

電気二重層キャパシタによる新蓄電システム ECaSSの現況と今後の展望

株式会社 岡村研究所 代表

岡村 迪夫

はじめに

キャパシタでこれほど電気が蓄えられる、という認識はまだ十分に普及したとはいえない。それでも2001年の後半から現在、つまり2002年の半ばにかけてこの分野では大きな発展があった。

まずECSはECaSS™(Energy Capacitor Systems)という公式な新しい呼称を持った。そしてECaSS™を応用した製品が遂に製品として世の中に発売されるに至った。またこの期間中に欧米での会議や会合に出席した結果、キャパシタによる蓄電という分野に新たに内外の関心を集めた。

さらに、(株)岡村研究所としてホームページを日本語および英語のサイトを開設したところ8月1日からの最初の1ヶ月で延べ3000件を越えるアクセスを頂いた。これは岡村研究所、キャパシタなどのキーワードで一位で検索される幸運も追い風だが、一般への蓄電の関心が徐々に広まりつつある証左とも言えよう。

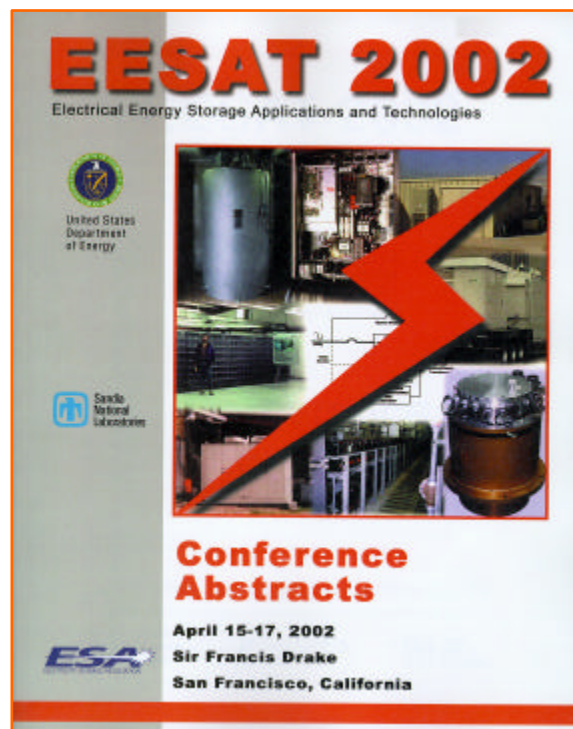
1. 世界の蓄電技術と電気二重層キャパシタ

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、前述の盛況にもかかわらず楽観はできない。例えば2001年10月ベルリンでの世界電気自動車会議EVS-18 [1]や2002年4月サンフランシスコでのEESAT2002 [2]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て特に有望と認められているようには見えなかった。

1.1 化学電池、揚水発電所、超伝導蓄電、フライホイールとの競合

ハイブリッド電気自動車の分野で化学電池の一つであるNiMH電池に対し、キャパシタが遅れをとっていたことは実績が明瞭に証明[3]している。

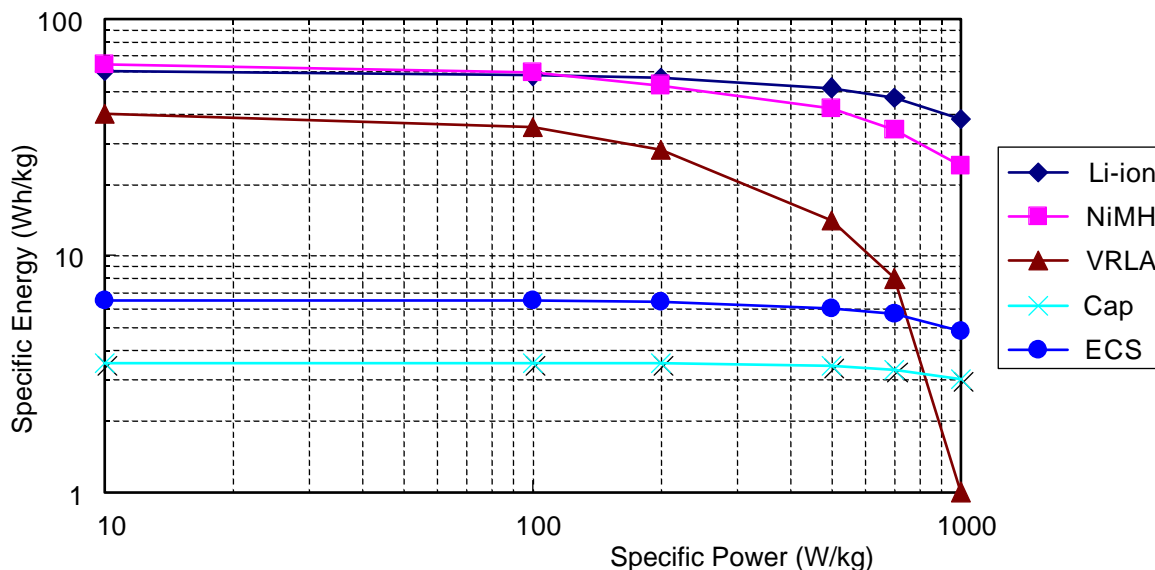
揚水発電所も電力分野としては唯一の実用品であり、二次電池にも、その他の蓄電装置にも取って代わられた実例はない。



【図1】EESAT2002の論文抄録の表紙

EESAT2002(図1)に出席して驚いたのだが、電力分野の蓄電の専門家の意識では、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は現実的なのである。そこには新型二次電池やハイブリッド電気自動車には見向きもしない、古くてしかし現実的な蓄電技術の巨大な需要が廠として存在する。

これらと競合してキャパシタは勝ち目があるか。冷静に客観的な観測をすれば、欧米の研究者技術者は最近の日本でのECaSS™の成果をほとんど知らないから、前述した世界のいくつかの舞台でキャパシタは辛うじて土俵の俵に踏みとどまっている劣勢に見える。パーティなどで話してみてもキャパシタに造詣の深いごく一部、出席者の3~5%くらいの人を別とすれば、キャパシタは前出の各種蓄電方式にはるかに離れて後



【図2】従来の方法で描いたハイブリッド車用二次電池とキャパシタのラゴンプロット

塵を拝しているようだ。

1.2 キャパシタの弱点

キャパシタがそのように劣勢となった原因は何か。それは巷間によく言われるエネルギー密度が小さいからではなく「正確な理解」が普及していないからであるまいか。

その証拠となる具体例を挙げよう。一つはその動作原理である。揚水発電所にも工学的に難しい点はたくさんあり、あれほどの巨大な水車や送水管を使って水をくみ上げ、そして発電して70%もの効率で20年以上も高信頼性で働くのは驚異である。しかし揚水発電はもちろん、フライホイールや圧縮空気で発電する原理を説明するのにさほど困難はない。

ところがコンデンサ、いや電気二重層キャパシタに電灯が点くような電気のため方をすると、その説明が意外に厄介である。それを更に改良して特別な使い方、作り方をしてエネルギー密度を高め……と述べるころには、相手はくたびれてしまって付いてこない。

もう一つの原因は、キャパシタというものが二次電池のような蓄電の道具として存在しなかったことにある。揚水発電所に必要な技術要素は水車や発電機あるいは発電所だから、この分野の技術者にとっては得意分野であった。圧縮空気発電や風車、あるいはフライホイールや決してやさしくはないSMESさえ電力分野の技術意欲の適切な対象であった。

それでも過去に、電力分野では扱いにくそうであっ

た半導体素子でさえ今日では広く浸透した。これを見ると、電気二重層キャパシタが電力用途で馴染みがないから使われない、という理由にはならない筈だ。

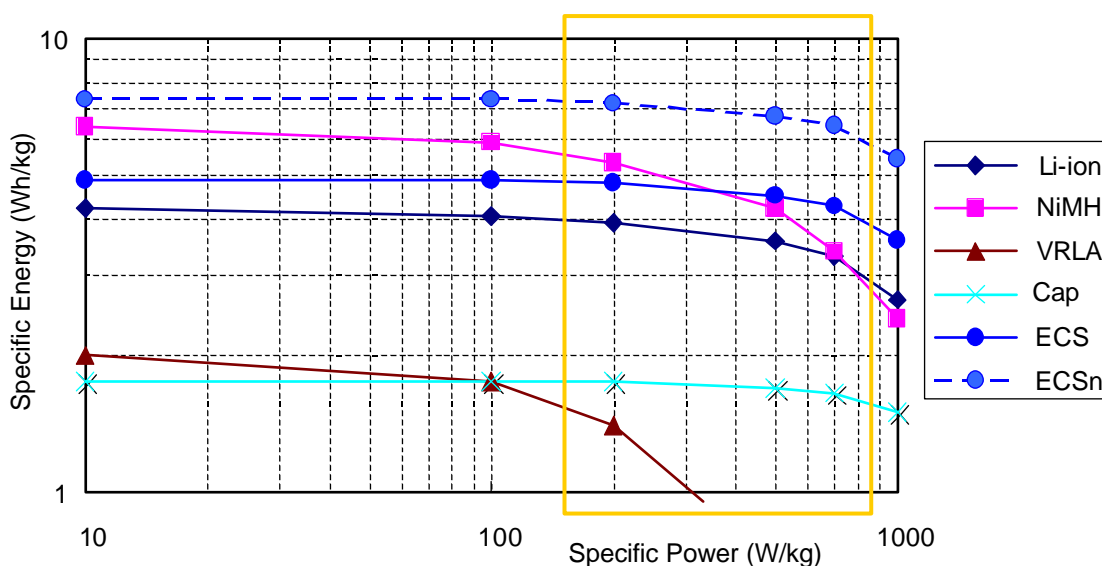
1.3 ECaSSの展開

ここで提示しているキャパシタ蓄電の一方式であるECaSS™は、考え方や定義までだいぶ従来と異なる点がある。それを普及し、量産化にこぎつけない限り値段が下がらない。値段が下がれば使いたいと言う人は既にたくさんいるから、どうやって早くその方向に動かすかが鍵である。

私達が目指してきた展開の方法は次のように要約できる。

性能を更に向上する
 実用例を世間に示す
 諸媒体を活用して周知を図る
 大量生産して価格を下げる

いわゆる従来型、あるいはDOE型の高出力密度、低内部抵抗を狙ったキャパシタが、諸先達の長年の努力にもかかわらず大して普及しなかった原因は、その不足を挙げるべきであろう。たとえばプリウスの1995年の試作車にキャパシタが使われながら製品はNiMH電池になった原因は、エネルギー密度が不足したことと、直列に接続したキャパシタの電圧配分の問題があったと想像される。当時のキャパシタのエネルギー密度は単セルで1~2 Wh/kgほどであった。



【図3】寿命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%

最近のECaSSグループの活躍は， で大いに認識を広めているに違いない。 は本稿の最後に述べる。

2．キャパシタのエネルギー密度は小さいか

電気二重層キャパシタのエネルギー密度は二次電池より小さいか。もちろん小さい。ただしそれは二次電池の使い方，二次電池の定義で比較すればという前提がつく。

蓄電装置の用途は，そういう電池の都合で決まった前提条件の中にあるとは限らない。

エネルギー密度など二次電池の特性の表現，定義はずいぶん古い歴史を持っている。それらは主として電池の特性を基盤にして，その上で可能な発展を遂げてきた。

本稿では，その中から主要な二つを取り上げる。

- エネルギー密度の表現法
- 蓄電装置の能力の表現法

2.1 エネルギー密度や二次電池の定義は時代遅れ

エネルギー密度をはじめとする二次電池の特性の定義は時代遅れになっていて，一般のエネルギー貯蔵装置に適用したり比べたりするには適当でない。時代遅れだといって悪ければ，電池の，電池による，電池のための定義になっている。

二次電池の特性を表現する最も適切な手段の一つにラゴンプロットがある。前ページの図2に示したのはハイブリッド電気自動車用として公表されている二

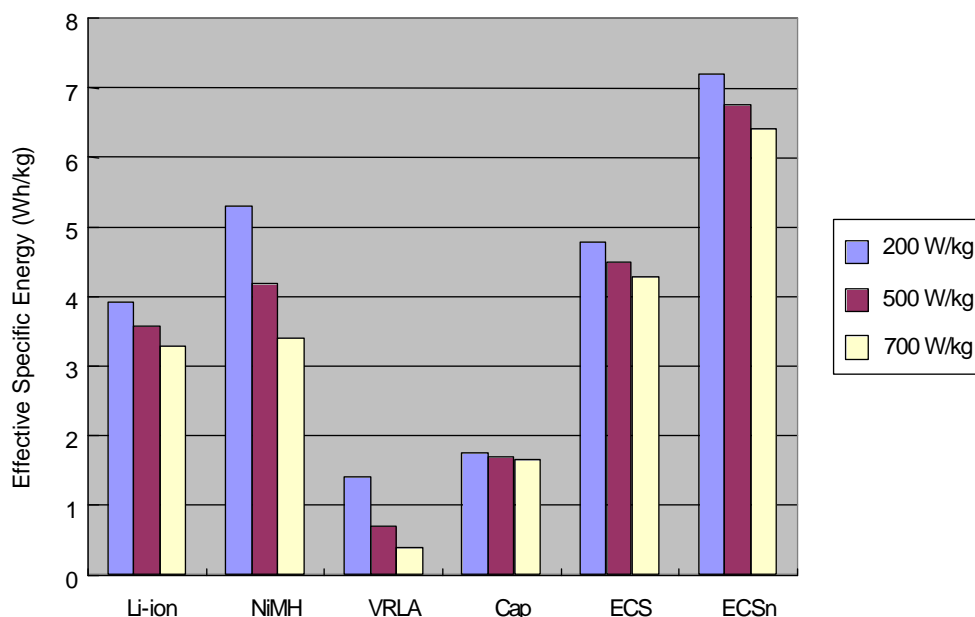
次電池とキャパシタの特性を縦軸を重量当りのエネルギー量，横軸を重量当り出力電力で表したものである。（日本語ではエネルギー密度や出力密度という用語を重量当りと，体積当りの両方に使ってきた。英語で正確に書こうとすると ~ Densityとは体積当りWh/lのこになり，重量当りWh/kgをいうならSpecific Energyと呼ぶ。本稿の表現はそれに合わせた。）

これらのプロットを見る限り，二次電池はいずれもハイブリッド車用ということで，一般用の同じ種類の二次電池よりエネルギー密度が低めに，そして出力密度を大きく設計されていることが分かる。何より明瞭なのはキャパシタとの違いで，ECaSSがいくら力んでも完全に縦軸上の位置が一桁差がある。

2.2 新しい実情に合った定義と考え方

ところが本稿では，それを誤りだというのである。次の図3をごらん頂きたい。これは前図と同じ二次電池とキャパシタの組み合わせ（開発中の新型ECaSSキャパシタECSnewを追加したが，重要な論点ではない）で寿命の要素を入れてプロットしたものである。

測って見ることの不可能な寿命のファクターをどのような方法で組み入れたかという点，二次電池の場合には寿命を確保するために放電深度の最適な値があって，そこを中心に浅く充放電する手法が一般に用いられる。その放電の深度をハイブリッド車に適用した論文から採集して，電池あるいはキャパシタのエネルギー密度に掛け算し，実際に利用できるエネルギー量



【図4】種々の出力電力におけるキャパシタと二次電池のエネルギー密度

を算出した。

前出の図2と比較して詳しく見ると、電池とキャパシタの間に存在した10倍の差は消え、むしろECSが優勢になっている。

何故そんなことが起こったか、キャパシタを有利にするための誤魔化しではないかという疑問が生じても不思議ではない。しかし、前の図2は二次電池の場合、新しいセルを満充電して、可能な最大限の容量で縦軸上の位置をプロットしている。この容量での充放電を実際に繰り返せば、電池にもよるが数十～数百サイクルしか耐えない。

商用ハイブリッド車では車両の寿命の中で300万回、乗用車でも数十万～100万回も充放電するという使い方が前提であれば、それとはかけ離れたサイクル寿命しか出ない使い方と特性を表示する方がおかしい。

何故こんなことになったか。おそらく前述の電池の長い歴史に根ざしているのであろう。蓄電池の黎明期から電池の性能を寿命を考慮して表現する習慣はなかった。寿命を含んで特性を定義することは、特に化学反応を利用して蓄電する方式においては、ほぼ原理上から来る本質的ともいえる問題を含むので、サンプルの実測値が普遍的な値とは言えず、著しく困難であった。業界もそれを定めなかったし、ユーザーも本質的な問題点に迫って、無理に定義させても再現性が疑わしく実用的でないことも分かっていた。

しかし「蓄電デバイス」と一般化して、電池以外の方式と比較する際には、電池だけのために定められた上述の方式は通用しない。現状では電池の公称エネルギー密度は時間軸のない、いうなれば一回だけのエネルギー密度である。これを電池以外の蓄電デバイスと

公平に比較するには図3に示したように、充放電サイクル寿命を保証できる放電深度を定め、その範囲内でのエネルギー量やエネルギー密度を表示すべきだ。

この考え方は世の中に通用していない筆者の試案に過ぎないので、いくつかの会合、ホームページなどに提出して意見を求めた。これまでのところ、この考え方が理論上誤っているという指摘を受けたことはない。ただし電池を擁護するなら、数十回か数百回か寿命を犠牲にしながらも図2のような大エネルギー量の放電が可能である点は図3に表れない電池のメリットに違いない。もっともそれならキャパシタの側にも、充放電効率が強制冷却が不要なほど高く、安全性が高いなど図3に表れないメリットがあるといえよう。

このままの状態でも図3から出力密度200, 500 および700 W/kgでの値を抽出して棒グラフにしたのが図4である。

なぜこれらの出力密度で比較したかという点、実用のハイブリッド電気自動車が必要とされるもっとも難しい領域がこの辺であることと、電気二重層キャパシタECSのLタイプで95%まで放電効率が下がる点、キャパシタのメーカーによって多少の違いがあるものの500～650 W/kgになるためである。なお、二次電池の放電効率はこの辺では著しく低下するから、強制冷却が欠かせない。

図4で比べるとECSキャパシタが全面的に優勢だが、実はそれを示すのが本稿の目的ではない。細かな数値は論文により、また電池の新しい実験データが現れれば、例えば電池の放電深度を2倍にしてもサイクル寿命の長い使い方を見出すか、公称エネルギー密度が3倍の電池が現れれば図の順位は変わってしまう。

【表1】 Summary of the characteristics of advanced prototype and commercially available carbon-based ultracapacitors

Device	V rated	C (F)	R (mOhm)	RC (sec)	Wh/kg (1)	W/kg (95%) (2)	W/kg Match. Imped.	Wgt. (kg)	Vol. lit.
Skeltech*	2.3	47	5.2	.24	5.2	5722	51000	.005	.0038
Skeltech*	2.3	615	.50	.30	3.9	3485	30755	.085	.066
Saft	2.7	3500	1.0	3.5	4.1	336	2800	.65	.50
Maxwell	2.5	2700	.32	.86	2.55	784	6975	.70	.62
Ness	2.5	2550	.33	.84	2.31	819	7284	.65	.534
Ness	2.7	3870	.22	.85	3.43	1114	9909	.836	.731
Ness	2.7	4615	.28	1.3	3.70	846	7524	.865	.731
★Panasonic	2.5	1200	1.0	1.2	2.3	514	4596	.34	.245
★Panasonic	2.5	1791	.30	.54	3.44	1890	16800	.310	.245
★Panasonic	2.5	2500	.43	1.1	3.70	1035	9200	.395	.328
Montena	2.5	1800	.50	.90	2.49	879	7812	.40	.30
Montena	2.5	2800	.39	1.1	3.33	858	7632	.525	.393
★Okamura/ Honda	2.7	1350	1.5	2.0	4.9	650	5785	.21	.151
★ESMA	1.3	10000	.275	2.75	1.1	156	1400	1.1	.547

*unpackaged (based on the weight of the active components only)

(1) Energy density at 400 W/kg constant power, $V_{rated} - 1/2 V_{rated}$

(2) Power based on $P=9/16*(1-EF)*V^2/R$, EF=efficiency of discharge

This should read "Power Systems"

本稿ではそういった個々のデータが問題なのではなく、「寿命のファクターを考慮したラゴーンプロット」により蓄電デバイスの評価すべきだと提唱しているのである。

2.3 蓄電の豊富な用途とその見直し

1) 電気二重層キャパシタと擬似容量

前項で述べたキャパシタの特性は、ハイブリッド電気自動車あるいはそれに類似した特定の使い方について取り上げたものであって、蓄電デバイスとしてキャパシタが総ての用途に万能だということではない。

それどころか、世界の動きは電気二重層キャパシタのエネルギー密度が小さいのに失望して、他の手段を模索する動きがむしろ盛んである。学会やセミナーなどでもそれらを総括しようとして、「ウルトラキャパシタ」「スーパーキャパシタ」「電気化学キャパシタ」などの名称で論文や製品が発表されつつある。

表1は米国の学会でA.Burke氏が発表された資料[4]の一部分に我々のキャパシタの製作者が誤っていたため訂正を申し入れた際のものだが、この表は2002年2月時点での世界の電気二重層キャパシタの性

能を表現している。注目すべきは数値のほか、印以外のすべてがアセトニトリルAN電解液を用いている点で、最適化した状態でプロピレンカーボネートPCの2倍ほどもエネルギー密度がでるが、引火点が5と低く、燃焼時に有毒ガスが出るので、AN不使用のキャパシタと区別されるべきである。

2) 擬似容量と中間品

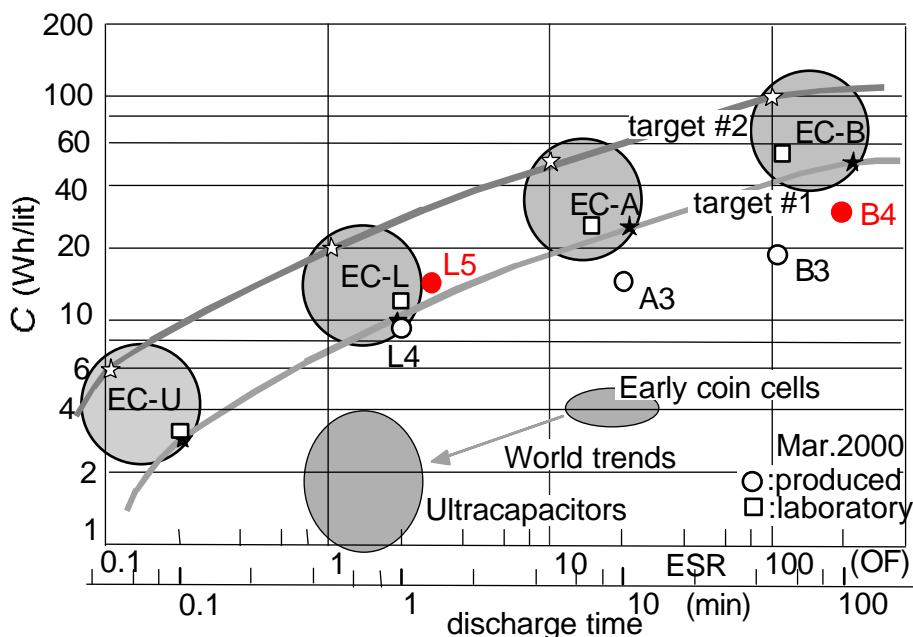
純粋な電気二重層キャパシタを攻めるのではなく、化学反応(酸化還元反応)を許してでもエネルギー密度を高めようとする手段は、

擬似容量

片極に電池を用いる

に大別できる。これらはいずれも「ウルトラキャパシタ」「スーパーキャパシタ」「電気化学キャパシタ」に含まれ電気二重層キャパシタと一緒に扱われている。

酸化ルテニウムなど金属の酸化物や導電性ポリマーにPあるいはNドーピングを行って、エネルギー密度の大きな擬似容量を得ようという研究が日本でも欧米でも盛んに行われ、優れた研究成果が発表されている。サンプルレベルでPinnacle, Motorolaが知られているが市販された例は聞かない。



【図5】ECaSS™キャパシタの標準設計：エネルギー密度と内部抵抗の関係[2]

アルカリ電解液にNiOOH～Cの構成で、正極を水酸化ニッケルの電池、負極を活性炭による電気二重層キャパシタという製品がロシアのESMA社で量産・市販されており、本国では電気自動車などへの適用例が豊富に存在する。

3) 豊富な用途があるが

蓄電デバイスとしてのキャパシタの優秀性を図4のような形で述べると、それなら携帯電話から電動自転車まで何でもキャパシタが使えると思う人がいるかもしれない。だが、電池には小電流で使うなら体積や重量あたりの蓄電量が格段に大きいという特徴がある。携帯電話の電源にキャパシタを用いて、高張るけれど火中に投入しても安全で、しかも20年持つぞ、と宣伝しても売れないだろう。

図5はECaSS™キャパシタの標準的な特性値とその実例を示すが、図の右に行くほど蓄電池との競争に曝され、左側ほどキャパシタの独自性が主張しやすい。要するに、生産量が少なく単価の高い初期段階では、単純に言えば充放電の激しい用途ほど有利である。ハイブリッド商用車や風力発電の系統安定化などがその好例である。

その反対に、発生頻度は少ないが高速放電が必要で、しかも長い寿命と信頼性が欠かせない用途、例えばエスカレータ、半導体工場、紙漉きや製鉄などの工場、印刷工場などの電源バックアップの用途がある。

短時間放電、つまり大出力が出せると特徴を唱える割に、キャパシタに特長的な短時間充電を強調しない

のは理由がある。短時間充電はよほど良く分かって使わないと、ひいきの引き倒しになりかねない。キャパシタは極短時間での充電が可能だが、同じキャパシタなら充電時間を短くするほど効率が低下し、大きな充電器が必要となる。1kWhのキャパシタを1時間で低電力充電する充電器は効率100%として1kWで済むが、1秒間で充電するには3,600kW要る。充放電とも用途の許す限りできるだけ時間をかけて行うのが有利、これはキャパシタに限らず電気工学の法則である。

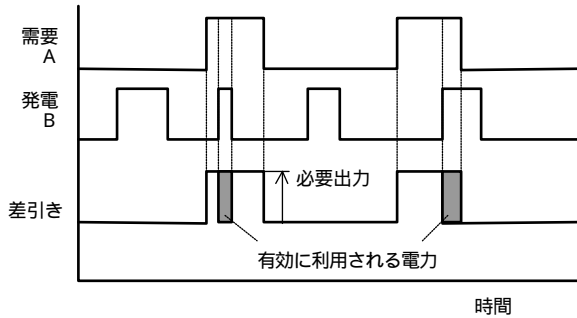
もう一つの応用は、系統への配線がいらぬ、長期間メンテナンスフリーである、という性質に関わる。対象が山の上や海の中、あるいはもっと手軽に庭園灯や標識、道路鉄、防犯装置、ロボット等も太陽電池など何らかの充電装置と組み合わせて寿命の続く限りの長期間運転ができる。

4) 新エネルギーとは何か[5,6]

太陽光や風力など新エネルギー発電を総発電量の0.1%の現状から今後10年間に1%、小泉内閣では改訂して3%まで増す計画という。

そこでなぜ蓄電に注目しないのであろう。過去の統計に揚水発電所の貢献は大きく描かれているから、蓄電の効果を無視しているわけではない。それなのに、太陽光にも風力にも燃料電池発電にも補助金がつくが、なぜ蓄電装置の普及を図ろうとはしないのか。

その理由は、蓄電は発電と違ってエネルギーを生産しないと考えているからであろう。エネルギーペイバック時間の計算などでもこういう考え方が行われる



【図6】ランダムな発電Bは必ずしも有効でない

が、それは誤ってはいまいか。なぜかという、エネルギーは発電さえすればよいのではなく、必要な時、必要な場所に存在しなくては使えないからである。

図6でAのような電力の需要があり、太陽光や風力のような自然エネルギーでBを発電した場合を考えよう。Bの面積つまり発電量は、需要Aを越えているのだが、必要な発電量Cをカバーする発電機の規模はBがあってもなくても同じである。Bを設けた効果はCの斜線で塗った部分だけ、たとえば火力発電の量を減らすことができる。

しかし、それは余りに効き目が小さい。それを改善するために、多数の太陽光や風力の電気を広い範囲の電力系統につないで平均化すれば、Cのハッチングの領域のような重なる機会が増えて、効き目が大きくなるはずだ……ここまでが現在の考え方である。

だが自然エネルギーは所詮ランダムなので、必要なとき例えば最大負荷の出る日の午後一時に、日かげり風が凪ぐかもしれないから、図2の差引きのように他の発電所でカバーするだけの用意をして置く必要がある。

つまり太陽光や風力発電は、他の発電所の負荷率（=発電された電力量/発電能力）を下げ、発電設備としては二重の投資となってしまう。

これでは太陽光や風力発電は電力会社に歓迎されるはずがない。いや、電力会社だけでなく、その料金を支払うユーザーにとって、このままでは有利といえるだろうか。本来は地球環境を救うはずの再生可能なエネルギーである自然エネルギー発電を有効にする方法はないか。

発電 = エネルギーではない。エネルギーは発電すればよいのではなく、必要な時、必要な場所に存在しなくては利用できない。それを実現するのは、蓄電であり、分散型の電力貯蔵だと思っただが。

3. 電気二重層キャパシタの普及への道程

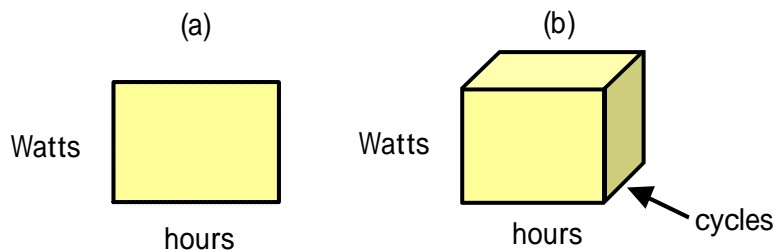
普及への道程は性能の向上とコストの低下である、と述べたら、それが疑いの余地なく正確でも、あまりにも当然だと失望されるであろう。そこで以下に若干の手がかりを補填しよう。

3.1 コストの評価法 / W Wh Wh・cycle

科学の黎明期、プランテ、ユングナーやエジソンが蓄電池を発明し製品化を競ったころは電気が蓄えられるというだけで、立派な成果であった。電池の技術は当時の手法を今でも引きずっている。たとえば容量をアンペアアワー(Ah)で表すが、これは蓄電池が電極材料に用いる活物質に固有な電圧の電圧源であったため、電圧を言う必要がなかったからである。Ahを現在でもキャパシタの容量を表すのに使う人が時々いる。

古い技術が今も温存されている例はこれだけではない。当初は電気を溜める技術はそれだけで驚異であったため蓄電池の寿命は、定量的な議論の対象ではなかった。そこで蓄電池の性能を当初の蓄電容量ワットアワー(Wh)で表した。これだと図7(a)のようにWh当りで表したのでは300回充放電できる電池も30000回使えるものも区別がつかない。

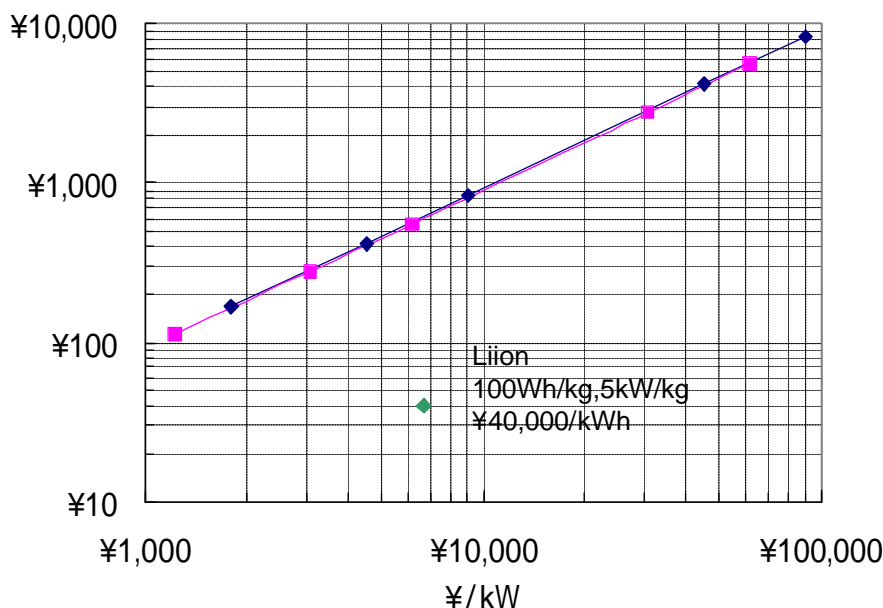
今でも電池や電気二重層キャパシタの値段がWh当りいくら、などというが、これは蓄電池の寿命など議論する余地がなかった昔の手法である。これからは、例えば100Whの蓄電池が生涯に何サイクル充放電できるかを問題にして、図7(b)のように10回なら1000Wh・cycleと表現しなくては蓄電装置の働く総容量にならずディメンションが合わない。蓄電装置のコ



【図7】蓄電装置の容量の表し方：(a)では何回持つかは問題でない

ストの計算などは、キャパシタが実用になった今日、この方式で行うべきであろう。

コスト計算といえば、ハイブリッド電気自動車のような高出力蓄電デバイスでは、その評価を入出力電力当り、つまり“ ¥/W ”で計算するという手法がある。たとえば95%の放電効率で50kWのモーターを廻すに必要な、その電池あるいはキャパシタの価格はいくら



【図8】出力密度，エネルギー密度とキャパシタ価格をLiイオン電池と比べる

か，を計算する。もちろん，この場合にはエネルギー量つまり持続時間を考慮する必要があり，Wh当りで計算する場合には出力電力を考えることは欠かせないから，どちらが中心かにかかっている。

3.2 使えば下がるコストと量産規模の関係

1) 出力密度での比較

電気二重層キャパシタの価格が高くなる第一原因は生産量だが，それは後に廻すと，第二はエネルギー密度である。

物の値段を何を基準に表現するか。蓄電装置だから蓄電電力量，ジュールとかワットアワー当りで比較すると，本稿の最初に述べた放電深度による実効エネルギー密度が適用できない場合には，キャパシタは旗色が良くない。

リチウムイオン電池のエネルギー密度が100Wh/kgあれば，1Wh当り10gですむところを，1Wh/kgのキャパシタでは1,000g必要になる。これがキャパシタが割高だといわれる根拠である。そこを改善しようとECSではエネルギー密度の増倍に挑んできた。それで25Wh/kgができたとしても40g必要である。

値段を出力電力，キロワット当りで比較するとどうなるか。ハイブリッド車や1分間程度のUPSの場合，それだけの時間に何kW充放電できるかが問題である。

電気二重層キャパシタの場合，前に述べた計算を用いて効率95%あたりでの出力密度を比較すると，ずいぶん控えめに計算しても重量当りでLiイオン電池，

NiMH電池の1.5～2倍程度にはなる。

比較の試算例を図8に示したが，出力電力当りで比較すれば，電気二重層キャパシタは明らかに電池より安価に量産できるはずだ。

2) 蓄電量での比較

蓄電性能を比較するのに，出力密度で評価するというのは我田引水，ご都合が良すぎる。それでは盾の一面だけをとった評価だから，やはり蓄電装置の本来の性能でコストを比較すべきだ……という意見はもっともであろう。

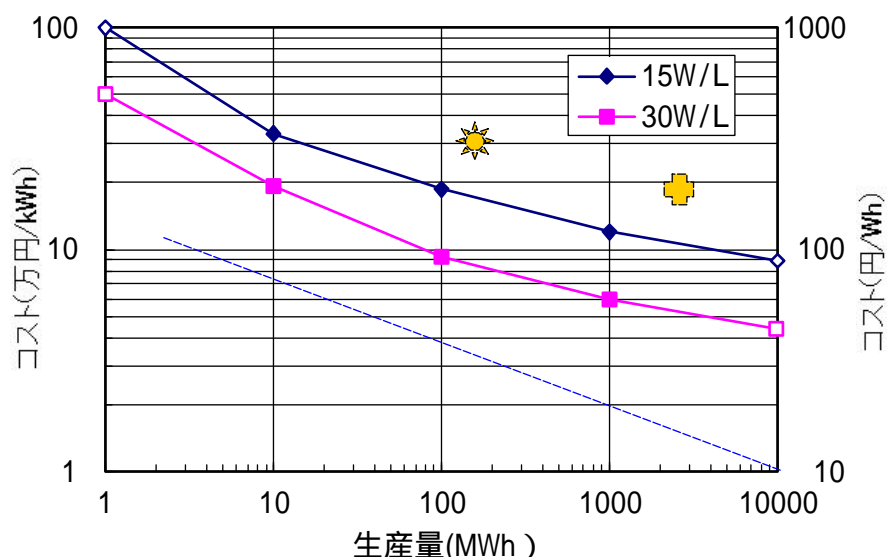
それを言うなら一回だけの蓄電量Whではなく，蓄電装置が壊れるまで，何Wh*cyclesの電力を供給できるかで比較するのが妥当である。

前項の計算でキャパシタが40gだったが，寿命が4倍ならこれは帳消しとなる。二次電池でも放電深度7.5%で充放電サイクル試験すると何万回も持つが，キャパシタは放電深度75%でも平気だから，そこで比べるなら事実上キャパシタのエネルギー密度は10倍あるに等しい。

3) 生産量による変化

それでも，現にキャパシタは高い。それは研究所が手作業で僅かずつ作っているか，ごく小規模な工場しか動いていないからである。

揚水発電所や鉛電池と同じだけ作らせ比較すれば，これまでに述べてきたような理由で，電気二重層キャパシタは高くはなくなる。大規模な工業化には種々の



【図9】電気二重層キャパシタの生産量と価格の予測～揚水発電および太陽電池との比較

の困難が付きまとうが、これまでに立ち上がった各種の工業に比べて格別に難しいとは考えられない。

量産した場合のキャパシタの価格試算[7]は既に行われていた。その範囲が10～1000MWhなので、図9には1桁左と右に試算値を付け加えた。生産量1～10MWhで急勾配に価格が低下しているのは、実験室的な生産から工場生産規模の拡大によるもので、価格の絶対値は低減を続けるが、その低減の比率は規模が大きくなるほど減少する。下に添えた破線は生産量10倍につき価格が1/2となる勾配で、生産量100MWh以上ではこれよりさらに低い低減率で算定している。

太陽電池との比較:

キャパシタの価格を太陽電池と比較しよう。太陽電池の2000年の年間生産量は約10万kWpで、この値は約100MWhのキャパシタ蓄電装置に相当する[6]。図9から生産量100MWhにおけるECaSS用電気二重層キャパシタの価格を求めると100～200円/Whを得る。この値は2000年における太陽電池の価格600～800円/Wpに比べて明らかに安い。初期のNEDOの太陽電池の価格の見通しは、これまでも何回も改訂されている。これに対してキャパシタの生産が2010年に500万kWp相当、つまり5000MWhになれば50～100円/Wh、つまり5～10万円/kWhの価格はかなり確実に実現可能と見通すことができる。キャパシタ蓄電装置は価格ばかりでなく、日照に関係ないから設置場所の点でも制約が極めて少なく、需要地のごく近くに設置することが可能である。

揚水発電所と比較:

これまで揚水発電所のコストである20万円/kWと比べると、キャパシタは1万円/Whほどもする現在では

とても競争にならない価格のように見える。筆者自身を含め、多くのキャパシタ関係者でさえそのように思っているかも知れない。しかし、それは誤りであった。

揚水発電所の発電機を1基あたり500MW、発電機3基とすると発電所は1500MWほどの規模だから、最低の2時間率を考えてもコスト計算は3000MWhで行うべきであろう。これを図9に適用すると10～5万円/kWhとなり、充分競合できる価格レンジとなる。また、最初のプラント1台で成熟した産業と同価格になる必要はなく、発電所側には立地などの大きな制約があることを考慮すると、十分に競合できるコストと判断できよう。

3.3 今後の展望

ここまで述べたように、効果的な蓄電は新エネルギーの一角を担うことができる。その蓄電にキャパシタを提案した理由は、大規模と分散設置のどちらも可能なこと、安全性、そして大量な蓄電システムを導入したときに重要な、高い充放電効率と二次電池より格段に優れた寿命、低公害性などの点でECaSSによる電力貯蔵システムがもっとも有利と考えたからである。

こうした科学的事実と根拠を明瞭にした情報を世間に提供し、国家や地球規模の環境・エネルギー政策に反映されるよう理解を広めたいと考えている。

参考文献

- [1] M. Okamura, A Progress Report of the Capacitor Hybrid System--ECS, EVS-18, 5D (2001)

- [2] Michio Okamura: High Energy Density Capacitor Storage Systems, EESAT 2002, March, 2002
- [3] EESAT2002の論文抄録
- [4] Andy Burke: Cost-Effective Combination of Ultracapacitors and Batteries for Vehicle Applications, AABC, Feb. 2002.
- [5] 岡村迪夫：電気二重層キャパシタによる蓄電システムの進展，電子技術2001年4月号，vol.43, no.5, p55-59, 2001.
- [6] 岡村迪夫：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)
- [7] 新エネルギー・産業技術総合開発機構：負荷平準化新手法実証調査 最終報告書，2000年3月。

-