

K2-40

太陽エネルギーによる水熱分解反応を用いた水素生成システムの効率向上

Improvement of Efficiency of H₂ Generation System by Solar Energy using Hydrothermal Decomposition Reaction久保翔太郎¹, 長谷川雅人¹, ○廣瀬樹¹, 小田切聖弥², 秋元雅翔³, 木村元昭³Shotaro Kubo¹, Masato Hasegawa¹, *Tatsuki Hirose¹, 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. This year, we customized experimental reactor vessel, moreover we will seek energy efficiency of equipment, we adjust the amount of zinc and water vapor, and water supply timing to improve energy conversion efficiency.

1. はじめに

水素は貯蔵・運搬が容易であり、再生可能エネルギーを含め多種多様なエネルギー源から製造することができることから、周知のように特定国に偏在している化石燃料に大きく依存した我が国において、1次エネルギー構造を担うポテンシャルを有する^[1]。製造段階で再生可能エネルギー技術を活用することによって脱炭素化したエネルギー源とすることが可能であり、これを水素から高効率な燃料電池技術と組み合わせることで、産業利用や熱利用、様々な領域で究極的な低炭素化が可能となり、地球温暖化への大きな対策となり得る。このような水素を活用できる社会を構築するには、水素の調達コストや生産効率を化石燃料と遜色ない水準まで改善していく必要がある。よって、環境負荷の少ない水熱分解反応を用いた水素生成システムの効率向上は有効である。今年度は装置の構造、蒸気の注入方法を見直し、効率の向上することを主目的とする。

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。



また、酸化亜鉛を媒体とする熱還元反応を示す。

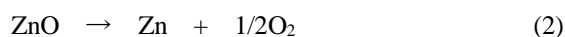


表1に亜鉛の標準大気圧での物性値を示す。表2に亜鉛

の飽和蒸気圧を示す。

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

Table 2. Vapor Pressure Zinc^[4]

Vapor pressure [Pa]	10	100	200	1000
Temperature [°C]	397	477	507	581

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

1: 日大・学部・機械 2: 日大・院(前)・機械 3: 日大・教員・機械

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。さらに真空ポンプ排気部には反応チャンバー内で生成された気体の回収ポートがあり、サンプリングパ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。

昨年度は集光面積より小さい反応管を用いていたため多くのエネルギー損失が見受けられた。それに加え、亜鉛の設置できる量が少量であったため生成できる水素量に限界があった。よって今年度は反応チャンバーを集光面積に合わせた幅に変更し、亜鉛の量を調整できるシャーレ形状(直径 50mm, 高さ 14.5mm, 厚さ 1.2 mm)に変更することで改善を図った。また、昨年度は反応管内を常時真空ポンプと接続していたため、亜鉛蒸気が過熱蒸気と十分に反応する前に装置下流部に流れていた。よって、今年度は反応チャンバー下流部にバルブを設置し、チャンバー内に亜鉛蒸気を留まらせることで、これを防止した。

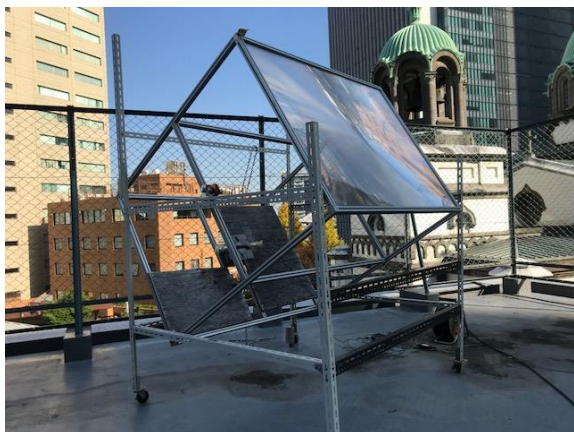


Figure 1. Experimental Apparatus (Appearance)

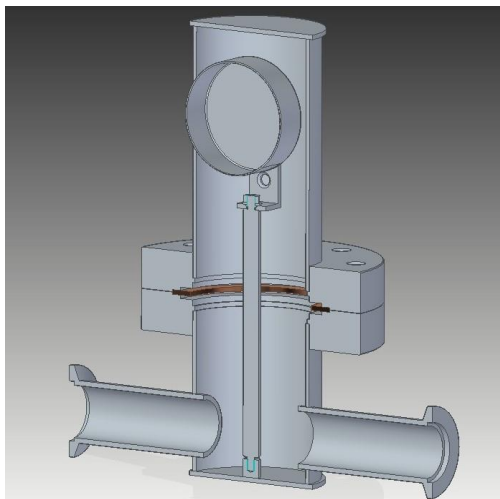


Figure 2. Sunlight Receiving Unit

4. 実験方法・条件

4-1 実験 1

新しく設計した反応チャンバー内部の温度上昇による亜鉛の蒸発タイミングを知るため、反応部の温度変化を PR 熱電対を用いて 15 分間測定を行う。フレネルレンズから反応チャンバーまでの距離を 1285mm で一定にする。反応チャンバー内は常圧で測定を行う。得られた結果とシミュレーション結果を比較し考察する。

4-2 実験 2

装置上流部から高温の水蒸気を反応チャンバー内で亜鉛蒸気へと注入して反応させ、発生した水素を真空ポンプの排気部のサンプリングパックにて回収する。実験時間は十分に亜鉛が蒸発する 1000 秒とし、亜鉛に 1:1 で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精製水導入口の弁開閉時間を変化させ、送水量の調節を行う。反応チャンバー内の圧力は約 600Pa で、亜鉛の量を 5g ずつ 30g まで増加させて実験を行う。1 回目の送水は反応チャンバー内が飽和温度である 570°C 到達時に送水を開始する。2 回目以降は反応チャンバー下流部のバルブを開き、減圧中に圧力上昇した際に反応チャンバー下流部のバルブを閉めて送水を開始する。サンプリングパック内の水素濃度を測定し、水素量及びエネルギー効率を算出する。

5. 今後の方針

実験 2 で得られた結果が芳しくなかった場合、亜鉛量、送水量、送水タイミングを見直してエネルギー効率の向上をはかる。また、今後、酸化還元サイクルを確立するための酸化亜鉛の回収機構を考案する。

6. 謝辞

本研究は平成 28 年理工学部プロジェクト研究助成金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：「エネルギー需給の概要」, <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018html/2-1-1.html>
- [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.
- [4] NPL : Vapor pressures from 0.2 to 101.325 kPa, http://www.kayelaby.npl.co.uk/chemistry/3_4/3_4_4.html