

K2-41

太陽エネルギーを用いた酸化亜鉛の熱解離プロセスに関する研究

Thermal Dissociation Process of Zinc Oxide using Solar Energy

岡崎光輝¹, 折田皓介¹, ○清水泰介¹, 上田辰², 菊池隆介², 秋元雅翔³, 木村元昭³

Koki Okazaki¹, Kosuke Orita¹, *Taisuke Shimizu¹, Shin Ueda², Ryusuke Kikuchi², Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

Abstract: In this study, the theme is reduction of zinc oxide using solar heat which is renewable energy. The high temperature heat source of 1500°C, or higher obtained by a solar heat collection experiment using a Fresnel lens is irradiate an alumina tube containing zinc oxide, which is thermally dissociated to produce zinc, collected by a cooling tube. It aims to establish Zn/ZnO redox cycles in hydrogen production.

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いる。発電用等では他のエネルギー源への転換も進んだが、1965年から2015年にかけて年平均2.1%で増加し、依然としてエネルギー消費全体で最も大きなシェア(2015年時点で32.9%)を占めている。同じ期間で伸び率が最も大きかったのは風力、太陽光などの再生可能エネルギー(年平均増加率12.2%)だったが、2015年時点のシェアは2.8%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^[1]。しかし、近年は太陽光発電を中心に発電コストが低下している。また、図1は世界のエネルギー消費量の推移を示した図である。

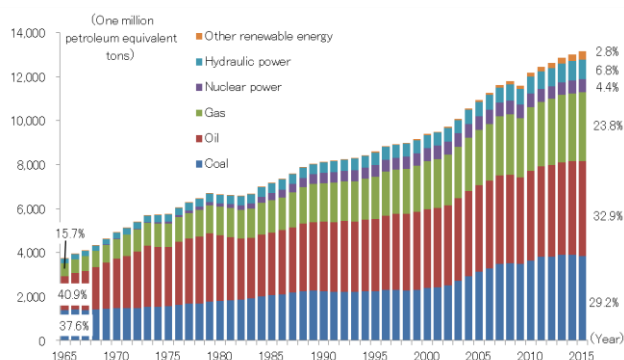
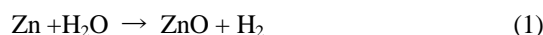


Figure 1. Changes in Energy Consumption of the World^[1]

そこで、我々は今後拡大していだろう再生可能エネルギーである太陽光エネルギーに着目した。太陽光発電と電気分解を用いた水素生成ではエネルギー変換効率24%以上を達成している^[2]。昨年度の研究ではフレネルレンズを用いた亜鉛の水素生成に成功している。そこで本研究では、フレネルレンズを用いて太陽光を一点に集光し、酸化亜鉛を熱解離させて亜鉛の回収及び回収効率の向上を目的とする。

2. 理論

金属酸化物の酸化還元系を利用したサイクルの中でも酸化亜鉛サイクルは有望である。また、Zn/ZnO系プロセスは二段階熱分解サイクルの候補として研究が進められている。Zn/ZnO系のサイクル反応は次のように進行する。



このうち、(2)式の熱解離反応の平衡定数 K 及びギブスの自由エネルギーの変化 ΔG [J/mol]は以下のように表される^[3]。また、式(3)中の P_{Zn} [bar]は亜鉛分圧、 P_{O_2} [bar]は酸素分圧である。

$$K = \frac{1}{P_{\text{Zn}}^2 P_{\text{O}_2}} \quad \Delta G = -479654 + 216.11T \quad (3)$$

また、 ΔG と K の関係は以下ようになる。

$$\Delta G = RT \ln K \quad (4)$$

本稿では熱解離反応である(2)式について考える。このプロセスでは、亜鉛蒸気と酸素が同時に発生するので、再結合をさけるため発生気体の急速クエンチが必要である。図2は亜鉛分圧と酸素分圧、温度による熱力学的安定性を表した図である。

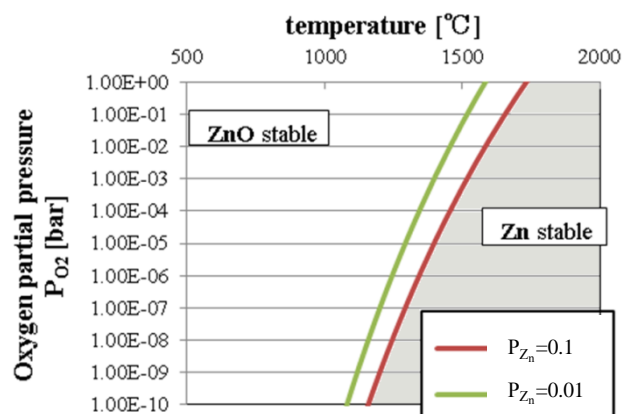


Figure 2. Thermodynamic Stability of Zinc Oxide

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

本研究では、温度や酸素分圧、亜鉛分圧を変化させて図 2 の Zn stable の範囲で酸化亜鉛の熱解離を行う。

3. 実験装置

図 3 に実験装置概略図を示す。フレネルレンズ(1.4m × 1.05m, 透過率 85%, 焦点距離 1200mm, 集光倍率約 1700 [-], 焦点温度 1500°C) を用いて太陽光を集束させ、反応管(ニッカトー製, アルミナ 70%, 長さ 600mm, 内径 30mm, 外径 37mm, 耐熱温度 1600°C) に照射する。熱電対(石福金属工業製, 40%PR 熱電対, 許容差の分類: 0.5 級, 線径φ0.5mm, 長さ 0.40m) を用いて反応管側方部から挿入し、集光管内部の温度の測定を行う。また、ジャッキを用いて集光管内部が適切な温度になるよう焦点距離からオフセットする。フローコントローラーを用いて管内に窒素を流入させ、酸素分圧を低下させる。管内で発生した亜鉛蒸気と酸素を冷却管(内部に定流量ポンプで冷却水を循環させる)を用いて急速クエンチし、冷却管に亜鉛を付着させる。本研究で用いた反応管を図 4 に示す。

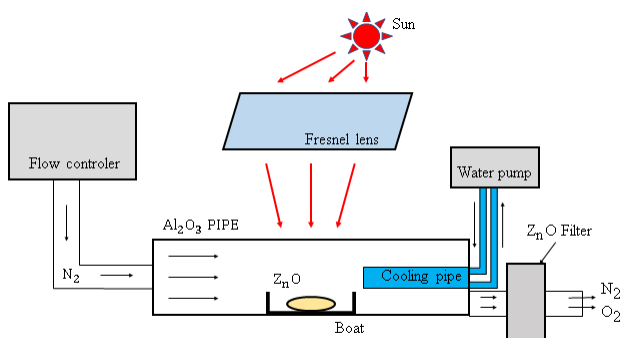


Figure 3. Experimental Apparatus

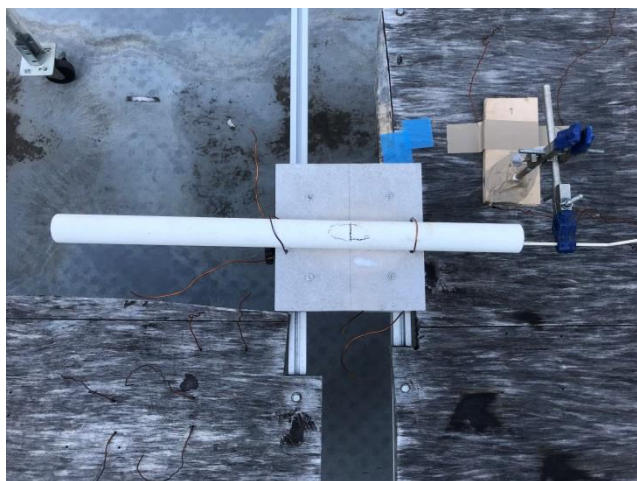


Figure 4. Alumina Reaction Tube

4. 実験方法

4-1 実験 1

太陽光をフレネルレンズを用いて反応管表面中央に照射し、反応管中央、中心部に取り付けた熱電対を用いて温度を測定する。この時、反応管中心部を焦点距離から 10mm ずつオフセットしていき、各地点での温度を 5 分間測定する。上記の手順が終わったのち、熱電対の位置を中央から 50mm ずつ管側方部に向けて移動させ、各地点での温度を測定していく。この手順で反応管端部まで温度を測定する。

4-2 実験 2

太陽光をフレネルレンズを用いて反応管表面中央に照射し、反応管中央底部に設置した燃焼用ポートに乗せた酸化亜鉛の熱解離を行う。反応管内部にフローコントローラーを用いて窒素ガスを流入させる。蒸気になった亜鉛と酸素と窒素の混合気を冷却管を用いて高速クエンチし、亜鉛を冷却管表面に付着させる。回収した亜鉛を用いて X 線広角回折装置による同定解析を行う。また、設置する酸化亜鉛の量を変化させ、同様の実験を行う。上記の手順を窒素ガスの流量を変化させて再度実験を行う。

5. 今後の方針

現在は、フレネルレンズを用いて太陽光を集光し、反応管に照射して反応管内部の温度分布を熱電対によって測定予定である。今後は、酸化亜鉛を反応管内部に入れ、太陽光を照射して熱解離させ、フローコントローラーで管内に窒素ガスを流入させて冷却管で急速クエンチすることで、亜鉛の回収及び回収効率の向上方法について検討していく。

6. 謝辞

本研究は平成 28 年度理工学部プロジェクト研究助成金の支援を得て進められたことを記す。

7. 参考文献

- [1] 経済産業省 資産エネルギー庁, <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/2-2-1.html>
- [2] 宮崎大学・東京大学, http://www.t.u-tokyo.ac.jp/shared/press//data/20150917_sugiyama.pdf
- [3] E. A. Secco: "DECOMPOSITION OF ZINC OXIDE", Can. J. Chem, pp596-601, 1960.
- [4] 原田義也, 「化学熱力学」, 裳華房, pp.112-116, 2012.