

固体高分子形燃料電池用ガス拡散層内の実運転状態を模擬した
凝縮液生成状態における液水分布の可視化
Visualization of Condensate Distribution in Gas Diffusion Layer of
PEFC under Pseudo-Operation Conditions

是澤 亮^a, 大徳 忠史^b, 宇高 義郎^a
Ryo Koresawa^a, Tadafumi Daitoku^b, Yoshio Utaka^a

^a横浜国立大学, ^b秋田県立大学
^aYokohama National University, ^bAkita Prefectural University

固体高分子形燃料電池(PEFC)の発電性能向上には、実際の運転状況を考慮した解析が重要である。このため、本評価では、PEFCを構成する基材の一つであるガス拡散層(GDL)に着目し、実際の発電状況を模擬的に再現し、GDL内部での水蒸気の凝縮過程(凝縮液分布)の可視化観測を行う。この結果、GDL内部における凝縮液の液水分布を観察することができた。

キーワード： 固体高分子形燃料電池, ガス拡散層, X線CT

背景と研究目的：

燃料電池及び水素技術は、エネルギー問題、環境問題等を解決するための重要な技術の一つとして、活発に研究が行われている。その中でもPEFCは、高出力密度、低温作動等の特徴を活かした家庭用、可搬型電源及び自動車用電源としての普及が期待されており、その実用化もされ、着実に研究成果を上げている。しかしながら、更なる普及には多くの課題が存在し、PEFC内部の水管理は重要な課題である。例えば、カソード側のGDLは、ガス流路から触媒層間の反応物質(酸素、生成水)の輸送媒体としての役割を担い、その特性はセル性能に大きな影響を及ぼす。電解質の乾燥(プロトン伝導性低下)によるセル電圧の低下の発生や、微細多孔体内で凝縮した水分が滞留して酸素輸送を阻害することでセル電圧の低下を招く。したがって、発電性能を向上させるため、これらGDL中の微視的形狀や凝縮による液水生成と液水分布の状況を明らかにする必要がある。

著者らは、ガルバニ電池式酸素吸収体を用いるGDL多孔体の酸素拡散特性の測定法を開発し、液水存在下におけるGDL多孔質体の酸素拡散特性の測定法を提案し、その特性について検討した[1]。さらに、X線ラジオグラフィ[2]などの手法を用いることによるGDL多孔体内の液水分布・挙動の可視化解析も進めている。また、含水時における微視的な液水分布を同様の状態に再現することが難しいことから、微視的含水状態と拡散特性の関係性を解明するため、これらの同時測定を行った。2011A期[3]では、BL20B2において3次元X線CT可視化手法によるGDL中の液水分布測定とガルバニ電池式酸素吸収体を用いた酸素拡散特性の同時計測を行い、GDL中の空隙の変化と酸素拡散特性の変化を定量的に明らかにした。さらに、Fig.1に示すように酸素拡散を促進するための撥水と親水の領域が混在するハイブリッドGDLを製作し、液水挙動を制御することで、酸素拡散性能の向上と湿分保持の両立の可能性を確認した。しかし、これらの評価では、酸素拡散と液水分布との同時観測の必要性から、液水を含ませたGDLを乾燥させる人為的な形態を付与していた。本提案では、液水分布に特化することにより、実際のPEFC運転状態の液水挙動を模擬することに重点を置き、ぬれ性分布を有するGDLにおける液水特性について解明することを目的としている。

実験：

凝縮装置は、試料をシリコンチューブ内に設置し、GDLの下部から蒸気を通し、GDL上部は銅ブロックで固定して外気で冷却することでGDL内部に凝縮させる構造となっている。なお、凝縮装置はハッチ内サンプルステージ上に固定し、試料のCT像を撮影する。GDL試料は、直径5.0mm、厚さ370 μ mのTORAY製カーボンペーパーTGP-H-120およびぬれ性分布を有するハイブリッドGDL

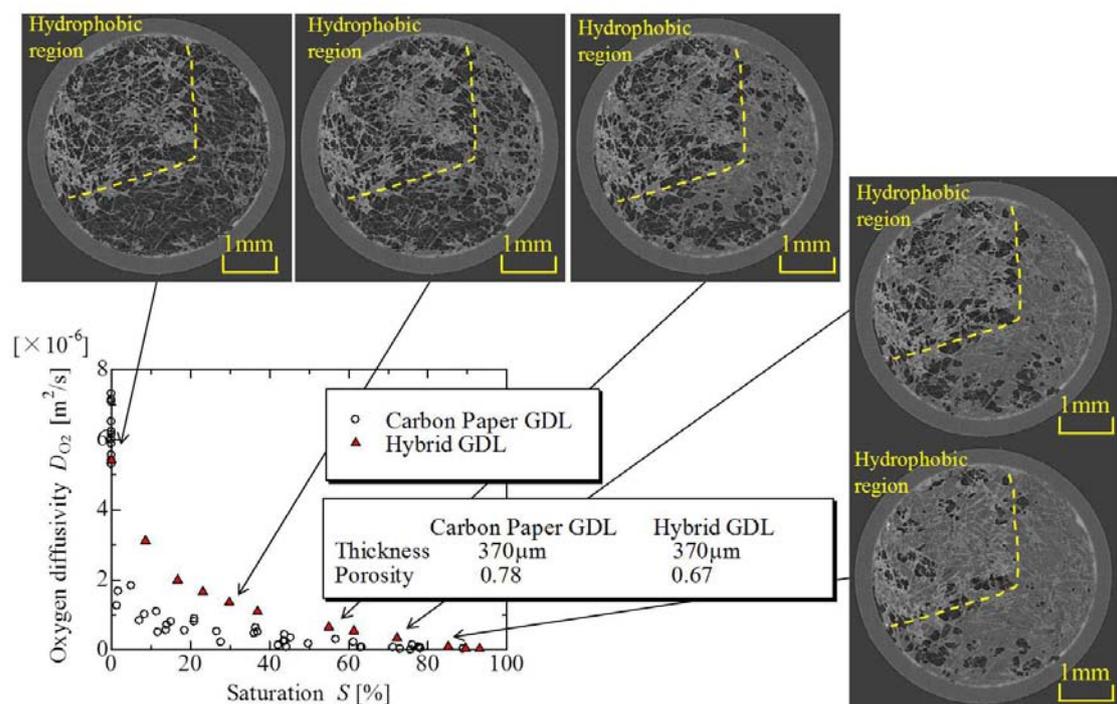


Fig.1. Variation of effective oxygen diffusivity against average saturation for Hybrid GDL and CT images

Table 1. Projection imaging conditions

Energy [keV]	13
Pixel size [$\mu\text{m}/\text{pixel}$]	3.94
Distance between sample and detector [mm]	55
Exposure time [ms]	70
Number of projection [$(180^\circ)^{-1}$]	1500 / 180

である．このハイブリッド GDL は、撥水部と親水部の接触角の違いにより、撥水部から親水部へ液水が移動することを利用して、液水挙動を制御し、酸素拡散と湿分保持の両立を目的とした試料で、TGP-H-120 に対して部分的に撥水処理を施した試料である．なお、撥水処理には PTFE を用いた．また、シリコンチューブは、肉厚 1.0mm、内径 5.0mm である．本実験における測定条件は Table 1 に示すように、エネルギー値は 13keV、照射方向は GDL の径方向、露光時間は 70ms で行った．

結果および考察：

Fig.2 に撥水処理を施していない GDL の径方向の断面画像を示す．Fig.2(a)は乾燥状態の CT 画像であり、Fig.2(b)は凝縮開始時における CT 画像で、GDL 全体の平均含水率は 23%である．Fig.2(c)は凝縮開始から約 6 分後の CT 画像で、GDL 全体の平均含水率は 54%である．試料はカーボン繊維で構成された微細多孔体であり、Fig.2 からその様子が見て取れる．棒状の形状をしたものがカーボン繊維で、このカーボン繊維に囲まれた領域が空孔で、この空孔内に液水が存在する場合には Fig.2(b)のように空孔が灰色の領域となる．また、試料を囲む灰色の円形のがシリコンチューブである、この液水分布の変化から、撥水処理を施していないぬれ性が一様なカーボンペーパー GDL の場合、凝縮液は規則性なく、まばらに凝縮することが分かる．

Fig.3 に部分的に撥水処理を施したハイブリッド GDL の径方向の断面画像を示す．Fig.3(a)は乾

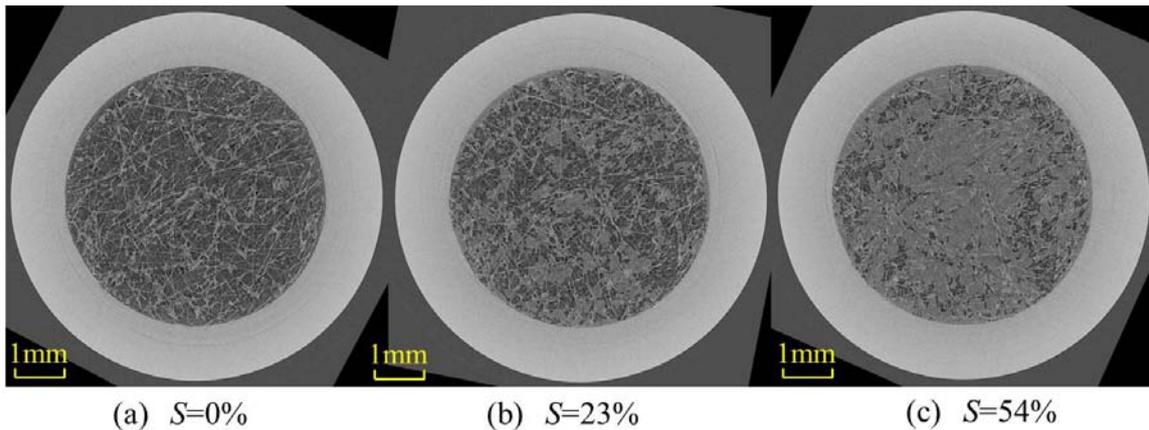


Fig.2. Carbon paper GDL (uniform wettability distribution)

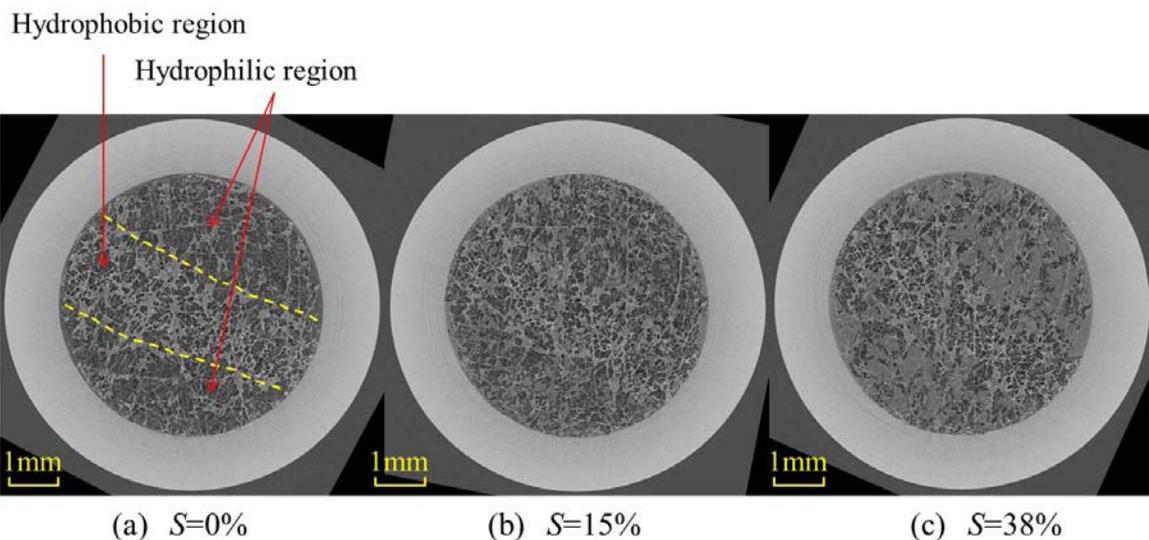


Fig. 3. Hybrid GDL (wettability distribution)

乾燥状態の CT 画像であり, Fig.3(b)は凝縮開始時における CT 画像で, GDL 全体の平均含水率は 15% である. Fig.3(c)は凝縮開始から約 6 分後の CT 画像で, GDL 全体の平均含水率は 38% である. 撥水処理領域は, Fig.3(a)に示す点線で囲まれた領域である. ハイブリッド GDL の場合, 凝縮液は撥水処理領域には少なく, 撥水処理未処理領域に偏っていることが分かる. この液水分布の偏りは, Fig.1 で示した 2011A 期[3]のハイブリッド GDL などで見られた現象と同様に, 水蒸気の凝縮過程においても, 撥水部から親水部へ液水が移動したためであると考えられる. Fig.1 と対比しても分かるように, 水蒸気の凝縮過程においても, この液水移動により撥水処理領域に酸素拡散パスが形成され, 酸素拡散特性が向上すると考えられる.

以上の観察より, 同時計測で見られた現象と同様に, ぬれ性分布を有するハイブリッド GDL は, 水蒸気の凝縮過程においても撥水部から親水部へ液水移動が生じるため, 酸素拡散と湿分保持の両立に有効であると考えられる.

参考文献:

- [1] Utaka, Y., et al., *Heat Transfer - Asian Research*, **39**, 262 (2010).
- [2] Utaka, Y., et al., *International Journal of Hydrogen Energy*, **36**, 9128 (2011).
- [3] 是澤亮ほか, SPring-8 重点産業利用課題成果報告書, 2011A1760 (2011).