

2013年度 中性子イメージング専門研究会

# 中性子ラジオグラフィを用いた固体高分子形 燃料電池内における水挙動の計測

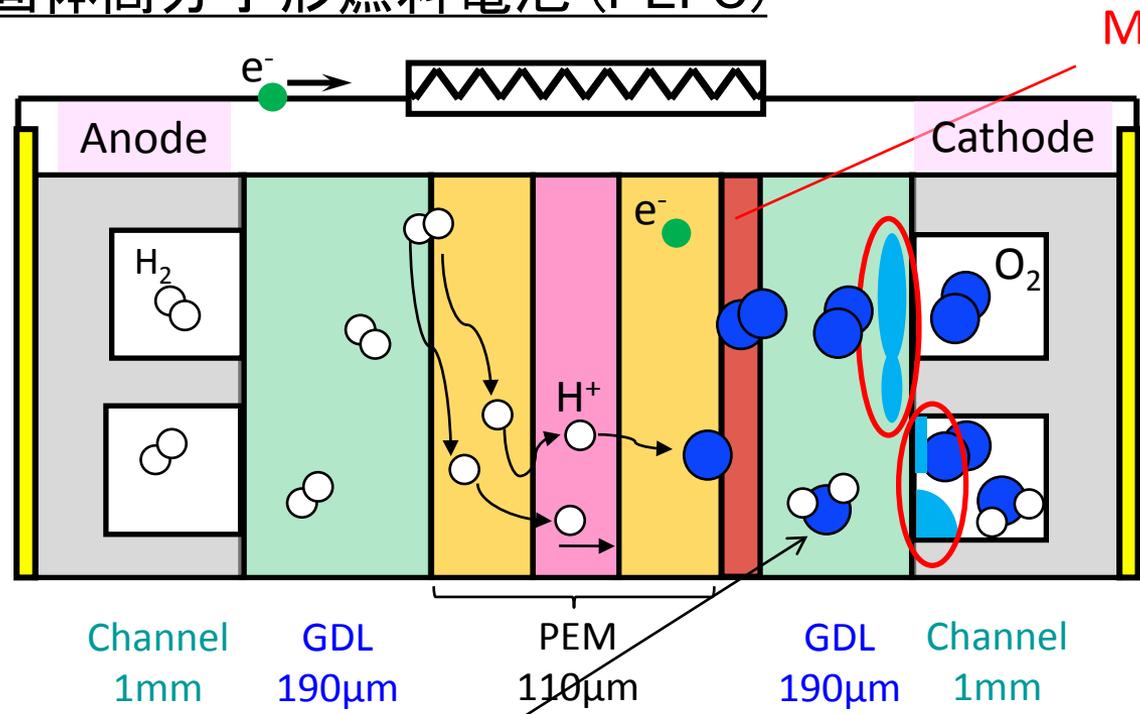
Measurements of Water Behavior in PEFC by using Neutron Radiography

○高 尚紀, 宮田 広大, 中村 俊裕, 北村 信樹  
村川 英樹, 杉本 勝美, 浅野 等, 竹中 信幸, 齊藤 泰司\*

神戸大学大学院  
京都大学原子炉実験所 \*

# 研究背景

## 固体高分子形燃料電池 (PEFC)



MPL

MPL: 水の排出性が向上する.



水の生成や排出のメカニズムは未解明.

リブ下や流路下部GDLにおける滞留状況の違い等が、MPLの有無による電池反応により水が生成し、GDLでの滞留および流路への排出機構の違いを把握する必要がある。

流路において滞留する水の形状を把握する必要がある。

内部気流分布の把握や、流路-GDL内における水の管理が重要

# 研究目的

## 燃料電池内の水挙動の解明に関する研究

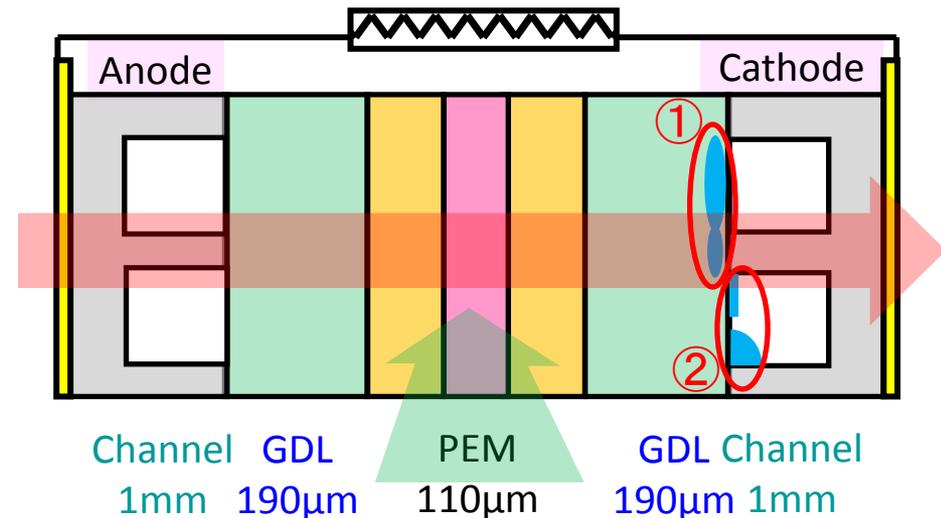
流路板にガラスやアクリル等の可視光透過材料を用いることによる可視化計測

⇒より正確な挙動を把握するためには  
実機で計測する必要がある。

中性子ラジオグラフィを用いて実機による計測を行う。

①膜厚方向水分布計測

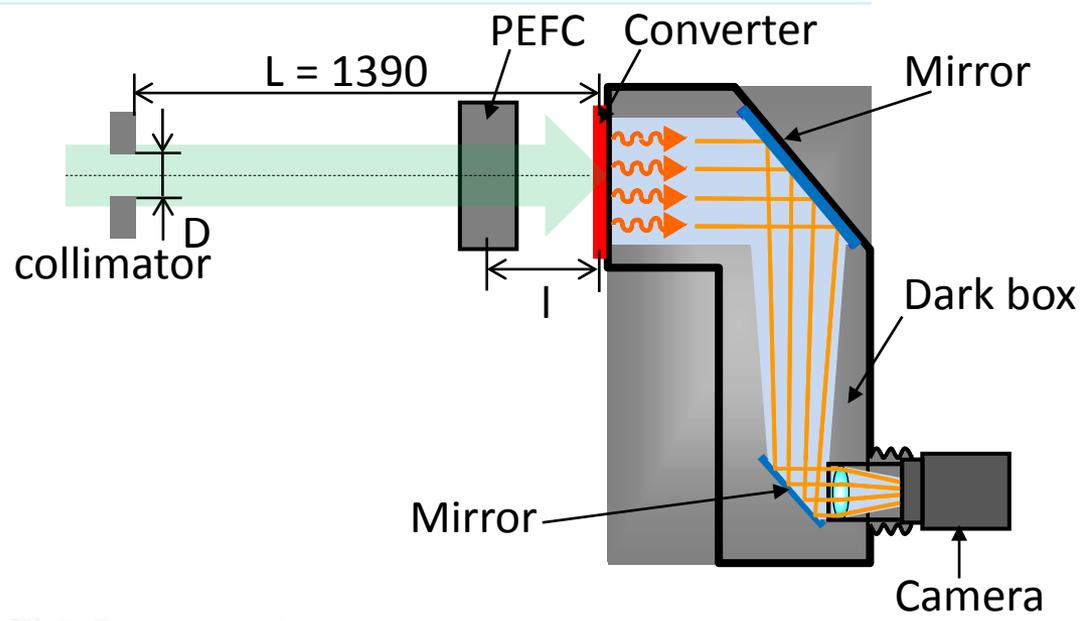
②面内方向水分布計測



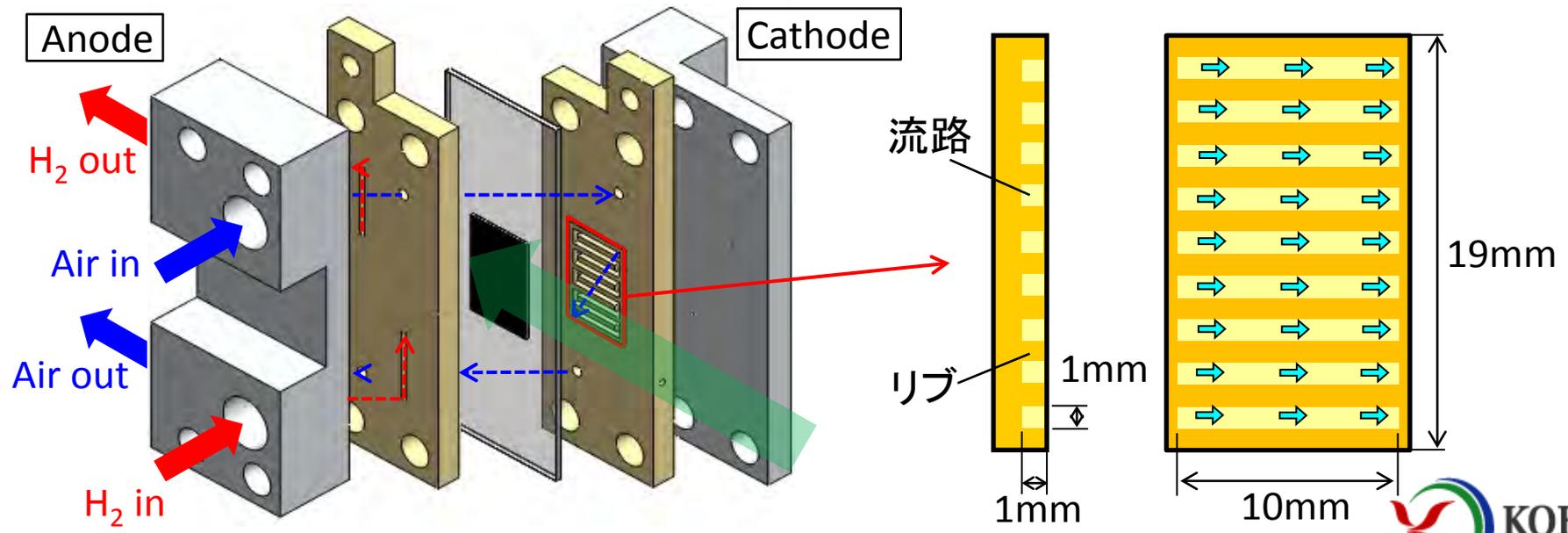
# 撮像システムと実験装置(膜厚方向計測)

## KUR B4実験孔(5MW運転)

- ・検出器：コンバータ
- ・カメラ：神戸大冷却型CCD
- +テレコン(×2 ×2 ×1.6)
- ・露光時間：60 [sec]
- ・画素寸法：8.8 [μm]
- ・コリメータ：5[mm]ピンホール(D)
- ・ $L/D = 278, l = 12$  [mm]



## 神戸大小型PEFC

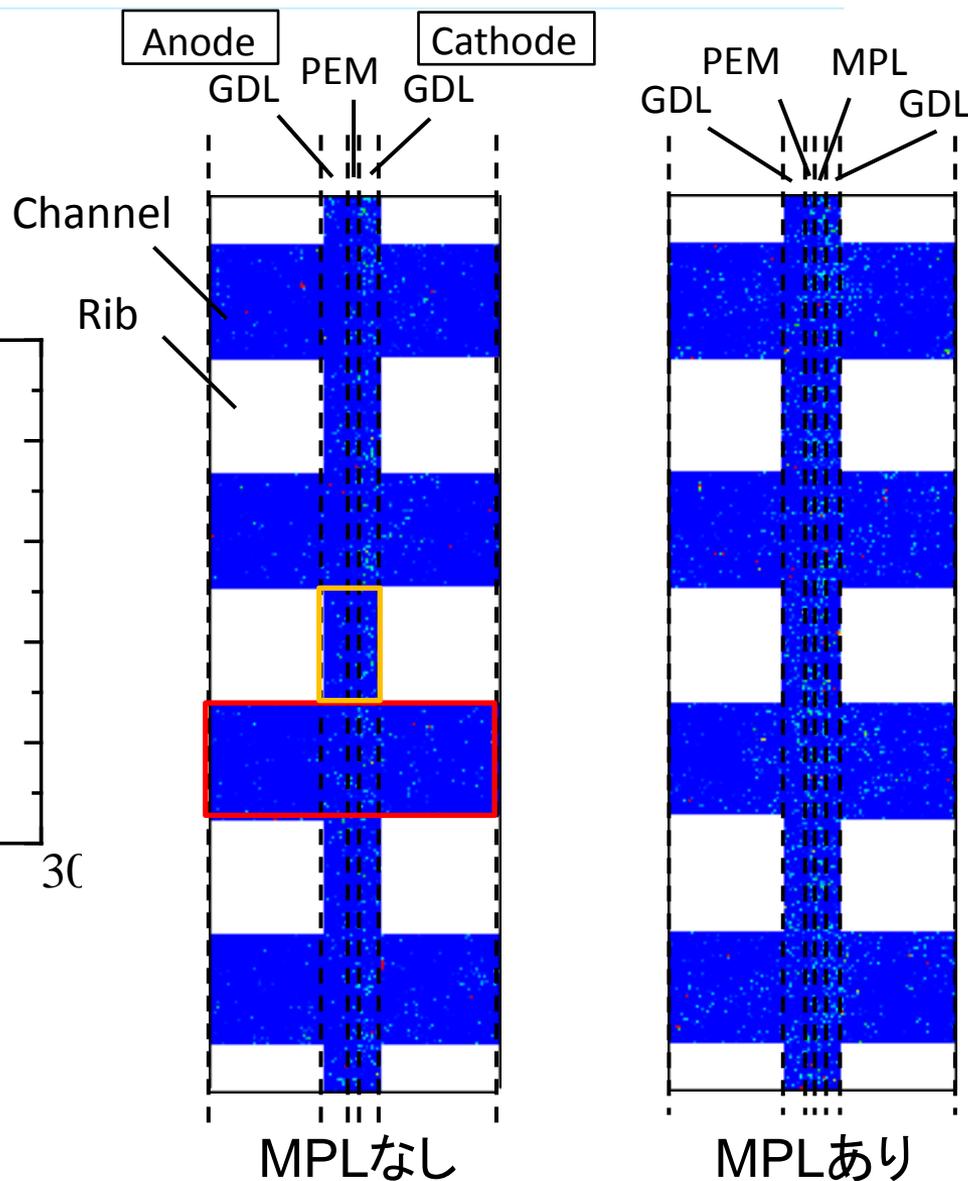
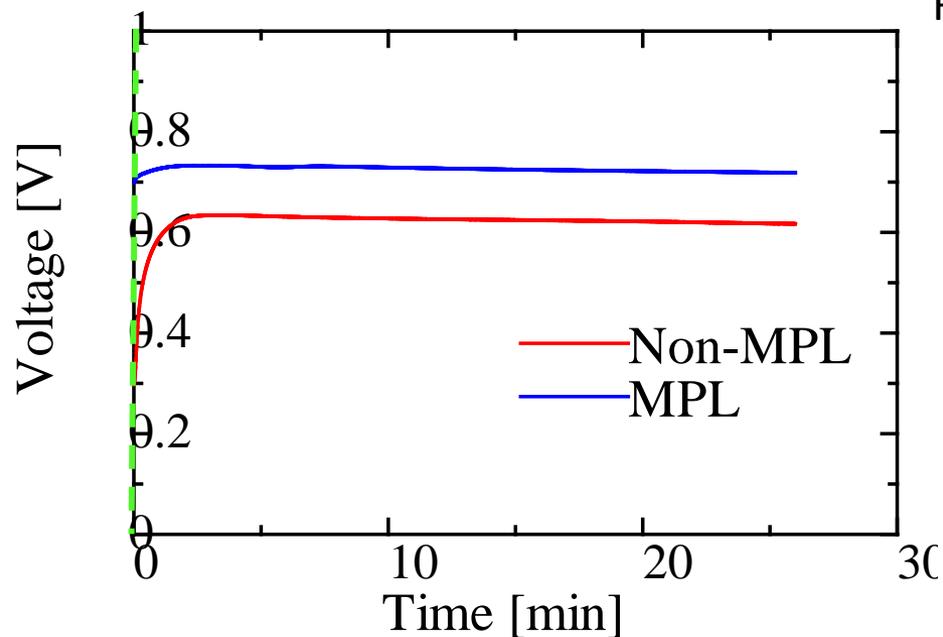


# 膜厚方向水挙動

## 発電条件

H<sub>2</sub> : 28 [Ncc/min], Air : 66 [Ncc/min]

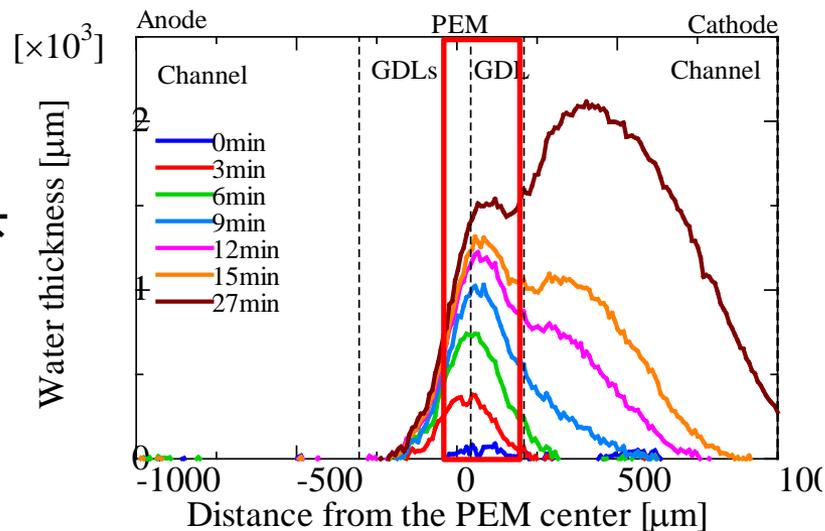
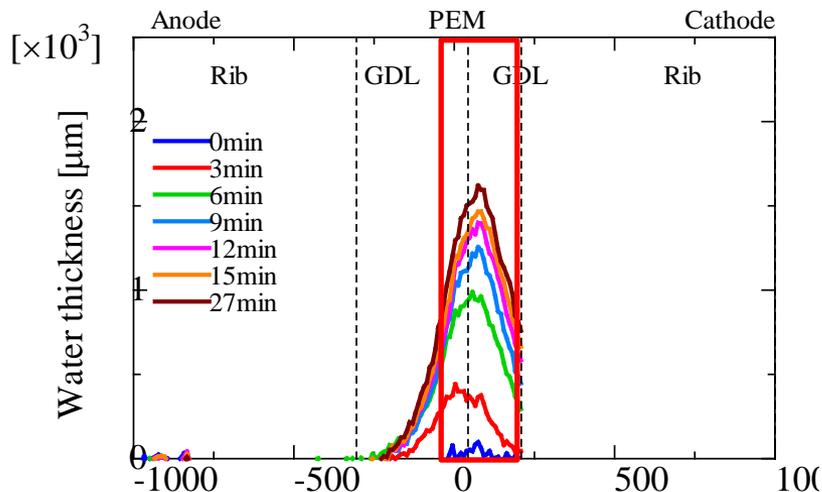
発電密度 : 158 [mA/cm<sup>2</sup>]



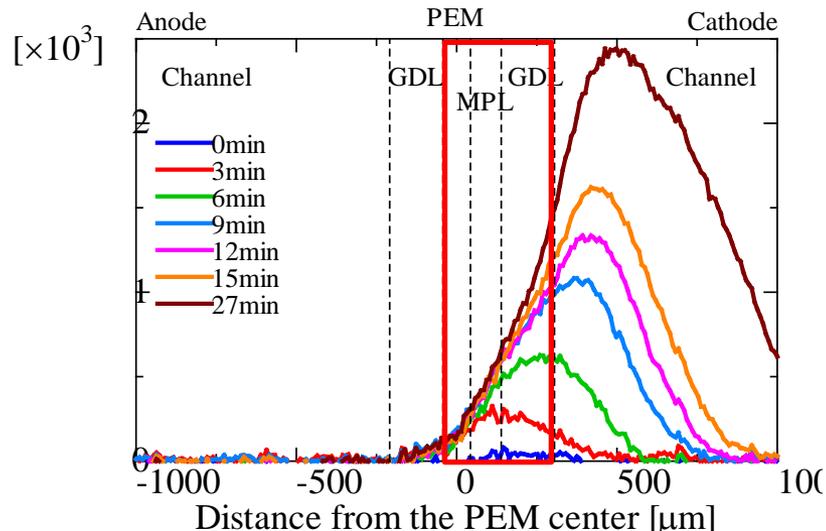
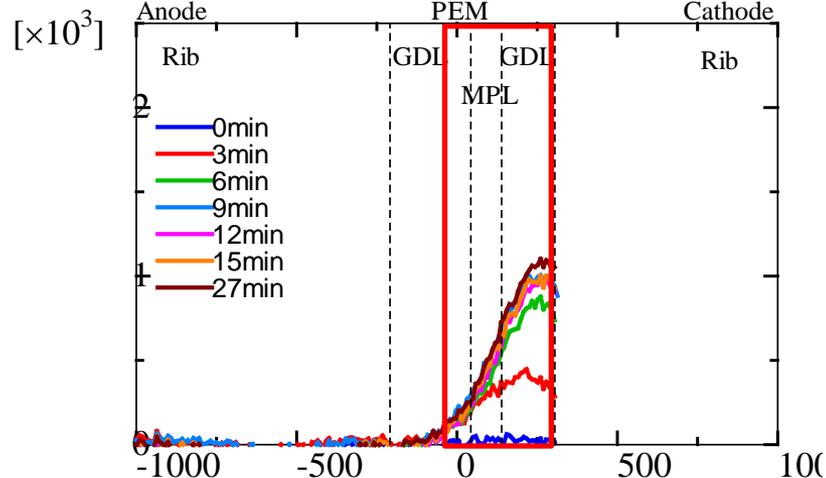
# 膜厚方向水分布の時間変化

MPLなし

リブ下



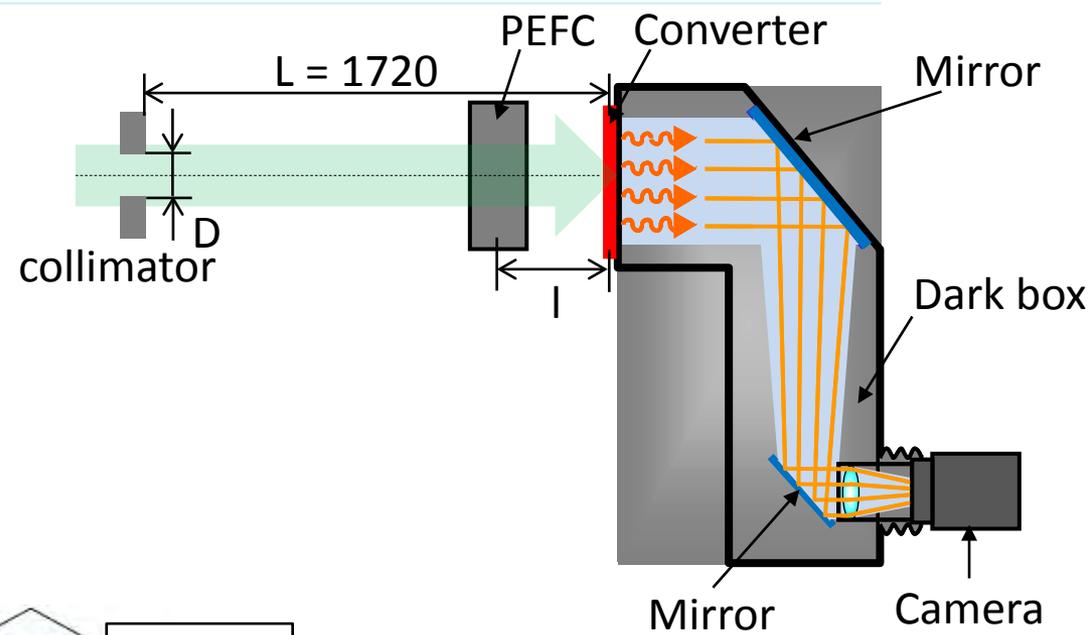
MPLあり



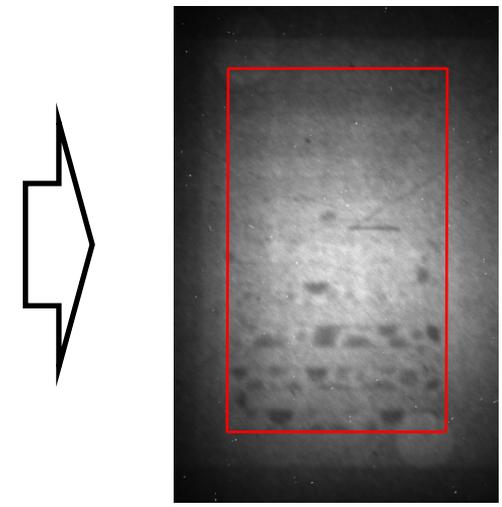
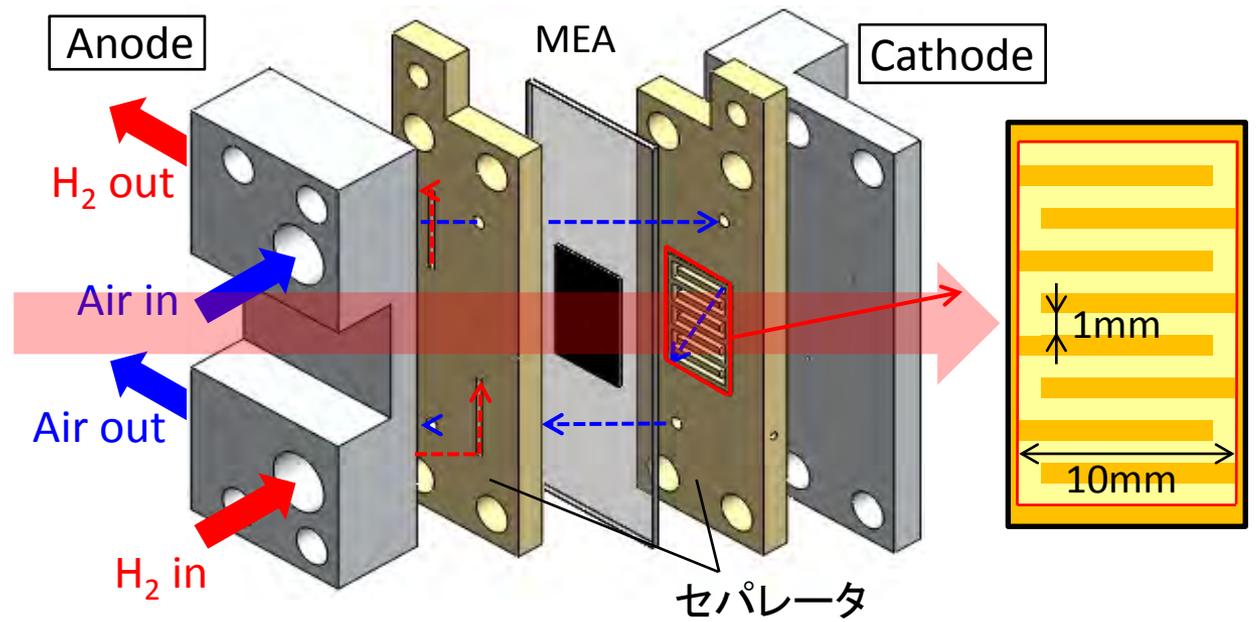
# 撮像システムと実験装置(面内方向計測)

## KUR B4実験孔(5MW運転)

- ・検出器：コンバータ
- ・カメラ：神戸大冷却型CCD  
(1024 × 1024)+テレコン(×2)
- ・露光時間：14 [sec]
- ・画素寸法：25.2 [ $\mu\text{m}$ ]
- ・コリメータ：10 × 10[mm角](D)
- ・ $L/D = 172, l = 20$  [mm]



## 可視化用小型PEFC

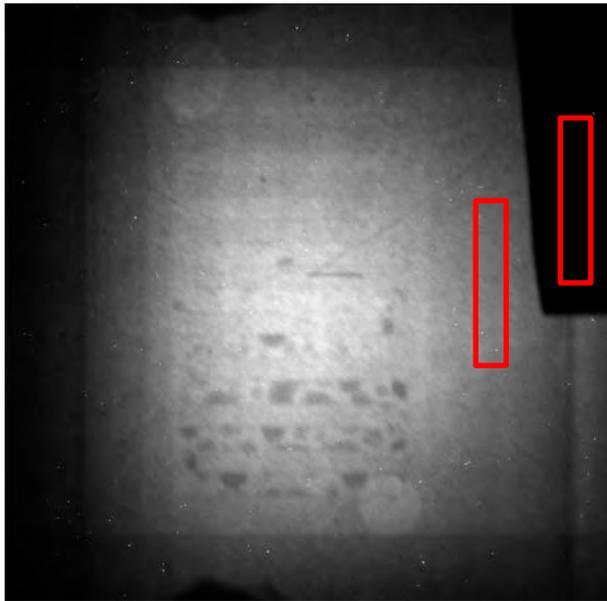


# 撮影画像について

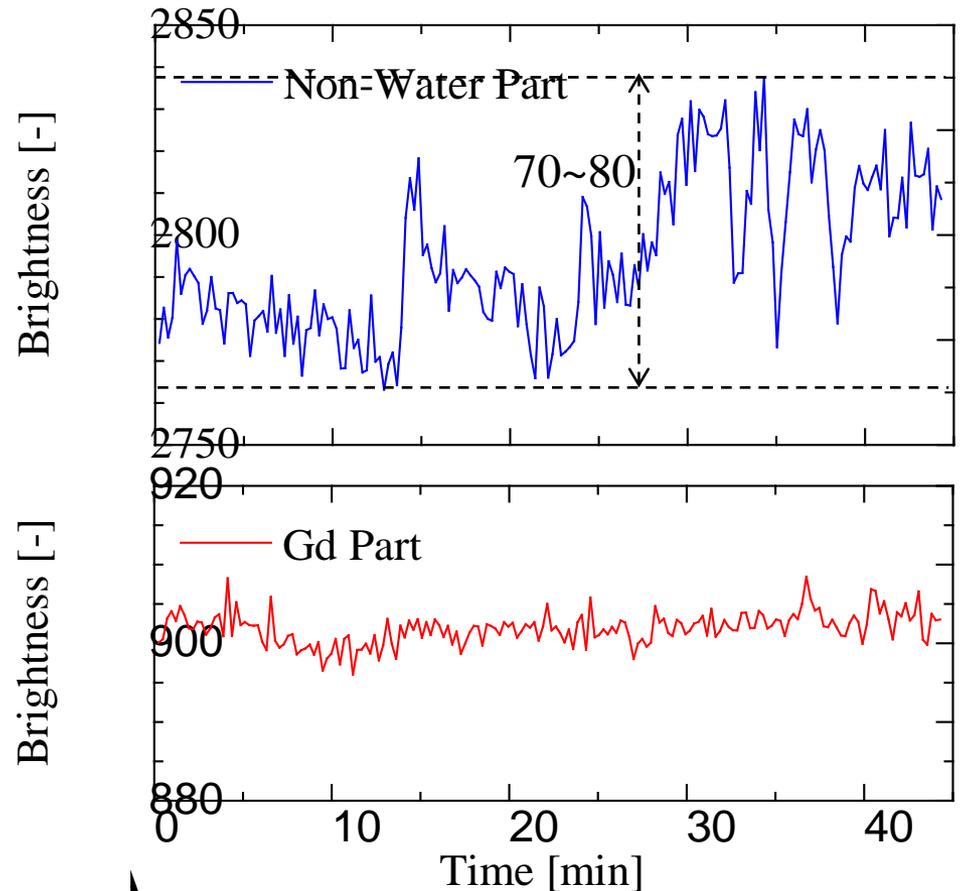
## 発電条件

H<sub>2</sub> : 28 [Ncc/min], Air : 66 [Ncc/min]

発電密度 : 158 [mA/cm<sup>2</sup>]



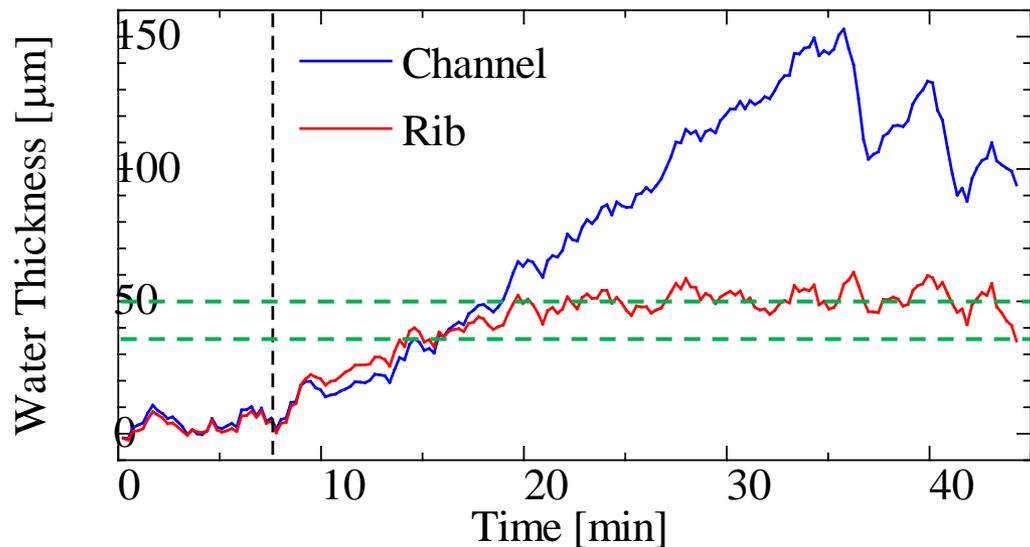
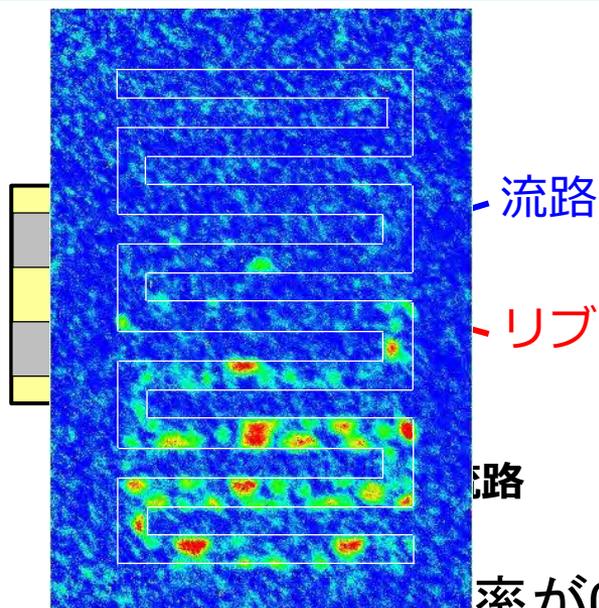
流路外のガドリ箔貼付け部とそれ以外の空間において輝度の時間変化を算出



流路外の空間で70~80程度の輝度の変動がみられた。

水厚みを計算する際に変動を補正する。

# 流路ーGDLにおける水の配分



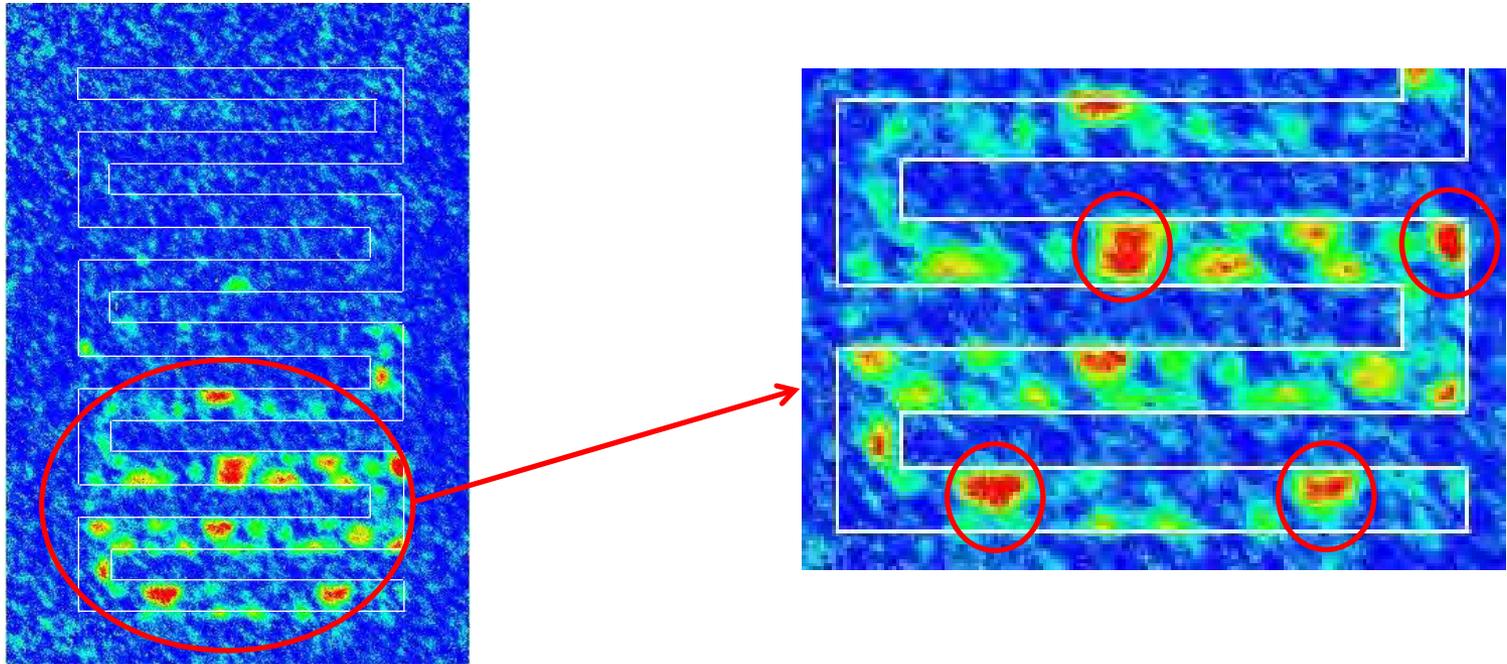
GDLの空隙率が0.78, 厚みが190 $\mu\text{m}$   
⇒ GDLの最大含水量は約150 $\mu\text{m}$

流路の水厚さがリブの水厚さより大きくなる.

リブ下の水厚さが一定値になる.

まずリブ下GDLで多く水が生成し, ある程度GDL内に滞留した後に流路へと排出されはじめる. また, GDL内にはある一定値までしか滞留しない.

# 流路における水の形状モデル

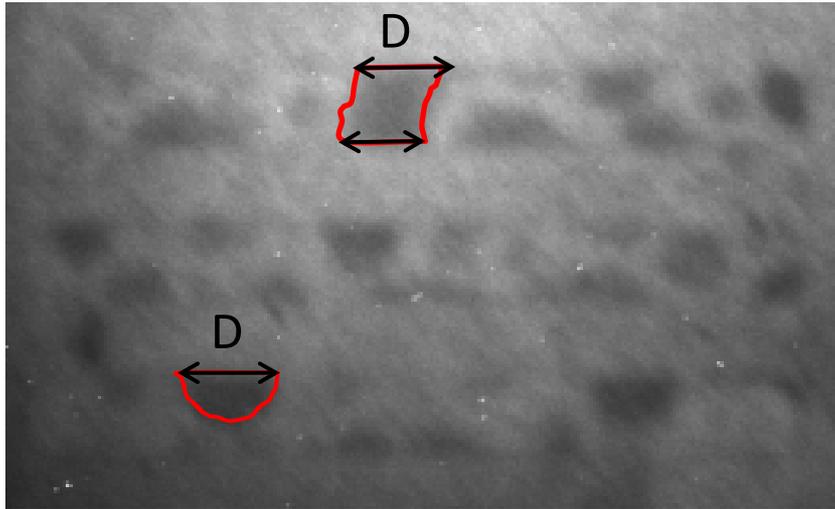


⇒ 流路壁面に沿って流路に排出された水は、球形状を有している。

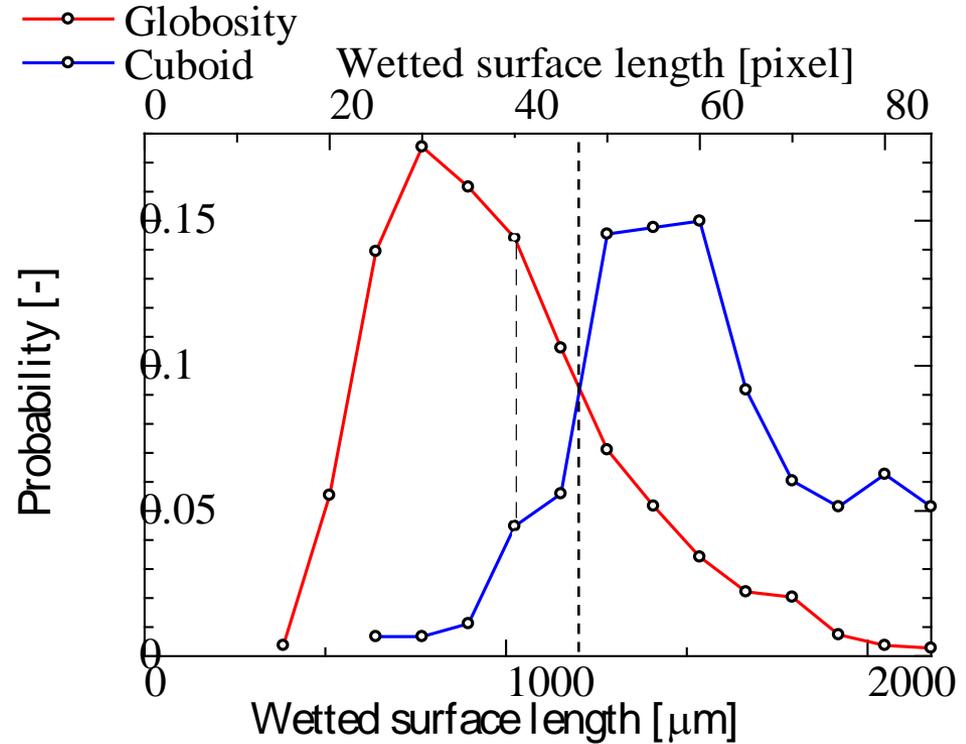
⇒ 流路に滞留している水が成長してくると隣り合ったもの同士がくっつきあい、流路を塞ぐような液滴に成長する。

# 流路における水の形状モデル

## 透過画像



壁面での濡れ長さDを計測する



球状を有する液滴と、隣り合う水同士がひっついて流路を塞ぐような形状を有する液滴では、壁面の濡れ長さ約1.2mmで差が見られる。

# 結論

## 膜厚方向水分布計測

- ・画素寸法 $8.8\mu\text{m}$ で60秒間隔での撮影を行い、GDL内では流路下に比べリブ下に多く水が滞留し、流路へは主にリブコーナー部から流路壁面に沿って排出されることを確認した。
- ・MPLの有無を比較することで、GDLにおける滞留状況の違いを確認した。

## 面内方向水分布計測

- ・画素寸法 $25.6\mu\text{m}$ で15秒間隔での撮影を行い、GDL一流路間の水の配分および流路内に滞留する水の形状を把握した。





## 減衰の一般式

$$I = I_0 \exp(-\rho \mu_m t)$$

## 水が存在しない場所の輝度分布

$$S_0(x, y) = G(x, y) \exp \sum_i [-\rho \mu_{mt}(x, y)] + O_0(x, y)$$

## 水が存在する場所の輝度分布

$$S_G(x, y, t) = G(x, y) \exp \left\{ \sum_i [-\rho \mu_{mt}(x, y)] - \rho_w \mu_{mw} t(x, y) \right\} + O_G(x, y)$$

## 水厚み算出

$$t_w(x, y, t) = \frac{1}{\rho_w \mu_{mw}} \ln \left\{ \frac{S_0(x, y) - O_0(x, y)}{S_G(x, y, t) - O_G(x, y, t)} \right\}$$

水がない流路外であれば、輝度は一定のはずなので、

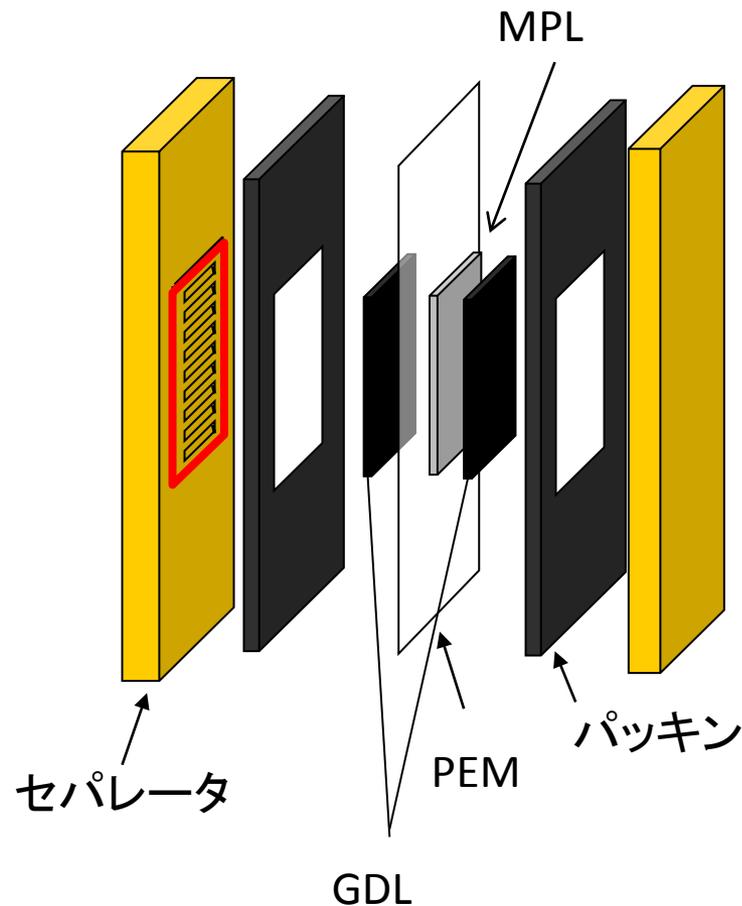
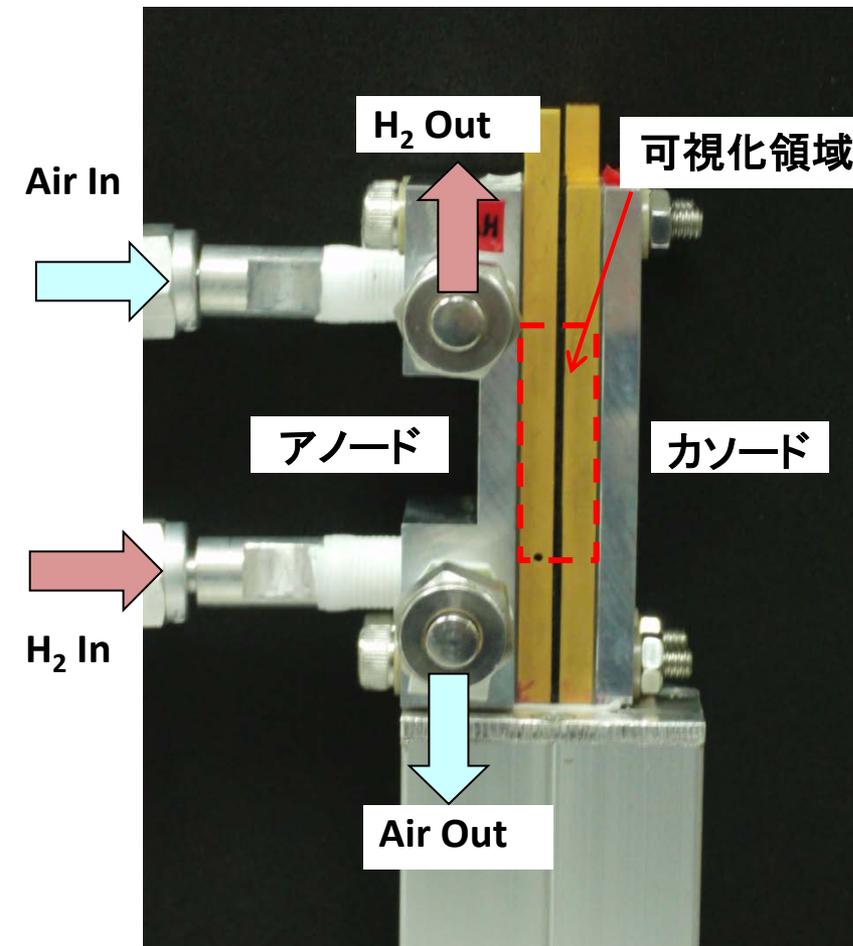
$$S'_G = (S_{0Ave}) / (S_{nAve}) \times S_G$$

$S_{0Ave}$  : 空画像の空間の平均輝度値

$S_{nAve}$  : 発電画像の空間の平均輝度値

として、補正を行う。

# 可視化用小型燃料電池



## 基礎式

$$\varepsilon_0 \frac{\partial s}{\partial t} + \nabla q_w = R$$

$$q_w = -\frac{K(s)}{\mu} (\rho_w g \left( -\frac{\partial \psi}{\partial s} \right) \nabla s)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial s} = -A \times D \times [e^{\{-A(s-C)\}} + e^{\{A(s-C)\}}]$$

$$K(s) = K_l (s + 0.01)$$

$\varepsilon_0$  : porosity of diffusion layer

$s$  : water saturation

$R$  : water saturation reaction rate

$K_l$  : absolute permeability liquid water

$A, C, D$  : empirical constant

## 境界条件

GDL-リブ

$$\frac{\partial s}{\partial x} = 0$$

GDL-流路

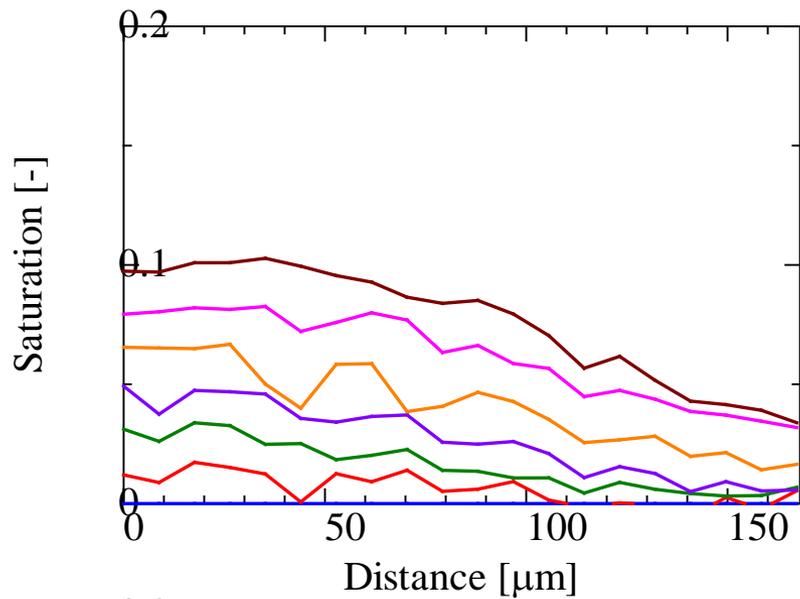
$$s = 0$$

GDL-CL

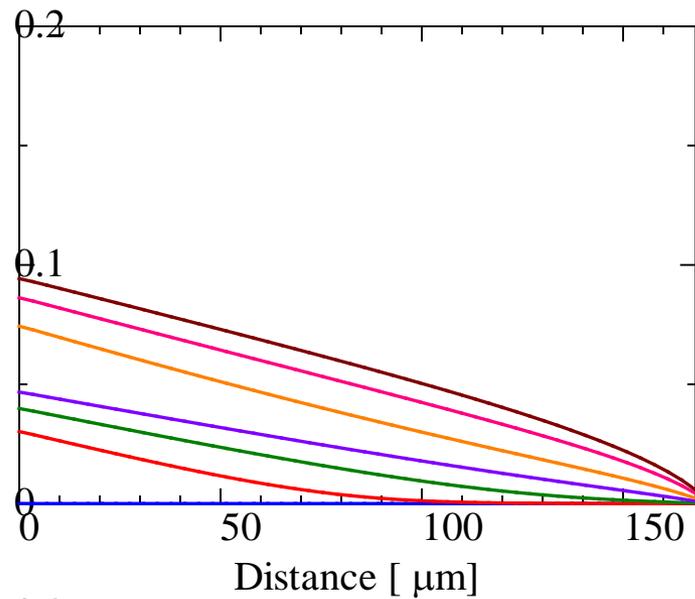
$$\frac{\partial s}{\partial x} = 0$$

※生成項Rは実験結果から算出した値をGDLとCLの間にのみ与える。

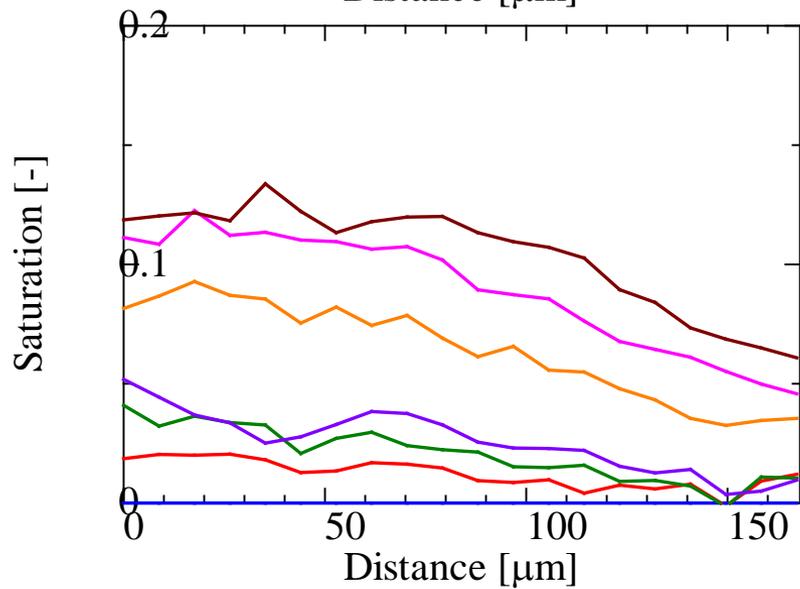
流路下



Saturation [-]



リブ下



Saturation [-]

