

《目次》

| | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Smart Energy Week 2016・・・1～6 p | PV EXPO 2016・・・・・・・・・・7～9 p |
| LIBとEVの将来シナリオ・・・10～11 p | WIND EXPO 2016・・・・・・・・・・12～17 p |
| 蠟梅 Now・・・・・・・・・・18 p | |

「スマートエネルギーWeek 2016」参加報告（1～3）

1. 次世代電池技術とエネルギーキャリア技術の最新動向

神鋼リサーチ（株）大西 隆

2016年3月2日から4日までの3日間にかけて「スマートエネルギーWeek 2016」が東京ビックサイトで開催された。スマートエネルギーWeek 2016では、「第12回国際水素・燃料電池展」「第9回国際太陽電池展」「第7回国際二次電池展」「第6回国際スマートグリッドEXPO」「第4回国際風力発電展」など新エネルギーに係わる9つの展示会が同時開催された。これらの展示会では水素・燃料電池分野が最も古く、次いで太陽電池、二次電池の順になっているが、いずれも展示の規模は縮小傾向にある。そのため、「太陽光発電システム施工展」「電力自由化展」「バイオマス発電展」など新たな分野の展示会が併催されるようになっている。



SEW2016 会場入り口

なお、スマートエネルギーWeek 2016では前記各分野において60件以上の専門技術セミナーも開設され、二次電池分野では「蓄電池革命を予感させる次世代材料・次世代電池の最新動向」、水素・燃料電池分野では「エネルギーキャリア技術の最前線」と題する専門技術セミナーを聴講した。

次世代二次電池に関しては「全固体電池」「空気電池（金属-空気電池）」「レドックスフロー電池」「ナトリウムイオン電池」「リチウム硫黄電池」「多価カチオン電池」など様々なタイプの電池が研究されているが、硫化物系ガラスセラミックスを固体電解質に使用した全固体電池が最も実用に近い次世代二次電池といわれている。このような状況の中で、日立造船から全固体電池（試作品）の特徴・性能・仕様に関する報告がなされた。全固体電池はリチウムイオン電池（LIB）の電解液を固体電解質に置き換えた電池であるが、不燃性で流動性のない固体電解質を用いるため発火の心配がなく、安全な電池として注目されている。また、広い温度域で使用でき、高電圧にも対応できるというメリットもある。同社の開発コンセプトは「全固体電池の性能を最大限引き出すこと」「低コスト製造プロセスの実現」にあり、Hitz（日立造船）グループの機械製造技術を活用した独自の製造プロセスにより全固体電池を製作している。ただし、同社の全固体電池の特徴を見ると、全固体電池

の一般的性質を列挙しているようで、同社の全固体電池の優位性は明確になっていない。

一方、新しいタイプの次世代二次電池として「硫黄-シリコン系二次電池」の開発状況が早稲田大学から報告された。この電池は正極活物質に硫黄、負極活物質にシリコンを使用する。硫黄、シリコンとも容量が大きいことから、高容量電池の可能性を秘めているが、充放電過程で硫黄が反応中間生成物 ($\text{Li}_2\text{S}_{4-8}$) を生成して電解液に溶出するなど多くの課題を抱えている。この対策として「電解重合ポリピロール被覆によるポリスルフィド溶出抑制」を早稲田大学は提案しているが、残された課題が多いことから実用化までには長期間を要すると考えられる。なお、早稲田大学では、硫黄-シリコン系二次電池を車載用蓄電池として実用化することは考えておらず、新しい電池は新しい用途（市場）に使用すべきとしている。

また、超高濃度電解液を使用することにより、LIB を革新できる可能性があることが東京大学より報告された。現在、LIB には高容量化、高電圧化、高充放電レート化、高安全化などが求められているが、これらの特性は電解液が支配している。これまで電池特性上の制約から EC (エチレンカーボネート) が電解液の溶媒に使用されてきたが、超高濃度電解液にすれば使用できる溶媒の選択肢が広がる。講演では、AN (アセトニトリル) とアミド塩 (LiTFSA 、 LiFSA) を組み合わせた超高濃度電解液を使用した LIB の特性が紹介された。これらの電解液を使用することにより、Li の還元安定性が向上し、きれいな充放電反応が得られるようになる。また、充電速度も大幅に増加する。このように、超高濃度電解液を使用した LIB は革新電池となるポテンシャルを秘めているが、その理由は明確になっていない。今後開発を進める上では、現象の解明（現象に対する的確な考察）が不可欠と考えられる。

燃料電池のエネルギー源である水素は、常温・常圧下で気体（ガス）であることから、大量貯蔵が難しい。現状は「高圧による圧縮」「低温による液化」「合金による吸蔵」により水素の貯蔵が図られているが、水素貯蔵の新しい手法として「液体有機水素キャリア」による貯蔵技術が注目されている。

液体有機水素キャリア (LOHC : Liquid Organic Hydrogen Carriers) は、二重結合を有するベンゼン環を水素化させてシクロヘキサン環にすることにより水素を LOHC に貯蔵する技術である。

AREVA 社（ドイツ）では、LOHC にジベンジルトルオール (Dibenzyltoluol) を使用して、LOHC 技術開発を進めている。ジベンジルトルオールは、**次式**に示す反応により、LOHC1 モル当たり 9 モルの H_2 を貯蔵することができる。 $\text{C}_{21}\text{H}_{20} + 9\text{H}_2 \leftrightarrow \text{C}_{21}\text{H}_{38}$

有機化学反応により水素を貯蔵するため、大量の H_2 を常温・常圧下で長期間貯蔵することができる点に特徴がある。 H_2 を取り出す際には 250°C に加熱 (Pt 触媒使用) して逆反応を起こさせるが、化学反応であるため H_2 の取り出しには時間がかかる。また、LOHC 分子の安定性が低く、50 サイクルで液体の 10% を交換する必要がある等の課題がある。

千代田化工建設でも、LOHC にトルエンを使用した LOHC 技術開発を進めており、パイロットプラントを建設して実証実験 (NEDO : 水素サプライチェーン実証プロジェクト) も行っている。LOHC 技術開発に対しては、技術価値を検証し、ビジネスモデルが成り立つかの判断をする必要がある。

以上、二次電池分野、水素・燃料電池分野の新技術に対しては、今後とも情報収集を続け、開発動向と実用化動向を注視していきたいと考えている。

2. 国際水素・燃料電池展参加報告

神鋼リサーチ (株) 大西良彦

2016年3月2日から4日まで、リード・エグジビション・ジャパン主催の「スマートエネルギーWEEK 2016」が東京ビッグサイトで開催された。今回は、今年で12回目を迎えた「国際水素・燃料電池展 (FC EXPO 2016)」併設の専門技術セミナーの中から、国内自動車メーカーにおける燃料電池自動車(FCV)の開発状況および固体高分子形燃料電池(PEFC)セル材料開発の2つのセッションを聴講したので、概要を報告する。

(セッション FC-2) 普及が進む燃料電池自動車 ～日本の実用化の現状と普及展望～

「Hondaの燃料電池自動車開発と水素社会に向けて」ホンダ, 守谷隆史氏

本年3月にリース販売を開始する「Honda CRALITY FUEL CELL」を中心に、同社の燃料電池車とその周辺機器の紹介があった。

2008年に発表した「FCX CRALITY」に搭載した燃料電池スタックをベースに33%小型化し、容積出力密度3kW/L以上、重量出力密度2kW/kgを達成した。さらに、SiCパワーモジュールを採用することによりパワーコントロールユニットを小型化して、フロントフード内に燃料電池スタック、モーター、パワーコントロールユニットをすべて搭載することができ、5人乗りキャビンスペースを確保することができた。

高圧水電解システムを用いた自立型小規模水素ステーションや、FCVの電力を交流100V/200Vに変換して家庭や屋外で利用できる外部給電器「Power Exporter」を商品化した。

「日産自動車における燃料電池自動車開発と普及に向けて」日産自動車, 森春仁氏

日産自動車は、個別の要素技術は開発済みとしているが、FCVの発売時期を明言していない。今回のセミナーでは、FCVを介して二次電池と水素タンクの間でエネルギーを融通し合うコンセプトが紹介された。水素インフラの整備が進むまでは、様子見の印象を受けた。

「FCVの開発と初期市場の創出/水素社会を目指して」トヨタ自動車, 河合大洋氏

トヨタ自動車は、2014年12月にセダンタイプの燃料電池車「MIRAI」を国内発売し、2016年3月2日時点で約500台販売している。年間生産台数は015年には700台であったが、2016年には2,000台、2017年には3,000台に拡大する計画である。さらに2020年以降には年間3万台以上を目指すとしている。

MIRAIに搭載された燃料電池システムコストは、2008年発表のコンセプトモデルと比較して1/20以下に低減された。現状でのFCVの車両価格は、税抜きで670万円であるが、2020年以降の本格普及に向けてさらに大幅な燃料電池システムコスト低減が必要である。

トヨタグループではFCV以外にも、FCバス(日野自動車)、FCフォークリフト(トヨタ自動織機)、家庭用固体酸化物燃料電池(アイシン精機)、水素ステーション(豊田通商)に取り組んでおり、FCバスについては、2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向け、100台以上を導入するとしている。

(セッション FC-5) PEFCセル材料開発の最前線

「日清紡における燃料電池部品開発」日清紡ケミカル, 萩原敦氏

日清紡では、高強度・波板形状カーボン/樹脂モールドセパレータを商品化し、定置用燃料電池に採用されている。同社のカーボンセパレータは、カーボン粒子と樹脂のコンポジット材料であり、メタルセパレータに負けない薄さを実現して軽量化に寄与している。高強度カーボン材料による薄型成形セパレータは、2005年～2009年NEDOプロジ

ェクト「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発事業 実用化技術開発」研究事業の成果であり、低コストが再評価されつつあるとのことである。

「実用化段階における PEFC 用イオン交換膜の課題と展望」日本ゴア, 松浦豊洋氏

同社が開発した延伸多孔質ポリテトラフルオロエチレン(e-PTFE: expanded-Poly Tetra Fluoro Ethylene)は、結節点を中心に PTFE を放射状にひき伸ばした構造を有しており、優れた化学的・熱安定性と耐久性を有する。イオン交換樹脂を繊維状補強材 e-PTFE で補強した電解質膜「GORE-SELECT」は、薄膜化が可能で耐久性に優れていることから、トヨタ自動車の「MIRAI」に採用された。

PEFC の電解質膜は、膜厚を薄くするほど高い出力密度が得られるが、膜の化学的耐久性と水素ガスの透過(ガスクロスオーバー)が問題となる。イオン交換樹脂の化学的耐久性の向上と水素ガスクロスオーバーの低減技術を開発することにより、膜厚 5 μ m を目指した開発が行われている。

電解質膜のコスト低減への寄与率は、イオン交換樹脂原料のコストダウンにより約 50%、薄膜化により約 20%、量産効果により約 30%と試算されており、イオン交換樹脂原料のコストダウンのインパクトが最も大きい。

「PEFC 用高活性・高耐久性 Pt-Pd 系触媒の開発」同志社大学, 大門英夫氏

PEFC セルスタックのコストの約 50%が白金(Pt)触媒のコストであり、Pt 使用量の削減が急務である。Pt 触媒の使用量を削減するには、Pt 触媒上での酸素還元反応(ORR: Oxygen Reduction Reaction)活性を向上させることが必要である。ORR 活性は、Pt 粒子サイズに依存し、粒子径約 3nm で最大となる。しかし、粒子径が小さいと、加速耐久試験後に粒子が合体して大きくなってしまったため、Pt 粒子径は 5nm が最適と考えられる。

さらに Pt 使用量を削減するために、粒子表面にのみ、Pt 原子を配置したコアシェル構造が提案され、コアとしてパラジウム(Pd)が最適となった。Pt/Pd コアシェル構造触媒に加速耐久試験を施すと、Pt 表面層の欠陥から Pd が溶出して再配列が起こり、無欠陥の Pt 表面層が形成されることがわかった。この原理を利用して、Pt-Pd 合金粒子を出発材料として加速耐久試験により Pt/Pd コアシェル構造を形成する技術を検討している。

以上、国内自動車メーカーの FCV への取り組みと FC 材料メーカーの取り組みの一端を紹介した。自動車メーカー間では、①トヨターBMW、②ホンダーGeneral Motors、③Daimlerー日産・RenaultーFord の 3 グループに分かれて共同開発を行っており、グループ①と②が新型 FCV を発売し、実績で先行していたグループ③に追いつき、追い越した印象を受けた。

3. 系統安定化用蓄電池システム技術と電気自動車用二次電池技術の最新動向

神鋼リサーチ(株) 吉山 秀樹

2016年3月2日から4日にかけてスマートエネルギーWeek 2016が東京ビッグサイトで開催された。スマートエネルギーWeek は、スマートグリッドから太陽光・風力発電、二次電池・燃料電池、施工・加工技術、電力小売りにいたるまで、スマートエネルギーに関するあらゆる技術・製品・システムが一堂に会する世界最大級の展示会である。今回開催された展示会の来場者数(3日間合計)は63,420人であり、昨年の来場者数(71,665人)より減少したものの、展示会場は活気を呈していた。また、展示会開催期間中にスマートエネルギーに関する様々な基調講演・特別講演、専門技術セミナーが合計:60件以上開催され、セミナー聴講者数は3日間合計で15,854人であった。

スマートグリッド分野では「系統安定化を支える最新技術」と題する特別講演、二次電池分野では「世界トップを走る xEV 電池メーカーが語る最新技術動向と将来展望」と題する専門技術セミナーを聴講した。

「系統安定化を支える最新技術」

太陽光発電・風力発電の利用を拡大するために、これらの発電に伴う出力変動を分単位、および秒単位で調整できる系統安定化用蓄電池システムに対して大きな期待が寄せられている。「系統安定化を支える最新技術」の特別講演では、住友電工（株）による「北海道南早来変電所での電力系統用大規模蓄電システム実証プロジェクト」、（株）東芝・社会インフラシステム社による「系統安定化に関する東芝の取り組み」、エスタリオン・テクノロジーズ社による「エスタリオン・テクノロジーズ社の研究開発概要」の 3 つのテーマで講演が行われた。いずれの企業も系統安定化に向けて周波数制御、需給バランスの調整を図るために系統安定化用蓄電池システムの開発と大規模実証試験を行っている。系統安定化用蓄電池には安全性、長寿命、低コスト（低ライフサイクルコスト）、高速応答性などが求められており、これらの要求事項を満たすために、各社は独自の蓄電池システムを開発している。

住友電工は、北海道電力南早来変電所において、レドックスフローを利用した蓄電池システムによる系統安定化実証試験を行っている。この蓄電システムには、世界最大級の蓄電容量：60 MWh、出力：15 MW の蓄電池設備が使用されている。レドックスフロー蓄電池システムでは、活物質（バナジウムイオン）からなる電解液が電解液タンクと電池セルの間を循環する。充放電の酸化還元反応ではバナジウムイオンの価数が変化するだけであり、セル電極自体は化学反応を起こさないため、安全性、寿命、ライフサイクルコストに優れている。また、電解液タンクの増設により蓄電容量を拡大させることができ、セルスタックの増設により出力を拡大させることができるため、蓄電池設備の高容量化、高出力化が容易である。実証試験では、100 msec 以内の充放電応答特性が得られ、短周期周波数変動の抑制にも貢献できることが確認されている。

東芝は、東北電力西仙台変電所において、蓄電池システムによる系統安定化実証試験を行っている。試験に使用している蓄電池は正極活物質：マンガン酸リチウム（ LiMn_2O_4 ）、負極活物質：チタン酸リチウム（ $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ）を有するリチウムイオン電池（SCiB™）である。この蓄電池システムは、リチウムイオン電池としては世界最大級の出力：40 MW、蓄電容量：20 MWh の蓄電設備を有する。SCiB™ の特徴として、チタン酸リチウムの熱的安定性によって得られる高安全性、広範囲の充電状態（SOC）における安定した出力特性、10 年程度の長寿命などが挙げられる。実証試験では、数分単位で系統を安定化制御できることが確認されており、秒単位での系統安定化制御にも取り組んでいる。

エスタリオン・テクノロジーズ社は、ハイドロケベック（カナダの電力会社）とソニーの合弁会社であり、定置用蓄電池システムの開発を目的に 2014 年に設立されている。蓄電システムには、正極活物質：オリビン型リン酸鉄リチウム（ LiFePO_4 ）、負極活物質：グラファイト系材料またはチタン酸リチウムを用いたリチウムイオン電池を使用している。オリビン型リン酸鉄リチウムは強固な 3D 結晶構造を有するため熱的に安定であり、安全性に優れている。現在、電力需要ピーク時の送電網への電力供給を目的とした実証試験が行われている。試験に使用されている蓄電池システムは、出力：1.2 MW、蓄電容量：1.2 MWh であり、住友電工、東芝の蓄電池システムに比べると出力、容量ともに 1 桁小さい。

「世界トップを走る xEV 電池メーカーが語る最新技術動向と将来展望」の専門技術セミ

ナーでは、日産自動車による「進化する電気自動車と日産の取り組み」、オートモーティブ エナジーサプライ (AESC) による「リチウムイオン電池 AESC の特徴と今後の戦略」、サムスン SDI による「自動車電池の R&D 戦略」の 3 つのテーマで講演が行われた。

日産自動車は、電気自動車のコンポーネントの改善による航続距離延長に取り組んでいる。コンポーネントの改善例として、回生ブレーキの協調車速領域を低速領域に拡大して市街地走行での高効率化を実現した例、駆動力-アクセル開度の傾斜をゆるやかにして低速域から目標速度に至るまでの無駄なアクセル操作により発生するモータートルク変動を抑制し、エネルギー損失の削減を実現した例などが挙げられる。

AESC は、日産リーフ用バッテリーを供給している車載用リチウムイオン電池メーカーである。AESC のリチウムイオン電池は正極活物質：コバルト酸リチウム (LiCoO_2)、負極活物質：カーボン系材料を用いて、現在、エネルギー密度 157 Wh/kg が得られている。AESC は、2018 年までに正極活物質をニッケル、マンガンを含むコバルト酸リチウム (LiCoO_2) に変更することにより、エネルギー密度を 157 Wh/kg から 200 Wh/kg に向上させて、現在の航続距離 (JC08 モード)：228~280 km (搭載電池容量に依存) を 420~560 km に拡大させることを目標としている。

サムスン SDI は、リチウムイオン電池の現状と開発目標を示している。リチウムイオン電池のエネルギー密度は、現在 $130\sim 150 \text{ Wh/kg}$ である。電極活物質の粒径・結晶性の制御により、2018 年までに 250 Wh/kg (リチウムイオン電池の限界エネルギー密度) を達成することを目標としている。また、サムスン SDI は高エネルギー密度と高安全性を有する次世代リチウムイオン電池 (post-LIB) の開発に取り組んでいる。高エネルギー密度化を目的とした正極活物質：高濃度ニッケル含有ニッケル・マンガン・コバルト三元系 ($\text{LiNi}_a\text{Mn}_b\text{Co}_{1-a-b}\text{O}_2$)、負極活物質：Si を用いたリチウムイオン電池、リチウム-空気電池、リチウム-硫黄電池、高安全性を目的とした全固体型リチウムイオン電池などの開発を進めている。負極活物質に Si を用いたリチウムイオン電池は充放電時における Si の体積膨張/収縮による負極の劣化が大きな課題になっている。グラフェンでコーティングした Si ナノ粒子を負極活物質に用いることにより、通常のグラファイト負極活物質と比較して 1.5 倍のエネルギー密度が得られているが、サイクル特性の劣化は完全には解決されていない。リチウム-空気電池、リチウム-硫黄電池は、負極でのリチウムデンドライトの発生、自己放電など、解決すべき課題が多く残されている。全固体型リチウムイオン電池の開発に関しては、高リチウムイオン電導度を示す硫化物系固体電解質 ($\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ など) に注目し、負極/固体電解質界面 (SEI) の特性、特に、接触界面の増加、界面における円滑な電荷移動反応などに着目した研究が進められている。しかし、具体的な成果に関する報告はなされていない。

車載用二次電池の将来展望をまとめると次のようになる。グラファイト系負極活物質のリチウムイオン電池は、2020 年頃にエネルギー密度の限界： $200\sim 250 \text{ Wh/kg}$ に到達すると予想される。さらなるエネルギー密度の改善のために、負極活物質に Si を使用したリチウムイオン電池、リチウム-空気電池、リチウム-硫黄電池など (post-LIB) が有望であるが、克服すべき課題が多く、post-LIB の市場形成はまだ予測困難な状況にある。

このように、スマートグリッド分野、二次電池分野においては様々な新技術が開発されており、その開発動向、実用化動向が注目される。今後とも、これら分野の情報収集を続けていきたいと考えている。