CAPACITORS FORUM

キャパシタ フォーラム

vol.14

キャパシタフォーラム会報　2019年　通巻14号

年次大会スナップ

月次フォーラムスナップ

年次大会会長挨拶

企画委スナップ

目次

会報発行に寄せて　堀会長……3
kWhの価値からWhの価値へ　伊東洋一……5
Mobility As A Service　穐場亨……7
パワー電池の開発と性能　導電性高分子正極　瀬和慎吾……12
電気二重層キャパシタを適用した
Zソースコンバータ　千住　智信……16
インドフォーラムレポート
インドの政策と実際　佐久間・金田・山内・岸……21
テクニカルセミナーについて　伊東・真島・吉澤・吉田……27
ホンダIndia見学・技術交流会
眞田・岡田・國嶋・Krishnan・岩見……31
インド文化に触れて　朝山・宮野・渡辺・佐藤・福地……34
参加者一言感想……40
キャパシタ解説シリーズ（第13回）木下繫則……43
2018年度フォーラム活動実績　事務局……47
事務局からお知らせ他　事務局……48

CONTENTS

会報発行に寄せて

会長　堀　洋一

キャパシタフォーラムの発足会が，平成16年4月14～15日に，熱海の三井物産「人材開発センター」において泊まり込みで開催されている。岡村先生の作られたNCassフォーラムを，色のつかないいわば学術的なフォーラムに変身させてほしいと要請されてのことである。その詳細は「岡村先生追悼集」に書いた。

「発足準備会」事務局の平野貴人さんから案内状が発信され，岡村先生の記念講演もあった。あれからすでに13年が経過し，毎年発行している会報も今回で14を数えるに至っている。思えば，それなりに遠くまで来たものである。

キャパシタの良さは徐々に世間に知られるようになり，たくさんの応用事例も見られるようになった。経産省の「省エネ技術審議会」（2018年暮れにロードマップを公開）でも，自動運転，走行中給電などとともに，これからの重要な技術と位置づけられている。すぐには利益が出なくても情熱をもって辛抱強く活動を保ち続けることもまた肝要である，という思いを新たにしている。その意味でフォーラムのメンバー企業には，心から敬意を表したい。

昨年11月にインドに見学旅行を行った。佐久間副会長，ホンダIndiaの為乗さんの尋常ならざるご尽力，現地業者のかゆいところに手が届くマネージメントによって，20人規模の大団体になったにもかかわらず，きわめてスムーズで有意義な訪問となった。これ以上のツアーはないだろう。その詳細は今回の会報で報告されるのでご一読いただきたい。ラフな予定は左記の通りである。

①11／23（金）羽田発→夕方デリー着（Metropolitan & Spa泊）
②11／24（土）政府要人などとテクニカルセミナー，デリー市内観光
③11／25（日）タージ・マハル，アーグラ城見学
④11／26（月）ホンダｎｄｉａ工場見学と技術交流会→夕方便で帰国

当初は数人行ければ十分ですね，などと言っていたが，最終的には大人数となった。こういう珍しい機会とは清水の舞台から飛び降りるつもりで決断しないと，一生行かずじまいになる。同行した方々には心より感謝したいが，たぶんお値段以上だったのではないだろうか。

インド「政府要人」たちのコメントからは，インドでも電動化の流れは確かにあるけれども，現実的な道筋をつけていくことが当面の課題であり，ホンダさんにはその手助けをしてほしい，という要望が感じられる。その構図を受けるホンダは実に立派である。

ただ，人間は正論の理屈では動かないこともまた事実であって，情熱→信念→思い込み，が必要な生物でもある。

キャパシタフォーラムでは，ほぼ毎月の月例会，年次総会（昨年は発足12周年記念会），会報や応用事例集の発行などの活動を行ってきたが，難しい話のあとの交流会がまた楽しみである。「クルマは電気で動いても人間様は液体燃料が必要である」という屁理屈のもと，懇親会はいつも大騒ぎになって，メンバーの情熱が半端ないことがわかる。これがお通夜のような呑み会になったらおしまいである。

小生は，インドの訪問は4回目であった。ムンバイでの国際会議や観光，大学の立ち上げのために，ジャバルプールという田舎町に1週間ほど滞在したことなどを思い出す。そのころは通信もかなり不便であったが，最近はLINEで家族とも簡単につながるので，旅行中の安心感は昔とは比べようもない。家の1階と2階でやり取りしているのと何も変わらない。

ただ，この国の貧富の差はほとんど改善されていないように見える。これは行ってみないとわからない。ホテルで美味しい食事をいただきながら，道端あるいは大きな道路のど真中で，小さな土産物を売っている幼い子供の姿が瞼を離れず，なぜこのようなことになっているのか，という答えようのない疑問を抱かざるを得ない。タージ・マハルやアーグラはもちろん素晴らしいけれども，この大理石1つだけで，いったい何人の人々の生活を改善できるのか，考えるだけで気が遠くなる。まあ，日本の世界遺産も似たような社会構造の産物であろう。偉そうなことを言いながら，自分は大名旅行的観光を楽しみ，遺跡を作ってくれた王様に感謝する。ホテルに帰れば快適なベッドで眠る。

さまざまな力を使って人を説得したり，蹴落としたり，悪口を言ったり，あるいは強欲に金持ちになっても，すべてあの世に持っていけないことは，これだけは間違いなく絶対的な真実である。人工知能で故人の脳を再現できるようになったとしても，それは本人ではない。周りの人が，彼はまだ生きているようだと思うだけで，ご本人はもう消滅している。そんな面倒な時代になる前に人生を逃げ切りたいものである。インドに行くと，いつもそういうことを考えてしまう。

たとえば，帰りの飛行機で人事不省になってあの世に行ってしまう，というのも悪くないかな。素晴らしい仲間たちやCAさんが親切にしてくれるし，そのまま遺体は日本に運ばれるので一石二鳥である。

妄言多謝。

堀　洋一

（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）

kWhの価値からkWの価値へ

理事　伊東　洋一（サンケン電気）

キャパシタフォーラムには約8年、お世話になっています。私は電源屋で、キャパシタを活用する立場からいろいろと勉強・意見させてもらっています。電源は動いて当たり前のもので、空気とおなじようなものです。仕事で使用する数十万円するパソコンがハングしても、「次回からデータをこまめにセーブしよう」と思うだけでコールセンターにクレームを入れることはないです。しかし、パソコンの1／10の値段の電源でも、もし、落ちたら大変です。すぐにクレームの電話がかかってきて、駆けつけです。そんな理不尽な電源屋です。もし、江戸時代でしたら「士農工商」の後、「電源屋」です。きっと。と思っていたら、数年前JAXAのはやぶさプロジェクトのバッテリを担当された方の講演をキャパシタフォーラムで聞いたのですが、バッテリ屋さんもたいへんなようです。はやぶさがイトカワについて使われるまで温存。いざ使えなかったら大変なことになりますので。電源屋もバッテリ屋さんも似たようなものだと思いました。

さて、キャパシタもバッテリの仲間です。電気を貯める蓄電要素（バッテリ）には充放電特性から見て2つに大別できると思います。電気をたくさん蓄えられるが、電気の出し入れが小さいもの（kWhの価値）。電気はそんなに多く蓄えられないが、電気の出し入れは大きいもの（kWの価値）。代表的なものとして、前者はリチウムバッテリ、後者はキャパシタとなります。実用的に見て、両方を満足するバッテリはまだありません。キャパシタはよくリチウムバッテリと比較され「kWh単価が高いので使えない」ということを聞きますが、そもそも持っている価値がちがいます。電力用途の市場において近年、自動車に使用され燃費向上に貢献しています。キャパシタのkW価値を引き出しています。日本の電力系統においては、kWの価値は低く、再生可能エネルギーの普及と電力の取引の普及によりその価値が高まると予想できます。

最近、「RE100」（Renewable Energy 100%）という言葉をよく聞くようになりました。会社で使う電力を100%、再生可能エネルギーにより調達することを目標に掲げる会社が加盟できるイニシアチブです。The Climate Group（国際環境NGO）が2014年に開始しました。グローバルで164社（2019.2.16時点）、よく知られている会社が加盟しています。日本では、2016年4月に電力が自由化され、調達先を選択できるようになり、RE100に加盟することが可能となりました。再生可能エネルギーは不安定であり、それに切り替えることは経営リスクが大きいため、会社はRE100への参加は消極的でした。株主やステークフォルダーからの要求が徐々に高まりつつあり、日本でも加盟する会社が増えてきています。90年代終わりに話題にったISO9001認証取

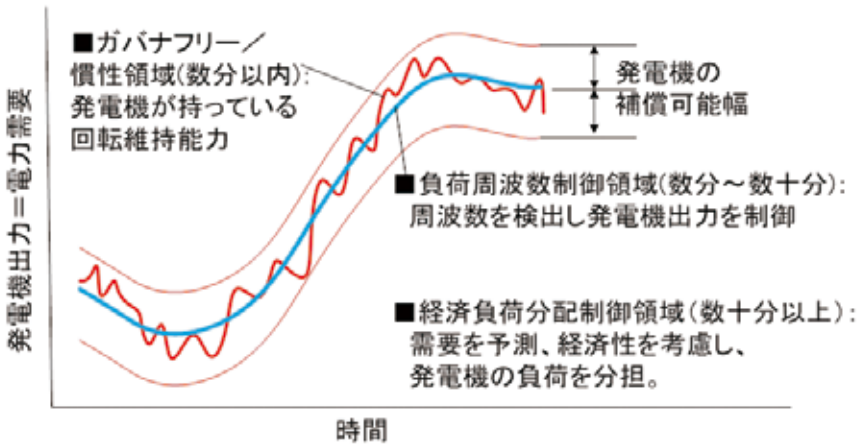
得のように、RE100に加盟していて当たり前の時代が来るのかもしれません。

RE100の取り組みにより日本において再生可能エネルギーの導入が政府主導ではなく進むことが考えられます。導入率が上がれば上がるほど、系統の安定化のためにkWの価値が高まります。本誌の読者であればご存知の事ともいますが、電気は発電と消費が瞬時で同量である必要があり、突風が吹いたり、太陽が曇ったりして発電電力が激しく変わる再生可能エネルギーを単純に増やしていけば、大規模な停電を招きかねません。蓄電要素を用いて発電所で調整できるレベルに電力変動を抑制する必要があります。変動成分は、数秒から数時間単位で変化します。数分以下の変動は、通常、発電機の慣性力で補償されます。ガバナフリーと呼ばれています。（下図参照）再生可能エネルギーの容量が増え発電機の容量が減れば、慣性力が弱まります。2020年にはkWhの市場に加えてΔkW・ΔkWhそして、kW市場ができ、さらに分散型電源の進展で、市場におけるkWhの量・価格が低下。柔軟性と容量の価値取引が主体になると予想されています。

このような時代になればkW価値が向上、電力系統においてキャパシタを用いた補償システムが活躍することができます。加えて、電力取引のリアルタイム性が上がれば上がるほど、電気を蓄える必要がなくなるためkWhよりもkWの価値が上がります。キャパシタは繰り返し充放電寿命が長く、環境負荷も軽いため電力設備に向いていると言えます。近い将来、次世代の電力系統においてキャパシタ応用が展開されることが期待できます。

参考資料：シンポジウム 2017年度第1回再生可能エネルギー経済学講座 シンポジウム「再生可能エネルギー導入拡大に向けた系統の現状と今後」 東京電力　穴井

以上



系統における電力変動と制御領域

Mobility as a Service―移動の革新―

稲場　亨

●はじめに

ここ一年ぐらいのことだが、Mobility as a Service（略してMaaS（マース）ということが多い）という言葉を新聞等で目にする機会が多くなってきた。

MaaSは、まだ比較的新しい概念であり定義も定まっているわけではないが、移動（mobility）に必要な一連のサービスを改めてひとつのサービス（a Service）にまとめなおし提供しようというものである。MaaSは、これまで欧州、特に北欧を中心に進んできたが、ここでは、その登場する背景、先行するフィンランドの状況、課題について簡単に触れたい。

●背景

MaaSが登場する背景には、大きく2つの流れがあると言える。ひとつは、移動手段の多様化であり、もうひとつは、社会的課題の解決である。

移動手段の多様化（図表1）：少し前までは、普段利用できる移動手段としては、時刻表に従って動く電車・バス、ドアツードアのタクシー、もしくは個人や家族で所有する自動車等が一般的だったが、ここにきてシェアリングを中心としたさまざまな移動手段（サービス）が登場してきた。

シェアリングも大きく分けて、カーシェアリングように移動手段だけをシェアするサービスと、いわゆるライドシェアリングと言われるタクシーのように運転手付きのサービスの二つのタイプがある。それらにも多種多様なサービスのバリエーションが存在するとともに、運営に関しても自治体が主体となっているもの、交通事業者によるもの、個人間での融通やサービス提供よるものなどさまざまな形態が存在している。

実際に目的地まで移動する場合は、公共交通手段とこれらのサービスを組合せることになるが、これらのサービスを提供する事業者のひとつひとつと契約し、その都度個別に予約するというのはいささか面倒である。そこでさまざまな移動サービスを利用者視点でひとつのサービスとしてまとめ、簡単・便利に利用できるサービス（MaaS）の登場が望まれることになる。

社会的課題の解決（図表2）：世界を見渡すと、都市化（都市の過密化）、経済格差の拡大、高齢者の増加などさまざまな社会的課題が存在している。

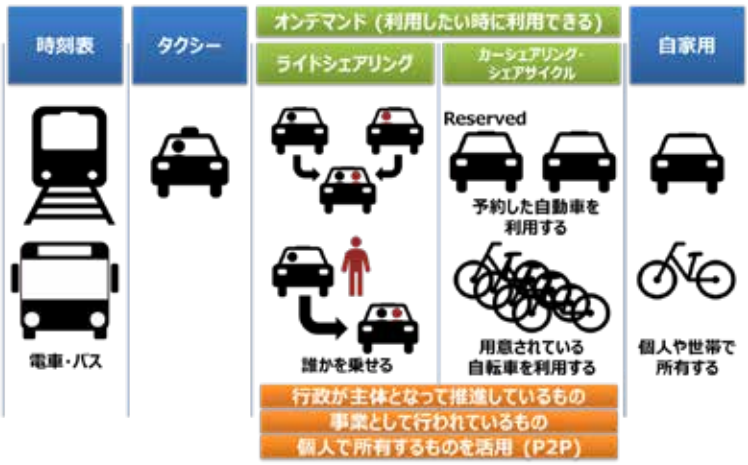


図1　移動手段の多様化　―シェアリングの普及

都市が過密化するなかで現在同様に自動車の利用を進めて行くと、駐車場の不足、渋滞の悪化、大気汚染などが深刻化していくことになる。これに対し、例えば、運転手一名しか乗っていない自動車（SOV：Single Occupancy Vehicle）を減らしていくことが必要とされてくる。

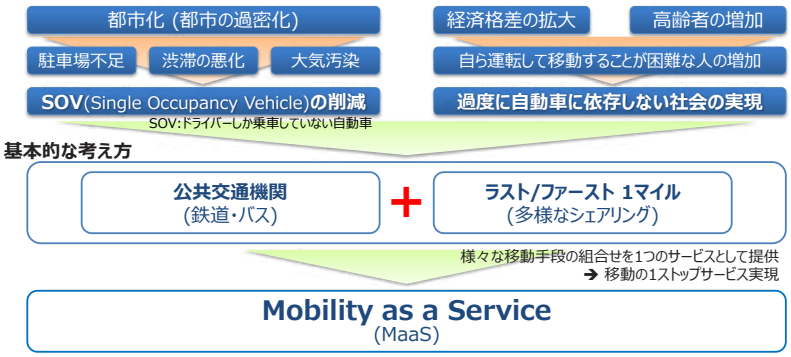
また、経済格差の拡大や高齢者の増加に伴い自ら自動車を所有し運転して移動することが困難な人の増加が懸念され、過度に自動車に依存しない社会の実現が求められてくる。

このような社会的課題に伴い生じる移動の課題の解決に向けては、公共交通手段を軸に、駅やバス停まで、また実際の目的地までのいわゆるファースト、ラスト・マイルを支える移動手段を組合せることが有効である。

このような移動の促進には、多様な移動サービスを組合せシームレスに利用できるサービス（MaaS）の提供が望まれる。

●先行するフィンランドでの状況

多様化した移動手段を簡単便利に利用したいという利用者のニーズ、また、社会的課題の解決という社会のニーズからその実現が望まれ、北欧を中心に社会実験等が続けられてきたMaaSであるが、事業の形でサービスが提供され始めたのは、二〇一六年になってからのことである。



図表2　社会的課題の解決

「Whim」の登場：この年、フィンランドのヘルシンキでMaaS Global社がWhimという名称でMaaSの提供を始めたのが最初とされる。それまでは専門家の間でややもすると理想論として論議されている話題という域を出なかったが、これを契機にMaaSへの関心が一気に高まった。

同社が掲げた価値は「Better than your own car」、すなわち、各自が自動車を所有することに勝るサービスの提供である。図表3に、MaaS Global社が提案したサービスコンセプトを示すが、例えば、左から二番目のものであれば、月額二四九ユーロ、三万円強を支払うことで、ヘルシンキ市内の公共交通は乗り放題、一〇km以内のタクシー利用が月八回、月二日間のレンタカー利用が可能となる。普段は電車・バス等を利用し、買い物で荷物が多くなった時など必要に応じてタクシーを利用、そして、ある週末はレンタカーで遠出するといった個人の移動ニーズをひとつのサービスとして提供しようというものである。

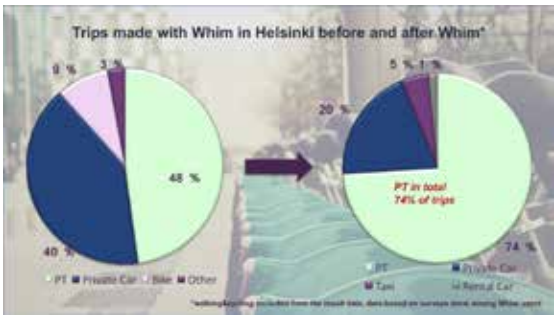
また、その提供方法も、サービスの購入から、目的までの移動手段の検索・選択、そして必要に応じてチケットの発行までを

たったひとつのスマートフォン・アプリで実現するというものであった。現在実際にヘルシンキで提供されているサービス内容は、これらとは多少異なるものの、このコンセプトが踏襲されている。

図表3 「Whim」のサービスコンセプト
（出典：Maas Global社）

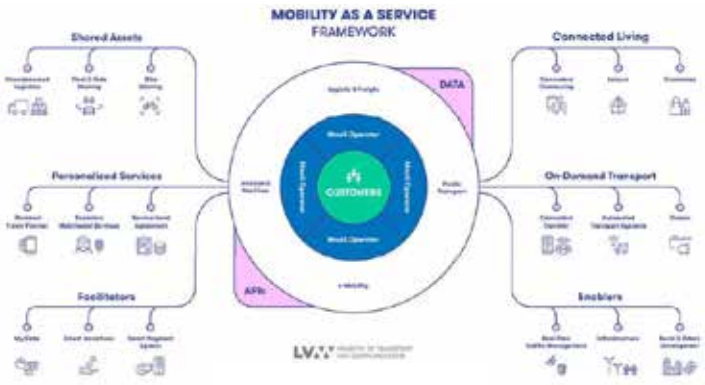
サービスにレンタカーが含まれていることからもわかるように、自動車が提供する利便を認めたうえで、個々人が所有するのではなく、必要なときにニーズに応じた自動車を利用することを推奨している。

このようなサービスが提供されることで個々人の移動手段の選択にも変化も現れている。図表4は、MaaS Global社がWhim利用者を対象に調査した結果だが、利用の前後で比較すると、公共交通（PT）の使用は約1.5倍となり、自家用車の使用は半減している。都市が抱える社会的課題の解決に対し、MaaSが有効に機能する可能性を裏付けるものと言える。



図表4 「Whim」による行動の変化
（出典：Maas Global社）

フィンランド政府の後押し：フィンランド政府もこのような新たなモビリティ・サービスを国レベルでの産業育成や経済成長の原動力に結び付けるべく、MaaS事業者が競い合える環境の整備（法改正等）を積極的に進めている。また、図表5からもわかるようにMaaSを人の移動のみならず、物の移動、陸上のみならず海運・航空、e-Mobility（電動化）、そしてこれらを結び付けるデータおよびその利活用と非常に幅広いフレームワークで捉えている。



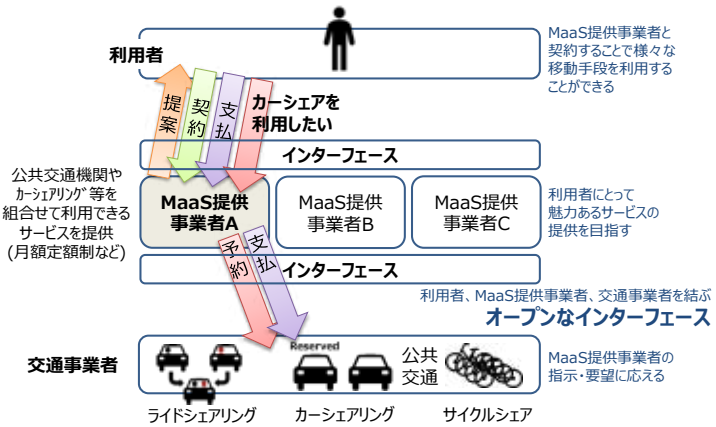
図表5 Maasのフレームワーク
（出典：フィンランド政府）

●課題

社会的課題の解決、また新たな産業の育成などの視点から多くの期待が集まるMaaSだが、実現には乗り越えるべき課題も多い。ここではそのうちの三つのことに触れたい。

オープンな情報基盤の構築：図表6にMaaSの仕組みを示す。MaaSの登場以前は、利用者と交通事業者が直接契約し料金の支払いを行う仕組みであった。MaaSではこの間にMaaSを提供する事業者（MaaS提供事業者）が登場する。この事業者はターゲットとなる顧客に対し魅力的な移動サービスのパッケージを提案し、利用者は自分のニーズに合うMaaS提供事業者と契約し、例えば月額料金という形で支払いを行う。実際に移動したいときは、MaaS提供事業者に要望を伝え、移動に必要な予約、発券、支払い等の手続きを代行してもう。

この仕組みでは、MaaS提供事業者のもとにお金と情報が集まることから、自らの顧客を増やすことで、交通事業者、やがてはモビリティ全体への影響力を強めることが可能となる。



図表6　Maasの仕組み

このようなサービスの実現には、利用者とMaaS提供事業者との間、そしてMaaS提供事業者と交通事業者との間で円滑に情報のやり取りができる仕組みが必要となる。フィンランド政府が目指すような競争環境を整えるためには、決済を含めオープンなインターフェイスを備えた情報利活用基盤が必須となる。

このような情報基盤をどのように整えるかがMaaS実現に向けた大きな課題のひとつとなる。フィンランドのようにオープン化を法律で義務付ける国がある一方、オーストリアのようにMaaSを実現するための情報基盤を公的機能と捉え整備を進め、民間にインターフェイスを開放する形で進めている国もある。

「Data is the new oil」などと言われることがあることからも、それぞれの交通事業者の持つデータのオープン化が難航することも想定される。交通事業者間の連携を含めた、いわゆるエコシステムの形成がMaaS実現に向けた大きな課題となる。

求められるサービスの質：MaaSに関連する市場は米・欧・中で年率二十から三十パーセント程度で拡大する、また、二〇三〇年には関連する売上が百兆円を超えるといった予想も出ている。ではこの売上の源泉はどこにあるのか、家計支出の観点から見てみよう。

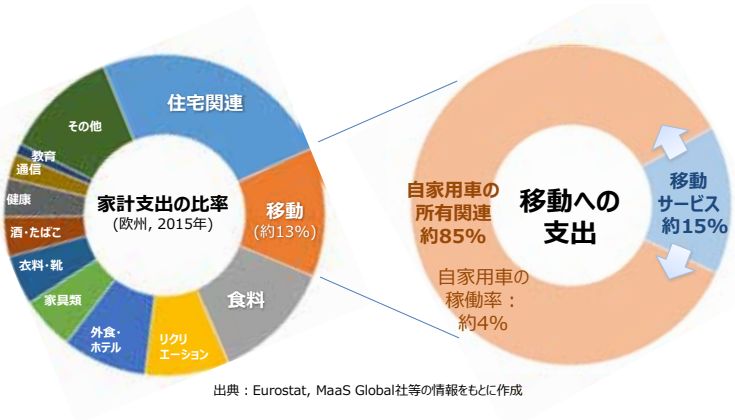
図表7の左側の円グラフは家計支出の内訳を比率で示したものだが、「移動」に関する支出は、住宅関連に次ぎ、食料（日常の食費）と並び、全体の八分の一ほどを占める。

また、この「移動」のうち、約八十五パーセントは、自家用車の所有に関連する支出（燃料代や保険料等を含む）となっている（図表7の右側の円グラフ）。

自家用車の所有からMaaSへの変化は、このグラフで移動サービスの比率を増加させることに相当する。移動サービス側から見れば、現状の五倍以上の市場規模があり魅力的と言える。

ところで、自動車の所有というのは、自動車というハードウエアそのものの価値にお金を支払っているのだろうか。いつでも必要ときに自由に移動できる「保険」を手に入れる手段として自動車を所有していないだろうか。とすると、経済的な合理性のみならず、心理的な側面を含め自家用車の所有に匹敵する、それに勝るサービスを編み出さない限り、この比率を大幅に変えていくことは難しい（例えば、必要なときに毎回タクシーを利用したほうが経済的には安価なのだが、ちょっとした心配事を理由に自家用車の所有を続けてしまう）。

自動車の所有に勝るMaaSには、移動に対するちょっとした心配事を払拭できる高い質の移動サービスの実現が求められる。



出典：Eurostat, MaaS Global社等の情報をもとに作成

図表7　移動サービスの規模

物理的な環境整備：MaaSでは、公共交通を含め複数の移動手段を組合せて移動することになるが、例えば駅を降りて、そこから利用したい自転車シェアリングのステーションまで徒歩五分と言われたら魅力的だろうか。このような交通結節点の環境整備も重要なポイントとなる。経済原則からすると移動関連のサービス施設を駅前の利便性の高いところに設置するのは難しいと言われることが多い。利便性の高いMaaSの実現には、都市計画の早期の段階からMaaSを想定した合意形成を推進していく長期的な視点も要求される。

●最後に

MaaSに関して、その背景、先行するフィンランドの状況、実現していくうえでの課題について簡単に紹介した。まだMaaSは途に就いたばかりであり、手探り状態と言える。本当の意味での移動の革新はこれからだと考えているが、一連の動きのなかで移動手段に対する期待値が大きく変わっていく可能性がある。自動車が所有から利用へ変わることによる要求スペック変化や、ファースト、ラスト・マイルを担う移動手段の重要性や多様性が増すことなどが考えらえる。電動化が進み、MaaSが進展するなかで、蓄電デバイスへの要求値も大きく変化していく可能性が高い。

（特定非営利活動法人 ITS Japan
総合的移動サービス推進プロジェクト
現 ㈱日産アーク
解析プラットホーム開発部　副部長）

キャパシタ的　パワー電池の開発と性能

導電性高分子正極

イーメックス㈱代表　瀬和　信吾

弊社は高分子アクチュエータの研究を主体に20年ほど研究開発を行ってきたが、その研究過程で明かになった導電性高分子の特性が蓄電池の正極として優れていたことから蓄電池としての開発を行い、現時点でパワー電池として完成している。

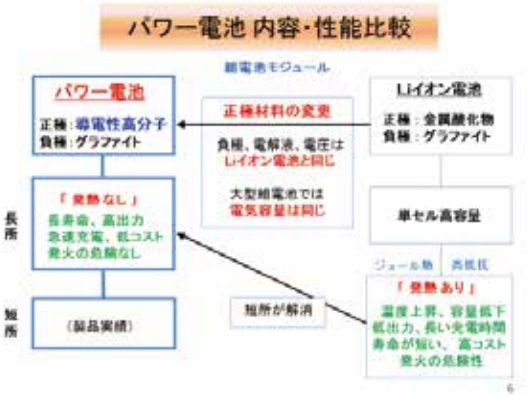
高分子アクチュエータは3Vの電圧で高分子膜中のイオンを移動させる駆動デバイスであり、俊敏に動くことが要求される。そのことは高分子中のイオンの動きが速くなければならない。高分子アクチュエータは1KHzの振動も可能でありイオンの移動速度は基本的に非常に速く設定することができる。これは基本的にキャパシタと同じ特性である。

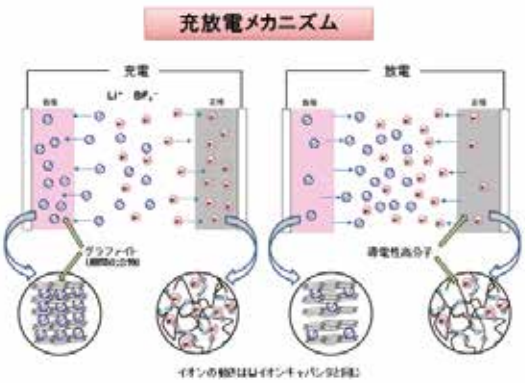
また、導電性高分子正極の充放電は膜内におけるアニオンの吸脱着であり、導電性高分子に変化を起こすものではなく、非常に安定な状態であり、耐久性に優れている。

パワー電池はキャパシタの特性で不足している電気容量を大きく向上した蓄電デバイスであり、また、リチウムイオン電池の欠点の急速充電と寿命の問題を解決したデバイスである。

1．セル構造

基本的にリチウムイオンキャパシタの正極部材を活性炭から導電性高分子に変えた構造である。負極及び電解液も同じであり、したがって電圧も4Vである。充放電メカニズムも同じである。違うところはリチウムのプレドープの方法である。リチウムイオンキャパシタはセル内にリチウム金属箔を置き、穴あき電極を通じて全体にリチウムをドープするが、パワー電池は各電極間のセパレータにリチウム金属が蒸着されており、プレドープを行っている。





2. 充放電特性

電気容量はキャパシタ（EDLC）の20～40倍であり、リチウムイオン電池（高出力型）の実使用で使われる組電池モジュールでは2倍の性能がある。

その他、出力、充電時間、耐久性などはキャパシタに近い性能である。

特に導電性高分子正極として特筆すべきことはアニオンのドープ状態で導電性高分子正極の電気抵抗が大きく変化することである。過充電の場合はアニオンのドープ率が大きくなり、電気抵抗が極端に上がり電流は流れなくなる。また、過放電の際は脱ドープにより電気抵抗が上がり電流が流れなくなるなど、トラブル時において正極で電流を遮断し、ヒューズの役割を果たし発火に対する安全性が非常に高い。

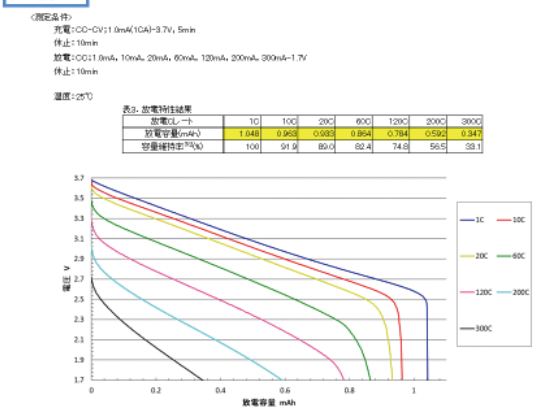
EDLC/LIC・LIB・パワー電池(PWB)性能比較

	① EDLC/LIC	② PWB(高出力型)	③ PWB(高エネ型)	④ LIB(高出力型) 大型	⑤ LIB(高エネ型) 小型
エネ密度 単セル Wh/L	3～20	50	120	200	500
連続出力密度 W/L	6,000	10,000、200C	3,000、30C	500、2C	500、1C
充電時間 min	1以下	1	5	30	120
耐久性 回	10万回以上	30,000	10,000	2,000	500
発熱	なし	なし	なし	あり	あり
充放電効率 %	95	95	95	85	85
発火危険度	○	◎	自己維持 ◎	△	△
組電池エネ密度 Wh/L	3～20	50	120	放熱スペースとして2、3倍の体積 90	170
実使用エネ密度	3～20	50	120	寿命証長で充放電率 70% 60	120
材料コスト比 単セル		0.5	0.5	1.0	1.0

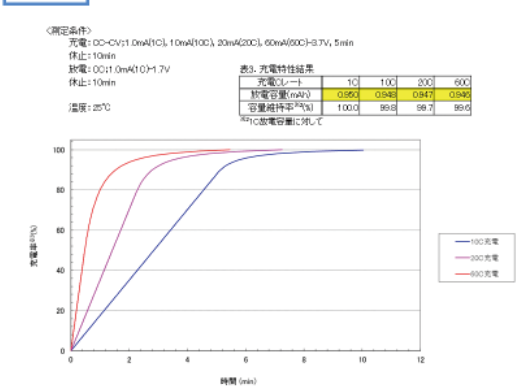
ＬＩＢ 組電池モジュールでは大きな（2～3倍）放熱空間を必要とし、
エネルギー密度は1/2 ～ 1/3と大幅に低下する

7

放電特性



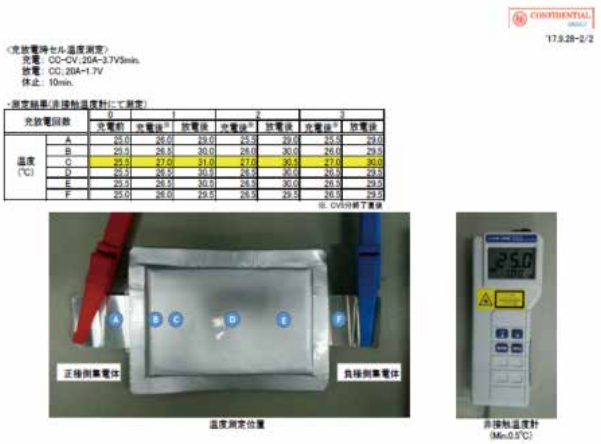
充電特性



3. 発熱しない特性

リチウムイオン電池は正極の高い電気抵抗によるジュール熱で3C以上の高レート充放電では極端に発熱する。そのため大電流を流す短時間充電や大出力は大きく制限される。結果として急速充電ができない、あるいは寿命が短いなどの欠点となっている。そのため対策として組電池モジュールで使用する場合は放熱空間を3倍ほど必要とし、結果としてエネルギー密度は1/3に大幅に低下し、実使用のエネルギー密度は60Wh/l程度になっている。

キャパシタやパワー電池では電気抵抗が小さいためジュール熱による発熱は極端に小さい。20Cの高レートでも温度上昇は



3℃程度であり、組電池のモジュールにした場合においてのエネルギー密度の低下は少ない。

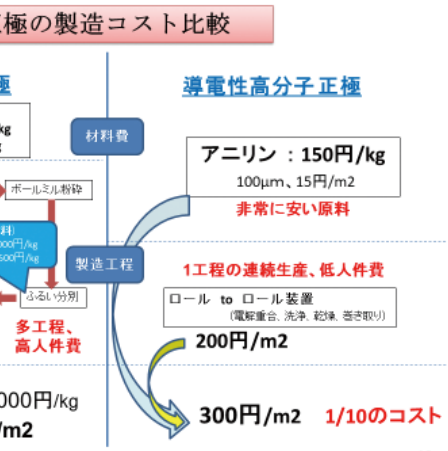
4. 製造コスト

導電性高分子の材料はアニリンであり、石油から合成され非常に安価な材料であり、当面は供給に問題はない。また、製造方法はロールツウロールの連続電解重合で製造される。材料が安価で製造がシンプルであるためリチウムイオン電池の正極の1/10と非常に安価に製造できる。リチウムイオン電池の正極の材料比率は30%以上であり、コスト低減効果は非常に大きい。

また、セパレーターは安価な紙系のセパレーターを使用することができる。

さらにパワー電池の安定性が高いことからセルの制御回路などを簡略化できる。

このようなことからコストとしてはリチウムイオン電池の1/2~1倍のコストとな



る。

5．組電池モジュール実証試験

1Ahサイズのパワー電池100セル約70Vでトヨタの電気自動車コムスの走行試験を行った。加速感などの走行はスムーズであり安定した動きであった。また、走行後の温度の変化は1℃の上昇であり、大型組電池での温度上昇はほとんどないことが確認された。

6．パワー電池の応用

パワー電池の性能はキャパシタの電気容量を大幅に向上した物であり、非常に使い勝手の良い蓄電デバイスである。

唯一の欠点は単セルでの使用ではリチウムイオン電池の1/2~1/4の電気容量になることである。

単セル使用以外の使い方ではほとんど制限なく多くの用途で今までにない経済的で有利な使い方を可能とする。

現在、蓄電デバイス市場を大きくけん引している電気自動車であるが、充電時間と寿命で大きな問題を抱えており、このままでは今後の見通しは期待できない。

パワー電池の性能はそれらの問題を解決するものであり大きく期待されている。

また、自然エネルギー発電分野では蓄電デバイスとの併用で効率を高める使い方が大きく注目されており、長寿命の電池が求められている。

最近は電池を使用したコードレス電化製品が多く販売されており、ここでも充電時間と寿命が問題とされている。そのため電化製品の設計は数年後の性能低下を見越した設計となっており、電池の量は初期性能の約3倍量の設計となっており、大きな無駄になっている。パワー電池を使用すれば電池の量は1/3であり、電化製品が大きくコストダウンとなる。

導電性高分子正極の連続量産製造はパイロット装置で実証済みであり、また、その他の部材との相性など電池の組み立て技術に関しても確立している。

7．最後に

導電性高分子の発見は1970年代に白川先生が発見されて（ノーベル賞を受賞）、その後、多くの研究が行われたが、応用としては十分ではなく、現在では研究者も少なくなっている。導電性高分子の基本的な特性は非常にユニークなものであり、弊社は電位を付加した時の伸縮特性に注目して研究開発を行い、結果として現在は電池として製品化を予定している。

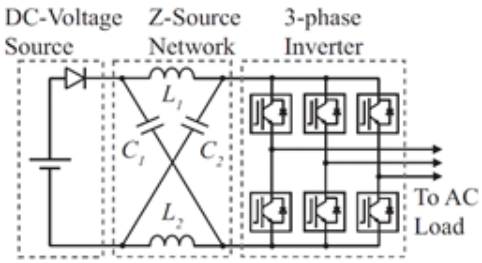
電気二重層キャパシタを適用したZソースインバータ

琉球大学工学部 教授　千住　智信

1. まえがき

再生可能エネルギーを活用した分散型電源や蓄電システムの発展に伴い、昇圧型インバータの需要が増加している。しかし、一般的な電圧型インバータはPWM制御により降圧制御は可能であっても昇圧制御は不可能である。そのため直流電圧の昇圧と交流変換を同時に行いたい場合はインバータに昇圧用のDC-DCコンバータを追加する必要がある。これは、機器コスト、体積、電力損失を増加させるため改善が望まれている。

前述の問題の解決案として2003年にFang Zheng Pengによって提案されたZソースインバータを図1に示す。Zソースインバータは従来のインバータに2つのインダクタとキャパシタから構成されるZソースネットワークを追加することによって交流変換と昇圧を同時に行うことができるため注目を集めた。また、昇圧率はインバータのシュートスルー・デューティ・サイクルに依存するため、追加の制御用スイッチングデバイスを必要としないことも利点として挙げられる。Zソースネットワークは AC-AC（図2参照）、AC-DC、DC-DCコンバータへの適用も可能であるため、様々な場面での貢献が期待された。特にVeda Prakash Galigekereらは再生可能エネルギーや燃料電池を活用する上でZソースネットワークを導入したDC-DCコンバータ（図3参照）の有効性を主張し、昇圧性能が高



出典（1）：Fang Zheng Peng, "Z-source inverter," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 39, Iss. 3, pp. 504-510, Mar. 2003.

図1 Zソース三相インバータ

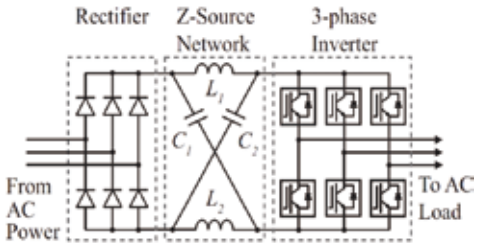
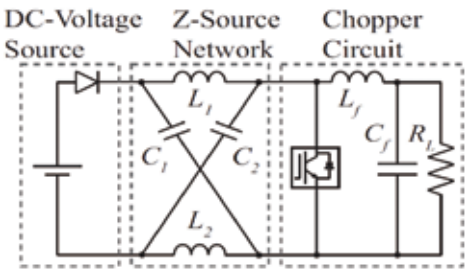


図2 Z ソース三相AC-AC コンバータ



出典（2）：V. P. Galigekere and M. K. Kazimierczuk, "Analysis of PWM Z-Source DC-DC Converter in CCM for Steady State," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 59, no. 4, pp. 854-863,

図3 ZソースDC-DCコンバータ

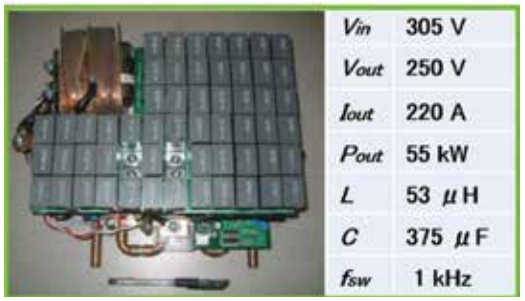
いことや負荷の短絡から電源を保護できることを挙げた。

しかし、Zソースネットワークは大容量のキャパシタおよびインダクタを必要とするため、図4に示すように機器の体積や重量に問題を抱えている。これはZソースコンバータの普及を妨げている原因のひとつである。したがって本研究では電気二重層キャパシタをZソースコンバータへ適用することで部品点数の低減と性能の改善について検討する。電気二重層キャパシタを適用したZソースネットワークは、近年研究が進められているDC48Vを母線とする低電圧DCマイクログリッドの昇圧インバータに適用されることを想定しているが、先に述べた他のタイプのコンバータにも適用可能である。提案手法の有効性はMATLAB/SimPowerSystemsにより確認される。

2. 動作原理および制御方式

図5および6にZソース単相インバータとその制御システムを示す。Zソースインバータは一周期のスイッチングサイクルにおけるアームの短絡期間(シュートスルー・デューティ・サイクルD_0)を制御することで昇降圧を行う。したがって、制御システムでは出力交流電圧の実効値V_{rms}をフィードバックし、変調指数Mにより変調波の振幅を制御することでシュートスルー・デューティ・サイクルD_0を制御する。

図5のZソース単相インバータにおいて入力電圧V_{iv}と直流リンク電圧V_{DC}の関係は(1)式で与えられ、図7のような特性曲線



出典(3)：Haiping Xu, F. Z. Peng, Lihua Chen and Xuhui Wen, "Analysis and design of Bi-directional Z-source inverter for electrical vehicles," 2008 Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp. 1252-1257, Feb. 2008.

図4 Zソースインバータの試作回路

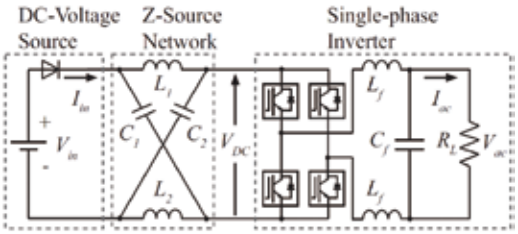


図5 Zソース単相インバータ

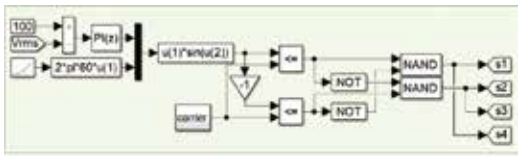


図6 Zソース単相インバータの制御システム

V_{DC} と V_{in} の係関

$$\frac{V_{DC}}{V_{in}} = \frac{1-D_0}{1-2D_0} \cdots (1)$$

I_{DC} と I_{in} の係関

$$\frac{I_{DC}}{I_{in}} = \frac{1-2D_0}{1-D_0} \cdots (2)$$

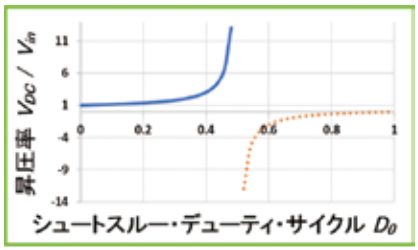


図7 ZSNの昇圧特性曲線

となる。また、入力電流I_{in}と直流リンク電流I_{DC}の関係は（2）式で与えられる。

Zソースインバータの昇圧原理は電流源インバータまたは昇圧チョッパ回路に近い。しかし、Zソースネットワークはアーム上下のスイッチングデバイスが短絡状態になった場合やアーム全体が開放状態になった場合にも半導体デバイスが故障しないため、デッドタイムを必要としない。したがって、図6の制御システムのようにシンプルな制御システムとなることも利点のひとつである。

3．Zソースネットワークの設計

3．1 既存の手法による設計（Case 1）

この小節では既存の手法によるZソースネットワークの設計を行う。電圧リプル係数をK_v、電流リプル係数をK_iとするとZソースネットワークのキャパシタンスおよびインダクタンスは次式のように設計することができる。ここでf_{sw}はスイッチング周波数である。文献（2）からK_v＝0.025、K_i＝0.2とし、（3）、（4）式に表1の回路パラメータを代入することでC_1＝C_2＝3.6 mF、L_1＝L_2＝5.8 mHとして決定した。

3．2 電気二重層キャパシタを想定した設計（Case 2）

電気二重層キャパシタ150S1-38C（図8参照）を5直列（425V）で使用することを想定し、ZソースキャパシタンスをC_1＝C_2＝400 mFとした。また、キャパシタンスの変更に伴いインダクタンスをL_1＝L_2＝0.05 mHに調整した。

Zソースネットワークの設計

$$C_1 = C_2 = \frac{I_{in} D_0 (1 - D_0)}{K_v f_{sw} V_{in} (1 - 2D_0)} \cdots (3)$$

$$L_1 = L_2 = \frac{V_{in} D_0 (1 - D_0)}{K_i f_{sw} I_{in} (1 - 2D_0)} \cdots (4)$$

出典（4）：T. H. Cheng, S. A. Zulkii and N. M. B. Shah, “Applying of MPPT algorithm in Z source inverter for PV solar generation,” 2017 IEEE Conference on Energy Conversion（CENCON）, pp. 163-168, Oct. 2017.

図8 電気二重層キャパシタ150S1-38C

共通のパラメータ	
DC input voltage V_{in}	48 V
DC input current I_{in}	12 A
Switching frequency f_{sw}	10 kHz
DC link voltage V_{DC}	300 V
AC output voltage V_{out}	100 V
AC output current I_{out}	5 A
Case 1: 既存の設計手法	
Z-source inductance L_1, L_2	5.8 mH
Z-source capacitance C_1, C_2	3.6 mF
Case 2: EDLCの使用を想定した設計	
Z-source inductance L_1, L_2	0.05 mH
Z-source capacitance C_1, C_2	400 mF

表1 Zソースインバータのパラメータ

4．シミュレーション

4．1 Case 1：既存の手法により設計したZソースネットワーク

図9に既存の手法により設計したZソースインバータのシミュレーション結果を示す。図9（a1）に示す入力電圧はDC48Vであり、低電圧マイクログリッドの母線を想定しているため電圧変動はない。図9（b1）はZソースネットワークのキャパシタ電圧を示しており、シュートスルー・デューティ・サイクルD_0の変動に応じて脈動する。定常状態の平均電圧はDC290Vであるがピーク電圧

は1,000Vに近いため、キャパシタンスの耐電圧は1,000V以上を必要とする。この動作特性はZソースインバータが大容量のキャパシタンスを必要とする一因となっている。図9（c1）にDCリンク電圧を示す。Zソースインバータにおいて DCリンク電圧はピーク値がキャパシタ電圧の2倍となる特性を有しているが、その平均値はキャパシタ電圧と同様のDC290Vである。図9（d1）に示すインダクタ電流から定常状態で10kA以上の値となることが分かる。出力電流が実効値5Aであることを考慮すると、チョッパ方式やトランスを用いる変圧方式と比較してより大きな電流が変換過程で発生することが分かる。図9（e1）は出力交流電圧の実行値を示しており、フィードバックシステムにより実効値100Vに制御されていることが確認できる。大容量のインダクタとキャパシタのため時定数が大きく、本シミュレーションでは初期状態から出力電圧が指令値に追従するまでに2秒程度を要することが確認された。図9（f1）示すインバータ出力電圧より、安定した電圧が負荷に供給されることが確認できる。また、図9（g1）に示すインバータ出力圧のTHD（全高調波歪）5%程度であることから、実用的な性能であるといえる。

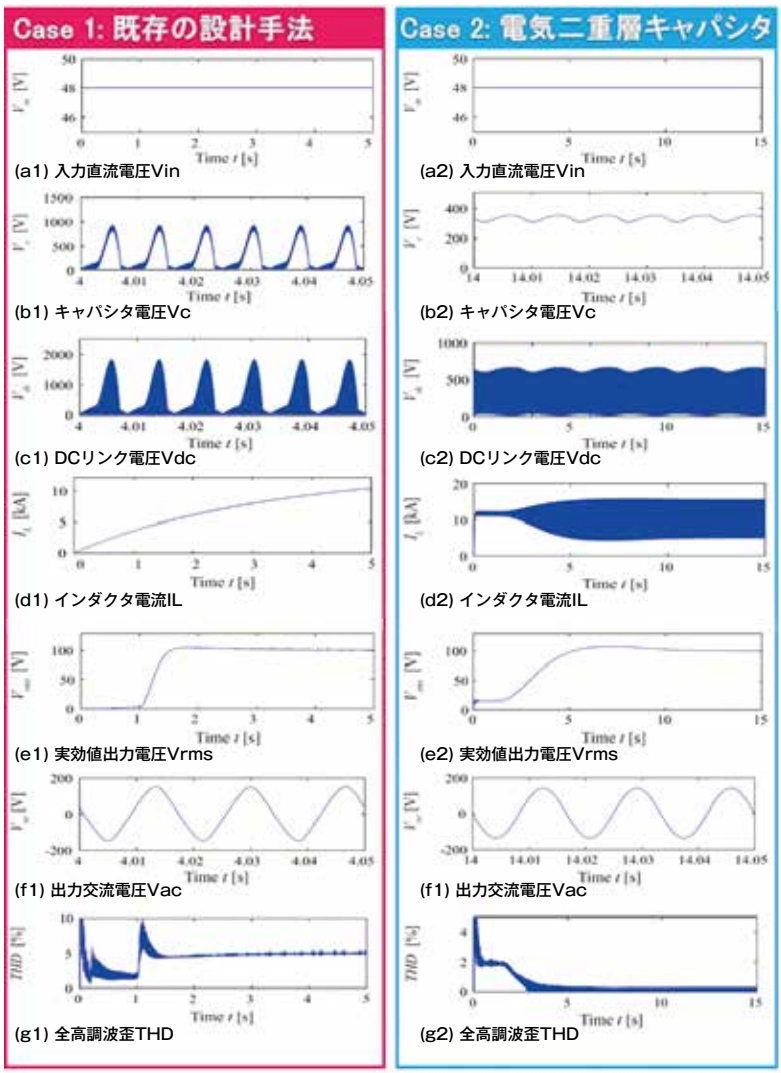


図9 シミュレーション結果

4．2 Case 2: 電気二重層キャパシタを想定したZソースネットワーク

図9に電気二重層キャパシタの使用を想定したZソースインバータのシミュレーション結果を示す。Case 2のシミュレーションではZソースネットワークの値およ

びPI制御の係数のみを時定数に応じて変更し、それ以外は同一のパラメータとした。図9（a2）に示す入力電圧はCase 1と同様に低電圧マイクログリッドの母線を想定している。図9（b2）はZソースネットワークのキャパシタ電圧を示している。Case 1と比較して著しくキャパシタ電圧の脈動が低減されており、そのピーク値は400V以下であるため要求されるキャパシタの耐電圧はCase 1から600V程度の低減が可能といえる。ただし、定常状態の平均キャパシタ電圧はCase 1よりも高いDC 330Vとなった。図9（c2）に示すDCリンク電圧から、ピーク値がCase 1の2,000Vから700V程度まで低減されていることが確認できる。これはスイッチングデバイスの電圧ストレス低減を意味しているが、その平均値はキャパシタ電圧と同様のDC 330Vである。図9（d2）に示すインダクタ電流はCase 1よりも大きく振動している。これはインダクタンスをCase 1の1/100以下にしたためであり、電流ピーク値が1.5倍程度に増加している。インダクタンスの低減は時定数の低減のために必要であり、インダクタ電流のピーク値を増加させるが制御精度を向上させる。また、インダクタ電流の振動による出力電力への悪影響は特に確認されなかった。図9（e2）は出力交流電圧の実行値を示しており、実効値100Vに制御されることが確認できる。しかし、Case 1よりもキャパシタンスが大幅に大きいため時定数が増加し、初期状態から指令値に追従するまでに6秒程度を要した。図9（f2）に示すインバータ出力電圧より、安定した電圧が負荷に供給されることが確認できる。また、図9（g2）に示すインバータ出力電圧のTHD（全高調波歪）は1%以下にまで改善され、Case 1よりも電力品質が向上していることが確認できる。

5. むすび

本論文では電気二重層キャパシタをZソースインバータへ適用することでの部品点数低減と性能改善について検討した。結果として、電気二重層キャパシタ150S1-38Cを5直列で使用することにより既存の手法で設計された回路よりも部品点数を低減し、Zソースインダクタンスを1/100以下に低減した。また、キャパシタ電圧とDCリンク電圧のピーク値を半分以下に抑え、デバイスに要求される耐電圧と電圧ストレスが改善可能であることをシミュレーションにより確認した。さらに電気二重層キャパシタを適用したZソースインバータは出力電圧の全高調波歪が1%以下であり電力品質が向上することも確認された。本研究は昇圧インバータへの適用を想定しているが、他のタイプのZソースコンバータにも適用可能である。今後の研究ではインダクタ電流の増加や過渡応答性の低下等の残された課題の解決が目標である。

インドの政策と実際

佐久間・金田・山内・岸

■はじめに

キャパシタフォーラムのインド訪問では、「Technical Seminar on xEV」を開催し、インド政府関係者・研究所や工科大学の方達と技術交流する機会を得た。

このなかで政府としては高い目標を掲げて発展を目指す一方で、現実が理想に十分に追いつけていない状況と、それでも解決を目指す取り組みの状況を知ることができた。

■成長しているインド

インド経済は、2001年にゴールドマンサックスが「BRICs」としてレポートしたことがきっかけで、その将来性と発展への期待が世界的に注目されるようになった。そして21世紀になり、中国とインドは実際に目覚ましい経済発展を続けている。

近年の日本においてもインドを含めた経済圏構想の「インド太平洋戦略」の提唱や、2018年10月末のモディ首相の来日などインドに関する記事を目にする機会が増え、その存在感が増している。まずは、各種データを元に、注目されるインドの現状を確認する。

●人口と経済の成長

近年のインドは人口の増加とこれに伴った経済規模の拡大がめざましい。今回のインド訪問でも街中を移動すると、人と自動車の多さに驚かされた。ニューデリー市街の道路では渋滞も多く、乗用車とオートリキシャ（黄色と緑が特徴的な三輪タクシー）が混在して、3車線の道路を5列の自動車が密集し、クラクションを鳴らしながら上手に走っている。

ヒンドゥー教では牛が神聖な動物として大切にされており、道路を牛が横断することで渋滞の原因となっている光景もよく目にした。

街中を走行している乗用車のメーカーとしてはスズキやヒュンダイが多く目につく。スズキは1981年にインドへ進出して現在は約5割のシェアを占めているとのことである。（インドでの生産販売会社名は「マルチ・スズキ」）

インドの人口は2017年には世界第二位で13億3千万人の人口を擁す。現在世界第一位は中国（14.1億人）だが、2025年頃には、インドが中国を抜いて人口が世界で一番多い国となる見込みである。

人口構成としては、インドは平均寿命が68歳で、65歳以上が6％（15～64歳が66％、15歳以下が29％）と、高齢者比率が低く若い人が多いことが特徴である。

なお、日本は平均寿命が84歳で、65歳以上が26％（15～64歳が61％、15歳以下が13％）と高齢化が進んでいる。

日本では今後の労働者人口の減少が心配される状況なのに対して、インドはこれから働き盛りの人が増えて消費も伸びていく活気のある若い国であるといえる。人口ボーナス期と呼ばれる労働力人口の比率が高くて経済成長が促進される状態が、今後数十年に渡り続くという。

（出典：経済産業省「平成28年度 医療国際展開カントリーレポート」）

テクニカルセミナーからの帰路に立ち寄ったニューデリーのセントラルパークは、近くにショッピングセンターがあることなどから、特に多くの人が集まり活気のある場所で、若い人たちが多く見られた。

人口の増加だけでなく経済規模も21世紀に入ってから急速に拡大しており、2017年のGDPは約2.6兆ドルで世界6位となっている。GDPの成長率は年6.6％であるが、これは約10年で規模が倍になる高い成長率で、GDPのグラフを見るとドイツや日本を抜く日もそう遠くないようにみえる。

（出典：世界銀行）

http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD

●自動車市場の成長

インドの自動車販売台数（2017年）は年間402万台でドイツの381万台を抜き4位である。日本は523万台で3位だが抜かれるのは時間の問題とみられている。

このインドの自動車市場は年率10％近い急速な伸びを示しており、2030年には現在の2.5倍の1000万台になると見込まれている。

（一般社団法人 日本自動車工業界「主要国の四輪車販売台数推移」、IGID為乗氏講演資料）

●課題としての化石燃料の消費量増加

GDPや自動車市場など、急速な経済成長の一方で、特にエネルギー源に関して、いくつかの課題が深刻度を増している。

一つは他国と比較して化石燃料への依存度が高いエネルギー源である。

インドでは化石燃料を用いた発電電力量が約8割（2012年で77％）で、特にCO_2排出量が多い石炭を原料とする発電所の比率が約7割弱と高い。

（一般財団法人日本エネルギー経済研究所「インドにおける政府の電源見通しと石炭火力発電の位置づけ」伊藤 葉子 https://eneken.ieej.or.jp/data/7525.pdf）

このため経済の発展で発電量が増加するとともに、大気汚染が深刻度を増している。今回の訪問でも、デリー空港周辺の空は霞がかかったような状態であった。

さらには発電所だけでなく、自動車の急速な増加に応じて見込まれる化石燃料の消費量増加への対策である。

先述したとおり急激な自動車の増加が見込まれる一方、石油は80−90％を輸入に頼っており、このままでは石油輸入量が激増することが深刻な課題である。EV化の進展はCO_2の排出量削減だけでなく、石油輸入量の抑制という面からも強い要求となる。

今回インド側の方たちと情報交換をした印象では、大気汚染や、CO_2排出規制も重要だが、石油輸入量の激増が一番の原動力となっている感触を得た。

■自動車と電池の政策と実際

●EV化の政策と課題

インドでは、2030年に乗用車のEV化率を30％にする政策を発表している。近年欧州のフランスや英国などでも「2040年までにガソリン車やディーゼル車を廃絶」することが掲げられており、一見インドもこれに追随しているように見える。しかし、欧州の政策はPureEVに全数置換えという意味ではなく、HEVやPHEVを含む電動化を意味すると理解されているのに対し、インドの30％はPureEVと明言されているため、とてもチャレンジングな目標といえる。

EV化を進める上では、電池の量産が重要である。HGID（Honda R&D India）為乗氏の示された資料では、2030年に電池の必要量が122GWhに達すると試算され、テスラとパナソニックの電池工場である「ギガファクトリー」の規模の量産工場が4カ所必要な規模となる。

ところが、インド国内には電池産業が存在しないため、自国内での電池開発が遅れていることが最も重要な課題だと認識されている。

●電池技術開発の政策と実際

早期な電池技術の立ち上げと、国内電池産業発展のための要素技術開発を行うため、CECRI（Central Electrochemical Research Institute: 中央電気化学研究所）にLIB開発拠点が設置されている。

CECRIは150人の体制で、LiBに携わっているのは30人。学生や企業から来ている人もいる。CECRIはあくまでも研究機関であり、インドの民間企業で実用化させるのが目的とのことであった。

CECRIのLiB研究者の方によると、当面の開発ターゲットはPouchや18650で4Ahセルを2年以内に開発することで、将来的にはNCM811による高容量化を考えておられた。

今回の交流会では製造設備から開発した電池の特性や開発状況などを紹介いただいた。しかし、技術資料や説明から判断すると、頑張ってはいるものの、他国に追いつくにはまだまだ頑張る必要がある印象であった。

このため、EVなど電動自動車用途の普及初期には外国企業の技術力に頼って電池を調達する必要があるが、企業を誘致する方法などは、まだ手探り状態だと感じた。インフラがまだ十分に整っていないことは問題だが、現在大規模な投資をして急速に整備を進めている状況であるため、早晩解決

するのではないか。それよりも国内の部材産業、技術が整っていないことが直近でのより大きな問題である。

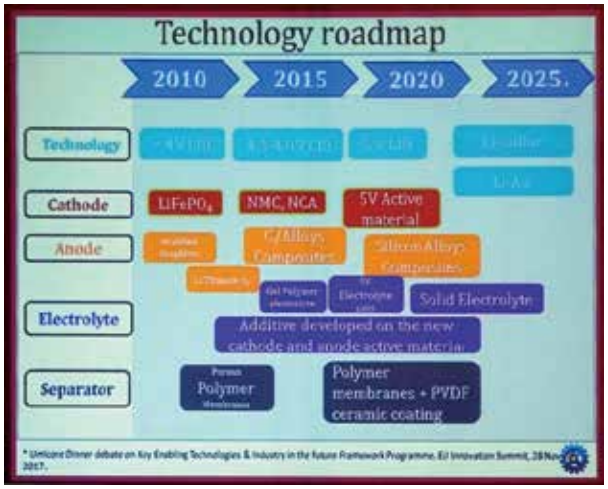
■現地訪問で見える実際

●電池技術の実際

今回のテクニカルセミナーでは日立の山内氏が硫黄正極電池の講演をされた。インド側出席者の方達からは大変好評で、講演の後、多数の質問を受けておられた。

硫黄正極の技術や研究体制など材料技術に関して強い関心を持たれた方、安全な電池を作りたいとセパレータに興味を示された方、電池の温度マネジメントに強い興味を示された方など、電池システムに関して幅広い領域で技術交換をすることができた。

インド国内に有力電池メーカーがないためか、電池の国際学会ではインド人の発表者・参加者は少ない。今回、電池の具体的な話を電池の研究者・技術者とするだけでなく、インド政府の方にも直接プレゼンして、日本の技術力をアピールすることができたことは大変良いことであった。



●EV化の実際

インドのEV化促進の政策に関して、最新のプランでは、EVの導入と必要なインフラ整備などを国土全体で一斉に進めていくことはその規模から考えると難しく、まずは特定の都市と年度も限定して、公共バスと二輪車からEV化を進展させる計画とのこと。現在は導入する都市の選定をするコンペティション中である。

重要な課題はやはり充電インフラの整備であり、自家用車のEV化はまだ先になる見込みである。このため、政策で掲げられたEV化30％の目標達成は難しいというのが大方の見立てであり、今後進め方も含めて計画自体も変わっていくものと思われる。

●電源の実際

充電インフラを整備するためには、電力供給のインフラ整備が必要であるが、インドは電源の事情がとても悪く、停電が頻繁に発生するという情報に接するが実際はどのような状況なのか確認できた。

今回ホンダのインド工場HCIL（Honda Cars India Ltd.）における質疑では、電源の安定性は以前より改善されているとコメントがあった。

夏場に瞬停レベルの停電が多いくらいで、昔あった2~3時間程度の停電が今はほとんどなくなっており、料金体系の問題で供給側が電力供給をストップすることがあるとのこと。

なお、個人の家庭では停電はまだ発生するため対策が必要なのだそうで、日本人駐在員の方は、自宅に小型発電機を備えて冷蔵庫を守っているそうです。

■気づいたこと・感想

インドの電池技術は現在はまだ発展途上ではあるが、徐々に技術力を高めて将来は自前で電池を生産するようになると予測される。このようにインドが自前で電池を作れるようになった時に、日本企業はどのように商売をするか考えておく必要がある。

例えば、現在は日本が先行している硫黄正極を用いた電池技術であるが、硫黄の材料自体は安いため簡単にまねされない価値の付与や知財を含めた対策が重要だと考えられる。

また、インドを電池の市場として考えて電池を現地で利用する際には、日本と異なるインドの気候は電池特性へ与える影響も異なると考えられる。

インドの北部にあるデリーは、夏の平均最高気温が39.6℃、冬の平均最低気温が7.3℃と温暖であるが、南部のチェンナイは、夏の平均最高気温が37.4℃、冬の平均最低気温が20.4℃と冬場でも気温が高い。

炭素系負極のLIBは、低温で負極側劣化が顕著に進行するが、インドでは冬場でも暖かいため負極側が劣化する心配は少ない。

一方、夏場は50℃付近まで気温が上がることもあり、特に硫黄の溶解反応は高温環境で促進されるため対策が必要と思われる。

また、厳しい日差しによる自動車の車体の温度上昇も気になる点である。HCILの方によると、インドでは白、シルバー、黄土色で汚れが目立たない色の自動車が人気で、黒は全く売れないそうだ。

以前参加したセミナーでは、黒色と白色の車体では車内温度の上昇具合が異なり、高温になりやすい黒色の自動車はバッテリー劣化が進行しやすいそうだ。インドで黒色の人気がないのは、EVにとっては良いことなのだろう。

■おわりに

空港周辺の大気汚染のひどさに驚いた。実際に汚れた空気を吸ってみることで、商売や、政治の話は抜きにして、EVを普及させないといけないと感じた。

佐久間、金田、山内、岸

11月24日　テクニカルセミナーについて

伊東・真島・吉沢・吉田

●はじめに

表1にタイムテーブルを示します。本セミナーはICIP 様と野村総研様によりコーディネートしていただきました。野村総研の方が、司会進行を行いました。会場はShangri-La s-Eros Hotelで、宿泊しているホテルから、チャータしたバスで15分程度です。立派なホテルで、インドに来たことは実感できず。ロビーの窓から見える町並みは緑が多いことが印象的でした。会場は、冷房が効いており寒いくらいでした。本稿では、発表毎の概要をまとめます。

- 11:00-11:10, Welcome Address, Mr. Sunil Kumar Yadav (Honda)
- 11:10-11:15 , Welcome Address, 堀洋一教授(World EV Association/東京大学)
- 11:15- 11:45, EV Battery Technology Trend -Need to Look Beyond Li-ion, 為乗浩司様(Honda Cars India Pvt. Ltd.)
- 11:45-12:15, Super Capacitor/Li-ion Capacitor - Advantage and Applications, 岩見達哉様(日本ケミコン)

Coffee & Tea Break

- 12:30-13:00, Li-ion Battery Fabrication, Dr. A.S Prakash (CECRI)
- 13:00-13:25 Sulphur Cathode Material to add Durability of Li-ion Battery, 山内恵理奈様(日立/産総研)

Lunch

- 14:20-14:50, Dynamic Wireless Power Transfer System for Electric Vehicle, 堀洋一教授(World EV association/東京大学)
- 14:50-15:10, EV Drive Train Technology, 為乗浩司様 (Honda Cars India Pvt. Ltd.)
- 15:10-15:20, Closing Remarks, Mr. Sunil Kumar Yadav (Honda)

表1　テクニカルセミナー　タイムテーブル

●1. EV Battery technology trend- need to look beyond Li-ion.

HGID 為乗浩司様

インドではCO_2削減のためにBattery EV (BEV) に注目が集まる。80%が石炭火力発電であり、BEVはTank to Wheelで考えるとガソリン車と同じCO_2排出量となってしまう。2030年 1千万台中、BEV の目標は3百万台 、残り7百万台の燃費向上も重要である。Well to Wheelの観点からEVが最適であると提案したい。

EVのキー技術は、モータ、充電速度、冷却ー加熱技術であり、バッテリを減らす方向の技術開発が必要である。 BEV 1台40kwhのLiBとして、インドで、テスラ35GWh ファクトリが4個必要となる。バッテリ不足とリソースのためにバッテリコストの傾向が下落しないことになる。1日60㎞（エアコン、渋滞を考慮）のインドでの調査結果が出ているので、必要な分だけバッテリを搭載することが重要である。

BEVの価値は電池残存容量に依存する。電池劣化が中古車価格を低下させる。バッテリの状態を正確に把握するための技術開発：オンラインでデータ収集を行い→モデル化を実施→マッピングによる劣化予測を行っており、バッテリの価値を高める取り組をしている。

インド側参加者からコメント：使う町の

写真1　セミナー会場

写真2　プレゼント

サイズで決まり、BEVの走行距離60㎞は不足だと感じる。

質問：車の下は70℃近くになるが問題ないのか？

回答：下の温度は65℃以下で 50-60℃で50kWの充電が可能である。

写真３　HGIP為乗様

写真４　各発表に活発な質問

● 2. Super capacitors / Li-ion capacitors Advantage and applications

日本ケミコン　岩見達哉様

電池に使える化学物質の埋蔵量と使用量を考えると、希少物質を使わず埋蔵量の多い物質を使っているので、キャパシタ:DLCAPは地球環境にやさしい蓄電デバイスと言える。

キャパシタの用途について、小容量のものは、ドアロックシステムのバックアップに使われる。大容量のものは、ホンダーISSに使われる。DLCAPは車載品質に特化して設計をしている 1百万回のサイクル寿命をクリアしている。

● 3. Li-ion battery fabrication

CECRI　Dr. A.S Prakash

CECRIは電気化学関連の研究機関のLiB開発チームは、CSIRマドラスコンプレックス（Council of Science and Industrial Research Madras Complex）チェンナイ600名に所属している。LiB（Li-ion Battery）の電池用ナノ材料の開発とスケールアップ、部材、電池組み立て技術、評価までの全工程をカバーした研究開発をおこなっている。LiBチームにおける研究開発成果として、正極用材料についてCoを用いた材料の特性評価、電極用新規材料の開発を行った。LTOやNMCへの検討も行っている。

将来、インドはLiBの巨大市場になる見込である。2030年　蓄電地の容量　200～540GWh必要で、16年に開発プロジェクトをスタートさせた。政府の取り組みとして、5㎞毎に充電ステーションを作る計画がある。インドではLiBメーカーは現時点で存在しないが、参入したいメーカはある。イン

写真５　日本ケミコン岩見様

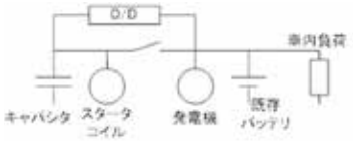


図1　Freed ISS概要

写真6　Coffee &Tea break

写真７　Dr. A.S Prakash

ドでの将来のLiBサプライヤーを支援するため、国内で多くの研究機関が協力しプラットフォームとしての役割を担っている。輸出も視野に入れている。

● 4. Sulphur cathode material to add durability of Li-ion battery

日立製作所　山内恵理奈様

日本におけるLiB研究開発プロジェクト「RISING2」概要の紹介を行った。EV普及の妨げ　コスト、走行距離であり、低価格、高容量LiBが必要である。硫黄を正極材料に使うことで容量が理論上、約10倍にできる。硫黄は石油精製プラントで大量に入手可能なため低コスト。一方で硫黄が電解液に溶出してしまう。これらを克服する目的で鉄添加、Tiコーティング粒子の開発を行っている。従来品よりサイクル特性が向上した。負極はリチウム金属を想定している。成果と課題は、次の通りである。1. 極材料（Li8FeS5）は、比較的高い初期放電容量を示した。しかしながら、数サイクルの間に急速な容量劣化が観察された。2. TiOx層で被覆されたLi8FeS5は、被覆されていないもの（18%）よりも100サイクル後に高い容量保持率（60%）を示した。3. TiOx層が多硫化物の溶解およびLi8FeS5粒子の表面上の分解生成物の形成を妨げることが推測される。

写真8　日立製作所 山内様

写真9　聴講風景

● 5. Dynamic wireless power transfer system for electric vehicle

東京大学　堀洋一教授

100年後の自動車のあり方について。重たい電池を積んで走るのは間違っている。モーター、キャパシタ、ワイヤレスへのパラダイムシフトが必要である。電車同様、インフラから給電される自動車となる。モーターを使えることがEVのメリットである。電気的制御が可能で迅速なトルク応答、アンチスリップ制御、スキッド検出ができる。分散モータの設置、車両ダイナミクス制御、測定可能トルク道路状況推定ができる。これらを最大限に生かさなければならない。

インホイールモーター自動車＋ワイヤレス給電の実証開発を行っている。走行中ワイヤレス給電の重要なポイントは次の通りである。1. 静的充電に対して、動的充電はまったく異なる技術で、電磁誘導、磁気共鳴、マイクロ波送電技術がある。磁気共鳴送電が有力である。2. 地上設備は非常に簡単でなければならない。100km施設を作る必

写真10　Lunchは主にcurry

写真11　Sweets も充実

要ある。受信側と送信側は通信しない。など。ビジネスモデルとしては、最初の設備は、高速道路がよい。日本の通行料は高いので、費用はそれに含めることができるはずである。

EVS32はリヨンで開催される（2019年）

写真12　為乗様第2発

写真13　出席者からのコメント

●6. EV Drive train technology

HGID　為乗浩司様

高磁気特性を有するHRFフリー磁石の開発とHVトラクションモータへの応用の紹介を行った。HRF-Freeで、1モーターと2モーターハイブリッドシステムを実現した。従来モータはDy 5-10%. Tb 1-5%が含まれる。従来のモータと同じ性能を出すためには材料に加えて①ロータの形状、②放熱設計が重要である。マグネットの微細構造を最適化することで磁気特性を向上させた。ロータ形状の変更、セグメント化されたマグネットの採用、モータ冷却系の改善により、減磁耐力が向上した。

インド出席者からのコメント

インドが導入すべきなのはEVと考えている。HVなどの特徴や良さ、通常60㎞で充分であることは十分わかったが、我々は、インド国内の状況や環境にあったものを投入したい。

インドでのEV導入にあたって外国のような高性能である必要はない。例えば電池は0-50℃でよい。低コスト電池を国外の技術により導入し、その間に国内での生産体制を整備の整備と国内雇用を確保して行きたい。公共交通を先行して進めたい。パーソナル化―は100㎞以上であるが、バスやタクシー公共なら10㎞のから 確実にPMとCo_2を減らしたい。

その後、パーソナル化―に広げたい。充電スタンドは5㎞ごとの設置を進める。政府投資も一考が必要で、広く行うか、集中させるか検討が必要である。大臣からの指示もありインドならではの市民の要求と生活に可能な限り応じる政策が必要である。

以上

ARAI
Automotive Research Association of India
Dr. Anand Deshpande / Senior Deputy Director
Dept. of Science & Technology:
GOVERNMENT OF INDIA MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Dr. Sajid Mukadam / Scientist G
NFTDC:
Non Ferrous Materials Technology Development Centre
Dr. K. Balasubramaniam / Director
CECRI:
CENTRAL ELECTROCHEMICAL RESEARCH INSTITUTE
Prof. Visvanathan K Pillai / Electrochemical Materials Science Division
Dr. A.S Prakash / Scientist
ICAT:
The International Centre for Automotive Technology
Mr. Devesh Pareek / Manager
NRI: Nomura Research Institute
HONDA
HONDA
IISER PUNE
SIAM
Society of Indian Automobile Manufacturers

11月26日　ホンダIndia工場見学・技術交流会

眞田、岡田、國嶋、Krishnan、岩見

●テクニカルセミナー

ＸＥＶにて、インド政府関係オピニオンリーダーとの技術訴求活動の一環にキャパシターフォーラムメンバーも参画させて頂いたことから、ホンダ India（HDIG）に訪問し、セミナー講演内容も交えての技術交流会・HCIL（Honda Cars India ltd.）工場見学をさせて頂く機会を得られました。

■ＨＣＩＬ工場見学

●ＨＣＩＬ工場について

見学させていただいたのは、HCILの第一工場です。所在地はウッタル プラディッシュ州グレーターノイダ、デリーから高速道路で1時間ほどのところで、近くに高速鉄道も開通間近、高層マンションも多く建設中で、今後の発展が期待される街です。敷地面積は89万平方メートル、従業員約3000名、1997年に生産を開始。

さらにここから約110kmのところに第二工場（ラジャスタン州タプカラ）があります。こちらは2014年に生産開始。ここでは車両の組立ての他、鉄部品の鍛造・加工も行っているとのことです。

２つの工場で生産している車種は、CITY、CR-V、BRIO、JAZZ、BR-V、WR-V、AMAZE（AMAZEはインド向け専用車）。

生産能力は両工場で、年間30万台に達し、そのほとんどがインド国内向けとのことです。

部品供給サプライヤは200社以上で、約70％はローカルの会社、ディーラーは300社以上にもなるとのことです。

●工程見学

エンジンの組立、ボディ溶接、車両組立、検査の各工程を順に説明していただきました。

エンジン組立工程では、エンジンブロックにクランク、ピストン、フライホイール、ミッションなどの部品を取付け、さらにバルブタイミングの調整や電装部品の取付け、最後にサスペンションとの接続まで見学。

ボディの溶接工程では、プラットフォーム、ルーフ、サイドの各板金を自動ロボットにより一体化する溶接を行っていました。仮溶接と本溶接の2段階あり、約2000ヶ所の溶接を行っているそうです。

車両組立工程では、サブアッシーであらかじめ組み上げられた物が効率よく車体に取り付けられていきます。インパネ、電装ハーネス、遮温材、エアコン、燃料タンク、リアサスペンションなど、そしてエンジンがマウントされ、さらにエグゾースト、タイヤ、シート、ガラス、ドア、ハンドルが取付けられ完成となります。

最後に検査工程になります。灯火類の検査に始まり、車体外観検査、CO_2検査、シャワー水漏れ検査などを行います。この段階では車にバッテリーや燃料も入れられ、車は自走しながら検査がすすめられていました。

安全と品質については日本や欧米と全く同じ基準で行われているとの説明がありました。工程は全体に無駄なく清潔であり、誠実な車作りが行われていると実感することができました。

●従業員について

従業員はほぼ現地採用で、ヒンズー教、イスラム教、キリスト教など様々な人が一緒に働いていますが、特にトラブルのようなものはなく規律正しく作業をされていました。ただし非正規雇用では半年間という制限があり、教育期間が短いという悩みがあるとのことです。また、改善コンテストも開催されていて積極的な提案があり、従業員のモチベーションの高さを感じることができました。

●今後の見通し

インドの車両販売台数は現在約400万台でドイツを抜いて4位となっています。さらに今後も増加し2025年には670万台に達する見通しとのことです。

全世界的に見てもインドは重要な市場であることは間違いなく、生産車両の増加、多様化にともない、第一工場、第二工場を中心に今後大きく発展していくことと思われます。

■EDIGとの技術交流会

●インドのエネルギー供給と温暖化対策

インドでは、発電に占める化石燃料比率が80％と非常に高く、且つ自国で産出される石炭使用比率が非常に高い（石炭採掘量世界2位、発電量の石炭利用比率70％強）。今後のエネルギー政策はCO_2削減を進めるために太陽光発電や原子力発電など火力発電比率を下げる方向とのことです。又同時に現在ドイツで先行検討中である石炭からメタンガスを抽出する方法なども検討中のとのことでした。しかし、発展途上真っただ中のため、今後も電力供給量不足が課題であり、しばしば突然の停電は発生している模様です。同時に大気汚染の問題は、深刻且つ早急に検討すべき課題であるとのことです。訪問したEDIGでも外気は常にPM2.5の影響でガスが掛かっており、これから寒くなるに従い、郊外で寒さをしのぐために野焼き（燃える物はなんでも燃やす）が頻繁に行われ、益々大気汚染が酷くなる季節がくる模様です。当然国として排気ガス規制・燃費規制の強化を図っており、欧州レベルを求めています。2020年排気ガス規制値は120g-CO_2／kmと日本と同レベルまでになっています。そのため、EV車等推進によるCO_2削減政策は、エネルギー供給におけるCO_2削減と同時に進めなくてはならない。

●インドのCO_2削減対策

EAルールでは今後CO_2規制値は、各国のGDP伸び率に準じて緩和されることから、インド政府は今後も都市開発・企業誘致の推進によるGDP上昇率を維持しつつEV車（2030年販売台数30％）・バイオエタノール駆動車（2025年販売台数20％）などCO_2削減化車両の数値目標を掲げています。

●インドの交通事情と要求航続距離

EV等モーター駆動車を推進する上で、交通事情と実情の必要航続距離バンドの把握は重要となります。ホンダでは、販売車の走行データや利用者アンケートからインドでの車に求める走行距離は60ｋｍ以内／日が、利用者の大部分を占めると試算されています。現在、各カーメーカーが鎬を削っているEV及びEV用二次電池開発において求められる走行距離は一般的に400ｋｍ以上／日と言われていますが、都市開発の

真最中で渋滞の激しいインド（特に都市部）では、実用状そこまでの航続距離は求められない。そのため二次電池の開発においても性能とコスト両立のターゲットは短距離走行（炎天下の渋滞＆エアコン使用で60ｋｍ～／日）に即した開発が求められる模様です。

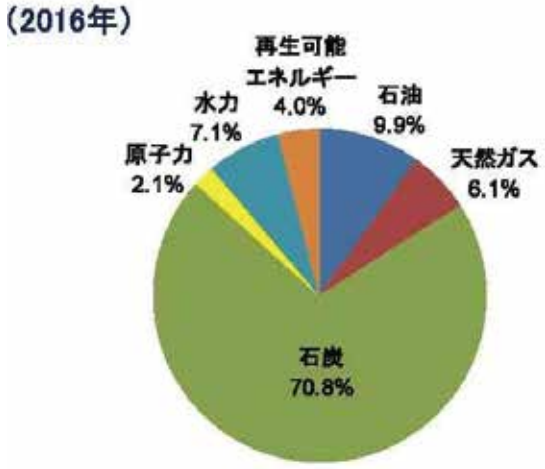
●インドの電池生産と給電インフラ

インド国内での二次電池の本格生産はまだまだこれからであるため、政府からの電池生産の企業・工場誘致活動への優遇措置などが注視されるところです。一方で、同時に求められる発電総量と給電インフラ整備については、急速充電スタンド能力も50kw/hまでであり、設置数もまだまだ不足している状況が実態である。そのため、ＥＶ車の販売推進の大きな課題となっている模様です。

●CO_2削減への具体的な提案

インドにおける大気汚染問題は待ったなしの状況であることから、インド政府方針である2030年ＥＶ化率30%。その裏を返せば残りの70%の車両のCO_2排出量削減が非常に重要となってきます。ホンダではＨＥＶによるCO_2削減効果の高さを今後もインド国内で訴求するなど、実効性のあるCO_2削減の推進を訴求していきたい考えとのことです。今後も自動車の電動化率を上げて、よりCO_2削減を推進する開発を進めながら、インドでのエネルギー生産事情と利用者の実態走行距離バンドに即した、各種車両のバランス「エンジン車（ICE）、HEV、PHEV、BEV」が非常に重要である事を訴求される考えでした。キャパシターフォーラムとしては、二次電池・キャパシター用素材開発やエネルギー効率の有効利用に関わる企業・大学・研究機関との連携など、より高性能・高効率なバッテリー・車両開発の実用化に向けた開発推進の産学共同の場として活用されることが今後も期待されています。又、インフラ整備との同時検討における可能性としてワイヤーレス給電を用いる新しいＥＶ開発も今後期待度が高まっており、様々の団体への提案と協業が出来る場として社会に貢献されることが望ましい。

【インドの発電量にしめる構成】



今回はキャパシターフォーラムの訪問を受け入れ、大変貴重な体験をさせていただいたことに深く感謝致します。

インド文化に触れて

朝山・宮野・渡辺・佐藤・福地

●はじめに

何人かで世界一面倒なVISA自己取得に挑戦し、中には渡航前日まで苦労された方もいましたが、何とか全員が入国できました。（事前確認して頂いた菅沢さんのお蔭です）まずはホッと！

●歴史

JALの機内から雪を冠したヒマラヤ山脈が見えた。その頂きから流れ出た太古からのインダス河とガンジス河。更にその流域に発展した文明。

BC2500年頃からのインダス文明。

BC1500年頃には現代インドの中心的宗教であるヒンドゥー教のベースとなるバラモン教が形成されている。カースト制度もこの時期から設立。悠久の時を感じる。

特に日本人にはなじみの深い仏教の開祖ゴータマ・シッダールタ（釈迦）誕生は500年以上の年月を有したことからも、歴史を感じないわけにはいかない。

個人的に関東人であるにも関わらず、日本の古都、京都・奈良に出向く機会の多い筆者としては、仏教の存在が興味深く。

釈迦の生まれたB.C.3~4世紀には、上座部仏教（ストゥーバと呼ばれる仏塔に礼拝）一世紀頃になり、判りやすい教義と仏像に祈りを捧げる、現代日本人の感覚である大乗仏教が勢力を持つ。

今回は、当時の遺跡には触れられなかったが、4500年の長きにわたり変わらない文化や風俗を持ち続けているインドだが、歴史上では激しい変遷にさらされ、幾多の王朝が誕生・衰退を繰り返してきた。

イスラム王朝等の外来勢力の影響、近年に至ってはイギリスの植民地化があったが、1950年に共和国として歴史をスタート。

共和国としての歴史はまだ70年足らずだが、すでに世界各国から熱い視線が集まっていることは周知のとおり。

ここ数年のインド経済の発展は目覚ましく、今なおカースト制度や貧富の差があるにせよ、平均年齢25歳の国の躍進は期待されるべき存在であろう。

アショカ王・カニシカ王・ムガル帝国等聞き覚えのある名詞がガイドさん（S・Gautamさん）より案内される毎に肯いていた次第である。

★年表

B.C.

2500～1500頃　インダス河流域を中心にインダス文明が栄える

1500～1000頃　バラモン教が形成されるカースト制度の設立も

600～500頃　ジャイナ教が成立

463か560頃　ゴータマ・シッダールタ釈迦 誕生

268年頃　アショカ王が即位 印ほぼ全土統一

A.C.

50頃　クシャーナ朝が興る

150頃　カニシカ王が仏教に帰依ガンダーラ美術も最盛期を迎える

320頃　バラモン教から発展のヒンドゥー教が誕生、古典文化の黄金時代へ

629頃　玄奘三蔵がインドに滞在

1129　ゴール朝イスラム支配の基礎築く

1526　ムガル帝国興る

1653　タージマハールが完成

1857　インド大反乱（反英闘争）発生

1858　ムガル帝国滅亡・英国領印帝国成立

1919　マハトマ・ガンジー不服従運動開始

1947　インド・パキスタン分離独立

1950　インド共和国成立

●宗教

前項にもあるように、歴史と宗教は切り離せないインドで有るが、現在ではヒンドゥー教79.8%　イスラム教14.2%　キリスト教2.3%　シク教1.7%　仏教0.7%　ジャイ教0.4%　と約8割がヒンドゥー教信者だが、人口13億人を超えるため、他宗教も少数とは言えなく、憲法では政治と宗教は分離され、信仰の自由も保証されている。

ガイドさんの説明の中で、ヒンドゥー教の概念の一つであるタントリズムに基づく『ミトゥナ像』『カーマスートラ』の話に男性原理と女性原理の結合が宗教的至福に繋がるという考え方で『性行為が真理へと近づく手段』と聞き、改宗しようかと邪推したのは小生だけだろうか。

●言語・学問・職業

BC5～4世紀に纏められた『サンスクリット語』は、現在でも公用語の一つであり、憲法上25の言語が認められている。

同じころ、『ゼロ』の概念を用いた計算法は世界中に影響を与えている。

IT業界で活躍するインド人が多いのは、このDNAの成せる能力かと納得。

また、カースト制度下では、職業の自由が無く身分により2000職の分担が決まっているが、IT関連は新規職種の為制約がされておらず、誰でも参画できることも大きな一因であるとの事。

●食文化

何と言っても『カレー』に尽きる

緑・赤・白・オレンジ・・・色とりどり、食材も多岐にわたるカレーを堪能。

ナン、チャパティー、ライスと一緒に食したが、然程辛くなく美味しい。

『奥深い』と感じた瞬間、口の中でスパイスが広がり汗が噴き出る。

ライスと共に右手で食してみたものの、スプーン使用の方が慣れている分だけ楽だ。

冷えたローカルビール（キングフィッシャー）で口内を洗浄しながら各種の味を楽しんだ。

輸入ワイン・ローカルワインは、個人的にカレーとの相性はお薦め出来ない。

中華料理も頂いたが、インド風なので、カレー風味から脱しえないので要注意。

●デリー

デリー空港に近付き、降下を始めると真っ青の空が灰色に！

PM2.5の洗礼・・・中国で慣れてはいるものの咽喉がいがらっぽい。

ニューとオールドでの『差』が激しく、『騒音・雑多』の中にも落ち着きのあるニューデリー。　対し、30年前のマニラを彷彿とさせる『人の渦』のオールドデリー

道路一本を境にまるで違う文化圏の様子を呈している。人口密度の大幅な差から来るものなのか？？？

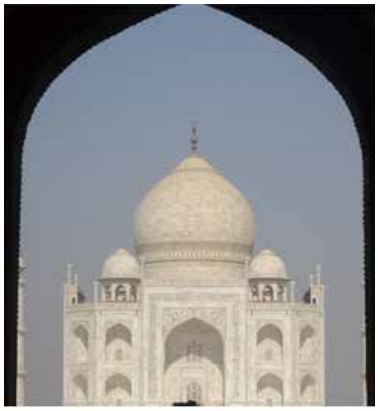
どちらも街路樹が電柱替わりで、皆が盗電している現状ではEV環境を模索する前にインフラ整備が急務である。

●観光（日曜日利用）

★タージマハール

大楼門（赤砂岩で出来た南側のメインゲート）典型的なムガル・イスラムの建築様式。アーチに入場。

アーチ内から霊廟を眺めると、目の錯覚なのか霊廟が徐々に小さく、遠くなっていく



大楼門を抜けると、大理石をふんだんに使った完璧なまでのシンメトリックな霊廟・イスラム建築を象徴する4本の尖塔。手前

に広がる天界を再現したペルシャ式庭園に圧倒された。

日曜日の為か空のブルーと白亜の霊廟・豊富な水と緑がコントラストを醸し出す。

ムガル帝国第5代皇帝シャー・ジャハーンが22年の歳月をかけて愛妻に捧げた霊廟との案内があった（1983年世界遺産登録）

象嵌細工　正面のアーチには世界の貴石

レリーフ　壁面の浮彫はペルシャの影響

カリグラフィー　黒大理石の象嵌

幾何学模様　イスラム教の世界観（無限）

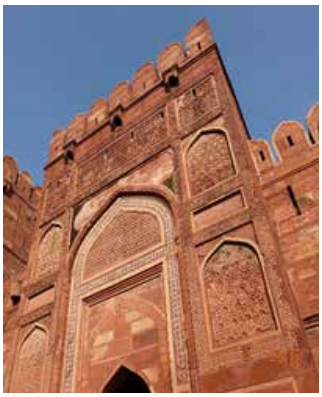
当時の世界的文化のまさに集大成であろう。

昼食を頂いた『オベロイ・アマールヴィラス（宮殿ホテル）の真っ青なプールと花壇の向こうに映える霊廟が印象的。

ひとときのマハラジャ気分を味わう。

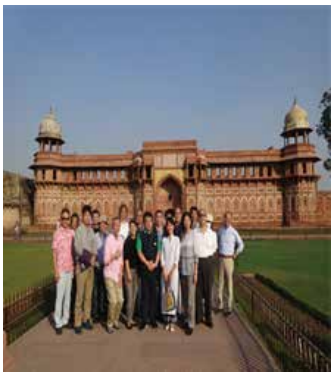
★アグラ城

続いての世界遺産であるムガル帝国全盛期の16世紀に建てられた城は、赤砂岩の壁



に守られた堅固な要塞。

イスラム様式の装飾や、ヒンドウー様式との融合部分・ムガル建築の特徴に加え、彫刻には中国の影響もうかがえる。当時の世界文化の博物館的存在。



ごった返す城門付近では物売りに囲まれて断るのに苦労（首を横に振るのはイエス）

●バスの車窓から

運転技術抜群の運転手さんのお陰で、車窓からの変化する景色にカメラを構えながら興味深い時間を過ごせた。

初日の空港からホテルへの移動から、車・人の多さに困惑。

特にホテル近くのシク教寺院でグルナーナク生誕祭が有った為、自家用車・タクシー・

オートリクシャー（三輪タクシー）・サイクルリクシャー（人力タクシー）・バイクと人が入り混じって大渋滞！

翌日の高速道ではバイクの逆走・人の横断など、なんでもあり～？？？

高速道路内を対象に販売店が在るのが不思議でならない。

郊外の高層ビル・マンション群は、街中の景色と一変。鉄道建設と呼応した今後の発展を示唆している。

●ショッピング

地下の広大なショッピングモールでのお買い物・・・堀先生　早速着ていた為乗さんの値切りテクニックに感服！

●纏め・感想

制度的な問題とも関連してか、まだまだ貧富の差が大きく政治的な対応が困難と感じたが、若く活気のある国で有ることは間違いなく、今後の発展に期待するところ大。

思っていたより治安も良く？他のアジア諸国に見られる路上での喧嘩に遭遇しなかったのは感心した。

繁華街では、一人がわざと汚物を着衣・靴などに掛けて汚し、ペアになった他の一人が拭いて金銭を要求する手口にまんまと引っかかったメンバーも。

各宗教とも信仰心が篤く感じられ、猫が少ないのも、鼠の神様の敵だからだそうな。

街中にも牛・山羊、寺院にも猿・栗鼠等、我が物顔に闊歩している。

聞きしに勝る光景があちこちで！

ホテルでのトイレにもハンドシャワーが付いており、用便後の『左手水洗浄』を体験。シャワートイレの原型かと。

振り返ってみると、1964年の東京オリンピックの前までは、東京でも同じ様な状況だったかと思い出をたどる。

今は昔・・・

●御礼

★ホンダインド研究所様

ご対応有難うございました。

爲乗様には準備段階よりお骨折りいただき、又、現地においてもフルアテンド賜り、有難うございました。

短期間の間に、インド通になられましたね！

詳細は別稿でのご案内となりますが2Gとしても感謝の意を表します。

★ホンダ開発様

連日、昼夜に及ぶガイド役・世話役、有難うございました。

菅沢様・前泊様そしてバス車内での『インド共和国』の歴史・地理・感性等、解り易い表現で説明して下さったS・GAUTAMさんに御礼申し上げます。

今後とも、インドファンを増やすべくご活躍成されることを祈念しております。

★CF企画委員会様

公私にわたり、生涯忘れられない思い出を作っていただき、改めまして企画委員会の皆様、特にご尽力頂いた堀会長・佐久間副会長に御礼申し上げます。

退院直後の訪印、何事もなく帰国出来『謝謝！』

参考：るるぶ情報版　インド

参加者一言感想

●佐久間　一浩（東京農工大学）

ホンダ為乗様　この度は大変にお世話になりました。特に土曜のテクニカルセミナーは3ヵ月にわたり様々な交渉の上で実現して頂き、感謝の思いで一杯です。誠にありがとうございました。

●朝山　規子（個人）

インドホンダの皆様のお影でVIPな旅を体験させていただくことができました。テクニカルミーティングでは、インド政府の考える未来像がわかり、休日の観光でインドの現実とのギャップがわかりました。個人旅行では得ることが出来ない、有意義な4日間でした。

●伊東　洋一（サンケン電気）

ホンダ為乗様　デリーでは大変お世話になりました。技術というよりは文化面について、タージマハールでランチのときのサーバントのお話が衝撃的でした。その国で仕事するには、その国の文化や実際の生活をしらないと何を言っても始まらないことを痛感しました。本田技研様とは今後もV2Hパワコンで一緒に仕事をさせてもらえるよう技術と心を磨きます。

●岩見　達哉（日本ケミコン）

インドフォーラムに出席して、インド政府や自動車業界が今後のCO_2削減対策において多角的に検討を進めていることを「肌」で感じることができました。聞くのと感じるのでは大きな違いがあることを再認識でき有意義な時間を得られました。

●岡田　昇（日本ケミコン）

今回はインドという国のほんのちょっとを見ただけでしたが、溢れる若さとエネルギー、可能性を強く感じました。交通や生活インフラなどあらゆる面で、インドは今後10年間で最も大きく変化する国であろうと思います。とても貴重な体験となりました。

●金田　安生（三菱製紙）

今回のインド視察では大変お世話になりました。初めてのインド訪問で、テクニカルセミナー、Delhi街中、Agraといずれも大変刺激的で貴重な経験をさせていただきました。また道中、皆様との交流によって大変楽しいかけがえのない旅となりました。

●岸　和人（リコー）

堀先生、皆様　インド訪問ありがとうございました。初めての中国とはまた違ったカルチャーショックがあり、とても勉強になりました。

●國嶋　和禎（シンガポール ケミコン）

このたびのフォーラムでは、インド市場での政府や自動車業界の目指している方向や取組みについて勉強することができました。技術の潮流についてもっと勉強しないといけないと改めて実感しました。また、インドの生活風景を垣間見ることができ、これ

も貴重な体験になりました。

●佐藤　登（個人）

これまで敬遠してきたインドを訪問し、学ぶことが多々ありました。大気汚染の現状と今後の政策方針、経済成長の速度感、人口増加と今後の産業経済の予測等、そしてそこに関わる日系企業の想定されるビジネスモデルも視野に入りました。これも、本企画を立案していただいた堀先生、佐久間さん、受け皿となっていただいた為乗さん、さらに後方支援をいただいたホンダ開発殿の「おもてなし力」があってこその有意義なイベントでした。

●眞田　拓聖（リケンテクノス）

この度は、大変貴重な経験をさせて頂き心から感謝しております。今後、インド市場も含め、ＥＶを中心とした新しい潮流の中で非接触充電システムなど、我々材料屋がお手伝いできる事を切磋琢磨して発信していきたいと改めて感じました。

●福地　正典（個人）

ビザ取得～苦労した甲斐があり、テクニカルセミナーやホンダ様見学での学習以外に、インド文化に少しでも触れられた事は非常に参考になりました。歴史、宗教、食文化そしてオールドとニュー、二つのデリーの相違！　高速道路での逆走、横断。盗電。30年前のマニラを彷彿させる。平均25才の若い国のこれからの発展を祈念してやまない。為乗さんのご尽力とホンダ開発の皆様に御礼申し上げます。

●真島　隆司（ＩＨＩ検査計測）

この度は、人生においてとても貴重な経験ができました。為乗様、キャパシタフォーラム関係者様に心から感謝いたします。今後、インド市場と文化の理解を深めて行きたいと考えております。数多くの芸術家たちが、インドに魅了された一端が感じられた（本当にそのレベルかは甚だあやしいものでありますが）と個人的には考えております。

●宮野　幸治（サンクメタル）

今回のインド交流では大変お世話になりました。約20年前にＰＢ正極剤表面に導電性付与のコーティングの研究をしていた時期が有り、テクニカルセミナーは大変興味深く拝聴させて頂きました。また、Tajmahal、Aguraは想像以上のものと大変驚きまた感激しております。

●吉澤　徳子（個人）

お誘い頂くまま気楽に参加した今回のツアーでしたが、想像以上に充実した内容でした。インドにおける電気エネルギーやインフラ整備の実情、自動車電動化に対する国としての見解など、資料を読んでいるだけでは実感できなかった点が多々あり、大変勉強になりました。あとは、飛行機から見えた白いヒマラヤ山脈の清々しさ、賑やかな街角、バスの窓越しに見たデリー駅前、菜の花畑や交差点の野良牛など、印象的な風景が本当にたくさんありました。

●吉田　悦子（東京大学）

インド政府関係の方々との交流や工場見学などとても自分の力だけでは経験できない機会を頂きありがとうございました。為乗さんの技術訴求活動は、自分の研究テー

マである「国レベルの環境政策立案における合意形成のための市民参加」の手続きのひとつであるロビー活動を国際レベルで体験させて頂けて非常に勉強になりました。技術を普及する上では、環境問題と社会的背景との関連についての理解も重要であることを再認識致しました。

●渡辺　裕（個人）

今回のインドフォーラムでは、テクニカルセミナーや工場見学等、大変貴重な交流の機会を下さいましてありがとうございました。同時に、インドの多様性を改めて実感しました。皆様方に深く御礼申し上げます。

●BARA KRISHNAN（シンガポール ケミコン）

My comments is all suppliers to India market must understand the requirements of the market demand and conditions. We need to follow what is required by Indian customers to get any business as the conditions and culture of business is different compared to Japanese market. This is important point if we want to succeed business in India.

●山内　恵理奈（日立製作所）

みなさま　インド訪問では大変お世話になりました。堀先生、佐久間先生、為乗様をはじめ、ご経験豊富な皆様とご一緒出来て、良い経験を積ませていただきました。皆様に感謝申し上げます。リアルなインドの一端を理解することができました。今後ともご指導いただけると幸いです。

パワーエレクトロニクスの基礎（1）

本解説シリーズではキャパシタの蓄電原理、特徴、保護協調および保守について解説してきました。ここでは、キャパシタを応用するにあたって必須な技術でありますパワーエレクトロニク（以下パワエレと略します）基礎について解説します。今回はパワー半導体デバイスについて解説します。

キャパシタとパワーエレトロニクスとの関わり

前号は「キャパシタの上手な使い方」について解説しました。キャパシタを充電・放電するにはパワエレが必須であることを説明しました。

図1にキャパシタとパワエレの関わりを示します。

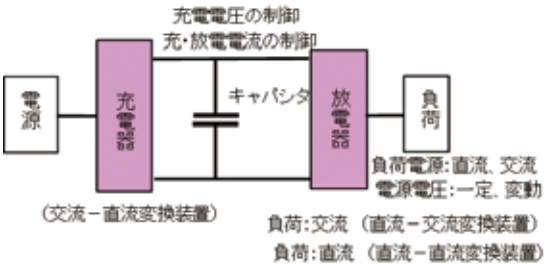


図1　パワーエレとキャパシタとの関連

パワーエレクトロニクスとは?

電気学会の電気専門用語集No.9（パワーエレクトロニクス）による定義では、パワーエレクトロニクスとは「電力、電子および制御の技術を統合した電力変換および電力開閉に関する技術分野」と定義しています。

パワエレを用いた機器、装置をパワエレ機器、又はパワエレ装置と言います。

図2にその概念図を示します。

次に図2のパワー半導体デバイスにについて説明します。

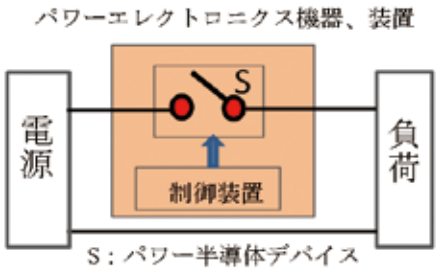


図2　パワーエレの関連技術範囲

パワー半導体デバイスとは?

パワー半導体デバイス（以下パワーデバイスと略します）とは日本語では電力用半導体素子と言います。物質には電気を良く通す導電体と電気を通さない絶縁体とがあります。半導体はこの物質の中間にあることから半導体と言われています。

物質の中の電流の流れについて会報誌

～ 猫でもわかる？ わかりやすい ～

連載 第13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

Vol.4で説明していますように〝電気の流れ〟は電子の移動によるものです。パワーデバイスはこの半導体の電子の流れを制御できるようにしたものです。

パワーデバイスの材料

物質の原子は原子核を中心にその外側を電子が一重、二重、三重とぐるぐると回っています。一番外側の電子はその物資によって決まっています。パワーデバイスは、この一番外側の電子の数が3、4、5個の物質が用いられています。原子は電子の総数と最外周の電子の数は元素の周期率表に対応して決まっています。また原子核の電荷と周回している電子の電荷の総量とは同じで原子としては電気的には中性です。

最外周の電子を価電子と言います。この価電子の数で表してこの原子を「○○族原子」と言います。例えばシリコンは価電子が4ですのでⅣ族原子となります。周期率表のⅢ属～Ⅴ族元素の抜粋を図3に示します。

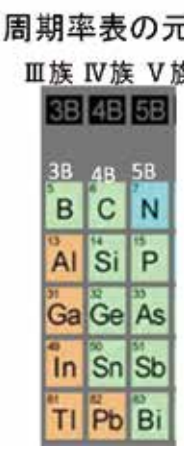


図3　周期率表の抜粋

半導体の造り方

半導体は半導体の基材、例えばシリコン半導体の場合はシリコン（図3のSi）に価電子が一つ少ない物質又は一つ多い物質を微量混合して結晶を作ります（このことをドーピングと言います）。Ⅳ族のシリコンにⅢ族の物質、例えばアルミニウム（図3のAl）をドーピングすると、シリコンの電子1個がシリコン原子から飛び出します。この結果、シリコン原子はプラスの電荷を持つことになります。P形半導体の誕生です。Ⅲ族に変えてⅤ族の物質（例えば図3のりん（P））をドーピングすると、シリコンは1個の電子を取り込み、結果としてマイナスの電荷を持った原子になります。N形半導体の誕生です。

図4にその様子を示します。

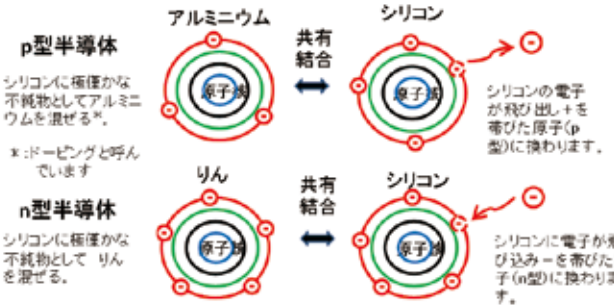


図4　p形半導体とn形半導体の造り方

パワーデバイスの基本動作

半導体の基本構造はp形半導体とn形半導体であることを説明しました。パワーデバイスはこの二つの半導体で作られます。図5はパワーデバイスの代表であるダイオードの基本構想を示した図です。

p形半導体とn形半導体を接合し、接合面の反対側にはそれぞれ電極を付けた構造です。

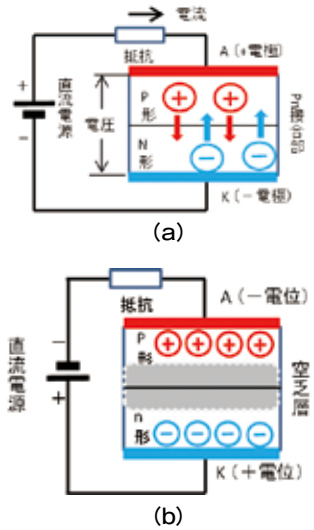


図5　ダイオードの動作

n形半導体の中には自由に動き回れる電子が充満しています。p形半導体には自由に動きまわれるホール（正孔）が充満しています。図5（a）に示すように図示の極性の電圧を加えると、電子とホールにはクーロン力が図示の方向に働き、接合部を通って移動します。接合部を通った電子とホールは結合して消滅します。消滅したホール、電子に相当するホールと電子はそれぞれの電極から注入され、この動作が継続し続けます。

図5(b)に示したように両電極に加える電圧の極性を反転しますと前述のクーロン力とは反対の力が電子とホールに働き、ホールはプラス電極に、電子はマイナス電極に引き寄せられ、pn接合部には電子もホールも存在しなくなってしまいます。電子もホールもないこの接合部を空乏層と言います。接合部の電子もホールの移動がありませんので、電流の流れはありません。

パワーデバイスの接合構造

前述しましたpn半導体を接合した（この構造を2層構造と言います）パワーデバイスがダイオードである事を示しましたが、3層構造や4層構造のパワーデバイスがあります。3層構造がトランジスタで4層構造がサイリスタ、GTOサイリスタです。図6に構造とデバイス一覧示します。

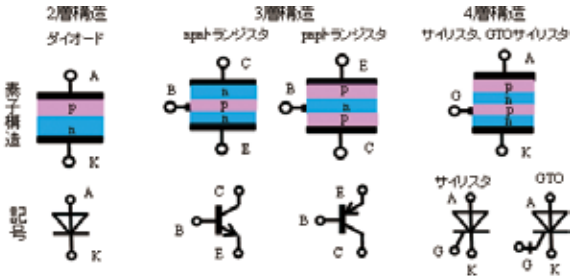


図6　パワーデバイスの基本構造（バイポーラ形）

パワーデバイスの制御機能

パワエレ機器はパワーデバイスのスイッチ制御機能を利用した機器です。前述のパワーデバイスのスイッチ制御機能の一覧を図7に示します。同図に示したスイッチ制御機能で非可制御デバイスはダイオードの様にオンオフ制御できないデバイスです。〝オン制御〟デバイスはスイッチオンのみ制御でき、スイッチオフは出来ないデバイスです。〝オンオフ制御〟デバイスはオンオフが制御出来るデバイスです。

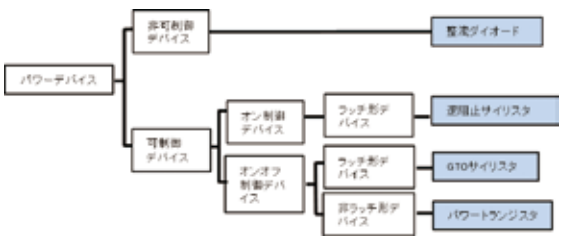


図7　制御機能とパワーデバイス

バイポーラ形とユニポーラ形

半導体の中で電気を運ぶ電子やホールをキャリアと言います。半導体で二種類のキャリアを使ったものをバイポーラ形半導体と言います。キャリアが一種類のものをユニポーラ形半導体と言います。図6に示したパワーデバイスはキャリアが2種類ですのでバイポーラ形となります。ユニポーラ形としては代表的なパワーデバイスはMOSFETです。MOSFETの基本構造を図8に示します。

同図で(a)は阻止状態、(b)はオン状態、(c)は記号を示しています。(a)ではドレイン～ソース間はnpnの3層構造となり、図5のトランジスタと同じで、電流は流れません。(a)の状態でゲートに既定の電圧を加えると(b)の様になり、ドレイン～ソース間は同じn形半導体で結ばれ、導通状態（オン状態）になります。図8の例はn形のMOSFETの例です。

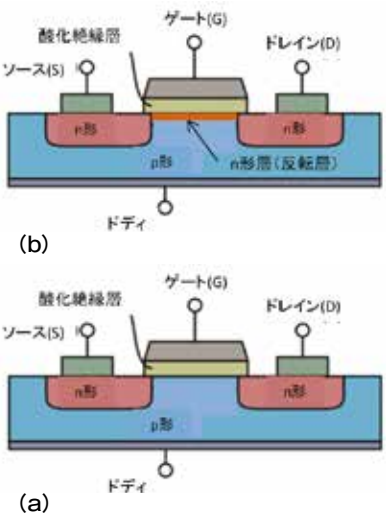


図8　MOSFETの基本構造

パワーデバイスの駆動方式

パワーデバイスをオンオフ制御するには図6に示したデバイスのB（ベース）又はG（ゲート）に電気信号を与える事によって行われます。パワーデバイスのB又はGに制御信号を与える方法を駆動方式と言います。この方式には電流形と

電圧形とがあります。電流形は規定の電流をB又はGに流すことによってオンオフ制御する方式で、電圧形は既定の電圧を加えてオンオフする方式です。駆動方式とパワーデバイスの一覧を図9に示します。

駆動方式	デバイスの種別	デバイス
電流形	バイポーラ形	パワートランジスタ サイリスタ GTOサイリスタ
電圧形	バイポーラ形	IGBT
	ユニポーラ形	MOSFET SiCデバイス GaNデバイス

図9 パワーデバイスと駆動方式

バイポーラデバイスの泣き所（逆回復電流）

逆回復電流はバイポーラ形デバイス特有の現象です。図10でダイオードの例で説明します。(a)は記号、(b)は理想的なダイオードの特性で、電流がゼロになってオフ状態になります。(c)はバイポーラ形デバイスの実際の動作です。オフ動作で、電流がゼロになっても図の朱色部で示したような電流が逆方向に流れ続けます。この電流を逆回復電流と言います。この逆回復電流によってオフ時に図11に示すスパイク電圧と損失を発生します。

この結果、バイポーラ形デバイスにはスイッチングの高周波化に限界がありました。

ユニポーラ形はこの逆回復電流が非常に小さいので高周波用にはユニポーラ形が適しています。

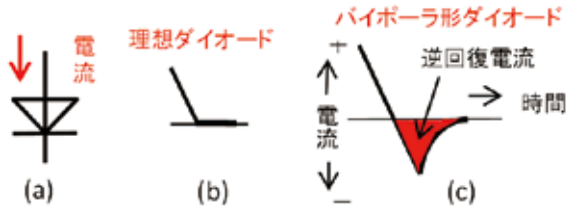


図10　バイポーラ形デバイスのオフ動作

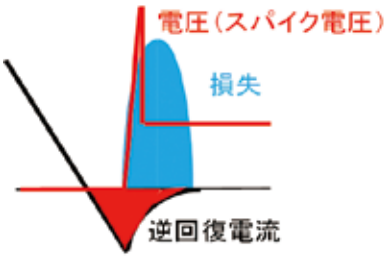


図11　逆回復電流

パワーデバイスの進歩

1960年代サイリスタが誕生してからパワーデバイスは、パワートランジスタ、GTOサイリスタ、IGBT、SiC、GaNへと大きく進歩して来ました。パワエレの進歩はパワーデバイスの進歩であると言えます。デバイス構造も初期のメサ形から高耐圧化を可能とするプレーナ形へと進歩し、更には低損失・高速スイッチング化を目指してトレンチ形へと進歩しました。デバイス耐圧の進歩の一例を図12に示します。

IGBTに換わってSiC、GaNの時代になりつつあります。次のデバイスとしてダイアモンド期待されています。

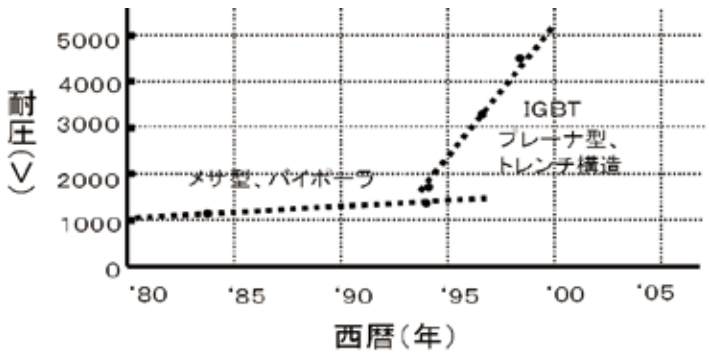


図12　デバイス耐圧の進歩

2018年度活動報告

［２０１８年度年次大会］

２０１８年５月１８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技術セミナーとして下表の講演が行われた。

①ＪＳＲ（株） 安藤信雄様	①Ｌｉイオンドーピング技術とリチュウムイオンキャパシタの開発	⑥群馬大学 鳥飼幸太様	⑥東日本震災時の計画停電対応の経験を踏まえた病院ＢＣＰのおける電力継続及び無停電化の重要性
②東京理科大学 片山昇様	②燃料電池・スーパーキャパシタのハイブリッド電源システム	⑦大阪府立大学 林晃敏様	⑦無機固体電解質を用いる全個体二次電池の進展
③日本電産（株） 加藤昌樹様	③日本電産における工場自動化とワイヤレス給電の取り組み	⑧大阪大学 西岡圭様	⑧福島ＳｉＣ応用技研（株）におけるＳｉＣパワーデバイス社会実装の取組みについて
④東京大学 久保登様	④超小型電気自動車が開く今後の社会	⑨ＩＢＭ（株） 梶谷浩一様	⑨自動車産業における情報技術について
⑤（株）本田技術研究所 田島孝光様	⑤ Electric RoadSystem (Dynamic Charge System) の開発について	⑩東京大学 岡田真人様	⑩マテリアルインフォマティクスとデータ駆動科学

〔定例フォーラム〕定例フォーラムは下表のように計８回開催された。

①個人会員　木下繫則様 ②川崎化成工業（株） 岡部明弘様	①第６回パワエレ基礎講座 ②会社紹介	③太陽誘電（株） 石川信治様	③太陽誘電の電気二重層キャパシタとリチウムイオンキャパシタのご紹介
①個人会員　木下繫則様 ②個人会員 佐久間一浩様	①第６回パワエレ基礎講座 ②２０１９年１２月に発布された中国電池関連の国家方針２２号と上海のバス事情と電池業界	③ＩＥＥＪ プロフェッショナル 長瀬博様	③サーボプレスとそのエネルギーの蓄積装置
①堀先生他 ②個人会員 佐々木正和様	①インドフォーラムの報告 ②バスの電動化、日・中・欧の現状、蓄電池の進化による可能性と課題	③国立研究開発法人 新エネルギー・ 産業技術開発機構 小笠原有香様	③技術革新による徹底した省エネルギー社会の実現に向けたＮＥＤＯの取組み
①個人会員　木下繫則様 ②特定非営利活動法人 ＩＴＳ　Ｊａｐａｎ 穐場亨様	①第５回パワエレ基礎講座 ② Mobility as a Service	③イーメックス（株） 瀬和信吾様	③キャパシター的パワー電池（導電性高分子正極）の開発と性能
①個人会員　木下繫則様 ②日本ケミコン（株） 玉光賢次様	①第４回パワエレ基礎講座 ②次世代ｷｬﾊﾟｼﾀの方向性	③筑波技術大学 倉田成人様	③建築・社会基礎分野における キャパシタシステムの応用
①個人会員　木下繫則様 ②個人会員　青木良康様	①第３回パワエレ基礎講座 ②スーパーキャパシタの現況と展望	③日野自動車（株） 小川博様	③２０３０年から２０５０年を見据えた物流と公共交通に関する展望
①個人会員　木下繫則様 ②国立研究開発法人 産業技術総合研究所 山内絵理奈様	①第２回パワエレ基礎講座 ②高容量硫黄正極を用いた電気自動車用リチウム電池の研究開発	③九州工業大学大学院 坪田俊樹様	②竹由来電気二重層キャパシタ電極の開発を目指した多孔質炭素材料の作製
①個人会員　木下繫則様 ②放送大学　北条善久様	①第１回パワエレ基礎講座 ②高速道路における車両運搬ＥＶへの走行中給電システムの検討	③東京都市大学 太田豊様	③電気自動車と電力システムの統合～ Zero Emissin Society ～にむけて

INFORMATION

－事務局から－

２０１８年度はHonda　Indiaの為則様と関連部署の絶大なご協力でインドでのフォーラムが開催されました。参加者もこれまでの海外フォーラムでは最高の約２０名と大勢の方の参加がありました。これから発展が期待されるインド､本会報に報告記事がありますので参考にしていただきたいと思います。

キャパシタフォーラムの運営費は会費で行われているのですが、毎年の不足分を
過去の預金で補ってまいりました。勿論限りがありますので対応をとる必要があり、２０１８年度の総会で２０１９年度から法人会費の改定が承認されました。法人会員は複数の方の参加が可能です。是非多くの方に参加いただきフォーラム活動をもりあげてください。

また企画、運営に関して企画委員の方へ頼りがちです。こちらにも積極的な参加をお願いしたいと思います。

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（２０１９年4月時点）

アイオクサスジャパン(株)
旭化成(株)
アドバンストコンポジット(株)
大塚化学(株)
川崎化成工業(株)
菊水電子工業(株)
(株)クラレ
(株)小松製作所
(株)サンクメタル
サンケン電気(株)
ＪＭエナジー(株)
(株)ジェイテクト
積水化学工業(株)
(株)センチュリーアークス
太陽誘電(株)
(株)デンソー
(株)豊田中央研究所
日本ケミコン(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
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)
リコー株式会社
（個人会員２７名）

編集後記

会報１４号も無事お届けで知ることになりました。メデタシメデタシ！

記事の集まりもスムースで少し苦労と言いますと、お願いしたページ数と異なる原稿が多かったことです。総ページ数に別に制限はないのですが、印刷代を安く上げようとすると4の倍数が望ましいので割り振っているわけです。

最も書かれる方もそううまくページ数を調整するのは難しいですよね。

ところで今回活動報告をまとめていて初めて気が付いたのですが、月次フォーラムの回数が8回でした！8月は夏休みで7回が例年でした。誰も気が付かずに8回開催しておりました。メデタシメデタシ

キャパシタフォーラム会報誌　　２０１９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