（様式第６号）

令和６年度仙台市 NanoTerasu トライアルユース事業
事例報告書

1　課題名

水電解セルの高出力化を期待する３次元拡散層における気泡挙動のその場観察

2　測定にあたっての体制（社外委託先を含め記載）

3D Architech 合同会社（受託事業者）：　事業全体リード、資料作成 合同会社 Hx:　測定サポート実験計画サポート

3　背景と測定目的

<u>○背景</u>

水素生成技術は、持続可能な発展を実現する手段として重要な位置を占め、市場規模としても水素関連市場は 2030 年頃には超巨大な約 50 兆円規模となると見込まれる(Global Market Insights, 2023)。その水素社会の普及にあたり一番の課題は水素生成コストである。

その水素を生成する主たる方法に、水の電気分解（水電解）が存在し、その水電解部材のうち**ガス拡散層・多孔質輸送層**はミクロの多孔質形状をもち、**気体や液体を効率よく移動させるための役割**が求められる（図１）。

高出力や高効率のために重要な役割を果たす部材であるものの、**現存の製造方法ではミクロ構造の自由な制御がほぼ不可能であり、さらに液体や気体の移動の観察が非常に難しく学術的にも産業界でも理解や開発が進んでこなかった部材である。**

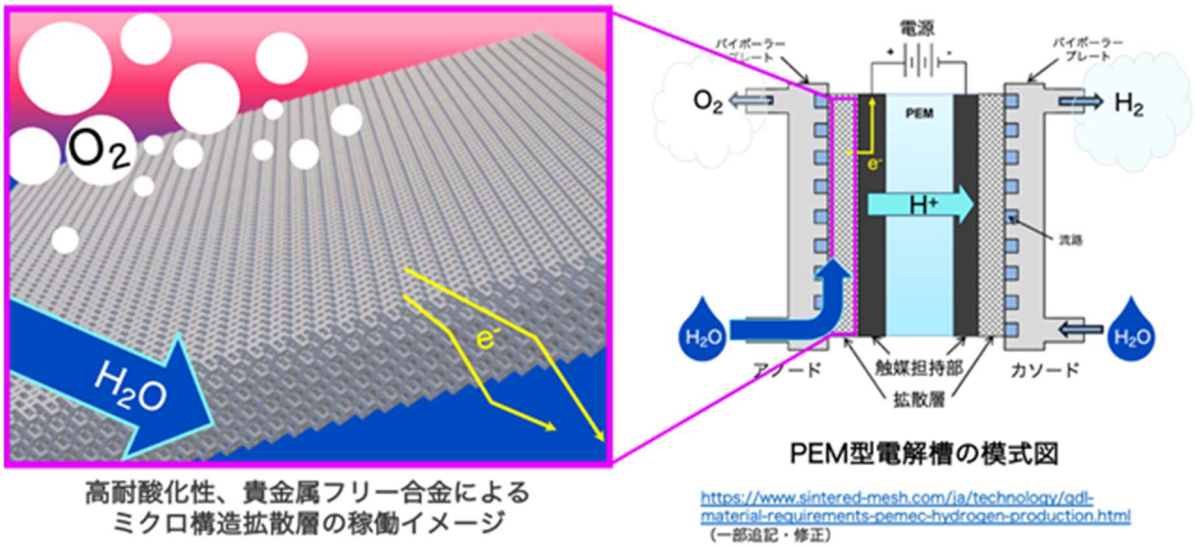

図 1　水電解槽の模式図（右図）と、高効率・高出力・低コストを達成する 3D Architech が提供するミクロ構造制御された拡散層のイメージ（左図）

そこで、3D Architech 合同会社の持つ、世界最高解像度の金属 3D プリント技術（図２）により、これまで不可能であった、数 μm オーダーで構造制御された拡散層（3DA 拡散層）を製造した。これを実際の電解セル内に導入し、運転中の 3DA 拡散層内の気泡生成を In-situ 測定し、気泡生成挙動と運転性能の相関を直接的に調査する。

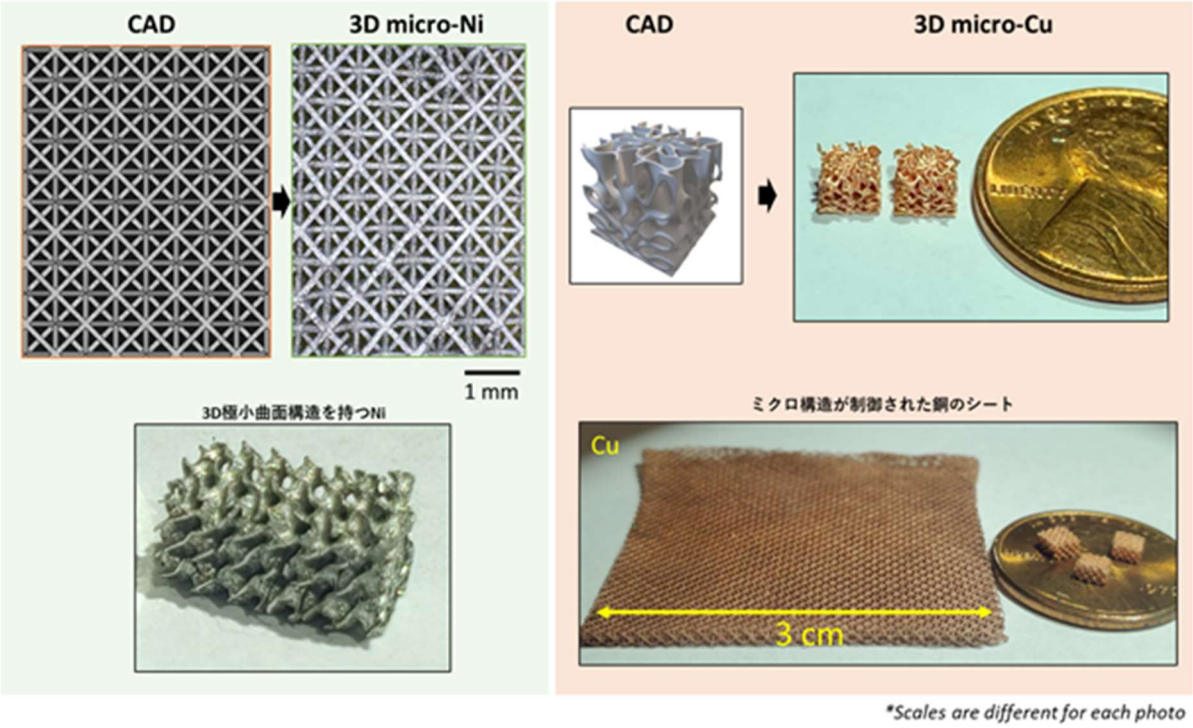

図 2　3D Architech 社のプリンタ技術より作成された、ミクロ構造制御された金属・合金部材

<u>○目的</u>

3DA 拡散層を導入した水電解セルにおいて、In-situ にて気泡脱離挙動を観察や電気化学測定を行う。従来の発泡ニッケルや炭素不織布における気泡脱離挙動や抵抗と比較し、3DA 拡散層の機能を可視化し、さらには、**これまで学術界および産業界の両方で知見がなかった気泡脱離を体系的に、そして直接的に観察する。**

4　測定方法（測定手法、測定セットアップ、使用ビームラインなど）

測定は２日に分けて、各８時間ずつ実施した。X 線イメージングを行う上で、まずは視野の広い BL-09W での観察を試みた。水と泡の吸収コントラストの差が明瞭でないために、２回目の測定は BL-10U での観察を試みた。

１回目の測定は BL-09W にて、X 線を透過する炭素セル(図３参照)を使用し、弊社が開発した微細構造を設計したニッケルのサンプル、およびランダムな構造をもつニッケルのサンプルを拡散層として組み込み、X 線イメージングを行った。

２回目の測定は BL-10U にて、炭素材料からなる拡散層を対象に X 線イメージングを行った。具体的には、弊社が開発した微細構造を設計した炭素のサンプルと、ランダムな構造をもつ市販の炭素のサンプルについて観察した。まず、拡散層の X 線イメージングを実施した。その後、チューブ内に拡散層と水を入れ、数分待ったのちに、水の拡散層への浸透挙動を確認するために X 線イメージングを行った（図４参照）。最後に、１回目の測定と同様に、炭素セル内に拡散層を組み込み、水を流しながら、セル内での拡散層としての機能性評価を試みた。

図 3 BL-09W での観察時に使用した炭素セルの外観図

図４ BL-10U での観察時の様子。チューブに拡散層と水を入れ、水の浸透具合を観察した。

5　結果及び考察（代表的なグラフや図を用いて分かりやすく説明すること）

＜BL-09W での測定＞

測定された X 線イメージングの結果を図 5 に示す。炭素セルを透過し、3DA Ni ラティスやその前後のイオン交換膜、触媒層の層を確認することができた。

また、水を流した後の撮影では、膜の膨らみが確認された。しかし、電圧を印加した際に発生する泡と水のコントラストは、ニッケルの X 線吸収が強いために低下し、泡と水の差を明確に識別することが困難であった。

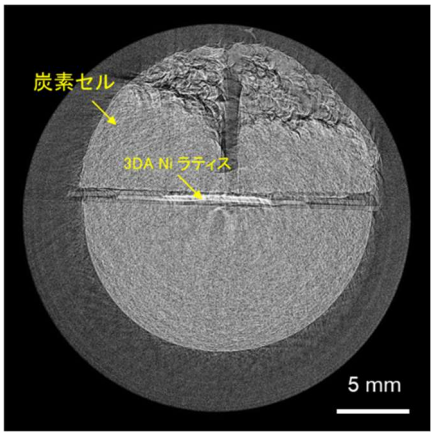

図　5　弊社ニッケルラティス拡散層を組みわせた炭素セルの X 線イメージング観察

＜BL-10U での測定＞

1 回目の測定結果を踏まえ、ニッケルよりも X 線吸収が小さい炭素材料を用いて拡散層を作成し、BL-10U のビームラインにて観察を行った。

図 6 は、従来のカーボンペーパーの観察結果および、カーボンペーパーを水に浸漬させた際の水との濡れ性を確認した結果を示している。観察の結果、炭素繊維の構造が明瞭に捉えられ、水に浸漬した際に炭素繊維内部へ水が浸透していないことが確認された。

このカーボンペーパーにはテフロンコートが施されており、撥水性が付与されているため、このような結果になったと推測される。

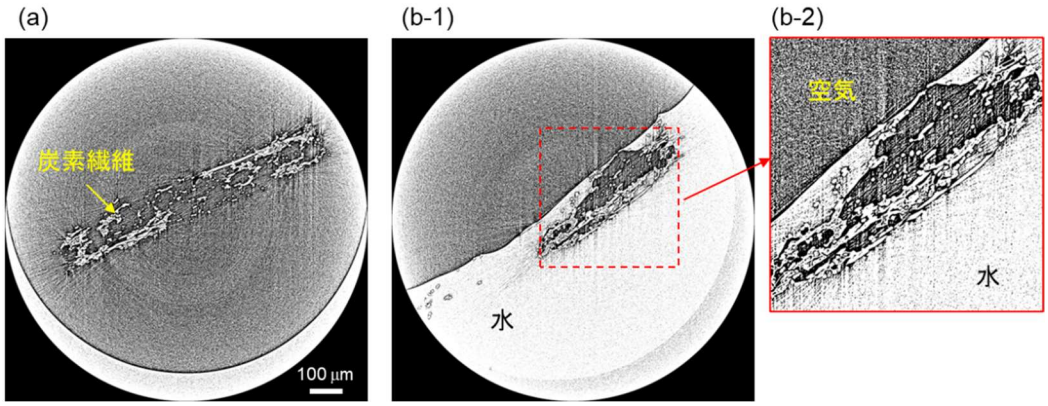

図 6　市販のカーボンペーパーの(a)X 線イメージング観察、(b-1)水に浸漬した際の塗れ性の観察、および(b-2)その拡大図。

一方、弊社の炭素ラティスサンプルの結果を図 7 および図 8 に示す。図 7(a)および図 8SUI に示されるように、市販のカーボンペーパー（図 6）と比較すると、本サンプルは規則的な構造を有していることが確認された。

また、水に浸漬した際には、市販のカーボンペーパーとは異なり、炭素構造内に水が浸透しており、高い濡れ性を示していることが分かった。これは、撥水処理が施されていないことに加え、

規則的な構造によって濡れの挙動が均一になっているためと推測される。

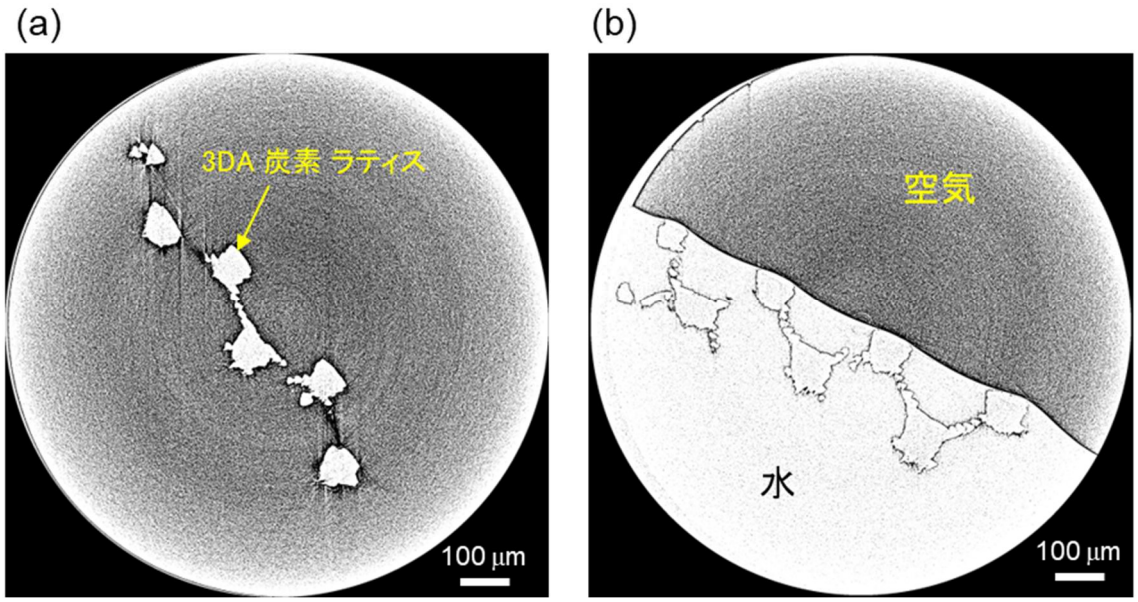

図７　(a)弊社の炭素ラティスの X 線イメージング（断面の観察）および、(b)水に浸漬した際の挙動

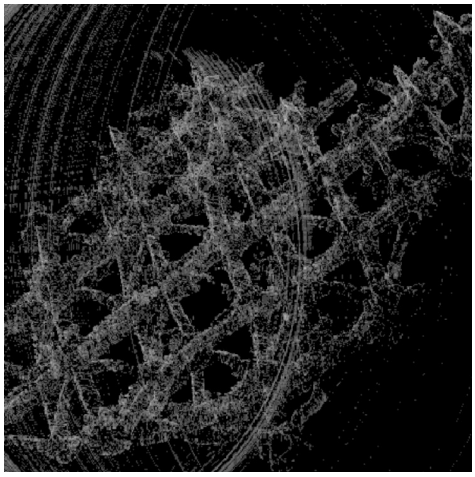

図８　3DA-炭素ラティスの３次元画像

その後、炭素セルに組み込み、X 線イメージングを実施した。実験条件を調整しながら観察を試みたものの、炭素セルが厚いためにイメージングにおけるノイズが大きく、内部の炭素拡散層の観察は困難であった。

6　今後の課題

本検討により、弊社のニッケルおよび炭素素材からなるミクロ構造を有する拡散層を X 線イメージングで観察でき、水との濡れ性の評価も 3 次元観察として実施できた。

一方、本検討の目的であった気泡生成挙動と構造の関係性を炭素セルを通じて In-situ 観察するには、炭素セルなどの測定器具に関するさらなる工夫や検討が必要であることが明らかとなった。

7　参考文献

なし