説 | 2 |
| 1.2 二次電池の評価要素 | 5 |
| 1.3 二次電池の特徴 | 6 |
| 2 二次電池の種類と特徴 | 7 |
| 2.1 鉛蓄電池 | 7 |
| 2.2 ニッケルカドミウム電池 | 8 |
| 2.3 ニッケル水素電池 | 9 |
| 2.4 リチウムイオン電池 | 10 |
| 2.5 ナトリウム硫黄電池 | 12 |
| 2.6 レドックスフロー電池 | 12 |
| 2.7 キャパシタ | 13 |
| 3 二次電池の現状と課題 | 16 |
| 3.1 民生用の現状と課題 | 18 |
| 3.2 自動車用の現状と課題 | 18 |
| 3.3 負荷平準化用の現状と課題 | 20 |
| 3.4 新エネルギー用の現状と課題 | 20 |
| あとがき | 21 |

はじめに

乾電池のような使い捨ての電池を一次電池と呼ぶのに対し、充電によって何度も使える電池を二次電池あるいは蓄電池と呼んでいる。

われわれの身の回りにも、携帯電話やビデオカメラ用の電池など、極めて小型の二次電池があり、やや大きなものでは自動車用バッテリーなどがある。さらに、常時利用されないにしても、コンピュータに代表される情報管理機器、集中治療室を備えた病院など、電力の途絶が許されない施設においては、停電時の非常用電源として二次電池をそなえる例も増えてきている。

また、地域規模の環境問題や石油価格の高騰化現象に見られる石油供給への懸念（エネルギーセキュリティー問題）などから、石油代替エネルギーの有力候補として太陽や風力などのいわゆる新エネルギーが注目されているが、これらのエネルギーは自然エネルギーであることから出力は不規則・不安定である。この欠点を補うものとして、二次電池の併用が考えられている。また配電用変電所に設置することによって、電力システムの信頼性向上にも役立てることができる。

一方、輸送用エネルギーの分野では、ガソリンや軽油といった石油系燃料に代替できるものとして、かねてから電気自動車が注目されている。その場合、重要な働きをなすのが二次電池である。電気自動車用の二次電池に対しては、より軽く、より多量に充電できる電池が必要になる。しかし、現在の二次電池を用いた電気自動車は、従来のガソリン車などに比べて性能および経済性の面から競争力が劣り、今のところ限られた範囲でしか利用されていない。

その課題をカバーする方式として電気自動車とガソリン自動車を組み合わせたハイブリッド自動車が開発され、その低い燃料消費特性とクリーン性に加え、更に実用性も備わり、その導入・普及が内外で進んできている。

現在、既存の鉛電池やニッケルカドミウム電

池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池などの改良研究をはじめとして、様々な二次電池の技術開発が進められている。これらの中でも特に、リチウムイオン電池は高いエネルギー密度と充放電効率を有すなどの特徴もあり、既にパソコン等の電子機器用電池の主流となっているが、更なる性能向上とともに、自動車等、大型電池への適用も期待されている。

そこで、このような二次電池の概説にはじまり、続いて種類、特徴、現状、課題等を解説し、最後に将来見通しを述べた。

読者が、二次電池を切り口として、現在のエネルギー問題への理解を深められる際の一助になることを願う次第である。

1 二次電池の概要

1.1 電池の歴史と概説¹⁾

現在の電池と呼ばれるものは表1.1に示すようなものがある。最初に、これら電池の歴史を紹介する(表1.2)。

電池に関する最初の事例として、1791年にイタリアのガルバーニ(Galvani)は、二種類の金属をつなぎ、その両端をカエルの足に当てると足がけいれんする現象を初めて見つけた。彼は、その電気の発生する原因がカエル、つまり生物組織にあると考えた。しかしこの研究を知ったイタリアのボルタ(Volta)は、その原因が異種の金属の接触にあることに思い至った。そこで、ボルタは、銅板と亜鉛板の間に水でぬらした紙や布を挟んだものを何段も重ね、その両端に両手を触れると電気刺激がくる事実を発見した。彼はこの装置を「いつまでも電気の得られる装置」として、1800年に学会に発表した。

その後、彼は、硫酸の薄い水溶液中に銅板と亜鉛板を立て、同じ物を順につないで強い電流

を得ることに成功した。これが電池の始まりであり、ボルタ電池と呼ばれるものである。電圧

表1.2 電池の歴史

| 年 | 事象 |
|------|---|
| 1791 | ガルバーニ(イタリア)：カエルの足から電池の原理を発見 |
| 1800 | ボルタ(イタリア)：電池の発明 |
| 1836 | ダニエル(イギリス)：ダニエル電池の発明 |
| 1859 | プランテ(フランス)：鉛蓄電池(二次電池)の発明 |
| 1868 | ルクランシェ(フランス)：ルクランシェ電池(乾電池の原型)の発明 |
| 1885 | 屋井(日本)：乾電池の発明 |
| 1888 | ガスナー(ドイツ)：乾電池の発明 |
| 1899 | ユングナー(スウェーデン)：ニッケルカドミウム電池(二次電池)の発明 |
| 1900 | エジソン(アメリカ)：ニッケル-鉄蓄電池(二次電池)の発明 |
| 1955 | 水銀電池の生産開始 |
| 1960 | アルカリ乾電池の生産開始 |
| 1961 | ボタン形空気電池(空気亜鉛電池)の生産開始 |
| 1964 | ニッケルカドミウム電池(二次電池)の生産開始 高性能マンガン乾電池の生産開始 |
| 1969 | 超高性能マンガン乾電池の生産開始 |
| 1970 | 小型制御弁式鉛蓄電池(二次電池)の生産開始 |
| 1976 | 酸化銀電池の生産開始 リチウム一次電池の生産開始 |
| 1977 | アルカリボタン電池の生産開始 |
| 1986 | 空気亜鉛電池の生産開始 |
| 1990 | ニッケル水素電池(二次電池)の生産開始 |
| 1991 | リチウムイオン電池(二次電池)の生産開始 |
| 1995 | 水銀電池の生産中止 |
| 2002 | ニッケル系一次電池の生産開始 |

表1.1 電池の種類

| 化学電池 | 一次電池 | マンガン乾電池 アルカリ(マンガン)乾電池 ニッケル系一次電池 リチウム電池 アルカリボタン電池 酸化銀電池 空気(亜鉛)電池 |
|------|------|---|
| | 二次電池 | ニッケルカドミウム電池 ニッケル水素電池 リチウムイオン電池 小型制御弁式鉛蓄電池 鉛蓄電池 ナトリウム硫黄電池 |
| | 燃料電池 | |
| 物理電池 | 太陽電池 | |

参考：社団法人 電池工業会ウェブサイト
(<http://www.baj.or.jp/>)

参考：社団法人 電池工業会ウェブサイト
(<http://www.baj.or.jp/>)

の単位となっているボルト（V）はこのボルタの名前をとったものである。

次に、ダニエル電池の話に入るが、その前に電池の構造について解説する。電池には、2つの電極と電解質の3つの要素が必要である。電流が出ていく方（つまり電子が流れ込んでくる方）を「正極又は陽極（ボルタ電池では銅板）」、電流が入る方（つまり電子が出て行く方）を「負極又は陰極（ボルタ電池では亜鉛板）」といい、電極の浸っている「電解質」はイオンが通る道であり、普通イオンを通しやすい液体であることが多い（ボルタ電池では硫酸水溶液が使われている。必ずしも液体である必要はない）ので、これを「電解液」ということも多い。

電池は、ボルタ電池のような銅と亜鉛と硫酸の組合せに限らず、それ以外の組合せ（例えばグレープフルーツに2種類の金属を差し込む方法）でもできる。たいていの場合、電池を使用していると、正極に水素が発生して電池が働かなくなってしまうが、この現象を「分極作用」という。ボルタ電池発明の約30年後に、この分極作用を防ぐために、正極のところに強い酸化剤を置く方法がイギリスのダニエル（Daniell）により考案された。この分極作用を防ぐためのものを「減極剤」と呼ぶ。このダニエル電池は日本に縁が深く、わが国に渡来した最初の電池である。黒船で開国を迫ったペリーが将軍に献上した各種文明の利器の動力源としてこの電池が使われており、佐久間象山はこの電池をみて、日本最初の電池であるダニエル電池を作っている。

現在多く使われている一次電池である「乾電池」の元祖は、1868年に発明されたルクランシェ電池である。正極は炭素棒で、そのまわりには二酸化マンガンと炭素粉と塩化アンモニウムの混合物がある。それが亜鉛板でできた円筒状容器（負極）の中に収められ、その隙間に塩化アンモニウムの水溶液（電解液）を糊状にしたものが詰められている。糊状にしたのは漏れ出

さないための工夫である。今日では二酸化マンガンを使用した電池は広くマンガン電池と呼ばれている。乾電池の発明者としては、現在の乾電池に非常によく似た乾電池を発明したドイツのガスナー（1888年に発明）などの説もあるが、わが国の屋井先蔵（1885年に発明）であるとの説もある。

電解液として、塩化アンモニウム（又は塩化亜鉛）の代わりに水酸化カリウムの溶液を用いたものはアルカリ電池と呼ばれる。今日の乾電池には、酸化銀電池と呼ばれる酸化銀と亜鉛と水酸化カリウムを利用したボタン状の小型電池や、酸化銀の代わりに酸化水銀を用いた水銀電池などもある。乾電池は確かに便利なもので、今日ではいたるところに使われているが、一度しか使えない一次電池であるために資源的には無駄が多いといわざるをえない。

そこで、繰り返し使える二次電池の話に入る。ルクランシェの乾電池より早く、1859年にフランスのプランテ（Plante）は、使用した電池に、逆に外から電気を流すこと（充電）によって再び使えるようになる電池を発明した。これが蓄電池つまり二次電池である。わが国では1895年に島津製作所で島津源蔵が初めて蓄電池の試作に成功している。

この電池は鉛電池または鉛蓄電池と呼ばれている。その負極は海綿状の鉛で覆われた鉛板である。正極は過酸化鉛で覆われた鉛板であり電解液は薄い硫酸水溶液である。正極の表面にある過酸化鉛は酸化する力が非常に強く、減極剤として作用する。鉛蓄電池は今日でもよく使われている二次電池であり、蓄電池といえば鉛蓄電池を指す時代が長く続いた。

鉛蓄電池に次いでよく使われた二次電池に、1899年にスウェーデンのユングナー（Jungner）が開発したニッケルカドミウム電池がある。それは負極にカドミウム、正極に酸化ニッケルを用い、水酸化カリウムを電解液にしている。水酸化カリウムがアルカリ性なのでアルカリ二次電池とも呼ばれる。この電池は

1950年代に改良が進み、小型化に成功するとともに、発生する気体を処理できるようになって完全密閉が可能になっている。その結果、充電の作業のほかは、乾電池と同様に取り扱うことができる。1960年代初頭に米国で商品化され、わが国でも携帯用電子機器など民生用として相次いで量産化された。

しかし、イタイイタイ病などの公害被害によりカドミウムが有害物質の扱いを受け、環境問題から敬遠される様になり、カドミウムを使わないニッケル水素電池へのシフトが進んだ。ニッケル水素電池は、ニッケルカドミウム電池の発明以来、およそ100年振りの新しい二次電池で、1990年にわが国が世界で初めて量産化した電池であり、1990年代の携帯電話、ノートパソコンなどの小型電子機器の普及の立役者の一つとなった。また、世界最初の量産ハイブリッド電気自動車にも、ニッケル水素電池が使われた。

次いで、電子機器の更なる高性能化、多機能化の要求に応える電池として登場したのがリチウムイオン電池（リチウム二次電池ともいう）であり、これも1991年にわが国が世界で初めて量産化した。

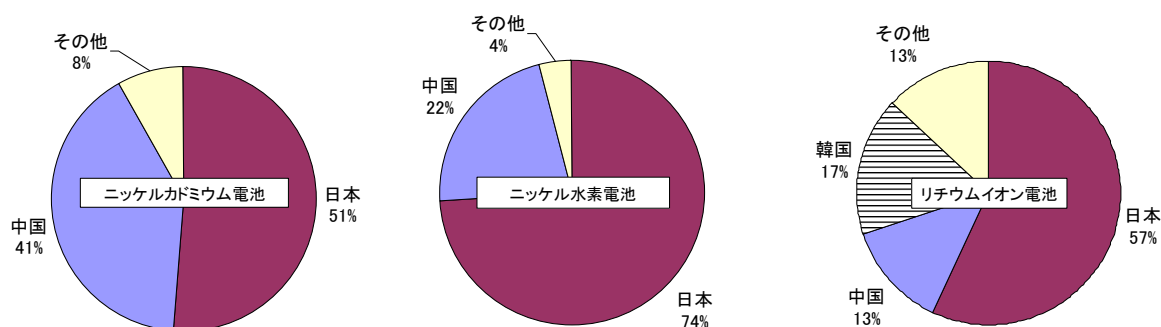
当時の量産化の主な対象は民生用小型電池であった。一方、エネルギー分野への適用としては若干時期が遅れて研究開発が実施された。そ

の代表的なものとして、電力貯蔵用を対象とした国家プロジェクト（ニューサンシャイン計画）による「分散型電池電力貯蔵技術開発（1992～2001年度）」、更に自動車を対象とした国家プロジェクト（経済産業省主導）「燃料電池自動車用等リチウム電池技術開発（2002～2006年度）」が挙げられる。

また、国家プロジェクトとは別に、電力会社や自動車メーカー等の企業も、積極的に大型リチウムイオン電池の開発に独自に取り組んでいる。

現在では、パソコンや携帯機器用などに幅広く普及している。この電池は、設計によって高出力化も可能で、次世代のハイブリッド電気自動車や電気自動車用電池として利用が検討されている。

上記にもあるように、わが国は電池技術を得意としており、多くの製品分野において日本メーカーが高いシェアを維持し、世界をリードしている。わが国は、民生用電池の世界において非常に高い市場占有率を持ち、ニッケルカドミウム電池については、世界市場の約50%、ニッケル水素電池については70%以上、リチウムイオン電池については約60%を占有している（図1.1）。ただし、海外メーカーの積極的な取り組みもあり、リチウムイオン電池市場のシェア



出典：インフォメーションテクノロジー総合研究所資料より経済産業省作成

図1.1 民生用電池の世界シェア（2005年）

出典：次世代自動車用電池の将来に向けた提言，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（2006年8月）

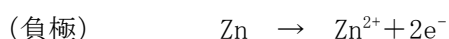
(<http://www.meti.go.jp/report/data/g60824bj.html>)

は、2000年には上位6位までのシェアを日本メーカーが占めていたが、2005年には、3位に韓国のメーカーが入るなど、韓国、中国メーカーが急迫しており、わが国の優位性が脅かされる懸念が高まっている。

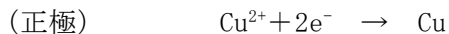
1.2 二次電池の評価要素

(1) 起電力

電池であるからにはまず起電力（電圧）が重要である。銅板と亜鉛板を用いる歴史的なダニエル電池を例にすると、負極では亜鉛の原子が電子を放出し、自身はイオンになって硫酸亜鉛の水溶液中に溶け出す。



一方、正極では、硫酸銅の水溶液中の銅イオンと、外の回線を通ってきた電子が結びついて銅原子となり正極に付着する。



電極が両方とも金属である場合には、その起電力は、それぞれのイオン化傾向によって決まる。つまり、ある金属の持つ電位は、標準（水素電極の電位を0とする）との比較で示され、亜鉛の場合には0.761ボルト、銅の場合には-0.340ボルトであるから、全体としては1.101ボルトの起電力が生じる。一般にイオン化傾向の大きな金属と小さな金属を組み合わせれば大きな起電力が得られる。

ただし、ここでいう起電力はいわば理論上のもので、実際に電流が流れるときの電圧はそれより1割ほど低い値になる。たいていの電池の電圧は1ないし2ボルト前後（ただし、リチウムイオン電池は3ボルト以上）であって、あまり大きな値ではない。したがって、実用上必要な電圧を得るためには、複数の電池を直列につなぐ必要がある。

(2) エネルギー密度

充電を終えた二次電池からどのくらいの電気エネルギーを取り出せるか、その電力量（容量という）を電池の重量当たり（場合によっては体積当たり）で表したものをエネルギー密度と呼んでおり、単位として一般的にWh/kg（体積当たりの場合はWh/L）が用いられる。

特に、電気自動車の場合には、1回の充電で走ることのできる距離（一充電走行距離）はエネルギー密度によって左右されるため、エネルギー密度に関する要求スペックが高い。

(3) 出力密度

電池からできるだけ大きな電流を取り出そうとしても、電池の内部に抵抗があるためにそれには限度がある。最大出力、つまり1秒間に取り出せる最大電力量を、その電池の重量で割った値を出力密度といい、W/kgで表す。この出力密度は電池の充電状態によっても変化する。

自動車は発進や追い越し、登坂時に大きな力を必要とするので、電気自動車には出力密度の高い電池が望まれる。

しかし、前項のエネルギー密度と出力密度との間には、一般に相反する関係があつて、一方を大きくしようとするとは他方が小さくなる傾向がある。また、実際に電池を使用する場合、一般に低い出力で用いるほど多くの電力量を取り出すことができる。

(4) 寿命

二次電池は充電によって何度でも使用できるというものの、充放電を繰り返していると、次第に容量が落ちてきて使えなくなる。そこで、充放電のできる回数（サイクル数）によって電池の寿命を表す。ただしその寿命は、放電をやりすぎたり、大きな電流を流しすぎたりすると短くなり、また充電の仕方や、まわりの温度にもかなり影響される。

また、電池の種類により、寿命の延びる使い方が異なり、例えば、鉛蓄電池は容量の100%

を放電してしまうよりも、途中で放電をやめて充電する使い方で寿命が延び、逆にニッケルカドミウム電池は放電しきってしまう使い方で寿命が延びる。

また、エネルギー密度と寿命の間にも相反する関係があり、一方を上げようとするれば他方が低下する。

(5) 充放電効率（エネルギー効率）

充電によって電池に詰め込まれた電気エネルギーのすべてが放電時に取り出せるわけではなく、ある程度の損失は避けられない。この充電電力量に対する放電電力量の割合を充放電効率といい、普通%で表す。

(6) 自己放電率

充電した電池をそのままにしておくとも内部で化学変化を起こして徐々に容量が減少する。この減少の割合を自己放電率と呼んでおり、1日または1週、1月当たりの減少率を%で表す。

(7) その他

その他の二次電池の特性として、保守作業の必要性の有無や安全性の問題がある。安全性については、例えば、利用により水素が発生する場合には発火の危険防止を考える必要があるし、電極や電解質に毒性や腐食性の強い物質が使われているような場合には、そのリスクをあらかじめ評価し、安全対策を施す必要がある。

また、電池の中にどの位エネルギーが残っているかを知ることでも実用上大切なことであるから、電池の種類に適した、簡単で確実な残存容量計がなければならない。

なお、当然のことではあるが、経済性はきわめて重要な特性である。鉛電池が長年にわたって最もよく利用されてきたのも、その第一の理由はその相対的な経済性の良さにある。

1.3 二次電池の特徴

小型の民生用の蓄電技術としては二次電池が市場をほぼ独占しているが、大型の電力貯蔵用としては、表1.3に示すように、二次電池以外

表1.3 各種蓄電技術の比較

| 蓄電技術 | | 特徴 |
|-------------------|-------------------|--|
| 揚水発電 | | 大容量が可能であるが、ダム式発電であり、立地地点が限られる。 |
| 二次電池 | リチウム, ニッケル水素等 | 場所の制約を受けず取り扱いが簡便であり、高効率が期待できるが、大容量化が課題。 |
| | NAS, レドックスフロー等 | 立地の制約は受けず高効率が期待できるが、運転時、高温維持(NAS)、電解液の循環(レドックスフロー)が必要である。 |
| 電気二重層キャパシタ | | 一種のコンデンサ。エネルギー密度が鉛電池以下。 化学反応を伴わないため、サイクル寿命が長い。 一時的電力補償用に主にメモリーバックアップで利用。 |
| フライホイール | | フライホイールの回転エネルギーとして貯蔵する。効率向上のため、超電導化に取り組んでいる。 |
| SMES (超電導電力貯蔵) | | 超電導コイルに永久電流として貯蔵するものであるが、極低温の維持が必要である。 |
| CAES (圧縮空気貯蔵) | | 地下空間(岩盤)に圧縮空気を貯蔵するため、立地地点が限られる。 |

参考：三田裕一，最近の大型二次電池の開発状況，第249回(財)エネルギー総合工学研究所月例研究会資料

(2006年9月29日)

にも様々な蓄電技術が実用化または研究されている。これら電力貯蔵装置の効率は、揚水発電が70%、鉛電池、レドックスフロー電池、SMESが70～75%、ナトリウム硫黄電池が75%程度、リチウムイオン電池や電気二重層キャパシタや超電導フライホイールが75～80%程度である⁴⁾。(効率値はいずれも電力変換装置の効率を含む交流端)

これらの中で、二次電池による電力貯蔵は下記に示すような長所がある⁷⁾。

- (1) 高いエネルギー密度
- (2) 容易な立地
- (3) 短い建設工期(ある程度パッケージング化されているため)
- (4) 柔軟な蓄電容量設計
- (5) 良好な負荷追従性(出力調整がスピーディーに行われる)
- (6) 環境に優しい(低騒音, 無排出)

また、二次電池を実際に設置する際の代表的な要求としては下記に示すようなものがある。

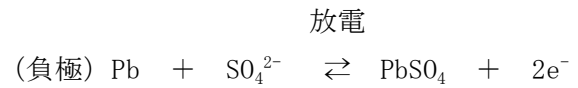
- (1) 所要のシステム規模が実現できること
- (2) 耐用期間が長いこと
- (3) 運用の制約性が少ないこと
- (4) 設置場所の制約に適合すること
- (5) 安全性が確保されること
- (6) コストが低いこと

2 二次電池の種類と特徴

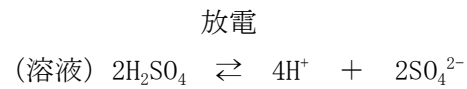
2.1 鉛蓄電池

前章で紹介したように、鉛蓄電池は二次電池の元祖であり、長い間利用されてきた電池である。以下に鉛蓄電池の概要を述べる。

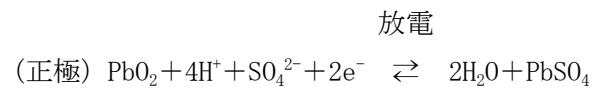
すでに述べたように鉛蓄電池では、正極には酸化鉛(PbO₂)、負極には鉛(Pb)、電解液は希硫酸(H₂SO₄)が使われる。そして放電時・充電時には、負極、溶液、正極において以下の反応が起こる。単セル電圧は約2Vである(図2.1)。



充電



充電



充電



充電

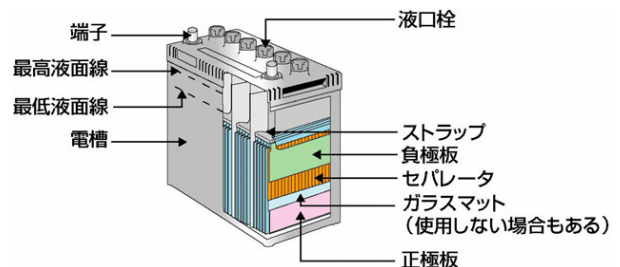


図2.1 鉛蓄電池の構造

出典：社団法人 電池工業会ウェブサイト

(<http://www.baj.or.jp/>)

1859年にフランスのプランテ (Plante) により発明されて以降、種々の改良が重ねられ、例えば自己放電率は大幅に低下し、最近では20%/年程度の消耗に抑えられている。また、この電池は使っていくと電解液が減っていくが、電解液不足のまま使用していると爆発することがある。したがって、定期的な液面の点検が欠かせない。

そこで、1970年代からは、技術開発により水素や酸素のガスが発生しない完全密閉型の構造（1940年代後半にフランスのノイマン (Neumann) によって考案された構造。ノイマン方式という）のものが開発され、保守作業をあまり必要としないか、まったく必要としない密閉型鉛電池が実用されるようになった。この密閉型鉛電池は、ポータブル機器の電源として利用されるばかりでなく、自動車用や通信の予備電源用などの据置型にも使用されている。

ここで、二次電池を密閉化させる技術であるノイマン方式について説明する。鉛蓄電池は充電末期に電解液中の水が分解され、正極に酸素ガスが、負極に水素ガスが発生する。そこで、ノイマンは、負極の量を正極よりも多くすることでこの問題の解決を図った。負極の量を正極より多くすることで、充電時には正極が先に完全充電され、さらに充電を続けると正極のみが過充電状態となり酸素ガスが発生するが、負極ではまだ完全充電とはなっていないのでガスは発生しない。この正極で発生したガスは負極に拡散し負極で吸収されるため、ガスは発生しないのである。同様に、放電時や休止時にも同じ原理でガスは負極に吸収される。また、正極の反応が先に完了するので、負極から水素ガスが発生することはなく、このような原理でガスの発生を抑え、密閉化が実現し、過充電防止策にもなっている。

ノイマン方式による密閉化は、水溶液の電解液を用いるニッケルカドミウム電池やニッケル水素電池にも応用され密閉化に貢献しているが、有機溶解液を用いるリチウムイオン電池には適

用できない。

また、過充電や過放電すると性能が劣化し、電池寿命が大幅に低下するので、放電しきる前に充電するなどの適切な利用方法が求められる。

この電池は、安価で使用実績が多く信頼性も高いため、今後も使い続けられるものと思われる。

2.2 ニッケルカドミウム電池

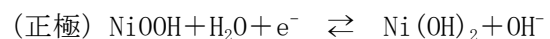
この電池の正極にはニッケルの酸化物であるオキシ水酸化ニッケル (NiOOH)，負極にはカドミウム (Cd)，電解液には水酸化カリウム (KOH) のアルカリ水溶液が使われており、電圧は約1.2Vである。電池の構造を図2.2に示す。そして放電時・充電時には以下の反応が起こる。

放電



充電

放電



充電

放電



充電

この電池の発明は1899年であるが、本格的に実用化されたのは1960年代からである。初期には電解液を外部から補充できる開放型であったが、蓄電池の場合と同様に、水素や酸素のガスが発生しないノイマン方式の完全密閉型の構造が開発され、これが現在の形の電池となっている。

電解液にアルカリ性溶液を使う「アルカリ蓄電池」の一種であるが、従来、アルカリ蓄電池といえばこのニッケルカドミウム電池のことを指しており、携帯用電子機器の普及時にはそれを支える電池として利用された。電池電圧は約

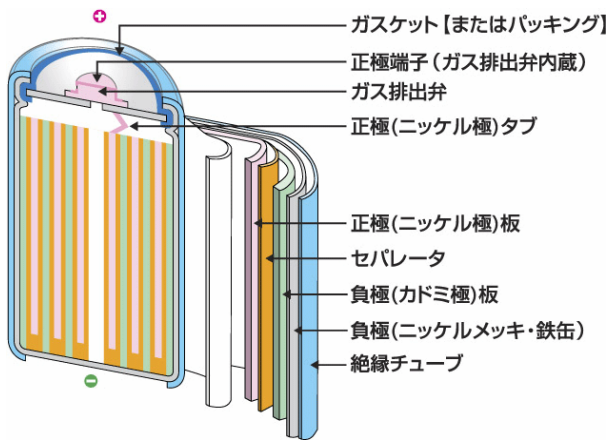


図2.2 ニッケルカドミウム電池の構造

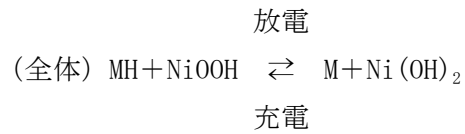
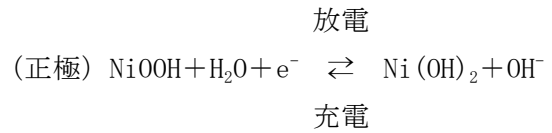
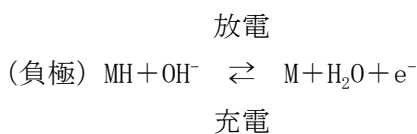
出典：社団法人 電池工業会ウェブサイト
(<http://www.baj.or.jp/>)

1.2Vである。鉛蓄電池とは逆に、完全に放電した状態で充電を行わないと性能が劣化するという特徴がある。これを「メモリー効果」という。

この電池は、第二次大戦後に急速に発達・普及したが、カドミウムが有害物質の扱いを受け、環境問題から敬遠されるようになり、次項で解説するカドミウムを使わないニッケル水素電池へのシフトが進んだ。

2.3 ニッケル水素電池

この電池の正極にはニッケルの酸化物であるオキシ水酸化ニッケル (NiOOH)，負極には水素吸蔵合金（ここで、合金をM，水素を吸蔵した状態の合金をMHと記す），電解液には水酸化カリウム (KOH) のアルカリ水溶液が使われている。つまり、前節のニッケルカドミウム電池に使われている負極のカドミウムを水素吸蔵合金に置き換えたものになっている。そして放電時・充電時には以下の反応が起こる。



この電池も、ニッケルカドミウム電池と同様に、完全密閉型の構造（ノイマン方式）となっている。電池の構造を図2.3に示す。この図に示すようにニッケル水素電池の構造はニッケルカドミウム電池とほとんど同じである。

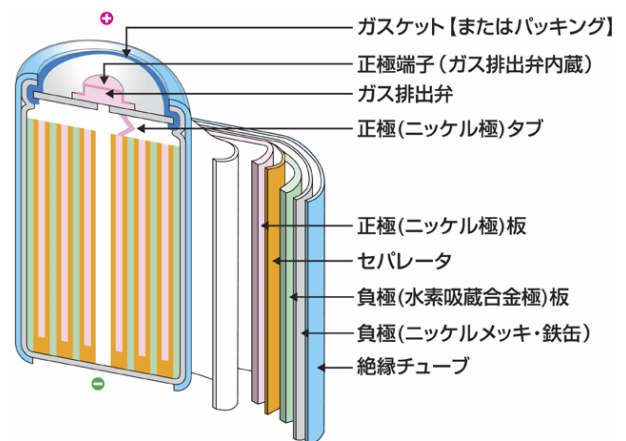


図2.3 ニッケル水素電池の構造

出典：社団法人 電池工業会ウェブサイト
(<http://www.baj.or.jp/>)

この電池は、有害物質が含まれておらず、ニッケルカドミウム電池と同じ約1.2Vの電圧であり、ニッケルカドミウム電池に比べ2倍以上のエネルギー密度、急速充電が可能、寿命はニッケルカドミウム電池と同様の約500サイクル可能であるが、機種によっては数千サイクル可能なものもあるなど、性能面でもそれを凌ぐものである。そのため、ニッケルカドミウム電池からの転換が進み、ヘッドホンステレオ、シェーバー、ノートパソコン、電動アシスト自転車などに使われている。現在（2008年）実用化されているハイブリッド車にも主にこのニッケル

水素電池が使われている。この電池の実用化がなければ、ハイブリッド自動車が世界中で大きく普及することはなかったといえる。ただし、この電池もニッケルカドミウム電池と同様に「メモリー効果」を持つ。

この電池に使われている水素吸蔵合金には、下記のような条件が必要とされている⁸⁾。水素吸蔵合金は、当初ランタンニッケル(LaNi₅)が使われ、現在では表2.1の様な合金が使われている。

- 1) 耐酸化性があり、アルカリ電解液中で化学的・電気化学的にも安定であること
- 2) 適度な平衡水素圧（たとえば45℃で0.1～5気圧程度）を示し、吸蔵・放出できる水素量が多いこと
- 3) 電極触媒活性が高く、水素拡散速度も大きいこと。
- 4) 水素の吸蔵・放出を繰り返しても劣化が少ないこと
- 5) 初期活性化が容易であること
- 6) 材料が安価であること

表2.1 水素吸蔵合金の例

| 合金系列 | 合金の例 |
|-------------------|--|
| AB ₅ 系 | LaNi ₅ , MmNi ₅ |
| AB ₂ 系 | CaMg ₂ , TiMn ₂ , ZrMn ₂ , ZrV ₂ , ZrCr ₂ |
| AB系 | TiFe, TiNi, TiCr, ZrNi, MgNi |
| A ₂ B系 | Ti ₂ Ni, Zr ₂ Ni, Mg ₂ Ni |

注：Mmとは希土類元素混合物のこと

出典：梅尾良之，ブルーバックス 新しい電池の科学 高性能乾電池から燃料電池まで，講談社（2006年9月）

2.4 リチウムイオン電池

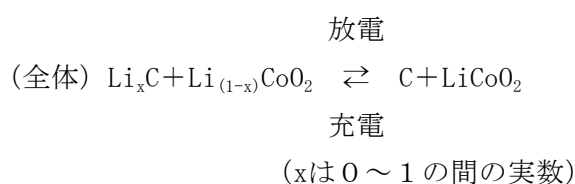
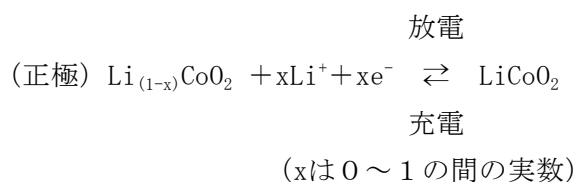
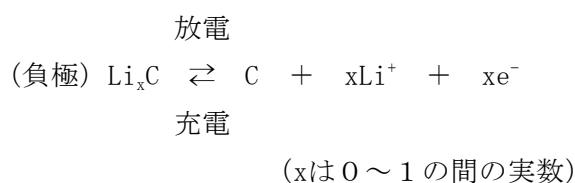
この電池は主に、正極にはコバルト酸リチウム(LiCoO₂)，負極にはリチウム貯蔵炭素(C₆Li：リチウムイオンが電子を受け取って黒

鉛の隙間に落ち着いた状態のもの)，電解液には非水系の有機溶解液が使われている。

両極の材料としては、上記の他に、正極にはLiCoO₂と同じリチウム遷移金属酸化物(LiMn₂O₄, LiNiO₂など)や有機硫黄系材料など、負極には金属リチウムやリチウム合金などが考えられるなど、リチウムイオン電池の材料は無機・有機の各種化合物が関係し、多様性に富んでいる。負極に金属リチウムを利用した場合、充電に伴う樹枝状析出物(デンドライト)の問題が安全面で実用化の大きな障壁となっていたが、多くのリチウムイオンを吸蔵できるリチウム貯蔵炭素の利用により実用化が進み、現在では上記の材料が主流となっている。なお、大型リチウムイオン電池の開発にあたっては、埋蔵資源量が乏しく、高価なコバルトの使用を避ける方法が模索されている。

また、電解液に有機溶解液が使われるのは、この電池の電圧が約3.7Vと高く、水が電気分解されるため、水分を含まない有機溶媒が使われるのである。

放電時・充電時には以下の反応が起こる。



国内のパソコンや携帯電話の中に使用されている二次電池は、ほぼリチウムイオン電池(リ

チウム二次電池ともいう)であり、価格ベースで二次電池の半分以上がリチウムイオン電池となっている。負極に炭素材料を用いて安全性を高めたリチウムイオン電池は、90年代初めに発表され、短期間のうちに携帯機器の電源として普及している。また、設計によって高出力化も可能で、ハイブリッド電気自動車や電気自動車にも適用可能である。さらに、電力貯蔵用など大型電池技術の開発も続けられている。

単セル電圧は約3.7Vである。自己放電率は20℃で10%/月以下と小さい。電池の構造を図2.4に示す。

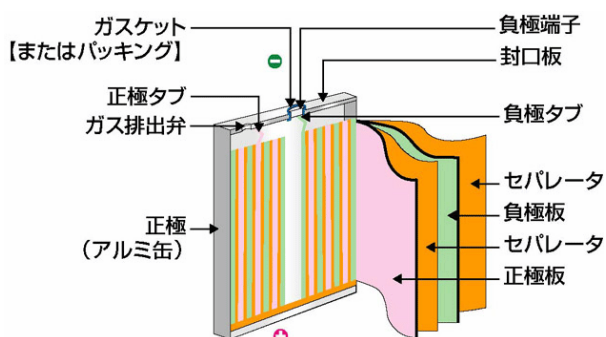


図2.4 リチウムイオン電池の構造

出典：社団法人 電池工業会ウェブサイト
(<http://www.baj.or.jp/>)

リチウムイオン電池は、他の電池よりも単セルの電圧が高いため、直列に接続する個数が少なくできるという長所がある。また、軽く（エネルギー密度が高い）、寿命は500サイクル以上が可能で、自己放電が少ない。さらに、ニッケルカドミウム電池やニッケル水素電池のような「メモリー効果」がほとんど無いため、継ぎ足し充電を頻繁に行なう携帯電話などに向いている。そのため、携帯電話、ノートパソコン、ビデオカメラ、デジタルカメラなどの携帯機器に使われている。わが国の携帯電話の電池は、ほぼこの電池が使われているといっても過言ではない。また、鉛や水銀、カドミウムなどの環境汚染物質を使用していないことも利点のひとつといえる。このように、優れた特徴を持つリ

チウムイオン電池は、民生用の携帯機器以外にも産業用、鉄道用、宇宙や深海での利用など新たな用途に利用が図られており、従来の他タイプの電池からの置き換えが進んでいる。

ただし、近年、この電池の発火事故やリコール（自主回収、無償交換）問題などがあったように、使われているリチウムや電解液が燃えやすい物質であり、火災や爆発の危険性が他電池に比べて高いという弱点がある。また、電解液に有機溶解液が使われているため、水を用いる電解液を対象としたノイマン方式の過充電防止策がとれないため、絶対に過充電は許されず、過放電も電池性能を劣化させるため、この電池は充放電の制御を精度よく行う必要がある。そのため、ほとんどの場合、安全機能が設けられた専用の充電器が用意されている。

リチウムイオン電池は1991年に民生用の小型電池が実用化されたが、その直後の1992年度から2000年度まで、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のニューサンシャイン計画の一環として「分散型電池電力貯蔵技術開発」プロジェクトで、家庭用と電気自動車用を目指した電池システムの開発が行われた。このプロジェクトは、実用化間もないリチウムイオン電池に関するわが国メーカーの技術レベルを引き上げるのに大きく貢献した。また、電動スクーターの実用化などにもつながっている。

近年、電気自動車の開発に関心が高まっているが、その動力源の電池としては、専らリチウムイオン電池に期待がかけられている。リチウムイオン電池を使った電気自動車は、自動車メーカーからいくつかの試作車が示され、2006年からは実証試験を兼ねた電力会社への試験的導入も始まっており、2010年前後から量産化が始まると見込まれている。

一方NEDOは、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」において、現状のリチウムイオン電池等の技術レベルをブレークスルーするための基盤技術開発を実施することにより、2015年において現状の蓄電池性能の概ね1.5倍

以上、コスト1／7、2030年を目処に概ね7倍を見通す革新的蓄電池技術への基礎確立を目標としている⁹⁾。

2.5 ナトリウム硫黄電池

電池の構造を図2.5に示す。この電池の正極には熔融硫黄、負極には熔融した金属ナトリウム、電解液にはナトリウムイオン伝導性を持つ固体電解質のβアルミナセラミックスが使われている。そして放電時・充電時には以下の反応が起こる。

単電池の構造

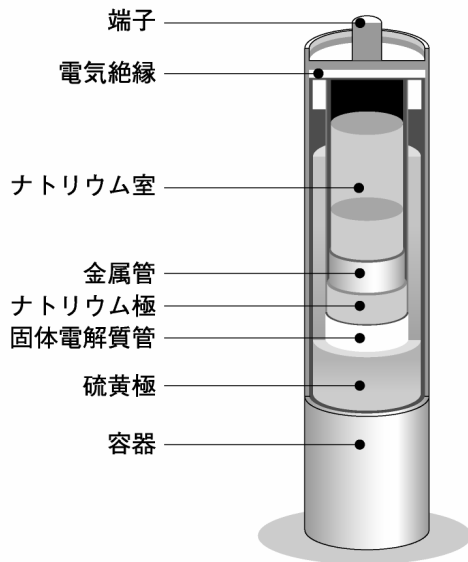
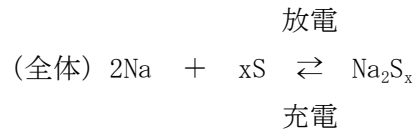
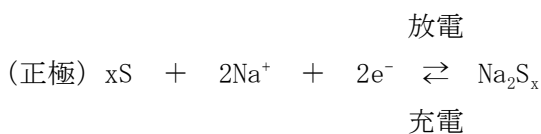
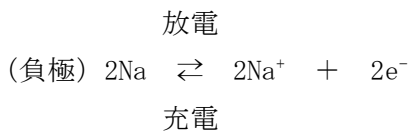


図2.5 ナトリウム硫黄電池の構造

出典：TDK Techno Magazineウェブサイト
(<http://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/200709/index2.htm>)



ナトリウム硫黄電池は、エネルギー密度が高く、電池の充放電効率が非常に良いという特徴があり、導入実績も多い。

形状は円筒型で、セラミックスの中にナトリウムがあり、セラミックスを挟んで硫黄がある。固体のセラミックスの中をナトリウムイオンが移動することにより充放電が行われる。動作温度が300℃以上なので温める必要があり、充放電に伴う電池の発熱を利用するが、必要に応じてヒーターで加温する。

この電池は、鉛蓄電池に比べ約3倍以上の高エネルギー密度、充放電効率高い、自己放電がない、長期耐久性を持つ、低コスト等の長所を持ち、電気を効率的に貯蔵できるため、コンパクトで都市部にも設置できる分散型電力貯蔵システムとして導入実績が多い。

ナトリウム硫黄電池は、米国フォードモーター社の研究に始まり、わが国では、第二次石油ショック（1978年）直後の国家プロジェクト「ムーンライト計画」で取り上げられ、その後、実用化に関しては電力会社がメーカーと共同研究して、研究開発を行ってきている。負荷平準化により電力コストを低減するための電力貯蔵用としての用途が最初の目的であったが、さらに需要を開拓するために、無停電電源装置（UPS）の機能や瞬間的な高出力というような適用検討も行われており、最近では、そういった用途でも導入されている。

2.6 レドックスフロー電池

レドックスフロー（redoxflow）電池は、隔壁を挟んで2種類の電解液を反応させて充放電する電池である。液を貯めるタンクとセルが別々にある（図2.6）。レドックスフロー（redoxflow）という名前は電池の基本原理である還元（Reduction）、酸化（Oxidation）、

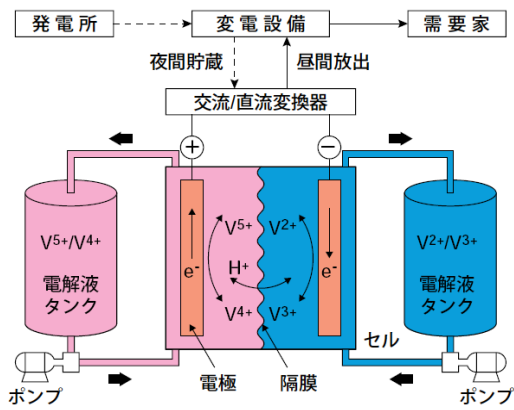
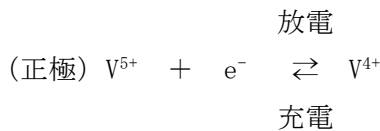
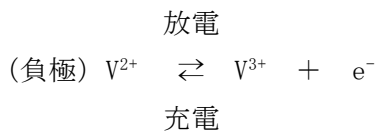


図2.6 レドックスフロー電池の構造

出典：関西電力(株)，R&D News Kansai，382号
(1999)

液を循環する流れ (Flow) からとった合成語である。

放電時・充電時には以下の反応が起こる。



出力はセルの設計で決まり，タンクに貯める液が多いと，蓄エネルギーが増えるため，柔軟な容量設計ができ，大規模システムを作ることが可能である。電解質イオンの濃度で充電レベル (SOC: State Of Charge) が決まり，濃度を見れば充電レベルが分かるので，運転制御が便利である。単セル電圧は1.3~1.5V (バナジウムイオンの酸化還元を利用した場合)，エネルギー効率は70%，運転温度は40℃以下である。

隔膜と電解液が分離できるので，リサイクルが比較的容易であり，さらに長寿命，高速応答，高出力，常温使用などの長所を持つ。また，充放電の際にセルスタック部が発熱するので，冷

却システムを必要とする。

当初は電力貯蔵用に開発されたが，短時間であれば瞬低防止や瞬間的な出力にも耐えられるので，工場や病院にも導入されている。

2.7 キャパシタ

参考のため，二次電池ではないが，同じ電力貯蔵機器であり，二次電池と似た使われ方をされているキャパシタについて述べる。キャパシタはこれまでわが国ではコンデンサと呼ばれていたもので，イオンの物理吸着現象を利用し，静電容量により電気をそのまま電荷として蓄えたり，放出したりするものである。原理的に酸化還元反応を用いないため，長寿命で，無保守であるのが特徴である。短時間で充電ができるなど入出力特性に優れるが，エネルギー密度が低く，蓄エネルギー量の向上が課題である。現状では，高出力密度と長いサイクル寿命が必要とされる分野で使われており，小型小容量電源，バックアップ用電源としての利用が主である。

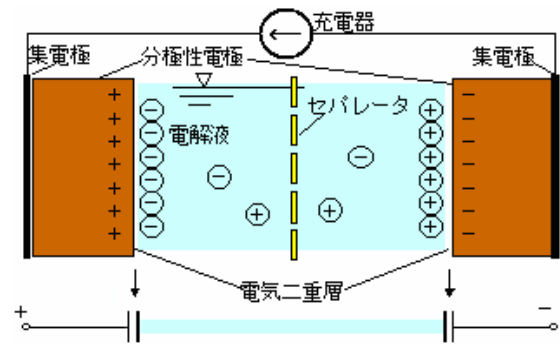


図2.7 電気二重層キャパシタの原理

出典：ECaSSフォーラム ウェブサイト

(<http://www.ecass-forum.org/jpn/index.html>)

上記の各種二次電池の概要を表2.2に，構成材料を表2.3に示す。また，各種二次電池の小型軽量性能を図2.8に，エネルギー密度の変遷を図2.9に示す。

表2.2 二次電池の概要

| 電池 | 性能諸元例 | 特徴 |
|-------------|--|--|
| 鉛蓄電池 | 単セル電圧：1.8V～2.1V エネルギー密度：30Wh/kg (80Wh/L) エネルギー効率：75～85% 運転温度：-10～40℃ | <ul style="list-style-type: none"> ・大規模電力貯蔵システムを含む多数の実績 ・高い安全性，過充電SOC調整により電池制御が容易 ・現状，比較的lowコスト ・運用SOC範囲の限定で長寿命化 (ただし設置Wh容量増大) |
| ニッケルカドミウム電池 | 単セル電圧：約1.2V エネルギー密度： エネルギー効率： 運転温度：-20～45℃ | <ul style="list-style-type: none"> ・高信頼性 ・長寿命 ・ハイパワー |
| ニッケル水素電池 | 単セル電圧：1.1V～1.4V エネルギー密度：20Wh/kg (40Wh/L) エネルギー効率：80～90% 運転温度：40℃以下 | <ul style="list-style-type: none"> ・鉛より広い利用範囲 →鉛電池より高エネルギー密度 ・1Cでの充放電が可能 ・電池モジュールごとの充放電管理 |
| リチウムイオン電池 | 単セル電圧：3.0V～4.2V エネルギー密度：150Wh/kg (300Wh/L) エネルギー効率：97% 運転温度：-10～40℃ | <ul style="list-style-type: none"> ・高エネルギー密度，高い充放電エネルギー効率 ・電池設計により高出力化可能 (>5C) ・SOC調整のための満充電不要，BMSによるばらつき調整 ・将来的には低コスト化の見通し |
| ナトリウム硫黄電池 | 単セル電圧：1.8V～2.1V エネルギー密度：100Wh/kg (140Wh/L) エネルギー効率：89% 運転温度：300～360℃ | <ul style="list-style-type: none"> ・高エネルギー密度，比較的高い充放電エネルギー効率 ・低コスト ・自己放電なし ・大規模組み立て工場有，システム化実績多数 |
| レドックスフロー電池 | 単セル電圧：1.3V～1.5V エネルギー効率：70% 運転温度：40℃以下 | <ul style="list-style-type: none"> ・電解液自体が貯蔵媒体であり，反応部（電極）と貯蔵部（タンク）が分離⇒タンク容量により蓄電容量可変 ・大規模システム化実績多数 ・SOC調整不要，SOCモニター可能 ・休止時にはシステム停止可（停止時の補機ロス低減） ・リサイクルが容易 |

参考：三田裕一，最近の大型二次電池の開発状況，第249回(財)エネルギー総合工学研究所月例研究会資料
(2006年9月29日)

注) SOC：充電レベル (State Of Charge)

1C：持っている容量を1時間で出せる電流の大きさ

5C：持っている容量を1時間で出せる電流の5倍の電流

BMS：電池管理システム (Battery Management System)

表2.3 二次電池の構成材料

| | 材料 | | | キャリア |
|-------------|----------|----------|--------------------|-----------------|
| | 正極 | 負極 | 電解液 | |
| 鉛蓄電池 | 鉛化合物, 硫酸 | 鉛化合物, 硫酸 | 硫酸 | 水素イオン H^+ |
| ニッケルカドミウム電池 | ニッケル化合物 | カドミウム化合物 | 水酸化カリウム水溶液 | 水酸化物イオン OH^- |
| ニッケル水素電池 | ニッケル化合物 | 水素吸蔵合金 | 水酸化カリウム水溶液 | 水酸化物イオン OH^- |
| リチウムイオン電池 | リチウム化合物 | 炭素 | 有機電解液 | リチウムイオン Li^+ |
| ナトリウム硫黄電池 | 熔融硫黄 | 金属ナトリウム | β アルミナセラミックス | ナトリウムイオン Na^+ |

参考：次世代自動車用電池の将来に向けた提言，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
(2006年8月)

(<http://www.meti.go.jp/report/data/g60824bj.html>)

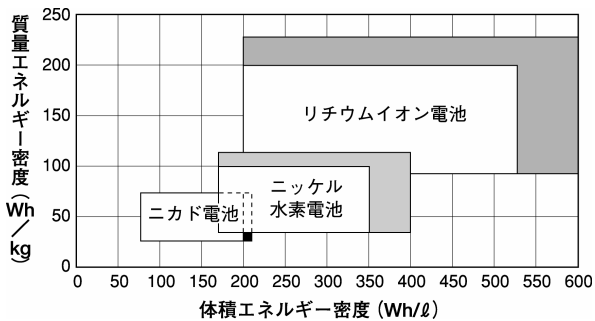


図2.8 各種二次電池の小型軽量性能

出典：梅尾良之，ブルーボックス 新しい電池の科学 高性能乾電池から燃料電池まで，講談社（2006年9月）

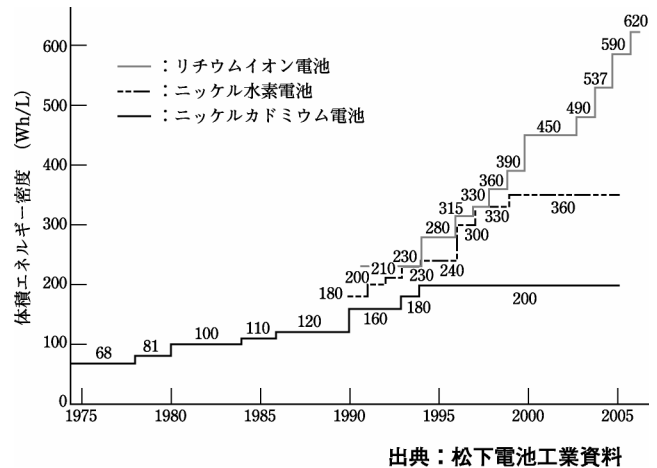


図2.9 各種二次電池のエネルギー密度の変遷

出典：次世代自動車用電池の将来に向けた提言，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

(2006年8月)

(<http://www.meti.go.jp/report/data/g60824bj.html>)

3 二次電池の現状と課題

現在（2006年）わが国の電池の生産は図3.1のようになっている。電池生産総数の28％，総額の80％が二次電池である。一人当たり年間40個以上，金額にして5000円以上使っているこ

とになる。また，二次電池の販売数量の推移を表3.1に示す。これをみると，1994年にニッケル水素電池，次いで2000年にニッケル水素電池が販売数量のピークを迎え，最近ではリチウムイオン電池が急激に伸びているのがわかる。

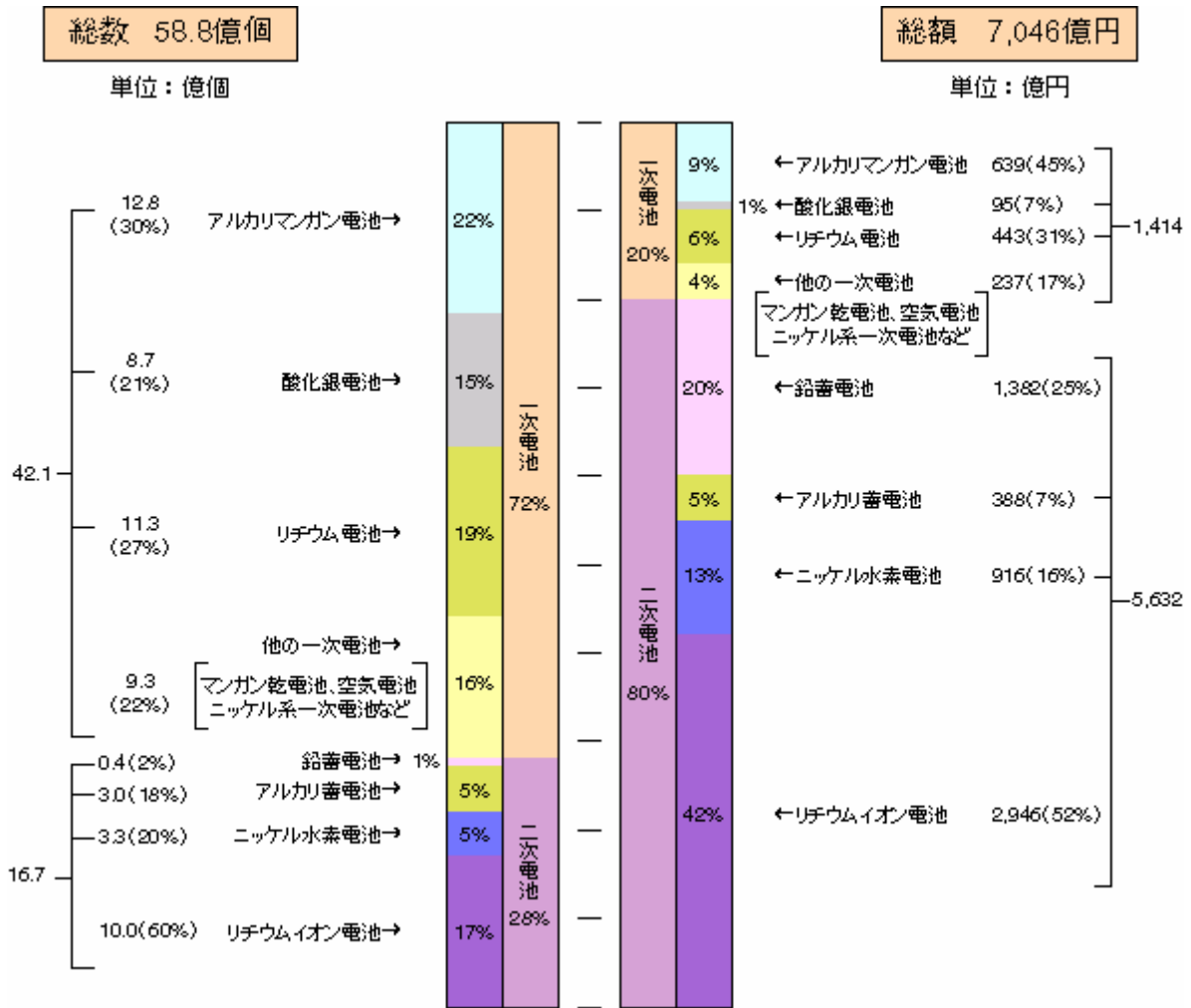


図3.1 電池の総生産（2006年／経済産業省機械統計）

出典：社団法人 電池工業会ウェブサイト

(<http://www.baj.or.jp/>)

表3.1 二次電池販売数量の推移(経済産業省機械統計)

単位：千個

| 暦年 | 二次電池計 | 自動車用鉛蓄電池 | その他鉛蓄電池 | 小形制御弁式蓄電池 | 据置アルカリ | | ニッケルカドミウム電池 | ニッケル水素電池 | リチウムイオン電池 |
|------|-----------|----------|---------|-----------|--------|-----|-------------|-----------|-----------|
| | | | | | ポケット式 | 焼結式 | | | |
| 1986 | 323,010 | 35,976 | 8,369 | - | 270 | 167 | 278,228 | - | - |
| 1987 | 422,880 | 34,348 | 10,414 | - | 324 | 185 | 377,609 | - | - |
| 1988 | 544,336 | 36,158 | 15,052 | - | 270 | 195 | 492,661 | - | - |
| 1989 | 583,007 | 35,404 | 15,336 | - | 303 | 189 | 531,775 | - | - |
| 1990 | 665,917 | 37,127 | 18,892 | - | 285 | 173 | 609,440 | - | - |
| 1991 | 811,102 | 34,499 | 21,324 | - | 247 | 178 | 754,854 | - | - |
| 1992 | 802,040 | 34,009 | 23,407 | - | 221 | 156 | 744,247 | - | - |
| 1993 | 917,565 | 30,791 | 1,955 | 26,937 | 203 | 148 | 788,794 | 68,737 | - |
| 1994 | 1,119,284 | 30,305 | 1,955 | 27,062 | 202 | 130 | 865,767 | 193,863 | - |
| 1995 | 1,249,599 | 30,404 | 2,039 | 24,137 | 164 | 129 | 861,618 | 301,386 | 29,722 |
| 1996 | 1,235,740 | 29,950 | 2,278 | 20,258 | 157 | 143 | 711,067 | 358,079 | 113,808 |
| 1997 | 1,528,254 | 29,998 | 2,420 | 19,774 | 154 | 127 | 706,394 | 579,980 | 189,407 |
| 1998 | 1,556,263 | 29,435 | 2,309 | 16,660 | 129 | 100 | 598,120 | 647,566 | 261,944 |
| 1999 | 1,886,178 | 29,920 | 2,295 | 14,699 | 230 | | 595,803 | 868,848 | 374,383 |
| 2000 | 2,154,685 | 30,836 | 2,699 | 15,426 | 246 | | 614,906 | 1,010,581 | 479,991 |
| 2001 | 1,688,026 | 29,586 | 2,915 | 11,834 | 195 | | 531,936 | 655,047 | 456,513 |
| 2002 | 1,655,470 | 29,431 | 2,581 | 9,443 | 410 | | 492,726 | 549,535 | 571,344 |
| 2003 | 1,608,237 | 28,924 | 2,484 | 8,043 | 321 | | 400,499 | 387,045 | 780,921 |
| 2004 | 1,588,302 | 29,234 | 2,604 | 7,338 | 163 | | 401,518 | 319,113 | 828,332 |
| 2005 | 1,664,045 | 29,681 | 2,982 | 4,129 | 144 | | 379,891 | 320,716 | 926,502 |
| 2006 | 1,758,864 | 30,071 | 2,859 | 4,666 | 152 | | 318,102 | 330,513 | 1,072,501 |

出典：社団法人 電池工業会ウェブサイト
(<http://www.baj.or.jp/>)

二次電池の用途としては、民生用、自動車用、負荷平準化用などの用途が考えられるが、それぞれの用途によって重視される性能は異なる

(表3.2)。この章では、各種用途別に二次電池に対する現状と課題を述べる。

表3.2 各種用途において重視される性能

| | エネ密度 | 出力密度 | 寿命 | 安全性 | コスト | システム規模 |
|--------|------|------|----|-----|-----|--------|
| 民生用 | ○ | | | ○ | ○ | |
| 自動車用 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 負荷平準化用 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |

出典：所内資料

3.1 民生用の現状と課題

1859年に鉛蓄電池が発明されて以来、蓄電池といえは鉛蓄電池を指す時代が長く続いた。しかし、戦後、電気機器やエレクトロニクス機器が普及し、コードレス電動機器や、携帯用機器などのポータブル機器が実用化され、乾電池や鉛蓄電池に代わる小型蓄電池の需要が高まった。

その結果、1963年に民生用として小型の密閉型ニッケルカドミウム電池が実用化され、民生用小型蓄電池の市場が誕生した。

その後、ノートパソコンや携帯電話など消費電力の大きいポータブル機器が普及するにつれ、よりエネルギー密度の大きい小型蓄電池が求められ、1990年にはニッケル水素電池、1991年にはリチウムイオン電池が実用化された。

例えば、携帯電話では、最初に電源として使われたのはニッケルカドミウム電池であったが、次に作動時間の長いニッケル水素電池に置き換わり、今では軽量なりチウムイオン電池に換わっている。このような二次電池の高性能化が民生用携帯機器の普及に貢献している。

民生用携帯機器における連続使用時間の伸長や軽量小型化といった要求は今後も続くと考えられ、二次電池には一層の高エネルギー密度化が求められる。電池の種類としては、高エネルギー密度が得られるリチウムイオン電池が主流の状態が続くであろう。ただしリチウムイオン電池は、近年、発火事故やリコール（自主回収、無償交換）といった安全面での問題が発生し、その対策が図られた。今後の民生用二次電池には、安全性の向上とエネルギー密度の向上という、時には相反する要求に応じていくことが求められる。また、この分野では中国や韓国の電池メーカーの追い上げが激しく、コスト低減の要求も一段と厳しいものになっている。

3.2 自動車用の現状と課題

経済産業省が2006年5月にまとめた新・国家エネルギー戦略では、現状ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年に向けて80%程度まで

引き下げると同時に、エネルギー効率を現状から30%向上させることが目標として示されている¹²⁾。この2つの目標を実現する手段を示した「次世代自動車・燃料イニシアティブ」¹³⁾が2007年5月に取り纏められ、その中で電気自動車、燃料電池自動車、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車の開発におけるキー技術として二次電池が取り上げられている。

電気自動車用の電池は、エネルギー密度に関する要求が高いことが特徴である。かつて市販されていた電気自動車は、鉛電池やニッケル水素電池を使っていたが、それらの電池では市場が大きく広がる展望が描けないため、ほとんどの車両は製造中止になっている。一方でリチウムイオン電池を使った電気自動車はまだ試験走行段階であり、現在（2008年）はちょうど端境期のような状態になっている。

現在の主な開発対象はリチウムイオン電池であり、2010年頃からの市販を目指して研究開発が活発に行われている。当面の課題は、十分な安全性、耐久性、信頼性を確保しつつ、コストを如何に抑えるかという点にある。一方、経済産業省は2006年8月に「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」で、本格的な電気自動車の普及には、性能が7倍、コストが1/40になることが必要と試算している³⁾（図3.2、表3.3）。このような飛躍的な性能向上に向けて、金属-空気電池等の新しい電池系の研究も行われている。

ハイブリッド自動車用の電池は、出力密度の要求が高いことが特徴である。実用化されているハイブリッド自動車には、主にニッケル水素電池が搭載されている。リチウムイオン電池は、ニッケル水素電池に比べて小型軽量化が可能で充放電ロスも少ないが、コストがやや高いことと安全性についての懸念が課題になっていると推測される。これらの問題がクリアされれば、ハイブリッド自動車にもリチウムイオン電池の利用が広がっていくであろう。

ハイブリッド自動車とプラグインハイブリッ

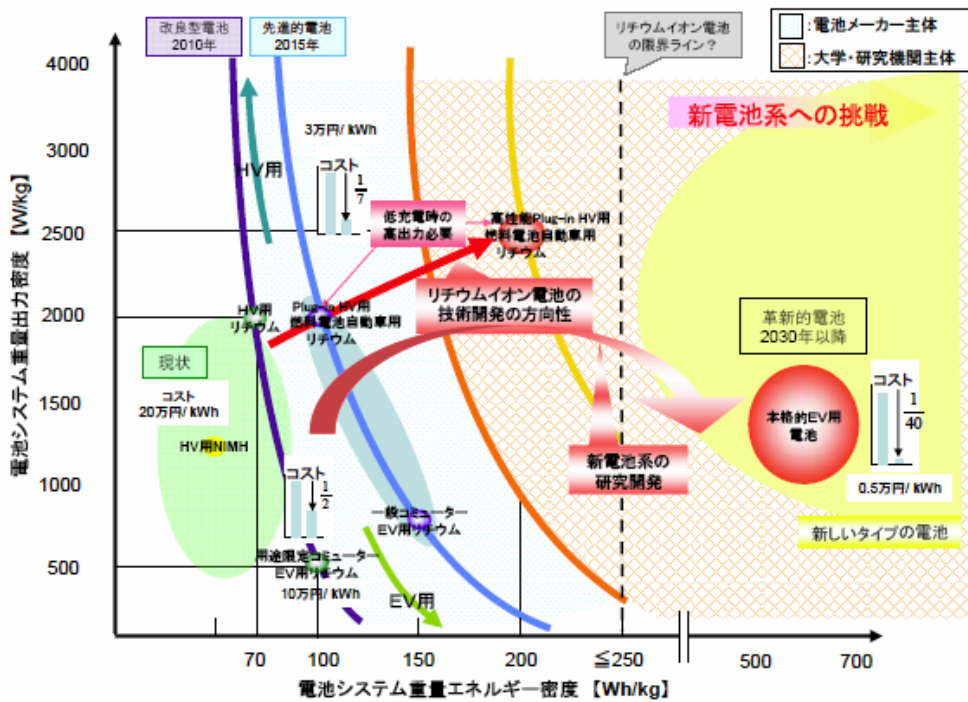


図3.2 自動車用電池の開発の方向性

出典：次世代自動車用電池の将来に向けた提言，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 (2006年8月)
<http://www.meti.go.jp/report/data/g60824bj.html>

表3.3 自動車用電池の開発のアクションプラン

| | 現状 | 改良型電池 (2010年) | 先進型電池 (2015年) | 革新的電池 (2030年) |
|------|-----------|----------------------------|---|------------------|
| 用途 | 電力会社用小型EV | 用途限定コミュニ ーターEV 高性能HV | 一般コミュニーターEV 燃料電池自動車 Plug-in HV自動車 | 本格的EV |
| 性能 | 1 | 1 | 1.5倍 | 7倍 |
| コスト | 1 | 1 / 2倍 | 1 / 7倍 | 1 / 40倍 |
| 開発体制 | 民主導 | 民主導 | 産官学連携 | 大学・研究機関 |

出典：次世代自動車用電池の将来に向けた提言，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 (2006年8月)
<http://www.meti.go.jp/report/data/g60824bj.html>

ド車（電池容量を高め、家庭用電源などからの充電を可能としたハイブリッド車）を比べると、前者は、半分程度放電された状態で浅い充放電を繰り返すのが一般的であるのに対して、後者の場合は深い充放電の繰り返しになる。また、電気自動車では容量の限界近くまで放電することは稀であるが、プラグインハイブリッド車では、

充電した電気を全部使い果たすまで放電することも頻繁に起こると予想される。プラグインハイブリッド車用の電池には、こうした厳しい使い方に耐える耐久性が求められる。エネルギー密度や出力密度に関する要求は、ハイブリッド車電池と電気自動車用電池の中間であり、リチウムイオン電池が最も適している。

3.3 負荷平準化用の現状と課題

平均電力の最大電力に対する比率を負荷率と言ひ、1年間通した時を年負荷率と言ひ。基本的には原子力発電と水力発電でベースの負荷に対応し、負荷の需要の変化に合わせた供給は火力発電で調整している。負荷率が向上すると、需要曲線がフラット（負荷平準化）になり設備利用率が向上し、発電効率も向上する。つまり、負荷平準化はエネルギー利用の効率向上に寄与する手段の1つとなるのである。また、設備利用率の向上は発電コストの低減につながる。ただし、そのコスト低減以上に、負荷平準化設備の設置にコストがかかっては意味がない。

負荷平準化の方策として従来から揚水発電が実用化されており、その他に様々な方式の研究開発が行われてきているが、その中で二次電池を導入する考えがある。つまり、電力需要の少ない時間（夜間、休日）に電気を二次電池に充電し、需要の多い時間（昼間、平日）に放電するものである。揚水発電は電力会社が設置しているが、二次電池の場合は需要家が自分の敷地内に設置する場合もある。その場合は停電等に対するバックアップ電源にも利用でき、電気料金の抑制の他に、電力供給の信頼度向上というメリットが得られる。この用途に用いる二次電池は、1980年代から通商産業省（当時）や電力会社の主導により4種類の新型電池の開発が進められた。その中の一つであるナトリウム硫黄電池の実用化・量産化が実現した。既に国内だけで100カ所近くの電力貯蔵システムが導入されており、今後も導入事例が増加していくと予想される。ナトリウム硫黄電池の他には、鉛電池やレドックスフロー電池もビルや工場において実用システムの設置例がある。

3.4 新エネルギー用の現状と課題

風力発電や太陽光発電などの新エネルギー導入時の問題点の一つとして、出力変動が大きいという問題がある。この出力変動を緩和するために二次電池の利用が考えられる。例えば、蓄

電システムを用いて出力の変動を平滑化したり、夜間に発電した電力を昼間に一定量で出力するという使い方である。この利用形態の二次電池は、設備構成としては、前項の負荷平準化用とほぼ同様なものになる。しかし、経済性を考える場合の条件は異なったものになる。

まず、風力発電や太陽光発電により発電された電気が、二次電池への充放電を経ることによって高く売れるようになる仕組みは、十分には整っていない。また、負荷平準化用に比べて使用頻度が少ないため、充放電1回当たりの設備費用負担が大きくなる。こうしたことから、設備費低減、つまり二次電池の低コスト化への要求は、負荷平準化用よりも格段に厳しいものになる。また使用頻度が少ないために、補機を持つ二次電池ではその消費電力が経済的にかかなり負担になることがある。特にナトリウム硫黄電池では、充放電時の発熱を温度維持に利用しているが、発熱不足になると電気ヒータによる加熱が必要になる。

この用途向けの二次電池は、2001年から2008年にかけて、負荷平準化用途で実用化されているナトリウム硫黄電池やレドックスフロー電池を活用した実証試験が行われ、2008年にはナトリウム硫黄電池を用いた実用プラントが運転を開始している。ただしこの実用プラントには補助金が投入されており、補助金なしで経済性が成立するところまでは行っていない。

二次電池の低コスト化には大量生産が不可欠であり、負荷平準化用途で量産化が進んでいるナトリウム硫黄電池が当面用いられているが、将来的には電気自動車などに向けた技術開発が行われているニッケル水素電池やリチウムイオン電池も期待されている。ニッケル水素電池やリチウムイオン電池は長寿命化、大容量化、低コスト化の開発課題があり、実用化は2010年以降と考えられている。NEDOは2006年に開始した「系統連系円滑化蓄電システム技術開発」において、そのような課題を解決するための技術開発を進めている。

あ と が き

現在、エネルギー供給や地球環境が大きな問題となっている。この対策の一つとして、自然エネルギー等の新エネルギーあるいは輸送用としての電気自動車の導入が期待されているが、その特長を充分発揮する大きな鍵を握っているのが二次電池（蓄電池）である。各種二次電池は既に実用化されたものや開発段階にあるものなどさまざまであるが、電池それぞれに特徴があり、用途に合った適切な二次電池の選択が重要になる。

例えば、民生用としてはリチウムイオン電池、ハイブリッド自動車としてはニッケル水素電池、負荷平準化あるいは新エネルギー用としてはナトリウム硫黄電池が現在の主流であるが、将来、広く普及が見込め、また二次電池の革新的性能向上を要求される分野で期待に応える可能性を持った有望技術はリチウムイオン電池（リチウム二次電池）であるといえる。既に、民生用ではパソコンや携帯機器の多くに普及しているが、開発中の電気自動車の電源として、これが実用化され普及すればさらなる利用拡大となる。ただし、この電池には安全面で弱点があり、この問題の解決が普及に向けて重要な問題の一つとなる。

経済産業省が2006年8月に策定した「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」あるいは政府が世界に先駆けて提唱したクールアース50（2050年における温暖効果ガス半減計画）におけるエネルギー関連の21主要技術においてもリチウムイオン電池への取り組みが強調されているところである。

さらに、NEDOの「次世代衛星基盤技術開発プロジェクト（衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発）」（平成15年度～19年度）で宇宙用のリチウムイオン電池の研究開発が行われ、また、ロボットにも二次電池は積まれており、例えば本田技研の「ASIMO」にはニッケル水素電池が使われているなど、従来の用途以

外の方面への利用分野の拡がりも期待される。

90年代以降の二次電池技術の進化は目覚ましく、携帯機器やハイブリッド自動車の普及にはこの二次電池技術の進化が大きな貢献をしている。わが国はこの分野で先進的役割を担っており、現状では優位な立場を築いている。

エネルギー供給問題や環境問題はこれからもますます深刻化すると懸念され、それらへの対応技術の一つとして、電池技術の進化、革新への要請は今後とも強まりこそすれ、弱まることはないであろう。当面はリチウムイオン電池を中心とした開発、利用拡大が図られていくと思われるが、将来的には更なる経済性と性能向上を求めて、現状技術から飛躍的に発達した革新技術の開発が必要になると思われる。

このように二次電池は将来に向けて大きな可能性を持っているため、欧米や中国、韓国なども政府を中心に開発を積極的に進めており、わが国の優位性が脅かされる懸念も高まっている。さらなる開発と普及を期待したい。

最後に、図表類で本文中での使用を承諾して頂いた機関あるいは関係先に心より感謝いたします。

参考文献

- 財団法人 エネルギー総合工学研究所, 新エネルギーの展望 二次電池 (1989.03)
(<http://www.iae.or.jp/publish/pdf/1988-1.pdf>)
- 社団法人 電池工業会ウェブサイト
(<http://www.baj.or.jp/>)
- 次世代自動車用電池の将来に向けた提言, 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 (2006年8月)
(<http://www.meti.go.jp/report/data/g60824bj.html>)
- NEDO「二次電池等技術開発シンポジウム」資料 (2006年5月12日)
- NEDO「技術戦略マップ2007エネルギー」
(http://www.nedo.go.jp/roadmap/2007/data/envi_4.pdf)
- 三田裕一, 最近の大型二次電池の開発状況, 季報エネルギー総合工学, Vol. 30, No. 1 (2007.04)
(<http://www.iae.or.jp/publish/kihou/bnb.html>)
- 三田裕一, 最近の大型二次電池の開発状況, 第249回(財)エネルギー総合工学研究所月例研究会資料 (2006年9月29日)
- 梅尾良之, ブルーバックス 新しい電池の科学 高性能乾電池から燃料電池まで, 講談社 (2006年9月)
- NEDO 次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発ウェブサイト
(<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p07001.html>)
- TDK Techno Magazineウェブサイト
(<http://www.tdk.co.jp/techmag/index.htm>)
- ECaSSフォーラム ウェブサイト
(<http://www.ecass-forum.org/jpn/index.html>)
- 経済産業省, 新・国家エネルギー戦略 (2006年5月)
(<http://www.meti.go.jp/press/20060531004/20060531004.html>)
- 財団法人 エネルギー総合工学研究所, 新エネルギーの展望 自動車用エネルギー (改訂版) (2007.03)
(<http://www.iae.or.jp/publish/pdf/2006-2.pdf>)
- 東京電力ウェブサイト 電力貯蔵用二次電池 (NAS電池)
(<http://www.tepco.co.jp/solution/energy/battery-j.html>)
- NEDO 系統連系円滑化蓄電システム技術開発ウェブサイト
(<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p06004.html>)
- 財団法人 エネルギー総合工学研究所, 地球温暖化問題の動きと将来展望 —新たな時代への展開, 季報 エネルギー総合工学 Vol. 25 No. 4 (2003.1)
(<http://www.iae.or.jp/publish/kihou/25-4/06.html>)
- 箕浦秀樹, サイエンス・アイ新書 進化する電池の仕組み 乾電池から未来型太陽電池まで, ソフトバンク クリエイティブ株式会社 (2006年12月)
- 日経エレクトロニクス, 日経ものづくり, 日経Automotive Technology, 日経エコロジー 共同編集, 次世代電池2007/2008, 日経BP社 (2007年6月)
- 関西電力(株), R&D News Kansai, 382号 (1999)
- 伊勢敏史, 田中祀捷監修, 電力システムにおける電力貯蔵の最新技術, シーエムシー出版 (2006年2月)

新エネルギーの展望

— 既刊一覧 —

| | | | |
|---------------|-----------|--------------------------|-----------|
| 燃料メタノール編 | 1987年1月発行 | 低品位炭の改質技術 | 1997年3月発行 |
| 太陽光発電編 | 1987年2月発行 | メタノール発電技術 | 1997年3月発行 |
| 燃料電池編 | 1987年3月発行 | 電力負荷平準化 | 1998年3月発行 |
| 風力発電編 | 1988年1月発行 | 非在来型天然ガス (メタンハイドレート編) | 1998年3月発行 |
| 石炭ガス化編 | 1988年3月発行 | 石炭ガス化複合発電技術 | 1999年3月発行 |
| 自動車用エネルギー編 | 1988年3月発行 | 廃棄物発電(その3) | 1999年3月発行 |
| 地球温暖化編 | 1989年2月発行 | 原子力発電技術 | 2000年3月発行 |
| 二次電池編 | 1989年3月発行 | 原子燃料サイクル技術 | 2000年3月発行 |
| 高温超電導編 | 1989年3月発行 | 固体高分子形燃料電池 | 2001年3月発行 |
| 地熱発電編 | 1990年2月発行 | マイクロガスタービン | 2001年3月発行 |
| 燃料電池(改訂版) | 1990年3月発行 | コージェネレーション技術 | 2002年3月発行 |
| 燃料用メタノール(改訂版) | 1990年3月発行 | 循環型社会の構築 | 2002年3月発行 |
| 太陽光発電(改訂版) | 1991年3月発行 | バイオマス発電 | 2003年3月発行 |
| 地球温暖化(改訂版) | 1991年3月発行 | 廃棄物発電(その4) | 2003年3月発行 |
| エネルギー有効利用 | 1991年3月発行 | 地球温暖化(再改訂版) | 2004年3月発行 |
| 水素エネルギー | 1992年3月発行 | 風力発電(再改訂版) | 2004年3月発行 |
| 風力発電(改訂版) | 1992年3月発行 | 省エネルギー技術 | 2005年3月発行 |
| 電気自動車 | 1992年3月発行 | 太陽光発電(再改訂版) | 2005年3月発行 |
| 非在来型天然ガス | 1993年3月発行 | バイオマスエネルギー | 2006年3月発行 |
| 地球温暖化対応 | 1993年3月発行 | 燃料電池(再改訂版) | 2006年3月発行 |
| 石炭の高度利用 | 1993年3月発行 | ガスタービン技術 | 2007年3月発行 |
| 水素エネルギー(改訂版) | 1995年3月発行 | 自動車用エネルギー(改訂版) | 2007年3月発行 |
| 廃棄物発電 | 1995年3月発行 | パワーエレクトロニクス | 2008年3月発行 |
| 石炭灰の有効利用 | 1996年3月発行 | 二次電池(改訂版) | 2008年3月発行 |
| 廃棄物発電(その2) | 1996年3月発行 | | |

2008年3月発行

編集発行 財団法人 エネルギー総合工学研究所

(担当部門：エネルギー技術情報センター)

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 (新橋S Yビル8F)

電話 東京 (03) 3508-8894 (代表)

<http://www.iae.or.jp/>

備考：上記の各編は、当所のホームページの「定期刊行物」の欄でも御覧
頂けます。

印刷 (株) 日新社