

戦略的創造研究推進事業 さきがけネットワーク
研究課題「モルフォロジー効果の極限解明と
高効率電気化学反応界面の創成」

研究終了報告書

研究期間 平成29年12月～平成31年3月

研究代表者：井上 元
(九州大学工学研究院、准教授)

§ 1 実施概要

(1) 実施概要

本研究では、『材料創生技術』『計測技術』『加工技術』『計算技術』を活用して、これら異なるモルフォロジー材料で構成される電極層内の律速要因を解明し、電気化学反応特性の差異の根本要因を明らかにする。本研究では DFAFC の更なる性能向上のために必要な、アノード濃度過電圧低減に向けて、4機関にて研究を実施した。各研究グループの成果は以下の通りである。

九州大『実触媒層観察と数値モデリング』

DFAFC 触媒層内の電気化学反応と輸送現象を連成させたシミュレーションにより、内部抵抗要因を明らかにし、そして新規電極構造の設計指針を提案することを最終目標とし、集束イオンビーム走査型電子顕微鏡を用いて CNF や CB を用いた実際の触媒層の空隙構造と細孔ネットワーク情報を取得し、三次元数値構造のモデル化を行った。模擬触媒層構造を用いて二相流解析を行い、気泡排出性に適した出力向上に繋がる構造の検討を行った。

東京大『三次元触媒層の作製』

金沢大グループがこれまで作製してきた NPECNF 触媒の真の活性を評価するためには、物質輸送抵抗が十分無視できる電極層を作製する必要があり、またセルの出力性能向上も不可欠である。この観点で有効反応表面積の拡大と物質輸送性能向上が期待できる三次元触媒層を作製することを最終目標とし、自立した高物質輸送性三次元触媒層構造の作製を進めた。カーボンのピラー構造の作製方法として、Ni ピラー金型を出発基板として、ポリスチレンレプリカモールドへの転写、および Pd/カーボンナノピラーの充填・離型に成功した。

横国大『気泡計測センサーを組み込んだ膜電極接合体開発および新規規則構造材料の作製』

DFAFC はアノード反応で CO₂ ガスが発生し物質輸送抵抗の増加を招くが、その微細な触媒層内の気液二相流挙動は明らかでなかった。そこで発電特性と気泡滞留挙動の相関を明らかにすることを最終目標とし、液相環境である DFAFC 内、特に膜電極接合体内で測定可能なマイクロ気泡センサーの開発を行い、実際に DFAFC 内の in situ 測定に成功した。また、X 線 CT 装置を用いて DFAFC 内の CO₂ 気泡分布の測定を行い、カーボンペーパーとカーボンクロスの構造の違いが気泡分布、ひいては発電性能に与える影響を示した。さらに開回路起電力に優れるカーボンペーパーと限界電流密度に優れるカーボンクロスの利点を併せ持つ規則構造材料を提案した。

金沢大『高出力化に向けた材料作製および各種触媒層とMEAを用いた電気化学評価』

DFAFC の高出力化に向けて、アノードでの気泡生成などによる物質輸送抵抗の削減が必要な一方で、高濃度ギ酸の電解質膜への直接接触により生じるクロスオーバーも抑制する必要がある。そこで、拡散層にカーボンクロス、触媒層に繊維状触媒を用いる電極に粒子触媒層を電解質膜近傍に配置する電極構造を提案した。その結果、高い出力が得られることを明らかにした。また、横国大の検討結果から拡散層が気泡排出に重要であるとの知見を得たため、液体燃料供給に適した新規拡散層の開発に着手した。さらに九州大の解析結果から、繊維触媒内部の細孔が電極空隙閉塞の一因であることが示唆されたため、繊維触媒内部細孔が発達しない触媒を作製した。

(2) 顕著な成果

本取り組みから得られた成果に関して、研究期間終了後に論文発表を進める予定である。

<基礎研究としての成果>

本研究を進める前に、個別技術（『材料創生技術』『計測技術』『加工技術』『計算技術』）に関しては、全研究グループともJSTさきがけの研究支援のもと、既に国際的な高い評価は得ている。今後は個別研究ではなく、本連携研究から得られた成果に関して、国際的な評価を得られるよう、今後論文発表を積極的に進める予定である。

§ 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①「九州大」グループ 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	井上 元	九州大学 工学研究院	准教授	H29. 12～31. 3

研究項目：実触媒層観察と数値モデリング

②「金沢大」グループ 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	辻口 拓也	金沢大学 理工研究域	准教授	H29. 12～31. 3
	望月 亮太	金沢大学 自然科学研究科	博士前期課程 学生	H29. 12～31. 3

研究項目：高出力化に向けた材料作製および各種触媒層とMEAを用いた電気化学評価

③「横浜国大」グループ 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	黒田 義之	横浜国立大学 大学院工学研究院	准教授	H29. 12～31. 3
	荒木 拓人	横浜国立大学 大学院工学研究院	准教授	H29. 12～31. 3
	渡邊 孝之介	横浜国立大学 大学院工学府	博士前期課程 学生	H29. 12～31. 3

研究項目：気泡計測センサを組み込んだ膜電極接合体開発および新規規則構造材料の作製

④「東京大」グループ 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	長藤 圭介	東京大学 工学系研究科	准教授	H29. 12～31. 3
	富澤 森生	東京大学 工学系研究科	博士前期課程 学生	H29. 12～31. 3

研究項目：三次元触媒層の作製

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

各研究機関にて、個別に国内外の研究者や産業界等とネットワークは既に形成している。とりわけ多孔質電極を対象にした研究にかんしては、国際的な交流を活発に進めており、平成30

年度は本研究グループにて、米国ジョージタウン大、カーネギーメロン大の研究者と情報交換や研究室訪問を実施した。