

太陽集熱による Zn と H₂O を用いた水素生成 Hydrogen production using Zn and H₂O via solar heat collection

杜依霖¹, 尤一凡¹, 島田健太², 秋元雅翔³, 木村元昭³
Yilin Du¹, *Yifan You¹, Kenta Shimada², Masato Akimoto, Motoaki Kimura

Abstract: The purpose of this study is to enhance the energy conversion efficiency in hydrogen production using redox reactions. In this experiment, a simple setup was employed with an electric furnace for a solar heat collection system. The volume of hydrogen was measured by varying experimental conditions such as the amount of zinc, the amount of purified water, and the intervals of water injection. By combining these experimental conditions, we were able to identify the conditions that produced the highest hydrogen volume.

1. はじめに

現在の主要な1次エネルギーは、石油、天然ガス、石炭であり、石油や天然ガスは現在のようなスピードで消費していけば、およそ30~40年で枯渇する恐れがあり、石油の代替エネルギーの開発を急ぐ必要がある。これに対して水素エネルギーは、ガス化・液化された石炭とともに、燃料として石油に代替することができる。^[1] このような背景から、本研究では太陽光を利用し、亜鉛と水を用いた水素生成プロセスを検討した。昨年度は、亜鉛3g、送水量12ml、水温400℃で最大水素濃度24%を達成した。本年度は、加水間隔や精製水の質量を調整し、水素体積の比較を目的とする。

2. 理論

亜鉛の酸化反応式、亜鉛の物理的な性質を式(1)、表1に示す。

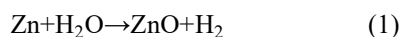


Table1. The physical properties of zinc.^[2]

原子番号	原子量	比重	融点[°C]	沸点[°C]
30	65.38	7.14	419.5	907

表1に示されているように、亜鉛の沸点は大気圧下で907℃と非常に高温であるため、酸化過程においては亜鉛の飽和蒸気圧を抑えることが重要となる。原理として、亜鉛の飽和蒸気圧が外部の圧力と等しくなると沸騰が始まる。従って、外部圧力を下げれば、亜鉛の蒸気圧がより低い圧力に達するだけで沸騰するようになり、結果的に沸点も低くなる。蒸気圧が約133Paの時に亜鉛の沸点が500℃付近である。^[3] 飽和蒸気圧を抑えるために、実験では真空ポンプを使用して反

応容器内の圧力を低減させて減圧環境を作り出すことで亜鉛の酸化反応をより効率的に進行させることが出来る。

3. 実験装置

実験装置の構成図と実物を図1、図2に示す。実験装置は①反応管、②アルミナ製燃焼ポート、③電気炉、④ステンレス板、⑤送水ポンプ、⑥伝熱管、⑦温度管理計、⑧熱電対、⑨真空計、⑩真空ポンプ、⑪水素濃度計で構成される。①反応管(内径19.6mm、長さ500mm、肉厚1mm、材質SUS316)の内部中央に固体のZnを載せた②アルミナ製燃焼ポートを入れ、③電気炉に反応管を挿入する。反応管の左端には、ZnOを回収するための④ステンレス板(材質SUS340肉厚1mm)を入れる。反応管の右端には、⑤送水ポンプ、⑥伝熱管、⑦温度管理計を設置し、過熱蒸気を反応管に注入する。反応管内部のポート近傍温度を測定するため、⑧熱電対を反応管に挿入する。圧力を測定するため⑨真空計を設置する。反応管内部を減圧し、生成した水素をサンプリングバックで回収するための⑩真空ポンプ、回収した気体における水素濃度を計測する⑪水素濃度計を設置する。

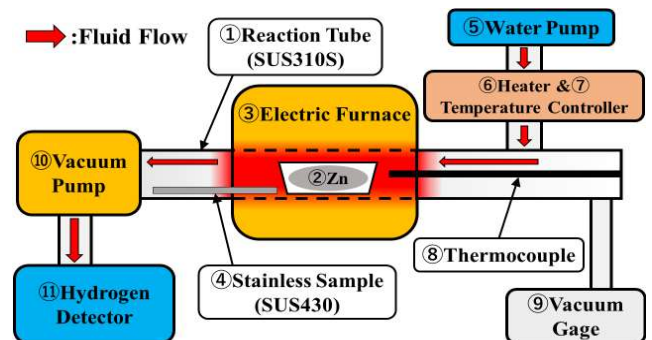


Figure1. Experimental equipment diagram

1: 日大・学部・機械、2: 日大・院(前)・機械、3: 日大理工・教員・機械

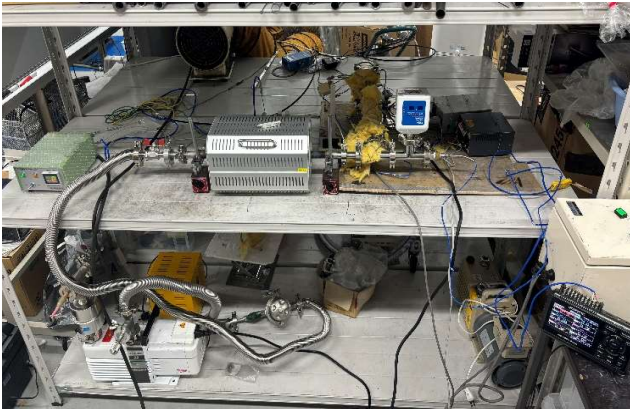


Figure2. Experimental equipment

4. 実験方法

真空ポンプを用いて約 100 Pa程度に反応管内部の圧力を減圧する(このとき、亜鉛の沸点は約 400 °C前後)。そして、今回の実験では、安定した高温環境を確保するために電気炉を使用して反応管内の亜鉛を加熱する。熱電対で測定しているポート近傍温度が 400 °Cに到達した後、精製水を注入し過熱蒸気と亜鉛を反応させる。その後、生成された気体をサンプリングバックで回収し、水素濃度計で測定した水素濃度に基づいて最終的に水素の体積を計算する。計算方法は、回収された気体を水槽に浸し、排出された水の体積を測定して気体の体積を求め、それに水素濃度を掛けて水素の体積を得る。本実験では、加水間隔、亜鉛の質量、精製水の注入量を変えることで、生成される水素体積を明らかにする。前提条件として、電気炉を 1200 °Cに設定し、熱電対で反応管の中心部の温度が 400 °Cに達した時に精製水を注入する。反応時間は注水開始してから 30 分とする。

4-1 加水間隔の変化による実験

1 サイクルで精製水の注入量を制御するための弁の「閉/開」時間を 60 s/0.25 s (注入量約 1 g)、30 s/0.12 s (注入量約 0.5 g)、30 s/0.25 s (注入量約 1 g) と変化させたときに得られる気体中の水素体積を計算する。その精製水の注入総量は 12 g である。

4-2 亜鉛の質量の変化による実験

精製水の注入量を 12 g として反応管に入れる亜鉛の質量を 1.73 g、3.13 g、6.05 g と変化させたときに得られる気体中の水素体積を計算する。

4-3 精製水の注入量の変化による実験

亜鉛の質量を約 3 g として注入する精製水の送水量を 6.08 g、12.12 g、18.09 g と変化させたときに得られる気体中の水素体積を計算する。

5. 実験結果

実験結果を表 2 にて示す。

Table2. Results of experiment

4-1	加水間隔(閉/開) [s]	60/0.25	30/0.12	30/0.25
	最大水素体積[ml]	438	242	333
4-2	亜鉛の質量[g]	1.73	3.13	6.05
	最大水素体積[ml]	158	438	303
4-3	精製水の質量[g]	6.08	12.12	18.09
	最大水素体積[ml]	199	438	430

実験 4-1 では他の条件が同じ場合、最大の水素体積を収集できた加水間隔の条件は(60 s/0.25 s)であった。一方、加水間隔が(30 s/0.12 s)および(30 s/0.25 s)の条件では、収集できた水素体積は(60 s/0.25 s)の約半分であった。その原因として、早く水を注入しすぎることによって反応管内の熱量が過剰に吸熱され反応温度が低下したと考えられる。亜鉛と水の反応は高温で反応速度を維持するため、温度の低下によって反応速度が遅くなり、結果として水素の生成量が減少したと考えられる。実験 4-2 および 4-3 から、水の質量が亜鉛の 4~6 倍の場合、反応で生成される水素の体積が最大であることがわかる。水の比率が少なすぎると、生成される水素の体積が減少する。原因として、反応過程で安定した水蒸気の供給を維持するためには、十分な水が蒸発源として必要である。水の量が少なすぎると、蒸発速度が反応に追いつかず、反応が遅くなり、水素の生成量が不足する可能性がある。

6. 結論と今後の方針

本研究では、加水間隔を 60 s/0.25 s (閉/開)、亜鉛質量 3.13 g、精製水質量 12.12 g の条件下で実験を行い、最大 438 ml の水素体積量を記録した。今後の方針としては、同様の条件で太陽光を用いても電気炉実験と同等の結果が得られるかを検証する予定である。

7. 参考文献

- [1]中西洋志:「水素エネルギー技術の現状と将来」, JHPI Vol.19, No.1, pp.31-43, 1981.
 [2]東洋亜鉛株式会社 亜鉛とは,
<http://www.toyo-zinc.co.jp/what/>
 [3]坂本夏美:「雰囲気炉における炉気の可視化と雰囲気管理」, 工業加熱, V0156, No5, pp.9, 2019.