

ハイブリッド電気自動車 (HEV) 用 高性能ニッケル水素電池の開発

Nickel-Metal Hydride Battery for Hybrid Electric Vehicles (HEVs)

越智 誠
Makoto Ochi

杉井 裕政
Hiromasa Sugii

長江 輝人
Teruhito Nagae

北岡 和洋
Kazuhiro Kitaoka

前田 礼造
Reizo Maeda

武江 正夫
Masao Takee

要 旨

HEV (Hybrid Electric Vehicles) 用ニッケル水素電池として求められる性能を業界最高レベルで実現し、全世界の自動車メーカーに当社の標準モデルとして提案するためのHEV用高性能ニッケル水素電池を開発した。集電部品、電極設計、セパレータの改良で高出力化を行い、負極合金の改良で長寿命化を達成した。また、劣化シミュレーションを駆使することで、高い寿命予測信頼性を確保している。結果として、従来品に対し、約1.3倍の高出力化と2倍以上の長寿命性能を実現するHEV用ニッケル水素電池の開発・商品化に成功した。

併せて、ニッケル水素電池の今後の開発方向性についても紹介する。

Abstract

Accomplishing the best-in-class specification required for a Hybrid Electric Vehicles (HEV) Ni-MH battery, we have developed a high-performance battery to propose as the standard for all automobile manufacturers throughout the world. We increased the output by improving the current collector device, electrode design, and separator while extending the battery life by improving the negative electrode alloy. In addition, we accomplished high reliability by conducting deterioration simulation. As a result, we have successfully developed and commercialized an HEV Ni-MH battery which features approximately 30 % higher output and 200 % longer battery life compared to other conventional products.

We will also introduce our future development roadmap for Ni-MH batteries.

1. はじめに

近年、資源枯渇に伴うエネルギー安定需給問題、CO₂排出量増加に伴う環境問題などを背景として、グローバルレベルで次世代環境技術の取り組みが進められている。このような状況下、自動車産業界においても、動力源は内燃機関から、電気でもータを作動させる電化へのシフトが加速され、HEVやEV (Electric Vehicle) などの環境対応車は身近な存在となってきた。

当社は、2011年9月までに約8700万セルのHEV用ニッケル水素電池を出荷し市場実績を積み上げてきた。電池性能がHEVの車両性能に大きく影響し、電池の進化がHEV車両の進化に直結することから、市場要望を先取りした電池開発を推進している。

本稿では、従来のHEV用電池と比較して、高出力化、長寿命化を達成した円筒型ニッケル水素電池に関して報告する。併せて、ニッケル水素電池の開発方向性についても紹介する。

2. 車載用二次電池について

車載用二次電池には、一般的に容量、出力、寿命、安全性が求められる。ただし、エンジンとモータを共用す

るHEVと、モータだけを動力源とするEVでは、求められる性能が大きく異なる。前者は、車両の発進や加速時にエンジンをアシストするために高出力が重要視されるが、後者は航続距離を伸ばすために高容量が最重要となる。寿命と安全性は、車載用として両者から求められる必須性能である。

当社では、車載用電池として、ニッケル水素電池とリチウムイオン電池をラインナップしているが、本稿で報告するニッケル水素電池は、高出力で安全性が高くHEVに適している。

HEV用システムにおいては、充放電の際の電流負荷は、搭載される電池数量にもよるが、本開発品の場合、1セル当り最大200 A程度の大電流充放電を受けることとなるため高出力化が求められる。

また、車両はグローバルでさまざまな環境下にて使用されることから、HEV用電池はそれに対応した温度環境 (-40℃ ~ 60℃) での使用に耐えることが要求され、かつ車両の平均寿命である10年程度は、その性能を維持する必要がある。長寿命化が求められる。

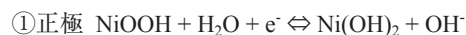
電池の高出力化と長寿命化は、一般的に考えれば、HEVシステムの高性能化につながるが、システム性能を維持して、搭載する電池数量を低減することも可能とする。すなわちシステム性能を維持したまま、電池数量

を低減し、システムの体積・重量を低減することが可能で、さらにその分のコスト削減にも反映される。

3. ニッケル水素電池の概要

ニッケル水素電池は、正極にニッケル酸化物、負極に水素吸蔵合金、電解液に水酸化カリウムを主成分とするアルカリ水溶液を用いた二次電池である。

正極・負極の充放電反応は、以下の式で表される。



（M：水素吸蔵合金）

充電時には、正極の水酸化ニッケルが水素を放出してオキシ水酸化ニッケルを生成し、負極の水素吸蔵合金表面に生成した原子状水素が合金内部に拡散し吸蔵される。一方、放電時には、逆反応が起こり、電気エネルギーを生成する。

ニッケル水素電池は密閉化するために、負極容量を正極容量より大きく設計しており、電池容量は正極容量によって支配される。余剰に発生したガスは、容量の大きい負極が消費することで電池内部の圧力上昇が抑制されるため、密閉化が可能となる。加えて、仮に電池内部のガス圧力が上昇しても、復帰式のガス排出の機構を設けており、安全性が十分に考慮されている。

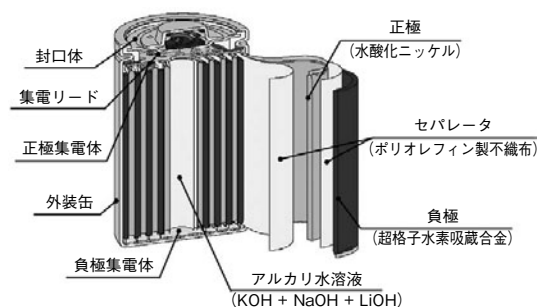
4. HEV用高性能ニッケル水素電池の開発

本電池は、HEV用ニッケル水素電池として求められる性能を業界最高レベルで実現し、全世界の自動車メーカーに当社の標準モデルとして提案するために開発した。以下にその技術の概要と特徴を述べる。

4.1 高出力化

電池を高出力化するためには、電池の内部抵抗を低減することが必要であるが、この内部抵抗は、部品抵抗と反応抵抗に大別される。部品抵抗は、電池に使用されている金属部品の抵抗で、通電経路の短縮化、断面積の増大などで低減することができる。一方、反応抵抗は、充放電時に電極上で起こる化学反応の速度に支配される抵抗で、電極面積の増大などで低減することができる。

本開発品には、高出力化のために次の要素技術が適用されている。



第1図 ニッケル水素電池の基本構造

Fig. 1 Basic structure of Ni-MH battery

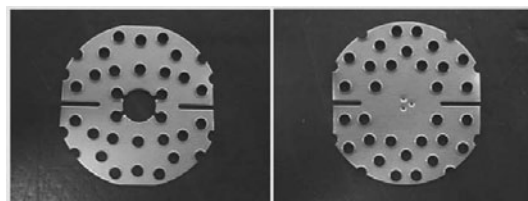
- ①集電部品の抵抗低減（部品抵抗低減）
- ②電極の薄長化（反応抵抗低減）
- ③セパレータの薄型化（反応抵抗低減）

〔1〕集電部品の抵抗低減による高出力化

まず、集電部品の抵抗低減について説明する。円筒形ニッケル水素電池の構成部材は、正極端子側から順に封口体、集電リード、正極集電体、正極、セパレータ、負極、負極集電体、外装缶により構成されている（第1図）。

これら構造部品のうち「正極集電体」と「負極集電体」には円形状の集電突起（パーリング）を配し、両集電体を電極体に抵抗溶接している。集電体の機能は、入出力電流を電極体に分散し、電極反応を均一化して反応抵抗を低減させることである。集電体のパーリング数を増加させると、集電体と電極体の接点が増加し、接続抵抗が低減する。一方、パーリングの数を多くしすぎると集電体を流れる電流経路が阻害されるため、電流の迂回（うかい）による抵抗ロスを生じる。電流分散による抵抗低減の効果を最大化し、電流迂回による抵抗ロスを最小化するため、統計的手法により集電体の最適パーリング数とその配置を検討し、第2図に示すような集電体を採用することで、従来比約5%の電池抵抗を低減した。

また、正極集電体と封口体をつなぐ「集電リード」は、従来品と同様、当社独自の集電構造を採用している。民



第2図 集電体構造の概観

（左：正極集電体、右：負極集電体）

Fig. 2 External view of current corrector

（Left ; For positive electrode, Right ; For negative electrode）



第3図 集電リード構造の概観
(左：側面からの概観，右：縦面からの概観)

Fig. 3 External view of current collector lead
(Left : External view of upper side, Right : External view of upper length side)

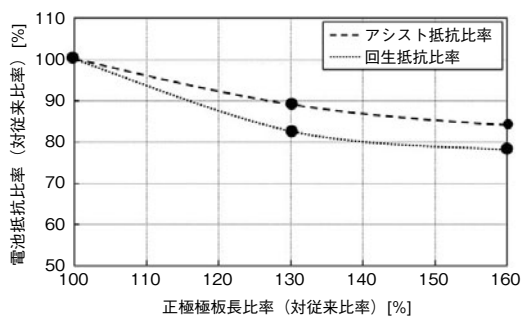
生用電池は、正極集電体から延びた集電タブを中点で折り曲げる構造のため、通電経路が大きく迂回し抵抗ロスを生じてしまう。一方、HEV用ニッケル水素電池で採用している構造は、第3図に示すような独立した集電リードを正極集電体の上に配し、下部を正極集電体、上部を封口体と溶接接続することで、両者を短経路で接続することが可能となり、電池抵抗を約30%低減している[1]。

[2] 電極の薄長化による高出力化

次に、薄型電極設計について説明する。電極面積を増大することで、反応抵抗を低減することが可能である。その最適値を確認するために、従来のHEV用電池に対し、電極面積を増大方向に変化させて、その抵抗低減効果を確認した。結果、第4図のように従来比130%までは大きく抵抗低減するが、それ以上の領域ではその効果が縮小していくことを確認し、最適値を決定した。

電極面積を増大するためには、電極を薄く長く設計することが必要であるが、生産工程で品質ばらつきを増大するリスクを伴う。

HEV用ニッケル水素電池の正極極板は、高出力用途に好適な焼結式正極を採用している。この正極極板は、鉄にニッケル鍍金（めっき）を施したパンチングメタル鋼



第4図 正極極板長さに対する電池抵抗
Fig. 4 Relationship between cell resistance and positive electrode length

板に金属ニッケル粉末を塗布し、高温で焼結して多孔質なニッケル基材を作製し、この基材に活物質を化学含浸法により生成させることで作製している。一方、負極極板は、パンチングメタル鋼板に活物質である水素吸蔵合金を塗布して作製している。これらの工程の中で、極板の厚みを管理する新規手法を導入して、品質ばらつきを悪化させることなく極板の薄長化を可能としている。

[3] セパレータの薄型化による高出力化

次に薄型高強度セパレータについて説明する。セパレータは親水処理された樹脂繊維の不織布からなり、正負極間の絶縁性維持と電解液の保持によるイオン伝導性保持の両機能を担う。電極面積の増大に伴い、電極と同様にセパレータの薄型化が必要であるが、従来セパレータの単純な薄型化では、①強度低下や空隙への活物質の入り込みによる絶縁性（耐ショート性能）低下、②繊維表面積や空間の減少による電解液保持性能（出力性能）低下が課題となる。このため繊維の極細化および高強度化を行うとともに、抄紙方法の改良を加えることで、セパレータの緻密化、高強度化、および比表面積の増大を達成した。結果、薄型化したにもかかわらず最大孔径が半減し、引張強度や電解液保持性を従来品と同等レベルに維持できるセパレータを開発した。この高強度薄型セパレータを適用することで、絶縁性を低下させることなく高出力化が可能となった。

以上の要素技術により、電池の内部抵抗を2.5 mΩから1.8 mΩに低減し、出力を約1.3倍に向上することを達成した。第1表に、開発品と従来品の出力特性を示す。

第1表 出力特性比較

Table 1 Power output characteristics comparison

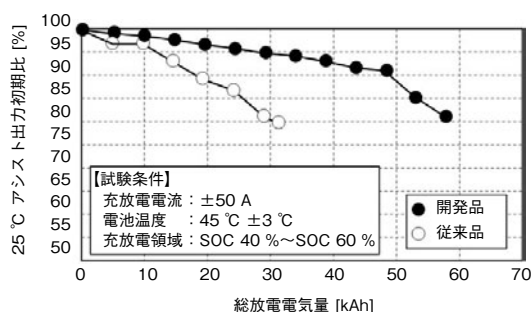
		開発品	従来品
25 °C SOC 50 %出力	アシスト [W/kg]	1300	1000
	回生 [W/kg]	1020	790
-10 °C SOC 50 %出力	アシスト [W/kg]	550	380
	回生 [W/kg]	400	310

4.2 長寿命化

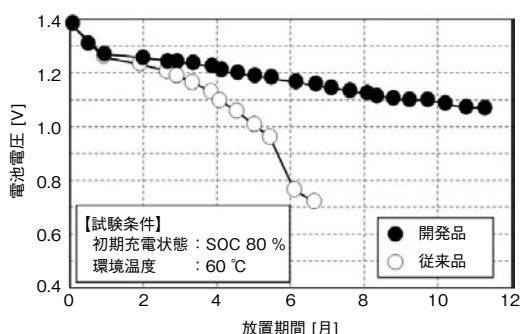
先に報告した高出力化は、長寿命化にも大きな効果をもたらす。電池の抵抗を低減することで、充放電に伴う発熱が抑制され、第5図に示すように充放電耐久が2倍以上に向上した。

また、従来のHEV用ニッケル水素電池では、充放電耐久や放置耐久に伴い電圧維持性や容量維持性の低下に課題があったが、負極合金の改良で解決した。

従来のHEV用ニッケル水素電池には負極合金にCaCu₅型（希土類元素-ニッケル系）と呼ばれる水素吸蔵合金を適用してきたが、この合金はサイクル寿命などで実用



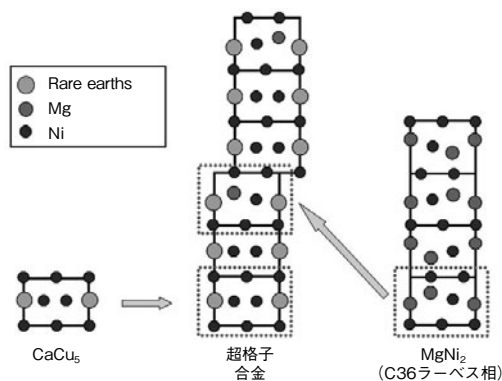
第5図 充放電サイクル寿命特性
 Fig. 5 Charge-Discharge cycle life span characteristics



第7図 従来合金と新規合金の電圧維持特性比較
 Fig. 7 Voltage stability comparison of former and new alloy

的な電池性能を確保するためにコバルト (Co) やマンガ (Mn) を含有している。これらは負極の電位では徐々にアルカリ電解液に溶け出して、正極やセパレータ中に導電性の複合酸化物として再析出するため、長期間経過すると正負極間に微小短絡パスが生じて電圧維持性や容量維持性が低下することがあった。

そこで、開発品では負極合金に当社の市販用電池“enloop”^(注)にも使用されている希土類Mg-Ni系超格子水素吸蔵合金の組成や粒径などをHEV用に改良を加えて採用した。この超格子合金は、CaCu₅型のサブセルと、C36ラーベス相であるMgNi₂の一部を構成するサブセルが、第6図のような規則性で配置する超格子構造を取っている。



第6図 超格子合金構造
 Fig. 6 Super lattice alloy structure

この超格子合金では、従来のCaCu₅型合金では必須であったCo, Mnを含まなくても十分な電池特性を示すため、これら溶出成分元素を排除することが可能である。

これにより、厳しい環境下での長期使用でも、微小短

絡による電圧維持性の低下や容量維持性の低下を大幅に抑制することが可能になった（第7図）。

以上の要素技術を適用した開発品と従来品の基本特性を、第2表に示す。約1.3倍の高出力化と2倍以上の長寿命性能を達成した。

第2表 電池特性まとめ
 Table 2 Specification of Ni-MH battery

	開発品	従来品
公称容量 [Ah]	6.0	6.0
出力密度 アシスト [W/kg]	1300	1000
耐久特性	充放電耐久指数	2.0
	放置電圧維持指数	2.2

5. バッテリー制御と耐久性の検証

このように開発した高性能電池であっても、その制御方法が不適切であると、電池の能力を十分に発揮できず、車両寿命期間を通して電池寿命を確保できなくなってしまう。電池に最適なバッテリー制御と組み合わせることにより、電池の実力を最大限に発揮することが重要である。

5.1 バッテリー制御

HEV用システムは、SOC (State Of Charge) 位置、許容電力、許容電流を瞬時に判断し、その情報ですべてのシステムをフィードバック制御する。特にニッケル水素電池は、電池の使い方により充放電電圧が大きく変化するため（メモリー効果）、この電圧変化の影響を高精度に予測することが重要となる。

本開発品のシステム開発では、膨大な検証データから電流-温度-電圧のルックアップテーブルを作成し、SOC検出の手法を構築した。そしてメモリー効果による電圧変化を車両走行中に随時計算する自己学習機能を備え

(注) 三洋電機 (株) の登録商標

た。これらによって、使用可能容量の低下を抑制し、電池の潜在能力を無駄なく発揮できるHEV用システムを実現している。

5.2 シミュレーションによる耐久性検証

バッテリーシステムの寿命判断にあたり、あらゆる使用方を想定した10年以上に及ぶ実検証は困難である。そこで種々の使用条件下で試験した劣化電池を徹底的に解析し、それらの結果を基に電池劣化モデルを構築するとともに、それに基づく性能シミュレーション技術を確立した。また、当該シミュレーション技術により割り出した耐久加速条件にて逆検証を行うことで高い寿命予測信頼性を確保した。主要な電池劣化状態を次に示す。

- ①電池抵抗の増大
- ②微小短絡による容量維持性能の低下
- ③メモリー効果による使用可能容量の低下

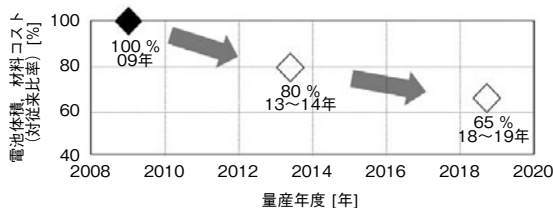
開発品は、先に述べたCo, Mnフリー水素吸蔵合金の採用により ②容量維持性能の低下を抑制、バッテリー制御によるメモリー効果影響の最小化により ③使用可能容量の低下を抑制しており、①電池抵抗の増大モデルだけで電池劣化シミュレーションを構築できた。

電池抵抗増大については、負極側は、水素吸蔵合金の微粉化と酸化の度合いから説明される。一方、正極側は、耐久劣化に伴い充電効率が低下して酸素発生量が増大する。高い酸素雰囲気下で繰り返し充放電を行うと活物質の不活性化が起こり、正極抵抗が増大する。

これらの劣化モデルを駆使したシミュレーションモデルの構築により、寿命予測に高い信頼性を確保している。

6. 小型・低コスト化への展開

今後、HEVが飛躍的な普及を遂げるために電池に求められる次のキーワードはコストになる。この要望に応えるため、HEV用ニッケル水素電池は小型・低コスト化への展開を予定しており、第8図に示すような方向性で開発が進められている。電池性能を維持したまま、電池サイズを小型化することで、さらなるシステムの体積・



第8図 小型・低コスト電池の開発イメージ

Fig. 8 Development image of small and low cost Ni-MH battery

重量・コストを低減することが可能となる。

7. まとめ

以上、HEV用の円筒型ニッケル水素電池として、従来比1.3倍の高出力化と2倍以上の長寿命性能を達成した技術について紹介した。地球規模の環境意識の高まりを背景に、エネルギー資源を有効活用するHEVの技術と市場は、これまで以上に急激な発展と拡大を続けると予測される。その中で、HEVの普及を牽引（けんいん）するニッケル水素電池は、市場の確立という大きな責任を担い、HEV用電池の先駆者として、今後も進化を続ける義務がある。

筆者らは、より小さく、より軽く、より安い電池システム開発に取り組み、それを実現することで、これからの地球環境に貢献していく。

参考文献

- [1] 北岡和洋 他, “ハイブリッド電気自動車 (HEV) 用ニッケル水素電池,” SANYO TECHNICAL REVIEW, vol.36, no.2, pp.20-26, 2004.

執筆者紹介



越智 誠 Makoto Ochi
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



杉井裕政 Hiromasa Sugii
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



長江輝人 Teruhito Nagae
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



北岡和洋 Kazuhiro Kitaoka
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



前田礼造 Reizo Maeda
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



武江正夫 Masao Takee
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group