

K-10

太陽光エネルギーを用いた酸化亜鉛の熱解離に関する研究

Thermal Dissociation of Zinc Oxide using Solar Energy

植田隆太¹, ○梅津風斗¹, 小泉雅寛¹, 藤田立樹¹, 呂牧錫¹, 秋元雅翔², 木村元昭²Ryuta Ueda¹, *Futo Umetsu¹, Masahiro Koizumi¹, Riki Fuzita¹, Muxi Lyu¹, Masato Akimoto², Motoaki Kimura²

Abstract: In this study, a Fresnel lens was used to irradiate the reaction tube with sunlight. First, zinc is heated and evaporated to produce hydrogen gas and zinc oxide. Next, solar energy is used to pyrolyze zinc oxide and reduce it to zinc oxide and oxygen to realize a hydrogen production cycle formed by solar energy. Since the reaction tube needs to react in a very high temperature environment, tungsten, which has extremely high heat resistance, is used. In addition, by lowering the oxygen partial pressure, thermal decomposition of zinc oxide is promoted. This year, we are focusing on the reduced portion of zinc oxide, proceeding with experiments with the goal of increasing the recovery efficiency of zinc oxide.

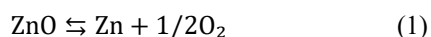
1. はじめに

石油は今日までエネルギー消費の中心となってきた。発電用を中心にほかのエネルギー源への転換も進んだが、堅調な輸送用燃料消費に支えられ、世界の石油消費量は1965年から2018年にかけて増加し、依然としてエネルギー消費全体で最も大きなシェアは2018年時点で33.6%を占めている。一方、風力、太陽光などの再生可能エネルギーは、2018年時点のシェアはそれぞれ4.4%及び4.0%と、エネルギー消費全体に占める比率はいまだに大きくないが、近年は太陽光発電や風力発電のコストが低下しており、今後再生可能エネルギーの比率は拡大すると予想される。^[1]

そこで我々は今後拡大していく再生可能エネルギーの太陽光エネルギーに着目した。本研究では、フレネルレンズを用いて太陽光を反応管の中央に集光し、反応管内部及び装置全体を真空又は窒素で置換し、反応管内部の酸化亜鉛の熱解離を行い、発生した亜鉛蒸気の回収及び回収効率の向上を目的とする。反応管は昨年度と同様にタングステンを使用するが、現状の実験装置では熱解離が可能になるまでの減圧が困難であり、太陽光を集光した反応管表面が酸化した。本年度は、新たに反応管内部及び装置全体が真空可能な装置を用いて熱解離実験を行い亜鉛の回収をし、その内容を報告する。

2. 理論

酸化亜鉛の還元反応は次のようになる。



この反応系におけるギブスエネルギー ΔG [J/mol]はエ

ンタルピーの変化を ΔH [J/mol], 温度を T [K], エントロピーの変化を ΔS [J/K·mol]とすると以下のように表すことができる。

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2)$$

また、ギブスエネルギー ΔG [J/mol]と平衡定数 K の関係は、一般気体定数を R [J/(K·mol)]とすると

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (3)$$

となる。さらに(3)式を平衡定数 K について解くと

$$K = \exp\left(-\frac{\Delta G}{RT}\right) \quad (4)$$

となる。また、平衡定数 K は $p(\text{O}_2)$ を酸素分圧、 $p(\text{Zn})$ を亜鉛分圧とすると、以下のようにも示せる。

$$K = p(\text{O}_2)^{1/2} \cdot p(\text{Zn}) \quad (5)$$

(4) 式に(5) 式の K を代入すると

$$p(\text{O}_2)^{1/2} = \exp\left(-\frac{\Delta G}{RT}\right) \cdot \left(\frac{1}{p(\text{Zn})}\right) \quad (6)$$

となる。図1は(6)式より、亜鉛分圧と酸素分圧、温度の関係を表したものである。また、各曲線の右側領域ではZnとして安定して存在している。

1 : 日大理工・学部・機械 2 : 日大理工・教員・機械

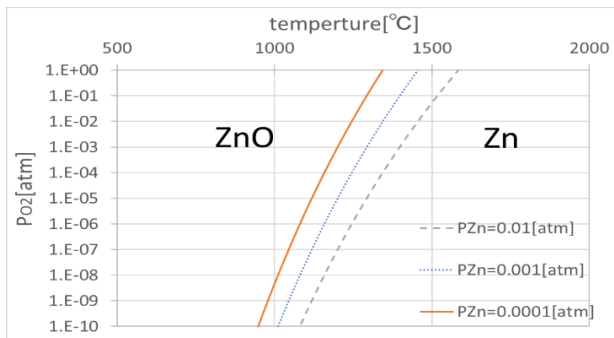


Figure1. Thermodynamic Stability of Zinc Oxide

3. 実験装置

昨年度は、石英管内の真空を十分に引くことができず、酸化亜鉛を熱解離させることができなかった。この原因は、石英管を真空ポンプとの接続部などから空気が漏れてしまうことや窒素を流入する際に漏れがあったことが考えられる。そのため、今年度は、装置内部を酸化亜鉛が熱解離するのに十分な圧力に下げたためや生成物などがガラスに着くのを防ぐためのキャリアガスとなる窒素を確実に導入するために図2のような真空装置を考案した。

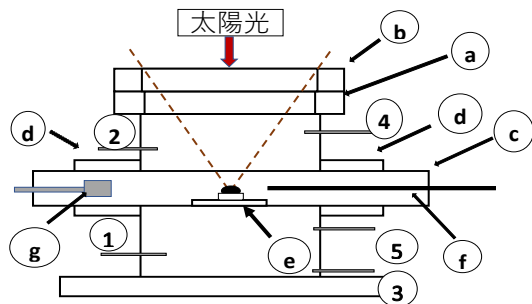


Figure2. Experimental Apparatus

④反応装置(内径Φ96 mm, 高さ124 mm)の上面には、太陽光導入口として⑥ガラス面が設置されている。また、反応装置の中間部には、直径Φ20 mmのタングステン製の③反応管が直交するように保持するための④管が配置されている。フレネルレンズ(1400×1050 mm, 透過率0.85, 焦点距離1200 mm)を用いて、図2に示す反応装置内の反応管に太陽光を点集光する。同図の反応装置にある5つの口は、①真空排気用の接続口、②不活性ガス導入口、③温度計投入口(下部)、④温度計投入口(上部)、⑤圧力計投入口、の5つの用途に使われる。反応装置内は不活性ガスを満たしながら真空を引くことでキャリアガスの流れを作り、反応管の酸化を防ぐと共に反応管から出る可能性のある生成物がガラスに付着し割れるのを防ぐ。反応管内では、③燃焼用ボードに酸化亜鉛を乗せ、太陽光の熱により蒸発させ

る。反応管内部は熱解離した亜鉛が酸化しないように真空の状態を維持する。また、反応部の温度を測る④熱電対、反応によって発生した亜鉛を採取するための⑧ステンレス板を挿入する。

4. 実験方法

【実験環境の準備】

酸化亜鉛の熱解離条件を満たすためと発生した気体を流すために、反応管内部を真空ポンプで10 Paを目標に減圧し続け、反応装置は反応管であるタングステンが高温と酸素によって急激に酸化するので不活性ガス(窒素)で満たす。その他各部温度、圧力、日射量のモニターを行う。

【実験開始】

フレネルレンズを用いて太陽光を酸化亜鉛が乗ったポートの上部にあたる反応管中央に焦点距離を調整しながら照射する。焦点距離は反応装置下部に取り付けたジャッキにて調整し、温度管理を行う。熱解離によって出た酸素、亜鉛は真空ポンプにより一方向に流れる。その先の装置で反応管内部よりも温度が低いステンレス板で反応物を析出させ採取する。その後、析出物をX線広角回析装置にて同定回析し本実験で亜鉛が採取できたか確認する。

5. 今後の方針

現在はこの研究を水素生成の部分と亜鉛を還元する部分に分けて実験する予定である。2019年に、亜鉛量10.0 g, 送水量6.0 mLの条件で水素濃度35.8%まで達成したが、今年度は水素生成部分の方針は適切な高温環境での亜鉛量に対し、送水量また亜鉛が蒸発した時に送水するタイミングを把握し、水素濃度を高めることが目的である。還元部分の方針は、新型熱解離反応装置を用いて、フレネルレンズの焦点距離からのオフセットを変更することで熱解離が進行する温度に上げ、装置の各部分の温度を測定し、タングステン管が耐えられるかどうかを確認する。また、酸化亜鉛が熱解離で生成した亜鉛のサンプルをステンレス板で取り出し、X線広角回析装置を用いて解析した板に張り付けた酸化亜鉛と亜鉛の量で熱解離実験の回収効率を求め、サンプルの中の亜鉛と酸化亜鉛成分の割合と温度の関係をグラフで表すことが目標である。

6. 参考文献

[1]第二章国際エネルギー動向 経済産業省資源エネルギー庁 <https://www.enecho.meti.go.jp>