

UPS における新型電池の評価・適用技術

Evaluation and Application Technology of New Batteries in UPS products

中澤 浩志 NAKAZAWA Hiroshi

濱田 一平 HAMADA Ippei

富士電機は、環境に配慮し、環境規制物質を使用した鉛蓄電池に替わる新型電池を搭載したUPSの開発を行っている。また、蓄電デバイスの開発も行っており、電気自動車やハイブリッド自動車へ搭載されているリチウムイオン電池の適用技術を、電池メーカーとの共同で検証している。新型電池として国内でも注目されているオリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の評価を行い、UPSへの搭載を検討した。また、同様の評価方法のマンガン酸リチウムイオン電池を搭載したUPSを製品化した。

In consideration of the environment, Fuji Electric is developing a UPS with a new type of battery to replace lead-acid batteries, which use environmentally regulated materials. We are also developing storage devices and investigating application technology for lithium-ion batteries installed in electric vehicles and hybrid cars in partnership with battery manufacturers. We evaluated olivine-type lithium iron phosphate batteries, which have received attention in Japan as a new type of battery, and are considering adding them to our UPS products. We also launched UPS products equipped with the manganate lithium-ion batteries by evaluating with the similar method.

1 まえがき

無停電電源装置（UPS）は、交流入力電源の変動にかかわらず安定した電源供給をするための装置で、高度情報化社会を支えるネットワーク機器を安定して運用するために、多数使用されている。UPSは、停電時に電力を供給するために、商用電源とは別のエネルギー源となる蓄電媒体として、鉛蓄電池を搭載しているのが一般的である。

富士電機は、環境に配慮し、環境規制物質を使用した鉛蓄電池に替わる次世代電池を搭載したUPSの開発を行っている。また、市場変化に迅速に対応するために、UPSに必要な変換回路の技術だけでなく、蓄電媒体の技術開発も行っている。

本稿では、鉛蓄電池に替わる二次電池としてリチウムイオン電池の適用技術を紹介し、また、新型電池として国内でも注目されているオリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の特性も報告する。さらに、製品例として、マンガン酸リチウムイオン電池を搭載したUPSを紹介する。

2 UPSを取り巻く環境変化と電池評価の必要性

自然災害やエネルギー不足が懸念される中、UPSは企業用途だけでなく一般家庭用途としても注目され、最近では家電量販店でも販売されるようになってきた。

一般的に、UPSは災害や予期せぬ事態による比較的短時間の停電に備えることを目的として使用される。一方で、計画停電対策として長時間のバックアップを行う目的でUPSを使用したいという要求が増えている。

このような状況において、リチウムイオン電池は環境規制物質を含まず、サイクル用途に優れ、長時間のバックアップが可能のため注目されている。

リチウムイオン電池は、正極材料をはじめ構成材料によってその特性が大きく変わる。

表1にリチウムイオン電池の正極材料による特性比較を、表2に小型UPS搭載用二次電池の特性比較をそれぞれ示す。

リチウムイオン電池は、ここ数年、発熱や発火などの事故が数多く報告されている。その原因は電池だけではなく、電池をコントロールする装置側にもあるため、リチウムイオン電池を搭載する装置として、安全性の確保が大きな課題となっている。

そのため、用途に合った電池を選択し、電池の特性を最大限生かしながら安全性を確保する装置設計が必要である。そのためには、電池を評価し、その特性を理解することが

表1 正極材料の特性比較

正極材料	マンガン系 LiMn ₂ O ₄	コバルト系 LiCoO ₂	ニッケル系 LiNiO ₂	三元系 LiNi/Co/ MnO ₂	りん酸鉄系 LiFePO ₄
構造	スピネル構造	層状構造	層状構造	層状構造	オリビン構造
公称電圧 (V)	3.7	3.7	3.5	3.7	3.2
放電位曲線	平坦	平坦	スロープ	スロープ	平坦
容量 (Ah/kg) [理論値/ 実行値]	148/ 110	274/ 150	274/ 190	278/ 160	170/ 150
熱分解温度 (°C)	355	225	180	300	400以上
熱安定性	○	△	×	○	◎
原材料費 (比率)	1/8	1	1/6	1/6	1/10
可採埋蔵量 (Mt)	680	4	47	4/47	83,000

表2 小型UPS搭載用二次電池の特性比較*

電池の種類	電極材料		電池容量	電圧 範囲	最大電流		使用 環境	サイクル 寿命 (20℃)	出力密度 電力密度	特 徴
	正 極	負 極			充 電	放 電				
電気二重層 キャパシタ	活性炭	活性炭	350 ~ 3,000F	0 ~ 2.5V	1,000A	1,000A	-20 ~ +70℃	100万回 以上	6,700 W/kg 4 Wh/kg	○0Vまで放電が可能 ○サイクル寿命が長い ○出力密度が高い →ピークカット用途
リチウム イオン キャパシタ	活性炭	炭素材料 (Liドープ)	1,000 ~ 2,000F	2 ~ 3.8V	100A	100A	-20 ~ +70℃	10万回 以上	3,300 W/kg 12 Wh/kg	○使用電圧が高い →直列接続数が少ない ○電池とキャパシタの中 間用途で使用 ○安全性が高い
リチウム イオン電池	リチウム 化合物	チタン酸 リチウム	4.2 Ah	1.5 ~ 2.8V	12CA	10CA	-30 ~ +50℃	6,000回 以上	1,250 W/kg 65 Wh/kg	○急速充電が可能 →短時間充電が可能 ○熱安定性が良い
	リチウム 化合物 (オリビン型 りん酸鉄)	炭素材料	3 Ah	2 ~ 3.6V	2CA	6CA	-20 ~ +60℃	5,000回 以上	113 Wh/kg	○材料コストが安い →安価な電池 ○安全性が高い
	リチウム 化合物 (スピネル型 マンガン酸)	炭素材料	3.5 Ah	2.5 ~ 4.2V	2CA	5CA	-20 ~ +50℃	5,000回 以上	2,380 W/kg 136 Wh/kg	○エネルギー密度が高い →長バックアップが可 能 ○使用電圧が高い →直列接続数が少ない
リチウム イオン (ポリマー) 電池	リチウム 化合物	炭素材料	4.7 Ah	2.5 ~ 4.2V	1CA	5CA	-20 ~ +50℃	5,000回 以上	158 Wh/kg	○ポリマーであるためエ ネルギー密度が高い ○高温での劣化特性が良 い ○温度・ハイレートでの 容量変化が少ない

*この表の内容は単セルの特徴を比較するために抜粋した参考数値である。

重要である。

③ UPS に要求される電池の特性と評価

UPS に要求される性能として、バックアップ時間や充電時間、寿命などが挙げられる。この性能を左右する電池の特性は、電池容量と最大放電レート、最大充電レート^(註)である。これらの特性により、UPS のバックアップ時間と充電時間が決定し、その電池の電池容量特性と最大放電レート特性は、環境温度、充電電圧、終止電圧、放電レートなどの条件によって変化する。つまり、これらの条件における電池の特性を把握することが、UPS の性能を最大限引き出すためには必要である。

富士電機では次の評価を実施し、UPS に最適な電池を選択し、高性能で安全性を追求したUPS の開発を行っている。

(1) 特性評価

環境温度、充電電圧、終止電圧、放電レート、充電レートなどをパラメータとして、電池の特性変化を確認し、UPS 設計の最適化を行う。

(2) 安全性評価

異常時の電池の安全性を確認し、UPS の対策や保護機能を決定する。

(3) 信頼性評価

〈注〉電池容量と放電レート・充電レート：260 ページ「解説2」参照

UPS の使用環境におけるサイクル劣化や保存劣化などの電池の劣化および電池の寿命を予測する。

④ オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の特性

オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池は、表1に示すように正極に鉄系の材料を使用しているため、一般的に使用されているコバルト材料のような資源的な制約を受けないので、新型電池として国内でも注目されている。

4.1 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の特徴と課題

オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池は、材料コストが安いだけでなく、400℃まで酸素放出や発熱がなく、熱安定性が良いことが大きな特徴である。なお、“オリビン型”とは、りん酸鉄の結晶構造がカンラン石（オリビン）と同じことからこのように呼ばれている。

表3に、オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の特長と課題を示す。オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池を搭載したUPSは、一般的なりチウムイオン電池に比べ、安全性に優れている。また、今後、計画停電に対応したUPSとして家庭に普及していく上での大きな課題の一つである低価格化に対応できる可能性がある。

4.2 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の特性評価

富士電機では、温度特性試験、放電特性試験、充電電圧による放電容量試験および充電特性試験を実施し、オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の特性の評価を行っている。

表3 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の特長と課題

	電池	電池使用上の留意点	UPS
特長	環境規制物質を使用していない	RoHS指令に対応	環境にやさしい
	材料的に熱安定性に優れている	オリビン型結晶構造で発熱しにくい	安全性が高い
	ハイレート特性が良い	放電電流に関係なく容量が一定	大容量放電での長時間バックアップ
	温度特性が良い	0℃、60℃での容量変化が少ない	低温でもバックアップ時間が低下しない
	放電カーブが平ら	容量予測が容易 終止電圧の設定で容量が変化しない	残りのバックアップ時間の予測が容易 UPSの設計が容易 (コンバータ制御範囲を狭く設定可能)
	充電末期に電圧が急上昇する	満充電および過充電の検出が容易	異常時の安全性が高い
	充電電圧で放電容量が変化しない	充電電圧を低く設定可能	UPSの充電器の設計が容易
	材料的な資源に制約がない	生産が安定 材料コストが安い	将来的に安定した供給を確保 低価格化が可能
課題	海外(中国)では主流	海外展開が容易 電池自体のコストが安い	グローバル対応が可能 低価格化が可能
	エネルギー密度が低い	セル電圧が低い(3.2V)	搭載電池数が多い(価格上昇の要因) 保護機能が複雑化(アンバランスの要因)
	放電スタート時のIRドロップが大きい	待機時の電圧低下が大きい 自己放電が大きい(試験調査中)	保存時の管理工数に影響

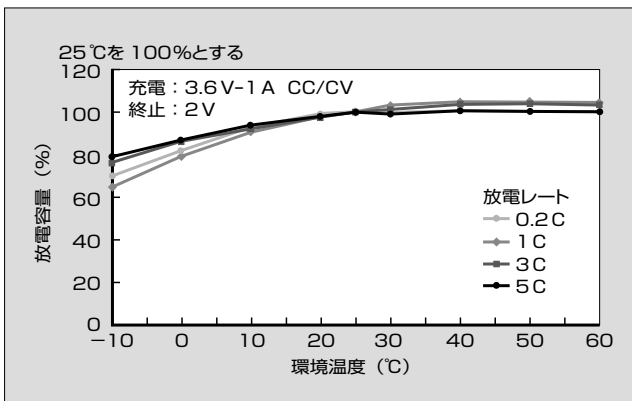


図1 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の温度特性

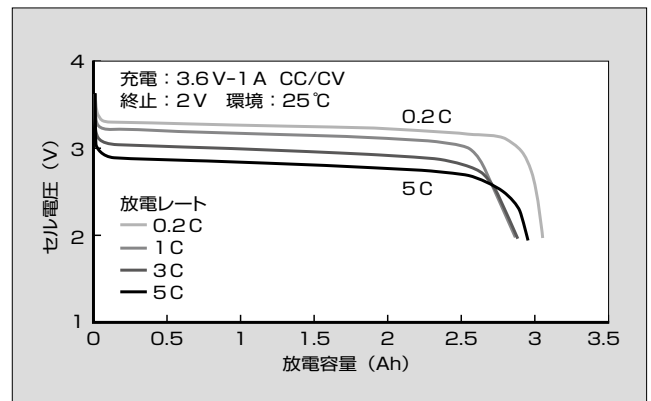


図2 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の放電特性

る。

3章で述べたとおり、UPSのバックアップ時間は電池容量に左右される。使用可能な電池容量は、使用環境温度、放電レート、終止電圧、充電電圧に大きく依存しており、それを特性試験で評価する。

(1) 温度特性

図1に、種々の放電レートにおける環境温度に対する放電容量の変化を示す。通常の屋内設置で使用されるUPSの最低環境温度(0℃)においても、全てのレートにおいて80%以上の容量を維持していることが分かる。鉛蓄電池を使用した通常のUPSは低温時のバックアップ時間が極端に短くなるため、仕様では25℃でのバックアップ時間しか保証していない。しかし、この電池であれば、使用環境が変化しても電池の放電容量の変化量が少ないため、安定したバックアップ時間が期待できる。

(2) 放電特性

図2に、種々の放電レートにおける放電容量の変化を示す。放電特性データから期待できる放電容量が予測できるので、電池の性能を判断するために欠かせない特性の一つである。定格容量は、0.2Cの条件での放電容量に相当し、

電池の定格容量は図より3.05 Ahであることが分かる。

一般に、放電レートを上げると、放電可能な容量は下がる。5Cまでのハイレート放電の条件でも定格容量に対して90%(約2.75 Ah)以上の容量を保持しており、ハイレート放電での特性が良いことが確認できる。したがって、UPSの負荷量が変化しても安定したバックアップ時間を確保できる。

(3) 充電電圧による放電容量特性

リチウムイオン電池は、充電電圧や保管時の電池の端子電圧および使用環境温度で劣化が進行し、電圧が高いほど劣化が加速するといわれている。よって、充電電圧をできるだけ下げることにより電池の劣化を低減し、電池の寿命を延ばすことができる。しかし、充電電圧を下げると当然放電できる容量が減りバックアップ時間も短くなってしまいうので、充電電圧によるバックアップ時間と寿命の関係はトレードオフの関係にある。

図3に充電電圧による放電容量に対するセル電圧の変化を示す。充電電圧(放電開始時の電圧)と終止電圧(放電を停止させる電圧)が変わると、放電可能な容量が変わる。図3は、放電容量の充電電圧に対する依存性を示しており、

この特性は、寿命も考慮した充電電圧の設定を行う上で重要なデータである。

図3より、推奨充電電圧の3.6Vから3.4Vまでの範囲で充電電圧を変化させた結果では、3.6Vから3.4Vまでの推奨充電電圧の範囲で充電すれば、充電電圧による放電容量の大きな変化はないことが分かる。そこで、充電電圧を3.4Vに下げた使用することにより、電池の劣化を低減することができる。

また、図2と図3ではともに放電カーブが平らであることならびに放電開始直後のIRドロップ（セル電圧降下）が大きいことが確認できる。これもオリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の材料的な特徴である。

放電カーブが平らなので、終止電圧をある程度上げてても放電容量に影響しない。終止電圧を上げ、放電深度を小さくすることで、電池の劣化を低減することができる。これは、電池の長寿命化にとっては大きなメリットである。

(4) 充電特性

図4に、種々の充電電流における充電電圧と充電電流の時間的変化を示す。

充電特性は、充電電流をパラメータとした特性で、充電時間や充電容量推移を確認できる。この特性により顧客の要求する充電時間から充電器の出力容量を算出できる。

オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の充電特性の特徴は、充電末期における急激な電圧上昇にある。この電圧上昇を満充電と判断することで、それまでの定電流充

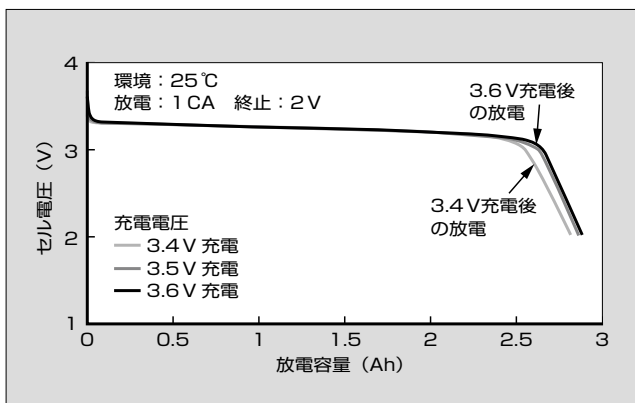


図3 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の充電電圧特性

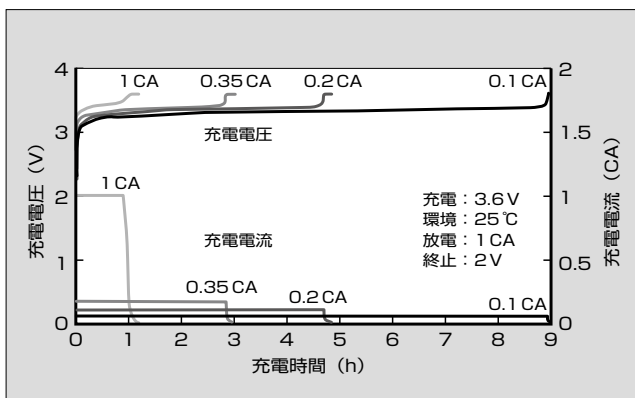


図4 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池の充電特性

電モードで、電池の95%に近い容量が充電できる。また、ほぼ満充電になるまでは、定電流充電の領域なので、充電レートから充電時間の予測が容易になることも装置設計としては大きなメリットである。

4.3 オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池搭載時の課題

オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池のセル電圧はコバルト酸やマンガン酸のリチウムイオン電池と比較して3.2Vと低い。その分低くなったエネルギー密度を補うため、搭載する電池数（直列接続数）が増える。このため、UPSの安全回路や電池ユニットの低価格化が課題である。

また、直列接続数が多いのでセル間のアンバランスも想定しておく必要がある。この点についてはアンバランスをBMS (Battery Management System) で解決していく予定である。

5 リチウムイオン電池の評価における課題と対策

オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池だけでなく、全てのリチウムイオン電池の課題には、安全性の評価・対策と、寿命の評価・予測の二つがある。

(1) 安全性の評価と対策⁽⁴⁾

リチウムイオン電池はセル電圧が高いため、電解液に非水系有機溶媒を使用している。これは「消防法」の危険物第四類第二石油類に属する引火性液体であり、灯油・軽油・キシレンなどと同類の液体である。よって、使用方法を誤ると発火する危険性があり、市場でも多数の事故が報告されている。リチウムイオン電池を搭載する装置には、この安全性の評価と対策が最重要課題である。

富士電機は、市場での事故が報告され始める前から、電池メーカーと共同で安全性の検証を進めており、共通する基本的な安全性基準を守り、それに独自の安全性基準を設けて、UPSとしての安全性を確保してきた。

最も重要なものは、セルの内部短絡に対する安全性と、過充電に対する安全性の二つである。

セルの内部短絡は、実際に市場で発生した事故原因の調査から、異物混入の一次要因と充電方法による二次要因が重なって発生したことが分かっている。内部短絡は電池本体の問題であるため、共同開発先の電池メーカーが対策を行うとともに、社内でも内部短絡の想定試験を実施し、使用セルの安全性の確認を行っている。

過充電に対する安全性は、装置メーカーに与えられた課題として認識しており、電池単体で安全性の評価や対策を行った。まず、過充電の挙動を知ることが装置の安全性を高めることになると考え、社内での安全性試験や電池メーカーからのアドバイスを得て、過充電の挙動やメカニズムを解析し、電池パックでの安全性を大幅に改善することができた。

図5に、対策後の電池パックの充電電圧と充電電流における熱暴走を起こす危険領域と安全領域を示す。充電器に異常が発生しても、この危険領域の下限に対して十分な

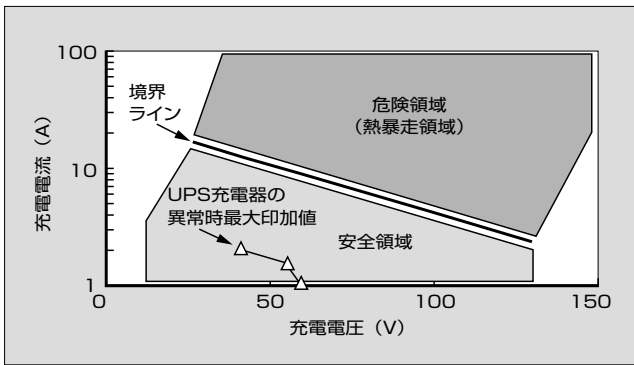


図5 リチウムイオン電池の安全領域

マージンを持っていれば、安全なUPSを提供できる。

BMSによる電氣的な保護は二次的な対策であり、リチウムイオン電池を使用した装置の場合は、電氣的な対策だけに頼らずに安全性のマージンを持たせた設計をすることが重要である。

(2) 寿命予測

二次電池の劣化の要因として、活物質自身の劣化、電極表面皮膜の成長、電解液の劣化などが考えられる。さらに劣化を加速させる要因として、セルの電圧、放電深度、使用環境温度、充放電回数、電池の使用期間などが関係する。装置の用途や使用条件に依存し、電池の材料によっても劣化の加速レベルが異なる。

このように多くの要因が絡み合う中で、劣化（寿命）を予測することは、大きな課題である。それぞれのメーカーで使用条件を絞って評価・推測しているのが実情である。

富士電機としても、UPSの使用条件を絞り込んで試験条件を明確にした上で、電池メーカーからのデータや、社内での寿命試験のデータを基に寿命予測を行っている。

今後も、予測精度を上げるためには、電池メーカーとの協力関係が不可欠である。オリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池を搭載したUPSは、上述の優位性や課題を踏まえて、現在製品化に向けて、さらなる評価を進めている。

〔6〕 リチウムイオン電池搭載UPSの事例

〔5〕章で紹介したオリビン型りん酸鉄リチウムイオン電池と同様の評価を行ったマンガン酸リチウムイオン電池を搭載した小型UPS（1.5kVA オンラインUPS）を製品例として紹介する（図6）。

表4は、鉛蓄電池とマンガン酸リチウムイオン電池を、UPSに搭載した際の比較結果である。

従来の鉛蓄電池に比べてバックアップ時間は約2倍、UPSユニットの質量は24%低減した。また、電池の寿命は8年以上で、メンテナンスフリーを実現した。さらに、長時間のバックアップに対応する場合を考慮して、本体の半分の厚さと半分の幅の増設バッテリーユニットも用意した。

従来の鉛蓄電池では安全性や質量の問題でバッテリーの増設数が制限されているため、長時間のバックアップには限界があった。一方、リチウムイオン電池では基本的に並列



図6 リチウムイオン電池搭載UPS（1.5kVA）

表4 鉛蓄電池とリチウムイオン電池比較

電池タイプ		鉛蓄電池	リチウムイオン電池
定格出力容量		1,500 VA/1,050 W	
定格出力電圧		100V (110V, 120V)	
給電方式		常時インバータ	
外形		432×87×494 (mm) (2U)	
バックアップ時間 (25℃)		6分	11分 (83%増)
質量	UPSユニット	22.5kg	17.0kg (24%減)
	バッテリーユニット	11.3kg	5.9kg (48%減)
電池交換期間 (25℃)		4.5年	8年以上 (メンテナンスフリー)

接続数に制限がなく小型・軽量であることから、UPS本体に増設バッテリーを接続することができ、長時間のバックアップが可能となった。

〔7〕 あとがき

UPSにおける新型電池の評価・適用技術について紹介した。東日本大震災によりエネルギーの在り方や使い方について、身近な問題として企業だけでなく家庭でも考える時期がきている。このような環境の急激な変化で、停電時でも安定して電力を供給できるUPSが、社会に貢献できる役割は大きいと考える。そのためにも、今後はよりいっそう安全と安心を提供できるUPSの開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 内海和明. “次世代自動車用リチウムイオン電池”. <http://www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor28/mr2807.pdf>. (参照 2011-12-26)

- (2) 芳尾真幸, 小沢昭弥, リチウムイオン二次電池. 材料と応用. 第二版. 日刊工業新聞社. 2004.
- (3) 世界の金属資源の生産量と埋蔵量. http://home.hiroshima-u.ac.jp/er/A_Japan_Sea/A3.PDF. (参照 2011-12-26).
- (4) 中澤浩志. 特集 最近の蓄電池利用の動向6「無停電電源装置と蓄電池」. 電気設備学会誌. 2009, vol.29, no.9, p.735-738.



中澤 浩志

無停電電源装置の要素技術開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部筑波工場設計部主任。



濱田 一平

無停電電源装置の要素技術開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部筑波工場設計部。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。