

太陽光発電やパワーコンディショナ 応用とキャパシタ蓄電の得失

～蓄電技術の新しい時代へ～

岡村研究所 岡村 迪夫

キャパシタ蓄電の世間の評価を聞くと、大きく揺れ動いているようだ。燃料電池より有望かもしれない……という意見さえ専門家の中に交わされる。それは大げさな、世界各国の投資額、ニュースのページ、講演会の動員数……どれもキャパシタ蓄電は燃料電池の十分の一、いや百分の一かもしれない。それをキャパシタの方が有望だなどとデタラメも甚だしい。そう思うのが常識か。

誰もが知っている技術は新技術とはいえ、本当の新技術は知る人が少ない。欧米の人たちは燃料電池でも、インターネットでも、すぐには物にならないものに旗を立て、資金を集めて事業に押し立てていくのが実に巧みである。

燃料電池より キャパシタが有利？

燃料電池は有望に違いない。まず価格が問題だが、燃料電池は実は電池ではなく発電器だから、コストはWh当りではなく、寿命が十分持つとすればW当りで計算できる。そのため、セルが割高でも時間当りにすれば安く使える。それにしても現在は高価で、寿命も含め先行きの見通しは、いつ本当に普及レベルの性能、価格になるか確かでない。

それに対してキャパシタは、やはり

価格が問題だが、こちらは生産規模さえ拡大すれば確実に下がる。寿命も20年間試した実績はないが、理論上の見通しがあり量産に伴ってデータや品質管理は必然的に進む。燃料電池のハイブリッドバスと同程度の40～45%のエネルギー効率と低公害性のバスがCNGとキャパシタのハイブリッドで製造できることは、すでに国家プロジェクト¹⁾で証明された。

外国での キャパシタの認識

それにしても、キャパシタ蓄電の話は外国ではほとんど聞かない。欧米ではキャパシタを二次電池のように一般の蓄電に使えと捉えている研究者は少なく、キャパシタはエネルギー密度が低くパチンと瞬間の放電に有利という認識に留まっているからである。

電池、揚水、圧縮空気、フライホイールなど従来から用いられてきた蓄電技術に超伝導コイルなど新顔も含めると、キャパシタは社会の認知度が低い。

日本の電気工学ハンドブック2001年2月の改訂新版を見て筆者は呆れた。電気二重層キャパシタは4行しか書いてない。他の蓄電技術に50～100行を充てているのと比べ、これが電気学会の理解度かとがっかりした。だが、世界の実情をつぶさに見ると、キャパシタ蓄

電、特に我々 ECaSS グループの最近の急激な進歩に注意を払わなければ、こんなところが「常識」なのかもしれない。

エネルギー密度の 考え方

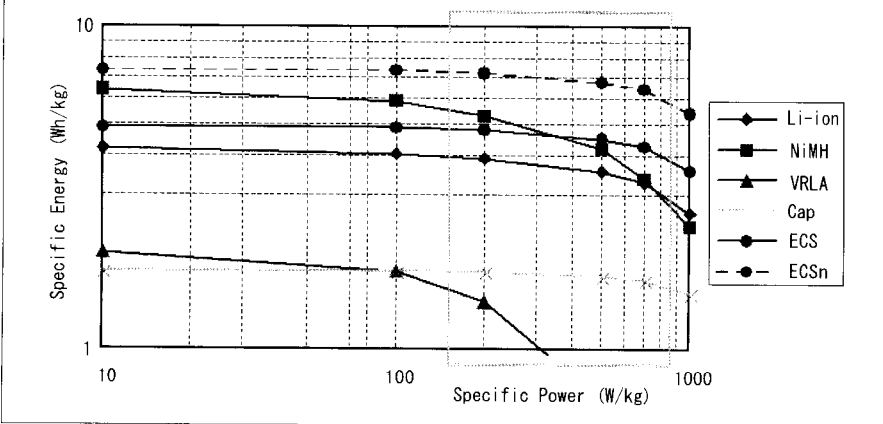
電池は①エネルギー密度が大きく、鉛電池は②コストが安い、という従来の考えは必ずしも正しくない。そう言われる原因の一つは、古来からの電池のやり方で特性を定義しているからである。

その例としてまず、キャパシタでもっとも弱点とされるエネルギー密度を取り上げよう。ピーク・パワーコンディショナ、つまり発電の大小や尖頭負荷について比較的短時間に大電力を授受する用途、あるいはハイブリッド電気自動車の加速、回生エネルギーを充放電する用途の例である。

図1は縦軸にエネルギー密度、横に出力密度を採って典型的なLi-ion、NiMH、VRLA密閉鉛、Cap 米国製電気二重層キャパシタ、ECSはECaSS方式による2種類の電気二重層キャパシタを縦軸に図に示したSOCの幅、つまり放電深度を乗じてプロットした。

これで見ると枠内の実用領域、たとえば200、500、700W/kgの範囲で意外にも、キャパシタの方が二次電池よりエネルギー密度が大きい。

●図1 実用の放電深度を含めたラゴンプロットSOC:Li-ion 7%、NiMH 10%、VRLA 5%、Cap 50%、and ECaSS (ECS and ECSnew) 75%



どうしてこうなるかという、二次電池の公称エネルギー密度は寿命を考慮しない放電深度100%のときの値である。大出力で繰り返し充放電する用途では放電深度を浅くしないと寿命が持たない。そこで図に例を挙げたように5~10%、あるいはもっと短寿命の用途では25~40%程度の放電深度で実用する。そういう使い方をすると、エネルギー密度としてはそのSOCの幅、つまり放電深度(Depth of discharge)を掛け算した値で比較するのが当然であろう。それを実行したのが図1である。

それに対して図2は従来の公称値でプロットした結果である。これで見ると世間では図2がまかり通っているが、理屈を考えれば図1が正しいのは明白である。

太陽電池にキャパシタを使う利点

キャパシタが安くなれば、蓄電なら何でもキャパシタが最良かというのではなく、電池が有利な用途も数多くある。キャパシタの値段が下がるといっても年月がかかるから、はじめの

うちは効果の顕著な、高くても引き合うものから順に使われるだろう。

その先頭に来たのがキャパシタ・ハイブリッド商用車や乗用車、そして1分間以下といった短時間の無停電電源やピークパワーコンディショナである。こうした二次電池に比べて優位性の大きなグループは後述するように燃料電池やコージェネとの併用が有望である。残念ながら太陽電池との併用はそこに含まれない。それは前述のグループがせいぜい1分間程度の最短放電時間を目指す高出力タイプだからである。

私達がEC-Lタイプ(電気二重層キャパシタの内部抵抗別タイプ)については本誌9月号の参考文献²⁾をご参照くだ

さい)と呼んでいるこのグループやさらに大出力のEC-Uタイプは電池との競合が存在しない領域の蓄電装置である。

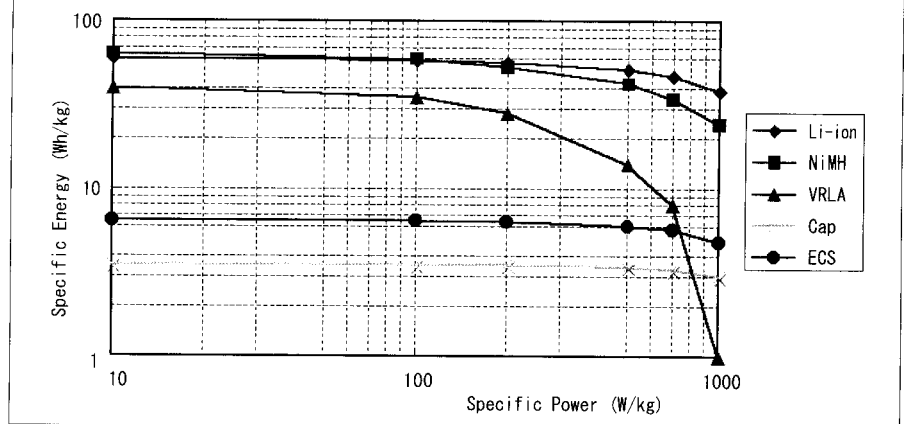
太陽電池はそのような大電流で短時間に充電するような使い方はしない。ところがキャパシタ蓄電は太陽電池にも風力発電にも適した特有な性質を持っている。鉛電池など二次電池では充電する電流が小さいと、ある程度以下の電流では充電できないという性質がある。また、細いパルス状の充電は効率よく充電されない。これに対してキャパシタは、充電器側の応答が完全なら、まるで測定器のように正確に、入れた分だけの電荷が充電される。

発電と蓄電の効果

わが国では以前から太陽電池など自然エネルギーの発電には補助金を出して助成していたが、蓄電を応援しようという発想はなかった。エネルギーベイバックタイムの計算にしても「発電量」を対象にしていた。

しかし近年、EESAT2002の論文やイギリスの国策³⁾、そして筆者のいくつかの論文^{4,5)}などに見られるように、エネルギーは発電すればよいのではな

●図2 ハイブリッド車用二次電池とキャパシタの従来のラゴンプロット



く、必要なとき必要な場所に存在して初めて利用できる。したがって太陽電池で夜間照明する用途のように、蓄電ができて初めて意味のあるエネルギーとなる例は珍しくない。しかしまだ多くの電気工学の技術者や経済学者は電気は溜められないという前提で彼らの学説を組み立てている。

長い間そのように思い込まれてきたのは、蓄電のコストが非常に高かったり、効率が低くて、充電した電力量が放電の際には減ってしまうのが原因であろう。

蓄電の サイクル・コスト

次に最初のページで挙げた、鉛電池は②コストが安い、という点を論じよう。これまで蓄電装置はそのコストを購入価格でしか評価されていない。利用価値で評価されていないのは機能が未熟な証拠である。

蓄電装置の能力は利用可能なエネルギー総量を Wh・cycle で評価すべきと述べた²⁾と同じ観点からコストを考えよう。

充放電サイクル使用を前提とする用途ではその1サイクル当りのコストは次式³⁾で表せる。

$$\text{サイクル価格/Wh} = \frac{\text{価格/Wh}}{\text{サイクル寿命} \times \text{効率}}$$

たとえば¥1000/Whのハイブリッド車用キャパシタの寿命が100万サイクル、効率90%とすると、1Whの電力量1サイクル当りのコストは0.0011円/Whと非常に安価である。もっと技術的な細部を見て100万サイクルでなく300万サイクルとすれば1/3、放電深度を実用時に半分で使うなら2倍などと出入りを考慮しても、1サイクル当り約1/1000円というコストは実用性

から見て十分と言えよう。

このように充放電サイクルの多い、蓄電本来の用途にはキャパシタ蓄電は非常に有利といえる。前の式で蓄電方式の相対比較をするとき、寿命が100倍あれば、Wh当たりの価格が100倍でも引き合う。

この種の用途に対して、電池もそれなりの工夫をしている。それは図1のところで述べた、放電深度を浅くして、エネルギー密度が低下するのを覚悟してサイクル寿命を伸ばす手法である。

少サイクルでの 蓄電コスト

上例のハイブリッド車を100万サイクルでなく乗用車で数年、たとえば10万サイクルしか使わなかったとするとどうか。当然1サイクル当りのコストは10倍で0.011円/Whとなる。

これでも1サイクル当り約1/100円だからまだ安い。現在二次電池でもっとも安価な自動車用鉛電池の安売りで300Whが3000円として¥10/Wh、少し甘いが効率80%、300サイクル持てば0.42円/Whだが、これでも¥1000/Whのキャパシタの4倍のコストとなる。

さらに充放電の少ない、1日に1回しか充放電しない負荷平準化、太陽電池との併用などでは、暇すぎて上述の特徴が発揮しにくい。

1日に1サイクルでは20年でも6000サイクルしか使えない。そうすると深い放電深度で300~600サイクル使える鉛電池と比べて10~20倍に留まり、前項に挙げたほど圧倒的な効果はでない。

それでもキャパシタが¥200/Whになればもちろんだが、その手前の¥500/Wh当たりから効率、交換の手数や信頼性、リサイクルなどのメリットを天秤にかけて競争が可能となるであろう。

サイクルをしない用途

もっと極端なのが、フローティング使用というほとんど充放電サイクルを行わない用途である。無停電電源や非常灯の電源などがこれに属する。

この種の用途ではサイクルに強いキャパシタの利点は出さず電池の独壇場……と書いたところ、キャパシタでこの分野を開拓している各社に叱られた。

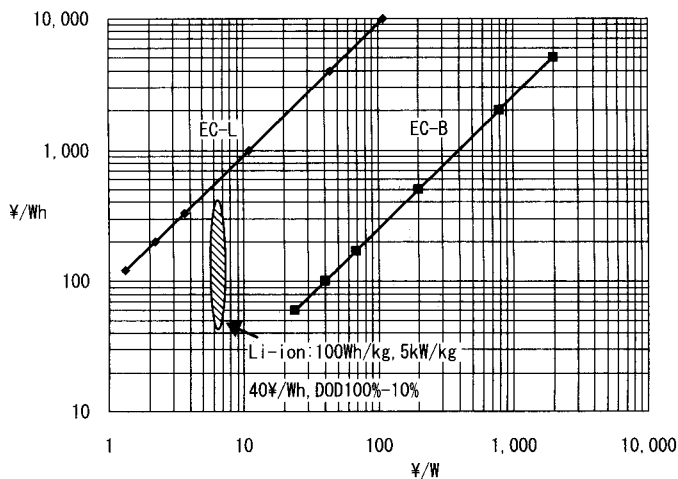
確かにそう頻繁には停電してくれないからサイクル寿命のメリットは主張しにくい、少なくとも1分間、キャパシタのコストによっては5分間以下の無停電電源では、キャパシタの出力密度に物を言わせて二次電池より遥かに小型で信頼性の高い、無停電電源が作れる。また、サイクル特性の余力を利用した多機能な無停電電源の可能性もある。

キャパシタの 量産とコスト

キャパシタが安くなれば使うんだが、キャパシタが本当に売れるなら作るんだが、と探り合いになっていて、→大量生産→価格の低下→普及……というループが回り始めそうで、なかなか動かない。筆者は企業家ではないからその辺を保証することはできないが、現在のECaSSの電気二重層キャパシタ2種類を量産規模の各段階について、エネルギー当り価格(¥/Wh)と出力当たり価格(¥/W)を図3にプロットした。

図の見方は次のようになる。EC-Lタイプのキャパシタは現在¥10,000として線の右上の点である。このときの出力当りの価格は¥100/Wである。出力は最大出力値ではなく効率95%での

●図3 電気二重層キャパシタの量産効果と出力当り、容量当り価格の推移



値を用いた。同じ定格のキャパシタを量産するとその規模に応じて、線上の点々を追って価格が低下する。それぞれの点は現状の上端から各10倍の量産規模になった場合を試算した。

EC-Bタイプは高エネルギー密度型でエネルギー密度当りの価格はEC-L型の約1/2である。その代わり出力密度が95%効率で30Wh/kgほどに留まる。各点はEC-Lと同条件で試算した。

比較のためLi-ion電池を記入した。こんなに安くはならないと異論もあるが図に記入した程度の電池がこの価格になると図の楕円の下端の位置である。前に述べたように電池では特性の評価が100%放電深度で行われがちだが、実用放電深度を10%まで考慮すると、深度によってWh当りのコストは図の楕円の中の位置となる。

ピーク電力と応答性

燃料電池でも、太陽電池や風力発電でも、そのシステムを設計する人はできるだけ自力で全部やりたいと思うのは当然である。

燃料電池乗用車でさえ、はじめから

キャパシタとのハイブリッドにしようなどとは考えなくなかった。搭載物が増えるし場所も重量も食われる。しかし、キャパシタハイブリッドにすることによってブレーキエネルギーの回収もそれを再利用した加速も、遥かに効率的に行われることがわかった。

この乗用車の開発チームにはキャパシタ蓄電の情報が十分に届いていたから上述の車が実現したが、一般の燃料電池、風力、太陽電池のシステムを開発しているチームにキャパシタ蓄電の技術の現状がどの程度正確に届いているか、疑わしい。

筆者のように幸いにも頻りに執筆の機会を与えられてさえ、規定の紙数で納得のいくほど詳述するのは不可能だから、当社のノンプロフィット・ホームページを参照され、必要な文献、資料をダウンロードして研究されることを推奨する。

ホームページ利用の勧め

インターネットの普及に伴って広告や物品の販売でなく、読んで役に立つホームページが増えてきた。特許庁や

NEDOのサイトは文献の日次だけでなく、文献そのもの、たとえば特許公報や研究報告書をダウンロードできる。

当社はこれを一歩進め、論文の本文だけでなく、講演のスライド画面までpdfファイルに圧縮したものをダウンロードできるようにした。蓄電専門の談話室を用意して意見の交換も行われつつある。ただし、悪戯半分の書き込みで汚染された例もあるので、文献ダウンロードと談話室は無料の会員登録制にした。

海外の学会論文、本誌や他誌に掲載されたECaSS関係の記事もここで入手できる。8月に発足し最初の1カ月で3000件ものアクセスがあり驚いたが、今後は理科教育など社会時評的な読み物や、キャパシタのエネルギー計算のソフトウェアなどキャパシタの技術普及に利用できるよう強化していくつもりである。

【参考文献】

- 1) 荒木修一, 佐々木正和, 野津育朗: 電気二重層キャパシタ応用高効率ハイブリッドバス・トラック, 電子技術, 2001年4月号
- 2) 岡村勉夫: "UPS機能の電子機器への内蔵化動向と技術課題" 電子技術, 2002年9月号
- 3) Nedo文献に現れた英国のエネルギー政策, <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/891/891.html>
- 4) 岡村勉夫: "キャパシタによる負荷平準化とパソコン内蔵型UPSの考察" 電子技術, 2001年9月号
- 5) 岡村勉夫: キャパシタ蓄電システムによる新エネルギー創成の提案, 北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書, 第8号(2001)
- 6) ESA Tutorial, Electricity Storage Association, <http://www.electricitystorage.org/>

●おかむら みちお
 (株)岡村研究所 所長
 URL: <http://www.okamura-lab.com/>