

燃料電池・水電解セル材料開発の最前線

神鋼リサーチ（株） 播口 美紀

2019年2月27日から3月1日までの3日間にかけて、「スマートエネルギーWeek 2019」が東京ビックサイトで開催された（図1）。スマートエネルギーWeek 2019では、新エネルギーに関わる展示会が同時開催された。「第15回国際水素・燃料電池展」「第12回国際太陽電池展」「第10回太陽光発電システム施工展」「第10回国際二次電池展」「第9回国際スマートグリッドEXPO」「第7回国際風力発電展」「第4回国際バイオマス発電展」、「第3回次世代火力発電EXPO」「第1回資源リサイクルEXPO」の9つの展示会を視察した。



S.E. Week 2019 の会場風景

スマートエネルギーWeek 2019では、各展示会に係わる専門技術セミナーも開催された。二次電池分野では「二次電池業界の将来を左右するサプライヤ競争環境・資源供給・蓄電市場拡大の可能性を徹底分析」、水素・燃料電池分野では「燃料電池・水電解セル材料開発の最前線」と題するテーマの専門技術セミナーを聴講した。

このうち、「燃料電池・水電解セル材料開発の最前線」のセミナーでは、まず「カーボン系非白金触媒の研究経緯と現状」と題して、東京工業大学 難波江氏から講演が行われた。次に、AGC（株） 本村氏から「PEFC用高性能フッ素電解質ポリマー」と題した講演が行われた。最後に旭化成（株） 臼井氏から「旭化成におけるアルカリ水電解システムの開発と今後の展開」と題した講演が行われた。筆者の知見とともに「PEFC用高性能フッ素電解質ポリマー」の講演概要を以下に報告する。

PEFCでは燃料に水素、酸化反応剤に空気中の酸素が用いられる。水素は燃料極（アノード）の触媒によってプロトン（ H^+ ）と電子に分離され、プロトンは高分子電解質膜（以下電解質膜と記す）中を移動して電解質膜の反対側に位置する空気極（カソード）の触媒上で、プロトンと酸素と電子の反応により水が生成する。

PEFCに用いられる高分子材料は「高分子電解質」あるいは単に「電解質」と呼ばれる。電極には白金触媒を担持したカーボン粒子が用いられているが、電極触媒層として成型する際にあらかじめ溶液状の高分子電解質と白金を担持したカーボン粒子を混合して電解質膜に塗布する方法がとられている。すなわち、電極触媒層中に高分子電解質が結着剤として作用している。白金担持カーボン粒子と高分子電解質から成る電極触媒層と電解質膜を併せたものは膜電極接合体（membrane electrode assembly：MEA）と呼ばれている。

PEFCに適用されている高分子電解質は水を吸収する性質を持っており、高分子骨格には疎水性部分と親水性部分の両方が存在する。親水性部分には、一般的にはプロトン解離能の高い強酸性基であるスルホン酸基が導入されている。電解質膜の中で、スルホン酸基やリン酸基を有するものはプロトン（あるいはカチオン）交換膜（Proton Exchange Membrane：PEM）、四級アンモニウム基を有するものはアニオン交換膜（Anion Exchange Membrane：AEM）と呼ばれる。

高分子電解質はプロトンを輸送するための媒体であり、PEFCの高性能化を左右する重

要な構成材料の一つである。高分子電解質はプロトンを効率良く輸送させて、両極から供給される水素および酸素の反対極への透過（クロスオーバー）を抑制する機能を担っている。そのため、連続運転に対する化学的・機械的安定性が求められる。電極触媒層に存在する高分子電解質は、電解質膜と同様に効率の良いプロトン輸送を担う一方で、触媒表面で起こる電気化学反応を妨げないような気体透過性も求められる。

これまでに研究・開発されてきた高分子電解質の種類は多岐にわたるが、「フッ素系電解質膜」と「炭化水素系電解質膜」の二つ大別される。現在、市場導入されている定置用や自動車用の PEFC にはデュポンが開発した「ナフィオン」に代表されるフッ素系電解質膜が使用されており、化学的耐久性や機械的耐久性の向上を目的に、添加剤や補強材と複合化されている。AGC（株）ではナフィオンと同様の化学構造を有する「フレミオン」を販売している。

ナフィオンに代表されるフッ素系電解質膜の長所としては、「強酸性であること（スルホン酸基に由来し、電子吸引性の源）」、「多くのカチオンや極性化合物に対して透過性があり（その移動度はサイズやイオン性に依存する）、アニオンや無極性化合物に対しては透過性がないこと」、「多くの溶媒に不溶性であり、強酸化剤や強塩基に対する耐性が高いこと」などが挙げられる。一方、欠点としては、「高温で粘弾性緩和および水分損失を生じやすいこと」、「高温で機械的性質とプロトン伝導性の両方が低下すること」などが挙げられる。

NEDO のロードマップ（FCV/移動体用）では、2030 年頃の FCV 実用化に向けた課題（2025 年頃までに達成すべき課題）として、高温低加湿（100～120℃（<30%RH））で作動可能な高分子電解質膜開発が掲げられている。また、2040 年頃の FCV 本格普及に向けた課題（2030～2035 年頃までに達成すべき課題）として、高温無加湿（120℃、無加湿）で作動可能な高分子電解質膜開発が掲げられている。

AGC（株）では、「高温・低（無）加湿運転に対応可能で高耐久性を有し、かつ低コストであること」開発コンセプトとして新たなフッ素系電解質ポリマーを開発している。側鎖等に特徴を持つモノマーの採用、重合反応性の高い重合部位の導入により、高軟化温度・高プロトン伝導性の電解質材料を得ている。また、高次構造制御により更なる伝導性向上の可能性を見いだしている。さらに、電解質膜の化学劣化を解析することにより、劣化しにくい電解質膜の開発につなげている。

今回聴講した内容はフッ素系電解質膜材料であったが、炭化水素系電解質材料の開発も活発に行われている。ナフィオン系の高分子電解質に変わる PEFC の固体高分子膜の開発動向に対しては、今後も注視していきたい。

以上