

燃料電池スタックにおける セル面内 CCM 含水量分布計測システムの開発

Development of CCM Water Content Distribution Measurement System for Fuel Cell Stack

佐藤 雅彦*
Masahiko SATO

千葉 裕人*
Hiroto CHIBA

井ノ上 雅次郎*
Masajiro INOUE

要 旨

燃料電池の劣化要因である高分子電解質膜の膜破損や電極触媒の機能低下に影響する高分子電解質膜の含水量分布を、膜電極接合体のインピーダンス計測により定量化するシステムを構築した。

本システムのインピーダンス計測センサは、フレキシブルプリント配線基板技術を利用して電流計測用シャント抵抗を形成し薄型化したことで、膜電極接合体と同一形状のセンサ製作が可能となった。

このセンサの開発により、これまで計測することが容易ではなかった発電中における燃料電池スタックの高分子電解質膜含水量分布をリアルタイムで計測できるようになった。また、2016 年モデル FCV での電解質膜含水量制御に活用した。

ABSTRACT

A system was developed that uses impedance measurement of membrane electrode assemblies to quantify water content distribution in the polymer electrolyte membrane. That distribution influences fuel cell degradation factors including membrane damage in polymer electrolyte membranes and functional deterioration of electrode catalysts.

The impedance measurement sensors in this system are fabricated using flexible printed circuit technology to form thin shunt resistors for current measurement. This allows sensors to be produced in the same form as the membrane electrode assemblies.

With the development of these sensors, it became possible to measure the water content distribution in polymer electrolyte membranes in a fuel cell stack in real time while it is generating electricity. Those measurement results have been put to use in the 2016 model year for control of the water content of electrolyte membranes in actual fuel cell vehicles.

1. まえがき

CO₂ や NO_x などの自動車排ガス中に含まれる環境汚染物質による地球環境への影響や、将来的な化石燃料の枯渇に対応するために、クリーンかつ低燃費な自動車の開発が急務である。Honda は持続的なエネルギー循環型社会を目指し、化石燃料に頼らず水素を燃料とする燃料電池自動車 (FCV) の研究開発を進めてきた⁽¹⁾。

Fig. 1 に燃料電池の構成図と内部の反応について示す。

燃料電池セル (以下セル) は膜電極接合体 (membrane electrode assembly: MEA) とガス流路が形成されたセパレータから構成されており、セルを複数枚積層したものを

* 四輪 R&D センター

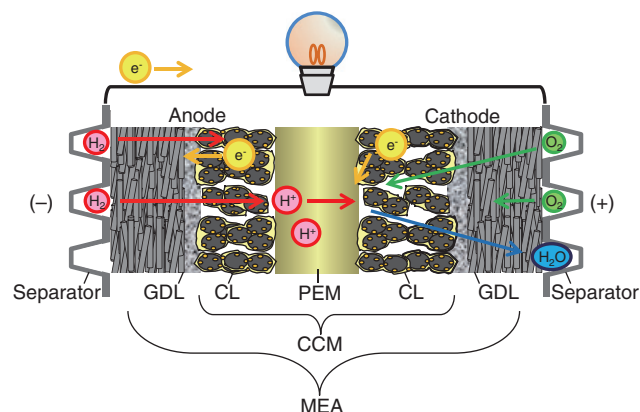
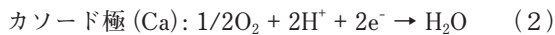


Fig. 1 Schematic image of fuel cell

燃料電池スタック (以下スタック) と呼んでいる。

MEA は高分子電解質膜 (polymer electrolyte membrane: PEM) と触媒層 (catalyst layer: CL) そしてガス拡散層 (gas diffusion layer: GDL) から構成されており、触媒層が形成された高分子電解質膜は catalyst coated membrane (CCM) とも呼ばれている。

燃料電池の反応は、式 (1) に示すアノード極の水素酸化反応と式 (2) に示すカソード極の酸素還元反応からなり、水素と酸素の化学反応により電気と水を生成する。



FCV に搭載するスタックは、小型軽量化と高出力で高効率な発電性能の実現が求められるとともに、車載する燃料電池特有の電流負荷の変動に対する耐久性が要求される。燃料電池の耐久性を確保するには、燃料電池出力に大きく寄与する電極触媒の表面積の保持および酸素と燃料である水素のガス隔離とアノードとカソードの電気絶縁の両機能を持つ PEM の厚み保持が必要となる。

電極触媒の表面積の保持と PEM の厚み保持にはセル面内 CCM 含水量が密接に関係している。一般的に含水量が多い場合、電極触媒の溶解や凝集と再析出の繰り返しによって触媒の肥大化が促進され触媒表面積の低下が加速される。一方で含水量が少ない場合、不純物や過酸化水素が PEM 内に蓄積されて化学劣化が促進され PEM の厚みが減少するという報告⁽²⁾もある。

よって、車載用燃料電池の耐久性を向上させるためにはセル面内 CCM 含水量分布を明確にし、その上でセル面内 CCM 含水量を適正な範囲に制御する必要がある。

2. 開発の目的

CCM 含水量分布を明確にすることは、性能向上と劣化抑制の観点から重要であるだけでなく、運転条件の設定や耐久モードの構築とその解析にも有益な情報を与えてくれるため、スタック開発における重要な位置付けとなっている。

そこで、2016 年モデルの FCV 用スタック開発においては、多分割インピーダンスセンサの開発による CCM 含水量分布の明確化とシミュレーションによる最適な CCM 含水量分布の算出をおこない、スタック耐久性向上をめざした。

本稿では、CCM 含水量分布を定量化するセンサの開発とそのシステム構築について述べる。

3. 従来の含水量計測の課題

CCM の含水量分布を計測する手法として、核磁気共鳴 (NMR) 法や中性子ラジオグラフィ (RG) があげられる^{(3)–(6)}。

長らく Honda では燃料電池セル内の滞留水の状態を明らかにするため、中性子 RG による解析をおこなってきた⁽⁷⁾。この計測手法はセル平面方向から中性子を照射し、水による中性子の減衰をシンチレータで光に変換した後、CCD カメラで電気信号に変換し画像処理にて水分量を定量化する手法である。しかし、この中性子透過を利用した計測手法は Fig. 2 に示すように、セパレータ流路の滞留水や GDL 内の水も含めた計測となり、CCM 含水量分布を視覚的に観察することは容易ではなかった。

2016 年モデルの燃料電池スタックにおいてはセパレータ流路内に水が滞留しにくい発電条件が設定されている。そのため厚さ数十 μm の CCM に含まれる含水量や分布を中性子 RG にて計測した場合、水分量が少ないために画像処理による誤差が大きくなり精度が低くなるといった課題があった。

Fig. 3 に低負荷発電時に中性子 RG で計測した結果を示す。[Fig. 3 (a)] の青色部は水が多く存在していることを示している。[Fig. 3 (b)] は測定で得られた画像の濃淡から水厚みを計算して面内水分分布に定量化したグラフを示す。グ

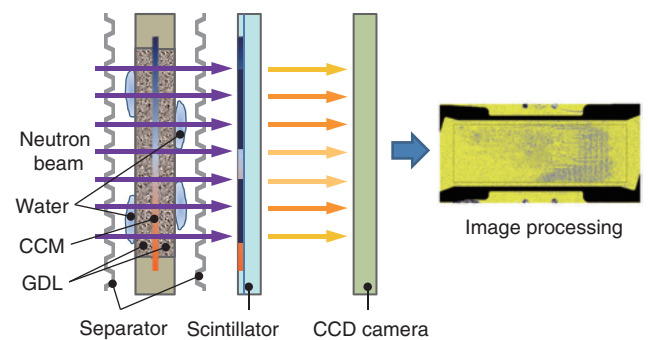


Fig. 2 Schematic image of detected water using Neutron RG

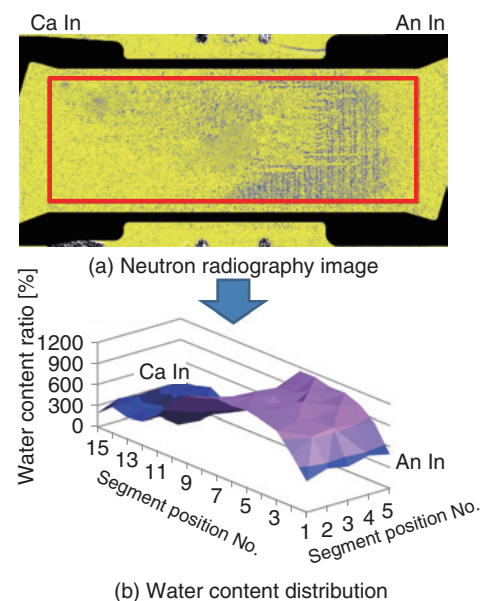


Fig. 3 Neutron Radiography and quantification result

ラフ縦軸は CCM が保水できる最大の含水量を 100% として百分率で表示した。

中性子 RG によるセル面内含水分布定量化の結果では 100% を超えた含水量が示されている。これは、流路や GDL に水が存在しているためで、数十 μm と非常に薄い CCM 含水量を精度よく計測することが容易でないことを示している。このような経緯から、CCM 含水量だけを精度よく測定できる計測システムの開発が望まれていた。

4. 計測手法の選定

実車における加減速を含めた CCM 含水量の制御を構築するためには、実車搭載システムにおいて発電時のセル面内の温度分布や湿度分布およびガス流量分布などに影響を与えることなく測定できる計測手法が必要である。計測手法を選定する際には CCM 含水量の計測ができることのほかに、実機搭載性、湿度分布や温度分布などのセル面内の発電環境の再現性、空間分解能、時間分解能、そしてリアルタイム計測可否を含めた六つの観点で検討した。検討結果を Table 1 に示す。

X 線や NMR による計測は、解像度に優れるものの大掛かりな設備が必要であり、実車搭載システムでの観察は容易ではない。一方、インピーダンス計測法は計測システムがコンパクトで実車搭載システムにセンサを組み込んで計測ができるため、実際の発電環境下での計測が可能である。

上記検討結果より実機搭載システムで、実際の加減速を含む運転時の含水変化がリアルタイムで計測できるインピーダンス法を選択し含水量分布計測システムの開発をおこなった。

Table 1 Various measurement methods of water content inside fuel cell

	Impedance	Neutron RG	X-ray RG	X-ray CT	NMR
Indistinguishability for water content of PEM	○	△	△	○	○
Production loading	◎	×	×	×	×
Environment reproducibility	◎	△	×	×	×
Spatial resolution	△	○	◎	◎	○
Time resolution	◎	△	△	×	△
Real time measurement	○	△	△	×	×

◎: Excellent, ○: Good, △: Fair, ×: Poor

5. セル面内含水量分布計測システムの開発

5.1. 燃料電池スタックの構造

Honda 製燃料電池スタックは、2009 年モデルの FCX クラリティより採用している間引き冷却セル構造が特徴であ

る⁽¹⁾。これは従来各セルに必要な冷却層を 1/2 に削減し、2 枚の MEA に対し、必要なセパレータを 4 枚から 3 枚にした構造で、スタックの小型化と、軽量化実現の一助となっている。

間引き冷却セル構造は 2 枚の MEA と 3 枚のセパレータを 1 ユニットとした積層構造からなっている。従来のセル断面構造 [Fig. 4 (a)] と本開発センサを配置した構造 [Fig. 4 (b)] を示す。

5.2. センサの開発

Fig. 5 に今回開発したインピーダンス測定によるセル面内含水量分布計測システムのセンサ部の概観図を示す。本センサの名称は Impedance Distribution Measurement Sensor の頭文字を取って IDMS とした。

センサは燃料電池スタックに組み込むことを前提とし、MEA と同一の形状で設計した。その結果、CCM 含水量の測定は特殊なセパレータやシールを用意することなく燃料電池スタックを構成している MEA と入れ換えることで計測が可能である。

センサの両側表面には複数の正方形センサパッドを配置し、このセンサパッドにより MEA のインピーダンス計測をおこなう。各センサパッドはセパレータを介した MEA 発電部面積を等しく受け持つように設計した。またセパレータ流路との接触面積も等しくし、接触抵抗の違いによる

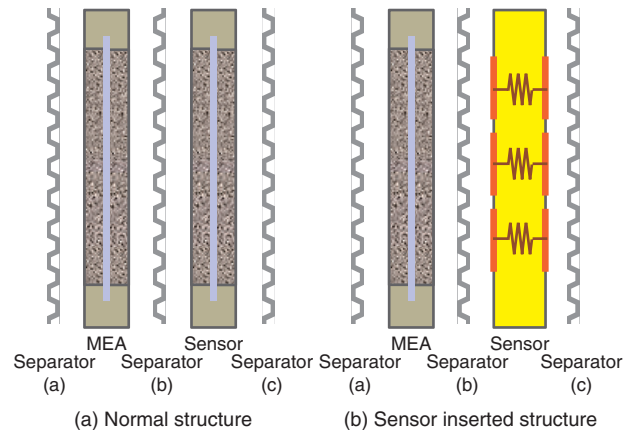


Fig. 4 Cell unit configuration of fuel cell stack

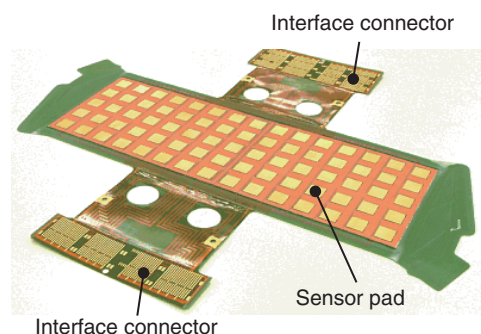


Fig. 5 Impedance distribution measurement sensor

計測誤差要因を抑える仕様とした。

次にシステムによる計測概念図を Fig. 6 で示す。

インピーダンスによる含水量の測定は、CCM 中に含まれる水分量の違いにより膜抵抗値が変化することを利用したものである。測定は燃料電池スタック全体に交流電流を重畳し、センサで計測した電流と電圧値から膜抵抗を算出し膜含水量に換算する。

重畳した交流電流の検出はセンサ内のシャント抵抗でおこない、抵抗に電流が流れた時に発生する IR ドロップを測定 (V_1)、以下の式 (3) で各センサパッドに流れる電流を求めた。

$$i_n = \frac{V_n}{R_n} \quad (3)$$

i_n : Terminal passing current [A]

V_n : Shunt resistor voltage [V]

R_n : Shunt resistance [Ω]

また、電圧 (V_2) はセンサパッドとセパレータ (a) 間で測定する。計測した電流値と電圧値を PXIe-6358 (NATIONAL INSTRUMENTS 社製) にてデータ収集、LabVIEW による演算処理によりインピーダンスを算出した。

LabVIEW でのインピーダンス換算は以下の式 (4) で求められる。

$$Z_n = \frac{\Delta V_n}{\Delta I_n} \quad (4)$$

Z_n : Impedance [Ω]

ΔV_n : AC voltage modulation [V]

ΔI_n : AC current modulation [A]

インピーダンス測定値から膜含水量への換算は 5.4. 節で述べる。

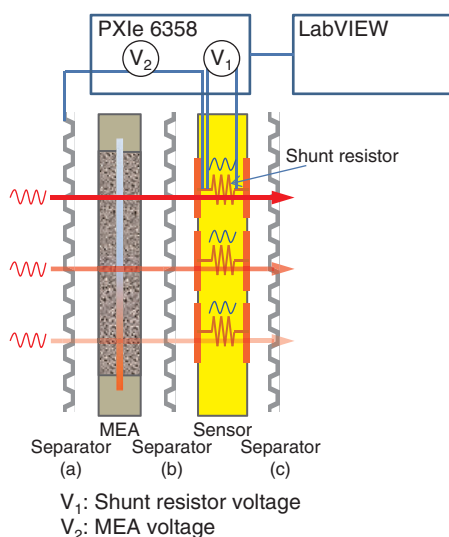


Fig. 6 Principle of CCM resistance measurement

5.3. 仕様検討

センサの開発においては、セル面内 CCM 含水量分布の解像度と計測精度に重点を置き、以下の項目について設計検討した。

5.3.1. 面内分割数

センサは、薄型化と複雑な配線加工が可能なフレキシブルプリント配線基板 (Flexible Printed Circuits:FPC) 技術を用いて製作した。FPC は厚み 12 μm から 50 μm の絶縁体フィルム上に接着層を形成し、さらにその上に厚み 12 μm から 50 μm 程度の導体箔を貼りあわせた構造で、一般的なガラスエポキシ製リジッド基板と比較して薄く、加工性に優れ複雑な形状の製作が可能である。

センサ内部の配線は、エッチングにより形成された配線シートを 5 層重ねた構造で構成され、層間配線の接続はレーザにより孔をあけ、その孔の内部にめっきを施した導電スルーホールを形成して接続した。この立体構造の電気配線を用いて各センサパッドを計測器と接続するためのインタフェースコネクタに接続した (Fig. 7)。また各センサパッドからの信号線は計測精度を向上させるため等長等抵抗配線とした。

含水量分布計測に必要なセンサパッド分割数の上限と下限を、センサ製作可否と計測精度の観点で検討を実施した。

燃料電池スタックの発電電極面内に均一に電流が流れたと仮定したときのセンサパッド分割数と各パッドに流れる電流の関係を Fig. 8 に示す。

スタック発電電流量が同一の場合、センサパッド分割数

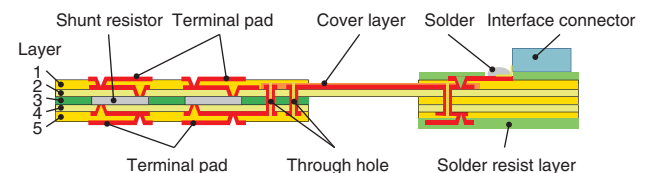


Fig. 7 Schematic image of FPC

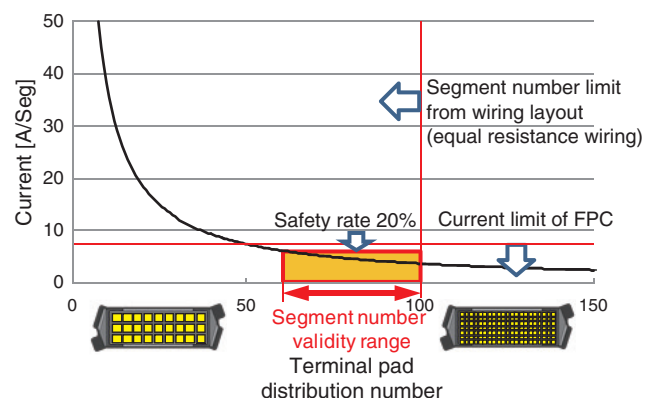


Fig. 8 Through current value of each sensor pad at various distribution numbers

が多いと各パッドに流れる電流は小さくなり [Fig. 9 (a)], 逆にセンサ分割数が少ないと流れる電流は大きくなる [Fig. 9 (b)].

センサ内配線層の導体厚さや配線幅, めっき厚を一般的なパラメータで設計した場合, 各センサパッド間を貫通可能な電流上限は計算上 7A 程度となる. スタック定格発電時の電流密度分布ばらつきを考え, 各センサパッド間を透過する電流に 20% 程度の安全率を入れ込むと, センサパッド分割数の下限は 60 分割程度となる.

センサパッド分割数の上限は, 先に述べた FPC 配線レイアウトに大きく影響する. センサパッド数を増やしていった場合, 面内中央部のセンサパッドからインタフェースコネクタに引き出す配線レイアウトが容易ではなくなるため, 基板積層数を増やす必要がある. MEA 形状のセンサ製作を考えた場合, 基板積層数が増えてセンサが厚くなることは, 搭載レイアウト上成立しなくなることからセンサパッドの分割数はおおむね 100 分割程度が上限となる.

上記センサパッド分割数検討結果と MEA 電極発電部のアスペクト比から, センサパッドの配置は縦 5 行横 15 列の 75 分割とした.

5.3.2. センサパッド間ピッチ

センサ計測精度の指標を電流捕獲率の高さとし, センサパッドサイズ, シャント抵抗の大きさを決定した.

電流捕獲率とは, セルを介したセンサパッドと同範囲のターミナルにより印加した電流に対し, 該当するセンサ部にて取得した電流の割合を示したものである.

Fig. 10, Fig. 11 に電流捕獲率のイメージ図を示す.

電流捕獲率が高いセンサは, 電流印加部のセンサパッド検出電流値が高いが [Fig. 10 (a), Fig. 11 (a)], 捕獲率が低いセンサは, 電流印加部以外のセンサパッド部で電流値が高くなるため, 電流印加部のセンサパッド検出電流値が低くなる [Fig. 10 (b), Fig. 11 (b)].

これはセパレータや GDL など面方向に流れる電流 (迷走電流) により, 測定精度が低下していることを示している.

この電流捕獲率はセンサパッドの配置やシャント抵抗値によっても変わる. 我々はセンサパッド間ピッチとシャン

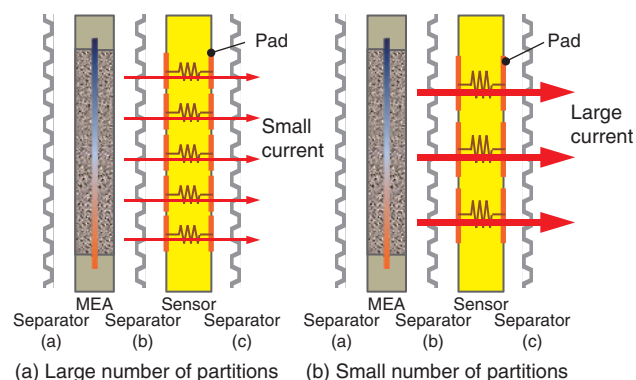


Fig. 9 Image of electric current quantity

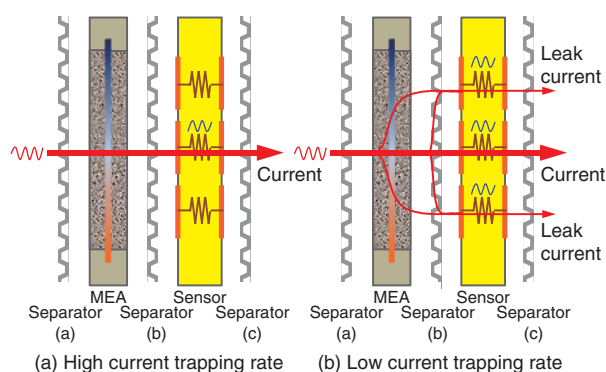
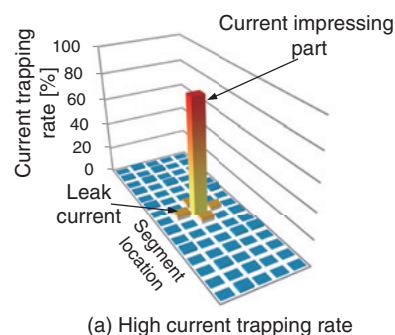
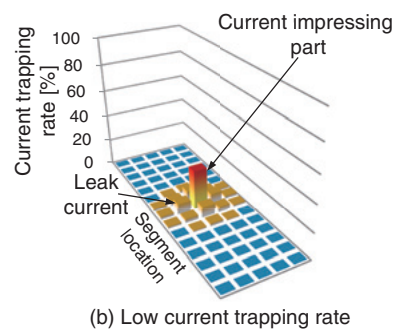


Fig. 10 Image of current trapping rate



(a) High current trapping rate



(b) Low current trapping rate

Fig. 11 Measuring result of current trapping rate (Image)

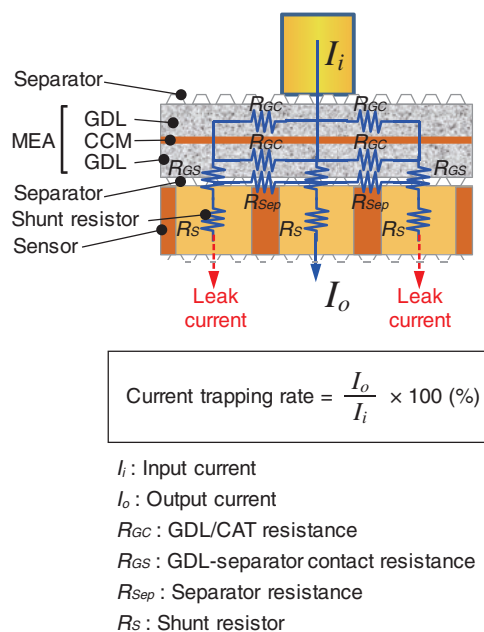


Fig. 12 Model of current trapping rate

ト抵抗値をパラメータとし、Fig. 12 によるモデルにより各部材の固有抵抗、接触抵抗から迷走電流を計算し、センサの電流捕獲率を求めた。

Fig. 13 はセンサパッド間ピッチやセンサシャント抵抗違いによる電流捕獲率の変化を計算で求めた結果を示す。センサパッド間ピッチを大きくすると電流捕獲率を上げることができる。これはセンサパッド間に電流を流すセパレータの距離が増加することにより抵抗が増え、迷走電流が流れにくくなるためである (Fig. 13, Fig. 14)。しかしながらセンサパッド間ピッチを大きくしていくとセンサパッドサイズが減少するため、セパレータとの接触面積が減り電流パスが減少し、正確な分布計測ができなくなる。

必要最低限の電流パスを確保するためのセンサパッドの総面積は、スタック定格発電時に流れる電流量とセンサとセパレータ間の接触抵抗から求めた。また、必要最低センサパッド総面積から各センサパッドサイズを計算し、パッド間ピッチを 8 mm とした。

5.3.3. シャント抵抗値

シャント抵抗の材質は温度変化による抵抗変化の少ないマンガンニ (Cu-Mn-Ni 合金) を抵抗体として使用し、センサ内の電流と電圧計測用配線を完全に分離させ、測定時に配線抵抗の影響が排除できる仕様とした。

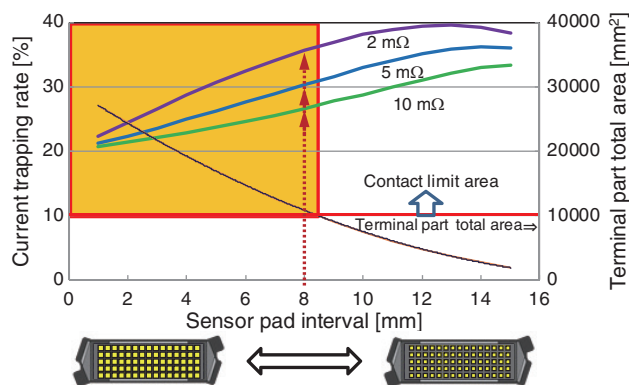


Fig. 13 Electric current trapping rate at various sensor pad intervals (75 segments)

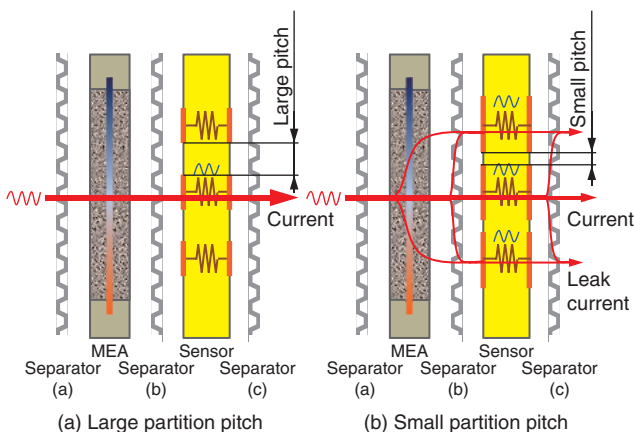


Fig. 14 Image of leak current at various segment pitches

シャント抵抗値を小さくすると電流捕獲率を上げることができる。これはセパレータ面内方向抵抗に対し貫通方向抵抗の比率が低くなり、電流が貫通方向に流れやすくなるためである (Fig. 15)。

しかし、抵抗値を低くすると電流捕獲率が上がる一方でシャント抵抗の寸法精度が厳しく要求されることになる。エッチングで製作しているシャント抵抗の成形精度を確認し、最終的に各センサパッド部に配置されているシャント抵抗間のばらつきが目標値 3% 以下を達成できる 5 mΩ を採用した。

以上センサパッド分割数と配置と面積、シャント抵抗値そして FPC 生産技術性を検討した結果、最終的に 5 mΩ のシャント抵抗、8 mm 間隔で製作することにした。

5.4. センサの機能検証

5.4.1. 評価セル

IDMS の機能検証は、[Fig. 16 (a)] に示す 2016 年モデル車載のフルスタックにセンサを配置し検証した。センサは端部セルの MEA を測定対象とし、端部セルに隣接した位置に組み込み計測した。発電装置はフルスタック単体の評価試験に使用される 150 kW 級発電装置を用いた。

センサの計測精度の確認は、湿度環境に対する MEA 含

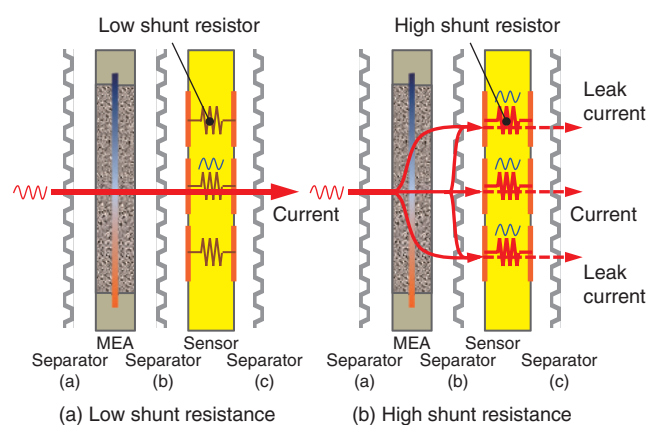


Fig. 15 Image of leak current at different shunt resistance

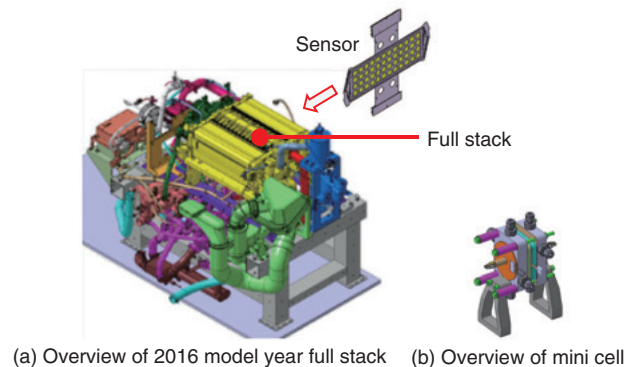


Fig. 16 Schematic image of full stack incorporating IDMS and mini cell for correlation test

水量の諸特性を取得するのに使用している 2016 年モデルミニセル [Fig. 16 (b)] を使用した。ミニセルは電極面積 12.5 cm^2 で 2016 年モデルスタックを構成しているセパレータと同じ流路形状で面内の温度分布やガス流量分布、湿度分布が均一となるよう設計されている。セル温度は外部に貼り付けたヒータで制御し、2016 年モデルと同じ面圧荷重で組み立てた。

5.4.2. 抵抗計測結果の確認

IDMS による抵抗計測値を確認するため、 70°C の温度環境下で湿度環境を変化させて抵抗値を取得し、ミニセルの同じ条件下の計測結果と比較した。

センサ電極の位置違いによる計測精度の差異を確認するため、IDMS の 75 センサパッドのうち、ガスの出入り口や中央部など同一環境下でもインピーダンス計測値の差が生じやすい 25 箇所とミニセル (電極面積 12.5 cm^2) のインピーダンス計測値を比較した。投入ガスは発電時と同様に、An には水素ガス、Ca には Air を用いた。各湿度条件における保持時間は面内全域の相対湿度 (relative humidity: RH, 以下湿度または RH とする) が安定する 2 時間とし、低湿度側から高湿度側へ RH10% 刻みで変化させた。Fig. 17 に各湿度におけるインピーダンスの計測結果を示す。

IDMS のインピーダンス値をミニセルと比較すると、全湿度領域で 10 数% 程度一律に低くなることがわかった。これはミニセルのセル積層数が少ないため、締結荷重が低下しやすくセル内部の接触抵抗が増加したためと考えられる。またセグメント間では約 $\pm 3\%$ の差異が存在するが、これはフルスタック面内の面圧分布や面内湿度環境分布によって生じていると考えられる。

これらの面圧分布や湿度環境分布の影響を補正するために、セグメント毎に湿度とインピーダンスの関係を取得することで、のちに記載する含水量を正確に算出することが可能となった。

5.4.3. 計測抵抗値から含水量への変換

得られた各電極の抵抗値から含水量へ変換する一連の流れを Fig. 18 に示す。

まず、インピーダンス計測により得られた抵抗分布を、

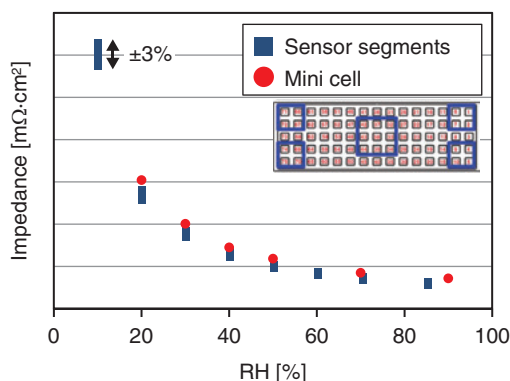


Fig. 17 Impedance CCM measurement value at various RH levels

その抵抗値を示す湿度環境に変換する [Fig. 18 (a)]. 変換する際には、湿度変化に対するセンサの抵抗値から求めた検量線を使用した。次に、湿度環境下から MEA の含水量に変換した [Fig. 18 (b)]. 含水量への変換は湿度と MEA 含水量検量線によっておこなった。

5.4.4. 湿度変化に対するセンサの抵抗値を計測

IDMS をフルスタックに設置した状態で、計測する発電条件の温度において、投入ガスの湿度を変化させ各セグメントにおける MEA の抵抗値変化を計測した。得られた検量線 (Fig. 17 と同じ 25 セグメント) を Fig. 19 に示す。この検量線を用いて [Fig. 18 (a)] に示すように、各セグメントの抵抗値をその抵抗値を示す湿度に変換した。

5.4.5. 環境湿度変化に対する MEA 重量の計測

上記で求めた湿度における CCM 含水量を水分吸脱着測定装置 (ハイデン社製 IGA SORP) で計測した。その測定手順を Fig. 20 に示す。

サンプルは CCM の $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ の 4 cm^2 片とした。サンプルをステンレスメッシュに入れて [Fig. 20 (1)], IGA SOAP (恒温層) の中に入れて [Fig. 20 (2)], 窒素気流

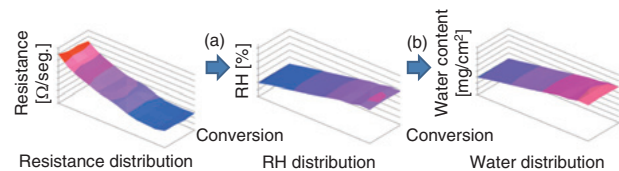


Fig. 18 Conversion of resistance to water distribution

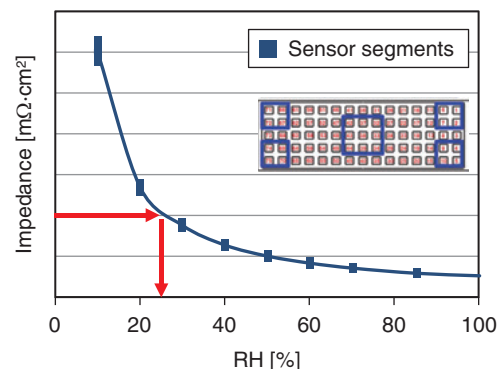


Fig. 19 Impedance CCM measurement value at various RH levels

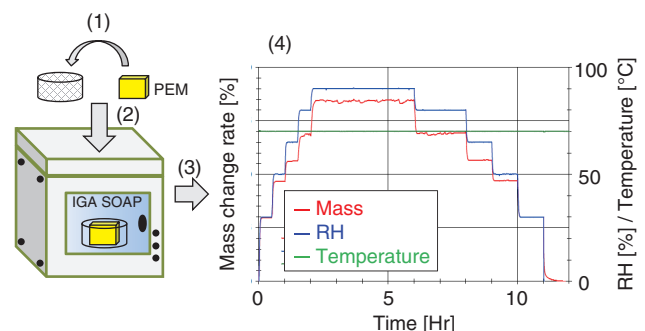


Fig. 20 Test procedure of adsorption and desorption measurement

下で乾燥を2時間おこない[Fig. 20 (3)], 乾燥時の重量を計測した後, 温湿度制御下における質量を連続計測した[Fig. 20 (4)]. 各湿度条件における30分保持後のCCM重量から各湿度環境下の含水量を算出した. 得られた各湿度とCCM重量から計算した含水量のグラフをFig. 21に示す. Fig. 21のグラフによって湿度分布を含水分布に変換[Fig. 18 (b)]し, 発電時のMEAの含水量分布を得た.

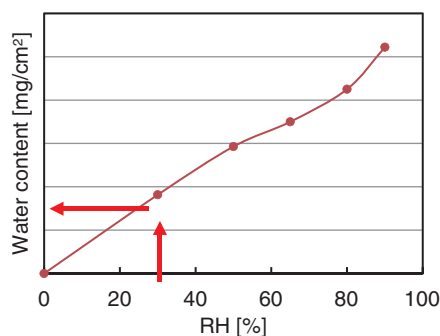


Fig. 21 Water content measurement of CCM at various RH levels

6. 燃料電池スタックへの適用結果

6.1. 含水量のリアルタイム計測

Fig. 22はセンサを実車搭載システムの燃料電池スタックに組込んで開発時に使用したスタック評価走行モードで発電した時の負荷と含水量の変化を示したものである. CCM含水量はAn In側, 中央部, Ca In側の時間変化を示しており, 高負荷時は中央部の含水量が最も多くなる. 一方, An In側は含水量の変化が小さいことが明らかになった.

本計測システムは0.5秒ごとの各部位のインピーダンス計測が可能で, 中性子RGの画像取得時間1枚あたり8秒と比較して時間分解能が向上した. その結果, 加減速時

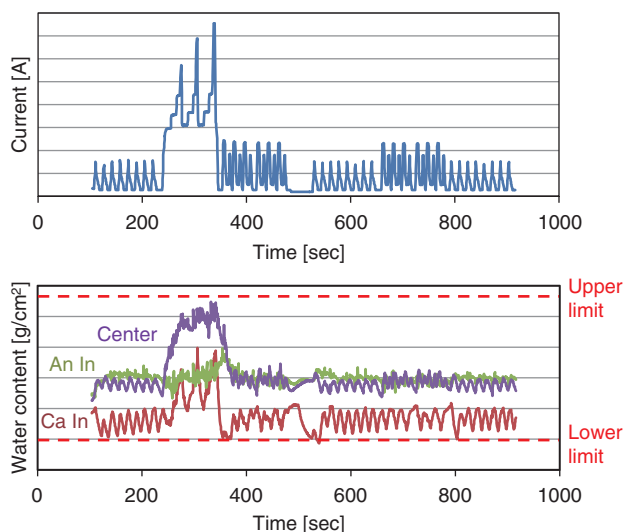


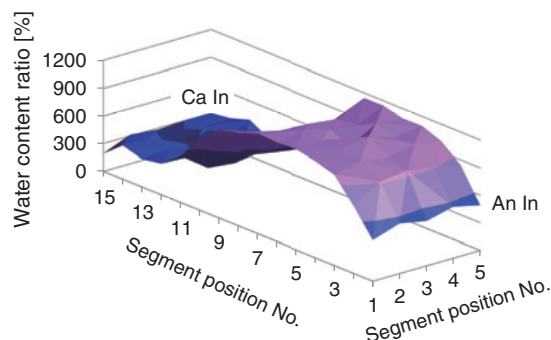
Fig. 22 Change of water content during generation

におけるCCM含水量変化を詳細に確認することが可能となった. また, 空間分解能は75分割でも十分な解像度を有しており, CCM面内の含水量分布上限値と下限値を十分議論できる精度がある. このようにIDMSの開発により運転中の燃料電池スタック内CCM含水量がリアルタイムかつ詳細に計測可能となった.

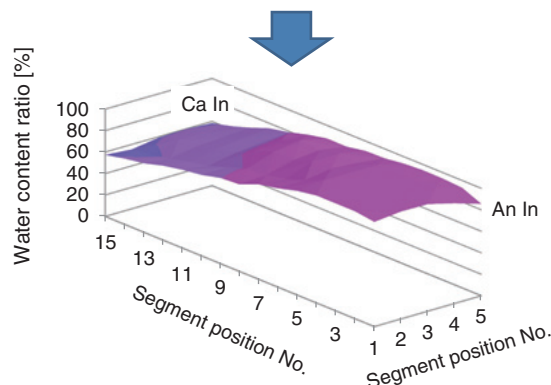
6.2. 含水量分布の計測

低負荷で発電したときのIDMSによる含水量分布計測結果[Fig. 23 (b)]と中性子RGの定量化結果[Fig. 23 (a)]を比較した. 中性子RGではセパレータ流路やGDLの水を含めた計測しかできなかったが, IDMSを使用した計測ではCCM含水量の分布計測が可能となった.

このIDMSによるCCM含水分布計測により, CCMの乾燥による収縮と湿潤による膨張の繰り返しによって引き起こされる機械劣化の加速モードの予実検証⁽⁸⁾や, シミュレーションの予測精度向上⁽⁹⁾が可能となった. また, 実車搭載システムにおけるCCM含水量計測により, 運転時の含水量制御を構築⁽¹⁰⁾し, 実車に適應させた.



(a) Quantification result by neutron RG



(b) PEM water content from IDMS sensor

Fig. 23 CCM water content distribution at low generation condition

7. まとめ

- (1) 実車搭載システムへの組み込むことが可能なMEA形状のインピーダンス計測センサを開発し, 実車運転環

境における CCM 含水量分布をリアルタイムで計測できるようになった。

- (2) センサパッド数や配置距離の検討により燃料電池スタック CCM 含水量分布を高解像度で精度よく測定することが可能となった。

参考文献

- (1) 齊藤信広, 菊池英明, 中尾靖宏: FCX クラリティ搭載の新燃料電池スタック, Honda R&D Technical Review, Vol. 21, No. 1, p. 15-22
- (2) 西川尚男: 燃料電池の技術 固体高分子形の課題と対策, 東京電機大学出版局, p.84-113, (2010)
- (3) Wang, H., Yuan, X-Z., Li, H.: PEM FUEL CELL DIAGNOSTIC TOOLS, CRC Press, 260p., (2012)
- (4) Hickner, M. A., Siegel, N. P., Chen, K. S., Hussey, D. S., Jacobson, D. L.: Observations of Transient Flooding in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using Time-Resolved Neutron Radiography, Journal of The Electrochemical Society, Vol. 157, Issue 1, B32-B38, (2010)
- (5) Eller, J., Rosén, T., Marone, F., Stampanoni, M., Wokaun, A., Büchi, F. N.: Progress in In Situ X-Ray Tomographic Microscopy of Liquid Water in Gas Diffusion Layers of PEFC, Journal of The Electrochemical Society, 158 (8), B963-B970, (2011)
- (6) Teranishi, K., Tsushima, S., Hirai, S.: Analysis of Water Transport in PEFCs by Magnetic Resonance Imaging Measurement, Journal of The Electrochemical Society, 153 (4), A664-A668, (2006)
- (7) 千葉裕人, 岩澤力: 中性子ラジオグラフィを用いた水観察による燃料電池の発電環境最適化, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 1, p. 119-127
- (8) 杉下昌史, 大森優: 燃料電池用高分子電解質膜の機械劣化に対する寿命予測技術, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 1, p. 54-61
- (9) 南雲健司, 井ノ上雅次郎: シミュレーションによる燃料電池スタックセル面内 CCM 含水量分布予測, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 1, p. 24-30
- (10) 岩成亨, 宮島一嘉, 古澤宏一郎, 井ノ上雅次郎: 実車搭載発電システムにおける燃料電池スタックセル面内 CCM 含水量のリアルタイム計測, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 1, p. 31-36

■ 著 者 ■



佐藤 雅彦



千葉 裕人



井ノ上 雅次郎