CAPACITORS FORUM

キャパシタ フォーラム

vol.12

特集　中国交流会報告

特別寄稿　・中国製造２０２５とＩＯＴ　北京交通大学　楊中平

・大型の直列接続バッテリ・スタックの動作時間と寿命を延ばす
アクティブ・セル・バランサ　リニアテクノロジー

キャパシタフォーラム会報　2017年　通巻12号

ご挨拶

キャパシタフォーラム会長　堀　洋一

キャパシタフォーラムは，故岡村廸夫名誉会長によって2004年に準備がはじめられ，2005年4月1日ECaSSフォーラムとして正式発足，2008年5月16日キャパシタフォーラムに改名しました。

毎月の例会は，ほぼ川崎労働会館（サンピアン）で金曜日の午後行なわれ，会員や招待者からじつに有益な話題提供をいただいて，活発な議論を行うとともに，もれなく楽しい懇親会を開催しています。5月の例会は総会です。昨年は「12周年記念技術セミナー」と名うって「東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト」で盛大に開催しました。また，年に1回海外視察を行っています。昨年は佐久間副会長のお世話で，中国の寧波公共交通，浙江中車電車製造会社，江蘇常隆客車を訪問し，おおいに知見を深めることができました。木下理事による「EDLC 基礎講座」は全12回を無事終了しました。若手研究者への研究助成も行っています。

出版物として「会報」（当冊子が12号）を発行し，「最新版キャパシタ応用事例集」を初版と改訂版の2回，「名誉会長岡村廸夫先生を偲んで」という追悼集をまとめました。

現在以上のような活動が定着しています。会員も少しずつ増え，いわば「仲良く」「楽しく」やっていますが，キャパシタ普及のためにもっと打って出るような活動をしなければならないのではないか，という話も出ます。皆さんのご意見はいかがでしょうか。また，岡村先生がご存命であれば，何とおっしゃるしょうか。合格点をいただけるでしょうか？

今月号の大半は，前述した中国視察の報告です。中国の電気バス（電池もキャパシタも使う）の勇躍を見ると，我が国はこれでいいのだろうかと感じます。同行した佐々木もと副会長が，「以前は中国は頑張ってるけど，たいへんそうだな，と思ったが，今回は危機感をもった。」とおっしゃったのが印象に残ります。

キャパシタフォーラムは，気取ることなく素を出し合える技術サロンだと思っています。本当に素晴らしい仲間に巡り会えたことを感謝しています。「仲良し」フォーラムはもちろん大切にしていただきたいのですが，それと同時に，将来についてもいろいろ議論をしていただければといつも思っております。

（東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻教授）

目次

会長挨拶　堀会長……2
蓄電の神様　岸和人……3
中国交流会報告
中国建国100周年までの技術戦略の考察　佐久間一浩……4
中国におけるEVバス状況
普及拡大とともに技術進歩めざましい現地を訊ねて
佐々木正和……8
中国交流会参加報告　青木義康……16
EVバスにおけるパワーエレクトロニクス
キャパシタフォーラム企画「中国との交流会」に参加して
伊東洋一……21
中国交流会に参加して　朝山規子……25
特別寄稿
中国製造2025とIOT　楊中平……27
大型の直列接続バッテリ・スタックの動作時間と寿命を
延ばすアクティブ・セル・バランサ　リニアテクノロジー……37
キャパシタ解説シリーズ（第11回）木下繫則……39
会員企業紹介
JMエナジー株式会社　渡辺裕……43
株式会社サンクメタル　内田敏義……44
キャパシタフォーラム12年のあゆみ（抜粋）佐々木正和……45
2016年度フォーラム活動実績……47
事務局からお知らせ等……48

CONTENTS

蓄電の神様

キャパシタ・フォーラム理事　岸　和人（株式会社リコー）

初詣や七五三など，生活の折々に神社を訪れる人は多いと思います．八百万の神というくらいで，日本では太陽からお米一粒にまで様々な神様がいるといわれています．期待するご利益によって参拝すべき神様は異なり，学業には天神様の太宰府天満宮（福岡），商売にはお稲荷様の伏見稲荷大社（京都）などが有名です．もう少し特定の業界に絞ると，船や航海にはこんぴら様で有名な金刀比羅宮（香川），カメラや眼鏡などレンズ関係には玉祖神社（山口）などがあります．

当フォーラムの会員は蓄電関連の業務に携わる方が多いと思いますが，プロジェクトの成就を祈願する際どの神様に祈願するのが良いのでしょうか？電池そのものではありませんが，電気・電波の神様「電電明神」をお祀りした神社「電電宮」が京都の嵐山にあります．観光スポットで有名な渡月橋の近く，阪急の嵐山駅からも程近い虚空蔵法輪寺の境内にある鎮守社のひとつです．

もう十数年前になりますが，電気二重層キャパシタを自社製品に搭載した後に訪れたことがあります．両側を杉の木で囲われた参道の登り坂を数分歩くと赤い鳥居と共に「電電宮」の祠（ほこら）がありました．

そのすぐ近くには「電電塔」という電気・電波の研究先覚者の霊を顕彰する石塔があり，研究者の代表としてエジソンとヘルツのレリーフが設置されています．電池を発明したボルタや二重層現象を発見したヘルムホルツのレリーフはありませんが，この二人も電気に関する基礎を築いた顕彰されている研究者と考えて良いでしょう．

そもそも人はなぜ神社へ参拝するのでしょう？「苦しいときの神頼み」といい病の平癒など人知の及ばないことがらに関しては神様の力にすがるためだと思いますが，プロジェクトの成功を祈り神社に参拝する行為もそうなのでしょうか？

この場合は神頼みというよりは「決意表明」なのだといえるのではないでしょうか．すなわち，神様に誓いを立てることで自己暗示をかけ，これからのプロジェクトを成功させるべく行動を開始し困難に負けない決意を固める心理的な効果が大きいのだと考えています．前回私が電電宮を参拝した際には，技術開発が無事に達成されたことの感謝とともに新たな技術開発への決意を祈願しました．

今年も暖かくなり新しい年度となりました．新たなプロジェクトが始まります．決意表明とともに，お元気でいらした頃の故岡村名誉会長に思いをいたしつつ「電電宮」と「電電塔」を訪れてみようと思います．

中国建国100周年までの技術戦略の考察

キャパシタフォーラム副会長　佐久間　一浩

中国に行きはじめて七年の歳月が過ぎました。上海万博の準備で騒然として頃でした。「光陰矢の如し」で時間のすぎるのは実に早いものです。

今回は中国の技術革新の方向性と蓄電デバイス業界の実情を紹介します。

現在の中国の方向性を示すkeypointは四点あります。

①第一三次五力年計画
②中国製造2025年
③2035年
④建国100周年→2049年

詳細は次図の通りです。資料は中国汽車工業会の資料です。

つまり、これから2020年までは世界の製造強国の仲間入りし2049年までに世界の上位に入ることを目指すという事です。

既に宇宙に進出している中国が「2020年に仲間入りする」へのスタート「第13次5力年計画」の5年とは驚きます。

ところで、中国へのビジネス展開を考える方が良く「どのようにつき会えば良いですか?」と言う質問をされます。私たちが中国の産・学・官と付き合う時には、この2049年への第3ステップまでの中国政府の計画を念頭において付き合う事が重要と思います。

次に蓄電デバイスの大きな可能性がある自動車業界はどのような方向性でしょうか?

次の2つの図は将来までのEV自動車の生産目標と政策的目標です。注目すべきところは「省エネ・新エネルギー自動車技術ロードマップ」では「インテリジェント・コネクテッドビークル」を明確にしている点ではないかと思います。

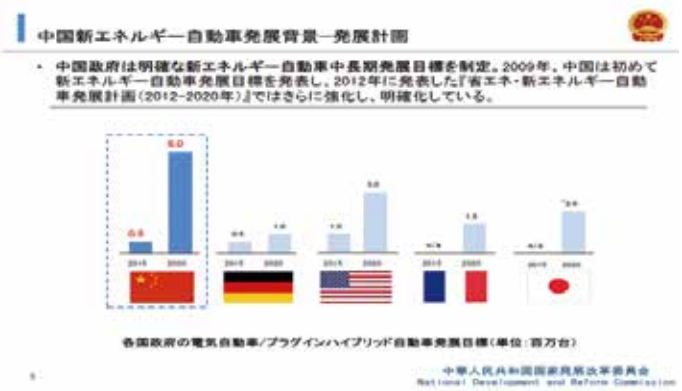
新エネルギー自動車だけを目指すのではなく、IoT.AIを駆使した自動車作りを目指すということです。

従い、自国の技術レベルでは技術立国にはなれないので、三段階で世界の革新的技術を吸収して世界一を目指すという事です。

中国四千年の歴史から観ればたかだか三十年で世界を制覇できればたいしたことのない時間軸です。

話は変わりますが、私達は一昨年来、中国の電池・キャパシタの「政府からの規約」問題を気にしてきました。

これまで、自動車業界・電池業界が政府の庇護のもとに「雨後のタケノコ」の様に乱立していましたが、一昨年から整理整頓がされてきました。しかし、その中には韓国、日本企業は、入っていません。



最新の情報では規範条件に認定された会社はＢＹＤ、ＣＡＴＬ等大手企業数社のみの様です。自動車メーカーは認定された電池メーカーから購入すれば政府から補助が出ますから安価で市場にＥＶ車を販売できます。しかし、日本、韓国の電池メーカーはこの認定からは置き去りにされているようです。

中国は２０４９年に世界レベルになるまで世界の技術を吸収するとの方向性からすると電池は中国としては既に確立された技術なのかもしれません。

昨年末から年初に中国から様々なニュースがありましたので紹介します。

南通江海諸源超級電容器社のリチウムイオンキャパシタ量産工場の開所式
２０１７年１月

2017年2月にMaxwell社とNESSCAP社が合併

中国超級電容連盟結成大会2016年12月

以上の3点はこの3か月で発表された内容です。

蓄電デバイスの最大市場の中国では刻々と大きな変化が起こっています。

私達はこの大きな変化に乗り遅れない様にしなければなりません。

キャパシタの応用分野は日本人が思う以上に中国では評価され、蓄電デバイス業界が再編成されているのではないでしょうか？

それでは新分野とはどの様な業界でしょうか？

これらの本をお読みください。

昨年、特許庁からキャパシタに関する動向調査が発表されました。

左記がそうです。2012年、2013年と新材料で期待されるグラフェン大容量キャパシタの出願件数がダントツです。これは何を意味するのでしょうか？

技術区分（グラフェン）－出願人国籍別出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2006-2013年）

出願人国籍	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
日本	5	0	7	6	16	23	7	9
米国	1	0	6	4	17	21	20	6
欧州	0	0	0	0	11	1	20	3
中国	0	0	3	3	13	10	82	89
韓国	0	0	0	10	8	19	16	30
その他	0	0	0	0	0	2	8	4

注目出願人における技術区分（電気二重層キャパシタ）－出願件数年次推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2006-2013年）								
注目出願人	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
サムスン電機	0	3	0	58	80	78	26	7
LG化学	49	23	30	24	8	43	21	0
コーニング	6	16	22	4	44	41	8	10
株神王照明科技	0	0	0	0	28	29	84	22
マックスウェル テクノロジーズ	11	5	6	0	0	0	15	2
ブルーソリューションズ+バッヅキャップ	6	19	12	0	0	21	37	8
BASF	0	7	7	4	6	10	13	0
中国科学院	1	1	3	4	6	1	12	17
ビナ・テクノロジー	0	0	3	1	0	24	16	6
清華大学	0	8	3	10	3	0	10	1
クラレ+クラレケミカル	8	7	3	7	1	0	4	2
日本ケミコン	9	29	23	21	28	29	22	13
JMエナジー	0	1	1	2	3	10	4	2

昨年十一月にキャパシタフォーラムは中国寧波を訪問し、寧波公共交通と交流しました。寧波公共交通は大容量キャパシタをバスに応用していました。

実に有効に利用していました。内容は佐々木さんがこの会報に詳細を掲載しますので、説明は省きます。また、その折に訪問した常州の常隆客車というバス製造会社は日本製のリチウムイオン電池仕様のＥＶバスを量産していました。

寧波公共交通は充放電共に大容量キャパシタで本格運用していました。

常隆客車は信頼性と安全性を重視して日本製を選んだと責任者の方から説明して頂きました。

日本企業がキャパシタの将来を考える時には寧波公共交通や常隆客車の応用事例が参考になるのではないかと思います。

昨年、筆者はキャパシタ市場は２０２０年には１０００億円市場になるとこの会報で述べましたがそれ以上の市場が創出されるかもしれません。

その為にも、オープンイノベーションで世界に乗り遅れない様にしなければならないと思います。

まさに此処にキャパシタフォーラムの存在意義もあると思います。

中国におけるEVバス状況

普及拡大とともに技術進歩めざましい現地を訊ねて

上智大学客員研員　佐々木　正和

２０１６年12月、キャパシタフォーラム企画「中国との交流会」に参加させていただいた。目的は、中国において普及めざましいバスの電動化推進の要を担っていると思われるバスメーカーおよびバス運行事業者を訪問し、普及促進を支えている施策や技術開発状況等の調査である。本稿では電動バスの技術の状況について報告します。

1．中国のバス電動化推進政策

図1に示すような勢いで、中国のバスの電動化は世界で突出して急進展中である。それは第一に国策、即ち、電動バスの大規模普及を支えられる手厚い補助制度によるということのようである。中国における次世代型自動車の普及促進のための主な国家政策は、新エネルギー政策および省エネルギー政策の二本立てのようであり、前者にはEVとPHVおよび燃料電池車、後者にはHVが対象に入っている。省エネ政策対象のHVは、現在は税率軽減等薄い助成のみとなり、普及が失速しているようだ。

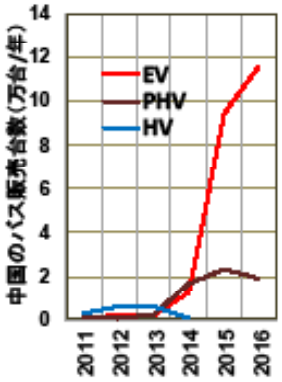


図1.中国における各種電動バスの販売状況（概数）

表1は、２０１６～２０２０新エネルギー政策におけるバスへの販売補助金制度の概要である。①ＥＶバス、②ＰＨＶバスが補助対象である（燃料電池バスは省略）。表1は中央政府の補助制度であるが、別途、地方政府補助もあるようだ（２０１７年は中央の半額以下に制限されたようだ）。

なお、急速充電型ＥＶ（２０１６までは①ＥＶに含まれる）の場合、バス停等への充電インフラ整備が相当のコスト負担となるようであるが、表1とは別途に補助金制度が設けられているようだ。

一見手厚い補助制度に見えるが、改訂の度に大幅な補助額の減額や性能要件を厳格化するなど（表1左下参照）、厳しい競争を促す狙いが見える。メーカー乱立から強者を絞り込み、ＥＶバス普及の早期自立や国際競争力確保が狙いではないだろうか。

今回、以上の動向を念頭に置きながらの

表1.中国中央政府のEV/PHV バス普及補助制度概要(中国政府HP 抜粋)

2016年中央政府補助制度

①EVバス(全長10～12m)（広範囲に段階的に補助）	航続距離 km 6≦, 20≦, 50≦, 100≦, 150≦, 250≦
EV電費率 (Wh/km･kg) <0.7,<0.6,<0.5,<0.35,<0.25	補助金限度額 12万元～50万元
②PHVバス (全長10～12m)	航続距離 km 50≦, 100≦, 150≦,250≦
燃費 バス燃費基準の40～％削減	補助金限度額 20万元～25万元

2016年改訂のポイント
- 同等性能では補助額が約30%減額となった。
- EVは航続距離が200km超のみ対象となった。
- 電池容量係数(容量比例補助金限度)新設。
- EVに電池ｴﾈﾙｷﾞｰ密度ハンディ・電池重量限度新設。
- 急速充電型EV区分新設。充電性能にハンディ新設。
- EV電費率限度大幅ダウン。PHV燃費にハンディ新設。
- 急速EV・PHVの航続距離廃止(電池容量係数で代替)。

2017～2018年中央政府補助制度

①-1.エネルギー型電池EVバス(全長10m超)	航続距離 200km＜（長距離化）
EV電費率 (Wh/km･kg) ＜0.24（大幅厳格化）	限度額 30万元 電池容量係数1800元/kWh
電池ｼｽﾃﾑ性能 (Wh/kg) 補助金係数	80～95, 95～115, 115～ 0.8, 1.0, 1.2
電池ｼｽﾃﾑ重量補助限度	車両重量の20%以下
①-2.急速充電型電池EVバス(全長10m超)	
EV電費率 (Wh/km･kg) ＜0.24（大幅厳格化）	限度額 20万元 電池容量係数3000元/kWh
電池充電性能 補助金係数	3～5C, 5～15C, 15C～ 0.8, 1.0, 1.2
②PHVバス(全長10m超)	限度額 15万元 電池容量係数3000元/kWh
燃費削減率％ (燃費基準比) 補助金係数	40～45, 45～60, 60～％ 0.8, 1.0, 1.2

注）上表は全長10m超の大型バスの場合を示す。補助対象ﾊﾞｽの全長L区分は5段階/2016から3段階/2017に変更、中/小型バスの場合、①-1の2017補助額限度は、20万元/8<L≦10m、9万元/ 6<L≦8mとなった。

極めて興味深い技術交流となった。

2. 急速充電型ＥＶバスについて

バスターミナルやバス停において頻繁に急速充電を繰り返し運行を続ける方式のEDLC搭載型ＥＶバスについては、2010上海万博頃、上海等一部大都市に出現し話題となったが（会報No.6）、最近、EDLCを応用した新たな方式の急速充電型ＥＶバスが浙江省寧波市を中心に普及が盛んであるとのことで寧波市を訪問した。この方式は、バス運行事業者とバスメーカーとの一体的な開発取り組みが必須と想定され、バス運行事業者およびバスメーカーの双方を訪問し、いずれでも大へん懇切丁寧な技術説明を受け現場見学をさせていただいた。

2･1. 急速充電ＥＶバス運行事業者訪問

寧波市公共交通総公司を訪問した。路線バス約2千台を運行する（寧波市主体にシェア約80%）公共企業体である。ディーゼルバスおよびクリーン燃料（ＣＮＧ／ＬＮＧ）バス、ＨＶバス、ＰＨＶバス、ＥＶバスを保有。内、ＥＶバスは、2014年ＥＤＬＣ＋Ｌ-Ｂ併用急速充電型を導入開始、2016年には2系統路線で50台稼働、5年内に13系統700台に増車予定とのこと。さらにＥＶを増やす方向で、系統によっては大容量電池型ＥＶバスの導入も視野に入れているようだが、当面、併用式急速充電型ＥＶバスの拡大を考えているようであった。（蓄電装置詳細は2･2項のバスメーカーの項で詳述）

図 2. 寧波市公共交通本社バス管制センターの様子

この急速充電型ＥＶバスは、搭載蓄電装置の小型軽量化が主眼であり容量が小さく短区間ごとに充電が必要となるので、渋滞等により次の充電箇所までに電池を使い切ってしまい、路上停止という重大なリスクを伴う方式である。これに対し、大きく二つの先進的な対処方式を備えていた。一つは蓄電装置の構成方式（次項詳述）、二つ目は運行監視制御システムである。図2は本事業者のバス管制センターの様子である。すべてのバスの運行状況を常時通信により、カメラ4台によるバス周辺映像含めてリアルタイムで監視が可能でありトラブル等への即応体制が整えられているようであった。

図3aは、寧波公共交通の急速充電型ＥＶバスがバス待機場（運行の始／終点）において充電中の様子である。バス屋根からパンタグラフが上昇する接触充電式である。充電ステーションは、始／終

a. バス待機場(始/終点)の充電ステーション　b. バス停の充電ステーション

図3. 急速充電型ＥＶバス用充電ステーションの様子

点には複数台備えられている。図3bは、バス停に設置された充電ステーションであるが、現在導入されているEVバスは中距離充電型（図6B）なので、およそ5㎞毎に、例えばバス停が25か所の系統の場合、4か所のバス停に設置するという状況のようである。始／終点の充電ステーションでは5～15分程度でLiBまでフル充電し、途中バス停ではEDLC主体に30秒程度の中間充電レベルで走行開始するようである。図3上部に示すような大出力での給電のためにステーション側にキャパシタを採用している。

なお、前ページにて触れた電池切れ路上停止等対応のためと思われる緊急用充電プラグを車両後部に備えていた（図4）。

図4. 緊急用充電プラグ接続箇所（バス後部右側）

急速充電型のメリットは、バス搭載電池の小型軽量化（エンジンバス並みにバス利便性を確保）と電池コストの大幅ダウンであろうが、そのメリットを高めるにはバス停設置充電ステーションを増やす必要があるが、充電ステーション設置・メンテナンスコストが増大することと、バス停工事がかなり長期間となるため交通障害が問題になるので充電ステーションを増やす方向は望ましくないという見解であった。この充電間隔を伸ばす対応策としての併用蓄電方式の構成については次の項で触れる。

2.2. 急速充電型EVバスメーカー訪問

中国において巨大な二つの電車・バス製造国営企業（中国北車、南車）が、ごく近年一体となり民営化され中国中車有限公司となったとのことである。その傘下のバス製造拠点の一つである浙江中車有限公司（寧波市）を訪問した。工場見学と技術説明の内容について、説明上、見学と技術説明との内容を混在させながら記述する。

このメーカーのEVバスのラインアップは、EDLC＋LiB併用の蓄電システムを搭載する全長10.5m大型および主力の12m大型バス（図5a）および18mの連節バス（図5b）である。他に8.5mのLTO or Fe系LiB単独搭載した中型EVバスも製品化しているようだが詳細説明はなかった。

筆者が驚き、あるいは脅威と感じるほどの特徴的技術は次の①～③であった。

①蓄電装置システム構成技術
②キャパシタ技術
③全アルミ化バスボディ構造（軽量化）

まず①についてであるが、図6は、EDLC単独およびEDL＋LiB併用の場合の蓄電方式として想定される種類であるが、訪問バスメーカーが採用している方式は、A、B、Cの3方式であった。内、これまでの販売実績はB方式に集中とのこと。12m大型バスの場合のB、C方式のLiB（25kWh/B、72kWh/C）は、普通の大容量電池搭載型EVバスのLiBに比べおよそ1/10～1/5、EDLC含めた全体でもサイズ・重量・コストはおよそ1/5～1/3程度に削減可能と推測される。

図7はB方式搭載見学車の内部、図8はバス後部のパワーコントローラ搭載状況である。AのEDLC単独方式は、渋滞のないバス専用路線等に最適であるが、これま

で受注なしとのこと。Cは基本的にBと同じ方式であるが、BがLTO型小容量Li-Bであるのに対し、Cは、充電間隔を20㎞以上まで伸ばすために1.5倍から3倍ほどの大容量Li-B(車種によってLTO or Mn系)を採用している。28㎞でもある18m連節バスもB、C方式を採用している。

D方式は、EDLCの弱点である電圧変動をDC/DCでカバーできる方式であり、マツダのi-ELOOP(EDLC+Pb)の例がある。

さて、追求したい点は次の2点である。

㋑なぜEDLC+Li-B併用なのか。

㋺なぜB、C方式なのか、研究例や実用例が多いのはD方式と思われるのにである。

これらに対する回答は次のように明快であった。回生率は、通常のLi-Bでは40~60%どまり、EDLCでは80%程度まで可能(ちょっと差が大きすぎではないかな?)であり、電費は6%ほど改善されるとのことであった(月数万円ほど削減/台か)。

キャパシタにLi-Bを併用する理由としては、2.1にて触れたように、充電間隔はバス停毎など短区間ではなく、ある程度長くする方がEVバスを導入しやすいことと、渋滞で電池切れとなるリスクを回避するためであるとのことで、バス運行事業者とバスメーカーが一体となって企画・開発に取り組んでこそ実現可能なEVバスシステムという印象を受けた。

なお、2010年頃上海等に導入されたEDLC単独の急速充電型EVバスは、エアコンオフでは7㎞程走行可能だが、オン時は1.5㎞くらいになってしまうのでEDLC単独の大きな弱点との情報もあった。

要するに充電間隔延長とエネルギー効率向上のために㋑方式を採用、効率向上を追求しながらコスト等最適化のために㋺、すなわちB、C方式採用という説明であった。

従来、D方式応用による検討・実用化例が大半であり、併用方式において、Li-Bの寿命・ライフサイクルコストを含めたトータルシステムの最適化のためにはDよりもB方式の方が大幅に効果的であるという検討は、筆者(電気学会2016D部門大会4-S9-5)らから最近報告されたばかりであり、その実用化情報はまだ得ていなかったので、このB方式がすでに中国で実用化されていたことにはかなり驚かされた。

コンパクトな蓄電システムとする

図5. 急速充電型EVバス製品例

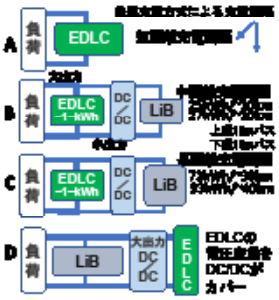


図6. EDLC応用蓄電方式の種類

図7.併用電池の搭載箇所(見学車)

図8. パワーコントローラ搭載状況

図10. 全アルミ化ボディ(12m大型バス)

ことでコストダウンや軽量化を図りながら、高いエネルギー効率を得るにはＥＤＬＣ＋ＬｉＢ併用が適していると理解できても、相当高い技術力がなければ実現は難しいであろう。ところが、この中国中車は、傘下にキャパシタメーカーも所有し

図9. キャパシタセルおよびモジュール

ており、そこではキャパシタをＨＶバス用としてかなりの量産実績を有しており、それがＥＶバス用に併用式蓄電装置を開発できた大きな要因のようだ。これが、前頁の②に挙げた脅威と思えるキャパシタ技術の背景だと思われる。

図９上は、中国中車製バス用キャパシタセル、図９下はバス用モジュールである。ＥＶバスのラインアップには、3,000Ｆ（ＨＶ用実績大）、または30,000Ｆセルの２種が採用されており、前者セルを使用した車両およびキャパシタの設計寿命は８年、後者セル使用の車両およびキャパシタはともに12年としている。ＬｉＢは全て８年としている。前者は廉価版車のようであり、ＨＶ用としてすでに相当量の量産実績がある低コストな3,000Ｆセルを採用しているようだ。なお、後者の長寿命車には、近々、さらに高容量な60,000Ｆセルを採用予定とのこと。この段階でエネルギー密度は10Wh/kg弱のようであるが、3V化で15Wh/kg程度に、その先、新材料等により25～40Wh/kgまで開発目標を設定とのこと、脅威的である。

前々頁の③に挙げた脅威と思える全アルミ化ボディ（図10）の技術であるが、車両総重量18ｔもの重さをアルミモノコック構造ボディで支えるには相当の構造解析・設計技術、溶接技術およびコストダウン技術が必要であろうことから驚異的と感じたわけで、超高級乗用車でもまだ稀な採用段階（Ｈｏｎｄａ新型ＮＳＸなど）であるが、ＥＶ普及のための軽量化には有力な技術かもしれない。しかし、価格競争では厳しそうだ。

3. 大容量電池搭載ＥＶバスメーカー訪問

上海の北西方向、揚子江の南岸、江蘇州江陰市にあるバスメーカー江蘇常隆客車有限公司を訪問し、ここでは相互に技術紹介を行い、工場見学をさせていただいた。

筆者にとっては５年ぶり２度目の訪問である。５年前はＥＶバスよりディーゼルバスの生産比率が高かったと思うが、最近、ＥＶバス生産に特化したとのこと。そして、年間生産台数はおよそ３倍に拡大したようだ。ＥＶバス普及の将来性を見込み積極的なＥＶバス展開を進めている様子である。

ＥＶバスのラインアップは、図11に外観・仕様例を示すが、かってのディーゼルバス同様の展開が進んでおり、全長7m小型バス、7.5ｍ～8m中型バス、１０ｍ大型バス、12ｍ大型バスがある。7.5ｍ以上には電池が2種類、Fe系ＬｉＢ（中国製）とMn系ＬｉＢ（日本製）が並行設定されており特徴的である。

図11. 常隆客車製EVバスの外観と主要な仕様

8mバスの工場内量産風景
左右のバスとも日本製電池搭載

右は10.5m大型バス、総重量は16.5ｔもある。日本の大型バス(11m)は約15ｔが限界(軸重制限)、中国では搭載電池容量を大きくし易いようだ。

３・１．大容量電池搭載型ＥＶバス

常隆客車は、大容量電池を搭載し夜間充電にて1日の運行が可能なＥＶバスに特化して製品化している。夜間電力代が昼間の1／7なのでユーザーから夜間充電方式の要望が強いとのこと。電池搭載容量が大きく、重くなるが、図11に注記したように日本に比べて自動車の重量（軸重）制限が緩いので問題はやや少ないようだ（重量制限に関わる日中比較は4項に詳述）。

工場見学では、最近メインに搭載しているという日本製Mn系LIBセルを用いた電池モジュール／ユニットをあちこちで目にした。図12は量産中の8mバス用モジュールの半完成品（セルパック積層状態）が集積されている様子である。8mバス用電池ユニットは、7.5V、65Ahパックが24直で単モジュールを構成し、5モジュール＋BMSで1ユニット（55kWh）を構成、これを2ユニット車載している。合計110kWh（1t余）で航続距離は150㎞とのこと。図13は、車載待ち電池ユニット群とバス後部の電池搭載部（電池は未搭載）である。

なお、長さ10ｍ以上のバスでは、電池搭載容量は300kWhを超えるものもあり、搭載場所は座席床下も使い、車両の両サイドから搭載している。図14上段は、車両サイドへの搭載用電池ユニット、下段はバスへの搭載状況である。これらの電池モジュール／ユニットは、日本製セル（AESC製）を購入し関連会社でモジュール／ユニット化している。電池輸入規制については、電池装置として国産し認定を受けており使用できるとの見解であった。BMSは、日本のサポートを受けながら自社開発とのこと。

また、軽量化に関わる興味深いボディ構造を目にした。バスの床材として竹を編み樹脂で固めた板材を使用していた（図15）。中国で豊富な材料の活用であろう。

図16は、見学の最後、8mバス完成車の充電風景である。

３・２．ＥＶ化で中国バスメーカー変貌か

かって、国を問わず、大半のバスメーカーは板金・塗装と組み立ての業種であった。エンジン、アクスルなど複雑なコンポーネントは購入してボディに組み付ける。やがてマイカー時代到来で欧州や日本では市場縮小や技術競争激化等により集約が進んだ。

一方、中国では広い国土に多くの都市が分散、バスは地域交通の要であり地域の力で作るということであろう、需要拡大の中で多くの地域に板金と組み立てが得意なバス生産会社が乱立したものと推測され、現在でもおよそ50社ほどある。需要旺盛であり技術力や集約の危機がまだ訪れない段階でEV化政策が展開されたが、引き続きコンポーネント購入によるEVバス生産にて十分対応可能であったと思われる。5年ほど前、中国のバスメーカー数社を見学したが、当時はEVバスにおいて回生ブレーキとメカブレーキとの協調制御をどうしているのか、バッテリマネジメントをどうしているのかなどのシステム系があまり見えなかった。例えば、モータにエンジン用と同様のマニュアル式変速機が接続されておりドライバーの腕が良くても回生効果を上げることは至難のように感じた。制御含めた電動系、ブレーキ系等のシステムを自社開発できるメーカーは少なかったからであろう。それでも売れた時代だったであろう。

ところが近年、表1に示されるように、単にEV化するだけでなく格段の電動性能やエネルギー効率の向上および大幅なコストダウンを補助金要件として求められるようになり競争が激化し、技術力の進展が著しく進んだことを今回の訪問で強く感じた。図17は、訪問メーカーが力説したEV技術の自社開発イメージであるが、従来とはちがい、ECUの自社開発はもちろん、EVのシステム系全体の自主開発に重点を置いているという説明であった。一例であるが、マニュアル変速機を必要とするモータはなくなり、現在は変速機なしで駆動が可能な高性能モータを採用している（図18）。

今回の交流を通じ、国内生き残りおよび海外市場も狙いに開発力／生産力の増強が進んでいる印象を強く受けた。

図16. 完成車充電風景

4. EVバスの可能性、中国と日本

バスの重量増大を抑え、かつ、低コスト化するには急速充電型が優れるように思われるし実用化技術も相当なレベルに達していることを真のあたりに見たわけだが、依然として大容量電池搭載型が圧倒的規模で

図12. 8mバス用電池セルパック積層体（筐体格納前）

図13. 8mバス用電池ユニットとバスの電池搭載場所

図14. バス床下搭載用電池ユニットと搭載状況

図15. バスの竹製床構造

普及拡大している状況も実感させられた。

一方、日本では種々方式とも研究や実証試験から一歩も普及に向けて出ていない。

そこで、中国と日本のバスについて、おおざっぱであるが比較を試みたのが図19、20である。図19は、中国におけるバスの種類、車両重量および電池搭載容量とEV化にとって厳しい重量制限との関係を示すが、各制限に対しEV化による重量増加が乗車定員の減員を余儀なくされそうな様子がはっきりと見える。その状況の中で、EV各車種ともギリギリの設計努力が伺え、積車重量(定員)をそれほど損ねない程度に収まっているように見える。特に、12mバスでは急速充電型とすることの効果が明確に表れている。全体としてギリギリ普及可能な要件をクリアしているように見える。

一方、図20は日本の状況であるが、EVバスは全て実証試験段階止まりであり、そこからは普及要件に対して厳しさしか見えず、EVバス時代が近いようにはとても見えない。第一の問題は、重量(軸重)制限が中国や欧米より大幅に厳しいこと(道路・橋等への荷重制限であろう)、さらには乗車定員のルールの違いも想定される。

第二の問題は、日本の国産EVバス例はすべて中距離充電型のみであり、幅広い普及要件を踏まえてEV化を追求しているようには見えないことである。中国での普及例を参考にすると、バスのEV化では、EVバス交通システム全体を捉えて、関わる関係機関・企業等トータルでの最適システム追及が課題のように感じられる。

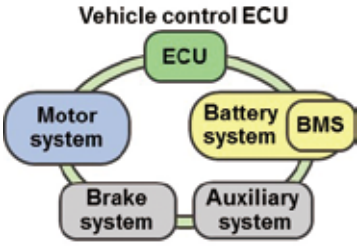


図17.EVコア技術の自社開発イメージ

(バスの後方から見たボディ下部)

図18. モータの外観とバスへの搭載状況

おわりに

今回訪問し交流いただいた3社ともから、大変友好的で暖かいおもてなしをいただいたことに厚く感謝申し上げます。

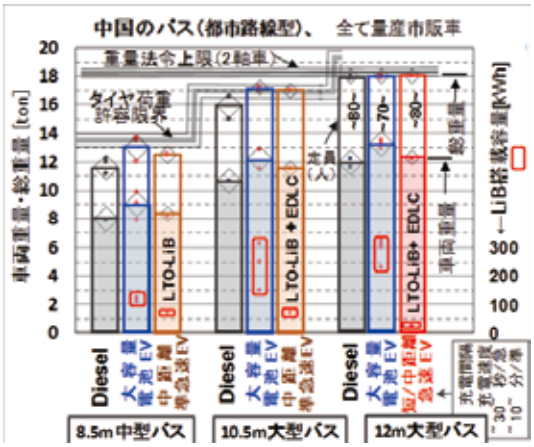


図19. 中国における各種バスの重量状況
(バス重量・電池搭載量は数社の仕様)

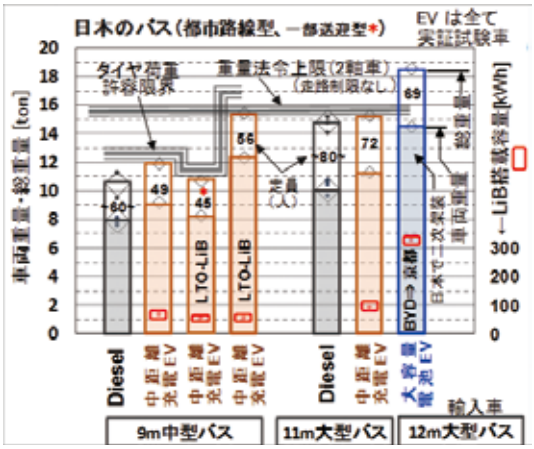


図20. 日本における各種バスの重量状況
(Dieselはバス3社の仕様平均、EVは全て実証試験車の仕様)

中国交流会参加報告

青木エナジーコンサルタント　代表　青木良康

平成二十八年十二月八日羽田空港から上海虹橋空港に向かう。

集合は上海虹橋空港第一ターミナル国際線到着ロビー。堀先生、佐久間さんはじめ大方のメンバーはＪＡＬ便にての渡航で一足早く虹橋空港に到着されていましたが、佐々木さんと私はＡＮＡ便利用で30分程遅い到着となり、先発隊に待っていただいてしまいました。

上海の天候は晴れ。北京でのＰＭ2.5の悲惨な報道で上海はどうなのかと心配していましたが、思ったより良く、青空も見えるほどでした。下の写真は虹橋空港の外で地下鉄の駅に行く途中です。

本日の日程は上海から寧波市に移動し、寧波市公共交通、浙江南車電車のメンバーと会食とのこと。

虹橋空港からは地下鉄で虹橋駅に行き、高速鉄道（日本の新幹線と同様）で寧波に。

虹橋高鉄駅はさながら日本の空港ビルのような大きさで、入場もＸ線による手荷物検査が行われてセキュリティに関して日本より厳しい感じがしました。（空港よりは形式的な面もありますが）

乗った列車は一等座で日本のグリーン車に近いものでしたが、料金は237元（約3,900円）と日本の新幹線普通指定席の半分程度でした。

2時間程度の快適な列車の旅で寧波駅に到着後、迎えのバスでNinbo Marriotホテルに直行。その日の夜は寧波市公共交通、浙江南車電車の幹部との会食です。

堀先生の顔と現地のコーディネート役の金さんの事前準備のお陰で盛大な歓待ぶりでした。　美味しい紹興酒が振る舞われて、ついつい中国式のペースに巻き込まれ、乾杯！乾杯！乾杯！を重ねて記憶も定かでない状態に。でも、そのせいかどうか、非常に和やかに友好的な会食となったと思います。謝謝。

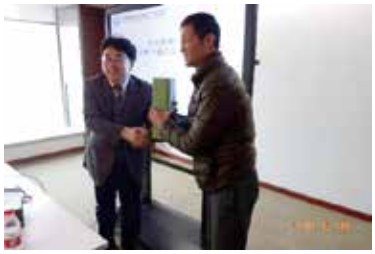
十二月九日（金）　本日は寧波市公共交通総公司、浙江南車電車有限公司との打合せ。

ホテルでの朝食後、寧波市公共交

通総公司のオフィスに。

到着後早速案内されたのが寧波市のバス運行状況を一望に把握できる運行管理室。大画面に表示された運行管理システムの説明を受けた後、会議室でミーティング。

公共交通総公司の總經理が出席するなど、やはり堀先生の顔か。まずは、堀先生から總經理へ東大産のワインを贈呈。



總經理からの挨拶の後、副總經理から寧波市公共交通の概要、運行管理、将来の新エネルギへの取り組み等の説明を受けた。

寧波市公共交通ではEDLCと二次電池とのハイブリッド電源を採用した純電動バスの運行を行っており、充電ステーションも始点、終点のフル充電ステーション（10分程度）と中間の急速充電ステーションとを設置し、中間ステーションは路線間（25㎞程度）に3か所程設けて約30秒の中間充電後は数キロメートルの運行が可能としている。この点は上海でのEDLCバスが各停留所に充電ステーションを設けている点と異なり、インフラ投資の節減策も考慮されていると感じた。

公共交通総公司の説明の後、浙江南車電車有限公司の副總經理CTOから技術的説明を受けた。EDLCを使用した純電動バスの様式には図1に示すように3方式があるが、浙江南車電車ではEDLCを主電源とし、急速充電に強い二次電池（LTO）を併用したシステムを採用している。（図1の真ん中の方式）

この方式は短・中距離走行の都市バスに適しており、坂道や信号、停留所などの停止／発信が頻繁な走行でのEDLCへのエネルギー回生、坂道発進等でのEDLCからの加速エネルギーが適用できるなど長所が大きい。

図 1. 純電動バスの源様式

LTO二次電池は東芝のSCiBが世界に先駆けて製品化しているが、ここで使用しているLTO電池は東芝製かどうかは不明であった。中国でもLTO電池を製造しているメーカはあり、中国製の可能性もある。

また、中国中車グループ（浙江南車電車有限公司も中国中車グループ）にはEDLCを製造している寧波南車新能源科技有限公司があり、ここでのEDLC開発ロードマップが図2のように示された。

現状は2.7VのEDLCでエネルギー密度は5~8Wh/Kgで9500F級のセルとのこと。

技術内容は世界の他のメーカと同様の活性炭電極を使用したEDLCであるが、セルの容量は9500F（ケースサイズ：79×56×220mm）と大型角形である。

発展の計画は次の3ステップとしている。

（1）最初のステップはセル電圧を2.7Vから3.0Vに上げ、エネルギー密度を10～15Wh/Kgに向上させ、更にセル容量も12,000Fとより大容量化を図っているもの。（寧波南車のカタログでは9500F品とケースサイズは同様となっている）

EDLCの3V化は中国はじめ全世界での最近の傾向となっており、各社製品化されている。

図2 EDLC開発ロードマップ

セル電圧の向上はエネルギー密度向上の手段となっているが、活性炭の不純物、官能基及び電解液の精製など製造工程含めた管理が重要で、これを怠ると寿命への影響、ガス発生などの安全性にも影響するので留意が必要である。

（2）次のステップは電極材料にNHCを使用してエネルギー密度を20～25Wh/Kgに向上させるというもの。

表1に寧波南車のHP情報から得たキャパシタの諸元を示した。NHC電極を使用したキャパシタはカタログには記載されていないが、テストレポートからの情報を纏めてみた。

この様に、このステップでの試作品は既に出来ているものと思われる。

注目すべき点は7500F品以降の容量UP品は30,000F品まで同じケースサイズであり、驚異的なエネルギー密度向上を達成している点である。

（3）最終ステップは電極にグラフェンを使用してEDを40Wh/Kgに向上させるというもの。

グラフェンは天然黒鉛等の黒鉛材料の一層を取り出したもので比表面積が活性炭よりも大きく、導電率もCNT並みの高さでキャパシタ用材料として注目されている。

昨今、中国ではキャパシタの電極材料としてのグラフェンが大流行で、実際、原料は天然黒鉛などの安価な材料なので、比較的安価に製造できるものと期待されている。

但し、実際の電極に作製する際に単層の凝固が起こり、実際の表面積低下が起こら

表 1. 寧波南車のEDCLカタログ値

型番	静電容量（F）	定格電圧（V）	内部抵抗（mΩ）	ケースサイズ（mm）			備考
				W	D	H	
CRRC-03000-C1-2R7	3000	2.7	≤0.230	Φ60		138	円筒型
CRRC-07500-P1-2R7	7500	2.7	≤0.200	79	56	220	角型
CRRC-09500-P2-2R7	9500	2.7	≤0.200	79	56	220	角型
CRRC-12000-P3-3R0	12000	3.0	≤0.100	79	56	220	角形
＊混合型超級電容器	30000	2.8		79	56	220	角形 NHC

＊参考：NHC電極の混合型超級電容器

ないよう留意が必要とされている。

日本でも物質・材料研究機構の唐捷女史らはグラフェンを使用したキャパシタの開発を進めており、特にグラフェン層の凝集が起こらぬようにCNTを混合した電極を開発している。参考までに、図3に唐捷らが発表したグラフェン電極キャパシタのラゴンプロットを示したが、エネルギー密度、出力密度も優れた値を示す期待される材料

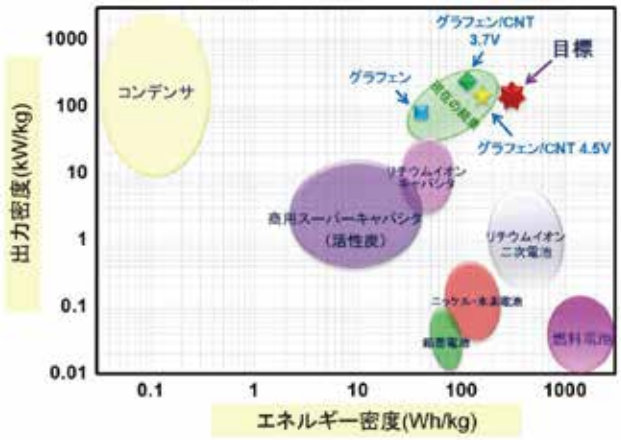


図3　グラフェン電極キャパシタのラゴンプロット
出典：H27年2月24日　JST-A LCA連携新技術説明会　唐捷発表資料

と言えよう。

浙江南車の総工程師にLiCについてはどう考えるかとの質問に関しては今後検討したいとの回答であった。私個人的にはエネルギー密度向上にはこれらの材料をLiCの正極に用いるのが効果的と思っているが。

寧波市公共交通でのディスカッションの後、充電ステーションを見学し、浙江南車客車の工場見学と打ち合わせを行った。

工場見学時に乗せて頂いた大型バスの電源はLTO電池と90,000FのEDLCを使用しているとの説明があったが、その後の打ち合わせで提供されたカタログでは表2に示すように英文カタログでは30,000F、中文カタログでは90,000Fと同一車種で異なった数値があり、質問に関しては中文カタログが最新版との説明であった。寧波南車のEDLCカタログ等では90,000F品は見受けられないが、本当にバスに使用されているとしたら安全性、信頼性は大丈夫なのか？との疑念は捨てきれないと感じた。

表2に浙江南車電動バスのカタログ数値を示した。車体の種類毎にLTO電池エネルギー主力にして長距離運行のものとEDLCのエネルギーを大きくして急速充電タイプのものがあるのが興味深い点であった。

表2．浙江南車電動バスのカタログ値

	18m純電動バス		12m純電動バス		10.5m純電動バス		8.5m純電動バス	
Vehicle Type	CSR6180 GSEV1	CSR6180 GSEV2	CSR6121 GSEV1	CSR6121 GSEV2	CSR6110 GSEV1	CSR6110 GSEV2	CSR685 0GLEV1	CSR6850 GLEV2
Super Capacitor Energy(F) Service Life(Year)	30000 (60000)* 12	3000 8	30000 (60000)* 12	3000 8	3000 0.79kWh 8	3000 0.79kWh 8	—	—
Battery Energy(kWh) Service Life(Year)	LTO 27 8	LTO 93.1 8	LTO 24.8 8	LTO 71.8 8	LTO 71.8 8	LTO107.4 8	LTO 71.8 8	LFP110.59 8
Charging Time Intermediate station Terminal station	30-60sec. ≤10min.	20min.	30-60sec. ≤10min.	15min.	≤15min.	≤30min.	≤15min.	≤4 h
Driving Range(Km)	51	102	63	118	151	251	160	251
Charging station distance(Km)	≤10	≤30	≤10	≤40	40	60	60	200

＊中文カタログでの数値（これに変わったとの説明あり）

翌十二月十日はアルファバスの工場見学です。アルファバスは無錫と常州の間に位置する所で、揚子江の川幅が一番狭い所だそうです。　上海のホテルまで自社バスで迎えに来てくれて、２時間程のドライブでしたが、途中思わぬハプニング（冷却水が不足していたのか、エンジンのオーバーヒート）で全員バスから退避し、代わりのバスを待っていくことになったものでした。

　アルファバスでは黄会長はじめ楊部長らがとても親切で工場も隅々までオープンに見せて頂いた。アルファバスは中国でいち早く電動バスの生産を開始したメーカでリチウムイオン二次電池を電源に使用している。

　当初は中国製のリン酸鉄を使用していたが、信頼性、安全性の観点から現在は日本のＮＥＣ製のマンガン酸リチウム電池を使用している。（日産リーフに搭載されているモジュールパックをそのまま使用しているとのこと）

　この様に、アルファバスでは黄会長の思いから安全性、信頼性を尊重する姿勢が見受けられた。スーパーキャパシタの使用に関しての質問に対しては、今後の検討課題であるとの回答であったが、上海でのＥＤＬＣバスのシステムに関しては否定できであった。（当時のＥＤＬＣバスの設計者がアルファバスにおり、通常運行に必要な機能を働かせると航続距離が極端に短くなる等の点が指摘された。）

　やはり、キャパシタのエネルギー密度を高めなければこのようなシステムの電動バスの実用には供しないと感じたと同時に、堀先生の提唱される非接触給電システムとの組み合わせが必要と痛感した。

　今回の中国交流会では中国の城市公共交通学会学術部主任の金さんのアレンジに深く感謝するとともに、堀先生はじめ佐久間さん、佐々木さん各氏のコネクションの深さでどの訪問先でも歓待され有意義な討論ができたことを感謝いたします。

　終わりに、堀先生が沢山撮られた写真、並びに参加者各位が撮られた写真を使わせて頂きました。これも謝謝です。

EVバスにおけるパワーエレクトロニクス

キャパシタフォーラム企画「中国との交流会」に参加して

サンケン電気　伊東　洋一

1. はじめに

交流会に参加し、中国のスピードの速さと完成度に驚かされるばかりです。今回は寧波市という地方都市の市交通局とそこにバスを供給する中国中車を見学をしました。中国では、表1に示すように北京、上海をはじめに39の都市が新エネルギー自動車の普及事業に参加しています。数字は少々古いですが2015年9月のものです。純粋のEVバスの割合は16%程度です。台数の伸び率は毎年200%を超えています。22番目の寧波市では、キャパシタを主の蓄電素子としたEVバスを採用しました。中央政府の指示を受けて地方政府が独自に政策を実行するので、各都市により方法が異なります。したがって、中国全土でキャパシタ式バスが普及するかどうかは不透明です。別の市に行くとその市の事情にあった方式を採用していると思います。本稿では、交流会時に得た情報から一般的なEVバスのパワーエレクトニクス技術を説明します。

2. EVバスの電気系

図1にEVバスの一般的な電気系の構成を示します。バスを駆動するための主電動機とインバータ、バッテリのほかに、様々な補機類で構成されます。補機類を動かすために電圧を調整するDC-DCコンバータや空調設備は必須となります。中車のEVバスには永久磁石モータ90kW、効率97%とキャパシタ1kWh、応急運転用としてLiB 25kWhが使われます。

主回路構成の詳細は聞けませんでしたが、図2に示すような構成となっていると推測します（先の記事P11図6Bの方式）。インバータは三相フルブリッジ構成で、直接キャパシタがインバータのDCリンクに接続されます。LiBはDC-DCコンバータを介してDCリンクに接続されます。DC-DCコンバータの方式は、非絶縁の昇圧チョッパと考えられます。LiBで回生電力を充電しないのであれば、P側素子はダイオード

表1. 浙江南車電動バスのカタログ値

No.	都市名	目標数	実績数	達成率	No.	都市名	目標数	実績数	達成率	No.	都市名	目標数	実績数	達成率
1	北京	35,000	19,445	56%	14	太原	5,000	1,096	22%	27	臨沂	5,690	3,656	64%
2	深圳	35,000	7,973	23%	15	海口	5,000	604	12%	28	濰坊	5,500	607	11%
3	天津	12,000	4,758	40%	16	成都	5,000	2,469	49%	29	聊城	5,010	516	10%
4	西安	11,000	4,073	37%	17	蘭州	5,000	50	1%	30	瀘州	5,000	410	8%
5	武漢	10,500	4,041	38%	18	晋城	5,000	85	2%	31	河北省	13,000	5,754	44%
6	上海	10,000	34,821	348%	19	新郷	5,000	1,179	24%	32	浙江省	10,100	18,257	181%
7	重慶	10,000	2,306	23%	20	襄陽	5,000	1,119	22%	33	福建省	10,000	2,993	30%
8	広州	10,000	7,104	71%	21	大連	5,000	3,039	61%	34	広東省	10,000	12,377	124%
9	長株潭	6,100	6,478	106%	22	寧波	5,000	813	16%	35	江西省	5,300	2,303	43%
10	合肥	5,720	7,466	131%	23	瀋陽	5,000	277	6%	36	内モンゴル	5,000	35	1%
11	鄭州	5,500	2,705	49%	24	長春	10,000	649	6%	37	江蘇省	18,085	14,173	78%
12	青島	5,200	2,995	58%	25	ハルビン	5,000	215	4%	38	貴州省	6,000	891	15%
13	蕪湖	5,110	1,814	35%	26	淄博	5,000	445	9%	39	雲南省	5,000	954	19%

実績数 2015年9月現在

出展：日中経済協会「中国における新エネルギー自動車政策と進展状況」資料

となります。

応急運転用のLiBに使われるDC-DCコンバータは100kWです。少々、大きいような気がします。LiB容量は25kWhです。一般的には、1C放電＝25kWであるため、DC-DCコンバータは30kW程度でよいと思います。1kWhのキャパシタを25kWで充電するので効率を考えて3分あれば満充電になります。この3分も待てないので、LiBを4C、100kW放電して主モータを駆動するのでしょうか。

キャパシタの充電電圧は700Vです。通常70％程度の電圧まで使用すると考えると490Vが下限値となります。1kWhのキャパシタとすると28.8F必要です。先の記事P12図9のモジュールにおいて3,000Fセル単モジュール48V 165Fを使用するのであれば、15直列×3並列必要になります。

充電ステーションはバス停5㎞毎にあるそうです。一般的にEVは1kWhで約10㎞走行できるようなので、充電間隔としては十分なようです。しかし、上海万博で走行したキャパシタバスは、空調OFF時、7㎞、空調ON時は1.5㎞しか走らないので、中車のバスも空調をONにした場合は、LiBからの放電をしているのかもしれません。

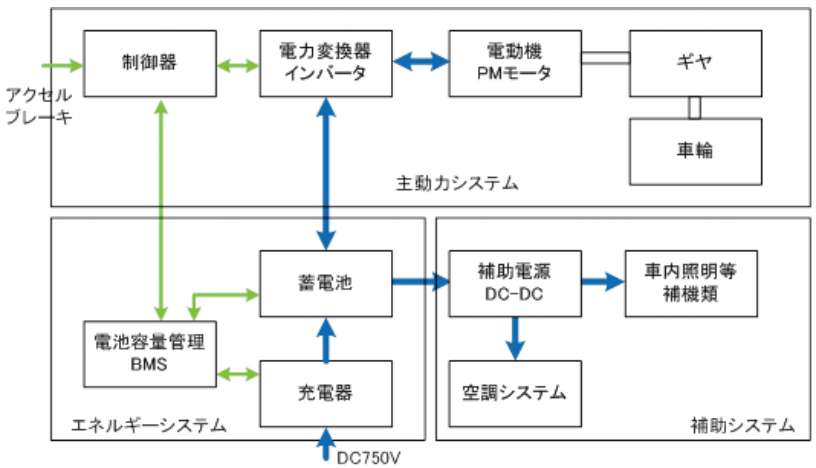


図1 一般的なEVバスの電気系システム

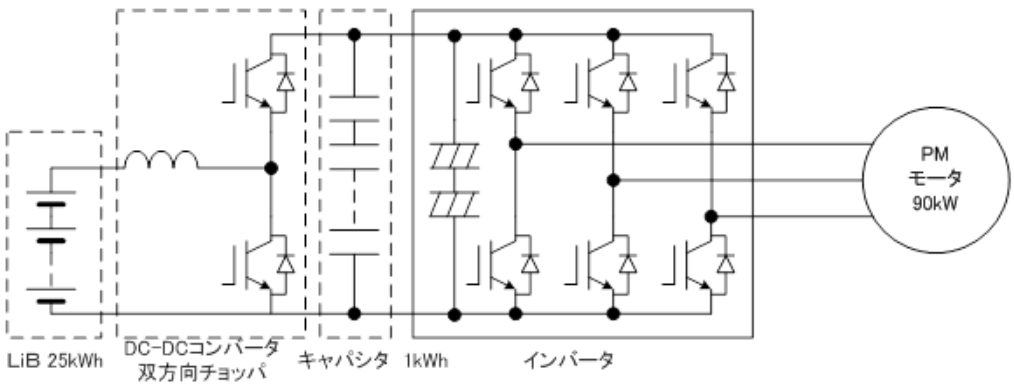


図2 中車 EVバスの主回路構成（推定図）

3．EVバスの駆動制御系

主電動機はPMモータ（永久磁石モータ）、インバータで駆動されます。図3に一般的なPMモータの駆動制御系の構成を示します。ベクトル制御が使われています。ベクトル制御では、磁極位置センサーからの情報で三相交流電流をトルク分電流と励磁分の電流の直行2軸(d-q)上にマッピングします。それぞれの電流がその指令値に一致するように電流制御器がインバータの電圧を操作します。これにより直流モータのようにモータトルクを指令値に比例して制御すること、モータ磁束を制御することができます。車両の場合、アクセルペダルの角度に比例してトルク分電流指令を発生させます。モータ内部の磁石が磁束を発生するので励磁分電流はゼロに制御しますこれらの制御系は、すべてマイコンやFPGAを使用したディジタル制御系で構成されます。

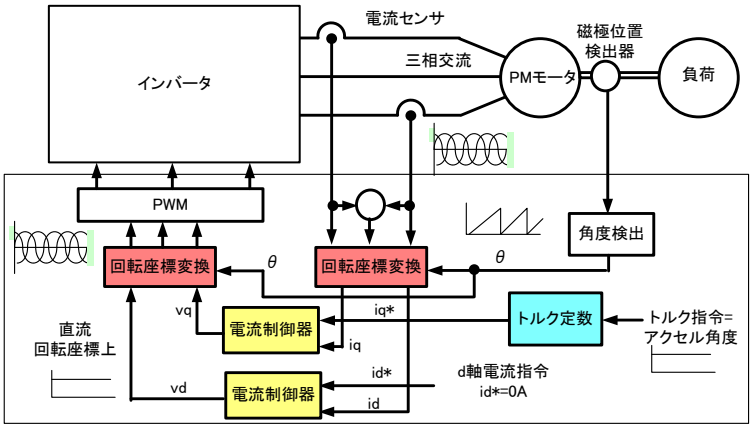


図3 PMモータにおけるベクトル制御を用いたトルク制御系

4．EVバスの充電インフラ

5㎞毎に300KW出力、起点と終点に500KW出力の充電設備があります。充電装置は交流460Vから直流750V～250Vに変換します。図4に交流から直流に変換する一般的な構成を示します。図aは最も簡単な例です。絶縁トランスとサイリスタ整流器を用います。電流の高調波を抑制する場合は、図bのような12相整流などの多相整流が用いられます。図cは高周波スイッチングにより入力の電流波形を正弦波、力率を1にすることできます。さらに絶縁トランスを高周波トランスにして小型化しています。一方、コストはa、bに比べて割高になりますが、高調波対策や設置面積、保守性を考慮してスイッチング方式が採用されるようです。数十kW程度のユニットに実装され、並列接続されます。

交流会時、これらのインフラを路線毎に整備することが課題と言っていましたが、500KWもの電力を数十秒～数分、各所で使われるための配電系統を工夫して設計する必要があると思われます。中央センターで一括管理していますので、将来は、路線が増えるに従い、受電点から見た消費電力は平準化されるように制御されるのかもしれません。

5．おわりに

通常、会社員の場合、単独で技術調査だ

けのために会社を訪問、見学というのは不可能です。キャパシタフォーラム会員として今回、中国の最先端のＥＶバス関連の会社を訪問でき、歓迎と丁寧な説明を受けて、キャパシタフォーラムの偉大さを実感しました。このような機会を与えていただいた、フォーラムと、見学を受け入れていただいた中車様、宇波市交通局様さらに現地でご尽力していただいた金正虎様に感謝します。今後もフォーラムを通じでキャパシタの普及活動に貢献していきたいと思います。

写真1 PM2.5 に霞む北京空港(見学会の経由地)
EV が普及して早く青空がみたいものです。

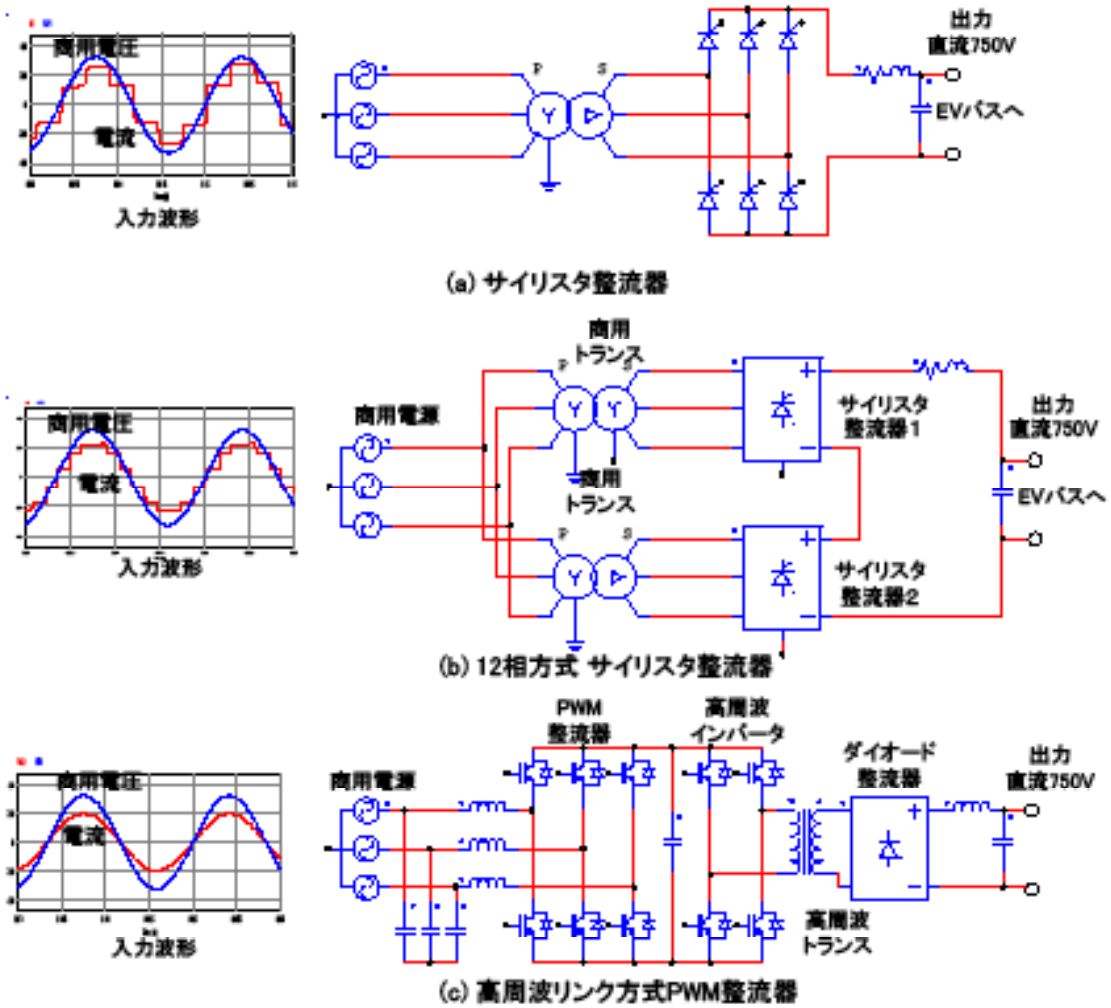


図4 ＥＶバス用交流-直流変換器の一般的な回路構成例

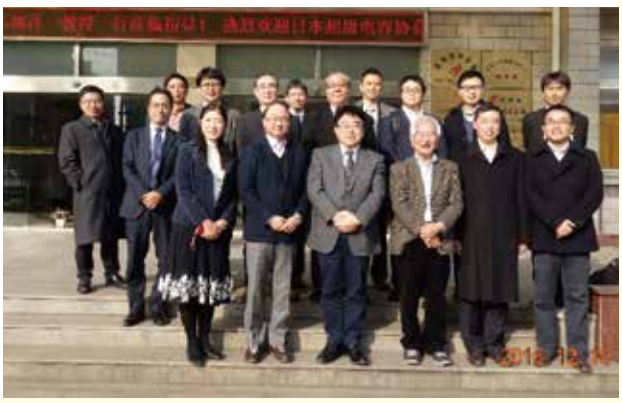
交流会に参加して

株式会社イルカカレッジ　朝山　規子

中国の進化には毎回驚かされます。今回初めて中国の新幹線に乗って、上海から寧波まで行きました。最初の驚きは新幹線駅の広くて奇麗なこと。まるでオリンピック会場かと思うくらいで見渡す限りどこも人で埋め尽くされています。そしてどこまでも続く大理石の床にゴミが落ちていないしトイレも綺麗。上海だけかと思いきや、寧波の駅も同様でした。また警備も厳重で、駅構内に入るのもボディーチェック。数年前に脱線して埋められてしまった新幹線のイメージはどこにもありません。むしろ「流石！中国、恐ろしや。」と悪い方に納得していましたが今や、「流石！中国、恐るべし！」と称賛できます。技術革新のスピードは新幹線並みで、各駅停車の日本の電動バスがどこかの車庫で止まったままになっている間に中国の電動バスは中国全土にいきわたり、日本にまで上陸してしまいました。6年前中国の電池メーカーから電動バスの開発支援の要請があり深圳に行ったとき、まさにこれから電動バスが各地に数千台単位で導入されるため、その開発に参入したいとのことでした。そのころ取り組んだ多くの企業が切磋琢磨し、今やもう地方都市でも電動バスが走っています。

その開発をまじめに取り組み成功された企業経営者の方々との交流を通して、中国の技術革新が本物であることを確信しました。

日本の電動車両技術の第一人者である堀洋一先生を代表とするキャパシタフォーラムの一行は熱烈歓迎を受け、どこについても電光掲示板や大画面のモニターで歓迎の文字に出迎えられ、手厚いもてなしを受けました。おもてなしは日本の文化と思っていましたが、この様に歓迎されると技術者の方も力になりたいと思われることでしょう。会議の席ではプレゼンの後の質疑応答に白熱し、昼夜の会食の席では毎回食べきれないほどの山海の珍味と紹興酒に老酒、ベストシーズンの上海蟹と競い合うかのように真っ赤な笑顔で大いに盛り上がりました。



12月8日上海空港到着後すぐに新幹線で寧波に向かい、寧波市公共交通のXu Geng

副社長と中国中車のXiao Yong社長ほかの歓迎を受けて夕食会。現地の手配をしてくださった金さんのおかげで、大企業の経営者の方と同じテーブルに着くことができ、宴会慣れしておられる青木さんのおかげで盛り上げていただき、気さくに交流ができました。翌日会社訪問をしてその規模の大きさに驚きました。9日の会社訪問先の情報は別途報告がされているので割愛いたします。

10日は上海のホテルにまだ新しい座席シートのかかったバスでお迎えいただき江蘇省の常隆汽車（アルファバス）に向かいました。高速道路の料金所で止まったところ、なかなか出発しません。よく見るとバスの前方から煙がモクモク？急きょバスを乗り換えて目的地に向かうという事件が起きました。

大勢の力持ちさんがバスを押す姿（左写真）も旅の記念の一幕。このバスはディーゼルバスなので煙の原因はバッテリーではありません。「我々のために新品のバスを手配してくださったので常用試用体制になっていなかったのでは？」との車の専門家の見解です。きっとバスもこのメンバーに緊張したに違いありません。

常隆汽車（アルファバス）の工場見学を終えて交流会は黄会長の別荘にご招待いただきました。会長は日本贔屓で特に日本の技術を尊重しておられることが伺えました。別荘の敷地では無農薬栽培の農場や畜産もしておられ、食の安全も日本に学んでおられるとのことでした。迎賓館もノスタルジックで、素晴らしい建物でした。

中国でもご高名な堀先生はじめご尽力頂いた皆様のおかげで、貴重な体験に参加させていただき大変有意義な交流会でした。有難うございました。

黄会長挨拶と別荘の内観

この資料は北京交通大学楊中平先生の御好意で日本語版にしていただいたものです。

中国製造2025とIOT

北京交通大学 杨中平

2016.11.23

お薦めの本

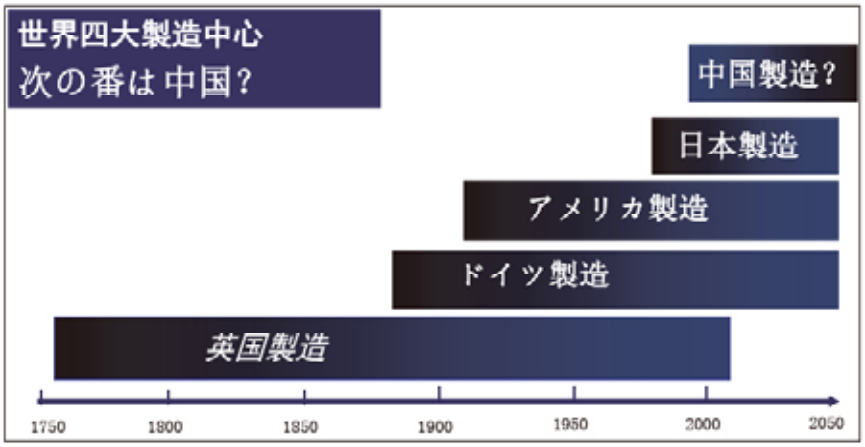
主要内容

1. 中国製造2025の背景
2. ドイツ工業４.0
3. 中国製造2025の概要
4. 中国製造2025とドイツ工業4.0の違い
5. 中国におけるIOT

1. 中国製造2025の背景

- **2013年の中国製造業**
  - ✓ 工業はGDPの37%
  - ✓ 設備製造の売上値：20万億RMB、世界の1/3以上
  - ✓ 製造量：発電設備，世界の60%；船，世界の41%；工作機械：世界の38%
  - ✓ 製造規模はすでに世界一
- **中国製造業の四つの問題**
  - ✓ 自主的創造革新（Independent innovation）が弱い
  - ✓ 品質の問題
  - ✓ 資源効率（エネルギ消費、汚染）が低い
  - ✓ 産業構造が不合理的な一面があり（ハイエンド製品が少ない)
- **さらに**
  - ✓ 人口ボーナスが消える
  - ✓ 労働力が足りない

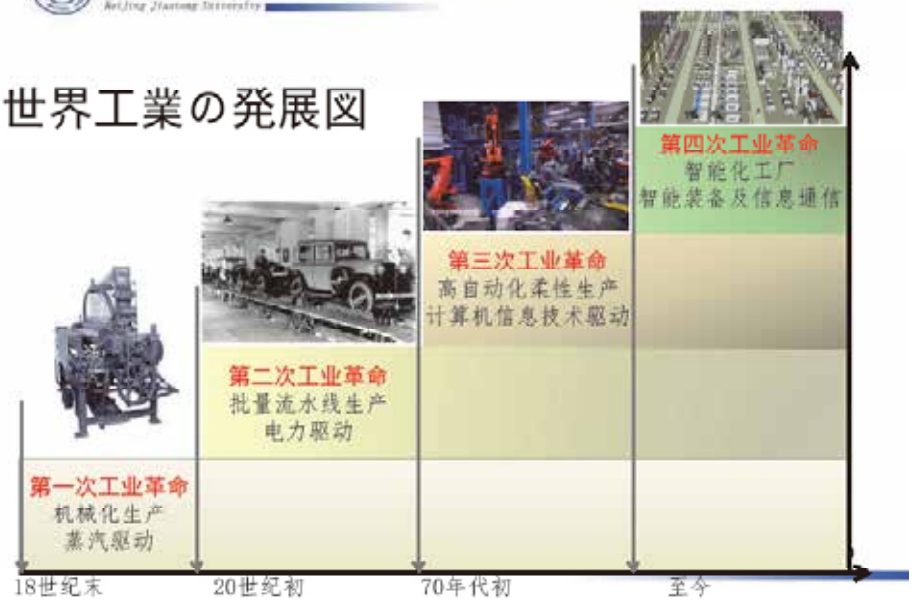
1. 中国製造2025の背景



製造大国から製造強国へ変貌するためには、どうすればよいか？

中国にとっては、ドイツ工業4.0（2013.4）は良い見本

2. ドイツ工業4.0



蒸気機関

普通工作機械

CNC工作機械

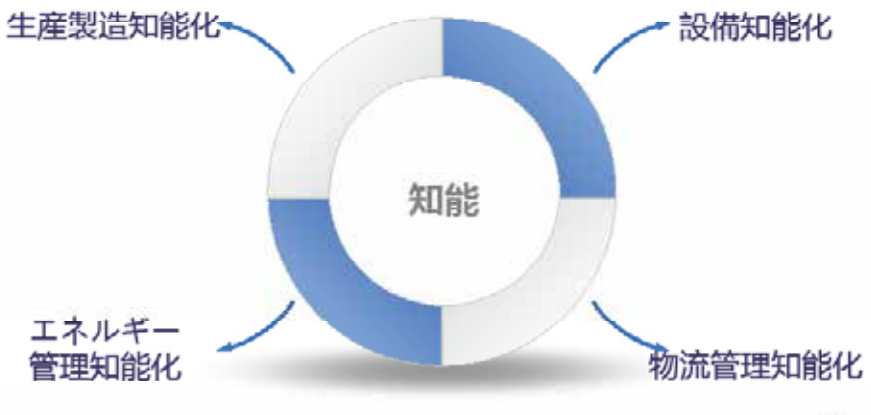
知能工作機械

工作設備
＋
モータ
＝
電気化

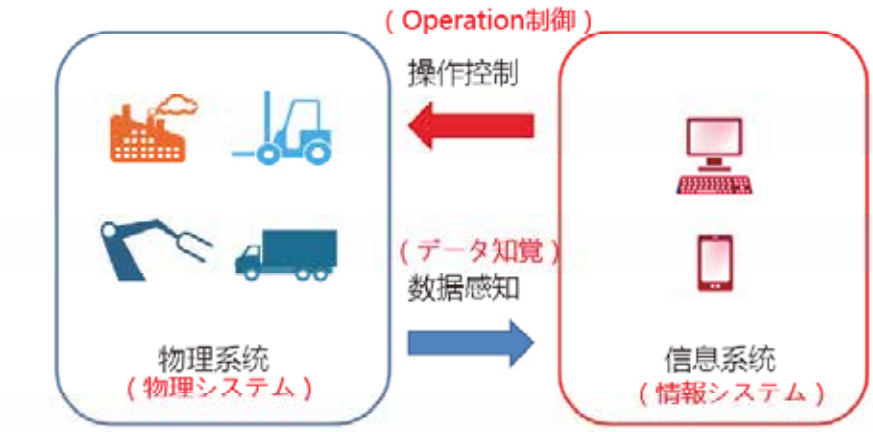
工作機械
＋
Computer
＝
Programに
従って動作

CNC工作機械
＋
知能制御
＝
プロセス最
適化

工業1.0：機械化　工業2.0：電気化　工業3.0：デジタル化　工業4.0：知能化



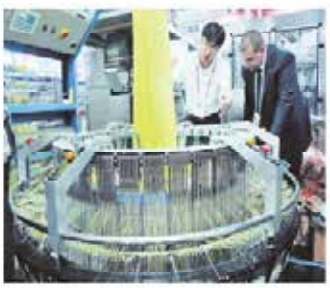
2. ドイツ工業4.0



3. 中国製造2025の概要

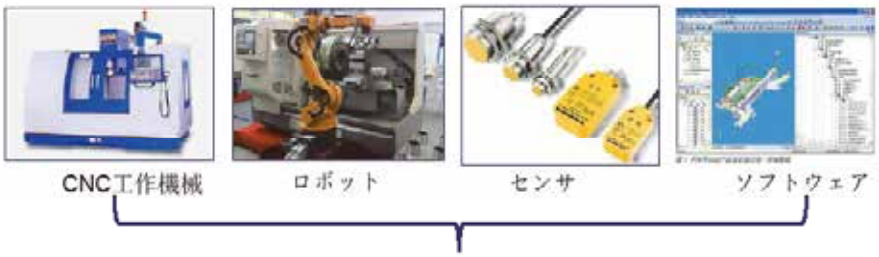
中国・ドイツ協力提携（2014．10）
製造業で工業4.0の領域で協力提携。移動通信、IOT、雲計算などの分野で協力

ドイツの工業4.0を参考にして、中国は「中国製造2025」を発表



3. 中国製造2025の概要

- 中国工信部が先頭に立って、20以上の部及び150名以上の専門家が集まって作成



- 三つの10年と三つのステップ
  - ✓ 2015-2025, 製造強国になるように
  - ✓ 2025-2035, 製造強国の中で中間レベルに達すように
  - ✓ 2035-2045，製造強国の中でトップクラスに入るように

3. 中国製造2025の概要

- 製造製品は２種類に分ける
  - ✓ 第一類：国際レベルに近い製品
    高速鉄道、エネルギー設備
  - ✓ 第二類：国の経済安全と産業安全
    航空、宇宙、海洋関係など

- 期待すること（ある専門家の予測）
  - ✓ 生産効率を20％アップ
  - ✓ コスト20％ダウン
  - ✓ エネルギー消費は10％ダウン
  - ✓ 今後の20年間、3万億ドルのGDP増を見込み

2010年10月 7大新興産業	十大分野　(2015)
次世代情報技術	次世代情報技術
ハイエンド設備	CNC工作機械とロボット
	航空と宇宙開発設備
	海洋工程設備とハイテック船舶
	先進軌道交通設備
新エネルギー自動車	省エネと新エネルギー自動車
	電力設備
新材料	新材料
生物	生物医学と高性能医療器械
	農業器械設備

✓ **先進軌道交通設備**

加快新材料、新技术和新工艺的应用，重点突破体系化安全保障、节能环保、数字化智能化网络化技术，研制先进可靠适用的产品和轻量化、模块化、谱系化产品。研发次世代環境にやさしい知能列車、高速列車と高出力機関車轨道交通装备系统，围绕系统全寿命周期，向用户提供整体解决方案，建立世界领先的现代轨道交通产业体系。

✓ **省エネと新エネルギー自動車**

继续支持電気自動車、燃料電池自動車发展，掌握汽车低碳化、信息化、智能化核心技术，提升动力電池、驱动电机、高效内燃机、先进变速器、轻量化材料、智能控制等核心技术的工程化和产业化能力，形成从关键零部件到整车的完整工业体系和创新体系，推动自主品牌节能与新能源汽车同国际先进水平接轨。

✓ **電力設備**

推动大型高效超净排放煤电机组产业化和示范应用，进一步提高超大容量水电机组、核电机组、重型燃气轮机制造水平。推进風力発電、太陽光発電などの新能源和可再生能源装备，先進エネルギー蓄積装置、智能电网用输变电及用户端设备发展。突破大功率电力电子器件、高温超导材料等关键元器件和材料的制造及应用技术，形成产业化能力。

23

北京交通大学 Beijing Jiaotong University

4. 中国製造2025とドイツ工業4.0の違い

23

- ドイツ：工業4.0を直接実施
- 中国:工業2.0と 3.0も同時に実施

4. 中国製造2025とドイツ工業4.0の違い

5. 中国におけるIOT

The Internet of things：物联网は1999年に提案され、情報センサとInternetを通じて、知能化識別を管理を実現

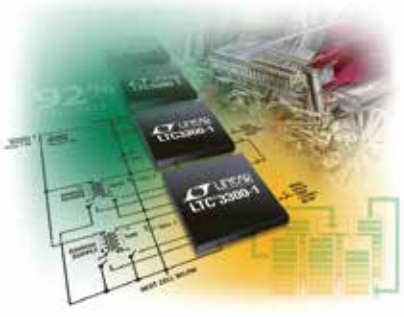
26

- 2009年8月、中国科学院、企業および複数の大学が無錫でIOT研究発展センターを設立
- IOTは国の五大振興産業の一つに

- 北京郵電大学と南京郵電大学はIOTに関する研究の重鎮
- 2009年，無錫市政府は北京郵電大学がIOT分野で技術提携と産業化に合意。
- 2009年9月10日、南京郵電大学はIOT研究院を設立、中国国内の大学では初めて
- 2012年、重慶郵電大学が国際規格に準する物联网専用のチップ（渝“芯”一号（uz/cy2420））開発に成功
- 2010年６月，無錫にある江南大学は物联网工程学院を設立
- 2011年4月，陝西省にある長安大学と西安浐灞生态区が长安大学科学技術園を建設，物联网の研究開発を中心に事業を展開
- 2013年、物联网技術を応用した中国の知能化高速列車の開発に成功

大型の直列接続バッテリ・スタックの動作時間と寿命を延ばすアクティブ・セル・バランサ

リニアテクノロジー



はじめに

大型の直列接続バッテリ・スタックは、電気自動車での電力供給や、風力、太陽光発電システムでのエネルギーの貯蔵等の用途でますます盛んに採用されてきています。電気自動車では100個のセルが直列に接続されていることも珍しくなく、代替エネルギー・システム用のエネルギー貯蔵装置ではさらに多くなります。通常、スタックは充放電システムによって一つのバッテリとして扱われます。セルは直列スタックとして充電および放電され、各セルの充電状態（SOC）は各セルの容量とリーク電流によって変わってきます。容量の揃ったセルで構成される単一バッテリとしてセル・スタックを扱うと、最初はうまく機能するかも知れませんが、長い時間がたつと次第に効率が悪くなります。

バッテリ・スタックを最初に組み立てたとき、その構成セルの容量はよく揃っていますが、時間が経過すると、周囲温度の違いなどの要因により、個々のセルは異なる速度で容量を失っていきます。単純な充放電方式を採用した場合には、容量の最も少ないセル（最弱セル）によってスタックの動作時間が制限されます。スタックを充電すると、最弱セルはその他の強いセルより先に満充電電圧に達するので、強いセルは容量一杯まで充電されません。同様に、スタックを放電すると、最弱セルはカットオフ電圧に先に到達するので、動作時間が制限されます。スタックの容量とその動作時間は、スタック内部にあるセル間の充電状態をバランスさせることで改善できます。2つのLTC3300-1セル・バランスコントローラを使用した12セル・バランサの簡略化した回路図を図1に示します。

バッテリ・スタックの動作時間と寿命を改善するLTC3300-1

LTC3300-1は、マルチセル・バッテリ・スタックのトランス・ベースの双方向アクティブ・バランス調整を行う、フォルト保護機能を備えたコントローラICです。双方向のアクティブ・バランス調整では、スタックから低充電状態セルへ電荷を転送することや高充電状態セルからスタックへ電荷を転送することができます。このようにして、スタック全体の容量が拡大されます。LTC3300-1単体では、最大6個の直列に接続されたセルをバランス調整することが可能で、その場合のコモンモード電圧範囲は最大36Vです。複数のLTC3300-1デバイスを直列に接続すると、直列に接続された長い列のセルのバランスを調整できます。独自のレベル・シフト式SPI互換シリアル・インタフェースにより、オプトカプラやアイソレータを使用せずに複数のLTC3300-1デバイスを直列に接続することができます。スタックが充電されるにつれて、すべてのセルが満充電状態に達するまで、弱いセルは放電モードで動作し、強いセルは充電モードで動作します。同様に、放電時は、すべてのセルがカットオフ電圧に達するまで、弱いセルは充電モードで動作しますが、強いセルは放電モードで動作します。これにより、スタックの動作時間が長くなり、充電／放電サイクルの回数が減るので、スタック内にあるバッテリの寿命が長くなります。

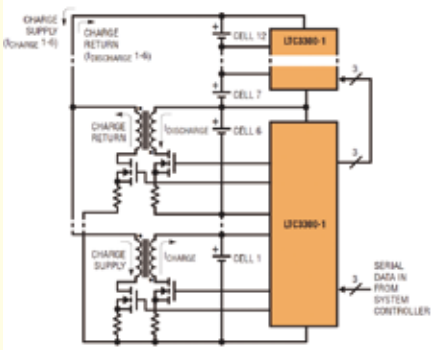


図1.　12セルのバッテリ・スタック内にある個々のセルのバランスをアクティブに調整する簡略回路

LTC3300-1では、複数のLTC3300-1デバイスを使用した場合でも、放電モードと充電モードのあらゆる組み合わせで個々のセル・バランサがすべて同時に独立して動作できます。たとえば、12セルのスタックの場合、二つのLTC3300-1デバイスを直列に接続すると、セル12を放電してセル1を充電することにより、1回のステップでセル12からセル1に電荷を移動することができます。セル間で電荷を移動する他の方法と比較すると、この1ステップ方式が最も高速で最も効率の高い方法です。1回のステップで、放電モードまたは充電モードの複数のバランサを動作させることができるので、バランス調整に要する時間を最短にすることが可能です。LTC3300-1は、読み出し機能、CRCによる通信エラー検出、最大オン時間の設定による制限、セルまたはトランス2次側の過電圧遮断機能などのフォルト保護機能を内蔵しています。

18セル構成での2次巻線の交互配線

LTC3300-1の2次巻線をインターリーブ配線することにより、大型のバッテリ・スタックに対応できます。3つのLTC3300-1 ICをSPI互換シリアル・インタフェースを介して直列に接続した18セル・スタックを図7に示します。下側のLTC3300-1のトランスの2次巻線は（セル1）の－極と（セル12）の＋極の間に接続されていますが、中央のLTC3300-1のトランスの2次巻線は（セル6）の＋極と（セル18）の＋極の間に接続されています。上側のLTC3300-1のトランスの2次巻線は、6つのセル、つまり（セル12）の＋極と（セル18）の＋極の間に接続されています。下側の2つのデバイスでは、BOOST－ピンがV－ピンに結線され、BOOST＋ピンが、それぞれのC6ピンに接続されているセルより電位の高いセルに接続されています。上側のLTC3300-1のBOOSTピンはVREGピンに接続されています。また、BOOST－ピンとBOOST＋ピンの間にフライング・コンデンサ接続されているのに加えて、6.8Ω の抵抗とダイオードを直列にしたものがBOOST＋ピンとセル6の間に接続されています。下側のLTC3300-1のVMODEピンはそのVREGピンに接続されていますが、それ以外のデバイスのVMODEピンはそれぞれのV－ピンに接続されています。

まとめ

LTC3300-1は、トランスを用いた双方向の方式を使用して、直列に接続されたマルチセルのバッテリ・スタック内にある個々のセルの充電状態をアクティブにバランスさせます。アクティブなバランス調整により、バッテリの動作時間が長くなり、その結果バッテリの寿命が長くなります。LTC3300-1は、48ピンのQFNパッケージまたはLQFPパッケージにゲート駆動回路と堅牢なシリアル・インタフェースを集積しており、ウォッチドッグ・タイマ、低電圧および過電圧保護回路を内蔵しています。各LTC3300-1は最大6つのセル・バランサを制御する一方で、SPI互換のシリアル・インタフェースを使用して複数のLTC3300-1 ICを直列に接続することにより、さらに大型のバッテリ・スタックに対応できます。

図2. 18セルのアクティブバランサ

※本記事はリニアテクノロジー株式会社様のご厚意により、LINEAR TECHNOLOGY Journal of Analog Innovation 2013年4月号の記事から一部抜粋しました

電気二重層キャパシタの安全性と保護協調

前号では、電気二重層キャパシタ（ＥＤＬＣ）の劣化診断と残存余命の推定方法について解説しました。今回はＥＤＬＣを使う上で重要な安全と保護協調について解説します。

［ＥＤＬＣの安全性］

安全性とは異常な環境状態に置かれても、また異常な使用状態においても火災、爆発等人に危害を及ぼさないことです。異常な状態としては、(一)端子短絡の発生、(二)クラッシャーによる内部短絡、(三)周囲の火災発生、(四)高温環境下での使用、(五)過電圧充電等があります。ＥＤＬＣメーカではこれらの項目について安全性確認試験を行って、十分安全であることを確認しています。

［ＥＤＬＣを安全に使用するために］

ＥＤＬＣを安全に使用するためには、

(一)過電圧にしないこと

(二)温度を上げすぎないこと

に十分気を付けることが重要です。

ＥＤＬＣが接続される直流回路には充電装置、放電装置、インバータ、チョッパ、ＤＣ-ＤＣコンバータなどの電力変換装置や給電線が接続されます。

［ＥＤＬＣ回路の遮断］

短絡事故による大きな電流の遮断はヒューズによって保護します(ヒューズによる保護については後述します)。通常の遮断には遮断器（スイッチ）によって行います。ここでな遮断器による保護について説明します。

（一）交流と直流の違い

交流とは電流(電圧)の極性が交番する電気で、直流は交番しない電気です。交流の電気の挙動を図１に、直流の電気の挙動を図２に示します。

保護協調からみた交流と直流の大きな違いは、交流では必ず電流(電圧)が零になることがあることです。

一秒間に零になる回数は図１に示すように交番周波数の２倍となります。例えば、50Hzでは１００回、60Hzでは１２０回となります。

一方直流は交流のように交番しないので電流(電圧)が零になる事はありません。

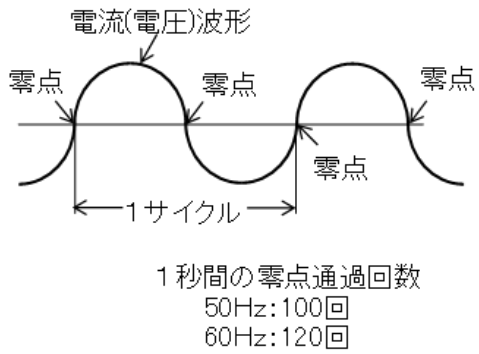


図1 交流の挙動

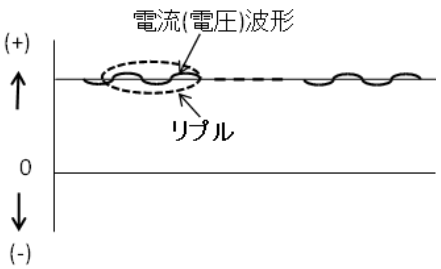


図2 直流の挙動

（二）電気を切る

電気エネルギーは電源（発電所）から家庭や負荷に給電線によって給電されています。等価的には電源（発電所）から負荷（家庭）までは1本の電線で結ばれていることになります。電気エネルギーはこの電線の中を電子が移動することによって供給されます。電源（発電所）で発生した電子の流れと家庭への給電線の電子の流れは等価的には同じですので。瞬時たりとも電子の流れを止めることはできません。

電流の流れを強制的に止めることを**「電流を切る」**又は**「回路を遮断する」**といいます。

次に遮断器（スイッチ）で**「電気を切る」**ことについて説明します。

電線の中を流れ続けている電子が回路遮断によって移動できなくなると、電線は電流を流れ続けさせようと働きます。この現象は交流でも直流でも同じです。この現象はスイッチの端子間にアーク（火花）を発生させて電流を流れ続けようとします。この現象は電線が持つインダクタンスによるものです。このインダクタンスは電流が流れることによって電気のエネルギーを溜める作用を持っていま

～ 猫でもわかる？ わかりやすい ～

連載 第11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

す。回路遮断によって電流が零になろうとするとこのインダクタンスが作用してスイッチの極間に電圧を発生させてアーク(火花)が生じます。

図3で動作を説明致します。

アークが発生しますとアーク部でアーク電圧とアーク電流の積の電力を消費します。電線に蓄えられていたエネルギーはこのアーク電力によって消費され、電流は減少し、零となった時点で遮断終了となります。交流では図1に示すように、1サイクル2回、電流が零となるので電線のエネルギーも零となります。遮断によって発生したアークはこの零点で自然消滅し、遮断が完了します。

一方、直流では交流のような電流零点がないので、アーク電力によって電線のインダクタンスのエネルギーがなくなるまで電流は流れ続けます。この挙動が交流との大きな違いです。このため、直流用の遮断器は如何に早くこのアークを消滅させるかの工夫がなされています。交流と直流の電流遮断挙動は大きく異なるので、交流用遮断器を直流用として使用することは厳禁です。

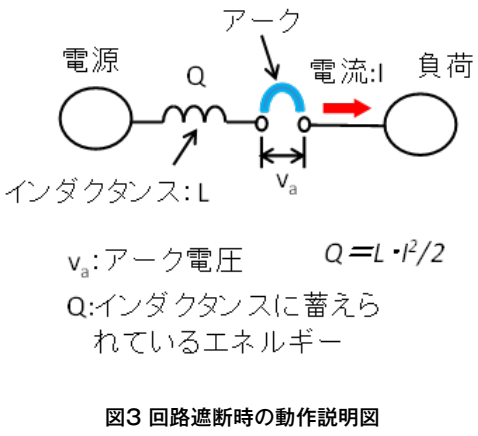


図3 回路遮断時の動作説明図

(三) EDLCの回路遮断

EDLCの回路は直流であるので遮断器は直流用を使用します。遮断器の選定に当たっては、遮断器メーカと相談することが望ましい。

[ヒューズによるEDLCの短絡保護]

EDLCと半導体電力変換器との間の直流短絡故障は半導体電力変換器側では保護できません。従って、EDLCと半導体電力変換器との間の直流回路短絡故障に対しての保護が必要となります。直流回路が短絡するとEDLCから大きな短絡電流が短時間(数秒)流れます。この短絡電流は直流遮断器(DCパワーリレーとも言います)で遮断、保護するのは困難で、ヒューズで保護します。短絡時の電流が最も大きくなる短絡はEDLC端子間短絡です。この短絡はEDLCモジュールを接続する端子台での短絡(例えば、工具による短絡)に相当します。短絡時の等価回短路を図4に、絡電流波形を図5に示します。

電流波形はRC回路の放電電流となるので、時定数τはC(R+r)となります。短絡電流のピーク値は、$V_C/(R+r)$となります。EDLCの短絡時、R≫rであれば短絡電流の時定数は使用しているEDLCの特性カテゴリーのΩFに近い時定数となり、短絡電流のピーク値はV_C/Rに近い電流となります。例えば、ΩFが2(s)のEDLCを使用した場合、端子短絡電流の時定数は2秒程度になります。

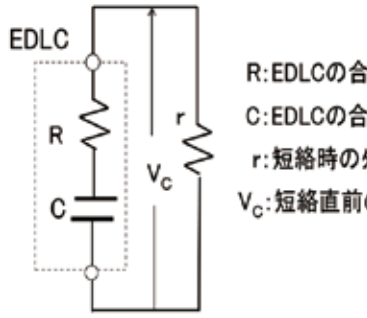


図4 EDLCの端子短絡時の等価回路

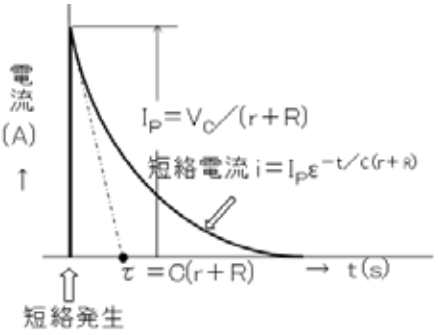


図5 EDLCの短絡時の電流波形

(一) ヒューズの電流遮断特性(溶断特性)

短絡電流の時定数は特性カテゴリーのΩFに近い値となり、数秒程度となります。このため使用する保護ヒューズもこの短時間に対応する高速溶断形であることが必要です。高速溶断形は半導体素子保護用として製品化されており、EDLC用としても使えます。図6に半

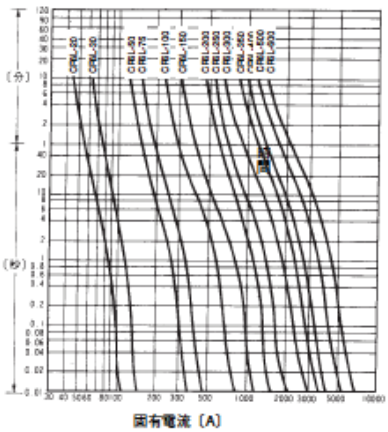


図6 ヒューズの溶断特性の一例

導体保護用高速溶断形ヒューズの溶断特性の一例を示します。

ヒューズの溶断特性の時間軸の目盛は秒と分の対数目盛で表示されています。また横軸は実効値電流で示しています。EDLC短絡電流は図5に示すように時間は秒で、電流は平等目盛です。図6のヒューズの溶断特性を時間軸を書きかえて表わしたのが図7です。

図7の半導体保護用ヒューズ150A品の溶断特性は、例えば通流時間が10(s)では700(A)以上の電流が流れれば溶断し(同図①の点)、通流時間が0.1(s)であれば1000(A)以上の電流が流れれば溶断することを示しています(同図②の点)。

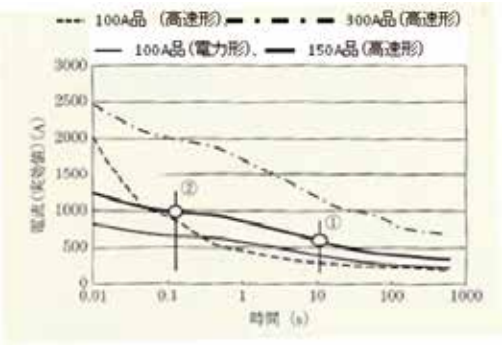


図7 ヒューズの溶断特性の一例

（二）ヒューズによるEDLCの短絡保護

ヒューズが溶断する電流以上の電流が流れれば、ヒューズが溶断して保護されます。EDLCの短絡電流をヒューズで保護するためには、図5に示したEDLC短絡時の電流波形から、図6のヒューズの溶断時間電流特性に相当する実効値表示の特性を求める必要があります。

次にその求め方を図8を用いて説明します。

図8の電流I_{RMS}はt＝0からt＝Tまでの短絡電流波形（図の斜線部分）の実効値で、式（1）で表わされ、電流実効値I_{RMS}は式（2）から求めます。同様にt＝0から順次計算しプロットしたのが実線（太線）です。

図5の短絡電流波形でI_P＝2000A、C(r+R)＝2（s）とした電流実効値をヒューズの溶断電流特性（図7）と合わせて示したのが図9です。

$$I_{RMS}=\sqrt{\left(\int i^2dt\right)/T} \quad (A) \qquad \cdots\cdots\cdots(1)$$

$$I_{RMS}=I_P\sqrt{(C(r+R)/2T)\left(1-\varepsilon^{-2T/C(r+R)}\right)} \quad (A) \qquad \cdots\cdots(2)$$

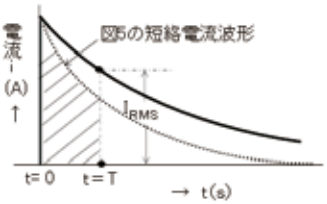


図8 EDLC短絡電流のI2t 特性

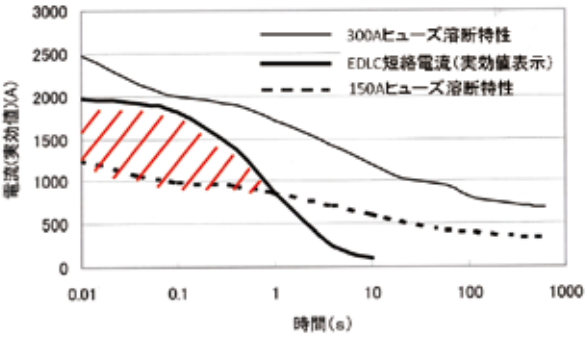


図9 ヒューズの溶断特性の一例

図9で、太線で示したEDLCの短絡電流特性線と破線で示したヒューズの電流特性線間との間の斜線で示した領域はEDLCの短絡電流よりヒューズの溶断電流値が下回っている領域を示しており、この部分でヒューズが溶断します。また、同図で細線で示した特性のヒューズではヒューズの溶断電流がEDLC短絡電流より上回っているので保護できないことを示しています。同図の例ではヒューズの特性は破線の特性を選定すれば良いことを示しております。

［EDLC回路の漏電保護］

（一）漏電保護の必要性

通常、EDLCを収納する筐体は接地されているので漏電しても人が感電することはありません。接地されていない場合は図10に示すように漏電電流は人体を流れ感電することになります。自動車などでは、筐体はタイヤで大地とは絶縁された状態でありますので、漏電検知

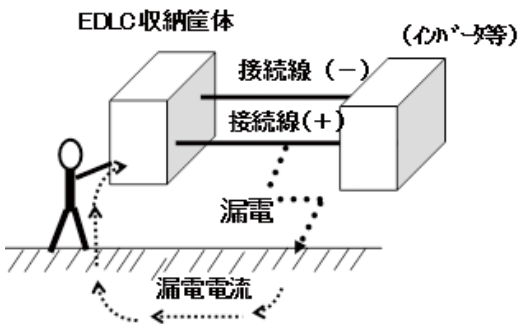


図10 漏電による感電

が必要となります。

（二）漏電検知の基本技術

ここでは漏電検知について図11で説明します。漏電電流検出の基本は2本の電線の差電流を検出します。図11では①と②の2か所で差電流を検出します。A点で漏電が発生しますと、A点からら大地に漏れ電流iが流れます。差電流検知点②では2本の電線の電流は同じですので差電流は発生しません。電流検知点①では漏電した線には電流iが多く流れますので2本の電線に差電流が発生しますので、検知点①と②との間で漏電したことがわかります。

（三）差電流の検出

差電流の検出方法は交流と直流とで大く異なります。交流は前述しましたように電流が交番しますのでCTによって簡単に検出できます。図12で説明します。

（＋）給電線と（－）給電線の電流が同じであれば、検出コイルには電流は流れません。差電流が生じれば検出コイルに差電流が流れます。この検出コイルの電流の有無で漏電が簡単に検出できます。

一方、直流ではこのCTが使えないので特別に工夫して直流回路の漏電を検知しています。図13はDCCT方式による方法の一例です。2本の電線に電流差が発生すると、その電流差に比例した磁束が空隙に発生しますのでこの磁束をホール素子で検出します。図14にDCCTの動作特性を示します。DCCT方式による直流用漏電検知器は市販されています。

図15は、キャパシタ（コンデンサ）カップリング方式による直流の漏電検知回路例です。高周波電源からカップリングキャパシタ（コンデンサ）を介して、＋側給電線、－給電線に接続します。この接続線に高周波CTをそれぞれ挿入します。給電線に漏電がなければ、CTには電流が流れません。漏電が発生しますと漏電電流がCTに流れますので、前述の交流のCT原理で、CTの検出コイルに漏電電流に比例した電流が流れ、漏電を検知します。

同方式の漏電検知装置も市販されています。

今号の解説内容は下記の本に書かれています。参考にして下さい。次号のEDLC解説シリーズのテーマは未定です。

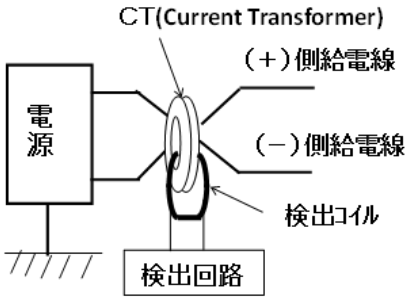


図12 交流の漏電検知

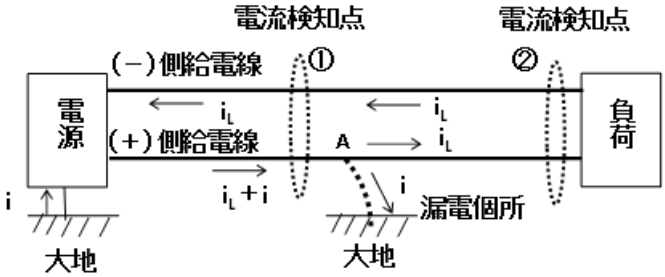


図11 給電線の漏電

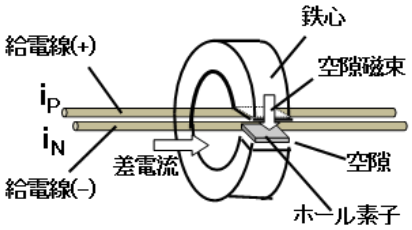


図13 DC-CTによる直流の漏電検知

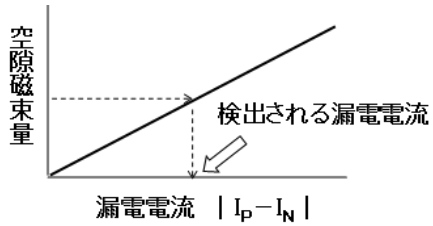


図14 DC-CTの動作

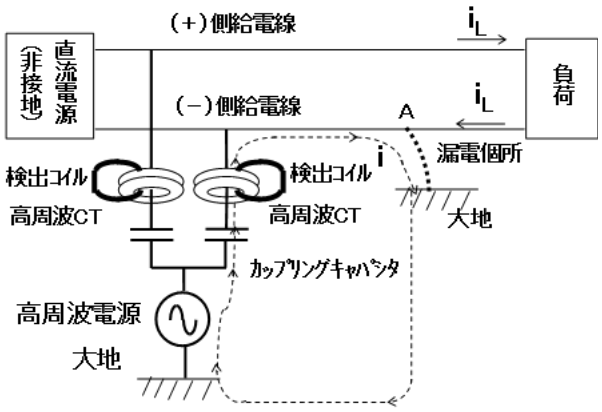


図15 カップリングキャパシタ方式による直流の漏電検知システム

JMエナジー株式会社

エコノミーとエコロジーの融合を実現する
JMエナジー株式会社
www.jmenergy.co.jp

会社概要

JM エナジー株式会社は、2007 年 8 月に JSR のグループ企業として発足しました。2008 年 12 月に山梨県北杜市にリチウムイオンキャパシタ(LIC)の研究開発および生産拠点を設置、2015 年 3 月にはこの規模として世界初の LIC の量産工場(生産能力：最大 300 万セル/年)を竣工し、多様な用途に向けて LIC 製品を提供しております。

LIC の原理

LIC は、電気二重層キャパシタ(EDLC)と同様の活性炭からなる正極と、リチウムイオン電池(LIB)に使用される炭素負極を組み合わせたハイブリッドキャパシタの一つです。正極では EDLC と同様に活性炭へのイオンの吸脱着、負極では LIB と同様に炭素材料へのリチウムイオンのドープ/脱ドープを利用して充放電を行います。

ULTIMO®の特徴*

高エネルギー密度・高出力： 弊社の LIC 製品(ULTIMO®シリーズ，図 1)は、独自のプレドープ技術により負極電位を下げることで活性炭の容量を有効に利用することができるため、従来の EDLC よりも高いエネルギー密度だけでなく、EDLC の特徴でもある高い出力密度を達成しています。

長寿命： ULTIMO®は、充電時の正極電位が EDLC よりも低い設計になっており、充放電サイクルを繰り返しても特性の劣化が抑えられ、高い耐久性を有しています。

優れた安全性： 正極に遷移金属酸化物を使用している LIB とは異なり、ULTIMO®の正極には活性炭を使用しているため、原理的には熱暴走反応が起こらず、安全性に優れています。

LIC の用途例

ULTIMO®の特徴であるエネルギー密度および出力密度の高さを利用し、瞬低補償装置等のバックアップ用途、無人搬送装置(AGV)や医療機器等の電源用途、建設機器やフォークリフト等の回生用途などが代表例です。エネルギーの利用効率を高めて環境への負荷を軽減することが求められており、弊社の ULTIMO®の特徴を活かした用途がさらに広がることが期待されます。

図 1. U LTIMO® 角型セルの写真

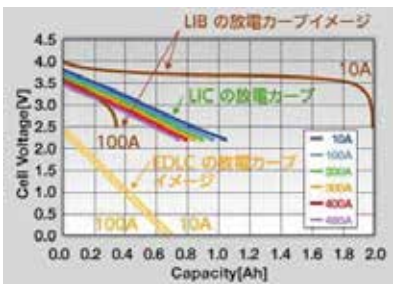


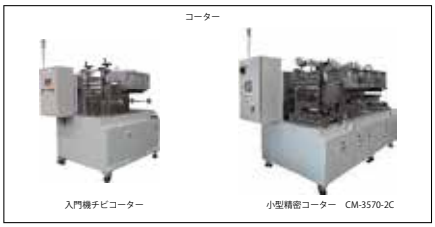
図 2. ULTIMO®および他の各種蓄電デバイスの放電カーブ(イメージ図)

※これらの試験結果は、それぞれ記載の試験条件の下で観察されたものであり、
異なる条件の下での同様の結果を保証するものではありません。

株式会社サンクメタル
THANK-METAL CO., LTD.

当社は主に LIC、LIB、EDLC などの試験用設備を設計・製造販売および、アルミラミネートフィルムの絞り加工、成形性評価、エキスパンドメタルの製造、電池材料を販売している会社です。主な試験用設備は、撹拌機、コーター、ロールプレス、スリッター、真空注液装置、積層装置などは標準化されております。また、標準以外の仕様についても打合せの上特注対応として製作が可能です。

コーターは入門機のチビコーター（塗布幅 150mm、乾燥炉 300mm～ 500mm1 炉）から、防塵システムを備えたダイレクトコート、転写式コート（間欠塗布）ができるコーター（塗工幅 MAX.600mm）まで幅広くラインナップされています。
また、当社のコーターはユニット化されておりますので、塗工ヘッドの交換、乾燥炉の追加などが設置後も対応できます。

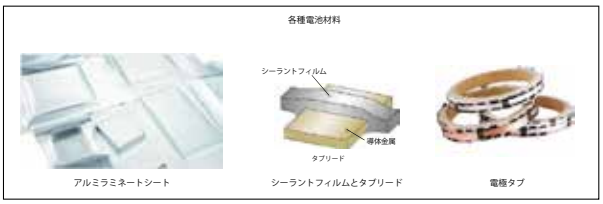


ロールプレスは、メカ式・エアーハイドロ式・油圧式の 3 方式が有ります。
仕様はメカ式で最大 3 トン、エアーハイドロ式で 20 トン、油圧式で最大 30 トンまでラインアップされています。（油圧式で 50 トンの製造実績あり。）

スリッターは入門機の卓上型スリッター、スリットした後にカットする、スリット＆カッター、ロール to ロールスリッターがあります。
卓上型スリッターは原反幅が最大 300mm、スリット＆カッターは最大幅 600mm、ロール to ロールスリッターは最大幅 700mmです。

真空封止装置及び真空注液装置はセルの形状と方式により、多種類の装置を標準化しております。真空封止装置は電解液を事前に注液したラミセルを装置にセット後、設定した真空度で熱シールする装置です。真空封止装置は円筒型 / 角形用とラミネート電池用があります。各々の装置は電池サイズにより数種類のラインナップが有ります。

各種電池材料としては、アルミラミネートシート（成型可能）、タブフィルムとタブリード、電極タブ材料、銅箔、アルミ箔、セパレータ、エキスパンドメタルなどが有ります。



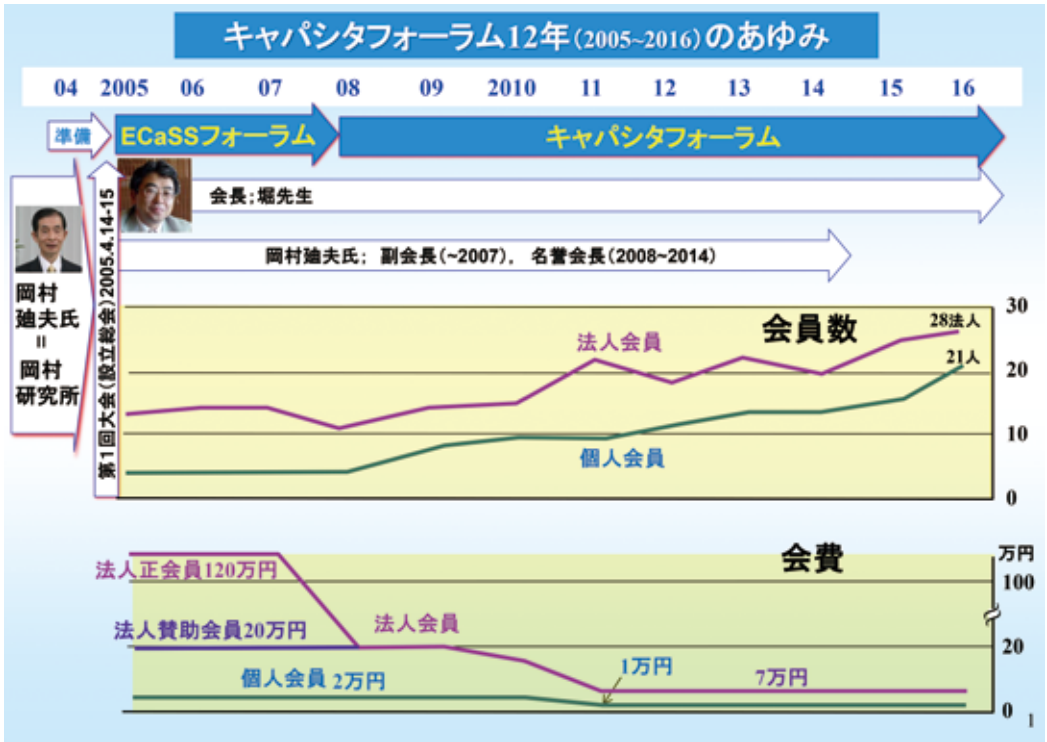
社工場には**レンタルラボ**が常設しており、LIB や EDLC の製造工程で使用する装置を使用できます。常設設備は撹拌機、コーター、ロールプレス、スリッター、真空注液装置、巻取装置、積層装置、各種測定装置が用意されていますので、材料を持参してこちらの設備を使用することで、**評価用の LIB,EDLC が製作**できます。

拠点一覧

■本社・三木工場 ：〒673-0756　兵庫県三木市口吉川町南畑字住泉寺 403 番地
TEL:0794-88-2177
■社（やしろ）工場：〒673-1465 兵庫県加東市喜田 1 丁目 5 番 1 2 号
TEL:0795-43-9028
■神　戸　支　社 ：〒651-0084 兵庫県神戸市中央区磯辺通 3 丁目 2 番 11 号
三宮ファーストビル 3 F303 号室
TEL:078-252-1670
■東 京 営 業 所：〒130-0013　東京都墨田区錦糸 1 丁目 2 番 1 号
アルカセントラルビル 14F
TEL:03-6853-6663

キャパシタフォーラム12周年

2016年度はキャパシタフォーラムがE-Cassフォーラムとして発足してから12周年を迎えました。
その歩みを佐々木様がご講演に使われた資料を16年度実績を加えていただき紹介いたします。



おもな活動 その2 特別活動

04 2005 06 07 08 09 2010 11 12 13 14 15 16

ECaSSフォーラム

キャパシタフォーラム

08/8 高知フォーラム

10/9 上海フォーラム

11/4 北京フォーラム

12/11 台湾フォーラム

13/11 韓国フォーラム

14/5 海外から講師招聘

15~ 大学等研究者への研究支援

16/5 公開セミナー講演会

16/12 中国との交流会

・現地企業・大学等との講演会・見学会

・電気学会D部門大会とのキャパシタOS共催

中国・韓国から招聘

上海交通大、同済大 等と交流

北京科技大

北京交通大

延世大にてEDLC フォーラム
KAISTワイヤレスパス見学等

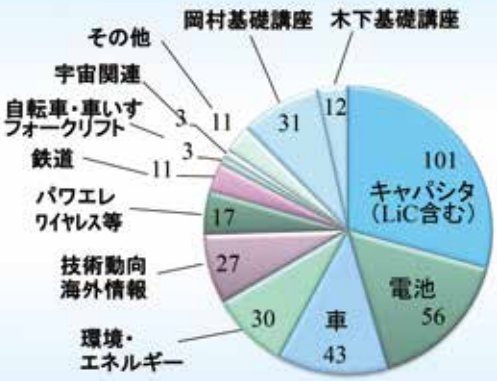
寧波公共交通・浙江中車
および江蘇常隆客車と交流

3

年次大会・月例フォーラムにおける講演会の回数と内容

講演件数 (2004~2016年度)

講演内容



(数字は件数、一部重複あり)

4

2016年度活動報告

[２０１６年度年次大会]

２０１６年５月２０日東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライトで総会及び１２周年記念技術セミナーとして下表の講演が行われた。

①堀洋一会長	①モータ / キャパシタ / ワイヤレスというパラダイム	⑤千葉大学大学院 近藤圭一郎様	⑤鉄道車両への蓄電技術応用
②個人会員 佐々木正和様	②キャパシタフォーラム１２周年を迎えて	⑥㈱本田技術研究所 野口実様	⑥車載用電気二重層ｷｬﾊﾟｼﾀ (EDLC)
③東京大学大学院 堀・藤本研究室 黄孝亮様　畑勝裕様	③電気自動車の走行中給電の為の電池・キャパシタ・ワイヤレス電力伝送によるハイブリッドシステムに関する基礎研究	⑦電力中央研究所 池谷知彦様	⑦低炭素社会実現に向けた電力貯蔵技術への期待
④トヨタ自動車（株） 立花武様	④自動車用補機電源の変遷とアイドルストップ	⑧次世代宇宙システム技術研究組合 山口耕司様	⑧超小型衛星で開く宇宙の産業化

〔定例フォーラム〕

定例フォーラムは下表のように計７回開催された。

①個人会員　木下繋則様 ② JFE テクノリサーチ（株）　島内優様	①第１２回基礎講座 ②蓄電池材料の分析・解析技術	③大塚化学（株） 河野和浩様	③リビングラジカル重合を用いた高性能ポリマーの開発と工業化
①個人会員木下繋則様 ②サンケン電気（株） 麻生真司様	①第１１回基礎講座 ②ﾏﾙﾁﾌｪｰｽﾞ技術によるＤＣ－ＤＣコンバータの小型・効率化	③東北大学　白方雅人様	③東北大のＬｉＢ多品種少量生産への試み
①個人会員木下繋則様 ②クラレケミカル（株） 田中誠様 三菱製紙（株） 金田安生様	①第１０回基礎講座 ②中国交流会参加報告	③ｴﾈﾙｷﾞｰﾊﾟﾜｰｼｽﾃﾑｽﾞ（株）堤香津雄様	③ General Introduction to Energy Power system
①個人会員木下繋則様 ②（株）サンクメタル 古村和巳様	①第９回基礎講座 ②最近の設備投資から推測する電池業界への弊社の取組み	③東京大学大学院 堀・藤本研究室 竹内琢磨様	③ＬｉＣを搭載したワイヤレスインホイールモータのシステム制御に関する基礎研究
①個人会員　木下繋則様 ②日置電機（株） 高橋哲哉様	①第８回基礎講座 ②蓄電デバイスの検査方法の提案	③長岡技術大学 日下佳祐様	アクティブパワーデカップリング技術からみたキャパシタへの要求
①個人会員　木下繋則様 ②個人会員佐々木正和様	①第７回基礎講座 ②多様な XEV　Bus への LiB/EDLC 応用の可能性	③千葉工業大学 新井浩志様	③ M2M/IoT/CPS の動向とエネルギーマネジメント
①個人会員木下繁則様 ②特許庁審査第四部電気機器　田中晃洋様	①第６回基礎講座 ②特許出願からみた電気化学キャパシタの技術動向	③（株）Naturanix 金澤康樹様	③ＪＣ 08 モードにおけるハイブリッド電源システムを用いたバッテリ電流最小化手法

INFORMATION

－事務局から－

２０１６年はＥＣａＳＳ始まったキャパシタフォーラムの１２周年に当たりました。

１２年の歩みについてはＰ45,46に佐々木様が講演された資料を抜粋して載せてありますのでご覧ください。

これを記念してこれまで会員だけで開催していた年次大会のフォーラムを「キャパシタフォーラム１２周年記念技術セミナー」として外部の方もお招きして開催いたしました。会場も毎年リコー様のご厚意でお借りしていた同社新横浜事業所の役員会議室から東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト多目的ホールを借用、１００名以上の参加のもと盛大に行われました。講演者と講演題目はＰ47の活動報告に載せてあります。

会報１２号のメインテーマとなっている中国訪問は２０１６年１２月に行われました。

記事に詳述されておりますが、ＥＶバスへの中国の非常に積極的な開発、実用化に参加された皆様が驚いておられました。

もう一件本年度初めて韓国からエルエスエムトロン社が会員になられました！

本年度も活発な活動ができますよう会員の皆様の積極的な参加をお願いいたします。

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。

会員企業（２０１７年4月時点）

アイオクサスジャパン(株)
アドバンストコンポジット(株)
エルエスエムトロン(株)
(株)大木工藝
大阪ソーダ(株)
大塚化学(株)
(株)小松製作所
菊水電子工業(株)
クラレケミカル(株)
(株)サンクメタル
サンケン電気(株)
ＪＭエナジー(株)
住友商事(株)
(株)センチュリーアークス
ＴＯＣキャパシタ(株)
(株)デンソー
東洋合成工業(株)
(株)豊田中央研究所
日本ケミコン(株)
日本ゼオン(株)
パナソニックデバイスシステムテクノ(株)
日置電機(株)
ヘッドスプリング(株)
三井金属工業(株)
三菱製紙(株)
三菱電機(株)
ＵＤトラックス(株)
リケンテクノス(株)
(株)リコー　　（個人会員21名）

編集後記

今の世の中でＰＣ無しの生活はほとんど考えられません。特に仕事には欠かせません。

最初に管理職だけはＰＣが支給されたような気がしますがそれが２０年くらい前でしょうか。（いい加減です）私はそれより多分１０年位前にＮＥＣのラップトップといっても今のデスクトップより大きなＰＣで一太郎と名前を忘れましたが計算ソフトを見よう見まねで使い、従って難しいことは今でもできません。

なぜこんなことを書いたかと言いますと会報を編集作業をすると記事の体裁を整えなければならない原稿があり、おかげさまで少し腕が上がっているかもしれません。７３の手習いです。

キャパシタフォーラム会報誌　　２０１７年４月発行　編集/発行：キャパシタフォーラム事務局
ウェブサイト：http://capacitors-forum.org/　メール：zimukyoku @capacitors-forum.org