

太陽集熱による Zn と H₂O を用いた水素生成及び ZnO の還元サイクル

Thermal Dissociation Cycle of ZnO and Generation System

by Solar Energy using Hydrothermal Decomposition

板垣光一¹, ○軽部倫¹, 斉藤喬介¹, 島田健太², 秋元雅翔³, 木村元昭³

Kouichi Itagaki¹, *Rin Karube¹, Kyousuke Saitou¹, Kenta Shimada², Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

Abstract: The purpose of this study is to improve the energy conversion efficiency in the production of hydrogen using redox reactions. In this experiment, a simple experiment was conducted using an electric furnace for a solar heat collection system. We measured the hydrogen concentration by varying the experimental conditions of the amount of zinc, the mass of purified water, and the injection temperature of purified water. From the combination of experimental conditions, we were able to discover the experimental conditions that recorded the highest maximum hydrogen concentration.

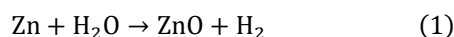
1. はじめに

2022年の調査で日本の二酸化炭素の排出量は世界にある国で5番目に多く、このまま化石燃料への依存が変化しなければCO₂排出量を大きく削減することは難しいとみられている。それに対し、日本は2050年に温暖化ガス排出を実質ゼロとするカーボンニュートラルを達成すると表明し、そのために再生可能エネルギーを中心とした非化石電源の構成比を大幅に拡大する必要がある^[1]。

そこで我々は、再生可能エネルギーの1つである太陽光エネルギーに着目した。昨年度の研究では、Znの酸化還元反応系を用いた水素生成サイクルは、太陽光エネルギーを熱源として実現が可能という結果が得られた。そこで今年度は、反応管に入れる亜鉛の量や送水量などの実験条件を変更し、収集した水素の水素濃度を比較する。

2. 亜鉛 Zn について

本実験では酸化還元反応による水素生成サイクルを効率化するために、太陽光ではなくその前段階として太陽光集熱システムを電気炉に代用して簡易的に実験を行った。また、今回の実験では水素の収集を効率的に行うことを目的としている。以下に亜鉛の酸化反応式を示す。



また、表1に亜鉛の物性値(25°C)を示す。

Table1. Physical properties of zinc^[2]

原子量	融点[°C]	沸点[°C]	比重
65.4	419.5~ 419.8	907.0~ 908.0	7.140~ 7.142

表1より亜鉛の沸点は907°Cと高温であり、その沸点を下げるために減圧し飽和蒸気圧を下げる。図1より蒸気圧が1mmHgのとき亜鉛の沸点が500°C付近であることがわかる。ここで昨年度の実験より、炉内温度が340°Cで蒸発しているので本実験では炉内温度が400°Cに達したときに精製水を注入することとする^[4]。

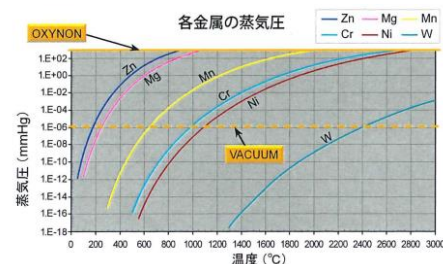


Figure1. Vapor pressure of each metal^[3]

3. 実験装置

水素発生装置の模式図と実物を図2、図3に示す。反応管(SUS316、長さ500mm、直径19.6mm、肉厚1mm)の内部に生成物採取用ステンレス板と電気炉の中心となるように亜鉛を乗せた燃焼ポートを設置し、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。また本装置はZnO回収フィルター、真空計、真空ポンプに接続しており減圧を行っている。装置上流部から60秒ごとに水を送り亜鉛蒸気と反応させ、生成気体を真空ポンプの排気部のサンプリングバックにて回収する。水素濃度計を用いて回収した水素の水素濃度を計測する。実験条件は送水量、亜鉛の質量を次のように定めた。送水量を6ml、12ml、18ml、亜鉛の質量を1.5g、3g、6gとして組み合わせた。

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

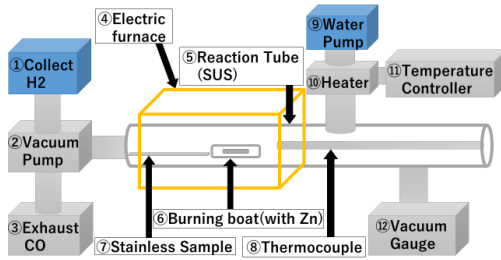


Figure 2. Experimental equipment diagram

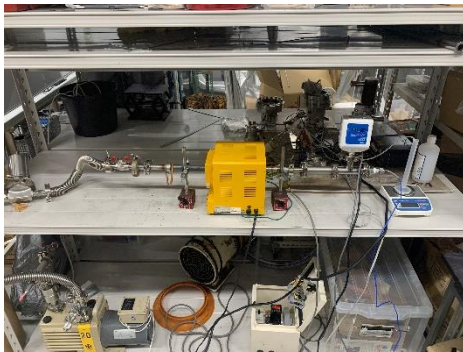


Figure 3. Experimental equipment

4. 実験方法

4-1 実験 1

酸化反応により効率よく水素を取り出すために亜鉛の量、精製水の量を変化させて取り出した水素の濃度を測定する。亜鉛を乗せた燃焼ボートを反応管中心に置き、酸化亜鉛回収用のステンレス板（長さ約150mm）を反応管に入れる。電気炉の設定温度は900°Cとし、熱電対で測定している反応管中心部の温度が400°Cに達した時、60秒弁を閉めその後0.25秒弁を開けるサイクルで精製水を注入し、設定した精製水の総量に達するまで行う。精製水を注入してから反応時間を15分として亜鉛と注入した精製水を反応させ、その後サンプリングバッグに気体を取り込み水素計で気体の水素濃度を調べる。

4-1-1 亜鉛の質量の変化による実験

亜鉛の質量を3gとして注入する精製水の送水量を6ml, 12ml, 18mlと変化させてこの時採取した水素の濃度を調べる。

4-1-2 精製水の送水量の変化による実験

精製水の送水量を12mlとして反応管に入れる亜鉛の質量を1.50g, 3.65g, 6.52gと変化させてこの時採取した水素の濃度を調べる。

4-2 実験 2

実験4-1では精製水の蒸気注入温度を400°Cで行ったが、実験4-2では精製水の注入温度を変化させ取り出した水素の濃度を調べる。燃焼ボートとステンレ

ス板の条件は実験4-1と同様とする。亜鉛の質量を3g、精製水の送水量を12mlとして精製水を注入する際の温度を300°C、500°Cと変化させて実験する。この際電気炉の設定温度、精製水の注入サイクル、反応時間、水素の収集方法も実験4-1として同様として行い水素濃度を調べる。

5. 実験結果

実験結果を表2にて示す。

Table 2. Results of experiment

4-1-1	精製水の送水量[ml]	6	12	18
	最大水素濃度[%]	12	24	24
4-1-2	亜鉛の質量[g]	1.50	3.65	6.52
	最大水素濃度[%]	16	20	21
4-2	注入時温度[°C]	300	400	500
	最大水素濃度[%]	2.7	24	14

実験1より、最大水素濃度が最も高くなったのは2つの実験条件でその値は24%であり、そのうち亜鉛の質量3g、精製水の送水量12mlの実験条件の方がより少ない質量で高い濃度が記録された。

また実験4-2からは精製水の注入温度が300°Cのときは亜鉛が十分に蒸発していなかったため精製水と反応しなかったと考えられる。また注入時温度が500°Cの時は400°Cの時と比べて最大水素濃度が低下しているが目標温度に達するまでに時間がかかってしまい、蒸発した亜鉛が真空ポンプの吸引により図3における反応管の左側に運ばれて冷やされ、固体になり反応しなかったと考えられる。

6. 結言と今後の方針

本実験では、亜鉛の質量3g、精製水の送水量12ml、精製水の注入時温度が400°Cの実験条件で最大水素濃度が最も高い24%を記録した。今後の実験では電気炉での実験と同様な結果を太陽光でも得られるか実験する。

7. 参考文献

- [1]世界を変える！？再生可能エネルギー,
<https://energy.jre.co.jp/think-about-energy/rate/>
- [2]環境省 各物質の個別データ,
<https://www.env.go.jp/water/report/h14-03/10i.pdf>
- [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, Vol56, No5, pp.9, 2019.
- [4]太陽集熱によるZnとH₂Oによる水素作成及びZnOの還元サイクル, 令和4年度日本大学理工学部学術講演会予稿集,