

太陽エネルギーによる水素生成 —Zn と過熱蒸気を用いた水熱分解反応—

Hydrogen generation by solar thermal energy

- Hydrothermal decomposition reaction using Zn and superheated steam -

○永田純明¹, 西祐希¹, 宮崎彬¹, 山田大樹¹, 渡辺拓巳¹, 小田切聖弥², 秋元雅翔³, 木村元昭³

*Sumiaki Nagata¹, Yuki Nishi¹, Akira Miyazaki¹, Hiroki Yamada¹, Takumi Watanabe¹, Seiya Otagiri², Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

Abstract: The aim of this study is to improve efficiency of hydrogen production in the thermochemical two-step water-splitting cycle using solar energy. We used Fresnel lens to concentrate sunlight. This sun light heat is used to evaporate Zn, superheated H₂O steam is injected and Zn steam is used as a reaction medium perform oxidation reaction and hydrogen is generated. Last year, result of customizing experimental reactor vessel, 830 mL of hydrogen for 2320 mL gas and 0.689% as energy conversion efficiency were acquired. This year, we will further improve the experimental reactor vessel, and aim to improve energy conversion efficiency.

1. はじめに

近年日本におけるエネルギー供給は化石燃料が 9 割を占め、環境負荷の点から大きな課題となっている。それに伴い、再生可能エネルギーや環境にやさしい水素エネルギーへの注目が高まっている^[1]。

本研究では亜鉛を利用して太陽エネルギーから水素への変換を試みた。今年度は、昨年度設計した反応チャンバー内の過熱蒸気の流路や反応部の形状を設計変更し、エネルギー変換効率の向上を目的とする。

2. 理論

水素の生成方法の主なプロセスとして、二段階水熱分解サイクルがあり、反応媒体に金属を用いた金属酸化物サイクルの一つに亜鉛プロセスがある^[2]。このプロセスのメリットとして、亜鉛は高温集光太陽熱による水素生成において取扱いが容易であることが挙げられる。また代表的な金属の中で、亜鉛はイオン化傾向が小さいので、高温の水蒸気とは反応性がよい。

亜鉛プロセスのサイクル反応を次に示す。

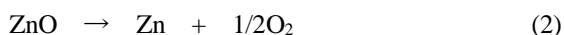


表 1 に亜鉛の物性値を示す。

Table 1. Thermophysical Properties Zn (at 101.3kPa)^[3]

Melting point	692.8K
Boiling point	1180K
Density(at 25 °C)	7.14g/cm ³
Heat of fusion	113.0kJ/kg
Heat of vaporization	1764kJ/kg

実験でのエネルギー変換効率は、太陽から得られるエネルギー Q_{in} [J]、水素に蓄えられたエネルギー Q_{H_2} [J]から求められる。実験時の反応時間 t [sec]、法線面直達日射量 I_b [W/m²]、フレネルレンズの面積 A [m²]より、太陽から得られるエネルギー Q_{in} [J]は次式で表される。

$$Q_{in} = I_b A t \quad (3)$$

また、水素発生量 V_{H_2} [Nm³]、水素の低位発熱量 $H_{L(H_2)}$ [MJ/Nm³]、より水素に蓄えられたエネルギー Q_{H_2} [J]は次式で表される。

$$Q_{H_2} = V_{H_2} \times H_{L(H_2)} \times 10^6 \quad (4)$$

上記の式より、エネルギー変換効率を η [%]とすると、次式で示される。

$$\eta = (Q_{H_2} / Q_{in}) \times 100 \quad (5)$$

3. 実験装置

水素発生装置の外観図を図 1 に示す。フレネルレンズ(1.4m×1.05m、透過率 85%、焦点距離 1200mm)によって太陽光を集光させ、反応チャンバーに照射し、亜鉛を蒸気化する。過熱蒸気生成炉を用いて生成した過熱蒸気を反応部で亜鉛蒸気と酸化反応させ水素を生成する。下流部には ZnO 回収フィルター、真空計、排気速度 167L/min のロータリー型真空ポンプに接続されており減圧を行っている。真空ポンプの排気部にサンプリングバックを接続し水素を回収する。

本実験で使用する反応チャンバーの断面図を図 2 に示す。今年度は反応部を照射部側の管壁に近づけることができる形状(高さ 30mm、横幅 30mm、厚さ 1mm、奥行 10mm)に変更し、亜鉛の蒸発量の改善を図った。また、過熱蒸気を反応部に通過させるため、出口をチャンバー上部に位置変更し、反応性向上を図った。

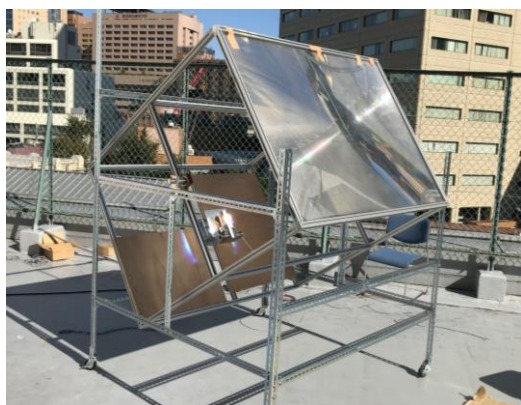


Figure 1. Experimental Apparatus (Appearance)

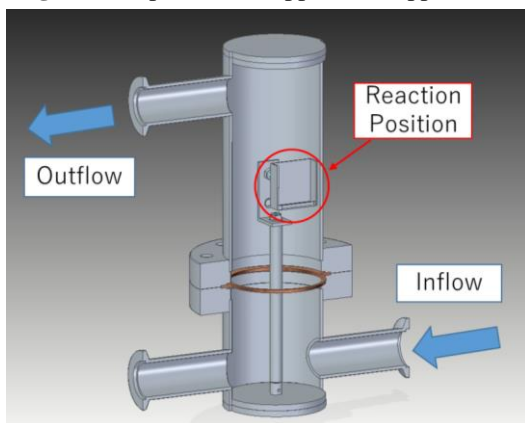


Figure 2. Sunlight Receiving Unit

4. 実験方法・条件

4.1 実験 1

新たに設計した反応チャンバーでの亜鉛の蒸発タイミングを知るため、温度測定位置を管中心、管中心から太陽光照射部に対して 5mm, 10mm と近づけたときの反応部の温度変化を K 型熱電対を用いて 1200 秒間測定を行う。チャンバーの融解を防ぐため焦点からレンズ側へ 85mm オフセットする。反応チャンバー内は常圧で測定を行い、実験結果とシミュレーション結果を比較する。

表 3 に示す解析の条件の下、図 3 に示す境界条件のように風を与えた場合の温度シミュレーションを、COMSOL Multiphysics を用いて伝熱と層流、伝熱と輻射の連成解析を行った。1200 秒間、管壁に熱を与えた後のチャンバー内の温度分布の解析結果を図 4 に示す。

4.2 実験 2

装置上流部から過熱蒸気を反応チャンバー内へ送水し亜鉛蒸気と反応させ、発生した水素を真空ポンプの排気部のサンプリングバッグにて回収する。実験時間は照射開始から最後の送水が完了するまでとする。反応チャンバー内の圧力は約 600Pa で、亜鉛の量を 5g, 10g, 15g とし実験を行う。亜鉛の量に対し十分に反応

する量の精製水を数回に分けて送水する。デジタルタイマーで過熱蒸気生成炉の弁開閉時間を変化させ、送水量調整をする。サンプリングバッグ内の水素濃度を測定し、水素量及びエネルギー変換効率を算出する。

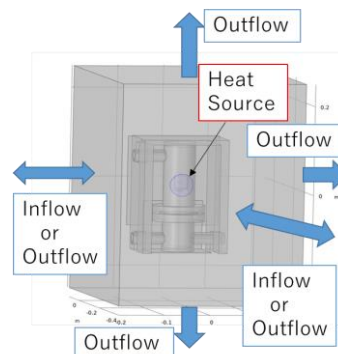


Figure 3. Boundary Condition

Table 3. Simulation Setting

Internal Pressure	101.3 [kPa]
Solar Radiation	850 [W/m ²]
Ambient Gas	Air
Focal Diameter	50 [mm]
Wind Velocity	0, 1.0, 3.0, 5.0 [m/s]
Irradiation Time	1200 [sec]
Wind Direction	Front, Side

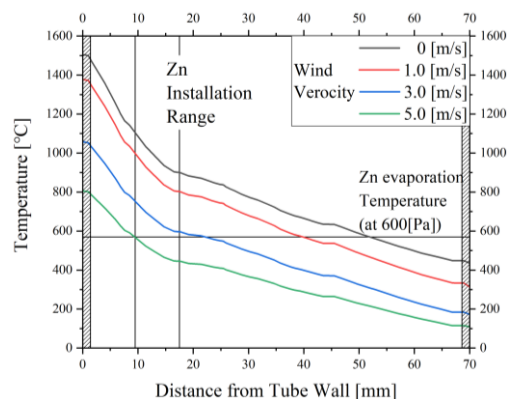


Figure 4. Temperature Distribution

5. 今後の方針

試作した反応チャンバーで水素生成を試みた後、集光部にガラス面を用いた反応チャンバーで追加実験を行いさらなるエネルギー変換効率の向上を図る。

6. 謝辞

本研究は第 45 回（平成 30 年度）岩谷科学技術研究助成の支援を得て進められたことを記す。

7. 参考文献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁：「なぜ“水素”なのか」、https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/hydrogen/overview/
- [2] 郷右近展之, 児玉竜也, 「高温太陽集熱による化学燃料製造技術」, Journal of the Japan Institute of Energy, 90, pp.339- 350,2011.
- [3] 日本機械工学会：「流体の熱物性値集」, pp.10-11, 1983.