

# バイポーラ型NiMH電池の開発 Development of Ni Metal Hydride Bipolar Battery

中條 祐貴<sup>\*1</sup> 吉田 憲史<sup>\*1</sup> 小竹 広和<sup>\*1</sup> 田丸 耕二郎<sup>\*1</sup> 宗 真平<sup>\*1</sup> 河野 聡<sup>\*1</sup>  
 Yuki Chujo Norifumi Yoshida Hirokazu Kotake Kojiro Tamaru Shimpei Mune Satoshi Kono

\*1 電池事業室 技術部

**要旨** カーボンニュートラルの実現に向けて拡大傾向にある電動車市場において、当面電動車の中心はHybrid Electric Vehicle (以下、HEV) と考えられている。そこで、これまでの使用実績があるNi Metal Hydride (NiMH) 電池に着目し、駆動用車載用電池としては世界初(当社調べ)となるバイポーラ型構造を適用することによって、従来型NiMH電池に対し出力特性をブレイクスルーすることにチャレンジした。バイポーラ型構造により部品点数が少なくなり、体格をコンパクト化することでより多くのセルを搭載することが可能となる。また、通電面積が広くシンプルな構造になるため、電池内抵抗が小さく、大電流を一気に流せるため、従来型NiMH電池に対し出力比2倍を実現した。本稿では、このバイポーラ型NiMH電池の概要と要素技術を、開発の進め方を交えて紹介する。

キーワード: 電動車、電池、バイポーラ、高出力

**Abstract** In the electric vehicle market, which is expanding toward the realization of carbon neutrality, hybrid electric vehicle (HEV) is considered to be the center of the electric vehicle market for the time being. We focused on Ni Metal Hydride (NiMH), which has a proven track record in use and developed the world's first bipolar NiMH battery (according to our own research) as a drive-use automotive battery, breaking through the output. The bipolar structure reduces the number of parts, and the compact body size allows more cells to be installed. In addition, the large current-carrying area and simple structure of the bipolar NiMH battery results in low internal resistance, allowing a large current to flow all at once, doubling the output ratio compared to conventional NiMH batteries. This paper presents an overview of this bipolar battery and its elemental technologies, along with the development process.

Keywords: Electric vehicles, Batteries, Bipolar, High power

## 1 はじめに

カーボンニュートラルの実現に向けて、電動車市場は拡大傾向にある。Battery Electric Vehicle (以下、BEV) の拡大は顕著ではあるが、当面電動車の中心はHEVと考えられている(図1)。トヨタ自動車(株)も電動車のフルラインアップ化を推進しており今後もHEV市場の拡大が見込まれる。そのため、2020年からHEV用電池の需要拡大が見込まれていた。

また、車両の特性に応じてLithium Ion Battery (LIB)、NiMHの2種類の電池で対応する方針を取っていたため、電池事業室としては、HEVで長く使用実績があるNiMHに着目し、従来型NiMH電池の出力特性をブレイクスルーする電池を開発することで、電池事業に参入することを考えた。

本稿では、トヨタ自動車(株)との共同開発により新型アクアに搭載した、駆動用車載用電池としては世界初(当社調べ)となるバイポーラ型NiMH電池(図2)の概要とその要素技術、開発の進め方について紹介する。

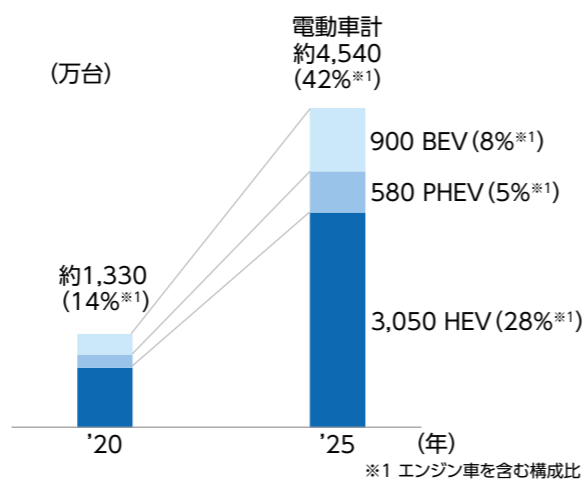


図1 電動車市場の動向<sup>[1]</sup>  
Fig.1 Trends in the electric vehicle market<sup>[1]</sup>



図2 バイポーラ型NiMH電池と搭載車両  
Fig.2 NiMH bipolar battery and equipped vehicle

## 2 電池事業室の開発の進め方

電池事業室では前身の研究開発センターであった2007年当時から、来るべき電動化の時流に先んずるべく「電池開発」をスタートさせた。

電池メーカーとしては後発であるため、以下3点を武器に原理原則に基づいた開発の進め方を行うことで競争力のある電池の開発を可能とした(図3)。

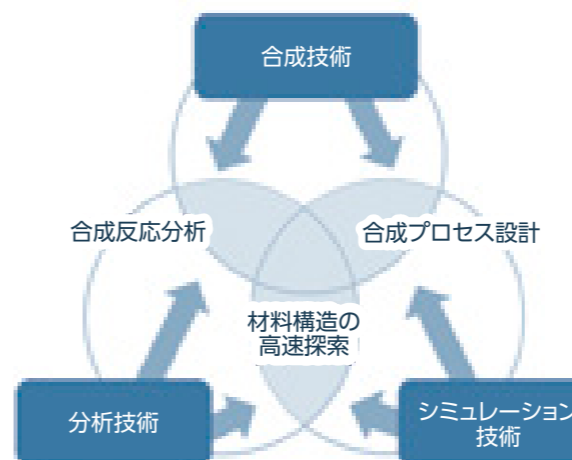


図3 電池事業室の開発手法  
Fig.3 Development method of Battery Dev

### 1) シミュレーション技術

革新的な電池開発のため、独自のプログラミングで、原子・分子～電池セルレベルまでシームレスに繋ぐシミュレーション技術を開発することによって、電池設計および製造プロセス設計手法を構築した。

また、ソフトとハードの専門知識を併せ持つことで、スパコン(京、富岳、Oakbridge)やワークステーション等、複数の計算資源を使用可能な環境を構築し、解析ツールの特長に合わせた使い分けによって計算効率を最大化した。

### 2) 合成技術

電極材料の合成設備、表面処理設備、および必要なインフラを自社内に導入し、原理検証を独自に進めることで、バイポーラ型構造に必要な不可欠な機能だけでなく、高出力、高耐久を兼ね備えた電極材料の開発を実現した。

### 3) 分析技術

X線回折装置、分光分析装置などの分析装置、および測定治具をカスタマイズし、In-situ(その場観

察)により電池駆動時の電極、材料の状態を直接捉える技術を独自に開発した。また、スペクトルシミュレーションを活用したデータ分析技術や、電池内の環境を模擬した材料単体での電気化学分析技術を確立することで、電池内の発現現象を原子レベルで紐解くことが可能となった。

これら3つの技術を一体となって使用することで、迅速で手戻りのない開発を実施し、性能向上を行うだけでなく短期開発を実施した。

## 3 開発目標と設計コンセプト

### 3.1 開発の狙い

従来型アクアのNiMH電池に比べバッテリー出力2倍を目標に設定した(図4)。

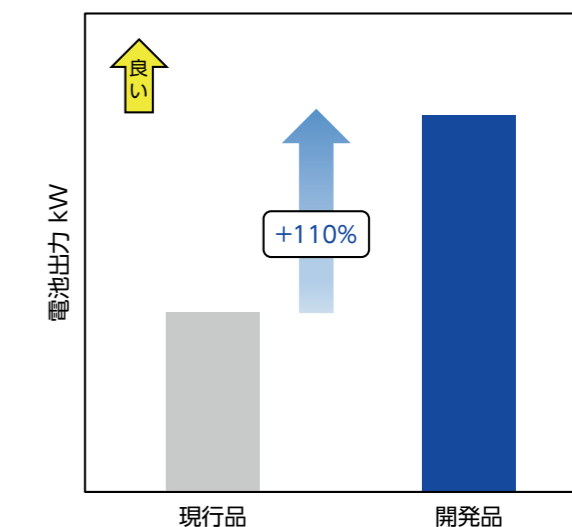


図4 電池出力特性  
Fig.4 Battery output characteristics

### 3.2 バイポーラ型構造の設計コンセプト

一般的なNiMH電池が正極・負極ともに同質材(ニッケル)の集電体を使用していることに着目し、正極・負極で集電体を共有できるバイポーラ型構造を着想した。バイポーラ型構造は、バイポーラ(双極)という名称のとおり、集電体を正極・負極で共有でき、部品点数を少なくすることで電池のコンパクト化を実現し、多くのセルを搭載することが可能となる。また、通電面積が広くシンプルな構造になるため、電池内抵抗が小さく、大電流を一気に流すことができ、従来品よりも高出力化が見込める。

図5に従来構造(モノポーラ型構造)とバイポーラ型構造の比較を示す。モノポーラ型構造では、正極・負極それぞれを塗った集電箔と集電板を溶接することで1つの電池セルを作る。できたセル毎にケースへ収納し、隣り合う集電板同士を溶接していくことで電池を直列化しているため、通電部品に電流集中し電気抵抗が大きくなる。一方、バイポーラ型構造は、1枚の集電箔の表裏に正極・負極と別々の材料を塗り、積み上げることでセルを作るため、集電板等の通電部品やケースをなくすることで1セル当たりの部品点数を大幅に削減することができ、体格をコンパクトにできる。また、1枚の集電箔に機能を集約し通電部品レスでモジュール化でき、集電箔全面で通電するため電気抵抗を小さくすることができる。

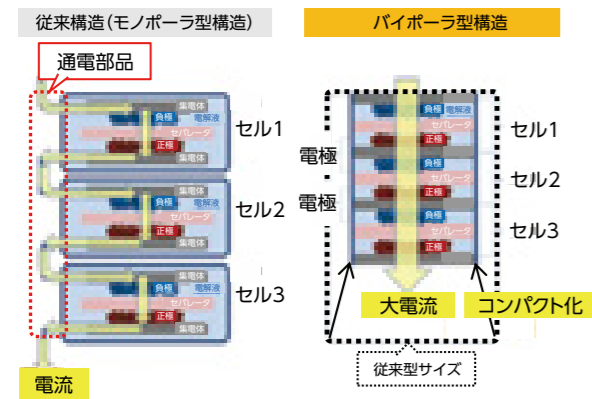


図5 従来構造とバイポーラ型構造の比較  
Fig.5 Comparison of conventional structure and bipolar structure

## 4 要素技術開発

### 4.1 開発した要素技術

図6に今回の新型電池で開発した要素技術をまとめる。本項では特にバイポーラ型構造特有の課題を解決したシーリング技術、正極材料について紹介する。

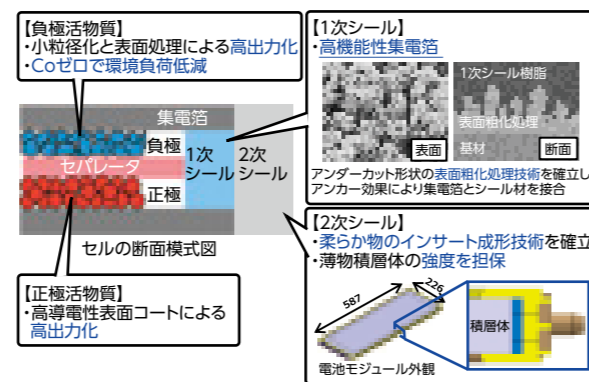


図6 バイポーラ型NiMH電池の要素技術  
Fig.6 Elemental technologies for bipolar NiMH batteries

### 4.2 シーリング技術

#### 4.2.1 高機能性集電箔の開発

NiMH電池ではアルカリ性電解液の外部への漏液やセル同士の液絡を防止するためにシーリングを施す技術が必要となる。従来構造では電池セルの集電端子部にOリングシーリングを施していたが、バイポーラ型構造では集電箔外周部を全周シーリングする必要があることから、金属・樹脂の異種材料を接合する1次シーリングと、1次シーリングを施した集電箔を積み重ねた積層体外周部にシーリングを施す2次シーリングの2回に分けたシーリング技術を開発した。

1次シーリングでは、アルカリ性電解液を使用する電池特有の現象であり電解液が駆動力を持って集電箔上を這い上がるアルカリクリープ現象(図7)に耐え得る接合強度が必要となるが、化学結合による接合では金属・樹脂界面にアルカリ性電解液が浸入するためシーリング性を維持することができない。そこで、金属と樹脂を機械的に接合するために集電箔の表面を粗して凹凸のアンカー効果による接着効果を付与する表面粗化処理技術を見出した。

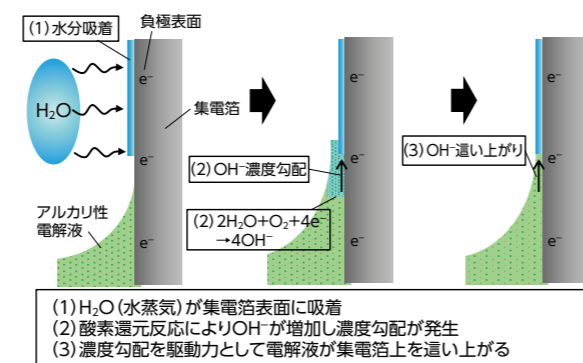


図7 アルカリクリープ現象のメカニズム<sup>[3]</sup>  
Fig.7 Mechanism of alkaline creep phenomenon<sup>[3]</sup>

表面粗化処理の条件は、シミュレーションや分析技術を活用することで確立し、1次シーリングの設計要件を満たす最適な表面粗化形状を導出することで1次シーリング技術を開発した。

#### 4.2.2 シーリング部の強度設計

バイポーラ型NiMH電池は、部品点数が少なく構造がシンプルであるがゆえに、シーリング部材や高機能性集電箔自体が電池筐体としての機能を持つ。そのため、電池内部での内圧上昇まで考慮した耐圧強度設計がシーリング部材・集電箔の設計に必要となる。一般的に、強度設計はFinite Element Method (以下、FEM) 解析を活用して実施する。今回開発したバイポーラ型NiMH電池は、高機能性集電箔と樹脂を接合した大面積(約200mm×580mm)かつ薄物(<200μm)の電極を積み重ねた構造体のため、通常の3次元によるFEM解析では計算時間が膨大になる。そのため、代表断面による2次元モデル化と各部材界面における滑りを考慮した境界条件の設定により解析精度向上と計算時間短縮の両立を行った。

図8に本開発で確立したFEM解析の実施例を示す。想定される電池内圧に対して安全率を確保するように、シーリング部材と高機能性集電箔の設計を行った。

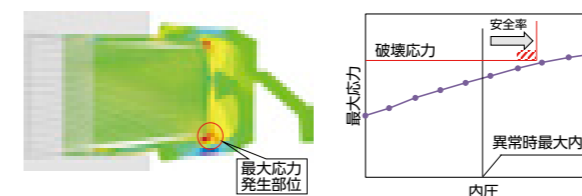


図8 FEM解析の実施例  
Fig.8 Examples of FEM analysis

### 4.3 正極材料開発

#### 4.3.1 正極材料の開発課題

NiMH電池の高出力化には、正極抵抗の低減が重要課題の一つである。従来型のNiMH電池では、集電体に多孔質材料を用いているが(図9)、バイポーラ型NiMH電池では箔材料を用いるため、正極活物質上での電子移動距離が従来に比べて長い(図10)。従って、正極活物質自体の低抵抗化が、正極抵抗の低減および高出力化に向けた、重要な課題となる。バイポーラ型NiMH電池では、活物質へ

の高導電性表面コート処理条件を改良し、正極活物質を低抵抗化した。

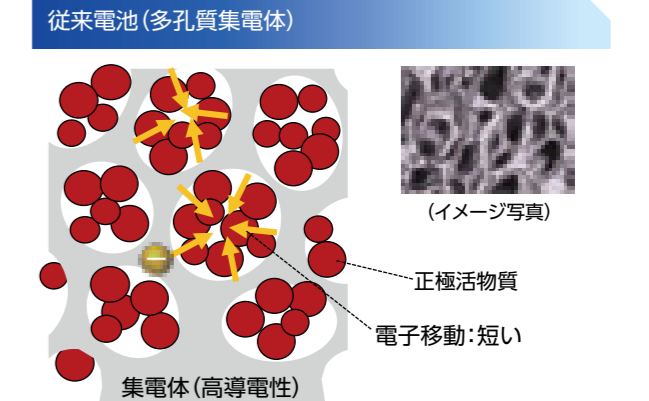


図9 従来型NiMH正極材料の微小構造  
Fig.9 Microstructure of conventional NiMH positive electrode

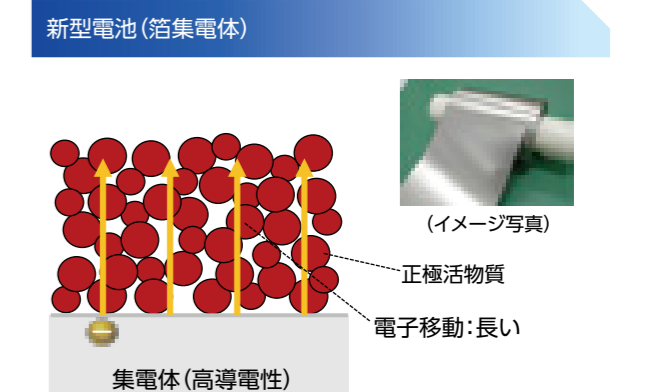


図10 開発したNiMH正極材料の微小構造  
Fig.10 Microstructure of NiMH positive electrode

#### 4.3.2 正極活物質の低抵抗化

正極活物質(水酸化ニッケル(Ni(OH)<sub>2</sub>)が主成分)の表面コートには、高導電性のコバルト化合物が従来から用いられている。正極活物質の生産プロセスにおいて、水酸化ニッケル粒子を水酸化コバルト(Co(OH)<sub>2</sub>)で被覆した後、電池の活性化プロセスにおいて、水酸化コバルトコートを経過することで、導電性の高いオキシ水酸化コバルトコート(CoOOH)が得られる。

バイポーラ型NiMH電池では、さらなる低抵抗化を目指して、水酸化コバルトに対する化学酸化処理を実施した(図11)。正極活物質生産プロセスで、水酸化コバルトコートに化学酸化処理を施すことで、高次コバルト化合物(CoOOH<sub>1-x</sub>)が得られる。高次コバルト化合物は、電気化学的酸化(従



来法)で得られるオキシ水酸化コバルトよりコバルトの価数が高く、より高い導電性を有するため、正極活物質のさらなる低抵抗化を実現できる。

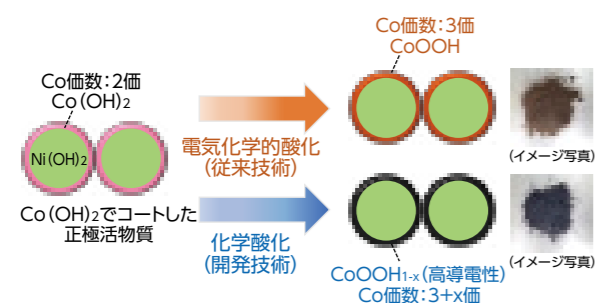


図11 正極活物質のCo(OH)<sub>2</sub>コートに対する酸化処理工程  
Fig.11 Oxidation process for Co(OH)<sub>2</sub> coating on positive electrode material

コバルト化合物コートの化学状態の分析には、あいちシンクロトロン光センターの放射光設備を活用し、化学酸化処理によるコート材の変化を結晶学的に解析した。正極活物質に対する放射光XAFS(X-ray Absorption Fine Structure)分析により、化学酸化したコバルト化合物コートは、従来品よりも高酸化状態にあることを確認した(図12)。放射光を用いた分析や、当社の保有する結晶構造解析、化学状態分析、顕微鏡観察等に関する知見を駆使して、コバルト化合物コートの酸化処理条件、量を最適化した。これにより、正極活物質の電子移動抵抗を大幅に低減し、正極抵抗の低減、電池の高出力化を達成した(図13)。



図12 NiMH正極活物質に対する放射光XAFS分析  
Fig.12 XAFS spectroscopy for active material of NiMH positive electrode

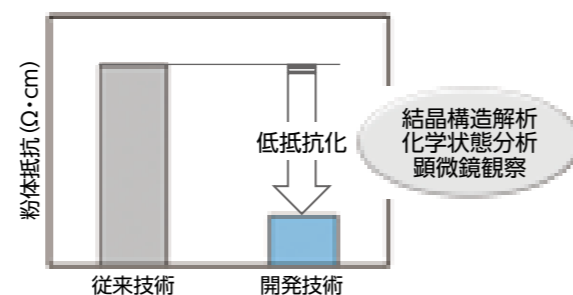


図13 NiMH正極活物質の粉体抵抗  
Fig.13 Powder electroresistance of active material for NiMH positive electrode

## 5 まとめと今後の展望

電動車市場の拡大のニーズに応えるべく、HEVへの搭載拡大を可能とするバイポーラ型NiMH電池の開発を行うことができた。なお、今回開発した電池をアクアに搭載することで、従来型アクアに対して出力比約2倍(電池セル出力1.5倍、小型化により同体積で搭載セル数1.4倍)を達成した。

今回開発したバイポーラ型NiMH電池モジュールは、構造の効率化と展開性を考慮して24直列で設計している。そのため、車載するには車両に応じて積層するモジュール数の変更のみで対応可能なため、バイポーラ型NiMH電池の高出力特性を活かし、今後搭載車両を増やすことを目指す。

最後にバイポーラ型NiMH電池の開発に多大なご支援をいただいた社内外の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

[1] IHSマークイット  
[2] トヨタ自動車(株)ホームページ  
[3] Michael N. Hull and Herbert I. James, J. Electrochem. Soc., Vol.124, No.3. (1977)  
H.W.Nientiedt, J. Power Sources, 8 (1982) 257-265

### 著者紹介



### 開発の経緯と開発者の思い

社是に“研究と創造に心を致し、常に時流に先んずべし”とあります。我々は、来るべき電動化の時流に先んずるべく、2007年から、様々な課題に対して「なぜ・なぜ」を繰り返し、原理原則に基づく課題解決に拘った独自の電池開発を進め、「車載電池をつくりたい」という熱意のもと、2016年よりバイポーラ型NiMH電池の開発に着手しました。開発を進める中で多くの課題に直面しましたが、電池事業室と生技開発センターのメンバが部署の垣根なく一致団結し、あきらめずに原因究明と対策に奔走し、全員で必死に開発を進めてきたことで、この新型電池を世の中に送り出すことができました。また、トヨタ自動車(株)や仕入先の皆様にも多大なご協力を頂きました。関係者一同で生み出したこの新型電池による加速の力強さや運転フィーリングの良さを皆様にも体感いただければと思います。今後も、たくさんのお客様のご期待に沿えるよう、世界一の電池開発を目指し精進してまいります。