K2-32

Zn と過熱蒸気の水熱分解反応を用いた太陽エネルギーによる水素生成

The hydrogen generated by solar thermal energy using Zn and hydrothermal decomposition reaction

○榎本毅[1]，　王明東[1]，　木村元昭[2]
*Takeshi　Enomoto[1], Mingdong Wang[1] , Motoaki Kimura[2]

Abstract: In recent years, concern of energy shortage is increasing. Accordingly, the researchers all over the world are now looking for ways to make the renewable energy more widely used. This research focus on solar thermal that is one of the renewable energy, and try to generate fuel with the use of it. Solar thermal collectors are made, using a Fresnel lens. This could collect heat more than 1000℃. To irradiate a reaction medium with this heat rays, a new device is made for product hydrogen. The reaction medium uses the Zinc, it is a mechanism that causes a chemical reaction with the water. We have aimed to produce hydrogen and collecting with this device.

１．はじめに

1995 年から 2020 年における世界のエネルギー需要伸びの 95%は化石燃料によって賄われるとみられる[1]. また，石油への依存度が増大すると予想されることから，著者らは資源量が多く環境への負荷や影響が小さい太陽熱エネルギーに注目し，太陽熱収集器を作成した．高温の太陽熱を得るために，フレネルレンズを用いる．獲得した熱で亜鉛を蒸発後，過熱蒸気を注入し急速冷却(クエンチ)させ, 亜鉛粒子を反応媒体として化学反応させる．そして，水素を生成および収集することを目的とする．過去に行った実験[2]では，亜鉛板 1 枚～3 枚の状態にそれぞれ過熱蒸気を投入し化学反応させたが，どれも水素濃度 1%以下という極僅かしか水素を得られなかった．しかし，3 枚の表面積が大きい時に一番水素生成量が多いことから，水素生成量に大きく関係してくるのは，亜鉛の反応面積であることが分かった．これを踏まえ昨年からは亜鉛を太陽熱で加熱し，より反応面積が広い粒子の状態で過熱蒸気を注入し化学反応させ，水素を生成および収集する装置を設計し作成した．ここでは，その前段階として加熱炉を用いた水素発生装置を提案する．

２．金属酸化プロセスと水素発生装置

水素の生成方法の一つとして，水を直接分解して水素を発生させる方法がある．しかし，この分解には約 4000℃の高温熱を必要とするため, 装置を作成する際に耐えうる物質が存在しないなどの問題があり，事実上不可能とされている[3]．そこで，金属酸化物サイクルの開発が進められており，その一つに亜鉛プロセスがある．亜鉛を反応媒体として使用する時の水熱分解反応を次に示す．

$$Zn + H_2O \rightarrow ZnO + H_2 \qquad (1)$$

また，酸化亜鉛を反応媒体とする熱還元反応を示す．

$$ZnO \rightarrow Zn + 1/2O_2 \qquad (2)$$

次に，亜鉛の特性を表 1 に示し，表 2 には飽和圧力と温度を示す[4].

Table 1. Thermophysical Properties Zn

融点	692.68K, 419.53℃
沸点	1180K，907℃
密度(室温付近)	7.14g・cm^{-3}
融解熱	113.0KJ/Kg
蒸発熱	1764KJ/Kg

Table 2. Saturation Temperature

圧力(Pa)	1	10	100	1k	10k	100k
温度(K)	610	670	750	852	990	1179

図 1 に実験装置の概念図を示す．装置内は亜鉛の反応温度を下げ，空気中の酸素との酸化を防ぐため真空ポンプで中真空にして，N_2 ガスで置換する．亜鉛粒子の移送は不活性ガス(N_2)を用いて行う．また，この装置は水熱分解反応を利用しており，大きく分けて 3 つのセクションから成立している．1 つ目の亜鉛蒸発部では，亜鉛がより多くの過熱蒸気と反応するように亜鉛微粒子を生成する．2 つ目の混合部では，エアノズルより霧状に過熱蒸気が噴射され亜

１：日大理工・学部・機械．２：日大理工・教員・機械.

鉛微粒子と混合する．3 つ目の反応部では，実際に反応が起こり酸化亜鉛と水素が生成される．

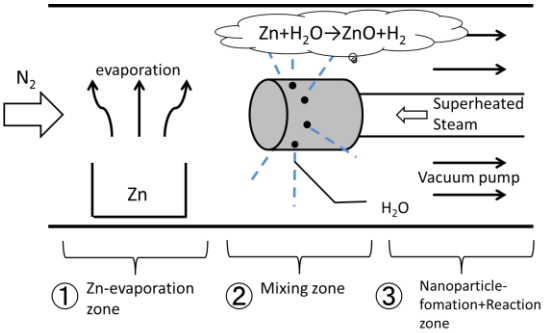

Figure 1. Conceptual diagram

３．　実験装置

水素発生装置を図 2 に示す．各部は①N_2 ボンベ，②質量流量計，③加熱炉（500W），④過熱蒸気導入口，⑤放熱フィン，⑥フィルター，⑦真空ポンプ，⑧ガス分析ユニットである．特徴としては，③の加熱炉の部分は，太陽熱でも実験可能なように加熱管が取り外せるようにする．また加熱管内には，磁製ボートの中に亜鉛線を置くことで融解した亜鉛が加熱管内にこぼれることなく，回収も容易に行えるようになっている．さらに，磁製ボートの質量を実験前後で計測することで亜鉛の蒸発量を計測することもできる．

次に太陽光を用いる時に使用する実験装置を説明する．特徴として，フレネルレンズを用いて，一点に太陽光を集光することにより短時間で高温で熱量を得ることができる．フレネルレンズの大きさは 1400×1050×3mm である．またフレネルレンズの焦点距離は 1200 mm であり，透過率は 85%である．太陽との角度，方向，焦点距離は手動にて調整を行う．ジャッキの調節可能域は 75~245mm である．

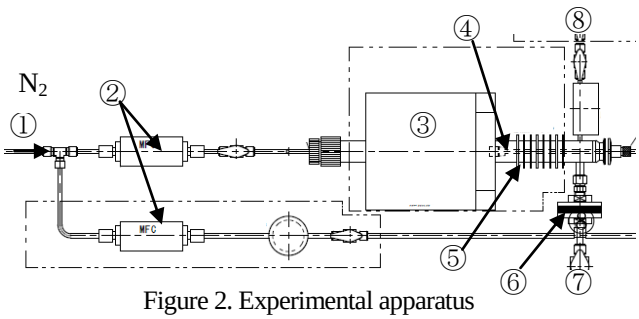

Figure 2. Experimental apparatus

４．　実験方法・条件

加熱管内を真空ポンプで中真空（43.5Pa）にし，加熱炉で亜鉛(5.0g)を約 770℃に加熱し亜鉛粒子としつつ不活性ガス(N_2)を注入する．ここに電磁弁を使用し水を過熱蒸気生成器に入れ生成した過熱蒸気（6ml/min）を投入し亜鉛粒子と過熱蒸気を化学反応させる($5.03\times10^2\rightarrow3.36\times10^2$Pa). 発生した酸化亜鉛は高温であるため放熱フィンを通過させ冷却後，フィルターを通過させ除去する．残った不活性ガス(N_2)と化学反応によって得られた水素は，ガス分析ユニットで回収，分析する．この時，管内が負圧のため真空ポンプへの弁を閉じ，不活性ガス(N_2)を供給し生成物をガス分析のためのサンプリングパックに押し出し回収する．その後、水素検知管により水素の有無を測定する．

５．　実験結果

回収したガスより検知管を用いた結果，図 3 に示すように水素が 2%以上発生している事が確認できた．

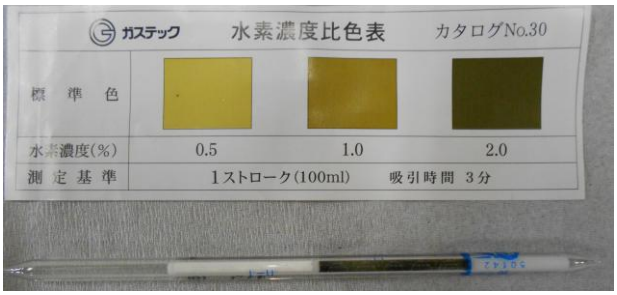

Figure 3.Hydrogen concentration

６．　今後の方針

窒素ガスの流量、加熱蒸気量は一定で実験を行ったので、今後は様々な条件で実験を行い，より高効率な水素生成を目標とする．

７．　参考文献

[1] 通商産業省資源エネルギー庁長官官房国際資源課：2020 年世界のエネルギー展望，p2，1998

[2] 日本大学理工学部学術講演会論文集：太陽熱エネルギーによる水素生成，pp823-824，2012

[3] 郷右近，児玉：高温太陽集熱による化学燃料製造技術，Journal of The Japan Institute of Energy，vol.90，No.4，p343，2011

[4] 日本機械学会：流体の熱物性値集，pp10-11，1983