

## 太陽エネルギーを用いた酸化亜鉛の還元に関する研究

### Research on reduction of zinc oxide using solar energy

太田悠弥<sup>1</sup>, 武田涼太<sup>1</sup>, 平井遥希<sup>1</sup>, ○山中康士朗<sup>1</sup>, 秋元雅翔<sup>2</sup>, 木村元昭<sup>2</sup>

Ota Yuki<sup>1</sup>, Takeda Ryota<sup>2</sup>, Hirai Haruki<sup>1</sup>, \*Yamanaka Koshiro<sup>1</sup>, Masato Akimoto<sup>2</sup>, Motoaki Kimura<sup>2</sup>

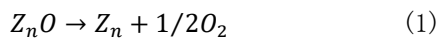
Abstract: In our research we conducted a study to remove zinc by causing a reduction reaction between zinc oxide and carbon which is a reducing agent. At that time we studied the temperature at which zinc adheres as a method of efficiently removing zinc. Based on the experiments so far we are conducting experiments under the process that zinc may adhere to places where the temperature is high.

#### 1. はじめに

日本におけるエネルギー供給構成は 2020 年では 86.6%は化石燃料にたよっており日本は化石燃料を多数占めている<sup>(1)</sup>. 本研究では太陽エネルギーをフレネルレンズで集光し酸化亜鉛を熱解離し還元した亜鉛と水を反応させることで水素を生成するサイクルを考案する. また, 効率よく亜鉛を再生することを目的とし研究を行った. その結果等を報告する.

#### 2. 酸化亜鉛の還元雰囲気条件

以下に酸化亜鉛の還元反応式を示す.



酸化亜鉛の大気圧での融点は 1975°Cと高温なため熱解離させるために一般には 2000°C以上の高温条件が必要となる. 本方式では真空ポンプによる減圧により酸素分圧を下げ, さらに炭素を反応管内に入れることで大幅に酸素分圧を減少することで酸化亜鉛表面の還元により亜鉛再生を行う. 金属が酸化及び還元されずに存在できるか, どの程度の温度で作用させればよいかを知るためにエリンガム図から読み取ることができる. エリンガム図は縦軸に標準生成ギブスエネルギー, 横軸に炉内温度をとったグラフであり縦軸の標準生成ギブスエネルギーは

$$\Delta G^0 = RT \ln P_{O_2} \quad (2)$$

で表せる. すなわち標準生成ギブスエネルギー変化と温度の関係を図 2 に表したものがエリンガム図である. この標準生成ギブスエネルギーは温度と酸素分圧の関数となっており, 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<sup>(3)</sup>. このサイクルでは酸化亜鉛の表面で熱解離した際に発生する酸素を炭素で還元する必要がある.

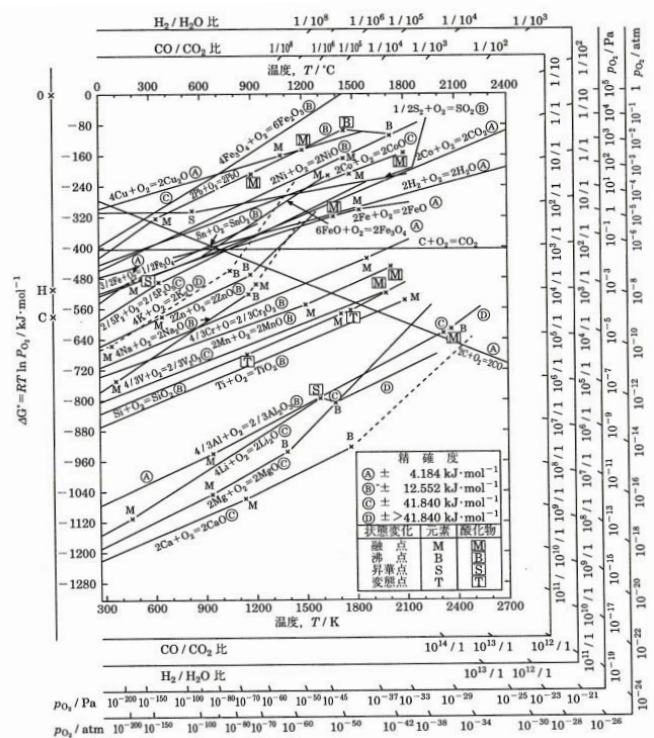


Figure 1 Ellingham diagram<sup>(2)</sup>

#### 3. 実験装置及び実験方法

##### 3-1) 実験装置

図 2 に実験装置の概略図を示す. 主に使う機材は電気炉, 反応管 (sus310S, 直径 19mm, 肉厚 1mm) 真空ポンプ, 真空計, 熱電対, 亜鉛を堆積させるステンレス板を用いる. 真空計を取り付けることで, ある一定の温度になった時, 反応管内にある酸化亜鉛と炭素が酸素

と反応を起こし酸素分圧が極端に下がることで酸化亜鉛の表面で熱解離が生じ亜鉛蒸気が発生する. 最終的にはフレネルレンズを用いた実験装置を使用する.

3-2) 実験方法

まず, 反応管内に粉末の酸化亜鉛と細かく砕いた炭素を乗せた燃焼アルミナ製ボートに入れ, 還元された亜鉛を堆積させるステンレス板を入れる. 真空ポンプを起動させ反応管内の圧力を約 500Pa まで下げる. これは反応管内に酸素分子が存在すると反応した亜鉛蒸気と結合してしまうのを防ぐためである. 次に電気炉の電源を付ける. 何°Cで亜鉛蒸気が発生したのかを確認するために熱電対の温度を気にしつつ, 時間を測りながら真空計の値を記録する. 電気炉の温度が約 750°C, 時間が約 14 分経過したあたりから真空計の値が約 10kPa まで増加する瞬間がある. これは反応管内の酸化亜鉛表面で熱解離が起きており亜鉛蒸気及び一酸化炭素が発生しているためであると考えられる. その後, 各実験条件の炉内温度 (900, 850, 800, 750, 700°C) に達してから約 5 分放置し電気炉と真空ポンプの電源を OFF にする. その後, 反応時間として 10 分放置する. 最後に反応管内にある酸化亜鉛と炭素を取り反応前後の質量変化を計測し記録する. その後ステンレス板を取り出し亜鉛が付着しているかを確認する.

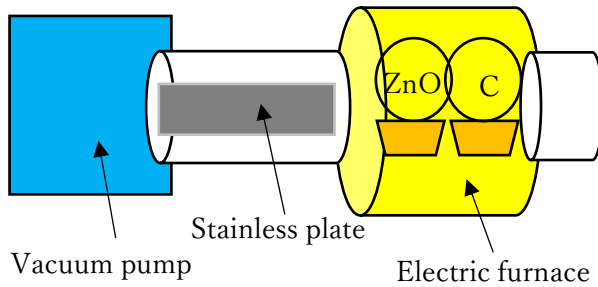


Figure 2 Experimental device

4. 実験結果

今回, 電気炉の温度を変化させた時の還元された酸化亜鉛と酸化された炭素の減少量をまとめた. 図 3 に各温度による亜鉛が付着したステンレス板を示し, 表 1 に各温度の酸化亜鉛・炭素の減少量を示す. 亜鉛は電気炉を出てすぐに堆積することが分かった. 電気炉の到達温度は最大 900°C であり, この時の反応管内温

度は 829°C となり一番酸化亜鉛の質量が減少していた. また, 還元剤である炭素の質量は 0.1g ほどの差しか変わらなかった.

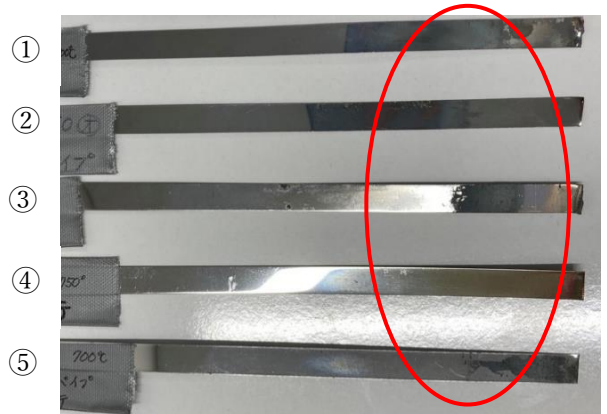


Figure 3 Test pieces

Table 1 ZnO and C reduction

管内温度 [°C]	酸化亜鉛 [g]	炭素 [g]
①	0.5	0.2
②	0.2	0.1
③	0.3	0.4
④	0.1	0.1
⑤	0.1	0.1

5. 結論と今後の方針

反応管内部の温度が高いほど還元された亜鉛の堆積量は増加し, その分酸化亜鉛と炭素の量も減少していた. 今後はボートを 1 つにして反応を促進したり, さらに高温な状態にし亜鉛の収集効率を増加する等が考えられる. また最終的にはフレネルレンズを用いるのでより高温な状態で実験を行うので断熱材を使うことで反応管が保温することで, ある一定の場所に堆積させることも実現できると思われる.

6. 参考文献

[1] [www.garbagenews.net/archives/2051463.html](http://www.garbagenews.net/archives/2051463.html)  
 [2] 金属物理化学. 日本金属学会. 1996. p81  
 [3] 雰囲気炉における炉気の可視化と雰囲気管理 (第一報), 神田輝一