

# ECaSS Forum

ECaSSフォーラム会報 2008年 春号

VOL.03

エネルギーをためられる未来のために

上海特集 — 上海キャパシタロリーバス

森 五宏／堀 洋一／麻岡 誠司

フィルムコンデンサから電気二重層キャパシタ・ECaSSの世界に  
松井 啓真

キャパシタ解説シリーズ 第二回

標準化委員会報告(2)

佐々木 正和

フォーラム活動レポート

会員企業紹介

「編集後記」

## INFORMATION

### ECaSSフォーラム制作 冊子配布のお知らせ

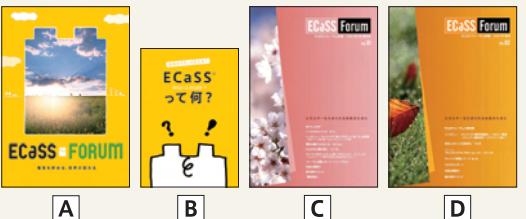
#### A ECaSSフォーラムパンフレット

■ 「ECaSS<sup>®</sup>って何?」  
(一般の方むけにECaSS<sup>®</sup>のしくみを簡単に解説した冊子)

#### C ECaSSフォーラム会報 創刊号

#### D ECaSSフォーラム会報 2号

をご希望の方にお送りします。



#### ① 送り先 (郵便番号/住所)

#### ② 氏名

#### ③ ご職業

#### ④ A、B、C、D、もしくはすべて

を明記し、フォーラム宛に  
メール (webmaster@ecass-forum.org) で  
お知らせください。

(部数に限りがあります。ご希望に沿えない場合はご容赦ください。)

### 【編集後記】

ECaSSフォーラム会報誌春号をお届けいたします。春号といい  
つつ、少し遅れてしまいましたが...内容は充実!  
感想やリクエスト、引き続きお待ちしております! (F)

### 会員企業 (2008年3月時点)

オムロン株式会社 (<http://www.omron.co.jp/>)  
株式会社 指月電機製作所 (<http://www.shizuki.co.jp/>)  
ニチコン株式会社 (<http://www.nichicon-us.com/>)  
日産ディーゼル工業株式会社 (<http://www.nissandiesel.co.jp/>)  
日本ケミコン株式会社 (<http://www.chemi-con.co.jp/>)  
日本ゼオン株式会社 (<http://www.zeon.co.jp/>)  
株式会社 パワーシステム (<http://www.powersystems.co.jp/>)  
日置電機株式会社 (<http://www.hioki.co.jp/>)  
三井物産株式会社 (<http://www.mitsui.co.jp/>)  
株式会社 リコー (<http://www.ricoh.co.jp/>)  
他2社 (50音順)  
高知県 (オブザーバー) (<http://www.pref.kochi.jp/>)

Go! Go! ECaSS!  
(3) まつこ 作画: 大三郎



〒232-0006 横浜市南区南太田2-19-6 TEL & FAX: 045-742-3484

ウェブサイト: <http://ecass-forum.org/> メール: [webmaster@ecass-forum.org](mailto:webmaster@ecass-forum.org)



フィリアス（次世代型インホイルモーター付き連接バス）



ローマのトロリーバス

私は黒部ダムのトロリーバス事業に係わり、これらの都市交通は環境に優しく、景観に配慮したシステムで名付けられた「フィリアス」は、オランダで営業運行している。動力源はトロリー・ポール、ディーゼル発電機、フライホイール、バッテリー、キャパシタ等の電源を選べ、駆動にはインホイルモーターを使用した次世代型ハイブリッド連接バスである。21世紀の都市交通の本命は「フィリアス」ではないかと想定している。

## 上海キャパシタトロリーバス

森 五宏

2005年末、上海からキャパシタトロリーバスが運行している知らせが届いた。このプロジェクトは上海市科学技術委員会が2001年から開発、車体は上海奥威科技開発有限公司の開発したスーパーキャパシタが搭載されている。浦東開発区のリニアモーターカーの終点駅竜陽路から上海新国際博覽センターまでのシャトルバスとして試験運行していた。真っ白なボディーに環境にやさしい濃緑と薄緑のストライプに大きなクエッショマークが書かれ、架線レストロリーバスとして乗客の注目を浴びていた。

全長11.5m、車両重量16.5t、乗車人数60人、最高スピード55km/h、ちなみに車両価格80万元（約1,200万円）である。

停留所には受電変電所（AC10kV 200kAからDC600V）と鉄アーム支柱に一本のパイプ架線

が張られた充電スタンドが併設され、バスの屋根にはジャバラ式二極パンタグラフが付いている。バス停で乗客が乗降中にジャバラを立ち上げ補充電する。充電を終えるとジャバラを降ろし、次の停留所まで架線レスで運行する。トロリーバスの二本の長いポールも醜い架線もないのに景観維持には最適である。

車両にはキャパシタ・セル360個（定格電圧1.65V、静電容量80,000F）で構成されたキャパシタを搭載、電圧600Vを得ている。キャパシタは車両底に左右バランスを取り設置され、重量980kg。VVVF制御による交流モーター75kWを備えている。

おりしも、次世代型トロリーバス研究会を始めた頃であり、早速、キャパシタの知識を得るために、指月電機製作所の松井啓眞氏を講師に招聘して勉強を始めた。その後、国内でもリチウムイオンバッテリーによる架線レス路面電車の実験が始まり、いよいよ日本の都市交通も架線レス時代に入つたと実感している。その後、2006年8月に上海でキャパシタトロリーバスの営業運行が開始され、次世代型トロリーバス研究会による上海視察を昨年末に実施した。ECaSSフォーラムからは堀洋会長、日本ケミコン佐久間、鈴木様、高知県の麻岡様にご参加頂いた。現地では、上海市人民政府外事弁公室、中国土木工程学会の配慮により、トロリーバス製造工場、キャパシタ工場の視察、華社長とのヒアリング、営業路線乗車体験、昼食懇談では開発責任者の胡技師から開発裏話を聞くことが出来た。参加者全員が、上海人の勇気とスピード、果敢な挑戦に脱帽した次第である。

# 上海特集

FEATURE | Shanghai Trolleybus

次世代型トロリーバス研究会の上海トロリーバス見学会  
—参加記録 & 特集

〈上海キャパシタトロリーバス〉 森五宏  
〈上海のキャパシタバス見学記〉 堀洋一  
〈上海キャパシタトロリーバス視察顛末〉 麻岡誠司

VOL.03  
ECaSSフォーラム会報  
2008年春号

ECaSS Forum

16	15	14	12	10	9	7	5	3	2
----	----	----	----	----	---	---	---	---	---

Contents



# 上海のキャパシタバス見学記



交差点の配線は複雑

人と人、企業と企業を餅のようにべトべトくっつける?会社  
「モチベート」の、森さんのお世話で上海のキャパシタバスを見学した。  
そのあと成田空港経由でアナハイムのEVS23に直行したのだが、  
ここではその前半を述べる。

堀 洋一

11月30日、6時ごろから起きてごそごそして  
いる。インターネットはウェブメールを使ってな  
んとか処理しているがやりにくい。8時食事。9  
時出発。いよいよキャパシタトロリーバスに試乗。  
なかなかのものである。キャパシタは1.65V、  
80,000Fのものを18個で1モジュールとし、  
21モジュールを直列に使っている。電圧の均等化  
回路はとくに使用していない。インバータに直付  
け。全体で600V、200Fほどになる。バス  
停でパンタをあげて200Aで充電。400V



停留所の剛体架線(600V)

600Vぐらゐの電圧範囲で使用するのでフル  
充電時間は200秒(約3分)である。 $\square = C \triangle V$   
 $\square \triangle \square$ の公式そのまま。普段はバス停で充電す  
るのでもっと短い。電力は100kWといったと  
ころ。非接触充電ではまだ苦しいな。

豫園の中のレストランで昼食をとりながら胡  
さんというバス会社の方と議論。統いて、奥威と  
いうキャパシタの大メーカーを訪問。工場見学は不  
可であったが、華社長との質疑応対、意見交換は  
実り多いものであった。通訳の謝さんが抜群に優  
秀で魅力的な知性を感じる。

現在、キャパシタトロリーバスは上海の観光スポット豫園の内回りで営業運行している。製造は上海のSUNWIN社、VOLVOとの合弁会社で資本金9,700万ドル、職員1,000名、工場敷地13万平方m、年間2,500台の都市交通バスを製造している。訪問時工場内では外回り車両として15両を追加製造中であった。2010年の上海万博開催時に向け環境対策として100~200両のキャパシタトロリーバスを運行する予定である。中国の環境悪化は深刻で、1km四方は光化学スマッグの影響か霞んでどんよりしている。今年の北京オリンピック開催を控えて環境対策プロジェクトとして必死で取り組んでいる。スローガンは「上海の空はもっと青く、上海の交通をもっとスマートに」。

2006年8月から営業運行の上海キャパシタトロリーバスは「創新号」と命名され新車輛10両はすべて

て冷房完備である。運行の11路線は10停留所、5.25kmの環状線で構成されている。各車両にキャパシタ・セル360個が搭載されている。(エネルギー密度10Wh/kg、パワー密度1,500Wh/kg)走行距離120km/一日、一回充電走行距離3.5~8km、フル充電には3分から5分程度かかる。停留所充電時間30~90秒、最高速度44km/h、回生エネルギー40%である。運行開始時にはパンタグラフの機械的故障や猛暑によるキャパシタの能力低下が見られたが、その後順調に運行している。

キャパシタの性能について、上海奥威科技開発の華董事長から説明を受けた。スーパー・キャパシタの技術は独自のもので国際水準を超えている。現在の生産量は20万個/月、欧米に輸出しているが、ほぼ国内販売である。キャパシタの種類は2種類である。生産ラインは中国製で日本製より安い。キャパシタは、充電速度が速い、充放電の寿命が長い、パワー密度が高い、安全性に優れている。寿命はまだ正確に判断出来ないが、7~8年を見込んでいる。キャパシタは猛暑に弱いが、自然劣化等の欠点を補うための材料の研究開発は日々進歩で進んでいる。堀先生の鋭い質問に華社長は、スーパー・キャパシタはリチウムイオンバッテリーよりも性能は優れている、と最後に胸をはつて明言した。

21世紀の魅力あるまちづくりの決め手は環境対策と景観維持である。今後ますます蓄電装置の比重が高まると思われる。自動車メーカーもハイブリッド車両を開発し、環境対策に必死で取り組んでいる。

私は蓄電装置の本命は電気一重層キャパシタとリチウムイオンバッテリーであると想定している。キャパシタはパワーがあり太く短い、バッテリーはスタミナ

森 五宏  
(Mori Itsuhiro)  
1944年 宇治市生まれ、京都在住  
関西電力株式会社で黒部ダムのトロリーバス事業に係わり、その後も世界のトロリーバスを研究。地球環境に優しい都市交通システムの提案活動を続けている。  
株式会社 モチベート 代表取締役 / 都市創生交通ネットワーク  
@関西 代表 / 次世代型トロリーバス研究会主宰 / 著書トロリーバスが街を変える  
e-mail: mori15@motivate.co.jp



天津のトランスロールと筆者

ナがあり細く長い、全く正反対である。友人に調べてもらったら、案の定、フランス語ではキャパシタは男性名詞、バッテリーは女性名詞であった。パワーがあるキャパシタは電気バス、スマートがあるバッテリーは電気自動車としての使い分けも必要ではないか。トロリーバスもバスと電車のハイブリッドで、米国では都市交通の継子と呼ばれていた。キャパシタとバッテリーの利点を配合すれば、すばらしい性能の次世代型ハイブリッド蓄電装置が生まれるのではないかと密かに期待している。何とか中国の勇気を頇いて、日本の技術力でキャパシタトロリーバスの実現を期待したい。



上海 SUNWIN社 製造工場

- 申沃客車会社 (29日15時～17時)
  - ボルボ(スウェーデン)との50%ずつの合弁会社。
  - 毎日12台のバス製造(上海市内には1万台のバスがある!)。
  - バスは50万元／台、キャパシタトロリーバスは80万元(1,200万台)。
  - キャパシタの値段は、80万元のうちの1/4(20万元・300万台)。
  - キャパシタ自標能力としては、バス満員乗車・エアコン使用 登り坂で6キロメートル走行(現時点では、3キロメートル)。
  - キャパシタトロリーバスは、今まで17台製造、今年これから7台出荷、来年は25台万博用とし出荷予定。



キャパシタトロリーバス 運転席

## 上海キャパシタトロリーバス 視察顛末 麻岡 誠司

(写真／森五宏)

久しづりの空港は、以前に比べ若干ですが滑走路等環境整備が進んでいるなあと感じながら、浦東国際空港降り立ちました。ただ、街中の雑踏や路上の車は、相も変わらず…の状態でした。人口1,800万人、高層ビル1,000棟と言われるとおり、まさにメガシティーそのものです。また、今回視察した「キャパシタトロリーバス」に代表されるように、2010年の上海万博に向け、環境問題への施策展開も急速に進んでおり、また旧街路の撤去、再開発にも目を見張るものがあります。豫園やバンドーに代表される「旧」と新世界や浦東地区の超高層ビルに代表される「新」が、絶妙にMIXされた上海でした。

■ 各視察先概要

- 現在キャパシタトロリーバスを10台保有し、日々の運行ではうち7台を使用。
  - 今まで15年運行し、大きなトラブル無し。ただし、運行路線から車庫までの3キロの間に設備がなく、キャパシタトロリーバスを1台でも運行するため、運行距離が約3キロまで制限される。
  - 床下収納は時代の流れである低床が進めばどうなるか?→座席の下に収納する。
  - キャパシタメーカーは中国に何社?→10社ある。うちは上海のアウエイを使っている。
  - 電池併用やリチウムキャパシタの利用は考えてないか?→来年リチウム電池をキャパシタの併用を考えている。
  - キャパシタの充放電の回数100万回はバス評価としてははどうか?→性能的には満足している。しかし100万回はもたないので…。(使い方によっては、5万回もたないとの声あり)。
- 燃料電池公共汽車商用化上海公室 (30日9時30分～10時30分)

時間が空いたので新天地に寄る。謝さんと耿さんが付き合ってくれて厚手のコートを買う。値引きしてもらつて5万円ほど。謝さんのよく行くという店で上海一夜情というカクテルを楽しみ、ほろ酔い気分になる。夕食は上海料理のきわめてすばらしいレストラン、皆で大いに盛り上がる。来てよかつた。百聞は一見にしかず。すばらしい視察旅行であった。

近未来のクルマが電力系統に接続されることは、いまや明白である。V2H、V2G、G2Vなどと言い始めている。エネルギー供給の問題さえなければ、乗り物を動かすアクチュエータには電気モーターが最適であるということは、鉄道がとうの昔に証明済みである。



上海蟹

上海新天地夜景



キャパシタを積んだ路面電車やトロリーバスは、それだけで終わることなく、クルマそのものを変える原動力になるだろう。プラグインハイブリッド車は、将来必ずキャパシタを積むようになり、エンジンは早晚その役目を失う。筆者には、ちよこちよこ充電しながら走るクルマに向かって行く、まったく新しい時代の潮流が見える。

華社長は世界を変えたいという夢とビジョンを持っていた。そして、政府が後押しをしながら、世界初の試みを思いきってやっている。悪口を言う人はたくさんいる。でも日本ではなかなかできないだろう。一種の勇気の問題かも知れない。日本が失いかけているものが中国には、そして今年正月に滞在したインドにも、確かにあることに羨ましさを感じたのは私だけではないだろう。



充電しているところ

## 堀洋一

ECASSフォーラム会長 東京大学生産技術研究所教授  
東京大学大学院博士課程 1983年、東京大学工学部電気工学科に助手として勤めはじめ、1988年に助教授、2000年に教授となる。専門は制御工学とその産業応用分野。特に、モーションコントロール、メカトロニクス、電気自動車などへの応用研究。最近は福祉制御工学も。



視察団一行

20年以上もオイルコンデンサ、フィルムコンデンサ、蒸着フィルムコンデンサなどの開発を手掛けたものにとって、電気二重層キャパシタ(コンデンサ)そしてECaSS®との出会いは、戸惑いの連続でした。同じ誘電現象を利用したキャパシタでありながら、全く違った世界と言うか大きな違和感がありなかなか馴染めませんでした。誘電体であり放熱媒体でもある絶縁油は電解液に代わり、誘電体紙やフィルムは単なる絶縁セパレータとなり、静電容量単位はμFからFに、μm単位であった誘電体厚はどこにあるか見えないnm単位に、数百V～数kVあった単位電圧が2.7V程度となりました。

オイルコンデンサの絶縁油は、絶縁耐力向上とイオン電導損失を低減させるため油中の電解質を徹底して排除したのですが、電気二重層キャパシタの電解液は電解質濃度を高く、更にイオン電導性が良いものを求めるようになりました。極間絶縁を確保し、イオンを抵抗少なく通過させるセパレータも不思議な存在でした。更に、誘電体を挟んだ平板コンデンサのイメージからすれば、正負極それぞれに電気二重層が存在し、電解液を介して直列配列された電気二重層キャパシタの模擬図も馴染み難かったことを覚えてます。また、コンデンサ屋にとって最も重要であった誘電体設計・電圧設計が出来ないとどうか、“自然発生的に形成される誘電体”を利用して設計を行うと言う自由度の無さにも戸惑ったものでした。

これらはかなり感覚的なもので、私などの年代のものは、圧力の単位がmmHgとかTorrでは直ぐに理解出来るが、Pa(パスカル)表示では感覚で理解できないのと同じようなもので、頭で理解できても感覚が理解してくれませんでした。

1998年から当時の岡村研究所に何度も訪問させていただき、素朴で幼稚な質問にも丁寧に対応していただき、“聞きかじり”で“設計”“製作”した電気二重層キャパシタのサンプルを翌1999年には販売開始しており、今考えれば、余りの厚顔無恥さと無謀さに恥ずかしくなります。

# 電気二重層キャパシタ・ECaSS®の世界に フィルムコンデンサから

松井 啓真

ようやく、実際の製品に電気二重層キャパシタが搭載される事例が、徐々にではありますが確実に増えており、手応えが感じられてきたとともに、電気二重層キャパシタの“感覚”にもようやく馴染んできた気がします。

21世紀は、環境時代の新しいエネルギー社会の構築が命題ですが、再生可能な自然エネルギーの利用とパワエレ技術を中心とした省エネで、現在使用するエネルギーの50%近くが賄えるとの話をお聞きしました。エネルギーを蓄え、発電・負荷を平準化して必要なときに使用でき、エネルギーを回収(回生)することが可能な蓄電デバイスとして、電気二重層キャパシタは、パワエレ回路の受動部品としての高機能フィルムコンデンサともに、今まで以上に重要な役割を果たすものと期待しており、この開発に参画していることは技術屋としての喜びです。この命題に引き続きチャレンジしたいと考えています。

全く話は飛びますが、個人的にも自然エネルギーやらエコハウスには大変興味があり、自家用に太陽光発電装置や薪ストーブを10年前後利用しています。最近の薪ストーブは燃焼効率もよく、電気二重層キャパシタやフィルムコンデンサは使われていませんが、なかなかの優れものです。家庭用エネルギーの何割か薪ストーブでカバーできると試算していた人もいました。別の機会がありましたらこの優れもののお話をご紹介することとして今回はこれで終えます。



松井 啓真

1951年生まれ、専攻は応用化学で1973年(株)指月電機製作所に入社、研究部、中央技術研究所、コンデンサ技術部などでフィルムコンデンサ開発に従事、1998年からEDLCの開発・商品化に参画し、現在はFARADCAO技術部部長、出身・現住所とも兵庫県。(FARADCAPとは指月の電気二重層キャパシタの商品名です)

- 来年は25台導入し、うち5台は低床やより長距離を走れるよう改修予定。
- 昨年8月運行開始時、暑い時期でもあり耐熱、問題となつた。キャパシタ自体2ヶ月ほど一定劣化したが、その後は一定水準維持。今の感覚では、3～4年で寿命では。(初日気温31℃でためだつたが、今は40℃でも大丈夫)。
- キャパシタトロリーバスの運行している第11路線については、すべて政府負担で運行している。
- パシタ能力アップを期待している。



- 上海アウェイテクノロジー開発会社 30日13時～15時
- 今まで研究開発に10年、車載についても5年の歳月を費やし、バス搭載が可能となつた(他メーカー支援は無く、あくまで独自研究開発)。ただし、材料シートはマクセルから購入。当社は20万個／月生産体制。
- 余談 ※高温多湿の上海では、クリーンルームならぬドライルームでのキャパシタ製造とのこと(人間は連続2時間勤務がやつとのこと)。
- キャパシタは、製造後時間の経過とともに劣化するので、製造後即使用すべしとユーザーにアドバイスしている。また、保管の必要ある際は、20℃以下での保存を勧めている。



上海奥威科技開発 華社長とのヒアリング

**麻岡 誠司**  
昭和59年4月高知県事務吏員に採用される  
平成18年4月(財)高知県産業振興センター出向  
現在 同センター 産業連携課長  
ECaSSフォーラムとは 平成17年発足当時から高知県でのキャパシタ関連産業の振興を図るべく関わっている。



■ 上海万博(2010年)向けに、公共交通機関のクリーン化について政府の支援もあった(具体的な内容は不明)。

■ キャパシタバスは、今まで16ヶ月の運行実績で、特に運用上の問題もなく、寿命も長く、バスメーカーも満足していると聞いている。

■ キャパシタに有機系、無機系があるが、顧客の要望により選別しており、バスは無機系で、1.5Vを出力している。

■ キャパシタは、製造後時間の経過とともに劣化するので、製造後即使用すべしとユーザーにアドバイスしている。また、保管の必要ある際は、20℃以下での保存を勧めている。

## 電気一重層キヤバシタ解説シリーズ(第2回)

前号で「電気一重層の名前の由来」、「電池、乾電池」「電気を蓄える、貯める」、「電気が流れる」、「放電する」と「充電する」について解説しましたが、本号では、「電気一重層キヤバシタの原理と基本構造」「電気一重層キヤバシタに電気が溜まる原理」について解説します。

## 【電気】重層現象の発見

「電気一重層」は、古く1899年にドイツのHelmholz氏によって発見された現象で、図1に示すように電解液に金属を浸すと金属の表面に電解液の分子1個が並んだ電気絶縁層がつくられる現象です。分子1個の大きさは非常に小さくナノメータ(1ミリの1千万分の1)級の大きさです。電機絶縁層の厚さは非常に薄くなっています。

電極周囲の付着した電解液分子1個の層が電気二重層キャパシタの第1層田です。

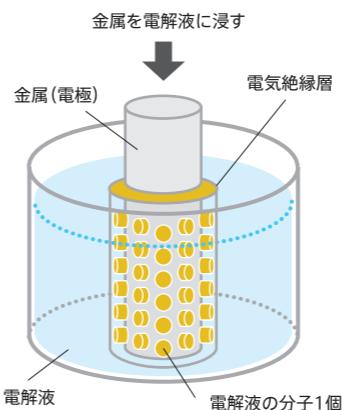
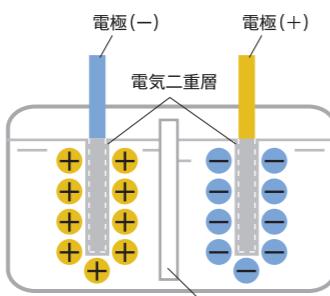


図1 電気絶縁層発生の原理

## 【電気】重層キャバシタが電気を蓄える原理

電気二重層キャパシタは、電気二重層現象」とイオノンの電気を帯びた金属への“イオン付着現象”を利用して電気を蓄えるキャパシタです。図2は活性炭電極に電気が貯まっている状態を示したもので、電解液の中にはナトリウムと一イオンとが混在しており、活性炭電極には付着していません。活性炭電極に電圧を印加すると(前号で解説した“充電動作”)ナトリウムは一の活性炭電極(以下一電極といいます)の方に移動し、一電極の表面に電気絶縁層を挟んで付着します。セパレータを挟んで十電極にあるナトリウムはセパレータをくぐり抜けて一電極の方に移動し、電極に付着します。反対の一イオ



電極に電圧をかけると $+$ イオンは(−)電極に移動して(−)電極に付着、 $-$ イオンは(+)電極に移動して(+)電極に付着する。

図4 イオンの動き

The diagram illustrates a battery cell during charging. A grey vertical bar represents the electrolyte, with a central vertical line indicating the separator. On the left, a grey rectangular area represents the anode (positive terminal), and on the right, a grey rectangular area represents the cathode (negative terminal). The anode is labeled "集電極(+)". The cathode is labeled "集電極(-)". A horizontal arrow at the top, labeled "充電電流" (charge current), points from the anode towards the cathode. At the top center, there is a switch-like component connected to a "充電器" (charger). Two arrows on the right side indicate the movement of positive (+) and negative (-) ions through the separator. Labels "導体の電気粒子の流れ" (flow of electric particles in a conductor) and "(前号の解説参照)" (refer to the previous page's explanation) are present on the far left.

電極に電圧をかけると $+$ イオンは $(-)$ 電極に移動して(左側の $+$ イオンはセバレータを通して移動して) $(-)$ 電極に付着、 $-$ イオンは $(+)$ 電極に移動して(右側の $-$ イオンはセバレータを通して移動して)、 $(+)$ 電極に付着する。

図5 充電完了した電気二重層キャパシタの内部状態

対応してナイオンが活性炭電極表面に電気絶縁層を挟んで付着します。充電動作が進むと、イオンの活性炭電極への付着が進み、この付着が規定量に達したら充電完了です。

一旦、電極表面にイオングが付着すると、イオーンは電極表面に付着し続ける。この「電極表面にイオーンが付着する」ことが電気二重層キャパシタの「電気を貯める」ことの原理です。

～ 猫でもわかる？ わかりやすい～



連載  
第2回

# 電気二重層 解説シリーズ

木下 繁昌 ECaSSフォーラム 標準化委員会幹事

11

のが図2ですが(説明は後でします)、図1の金属電極に相当するのが図2の活性炭電極です。活性炭電極(例えは同図の左の+電極)の周囲には电解液のを単セルと呼んでいます。電気二重層キャパシタるセパレータを挟んで重ね合わせたものが電気二重層キャパシタの基本構造です。この基本構造のものを单セルと呼んでいます。

**【電気二重層キャバシタの基本的な構造】**

電気二重層キャバシタの基本的な構造

活性炭電極(+) 活性炭電極(-)

セパレータ

電解液分子1個の層(第1層)

+イオン、-イオンが混在(電圧零)

イオンの周辺を電解液分子が取り囲んだ分子群(第2層)

数10nm

集電極(+)

集電極(-)

図2 電気二重絶縁層の発生原理

電気イオン

る」と解説しましたが、この電気イオンも電気の粒の一つであります。この電気イオンにはナイオン(アラスイオン)と一イオン(マイナスイオン)とがあります。また、ナイオンは+(プラス)の電気を帯びており、一イオンは-(マイナス)の電気を帯びています。しかし、物質の中ではこのナイオンと一イオンの数はほぼ同数になつてるので物質の表面には電気は現れません。電池で使う電解液は、このイオンを多く含んだ電解液が使用されています。

イオンは電気を帯びているので、近くにイオンの電気と反対の電気を帯びた物質がありますとイオン

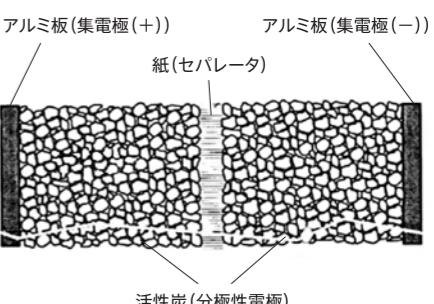


図3 電気二重層キャパシタの構造(模式図)

# キヤパシタの性能を正しく評価する試験方法の構築に向けて

佐々木 正和（標準化委員会委員長／日産ディーゼル工業株式会社）

## 1.これまでの経緯

近年、電気一重層キヤパシタ（以下キヤパシタ）が、地球環境や省エネルギー、新エネルギー対策等に関連し多様な用途でパワー型蓄電装置として応用開発、普及が進みつつある。ところが、応用拡大に伴い、キヤパシタの性能、静電容量、内部抵抗などについてどう測定し、理解し、応用すべきかよくわからない、あるいは、最近のキヤパシタ性能を適切に評価できる試験法標準が国内外とも未整備であるという問題が顕在化してきている。

そこで、当フォーラムでは性能試験法の整備、標準化につなげるべく2005年度に標準化委員会を設置し、最近のキヤパシタ性能を精度よく評価するための試験方法について調査・研究活動を開始し、その成果を電気学会、自動車技術会等に07年度までに5編の論文として発表提案してきた。また、前後してNEDO事業によるハイブリッド自動車用キヤパシタに限定した公的な試験法検討組織が日本自動車研究所（JAR）に設置され07年度にはJIS案作成およびIEC提案に至っており、国際的にも標準化議論が一気に加速しそうな気配である。

では、キヤパシタの試験法標準がすぐにでも整備され、応用容易化が加速されると期待できるかといふと、そう簡単に事は運びそうにない。なぜなら、一つは、静電容量および内部抵抗という基本の性能特性について技術的にまだまだ未解明な部分があり、多様な用途での充／放電性能を網羅する性能測定の方法が十分に確立できていないこと。二つ目は、最近の大容量型等キヤパシタの性能試験法として検討された事例においても、従来から唯一規格化され使用されてきた小型小容量型キヤパシタの性能試験法がベースとなつており、最近の多様なパワー用途への応用において求められる性能特性を精度よく測定できるのかという懸念が大きいことである。前者の技術的問題は、当委員会提案の試験方法案においても大きな課題として残存しており、後者の問題、すなわち最近のキヤパシタあるいは応用ニーズと大きく合致していないのではないかという問題は、JIS案やIEC提案の標準化案において懸念される。日本からIECに提案を受けた側の欧米の専門家達は、これまで標準化という公的な連携作業に

確立できていないこと。二つ目

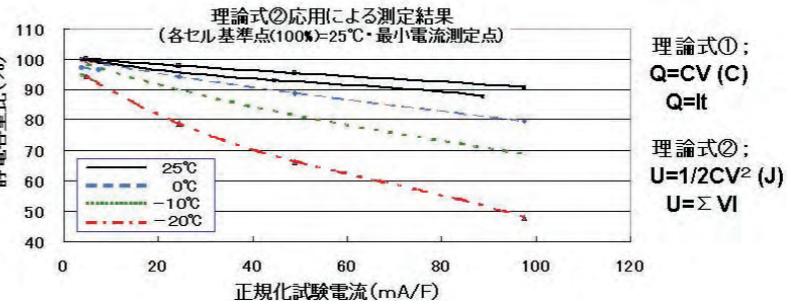


図1 従来の方法による静電容量測定結果例

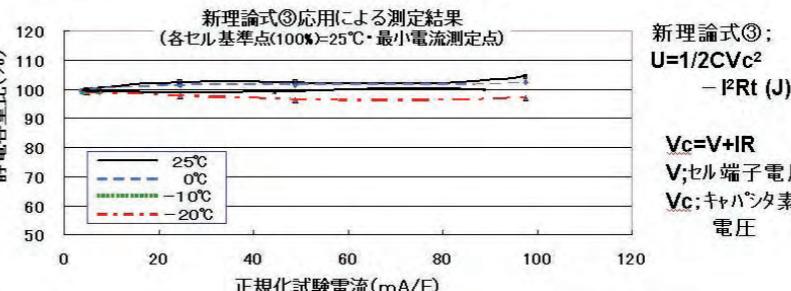


図2 新理論式による静電容量測定結果例

は至つていなくても、欧洲でも活発化し始めたパワー用途への応用開発を通じ、独自に構築した斬新な試験方法を駆使したり、あるいは性能特性の解明に努力しているようだ。IECで開始される標準化活動に対し大いに議論し、あるいは新たな提案をしようと手ぐすね引いている動きも垣間見られる。したがって、JIS化が間近といえども標準化が整いつつあるという状況はまだまだで、やっと標準化議論が始まろうとしている段階であり、そして、これを機に「応用のための」性能特性の解明にやっと日の光が当たり始めるのではないだろうか。

そこで本報では、キヤパシタの基本中の基本性能である静電容量と内部抵抗について、各試験法標準化案における現状の技術的論点、問題点、課題についてご紹介したい。

## 3. 静電容量とは？ その試験方法をどうすべきか

キヤパシタにおける静電容量は、理論的には図1に示す二つの理論式①、②におけるパラメータのことであるが、実際には、特に最近の大容量型キヤパシタほど、これを正確に測定することはむずかしい。測定方法の基となるこの特性に関する理解見解において、専門家の間でまだまだ大きな違いがあるようである。現在の有力な見解の一つは、「これは電流依存性がある」ことは電流の大きさによって変動するパラメータであるといふ。当委員会で調査した結果を図3に示すが、理論式②を用いてこれを測定すると、確かに試験電流が増大するほどには小さく測定された。さういふ、当調査結果では、Cは温度が低くなるほど小さく測定された（既知ではあるが）、では、これは電流依存性があり、むづく温度依

存性があるということになるのだろうか。

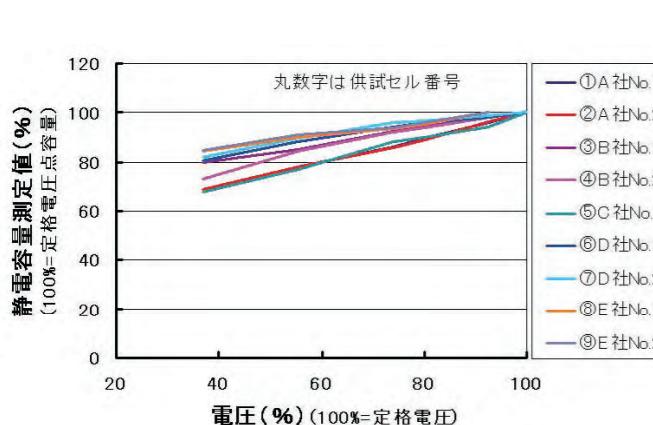


図3 静電容量と電圧の関係測定結果例

その謎は、当委員会が北見工業大学山城先生らの論文（図2中の新理論式③等提起）を参考に調査試験を重ねた結果、図1の測定結果が図2に示すようにCが電流・温度に依存する傾向がほとんど現れなくなるという結論が得られたので「Cの測定では試験電流によるエネルギーロスを考慮すべき」そして「Cは温度、電流に一次的には依存せずほぼ一定である」という見解を提案するに至った。しかしながら、現時点のJIS案においては「Cには電流依存性がある」という見解から、電流依存性が顕著とならない比較的小さい電流域、すなわち効率が95%相当の電流で、かつ、温度の影響を受ける

けない基準温度（25°C）のみでCを測定するという方法を採用している。冒頭言及した多様な用途における広範な電流条件や温度条件に対応した標準化とするには課題が多い。

当委員会は、さうにもう一つの重要な見解として「Cには電圧依存性がある」ことを提起したい。これは北見工大との共同による研究結果であるが、メーカー、キヤパシタタイプ、蓄電容量などが大きく異なる多くのセルを調査した結果、図3に示すように例外なく、Cには頗著な電圧依存性があることがあらためて確認された。この特性については従来から北見工大等から論文が散見されていたが、今回、広範囲な種類のキヤパシタにおいて共通の特性として調査確認されたわけで、この結果が標準化議論に提起される意義は大きいと考える。この特性は、応用場面における使用電圧範囲によってCが変動するということであり、用途に応じてどのような電圧範囲でこれを測定するのか、または、統一的電圧範囲を設定するのか大いに議論する必要があつ。当委員会の現時点での標準化案では全電圧範囲で測定し、全電圧範囲における平均値をとることを提案しているが、再議論の余地があるよつだ。

以上をまとめると、今後の課題として、一つはCには電圧依存性があることを試験法において考慮する必要があること。さらに、あたかも電流依存性、温度依存性もあるように測定される要因は何によるのか、言い換えると理論式②のCは静的な蓄エネルギー容量ではあるが、有限時間・電流で出し入れ可能なエネルギー容量（利用可能エネルギー容量）とは異なるのではないか、それが内部抵抗によるロードロップや発熱ロスおよびCの過渡的特性（Cの多重等価回路的な特性）とどう関わるなどの課題をどう解明し規格化につなげるかが今後の検討の要請である。

#### 4. 内部抵抗とは？ その試験方法をどうすべきか

キャパシタの内部抵抗は、電池同様に直接テスターで測定できないので、電流を流しIRドロップの測定結果からRを算出する方法しか道はないが、この一見単純そうなIRドロップの測定方法に関し、これまた専門家の見解にまだまだ大きな差がある。

#### ECaSSフォーラム 標準化委員会活動進捗状況

従来、小型小容量型キャパシタの内部抵抗の測定では、図4中に示した放電電圧軌跡に近似線を引き、 $\Delta V_T$ を測定しRを求める方法、すなわち「近似線法」が、国内民間規格ではあるが規格化されており、最近の大容量型キャパシタにおいても国内では草案が確立され、おらずその近似線法を参考とし測定されている例が大半である。JIS案ではこの方法に多少の改良を加えた形となるようだ。しかし、当委員会の調査では、大容量型キャパシタの場合には図4に示すように充／放電電圧軌跡の曲線性が顕著であり、近似線の引き方により $\Delta V_T$ が大きく変動するため、IRドロップの測定方法として信頼性に欠けることが明確となつた。近似線の引き方により $\Delta V_T$ が変動する要因は、この電圧依存性や過渡特性などの影響により、また、電流や温度によって放電電圧軌跡の曲線化が変動するためと推測されるが、これを解説しても近似線法の精度向上につながる可能性は低い。

そこで、当委員会は、内部抵抗の測定方法として、近似線に頼らずダイレクトにIRドロップ（図4中の充電終端電圧降下 $\Delta V_1$ ）を測定する方法「充電終端法」について検討し、この方法による測定値Rに基づく計算充電効率( $I^2R$ ベース)が実測効率と良く一致することを検証した上で標準化案として提案している。このような充電過程における充電停止時降下電圧、または放電過程における充電停止時降下電圧、または放電

過程における放電停止時上昇電圧からIRを測定する方法については欧米専門家の間でも支持されているようになっている。IEC標準化において活発な議論が待たれるところである。

なお、現JIS案のように試験電流は95%効率点相当の一水準のみ、温度条件は基準温度(25°C)のみという条件は、自動車用限定といえども不十分さを否めないでありますから、今後の課題は、多様な用途、環境における応用容易化を考慮し、試験電流や温度条件をどのように試験法に組み入れるかであろう。

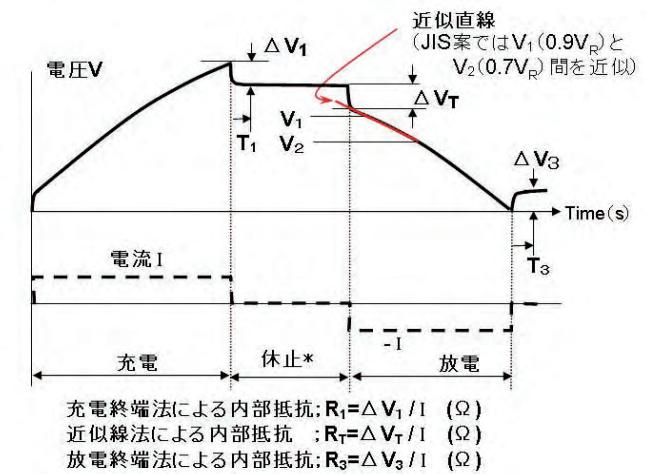


図4 内部抵抗の測定方法の比較

## 会員企業紹介 ③

### 株式会社日置電機

日置電機は長野県上田市に本社・工場を置く計測器メーカーです。創業は1935年、自動試験装置、記録装置、電子計測器、現場測定器を4つの柱とし、幅広い分野で製品を提供しています。

#### 1 電気二重層キャパシタとの関わり

製品ラインアップに、電気二重層キャパシタの測定に使うことができる測定器があります。今回は、メモリハイコーダと超絶縁計の2機種を紹介します。

メモリハイコーダは、絶縁が特徴の波形記録計で、デジタルオシロスコープやデータロガーのように使用することができる計測器。「最大20MS/s(50n秒間隔)の高速サンプリングが可能で、キャパシタの内部抵抗測定の標準測定方法として提案されているIRドロップの測定に最適です。電圧や電流の変化をトリガとしてデータの取り込みを開始することができるので、確実に変化を記録することができ、高速に電流をONあるいはOFFできる電子負荷装置と組み合わせると、純粋なオーミック抵抗による電圧変化とイオンの拡散による電圧変化を分離することができます。また、絶縁された多チャンネル測定器ですので直列接続の複数セルを一度に測定することも可能、ということです。

もう1つの超絶縁計は最大で $3 \times 10^{16} \Omega$ まで測定することができる抵抗計で、積層セラミックコンデンサの検査で数多く使用されているようです。最大の特徴は微少電流測定で、低電圧で高抵抗を測定することが可能ということで、通常のテスタでは $100M\Omega$ ( $10^8\Omega$ )程度までしか測定できないところで、それ以上の抵抗の違いを測定することで判ることもあるのではないかということでした。また、電解液を入れる前に電極間を測定すれば



セパレータに含まれる水分の違いや、今まで検出できなかつた微少短絡の検査を行うことができ、キャパシタの漏

れ電流の原因を切り分けるためのツールとして利用できる、と期待されています。



ふるさとの森づくり

#### 2 環境への貢献

1990年に本社・工場を移転した日置電機では、1988年に「移転にもなる自然破壊を復元させよう」と、社員全員で外周延べ1.2kmの敷地にシラカシ、ケヤキ、コナラなど約40種類の信州の木々約60,000本の苗を植樹しました。その後、毎年の植樹により、丸裸だった敷地に今では約80,000本の木々が生茂っています。1995年からは「ふるさとの森づくり」として地域の学校や公共施設への植樹活動の支援を行い、2007年までに37,600本の植樹を行ったそうです。この活動は2005年から「財団法人日置電機奨学・緑化基金」として運営を続け、2007年には宮脇昭 横浜国立大学名誉教授が派遣団長を務める「ケニア植生回復プロジェクト」を支援、社員4名がケニアの大地に1400本の植樹を実施。

2008年からは「グリーンポイント・キャンペーン」を開始。これは対象製品を購入すると、10ポイント毎にお客様の代わりに苗木を1本植樹する、という仕組みで、「ふるさとの森づくり」をお客様とともに支援し、植樹によって地球温暖化防止に貢献することを狙いとしています。

植樹活動は、二酸化炭素の吸収・固定による地球温暖化防止対策として有効なものであると同時に、子供たちと一緒に楽しみながらつくり出す地域の森として、コミュニティのきずなも深めてくれているそうです。

(文案・執筆協力：日置電機株式会社 高橋哲哉様 技術本部PMI部技術2課)

## ECaSSフォーラム2007下期 活動報告

### Report

- 【第27回 定例】 2007/10/31(水) 於：横浜そごう9階ミーティングルーム 標準化委員会 講演「EDLCの応用例や固体電極の話」 講演「キャパシタの寿命の扱い方」
- 【第28回 定例】 2007/11/22(木) 於：横浜関内中小企業センター13F第三会議室 講演「風力発電と蓄電システム応用について」 講演「キャパシタの自己放電の扱い方」
- 【第29回 定例】 2007/12/20(木) 於：横浜そごう9階ミーティングルーム 標準化委員会 講演「上海トロリーバス見学会の報告」 講演「フロリダ 17th International Seminar-on Double Layer Capacitors & Hybrid Energy Storage Devices 参加報告」
- 【第30回 定例】 2008/2/7(木) 於：崎陽軒6階2号室 標準化委員会 講演「高電力密度コンバータの技術動向」 講演「温度の上下限をどうやって補うか」
- 【第31回 定例】 2008/3/25(火) 於：ラジオ日本クリエイト会議室A 講演「並列モニタ7つの質問」