

研究成果報告書

研 究 題 目		液体炭化水素プラズマ分解による水素製造法の効率向上に関する研究	実 施 年 度
			2023-2024 年度
代 表 研 究 者	所 属	山口大学 大学院創成科学研究科 機械工学系専攻	
	氏 名	白石 僚也	印

1. 研究の目的・背景

水素をエネルギーインフラとして普及させるには、製造工程でCO₂を排出しないこと、エネルギー効率が高いことが重要である。プラズマを用いて液体炭化水素を分解すると、水素ガスが生成されると同時に、炭素成分は固体として析出するのでCO₂を排出しない。また理想エネルギー効率は現行の商用製造法の約4倍にもなる。しかし、この高効率製造は実現されていない。そこで本研究では、効率を向上させることを目的に、以下の3つの対策を立てた。

- (Ⅰ) プラズマ周囲の原料を常に気体状態とすることでプラズマを安定させる。
- (Ⅱ) 触媒周囲から液体原料を排除することで触媒全体を活性温度にする。
- (Ⅲ) 液体原料の気化及び触媒活性化のための熱はプラズマから拡散する排熱を利用する(熱回収)。

これらの対策を実行するため、図1(a)に示す装置を設計・製作することを計画した。これはプラズマからの排熱によって液体原料が気化され、それがプラズマに送られて分解され、水素と炭素が生成されるという仕組みである。また、プラズマ近傍には触媒が設置されており、これにより反応が促進される。また、図1(b)に示すようにマイクロバブルを用いて析出固体炭素を除去・回収する。

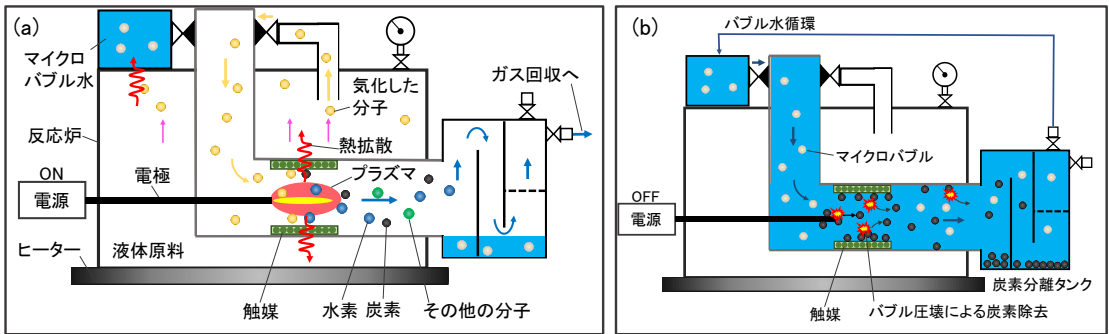


図1. 計画当初の実験装置の概略図. (a)水素製造時, (b)炭素除

2. 研究成果及び考察(申請時の計画に対する達成度合を織込む)

まず図1に示す装置を作成し、(Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ)を実現させた。しかし、メタノールを原料としてプラズマ分解実験を行い、熱回収を行う場合と行わない場合を比較したところ、両者の効率に差はなく、熱回収は効率に影響しないことがわかった。これは、プラズマが数千℃であるのに対し、熱回収されたメタノールの温度は沸点(67℃)付近と大きな差があるためだと考えられる。このことから、エントロピーの増大が大きく、熱回収は困難であることが示された。

次に、効率向上のため、さまざまな実験要素の効果を調べ、最適化を行った。調べた要素は、電極間距離、原料流量および流速、電流、キャリアガスの有無である。この中で効率に影響した要素は電極間距離であり、1 mm が最適であることが示された。他の要素は効率に影響しなかった。

次に、触媒の効果について調べた。メタノール分解に触媒効果を持つことが知られているニッケルを触媒とし、細いニッケルワイヤーをプラズマ周囲に巻き付ける形で設置した。触媒の有無及び線形・長さとの関係を図2に示す。図2に示すように、線形 25 mm のとき、ワイヤーなしと比較して約2倍の効率が得られた。また、線形 50 mm のとき、効率向上効果はみられなかった。これは線形が細い方が比表面積が大きく、触媒効果を発揮しやすいためだと考えられる。

次に、マイクロバブルを用いた炭素除去を試みた。結果を図3に示す。バブル水を流すことで、炭素の一部は除去できたものの、全部を除去することはできなかった。また、除去されるのは初めの2、3分間であり、その後は時間を伸ばしても除去量は変化しなかった。一部の炭素が除去されることで放電を再開できるものの、時間とコストがかかるので、機械的に除去する等の他の方法を検討する必要がある。

成果を総括すると、目的であった効率向上と炭素除去について、ある程度は達成されたものの、目標通りとはいかなかった。達成度は70%である。

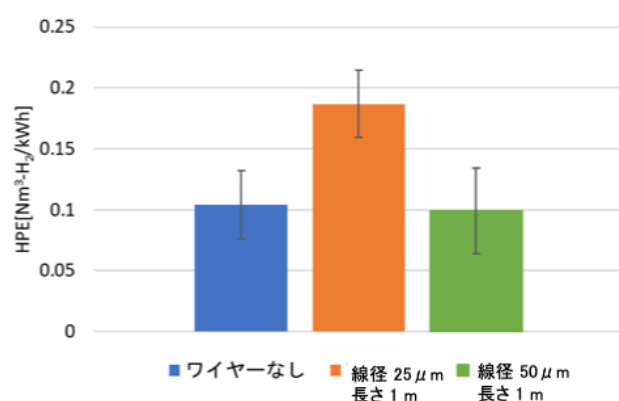


図2. 触媒が効率に与える効果.

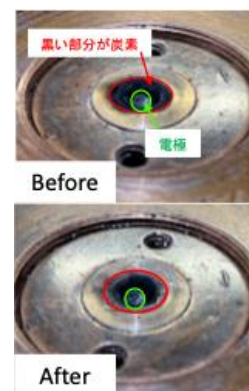


図3. バブルによる炭素除去の結果.

3. 経費の使用状況(申請時の計画に対する実績を記述)

【設備備品費】

使用合計 954,041 円であり、当初の予定 600,000 円より高額になった。これは主にガス分析装置の修理費用が発生したためである。当初の予定として計上していた、反応炉製作はほぼ予定通り行うことができた。

【消耗品費】

使用合計 572,859 円であり、当初の予定 1,230,000 円より安価になった。これは触媒を当初の予定より安いもの(ニッケルワイヤー)に変更したためである。ニッケル触媒は毒性が強く、当研究設備では取り扱うことができなかった。その他、試薬等は予定どおり購入した。

【借料損料】

使用合計 182,685 円であり、当初の予定 20,000 円より高額になった。これは予想以上に装置の改良及び修正が必要になり、工作機器使用料が高くなったためである。

【その他】

学会参加費として 17,000 円を使用した。当初は論文掲載料などとして合計 100,000 円を計上していたが、論文の掲載は間に合わなかった。今後研究を進め、論文を投稿する予定である。また、残予算 173,415 円を返還している。

4. 将来展望(今後の発展性、実用化の見込み等について記述)

本研究により得られた知見を活かして、今後も効率向上と炭素除去を目標とした研究を行う。熱回収は効果がなかったが、プラズマのエネルギーを原料に集中させる重要性が見出された。これにより、今後はよりエントロピーの小さい非平衡プラズマを使用すること、プラズマの仕事率にあった原料を供給するといった対策を実行する予定である。また、簡単のため、触媒にはニッケルワイヤーを用いたが、今後は、表面積、形態、材料などについて検討することで効率向上を狙う。炭素除去に関しては機械的に取り除く方向で検討している。これらの対策により、実用化は十分可能であると考えている。

5. 成果の発表(学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む)

【学会発表】

- 小島拓海, 白石僚也 他, Optimization of Liquid Hydrocarbon Plasma Decomposition for Hydrogen Production, 第35回 中国四国伝熱セミナー, 高松市レグザムホール, 2023年8月31日,
- Takumi Kojima, Ryoya Shiraishi et al., Self-Vaporizing of Liquid Feedstock in Plasma Decomposition for Efficient Hydrogen Production, *The 12th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology*, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok Thailand, 2023年12月12日
- 水素製造を目的とした液体炭化水素アークプラズマ分解の効率と 運転時間に関する検討, 本田清之亮, 白石僚也 他, 熱工学コンファレンス2024, 山口, 2024年10月5日
- 【招待講演】 Ryoya Shiraishi, Effect of “Catalytic Electrode” and “Heat Recovery with Steam” for Energy Efficiency on Hydrogen Production with Liquid Source, *post-IWHT and 36th International Heat Transfer Seminar 2024*, Tokushima, 2024年10月12日