

リチウムイオン二次電池： 定置用蓄電池の現状と車載用鉛代替バッテリーへの展開

エリーパワー株式会社 技術開発センター開発一部 部長・上席主幹研究員 原 富太郎

要 旨 エリーパワーでは、創業以来、一貫して安全性、温度特性、寿命特性に優れたリチウムイオン電池および蓄電システムの開発、量産を手掛けてきた。本稿では高安全な定置用蓄電池の特性と、最近開発、量産化に成功した始動用の鉛代替リチウムイオンバッテリーについて紹介する（本稿は、2017 年 12 月 1 日に開催された弊社主催「第 3 回蓄電池ユーザーズミーティング」での、特別講演を基に構成したものです）。

1. 会社概要

エリーパワーは、2006 年 9 月 28 日に、大型蓄電池の普及で地球のエネルギー問題を解決したいという“想い”から、4 人のメンバーで設立した慶應大学発のベンチャーで、事業会社を主とした各社から 300 億円超の出資を頂いて運営している（図 1）。

当社の一番の特徴は、安全でない電池は商品化しない、させないという「蓄電池の安全」を経営方針の中心に置いて大型蓄電池を開発していることである。

蓄電池に関してはこれまでに 7 世代ほど改良を続けている。2011 年の東日本大震災時には、当時日本にあまり商品がなかった 100V 電源になる可搬型蓄電池システムを、政府の許可を得て東北に 8 台ほど持ち込み、LED ライトの光源などで使っていただいた。後継機に当たる POWER YHLE 3（パワーイレ・スリー：昨年商品化）は、蓄電池容量 2.4kWh ながら、従来機に比べて 20%ほど小型、軽量化されて、より使いやすく求めやすい形となっている。また住宅据え置き型としては 6kWh のものを、太陽光発電と蓄電池のパワーコンバータを一体化したハイブリッド型も含めて製品化している。さらに昨年には(株)本田技術研究所と純正契約を結び、自動二輪の始動用電池として 12V 系の鉛代替リチウムイオンバッテリーを量産化している。



図 1 会社概要

2. スマート社会に蓄電池が必要な理由

さまざまなエネルギーをベストミックスして、無駄なく有効利用するスマートエネルギーシステムの構築には、負荷のピーク電力を抑制した系統の安定化（平準化）や、再生可能エネルギーの発電変動抑制といった形で蓄電池が担う役割が大きい（図 2）。

他にも低周波振動などの周波数変動を吸い込み、よりきれいな電源にするといった効果も期待できる。「蓄電池がなくてはきれいなスマートエネルギー社会にはならない」と言っていただけることを目指している。

2. スマート社会に蓄電池が必要な理由

エネルギーのベストミックスに蓄電池は不可欠

エネルギーを無駄なく有効利用する工夫が求められる。

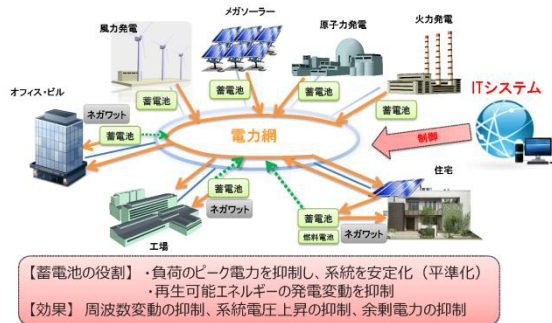


図2 スマート社会に蓄電池が必要な理由

震災以降、エネルギー分野では様々な変革が進んでいる。昨年度からは、政府主導のもとバーチャルパワープラント構築の実証試験が始まった。バーチャルパワープラントとは、系統内に点在する蓄電システムを制御して、あたかも一つの大きな発電所のように運営するというもので、エネルギーを作る、ためる、省エネをするという最適な組み合わせを、政府主導で電力会社も巻き込んで実現していこうという事業である。当社も参加し、デマンドレスポンス、スマートエネルギーなどに対する検証を進めている。太陽光と連携する蓄電システムは以前からあったが、よりインフラの一部として定着するように、HEMS（Home Energy Management System）、BEMS（Building Energy Management System）、IoT（Internet of Things）に対応して、例えばクラウドを利用した遠隔操作を行う取り組みなどを進めている。（図3）。

蓄電池の普及で、より快適な社会へ

蓄電池は、インフラの一部として定着しつつある。

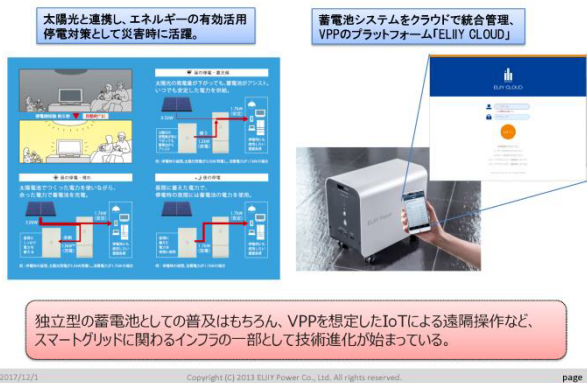


図3 蓄電池の普及で、より快適な社会へ

3. 定置用リチウムイオン電池に求められる特性について

3-1. 特徴と課題

電力貯蔵用途で使われる蓄電池としては、鉛蓄電池、ニッケル水素電池、NAS電池、レドックスフロー電池そしてリチウムイオン電池がある。NAS電池やレドックスフロー電池は大型で作動温度も高いため、常温で作動する鉛蓄電池やリチウムイオン電池の利用が増えている。中でもエネルギー密度が高く、長寿命も期待できるリチウムイオン電池が本命と言える（図4）。

電力貯蔵用途に使われている蓄電池の種類

常温で動作し、エネルギー密度が高く、長寿命のリチウムイオン電池が本命！

	作動電圧	作動温度	エネルギー密度	出力密度	期待寿命	電池効率	構造		
							正極	負極	電解質
鉛蓄電池	2.0V	常温	20~35Wh/kg 50~90Wh/ℓ	100~200W/kg	7~10年 1500サイクル	65~80%	二酸化鉛	鉛	希硫酸
ニッケル水素電池	1.2V	常温	20~70Wh/kg 30~200Wh/ℓ	150~1000W/kg	500~1500サイクル	~84%	水酸化ニッケル	水素吸蔵合金	水酸化カリウム + 水酸化ナトリウム
ナトリウム硫黄電池	2.0V	280~350℃	120Wh/kg 170Wh/ℓ	150W/kg	15年 4500サイクル	~88%	硫黄	ナトリウム	β-7メチ
レドックスフロー電池	1.4V	10~40℃	10~20Wh/kg 20Wh/ℓ	不明	10年以上	75~85%	V+4/V+5イオン	V+2/V+3イオン	硫酸 バナジウム
リチウムイオン電池	2.4~3.8V	常温	70~160Wh/kg 200~400Wh/ℓ	400~1000W/kg	10年以上 3000サイクル以上	~95%	リチウム酸化物	炭素 チタン酸 リチウム 有機溶剤	リチウム塩

図4 電力貯蔵用途に使われている蓄電池の種類

電力貯蔵用途としての課題の一つは、安全性である。携帯機器用途の100倍以上という大きなエネルギーを持つ点に対してはもちろんのこと、システム設計者を事前想定できない事例もある。誰がどんな使い方をしても安全な製品であることが必要である（図5）。

リチウムイオン電池の特徴と

電力貯蔵用途としての課題①：安全性

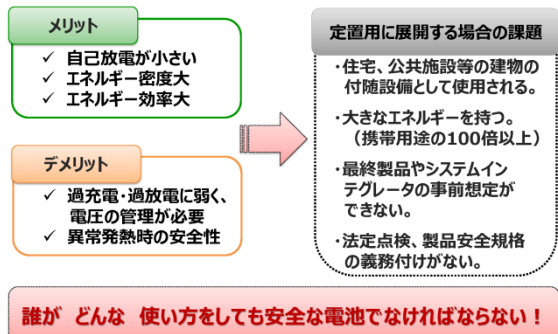


図5 リチウムイオン電池の特徴と電力貯蔵用途としての課題①：安全性

もう一つの課題は寿命である（図 6）。携帯機器、電気自動車、家庭向け定置、産業用定置の電気容量を比較すると、一般に携帯機器（タブレットも含む）は 10Wh、電気自動車は 30kWh、家庭向けは 6kWh、産業用は 50kWh 程度である。使用期間は、携帯機器で 3 年程度、電気自動車や家庭向けの定置は 10 年以上、産業用も最近では 10 年以上といわれている。

問題は充電頻度で、携帯機器は、1 日 1 回の充電として 3 年間で約 1000 サイクルになる。電気自動車は、30kWh 載せていけば 300km ぐらいいは走れる。10 年で 15 万 km 走っても約 500 サイクルなので、電気自動車の電池にそれほどサイクル特性は要求されない。それに対して家庭用は、1 日 1~2 回ピークシフトを行うと 10 年で 6000~7000 サイクル、産業用は、24 時間操業で 2~3 回使うとすると 1 万サイクルを超える。携帯機器や電気自動車と比べて、電力貯蔵用途が使用期間と充電サイクルの両方で最も耐久性が要求される。逆に、ここで良いものができれば、電気自動車などにも転用することができる。

リチウムイオン電池の特徴と電力貯蔵用途としての課題②：寿命

用途別 電池の要求寿命特性(例)				
用途	電気容量	使用期間	充電頻度	使用期間 × 充電サイクル
携帯機器	10 Wh	~3年	1回/日	3年 1000サイクル
電気自動車	30 kWh	~10年	300kmごと	10年 400サイクル (12万km走行として)
家庭向け定置	6 kWh	10年以上	1~2回/日 (ピークシフトモード)	10年 6000サイクル
産業用定置	50kWh	~10年	2~3回/日 (ピークシフトモード)	10年 10000サイクル

電力貯蔵用途は、携帯用途や電気自動車などと比べて使用期間、充電サイクルの両方で、最も耐久性が要求される。

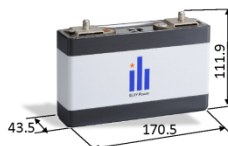
図 6 リチウムイオン電池の特徴と電力貯蔵用途としての課題②：寿命

3-2. 当社の定置用リチウムイオン電池セルの特徴

当社の高安全・高性能の定置用リチウムイオン電池セルの特徴は、50Ah という一般の携帯用途と比べて 20 倍の容量を持ちながら、世界で初めて国際認証機関テュフ・ラインランドからの安全基準認証を得ていること、10 年間で容量保持率 80% という高耐久性を実現していることである。供給安定性の点でも、神奈川県川崎市に年産 120 万セル以上の量産工場が稼働中で、新工場の設立も計画している。この電池セルを定置型の標準として普及させたいと考えている（図 7）。

当社 定置用リチウムイオン電池セルの特徴

リン酸鉄リチウム及び独自の構造により高安全、大容量、長寿命を実現



寸法、重量	170.5W * 43.5D * 111.9H, 1.5kg
公称容量	50Ah
平均電圧	3.2V
エネルギー密度	106Wh/kg
使用可能温度	-20~60°C (warranty: 0~45°C)

4つの特徴

1. 高安全

大型リチウムイオン電池として、世界で初めて国際認証機関 TÜV Rheinland の製品安全検査に合格。
※安全基準認証（リチウムイオンセルの過酷条件試験マニュアル v.2:2011）
また、安全規格である「UL1642 認証」を大型リチウムイオン電池セルで取得。

2. 大容量

大規模蓄電システム構築も想定した、業界トップクラスの単電池容量を実現。

3. 高耐久

電池材料、構造の最適化を進め、10年経り返し充電を行っても（約12,000回）電池容量保持率 80.1% ※という耐久性を実現。※室温23℃、1日3サイクルのフル充電放電での予測値

4. 供給安定性

神奈川県川崎市に、120万セル/yr の量産工場を所有。

図 7 当社 定置用リチウムイオン電池セルの特徴

3-3. 高安全なリチウムイオン電池の開発ポイント

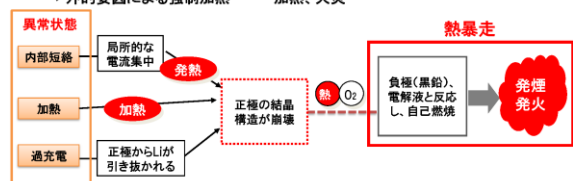
リチウムイオン電池が不安定になる原因には、内部短絡で局所的な電流集中が起きたり、過充電で正極からリチウムが引き抜かれたりする内的要因と、熱や衝突などによる変形といった外的要因とがある（図 8）。

発熱や加熱を伴って正極の結晶構造が崩壊すると、そこで熱と酸素が発生する。それが負極（黒鉛）や電解液（有機溶剤）と反応して燃焼しだすと、電池の箱の中で熱源と酸素が供給され続けて燃焼が止まらない、いわゆる熱暴走に至る。外的要因をゼロにするのは現時点では難しいが、異常発熱の発生を抑制できれば、熱暴走は抑えることができる。例えばリチウムイオン電池には、必ずバッテリーマネジメントユニット（BMU）という電子基板が搭載されていて、不適切な状態（過充電や過昇温）にならないよう制御されている。ノートパソコンや携帯電話のように、組み込む電池を想定した上での製品開発が行われる場合、システムとして安全を確保しやすい。

安全性：リチウムイオン電池が不安定になる要因

内的要因もしくは外的要因により電池が異常に発熱すると不安定になる

- 内的要因**
- ✓正極の結晶構造の崩壊による熱暴走 … 過充電
 - ✓内部短絡による異常発熱 … Li dendライト、集電体短絡、異物混入
- 外的要因**
- ✓外的要因による内部短絡による異常発熱 … 圧壊、衝突
 - ✓外的要因による強制加熱 … 加熱、火災



外的要因を抑えるのは困難 → 異常発熱の抑制方法を考える必要がある

図 8 リチウムイオン電池が不安定になる要因

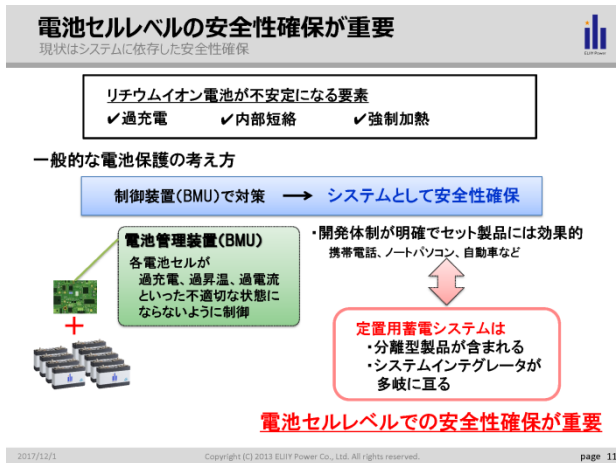


図9 電池セルレベルの安全性確保が重要

これに対し定置用途では、電池と制御システムが分離して開発される事も多く、またシステムインテグレーターも多岐に亘るため、電池セルレベルで安全性を確保することが重要になる(図9)。当社では、オリビン型のリン酸鉄リチウムという酸化状態で非常に安定な正極材料を使用し、ケースの構造もいろいろと試行錯誤して、熱暴走が起こりにくい形状にしている。

またリン酸鉄リチウムにはカーボンコートが施されている。東レリサーチセンターに協力いただき炭素マッピングをした結果、ミクロンからサブミクロンオーダーの粒子が造粒された内部までしっかり炭素がコーティングされた状態であることが確認できている。おかげでこの造粒体が、リン酸鉄リチウムの機能を内側までしっかり引き出せる材料だと確信しながら、安心して使うことができています(図10)。

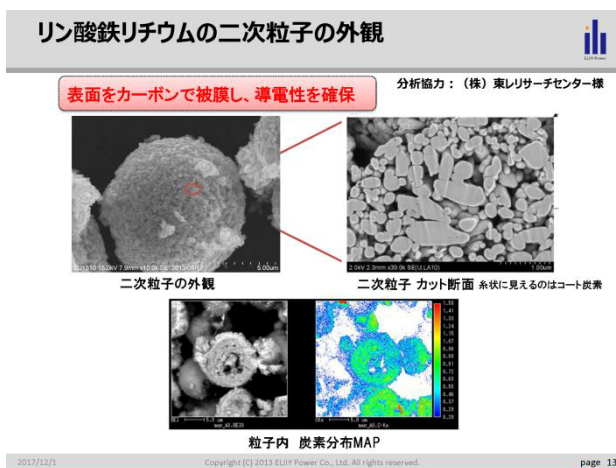


図10 リン酸鉄リチウムの二次粒子の外観

4. エリーパワーの考える高安全・高性能な大型リチウムイオン電池

4-1. 求められる安全性の検討

今では一定の安全性基準があるが、当社が製品を出した頃は定置用大型蓄電システムそのものが世の中に出回っていなかったため、自社でリスクを想定して既存の試験方法を変える必要があった。例えば過充電に関しては24時間連続で過充電に堪える試験を実施したり、建物家屋の倒壊や衝撃によるリスクを想定した圧壊試験や釘刺し試験を行ったり、さらには周辺火災を踏まえた類焼試験(電池自身を燃やす試験)も行うなど、既存の試験を厳しくして、住宅会社「この電池であれば大丈夫だ」と言ってもらえるよう開発を進めてきた(図11)。

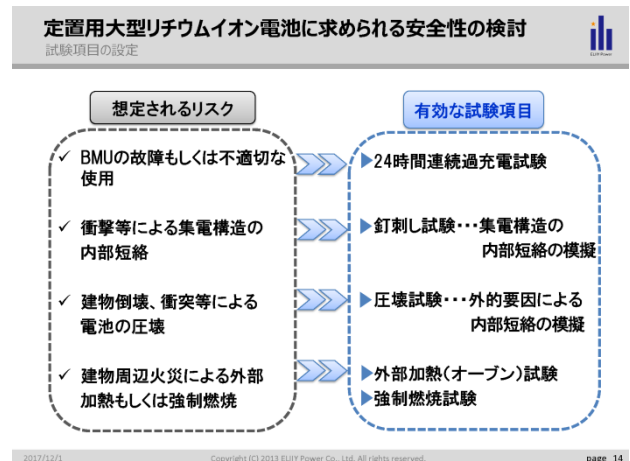


図11 定置用大型リチウムイオン電池に求められる安全性の検討

4-2. 評価の内容

正極活物質の熱安定性について、試作電池(50Ah級)の過充電試験で評価した結果を示した。リン酸鉄リチウムでは、過充電で10V以上電圧を上げてもその最高温度は100℃程度なのに対し、層状構造の正極活物質ではリチウムの引き抜きが進んで不安定になり、500℃近い高温状態になった。万が一、BMUや接続回路の故障で過充電になっても、リン酸鉄リチウムであれば熱暴走は起こらないことが分かった(図12)。

当社製品も JIS C8715-2 を取得しているが、より厳しい安全性基準の取得を目指し、リチウムイオンセルに関する TUV-S マーク認証を世界で初めて取得した。(図 14)。

過充電時における正極活物質の熱安定性評価 試作電池 (50Ah級) での過充電試験		
熱安定性に優れるリン酸鉄リチウムは強制的に過充電しても結晶構造崩壊による熱暴走を生じない		
正極活物質	現象	最高温度
リン酸鉄リチウム	Vent1	104℃
マンガン酸リチウム	Vent2	470℃
三元系(30%)＋マンガン酸リチウム(70%)	Vent3	509℃
三元系 (LiNi _{1/3} Co _{1/3} Mn _{1/3} O ₂)	Vent3	526℃
Vent1	安全弁作動(電池表面温度150℃以下)電解液の蒸気のみ	
Vent2	激しい白煙(電池表面温度150℃以上)あり	
Vent3	発火(着火含む)あり	

2017/12/1 Copyright (C) 2013 ELIY Power Co., Ltd. All rights reserved. page 15

図 12 過充電時における正極活物質の熱安定性評価

実際リン酸鉄リチウムの電池は、釘を刺しても銃弾で撃っても何も起こらない。釘刺し試験した電池の釘貫通部位を詳細に観察してみると、釘貫通部位では、釘に付着した正極材を短絡点として電気が流れていることが分かった。リン酸鉄リチウム自身、電気を流しにくく、その発熱量も小さいことから、外的な要因にも安定、安全であると言える。

4-3. 安全認証の取得

東日本大震災後、政府からの助成もあって、住宅用蓄電池を普及させようとする中、対象となる製品の安全性基準がなく、電池工業会で当時進んでいた国際規格を基に、急ぎ作成したのが JIS C8715-2「産業用リチウム二次電池の単電池及び電池システム」という安全要求事項の JIS 規格である。最小限の規格だが、BMU の機能試験も採り入れて、現在、住宅用蓄電池の補助金対象の基準となっている。詳細は、JIS のサイトを参照いただきたい (図 13)。

安全認証：JIS C8715-2

JIS C8715-2「産業用リチウム二次電池の単電池及び電池システム－第2部：安全性要求事項」
※一般財団法人 電気安全環境研究所 (JET) 宛にて試験実施

試験項目		試験実施対象	
大分類	試験名称	単電池	電池システム
製品安全性試験 (単電池及び電池システムの安全性)	外部短絡試験	合格	—
	衝突試験	合格	—
	落下試験	合格	合格
	加熱試験	合格	—
	過充電試験	合格	—
	強制放電試験	合格	—
	耐熱暴走試験 (右記のいずれかを選択)	合格	—
機能安全性試験 (電池システムの安全性)	耐内部短絡試験	—	耐内部短絡試験を 選択
	耐熱焼試験	—	—
	過充電電圧制御試験	—	—
	過大充電電流制御試験	—	合格
	過熱制御試験	—	—

Copyright (C) 2013 ELIY Power Co., Ltd. All rights reserved. 17

図 13 安全認証：JIS C8715-2

安全認証：TUV-Sマーク認証 ※安全基準認証 (リチウムイオンセルの過酷条件試験マニュアル v.2:2011)				
試験項目	Condition outline:	criteria	N	試験結果
振動 vibration	SOC 100% 10Hz - 500Hz 0.35mm peak 3axes, 3cycles	No leakage, No explosion, No fire, OCV > 90%	Cell: 25℃ *5	合格
熱衝撃 heat shock	SOC 100% -40℃ to 80℃	No leakage, No explosion, No fire, OCV > 90%	Cell: 5	合格
外部短絡 external short circuit	SOC 100% 5mA	No explosion, No fire, Cell temp. < 150℃	Cell: 25℃ *5	合格
釘刺し nail penetration	SOC 100% 3mmφ steel rod 80mm/sec	No explosion, No fire, Cell temp. < 170℃	Cell: 25℃ *5	合格
自由落下 free fall	SOC 100% 100cm XYZ axes(total 3)	No leakage, No explosion, No fire, OCV > 90%	Cell: 25℃ *5	合格
衝撃 impact	SOC 100% average 75g peak 175g, < 175g, XYZ axes(total 3)	No leakage, No explosion, No fire, OCV > 90%	Cell: 25℃ *5	合格
異常加熱 thermal abuse	SOC 100% 130℃, 10min	No venting, No explosion, No fire	Cell: 5	合格
圧潰 crush	SOC 100% 13kN 2方向	No explosion, No fire	Cell: 25℃ *5	合格
浸水 immersion	SOC 100% 3.5% salt water	No explosion, No fire	Cell: 25℃ *5	合格
過充電 over charging	from SOC 100% 50A or 150A 10V OCV, 24hrs	No explosion, No fire, Cell temp. < 150℃	Cell: 25℃ 50A *5, 150A *2	合格
強制放電 forced discharging	from SOC 100% 100A, 3hr	No venting, No explosion, No fire	Cell: 25℃ *5	合格

Copyright (C) 2013 ELIY Power Co., Ltd. All rights reserved. 18

図 14 安全認証：TUV-S マーク認証

この規格は、JIS 規格が制定されていなかった当時、住宅定置用として大容量の蓄電池を設置するからには第三者による認証取得が必要であると、テュフ・ラインランドに試験を考案していただいた。当社の社長がテュフ・ラインランドに相談し、協調して規格を作ることになった経緯が、テュフ・ラインランド本国のサイトに紹介されている。また米国向けでは UL 認証も取得した。複数の安全認証を取得することで、お客さまに安心いただくことが必要だという考えから、積極的に認証取得を行っている (図 15)。

第三者認証を取得 世界で唯一テュフラインランド社の技術基準をクリアした電池 ULの認証も取得



2017/12/1 Copyright (C) 2013 ELIY Power Co., Ltd. All rights reserved. page 19

図 15 第三者認証を取得

4-4. 耐久性の実現

定置用電池の寿命は、前述のとおり非常に長い寿命が求められる。当社では寿命試験を継続して実施してお

り、現在5年分のデータがそろい、だいたひ寿命予測線も安定してきたところである。

電池の劣化は、リチウムの出し入れに伴うサイクル劣化と、高いSOC(State of charge =残容量)またはある一定のSOCで貯蔵することによる何らかの劣化、劣化を加速する温度因子などが絡まり合って進行する。これらの因子を整理していくと、寿命や残容量の演算アルゴリズムを組むことができる。

SOH(State Of Health)は電池の劣化状態のことだが、取り付け時に6kWh あった容量が、毎日2回の充放電で3年経過したとき、“今の電池のフル容量は85%だ”と、数値で返せるシステムの開発に取り組んでいる。取り組みの中で、演算の抜けや入れるべき因子などが分かってきて、基礎データとして非常に役立っている。

バーチャルパワープラントの時代になると、定置用、電気自動車用で共通して、寿命予測と残容量演算が、重要になってくると考えられる(図16)。

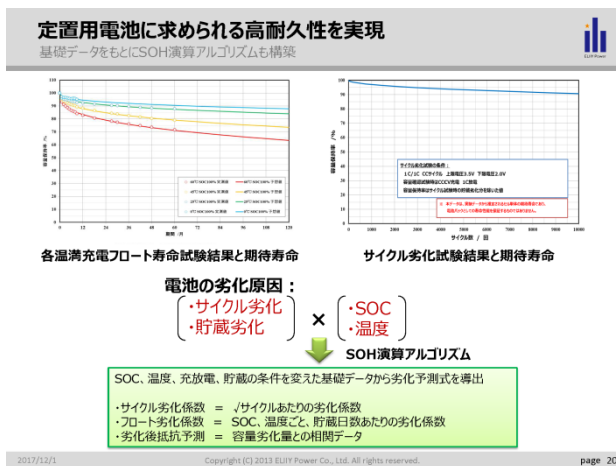


図16 定置用電池に求められる高耐久性を実現

5. 始動用鉛電池代替バッテリーへの展開

お客さまが、直接付け外しできる始動用バッテリーにも、高い安全性が求められる。取り扱いの不注意による短絡や過充電、他の充電器を使ったことによる過充電など、想定外の使い方でも何も起きないこと、例えばモトクロスのバイクなどは高圧洗浄を行うが、その水圧でも壊れないことなど、メーカーの厳しい要求に応じて始動用バッテリーを商品化した(図17)。

当社 始動用HYバッテリーの特徴



図17 当社 始動用HYバッテリーの特徴

12Vの電圧で鉛電池との互換性が保たれているリチウム系始動用電池の規格は提案段階だが、電動二輪車用の国際法規 ECER136を基に、当社ではGPT規格やICの規格で安全性を試験した。外装材にはPPS(東レ製)を使用しており、非常に強固な外装となっている。また、電池としての能力は鉛電池と比べて約2.4倍の始動性能を発揮できるだけの電力安定性が取れている(図18)。

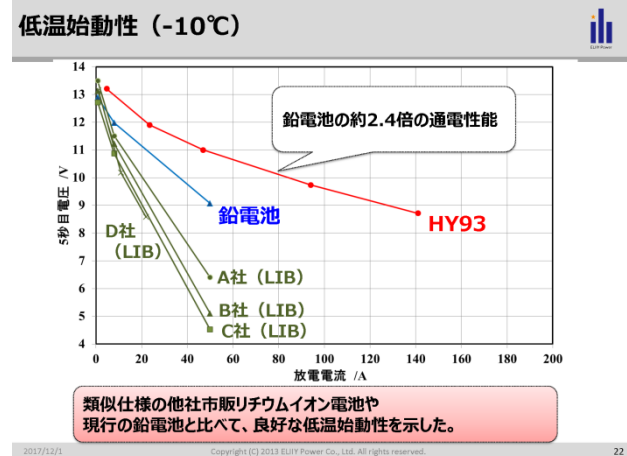


図18 低温始動性(-10℃)

安全認証についても、やはり黎明期は規格そのものができ上がっていなかったもので、認証機関にも協力いただき、第3者認証を取得した。今現在、これどころかという形で、市場からの反応を問うている状況である(図19)。

今後も、東レリサーチセンター、また今日ご来場の皆さまとも協力しながら蓄電池の普及を続けていこうと思うので、これからもますますの良好な関係を構築させていただければと思っている。

原 富太郎（はら とみたろう）

エリーパワー株式会社

技術開発センター開発一部

部長・上席主幹研究員

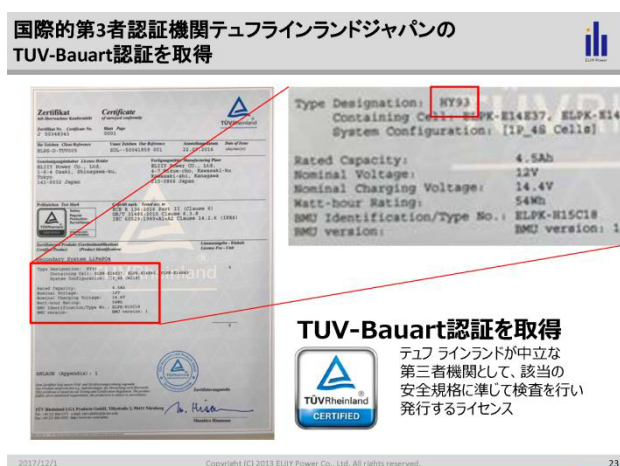


図 19 国際的第三者認証機関テュフラインランドジャパンのTUV-Bauart 認証を取得

6. まとめ

エネルギーを無駄なく、効率よく利用するスマートエネルギー社会の発展のためには、定置用の蓄電池はなくてはならない存在となりつつある。当社では、オリビン型のリン酸鉄リチウムを使い、定置用リチウムイオン電池として求められる高安全、大容量、高耐久を実現した電池を開発し、量産、販売している。ユーザーが直接取り換えを行うことがある始動用のバッテリーにも、高い安全性が求められている。特に二輪用途では、過酷な使用環境下での安全性確保、性能確保が必須となる。当社では定置用で作っている用途技術をベースに、出力用途へと逆に振ることで、始動用バッテリーの改造を進め、二輪メーカーの厳しい安全、性能要求を達成して量産化を果たした（図 20）。

まとめ

- ・エネルギーを無駄なく、効率よく利用するスマートエネルギー社会の発展のため、定置用蓄電池はなくてはならない存在となりつつある。
- ・エリーパワーではオリビン型リン酸鉄リチウムを正極材料として採用し、定置用途リチウムイオン電池として求められる高安全、大容量、高耐久を実現した大型リチウムイオン電池を開発、量産化した。
- ・また、ユーザーが直接取り換えを行う始動用バッテリーについても高い安全性が求められる。特に二輪用途では、過酷な使用環境下での安全性確保、性能確保が必須要件となる。
- ・エリーパワーでは定置用途で培った技術をベースに始動用バッテリーの開発を進め、二輪メーカーの厳しい安全要求、性能要求を達成、量産化した。

図 20 まとめ