

電気二重層キャパシタによる新蓄電システム ECaSS®の現況と今後の展開

株式会社 岡村研究所 代表

岡村 勉夫

はじめに

キャパシタが蓄電に使えるぞ、という認識は最近になって急に欧米で普及しはじめた。日本ではキャパシタ・ハイブリッド電気自動車で既に実用化の端緒が開けたが、もう一方の重要用途である電力分野での認識は、欧米より大きく遅れている。

たとえば米国EPRIでは蓄電ハンドブックともいべき内部資料を作った。そこには彼らが評価しシステムを試作した、キャパシタ蓄電の実例から将来の展望まで詳細に述べられている。

これに比べ、日本の電気学会誌は今年5月号が蓄電特集だったが、フライホイールから圧搾空気まで載っているのにキャパシタ蓄電は影も形もない。原因はおそらく実績がないためだが、そのやり方では学会誌は歴史書になってしまう。最近の我が国の“新しいことはしないのが安全”といった風潮が気がかりである。

キャパシタは「エネルギー密度が小さい」から蓄電には向かないと無視されつづけてきた。その欠点もECaSS® (Energy Capacitor Systems)の手法による改良で、既にハイブリッド車用など高出力領域で新型電池に劣らない成果を挙げた。遠からず低出力領域でも鉛電池を越え、新型二次電池と競うはずである。

1. 世界の蓄電技術と電気二重層キャパシタ

世界の蓄電技術に占める電気二重層キャパシタの現況は、前述の欧米と日本での盛況にもかかわらず樂觀はできない。たとえば2002年10月釜山での世界電気自動車会議EVS-19やこれから開催される2003年10月サンフランシスコでのEESAT2003では、キャパシタの論文は少なく、成果も実施状況も他の蓄電方式に比べ、特に有望と認められているとは見えない。

それでも昨年8月1日に開設した(株)岡村研究所ホームページ[1]は日本語サイトが今日まで毎月3,000件を越えるアクセスを頂いた。英語サイトも当初の僅か月に数件から、現在では日本語サイトの2/3と、100倍くらい増えた。

図1：米国のキャパシタ講習会（ワシントン，8月）

Network with key executives and innovators at the world's foremost forum dedicated to electrochemical capacitors (ECs)...

INTERTECH

ADVANCED CAPACITOR

WORLD SUMMIT 2003

Building the Technology, Applications and New Business Opportunities for High Performance Electrochemical Capacitors (ECs)

August 11-13, 2003 Capitol Hilton Hotel Washington DC

Conference Highlights

Six Conference Sessions:

1. Market Assessment and Growth Outlook
2. Advances in Materials and Manufacturing
3. EC Applications in Portable Devices
4. ECs in Military and Defense Applications
5. EC Applications in Stationary Power
6. EC Applications in Vehicles and Transport

Two Pre-conference Seminars:

1. EC Fundamentals
2. EC Application Engineering

Conference Chair
Dr. John R. Miller
President, JME Inc.

27 Speakers from:

- Frost & Sullivan
- W.L. Gore
- Power Systems
- Norsix
- BAE Systems
- Nevada Testing
- Ness
- ELIT
- US DOE
- NIST
- US Air Force
- Netherlands Energy Research Centre
- Okamura Laboratory
- Energy Storage Research Group
- University of California-Davis
- Bowling Green State University
- University of Michigan

- Cap-XX
- Giner
- ESPA
- Kararay
- Kold Ban
- General Motors
- BP
- EPRI PEAC
- Maxwell
- US Navy
- US Army

A comprehensive update of strategic market and technical development for electric double-layer capacitors...

- ECs in wind turbines
- Vehicle integration issues
- Assessment of acetonitrile
- Advanced cell designs
- Wireless and consumer markets
- Keys to market penetration
- Bridging the power/energy gap
- Technology roadmap
- Market size and growth forecasts
- Premium power conditioning
- "Batteryless" trucks and buses
- New electrodes and electrolytes
- Pulse power rail guns
- Asymmetric designs
- High power electrodes
- EC-battery combinations

"A great opportunity to meet and discuss with the world's cutting edge people and to get the most up-to-date information."
Yuko Miki, Engineering Specialist, Toyota Technical Center

"Very informative for an end-user to see what is coming in the near future. It brought me up-to-speed on all the emerging technologies."
Tommy Edwards, Maintenance Director, Sunline Transit Agency

Supporting Organizations and Publications:

- EIN Publications
- FLEETS/FLEET
- BATTERY POWER
- e-DRIVE

SIGN-UP TODAY! www.intertechusa.com/capacitors.html or call USA + 207-781-9800

今年の8月には米国ワシントンDCでワールドキャパシタサミット（図1）という大規模な講習会が開かれ、三日間の参加費\$2,200と高額ながら、世界から約120人が参加した。講演者は27人で、ECaSSグループから15名が参加、3件の発表をした。

1. 1 電池、揚水発電、SMES、フライホイールと競う

東京電力のこの夏のテレビコマーシャルで「電気は溜めることができません…」というのがあるが、あれは正しくない。世界の電力分野にはEESATやESA（米国蓄電協会）に見られるような蓄電の専門家の集団がある。ただしそこでは、揚水発電所について圧縮空気による蓄電や大型の低速フライホイール、あるいは

はSMES（超伝導による蓄電）による蓄電のほうがキャパシタより現実的なのである。

筆者は昨年からESAに加入しEESATの会合にも加わって、キャパシタのPRをはじめた。揚水発電所より、フライホイールより高効率に長寿命の蓄電ができると述べているうちに、奇妙なことに気づいた。彼らの関心は蓄電装置の性能～エネルギー密度や充放電効率にはない。たとえば回転機のメーカーや水力発電所のベテランにとって、キャパシタ蓄電がどんなに高効率でも別世界の話なのである。

我が国の電気学会がキャパシタ蓄電に無関心だと述べたが、その原因は上と共通かもしれない。電池はもちろん発電機や発電所、超伝導のコイルでさえ、これは我が分野、これなら我が社の仕事と思込込むことができる。ところが電解コンデンサの技術でもない、電池とも違う、性能の判断のつかない電気二重層キャパシタという代物を高性能化したといわれても、おいそれとは飛びつきにくいに違いない。

1. 2 燃料電池や水素との競合と相互補間

縮み指向だというのが、それにしても燃料電池の開発は熱心に行われているようだ。大勢でやれば怖くないということか。

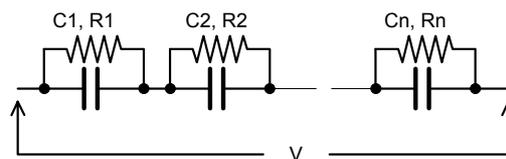
燃料電池の負荷変動に対する応答性はよくない上、無理に応答させると寿命などへの影響があるから、電気二重層キャパシタとの併用が有利であると、ハイブリッド電気自動車[3]で実証された。

ただし、太陽電池の電気水を電気分解して水素を作り燃料電池車に使う、という考えは「大容量、高エネルギー密度の蓄電は不可能」だという前提に立っている。そうした充電が短時間で高効率、しかも長寿命なキャパシタで実現できるなら、電気のまま使えるから事情は一変するであろう。

2. ECaSSの挑戦～正確な技術の理解を

キャパシタ蓄電の技術が普及するには、なるべく大勢でやるのがよいと思う。筆者はこれまで特許を侵害されたとか、論文や考え方の無断転用や出願で文句を言ったことはない。だが、世間にはタイガース応援団ならぬECaSSファンが育ちつつあり、彼等から「A社のキャパシタにエネルギー密度型というのが出た」「B社は均等化は不要だといっている」などと情報が入る。ECaSSをよく理解した人達は日本だけでなく欧米にも育っていて、先日の京都やワシントンの国際講習会でも応援のコメントまで頂いた。

図2：直列にしたキャパシタの電圧配分の計算[4]



つまり、生齧りで無断で自分のもののように使ったりすると、筆者が何も言わなくても、世間の識者に冷たい嘲笑で迎えられる事態になってきた。それを防ぐにはECaSSの技術を正確に理解し、ホームページ[1]の資料や考え方を使うときは、誠実に引用を付して利用することがその人の価値をむしろ高める。

2. 1 似て非なるもの

なまかじりで、と上に述べたが、正確に技術が理解されずに広がった例は多い。どうかすると意図的に少し違えて、自らの考えとして発表された例もある。

それによって、技術が改良され進歩することもありうるが、考え違いをしていて「似て非なるもの」になったケースも多い。いずれにしても、その出発点を引用文献で明示すべきである。

正確な理解を得にくい具体例を挙げよう。

- ①直列キャパシタの初期化と平均化
- ②搭載キャパシタの量と効率
- ③キャパシタのエネルギー密度を増す手段

本稿ではこれらの各項を完全に理解できるよう詳細に述べる。

2. 2 直列キャパシタの初期化と平均化

キャパシタを何もしないで単に直列にした際に生じる問題について、筆者はECaSSの初期に着目し10年も前から各所で述べた。近年になってようやくこの問題に気づく人が増え「キャパシタ電圧の平均化」といったタイトルで、解説や論文、方法や回路などが発表されるようになった。

1) 現象は何か

静電容量C1～Cn漏れ抵抗R1～Rnのキャパシタを図2のように直列にし、電圧Vに充電した場合、キャパシタXの任意の時間の負担電圧Vxは、定数k (0 ≤ k ≤ 1)と置くと[4]、

$$V_x = \left(\frac{k \cdot R_x}{R_1 + \dots + R_n} + \frac{(1-k) \cdot \frac{1}{C_x}}{\frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_n}} \right) \cdot V \quad \dots(1)$$

上の漏れ抵抗と静電容量以外の特性値，たとえばキャパシタの内部抵抗，インダクタンス，充放電サイクル，充放電電流などは，それによる温度変化といった間接的な効果のほかは，ほとんど影響を与えない。

この結果は電圧配分が静電容量の逆数と，漏れ抵抗のバラツキの和になることを示す。大要はキャパシタのバラツキを静電容量 $\pm 10\%$ ，温度と経時変化 $\pm 10\%$ ，漏れ抵抗 $\pm 10\%$ と見積もれば，使用電圧を約70%にする必要があり，蓄電できる容量は49%となる。

2) 直列の問題をどう扱うか

上の結果を知っているか否かは別として，世間一般には次のような対応が考えられた。

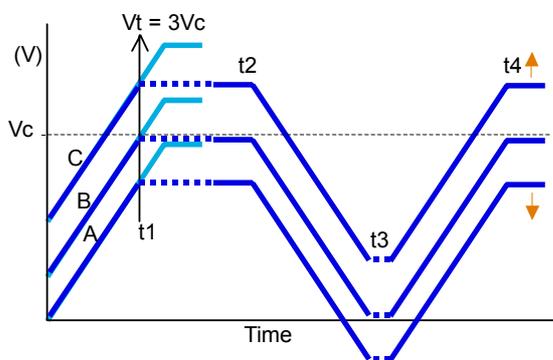
- (a) 均一なキャパシタを作り電圧を軽減して使う
- (b) 抵抗を並列に入れて，電圧を軽減して使う
- (c) スwitching回路等でセル電圧を均等化する
- (d) キャパシタの電圧を初期化して使う(ECaSS)

最初の(a)には何もしないで運を天に任せるというのも含む。(b)は価格，蓄電効率の面で実用的で，ほとんどの場合(c)に勝っている。(d)はECaSSだけの特別な方法なので，以下では主に(b)と(d)を対比して述べよう。

3) 漏れ電流の要素

前出の(1)式で漏れ抵抗と静電容量のどちらのばらつきが大きいかといえば，明らかに漏れ抵抗である。静電容量が20%以下の誤差に収めるのは新品なら容易だが，漏れ抵抗では2倍の差はいくらでも見受けられる。

図3：直列キャパシタ3個の充放電



その結果，充電して放置した直列キャパシタの各セルの電圧はバラつく。図3のように残留電圧だけが異なり静電容量は等しいA,BおよびCのキャパシタを直列にして合計電圧 V_t だけを監視して充電すると図示

のような経過を辿る。 V_t は t_1 でキャパシタの定格電圧 V_c の3倍に達するから充電を止める。しかしA~Cの各セルの電圧は図のようになっている。

この状態で t_2 から放電に入る。合計電圧 V_t を監視している限りそれほど深い放電でなくても，Aのように既にゼロを突破して極性反転を生じるセルが発生する。

「一旦ゼロまで放電して，翌日使うからよい」という説を聞くことがあるが，そうはいかない。端子間がゼロであっても直列に接続された各セルは総てゼロVにはならず， t_3 に類似の状態では，直列セルの各電圧の総和がゼロになるに過ぎない。キャパシタはこの電圧を翌朝になってもがっちり覚えていて，次に充電すればバラツキは持ち越される。

残留電圧はその後も，漏れ電流の大きなセルAはいっそう下にさがり，他のセルはその分だけ高く充電されるので， t_4 の矢印のように差が拡大する。だが，無限に広がるわけではなく，最終的には式(1)のR部分で示した値，つまり漏れ抵抗の比に落ち着く。

製造されたままの電気二重層キャパシタの漏れ抵抗のバラツキは10倍以上あることも珍しくない。したがって，キャパシタを直列に使う際は，漏れ抵抗と後述する静電容量の差の少ないのを選んで組み合わせ，どう選んでも残るばらつきを，電圧を下げて使うことによって切り抜けるのが第一の方法である。

論文等で「キャパシタの定格のトレランスをもっと厳格に」などとあるのはこの方法が前提で，電圧をあまり下げては実用にならないからである。

4) 抵抗を並列に入れる方法

漏れ抵抗をキャパシタの全運転条件と寿命を通じて $\pm 2.5\%$ 以内に作れ，というのは理学系の論文としても現実離れしすぎている。

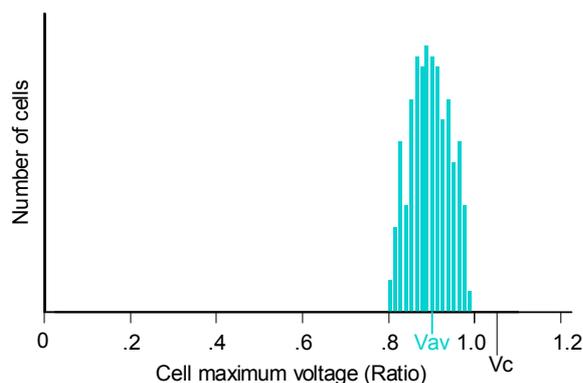
古くからコンデンサを直列にする際のコツとして，漏れ抵抗の1/10程度の精度のよい固定抵抗を並列に挿入する方法が用いられてきた。たとえば3日間に3%自己放電する1,200Fの電気二重層キャパシタの漏れ抵抗は約8k Ω だから，これを設計上の最悪値をその半分とすると4k Ω ，その1/10の400 Ω の固定抵抗を総てのキャパシタに並列に入れる。これで漏れ抵抗のばらつきは，最悪で10%以下となるから，使用電圧を90%に下げて使えば実用になる。ここで重要なのは，最初の管理基準である4k Ω という値で，運転環境と寿命を通じて保証できる値を用いる。

電圧を1割下げる，つまり90%電圧で使えば蓄電量は81%，約2割ムダにすることになる。自己放電が最悪値の10倍になるのも有り難くない。だがキャパシタの直列問題は，とてもこの程度では済まない。

5) 静電容量のバラツキ

電気二重層キャパシタを作ってみると、静電容量のばらつきは驚くほど少ない。それでも研究試作でなく工業製品となれば、管理基準は±10%程度になるであろう。図4に仮想のキャパシタの静電容量分布を示した。横軸は直列にしたキャパシタ群の総電圧が満充電に達したときの各セルの充電電圧を示す。

図4：直列で充電したキャパシタセル電圧分布

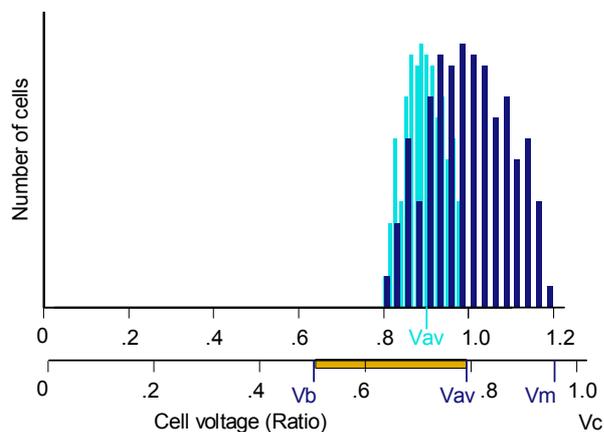


通常は管理基準の分布に対して最大使用電圧はVcのように若干の余裕を見て設定する。Varとセル電圧のばらつきの最大値は10%の差、そこにVcの余裕を5%とすると、実使用電圧Vavはキャパシタの定格電圧の85%となる。これは新品のときの計算である。

6) 経年劣化の読み込み

電気二重層キャパシタの寿命は永久であるという風説が世間を支配している。電気二重層は永久かもしれないが、それが生成する環境が壊れればキャパシタとしては成立しなくなる。現実には、充放電サイクルの寿命への影響は殆どないものの、長期間使用した電気二重層キャパシタは、静電容量が減少し同時に内部抵抗が増大していく傾向を否定できない。

図5：劣化率20%を見込んだセル分布と放電深度



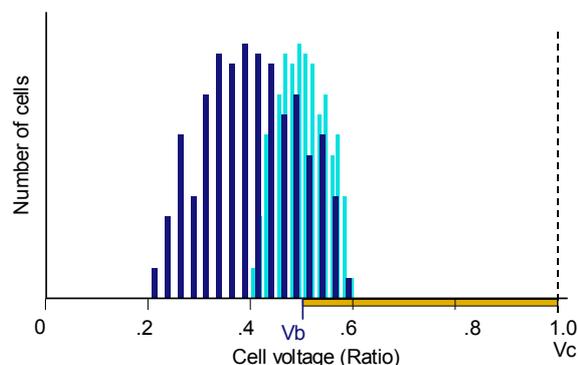
電気二重層キャパシタの寿命の終りをどの点で定義するかは意見が統一されていない。用途にも拠るだろうが、静電容量の下限は-20%から-50%まで諸説がある。図5は-20%の低下を見込んで作図した。

Vcに5%の余裕を見ると、 $100/105 \times 80\% = 76.1\%$ 、これに先の等化抵抗による90%を掛けると68.5%、電氣量に換算すると47%、使える電氣量は下限のVbから下が25%残るから75%を掛けると、実際に使える電力量は単セルの平均蓄電量の35.2%となる。

7) ECaSSの方法と応用

キャパシタの充電電圧を平均化するのではなく、初期値をVcに揃え、その電圧を基準に下向きに使うという独特の手法をECaSSでは用いる。その状況を前の例と同じキャパシタの分散値で図6に示した。

図6：ECaSSではVcを基準にして充放電する



ECaSSでは全部のキャパシタの充電電圧を「平均化」するのではなく、満充電電圧Vcに「初期化」して用いる。この場合Vcから1/2電圧まで放電するから全セル平均の蓄電量利用率は75%で、等化抵抗を用いた場合の約2倍の実用蓄電容量が得られる。

ただし、使いながら初期化する方式などのオプションを用いてVcの狙いが不正確になると、ECaSSといえども、誤差の分だけは利用率が低下する。

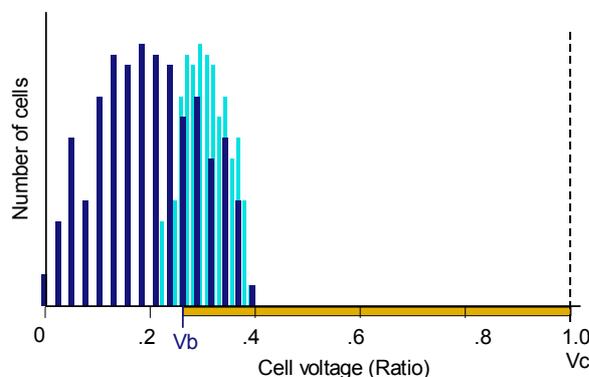
ECaSSの並列モニタによれば、漏れ電流に関しては大幅に吸収可能だから、見込みや推定値などに依存せず安定な動作が継続できる点も長所である。

8) ECaSSによる1/4電圧までの放電

二次電池の領域を脅かす高エネルギー密度の電気二重層キャパシタが実用化されると、比較的小電流で長時間の放電を行う用途が拡大する。従来キャパシタの主要用途であったハイブリッド電気自動車や無停電電源のような高出力用途では、前述したように満充電からその1/2までの範囲、つまり75%の蓄電量を利用していた。これに対して負荷電流の少ない用途では、

キャパシタの放電深度を満充電電圧の1/4まで深くすると、 $15/16 = 94\%$ の蓄電量を活用できる。これは75%と比べると1.25倍増に相当する。

図7：ECaSSによる94%放電，20%劣化の状態



こうした深い放電深度の使い方をすると、充放電電圧の上端を揃えるECaSSの方式では、深さの底がバラつく。満充電から1/4までの放電に、前出のキャパシタの分散値を適用すると、図7のように劣化を含めても限界まで活用することができる。

9) 並列モニタのIC化

上に述べた制御方式がどれほど理想的であっても、その電子回路を高信頼性を保ち、かつ安価に製作するには手作りでは困難が伴う。基準電圧源や電圧検出用コンパレータは市販のICが利用できるが、キャパシタに並列にするために基準電位が各セルごとに変わるので、総ての信号をフォトカプラで授受する必要があるなど複雑な装置になる恐れがある。

この動作を集積回路化して信頼度と価格を改善した例は既に燃料電池とキャパシタのハイブリッド車“ホンダFCX”に応用された[3]。さらに専門のICメーカーにより並列モニタ回路をモノリシックIC化して、近く安価に一般販売をする計画が進行中で、使いやすくなると思われる。

2. 3 キャパシタの放電時間と効率

「キャパシタはパチンと短時間に充放電が可能…」と長い間言い続けられてきた。だが、そうした思い込みこそが、キャパシタが蓄電装置として活用されなかった原因なのである。

パチンと短時間に充放電するには大電流に耐える構造にせざるを得ない。その結果エネルギー密度は小さくなり、蓄電装置として本来の性能を失ってしまった。だがその反対に、「エネルギー密度が大きく、内部

抵抗の高いキャパシタという存在があり得る」という筆者の提案と解析を、世間は容易に受け入れなかった。だが現在では実物も生産されたので、ようやく認知が進みつつある。

1) 充放電効率の考え方

式は導入部から書くべきだが紙数の関係で小著[4] P14~15を参照されたい。キャパシタが等価的に静電容量Cと直列抵抗Rで表されるとき、充電効率Pcと放電効率Pdはそれぞれ、

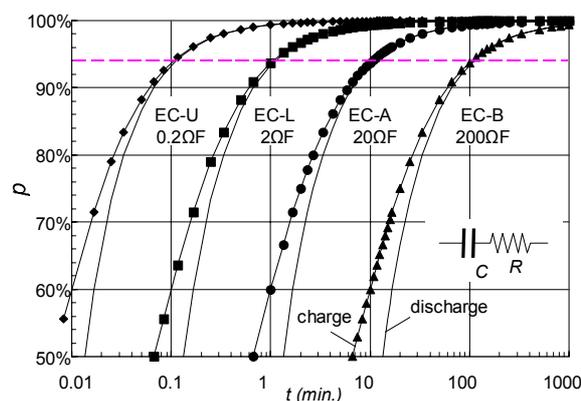
$$P_c = 1 / (1 + 2CR/t) \quad \dots\dots(2)$$

$$P_d = 1 - 2CR/t \quad \dots\dots(3)$$

ただし、満充電からゼロまで定電流で充電あるいは放電に要する時間をtとする。

上の2式から、充放電効率はキャパシタの内部抵抗Rによってではなく、CR/tで決まることが分かる。

図8：内部抵抗と充放電時間の効率への影響



この考え方は、キャパシタを超低抵抗化の束縛から開放し、二次電池に匹敵する蓄電装置として活用する道を開くものである。図8は現在のECaSSの標準的なキャパシタについて式(2)(3)をプロットしたもので、CR値つまりオーム・ファラッド積を10倍にしたものを10倍の時間で充放電すれば、全く同一な効率曲線を水平移動したものが得られる。

2) エネルギー密度と搭載量

欧米でも最近になって、キャパシタを利用した試作車がいくつも発表されている。しかしその多くは(2)(3)式の考え方ではなく“Rを減らそう”という観念で設計され、低内部抵抗のキャパシタを使って2~3秒間の加速を求めている。いかにアセトニトリルを用いた低内部抵抗キャパシタでも、10F以下は難しいから、放電効率は70%台まで低下することも珍しくない。車の設計者は不満そうに「もうこれ以上キャパシタは積めない、もっと内部抵抗の低いキャパシタが欲

しい」という。

そうであろうか。もっと内部抵抗の低いキャパシタは、さらにエネルギー密度が小さくなる。彼等が走っている方向はECaSSと反対向きである。

前出の放電効率を与える(3)式について、

$$t = U/k \quad \dots\dots(4)$$

と置きかえよう。ただしUはキャパシタのエネルギー密度、kは比例定数とする。すると、

$$Pd = 1 - 2k(CR/U) \quad \dots\dots(5)$$

この式によれば、内部抵抗を半分にするのと、エネルギー密度を2倍にするのは、効率上では同じ効果であることが分かる。もちろんエネルギー密度を2倍にすれば、(4)式から同じ積載量で加速できる時間が2倍になるというメリットが生じる。

逆もまた真である。抵抗を半分にしてエネルギー密度も半分になったとすると、効率は変わらないが加速時間は半分になる。

2. 4 エネルギー密度を増す方法

キャパシタはエネルギー密度の点では本質的に電池にかなわない、という説がある。これは、おそらく正しい。だが蓄電装置の持つべき性質はエネルギー密度だけではないから、上の説が正しくても電池が有利でキャパシタの存在価値がないとはいえない。

1) キャパシタのエネルギー密度の実用限界

だがキャパシタの他の特性がどれほどよくても、エネルギー密度が一定水準以上ないと蓄電装置としての役目を果さない。二次電池とキャパシタの特性を比較して、キャパシタが競争力を持つエネルギー密度として、大出力用では5Wh/kg、高エネルギー密度型では鉛電池の実力値である25Wh/kg辺りだとする意見もある。

図9：ECaSSキャパシタのエネルギー密度とESR

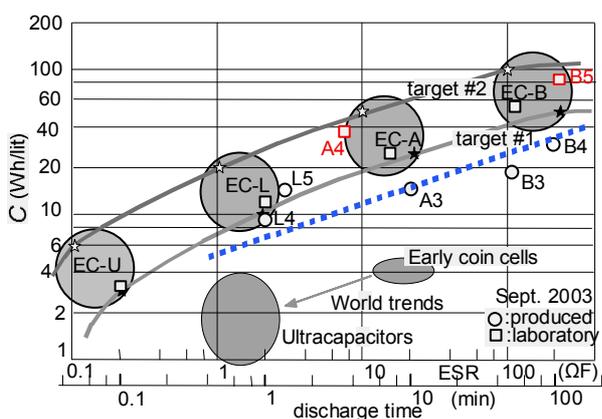


図9の太い点線がこれらの意見を参考に引いたもので、いうなれば蓄電装置としての「キャパシタ実用化境界線」である。ECaSSでは頭上でtarget#1と記した最低目標値を設定したが、スタート以来約10年を経た現在、研究データでは既にこの線を越えて、希望的な目標としたtarget#2に近づいている。

2) 高エネルギー密度型のキャパシタ

「内部抵抗を高めてエネルギー密度を増す」とは「内部抵抗を高めるとエネルギー密度が増す」ことを意味しない。後者は直列に抵抗を入れればすぐ実現するが容量はさっぱり増えない。キャパシタの内部抵抗が高くなるのを犠牲にして静電容量を増やすには、活性炭やセパレータの選び方、集電極に分極性電極の厚さや構造、引き出し線から組み立て方まで、エネルギー密度優先で設計すると、自然に内部抵抗が犠牲になってくる。その結果が図9に示したように右上がり、つまり内部抵抗の大きい方でエネルギー密度が増す傾向を示すのである。

3) 一般情報に戻るな

キャパシタのエネルギー密度を向上させるには細かなノウハウの積み上げが鍵である。1件が5%の効果でもそれをいくつも積み上げるのと無視するのとの集積で、容易に1.5倍程度の差はつく。

もう一つの、本稿で最も重要な鍵は「一般情報に戻るな」である。新しい発明や進歩は、その分野の従来技術に比べ変わっていたり、常識外だったりする。だからこそ新しいのであって、すべて従来の常識と同じだったら新発明でも新技術でもありえない。

新興宗教だとさえ言われるECaSSもその例に漏れない。変てこだといわれる代表例を挙げよう。

* * *

- 全キャパシタに電子回路の並列モタをつける
- ゼロでなく満充電電圧にキャパシタを初期化する
- 単セルでなくモジュールを前提に設計する
- 内部抵抗を犠牲にしてエネルギー密度を高める
- 電流モードで高内部抵抗のキャパシタを充電する

* * *

詳しいECaSSの説明を聞いて、一旦なるほどと思うが世間にもどってエキスパートの意見を聞くと、

* * *

- キャパシタに電子回路を全部つける？……弱電混在はやりたくない、シンプルのほうがいいね。
- 電子回路で満充電に揃える？……ゼロに放電して使えば大差ないよ。
- 積層フィルムのひ弱な単セルなんて信頼できない……やはり単セルは頑丈な金属容器でなくちゃ。

- d) 内部抵抗が高くては……そりゃダメだ，電流を流せばロスるに決まってるよ。
- e) 電圧範囲の広い充電器やコンバータを使うと……パワエレが高くつくからな。

* * *

まことにごもつとも……みたい。でも，これに従うとECaSSの出発点，1 Wh/kgの時代にリセットされてしまう。我々はそこから出発して今日のレベルまで達したのだから，キャパシタに関していっこう進歩していない世間の一般情報を徴して，世の中の人はいかように言うよ，などと同じウエイトで評価されたのでは堪ったものではない。

上の a)～e) はほんの数例だが，どれもECaSSは実現不可能な奇矯なことを言っているわけではない。これくらいのことが乗り越えられなくては，研究の実用化は，ぐるっと一回りしただけで，元のレベルに戻ってしまう。

別の例だが：

「新しい，世間があつと言うような研究をやれ」

「できました。工業化してください」

「これは世間に知られているか」

「いえ，さいわい未だ誰もやっていません」

「それじゃ，止めどころ」

……こうした状況を打破するのが，エネルギー密度を向上したキャパシタを生産し実用化する最大の鍵ではないか。

参考文献

- [1] ECaSS論文の多くは下記ホームページの英文および和文会員サイトで全文ダウンロード可能。無料。
<http://www.okamura-lab.com/>
- [2] 佐々木正和：キャパシタハイブリッドバス・トラックの開発，電気化学会70年記念大会，2003年4月。
- [3] 川崎聡志，他：Honda FCXに関する論文8件，うちキャパシタ4件，pp 1-52. Honda R&D Technical Review, Vol. 15 No. 1 (2003)
- [4] 岡村迪夫：“電気二重層キャパシタと蓄電システム”改訂2版，日刊工業新聞社，(2001-2)

— ■ —