

太陽エネルギーを利用した酸化亜鉛の還元による、持続可能な水素エネルギーを生成に関する研究
 Research on Utilizing Solar Energy to Reduce Zinc Oxide and Generate Sustainable Hydrogen Energy

○猪狩世那¹, 池田佳以¹, 斎藤遼太郎¹, 小川晴大², 木村元昭³, 秋元雅翔³
 Sena Igari¹, Kai Ikeda¹, Ryoutarou Saitou¹, Haruto Ogawa², Motoaki Kimura³, Masato Akimoto³

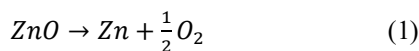
The purpose of this experiment is to establish a cycle that recycles zinc by reducing zinc oxide. Conduct simulated experiments using an electric furnace instead of sunlight. The reduction of zinc oxide requires a high temperature, and the temperature conditions are confirmed using the Ellingham diagram. In the experiment, carbon was used as a reducing agent, and the amount of zinc oxide was measured at different temperatures and times, and the higher the reaction time and temperature, the higher the reduction efficiency, and it was found that quartz tubes were more efficient than stainless steel pipes.

1. 研究背景

研究背景として、日本は化石燃料への依存度が2019年度は84.8%と高く、エネルギー自給率が低いという問題を受け、化石燃料を使わない持続可能なエネルギーが求められる^[1].本研究は、太陽光エネルギーを集光し、水と亜鉛を反応させることで水素を生成し、酸化亜鉛を亜鉛に還元することで、水素をもう一度生成するサイクルを確立することが目標とする. この目標を実現するために、太陽光は毎回同一条件で実験ができないため、代わりに電気炉を用いて模擬実験を行い、酸化亜鉛を高効率で亜鉛に再生できる条件で評価する.

2. 理論

酸化亜鉛の還元に関する雰囲気条件と反応式を以下に示す.



酸化亜鉛の大気圧下での融点は1975℃と非常に高いため、熱解離を行うには通常2000℃以上の高温条件が必要となる.炭素を還元剤として用いる場合、金属が酸化や還元されずに安定して存在できるかどうか、そしてそのために必要な温度を把握するにはエリಂಗム図の参照が不可欠であり、図1に示す.この図では、縦軸に標準生成ギブスエネルギー、横軸に炉内温度が示されている.エリングム図を使って、酸化亜鉛を還元する際に求められる温度を確認することができる.

縦軸の標準生成ギブスエネルギー: G_0 を以下に示す.

$$\Delta G_0 \rightarrow RT \ln P_{O_2} \quad (2)$$

この標準生成ギブスエネルギーは温度: T と酸素分圧: P_{O_2} の関数となっており、図1内の酸化還元反応線の上側が酸化雰囲気、下側が還元雰囲気を示す.

3. 実験装置及び実験方法

図2に実験装置の概略図を示す.実験機材は、セラ

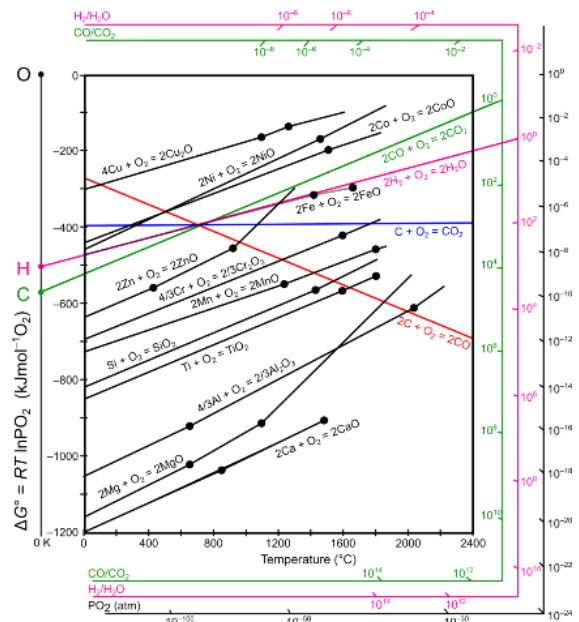


Fig. 1 Ellingham diagram^[2]

ミック電気管状炉 (アサヒ理化製作所 温度範囲常用1100℃), 反応管 (ステンレス管 (SUS316, 長さ500mm 外形19mm, 肉厚1mm), 石英管 (長さ700mm, 内径15mm, 外形20mm)), 熱電対, 亜鉛を堆積させるステンレス板, データロガーを用いる. 最初に、砕いた炭素0.6gを還元剤として2つと、粉末の酸化亜鉛1.0gを1つ, 燃焼用アルミナボートに入れる.その後、図2のように反応管に炭素, 酸化亜鉛, 炭素の順にアルミナボートと亜鉛を堆積させるステンレス板を挿入する.電気炉の設定温度(900℃~1100℃)に調節し、実験条件を表1, 2の設定温度に設定する.その後、電気炉が設定温度に達したところから、表1では、0~180分間反応時間をとる.表2では、900℃~1100℃を20℃間隔で30分反応させる.共に時間経過後、反応管内にあるボート上の酸化亜鉛と炭素を取り出し反応前後の質量変化を計測する.

1: 日大・学部・機械 2: 日大・院 (前) 3: 日大理工・教員・機械

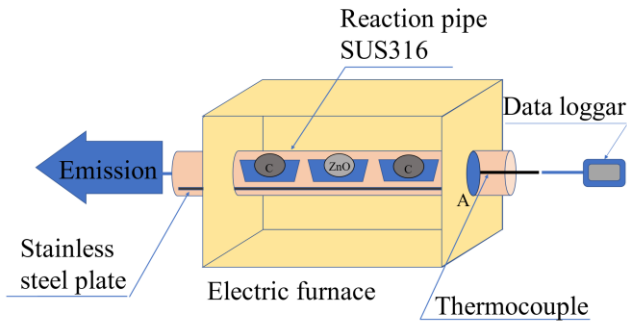


Fig 2. Experiment device

3. 実験結果と考察

実験結果として、電気炉の設定温度を 1000 °C に設定し反応時間を 0~180 分にした時の酸化亜鉛の減少量を石英管とステンレス管ともに表 1 に示す。さらに電気炉の設定温度を 900 °C~1100 °C を 20 °C 間隔で 30 分反応させた時の酸化亜鉛の減少量も石英管とステンレス管ともに表 2 に示す。表 1 より、反応時間を増加させるにつれ酸化亜鉛の減少量が増加した。また、どの反応時間でもステンレス管より石英管の方が酸化亜鉛の減少量が多くなる。この傾向は図 3 でも読み取れる。表 2 より設定温度を変化させた結果、酸化亜鉛の減少量は設定温度を高くするにつれ増加した。

Table 1. Results with reaction time from 0 to 180 min.

Set temperature T [°C]	The reduction amount of ZnO with quartz [%]	The reduction amount of ZnO with stainless steel [%]
900	10	3
920	15	10
940	22	11
960	27	24
980	35	27
1000	44	33
1020	48	35
1040	67	50
1060	78	55
1080	85	67
1100	100	73

Table 2. Experimental results at 900-1100°C

Set temperature 1000°C		
Reaction time [min]	The reduction amount of ZnO with quartz [%]	The reduction amount of ZnO with stainless steel [%]
0	17	15
5	22	17
15	33	27
30	44	33
45	57	46
60	69	56
120	94	77
180	100	100

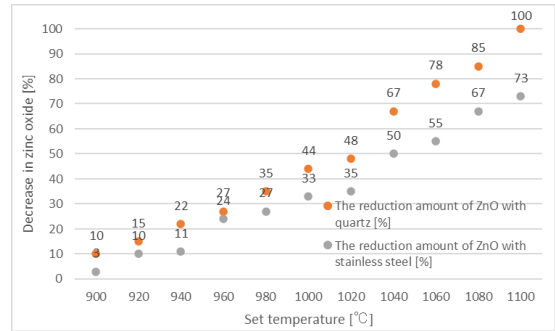


Fig 3. Relationship between time and reduction

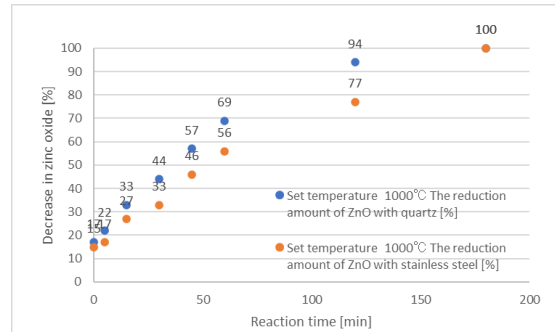


Fig 4. Relationship between temperature and reduction

反応時間ではステンレス管より石英管の方が酸化亜鉛の減少量が多くなる理由を考える時、ステンレスは鉄を主成分とする合金であり、高温環境下で一部の成分が化学反応に干渉する可能性があり酸化亜鉛と炭素の反応が抑制されることが考えられる。またステンレスは石英と比べて、10 倍ほど熱伝導率が高い素材のため、ステンレス管内で温度分布が異なり、石英に比べて温度が低くなることから反応速度が遅くなることが考えられる。比べて石英管のほうが、熱伝導率が低く、均一な反応条件が保たれ、より効率的に反応が進行するため、酸化亜鉛の減少量が多くなると考えられる。

4. 結論

今回の実験から、最高率の酸化亜鉛の還元を高めるなら反応時間を増加、反応温度を高温に上げることで還元率を高めることが確認できた。また、どの反応時間でもステンレス管より石英管の方が、減少量が多くなることが確認できた。今後は還元剤を他のものに変えることで還元率を高める方法を探していきたい。

5. 参考文献

[1]日本の3大エネルギー問題をわかりやすく解説！それぞれの対策や解決策を紹介
<https://www.mitsui.com/solution/contents/solutions/re/57>
 [2] エリンガム図, 金属の単体を得るために必要な情報 <https://solid-mater.com/entry/ellin>