

# CAPACITORS FORUM

電気を貯める、世界が変わる

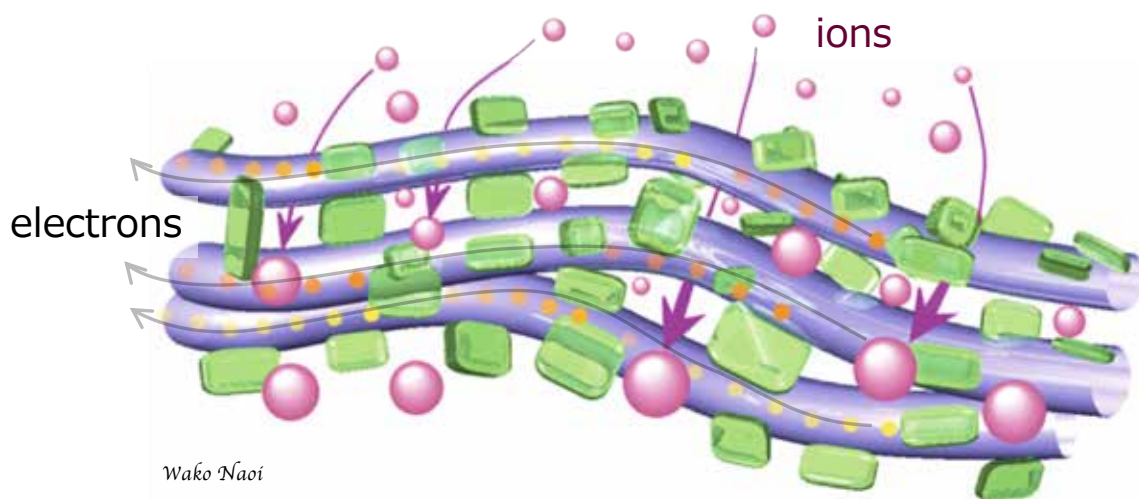
キャパシタフォーラム

vol.17

## Nanospace design

by Ultracentrifugation

highest possible loading of nanocrystals is attained, yet remaining efficient nanospace (nanovoids) for ions/electrolyte to sustain highest diffusivity/accessibility ever experienced





2021年11月定例会の様子 ハイブリッドによる開催 懇親会付き

表紙について：ナノハイブリッドキャパシタの動作原理図。

参考文献 M. Salanne, B. Rotenberg, K. Naoi et.al, "Efficient storage mechanisms for building better supercapacitors", Nature energy Review article, published 27 MAY 2016.

## 目次

会報発行に寄せて	3
ある架空の結婚式での祝辞 会長 堀 洋一	3
わたしの電気化学キャパシタ遍歴 新理事 玉光 賢次	6
訪問レポート	10
プラスマイオンアシスト社 吉澤 徳子	10
技術最新情報 — 会員企業からのレポート —	12
リチウムイオンキャパシタの技術開発と将来展望 岡田 宣宏	12
LIZ系固体電解質および非焼結型酸化物固体電池の開発 岩崎将任、彦坂英昭	16
大容量グラフェンスーパーキャパシター 唐 捷	20
エッセイ	24
自動車との付き合い合い ～ 事務局退任にあたり～ 山口博之	24
会員企業紹介	28
加賀電子株式会社	28
丸紅株式会社	29
株式会社GSユアサインフラシステムズ	30
キャパシタ解説シリーズ (第17回)	31
社会と電気エネルギー (1) 木下 繫則	31
2021年度フォーラム活動報告 事務局	35
事務局からお知らせ他 事務局	36

会報発行に寄せて

## ある架空の結婚式での祝辞

キャパシタフォーラム会長 堀 洋一（東京理科大学）

丁君、Y子さん、ご結婚おめでとう。ご両家の皆さま、まことにおめでとうございます。

丁君は、国の防衛に関わる研究所にお勤めで、私もその研究所の評価委員会をしたり、特殊車両の電動化に関してアドバイスをする立場にあたりしたこともあり、ご縁は浅くない。丁君は、W大学から丁大大学院に来て、私のところで、電気自動車へのワイヤレス給電の研究、とくに3相交流を使って新しいことができないかという草分け的研究を行った。このテーマは未完成でありいつか再開したいと思っている。

Y子さんは、農学を勉強し、いまは高速道路会社でSAの造園設計をしているとのこと。趣味は鉄道旅行と伺っている。いま走行中給

電による道路の電化は極めて重要な施策であり、自分は鉄道好きで、退職後はヨーロッパ、自分は鉄道好きで、退職後はヨーロッパ、鉄道三昧の予定だったのでご縁がある。

まず、丁君はただものではない。鉄道の知識ひとつをとっても尋常ではなく、蒸気機関や遠心調速機まわりの情報交換をしたことがあるが、鉄道マニア独特のねちっこい性格には舌をまいた。ものごとを大所高所から俯瞰して見るという精神が、天性のものとして身につけている。それが研究のセンスや、今の職を選んだことにつながっているのだろう。さて、ご存知のように、昨年CO<sub>2</sub>が閉幕し、ON（カーボンニュートラル）やSDGsなどの旗印のもと、世界は持続的繁栄に向けて舵を切っている。しかし、この「世界」

に「日本」は入っていないのではないかと。いま、自動車技術会の副会長をしているが、日本の産業を守る、とくに、日本の自動車産業を守りながら世界に貢献する、という視点がすっぱり抜けている。

たとえば、クルマの電動化や再エネの大量導入は、膨大な量の二次電池を必要とする。しかしその電池の生産はもう国内ではできない。日本の電源構成はONを出しまくるから、作つてはいけないと世界の集中攻撃に合っている。せっかくなので電池を發明しても、生産は自国ではできないのである。同じようにONを出しまくる中国は詭弁を弄して世界制覇を目指し（中国の電池はすべてきれいな電力で生産していると言いつ張るだろう）、ドイツなど欧州がこれに賛同する。ドイツはフランスの原子力を使ったきれいな電気があるためである。

再エネ導入のための電池は中国から大量に購入し、彼の国を潤す。CO<sub>2</sub>の目標は多

くの国で達成できずに終わり、ごめんない、になるだろう。その中で、日本だけが脱炭素を真面目にやる。高性能電池を開発するのはいいけれど、疑いもせずに日本の自動車産業や石炭火力をつぶしたりする。これらはそのまま中国と欧州を利する。もし日本に再エネが十分行き渡るときが来たとしても、その頃には日本は貧乏国になり自らは舞台から姿を消す。世界は平和になって日本は滅ぶ。

私にはこの構図が明白に見える。しかし、脱炭素やクルマの電動化が進まない日本は、このままでは世界に遅れてガラパゴスになると「まじめすぎて困ったちゃん」有識者が語り、政府は翻弄される。優等生でいれば、僕ちゃんよくできましたね、などと褒められ、世界は日本を見放すことはあるまい、ということなんとも甘ったれた思考パターンである。もうそろそろ大人にならなくてはならない。石炭火力の効率化に成した日本の多大なる貢献は、世界の場で誰ひとりとして養護してくれ

ないことから明白である。

すなわち「敵は本能寺にあり」である。世界はこの日本の精神構造を知り尽くし、手を下すことなく喜んで見ている。高邁な目標を提示すれば、素直な日本は中でつぶし合って自滅するだろう。中国は、いや、世界は実にしたたかである。世界は持続しても日本はつぶれる。それは世界にとっては痛くも痒くもない。トヨタがいなくなれば、GMは大喜びである。もし私が日本を嫌いな外国人であれば、同じことをするであろう。鬼は悠然と人間を見ていればよい。まさに鬼滅の刃ならぬ、自滅の刃であります。

私は、いま日本に必要なのは、(1) 安全な原子力発電所の再稼働、(2) 効率率のよいエンジン車やハイブリッド車の普及、そして(3) 電池からの脱却、この3点であると考ええる。これを政治家は世界に向けて堂々と発信しなくてはいけない。

というようなことを、もう私は失うものは

何もないので、声高に発言しています。丁君はどうでしょうか。早く偉くなつて、さまざまな場面において、正直な意見を堂々と述べていただきたいと願うものであります。いまはまだ、失うものがありそうですから、くれぐれも慎重にね。まあ、この失うものがあるという保身というスタンスが、日本人の魂を骨抜きにしているのではあります。自分がボシヤっては何もりませんからね。

最後に、今年の自動車技術会誌の「年頭のご挨拶」に書いた、わが国が改ためるべき3点を紹介します。

(1) 白黒つける習慣をやめる  
日本人はなんでも白黒つけたがりです。ガソリン車と電気自動車はどっちがCZですか？電池とキャパシタはどっちがいいのですか？原子力ですか再エネですか？どちらにも価値があるのです。共存を認めず、二者を対立させて白黒つけたがり、選択と集中という、私の大嫌いな言葉がまかりとおります。日本人



は多様性に弱いといいますが、まっことそのとおりですよ。みなさん絶対にやっていただきますから、胸に手をあてて考えてみてください。たいへんよくないことです。

(2) 短期の成果を求めない

「やって良いことが書いてある」我国のルール作りがこの根源にあります。ルールブックに「やってはいけないことが書いてある」諸外国とは正反対です。国の研究プロジェクトでも「やることは全部」書く必要があります。もし書いていないと、OOはやらないのか？と有識者が鬼の首をとったように言い、追記を要求します。そして「書いたことはやらなければならぬ」ことになります。これがいけない。書いたことが年度末に完了していないと最低評価をくらって翌年の予算がゼロになります。将来を見通す準備ができた、という超貴重な成果よりも達成率が重要です。これでは、だれもチャレンジングなことはしません。君の研究所は大丈夫でしょうか？

(3) 棲み分けを求めない

どこかでよく似たプロジェクトを見つけてきて、あれとはどこが違うのか、と有識者が棲み分けを要求します。それが新規性、獨創性だと勘違いしているのです。たくさんの方が似たことをやるのは、その技術が重要である証左です。とにかくなにか妙だな、と思つたら、小さな組織での保身のために迎合したりしないで、きちんと反論しましょう。綺麗な文書を作るのではなく、本当に意味のある技術開発をしなければなりません。手先のワープロだけで仕事をするようになったらおしまいです。

最後にも一つ。高名な有識者の意見を聞きすぎてはいけません。有識者の多くは自分の成功体験を自慢に思っていて、何にでも当てはめようとします。あなた老書になつていきますよ、そろそろ潮時ですよ、と言ってくれる友人がいない悲しい人々なのです。

以上3つが「やってはいけないこと」です。

それ以外は自由にやりましょう。

結婚式の祝辞らしくないかと思いますが、これは私が期待するT君たちへの真面目なメッセージです。T君が当たりさわりのない、平坦な人生を送るとはとても思えません。Y子さんは、それを見抜き、百も承知でこの男を夫に選んだのでしょうか。どうぞ、2人で世界をよく見ながら、正直に、堂々と、人生を歩んでもらいたい。以上です、今日はおめでとう！

(じつは架空の結婚式ではなく、昨年12月に実際の結婚式で行った主賓スピーチです。たいへん好評でした。)

# わたしの電気化学キャパシタ遍歴

日本ケミコン 玉光 賢次

キャパシタフォーラムの新理事になったのだから、恒例？に従ってテーマは何でもよいので4ページ書くようにと当フォーラム副会長の佐久間さんから申し付かった。佐久間さんは会社のOBで大先輩なので逆らえない。

ちよつとめんどくさいなとは思ったが、テーマは何でもよいなんて機会はめつたにないので、キャパシタ遍歴と題して、なかなかうまくいかなかったキャパシタ研究開発歴と最近思うところをお恥ずかしながら書いてみたいと思う。

私がこのキャパシタと関わるようになったのは二十年ほど前からである。それまではアルミ電解コンデンサの電解液などの材料開発の仕事をやっていた。おかげで電気化学的な素養が少しはあったので違和感なく取り組めたのは幸いであった。電解コンデンサもキャパシタも電池も二枚の電極と電解液の間で生ずる電気化学反応をうまく制御するのが肝心

なデバイスなのである。当時、ケミコンでは

大容量電気二重層キャパシタ(DLCAPO(商標))をリコーさんに供給するのにてんやわんやの状況であった。世界初となるキャパシタを使った複写機を開発されたリコーの岸さんにはずいぶんどご指導いただいた。私も一部かかわった部分もあったが、だいたいは当フォーラムの前身であるECCASの頃の委員であった田川さんが切り盛りしていた。私は研究部門ということで、次世代キャパシタ材料の研究に取り組むことになっていた。余談であるが、この頃、当フォーラムの創設者で

名誉会長の岡村迪夫先生の指導を受けるため、先生の横浜にあるご自宅(岡村研究所)に毎月訪問しているいろいろご指導いただいた。ECCASが発足する以前の話である。ご承知のように、エスプリの効いたお話しをされる先生なので、毎月たいへん楽しみにしていたのを憶えている。当時、日本のキャパシタ技

術を国際学会でアピールしていた産業人は少

なく、岡村先生が孤軍奮闘されていたよう思う。よく先生に海外情報を教えていただいた記憶がある。その後、私も先生に感化されて、国際学会でつたない英語で発表するようになった。毎年開催されていた産業界メインのキャパシタの国際学会(フロリダセミナー)で先生とお会いしたときには、ずいぶん歓迎されハツバをかけられた思い出がある。また、ご指導いただいた中で、材料屋である私に質問をされることも多かった。今でも憶えているのは「玉光君ねえ、充電された活性炭電極を燃やすと電気はどこにいくと思う?」と、からかわれただけかもしれないが未だに答えはない。

さて、私は当時から一貫して、活性炭に代わる電極材料の探索を行っていた。既に活性炭の拡面積化は限界に達していたからである。その中で、最初にやったのは金属錯体高分子を使ったレドックスキャパシタである。GENCという米国に拠点のあるロシア系研究開発ベンチャーが提案してきたシリーズであった。図1に材料の概念図を示す。金属(M)イオン(例えばニッケルや銅)にシッフ塩基

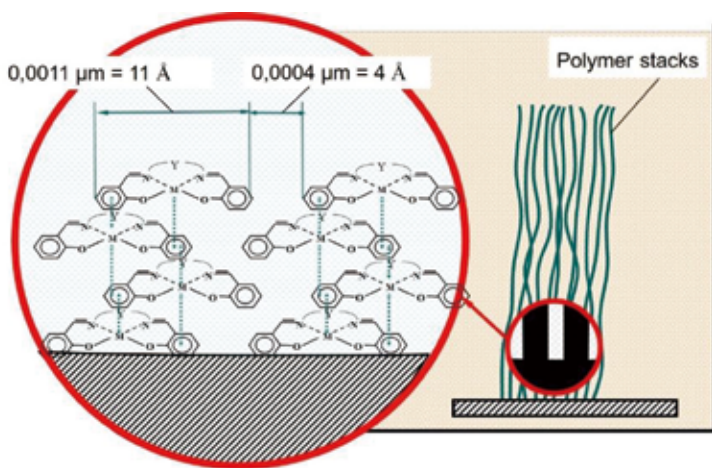


図1 金属錯体高分子電極の概念図

が配位した錯体を入タッキングした化合物を  
活物質に用いる。原理上、垂直にスタッキン  
グさせる構造制御が容易であり、電極内部へ  
の電解質イオン拡散性が向上するのでキャパ  
シタの特徴を引き出せる電極になるというね  
ら이었다。ただ、どうしても電極密度を上  
げるため膜厚を厚くすると、抵抗が上がり出  
力特性が落ちるのが難点であった。なんとか

キャパシタとして駆動するものになったので  
プレスリリースするところまではこぎ着けた  
が、耐久性の面でうまくいかず開発中止となっ  
た。ところで、これに似たような戦略でレドッ  
クスキャパシタを構築しようという試みは国  
内外各所で長年行われてきた、というより今  
でも行われている。代表的なものとして、ポ  
リピロールやポリチオフェンなどの導電性高  
分子のドーピング機構をレドックスキャパシ  
タの蓄電機構に利用しようという試みである。  
たぶんその多くは同じような問題点にぶつかっ  
ていたのではないかと思う。ただ、最近の高  
比表面積できれいな炭素材料（様々な種類の  
グラフェンやGCO）が工業的に使えるレバ  
ルになりつつあるので、これを基材として導  
電性高分子などのレドックス材料をあまり  
厚くコーティングしなくても電極密度を上げ  
られるならば、この問題も克服できるかもし  
れない。

少し話は逸れるが、ドーブすることで導電  
性を発現する高分子ポリアセチレンはノーベ  
ル化学賞を受賞された白川英樹先生が発見し  
た材料であるが、これまたノーベル化学賞を  
受賞された吉野彰先生が最初に着目されたの

がこのポリアセチレンで、リチウムイオン電  
池（1983年当時のネーミングは不明）の負  
極に使おうとしたそうである。その後はご承  
知のように同様のπ電子共役系をもつ黒鉛な  
どの炭素材料に変わり、今のリチウムイオン  
電池の原型が発明された。吉野先生はある科  
学雑誌の特集記事で、「リチウムイオン電  
池は化学反応を一切伴わずイオンと電子のみ  
が関与するという従来の電池とは異なる概念  
の二次電池である。」と書いておられる。ど  
こかキャパシタの蓄電メカニズムと似ている  
という印象をもたれた方も多いのではないだ  
ろうか。実はその通りで、電気化学キャパシ  
タ研究の権威者である米国のコンウェイ先生  
は、層状化合物に脱挿入（インターカレーショ  
ン）する蓄電機構をもつリチウムイオン電池  
電極の多くは電池電極とキャパシタ電極の中  
間的なものと考えられるという風に述べてい  
る。リチウムイオン電池電極は従来のバル  
ク型の電池とはかなり違った斬新な蓄電機構  
（インターカレーション）であり、キャパシ  
タ的な特徴も備えている。とはいえ、現状の  
リチウムイオン電池は入出力性能、サイクル  
寿命、安全性といった点で我々が目指すキャ

バシタとは言い難い性能であるが、材料選定や形態を調整することでキャパシタ的な挙動とサイクル寿命、安全性を同時に達成できるものになると信じている。

またまた余談ではあるが、私はこの導電性高分子には縁がある。まず大学生の頃、ちょうどポリアセチレンの研究を私の所属していた研究室で始めることになり、同級生が大掛かりな反応管の組み立てを行っていた。残念ながら、私の研究テーマではなかったのであまり勉強することなく卒業した。これは会社に入ってから後悔することになった。というのも、入社後（現会社ではないが）、最初に与えられたテーマが導電性高分子ポリピロールをアルミ電解コンデンサの電解液の代わりに使って、固体電解コンデンサを開発するというテーマだったからである。3年くらい初期段階の研究開発をやらせていただいた。面白い仕事であった。性能が日に日によくなるので毎日会社に行くのが楽しみだった。仕事って本来こうあるべきだと思うが、なかなかそうはいかないものであることはその後さんざん経験した。私は途中で現所属会社（日本ケミコン）に移ったので、この導電性高分子コ

ンデンサのその後のことは詳しくないが、製品化まではなかったが残念ながら営業的にはうまくいかなかったようである。数年後、導電性高分子コンデンサは弊社を含めコンデンサ各社で開発努力が続けられ、OFC周りのデカップリングコンデンサとしてブレイク、さまざま用途展開もなされ、今では電解コンデンサの1つの柱になるような製品群になっている。

次に取り組んだのは単層カーボンナノチューブ(SWCNT)を活性炭に変わる電極材料として使おうとする研究開発である。使用したナノチューブは産総研の梶先生が開発したスパーグロースカーボンナノチューブ(SGCNT)と、非常に長尺のSWCNTである。産総研様と日本ゼオン様と共同でZEDOの委託研究として5年間取り組ませていただいた。SWCNTはグラフェンシート一枚を円筒状に巻いた構造のもので、理論比表面積は $1315\text{m}^2/\text{g}$ と活性炭電極に劣らない高比表面積をもつ。当初はこのチューブを開口（チューブに穴をあけて電解液が入るようにする処理）して両面が使えれば表面積が2倍になるので大容量化が可能ではないか

と目論んでいた。もし目論み通り2倍が実現すればPure EDLCとしてキャパシタの理想形であったらと思うが、残念ながらそうはならなかった。理由については割愛するが、であればこの表面性が広く高い電子伝導性をもつCNTを高速電子パスに使って導電性高分子やリチウムイオンシオン材料などのレドックス活物質を担持させて容量を向上させようという研究開発も行った。導電性高分子としては弊社の末松君の提案でポリフルオレンという材料を使った。ポリフルオレンを選んだのは、Nドープ及びPドープ電位がSWCNTを使った当時のシステムにおいて最適な電位範囲にあったからである。末松君は社内でのプロジェクトの中心的な役割を担っていた。何とか恙なくプロジェクトをやらせたのも彼のお陰なのである。一方、リチウムイオンシオン材料としてはサイクル安定性がよいチタン酸リチウム(Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)を用いた「TCO」に関しては東京農工大学の直井勝彦教授のグループと共同で取り組んだ。農工大グループの考案したナノハイブリッド技術によりCNT表面に「TCO」をグラフティングしてナノ結晶とすることで、キャパシタライクな性



能に仕上がった。これはかなりよい性能を示す電極になったが、SMCNTは非常に高価であったため、その後、多層カーボンナノチューブ(MWCNT)に置き換えたキャパシタ(ナノハイブリッドキャパシタ)の開発に取り組んだ。ナノハイブリッドキャパシタは電極をショートして保存しても壊れない点でEDLCに最も近いレドックスキャパシタと言えるだろう。ナノハイブリッドキャパシタはリチウムイオンキャパシタと同様に正極に従来の活性炭電極を使う、いわゆるハイブリッドキャパシタなのでエネルギー密度の向上効果が3倍程度であり、リチウムイオンキャパシタに比べるとちよつと見劣りするレベルであった。社内外から中途半端と言われた。ハイブリッド電極構成で妥協したのがよくなかったかもしれない。しかし、キャパシタのエネルギー密度を飛躍的に向上させるには、このレドックス電極戦略しかない信じている。

今もこのナノハイブリッド技術を基に「電池材料からキャパシタ材料への変換」という戦略の下、さまざまなキャパシタ材料の開発を行っている。

さて、最近のことについては少し書きつら

いのでこのあたりでやめておくが、私は電気二重層キャパシタと二次電池の中間的なものに終始取り組んできたと言えらると思う。現状、営業的成果は得られていないが、諦めなければいずれ日の目を見ることができると信じている。材料開発は難易度が高く、時間がかかるわりに報われない確率の高い仕事なのである。こんな仕事を長年続けられるのも会社の寛容な理解(そのうち愛想をつかされる日も近いと思うが)と社外の多くの共同研究者の皆様、そして何よりも社内の多くの仲間のおかげであるとおつくづく感じる。紙面を借りて御礼申し上げたい。

キャパシタと二次電池はお互いの強みをできるだけ損なうことなく、弱みを改善しようという試みが共になされてきた。つまり、キャパシタは良好な出力特性、安全性、長いサイクル寿命を損なうことなく、エネルギー密度や駆動電圧を改善しようとしてきたし、電池は高エネルギー密度を犠牲にすることなく高入出力化やサイクル寿命向上を目指してきた。しかし、最近の様相が違ってきたように感じる。つまり、電池がカーボンニュートラルな

どの社会的要請を背景に、BEVや再エネ

ESSなどのとてつもない需要に対応すべく、エネルギー密度の飛躍的向上と低価格化戦略のためのギガファクトリー化の流れに飲み込まれつつあるように見えるからだ。かなりネガティブな表現になったのはチョットうらやましいからである。ただ、キャパシタはキャパシタらしい蓄電デバイスのあるべき姿を追求すべく地道に取り組むべきであろう。やがて、時代の要請でキャパシタのような蓄電デバイスが脚光を浴びるときに備えて技術を磨いておく時期と信じている。当フォーラムの掘会長が理想のモビリティの姿と提唱されている走行中ワイヤレス給電車が町中で走り始めたとしても、今のキャパシタ性能では主役にはなれない。

一 古野彰：ぶんせき、2013、580

2) B. E. Conway : J. Electrochem. Soc. 138 1539 (1991)

# プラズマイオンアシスト社訪問レポート

産業技術総合研究所

吉澤

徳子

■はじめに

研究開発あるいは製造現場の現場に赴き、見学を通じて知見を深めることはキャパシタフォーラムとして重要な企画活動の一つである。この度、株式会社プラズマイオンアシスト（以下PIA社）のご厚意により、2021年9月10日に同社工場を見学する機会に恵まれた。時節柄、多くの困難がある状況にも関わらず、総勢40名近くの一行への対応を快くお引き受け下さった同社への感謝を込めて以下報告したい。

■ダイヤモンドライクカーボン（DLC）について

PIA社は2002年に京都にて設立の後、ダイヤモンドライクカーボン（Diamond-Like Carbon: DLC）成膜の技術開発、及び成膜による工業用部品の高性能化に取り組んでいる。



DLCはsp<sup>3</sup>結合（ダイヤモンド的な化学結合）とsp<sup>2</sup>結合（グラファイト的な化学結合）が混在する組織を持つ炭素膜であり、化学的安定性、耐食性、耐摩耗性などの特徴を有する均質な高硬度コーティング材料として1980年代から盛んに研究されてきた。

CVD法あるいはPVD法による製造方法が知られており、得られる膜の組織は原料や成膜方法により大きく異なる。ハードディスクや金属切削加工部品などへの応用が早くから検

討され、追って医療用デバイスや自動車部品への展開が進み、製品化されてきた。さらに近年では電池等の部材表面加工、あるいは樹脂フィルム表面の高機能コーティングのような新たな用途が注目されている。

■講演、見学概要

PIA社見学に話を戻す。当日は京都駅・新幹線中央改札口に1200集合、そのままクシーに分乗し、まず京都駅から5kmほど南にある、京都産業成長センターに向かった。到着後、第97回フォーラムとしてセンター内の会議室とオンライン出席者を結び、うち3件目の講演としてPIA社の鈴木泰雄会長よりお話を頂いた。

ご講演ではまず、同社の沿革および事業内容が紹介された。ベンチャー企業として国や自治体による公的資金も適宜活用しながら事業を着実に拡大してきた現在、同社は燃料電池セパレーターを含む部品製造・販売、高機能性を付したDLC（インテリジェントDLC）などの成膜受託、及び蓄電デバイス電極用のアルミ等に成膜するための「Plasma Ion Asselt」装置販売の3本を軸とした事業を展開しているとの

ことだった。

続いて同社のコア技術である、プラズマベースイオン注入・成膜の原理と特徴についてご説明頂いた。イオン注入とは高真空プラズマ中に基材を置き、材料にイオンを直接的に注入する技術であり、材料表面の高機能化手法として知られている。特に半導体の分野において、シリコンへの微量元素注入技術として活用されてきた。このイオン注入技術をロダ社ではDLC製造技術として発展させたとのことである。イオン注入エネルギーは半導体の場合より低い。原理としては、

- 部品（基材）をアンテナとして高周波印加によるプラズマを発生
- 瞬間に部品に負高電圧パルスを印加することで加速イオンを引き寄せ
- イオンが部品に注入、密着性を向上
- 原料ガスとの反応によりDLCを成膜

という流れであり、3段階目までがイオン注入技術(PBID)、4段階目が成膜技術(PAD)に相当する。このプロセスは高速成膜(5μm/s)が可能、立体形状物への成膜が可能、

緻密で密着性の高い成膜が可能、低温成膜が可能という特徴がある。特に低温成膜を可能とした点においては、DLC成膜において従来用いられてきた金属系基材のみならず、各種ポリマー類も基材として利用できることにつながり、DLCの膜の可能性が大きく広がった。

続いて最近の事例として、発電デバイスにおける燃料電池用セパレータへの適用例をご紹介頂いた。燃料電池の駆動内部環境は強酸性であり、セパレータとしてチタンが採用されている。例えば燃料電池車の将来的な普及を考える上では、チタンよりも安価で加工性の高い金属が利用できることが好ましい。そこでステンレス、アルミニウム基板上への導電性DLC成膜に取り組み、緻密性と耐食性に優れた膜の成形により、燃料電池の長時間運転に対して安定した発電特性が得られることが説明された。またDLCに関し、導電性DLCの膜をコーティングしたアルミ箔電極の事例が示された。内部抵抗がエッチド箔の約1/2で、エッチド箔では剥離して寿命が持たないような条件のフロート試験@60℃で性能が出せるとのことであり、高速大電流充放電を達成する低コスト集電体として期待される。

フォーラム終了後、休憩をはさみ、京都産業成長センターから徒歩10分程度の距離にあるロダ社の工場を見学した。感染対策および見学者の所属を考慮して、数名ずつのグループに分かれて工場内をご案内頂く流れとなった。私のグループでは樹脂フィルムやアルミ箔へのSol-gel連続成膜を可能とする装置、ZnO事業の支援を得た高速成膜装置などについて丁寧なご説明を頂いた。

#### ■おわりに

今回の見学会は「京都」の魅力もあったが、それ以上にDLCの実用化に対するロダ社の取り組みについて技術的な観点から興味があり参加した。一方で、講演や見学を通じて伺ったベンチャービジネスの考え方にも学ぶところが多く、良い経験であった。

感染対策で行動制限がかかることが多い昨今であるが、カーボン系材料の研究開発に携わる者としては、職場や学会に閉じこもることなく、可能な範囲でも現場に足を運んで業界や技術情報を日々取り入れることの重要性をあらためて感じた。

# リチウムイオンキャパシタの 技術開発と将来展望

旭化成(株) 岡田 宣宏

## 1 はじめに

弊社はこれまで、蓄電池領域での研究から事業まで幅広く活動してきた。吉野がリチウムイオン電池(「B」)を開発し、1990年代には、(株) エイ・ティバッテリーで事業を行い、そして現在では、セパレータ事業を精力的に展開している。

さて、本題のリチウムイオンキャパシタ(「C」)だが、弊社の「B」技術を活かして開発を進め、2011年には、旭化成FDXエナジーデバイス(株)での事業を開始した。しかし、「C」の市場創出が想定より遅れたことと、両者がそれぞれ独自の経営方針に基づいて「C」事業の運営をしていくことになったことから、2015年に合併事業は解消した。

現在弊社では、新しい革新「C」の開発を加速しており、この革新「C」の技術開発と将来展望について、紹介したいと思います。

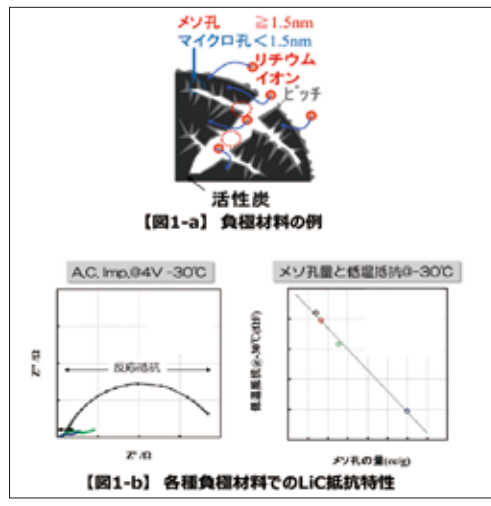
## 2 「C」の強みと課題

「C」の強みは、「高入出力」および「長寿命」である。近年の環境問題、特にCO<sub>2</sub>削減の観点から、適する用途としては、電動化車両の補機電源や回生・アシスト、産業用途、および分散型エネルギーシステム(特に短時間での電力平滑化)が挙げられる。

高入出力特性では、負極材料の細孔・間隙内のリチウムイオンの拡散速度を向上させることが重要である。電解液中で溶媒和されたリチウムイオンのサイズは約300前後であり、若干大きい1.5nm以上のメソ孔量に着目した。その一例として、活性炭を基材とし、ピッチ炭素で複合化した材料を開発してきた(図1b)。この材料は、ピッチ炭素の複合により、メソ孔の細孔サイズ、量を調整できることにメリットがある。

この活性炭複合材料をはじめとした、メソ孔量が異なる各種負極材料と「C」の抵抗の関係

を図1aに示す。「C」の強みである入出力特性を更に向上できる負極材料を見出してきた。しかし現状、「C」は大きな市場シェアを獲



得できていない。その要因は、「高コスト」と「低エネルギー密度」が挙げられる。先述の負極材料は、高入出力特性に特化した反面、エネルギー密度、耐久性といった別の課題があり、現時点では汎用的に使用するグレードとしては難しいと判断した。

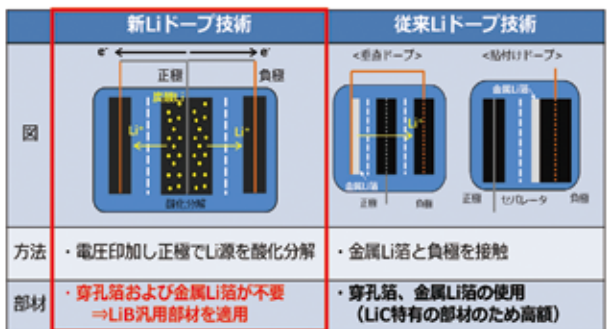
そこで弊社では別の切り口によって、コストとエネルギー密度の課題を解決できる革新「C」の開発をしており、その詳細について、次章以降で報告する。



### 3 革新LiCの新規フレードープ技術

LiCでは、「フレードープ工程があり、LiCでは原理的に必須な工程であり、この工程が高コストの要因である。その要因詳細は、図2に示すように、金属「箔および穿孔集電金属箔のLiC特有の高額部材を使用すること、ドープニング工程コストにある。更には金属「箔への安全性懸念も課題である。

- 1)低コスト：穿孔箔、金属Li箔の不要により、圧倒的な部材コストダウンが可能に
- 2)高安全プロセス：金属Li箔を使用しないため、プロセスが安全かつ低負荷



正極にLi源として「炭酸リチウム」を仕込み、酸化分解することにより、負極にLiイオンをドープする。

【図2】 新規Liフレードープ技術

そこで弊社では、「炭酸リチウム」をド

プ原料にすることで、高額部材は使用せず、かつ短時間にドープニングする技術を確立することで、大幅なコストダウンを可能とした。炭酸リチウムは、電極製造工程で正極内に含有させておけば、LiCセル組立後のいわゆるドープ・エージング工程（コンディショニング工程）にて酸化還元分解され、設計量のリチウムイオンが負極にドープニングできる。

### 4 革新LiCの製造技術

この新規フレードープ技術のもう一つの特徴は、「LiC製造工程（装置）」を活用できる点である。

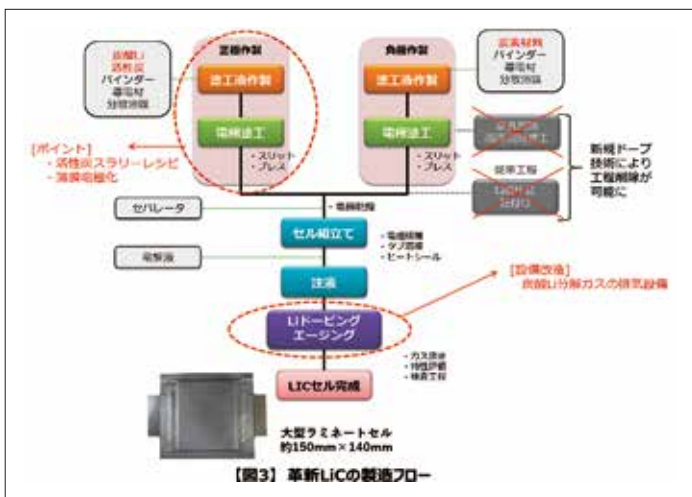
従来LiCの製造工程で必要であった穿孔集電金属箔への電極塗工装置と、金属「箔に関する搬送や貼付け装置が不要になる（図3）。このことは大きなメリットと考えており、今後「Bメーカーでも、容易にLiCの製造を行うことが可能となる。

一方で、炭酸リチウムが分解後に放出されるCO<sub>2</sub>ガスの処理は課題だが、ガス抜き工程の量産化は可能と考えており、実証を進めている。現在、図3のような大型フレームワークセルでの各種特性と耐久試験まで確認できている。

### 5 革新LiCのビジネスモデル

弊社が現在考えているビジネスモデルの1つに、「技術ライセンス・ビジネス」がある。前章で述べた通り、「LiC製造工程が活用できることから、多くのメーカーで製造して頂けることが可能と考えている。

更に、この新規ドープニングには、多くのノウハウが存在し、弊社ではその技術を蓄積し



【図3】 革新LiCの製造フロー

ている。炭酸リチウムを分解させ、かつ負極に均一にブリードープさせるプロトコルと製造設備設計などが、それにあたる。また、炭酸リチウムを含有する正極製造技術にも多くのノウハウが存在するため、その技術構築を行っている。

弊社の開発した革新「IC」が、お客様にて製造して頂くことや、お客様の用途へ採用頂けることで、「IC」の市場が飛躍的に拡大することを期待している。

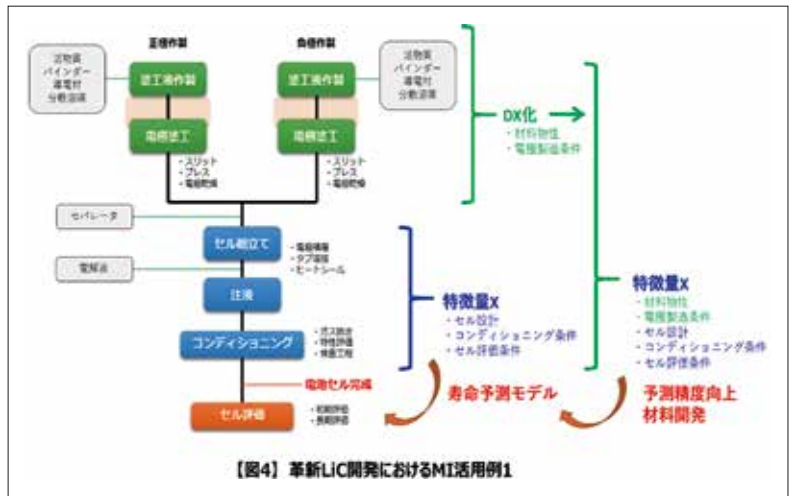
## 6 DX展開への試み

前章で述べた新規ブリードープ技術、および電極製造技術では、マテリアルインフォマティクス (MI) を活用した開発加速と、顧客への付加価値提供を進めている (図4)。

炭酸リチウムからのドーピング工程を中心とした「IC」セルのコンディショニング時の各種データや、炭酸リチウムを含有させる電極の材料から製造工程の情報と各種データを活かし、MIを活用することで、

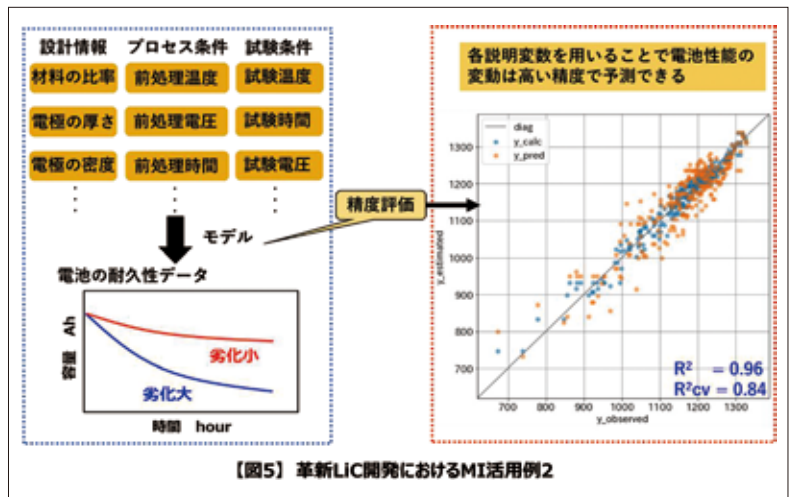
①「IC」セルの更なる特性向上への開発指針を打ち出す (図5)

②「IC」セルの寿命予測モデルを立てる等を行っている。



【図4】革新LIC開発におけるMI活用例1

①では、開発の加速を可能とし、更なる特性向上を検討している (7章にて高容量「IC」のご紹介をする)。②では、「IC」を使用頂く顧客に対し、「IC」の寿命情報や使用方法への提言など、多くの顧客メリットを見出すことが可能と考えている。



【図5】革新LIC開発におけるMI活用例2

## 7 革新「IC」の高容量化

従来「IC」のもつ1つの課題であるエネルギー密度であるが、我々は新規ブリードープによる革新「IC」をベースに高容量化を進めている。正極内に、「FB」の正極材料である材料である「FePO4 (LFP)」を最適に混合することで、キャパシタの良い特性 (高入出力と高耐久)

は活かしつつ、容量を向上させた(図6)



従来LiC(活性炭のみ)に対して、この革新LiC(活性炭+LFP)では、エネルギー密度は2倍以上に向上できており、耐久性を含めた各種評価まで実証できている。

現在この革新LiC(活性炭+LFP)では、次世代型の研究開発として、更なる容量向上を目指し、研究開発を進めている。

## 8 キャパシタの将来展望

カーボンニュートラルへの貢献として、キャパシタが果たす役割は大きいと考えている。例えば、次に示す3つの内容が挙げられる。

① LCA (Life Cycle Assessment) を意識

した材料、工程

② リサイクルに適するキャパシタ設計

③ 非Li系キャパシタの開発

①では、蓄電池市場で競合品となるLiBの優位性は、正極材料にあると考える。LiCの正極材料は活性炭であり、例えばヤシ殻原料である活性炭では、ヤシの木のCO2固定化量を考慮すれば、非常に優れた材料であると言える。

②では、現在各機関では、LiBのリサイクル技術開発を積極的に進められているが、LiCも同様に加速させる必要がある。この点においても、活性炭が重要なポイントになる。活性炭自体のリサイクル技術に留まらず、正極電極体からのリサイクルプロセスを意識したい。

③では、ナトリウムおよびカリウムといった非リチウム系キャパシタの開発も進めている(図7)。使用金属にレアメタルを含まないため、カーボンニュートラルに貢献できる

蓄電池である。我々の炭酸塩を用いた新規ブレード技術は、これらの金属炭酸塩でも適用可能であることは実証できしており、次世代のキャパシタとして十分に魅力がある。

		LiC	LiB	Na, Kキャパシタ、電池
正極	活物質	C(活性炭)	Li, Co, Ni, Mn, Al, Fe	C, Na, K, Fe, Mn等
	集電体	Al箔	Al箔	Al箔
負極	活物質	C(炭素材料)	C(炭素材料)	C(炭素材料)
	集電体	Cu箔	Cu箔	Al箔
電解液	電解質	Li塩	Li塩	Na, K塩

【図7】各種蓄電池の使用金属

また、再生可能エネルギーのエネルギー貯蔵システムとして、革新LiCの用途展開を考えている。太陽光発電や風力発電では電力品質の低下が課題であるが、特に短時間での調整力としての活用が期待でき、LiBとの併用を含め、最適なストレージミックスを提案可能である。

最後に、持続可能な社会実現に我々のLiCが貢献できれば幸いである。

# LLZ系固体電解質および

## 非焼結型酸化物固体電池の開発

日本特殊陶業株式会社

岩崎

将任、彦坂

英昭

### 1 はじめに

固体電解質から構成される固体電池は、従来の電池よりも高い安全性、大きなエネルギー密度、広い作動温度範囲、高い設計自由度などが期待され、次世代蓄電池の最有力候補の一つに挙げられている。

無機材料を電解質とする固体電池には、硫化物型と酸化物型がある。硫化物型電池は、電解質のイオン伝導度が高く、塑性変形しやすいため、加圧成形のみで電池形成できる利点を有するが、大気中の水分に対し不安定であり、有害な硫化水素ガスが発生するという課題を抱えている。一方、酸化物型電池は、イオン伝導率および電池化のし易さの面では硫化物より劣るものの、安全性および大気中安定性の面で優れている。小型の酸化物電池は、積層セラミックコンデンサの製造プロセスの活用等により、既に実用化段階にまで来

ているが、バルクタイプの大型な酸化物型電池については、まだ研究開発の段階にある。

固体電池開発における最大の課題は「界面抵抗」であり、固体粒子同士の接触界面抵抗を如何に下げることが課題となっている。硫化物は前述の通り、加圧により塑性変形し緻密化できるため、粒子間での界面形成が容易であるが、酸化物は硬く、変形しにくいいため、粒子間での良好な粒子間形成が困難である。酸化物において良好な粒子間界面を形成するには、焼結法や蒸着法が知られているが、焼結法では高温で熱処理するために、電極活物質と固体電解質間で反応が生じて高抵抗相が生成、または焼成収縮により反りや割れが発生といった課題がある。また、蒸着法では、成膜速度や面積に限度があり、生産性が低いという課題がある。

これらの課題に対し、当社では酸化物であ

りながら焼結することなく緻密化が可能となる系にて、電池化へのアプローチを試みている<sup>[1]</sup>。本稿では、当社でのガーネット型酸化物固体電解質材料の開発、および開発した電解質粉末を用いた非焼結型固体電池の開発事例を紹介する。

### 2 LLZ系酸化物固体電解質

ガーネット型酸化物固体電解質であるLLZ(化学式 $\text{Li}_7\text{A}_3\text{Z}_2\text{O}_{12}$ )は、酸化物としては高いイオン伝導率をもち、且つ金属に対して安定(耐還元性)という特徴を有しており、酸化物固体電池用の有望な材料として注目を集めている。LLZは結晶構造が立方晶の場合に高いイオン伝導性が発現するため、元素置換により立方晶の安定化領域を室温まで拡張させる必要がある。

当社では、LLZ中の「Z」サイトのMg置換と、「A」サイトのSr置換の組み合わせという、既報には無いアプローチにて、立方晶の室温安定化およびイオン伝導率の向上を図った。十1価のLiイオンを十2価のMgイオンで置換することにより、電荷補償による結晶格子中



へ「空孔を導入し、「Liイオン」同士の静電反発による格子歪を低減しつつ、立方晶を安定化させる狙いである。且つ、+3価の「La」イオンの一部をイオン半径の大きな+2価の「Sr」イオンで置換することにより、結晶格子の伸長によるイオン伝導性の向上も図っている。

Mg,Srの共置換を図ったLLZ-Mg,Sr(Li7-2x+yMg,xLa3-ySryZr2O12)は、通常の固相反応法により作製した。LLZ-Mg,Sr焼結体断面の微細組織写真を図1に示す。焼結体の内部にて粒界がほとんど観察されない、緻密な組織であることがわかる。アルキメデス法および寸法により算出した相対密度はそれぞれ96%程度と算出され、図1の緻密な微細組織を支持する結果となった。

結晶構造解析の結果、立方晶型のガーネット構造であることを確認し、放射光X線回折データのリートベルト解析により、MgがLiサイトを置換し、SrがLaサイトを置換していることを示唆する結果が得られた。

図2にLLZ-Mg,Sr焼結体のイオン伝導率を算出するためのCole-Coleプロット図を示す。等価回路で想定された粒内抵抗成分から、

「Liイオン」伝導率は $1.4 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$ 、酸化物としては高く、既報のLLZ系材料と比較しても、同等以上であることがわかった。

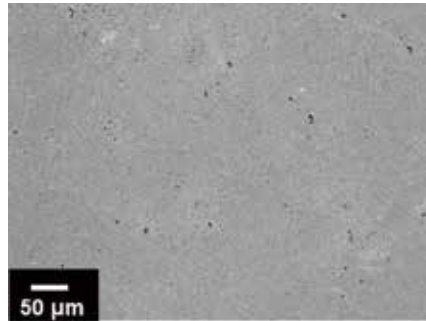


図1 LLZ-Mg,Sr焼結体の断面組織写真

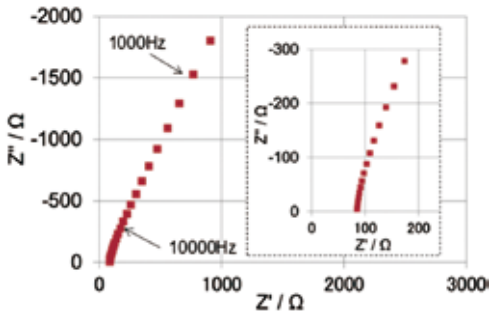


図2 LLZ-Mg,Sr焼結体のCole-Coleプロット

図3にLLZ-Mg,Sr焼結体の輸率測定結果を示す。焼結体の両側にAu電極を形成して測定した場合の電流値（電子伝導のみ）を、同じく「電極を形成して測定した場合の電流値（Liイオン伝導+電子伝導）で除した値は1.04以下であった。従って、電子伝導の寄与は非常に小さく、「Liイオン」の輸率は、ほぼ1であることが確認できた。

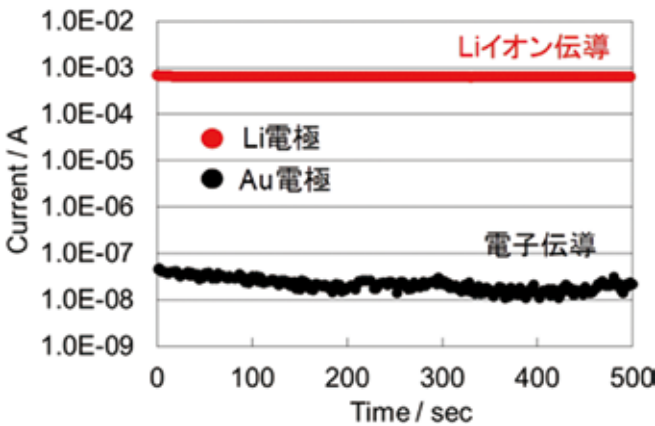


図3 LLZ-Mg,Sr焼結体の輸率測定結果

### 3 非焼結型の複合電解質と電池

酸化物型の固体電池で大型化を目指す場合、電池化を如何に行うかが課題となる。1章で述べたように、硫化物系の電解質は加圧成型のみで電池形成できるが、酸化物系電解質単独では加圧成型のみでは電池形成は困難である。実際に、我々の開発したLLZ-Mg,Sr材の圧粉体では、伝導率は $1.08\text{ S/cm}$ となり、焼結体と比べて5桁と大幅に低下する。この原因は1章で触れたように、酸化物系電解質は塑性変形しにくいためであり、実際にLLZ-Mg,Sr圧粉体の気孔率は80%程もあり、イオン伝導性を大きく損なうことになる。

そこで我々は、LLZに塑性変形しやすい材料を添加することで、良好な界面を形成し、LLZ間空隙を充填し緻密化することを試みた。図4に、添加剤としてLiIを用いた場合の圧粉体の微細組織写真を示す。10 $\mu\text{m}$ 程度の角張ったLLZ-Mg,Sr粒子の間隙を埋めるようにLiIが存在し、空隙が非常に少なくなっている様子が観察され、狙い通りLiIが加圧により塑性変形し、LLZ-Mg,Sr+LiIとして緻密化できていることがわかる。

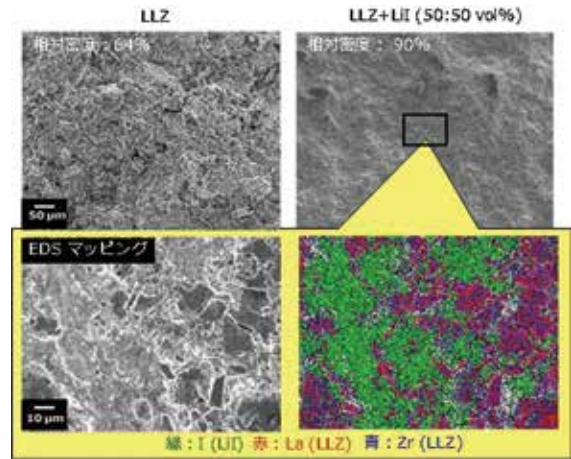


図4 LiI-LLZ複合電解質の微細組織構造

LLZ-Mg,Sr+LiI圧粉体の室温でのイオン伝導率は $2.0 \times 10^{-5}\text{ S/cm}$ であり、LLZ-Mg,Sr圧粉体の値( $1.08\text{ S/cm}$ )に比べて、イオン伝導率が高いことがわかった。これは、LiIの塑性変形によりLLZ-Mg,Sr+LiI間で良好な接触界面が形成され、系全体として緻密化できたためと考えられる。更に、LiIに代えてアニオンを複合したLiI-Brを用いたLLZ-

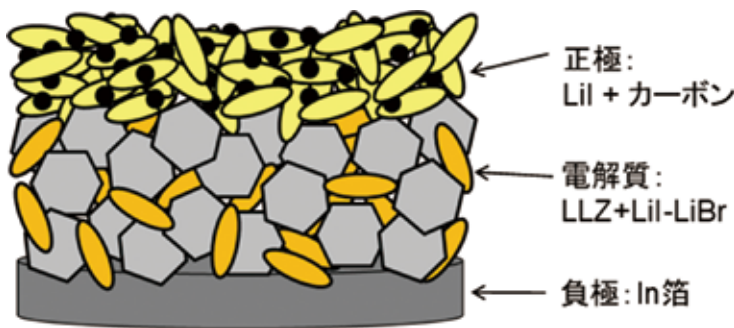


図5 非焼結型固体電池の構成

Mg,Sr+LiI-LiBr材料では、若干伝導率が向上し、圧粉体にて $3 \times 10^{-5}\text{ S/cm}$ の伝導率が得られた。

次に、複合固体電解質を用いて電池セルを作製し、動作検証を行った。電池セル構成を図5に示す。

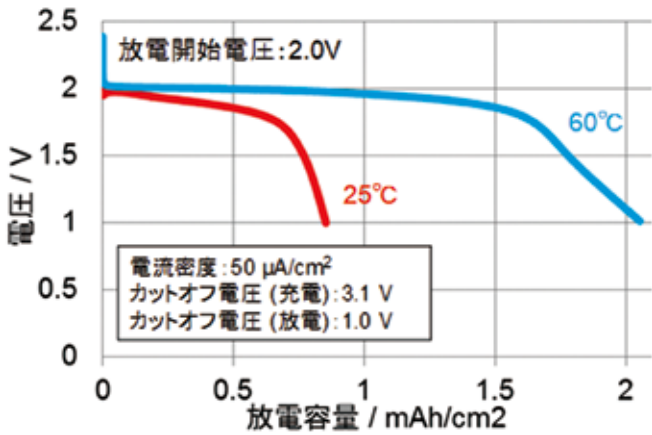


図6 非焼結型固体電池の初期放電曲線

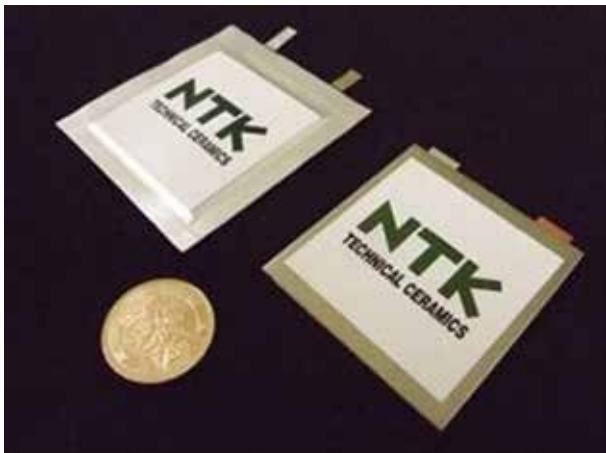


図7 酸化物固体電池の外観写真

図6に25℃、60℃での電池セルの初期放電曲線を示す。セル電圧は約2.0Vであり、「II」の電位が約2.7V、「III」の電位が約0.7Vであることから、理論電圧通りの値となった。放電容量は25℃、60℃それぞれ0.8mAh/cm<sup>2</sup>、2.0mAh/cm<sup>2</sup>が得られ、非焼結型固体電池が動作することを確認した。

#### 4 おわりに

これまでに弊社で開発した酸化物固体電解質材料、およびそれを用いた非焼結型電池の開発事例を紹介した。弊社では、塑性材料の選定や改良といった材料開発と、電池化のためのプロセス開発を積み重ね、2021年に、酸化物系固体電池ではクラス最高水準の容量・サイズの固体電池を開発し、プレスリリースを行った「2」(図7)。

固体電池の実用化に対して、数多くの技術課題が指摘されているが、従来の電池にはないポテンシャルを秘めていることに間違いはない。今後、過酷な環境(例えば宇宙空間)に晒される電子機器向けといった、固体電池の特長が生きる用途で使われ始め、製品開発がさらに加速することで、未来社会に向けて固体電池が貢献することを期待したい。

参考文献・Webサイト

「1」彦坂英昭 他、セラミックス、54(5)、

pp342-345 (2019)

「2」<https://www.ngkntk.co.jp/news/detail/002426.html>

# 大容量グラフェンスーパーキャパシター

国立研究開発法人 物質・材料研究機構

エネルギー・環境材料研究拠点 上席研究員

工学博士 唐

捷

はじめに

グラフェンは炭素原子一個の厚さで、比表面積が $2630\text{m}^2/\text{g}$ と他の物質よりも格段に大きく、高導電性、他の物質との親和性が良いなどの特性やナノポアを自律的に形成するなどの特異性も併せ持つが、実用性の観点から特に注目されるのは、廉価なグラファイトから低コストで量産可能なことである。そのため、高価なカーボンナノチューブなどの他のナノマテリアルと異なり、商品化への期待は大きい。本稿では、電気自動車やスマートシティなどの分野で現在特に必要とされている高性能で安全・廉価な蓄電デバイスとして、グラフェンの特性を活かしたスーパーキャパシターの著者らの開発の現状について報告する。

## 2. グラフェンの特性を活かすスーパーキャパシター

バッテリーは電極の酸化還元反応を利用しているため、電極全てを蓄電に利用できるが、スーパーキャパシターは電極表面に生成する電気二重層のイオンを利用するため、電極表面しか利用できない。反応は高速で、瞬間的に放電し、出力密度は大きく、短時間充電であるが、電気を溜め込むエネルギー密度は原始的に小さくなる。そのため、スーパーキャパシターは航続距離を必要とし、大きなエネルギー密度を必要とする電気自動車用には適さないとされてきた。しかし、炭素原子一個の厚さで比表面積が $2630\text{m}^2/\text{g}$ と巨大なグラフェンが登場し、スーパーキャパシター性能を飛躍的に向上させることが可能となった。グラフェンは低コストで量産可能なため、従来のナノ素材とは異なり、実用性も高い。この巨大な比表面積などのグラフェンの特徴をスーパーキャパターに活かすために試みている著者らの技術開発について記す。

## 2.1 グラフェンのスーパーキャパシター性能に関わる特性

グラフェンは、高強度、高導電性、高熱伝導性などの特性をもつが、他の新素材や従来材料にはない特徴やそれを圧倒する特性は、炭素原子一個の厚さに由来する巨大な比表面積や表面原子の揺らぎによるナノポアの自律的形成であろう。これらの特性を特に必要としている応用がスーパーキャパシター電極である。巨大な比表面積はスーパーキャパシターのエネルギー密度を大きくし、高導電性は出力密度を大きくし、そして、ナノポアは電解液の浸透性を高め、そのエッジ部は電解液イオンの吸着性を高めるため、エネルギー密度を大きくする。従って、グラフェンを電極に用いるグラフェンスーパーキャパシター開発の成否は、これらのグラフェンの他にはない特性をどれだけ活かせるかによる。スーパーキャパシター電極の性能に関わるグラフェンの特性を同じカーボンのカーボンナノチューブ(CNT)等と比較して表1および表2に示す。機械的強度や導電性等はきわめて高いが、キャパシター電極材料という観点からは、比表面積が $2630\text{m}^2/\text{g}$ と巨大で、他を圧倒しているのが注目される。



表1 グラフェンの各種特性及びCNTとの比較

素材	機械的性質	導電性 S/cm	熱伝導性 W/mK	透明性 %
グラフェン	弾性率 1TPa 強度 130GPa	$10^6$	4840~5300 (室温)	化学系 65~95 CVD 80~90
CNT	弾性率 1TPa 強度 13~126GPa	$10^4 \sim 10^5$	2000 (室温)	

表2 グラフェン、CNT及び炭素粉末の比表面積及び密度の比較

素材	比表面積 $m^2/g$	密度 $g/cm^3$
グラフェン	2630	>1
CNT	120~500	0.6
炭素粉末	10	2.26

グラフェンが実用素材として魅力的なのは、低廉なグラファイトから低コスト量産可能で、現時点においても、価格はCNTの1/200以下であるが、将来的には、はるかに安くなると思われる。グラファイトはグラフェンの層が積層化されたものであり、グラフェンの層間はファンデルワース力で結合しているだけであるから容易に剥離される。図1は、著者が用いているグラフェン作製方法②で、グラファイト粉を硫酸と硝酸の混液に浸し、過酸化水素で酸化して酸化グラフェンとして

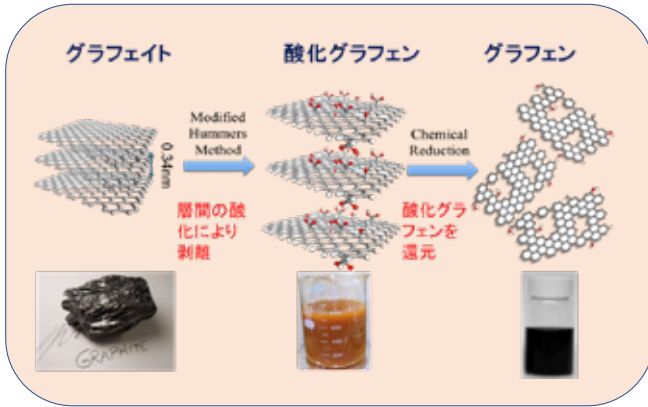


図1 グラファイトからの酸化還元法によるグラフェン作製法

膨潤させ超音波添加により剥離させる。剥離し、単層化した酸化グラフェンをヒドラジンで還元させてグラフェンとする。この方法は一般に用いられている方法であり、質のよい還元グラフェンが安定的に得られる。グラフェンを剥離させるだけであるので、もつと簡便な方法が試みられている。グラファイトのグラフェン積層間にイオン等をインターカレーターとして、超音波や電磁波等の負荷のみにより剥離させる方法が検討されており、このよう

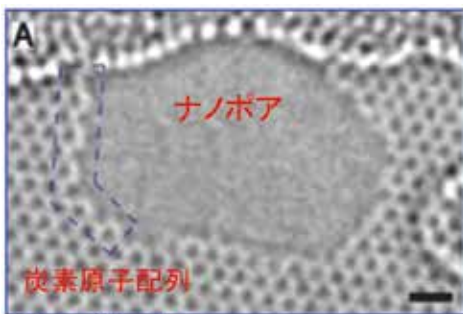


写真1

な簡便な方法により、質のよい低廉なグラフェンが量産され、市販されるとグラフェンの応用が一挙に広がることになる。  
酸化グラフェンは一枚ずつ剥がれ、親水・溶液性のため、液中に一枚ずつ分離させて保存できるが、グラフェンは疎水・疎溶液性でグラフェン相互に結合し易いため、溶液中で凝集させないようにすることが極めて重要である。著者らは、還元時に修飾基を残存させて、グラフェンを荷電させて相互のクーロン反発を利用するなどして凝集を防いでいる。  
グラフェン炭素原子一個の厚さに由来する特異な現象として、電子線照射等の励起により、自律的にナノポアと称する写真1に示す

ような超微細孔が自律的に形成する<sup>3)</sup>。このナノポアは電解液の通り道として利用でき、ナノポアの端面は電解液イオンを多量に吸着するので、キャパシター電極性能向上に大いに利用できる。この利用法はまだ確立していないことと紙面の都合から本稿ではナノポアに関してポイントのみの紹介とする。

## N. N. N グラフエンを用いた高性能スーパーキャパシター開発

### N. N. N グラフエンの特性を活かしたスーパーキャパシターの電極構造

グラフエンの特性を電極としてスーパーキャパシターに活用するには、その巨大な比表面積を電解液イオン吸着にできるだけ活かすことである。まず、グラフエンの重なりをできるだけ少なくし、一枚一枚分離した単層グラフエンとすることが望ましい。単層化あるいは重なりを出来るだけ少なくしたグラフエンを集合化させ、電極とするが、グラフエン集合体の全てのグラフエン表面に電気二重層を形成させて電解液イオン吸着させることが必要となる。そのためには、グラフエン同士が再付着しないように、また、グラフエン表面に電解液イオンを吸着できるように電解液の通り

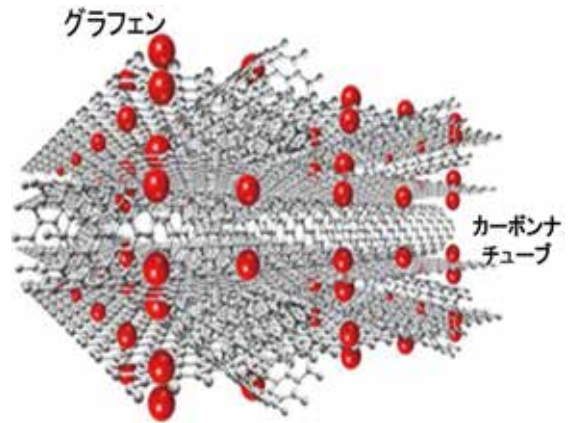
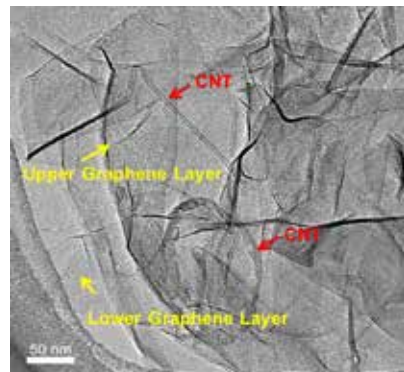


図 2

道が必要となる。そこで、グラフエンと親和性がよく、高導電性のCNTをスペーサーとして用いた<sup>5)</sup>。CNTを帯電させて相互にクーロン反発させ、均一分散させて混ぜ合わせるると自律的にCNTスペーサーのグラフエン積層ができあがる<sup>5,9)</sup>。写真Nに作製したCNTスペーサーのグラフエン積層の透過型電子顕微鏡写真を示す。

図Nおよび写真Nに示したグラフエン積層チップを集積化して電極を作製するが、電解液がこの集積体に電解液が高速で浸透させグラフエンの加熱処理により、電解液イオンサ



積層体のTEMイメージ

写真2 カーボンナノチューブをスペーサーとして作製したグラフエン積層の電子顕微鏡写真

イズのナノポアを導入した。

グラフエン積層はマイクロオーダーの微小片であるから、これを集積化して粒子状とし、この粒子を塗布して大面積のシート状とする。この過程で特に重要なのは、電解液が隅々まで浸透し、グラフエン表面に到達できるようにすることである。そのため、様々な試みを行っているが、基本的には、現在の活性炭素粉末の電極作製方法と類似であるので、本稿では割愛する。

## N. N. N グラフエンスーパーキャパシターの試作

電解液にイオン液体を選び、セパレーター等の最適化等により、コインセルキャパシターを試作し、性能評価を行った。図4に結果の一例として、チャージ・ディスチャージ特性を示す。この例では、電極重量ベースでエネルギー密度123Wh/kg、出力密度255kW/kgと極めて高い値が得られている。

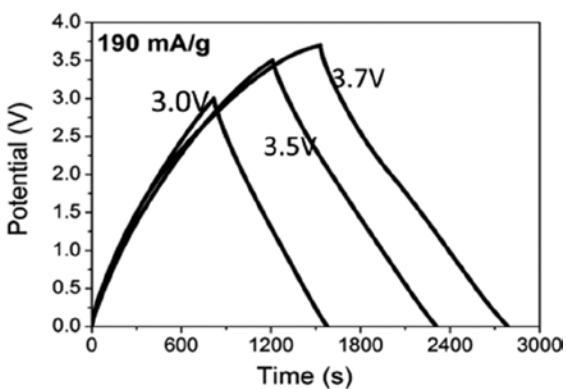


図 4

なお、著者らが試作したグラフェンスーパーキャパシターのエネルギー密度の最高値は262Wh/kgである。この性能に加えて、発火性のリチウムや溶媒を用いていないので、耐久性や安全性に極めて優れている。長時間

使用劣化も少ないので、実用性は高いといえる。原料となるグラファイトは資源が豊富で低価格なため、経済性にも優れている。

### 3. グラフェンスーパーキャパシター開発の現状と応用

試作したグラフェンスーパーキャパシターの性能は従来の活性炭素を用いたスーパーキャパシターに比べ、飛躍的に向上しており、従来のキャパシターの守備範囲をこえた応用が期待される。従来のバッテリーと比べると出力密度は桁違いに大きく、エネルギー密度も遜色ないが、リチウムイオンバッテリーと比べるとエネルギー密度はやや劣る。現在、ベンチスケールでの高性能化を進めているが、高出力密度の特徴を活かす応用を模索している。例えば、電気自動車への応用では、どうしても航続距離はリチウムイオン電池より劣るので、高出力密度による短時間充電およびブレーキエネルギーの高効率回収の特徴が活かせる都市型循環バスへの応用が期待される。

瞬間的に大出力を必要とする建設機械への応用や安全性と充電容易を必要とするスマートフォン等の身近な機器への応用も期待される。

### 4. おわりに

グラフェンが世に出てあまり経ってないためか、我が国ではグラフェンの実用化や商品化の試みは活発とはいえないが、成長途上にあり、活力のある中国や韓国では実用化が活発に進められている。グラフェンの応用として、最も期待されているのはキャパシターであり、中国も韓国も積極的に投資している。現時点では、著者らのグループが試作したグラフェンスーパーキャパシターが最も高性能であるが、実用化・商品化を早期に進めていくため、企業グループとの共同した取り組みが必要な段階となっている。

#### 参考文献

- 1) 新谷紀雄「グラフェンが拓く材料の新領域―物性・作製法から実用化まで―」株式会社エヌティー・エス(2012), p.101.
- 2) 唐ら、特許出願 2010-269093.
- 3) Lawrence Berkeley National Laboratory Home page.
- 4) Q. Chang et al., Phys. Chem. Phys., 13, 17615(2011).
- 5) 唐ら、特許出願 2012-194792
- 6) 唐ら、特許出願 2012-194833

# 自動車との付き合い

懇親会会員 山口 博之

最近の若い人は自動車に対してあまり興味を持たない人が多いらしく、従って自動車を買う若い人が減っているとのこと。

私の年代（78才）は多分自動車に憧れていた人が多いのでは無いだろうか。一家に複数台の自動車もたれるなど思いも寄らない時代に育った。我が家も所謂引き揚げ者（もうこの言葉は死語？）家族でよく大学を出してくれたと思う状況で自動車どころか自転車を買つのがやつの時代。にもかかわらず運転免許証だけは取得していた。取るまでに回落としたので2万円を少し超える時代。

就職して2年目に5万円で中古のコロナを入手した。初任給が2万6千5百円だったから今なら4〜5十万円？でも本当にポロポロの車だった。この車を皮切りに1ダースほどの車に乗ってきたのでそれぞれの車の思い出を書いてみようと思う。最後に□□□にたどり着くのかは今の時点ではわからない。

トヨタ自動車は先見の明があるのか、コロナという車種名を使わなくなっていたが現状だと売れなくなっていただろうか。



若かったなあ！

このぼろコロナにはいろいろな経験をさせてもらった。今のタイヤはチューブレスでよっぽど運悪く釘を拾っても徐々に空気が抜

けるのでガソリンスタンドまでたどり着けるとか目的地で気がつくなどその場で対応しなければ走れないと言つことは少ない。が当時はチューブ有りでパンクとほとんど同時にタイヤはべちゃんこになった。最初の時は後のタイヤだったこともあって、パンクの経験が無いので運転していると気がつかず外から教えてもらってタイヤ交換した記憶がある。

次はやたらにエンジンオイルが減る。ボンネットを開けてみるとオイルゲージでもついていたのかφ5ミリ程の穴が開いていて風圧でそこからオイルが吹き出していた。これは手拭いの切れ端を突っ込むことで見事解決。

高速道路（東名高速の一部が開通していた）を下りて料金所で支払いを済ませギヤを入れようとしたらシフトレバーに全く手応えが無く動けなくなった。そのとき係員は慌てもせずにボンネットを開けさせて何かちよつといいじつたら見事解決。後で同僚の先輩に話をしたらあれは欠陥車なのにトヨタだから問題にならなかつたんだろうと言っていた。確かに料金所の係員は慣れた感じだったのでしばしば経験する出来事だったのかもしれない。ベーパーロック（だったと思うのだが）と



という言葉をごぞんじですか？ブレーキオイルが劣化してくるとブレーキをかけたときの熱で気化してブレーキが利きにくくなります。ブレーキペダルを踏むとそれなりの力が足にかえって来ますが、この現象が起こるとふかふかとなりブレーキが利きにくくなります。今時全く聞かない言葉ですが、箱根の下りの渋滞の中で経験しました。脇によけて冷ますとブレーキペダルに足答えが帰ってくるようになります。でだましました青梅の寮まで帰り着きました。次の休日にシリンダーのゴムカップとオイルを交換して修理完了。車屋に修理に出すなんてしない時代でした。一年に一回もボンネットを開けないことが多い今とはずいぶん違います。コロナは1年ほどで後輩に3万円で売却。2万円で色々経験させてもらいました。

次に乗ったのはパブリカ1200SLと言った車でした。ハイオク仕様、ツインキャブレターという今の方にはわからない？エンジンを持った馬力あたり車体重量の軽い結構よく走る車でした。結婚して直ぐかったのですが女房にミシンを買ってお金を使ってしまったと今でも愚痴られます。当時の新車は1000X3点検

というのがありました。エンジン内の切削力スなどの汚れを落とすためにオイル交換をします。それまでは回転数を上げないようにと注意書きがありました。1週間で1000X3を走りよく走りましたねと言われたおほえがあります。指先の出た革手袋などして林道を走り回っていました。この頃まだ珍しかったスパイクタイヤを掃いてスキーにも出かけました。



若かったな！パブリカ1200SL

ようになってきます。

ロータリーエンジンは少し排気ガスがきれいかとロータリーのカベラの中古車を購入。この車はよく走る車でサードギアで時速1000X3以上で走れた。でもガソリンはがぶがぶ使った。2サイクルで燃焼室が3つ。1回転で3回爆発。で2ローターなので4サイクルエンジンにすれば12気筒エンジン？速いはずです。

この車でも面白い経験をしました。走り出すと直ぐオーバーヒートするのです。この言葉も知らない人の方が多いかも。対策はポリタンクに水10リ程入れトランクに入れておきます。オーバーヒートしたらラジエータに水を足す。するとそこから走っている間は問題なしなのです。ロータリーエンジンはアベックスシール（不確か）というシールでエンジン室内とローターの間の気密を保っています。このシールが摩耗してくるので5万キロ位走ると交換の必要があるそうです。摩耗とともに冷却水も漏れるので車屋の親父さんはキャブレターの蓋を取ってブクブク泡が出てくるのを見て確認していました。エンジンが暖まると膨張で気密がよくなるので冷却水を足し

その頃からマスクー法など排気ガスによる大気汚染対策の話題が大きく取り上げられる

てやれば走っている間はO.S.と言っています。勿論交換しましたがディーラーでは15万円と言われ、この親父さんのところでは5万円でした。

マスキー法への対応で自動車業界は大騒ぎでした。この話になると技術屋ってすごいなと思います。

まず思い出すのはホンダのCVCのエンジンです。複合渦流調整燃焼方式と言っただけです。その頃の報道ではこのエンジン以外ではマスキー法をクリアできないような印象でした。トヨタを始め世界の自動車メーカーが技術導入をしたか、しようとしたようですね。ところが蓋を開けてみるとひどく力の無い印象の車もありましたがこれまでのエンジンの改良で皆クリアしていく。この時の技術屋ってすごいなと言っ強い印象をもっていきます。これは思い違いかもしれませんが2サイクルエンジンだった軽自動車メーカーのエンジン屋さんは大変だっただろうと思う。技術的に大きな問題を解決する解答は一つでは無く複数出てくるというのはどんな問題にも共通と思われるのです

カベラの後はマツダのファミリアです。

この車からエアコンを付け、オートマチック車になりました。色は緑色！グリーンジャガーはやっていて下の子がミドリンジャーが好きで何色にする？と言ったら即緑だったというわけです。このモデルの後マツダは素晴らしいデザインのファミリアを発売大いに売れたようです。

この車からバンクを含めて故障というのが無くなりブレーキオイルのペーパーロックとかオーバーヒートの話題は無くなります。

ファミリアの後カムリです。上司が役員になり車を支給されまして、置くところないから預かってくれと渡されたのがツートンカラーのスポーツタイプのカムリでした。結局破格の安値で譲ってもらい、ここからしばらくカムリに乗っていました。

タコメーターは勿論、電流計や油圧計もついてましたね。転動で岩手県の北上にしばらく住んだのですが雪道での経験はさせてもらいました。高速道路で雪の上を80キロ位で走ったことがあります。静かで快適です。

家族を乗せてスキー場に行く途中、高速を下りてからスピード感覚が鈍っていてスピード出しすぎで道を曲がれずもうダメかと思った

こともありました。わだちのある雪道で急に車が90度回転して真横になる経験は何度かしています。幸い対向車なく事故は起こりませんでした。雪道走行と言え、下りの雪道でのハンドルが効かなくなった話を若いのにしたら、そのとき少しアクセルをふかすことができれば正解ですと言われました。

このカムリの後カムリになったカムリに乗ったのですが買って直ぐにお寺さんに入る狭いとおりで脇腹をぶつけたくそ悪いと割合早く乗り換えました。またカムリで少し奮発して3ナンバー、6気筒エンジンでした。6気筒は良いですね。特に高速での追い越しなど気持ちよく加速してくれます。この車で面白いことと言えばオートクルーズ装置がついているのに知らなくてだぶ立ってからハンドルの脇に何かついていると調べたらかの装置だったのです。

オートクルーズは実に便利な装置です。特に高速道路を長時間は走るときは実に楽ちんです。

このカムリは10年近く乗りました。北海道内も何度か走っています。北海道は広くて走っていても気持ちが良いですね。これから

も走ってみたいと思います。このカムリも少し古くなってきて次に乗ったのはトヨタのバンガードという車に乗りました。展示車だったのか安かったのですが色も、仕様も選択権なしでした。この車はマニュアル運転もできる車でした。殆ど使った覚えがありません。カムリとタイヤサイズが違うのですね。ぶん高価な冬用タイヤを買ったのになぜか割合直ぐに乗り換えています。この時期に山形に単身赴任の時期が有り私用にホンダのフィットを買っています。この時期丁度コンパクトカーが出始めたときでトヨタにするかホンダにするか検討したのが後の表です。フィットにしたのはタコメーターがついていたのとタイヤ幅が広いことです。トヨタは何も言わないのははじめの提示価格から10万円値引きすると言っていたのですがホンダはほぼ0でした。この車で経験した自損事故。山形で天元

台という近くのスキー場へ出かけたときのことです。平らな道を走っていたとき突然90度回転してブレーキを踏むかどうかのタイミングで道路脇の1m位下の田んぼに向かって走っておりましてあーもーダメと覚悟した瞬間、歩道と車道の境の高さ10センチほどの縁

石をガーンという音とともに前輪がのりこえた途端停止。田んぼに落ちずにはすみません。事故にもめげずスキーを楽しんで帰る途中運転に何か違和感を感じました。ハンドルを少し左に切つていないと車が真っ直ぐ走らない！青梅まで東北道をハンドルを左に切りながら帰ったのです。

Vitz vs Fit	Vitz		Fit	
	U-4WD	F-4WD	W-4WD	A-4WD
エンジン	直列4気筒 DOHC		水冷直列4気筒 SOHC	
内径*行程	70*73.5		73*80	
圧縮比	10.5		10.8	
排気量	1,298		1,339	
最高出力	88/6000		86/5700	
最大トルク	12.5/4400		12.1/2800	
燃料供給装置	EFI		EFI	
燃費	18.2/16.6		20.0/19.4	
変速比	2.875-0.697		2.367-0.407	
全長	3,640		3,830	
全幅	1,660		1,675	
ホイールベース	2,370		2,370	
トレッド フロント	1,450		1,450	
トレッド リヤ	1,420		1,420	
最低地上高	155		155	
室内 長	1,800		1,815	
室内 幅	1,380		1,380	
室内 高	1,265		1,265	
車両重量	980	970	1,070	1,070
最小回転半径	4		5	
タイヤサイズ	155/80R13 79S		175/65R14 82S	
価格	1,450,000	1,330,000	1,440,000	1,325,000

その後の車はプラグインハイブリッド車1台目は満充電で24km程走り、現在は60km程走ります。住んでいる青梅から立川往復ができますので日常の走行は電気のみでほぼ済みます。コロナもあつて遠出しませんが月単位でガソリン給油なし月が続きます。

ところで次はBEV?私の年を考えるとE



古くなった！車は新しいけど

Vを買うことは無いと思います。車メーカーがEVで今の収益を上げるにはかなりの高価格になるはずで年金では無理！地球温暖化を考えると悩ましいことになりませんが、マスカー法の時のように技術屋さんがなんとかしてくれるのでは。プラグインちよこちよこ給電車。行けそうですね。

終わりまで読んでいただいた方ありがとうございました。

# 加賀電子株式会社

## <会社概要>

所在地	〒101-8629 東京都千代田区神田松永町 20 番地
事業内容	電子部品・半導体の販売から EMS（電子機器の受託開発・製造サービス）、パソコン及びその他周辺機器などの完成品の販売など
設立	1968 年 9 月 12 日
資本金	121 億 33 百万円
連結売上高	4,223 億円（2021 年 3 月期）
グループ会社数	65 社（国内 23 社/海外 42 社） 2021 年 12 月 31 日現在

## <加賀電子のフィロソフィー>



### ● 「すべてはお客様のために」

- 「我が国業界 No.1 企業を目指す」
  - 「グローバル競争に勝ち残る企業を目指す」
- 
- 「F.Y.T.」：変化に柔軟に、常に若々しく、果敢に挑戦
  - 「3G」：あらゆるものを、グローバルに、総合力を活かして
  - 「加賀イズム」

## <加賀電子グループの強み（ワンストップサービス）>



## <トピックス 1（キャパシタ）>

### 旭東電気によるセルのモジュール化「JTEKT 様と協業」

**Kyokuto** 加賀電子グループ

多様な産業分野に適合するリチウムイオンキャパシタパック

**■ 選べる出力と容量**

- ・静電容量  
500F/1000F/2000F
- ・高列数  
2 直～36 直（柔軟に選択可能）

**■ 小型形象化技術**

- ・薄型積層構造

**■ 選べる用途**

- ・通常パック（樹脂筐体）
- ・高耐久性パック（金属フレーム付）

寸法

- ・W寸法：112mm～163mm
- ・D寸法：198mm～220mm
- ・H寸法：77mm～675mm
- ・質量：1.7kg～20.4kg

## <トピックス 2（CSR 活動）>

### JLPGA 新人戦「加賀電子カップ」への協賛

本大会は、プロテストに合格した新人選手のみが出場する、トッププロになるための登竜門的な大会です。当社は 1996 年以来、特別協賛を続けています。歴代優勝者としては、不動祐理、横峯さくら、上田桃子、などトッププロを輩出しています。





## 丸紅株式会社

### ■ 丸紅／次世代社会基盤事業部

丸紅は、2019年4月からの中期経営計画 GC2021 において 2030 年の爆発的成長を目指し従来取り込めていなかった成長領域や新たなビジネスモデルへの挑戦を掲げました。次世代社会基盤事業部は、これと同時に設置された営業部です。①スマートシティ・インフラ、②次世代工業団地、③脱炭素新技術、④オフショア DX を成長テーマとし、事業開発に注力しています。

### ■ Skeleton 社ウルトラキャパシタ事業

次世代社会基盤事業部は、上記③脱炭素新技術への取組の一環として、2021年3月にウルトラキャパシタの開発・製造事業を行うエストニア国 Skeleton Technologies Group OÜ に出資しました。本出資を通じて、日本を始めとするアジアを中心に Skeleton 社製ウルトラキャパシタの販売及び次世代蓄電技術の用途・顧客開拓に取り組んでおります。

Skeleton 社は、現在欧米を中心に主要な自動車メーカーや重電メーカー等に業界最高水準の性能を有するウルトラキャパシタを供給しています。さらに、蓄電容量を大幅に高める次世代製品の開発も進めており、リチウムイオン電池/鉛蓄電池との併用・代替等より広範なニーズに対応することを目指しております。

#### ➤ Skeleton 社現行製品及び次世代製品



#### ➤ Skeleton 社製品用途例



欧米を中心に自動車、鉄道車両、倉庫、採油ポンプ、電力系統、建機、港湾クレーン等幅広い用途に採用頂いております。

# 株式会社 GS ユアサインフラシステムズ

## 1. 会社説明

GS ユアサインフラシステムズは、図1に示すように2021年5月1日にGS ユアサがサンケン電気の社会システム事業の譲渡を受けて設立された会社です。サンケン電気の社会システム事業は、1946年の同社創業以来、直流電源装置、無停電電源装置などの電源装置の供給を通じて社会インフラにおいて重要な役割を担い、お客様から高い信頼をいただいております。この大きな強みを最大限に活かすため、さらなる持続的な成長を目指し鉛蓄電池やリチウムイオン電池等の各種電池に強みを持つGS ユアサとともに新たな一歩を踏み出すことといたしました。

## 2. GS ユアサインフラシステムズの強み

- (1) 一元化した顧客フォロー体制  
国内主要都市に販売・保守拠点を置き、お客様のご要望に迅速に対応します。
- (2) 販売・開発・技術・製造  
一貫した体制のもと、開発から製造まで行っています。
- (3) 生産性向上。製造技術力の強化  
生産性および製造技術力において、品質、コスト納期いづれにおいても国内トップ企業の実力を備えています。

## 3. 主力製品

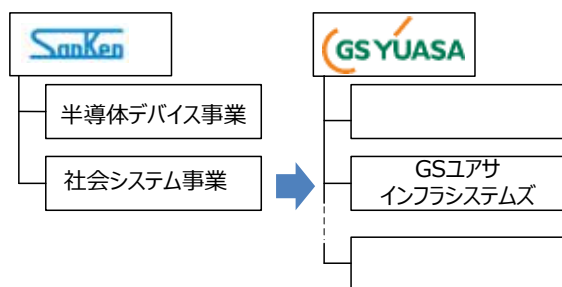
- (1) 無停電電源装置：あらゆる電源トラブルからシステムをバックアップし、常に安定した高品質の電力を供給します。
- (2) 直流電源装置：情報通信をはじめ防災無線などのライフラインまで幅広い用途で活躍しています。
- (3) 航空障害灯：航空機の安全を確保するため、各所納入実績があり常に安定した

品質・保守対応が高い評価を得ています。

- (4) 屋外型電源装置：厳しい環境にも耐える高い環境性能を有しています。カスタマイズにも対応可能です。(図2参照)

## 4. 研究開発

自社だけではなく各大学や企業との共同により最先端の研究開発を実施しています(図3に一例を示す)。その成果を国内外の学会に積極的に発表しています。



本社：埼玉県川越市  
資本金 320 百万円  
従業員数：368 名(2021.5.1)

図1 GS ユアサインフラシステムズ 概要



図2 屋外型電源 SGU-102 外観

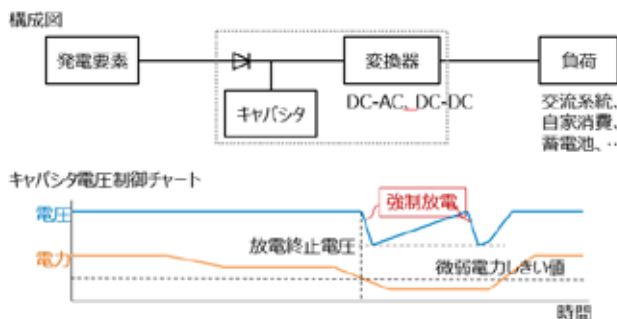


図3 キャパシタによる微弱発電電力回収システム  
東京農工大、日本ケミコンとの共同研究

# 社会と電気エネルギー(1)

はじめに

キャパシタフォーラム会報 通巻16号で「脱炭素社会とキャパシタ」と題して、脱炭素社会の展望と脱炭素社会でのキャパシタへの期待について書きました。

脱炭素社会のゴールはほぼ半世紀先の2050年です。過去の事例から約半世紀間隔で多くのブレークスルーや技術革新が起きています。このことから、脱炭素社会に向けて、技術革新やブレークスルーが期待されます。私たちの社会では、「電気」はなくてはならない非常に重要なエネルギーです。電気を作る発電所のCO2排出による地球温暖化が大きな社会問題となっています。そこで、「社会と電気」をテーマに3回シリーズで解説してゆきます。今回は「電気」とは何か?など電気エネルギーの基本について解説します。

## 「電気とはなにか?」

電気とは「電荷の移動や相互によって発生する様々な物理現象の総称」と定義されている。

ます。

私達の身の回りの照明や冷蔵庫などは電気によって動作しています。

日常生活で「電気をつけて」、電気を切つて、などと「電気」という言葉を普通の言葉で使っています。

私達人間が使っている主なエネルギー源は石炭、石油、ガス、水素や電気です。これらのエネルギーは私たちの元に色々な手段を使って届けられます。次頁の図1は各種エネルギーとその流れについて示したものです。石炭、石油、水素は途中で貯蔵しているのに対し、電気エネルギーは発電所から電線で送られてきて、途中電気を溜めることはありません。これは電気エネルギーと他のエネルギーの大きな違いです。

また、エネルギー源の石炭、石油は人間の目でそのものを見ることはできません。ガスも人間の目で見ることはできませんが、ガスボンベなどで見ることが出来ます。電気は電線を通じて送られて来ますので、人の目で電気そのものを見ることは出来ません。

現在、図2に示す様に電気は色々な発電所で発電しています。発電した電気は送電線



してる?

～猫でもわかる? わかりやすい～

連載  
第17回

電気二重層  
キャパシタ 解説 シリーズ

キャパシタフォーラム 個人会員 木下 繁則

や配電線によって消費者（家庭や工場など）送られます。発電所から消費者迄の距離は100km以上もおよぶこともあります。



図1 各種エネルギーとその供給の流れ

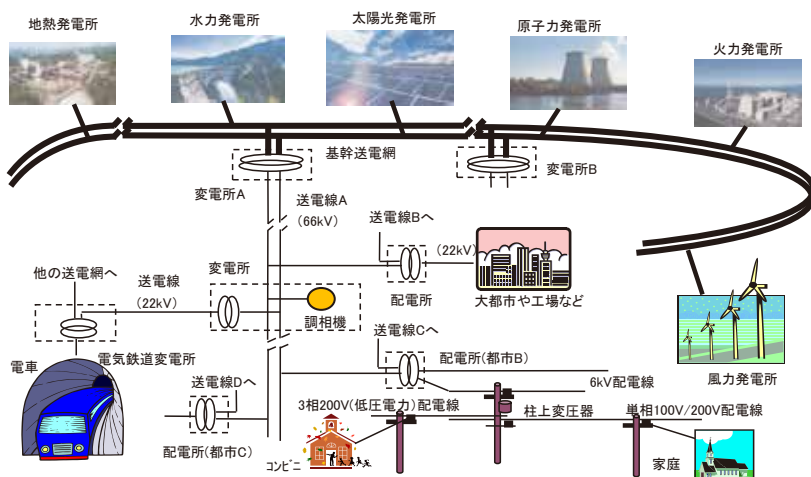


図2 電気の流れ

## 電気は電線で送られます

発電所から家庭までは電線で繋がっています。図2に示したように発電所で発生した電気は送電線や配電線を介して家庭や工場に送られています。

私たちが常に使っている電気エネルギーの元は、「電子」です。電子は色々な物質を構成している原子の中を動き回っている負の電気を帯びた粒子です。銅やアルミニウムなどの金属内では、この電子は原子を飛びだして結晶内を自由に動き回ることが出来ます。

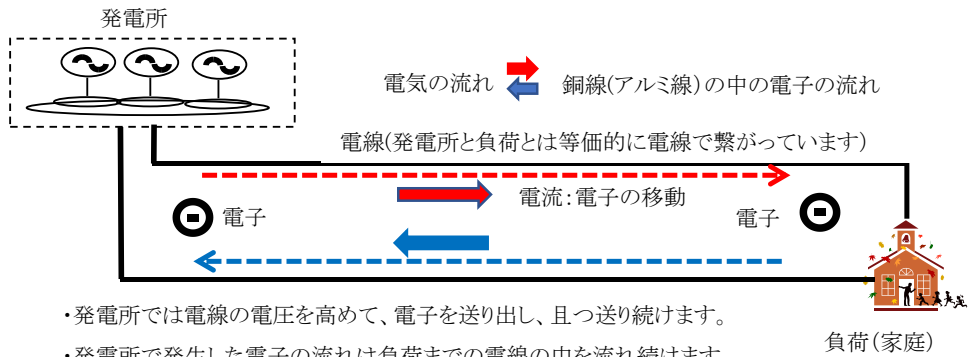
## 電気の流れ

それでは、電気エネルギーの発生と流れについて図3で説明します。

発電所から需要家（一般家庭や工場）への電気は図2に示した様に送電線や配電線で送られています。給電線は3相ですので電線は3本ですが電気エネルギーの給電の基本は1対の2本ですので図3では1対の2本の電線で示しています。

発電所では、発電機の巻線（銅線）にある電子にエネルギーが与えられます。発電機の巻





- ・発電所では電線の電圧を高めて、電子を送り出し、且つ送り続けます。
- ・発電所で発生した電子の流れは負荷までの電線の中を流れ続けます。
- ・発電所で発生した電子の量と負荷で受け取る電子の量は同じです。
- ・発電所での発生電力量と負荷での吸収電力量は同じです。

図 3 電気エネルギーの基本

線の電圧を高めることによって電線内の電子のエネルギーが高まります。発電機でエネルギーを与えられた電子は送電線や配電線の中を通過して家庭や工場にある機器や装置に送られます。機器や装置内の電線を通った電子は発電所で与えられたエネルギーを放出して機器や装置を動作させます。エネルギーを放出した電子は戻りの電線を通して発電所に戻ります。

### 電気エネルギーは同時・同量

図3に示した様に発電所から送り出された電子は電線を通じて負荷に入ります。このことは、発電所で発生した電子の量と負荷に入る電子の量は常に同じとなります。発電所で発生した電力と負荷で消費する電力が同じであるあることを意味しています。即ち「電気エネルギーは、同時・同量」である」ことこの理由はここにあるのです。

### 現在の電力システムは同時・同量制御ではない

ここで、電気を使う側から電気の同時・同量制御について考えてみます。消費者(例えば

家庭)は発電所の発電状態に関わりなく必要に応じ電気の入り切りを行っています。図4はこの状態を示しています。即ち、電気エネルギーの現状は、基本的には「同時・同量制御」にはなっていない。

同時・同量制御が崩れると周波数変動や電圧変動となって現れます。この変動が規定値内になるように発電量を制御します。この規定値は図5に示します。

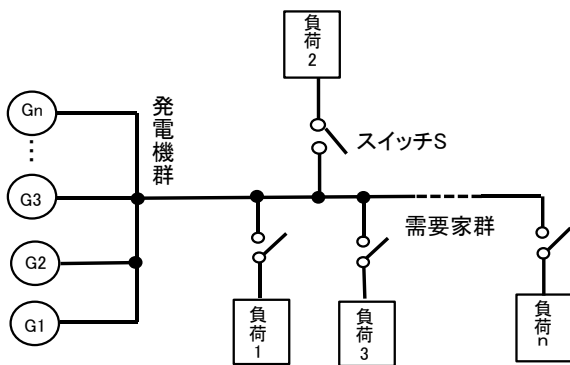


図 4 発電機群と需要家群の関係

### 需要家受電電圧変動範囲

200V給電: 202V±20V

100V給電: 101V±6V

### 周波数変動範囲 (50Hz, 60Hz)

±0. 2Hz

図 5 電圧、周波数の変動範囲の規定値

前述のように現在の電力システムは同時・同量となるシステムではありませんので、変動幅が図5に示した範囲になるよう負荷の電力需要量を予測し、この予測値に合わせるように発電しています。

### 停電を減らすために

発電所の電気は送電線や配電線で家庭や工場に送られてきますが、途中で事故が発生すると電気を送ることが出来なくなります。すなわち停電の発生です。このため、現在では図6に示すように送電線をネットワーク状に

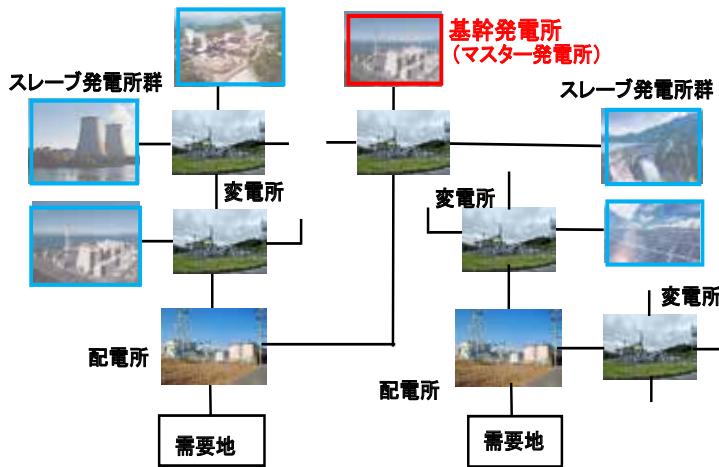


図 6 電力ネットワーク

接続しています。これを電力ネットワークと言っています。どこかの送電線に事故が発生しても別の送電線から給電できるようにして停電が発生しないようにしています。

### 周波数や電圧はどうやって決めているの？

図6で説明します。電力ネットワークには沢山の発電所が繋がっています。このうち一つの発電所を基幹発電所（マスター発電所）として決め、この発電所で規定されて周波数になるように発電機の回転数を制御します。基幹発電所以外の発電所（スレーブ発電所）では基幹発電所の周波数に追従させ、発生する電力のみを制御します（前述の電力予測に合わせて）。

### おわりに

2050年のカーボンニュートラルに向けて色々な分野で脱炭素化が進められています。次号では、脱炭素社会に向けての電気について解説します。

# 2021年度活動報告

## [2021年度年次大会]

2021年5月21日川崎市立労働会館サンピアとオンラインでのHybrid形式で開催

京都大学篠原真毅教授	空間伝送型ワイヤレス給電の研究開発と現状と将来展望
古河電工寺谷達夫氏	アフターコロナ・ルネサンスにおける自動車展望
大阪大学大学院太田豊特任教授	eモビリティを核としたゼロカーボンシティの創造
武蔵エナジーソリューションズ田口誠氏	リチウムイオンキャパシタの活用事例紹介と今後の展望
北京交通大学楊中平教授	中国における都市軌道交通の回生動力吸収技術の動向
村田製作所技術細谷達也氏	未来を描く小型機器向けワイヤレス給電
産業総合研究所山下健一氏	なかなか進まないDXの問題点をデータの性質から考察する

## 〔定例フォーラム〕

定例のフォーラムは下表の様に7回開催された。

7月	木下繁則氏 基礎講座	脱炭素社会の展望とキャパシタ第1回
	熊本大学 松田俊郎准教授	乗用車の量産モーター技術を活用した普及型EVバスの技術開発と実証評価
	丸紅(株) 安井啓人氏	欧州での脱炭素・環境型社会潮流と 欧州革新的キャパシタメーカーSkeleton社の取り組み
9月	プラズマイオンアシスト社工場訪問	
	木下繁則氏 基礎講座	脱炭素社会の展望とキャパシタ第2回
	NHエナジーフロンティア社 小林直哉氏	高電圧高エネルギー密度キャパシタの開発～脱活性炭技術開発～
10月	木下繁則氏 基礎講座	脱炭素社会の展望とキャパシタ第3回
	エイターリンク(株) 小館直人氏	ワイヤレス給電技術、AirPlug®が導く未来
	東京大学 小濱芳允准教授	電気二重層キャパシタを用いた強磁場発生と将来展望
11月	木下繁則氏 基礎講座	脱炭素社会の展望とキャパシタ第4回
	福岡工業大学大学院 高山滉平氏	離島における電気二重層キャパシタを利用した電力システムの周波数安定化制御
	日本ケミコン(株) 玉光賢次氏	LIB用導電助剤NHカーボン開発について
12月	木下繁則氏 基礎講座	脱炭素社会の展望とキャパシタ第5回
	東京工業大学 玉浦裕名誉教授	太陽追尾型PV発電の自立運転キャパシタ商用運転」
	千葉大学大学院 名取賢二准教授	次世代ネットワークを実現するパワーエレクトロニクス技術
1月	木下繁則氏 基礎講座	脱炭素社会の展望とキャパシタ第6回
	(株)GSユアサインフラシステム 伊東洋一氏	キャパシタによる再生エネルギーの利用率改善
	三井物産(株) 中島康介氏	電動化に向けた三井物産の取り組み
2月	木下繁則氏 基礎講座	脱炭素社会の展望とキャパシタ第7回
	UDトラックス(株) 肥喜里邦彦氏	商用車の電動化動向～トラック～
	上智大学 佐々木正和氏	日本の大型トラック、CN2050対応どうする？

## —事務局から—

1年を振り返ると「コロナウイルスでの緊急事態・蔓延防止が6回（211日）」、「ロシアのウクライナへの侵略戦争」と誰も予期できない驚愕の年でした。しかも終息が全く見えない現実が今も続いています。その様な中ですが当フォーラムは法人会員28社、個人会員34名と多くの会員の方に支えて頂きながら発展して参りました。この度は13年事務局長として当フォーラムを支えてきて頂きました、山口さんが退任されます。本当にご苦勞様でした！！心より感謝致します。5月の年次大会のテーマは「蓄電技術で脱炭素！？」です。皆さんで世界を考えて行きましょう。2022年も多くの方に参加して頂けるように頑張つて参りますので協力の程、宜しくお願い致します。

### 会員企業（2022年4月時点）

(株)IHI検査計測  
 旭化成(株)  
 エア・ウオーター・パフォーマンスケミカル(株)  
 CAP-XX(Australia)Pty（キャベックス）  
 大塚化学(株)  
 クラレ(株)  
 加賀電子(株)  
 (株)小松製作所  
 (株)サンクメタル  
 (株)GSユアサインフラスシステムズ  
 スペースリンク(株)  
 積水化学工業(株)  
 (株)センチュリーアークス  
 太陽誘電(株)  
 日本ケミコン(株)  
 日本特殊陶業(株)  
 パーソルR&D(株)  
 日置電機(株)  
 (株)プラズマイオンアシスト  
 (株)マテリアルイノベーションつくば  
 丸紅(株)  
 三菱製紙(株)  
 三菱電機(株)  
 武蔵エナジーソリューションズ(株)  
 UDトラックス(株)  
 リケンテクノス(株)  
 リコー(株)  
 (27社)  
 (個人会員33名)

この会報をご覧になった方で  
 キャパシタフォーラムに  
 関心をもたれた方  
 下記の事務局アドレスまで  
 メールをください。  
 詳しい資料をお送りいたします。

### 編集後記

今回から会報の編集担当になりました。原稿に関しては、執筆者のみなさまが期日通りに仕上げていただき、感謝です。期末の忙しい中、さすがと感じております。しかし、前任者も言っておりましたが、表紙のデザインが悩ましい。編集担当が変わってということでデザインを変えてみました。内容はわからないのですがキャパシタ関連であり、とてもきれいな絵でしたので使わせていただきました。来年の会誌の表紙デザインを今から考えておきます。会誌編集、頑張りたいと思います。至らぬところもありますが、あたたかいご意見、ご指導、よろしくお願い致します。