

不織布形状を有する新規金属多孔体の アニオン交換膜 (AEM) 型水電解装置への応用

Application of Novel Porous Metals with Felt-like Structures to AEM Water Electrolyzers

鵜木 亮*
Makoto Unoki

沼田 昂真
Koma Numata

小川 光靖
Mitsuyasu Ogawa

富山住友電工(株)の製品であるニッケルセルメットは、三次元網目構造を有する金属多孔体である。筆者らはセルメットをアニオン交換膜 (AEM) 型水電解装置の多孔質輸送層 (PTL) への適用することを目指しており、過去に高い電解性能が得られることを報告している。しかし更なる検討により、セル構成次第ではセルメットよりも緻密な構造を有する PTL を適用することで、より性能を向上させられることが分かってきた。今回、そのようなセルへの適用を目的に不織布形状を有するセルメットを開発した。その結果、セルメットと不織布の両方の利点を併せ持つことが判明したため、それらの知見について本論文にて報告する。

Nickel Celmet, a product of Sumitomo Electric Toyama Co., Ltd., is a porous metal featuring a three-dimensional network structure. We have been investigating the application of Celmets as porous transport layers (PTLs) for anion exchange membrane (AEM) water electrolyzers and previously reported that high electrolysis performance was achieved. However, further studies have indicated that, depending on the cell configuration, performance can be improved by employing PTLs with denser structures than Celmets. In this work, to enable application to such cells, we developed a felt-type Celmet. This material was found to combine the advantages of both Celmets and metallic felts, and these findings are reported in this paper.

キーワード：AEM 型水電解、セルメット、金属多孔体、多孔質輸送層、不織布

1. 緒 言

再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、余剰電力で水電解を行い、生成した水素でエネルギーを貯蔵・輸送する Power-to-Gas が注目されている⁽¹⁾。水電解の中でもアニオン交換膜 (AEM) 型は、アルカリ水電解のコストの低さとプロトン交換膜 (PEM) 型の性能の高さを両立し得る方式として期待されている^{(2),(3)}。一方で、社会実装に向けた多くの課題が残されている。AEM 型水電解装置の電極に当たる多孔質輸送層 (PTL)^{*1}に限定して述べると、①ガス輸送性、②触媒保持性、③AEM を損傷しない骨格形状といったトレードオフになり得る特性を両立させる必要があり、それらを満たす基材の開発が進められている。

富山住友電工(株)の製品であるニッケル (Ni) セルメットは三次元網目構造を有する金属多孔体であり、その高い空隙率から PTL の材料として有望である。筆者らは、目の細かいセルメットと目の粗いセルメットを積層した「積層セルメット」を開発し、上述の PTL に求められる特性を両立させることで、高い電解性能が得られることを報告している⁽⁴⁾。しかし更なる検討の結果、より性能を向上させられる PTL 構造があることが分かってきた。例えば、PTL の背面に配置される溝あり双極板が高いガス輸送性を有する場合、PTL 自身に求められる①ガス輸送性の重要度が相対的に低下し、②触媒保持性と③AEM を損傷しない構造がより重要となる。このような条件下では、より目の詰まった緻密な表面構造が求められる (図1)。

本論文では、このような設計要請に対応するため、不織

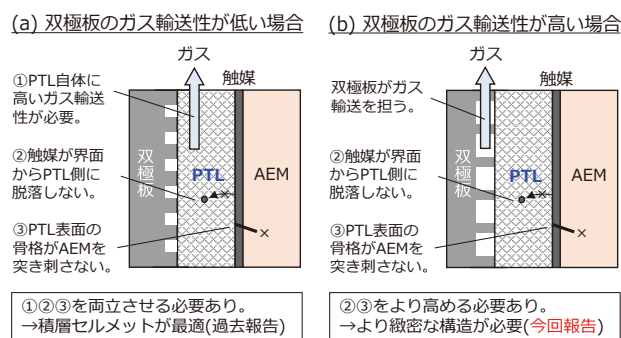


図1 セル構成と求められる物性

布構造を有する Ni セルメットを新たに開発した。得られた基材について各種評価を実施し、セルメットおよび既存の金属不織布と比較することで、AEM 水電解装置における新たな PTL の選択肢を提案する。

2. 実験方法

2-1 不織布セルメットの作製

セルメットは、発泡ウレタンの母材に導電処理と電気めっきを施し、最後に熱処理によってウレタンを除去することで製造される。そのため、母材の樹脂の構造を変更することで、様々な形状の金属多孔体を形成できる (図2)。そこ

で筆者らは、母材に樹脂不織布を適用し、不織布構造のセルメットである「不織布セルメット」を作製した。この基材を PTL として使用する場合、ロールプレス^{*2}によって任意の厚みに圧延することができる。今回は、当社の評価用セルの PTL 厚みである 0.3mm 圧延した状態で各種評価を実施した。外観および断面形状の観察には走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた。

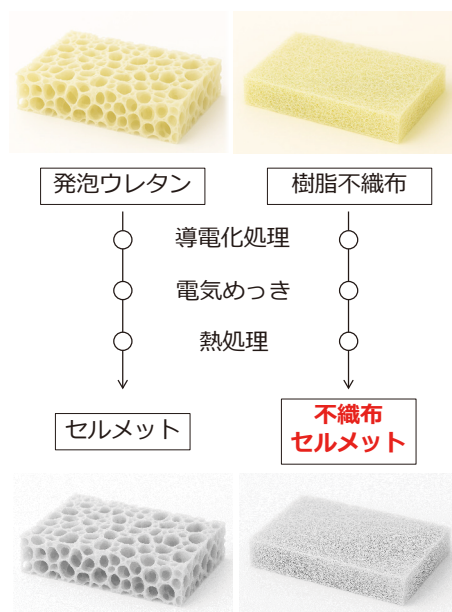


図2 不織布セルメットの製造フロー

2-2 触媒保持性の測定方法

触媒は PTL と AEM の間に挟まれることで保持されるため、PTL と AEM の接触面積が広い方が、触媒保持性が高いと考えられる。その評価のため、レーザー顕微鏡 (キーエンス製、VK-X100) を用い、1.0×1.5mm 角の視野において PTL の表面の最高点からの高さが 1μm 以内に収まる領域の面積を測定した。視野全体の面積に対する、高さ 1μm 以内の領域の面積割合 (「触媒保持面積割合」と呼ぶ) から、PTL 表面の触媒保持性の定量化が可能である。この評価を 10箇所 で実施し、平均値をその基材の触媒保持面積割合と定義した。

2-3 短絡圧の測定方法

AEM への損傷性を評価するため、短絡圧測定を実施した。図3に示すように、AEM を模した絶縁シートと PTL を積層し、それらを金属板で挟んだ積層体に荷重を印加した。当初、金属板と PTL は絶縁されているが、荷重を印加すると PTL 表面の骨格によって絶縁シートが損傷し、上部の金属板と PTL が短絡する。短絡した際の圧力を短絡圧と呼ぶ。この短絡圧が大きいほど絶縁シートを傷つけにくいと言えます、AEM への損傷性の指標となる。具体的な評価は、

突き刺し強度などの機械物性の近い 0.025mm の PTFE^{*3}シートを用いた。この評価を 5 回試行し、その平均値を基材の短絡圧と定義した。

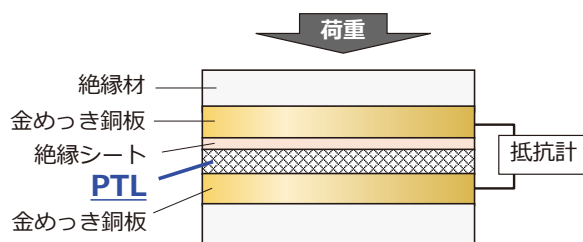


図3 短絡圧測定治具

2-4 圧力損失 (圧損)^{*4}の測定方法

PTL のガス輸送性を評価するため、圧損測定を実施した。PTL の表面から給気管で空気を所定の流量で流し、PTL 内を通った空気が裏面から排気される治具を作製した。この治具に PTL を配置し空気を流した場合と、配置せずに空気を流した場合の圧力を測定し、その差を圧損と定義した。空気の流量は 0.5L/min とした。

2-5 水電解評価方法

不織布セルメットを PTL として用いた際の電解性能を評価するため、AEM 型水電解評価を実施した。この評価は、当社で設計した AEM 型水電解セルを用いて実施した。双極板には、セルのガス輸送性が高い場合を想定したストレート流路を設けた。陰極の PTL にはカーボンペーパー^{*5}、陽極の PTL には不織布セルメットを適用した。触媒は陰極に白金触媒、陽極に酸化イリジウム触媒を 1mg/cm² ずつ用い、基材側への触媒塗布を実施した (CCS^{*6})。電解手順としては、初めに一定時間定電流を印加するコンディショニング^{*7}を行い、その後本電解を開始した。本電解では、各電流密度で 3 分間保持した時点での電解電圧をプロットした。加えて、各電流密度における反応抵抗の分離をすべく、電気化学インピーダンス測定を実施し、得られたナイキストプロットを基に等価回路フィッティングを実施した。

3. 結果と考察

3-1 不織布セルメットの観察

不織布セルメットの表面 SEM 像を図4、断面 SEM 像を図5に示す。比較として、過去に開発した積層セルメットおよび金属不織布の観察結果を並べて示す。

積層セルメットは、セルメットの製法に由来する特徴である中空の骨格がロールプレス時に潰れ平滑性が高いが、三次元網目構造を有する都合上緻密さは劣ることがわかる。金属不織布は繊維を積層しているため緻密であるが、骨格が潰れないため平滑性は劣っている。一方で、不織布

セルメットは他の2基材の緻密さと平滑性を併せ持っていることがわかる。この緻密さと平滑性は触媒保持性に有利に働くと考えられる。また、積層セルメットは表面に骨格の端部が露出するため、AEMの損傷の起点となる。しかし不織布セルメットは、骨格の端部の露出がほとんどなく、AEMの損傷抑制にも有利であると予想される。また図5から、積層セルメットの骨格断面形状が尖った角を有しているのに対し、不織布セルメットの骨格断面にはそのような角がないことが分かる。このこともAEMの損傷抑制に寄与していると考えている。

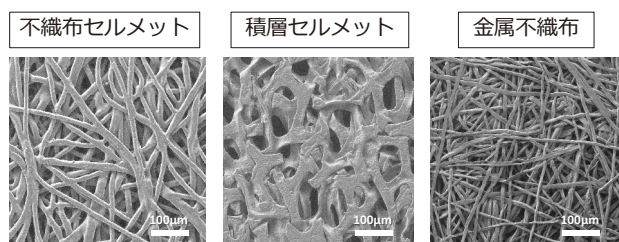


図4 表面SEM像

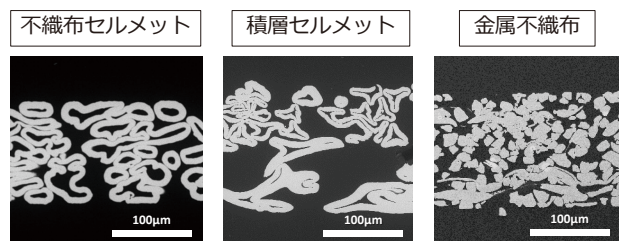


図5 断面SEM像

3-2 触媒保持性

触媒保持面積割合の評価結果を図6に示す。不織布セルメットは他の2基材を上回る触媒保持面積割合を有していた。これは、3-1節で確認した不織布セルメットの緻密で平滑な構造に起因するものと考えられる。

3-3 短絡圧

短絡圧の評価結果を図7に示す。短絡圧でも、不織布セルメットは他の2基材を大幅に上回る性能を示した。これは、3-1節で示した不織布セルメットの高い平滑性や尖った角のない骨格に起因するものと考えられる。

3-4 圧損

圧損の評価結果を図8に示す。不織布セルメットは積層セルメットよりも緻密な構造を有するため、その圧損は積層セルメットほど低くないが、金属不織布よりは低い結果になった。これは、本開発が想定する双極板のガス輸送性が高いセルでは、低圧損の優先度が低いことを織り込んだ不

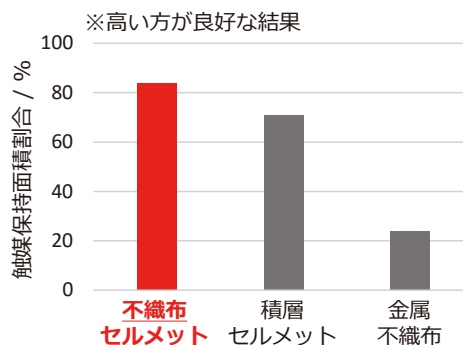


図6 触媒保持性の測定結果

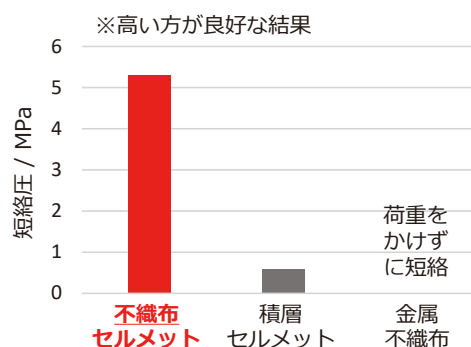


図7 短絡圧の測定結果

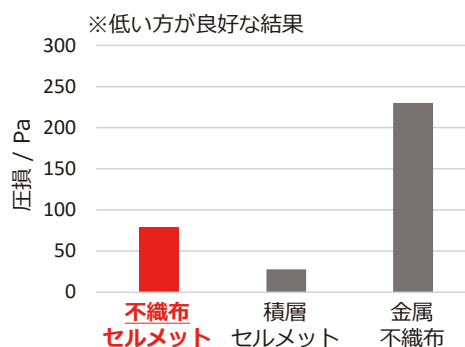


図8 圧損の測定結果

織布セルメットの設計通りの結果であるが、これが電解性能にどのように現れるかについては続く3-5節の電解特性評価結果で確認する。金属不織布は製造方法の都合上、繊維を疎に積層することが難しく圧損が高くなる。しかし、不織布セルメットは、比較的疎に積層可能な樹脂製不織布を母材とするため設計自由度が高く、今回のように低圧損の仕様も実現できる。

3-5 電解特性

最後に電解電圧の測定結果を図9に示す。他の2基材と比較し、いずれの電流密度においても不織布セルメットの電

解電圧の方が低く、電解性能が優れることが確認された。不織布セルメットの電圧の低さは、高い触媒保持性と低い圧損に起因し、前者は酸素発生反応抵抗、後者は物質移動抵抗を低減していると考えられる。この仮説を検証するべく、電気化学インピーダンス測定の結果を基に等価回路フィッティングを行い、低電流密度域（0.1A/cm²）と高電流密度域（2.0A/cm²）における各反応（水素発生、酸素発生、物質移動）に対応する反応抵抗を整理した（表1）。3基材間の比較で抵抗値が低い反応が電解特性の優位性に寄与していると考えられるため、そのような反応を表1から抽出すると、不織布セルメットの電解特性の優位性と関係づけられる反応は、低電流密度領域においては酸素発生、高電流密度領域においては酸素発生に加えて物質移動であることが判明した。これにより、上記の仮説の妥当性が示された。

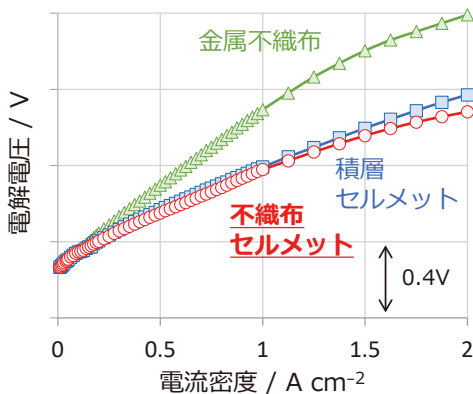


図9 電解電圧の測定結果

表1 反応抵抗一覧

電流密度	反応抵抗	PTL種類		
		金属不織布	積層セルメット	不織布セルメット
0.1A/cm ²	水素発生	0.06	0.06	0.06
	酸素発生	0.19	0.22	0.17
	物質移動	0.05	0.05	0.05
2.0A/cm ²	水素発生	0.03	0.03	0.03
	酸素発生	0.07	0.13	0.07
	物質移動	0.11	0.08	0.08

(単位はΩ cm²)

4. 結 言

本論文では、AEM型水電解装置のPTL向けに不織布セルメットを開発し、双極板のガス輸送性が高いセル構造において優れた電解性能を示し、AEMの損傷抑制の面でも非常に優れていることを実証した。不織布セルメットは、水電解装置のPTLの新たな選択肢となり、水電解装置の性能向上を通して顧客便益に資する

と期待できる。今後も、ユーザーに最適なPTLをご提案できるよう更なる開発を進めていく。

用 語 集

※1 多孔質輸送層

水電解装置において、水電解反応の場となる多孔質材料。PTL (porous transport layer) と略される。

※2 ロールプレス

材料をローラーで圧縮成形する加工方法で、均一な厚みや密度を得るために利用される。

※3 PTFE

ポリテトラフルオロエチレン。フッ素樹脂の一種で、高い絶縁性や滑り性を有する。

※4 圧力損失（圧損）

流体が管内を流れる際に発生する抵抗により、流体の圧力が減少する現象。この値が低いほど、ガス輸送性が高いと見なせる。

※5 カーボンペーパー

炭素繊維で構成された紙状の導電性材料。

※6 CCS

Catalyst Coated Substrateの略で、触媒をPTL側に塗工する方式。触媒を膜に塗工するCCM (Catalyst Coated Membrane) と区別される。

※7 コンディショニング

水電解において初期通電を行うことで、電極・触媒・膜を安定化し、性能や耐久性を引き出す工程。

・セルメットは住友電気工業㈱の登録商標です。

参 考 文 献

(1) 鷲津明由、吉田彬、田山真史、エネルギー・資源学会論文誌、46 (1)、80-86 (2025)
(2) 三田逸郎、化学装置、66 (9)、35-38 (2024)
(3) 伊藤博、電気化学、89、247-251 (2021)
(4) 鶴木亮、水原奈保、沼田昂真、塚本賢吾、西村淳一、土田斉、「アニオン交換膜 (AEM) 型水電解装置への金属多孔体セルメットの適用」、住友電工テクニカルレビュー第208号 (2026)

執 筆 者

鵜木 亮* : エネルギー・電子材料研究所



沼田 昂真 : エネルギー・電子材料研究所
グループ長補佐



小川 光靖 : エネルギー・電子材料研究所
グループ長



*主執筆者