7 おわりに

ニッケル水素電池のリサイクル技術開発においては、想定されたプロセスの各段階において様々な技術的な課題に直面し、あるものは解決法を見出せたが、それが出来ずに次善の策で済ませた部分もあった。このように、金属資源の利用・処理に関する技術開発では、個々の技術課題を全て当初予定通りに解決するのではなく、出来る範囲まで対応した場合の処理フロー全体の効率を評価し、それが目標を達成すればよしとするのが常である。これは、出発材料である天然鉱石の性状は所与のものであり、その実態を調べることは出来てもそれを人為的に改変することは出来ないという現実に対する対応であると言える。

しかし対象がリサイクル原料（本件の場合では廃電池）の場合、出発材料の性状は決して所与のものではない。製品の開発や設計の段階で、部材の材質や製品の構造を選択する際に、後日それを大量生産する際の原料入手リスクや、将来その使用済品をリサイクルする際の利便性までを考慮することは、理屈としては可能なはずである。実際にそこまで配慮して材料研究や製品開発を進める機会はなかなか無いと思われるが、本稿では敢えてそうした検討の際の着眼点のイメージを提供することを目指した。

具体的には、以下の点をポイントとして挙げる事が出来る。

- (1) 主要材料の調達リスクという視点で見ると、中国や南部アフリカに供給を過度に依存しており、供給リスクが高いレアメタルの典型であるレアアースやコバルトが不可欠なニッケル水素電池は、かなり問題の多い製品である。タングステン、アンチモン、白金、インジウムも同様の状況にあり、これらの金属はある程度の覚悟を持って使用すべき材料だと認識されなければならない。
- (2) 構成部材を物理的に選別・濃縮するには、個々の部材が単体で分離するまで分解・破碎する必要がある。電池のように異なる金属部材を組み合わせる場合、両者が力学的に分離し易く、破碎により単体分離し易い構造であることが望ましい。その点で、円筒型のニッケル水素電池はリサイクルしにくい構造の典型であった。近年では角型の電池が主流になったことは、金属リサイクルの面からは好ましいことである。
- (3) ニッケル水素電池の場合、正極活物質は多孔質なニッケル中に充填されており、負極活物質は微粉状の形態であったことが、破碎産物における両者の粒度の違いを生み、両者を分別する際の大きな手掛かりとなった。性能面での要求から必然的に決まる材料の硬度、比重、

磁性、電気化学的性質などを、リサイクルの都合で意図的に変えることは難しいと思われるが、破碎した際の粒度特性は、その部材の形状や構造を工夫することである程度制御出来るのではないと思われる。この点が、「リサイクルしやすい製品」を実現する上での重要なポイントになり得る。

- (4) 負極活物質中に含まれる炭素化合物のように、ある機能材料の原料中に混入するとその性能を損なうような有機系材料が、その機能材料の成型や接着に使用されているケースがしばしば見られる。こうした「原料としての相性の悪い材料の組み合わせ」は、リサイクル時の処理を一工程増やす結果となるので、極力避けるような配慮が望まれる。

2010年秋に中国のレアアース禁輸問題が発生する前までは、製品開発競争の中に身を置く我が国の技術者に対し上述のような配慮を求めても、現実問題としては到底受け入れられないだろうと考えていた。しかしこの半年間で雰囲気は一変し、今では、こうした配慮が製品開発の場で真剣に検討される日がいずれ来るのではないかという気がしている。

文 献

- 1) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会, レアメタル確保戦略 (2009).
- 2) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属企画調査部, 鉱物資源マテリアル・フロー 2009 (2010).
- 3) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属企画調査部, 非鉄金属 40 鉱種のしおり (2010).
- 4) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源技術部, エネルギー使用合理化製錬／リサイクルハイブリッドシステムの開発事業 総括報告書・希少価値金属回収技術編 (2007).
- 5) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源技術部, 平成 16 年度エネルギー使用合理化製錬／リサイクルハイブリッドシステムの開発事業 成果報告書・希少価値金属回収技術編 (2005).

●著者プロフィール

氏名：目次 英哉 Hideya METSUGI
 所属：(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
 金属資源技術部
 役職：企画調査課長

③ 携帯電話用 パワーマネージメント技術

竹野 和彦

1 はじめに

携帯電話の消費電力は、スマートフォンへの進化やLTE

(Long Term Evolution) 方式の次世代無線通信の出現に影響され、増加することが予想される。この対策として携帯電

話用の二次電池のエネルギー密度向上や内部電源回路の高効率化のほかに、充電器（ACアダプタ）の待機電力削減などの省エネ化も実践してきた。さらに、ワイヤレス充電技術やマイクロ燃料電池技術などを用いた新しい充電技術の研究などが盛んに行われている¹⁾。

一方、携帯電話の電池は、使用環境がユーザに密接していること、あらゆる場面で使用されること、さらに運用台数の多さなどを考慮して、従来の家電製品以上の安全マネジメントが求められている。特に、充電や通話中の充電器の異常温度管理や携帯電話用のリチウムイオン電池の安全設計・管理が重要視されており、リチウムイオン電池の管理（劣化・寿命判定）を実現するスマートバッテリーの検討なども進められている²⁾。

本稿では、携帯電話の電源系の概要、現状の充電器（ACアダプタ）の省電力化の取り組み、リチウムイオン電池の安全性やリサイクル性を向上させるスマートバッテリー化の取り組み、さらに新エネルギー技術（ワイヤレス充電、マイクロ燃料電池）について、その課題や方向性について述べる。

2 携帯電話の電源・充電器の省電力化

携帯電話の電力の流れを Fig. 1 に示す。携帯電話の電池を充電する場合、ACアダプタ（充電器）を介して、交流電力を直流電力に変換し、携帯電話に入力する。その電力は、電池の充電制御を行う回路を介して、リチウムイオン電池パックに入力され、充電に使われる。さらに、電池パックから各種電源回路を介して携帯電話の内部回路に電力を供給している。Table 1 は携帯電話に求められている各種パワーデバイスの要求条件である³⁾。

Fig. 1 携帯電話の電力系統。

ACアダプタ（充電器）に関しては、小型・軽量が主であるが、環境対策での省電力化や利便性向上のための共通充電器化やワイヤレス充電などの要求がある。共通充電器化に関しては、従来、携帯電話の製造メーカー毎に充電仕様や電池仕様が異なっていたので、個々にACアダプタが必要であった。しかし、ユーザの利便性の観点や重複開発の抑制の観点から、現状の携帯電話では充電仕様の共通化を行った結果、各携帯電話メーカーでの共通充電器を実現している⁴⁾。さらに、省エネに関する検討では、充電器を接続したままで発生する無駄な電力である待機電力が大きな値を占めた時期があった。Fig. 2 は待機電力を削減した効果を示しており、無負荷時（非充電時）の充電器内部のスイッチング電源の動作を間欠的に制御して省エネ化した効果を示している³⁾。

電池パックに関しては、小型・軽量化・高容量化のほかに安全性や長寿命化である高信頼性が求められており、リチウムイオン電池をメインに採用してきた。今後、環境対策も求められており、電池材料のリサイクルやCo（コバルト）などを使わない非レアメタル化などが求められている。

携帯電話内部の電源回路に関しては、現在、小型機器の制約により電力変換回路としてリニアレギュレータが多用されており、効率の良いスイッチング電源（DC/DCコンバータ）は一部の回路しか使われていない。Fig. 3 は携帯電話の内部電源の構成と損失を示しており、無線回路部のパワーアンプ用電源以外では効率の低いリニアレギュレータが使われている。なお、現状ではパワーアンプを効率の良いスイッチング電源化することにより、高効率・小型化が達成されている。ただし、スイッチング電源化には、個別の電源デバイス設計や電磁ノイズ対策が必要であり、パワーアンプ以外の回路に展開する場合には十分な検討が必要である。

なお Fig. 4 は携帯電話の待受け時間とリチウムイオン電池のエネルギー密度の移り変わりを示している。時代毎に待受け時間が向上しているが、これは電池容量（エネルギー密度）の増加に寄与の他に上記の携帯電話内部のパワーアンプ部などの高効率化による寄与である⁵⁾。

3 リチウムイオン電池の管理技術

前節で説明した Fig. 4 では携帯電話に使用した電池の歴史も示している。1995 年ごろからリチウムイオン電池の搭載が始まり、現在（2008 年時点）において、約 13 年間でそのエネルギー密度が約 2 倍になっている。日本国内でも 1 億台以上の携帯電話が運用されている現状を考えると安全性や保守性（電池劣化・寿命評価）などの管理技術の向上が必須である⁶⁻⁸⁾。

Table 1 携帯電話用パワーデバイスの要求条件。

対象	要求仕様	追加仕様	信頼性 安全性	環境対策
AC アダプタ	小型・軽量 共通仕様化	準速充電 ワイヤレス充電	長寿命 安全性	省電力 共通化 リサイクル
電池	小型、軽量 高容量	薄型 形状フリー	高信頼 高安全	低環境物質 リサイクル
携帯電話内 電源回路	小型 高効率	低ノイズ 低発熱	高実装	高効率

Fig. 2 低待機電力型ACアダプタの電力損失推移.

Fig. 3 携帯電話の電力損失.

安全性に関しては、Fig. 5に示すごとく携帯電話の電池パックでも不具合で熱暴走を起こすことがあるために⁸⁾、電池パックが落下や高温などの異常使用された場合でもある程度の安全性を確保されていることが必要であり、そのための確認試験を実施している。Table 2は電池パックの異常使用の想定ケースと独自に確認を実施している試験概要を示している。その想定されるケースに即した試験条件を設定し、過充電、過電圧、圧壊試験および高温試験などを実施して安全な電池を確認している。特に、近年問題になっている部分的に外部要因・内部要因で部分的に短絡が発生する事象を確認するために、新品や劣化品の電池を用いた部分圧壊試験を実施している。これらの試験で問題がない電池のみ商用の携帯電話に適用している。

Fig. 6は携帯電話用に検討しているスマートバッテリーを示している。同図中の上左図は現行の電池パックの内部構成であり、電池セルの他に保護回路モジュールが内蔵されている。このモジュールは主として過電圧や過充電を保護するのみである。同図中の上右図は検討中の電池パックを示しており、従来の保護機能のほかに故障診断・劣化判定機能および各種トレース機能などを追加している。特に、内部短絡を未然に検出する機能や電池の劣化を判定する機能など電池パッ

Fig. 4 待ち受け時間と電池密度.

Fig. 5 熱暴走した携帯電話用リチウムイオン電池パック.

クに内蔵して品質向上や電池のリサイクル化などに取り組んでいる⁹⁾。

4 新エネルギー技術の展開

携帯電話のスマートフォンへの進化などとともに電力消費が増加することの対策として携帯電話の内部回路の高効率化やACアダプタなどの充電器の省エネ化などを前節で解説したが、携帯電話の進化のスピードを考えると、それだけでは省エネルギー化が達成できないことが想定される。そのために携帯電話をバイオ燃料などの再生可能エネルギーで動作させる新エネルギー技術に関しても検討をしている。その中の1つは無線給電技術（ワイヤレス給電技術）であり¹⁰⁾、もう1つはマイクロ燃料電池技術である¹¹⁾。

ワイヤレス給電技術は、電気的な接触で電力を送電するのではなく、電磁誘導、マイクロ波や可視光などのエネルギー媒体を用いて電力を送電する技術である。なお、電磁誘導方式では一般家電品の非接触充電器としてすでに実用化されている例もあり、防水機能を必要としかつ電力的にそんなに大きな送電を必要としないシェーバー・電動歯磨き器（数100 mW）などで実用化している。現在の携帯電話に適用で

Table 2 携帯電話用電池の安全基準.

使用環境	原因	影響	確認試験(ドコモ独自含)
過充電 (高電圧, 大電流)	規格外充電 非純正充電器使用	膨れ, 漏液, 発煙, 発火など	・過電圧, 過充電 ・DOD5 % サイクル
電池端子短絡	電池パック単体での チェーンショートなど	温度上昇, 漏液, 発火	・外部短絡試験
電池破損	落下, 圧壊 劣化の影響	温度上昇, 漏液など	・部分圧壊試験 ・複合試験 ・部分衝撃試験
水濡れ	不用意な水中投下	膨れ, 充電不可 (端子腐食)	・イオン水 ・塩水水没試験
高温放置	炎天下の車中など	容量劣化, 膨れ, 漏液	・高温試験 (150℃, 3時間保持)

Fig. 6 携帯電話用スマートバッテリーの概要.

Fig. 7 携帯電話用ワイヤレス充電器.

できればコネクタレスが可能になり、防水・小型化および専用の充電器レスなどに貢献できる。Fig. 7 は電磁誘導方式を用いて携帯電話 (約 3 W) に適用した例である¹²⁾。本方式は一次側および二次側コイルともにスパイラル・インダクタ (コイル) を用いて薄型化し、一次側の置き台には制御回路とコイルを内蔵して一体化させている。二次側コイルの配置場所は、電池蓋に内蔵する方式を採用している。電池蓋に二次側コイルと交流電力を整流する整流回路を内蔵化することにより、電池蓋以外の携帯電話本体を極力変更しない構成を

Fig. 8 携帯電話用 DMFC 充電器.

実現している。今後、一次側の置き台をいろいろな場所に設置して、いつでもどこでも充電できる充電インフラを構築し、電池容量不足の解消などを図っていく。

マイクロ燃料電池技術は、リン酸型 (PAFC)、固体電解質型 (SOFC) および固体高分子型 (PEFC) などのいろいろな燃料電池の種類の中で、携帯電話に適用する燃料電池として、動作温度や燃料の種類や構造の簡易性より、PEFC 型および PEFC 型の一種であるメタノール直接型 (DMFC) の燃料電池が有力であり、検討を行っている。携帯電話向けに開発した DMFC 型の燃料電池を Fig. 8 示す。本燃料電池は合体型 (クレドル型) の試作機であり、99% 以上の高濃度メタノール燃料を 18 cc 入れた燃料カートリッジを接続して発電を行なっている。本試作機を携帯電話に合体させて通話を行なった場合、携帯電話の内蔵電池と合算して、約 8 時間の連続通話が可能となり、携帯電話の安定動作に貢献することが可能となっている。今後、燃料電池用の燃料のバイオ化 (バイオメタノール) などの採用によりいっそうの環境負荷軽減なども図っていく予定である¹³⁾。

5 おわりに

本稿では、携帯電話に代表されるモバイル機器向け電池・電源の省エネ化などについて述べてきた。主として携帯電話の内部電源や充電機の動向や、リチウムイオン電池の運用上の課題や管理方法の検討を述べ、特に安全性に関する確認が

必要であることを示した。また、燃料電池などの新エネルギー技術の必要性も述べた。

今後、次世代の携帯電話やPDAなどに代表されるようなモバイル機器の発展が期待されている。その電源に必要な次世代電源技術の動向や安全性を確認しながら、環境負荷の少ない携帯電話に適した電池や充電器などの開発・商品化を推進していく。

文 献

- 1) 竹野和彦, 日経コミュニケーション, 4.15号 p.54 (2009).
- 2) 竹野和彦, 松岡保静, 信学技報, **110** (393), EE2010-36, p.49 (2011).
- 3) K. Takeno, M. Ichimura, K. Takano, and J. Yamaki, *Proceeding of Intelec 03*, p.310 (2003).
- 4) 竹野和彦, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, **16** (2), p.35 (2008).
- 5) 岡田 隆, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, **16** (2), p.45 (2008).
- 6) 竹野和彦, 興梠英規, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, **10** (2), p.42 (2002).
- 7) K. Takeno, M. Ichimura, K. Takano, and J. Yamaki, *J. Power Sources*, **142**, 298 (2005).
- 8) 竹野和彦, 山本準一, 電子情報通信学会論文誌 B, **J93-B**, p.1296 (2010).
- 9) 竹野和彦, 日経コミュニケーション, 4.1号 p.78 (2009).
- 10) 竹野和彦, ワイヤレス充電 2010, 日経 BP 社, p.32 (2010).
- 11) 竹野和彦, 携帯電話キーデバイスの開発と最新動向, CMC 出版, p.200 (2007).
- 12) 竹野和彦, 上村治雄, 信学技報, **110**(65), EE2010-5, p.31 (2010).
- 13) 金村聖志, 杉山憲次, 棟方裕一, 竹野和彦, 栗田修二, 長谷川理, 第 51 回電池討論会予稿集, 1E25, p.325 (2010).

●著者プロフィール

氏名：竹野 和彦 Kazuhiko TAKENO
 所属：NTT ドコモ先進技術研究所環境技術
 研究グループ
 役職：主幹研究員
 趣味：ドライブ