

電気二重層キャパシタと電子回路を組み合わせた新しい蓄電装置“ECS”

ECSを搭載して燃費を2倍にも改善したキャパシタ・ハイブリッドバスを世界で初めて完成

岡村研究所 岡村 勉夫



研究とは冒険と失敗の集積である…
…というとは何か成功しそうな話
だが、筆者が1992年に着手した「新蓄
電法の研究」は、その道をたどっていた。

それが2000年には写真1のような大
型バスがテストコースを驍進し、2001
年には乗用車の発売も予告されると
は、予想もしない展開であった。

遅すぎる研究の評価や 判定

2000年のノーベル物理学賞受賞が白
川英樹筑波大学名誉教授やジャック・
キルビー氏に決まった。だが、対象とな
った研究は1970年頃の成果だという。

研究成果を世に問い事業化しようと
する時、こういうテンポで評価してい
たのでは役に立たない。新しいアイデ
アや発明が役に立つか、それに人生を
賭けるか、会社をつぶす覚悟で投資を

するかは、その場で決める必要がある。
ノーベル賞に文句を言う人はあまり
いないだろう。だが、その場でとは無
理でも30年間様子を見てから決めたの
では遅すぎだと言わざるを得ない。

近年、わが国の物ごとを先延ばしに
する傾向は、役所に限らず、ほとんど
すべての分野で目に余る。実業分野で
は早すぎる変革が起こっているから、
なおさら問題である。「悪事を行っ
たら犯罪」というのは当然だが、その任
にある人が適切なタイミングで「物事
を行わなかった」責任も追及されて当
然ではないか。

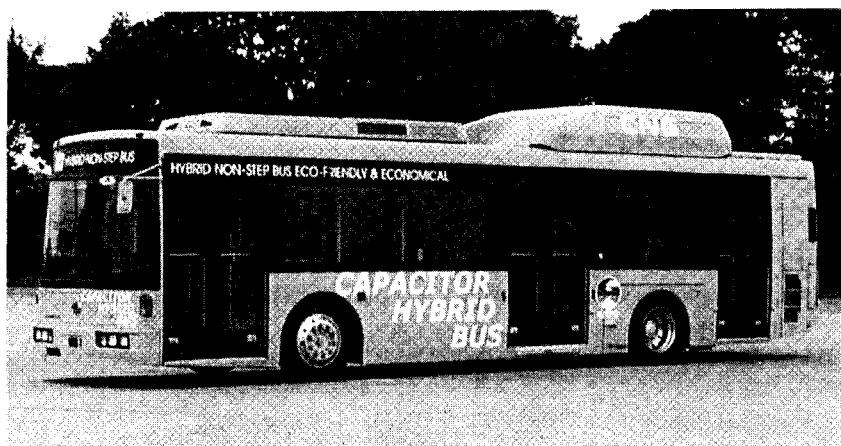
長かった迷走の時代

なぜそんなひねくれたことを言うの
か、それには理由がある。研究でも技
術でも業績でも、万人が認めるよう
になってから評価するのなら誰でもでき
るが、それでは役に立たないからである。

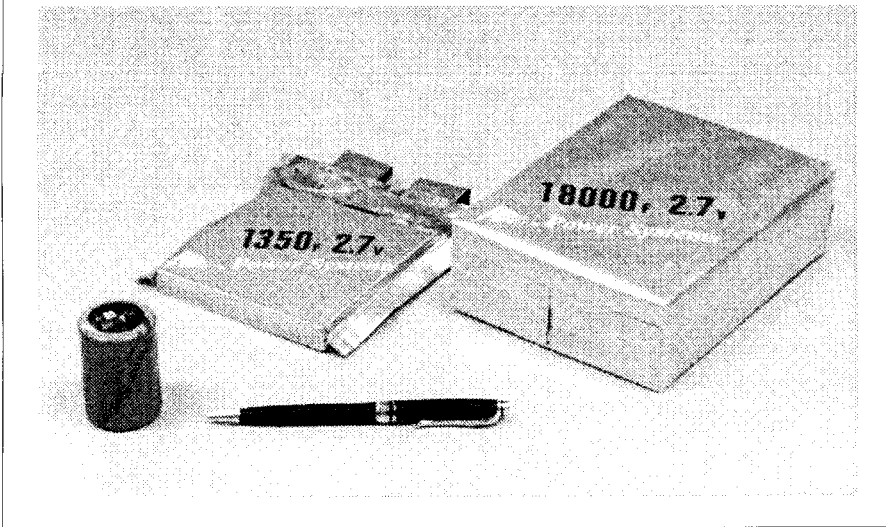
新しい研究や発明に必要なのは、万
人が認めるようになってからの盛大な
後押しではない。もっとも効果的な
のは、誰も信用しない、研究データも不
備だらけ、試作品もみすぼらしいとい
った段階で可能性を見分ける見識と、
その時点での確かな支援である。

たとえば94年12月号の本誌は、キャ

●写真1 世界初のECSを搭載した15トン低床式キャパシタ・ハイブリッドバス¹⁾



●写真2 現在の ECS 用電気二重層キャパシタの例：
左から PS-A 470F/48mℓ、PS-L 1350F/150mℓ、PS-B 18kF/ℓ



パシタによる新蓄電技術がどこでも認められず、最初の本論文が電気学会の査読すら通っていなかった時期に、誌面トップで大きく報道²⁾した。同月の「トリガー」など数誌にも掲載された。それに先立って日刊工業新聞³⁾に小さな記事が載った。新蓄電装置の新聞、雑誌への初登場だが、この時期のこれら記事の効果は絶大であった。

技術の萌芽をブレイクスルーにまで育てるには、現代ではジャーナリズムの貢献度も、その責任も大きい。

キャパシタによる蓄電

キャパシタに電気を溜めることは静電気を蓄えるライデン瓶が1746年だから、原理的には昔からわかっていた。

電気二重層はヘルムホルツが1879年に発見し、これを利用した電気二重層キャパシタも1954年に米国 GE 社の特許以後研究が進められ、現在は有効期限が切れたがいくつかの特許が成立した。

わが国では1978年に松下電器産業が有機系、79年に日本電気が水溶液系コイン型セルを発売した。製品はICメモリの停電バックアップ用として年間約100億円の市場を形成している。

二次電池の課題

電気化学反応を利用してエネルギーを蓄える二次電池は1859年、プラントが鉛電池を発明して以来、多くの進歩と頭痛の種とを抱えてきた。おもな課題は、充放電時間、充放電サイクル寿命、充放電効率、安全性、環境にやさしい材料、など。いずれも化学エネルギーに変換して電気を蓄える原理からくる本質的なもので、根本的な解決は原理を変えない限り容易ではない。

新品の時はともかく、充放電を繰り返すと次第に弱くなっていく不便さと心もとなさは、二次電池を何とかしようと考えた原因の1つでもあった。

キャパシタで電池に代わるか

キャパシタで電池の代わりが可能なら、前述の頭痛の種はほとんど解消する。充放電時間は必要なだけ短くできるうえ、充放電サイクル寿命は測定が困難なほど長い。効率は高く、安全で材料は環境にやさしい。

だが困ったことに、エネルギー密度（重量または体積当たりの蓄電量）が

鉛電池の1/20と圧倒的に小さい。蓄電装置で蓄電量が小さいのでは、ほかの何がどんなによくても、種々の研究や特許の提案にもかかわらずキャパシタは電池の代わりにならなかった。

エネルギー密度を増す方法

それなら、エネルギー密度を20倍に増せばよい。だが、「何ごとによらず20倍もの改善は不可能に近い……」と考えていた。「せめて数倍程度ならともかく……」とたんに1つのブレイクスルーがひらめいた。

「2つの独立な現象を、5倍と4倍改善する」そうすれば両方では $5 \times 4 = 20$ 倍の進歩が得られるはずだ。

キャパシタ自体のエネルギー密度を5倍に増し、電子回路を設けてキャパシタの利用率を4倍にしてみよう……。こうして電子回路とキャパシタを組み合わせた ECS (Energy Capacitor System)⁴⁾が誕生した。

内部抵抗を高める

2つに分けて楽になったとはいえ、キャパシタのエネルギー密度を、先達の研究者やメーカーが到達している水準の5倍にするのは、容易ではない。だが、もう1つのブレイクスルーは世間の認識と反対方向に向かうことで達成した。

当時の電気二重層キャパシタをコイン型のレベルからパワー用にする研究では、どうやって内部抵抗を下げるかが目標であった。複数の試作キャパシタの論文で勝ちを占めるのは内部抵抗の少しでも低いキャパシタと決まっていた。

なぜかという内部抵抗の高いキャパシタでは電流を流せば必ずオーム損が出るから、これをできるだけ小さくするのが至上命題と考えたのであろう。

ところが、それと反対な証拠を見つけた。キャパシタに電流源での充放電効率を計算すれば、静電容量C、内部抵抗Rとすると、時間tで全容量を定電流充電した際の効率pは式(1)、放電は式(2)で得られる。

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

$$p = (t - 2CR) / t \dots \dots \dots (2)$$

内部抵抗の異なる3種類のキャパシタの効率をプロットした図1から、内部抵抗が高くて充放電時間をずらせば等しい効率になることがわかる。

内部抵抗が高くてよいなら、電極も厚く、引出し線も細く、単セルを大型にしてエネルギー密度を大幅に向上できる。この考え方をういて写真2、図2に示した各種のECS専用キャパシタを作った。

電子回路での貢献

回路をどう工夫してもエネルギーは増幅できない。それならどうやって4倍もの貢献が可能か。

電気二重層キャパシタの耐電圧は3Vほどだから当然、直列で使う。だが、直列にすると電圧負担が均等にならな

い。不均等に電圧が加わって壊すのを恐れ、7掛け(実は7割でもまだ安心できない)で使う。そうすると蓄電量は49%となる。

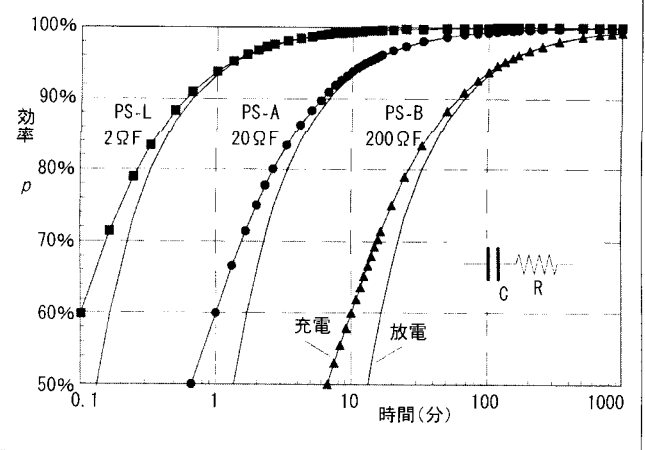
ECSでは並列モニタと呼ぶ電子回路で100%の電圧で安全に使えるようにしたので、エネルギー密度が2倍強になった。

さらに前述の充電の動作で電流ポンプと呼ぶ電流出力型のスイッチングコンバータを用いて充電効率の改善し、電圧の大きく変化するキャパシタを広い電圧範囲で放電すると利用率が2~3倍改善される。つまり従来からある電気二重層キャパシタにECSの電子回路を併用すると4~6倍程度の実効的な蓄電量が得られる。

学際を超える

上に述べた電子回路の手法は格別な

●図1 内部抵抗による効率pと充放電時間t



秘技というほどのものではない。キャパシタについても同様である。それがなぜ、これまで作られなかったか。

その1つは「物事を徹底して理解していなかった」ためであろう。前出の式(1)、(2)はともに電気工学の手法で容易に導けるが、この式を「抵抗があっても充電時間との比で解消できる」とは考えず「抵抗があると損失を生じるからダメだ」と思い込む人がほとんどだった。

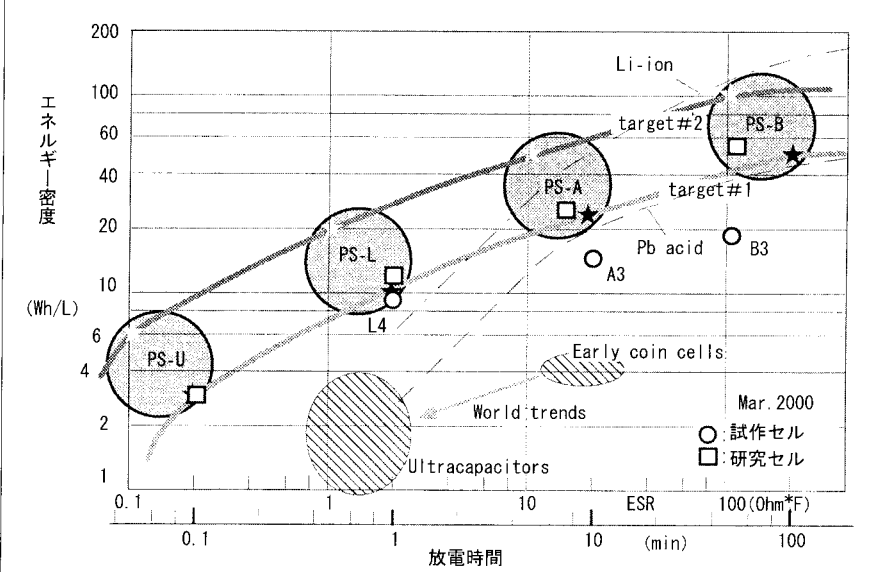
もう1つの原因はECSの手法が学際的な知識を要求したためであろう。電池を研究する人の多くは電気化学が専門で電子回路が得手とは限らない。

他方、電子回路の専門家は、電池の中身に干渉しようとはしない。自分の専門分野だけで解決しようと考え、学際的な技術は育ち難いのではあるまいか。

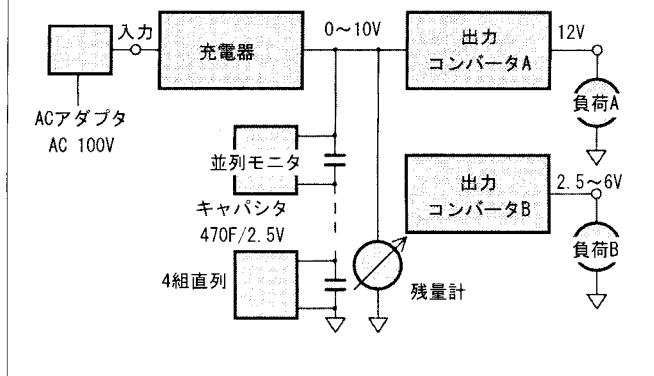
ハイブリッド車

電池に代わってキャパシタと内燃機関のハイブリッド車が登場した。エンジンとモータの出力の配分比をどの程度にするかは、車の設計上任意に選べる。しかし、軽量化やタイヤ、空気抵抗の改善以外の、ハイブリッドにしたことで得られる正味の効果を高めるには、回生制動のエネルギーを捨てない

●図2 キャパシタのエネルギー密度と内部抵抗



●図3 ECS 実験キット



F、(写真2左端に示した円筒型) 4個を含むECS実験キットを企画した。

キャパシタはこれと同サイズで松下電子部品およびエルナー製100Fが市販されているが、キットに付属のECS用は約5倍のエネルギー密度をもつ470F、

ただし内部抵抗は20ΩF(1F当り20Ω)のPSA型である。

図3に実験キットのブロック図を示す。入力にACアダプタ、DC、太陽電池などで、充電器として働く電流ポンプを経由してキャパシタに充電する。

各キャパシタには基本的な並列モニタが設けてあり、動作を実験できる。並列モニタが充電電流をバイパスしたのがわかるようLEDが点灯する。

放電はキャパシタから電流で取り出し、定電圧で出力する電流ポンプで昇圧型の出力コンバータA、降圧型Bの2つを、用途により切り替えて使える。

負荷としては実験用に電球などが添付されるが、出力電圧を調節して、任意の目的に利用することが可能である。

充電側も交流電源に限らず、太陽電池などから充電する構造に変更することもできる。ただし太陽電池は実験キットには含まれていない。

組み込まれている残量計は簡単なダイオードによる折れ線近似型だが、実験上で重要な機能を果たす。これまでの蓄電装置でこれほど瞬時に正確に残量を表示する例がないから、ユーザーには新鮮な経験であろう。

供給方法も、こういうむずかしいものを説明抜きでは販売できないので、電子技術専門誌の連載講座⁹⁾と平行して一般に通信販売する予定である。

で効率よく蓄電し、大出力時に放電できることが絶対条件である。

深い放電深度で大電流の充放電を繰り返し行くと二次電池は劣化するから、どうしても電池をかばって電流や放電深度を制限せざるを得ない。高温度、低温度においては、さらに制約が生じる。

大電流の充放電で効率がよく、温度範囲が広く、安全で寿命の心配がない点でキャパシタは断然有利である。しかしECSを知らずに、キャパシタは電気がすぐなくなるから電池に頼るほかはない、と思っている人は未だ多い。それでも、ごまかしのきかない商用車で燃費を約2倍にも改善したキャパシタ・ハイブリッドバス(写真1)の成功は、論より証拠となった。

燃料電池車が普及価格で作られるには改質器も水素のインフラも問題である。現在のキャパシタ・ハイブリッド車は、すでに燃料電池車に匹敵するエネルギー効率に達している¹⁾から、実用的なハイブリッド車の黄金時代はこれからしばらく続きそうに思える。

実験キット

ハイブリッド車に電力負荷平準化など大規模な応用ばかりではなく、個人で扱える規模のものを紹介しよう。

それは単一乾電池ほどの大きさ48mlの電気二重層キャパシタ2.5V、470

この先が未だ大変

研究が論文まででよいなら、ECSはほとんど完成である。しかし、現状ではキャパシタがまだ高い。これを量産し、低価格にしていくには、メーカーが事業を起こし、利益を得て拡大再生産を可能にしないといけない。

電池の原価算定に用いられる原料代は鉛や炭素が150円/kgなどと安価だが、キャパシタではその30~100倍で計算されている。これは現在の生産量が少ないためだが、同じ基準で比べればキャパシタの方が特に高価である理由はない。

生産が軌道に乗れば価格が下がり、ユーザーが増えると量産規模が増し、値段が安くなるであろう。こうしたプロジェクトも各社で走りはじめた²⁾から、1日も早く効果を挙げることを期待したい。

【参考文献】

- 1) 佐々木正和、他：キャパシタ式CNGハイブリッドバスシステムの開発、日産ディーゼル(株)、自動車技術会2000年春季前刷集(2000-5-24)
- 2) 雑誌「電子技術」、94年12月号、p1-3、「新形二次電池はコンデンサと電子回路を組合せた無公害電池」
- 3) 日刊工業新聞、94年10月6日、6面、「充放電寿命が1万回」
- 4) 岡村勉夫：電気二重層キャパシタと蓄電システム、日刊工業新聞社、(1999-3)
- 5) 岡村勉夫：新蓄電システムECS誕生！電気二重層キャパシタと充放電回路の設計製作(仮題)、トランジスタ技術、2001-2~5(発表準備中)
- 6) 日刊工業新聞、2000年10月31日、1面、「自動車蓄電システムで提携、京セラ、物産、日本電子など」

●おかむら みちお
株岡村研究所 所長