

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20976

研究課題名（和文）沸騰と水電解のアナロジーに基づく極限冷却から革新的物質生成への新展開

研究課題名（英文）New developments from extreme cooling to innovative hydrogen production based on the analogy between boiling and water electrolysis.

研究代表者

森 昌司（Mori, Shoji）

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：10377088

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、沸騰と水分解の類似性に基づき、熱伝達率や臨界熱流束(CHF)を改善する方法により、水電解の運転上限である臨界電流密度(CCD)を向上できるかということに着目した。これまで八二カム多孔板(HPP)を用いると、毛細管力と気液の経路分離という2つの効果により、沸騰CHFが改善されることが知られている。本研究では、CHFの改善に成功したHPPを用いた冷却法をアルカリ水電解に適用した。その結果、毛細管力なし（ $CCD: 5.1 A/cm^2$ ）に比べ、 CCD を約1.3倍（ $CCD: 6.6 A/cm^2$ ）に向上させることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで沸騰研究は70年以上の歴史があり、かなりの知識が蓄積されている。そのような背景下において、沸騰と水分解の類似性に基づき CCD を向上できたということは、これまでの沸騰の知識が水電解の高性能化に活用できる可能性を示す大きな第一歩となったことは意義があると考えている。また、本構想は、水電解に限らず化学反応など気体と液体が関わる、特に気体発生が律速となってしまうような状況となる幅広い分野に応用できる可能性があり、学術的価値もあると考えている。

研究成果の概要（英文）：Based on the similarity between boiling and water splitting, this study focused on whether the critical current density (CCD), which is the upper operational limit of water electrolysis, can be improved by means of improving the heat transfer coefficient and critical heat flux (CHF). It has been known that boiling CHF can be improved by using a porous honeycomb plate (HPP) due to two effects: capillary forces and gas-liquid path separation. In this study, a cooling method using HPPs, which successfully improved CHF, was applied to alkaline water electrolysis. As a result, CCD was successfully improved by about 1.3 times ($CCD: 6.6 A/cm^2$) compared with no capillary force ($CCD: 5.1 A/cm^2$) for the first time.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

研究分野：熱流体工学

キーワード：毛管力 水電解 多孔質体 限界熱流束

沸騰と水電解のアナロジーに基づく極限冷却から革新的物質生成への新展開

1. 研究開始当初の背景

水電解装置は、電極面積が初期コストに大きく影響を与えるため、電流密度を高くし必要な電極面積を小さくすることが有用である。本研究では沸騰と水電解のアナロジーに着目し、これまで限界熱流束向上に成功したハニカム多孔質体を用いて、水電解の限界電流密度向上の可能性について実験的に検討を行った。

2. 研究の目的

近年、再生可能エネルギー等の余剰電力を用いた水電解による水素製造が検討されている。大規模な水素製造には初期コストが高いという課題が存在するため、水電解装置をコンパクト化したいというニーズがある。そこで本研究は、熱と物質の移動のアナロジー、すなわち沸騰と水電解[1]の相似性に基づき、これまで限界熱流束 (Critical Heat Flux、以後、CHF) の向上に成功したハニカム多孔質体を水電解の電極表面に設置することで、水電解の限界電流密度 (Critical Current Density、以後 CCD) が向上するかについて実験的に検討を行った。

3. 研究の方法

図1は本実験で使用したハニカム多孔質体を示し、図2は、実験装置概略図を示す。電極面の裏側にφ0.1mmのK型熱電対を設置し、電極表面温度を測定した。なお実験は電圧を制御し、1V/minでゆっくりと電圧を昇圧した。

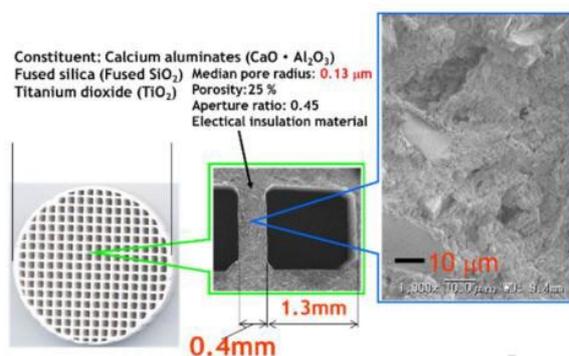


図1 使用したハニカム多孔質体形状詳細

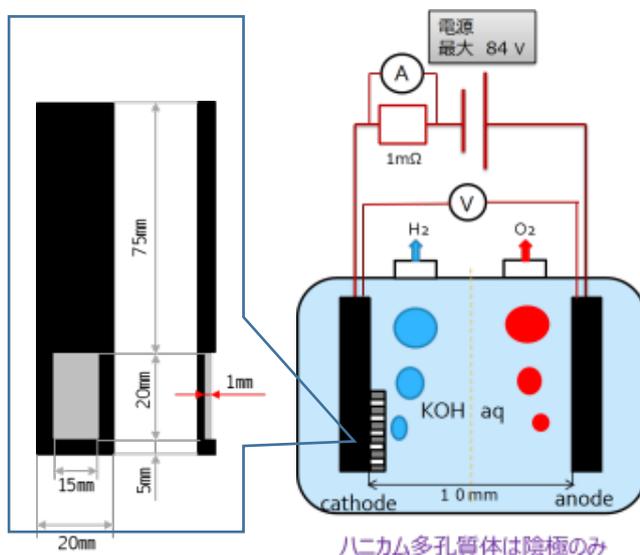


図2 実験装置概略

4. 研究成果

図3は、ハニカム多孔質体を電極面上に密着させた場合 (GAP = 0mm) と電極面とハニカム多孔質体の間にスペーサをおくことで 0.3mm の隙間をおいた場合 (GAP=0.3 mm) の実験結果である。GAP=0mm の場合は GAP=0.3 mm より CCD が約 1.3 倍向上するという興味深い結果を示した。加えて、実験中 CCD 点近傍の電極温度は電解質の沸点 107°C 以下であることから、熱的な沸騰によるものではないことも確認した。HPP がカソード電極表面に密着している場合 (GAP=0 mm) 及び電極面から少し浮かした場合 (GAP=0.5 mm) において CCD 点近傍における電極面近傍水電解の様子を高速カメラにより可視化した。

実験は、図4に示すように電極面に密着している HPP 片方の壁を削り取り、外面にアクリル板を押しつけることで、ハニカム多孔質体気体排出孔内部の流動様相が観察できるようにし、高速カメラで撮影した (500fps)。

図4 (b) の観察により、HPP を電極面から少し浮かした場合 (GAP=0.5mm)、CCD で電極面の近傍は沸騰の CHF のように小さい気泡の激しい合体により、電極面に水素気体膜が生まれ、電解質からの液供給が出来ず電極面の液枯れにより CCD が発生することが分かった。一方、図4 (c) では、HPP を電極表面に密着する場合 (GAP=0mm)、CCD 点で同じく電極面が水素気泡により覆われる給水不足の状況を迎えたが、この場合では HPP の毛細管で電解質から電極面への液体供給が可能であるため、CCD の向上が HPP に介した給水ができることに起因すると本研究グループが考えている。さらに電極構造を工夫し、低電圧で高電流密度化することを目標に検討を行う予定である。

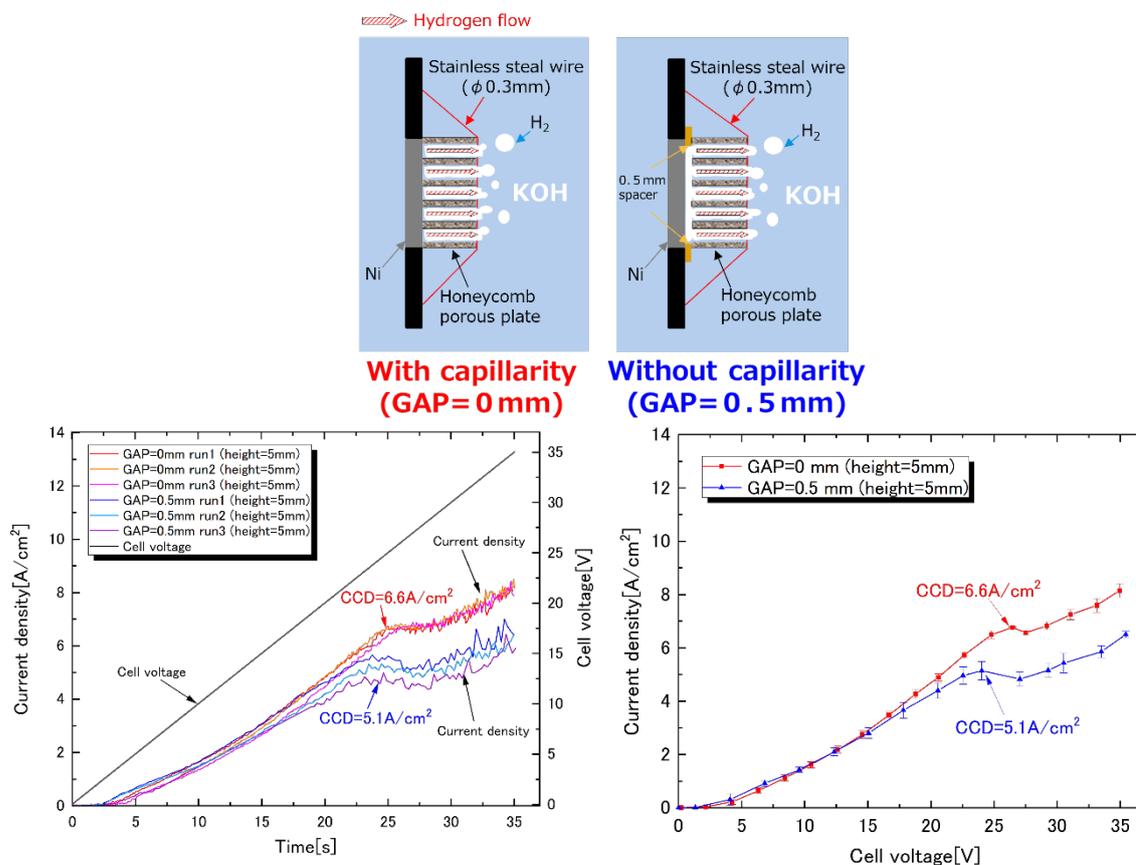


図3 CCD向上に関する実験結果

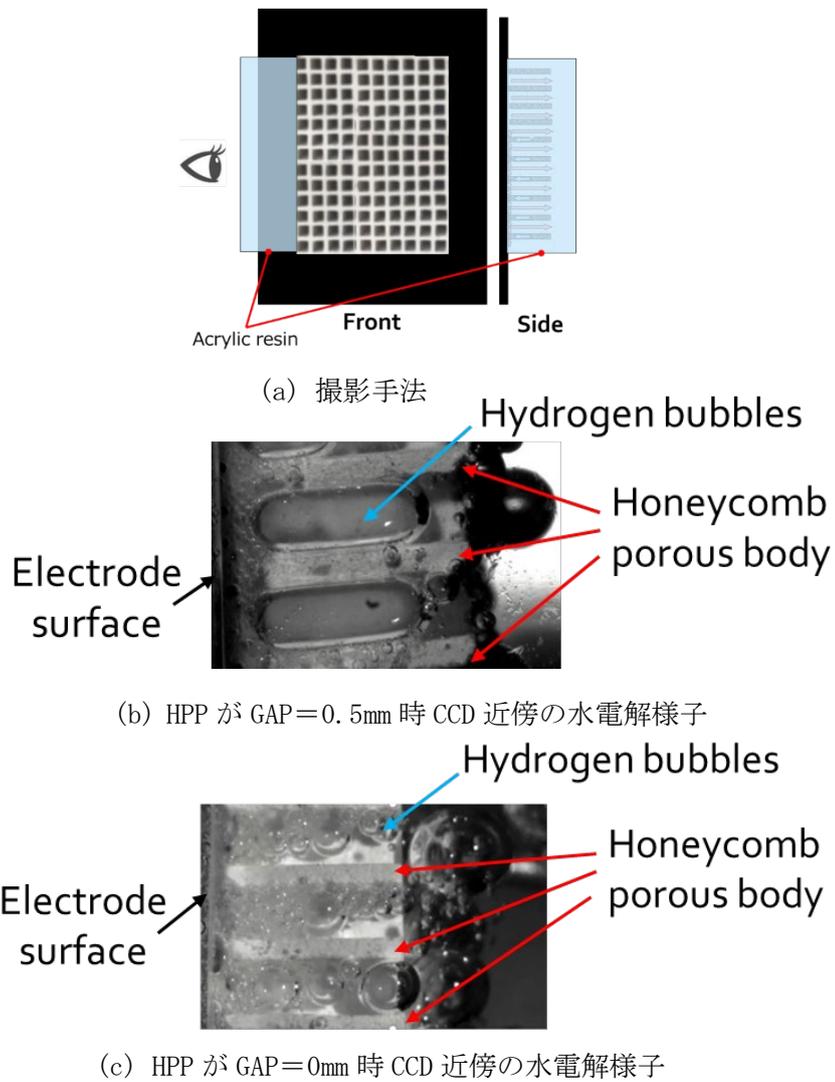


図 4 撮影手法、電極面近傍の気泡様相及び対応する電圧・電流密度

参考文献

- [1] C. W. M. P. Sillen, E. Barendrecht, L. J. J. Janssen, S. J. D. van Stralen, Gas Bubble Behaviour during Water Electrolysis, *Int. J. Hydrogen Energy*, 7 (1982), p. 577.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森 昌司, 柿本 拓巳, 韋 雪淞, 伊藤 衡平
2. 発表標題 ハニカム多孔質体がアルカリ水電解特性曲線に与える影響
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 韋 雪淞, 柿本 拓也, 森 昌司 (九州大学) 稲垣 博光 (中部電力)
2. 発表標題 ハニカム多孔質体による水電解の限界電流密度の向上
3. 学会等名 日本伝熱学会九州支部 第60期 [若手発表・講演会・総会]
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 韋 雪淞, 柿本 拓也, 森 昌司 (九州大学) 稲垣 博光 (中部電力)
2. 発表標題 ハニカム多孔体を用いた水電解の高電流密度化 (High Current Density in Water Electrolysis using Honeycomb Porous material)
3. 学会等名 日本原子力学会 2022年春の年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 イ セツショウ(九州大), 柿本 拓巳, 梅原 裕太郎, 森 昌司
2. 発表標題 沸騰と水電解のアナロジーに基づく限界電流密度の向上
3. 学会等名 日本機械学会 熱工学コンファレンス2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 水の電解装置及びそれを用いた水の電解方法	発明者 森 昌司, ウェイ シュエソン, 伊藤 衡平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-149397	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------