CAPACITORS FORUM

キャパシタ フォーラム

VOL. 10

写真は事例集より転載

特別寄稿

車載蓄電池の性能評価手法の技術開発　東京大学　田中謙司

EV急速充電時のログデータを用いたLiB電池の劣化分析　明星大学　石田隆張

MgO鋳型炭素を用いた低コスト・高性能キャパシタ電極の開発　産総研　吉澤徳子

キャパシタフォーラム会報　2015年　通巻10号

2014年次大会受付

年次大会スナップ

月次フォーラム講演

年次大会懇親会

CONTENTS

工学的議論　堀会長……3
車載蓄電池の性能評価手法の技術開発　田中謙司……5
EV急速充電時のログデータを用いた
　リチウムイオン電池の劣化分析　石田隆張……8
MgO鋳型炭素を用いた低コスト・
　高性能キャパシタ電極の開発　吉澤徳子……12
キャパシタハイブリッド型鉛蓄電池 UltraBattery
　赤阪有一　古川淳……14
東芝二次電池SCiB™のビジネス概況　江坂俊……16
スズキ　Sエネチャージ組み合わせ技術の知恵と工夫　高柴久則……17
日本ケミコン株式会社
　車載用電気二重層キャパシタの生産拠点　宮川尊……19
リチウムイオンキャパシタ普及への取組み　安東信雄……22
東洋合成工業の電解液メーカーとしての合成・
　機能性評価・製造技術の三つの強みについて　菅井恵介……24
キャパシタ用活性炭への取り組み　田中誠……26
交流法によるキャパシタの容量測定　高橋哲哉……28
アイドリングストップ寿命試験特性と
　充放電試験システムについて　岡澤大介……30
Beyond The Grid!
自律分散電力システム開発への道　松本吉彦……32
キャパシタ解説シリーズ（第9回）木下繁則……36
会員企業紹介　リケンテクノス（株）……38
2014年度フォーラム活動実績……39
事務局からお知らせ他……40

『工学的議論』

堀　洋一

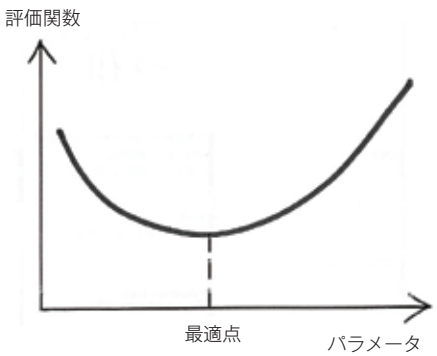
長年、大学で卒業論文、修士論文、博士論文などの指導をしていると、しばしば気づくことがある。優秀な学生ほど（じつは優秀ではないのだが）ベストを追い求めて、いつの間にか遠くに来てしまう。ふと気がつけば、独りよがりになっている。自説、つまり自分の提案の良さを一所懸命説くが、すでに宗教の世界である。聞く方は「ふ〜ん、そうなの、それで？」としか言えない。

新しい提案は他人に認められてこそ価値をもち、実現に向かって進む。そこで、自説の良さを他人に説くために有効な3つの秘訣を述べてみる。

（1）敵を作ってやっつける。敵とは「従来法」「先行研究」「ライバルの研究開発」などである。それらとの比較を行い、横に並べて自説の良さを明確に示す。この場合、敵はできるだけ強くなくてはならない。たとえば、大昔のデバイスや電子回路と比較しても何にもならない。何十年も前の制御方式に比べて良くなった、と言っても始まらない。脇目もふらず突進してはいけない。研究開発は脇目をふりながら、つまり周囲の研究開発状況をよく見ながら進めなければならない、ということでもある。

（2）最適化の図を描く。まったく新しい提案であって、どうしても比較してやっつける相手が見当たらないときは、自提案法の中で振ることのできるパラメータをでっち上げて図のようなグラフを描く。横軸と縦軸に何をとるかが腕の見せ所である。たとえば、横軸はそのパラメータ、縦軸は性能やコストである。横軸は2〜3種類あるかもしれない。こんなことは誰でもわかっていると思うことなかれ。案外やっていないものである。みなさんも、上司が自提案の良さをわかってくれなくて困っている人はたくさんいるだろう。

工学の本質は最適化である。妥協、トレードオフ、バランス、比較、よい加減、などと言ってもよい。このグラフに谷（あるいは山）がないと、それは工学の問題ではない。やればやるほどよいということになるから、あえて言えば理学的問題である。ここが理学と工学の違いである。工学問題なのに理学的に解釈するから、蓄電池への過度の期待、無節操な再生可能エネルギー政策などの間違いが起こっているとも言える。



（3）話は3つにまとめる。これは前号でも述べた。ちょっと繰り返すと、100年後のクルマは①モータ、②キャパシタ、③ワイヤレスで走る。つまり、①「エンジン」ではなく「電気モータ」で走る電気自動車（EV）が主流となり、②大きなエネルギーを持ち運ぶ「リチウムイオン電池」ではなく頻繁なパワーの出し入れに優れた「キャパシタ」が有利で、③「急速充電スタンド」はなくなって「ワイヤレス給電」が重要な役割を担うだろう。

モータ／キャパシタ／ワイヤレス、と3つに絞ったため、人がよく覚えてくれるようになった。

電気自動車の特長は電気モータの特長そのもので、それは、①高速トルク応答、②モータの分散配置、③正確なトルク値の把握、の3点である。それは、①車輪をすべらなくする粘着制御、②2次元的な車両運動の改善、③路面状態の推定、という、ガソリン車にはできない3つを実現する。実はこれに加えて、④正負のトルクがシームレスに発生できる、という特長もあるが、4つあると重いのであえて3つにする。必要なら、もうひとつ言ってよければ④もある、という。キャパシタの特長は、①寿命が長い、②大電流の充放電が可能、③端子電圧から残存エネルギーがわかる、という3点である。本当はもっとあるけど、どうせ覚えてくれないから言わない。

というわけで、この小文の話も図らずも3つになっている。そして、あえて付け加えるならば、ということでもう一つ。

製品に「並、中、上」があって実は「上」を売りたい。しかし客は「中」ばかり注文する。どうすればよいか。答えはメニューに「特上」を作ることである。そうすると客は「上」を注文する。「特上」の注文が来たら、いまちょっとネタを切らしてるのですぐにはできない、「上」でも十分だと思いますがいかがでしょう、などという。これは寿司屋の話であるが、他にも使えそうである。

こういうことをまとめて「工学的議論」という。決して詭弁を弄したり、茶化しているわけではないので、最後にひとつ例をあげよう。鉄道の安全性は自動車に比べてはるかに高い。そこで鉄道の安全性を10倍悪くして値段を半分にすれば（そういう技術があるとして）、車から客が移ってくる。トータルの交通事故による死亡者数は減る。そんな議論は昔はご法度だった。いま流行の「自動運転」では、自動運転の導入によって増加する死亡者がいても保険でカバーする。トータルの死亡者は減るからいいではないか、という暗黙の了解がある。これは工学的議論が世に認められつつある証左である。と、あえて喜ばしく思うが、皆さんはどうお考えになるだろうか。

堀　洋一（キャパシタフォーラム会長、東京大学新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻 教授）

車載蓄電池の性能評価手法の技術開発

田中　謙司

1. はじめに

本報告では、2015年3月に終了した新エネルギー導入促進協議会（NEPC）の補助による車載蓄電池の性能評価手法の技術開発プロジェクトの成果について概要を報告する。

電気自動車は、三菱自動車、日産自動車を初めとした日本の量産会社が販売を開始し、続いて、プラグインハイブリットなどの電動車両までも含めて主要欧米メーカーも発表するなど自動車業界の中の一分類として定着しつつある。その後、当初不足していた充電設備の設置なども整備が進んだことなどもあり、以前よりも身近な車両として存在感を増してきている。

電気自動車が普及するにつれて、高価な電動自動車を購入するユーザの間では電池の性能劣化へ関心が高まっている。携帯端末などの蓄電池が数年で劣化してしまった経験を持つユーザが大半であり、電気自動車で最も高価な部品である二次電池を含む蓄電システムに対して、購入者が同様の不安を感じるのは容易に想像できる。

そこで、本プロジェクトは、電動車両普及のためにも、車載蓄電池の残存性能を評価する手法を開発することを目的とし、日本自動車研究所、産業総合研究所、東京大学を中心として検討を進めてきた。今回対象としたのは、車載蓄電池の主体であるリチウムイオン二次電池を通常範囲内で使用し続けることによる経年の性能変化を評価することである。故障や保証範囲外使用に分類されるような非連続な性能変化は対象外としている。

これらの手法開発は、今後の更なる電気自動車の普及のためにも貢献できるものと考えている。また、購入側の不安に応えるだけではなく、将来的に、汎用性の高いその電気自動車の蓄電機能を、自動車用途だけではなくV2Gといった定置用途などへも活用することによる電池性能変化への影響も評価することなどの活用も考えられる。

2. 車載蓄電池の性能評価手法の技術開発

実際の電池利用環境は非常に複雑であり多様である。電池の性能変化をこれらそれぞれの環境で検証実験を行うことは現実的には不可能である。（図1）、このギャップを埋めるため、本プロジェクトでは、劣化因子毎の補完法を検討することで、これら性能推移の実験結果を任意の環境条件において再現する電池の残存性能評価法を開発した。（図2）

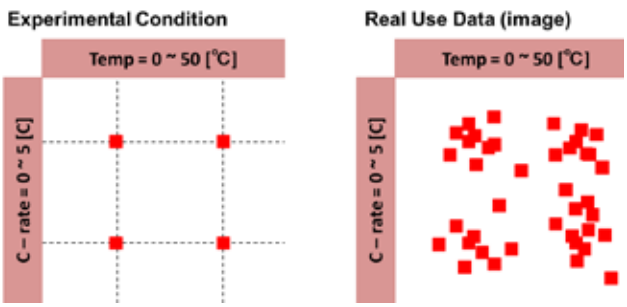
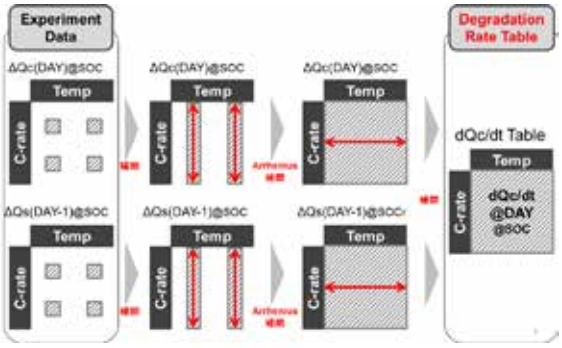


図1　実験による実利用環境再現の困難性（概念図）

図2　任意条件の劣化速度補完（概念図）



$$E = \int P dt = \sum (V \times \Delta Q) = V_{\_average} \times Q \quad (1)$$

$$P = V \times I = (V_0 - I \times R) \times I \quad (2)$$

まず、電池性能の中でも、システム側の要請は、エネルギー密度Eと出力密度Pの2つであり、すなわち容量Qと内部抵抗Rの性能推移を評価することを目指す。（1）(2)式参照）

堀江[1]によればリチウムイオン二次電池の劣化メカニズムは、図3のように負極とその表面の堆積物に由来する劣化が主要因として推定される。この性能変化には、保存温度、保存SOC、充放電サイクルの経過時間が影響の大きい劣化因子としてあげられる。したがって、本プロジェクトではこれら要因の影響を評価するため、各因子について複数条件での充放電劣化加速試験を行った。実測結果に基づき、因子別の劣化速度を解析し実験条件間の補完を行った。実測値間の補完は、例えば温度の場合、負極表面の有機分解物生成の化学反応などの劣化モードが同じであればアレニウス則が成り立つとして劣化速度を補完する。（図4）これら劣化速度データベースに基づき任意の使用条件を再現した容量、内部抵抗の性能変化を算定する。電池容量と内部抵抗の劣化分は、劣化因子が独立して保存時間寄与分と充放電サイクル寄与分の和で示すことができる加成性が成立つと仮定した（図5）。

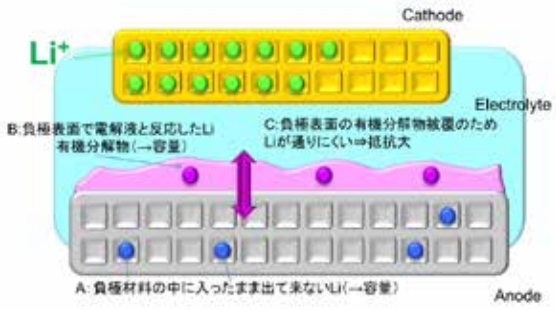


図3　リチウムイオン電池の劣化メカニズム[1]

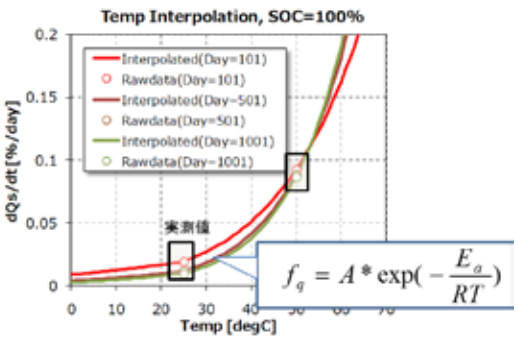


図5　使用環境と劣化速度に基づく電池劣化算定

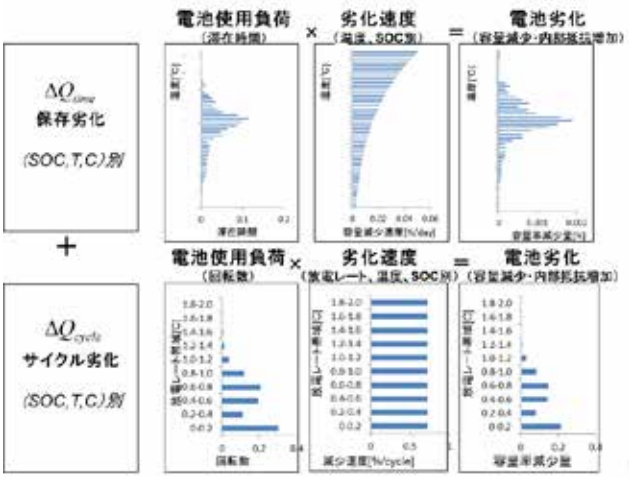


図4　アレニウス側を用いた実測値補完

3. 車載蓄電池への適用結果

本手法を車載蓄電池へ応用した結果例を図6に示す。車載電池セル劣化加速試験を16条件で行い、この実測値を基に補完した劣化速度データベースと、走行車両の実利用環境を再現して性能変化を評価した。その結果、概ね妥当な結果を得ることができ、実車両の車載電池性能変化は、想定保証の範囲内に十分収まっていることも確認できた。今後、評価精度を確認していく必要があるが、これを用いて同じ電池を東京で定置用へ用いた場合、または、高温帯の宮古島でＰＨＥＶへ用いた場合なども推定することができる。（図7）

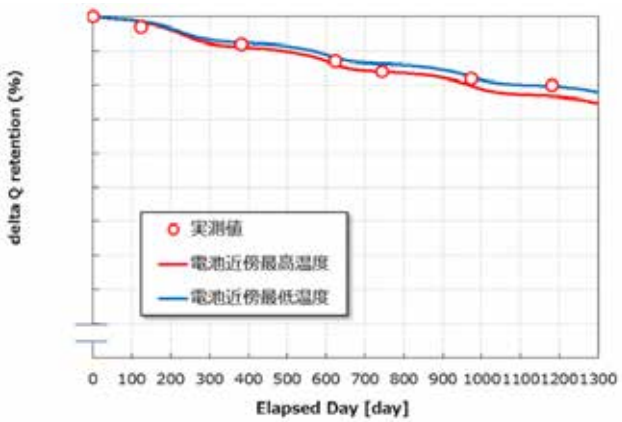


図6　実走行車載電池の評価と実測値（関東域内の実車両の例）

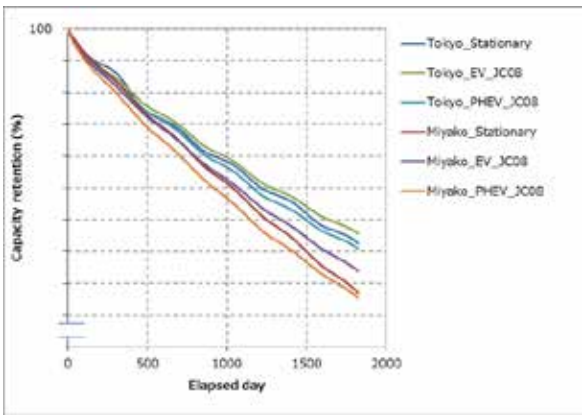


図7　車載セルの環境別の性能変化推定

4. 結言

本プロジェクトでは、主な劣化因子別に任意の条件で電池劣化速度を推定する補間法を開発し、それに基づいて残存性能を推定する電池評価モデル手法を開発した。この手法を用いて車載電池試験、実走行車両の試験の検証を行った結果、試験の条件範囲内で推定した劣化速度は概ね予測と結果が合致することを確認できた。モデルの適用により、実利用を含めた想定される電池使用シナリオに対し、電池の残存性能を推定することが可能となった。

最後に、本研究は新エネルギー導入促進協議会（ＮＥＰＣ）の補助による車載蓄電池の性能評価手法の技術開発プロジェクトの補助の成果の一部である。共同研究を行った日本自動車研究所、産業総合研究所に謝意を示す。

[1]堀江英明編著、リチウムイオン電池基礎と応用、培風館（２０１０）

田中　謙司（特任准教授　東京大学　総長室総括プロジェクト機構大学院　工学系研究科　システム創成学専攻（兼任））

EV急速充電時のログデータを用いたリチウムイオン電池の劣化分析

石田　隆張

1　はじめに

リチウムイオン蓄電池（以下蓄電池）の普及に伴い、その耐用年数を数値化する劣化診断へのニーズが高まりつつある。従来、蓄電池の劣化診断はセル単位で行われる例が多くみられる。[1] 蓄電池は一般的に組電池の形で製品に組み込まれている。そのため、従来の劣化診断法を適用するには、セルごとに分解して測定・劣化診断を行う必要がある。製品に組み込まれたのちにセルに分解することは電池メーカーが回収を行って行うには可能であるものの、それ以外の業界のプレーヤが蓄電池を分解して劣化診断を行うことは事実上困難である。

本報告では蓄電池システムの観点から、特に電池パック単位での劣化診断で必要な推定精度についての議論を行った後に、２２０台の電気自動車（以下EV）の充電データを用いた分析結果の一部について紹介する。この結果をもとに、充電時の電流、電圧と電池の劣化指標を用いた簡易的な劣化診断方法についての構想を紹介する。

2　劣化診断で必要と思われる推定精度

劣化診断を行う目的として以下がある。

・(a)蓄電池自体の性能の判断
・(b)再利用のための残価判断

(a)は我々が携帯型端末を用いる際に、感覚的に充電周期が短くなってきている、というのを定量的に示すための指標として用いる。(b)は例えばEVをレンタカーとして利用した場合、償却後に一般市場に出す際の指標として用いることが考えられる。特に日本にとって原料としてのリチウムのほとんどを輸入せざるを得ないため、資源の効率的利用の観点から、4R（Reduce Reuse Recycle Refabric）を進めていく必要がある。特にReuseに関して前記(b)の項目が今後重要になるものと考えられる。

再利用のための残価判断としての劣化診断に関して、前記したように多くの公知となっている発表はセルレベルでの内容である。(b)に向けた劣化診断は組電池を対象としていることが必要と考える。この分野に関して組電池のレベルで公知になっている内容として、劣化診断のもととなるSOC推定をバッテリーコントローラーにおいて行う演算において、3%程度の演算誤差が含まれているとの学会報告[2]が確認できている。このことから、SOC演算をもとにする劣化診断は少なくとも3%程度の誤差が含まれることとなる。それでは再利用を対象とした蓄電池の劣化診断において、必要とされる推定精度はどの程度であろうか。

ここで蓄電池の劣化診断を必要とするアプリケーションの例を、定置型の蓄電池、移動体に搭載された蓄電池に分類すると、次のような適用例が考えられる。

・電力系統の周波数制御（定置型）
・家庭用のピークカット（定置型）
・蓄電池の残価評価（定置型）
・EVの残価価値評価（移動体）
・V2G（ベース電源、周波数制御、移動体）
・V2H（家庭用のピークカット、移動体）

これらのアプリケーションをSOCの精度要求とリアルタイム性という2軸をもってマッピングする（図1）。ここでリアルタイム性をいう軸を追加したのはできるだけ正確なSOC推定をどの程度の短時間で必要か、という観点を

加えたためである。

電力系統の周波数制御は自動周波数制御(AFC、Automatic Frequency Control)が3分程度の制御周期をもって行うことと、必要電力量を充放電できない場合は電力系統における周波数の安定の観点から問題が生じることより、図1では左上に位置する。一方、V2H、家庭用のピークカット向けの蓄電池では30分同時同量を満たせばよいことと、SOCの精度が低く、充放電量に誤差があっても系統から過不足分を調達すればよいことから、さほどSOCの精度要求は高くなくともよいと考えられる。V2Gはそれらの中間に位置するものとした。一方、残価評価に関し、リアルタイム性はあまり要求されないものの、コストに関係することなので、ある程度のSOC要求精度が必要であるものと考えられる。

蓄電池の再利用を想定すると、図1での電力系統の周波数制御、あるいはそれに準じた使い方をするV2Gのような信頼性が重視されるアプリケーションにおいて、再利用の蓄電池はなじまないものと考える。したがって、図1中の他の4つのアプリケーションを蓄電池の再利用の用途として用いることを想定すると、さほど厳しいSOC精度は必要ない、すなわち、SOC精度をもとに計算する劣化指標もさほど厳しい推定精度は不必要と考えてよい。先に示した文献に記述されている内容から見て、劣化診断には3%程度の誤差は含まれると考えてよいので、劣化診断モデルの計算誤差をSOC推定誤差の倍と考えて本稿では劣化診断の誤差を6%程度の「そこそこの」推定誤差範囲に収まることを今後の目標としたい。

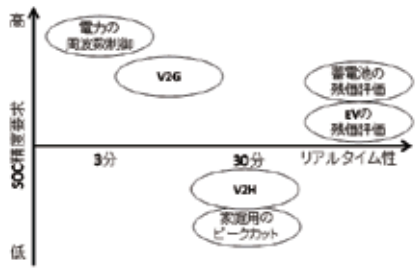


図1　アプリケーションとSOC精度，リアルタイム性要求

3　二次利用のための電池に関するデータ

以下ではEVの蓄電池の二次利用を対象として議論を進める。実際に蓄電池の劣化診断を行うには、前章で述べたように「そこそこの」精度でよい場合ものと仮定すると、EVの利用シーンを考慮すると、劣化手法として大まかに次の3手法が思いつく。

（1）EVを使用した「時間」で劣化のレベルを判断

（2）EV利用時の「走行距離」で劣化のレベルを判断

（3）EV電池の充電時の「電気量」から劣化のレベルを判断

（1）（2）は手法として簡素でわかりやすく、ナビ、あるいはプローブデータから該当データを取得することが可能である。しかし、各車両にデータを取得する仕掛け、センターシステムへの通信等、コストがかさむ。また、ユーザーの運転の仕方、渋滞状況で大きく数値が異なることが予想されることから精度的にばらつきが大きくなることは避けられない。したがってこの方式では「そこそこの」精度も満足できない可能性がある。（3）の方式に関し、車両側に負担にならないように、何らかのデータを取得することが可能であれば「そこそこの」分析が可能である。本稿では実用上の精度から（3）をターゲットに以下議論を進める。

具体的な電池の劣化診断方法としては従来から行われている電気化学的な方法、開電圧データから内部抵抗を推定する方法、等がある。こ

れらはEVのように他の用途と比較して電池の制御頻度が大きい場合には劣化の推定が困難である。また、前記した方法はいわゆる「セル単位」での劣化分析であるため、本稿で目指している「パック単位」での外部特性をもとにした劣化診断には向いていない。そこでEVの充電、特に急速充電に着目し、取得可能なデータについて以下考える。

図2は急速充電時のEV、急速充電器（EVSE）、電力系統、ネットワークの関係を簡易的に示している。EVからはCAN（Control Area Network）からEVSEに対してデータを一定周期で送信している。充電時の電力は通常電力系統から取り込まれる。急速充電器では急速充電の際の直流電流と直流電圧を取得することが可能である。通信の観点から見ると、急速充電時にはCHAdeMO(TM)規格でEVと急速充電機の間でコミュニケーションをとっていて、車側からの電流要求値にしたがって、急速充電器が充電電力をEVに送る、という形で充電が行われている。この際、様々な車両に搭載されている蓄電池に関するデータが充電器に送信される。このような充電装置側での電力データとEVから送信されるデータを用いて外部特性に何らかの関係があれば、蓄電池の劣化状態を推定する方法が開発可能となる。また、このような方法であれば、電気化学に関する知識が少なくとも、電池の劣化を診断することが可能となり、また、外部特性であるので、パック単位、システム単位で「そこそこの」劣化診断が可能となる。該データが蓄積されて多くなると、いわゆるビッグデータ的な解析も可能となる。次に具体的なデータ例について、220台のレンタカーを対象としたケースについて紹介する。

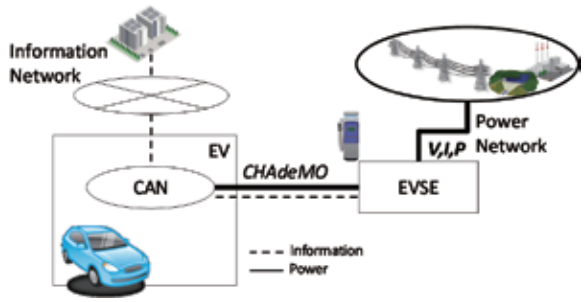


図２　急速充電時の EV，充電機，電力・通信ネットワークの関係 (3)

4　蓄電池データの例

それでは、実際に役に立つデータがどれだけあるか、ということが次の議論内容となる。例として図3に横軸に充電時間、縦軸に電池パックの電圧、すなわち、急速充電器から取得した電圧値をとった場合の、充電電圧のプロファイルを示す。データは7月10日、7月16日、9月19日、10月12日、12月2日、12月10日のサンプルである。なお、充電開始時のSOCの値はグラフ中のサンプルですべて同じである。この傾向から、急速充電開始から5分程度までにおける電圧の立ち上がりが、日を追うごとによって大きくなっていく傾向が見られる。また、EVがCHAdeMO(TM)経由でデータを送信する項目の「電池総容量」の値が7月10日では19.2であったのに対し、12月10日では17.6と日を追って小さくなっていく傾向が見られる。「電池総容量」とはCHAdeMO(TM)バージョン0.9において「車載電池の総容量」と記載されていることに基づけば、図3に示した充電電圧のプロファイルから、総容量の減少ということで蓄電池の劣化を判定できそうである。なお、図3の電圧プロファイルで電圧が上昇している時間帯はCC充電を行っていて、電圧が一定の時間帯はCV充電を行っている。蓄電池の劣化は物理的には内部抵抗の上昇であることを考えると、定電流充電時に内部

抵抗の上昇につれて充電電圧が上昇する現象はオームの法則で説明がつく。

5　劣化診断方法の一例

寄稿では現実的な動作として安定している電圧パターンマッチング法(3)を採用することとする。電圧パターンマッチング法の概要を図4に示す。この方法はまず電池総容量と電圧プロファイル、充電開始時のSOCの項目からなる履歴データベースから、急速充電時の電圧プロファイルとのマッチングを実施する。その結果、データベース中で最も図4中に示す評価関数が小さくなるサンプルに対応する、電池総容量を推定電池総容量とし、蓄電池の劣化を判断する。なお、本方式ではCC充電、CV充電いずれの時点までマッチングを行うか、ということをはじめとして、様々なパラメータの扱いが問題となる。この適切なマッチングを行う時点等、詳細内容については、紙面の関係上、別の機会があれば報告したい。

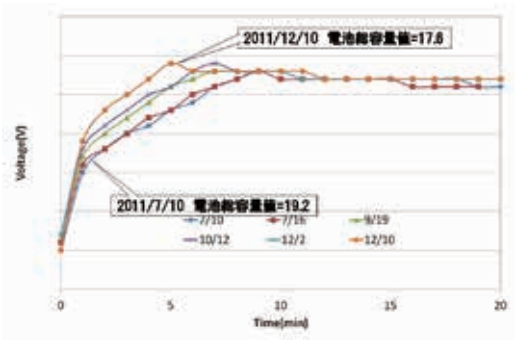


図3　充電プロファイルの例(3)

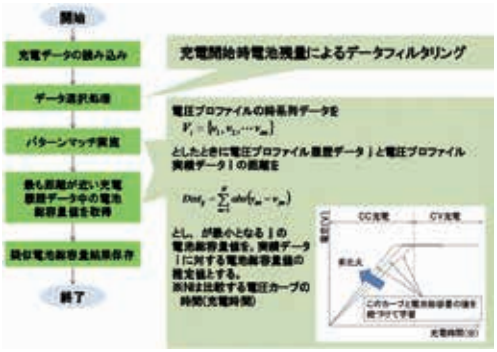


図4　充電プロファイルを用いた蓄電池劣化診断例

6　おわりに

220台のEVレンタカーの充電データから、蓄電池の劣化診断を「パック単位」での外部特性ととらえて、データの妥当性と、劣化診断方式の構想について示した。なお、筆者は電池を「作る側」というよりも、「有効に使う側」であるため、専門家から見ると誤った認識の箇所もあるかと思います。今後のご指導、ご鞭撻をいただけると幸いです。

最後に本研究全般についてご助言をいただいた(株)日立ソリューションズ栗田様、嶋津様に感謝いたします。

参考文献

(1) T. Morita、H. Sakurai、M. Hoshino、K. Honda、N. Takami：" Simple evaluation method of cell performance degradation based on the charge curve analysis of lithium ion batteries"、The 53rd Battery Symposium in Japan、3A-17(2012) (in Japanese)
森田朋和、櫻井宏昭、星野昌幸、本多啓三、高見則雄：「充電曲線解析法に基づくリチウムイオン二次電池の電池状態推定と余寿命評価」、第53回電池討論会、3A-17
(2)河原洋平・川田隆弘・江守明彦・青島芳成、リチウムイオン向けSOC演算アルゴリズムの開発。平成19年電気学会全国大会、4-231、2007。
(3)石田隆張・嶋津秀昭・松本宗久、充電ログを用いたリチウムイオン電池劣化のビッグデータ分析。平成25年電気学会産業応用部門大会講演論文集、51-54(4-S7-6)、2013.

石田隆張（明星大学　理工学部　総合理工学科　電気電子工学系　教授）

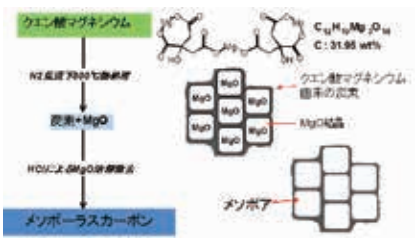
MgO鋳型炭素を用いた低コスト・高性能キャパシタ電極の開発

国立研究開発法人　産業技術総合研究所　吉澤徳子

はじめに：MgO鋳型炭素（Mg-MPC）の開発

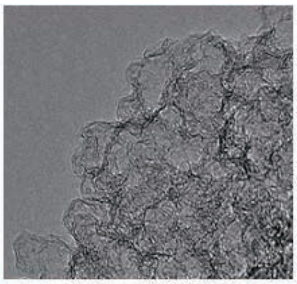
私たちの研究グループでは大容量キャパシタ電極用炭素材料の開発に取り組んでいます。グループとしては幸い、これまでにカーボンナノチューブ、窒素含有炭素材料などによる高性能電極開発に成功し、一定の研究成果を収めることができました。しかしこれらの材料は高コスト、あるいは炭素構造に工夫の余地があり、キャパシタ用炭素材料として実用化するには困難が伴います。そこで同等の性能をもつ低コスト炭素材料の研究に取り組みました。その過程で開発したのが、本稿で紹介するMgO鋳型炭素（Mg-MPC）です。

一般的な鋳型炭素の調製では、特定の形状を持つテンプレート物質（鋳型）と炭素源を混合し、炭素化処理を施した後に、鋳型を酸処理等の手法で除去します。残った炭素組織は鋳型の形状に成型されることになります。賦活により調製される市販活性炭に比較すると、必要なサイズ・形状の細孔が導入可能な手法であり、多孔質炭素の高付加価値化の観点から近年注目される調製方法です。過去にゼオライト、メソポーラスシリカ、陽極酸化アルミナなどを鋳型とした多孔質炭素の研究が報告されました。これらの鋳型炭素に対し、Mg-MPCは酸処理過程でのMgOの溶解速度が他の鋳型物質に比較して非常に早く、ほかにもノウハウ蓄積による生産性向上を図ったことにより、鋳型炭素としては世界初の工業化に成功しました。現在、私どもと協力関係にある東洋炭素株式会社からCNobel㊞（クノーベル）として提供されています。



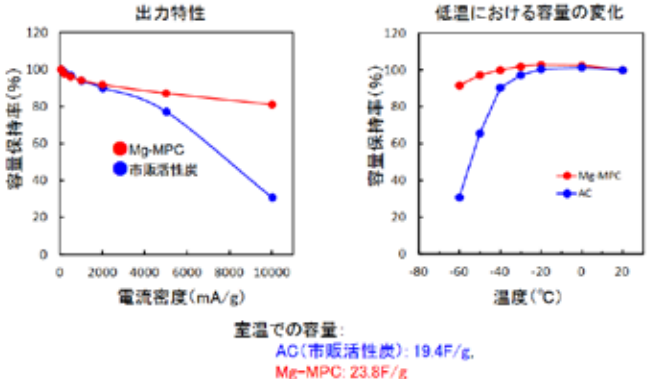
このMg-MPCの最大の特徴は、メソ孔を中心とする細孔構造設計の容易さです。一例として、クエン酸マグネシウム（$Mg_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 9H_2O$）の炭素化によるMg-MPC調製の流れを示します。クエン酸マグネシウムを不活性雰囲気下で熱処理（800-1000 °C）すると、まず炭素組織中に微小なMgO粒子が分散した状態になります。その後、酸でMgOを溶解除去し、MgO粒子の跡が細孔となります。XRD測定結果と比較すると、メソ孔はMgO粒子のサイズよりも、粒子を構成する結晶子のサイズに近く、熱処理過程で炭素源が結晶粒界に浸入して多孔質組織が形成されると考えられています。現在は、各種の炭素源（PVA、フェノール樹脂など）及び種々の粒子径のMgO粒子を用いることで、細孔構造制御を可能としています。具体的には比表面積500～1800m^2/g、全細孔容積～3mL/g、細孔径3.5～150nm、かさ密度0.08～0.2g/mLの範囲で、目的に適した細孔構造が設計可能です。

Mg-MPCの細孔構造の特徴として、(1)メソ孔が3次元的につながる（連通孔）(2)メソ孔と共にミクロ孔が発達、の点が挙げられます。(1)については細孔内部への物質拡散を促進可能で、分子の吸脱着、電荷・イオ



Mg-MPCのTEM観察例
（平均細孔径=5nm）

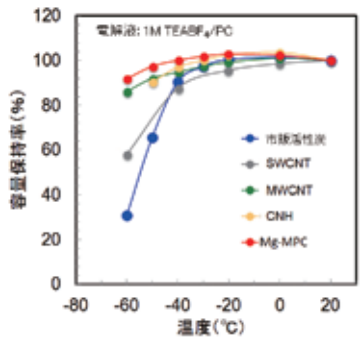
ン移動などの応答性能が優れることにつながります。また(2)に関し、全細孔容積の半分近くがミクロ孔由来です。TEM観察結果からメソ孔を形作る細孔壁が炭素網面数枚と薄く、網面間の隙間がスリット型ミクロ孔として有効に機能することが推定されます。また本稿では詳細を割愛しますが、MgO鋳型炭素は2000℃での高温処理後も1000m²/g程度の比表面積を維持します。一般の活性炭がこの温度域での熱処理後に細孔構造が失う（比表面積は10-20m²/g）ことを考慮すると、驚くべき性質と言えるでしょう。



Mg-MPCのキャパシタ電極特性

成果の一例として、クエン酸マグネシウムを原料として調製したMg-MPCによるキャパシタ充放電の結果を紹介します。

図は1mol L^{-1} $TEABF_4$/PCを電解液、2極ラミネートセルで特性評価した結果です。10000mA/gという大電流密度においても容量保持率が高いことがわかります。また低温特性が非常に優れている点が明らかになりました。図からわかる通り、-60℃という低温でも90%近い容量保持率を示します。各種ナノカーボンが優れた低温特性を示すことは知られていましたが、Mg-MPCはこれらナノカーボンと同等の性能を示します。今後、大容量キャパシタの用途展開として、例えば車載用が期待されています。その際には低温特性が重要ですので、ナノカーボンに比較するとMg-MPCがコスト的にかなり有利であることを考慮すると、Mg-MPCは環境対応性の広いキャパシタ電極材料として一つの方向性を開いたと考えています。



ナノカーボン系電極の低温特性

一方、低温特性の観点からはイオン液体を用いたキャパシタ設計も研究として重要です。私どもの研究グループでは、代表的なイオン液体を電解液として用いた際のキャパシタ特性も評価しています。

まとめ

大容量キャパシタの電極開発では近年、もはや細孔構造の最適化のみでは大きな容量増加が見込めないと考えられてきたように思います。私どもが開発に関与したMg-MPCはメソ孔構造を精密に制御できる点、メソ孔同士が立体的に連続している点が従来にない特徴であり、キャパシタ電極として極めて有利な細孔構造を設計しました。今後さらに幅広い条件での充放電特性を調べると共に、ハイブリッド化を含めた新規キャパシタ電極の開発にも取り組む予定です。

キャパシタハイブリッド型鉛蓄電池UltraBattery

古河電池株式会社　経営戦略企画室
UB事業化部　赤阪有一・古川淳

環境意識の高まりや原油価格の不透明感から、一般ユーザーはエコカーに対し高い関心を持っています。エコカーの一つに、アイドリングストップ機能を備えた車（以下ISS車）があります。アイドリングストップ機能は、システムが単純でコストが安価であるため、二酸化炭素排出量削減や省燃費への費用対効果が高く、今や新車のほとんどで採用されています。また、それらの効果をさらに高めるため、減速時のエネルギーをバッテリに充電したり、加速時にモーターでパワーアシストする機能が付加された車も登場しています。このような車をISS車と区別して、マイクロハイブリッド車と呼びます。

ISS車やマイクロハイブリッド車に搭載される鉛蓄電池は、従来鉛蓄電池が苦手とされてきた部分充電状態（Partial State of Charge、以下PSOC）で使用されます。通常、PSOC用途で鉛蓄電池を使用すると、負極表面が粗大な硫酸鉛の結晶で覆われてしまうサルフェーションという現象により、早期に寿命に至ります。この問題を解決するため、弊社はオーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）と共同でUltraBatteryを開発しました。UltraBatteryの構成を図1に示します。UltraBatteryは鉛蓄電池の負極表面に活性炭を含んだキャパシタ層を形成させ、同一セル内に鉛蓄電池と非対称キャパシタを組み込んだキャパシタハイブリッド型鉛蓄電池です。UltraBatteryはキャパシタ性能により優れた充電受入性を有するため、PSOCにおける連続使用でもサルフェーション現象が抑制されます。よって、UltraBatteryはPSOCにおいて長寿命です。

ECHNO IS UltraBatteryは2014年4月から販売を開始しました。諸元を表1、Q-85/D23サイズの写真を図2に示します。また、優れた充電受入性が評価され、2014年11月に本田技研工業株式会社様のオデッセイ　アブソルートに採用されました（図3）。

ここではUltraBatteryのラボ評価とフィールド試験結果についてご紹介します。

表1　UltraBattery 諸元

形式	公称電圧 (V)	公称容量 (Ah)	外形寸法(Ohm) 総高さ	端高さ	幅	長さ	浸入り質量 (Kg)
[illegible]	12	33	227	200	128	190	10.7
[illegible]		36	227	200	128	237	13.2
Q-85/D23		54	225	200	172	231	17.2
[illegible]		64	225	200	172	268	19.7

図1　UltraBattery 構成

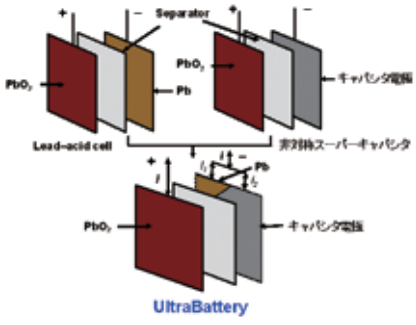


図2　Q-85/D23 ECHNO IS UltraBattery

UltraBatteryの充電受入性能を評価するため、異なった充電状態（State of Charge、以下SOC）から定電圧充電を行い、電流の推移から充電受入性能を評価しました。SOC90%で比較すると、UltraBatteryは他社ISS用電池よりも約1．5倍の充電受入性能を示しました。また、UltraBatteryはSOC80、70%といった低いSOCで更に優れた充電受入性能を示しました。

次にPSOC寿命性能を評価するため、欧州におけるマイクロハイブリット車用試験であるDynamic Charge Acceptance寿命試験を行いました。この試験は、電池が常にSOC80%に置かれるため、サルフェーションを起こし易い試験ですが、UltraBatteryは弊社ISS用電池の約2倍の寿命性能を示しました。また、SOCを60%まで下げて寿命試験を実施し、途中解体した負極を調査したところ、ISS用電池の負極はサルフェーションが進行していましたが、UltraBatteryの負極はそれが抑制されていました（図4）。

図3　ホンダ　オデッセイ　アブソルート
写真提供：本田技研工業㈱

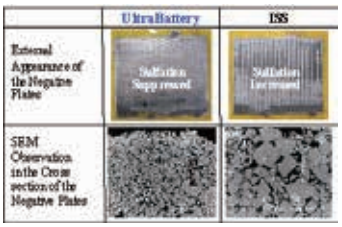


図4　負極サルフェーション比較

UltraBatteryが車両の燃費に与える影響を調査するため、ISS車にUltraBattery及び比較用の弊社ISS用電池を搭載し、フィールド試験を実施しました。弊社による測定の結果、UltraBatteryは弊社ISS用電池よりも、平均アイドリングストップ回数及び総アイドリングストップ時間が延長され、燃費は3～5%向上しました。また、試験中のUltraBatteryはISS用電池よりもSOC低下が抑制されていました。これらの結果は、UltraBatteryの優れた充電受入性を裏付ける結果であると考えられます。

以上のように、UltraBatteryは、高安全性で低コストという鉛蓄電池の利点をそのままに、キャパシタとのハイブリッド化により、優れた充電受入性とPSOC寿命性能が付加された次世代鉛蓄電池です。よって、自動車用途以外、例えば、急峻な充放電が繰り返されるスマートグリッド用途としても最適です。今回は紙面の都合上ご紹介できませんが、弊社ではスマートグリッド用として据置用制御弁式UltraBatteryもラインアップしています。

東日本大震災から4年の月日が経ちました。被災地に立地する企業として、弊社はこのUltraBatteryの性能をさらに向上させ普及させることで、エネルギー問題の解決に貢献していきたいと考えています。

東芝二次電池SCiB™のビジネス概況

㈱東芝　江草　俊

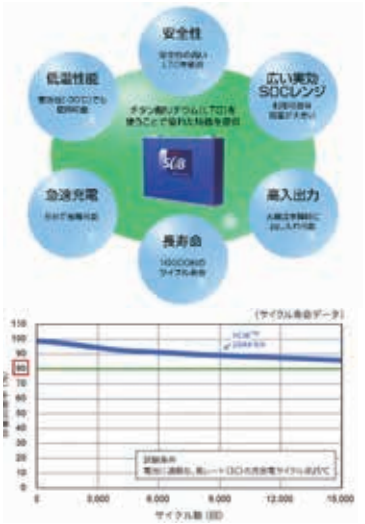
はじめに

弊社二次電池SCiB™は、リチウムイオン電池ではありますが、「高入出力」「長寿命」「安全」といったキャパシタと類似した特徴を持ち合わせていることから、本フォーラムで紹介する機会を頂きました。以下にSCiB™の特長と適用例をご紹介いたします。

SCiB™の特長

SCiB™は、リチウムイオン電池の炭素系負極材料をチタン酸リチウム（LTO）で置き換えた二次電池です。これにより、外力などで内部短絡が生じても熱暴走を起こしにくい構造になっています。また、充放電一万回以上の長寿命、6分間での急速充電、キャパシタ並みの入出力密度、-30℃の低温での動作等、優れた諸特性を有しています。

<SCiB™の主な特長>



製品	タイプ	仕様	用途
	高入出力セル（3Ah）	・公称電圧：2.4V（電圧範囲：1.8～2.8V） ・公称容量：3Ah ・体積入力パワー密度：6,000W/L（50C10sec） ・体積出力パワー密度：4,780W/L（50C10sec） ・形状：63（W）×14（D）×97（H）mm ・重量：150g	アイドリングストップシステム、μHEV 用途など
	高容量セル（20Ah）	・公称電圧：2.3V（電圧範囲1.5V～2.7V） ・公称容量：20Ah ・エネルギー密度：176Wh/L ・形状：116（W）×22（D）×103（H）mm ・重量：515g	EV、PHEV、定置、産業用途など
	高容量モジュール	・電圧範囲：18V～32.4V ・公称容量：40Ah ・形状：359（W）×187（D）×123（H）mm ・重量：14kg ・機能：セル電圧／温度監視、CAN I/F	

＜SCiB™現行製品ラインアップ＞

SCiB™の適用例

自動車の燃費改善にブレーキ回生エネルギーの活用が着目されている中、充電パワーの大きなSCiB™が各社の電気自動車やアイドリングストップシステム等に採用されつつあります。また定置用としては、変電所向けメガワット級の蓄電池システム（ESS）から家庭用の小型蓄電システムまで、多様なニーズに対応した製品を提供しています。特に、周波数変動抑制向けESSは2C～4Cの入出力パワーを要求するためSCiB™の活用が期待されています。

東芝製 需給調整用蓄電池（例）

ワゴンR FZ
：写真提供 スズキ㈱

東芝ライテック製
家庭用蓄電ｼｽﾃﾑ「ｴﾈｸﾞｰﾝ」

i-MiEV Mグレード
写真提供：三菱自動車工業㈱

おわりに

このようにリチウムイオン電池とキャパシタの特長を併せ持つSCiB™ですが、今後より多くの製品・サービスで活用頂けるよう、更なる性能向上・低コスト化に向けた技術革新を進めてまいります。

スズキ　Sエネチャージ
組み合わせ技術の知恵と工夫

スズキ株式会社　高柴久則

燃費向上技術として、コンパクトかつ高効率なISG（モーター機能付発電機）を搭載することで、“エネチャージ”を進化させた“Sエネチャージ”を開発した。

ISGによるエンジン再始動は鉛バッテリから電力を供給し、加速時のISGによるモーターアシストはリチウムイオンバッテリから電力を供給する構成とした。また、リチウムイオンバッテリパック内の回路を見直し、回生やモーターアシストの大電流への対応を図った。

同時に、アイドリングストップからのISGによるエンジン再始動は静粛かつスムーズな快適さを生み出し、加速時のISGによるモーターアシスト機能はさらなる燃費向上を実現させた。

2014年8月発売のワゴンRに搭載し、高い評価を得ている。

1. まえがき

近年、自動車の環境性能が強く求められるなかで、軽自動車やコンパクトカーにおいて、低燃費の実現と市場に受け入れられる価格での新システムを開発する必要があったそのような背景の中、“Sエネチャージ”は、「スズキグリーンテクノロジー」の新たな低燃費化技術として開発した。

2. Sエネチャージ

2・1　Sエネチャージのシステム構成部品

（1）　ISGの特徴

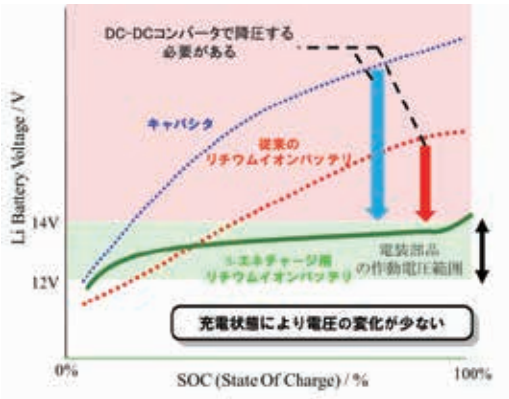


図１ リチウムイオンバッテリ電圧

・ステータ巻線の占積率向上とコイルエンドの高さを低くすることでステータの抵抗を大幅に減少。さらに整流子には低損失のMOS−FETを採用。

・インバータと回転機を一体化させた小型化設計を実現。

・エネチャージ用オルタネータと比べ発電効率は30％、最大発電量は25％向上している。

（2）リチウムイオン電池パックの特徴

リチウムイオンバッテリパックは、エネチャージと共通の5個のセル、それを監視する回路及び半導体切替スイッチをもつBMUで構成される。

セルは、SOCに対し電圧変化の非常に少ない負極材にチタン酸リチウムを用いた電池を採用した。このセルを5個直列に接続

	S-ENE CHARGE	ENE-CHARGE
Size	202×178×84.2mm	200×178×70mm
weight	2.8kg	2.5kg
Specification of Li Battery	36Wh Battery Capacity 3Ah Voltage 12V（2.4V Toshiba SCiB 9Cell）	
Full View		

表１ リチウムイオンバッテリの相違点

し、鉛バッテリと同レベルの12V～14Vの電圧で使用する。そのため、キャパシタや一般的なリチウムイオンバッテリシステムで必要となる電圧調整用のDC—DCコンバータを必要としない。

また、Sエネチャージはエネチャージに比べ減速中の回生エネルギーを増加させたり、モーターアシスト時にも大きな電流が供給される。それらに大電流に対応するため、回路の強化を行った。

2・2　Sエネチャージシステム

Sエネチャージは、減速時に回収する回生エネルギーをリチウムイオンバッテリと鉛バッテリに蓄え、そのエネルギーを電装部品の電力やモーターアシストに使用して燃費を向上させることが目的である。

車載鉛バッテリは、深い放電によるサルフェーションの発生により、劣化が早まる特性があり、常時浅い放電深度で使用するのが望ましい。しかし、短時間なら大電流を放出できる特性がある。

一方で、リチウムイオンバッテリはメモリー効果がなく、サイクル寿命も高いことから繰り返し充放電する使用方法に適している。

Sエネチャージは、上記したそれぞれのバッテリの特性を生かすような電源構成とした。

エンジン初回始動のスタータ駆動や再始動時のISG駆動などの大電流が必要な場合の電源は鉛バッテリとし、リチウムイオンバッテリは電源回路から切り離す。

また、リチウムイオンバッテリをエンジン再始動時に電源回路から切り離し、メーターなどの被保護負荷の電圧低下を防ぐ。つまり、DC—DCコンバータを必要としない。

一方、燃料ポンプ、各種コントローラーやストップランプなど走行中に使用する電装部品（以下、走行必要負荷）の電源をリチウムイオンバッテリとした。減速時にリチウムイオンバッテリに回収した回生エネルギーのみで、走行中の電気エネルギーすべてを補う電源体系とした。その結果、燃費向上を実現している。

モーターアシスト時のISGの電源はリチウムイオンバッテリとした。リチウムイオンバッテリは減速時の回生エネルギーを短い時間で効率良く蓄電でき、そのエネルギーを瞬時にモーターアシスト用に出力できる。

3．最後に

Sエネチャージは、燃費向上、実用性と価格のバランスが要求される軽自動車において、最適な低燃費化技術のひとつである。本システムではモード燃費だけでなく、実燃費の向上にも寄与している。個々の技術を組み合わせて車として仕上げる、知恵と工夫で開発したこの技術をさらに発展させて、これからも新しい価値の開発に取り組んでいきたい。

最後に、Sエネチャージの開発にあたり多大なるご協力を頂いた社内外の皆様に、心から感謝を申し上げる。

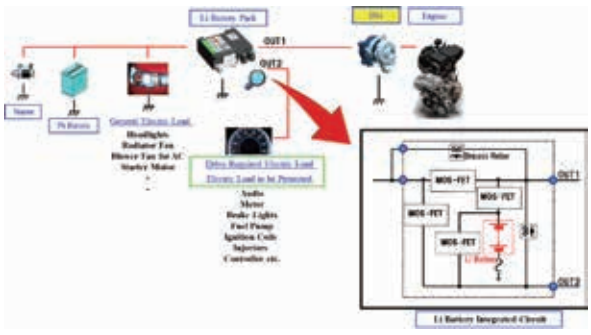


図２　Ｓエネチャージのシステム構成

日本ケミコン株式会社　車載用電気二重層キャパシタの生産拠点（ケミコン山形㈱）

日本ケミコン㈱　宮川　尊

■企業城下町として発展した「長井市」

山形県長井市は「水と緑と花のまち」を標榜する自然の恵み豊かな地である。人口約3万人。県南の内陸に位置し、西に越後山脈の急峻な山岳地帯、東に出羽丘陵地帯を望み、その間を最上川が流れる。

産業史を紐解けば、1942年に大手家電メーカーが長井市に進出して操業を開始したことが地域にとっての大きな変化点になっている。この工場は戦後に子会社化され、コンデンサメーカー「マルコン電子株式会社」として再スタートを切った。マルコン電子はその後の高度経済成長期に順調に事業規模を拡大し、一時代を築くことになった。長井市はマルコン電子を中心とした企業城下町として発展を遂げることになったのだ。

ところが90年代になり状況は一変することになる。海外メーカーとの競争の激化やバブル経済の崩壊の影響を受けて生産高が急減、業績は悪化の一途を辿ったのだ。

そして1995年4月、マルコン電子は大手家電メーカーの系列を離れて、日本ケミコングループの一員として事業を続けることになった。

これが現在のケミコン山形である。

ケミコン山形 遠景

■電気二重層キャパシタの生産

日本ケミコングループには、電気二重層キャパシタの生産拠点が2箇所ある。いずれも山形県に位置し、前述のケミコン山形のほか、ケミコン米沢株式会社（東置賜郡川西町）で生産を行っている。歴史的にはケミコン米沢における生産が早く、2003年には量産を開始している。パソコンやゲーム機向けに導電性高分子アルミ固体電解コンデンサを生産していたケミコン米沢の敷地内に、新棟を建設して電気二重層キャパシタの本格的な量産を開始した。当時、コピー機向けを皮切りに月産3万セルで量産を開始して、以降段階的に生産能力を増強していった。

一方のケミコン山形での生産は2012年からである。ケミコン山形に電気二重層キャパシタの生産ラインを新設することになったきっかけは、マツダ株式会社が開発した減速エネルギー回生システム「i-ELOOP」の蓄電デバイスに、日本ケミコン製の電気二重層キャパシタが採用された事もある。

電気二重層キャパシタの生産ですでに実績のあるケミコン米沢ではなく、積層セラミックコンデンサやセラミックバリスタ等

の生産を行っているケミコン山形を投資先に選んだことには理由がある。第一に、ケミコン米沢は生産規模が拡大し、すでに工場内に十分な遊休スペースがなく、今後の需要拡大に応えていくことを考えるとまもなく手狭になることが予測できたこと、第二に、ケミコン山形がケミコン米沢と比較的近いロケーションにあることである。

そして何よりも、新たに立ち上げる生産ラインが、自動車用部品の生産ラインであるということだ。従来型設備の共用あるいは単純な増設ではなく、より厳格な管理項目のもと、自動車用部品の生産に最適化された生産ラインを構築しなければならなかった。

東日本大震災直後の2011年春から建屋の改築と設備の導入が始まり、翌年の夏には早くも量産に入った。

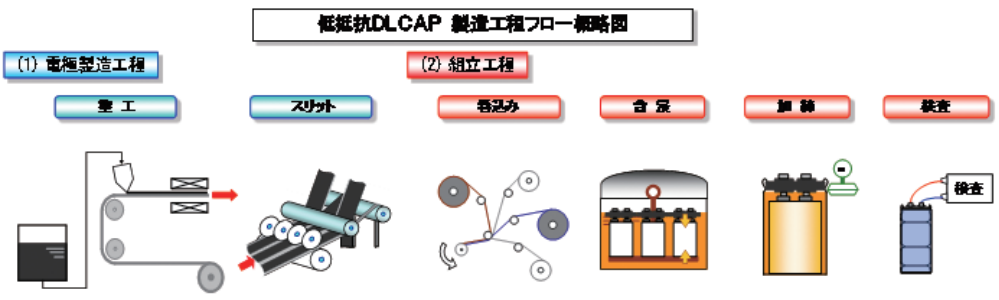
ケミコン山形に導入した生産設備は、ケミコン米沢に量産機と呼べる最初の生産設備を建設してから、四世代目にあたる最新鋭機である。つまり、ケミコン山形の生産ラインは、初めから車載用電気二重層キャパシタのために設計され、敷設された専用ラインなのである。

車載用電気二重層キャパシタの生産は徐々に軌道に乗り、量産から約1年で生産数累計100万セルを達成するに至った。現在では歩留りの向上とその後の設備投資も相俟って、加速度的に生産数を加算し続けている。なお、本稿執筆時点で、車載用電気二重層キャパシタはすべてケミコン山形で生産している。

喜びを分かち合うケミコン山形の社員たち（電気二重層キャパシタ関連部門）

■生産設備は自社開発

生産ラインの立ち上げの中核を担ったのは、生産技術開発センターである。日本ケミコンでは、主力製品のアルミ電解コンデンサをはじめ、製品の生産設備の多くを社内で開発、設計している。コンデンサ用材料の生産設備も同様である。また、グループ内に生産設備の組立、加工を行う子会社があり、独自の生産プロセスの確立と、その技術のブラックボック



ス化を実現している。

立ち上げに際しては、福島県に本拠地を置く生産技術開発センターの選りすぐりの部隊がケミコン山形に常駐し、製品開発部門および製造部門との連携を強化して、速やかな立ち上げを実現した。

生産設備はノウハウの塊であり、当然のことながら社外秘である。ここで公開できないことが残念だが、ケミコン米沢における初号機の建設から約10年で、すべての生産工程でほぼ100%の自動化を成し遂げている。

日本ケミコンの電気二重層キャパシタは、電極も自社で生産している。電極工程では混合した材料をアルミ集電箔に塗布、乾燥し、製品サイズに合わせてスリットされる。組立工程では、電極とセパレータを巻いて素子とし、電解液を含浸した後にアルミケースに収缶して加締める。仕様によってはスリーブかけ等を行ってから最終検査を行って出荷される。

■今後の展開

日本ケミコンにとって自動車は、電気二重層キャパシタの開発に着手した90年代当時からターゲットに据える市場であった。その後、およそ10年をかけてコピー機向けの受注により量産開始に至り、さらにその10年後、ついに自動車への採用が決まった。生産規模は、本格的な出荷が始まった2012年度において拡大し、前年度に比べて約4倍に跳ね上がった。2013年度はさらに2．5倍に拡大し、2014年度も右肩上がりで伸びている。2015年度も上積みが見込まれ、電気二重層キャパシタの生産規模は着実に拡大を続けている。

車載用電気二重層キャパシタを生産するケミコン山形の技術は、ケミコン米沢にも水平展開することで、いずれの工場もいわゆる車載品質を実現している。今後の需要拡大に対応するため、現在も設備投資を継続して行い生産能力の増強を進めている。

一方、さらなる市場獲得を狙い、新製品開発も加速している。日本ケミコンでは、製造現場とのコミュニケーションを重視する考えから、電気二重層キャパシタの開発部門をケミコン山形内に置いている。近年では、車載用途のほか、産業機器用途も視野に入れて、製品サイズを大型化しつつ内部抵抗を抑えた大容量製品を開発した。また、定格電圧2.8V品（既存量産シリーズでは2.5Vまで）および高耐熱85℃品（同70℃まで）の商品化も、すでに射程に収めている。

こうした新製品が新たな市場を生み、電気二重層キャパシタの魅力をさらに広めることにつながれば幸いである。

日本ケミコンの電気二重層キャパシタ「DLCAP™」

リチウムイオンキャパシタ普及への取組み

JMエナジー株式会社　安東　信雄

JMエナジー株式会社は、リチウムイオンキャパシタ（ULTIMO）を製造、販売する、2007年8月に設立された新しい会社です。JSR株式会社の100%子会社であり、環境・エネルギー分野を担っています。

2008年11月には、世界初となる年間30万セルのラミネート型セル生産工場を竣工、2011年には年間12万セルの角形セルパイロット設備導入、そして2015年3月には年間300万セルの角形セル生産の新工場を竣工いたしました。リチウムイオンキャパシタの普及を目指し、安定生産、品質管理を強化し、市場要求に応えるべく高性能化に取り組み、環境負荷低減に貢献したいと思っています。

【リチウムイオンキャパシタとは】

リチウムイオンキャパシタの正極には、電気二重層キャパシタと同様に活性炭を用いており、負極にはリチウムイオン電池と同様にリチウムイオンを吸蔵、放出可能な炭素材料を用いています。また、負極には予めリチウムイオンをプレドープして電位を低下させています。このプレドープ技術により、キャパシタの特長である高出力・長寿命・高い安全性を有しながら、エネルギー密度を高めることが可能となりました。

		ラミネート形セル		角形セル		
		CLQ 1100 S1A	CLE 2300 S1B	CPQ 2300S	CPP 3300S	CPP 1500S
Capacitance (F)		1100	2300	2300	3300	1500
Rated Voltage (V)		3.8 2.2	3.8 2.2	3.8 2.2	3.8 2.2	3.8 2.2
DC-IR (mΩ)		1.2	6.9	0.7	1.0	1.2
E.D.:W (Wh/kg)		10	28	8	12	11
E.D.:V (Wh/L)		19	42	14	20	18
Cell size (mm)	W	180	180	150.2	150.2	120.2
	H	126	126	93.2	93.2	71.8
	T	5.5	5.2	15.8	15.8	12.8

［表1］ULTIMO製品一覧

【ULTIMO製品一覧】

表1にラインアップしているULTIMOの初期特性を示します。製品としてはラミネート形セルと角形セルの2種類に大別されます。角形セルは堅牢性に優れることから、動的用途にも適しています。

●ラミネート型セル

高出力の1100Fタイプと高エネルギーの2300Fタイプをラインアップしています。2300Fセルは1100Fセルと同サイズでありながら、2倍の静電容量を有しており、そのエネルギー密度は28Wh／kgと鉛電池に匹敵します。電池に比べ、出力、安全性、耐久性に優れるため、電池代替として期待しています。

●角形セル

大型の2300F、3300Fタイプと小型の1500Fタイプをラインアップしています。1500Fタイプは顕著な抵抗上昇なく、体積を2分の1にまで小型化しているため、建設機械や自動車用途など、小スペースで使用するニーズに適しています。

【ULTIMOの用途】

ULTIMOは、高い動作電圧、高エネルギー密度を有し、優れた高温特性、耐久性を備え、安全な取り扱いができることから、多くの用途で適用可能と考えています。その用途は大きく分けると次の5つに分類

されます。①瞬時電圧低下補償を始めとしたバックアップ用途、②風力発電や太陽光発電でのレベリング用途、③無人搬送装置、医療機器等の電源として活用されるストレージ用途、④ピーク電力を吸収し設備コスト削減や契約電力低減を目的としたピークカット用途、⑤建設機械やハイブリッド車に代表される制動時のエネルギー回生と加速時のパワーアシストによるエネルギーの有効活用を目的とした回生／アシスト用途。

以下に代表的な用途事例を紹介します。

①バックアップ用途例（㈱明電舎様）

・瞬停補償装置
・20kVA～10，000kVA補償
・エネルギー密度が高いため長時間補償（数十秒～数分レベル）が可能。
・高電圧（3．8V／セル）による必要セル数の低減、電源小型化。

②ストレージ用途例（コニカミノルタ㈱様）

・ワイヤレス式X線撮影装置
・安全性が高く発火の危険性が無い。
・高耐久、バッテリー交換フリー。
・バッテリー内蔵の一体型構造化による業界最軽量。

［図１］X線撮影装置カセッテ

③回生用途例（住友建機㈱様）

・ハイブリッドショベル
・セル個数低減による小型・軽量化。
・広い電圧範囲での、高度なエネルギーマネージメントによる燃費低減。
・耐熱性が高いため、冷却構造の簡略化によるモジュールの小型・軽量化。

［図２］ハイブリッドショベル外観

住友建設株式会社様ホームページより引用

【技術動向と今後の展望】

リチウムイオンキャパシタはプレドープ技術により、エネルギー、出力、温度特性、耐久性、安全性、コストといった6つの要求仕様をバランスよくコントロールできます。お客様にとって、何が必要なのかを見極めて、商品提案することが市場拡大のためには重要と考えています。

最近では電気二重層キャパシタが自動車へ採用され、注目されています。現状のアイドリングストップ用途から回生システムやパワーアシストシステムへと高度なハイブリッドシステムへ展開し、普及拡大していくためには、高エネルギー密度化と低コスト化が必要です。より良い材料開発とセル設計技術のレベルアップが急務と考えています。

JMエナジーでは、需要拡大に伴い、供給体制を強化するため、角形セル専用の量産工場を今年の6月より稼働予定であり、一層の品質向上とコストダウンへ取組んでいます。今後、自動車分野等、市場ニーズが旺盛な分野においても一層の採用拡大が図れるものと期待しています。

東洋合成工業の電解液メーカーとしての合成・機能性評価・製造技術の三つの強みについて

東洋合成工業株式会社　菅井恵介

近年、電気二重層キャパシタ（以降、ＥＤＬＣ）市場は成長し続け、近年では減速エネルギー回生システム等に採用されており、ますますの市場の拡大が期待されます。中でも電解液はＥＤＬＣの性能や寿命を左右する重要部材のうちのひとつであり、電解液中の不純物や水分は、性能に悪影響を与えます。東洋合成工業では、電解液中の不純物と水分を取り除く技術を強みとしており、高品質な電解液を供給しております。弊社は電解液メーカーとしては後発になりますが、感光材事業で培った高純度品の製造およびその品質管理を活かし、２００４年から各種ＥＤＬＣ向け電解液や、各種イオン液体を販売し、多数のお客様へ納品させて頂いております。

弊社はキャパシタ向け電解液の合成において、二つの特長を有しております。一つ目は先端半導体・液晶向け感光材であるポジ型・ネガ型感光性材料、光酸発生剤、化学増幅型レジスト用ポリマーで培ってきた、高純度有機合成技術です。この技術で、電解質を構成する様々なカチオン合成および高効率なアニオン交換反応を可能としております。二つ目は創業時から培ってきた有機溶剤の蒸留精製技術です。弊社では、有機溶剤の高純度化、低水分化および低金属化を可能としており、プロピレンカーボネートのみならず、リチウムイオン二次電池等の製造に使用されているＮ-メチルピロリドンをバッテリーグレードまで精製して供給しております。これら二つの技術を活かして高純度電解液の開発を行っております。

最近では自社でＥＤＬＣを作製し、お客様の要望に沿った要件を満たすかどうか社内評価したうえで、お客様に製品のご紹介しております。電解液合成とセル評価の両輪を回すことは、ＥＤＬＣのみならず、各種デバイス向けの製品開発にとって不可欠であると考えております。電解液開発にあたり、お客様との対話でデバイスと用途に関しても熟知することは製品開発をする上で最も重要と考えております。実際にＥＤＬＣを試験的に作製することは、お客様のニーズを把握するための重要なスキルとなり、かつより良い製品を開発する駆動力とも考えております。

製造面では電解液の専用工場を有しており、半導体向けの感光材と同様の管理水準を設定しております。工場構内をクリーンルーム化しており、電解液にとって大敵な不純物金属の外部からの混入を徹底的に排除しております。それに加えて、露点管理のドライルームでの製品充填により、不純物のみならず、水分の混入も許さないｐｐｍ（百万分の一）オーダーで管理を徹底しております。製造能力は、ＥＤＬＣ向け電解液として月数十トン、イオン液体として月数トンの製造設備を有しており、現在までに多くの量産実績があります。

弊社は、これらの技術を駆使して、研究開発ステージから事業化ステージまで一貫してお客様をサポートできる体制を整えており、自社評価技術も新たな強みとして加え、お客様の様々なご要望に柔軟にお応えすることを心がけております。

近年ではカーボンナノチューブやグラフェンなどのナノカーボン電極を用いたＥＤＬＣなど次世代技術が注目され、電極の高容量化や高耐電圧化が向上しております。弊社としてもこれらの次世代ＥＤＬＣに適した電解液開発に取り組み、将来のＥＤＬＣ技術の発展にも貢献していきたいと考えております。

最後に、電解液の進歩のためには有機合成や製造技術のみならず、機能性評価技術を通し、お客様のニーズに真摯に耳を傾けることが重要であると考えております。弊社はこれらを強みとして、なお一層お客様のご要望にお応えするために営業・研究・開発・製造間で連携を取りながら製品開発に取り組んで参ります。

材料開発のフロー

キャパシタ用活性炭への取り組み

クラレケミカル㈱　田中　誠

活性炭は、昔からある素材ですが、今でも進化を続けている素材です。クラレケミカル（KC）は、活性炭の事業を始めて今年で50年になりますが、「Ecology & Amenity」を企業メッセージとして、さわやかな環境と快適な生活づくりに貢献するべく、新素材の探索、新技術の開発に取り組んでいます。

様々な用途へ活性炭を開発してきましたが、電気二重層キャパシタ用についても、その創生期から活性炭素材の開発・供給を通じて市場の拡大に取り組んで来ました。

キャパシタは、電源バックアップ用の小型セルタイプから始まり、産業用や車載用等で大型セルタイプの需要が増大し、今後も更なる市場拡大が期待されています。一方、キャパシタを取り巻く環境は、リチウムイオン電池等の二次電池と競合するケースも増え、変化を続けています。当社は素材メーカーの立場で、キャパシタのさらなる進化のお役に立ちたいと考えています。

【クラレケミカルの歩み】

当社は、レーヨン繊維の原料である二硫化炭素の生産を目的として1940年に株式会社クラレの全額出資により設立されました。その後、二硫化炭素で長年培った高温反応技術についての豊富な知見に基づき、1965年に活性炭の生産を開始しました。

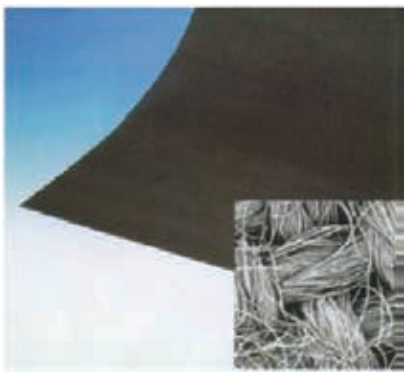
以来、多様化する用途に合わせて、ヤシ殻活性炭、石炭系活性炭、合成樹脂系活性炭及び繊維状活性炭の生産を順次手がけ、それぞれの素材の特徴を生かす技術を開発してきました。さらには活性炭開発の過程で生まれた技術やノウハウを基盤に、多くの活性炭製品と、活性炭及び同製品を活用した機能商品群を世に送り出して来ました。キャパシタ用活性炭の開発も、当社が蓄積してきた活性炭表面の細孔特性の最適化等の独自技術がベースとなっています。

当社の技術開発の戦略として、細孔制御技術に磨きかける事で、新しい機能性を生み出そうとしています。その一つの例が、電極材料である、キャパシタ用活性炭です。

【キャパシタ用活性炭の取り組み】

●最初は繊維状活性炭

当社のキャパシタ用活性炭の開発の歴史は30年以上も前に遡ります。繊維状活性炭は、合成樹脂を原料としており、高純度でシャープな細孔分布を持つ活性炭です。特に、低温性能と出力に優れたもので、当初は電源バックアップ用途を想定したコイン型セルの電極用に採用されました【写真①】。繊維状活性炭をクロス（布）状に織り込んだもので（CHタイプ）、そのまま集電極へ貼り合わせ、電極として使用されました。



【写真①：繊維状活性炭 (CH)】

●合成樹脂ベース微粉末状活性炭

電池技術の発展に伴い、シート状電極製造技術が発達し、当社にも、粉末タイプの開発要請がありました。そこで、合成樹脂原料でミクロンレベルの微粉末状の活性炭の開発に取り組み、RPタイプとして商品化しました。小型セル用途に実績を積みましたが、コストパフォーマンスについては未だ十分とは言えず、特にエネルギー回生用途等の中大型セルの市場拡大には、更なるコストダウンが課題となってきました。

●ヤシ殻ベース微粉末状活性炭

合成樹脂ベースのRPタイプの性能を維持しながらコストダウンを達成するという課題に対して、当社の主力製品の一つであるヤシ殻活性炭をベースにした製品開発に取り組みました。

当社の活性炭製造技術と、それまで経験・蓄積してきたキャパシタ電極用活性炭に要求される品質・性能についての知見を基に、YPタイプを製品化し、中大型セルの用途開発・需要増大と共に、成長して来ました。

又、エネルギー密度向上を目指してアルカリ賦活による活性炭にも取り組みました。KOHを使用する、アルカリ賦活技術は、賦活時の収率が高く、また、結晶性の炭素材料も賦活出来るという魅力もあり、基礎的技術と生産技術開発に取り組みました。

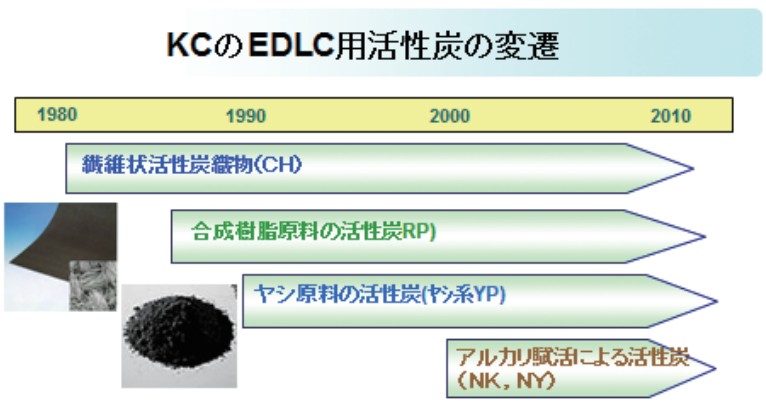
●これから

キャパシタは、自動車用へ採用され、注目度も上がって来ています。また、バス・トラックや鉄道・トラム等の大型車両用等の用途でも市場拡大が期待されています。

現在までの実績になりますが、品質トラブルは殆ど無く、キャパシタは安全で安心なデバイスという市場の評価も得ています。これからもその評価は維持していかなければなりません。

今後の市場拡大が予想される中、当社としても供給体制の増強と同時に品質管理強化に努め材料メーカーとしての責任を果たすべく取り組んでいます。同時にリチウムイオン電池等の他の蓄電デバイスとの競合する場面も増え、今後もキャパシタの更なるパフォーマンスの向上が求められます。

更なるコストダウンへの取り組みはもちろんのこと、高容量化、低抵抗化、耐電圧性向上等の市場の要請に的確に答えるべく、製品開発に取り組んでいます。



交流法によるキャパシタの容量測定

日置電機株式会社　高橋　哲哉

電気二重層キャパシタの容量は一般的に、定電流充放電したときの終止電圧までの時間やエネルギー量から計算されます。しかし、キャパシタの等価回路を考えると、時間（周波数）の概念を入れるべきだと考えています。そこで、本稿では交流法によるキャパシタの容量測定を提案します。

キャパシタは直流で使われるものというイメージが強く、交流での特性評価は実使用に則さないと思われるかもしれません。しかし、充電と放電が常に切り替わるのが交流ではありません。エネルギー回生や電力の平準化などで、充電（放電）電流が一定でない場合は、定電流に色々な周波数の交流電流が重畳しているのと同じです。また、直流電流を短時間流した場合も、周波数の異なる正弦波の集まりとみなせます（フーリエ級数展開）。つまり、直流とは完全な定常状態であり、電流が変化すれば交流と考えるべきなので、周波数特性が重要になります。

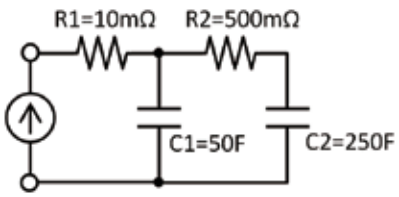


図1　キャパシタの等価回路例

キャパシタの等価回路について

電気化学反応を全く伴わない場合、キャパシタの等価回路は図1のようになります。本来ならば、いくつも抵抗とコンデンサ成分を並列にするべきなのですが、ここでは簡単にするために2段にしています。なお、抵抗や容量の値は計算のために設定した勝手な値です。

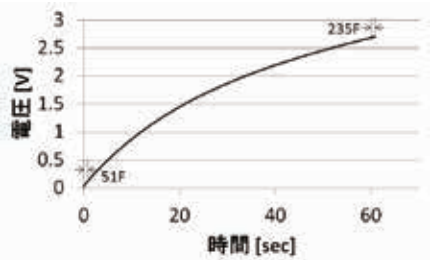


図2　等価回路の 5A 定電流充電曲線

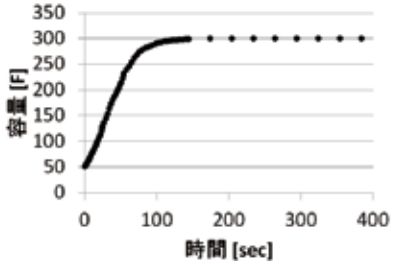
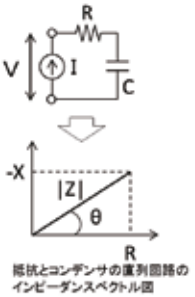


図3　等価回路の 5A 定電流充電時の容量変化

電気回路シミュレータを使用して、この等価回路の動作を見ます。この等価回路に5Aの充電電流を流した時の端子間の2.7Vまでの電圧変化は図2のようになります。キャパシタの充電曲線でよくみられるように膨らんだ電圧変化になります。ここで、充電開始直後1秒間と、充電終了直前の1秒間の電圧変化から容量を計算すると、51Fと235Fになりました。しかし、終止電圧を無視して、そのまま充電を続けると、図3のように、約150秒経過以降は300Fで等価回路内の容量



$$|Z| = \frac{V}{I}$$

$$X = \frac{-1}{2\pi \cdot f \cdot C} = |Z| \cdot \sin\theta$$

$$\therefore C = \frac{-I}{2\pi \cdot f \cdot V \cdot \sin\theta}$$

Z:インピーダンス[Ω]
X:リアクタンス[Ω]
C:静電容量[F]
I:電流[A]
V:電圧[V]
f:周波数[Hz]
θ:電流と電圧の位相

式1　静電容量計算

の合計値で一定になります。

次に同じ等価回路を使用して、周波数を変えた交流電流を流した時の容量を計算します。容量は電圧と電流の振幅と、位相から計算することができます（式1）。周波数と容量の関係は図4のようになりました。周波数が高いと1段目のC1の容量に、周波数が低くなるとC1とC2の合成容量になることがわかります。定電流で充電した時と同じで、交流法でも時間（周波数）が関係しています。

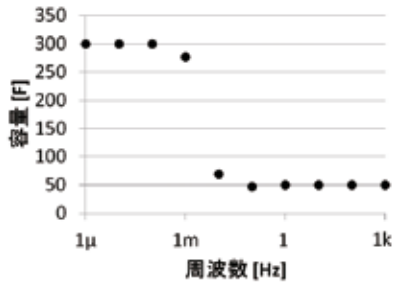


図4　等価回路の周波数特性

容量の電圧依存性

ここまでは等価回路を使用して説明をしてきましたが、実際のキャパシタは単純な抵抗とコンデンサ成分で表すことはできません。

実際のキャパシタでは電圧が低くなると変化が急になります（図5）。これは容量の電圧依存性が理由と考えられており（※1）、等価回路では表すことができません。しかし、電圧依存性が電圧の低い部分で顕著に表れるのだとすれば、実際に使用する電圧範囲であれば、等価回路で表すことができることになります。

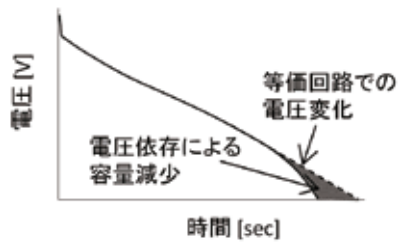


図5　キャパシタ容量の電圧依存性例

交流法による容量測定

前述のように、キャパシタの容量は周波に大きく影響を受けます。これは、材料の活性炭の細孔分布や、電極の状態によるものと考えられます。そのため、キャパシタの特性を調べるには、内部抵抗と容量 - 周波数特性を見るのが適しています。１ｋＨｚ～０．１Ｈｚ程度の周波数範囲で測定すれば、キャパシタが実際に使用される周波数範囲をほぼカバーできると思います。

また、キャパシタのような単純な電荷の吸着・離脱による充放電では、静電容量の電流依存性はありません。式1のように、電圧と電流の振幅と位相差が測定できれば（十分な信号・ノイズ比があれば）測定電流の大きさは関係ないので、測定電流を小さくすることができ、測定器自体も小さくなります。

なお、容量の電圧依存性があるため、交流法でと直流法（定電流充放電）で得られる容量値は完全には一致しません。しかし、頻繁に充放電が行われる用途のキャパシタであれば、交流法による測定が適していると考えています。ご検討いただければ幸いです。

※1岡村監修、木下著、「電気二重層キャパシタの特性と上手な使い方」、日刊工業新聞社、ｐ．４０

弊社バッテリインピーダンスメータ　BT4560
測定周波数：0.1Hz ～ 1050Hz
最小分解能：0.1 μΩ

アイドリングストップ寿命試験特性と充放電試験システムについて

菊水電子工業(株)　岡澤　大介

1．はじめに

地球温暖化を防止するための排出ガス規制や燃費向上のため、アイドリングストップやブレーキ回生システムを搭載した自動車が増えてきています。キャパシタや2次電池の充放電サイクル特性を活かしたこのようなシステムがすでに実用化されています。アイドリングストップに使用する試料の寿命を調べることが重要となります。今回、アイドリングストップ寿命試験の特性を示した後、弊社製の充放電試験システムで寿命試験を行う方法について御提案致します。

2．アイドリングストップ寿命試験特性

アイドリングストップ寿命試験特性（電池工業会規格ＳＢＡ Ｓ０１０１：２００６）を図1に示します。

試験は、25℃環境下で放電電流45Ａ・59秒と300Ａ・1秒の放電、その後、充電電流100Ａ・充電電圧14Ｖ・60秒の定電流・定電圧充電を行います。これを3600サイクル繰り返す毎に40～48時間放置し、再びサイクルを繰り返します。放電時電圧が7．2Ｖ未満となるまでのサイクル数を寿命とします。

放電電流45Ａ時がエンジン停止中の放電であり、300Ａがエンジンの再始動時の放電です。エンジン停止中は、オルタネータが停止するため、自動車の負荷電力は電池から全て供給するため放電量が増し、劣化しやすい過酷な条件となります。

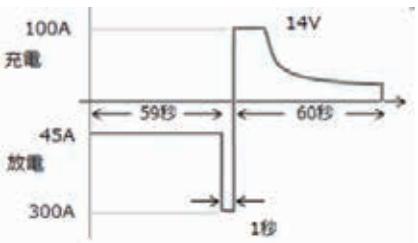


図1　アイドリングストップ寿命試験特性

アイドリングストップ寿命試験を行うことにより、電解液や電極の素材の違いによる寿命延長の確認に役立ちます。劣化の原因となるサルフェーションを抑制するため、電池の負極にカーボンを増量するようにしています。それ以外に負極添加剤による抑制を行っています。

サルフェーションとは、鉛電池の放電により生成される柔らかい硫酸鉛が、固い結晶となったものです。固いサルフェーションは充電により電解液に戻りにくくなります。これにより、鉛電池は次第に内部抵抗が増大し電池電圧が低下することになります。

長寿命の電池において、充電受入性は重要なパラメータであり、放電した蓄電池の充電されやすさを示します。充電受入性の向上は、電池のＳＯＣを高く保つことにつながり、より多く放電することができます。充電受入性を増すために内部抵抗の低減が必須となります。電極板を薄くし、構成枚数を増やして反応表面積を増加させることで内部抵抗を低減させます。

以上のような電極の改良後の電池に対して寿命試験を行い、寿命を見極めます。

図2　充放電システムコントローラ PFX2512S

3. 充放電システムコントローラについて

充放電システムコントローラＰＦＸ２５１２Ｓは、充放電切替部、制御部、測定部に分かれています。電源・電子負荷によるパワー部は、試料の定格に応じて別途選択します。ＰＦＸ２５１２Ｓはアプリケーションソフトウェアにより作成した試験条件により充放電試験を行います。また、ＰＣとＬＡＮで接続することで通信します（図３）。

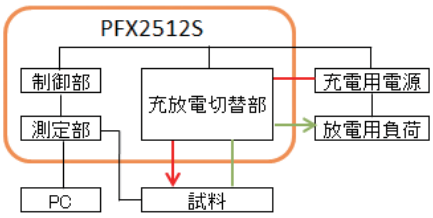


図３　PFX2512S のシステム構成

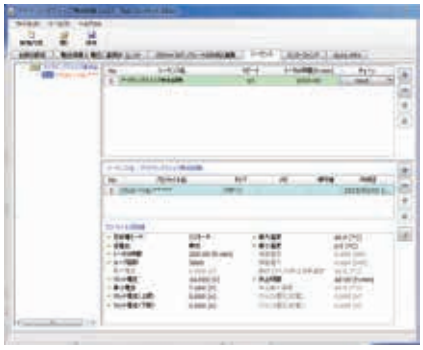


図４　試験条件ファイル

ＰＦＸ２５１２Ｓによるサイクル試験は５万回が可能であり、出力定格が６０Ｖ２００Ａまでの弊社製の電源と電子負荷を制御できます。放電電流３００Ａを実現するためにＰＦＸ２５１２Ｓを２並列します。これは充放電切替部が許容電流２００Ａまでの経路スイッチ（半導体）を使用しているためです。

ＰＦＸ２５１２Ｓは過電圧・低電圧保護機能を内蔵しています。あらかじめ設定した過電圧・低電圧になった場合、充放電切替部の経路スイッチにより速やかに遮断します。これにより、接続した試料の損傷を防止します。

図1をもとに、アプリケーションソフトウェアで時間、電圧、電流の試験条件を作成します（図４）。作成した試験条件をＰＦＸ２５１２Ｓに設定した後、試験開始するとパワー部を制御し、充電と放電を行います。この試験中の測定データは逐次ＰＣへ送信されます。測定データはサンプリング時間毎の電圧、電流のデータがＣＳＶまたはＴＸＴ形式で取得できます。

以上により寿命試験を行うことができます。今後の課題としては、充放電の切り替え時間が５０ｍｓなので、これをさらに高速にする必要があると考えております。

4. おわりに

今回、アイドリングストップ寿命試験の特性と充放電試験システムで行う方法について示しました。現在ＰＦＸ２５１２Ｓは受注生産のため、試験の需要に伴い量産化が急務です。引き続き、車載向けのシステムに使われる蓄電素子について調査し、各種試験に対応できる充放電試験装置の拡充により、その発展に寄与したいと考えています。

参考文献

・ＩＳＳ車両専用バッテリ　新神戸テクニカルレポートＮｏ．２０（２０１０・２）

Beyond The Grid!

自律分散電力システム開発への道

松本 吉彦 （東京工業大学／JX日鉱日石エネルギー）
<mazmoto@wind.jp> <http://www3.wind.jp/mazmoto>

平均寿命の半分以上を生きて来て 20 世紀を振り返るに、どう見ても「狂乱の世紀」というしかないように思える。二つの大戦をはじめとして数多くの戦争。もともと人間の幸福のための術であったはずが、いつしか目的が銭にすり替わってしまった経済。そして知識と（伝統）智になることを放棄し、銭経済の奴隷になった科学と技術…

国家による計画経済の瓦解は前奏で、いま進行中のグローバル金融原理主義とグローバル宗教原理主義の横暴も 20 世紀の後片付けの始まり。ご主人様＝銭経済の崩壊にともなって、奴隷＝技術者／科学者も自らその処世を考えたほうがよさそうだ。(2015/3/28)

バーチャルからリアルへ

もともと私は「ラジオ坊や」つまりアマチュア無線が始まり。中学生での最後の真空管時代を経て半導体の世紀、エレクトロニクスからディジタル回路、マイクロプロセッサからパソコン、インターネットとドットコム・カンパニーと、軌跡を省みれば時代に流され、面白そうな業界を渡ってきたことになる。

しかし、21世紀を迎えた14年前、私は約30年間糊口をしのいできたエレクトロニクスIT業界に見切りを付けた。長年かかわってきた会社がその役目を終え閉じようとし辞めるタイミングでもあったが、同業の仕事に就くべきか逡巡し、ちょうど大学へ進学した息子と二人暮らしの“若隠居”をきめこんでいた。そんななか、アメリカ本土やハワイとバケーションに現つを抜かし、その帰国の3カ月後、2001年9月11日、アメリカへの同時多発テロ…

これには考えさせられた。我々の銭経済（マネーゲーム／ビジネス・ゲーム）やITの馬鹿騒ぎへの想像を絶する怨念・怒り・憎しみ。それと同時に、石油石炭天然ガスやウランなど、減耗しつつあり残りが2世代も保ちそうにないエネルギー、それに依存した“砂上の楼閣”である今の文明に想いを馳せた。

子煩悩の私の考えること、たかが知れている。携帯電話・パソコン・インターネット、自動車・電車・飛行機など、けっこう素敵な今の文明、息子の世代にも孫の世代にも、ずっと永く遊び続けて欲しい。遊び続けられるようにしてあげたい。それは子どもにお金を残すことではない。文明が崩壊すればお金は価値を失うし、お金その物は食えないから生存すら危うくなる。

涸渇するエネルギーを基にした文明の方向を改め、持続可能な文明を目指すしかない。70年代に読んだ本を読み返した。

シューマッハの『スモール・イズ・ビューティフル』、エイモリ・ロビンズの『ソフト・エネルギー・パス』、ドネラ・メドウズの『成長の限界』。そういえば、この『成長の限界』の研究を彼女に依頼したローマ・クラブ創始者のアウレリオ・ペッツェイも「孫娘を膝に乗せてるとき」にこの構想を思い立ったそうだ。

太陽光発電で文明を紡ぐ

70年代の石油危機、また公害問題・環境汚染を背景に、ラジオ坊やの私もその業界にも興味を持ったが、いかんせん勉強が苦手だった。百姓も大学卒業頃に試みたが直ぐに挫折。その一方、エレクトロニクスは面白くてたまらない。それなりに仕事になりお金にもなり、次々に新しいテーマが現れて、70年代の危機感は薄れ、「面白い遊びに夢中」になっていった。

その私が、21世紀の最初の年に、それら危機感を新たにした。地球上の生物にとって、あるいは数百万年の人間の歴史にとって、数億年前にストックされた化石燃料の使用（消費と二酸化炭素の放出）は異常である。本格的に使い始めて約2百年、狂気の使い方の50年は、歴史的に見て、極めて短期の異常行動である。気候変動／地球温暖化は皮相的な問題にすぎない。

20世紀の多くの戦争はエネルギー争奪戦だった。「イスラム国」の「勃興」も後藤さんの殺害も、札びらを切って資源国の人々の心と尊厳を弄び札びらを切って化石燃料を強奪してきたことも遠因であると思う。私たちの日常の、自動車に乗ったりテレビを見たりエアコンをつかったりすることがそれらと無関係だと言い切れるだろうか？

銭経済の狂気も親の遺産(化石燃料)を浪費する放蕩息子の愚行である。死んじまった親の遺産も化石燃料もウランも増えない。省エネに研究開発(金と智の)投資を行うのは間違いではないだろうか。10%の省エネがうまくいっても、百年の寿命が十年延びるだけだ。一次エネルギーの再生可能エネルギーへの転換に(研究開発投資を行い)成功すれば"種の期限"まで、人類の歴史の数百万年を超える文明の持続も可能になる。

そういったわけで70年代から興味を持っていた太陽光発電(PV)について調べ始めた。PVは格段に進歩していた、私が「面白い遊びに夢中」になっていた間に。

その昔PVは、PVを生産した電力を、その寿命の内にPVで発電した電力で、回収できなかった。いわゆるEPR (Energy Portfolio Ratio, Energy Payback Ratio)が1を下回っていたのだが、そのEPRは今や10を上回っているという。たとえば結晶系シリコン太陽電池は、自分を生産した電力を約2年で回収し、その寿命は20年はありそうなのだ。つまりPV自身を生産した電力の10倍を回収し、言い替えれば、資源制約のないシリコンと、PVで発電した電力でPVを拡大再生産することにより、文明を紡ぐためのエネルギーになり得る。

PVのコストも70年代の百分の1になっている。もう既に、危険な地で石油を汲み揚げ遠方から危険な海路を運んでくるより、PVで太陽エネルギーを集める方が、コストの面でも安くなっているのではないか。私のいた業界の半導体メモリは、そのビット単価は70年代の十億分の1に低下している。情報とエネルギーは違うとはいっても、同じ工業生産物だ。さらなる大量生産でもっと安くなる。屋根を葺くのに、トタン板や瓦とPVで、そう大差なくなると期待しよう。

太陽エネルギーの直接利用が文明を紡ぐ一番いい方法だろうという思いに至った。植物を経由してエネルギーを得るのは邪道だ。きっと「お天道様のバチ」があたる。食べ物は神聖である。人類、命を紡ぐエネルギーは植物や藻類等の光合成に頼ってきた。その輪に現代文明が割り込んで横取りすると、いつしか命を紡ぐのに支障をきたすに違いない。

現代文明：携帯電話・パソコン・インターネット・自動車・電車・飛行機などのエネルギー、より正確にはエクセルギーは、植物を繁茂させることのできない建造物などに設置したPVによって、太陽エネルギーを集め、電気エネルギーに変換して使うのだ。

もともと約6千℃の太陽からエネルギーは10^{14}～10^{15}Hzくらいの電波で飛んで来て、地球という周波数コンバータにより25℃の電波で背景輻射の-270℃の宇宙空間に排熱として捨てられるものだ。その過程でほんの少しだけ、ちょっとの間(ほとんどが日周期)だけ借りる。横取りしてしまうのではない。

太陽光発電システムの真の価値

経産省／資エネ庁／NEDOを含めたエネルギー業界では、PVを「コスト」でしか評価しない。電力の発電端コストでの比較や、化石燃料／核分裂燃料削減分のコストとの比較、そして受電端での電気代(＝需要家にとっての)コストとしての比較だけに嵌まってしまい、自分(業界)で自分の首を絞めてるような市況に陥っている。

それに対して、太陽光発電システムの研究と世界的な普及に邁進されておられる黒川浩助先生は、ここ数年しきりに問い掛けておられる、

「太陽光発電システムの真の価値」とは何かと。

第一の価値は、これまで述べて来たように「現代文明が必要とする電力を永続的に供給するための要素技術である」と、私も考える。

幸せな人生のために"現代文明"を必要としない既に幸せな人々もこの地球上にはたくさんおられる。むしろ「現代文明＝無痛文明」の中毒で不幸な我々へ、電力という"ヤク"を永続的に恵んでくれる要素技術というべきなのかもしれないが、平和な世界、テロや戦争が無いだけではなく、人々の心が和やかな世界に変えていくには、まず最初に我々＝現代文明中毒患者側が変わらなければならないのだ。その第一歩は、PVにより、"経済という暴力"でエネルギー資源を強奪して来るのをやめることだ。

人類の歴史に耐えられる一次エネルギーは、その賦存量からみて直接の太陽光エネルギーしかない。おおまかに、人類の必要としているエネルギーの何倍かで賦存量を表せば、水力は1倍、バイオマス(植物や藻類等)は十倍、風力+波力+潮力は百倍のオーダーであるのに対し、地表に到達する太陽光は1万5千倍といわれているからである。

絶対量でも寿命でも、太陽光に頼るしかないのだ。それが最も安心できる。生物が35億年間 命を紡ぐ糧として直接の太陽光を拠り所にしてきたのだから、その実証実験に勝るものはない。

もう一つの太陽光発電の真の価値

そして私は、もう一つの「太陽光発電の真の価値」も追究したい。それは「人道に叶う電力システムを構築できる要素技術である」ということだと思っている。

その太陽光エネルギーは、現状の電力の一次エネルギー＝化石燃料やウランあるいは高いところに溜

めた水からのエネルギーとは、性質が全く異なる。まずは遍在している＝遍く賦存されてるということと、集中して偏在＝偏って存在していないということだ。そして太陽光＝電波自体は貯めておけないこと、変動すること、また余すこと無く全て変換して使おうとすると、その量はその瞬間毎の太陽光エネルギーに依存し制御できないことなどである。

現状の電力システムは、19世紀末にに発明された“グリッド”というアーキテクチャのままで、技術的には大規模・集中、制御できる発電を前提にしている。上記のようにまるで違う性質に由来する太陽光からの電力は、旧来のグリッドに載せようとすると、系統連系限界問題のように無理が生じる。

「新しいワインは古い革袋にいれてはいけない」と昔から云われている(マタイ伝9)。太陽光発電からの電力は、この“新しいワイン”だ。“古い革袋”とはグリッドである。それぞれの時代の発電に適した新しい電力システム(ネットワーク)アーキテクチャ＝“新しい革袋”が必要であると考える。

PVは小型分散システムに向いている。旧来の発電は、熱力学・回転系であったのでスケール・メリットを追及する(大きくして効率を上げる)しかなかったのに対し、PVはスケーラブルであり(大きくしても効率は上がらないが)小さくしても効率は下がらないからだ。一次エネルギーは空からやってくる。現代文明はやっと、遍くそれぞれの民を主とする発電手段＝PVを手に入れた。

電力システム(ネットワーク)アーキテクチャというものは技術革新によって変革された例は歴史的に非常にまれである。情報システム(ネットワーク)アーキテクチャが、技術革新の度に煩わしいほど変革してきたのと対極をなす。電力システムは多くの場合、外的要因、多くは政治的に変革させられてきた。さらに悲しいことに、大きく変わったのはいつも戦争のときであった。

そしてグリッドそれ自体の大イノベーションのきっかけとなったのが、経済的自由競争を妨げる「独占の術」としての、アメリカ合州国シカゴにおけるサミュエル・インサルのビジネスモデルの発明であった。その出生の後もグリッドは、電力を分配する手段であるとともに、富を収奪する手段として、また戦時には国家が電力政策を独占し、戦争を遂行する手段として発展・成長してきたのだ。

PVが非定常／制御不可能な発電であるということはチャンスである。PVがスケール・メリットを持たないということはチャンスである。やっと、民を主とする自ずから人の道に叶うような電力システム(ネットワーク)アーキテクチャを、技術革新に依って生むチャンスとなり得ると考えるからだ。

この「新しい電力システム(ネットワーク)アーキテクチャが構成できる」ということが、私の考えるもう一つの「太陽光発電システムの真の価値」である。

電力貯蔵の真の価値

夜には発電できない／雨の日には晴れの日の10～20%しか発電できない非定常発電のPVからの電力を、日本での使い方のように使うのには、電力貯蔵は必須だ。それが無いと、化石燃料燃焼エネルギーや核分裂エネルギーからの電力との連携、つまりグリッドにつなぐこと＝系統連系が必要になる。そしてグリッドにとってのPVからの電力は少ない割合でなければならず、PVからの電力の割合が多くなると系統擾乱問題になり、「ほぼPVからの電力だけ」の運用は不可能と言われている。

化石燃料燃焼エネルギーや核分裂エネルギーへの依存から抜け出し、前項での述べたような「太陽光発電システムのもう一つの価値」を具現化するには、グリッドから独立し系統連系を断ち切らなければならない。

太陽光発電システムの電力貯蔵の真の価値は、このグリッドからの独立を可能とするところにある。

PVの発電の一番大きな変動は日周期＝夜と昼の周期である。次に大きいのが天候による日照の変動、日本では昔から言われている三寒四温のような周期だ。そして長いが変動の小さいのが、一週10億キロメートルの宇宙旅行の1年だ。

年周期に対応した容量の電力貯蔵を持つのは非現実的だ。最低でも日周期、実用的には天候による日照変動の周期に対応し、3～5日分以上の電力消費量に相当する電力貯蔵を備えると、グリッドから独立して従来の日本の電力消費を賄える。わがままを許す住宅用システムが一番たいへんで、矛盾するようだが、住んでいるヒトの智恵で対応できる住宅用が面白い。一日の電力消費がほぼ一定の、工場や事務所が一番簡単だと思う。

この稿の題の「自律分散電力システム」の実証実験は3戸の住宅と、1戸の電力融通のハブで、横浜市に構築した。一日の電力消費を5kWhとみなし、住宅各戸には約15kWh(ハブは約30kWh)の電力貯蔵を備える。この電力貯蔵機器の部品コストが高い。

シュンペーターのイノベーション

この新しい電力システム(ネットワーク)アーキテクチャ＝『自律分散電力システム』、その実現にはここ30年で長足の進歩をした要素技術の鼎立、すなわち、

太陽光発電、電力貯蔵、そしてパワーエレクトロニクスの三つに依って立つ。

電力貯蔵は今、長足の進歩を遂げようとしているし、半導体メモリや磁気ディスク・メモリの“暴落”から見れば歯がゆいが、プライス低減が進んでいる。新しい電力システム構築のために既に妥当なコストになっていると思う。

「自律分散電力システム」の実証実験を、2005年に私が最初に構想したときには、環境負荷や充放電特性から電気二重層キャパシタの使用を考えていた。しかし故岡村さんに相談したら「電気二重層キャパシタに拘らないほうがいい」と言われ、重量と容積そしてコストからリチウムイオン電池に切り替え、2010年から構築した。その後の電気二重層キャパシタは、高出力電力密度にシフトし、多電力量貯蔵密度からは撤退してしまったようにみえるのが残念だ。

パワーエレクトロニクスは単に定電圧電源だけでなく、定電流電源、定電力電源、定インピーダンス電源、あるいはそれら「定」だけでなく任意に設定できる「可変」、そして電源ではなく「負荷」としての特性が「定／可変」そして電圧／流／力と求められる。

たとえば、PVは非線型電源であるから最大電力を取り出すには「可変負荷インピーダンス」入力が必要である。LED照明では、現状は定電流駆動だが、定電力駆動や「定照度」駆動、さらに窓からの採光や人間の感性まで勘案した駆動まで考えられる。

また、スイッチング電源がシリーズに接続されたり、負荷自体がパワエレだった場合の、振動や発振の予防には、定電圧や定電流の電源ではなく、あるインピーダンスを持った（たとえば負荷によって出力電圧が下がる）電源の方がいいかもしれない。それを損失なく実現できるのがスイッチング電源である。

またパワエレは電源だけでなく制御や保護にも重要だ。細かいことだが1.2Vの基準電圧を数十円という安価に使えることは、70年代に千数百円で買ってた私からすると夢のような素子である。これによってリチウム電池や電気二重層キャパシタのセル単位の充放電制御や保護などが実用的になった。これからは電力貯蔵がパワエレの腕の揮いどころだ。

技術の革新は、そしてその技術革新をビジネスにするのも、現状の技術とビジネスの当事者以外であることが多かったように私は感じている。

トランジスタの発明や商品化は、RCAなど真空管屋ではなく電話屋のAT&Tやセットメーカーの SONYだった。電子計算機の商品化は電気屋／電子屋のなどではなく、機械屋のIBMだった。マイクロプロセッサの発明と商品化はコンピュータ屋のIBMやDECではなく、半導体屋のintelだったし、インターネットもSUNなどコンピュータ屋が開発し通信屋は後から参入した。

今こそ、電力屋以外が電力業界を根底から覆すときがきた。

＊　＊　＊

それぞれの時代に適した新しい電力システム（ネットワーク）アーキテクチャが必要であると私は考え、グリッドと異なるアーキテクチャを提唱し、開発し、実証実験に、やっと漕ぎ着けることができました。

40年以上前から岡村さんの著作で勉強し、直接の指導も賜わり、またこの開発過程でも助言を頂戴し、それら多くのことを何度も何度も思い起こしながら開発を進めてきました。岡村さんの偉大さに敬服し、今も感謝の念に堪えません。

参照していただきたい文献

電気学会論文誌B
Vol.123-B，No.12 p.1436-1441（2003）
「新世代に向けた電力システム構造のビジョン」

ELECTRICAL ENGINEERING in JAPAN, Vol.150 No.1, Jan. 15, 2005, John Wiley & Sons, Inc.
“A Vision of an Electric Power Architecture for the Next Generation”

財団法人産業創造研究所「自律分散型電力システムネットワークの可能性調査」NEDO（2004）

財団法人産業創造研究所「自律分散型電力システムネットワークの可能性調査その2」NEDO（2005）

日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会、合同研究発表、2003年11月7日
「太陽光発電など非定常発電を融通する電力ネットワークの研究」

電気学会、電力・エネルギー部門、電力技術委員会、電力技術研究会、2004年2月6日
「ECOネットワークへの直流送電給電技術の適用」

電気学会全国大会 シンポジウム、2005年3月19日
次世代電力システムのための直流配電システムのフィージビリティ「ECOネットワーク」

博士論文、2006年3月「直流ネットワークによる自律分散電力システムの研究（Evaluation of Autonomic Dispersed Electric Systems with DC Networks）」

電気二重層キャパシタの特性（1）

今回は電気二重層キャパシタ（ＥＤＬＣ）の温度特性、劣化特性および寿命特性について解説します。

【温度特性】

温度特性とは使用する温度によって性能が影響を受け、特性が変わることです。ＥＤＬＣの温度特性として扱う項目は〝内部抵抗〟と〝静電容量〟です。

［内部抵抗の温度特性］

ＥＤＬＣ内の電流は〝イオンの移動〟です。（会報誌5号参照ください）。イオンの大きさは非常に小さい物質（大きさは数１０ナノメートル程度）ですが、電解液を通るのに抵抗を受けます。これが電気抵抗になります。

ＥＤＬＣの内部抵抗は、ＥＤＬＣ内の電解液をイオンの移動のしやすさを電気抵抗という形で表したものです。この内部抵抗が温度によってどう変わるかの特性が内部抵抗の温度特性です。

電解液は温度が下がると粘性が高くなります。すなわち〝サラサラ〟から〝ドロドロ〟になります。電解液の粘性が高くなりますとイオンが移動しにくくなりますので、内部抵抗は大きくなります。

温度特性の一例を図1に示します。

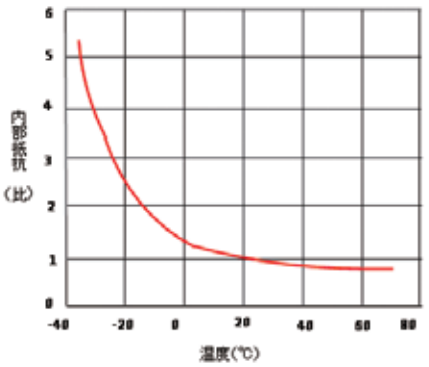


図１　内部抵抗の温度特性

［静電容量の電圧依存性］

まず温度特性を説明する前に、ＥＤＣＬの静電容量が端子電圧（正しくはＥＤＬＣ内部のキャパシタの電圧）によって変わることがあることを説明します。この特性をＥＤＬＣの静電容量の電圧依存性と言います。電圧依存性の一例を図２に示します。図２の例では、電圧が小さくなると静電容量が小さくなることを示しています。

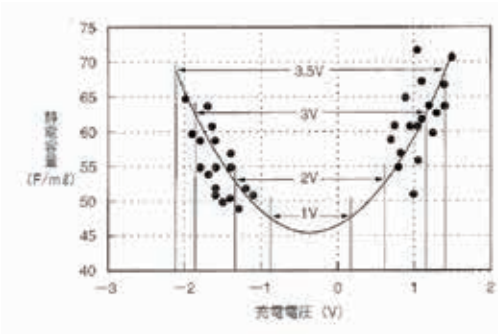


図２　EDLC の静電容量の電圧依存性　出典：岡村さんの本

［静電容量の温度特性］

ＥＤＬＣの温度特性について説明します。

ＥＤＬＣの蓄電は活性炭粒子の微細孔の内部表面へのイオンの脱着によるものです。このイオンの脱着は本質的には温度によって影響を受けない、すなわち、温度が変わっても静電容量は変わらないと言えます。温度によってＥＤＬＣの静電容量は変わらないことの実験結果を次に説明します。図３は温度を変えて一定電流で放電させた時のＥＤＬＣの端子電圧の実測結果とその説明図です。同図で、黒色太線は常温、紺色太線は低温１（マイナス２０℃）、青色太線は低温２(マイナス３０℃)の端子電圧の測定結果です。

黒線の②線の実測値から図２に示した静電容量の電圧依存性で補正し、電圧依存性がないとした特性は①の線の放電特性となります。同図でピンクで示した部分が電圧依存性を受けて減少した部分になります。黒線の①の線の傾きは静電容量の大きさを表しております（傾きが小さくなればなるほど静電容量は大きくなります。）。次に低温２の実測特性（青色線の②の線）から常温時の電圧依存性で補正した（常温時の特性でピンク部分の補正）特性が青色の①の線となります。青色の①の線の傾きは低温時２の静電容量の大きさを表しています。同図を見ますと、黒色線の①の線の傾きと青色線の①の線の傾きはほぼ同じであることが分かります。すなわち、常温時と低温時と静電容量が同じであることは、静電容量の温度依存性がないことを示しています。

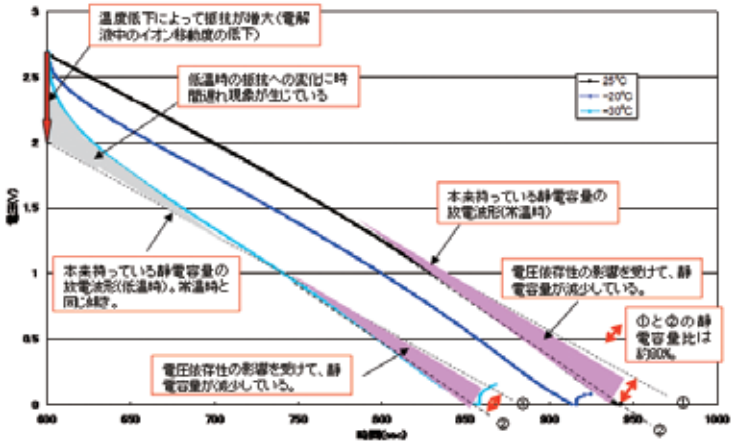


図３　EDLC の静電容量の温度依存性とその説明図

[寿命、劣化とは]

人間を初めとする生物の寿命は「生きている期間」でありますが、工業製品の寿命は生物とは異なり、そのものが動かなくなったり、まったく使えなくなったりする状態になる事ではなく、決められた性能が出せなくなった状態を「寿命」としています。人の寿命には、従来から言われた〝寿命〟（生まれたから死亡する迄の期間）と〝健康寿命〟とがあります。工業製品の寿命は人の健康寿命に相当するものです。また工業製品の性能が時間経過に伴って、だんだんと出せなくなることが劣化です。製品を使い始めてから、決まった性能が出せなくなるまでの期間が寿命です。

EDLCの劣化、寿命の項目としては内部抵抗と静電容量とがあります。

EDLCの蓄電メカニズムは活性炭電極への電解液のイオンの吸脱着ですので、電解液が理想状態であれば本質的には劣化しません。しかし実際は電解液は理想状態ではなく、微量の不純物が含有しており、また、セルの封止部から微量の水分が侵入します。これにより、電解液が時間と共に劣化します。EDLCの劣化は内部抵抗の増大と静電要領の減少として現れます。劣化の一例を図4、5に示します。図4、5に示した劣化特性は時間に対して非直線となっていますが横軸を時間の平方根にして表すと、図6のように劣化特性は横軸に対して直線で表せます。これが静電容量の特性です。この直線特性はEDLCの劣化診断等に非常に便利な特性です。

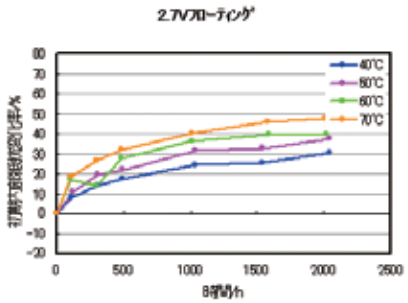


図５　内部抵抗の時間経過特性

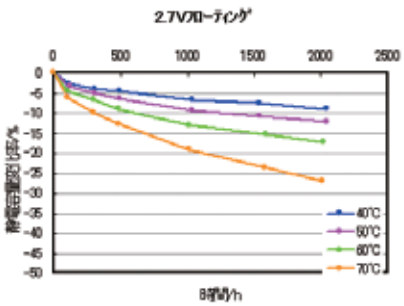


図４　静電容量の時間経過特性

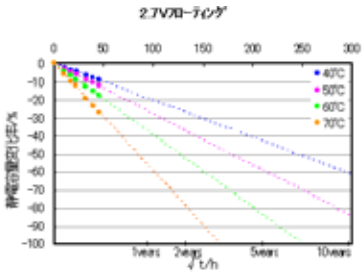


図６　静電容量の√特性

今号の解説内容は下記の本に書かれています。参考にして下さい。次号はEDLCの残存余命と保守について解説します。

キャパシタフォーラム　個人会員　木下　繁則

企業紹介

リケンテクノス株式会社

リケンテクノスグループは、創業以来培われてきた合成樹脂加工に係わる総合的な技術をベースに「コンパウンド事業」「フイルム事業」「食品包材事業」の3事業をグローバルに展開しています。“科学の力のチャレンジメーカー”として、多様化・高度化するお客様や社会のニーズに適合した高品質な製品・技術をご提供します。

以下ではキャパシタ部材として期待されるプラスチック素材開発品をご紹介致します。

1. 伝熱材料

キャパシタや電池において発生した熱を系外に放出する事は、それらの性能や寿命に関わる点で非常に重要です。当社は、これまで培ってきた配合加工技術を応用する事で伝熱材料を開発しております。特に熱可塑性エラストマーにおいては熱伝導率の高いグレードの開発に成功しております。また、この技術を応用し、様々な硬度領域に渡って伝熱グレード化する事も可能です。

更に粘着性を付与する事も可能であり、熱源との界面熱抵抗を下げる事で実使用上の伝熱特性向上に寄与します。

	LSR9932R（エラストマー）	ESE-1（PBT）	試験規格
比重	0.98	1.07	JIS K 7112
硬度	80A	78D	JIS K 7215
体積固有抵抗率 [Ω・cm]	4.5×10^-1	1.5×10^0	JIS K 7194
電界遮蔽率 [dB]	52	50	KEC法（10MHz値）

表 1. 伝熱グレードの性能表

2. 電磁波遮蔽材料

IT技術の進歩により私たちの身の回りには多種多様な電磁波が放出されています。例えば電波には様々な周波数を持ったものが存在し、それらが干渉し合って機器に障害を起こしたり、昨今では人体に影響を与える可能性も指摘されています。

現状、シールド材料の多くは金属系材料が使用されています。これを押出・射出等の成形可能なプラスチック材料化する事で、「軽量化」・「成形加工の工数削減」が可能と考えます。

	LI-3160N（比較）一般エラストマー	LNR9989S（開発品）伝熱エラストマー	試験規格
比重	0.95	1.89	JIS K 7112
硬度	59A	58A	JIS K 7215
熱伝導率 [W/mK]	0.1	1.9	京都電子工業製 QTM-03にて測定
難燃性	NG	V-0	UL94V

表 2. 電磁遮蔽グレードの性能表

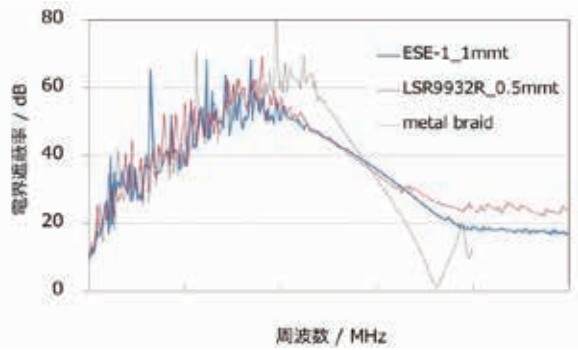


図 1. 電磁遮蔽率の周波数依存性（金属編組比較）

リケンテクノスグループは、理化学研究所の流れを汲む「人と技術」のみを頼りとするベンチャー企業として設立されました。創業当時から引き継がれている「ベンチャー精神」のもと、当社にとって新規市場であるキャパシタ業界に貢献できる新しい素材の開発にチャレンジしていきます。

２０１４年度活動報告

[２０１４年度年次大会]

２０１４年５月１６日リコー殿新横浜事業所で総会及び下表の講演が行われた。

①長岡技術科学大学 伊東淳一様	①電気二重層キャパシタを用いた電動アシスト自転車のシステム	④トヨタ自動車（株） 岡村賢樹様	④トヨタＨＶ技術の紹介
②宇宙航空研究開発機構　曽根理嗣様	②宇宙探査におけるエネルギーデバイスの役割	⑤ミシガン・上海交通大学　馬澄斌様	⑤ Modeling,Evaluation and Control of the Energy System Using Ultracapacitors
③堀・藤本研究室 加藤昌樹様	③磁界共振結合を用いた電気自動車へのワイヤレス給電	⑥韓国電気研究院 金益準様	⑥韓国のスーパーキャパシタ技術動向
		⑦マツダ（株） 藤田弘輝様	⑦次世代電動車両に求められる蓄電デバイスへの期待

〔定例フォーラム〕

定例フォーラムは下表のように計７回開催されました。

明星大学　石田隆張様	ＥＶ急速充電時のリチウム電池の劣化分析	Maxwell 社 Michael A.Everett Brian P.Eichler	Maxwell Ultracapacitor,Application andTEchnology Update
ダイソー (株）三木康史様	新タイプＬＩＢキャパシター向けポリマー型電解質の紹介	産業技術総合研究所 吉澤徳子様	スマートグリッド社会と活用技術
東京大学大学院 日比野光宏様	正極反応に固体内酸素を利用した新しい二次電池	成蹊大学 小柳文子様	メソポーラス炭素材料によるキャパシタ電極の開発
個人会員 佐久間一浩様	最近の韓国・中国のキャパシタ事情	東京電力（株） 田代洋一郎様	急速充電器とＶ２Ｈの現状 ～電力会社の取り組み～
（株）豊田中央研究所 梅野孝治様	車両の電源システムの検討事例 ～マルチポートコンバータを中心に～	（株）いすず中央研究所 小川誠様	車両電源系がエンジン負荷に与える影響
① TOC ｷｬﾊﾟｼﾀ（株） 寿美田雅明様 ②ｻﾝｹﾝ電気 (株） 伊東洋一様	①韓国ｷｬﾊﾟｼﾀﾜｰｸｼｮｯﾌﾟ参加報告 ②キャパシタ活用のための電力変換回路の基礎と応用事例	長岡技術科学大学 芳賀仁様	パワエレ技術を生かしたキャパシタ応用技術の紹介
個人会員 木下繁則様	次世代熱電変換素子による エネルギー回収の提案	信州大学 杉本渉様	４Ｖ系ﾊｲﾌﾞﾘｯﾄﾞｷｬﾊﾟｼﾀの現状と課題

INFORMATION

－事務局から－

私どもキャパシタフォーラムの生みの親である岡村廸夫様が昨年４月に亡くなられました。フォーラムとして追悼の意をどのように表すか、企画委員会で検討の結果追悼集を発行することに致しました。すでに退会したＯＢの方々への連絡、原稿の依頼、論文・著書など生前の功績のまとめ、写真集の作成、年譜の作成など多くの方のご協力で発行することができました。岡村様の功績とお人柄が思い起こされます。ご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げますとともに改めて岡村様のご冥福をお祈り申し上げます。

昨年度まで海外フォーラムの実施をいわば活動の目玉としておりましたが、今年度は海外の方にお話を伺うという方向で企画委員会を中心に運営してまいりました。

事務局の立場からはいささか出すぎかも知れませんが、運営に関して会員の方々の今少し積極的な参画をお願いしたいと思います。事務局が会員のお意見をまとめることになりメールを差し上げても極わずかのご意見しかいただけないのが常です。月例フォーラムで堀会長が“積極的に運営参加を！”とお話されておりましたがこれからのフォーラム運営についてのアイデアございましたらどしどし事務局又は企画委員会に御提案ください。

この会報をご覧になった方でキャパシタフォーラムに関心をもたれた方下記の事務局アドレスまでメールをください。詳しい資料をお送りいたします。

会員企業（２０１５年4月時点）

アイオクサスジャパン(株)
大木工藝(株)
大塚化学(株)
菊水電子工業(株)
クラレケミカル(株)
(株)サンクメタル
サンケン電気(株)
ＪＸ日鉱日石エネルギー(株)
JMエナジー(株)
住友商事(株)
田淵電機(株)
ダイソー(株)
(株)デンソー
東洋合成工業(株)
(株)豊田中央研究所
日本ケミコン(株)
日本ゼオン(株)
日置電機(株)
(株)ＨＥＡＴＥＣ
三菱電機(株)
UDトラックス(株)
リケンテクノス(株)
(株)リコー
（非公開 1社）

編集後書

会報の創刊は２００７年３月のEcass Forum会報です。２，３号は２００７年秋、２００８年春と当初年２回の発行を目指していました。２００９年４号からはキャパシタフォーラム会報となり年１回の発行となっています。今回は１０号の節目ということで会員の方からの寄稿を多くいただきました。如何でしょうか。

キャパシタフォーラム会報誌　　２０１５年４月発行　編集/発行：キャパシタフォーラム事務局
ウェブサイト：http://capacitors-forum.org/　メール：zimukyoku @capacitors-forum.org