

K-25

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

河野圭剛¹, ◦佐藤圭悟¹, 酒巻智有¹, 池田佳以², 秋元雅翔³, 木村元昭³
Keigo Kawano¹, *Keigo Sato¹, Tomonari Sakamaki¹, Kai Ikeda², Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

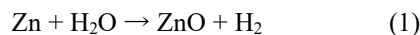
Abstract : In pursuit of establishing a sustainable hydrogen production technology utilizing solar thermal energy, this study focused on a thermodynamic hydrogen production method based on metal oxidation reactions. Solar light was concentrated with a Fresnel lens and employed as the heat source to drive the oxidation reaction of zinc. The zinc, vaporized by the concentrated heat, was reacted with superheated steam to generate hydrogen gas. To enhance the reactivity of zinc, the pressure inside the reaction tube was deliberately reduced. In addition, complementary simulated experiments were also carried out indoors using an electric furnace to verify the feasibility of the proposed process.

1.はじめに

地球温暖化対策とカーボンニュートラル社会の実現に向け,世界的に再生可能エネルギー導入とCO₂の排出削減が求められている.日本では,2022年度の再生可能エネルギー導入割合は21.7%であり,カナダやイギリス,ドイツでは40%を超えており,導入の遅れが指摘されている^[1].水素は燃焼時にCO₂を排出せず,次世代エネルギーとして注目されるが,現状では化石燃料改質による製造が中心である.本研究では,金属酸化反応を用いた熱力学的水素製造法に着目した.フレネルレンズによる集光過熱でZnを加熱・蒸発させ,過熱水蒸気との反応により水素を生成する手法を採用した.模擬実験では,電気炉を用いて, 亜鉛2.83gと水32.5gを反応させ,最大284mLの水素を得た.

2. 理論

亜鉛の酸化反応式を式(1)に示す.



亜鉛の沸点は900°C以上と高く,酸化反応を進行させるためには十分な加熱が必要である.また,亜鉛の反応性を高めるために,反応管内の圧力を低下させることが有効である.本研究では,若干の減圧(1.0×10⁴ Pa)を行うことで,亜鉛の蒸発が容易になり,過熱水蒸気との酸化反応による水素生成が効率的に進行する.

3.実験装置

実験装置の模式図と実物を図1, 図2に示す. 図1に示すように, 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熱電対, ⑤真空計, ⑥過熱蒸気生成装置, ⑦ステンレス板(材質SUS304, 肉厚1mm), ⑧真空ポンプ, ⑨サンプリングバック⑩水素濃度計で構成されている.

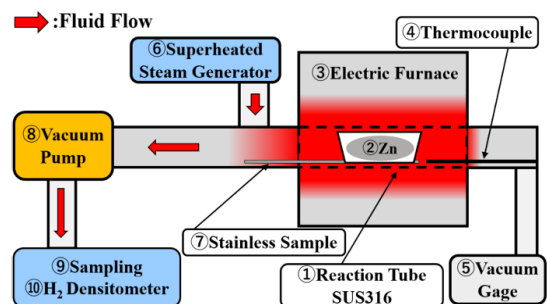


Fig.1 Experimental Diagram



Fig.2 Experimental Equipment

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

4. 実験方法

電気炉の設定温度を 950℃とし、反応管中央部（アルミナ製燃焼ポート設置位置）の加熱を開始する。炉内温度が 950℃に到達し、一定時間保持した後、棒状亜鉛を載せたアルミナ製燃焼ポートを反応管中央部に挿入する。反応管内には過熱水蒸気(H₂O)を注入するが、その際には真空ポンプを用いて内部をわずかに負圧(1.0×10⁴ Pa 以上)に保持し、蒸気を引き込むようにする。事前に、電気炉設定温度 950℃における亜鉛の蒸発時間を測定した結果を表 1 に示す。これより、亜鉛が完全に蒸発するまでに約 20min を要することが分かったため、本実験の反応時間を 20min と設定した。

Table1. Measured Evaporation Time of Zinc

温度[℃]	時間[min]	亜鉛[g]	亜鉛残量[g]	蒸発率[%]
950	5	2.89	2.06	28.7
	10	2.77	0.89	67.9
	15	2.89	0.39	86.5
	20	2.87	0.03	99.0

実験では、燃焼ポート挿入後 2min 経過時点から水を注入し、その後 18min 間を反応時間とする。水の注入条件は、注入間隔を 60s から 20s まで 10s 刻みで変化させて行う。なお、水の注入には電気弁を用い、開放時間 0.25s で一回あたり約 1g の水を注入する。反応終了後、真空ポンプを用いて発生したガスをサンプリングバックに回収して体積を測定し、水素濃度計を用いて水素濃度を測定する。

5. 実験結果

電気炉を用いた水素生成実験における、実験条件の加水間隔を変化させた時の結果を表 2 に示す。

Table2. Results of Experiment

実験No	1	2	3	4	5
H ₂ O [g]	11.2	20	27	32.5	53.8
Zn [g]	3.09	2.93	3.05	2.83	2.88
加熱蒸気の注入間隔[s]	60	50	40	30	20
加熱蒸気の注入時間[s]	0.25				
注入した水の量 [g]	11.2	20	27	32.5	53.8
水素の量[Nml]	90	192	255	284	275

電気炉を用いた水素生成実験では、水の注入間隔および 1 回あたりの注入量を変化させることで、反応条件が水素生成量に及ぼす影響を調査した。その結果、注入間隔を短くすると水の総注入量が増加し、それに伴って水素生成量も増加する傾向が確認された。特に、条件 4 の場合、亜鉛 2.83g に対して水 32.5g を注入した結果、最大で 284mL の水素が得られた。一方で、それ以上に水の注入量を増やした条件 5 では、水素生成量は 275mL にとどまり、条件 4 と同程度の値を示した。これより、本実験条件においては一定量以上の水を供給しても反応は進行せず、水素生成量は頭打ちになることが明らかとなった。この原因としては、蒸発した亜鉛が必ずしも全て酸化反応に利用されるわけではなく、酸素との反応速度にも限界があるため、水の供給量を過剰にしても水素生成量は増加しないことが考えられる。

以上より、本実験から水素生成量は水の注入間隔と密接に関係するが、同時に反応系には飽和点が存在し、単に水を過剰に供給するだけでは水素生成を効率的に増加させられないことがわかる。

6. 結論と今後の展望

今回の研究では、金属酸化反応を用いた熱力学的水素製造法に着目して熱源に電気炉を使用し、獲得できる水素量の向上に寄与する条件を検討した。本研究では、加熱蒸気の注入間隔を短くすることで、注入した水の量を増加させることにより水素生成量を増加させることに成功した。その一方で、注入量を増加させすぎると亜鉛の反応量に限界があるため、水素生成量に限界があることも明らかになった。

今後の展望として、亜鉛を増加させた際の水素生成量の変化や太陽光を用いた熱源での実験、加熱蒸気の注入タイミングを正確にするためのチャンバを用いた実験などを通して、より効率の良い水素生成を目指していきたいと考えている。

7. 参考文献

[1]ゼロ炭素ポート: 再生可能エネルギーとは? 地球温暖化との関係性・メリット・今後の課題を解説
<https://zerotansoport.com/column/4540/>