

# Synchrotron X線 CT を用いた GDL 内液水分布モード可視化解析 Visualization and Analysis of Water Distribution Modes Inside GDL using a Synchrotron X-ray CT

西田 洋介, 樋口 勝, 吉原 圭亮, 荒木 拓人  
Yosuke Nishida, Masaru Higuchi, Keisuke Yoshihara, Takuto Araki

横浜国立大学  
Yokohama National University

固体高分子形燃料電池(PEFC)の発電性能向上のために、構成部材の一つであるガス拡散層(GDL)内の様々な液水輸送モードを把握する必要がある。そこで本研究では、水蒸気の凝縮及び液滴の圧入によって GDL 内に発生する液水分布を SPring-8 の高輝度放射光 BL20B2 ビームラインを用いて可視化を行った。可視化結果から、各モードにおいて液滴の体積や分布に大きな違いがあることがわかった。

**キーワード：** 固体高分子形燃料電池, ガス拡散層, 3次元 CT

## 背景と研究目的：

燃料電池及び水素技術は、エネルギー供給の安定化・効率化、環境問題等を解決するための重要な技術の一つとして、その実用化への期待が高く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、特に PEFC セル内部の水分管理は重要な課題の一つである。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)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。前者には GDL の熱輸送特性や水蒸気拡散特性、後者には GDL の含水条件下における酸素拡散特性や液水排出特性がそれぞれ大きな影響を及ぼしている。

また、PEFC 内部の温度や温度勾配によって生成水の凝縮場所や輸送量は影響を受けるが、これが触媒層と GDL の界面付近を水蒸気として拡散的に輸送されるのか、液滴として表面張力によって輸送されるのかはまだ判明していない。X線・中性子線 CT による *in situ* での知見も蓄積されつつあるが[1][2]、GDL 内水分管理の最適化のためには様々な含水モードそれぞれの特性を把握する必要がある。そこで本研究では GDL 内部での水分輸送状態を把握するために、BL20B2 にて 3次元 X線 CT 可視化手法を用いて、水蒸気凝縮及び液滴圧入による GDL 中における液水の分布及び排出過程を観察し、双方の輸送のモードについて検討することを目的とする。

## 実験：

試料は東レ TGP-H-060 カーボンペーパー-GDL を用いた。GDL は炭素繊維を積層した繊維質多孔体であり、厚さは 0.19mm である。これを直径 3.5mm の円盤状にし、1~5 枚積層した。

イメージングの際、X線エネルギーは 13.5keV とし、露光時間は 90 秒とした。再構成には 900 枚の画像を用いた。

GDL の含水方法として今回は凝縮法、液滴圧入法の 2 種を用いた。図 1(a)にはそのうち凝縮法装置の可視化領域周辺の 3次元画像を、(b)にはその断面図を示した。凝縮法では、多孔体試料は円筒状の亚克力ホルダーに設置し、試料の上下には円筒状の金属があり、その金属の試料と接触する部分の中央にはガスを流すための流路(channel)が、その両側には熱を伝えるための突起(Rib)がある。下の円筒はヒーターと、上の円筒は冷却フィンと接触している。ヒーターの下にはバネがあり、これの変位で圧縮荷重をかける。ヒーターを加熱しフィンを冷却する事で装置内部に温度勾配が生じる。この時、加湿したガスを装置内部に流す事で、GDL 内部に水蒸気を凝縮さ

せる。凝縮法では GDL 中の温度勾配を大きくするため、GDL を 5 枚積層した。

液滴圧入の試験では、多孔体試料は円筒状のアクリルホルダーに設置し、ホルダー上部からは空気を流し、下部からは液水を圧入した。圧入はマイクロシリンジをシリンジポンプに設置して実施する。試料の下にはアクリル製の円筒形スペーサーとバネを挿入し、バネの変位で圧縮荷重をかけた。圧入法では初めに GDL は 1 枚で撮影していたが、液水分布を確認するには厚さ方向の可視化領域が狭かったため、3 枚積層した場合でも撮影を実施した。

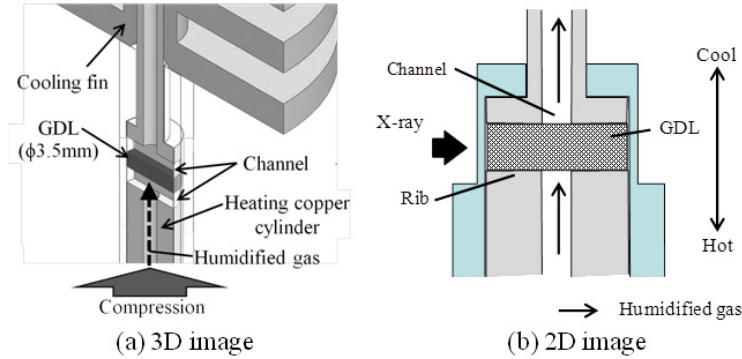


図 1. 凝縮法装置の可視化領域周辺における拡大図

**結果および考察：**

図 2 に凝縮法で含水させた GDL と、乾燥状態の画像の輝度値との差分から液水のみを抽出した 3 次元画像を示した。この画像は試料の中央部分を切り取ったものである。黒い部分が空隙、白い部分が炭素繊維および液水であり、画像の左右がリブ下、中央が流路下の領域を示している。また、液水抽出画像に示した白線は差し引く前の GDL の領域をあらわしている。凝縮法では多数の小さな液滴が GDL 中に広く分布する傾向がある。

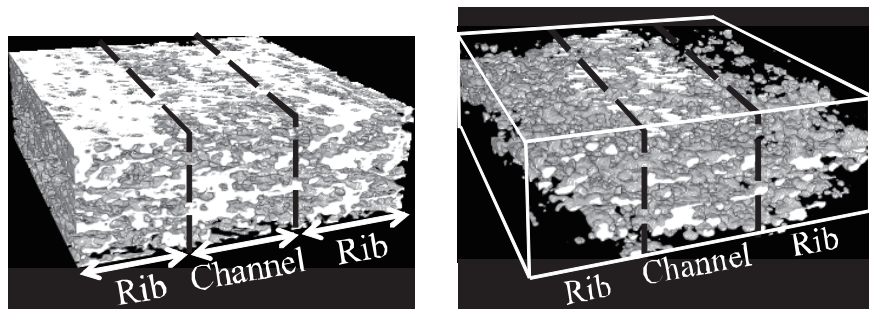


図 2. 凝縮法の可視化結果 (左：GDL+液水，右：液水のみ) (2.2×2.2×0.60mm)

図 3 に圧入法で含水させた GDL 内部の液水のみを抽出した 3 次元画像を示した。この結果は GDL を 3 枚積層した際のものである。液水は下部から送り、上側には流路を模した溝があり空気を流している。円筒状の部分は GDL 外の水である。圧入法では GDL 上部まで繋がった幾つかの液水のネットワークに水が集中し、凝縮法より不均一な液水分布になる傾向が観察された。

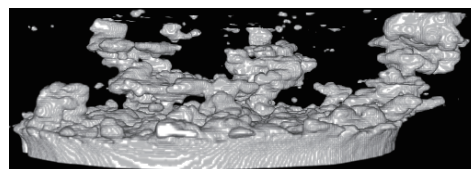


図 3. 圧入法の可視化結果 (2.2×2.2×0.42mm)

**参考文献：**

[1]J. Eller, F. N. Büchi, *J. Electrochim. Soc.*, **158**(8), B963 (2011)  
 [2]P. Deevanhxay, 笹部崇, 津島将司, 平井秀一郎, 第 49 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, D-222 (2012)