

SICORP 日本-ドイツ
「水素技術」領域 事後評価報告書

1 共同研究課題名

「固体高分子形水分解を利用した水素製造のための高耐久性・高効率な複合電極の研究開発」

2 日本ー相手国研究代表者名（研究機関名・職名は研究期間終了時点）：

日本側研究代表者

宮崎 晃平（京都大学 大学院工学研究科・准教授）

ドイツ側研究代表者

ダニエル・シュレーダー（ブラウンシュヴァイク工科大学・教授）

3 研究概要及び達成目標

本研究は、新たなチタン集電体および多孔質チタンシート、ならびに新規電極触媒を用いた正極を導入することで、耐久性・エネルギー効率に優れた固体高分子形（PEM）水電解電極設計の構築を目的とする。具体的には、日本側チームは集電体の原料となるチタン粉末の粒径分布や化学組成の最適化、ガス拡散特性に優れた多孔質チタンシートの構造最適化、および正極に利用される電極触媒の高活性化を行い、ドイツ側チームはチタン粉末を利用した集電体の作製、水電解セルの構築と耐久性とエネルギー効率評価、および数値シミュレーションによる解析を行う。両国チームによる共同研究を通して、PEM水電解の材料開発から性能評価まで一貫して相補的に実施することができ、来るべき水素社会に向けた研究開発スピードを一層加速することが期待される。

4 事後評価結果

4.1 研究成果の評価について

4.1.1 研究成果と達成状況

PEM水電解の普及のための大きな課題は、水電解システム導入にかかるコストであり、水電解セルのセルスタックの製造コストの53%がバイポーラプレート（Bipolar Plate, BP）、17%が多孔質輸送層（Porous Transport Layer, PTL）に起因していると試算されている。本研究では、チタン製BP、チタン製陽極PTL、および高活性な酸素発生触媒を統合して開発することで、電解効率・耐久性・省資源性に優れた次世代固体高分子形（PEM）水電解セルの構築を目指した。BPの開発は、ドイツ側のEisenhuth社（EIS）が、PTLの開発は日本側の東邦チタニウムが、酸素発生触媒の開発は京都大学がそれぞれ担当し、各開発品の性能評価と数値解析をブラウンシュヴァイク工科大学（TUB）が担当している。本共同研究では、提案段階の標準的なPEM水電解セルの性能に対する数値目標として、以下の3つが掲げられた。

1. 過電圧の20%低減（電解効率7%向上）

2. 貴金属使用量の 5%低減
3. 長期間運転時のセル電圧上昇 10%低減

目標は明確であり、この目標に対して日独 4 機関が明確な役割分担と緊密な連携のもと、材料開発からセル評価に至るまでの研究開発を推進したことは、本プログラムの趣旨に非常によく適合した取り組みと評価できる。各項目の数値目標に対して、各機関が協同して、バイポーラープレート、多孔質輸送層、表面コーティング、酸素発生電極、モデリングシミュレーション、水電解試験の各項目を研究開発計画（WP1~4）に沿って進めており、次の成果を得ている。

1. 新たな形状の多孔質輸送層を利用することで、電解効率が 3.2%改善し、さらに新たなアノード触媒を用いることにより過電圧が半減することで、過電圧の 20%低減（電解効率 7%向上）の達成を見通すことができた。
2. アノード触媒を Ir 複合酸化物にすることで、Ir 使用量を半減でき、貴金属使用量の 5%低減を達成した。
3. 新規触媒による過電圧上昇および新規 PTL による水素透過性の抑制により、長期間運転時のセル電圧上昇 10%低減の達成を見通すことができた。

上記のように、日本側の新たな材料の研究開発は順調に行われ、技術的な数値目標はおおむね達成できているが、未達の部分も認められる。具体的には、開発された新規 PTL を用いた試作品に関しては、小サンプルとパイロットスケールサイズの試作も行われているが、水電解セルの評価試験結果は記載されておらず、ドイツ側で行われる評価試験の計画（WP4.5）は遅れていると思われる。ドイツ側のプロジェクトの時間的なずれもあると思われる。掲げた数値目標は達成しきれていないものの、見通しはついているとのことなので、今後さらに検証を進め、それに基づいて日本側でも改善が進められ、今後の材料研究にも活かされることを期待したい。

技術的な数値目標の観点以外に、学術的な観点からは、国際共同研究としての成果が挙げられていると評価できる。学会での共同発表（1 件）のほか、PEM 水電解の数値解析モデリングの成果として、TUB と東邦チタニウムの共著論文が *ACS Applied Energy Materials* 誌に発表されていることは良好である。一方、京都大学で実施された貴金属低減を指向した Ir 複合酸化物型アノード触媒の開発では、学術的な研究の進展が認められ、学会発表、論文発表が行われている。さらに、博士学生の滞在により、今後、開発した触媒を用いた統合水分解セルの作製と評価、検証が行われて、将来的に新たな高効率水分解システムが構築されることを期待したい。

4.1.2 国際共同研究による相乗効果

共同研究期間、毎年、日独 4 機関の相互訪問による対面ミーティングが行われ（計 3 回）、そのほか WEB でのミーティングも開催されており、適切に相互交流が行われた。加えて、ドイツ TUB の博士課程の学生が京都大学

に2か月間滞在して、実験および解析を京都大学で実施したことは若手育成と共同研究の推進に大変有効であると評価できる。WP4.1では、京都大学で開発したアノード触媒を用いて膜電極接合体（CCM）を作成する手法の確立が課題であったが、TUBから博士学生が滞在して共同研究をしたことにより効果的に研究が進んだことが窺える。結果として、国際学会での共同での口頭発表に結び付いており、この成果は、本共同研究による相乗効果として評価できる。今後、共著論文が発表されることを期待する。

また、共同研究の技術的な観点では、東邦チタニウムが、BP用原料として求められる高品位チタン粉末の設計・供給を担い、Eisenhuth社（EIS）の製造プロセスの実用化を強力に支援した。競合他社では難しい10-20 μm（TC-201）の細粒チタン粉末も、比較的容易に供給することができたため、EISのプロセス開発に大きく貢献できたことも、本共同研究の相乗効果として重要である。さらに、TUBによる高度な数値解析は、これまで東邦チタニウムでPEM水電解用PTLの電解性能評価の課題を克服し、PTL構造の最適化や触媒性能の理解に貢献した。結果的に設計指針の高度化にも寄与することができたことは、日独共同研究の相乗効果と評価できる。

4.1.3 研究成果が与える社会へのインパクト、我が国の科学技術協力強化への貢献

本研究と関連する材料の製品化事業化が進んでおり、社会へのインパクトは大きいと判断される。具体的には、東邦チタニウムのチタン多孔質体WEBTiはPEM水電解用PTLとして令和6年に事業化が決まり、現在量産体制を整備されている。また、京都大学で開発された酸素発生触媒は、実用化を目指し、スケールアップに向けた検討を進められている。一方、ドイツ側では、EISのBP製法を欧州で実用化することを目指している。TUBの性能評価・数値解析手法は今後の開発に活用される見込みとのものである。このように、本共同研究での取り組みは、水素社会の基盤となるグリーン水素製造の技術の進展に、重要な貢献をしたと評価できる。

4.2 相手国研究機関との協力状況について

本共同研究においては、年1回の相互訪問やオンラインミーティングの開催、若手研究者の滞在型共同研究を通じて、研究交流や人的交流が非常に活発に行われた。国際共同研究は、日独4機関のそれぞれの強みを生かしつつ、良好な協力関係によって補完しあえる体制のもと実施されたと判断できる。例えば、TUBの学生がこれまでなかった材料に関する知識を、京都大学、EIS、東邦チタニウムと共同研究を通じて修得し、論文執筆に結び付いたことは、相手国研究機関との協力の成果として特筆される。今後も各機関間では協働関係の継続が検討されており、グリーン水素製造のためのPEM水電解の効率と耐久性向上に向けて、研究開発がさらに加速されることを期待する。

4.3 その他

本研究と関連する材料として、東邦チタニウムが開発したチタン多孔質体 (WEBTi) を、PEM 水電解の陽極 PTL 材料として事業化することを決定し、量産工場の建設が進んでいることは、社会に高インパクトを与える事象として今後の経過が注目される。