

補助事業番号 2024M-466

補助事業名 2024年度 マイクロリアクターを用いた触媒表面における電子供給による  
新規水素製造法の確立 補助事業

補助事業者名 鈴木龍汰

## 1 研究の概要

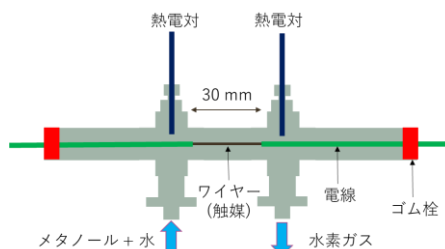
環境負荷低減として水素社会の実現に向けた、オンサイトで、小規模で、かつ、高効率な水素製造法を新規に提案することを達成するため、マイクロリアクターを用いて、構造体触媒の表面にのみ電場を印加し、メタノール水蒸気改質反応への影響を定量的に評価する。また同時にそのメカニズムを解明する。最終的には触媒表面における電子供給による影響を定量的に考察し、そのメカニズムを少なくとも定性的に議論するため文献調査や外部委託して測定してもらうことを検討している。

## 2 研究の目的と背景

水素社会実現に向けて、水素製造と貯蔵・輸送の2つの問題がある。水素製造に関しては研究が進んでおり、大規模な製造に関して経済的に良い水蒸気改質反応を用いることが多いが、触媒や反応器について依然として改善の余地がある。一方で、貯蔵・輸送に関して、狭い範囲であれば液化水素がよいが、それでも $-253^{\circ}\text{C}$ を維持し、水素特有のオルソ・パラの問題があり、研究途上である。水素製造に関して、オンサイトで小規模に行うことで、製造と貯蔵・輸送の問題を解決する。水素を液化水素として運搬するのではなく、エタノールやメタノールなどの形で輸送することで安全性や利便性が増す。さらに、反応時に触媒表面に電気を使用することでこれまで加熱だけで行っていた反応・製造に必要なエネルギーを最少化できる。これらが実現できれば、水素社会の実現をより促進できる。そこで、本研究では環境負荷低減を目指した水素社会を実現させるために、オンサイトで、かつ、小規模で高効率な水素製造法を確立することを目的とする。

## 3 研究内容

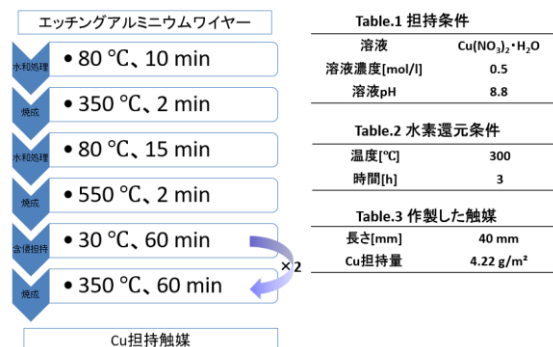
① 反応器の購入・組み立て <https://web.tuat.ac.jp/~nagatsu/achievement.html#zaidan>  
温度測定・制御可能なマイクロリアクターを設計し部品から組み立てた。熱電対、リボンヒーター、ストレートユニオン等の部品を用いて、活性試験装置であるマイクロリアクターを設計し、部品を購入しながら組み立てた。



反応装置の概略図

② 触媒の作製 <https://web.tuat.ac.jp/~nagatsu/achievement.html#zaidan>

触媒表面のみ電流が流れるように構造を決定し、作製した。また、アルミニウムワイヤーに塩酸中で直流にてトンネルピットエッチングを行った。アルミニウムワイヤーの表面を水和処理し、その後、アルミニウムワイヤーの壁面へ触媒金属を担持させた。高周波プラズマ発光分析装置で触媒の金属担持量分析を行ったのち、水素で還元を行い、窒素でパージし、表面に通電ができるようにした。条件等は下図にまとめた。



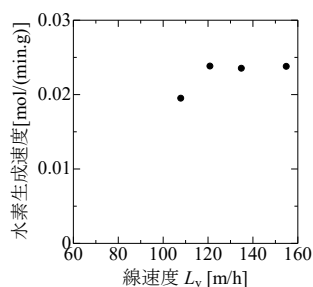
触媒作製法のまとめ

③ 線速度の決定 <https://web.tuat.ac.jp/~nagatsu/achievement.html#zaidan>

外部拡散抵抗を無視できる線速度で測定を行う必要がある。同一触媒でW/F(以下の(1)式)を変更して水素生成速度を測定した。

$$\frac{W}{F} = \frac{\text{担持Cu重量}[g]}{\text{メタノール流量}[mol/h]} \quad (1)$$

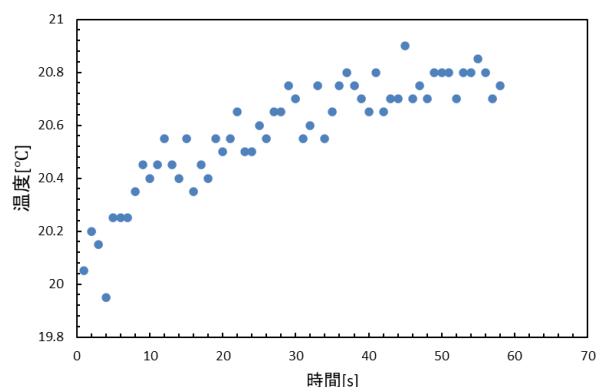
結果を下の図に示している。この結果より、線速度121 m/h以上で外部拡散の影響を受けないことがわかった。



線速度に対する水素生成速度の関係

④ 温度上昇の影響調査 <https://web.tuat.ac.jp/~nagatsu/achievement.html#zaidan>

還元したワイヤーを空気中に出して通電装置につなぎ、1Aの電流を流して放射温度計で表面の温度を測定した。すると図3に示すように、0.11Wの熱量で最大0.8°Cの上昇がみられた。これにより、1A(0.11W)の範囲内では内部抵抗による温度上昇が反応に与える影響はほとんどないことが判明した。



反応器外で触媒(ワイヤー)に電流を負荷したときの温度の経時変化

⑤ 通電による活性の定量評価 <https://web.tuat.ac.jp/~nagatsu/achievement.html#zaidan>

加熱温度を300°Cで固定した。既定の温度になってから30分静置して、反応場前後の温度が既定の温度で一定になっているか熱電対を確認し、活性試験を行った。その結果を以下の表にまとめた。この結果から、平均的に考えて、通電がある(電子供給がある)場合はない場合に比べて1.4倍程度水素生成速度が上昇したことがわかる。

通電の有無による水素生成速度の結果

電流値[A]	mol/(g・min)
0	$3.74 \times 10^{-2}$
1(1バッジ目)	$6.87 \times 10^{-2}$
1(2バッジ目)	$5.97 \times 10^{-2}$
1(3バッジ目)	$4.26 \times 10^{-2}$
1(4バッジ目)	$3.81 \times 10^{-2}$

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の最終目標が、水素社会実現に向けた新規な水素製造法の確立であり、研究の中で外部加熱による熱エネルギーを最少化する代わりに電気エネルギーを加え、全体のエネルギーを最少化しようとしているため、コストやエネルギーの観点から、社会的な有用性は十分にあると考える。そのため、学术界でも産業界でもインパクトは大きいと考える。学術的に発展性があるとは、本事業内容がマイクロリアクターを用いていること、加熱だけの取り組みに対して電気を使用することで高効率化しようとしていることにある。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで液液相界面に着目し、界面流体力学と相分離などの物理化学の学際領域を実験およびシミュレーションにて研究してきた。これまでの成果としては、1950年代から始まった界面流体力学分野において常識とされてきた2種類の溶液系という概念を覆し、第3のカテゴリーとなる溶液系

での実験およびシミュレーションを確立してきた。また、新規なカテゴリーではこれまでのカテゴリーとは全く異なり、流れがトポロジカルに変化する新しい挙動を示すこと、その起源がスピノーダル分解型の相分離および相分離中に発生する自然対流であるKorteweg対流によるものであることを明らかにした。そうした中、本研究は気相での反応を伴う流体力学を取り組むために挑戦したものである。「マイクロリアクターを用いた触媒表面における電子供給による新規水素製造法の確立」と題して本研究を実施した。これにより、メタノール水蒸気改質反応において、電子供給による水素生成速度が1.4倍向上したことが判明した。また、本研究成果は通電による内部抵抗の上昇によって水素生成速度が向上したのではなく、電子供給による水素生成速度の向上であることも示唆された。すなわち、水素生成速度の向上において熱だけでなく電子供給の両方が重要であることがわかった。

こうした成果を受けて、液相と気相での反応と流れ(私たちはこれを「反応流」と呼んでいる)に関する研究を深く議論できた。今後は液相反応流と気相反応流のどちらも知見を広げていきたいと考えている。その中で本研究は気相反応流への窓口を広げるための第一歩として大きな意味をなしている。本研究を通じて気相反応流への道が開けたといっても過言ではない。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ① 岡部茜奈, 鈴木龍汰, 桜井誠「水蒸気改質反応における電子供給による新規水素製造法の提案」, 化学工学会 第55回秋季大会, 2024年9月12日, 札幌

## 7 補助事業に係る成果物

- (1)補助事業により作成したもの

特になし

- (2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京農工大学グローバルイノベーション研究院

(トウキョウノウコウダイガクグローバルイノベーションケンキュウイン)

住 所: 〒184-8588

東京都小金井市中町2-24-16

担 当 者: 特任助教 鈴木龍汰(スズキリュウタ)

担 当 部 署: 西東京三大学共同サステナビリティ国際社会実装研究センター(ニシトウキョウサンダイガクキョウドウサステナビリティコクサイシャカイジツソウケンキュウセンター)

E - m a i l: rxsuzuki@go.tuat.ac.jp

U R L: <https://web.tuat.ac.jp/~nagatsu/>