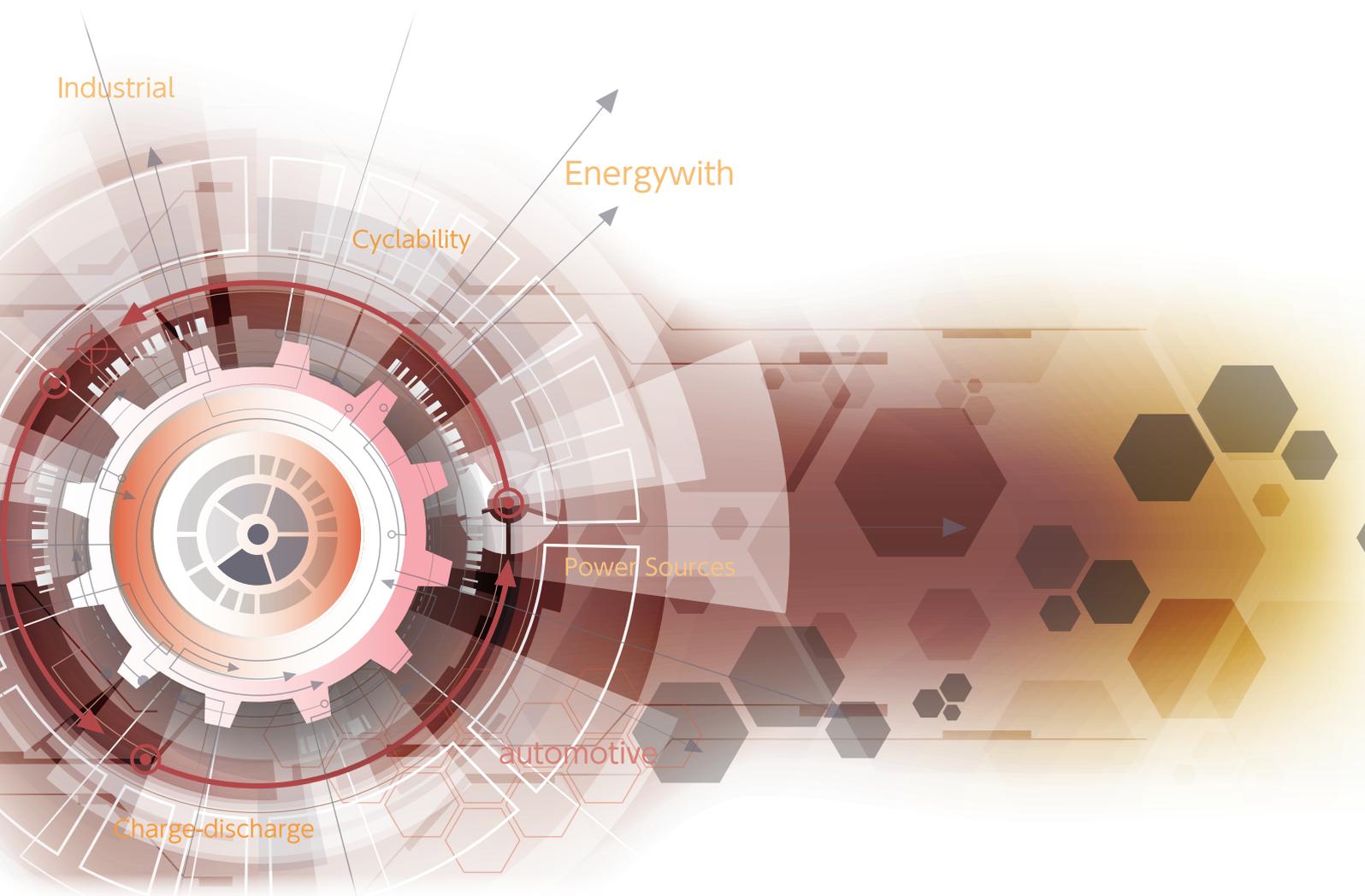


Energywith Technical Report

第2号 / 2024.05



Energywith Technical Report

第2号 / 2024.05



巻頭言

- エナジーウィズテクニカルレポート巻頭挨拶 4
代表取締役 社長執行役員 吉田 誠人

寄稿

- グラフェンライクグラファイトを用いたデュアルイオン電池の開発 6
兵庫県立大学大学院工学研究科 松尾 吉晃

技術レポート

- 風力発電所で稼働するLL電池の寿命予測に向けた
探索的データ分析等の手法による運用データの分析 11
長谷川 馨・保坂 大祐・柴原 敏夫・田村 宜之
事業戦略統括部 先端技術研究開発センター
- COS工程の画像検査技術の確立 15
大野 真秀
自動車電池事業部 埼玉事業所 生産技術部
- A new DIN-Type Traction Battery 18
Warakorn Suriyatun・Pratan Pongphongpoon・Chakkapan Sangkaew・Muneyoshi Noda
Research and Development Section Engineering Department Thai Energy Storage Technology PLC.
- 電動フォークリフト用電池状態監視サービス “withBMS” 22
工藤 彰彦・早田 幸嗣
新事業統括部 監視システム事業推進グループ

CONTENTS

Commentary

- EW Technical Report 4
Masato Yoshida

Contribution

- Development of Dual-Ion Battery Using Graphene-like Graphite 6
Yoshiaki Matsuo

Report

- Analysis of operating data of LL batteries at wind power plants
by using exploratory data analysis and other analyses for their life prediciton 11
Kei Hasegawa . Daisuke Hosaka . Toshio Shibahara . Noriyuki Tamura
- Development of algorithm for image inspection of COS (Cast On Strap) process 15
Masahide Ohno
- A new DIN-Type Traction Battery 18
Warakorn Suriyatun . Pratan Pongphongpoon . Chakkapan Sangkaew . Muneyoshi Noda
- “withBMS”, the battery monitoring service of
lead acid batteries for electric folklifts 22
Akihiko Kudou . Koji Hayata



代表取締役
社長執行役員

吉田 誠人

エネルギーウィズ テクニカルレポート 巻頭挨拶

エネルギーウィズ(以下EW)が発足し、2年が経過しました。EWの発足に伴い制定した企業理念である「エネルギーウィズは、蓄電池に新しい知恵を足し、品質にこだわり、『任せていただける提案型蓄電ソリューション企業』として、人々に安心安全を提供します」に則り、事業運営を推進しております。また、常に意識する項目として「性能」、「品質」、「営業力」を挙げ、これらの項目を日々、全従業員と共にブラッシュアップしていくことを心掛けております。本テクニカルレポートは、上記項目の「性能」、「品質」に関する成果を皆さんにご披露する機会と捉えております。

EWの投稿論文4件の中で3件は、DX(デジタルトランスフォーメーション)を活用した技術開発内容です。今から10数年前にある金属材料メーカーの技術発表会に出席する機会を得ました。サブテーマは、CAE(Computer Aided Engineering)を活用した技術開発でした。CAEとは、主に工業製品の設計や開発において、製品に関わるさまざまな物理現象をコンピュータ上でシミュレーション、技術計算、解析を行うための手法、あるいはそのためのシステムやツールなどを指します。その発表会では、大型の自動車用部品を実際には試作せずにコンピュータ上で設計・試作し、その耐久性をシミュレートし、顧客認定を得たという内容があり、唯々、驚きました。化学材料の世界では、漸く過去データを活用して最適材料組成の推定ができるようになった時期でしたので、衝撃でした。発表会の最後に社長から「技術開発はものつくりの為にあり、社長が率先して新技術革新をドライブしていきます」という内容の総括がありました。EWグループは、発足当時、残念ながらまだまだアナログ的技術開発が主流で、知は個人に蓄積しているという状況でした。上述のように「社長が率先して改革を進める」という言葉に倣い、統計解析ツール活用の外部専門家の支援の下、まずは「品質」改善のテーマから取り組みました。大きな歯車を廻すには最初に大きな力が必要ですが、廻り始めると加速度的に速度を増します。正にEW技術陣のDX活用の進歩はその歯車の様を成し、本レポート内容

の成果として結びつきました。まだまだ道半ばの状況で、蓄電池の売り切り事業から蓄電池の知を価値として提供する蓄電ソリューション事業への転換にはDX活用は必須項目であり、更なる進化を続けたいと思います。

「COS工程の画像検査技術の確立」は、DX活用による品質改善に効果のある内容です。EWグループ拠点共通の課題であり、今後のグループ内展開を図って参ります。「電動フォークリフト用電池状態監視サービス」は、顧客運用時の蓄電池のさまざまな状態を検知・監視し、その内容を顧客に提供するサービスです。これにより蓄電池の運用状態(補水・充電)を可視化し、顧客に改善提案を提供することができ、正に蓄電池売り切り事業から蓄電ソリューション事業への転換に必須の技術開発内容です。「LL電池の風力発電所運用データに対する探索的データ分析」は、顧客に蓄積したビックデータを用い、機械学習を活用した「探索的データ分析;EDA」にて蓄電池寿命に影響する因子抽出方法を見出しました。本技術は、システムの劣化状態をリアルタイムに取得し、顧客のニーズと蓄電池寿命の保全を同時に満たす蓄電ソリューションへの展開が期待できます。

新製品開発としては、タイのグループ会社であるTES(Thai Energy Storage Technology PLC.)から「A new DIN-Type Traction Battery」と題する報告内容を掲載しました。DIN規格(ドイツ規格)の蓄電池が東南アジアで拡大しつつあります。TESでは、EWグループ保有のJIS規格の蓄電池技術を活用し、本新製品上市を実現しました。DIN規格の世界シェアは60%であり、本技術がTESの事業拡大に貢献することを期待します。

本巻では、兵庫県立大学大学院工学研究科の松尾先生に「グラフェンライクグラファイトを用いたデュアルイオン電池の開発」と題して新規蓄電池の研究内容について寄稿していただきました。グラファイトは、リチウムイオン電池の負極材としても用いられる材料で、本研究では、グラフェンの処理条件を工夫することでグラファイトに無い構造を作り、正・負極とも炭素材料を使うという画期的な技術です。先生のご指摘の通りで資源リスクが低い事は重要な要素です。また、炭素材料という軽くて安価な材料という点も魅力です。この度はEWのテクニカルレポートに貴重な研究内容を寄稿していただき感謝申し上げます。EWも松尾先生を始め、外部の先生方のご支援をいただきながら、循環型社会・低炭素社会に貢献し得る新規蓄電池の開発も進めて参ります。

このテクニカルレポートを通して、EWが目指す方向性をご理解いただけますように努めて参りますので、引き続きご指導をよろしくお願い致します。

グラフェンライクグラファイトを用いたデュアルイオン電池の開発

Development of Dual-Ion Battery Using Graphene-like Graphite

松尾 吉晃 Yoshiaki Matsuo

兵庫県立大学大学院工学研究科

1 概要

黒鉛を酸化して得られる酸化黒鉛を熱処理すると、酸素及びナノ孔が導入されたグラフェンが黒鉛と同様に規則的に積層した炭素材料となる。このグラフェンライクグラファイトと名付けた材料は低い上限電圧で黒鉛よりも大きなアニオン挿入脱離容量を示すが、これは酸素の導入により新しい電子状態が形成されるためであることを見出した。また、これを両極の活物質に用いたデュアルイオン電池を構築したところ、負極のプレサイクルを行うことで充放電がスムーズに進行するようになり、 66 mAh g^{-1} の可逆容量を得ることができた。電極当たりのエネルギー密度は 124 Wh kg^{-1} だが、今後の改良により 300 Wh kg^{-1} 程度にまで達することが期待される。

The thermal treatment of graphite oxide provides carbon materials consisting of regularly stacked graphenes possessing oxygen atoms and nano-pores. We named these materials as graphene-like graphite (GLG) and used as the active materials of dual-ion batteries (DIB). The reversible capacity of GLG as the cathode of DIB reached 147 mAh g^{-1} with a low upper limit potential of $4.8 \text{ V vs Li}^+/\text{Li}$. The theoretical calculations indicated that it is ascribed to the newly emerged bands. The charge-discharge reactions of DIB using GLG as both anode and cathode successfully occurred when anode was precycled and 66 mAh g^{-1} of reversible capacity was achieved. At this moment, the energy density was calculated to be 124 Wh kg^{-1} , however, further investigation would improve the performance and more than 300 Wh kg^{-1} of energy density would be expected.

2 はじめに

近年、地球温暖化をはじめとする環境問題の解決が急務であり、このためには経済社会システム全体の変革(GX: グリーントランスフォーメーション)が必要となっている。そのうちの一つが自動車の電動化であり、これにより化石燃料の使用量の大幅な削減が可能となる。自動車の電動化は現在急速に進行しつつあるが、この流れをさらに加速するには現行の電動車に搭載されている液系のリチウムイオン電池(LIB)のさらなる高性能化や、次世代電池と目されている全固体LIB、更にはポストLIBである革新型蓄電池の開発の推進が必要である。また、近年では天然資源類の調達リスクも増していることから、ポストLIBの蓄電池に用いられる構成材料は安価で、原材料調達リスクが低いことも求められるようになってきている。このような流れから、高エネルギー密度、高耐久・長寿命、高安全性であることに加えて資源リスクが低く、環境負荷も小さな蓄電池として、亜鉛負極電池、フッ化物シャトル電池の開発が経産省の電気自動車用革新型蓄電池開発(RISING3)にて、ナトリウムイオン電池、マグネシウム電池などの開発がJSTの革新的GX技術創出事業(GteX)にて国を挙げて進められている。

一方、我々は以前より、黒鉛を酸化することによって得られる酸化黒鉛(GOと略、最近では酸化グラフェンと呼ばれることが多い)を熱処理することで得られる炭素材料のLIBへの応用を検討してきた。炭素は比較的資源リスクが低く軽量で導電性を示すことからこれらの革新型蓄電池の活物質としての応用を検討している。本稿では、この「グラフェンライクグラファイト」(GLGと略)と名付けた炭素材料を用いたデュアルイオン電池の開発について紹介する。

3 GLGについて

GOは1850年代に初めて合成された炭素層面にヒドロキシ基やエポキシ基等が導入された共有結合性黒鉛層間化合物の一種であるが、溶液中で単層にまで剥離させることができることから、近年ではグラフェンの前駆体として盛んに研究されている。このGOの酸素官能基は、真空もしくは不活性雰囲気下での加熱や還元剤との反応により除去することができる。加熱による還元の際に、急速に昇温すると試料が膨張してしまうが、昇温をゆっくりと行うと原料の黒鉛と同様の積層構造を保ちながら、炭素層面に酸素やナノ孔が導入された炭素材料が得られる。この材料の合成は古くから行われていたが、我々は1998年にこれをリチウムイオン電池負極として用いた場合に特異なリチウム挿入・脱離挙動を示すことを見出し¹⁻³、現在ではこの炭素をGLGと名付け⁴、リチウム電池負極^{5,11}だけでなくその他の蓄電デバイス(ナトリウムイオン電池^{12,13}、デュアルイオン電池¹⁴⁻¹⁶、フッ化物シャトル電池¹⁷、亜鉛負極電池)の活物質としても検討している。

Fig.1に各種分光法による分析と理論計算結果をもとに提案しているGLGの構造モデルを示す⁴。酸素はC-O-Cの形で向かい合わせの位置に導入されており、1-5 nm程度のナノ孔の周辺にはO-C=Oを含むラク톤の形で存在するものと考えている。GOを還元して得られる炭素はrGOとも呼ばれ、広く検討されているが、多くの場合層の剥離が進み表面積も大きなものが多い。これに対してGLGは表面積が小さく黒鉛とほぼ同じ形態を有しているため、黒鉛とほぼ同様に扱うことができるといった特徴もある。GLGの元素分析により決定される酸素量は300°Cでは10%程度であるが熱処理温度の上昇とともに減少し、1000°C以上では酸素は検出されなくなる。また炭素層間の距離は300°Cでは0.4 nmと大きく、熱処理温度とともに減少し、900°C付近で黒鉛と同じか小さくなった後少し増加することが分かっている。

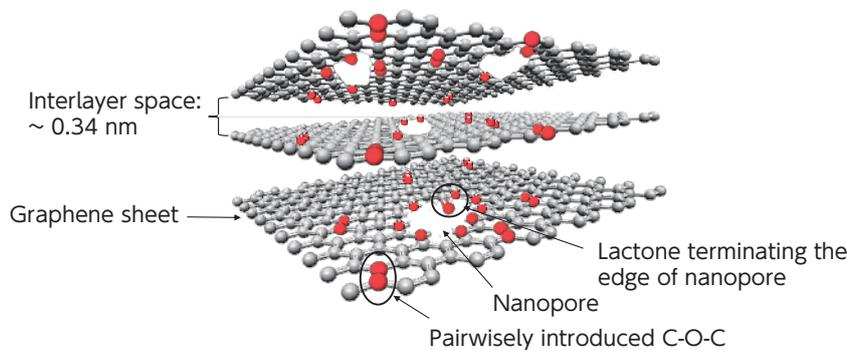


Figure 1. A structure model of graphene-like graphite Reproduced from Ref.4 Copyright The authors

4 デュアルイオン電池について

デュアルイオン電池は、1989年に発明された電池で正極にアニオン、負極にカチオンを貯蔵することで作動する電池である^{18,19}。黒鉛が両極の活物質として用いられる場合が多かったことからデュアルカーボン電池ともいわれるが、近年では正負極とも様々な材料が検討されるようになってきている。リチウム系電解液を用い黒鉛を両極に用いる場合、負極ではリチウムイオン電池の場合と同様にリチウムイオンの挿入脱離が起こり、飽和組成は LiC_6 で理論容量は 372 mAh g^{-1} である。一方、正極ではアニオンの挿入脱離が起こり、飽和組成は PF_6^- イオンの場合 C_{20}PF_6 と見積もられ、この場合容量は 112 mAh g^{-1} と現行のリチウムイオン電池の正極の容量よりも小さい²³。加えてこの容量を得るには5 V vs Li^+/Li 程度の充電電圧が必要であるため、電解液の選択にも制限がある。このため、より低い電位で充電できるさらに高容量の正極が望まれていた。

5 グラフェンライクグラファイトのデュアルイオン電池正極特性¹⁴

Fig.2に700°Cで合成したGLGの3M LiPF_6 -エチルメチルカーボネート中で定電流充放電を行った時の充放電カーブを黒鉛のものとともに示す。黒鉛では充電が4.7 V付近から始まり、4.8 Vを上限電位とした場合の容量が 50 mAh g^{-1} であるのに対して、GLGでは4.3 V付近から進行し 150 mAh g^{-1} に達した。放電時には、電圧が直線的に低下して2.0 Vでの放電容量は黒鉛の約3倍の 137 mAh g^{-1} に達した。初回のクーロン効率は91%と比較的高かった。充放電時の構造変化をX線回折測定によって調べたところ、黒鉛と同様にステージ構造を形成しながら PF_6^- イオンが層間に貯蔵されており、4.6 Vにおいてすでにすべての層間に PF_6^- イオンが挿入されていることが明らかとなった。黒鉛の場合この電位では炭素層1層おきにしか PF_6^- イオンは挿入されておらず、これが容量の大きな差につながったものと分かった。一方、放電時には2.0 Vまで放電した後でも完全に

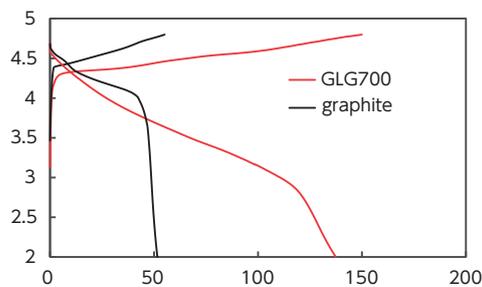


Figure 2. Charge-discharge curves of GLG700 and graphite electrodes. Reproduced from Ref.14 Copyright The authors

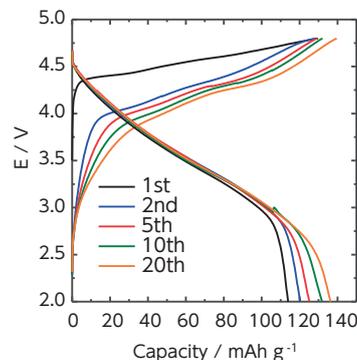


Figure 3. Charge-discharge curves of GLG700 electrode. Reproduced from Ref.14 Copyright The authors

は元の構造には戻らず、少量のPF₆⁻イオンが層間に残存していることも明らかとなった。Fig.3にサイクル特性を示す。充電電位がサイクルに伴って徐々に低下するとともに、放電時の2.5 V以下の容量が増加し、20サイクル後には147 mAh g⁻¹に達した。X線回折測定によると充電後の炭素層の面間隔が徐々に増加していたことから、サイクルに伴ってより深く充電できるようになったことが示唆された。

上述の通り、GLGの酸素含有量や炭素層間の距離は合成温度により変化する。また、GOの合成方法を変えることでも変化させることが可能である。このようにして種々の炭素層間の距離(0.332-0.377 nm)、O/C比(0.001-0.103)を有するGLGを合成して充放電測定を行った。Fig.4に1サイクル目の放電容量を酸素含有量に対してプロットしたものを示す。容量は酸素含有量の増加に伴って急激に増加した後、減少する傾向を示した¹⁵。

種々のGLGの電子状態を密度汎関数法により計算したところ、フェルミ準位付近に黒鉛では見られない新たな状態が現れた。このことはGLGから電子を除くために必要なエネルギーが小さいことを示しており、これがアニオンの挿入が容易になって容量が増加した要因であるとわかった²¹。

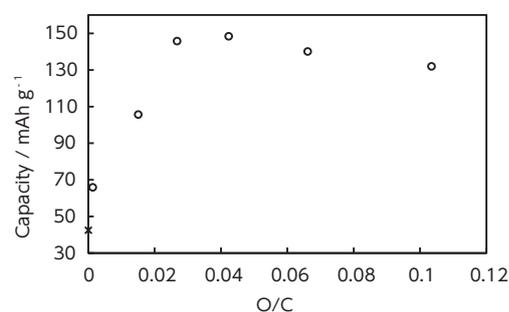


Figure 4. Relationships between capacity of GLG O/C ratio. Reproduced with permission from Ref.15 Copyright 2022 John Wiley and Sons.

6 グラフェンライクグラファイトを両極に用いたデュアルイオン電池の特性¹⁶

GLGはリチウムイオン電池負極として用いた場合、黒鉛よりも大きな容量に加え優れた入出力特性を示すとともに、急速に充電した際の金属リチウムの析出が起りにくいことから安全性も高い材料であることがわかっている。GLGの容量は酸素含有量によって変化し酸素量が10.5%程度のもものでは670 mAh g⁻¹に達するが、ここでは、正極で用いるものと同じ、700°Cで処理して得た酸素量が5%程度のGLGを用いた。Fig.5に電解液に3M LiPF₆-EMCを用いた場合の充放電カーブを示す。充電時には2 V付近で電圧変化の小さな平坦部が短く見られたのちに、3.8 V付近にも同様の平坦部が見られ、充電容量は58 mAh g⁻¹であった。一方、放電時には3 V付近から電圧は急激に低下し放電容量は5 mAh g⁻¹と小さかった。この時の正・負極の電位は、正極が4.5 V程度でアニオン挿入が起る領域に達していたのに対して、負極は2.5 Vと0.9 Vに平坦部を示しリチウム挿入電位に到達しておらず、負極上で何らかの副反応が生じていることが分かった。しかしながら2.5 V付近の平坦部は、負極単独で充放電を行った場合にはみられないことから、正極で生じた生成物が移動して負極で反応する副反応によるものと考えられた。実際、正極表面のSEMによる観察で堆積物が確認されこれが裏付けられた。

そこで、負極側にあらかじめ副反応を抑制する被膜を形成しておけば、この現象を防ぐことができると考え、負極の

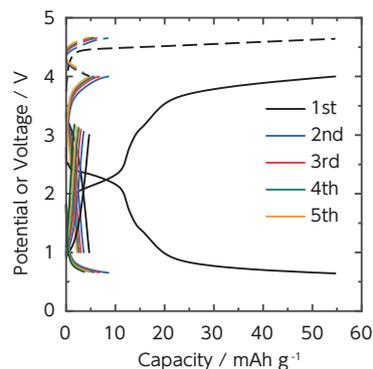


Figure 5. Charge-discharge curves of the full cell with lithium metal reference electrode in 3 mol dm⁻³ LiPF₆/EMC. The bold lines indicate voltage curves of full cell(cathode vs. anode). The dashed and thin lines indicate potential curves of cathode and anode vs. lithium metal reference electrode, respectively. The cathode/anode weight ratio was 3.3. The capacity is divided by the active material weight of the cathode. Reproduced from Ref.16 Copyright The authors

プレサイクルを行ってからフルセルの充放電を行った。これをFig.6に示す。なお、ここでは、正極の充電電位がより低い300°Cで合成したGLGを用いた。この結果、初回充電時に低電圧領域で見られたプラトーは観測されなくなり、充放電がスムーズに進行するようになった。点線で示すそれぞれの極の電位も単極で評価した際と同様の変化を示し、上限電圧を4.6 Vとした場合には放電容量が正極の重量当たりで66 mAh g⁻¹に達した。従って、平均電圧2.5 Vおよび正負極の重量比より電極当たりのエネルギー密度は124 Wh kg⁻¹となる。この値は大きなものではないが、正・負極の容量としては最大でそれぞれ150 および670 mAh g⁻¹が得られている^{6,15}ことから、さらに改良を重ねることで300 Wh kg⁻¹にまで達することが期待できる。これらの結果はGLGを両極として用いたデュアルカーボン電池が高入出力で安全性の高い次世代の蓄電池として有望であることを示すものである。

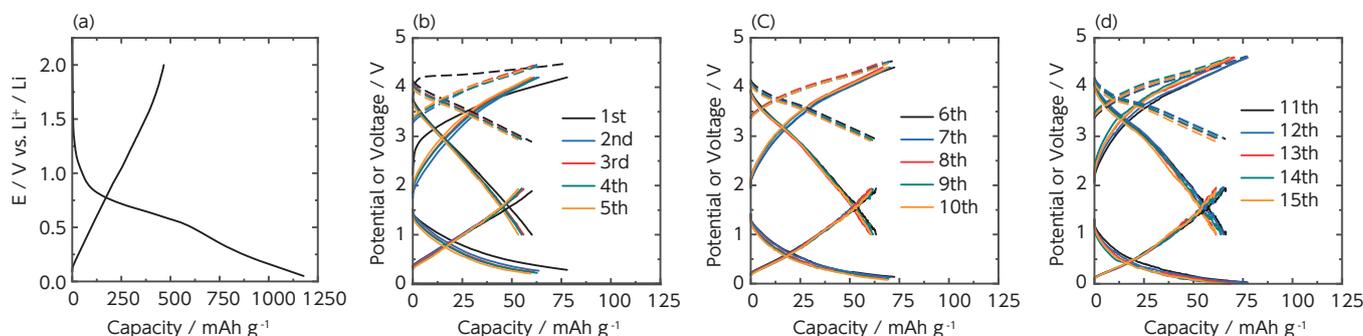


Figure 6. Charge-discharge curves of the full cell with lithium metal reference electrode in 3 mol dm⁻³ LiFSA/EMC. The weight ratio of cathode and anode was 3.4.(a): Charge-discharge curves of GLG700 anode during precycling. (b), (c), and (d): Charge-discharge cycles of the full cell. The bold lines indicate voltage curves of full cell(cathode vs. anode). The dashed and thin lines indicate potential curves of cathode and anode vs. lithium metal reference electrode, respectively. Upper limit of cut-off voltage was set at 4.2V(b), 4.4V(c), and 4.6V(d) vs. Li⁺/Li. The capacities in(b), (c) and (d) are divided by the active material weight of the cathode. Reproduced from Ref. 16 Copyright The authors.

7 結言

以上のように、GLGはカチオンとアニオンの両方が黒鉛よりも挿入脱離しやすいだけでなくその量も多いため、デュアルイオン電池の電極として優れていると言える。不可逆容量の低減やGLGの工業生産法の確立など実用化にはまだまだ解決すべき点が多いが、これらに取り組んでゆき、GLGを用いた蓄電デバイスの実用化に貢献出来たらと考えている。今回のテクニカルレポートには、GXやDXを実現する蓄電ソリューションの技術がいくつか記載されているが、2でも述べた通りGLGには様々なイオンの貯蔵が可能であり、将来GLGを用いた次世代電池が、この蓄電ソリューションの中心で活用されることを期待したい。

8 謝辞

本稿で述べた結果は、兵庫県立大学大学院工学研究科の稲本純一助教、稲生朱音特任助教および学生諸氏との共同研究により得られたものである。また、本研究の一部は学術変革領域研究(A)(JP21H05237)の支援を受けた。記して感謝する。

【参考文献】

- 1) Y. Matsuo, et al : "Electrochemical intercalation of lithium into pyrolytic carbon from graphite oxide", *Electrochemistry*, vol. 66, pp. 1288-1290 (1998)
- 2) Y. Matsuo, et al : "Preparation, structure and electrochemical property of pyrolytic carbon from graphite oxide", *Carbon*, vol. 36, pp. 301-303 (1998)
- 3) Y. Matsuo, et al : "Pyrolytic carbon from graphite oxide as an anode of lithium-ion cells in 1M LiClO₄-propylene carbonate solution", *Electrochemical and Solid State Letters*, vol.1 pp. 204-206 (1998)
- 4) Q. Cheng, et al : "Graphene-Like-Graphite as Fast-Chargeable and High-Capacity Anode Materials for Lithium Ion Batteries", *Sci. Rep.*, vol. 7, 14782 (2017)
- 5) Y. Matsuo, et al : "Electrochemical properties of nitrogen-doped carbons prepared by the thermal reduction of furfurylamine-intercalated graphite oxide", *Tanso*, vol. 281, pp. 2-7 (2018)
- 6) Y. Matsuo, et al : "Effect of oxygen contents in graphene like graphite anodes on their capacity for lithium ion battery", *J.*

- Power Sources, vol 396, pp. 134-140 (2018)
- 7) Y. Matsuo, et al : “Electrochemical intercalation behaviors of lithium ions into graphene like graphite”, J. Electrochem. Soc., vol 165, pp. A1-A6 (2018)
 - 8) J. Inamoto, et al : “Effects of Pre-Lithiation on the Electrochemical Properties of Graphene-Like Graphite”, Electrochemistry, vol 87, pp. 260-264 (2019)
 - 9) S. Uchida : “Graphene-like graphite negative electrode rapidly chargeable at constant voltage”, J. Electrochem Soc, vol 167, 110518 (2020)
 - 10) J. Inamoto, et al : “Insight into the Origin of Rapid Charging Ability of Graphene-Like Graphite as a Lithium-Ion Battery Anode Material Using Electrochemical Impedance Spectroscopy”, J. Phys. Chem., C, vol 126, pp. 16100-16108 (2022)
 - 11) J. Inamoto, et al : “Synthesis of a flexible self-standing graphene-like graphite thin film and its application to an anode material for a thin-film all-solid-state lithium-ion battery”, Carbon Reports, vol 1, pp. 142-146 (2022)
 - 12) Y. Matsuo, et al : “Pyrolytic carbon from graphite oxide as a negative electrode of sodium ion battery, Journal of Power Sources”, vol. 263, pp. 158-162 (2014)
 - 13) Y. Matsuo, et al : “Electrochemical intercalation of sodium ions into thermally reduced graphite oxide”, Electrochemistry, vol 83, pp. 345-347 (2015)
 - 14) J. Inamoto, et al : “Graphene-like graphite as a novel cathode material with a large capacity and moderate operating potential for dual carbon batteries”, J. Inamoto, K. Sekito, N. Kobayashi, Y. Matsuo, J. Electrochem. Soc. Vol 168, 010528 (2021)
 - 15) Y. Matsuo, et al : “Factors Affecting the Electrochemical Behaviors of Graphene-Like Graphite as a Positive Electrode of a Dual-Ion Battery” ChemSusChem, e202201127 (2023)
 - 16) J. Inamoto, et al : “Promise of dual carbon batteries with graphene-like graphite as both electrodes”, Carbon, vol 216, 118512 (2024)
 - 17) A. Inoo : “Electrochemical Introduction/Extraction of Fluoride Ion into/from Graphene-Like Graphite for Positive Electrode Materials of Fluoride Shuttle Batteries” ACS Appl. Mater. Interfaces, vol 14, pp. 56678-56684 (2022)
 - 18) F. P. McCullough, et al : “Secondary battery”, US Patent 4830938, 1989.
 - 19) P. Francis, et al : “Secondary electrical energy storage device and electrode therefor”, US Patent 4865931, (1989)
 - 20) J. A. Read : “In-Situ Studies on the Electrochemical Intercalation of Hexafluorophosphate Anion in Graphite with Selective Cointercalation of Solvent” J. Phys. Chem. C, vol 119, pp. 8438-8446 (2015)
 - 21) J. Inamoto, et al : “Elucidating the Origin of the Low Anion Intercalation Potential of Graphene-like Graphite : A DFT Study” J. Phys. Chem. C, vol 127, pp. 9481-9488 (2023)

風力発電所で稼働するLL電池の 寿命予測に向けた探索的データ分析等の 手法による運用データの分析

Analysis of operating data of LL batteries at wind power plants
by using exploratory data analysis and other analyses for their life prediction

長谷川 馨 Kei Hasegawa 保坂 大祐 Daisuke Hosaka
柴原 敏夫 Toshio Shibahara 田村 宜之 Noriyuki Tamura
事業戦略統括部 先端技術研究開発センター

1 概要

産業用大型鉛電池「LL1500-Wシリーズ」は、風力発電所の変動緩和運転を目的に開発され、2010年以降複数の導入先で稼働するとともに、その運用データが蓄積されている。運用データを分析してその寿命を予測する技術は、当社の「蓄電ソリューション事業」における主要技術の一つであり、近年急速に発展しているAIを活用したデータ分析が欠かせない。今回、LL1500-Wの大規模蓄電システムの運用データを探索的データ分析等により解析し、電池寿命の予測や寿命に影響する要因に関する知見を得た。

Our "LL1500-W series" large-size lead-acid battery was developed for load leveling in wind power plants. These batteries have been widely used in many plants, and their operational data have been accumulated since 2010. Battery life prediction by analysing the data is one of the main technologies to manage our "energy storage solution business". Data analysis using AI, which have been developing rapidly in recent years, is essential for the technology. In this study, we analyzed the operational data of the LL1500-W's large-scale energy storage system by using exploratory data analysis and other analyses to obtain information about the battery life prediction and factors affecting the battery life.

2 技術の特長

- ・9か所の風力発電所で稼働する蓄電システムの運用データおよび点検データを基に、電池寿命を予測し、寿命に影響する要因を抽出する方法を確立
- ・複数の機械学習手法を活用した探索的データ分析を活用
- ・電池の劣化状態をリアルタイムに取得し、蓄電システムの運用に対するユーザーのニーズと電池寿命の保全を同時に満足する蓄電サービスに展開可能

3 開発の経緯

当社は、従来の蓄電池製造販売を発展させ、蓄電池に新たな知恵を加えて顧客にとっての付加価値を高める事業と定義した「蓄電ソリューション事業」への転換を志向している¹⁾。電動車用電池状態監視サービスや、再エネ蓄電池システムといった事業を開始しており²⁾、実使用環境でのデータ活用は、蓄電ソリューション事業の技術基盤の一つである。

産業用大型鉛蓄電池「LL1500-W」は2009年に大規模風力発電所の変動緩和用途として採用されて以降、複数の導入先で稼働中である。現在当社では、実使用環境での電池状態の分析のため、顧客から運用データの共有と分析の許諾を得て、分析に基づいた寿命予測やメンテナンスの効率化、寿命を延伸する運用提案に向けた開発を進めている。

近年のAI技術の進展や社会システムの変革に伴い、デジタルトランスフォーメーション(DX)への適応が必須な中、プログ

ラミングを含む専門知識を要せずに誰もが高度な技術にアクセスできる「AIの民主化」の概念が認知され始めており³⁾、当社でも各種業務の中でデータを収集してそれら技術の活用を開始している。多種多様なデータを視覚的に分析して変数間のさまざまな潜在的関係(気づき)を見出す「探索的データ分析(EDA)*」は、蓄電池に新しい知恵を加える「蓄電ソリューション事業」開発の第1ステップに位置づけることができる。EDAを実施する上では、蓄電池やその利用法に関する知識と、統計やAIを基礎としたデータ分析の技術を兼ね備えることが望ましく、「AIの民主化」の恩恵が特に大きい。当社は、多様な統計/AI分析をノーコードで実施でき、複数の分析結果を視覚的に比較できる、EDAに適した特徴を有する統計解析ツール「JMP®」⁴⁾を導入し、全社的なデータ活用をDXの主要施策として推進している。

本報告では、複数の風力発電所に導入したLL1500-Wの定期点検で寿命期待値を下回る電池を回収し、顧客から共有された運用データの分析結果と総合してその劣化要因を抽出した際、運用データに対しEDAを含むいくつかの分析を実施し、電池寿命の予測や寿命に影響する要因に関して得られた知見を紹介する。

4 技術内容

分析対象は表1に示すLL1500-W(WS, G)を導入した9か所の風力発電所のデータで、年1回-数回実施する定期点検で得られた電池個々の待機電圧データと、組電池(192直×2並または288直×2並、電池は4段積み)に設置(図1)単位で制御するPCSごとの分刻みで連続している運用データである。

表1 評価電池の仕様

導入先	① - ③	④ - ⑦	⑧ - ⑨
電池仕様	LL1500-W		LL1500-WS(+G)
直列×並列数	288×2	192×2または288×2	288×2
PCS数	2 - 6	5 - 14	12 12(+1)
電池数	1,152 - 3,456	1,920 - 8,064	6,912 - 7,488
運用開始年	2010 - 2011	2015 - 2018	2018 - 2019
運用条件	電池電圧	1.8 V - 2.42 V	
	電池電流(充電)	225 A	300 A
	電池電流(放電)	600 - 750 A	

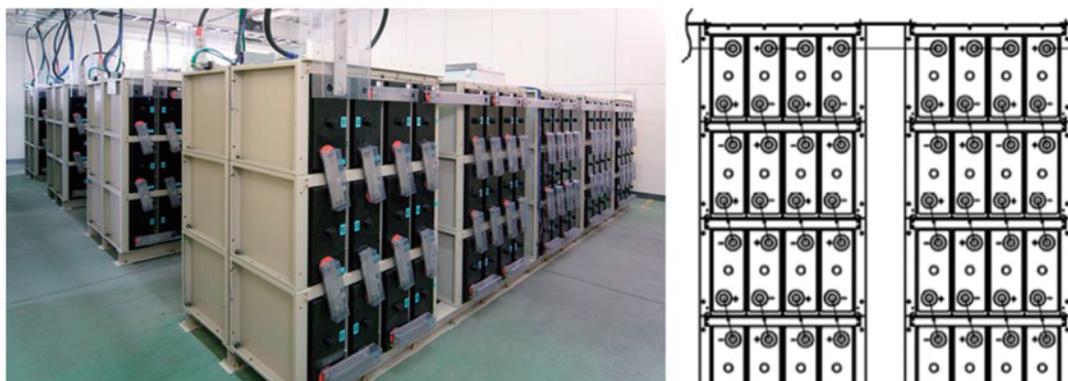


図1 組電池の外観写真と、設置図(社名変更に伴い、ロゴ消去加工)

定期点検では、PCS内の平均電圧を一定以上下回った電池を劣化品とし、交換対象にしている。定期点検データから電池寿命を予測する分析対象を抽出することを目的とし、各電池の電圧相対値の月別推移を分類し、正常品と劣化品それぞれの傾向を、機械学習の代表的な分類手法として知られる「階層クラスタリング**」を用いて分析した。一例として、1か所の導入先全ての電池を分類した結果を図2(左)に示す。分類結果は個別電池を末端(右端)とする樹形図として出力され、傾向の類似したものほど早く、すなわち樹形図の右側で合一する。あらかじめマーキング(劣化品を水色、期間中に交換した品をピンク色)した電池がそれぞれ同一グループに分類されたことから、電圧変化の傾向を良好に自動分類できたことが分かる。グループごと(樹形図右側の4色と、中央グラフの4色が対応)の点検結果の一部を図2(中)に示す。劣化品は、劣化判定の半年程度前から急速に電圧低下が始まること、劣化品と類似の傾向を示す電池が一定数あることが分かった。従って電池電圧の経年変化を分類して分析することで、電池寿命を予測できることが明らかになった。さらに劣化品のみを分析対象とした場合、統計的に信頼できる分析結果を得るためには十分な数の劣化品が必要となり、劣化の事前予測への活用が難しいのに対して、類似の傾向

を示す電池を分析対象に含めることで、劣化品数が増える前に各電池の劣化傾向を予測できることから、事前予測が難しい急速な劣化に対しても、適切な電池監視機器の導入やデータ分析によって事前の予測や対応ができると考えられる。また、通常品の相対電圧は長期間維持される(赤と緑)ことや、図2(右)に示すように段積みの上下位置が電圧推移に影響することも分かり、設置環境が電池寿命に影響を及ぼす要因になり得ることが分かった。

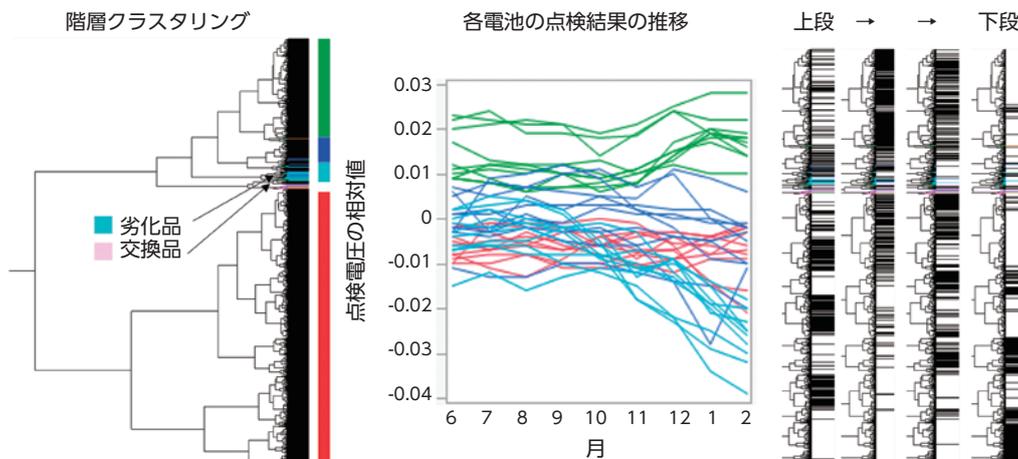


図2 (左) 電池点検データの「階層クラスタリング」による分類結果
 (中) 分類した電池(一部)の相対電圧の推移(色は左図の帯と対応)
 (右) 分類結果に対する、電池の段積み位置ごとの傾向の差異

一方、PCSの運用データからわかるように(図3(左))、風力発電所の運用は、70%前後のSOC(満充電を100%とした充電量)を中心とした、ランダムな充放電と休止の繰り返しと、2週間ごとに電池保全目的で全電池を満充電にする均等充電(図中、電圧2.5V程度で一定値となっている部分)を行っている。そこで運用データから劣化に関連性が高い要素を抽出することを目的に、運用データを「放電・充電・休止・均等充電」に分割し、放電と充電について目的変数を電圧、説明変数を電流・SOC・温度とした重回帰分析を行った。一例として図3(右)に、ある導入先の1月分のデータについて、放電と充電それぞれ電圧と電流の関係を表した効果てこ比プロット*** (電圧に対して電流の効果のみを切り分けたプロット、1点が1分に相当)を示す。放電、充電共に大半の点は同一直線上に分布しているが、充電のみ、直線から逸脱して高い点が観察された。その逸脱点の発現頻度を定期点検結果と照合した結果、導入先によって進行速度が異なる電池の劣化と高い相関が見られた。よって年間を通じてPCSの運用データをリアルタイムに分析することで電池寿命を予測でき、さらにPCSを各導入先の状況に応じて適正に運用すれば、電池の劣化を抑制できると考えられる。

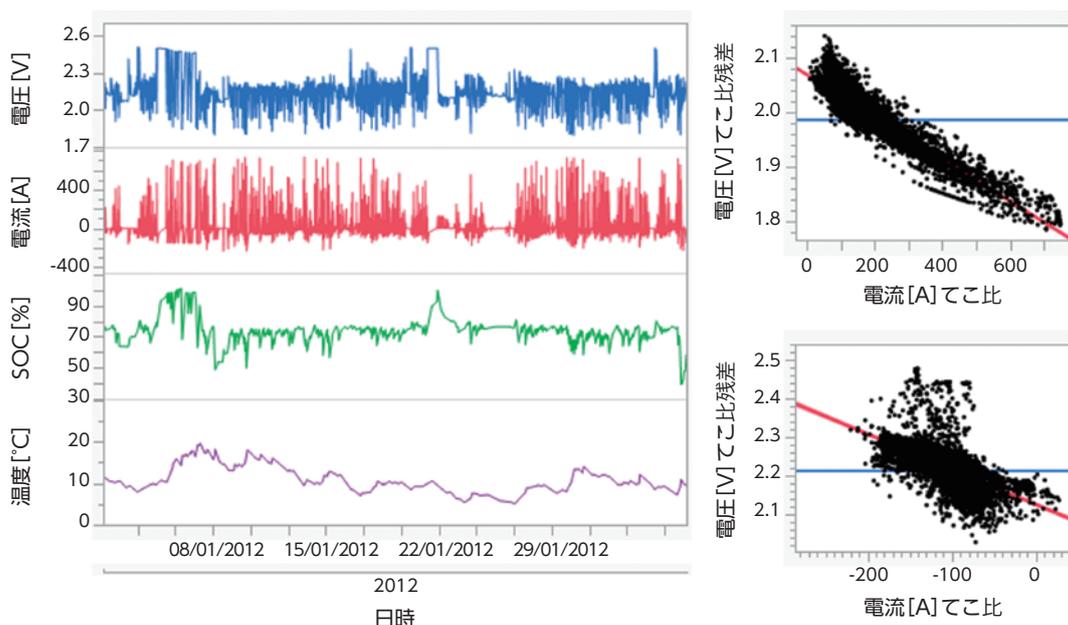


図3 (左) ある導入先の1か月の運用データ (右) 充放電それぞれの電池電圧に対し、電流・SOC・温度を変数とした重回帰に基づく、電流-電圧の効果てこ比プロット

5 今後の展開

定期点検データや、PCS単位の時系列データに対して、機械学習を活用したEDAによる分類や重回帰分析により、電池電圧などの経年変化を分析することで電池寿命を予測できることを見出し、また設置環境といった電池寿命に影響する要因を抽出する方法を確立した。これらの分析手法を活用することで、システムの劣化状態をリアルタイムに取得し、ユーザーの蓄電ニーズと電池寿命の保全を同時に満たすような蓄電サービスへの展開が期待できる。

【脚注】

*探索的データ分析(EDA, Exploratory Data Analysis) データの要約や可視化の手法を用いて、データ全体の特性や、データ間の潜在的な関係を理解する手法。より高度な統計や機械学習の手法を活用した分析を行う前に、分析の方向性を決めるために主に用いる。

**クラスタリング 機械学習によってデータを自動的に分類する手法。同じ形式を持つ多数のデータ(画像やグラフ等)に対して、データ間の類似度を定義し、類似度が高いデータ同士を一つのクラスタとして、全データをいくつかのクラスタに分類する。

***効果てこびプロット 重回帰分析において、それぞれの説明変数が目的変数に与える効果を個別に可視化する手法。一つの説明変数を抽出(横軸)してそれ以外の説明変数の値を固定し、目的変数(縦軸)との関係をプロットした図となる。

【参考文献】

- 1) 廣田昇一：主力製品を支える基盤技術 蓄電ソリューション事業への転換に向けてEnergywith Technical Report 第1号, P.6 (2023)
- 2) エナジーウィズ株式会社ホームページ「お知らせ」 <https://www.energy-with.com/news/>
- 3) 総務省「令和元年版 情報通信白書」 <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/r01.html>
- 4) JMPホームページ https://www.jmp.com/ja_jp/home.html

COS工程の画像検査技術の確立

Development of algorithm for image inspection of COS (Cast On Strap) process

大野 真秀 Masahide Ohno

自動車電池事業部 埼玉事業所 生産技術部

1 概要

自動車用バッテリーにおける短絡不良は機能不全となる致命欠陥である。COS工程で発生する短絡不良(図1)は、溶融鉛が正極板と負極板間に渡ることによって生じる。現状、不良検出は作業者による外観検査であるが、検査自動化および品質向上のため画像検査の導入が望まれている。画像検査導入については過去にも検討は行われてきたが、不良が正確に撮像できなかったため、導入検討が進まなかった経緯がある。本報告では、不良の正確な撮像を行うための撮像環境の検討、判定ロジックの検討結果について報告する。

A short-circuit failure of an automobile battery is a fatal defect resulting in malfunction of the battery. The short-circuit failure is occurred in the COS process, and molten lead is crossed between the positive and negative plates, this is causing a short circuit. Currently, defects are detected by visual inspection by workers, but it's desired to introduce image inspection to automate inspections and improve quality. Although the introduction of image inspection has been considered in the past, it has not progressed due to the fact that defects could not be imaged accurately. In this research, we examined to get proper imaging environment and the judgment algorithm. After that, this image inspection has introduced in the mass production.

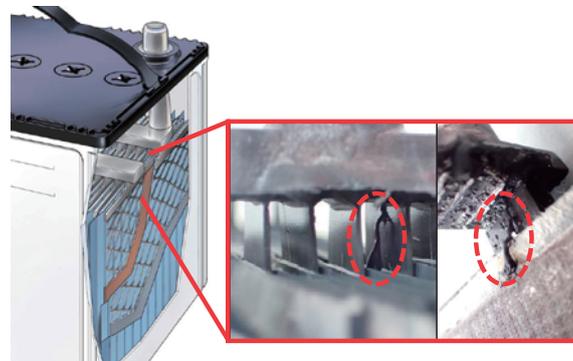


図1 該当不良例

2 技術の特長

- ・画像検査導入により、確実な全数検査化と不良流出防止を実現
- ・検査のデータ化が可能となり、データベース化や不良発生原因特定への適用が可能

3 開発の経緯

鉛蓄電池は、自動車のエンジン始動および補機用などで広く使用されてきた。鉛蓄電池の製造工程では、COS(Cast On Strap)が用いられる。COS集積部の浸漬時に鉛が跳ね、正極と負極間を渡ることにより、短絡を起こし、機能不全となる不良が発生している。現在、作業者による外観検査が行われているが、問題点として、①検査箇所や不良自体が非常に小さく発

見が難しい、②作業者の負担が大きい、③データ化や画像記録ができない、という点が挙げられる。問題の解決と検査自動化および品質向上を図り、データ化による不良原因特定につなげることを目的とし、画像検査化の検討を進めた。

過去に検討は行われてきたが、不良自体の撮影が困難であることと、大きさ／形状／発生箇所がランダムであることにより不良判定ロジック作成が難しいことから導入に至らなかった。

本報告では、該当不良に対して撮影方法およびロジック検討を行った結果をまとめる。

4 技術内容

画像検査導入には不良を撮影できることが大前提となる。図2は反射光撮影方式と波長変換シート方式の撮像比較である。反射光方式では中間～奥側の不良が正確に撮影できていないが、波長変換シート方式では形状が正確に撮像された。波長変換シートと青カットフィルタの組み合わせにより、透過光(影絵)のような撮像が可能となった。

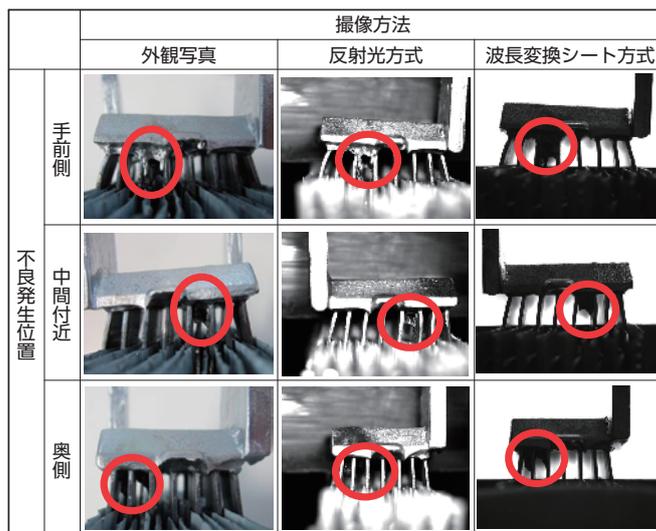


図2 反射光撮影と波長変換シート方式との撮像比較

不良形状把握のため量産ラインで撮像を行った。抜粋したものを図3に示す。形状／大きさ／発生位置はランダムであることが確認できた。また、非常に小さな不良も撮像可能であることが確認できた。机上での判定ロジック検証を行うため、良品と不良を反映し簡易モデル化を行った。

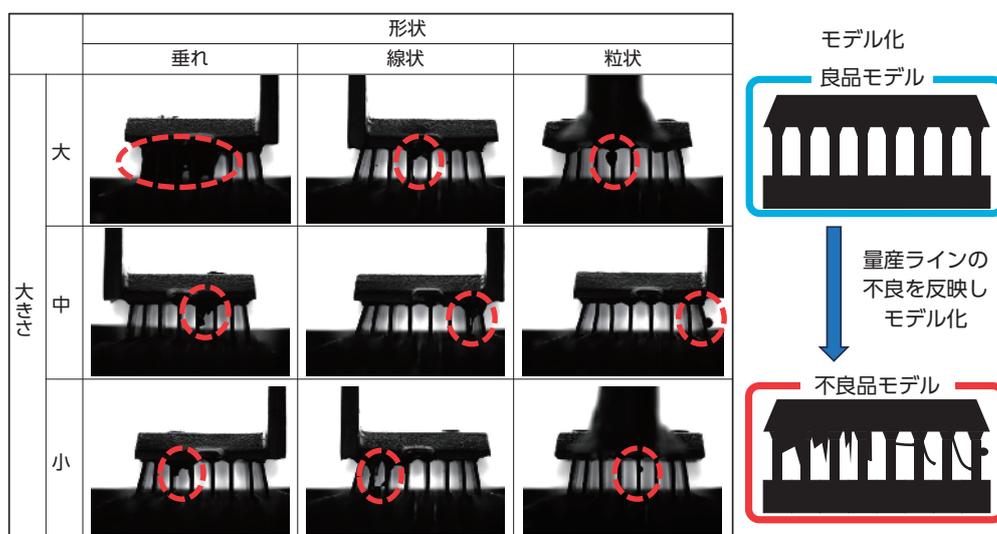


図3 量産ラインでの不良撮像結果

判定窓の設置について図4に示す。画像検査は撮像した画像に対し、距離や面積などの判定ツールを使用し、その判定値(閾値)で判定を行うものである。判定窓とは判定ツールを適用する範囲のことであり、検査範囲とも言える。

本検査においては横全長に渡る判定窓の複数列設置を採用した。良品の形状に変動が生じるため、その変動に対応できる形状/範囲を検討した結果である。

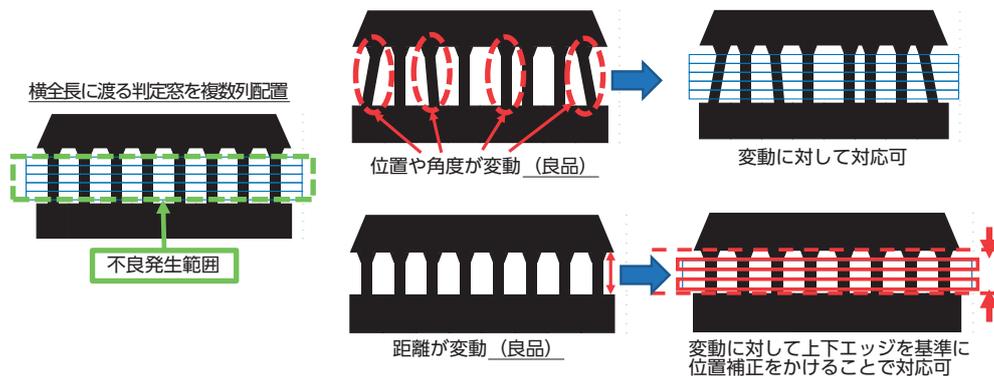


図4 判定窓の設置検討

判定ロジックを検討した結果、図5に示す3つのツールを用いることで不良パターンを判定可能であった。可能な限り複数ツールで同不良箇所を判定し、判定の確実性や信頼性を高めることを考慮した。

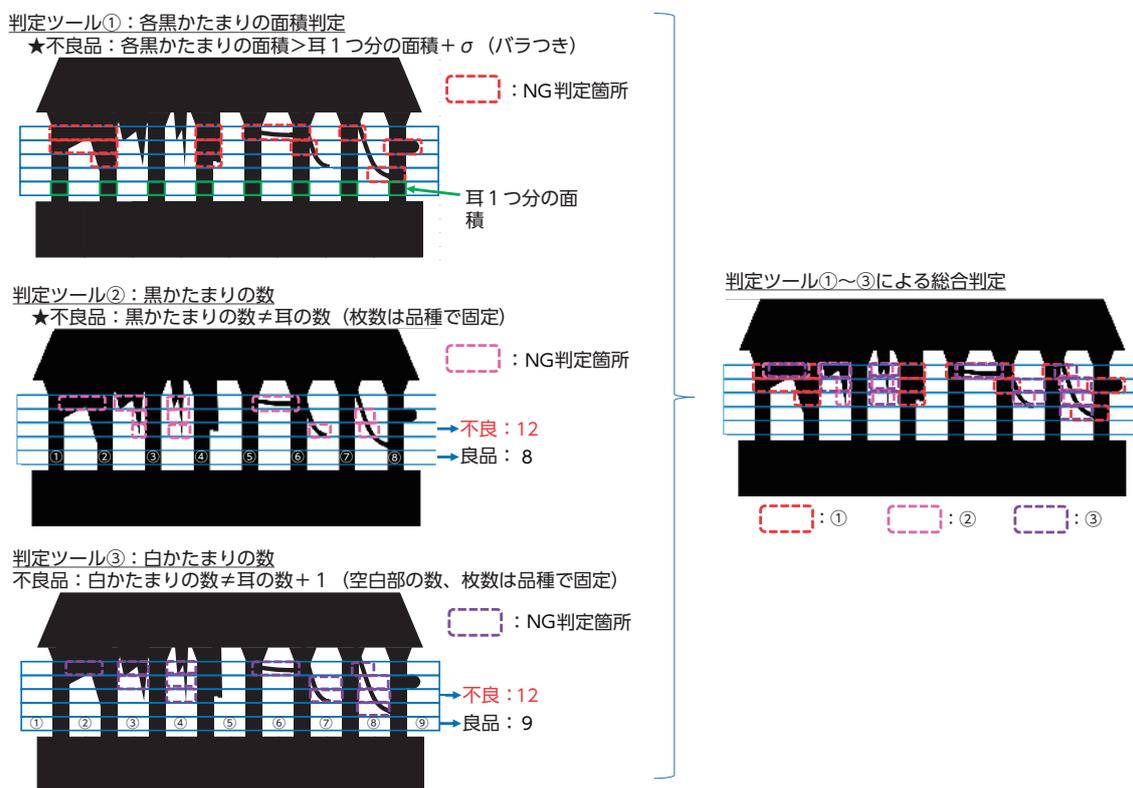


図5 判定ロジック

5 今後の展開

- ・全ラインへの検査展開
- ・機械学習を用いたNG画像振り分け自動化と検査結果データベース化による不良統計
- ・データベース解析による不良発生原因の特定

A new DIN-Type Traction Battery

Warakorn Suriyatun Pratan Pongphongpoon
Chakkapan Sangkaew Muneyoshi Noda
Research and Development Section Engineering Department
Thai Energy Storage Technology PLC.

1 Overview

"The term 'batteries' describes battery-powered traction power supplies, also known as traction batteries, which are broadly classified into two types. The first type, defined by JIS standards or BS (British Standards), are called 'narrow cell' with a width of 160 mm or less. The second type, defined by DIN standards set by the German Institute for Standardization, are called 'wide cell' with a width of 198 mm or less."

Note that the terms "narrow-cell" and "wide- cell" are not interchangeable due to significant differences in width dimensions. A global overview reveals that about half the battery types mentioned are in use worldwide.

The market for these batteries is split nearly evenly between the two types and development and expansion of the product line are crucial to boost market share. Moreover, technologies developed under the JIS standard, e.g. for glass tubes, have also been adapted for use in DIN standard products.

2 Features of technology

- Optimal material specification.
 - ① Optimized positive active material
 - ② Adopt a glass tube, with generally excellent durability at high temperature
 - ③ A separator for high charge acceptance
- Privileged charging specification for protect stratification defect.

3 Technical Content

- (1) Development terms are examined through benchmarking and design reviews, which incorporate failure mode analysis(**Figure 1**). This analysis particularly considers the implications of shape changes from JIS standards on battery performance. The review identified potential issues such as low capacity, low charge acceptance, and reduced lifespan, which stem from increased resistance caused by changes in battery height. To address these issues, adjustments were made to the active material, glass tube, separator, and charging conditions.

FUNCTION	Potential Failure	Control prevention	Requirement
Higher than JIS	Low Capacity	①Bulk ②Tube ③Charge	→ High efficiency → Low resistance → Suitable energy
	Low Charge acceptance	→ ④Separator	→ Low resistance → Aided to prevent acid stratification
	Short life	→ ⑤Recovery charging → Bulk density	→ Suitable charging method → High efficiency

Figure1. Failure mode effect analysis in the development of a DIN Type Traction battery

(2) Optimized positive active material

The positive active material is a crucial factor that influences both the capacity and durability of batteries. In this development, the density of the active materials has been optimized to enhance these characteristics. Additionally, the formation production conditions have been thoroughly studied to ensure efficient formation of PbO₂, further improving the battery's performance and longevity.

(3) Adopt a glass tube

Glass tubing exhibits excellent durability characteristics under high temperatures. Furthermore, several materials have been examined for their high-rate discharge characteristics to enhance overall performance.

(4) Low-resistance separator

The PE separator has been optimized to achieve minimize electrical resistance, which is crucial for efficient battery performance. The resistance of the PE separator is influenced by its porosity and electron transfer characteristics. In this development, several materials were evaluated for their charge acceptance characteristics. Improved charge acceptance limits any increase in voltage, which helps the battery function more efficiently. The separator chosen for this application effectively suppresses any increase in voltage.

(5) Privileged charging specification for protect stratification defect

Battery durability is critically dependent on its ability to fully recover after heavy usage, specifically after discharging 75% of its capacity. To address this, new charging patterns were explored, including daily charging for regular recovery and weekly "configuration charging" for comprehensive maintenance. A new charging method was developed that prevents stratification through gassing, thereby enhancing the battery's durability.

4 Product Specification

Table 1 shows the specifications of battery models launched in 2022. In the first phase, there are a total of nine models, covering a range of battery capacities from 345 Ah to 930 Ah, each at 2 Volts per cell. These 2V cells can be assembled into various configurations ranging from 24V to 80V per set. An example of a 2V cell assembled into a 48V battery set is illustrated in Figure 2. Additionally, the discharge characteristics of 4PZH620 model are detailed in Figure 3.

Table 1. DIN Type Traction Battery Specification (Step 2)

List	Battery Model								
	3PZE345	4PZE460	3PZH465	4PZG560	5PZE575	4PZH620	5PZG700	5PZH775	6PZH930
Capacity At 5 Hour rate (AH)	345	460	465	560	575	620	700	775	930
Total plate number	7	9	7	9	11	9	11	11	13
Plate size	E	E	H	G	E	H	G	H	H
• Width (mm)	65	83	65	83	101	83	101	101	119
• Length (mm)	198	198	198	198	198	198	198	198	198
• Height (mm)	545	545	720	685	545	720	685	720	720
• T-Height (mm)	576	576	751	716	576	751	716	751	751
Battery Weight W/ Acid (Kg.)	21	28	28	34	33	36	41	44	52
Electrolyte Volume (Liter)	4	5	5	6	6	6	7	8	9



Figure2. DIN Type Traction Battery new model (2V Single cell) and battery set (48V Cells).

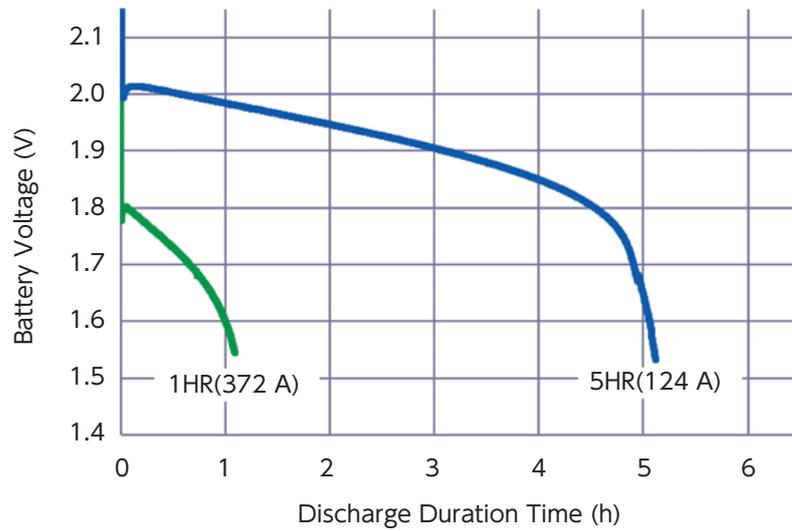


Figure3. Discharge Characteristics (4PZH620)

5 Next step

- Material Evaluation: Consider selecting high-quality materials to enhance product quality and increase profitability.
- Battery Development: Develop new battery models with two capacity ranges: from 230 to 310 Ah and from 980 to 1240 Ah.

6 Acknowledgment

- This work was supported by EW, Industrial Battery R&D Dept.

電動フォークリフト用 電池状態監視サービス “withBMS”

“withBMS”, the battery monitoring service of lead acid batteries for electric forklifts

工藤 彰彦 Akihiko Kudou 早田 幸嗣 Koji Hayata

新事業統括部 監視システム事業推進グループ

1 概要

電動フォークリフト用電池状態監視サービスを開発した。

BMU (Battery Monitoring Unit) で電流、総電圧、温度、液面高さを自動計測、電池計測データは通信ゲートウェイ (IoT Gateway) を介してサービスプラットフォームへ転送される。サービスプラットフォームでは蓄積した電池計測データを基に電池異常アラートおよび定期レポートを生成、サービスとして提供する。

We developed “withBMS”, the battery monitoring service of lead acid batteries for electric forklifts. Battery Monitoring Unit (BMU) measures battery operating data including electrical current, total voltage, ambient temperature, and electrolyte level automatically. IoT gateway transfers the measured battery operation data from BMU to the battery monitoring service platform. Based on the stored battery operating data, the service platform creates the battery alert and some reports as needed and provides it.

2 技術の特長

- ・電動フォークリフトの過酷な動作環境に耐える高い測定精度および信頼性を備えたBMUの開発
- ・電池計測データを基にした電池劣化状態の数値化指標の開発

3 開発の経緯

電動フォークリフトに搭載されるバッテリーの主流は鉛蓄電池でありその優れたリサイクル性から今後も継続して使用されることが見込まれる。

フォークリフトでは重量物の運搬やリフトアップ等で大電力の放電が多く、負荷変動が非常に大きい特徴がある。そのため電池の劣化状態を数値的に検出する事が難しい。現状、フォークリフト搭載電池の劣化状態は、定期的(月次、年次)に検査員による停車時の電解液の比重とセル電圧の計測値、目視結果、および経過年月に基づいて劣化度合いを判定している。電池の劣化状態は充放電制御装置を用いた放電試験により判断することができるが、フォークリフトに搭載された運用中の電池に対しての適用は困難であるため、実運用における電池計測データから電池の劣化状態を数値で判断する事が望ましい。

液式鉛蓄電池では補水と均等充電等の保守作業が必要であるが、電池に関する知識に乏しい現場作業員が担うことが多く、怠ると電池の早期劣化や最悪の場合は爆発事故に至る可能性がある。このため保守作業の実態把握および改善支援の需要が想定される。

以上の背景から、電動フォークリフト用電池状態監視サービスを開発した。

4 技術内容

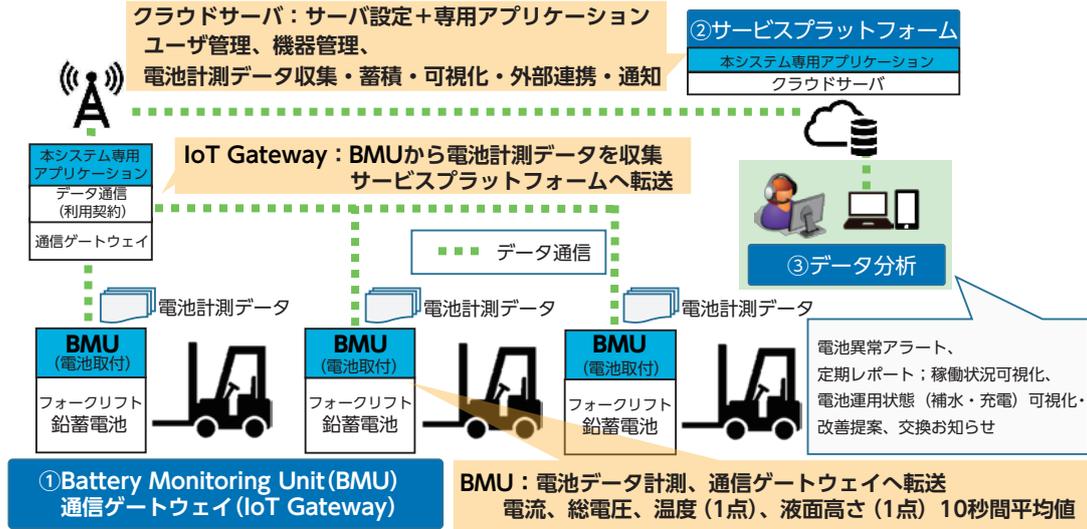


図1 電池監視システムとサービスの全体構成

BMU→IoT Gateway→クラウドサーバへ電池計測データを転送、データ分析結果をサービスとして提供

図1に全体のシステム構成を示す。フォークリフト用鉛蓄電池に取り付けたBMUは電池の電流、総電圧、温度、液面高さを常時計測、電池計測データを通信ゲートウェイ (IoT Gateway) へ転送する。通信ゲートウェイは電池計測データをサービスプラットフォームへ転送する。サービスプラットフォームでは蓄積した電池計測データを基に電池異常アラートおよび定期レポートを生成、サービスとして提供する。

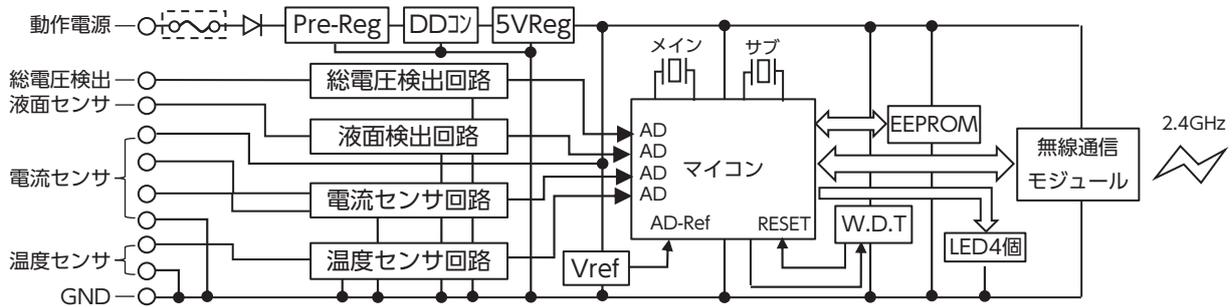


図2 BMUの内部構成図



図3 BMU



図4 通信ゲートウェイ (IoT Gateway)

図2～4にBMUの内部構成とIoT Gatewayを含めた外観を示す。BMUは電池の電流、総電圧、温度と液面高さを測定し、10秒間の平均値をIoT Gatewayに無線通信で転送する。このBMUはフォークリフトの電池に取り付けるため、小型で過酷な環境に耐える高い測定精度および信頼性が要求される。本開発では自動車用の電池コントローラの設計基準および評価試験を適用した。なお、当社では据置鉛電池用の電池監視システムも実用化¹⁾しているが、大きく異なるのは充放電電流を測定して

電池の劣化状態を算出している点である。電流センサはホール式の電流センサを用いているので、充放電電流ラインをセンサに通すだけで既に稼働中の電動フォークリフトにも取り付け可能である。

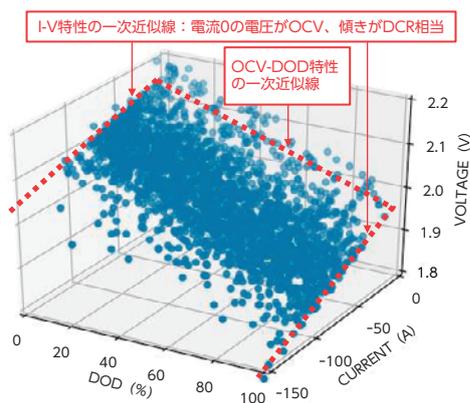


図5 電圧—電流—DODの3Dプロット(新品電池)

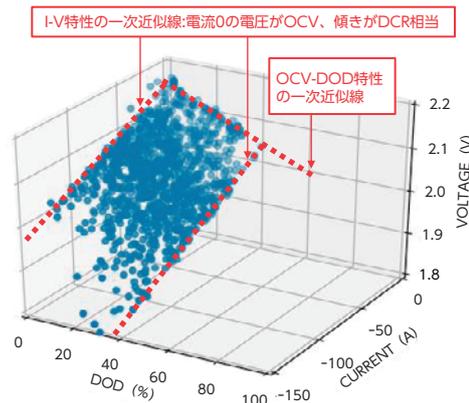


図6 電圧—電流—DODの3Dプロット(劣化電池)

図5と図6に、実放電時の電圧の電流とDOD依存性を示す3Dプロットを示す。DOD0%(SOC100%)が満充電状態で、DOD100%(SOC0%)が定格容量分放電したときの状態である。DOD(SOC)は満充電後の放電電流の積算値から算出している。図に示されるように、放電電流が大きくDODが高い程電圧は低下しており、新品と劣化品ではその傾斜も異なっており劣化品の方が傾斜がきつい。これは、劣化するとDODに対する電圧降下と電流に対する電圧降下が大きくなることを示している。

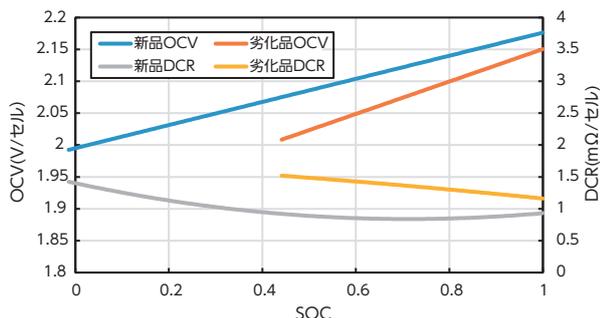


図7 近似したOCVとDCRのSOC依存性例

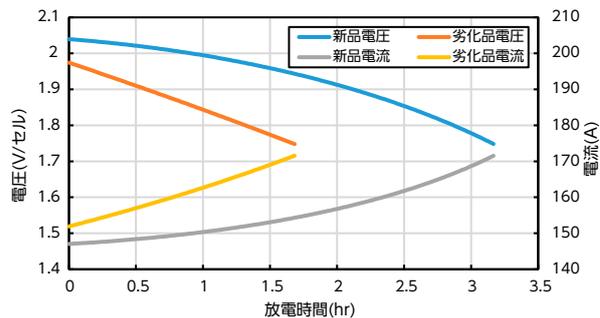


図8 最大電力での推定放電特性例

図7は、各DOD(SOC)においてI-V特性を一次近似し、放電電流が0Aの近似値をOCV、I-V特性の傾きをDCRとして、SOC(DOD)の依存性をプロットしたものである。

図に示されるように、OCVの低下は劣化品の方が新品よりも大きく、DCRは劣化品の方が新品よりも大きくなる。このことは劣化品は容量が低下してDCRも大きくなっていることを示している。

一般的に電池の劣化状態を表す指標として、容量の低下比率(SOH-Q)と内部抵抗の低下比率(SOH-R)が用いられている。この図では、SOH-QはOCV-SOC特性の傾きの逆数の新品に対する比率、SOH-RはSOC50%でのDCRの新品に対する比率になる。

図8は、近似したOCV-SOC特性とDCR-SOC特性から、最大放電電力での放電特性を計算した例である。フォークリフトのようなパワーが要求される用途では、最大放電電力での放電持続時間が重要となるため、この放電持続時間の新品電池に対する比率を新たな指標SOH-Pとした。最大放電電力は実運転での最大電力値を使用して、実使用の最大値としている。

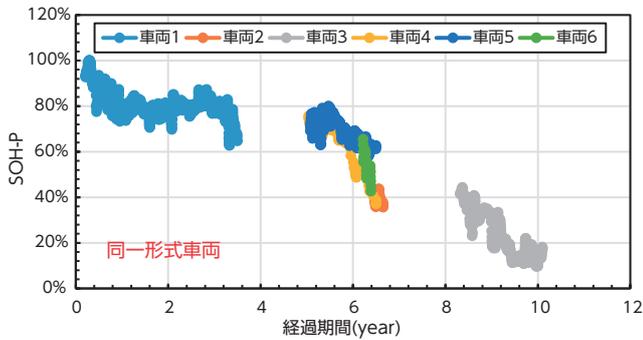


図9 SOH-Pの推移例

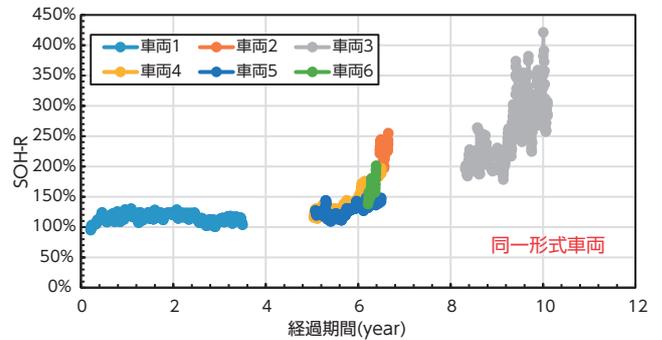


図10 SOH-Rの推移例

実運用でのSOHの推移例を図9と10に示す。本例はある現場における同一形式のフォークリフト6台に搭載された電池であり、横軸は電池の製造年月からの経過期間である。経過年数と共にSOH-Pが下がり、電池劣化が進行するにつれてSOH-Rが急に大きくなって運用を終了している。

BMUは電池データを常時計測しているため、電池計測データから車両の稼働状況を可視化できる。また、電池異常アラート通知や、電池運用状態(補水・充電)の可視化および改善提案、さらに電池が新品から測定されていれば積算放電電気量と電池の設計値から利用可能期間がどの程度になるのか推定することもできる。

5 今後の展開

- ・電池劣化状態の指標の高精度化

【参考文献】

- 1) 工藤彰彦他：次世代監視装置(Gen2)日立化成テクニカルレポート, No.60

— お問い合わせ先 —

掲載事項に関するお問い合わせにつきましては、弊社インターネットホームページの下記アドレスのお問い合わせフォームをご利用ください。

お問い合わせホームページアドレス：

<https://www.energy-with.com/inquiry/>

Energywith Technical Report 第2号 2024年5月

エナジーウィズ株式会社

〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町3 (AKSビル8階) 電話03-6811-6510(代表)

制作 株式会社 日立ドキュメントソリューションズ

© 2024 Energywith Co.,Ltd. All rights reserved. Printed in Japan (禁無断掲載)
