

放射光 X 線と中性子線を用いた燃料電池の階層的構造・機能解析

山梨大学クリーンエネルギー研究センター¹、燃料電池ナノ材料研究センター²
 犬飼 潤治

燃料電池は、水素と空気を導入することにより電気を生成し水を排出する、クリーンなエネルギー源である。燃焼を伴わず、電気化学的に電気を得ることができるため、高効率である。燃料電池の中でも、近年、固体高分子形燃料電池(PEFC)が最も利用されている。2009年に定置型での一般利用が開始されたエネファームでは、コジェネレーションシステムとして発電時に発生する熱を温水供給などに効率的に用いることで、エネルギー効率は 80%にも達する。2014年にトヨタ自動車から、2016年には本田技研工業から固体高分子形燃料電池を用いた燃料電池車が発売された。

図1に固体高分子形燃料電池の基本構造と水素極および空気極における反応を示す。電解質であるイオン伝導性の高分子膜(約 20 μm)を両側から2枚の触媒層(水素極と空気極: 約 5 μm)および2枚のガス拡散層(約 100 μm)で挟み込んで一体化した「膜電極接合体」を、反応ガスを供給する溝(幅及び深さ 1 mm 以下)を持つセパレータでさらに挟み込んだ構造から成り、この構造を1つの基本単位として単セルと呼ぶ。所定の出力を得るためには、単セルを数十～数百枚直列に接続した積層体(スタック)として用いる。触媒層において、水素極で生成した水素イオンが移動するイオンチャンネルは高分子電解質によって、電子チャンネルは炭素微粉末によって、ガスチャンネルは炭素微粉末間の空隙によって形成されている。水素極からの水素イオンが空気極において酸素と反応し、外部回路を通過して電流が流れる。

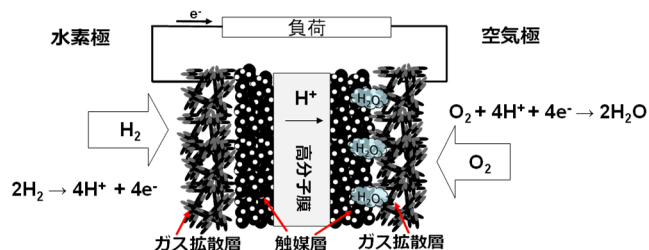


図 1 固体高分子形燃料電池の模式図。

原子レベルでの触媒原子配列、ナノレベルでのイオノマーの構造や触媒ナノ粒子・担体相互作用、マイクロメートルレベルでの触媒層構造・ガス拡散構造、ミリ・センチメートルレベルでのセル構造といった階層的な構造がPEFCの特徴であり、階層構造が協奏して機能を発現する。現在では、PEFCの階層的構造・機能の解析には、放射光 X 線と中性子線の利用が必須となっている。材料、部材の解析はもとより、協奏的機能発現を理解するためには、発電中のオペランド解析が必要であり、量子ビームの利用はこれも可能とする。

本発表においては、燃料電池の機能獲得のために必要な情報、それぞれの情報獲得のための測定装置と、新規装置により得られたデータの解説を行う。最後に、今後の燃料電池に必要な構造・機能と、必要とされる測定についての私見を述べる。

[1] 折茂慎一・犬飼潤治編著、「水素機能材料の解析」、共立出版(2017年)。