

集光太陽光による超臨界水生成に関する 基礎的検討

Preliminary study on the formation of supercritical water
using a concentrated solar power

主任研究員名：部谷 学
分担研究員名：草場 光博

1. 研究の目的・計画・方法（概要）

本研究は、集光太陽光で生成した亜臨界水によるバイオマス処理に関する基礎研究である。圧力と温度を制御することで、処理に適した密度領域（高～中～低）の亜臨界水を選択できる（実際には亜臨界から超臨界状態での高温・高圧下の水が使用されている）。本研究課題では『集光太陽光によって水を何℃、何気圧にすることができるか』について実験的に明らかにする。大出力ソーラーシミュレーターを用いた超臨界水評価システムは、5 kW のキセノンランプ 2 灯、水槽、吸収体、ソーラーシミュレーター架台、ラマン分光システムから構成される（図 1 参照）。

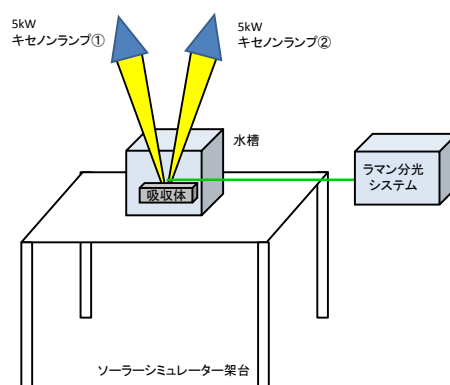


図 1 開発予定の 10 kW ソーラーシミュレーターシステムの外観図

本研究計画は 3 年計画であり、1 年目（平成 24 年度）に、①ソーラーシミュレーター使用環境の立ち上げ（5 kW キセノンランプの光学特性評価、電源工事）、②ラマン分光計測装置の立ち上げ準備、吸収体の検討を行った。2 年目（平成 25 年度）は、③楕円集光反射鏡の設計及び作製、④吸収体の作製及び評価を実施した。3 年目（平成 26 年度）は、⑤装置全体を囲う筐体と架台を作製し、システムとして稼働させた。また、⑥集光特性評価実験、⑦集光太陽熱による水素製造の際に使用される酸化セリウム (CeO_2) への照射実験、を行った。なお、予算の都合上、水槽を製作できなかったため、当初予定していた超臨界水生成の実験ではなく、大気中で照射可能な CeO_2 への照射実験を行い、照射部位において 1500 °C 程度の高温にまで加熱できることを示した。加えて、当初は 5 kW のキセノンランプ 2 灯のシステムを開発予定であったが、予算の都合上、1 灯のシステムに変更した。

2. 研究成果

①ソーラーシミュレーター使用環境の立ち上げ（5 kW キセノンランプの光学特性評価）（部谷）

図 2 に、キセノンランプと太陽光のスペクトルを比較した図を示す。近赤外域に高い光強度を持った波長帯があるものの、他の波長領域ではほぼ太陽光を再現したスペクトルであることを確認

した。

②ラマン分光計測装置の立ち上げ準備(部谷)及び吸収体の検討(草場)

励起光源に半導体レーザー(波長 808 nm)を用いて、 3300 cm^{-1} 付近の水のラマンピークを観測し、ラマン分光計測装置が正常に動作することを確認した。なお、 3300 cm^{-1} 付近の水のラマンピークの波長シフトから、水の温度・圧力状態を把握できる。

本研究課題では、5 kW の大出力ソーラーシミュレーターを直径 5 mm に集光する計画である(光強度が 10^2 kW/m^2 で $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 、 10^4 kW/m^2 で $2000\text{ }^\circ\text{C}$ まで表面を加熱できる)。この目標が達成できれば、集光点での光強度は $2.5 \times 10^5\text{ kW/m}^2$ 程度となり、照射対象の表面温度を容易に $1000\sim 2000\text{ }^\circ\text{C}$ に加熱できる。この概算は照射した光が 100% 吸収された場合であり、太陽光を吸収しやすく、融点が高いことが吸収体に求められる。検討の結果、黒色のセラミックスである酸化クロムを吸収体を選択した。

③楕円集光反射鏡の設計及び作製(部谷)

図 3 に、作製した楕円集光反射鏡の設計図を示す。母材はテンパックス、反射材料には SiO_2 保護膜付アルミニウム薄板を用いた。焦点距離(第 2 焦点距離)は 672.3 mm であった。

光学設計上では、この楕円集光反射鏡を用いた集光直径は 5 mm である。これによって、設計上の集光点の光強度は $2.5 \times 10^5\text{ kW/m}^2$ 程度を実現できる。

④吸収体の作製・評価(草場)

吸収体である酸化クロム(黒色のセラミックス)を金属板上に溶射によって成膜した。試作した吸収体(酸化クロム)へのレーザー照射実験を行い、光強度約 10^6 kW/m^2 以上で表面にレーザー照射痕が形成されることが分かった。このことから、今回開発予定である集光ソーラーシミュレーターの集光点(光強度は 10^4 kW/m^2 程度で使用予定)においては、酸化クロムは熔融せず、表面形態に変化が生じないことが期待できる。これは、酸化クロムが吸収体として使用できることを示唆している。

⑤装置全体を囲う筐体と架台の作製(部谷)

図 4 に、開発した集光ソーラーシミュレーターの外観写真を示す。図 4 右上にあるお椀型なのが楕円集光反射鏡であり、その中に 5 kW のキセノンランプが設置されている。上段は観音開きの扉になっており、下段に照射対象を出し入れするための窓がある。上段の扉にはインターロック機能が設置されており、上段の扉を閉じた時のみランプが点灯するようになっている。筐体の左側にある小さなボックスが電源及びコントローラーである。図 5 に作製した楕円集光反射鏡の

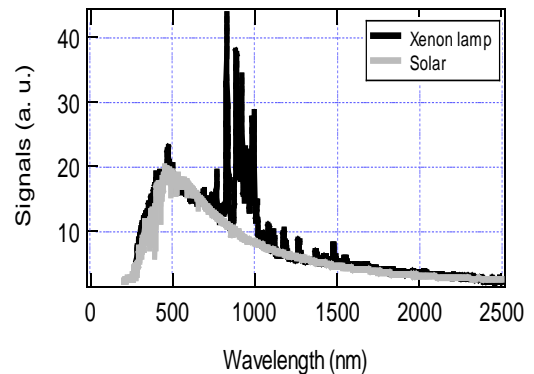


図 2 キセノンランプと太陽光のスペクトル比較

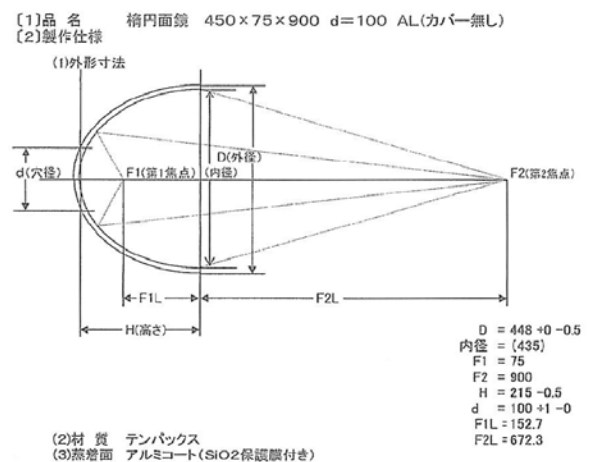


図 3 作製した楕円集光反射鏡の設計図

外観写真を示す。

⑥集光特性評価(部谷)

図6にソーラーシミュレーターにおける高さを変えた時のスポット径の変化を示す。今回得られた実験結果から、電流値 20 A (出力 91.0 W)、床面からの高さ 843 mm 時にスポット径が最小となった。

加えて、ソーラーシミュレーターの出力値を大きくするにつれて床面からの高さが低い位置で、より集光される傾向が観測された。今後、電流値 90 A 以上における大出力領域において、集光特性を測定する必要がある。

⑦酸化セリウム(CeO_2)の照射実験(草場)

図7に、ソーラーシミュレーター照射後の CeO_2 の光学顕微鏡写真を示す。

電流値 40 A (出力 246 W) で 20 秒ほど照射すると、照射領域の CeO_2 が青色に変化した。光学顕微鏡で CeO_2 の加工痕を観察すると、加工表面には CeO_2 の熔融組織らしきものが観測された。青色への変色は、

3 価の酸化セリウム (Ce_2O_3) に変化した事を示唆している。 Ce_2O_3 への還元反応は、1500 °C 近傍での高温反応であることが知られている。よって、開発した集光ソーラーシミュレーターによって、1500 °C 程度の高温を得られることが示された。

3. 今後の課題

本研究助成によって、集光太陽光を模擬したソーラーシミュレーター装置をシステムとして確立させ、集光部位では 1500 °C 程度まで加熱できることを示した。今後は、集光太陽熱を熱源とした水素製造の高効率化を目指した研究に取り組んでいく計画である。



図4 開発した集光ソーラーシミュレーターの外観写真



図5 作製した楕円集光反射鏡の外観写真

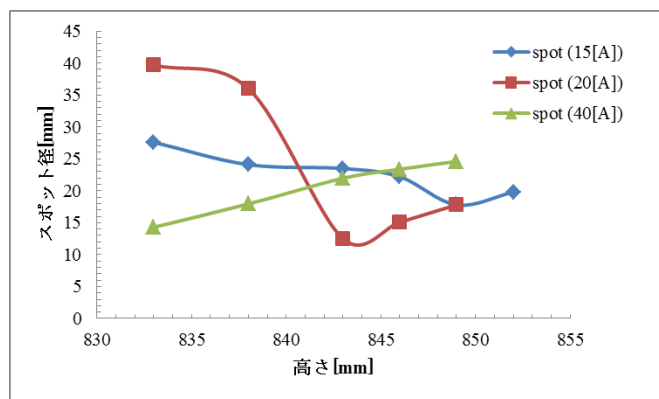


図6 各出力における高さを変えた時のスポット径の変化

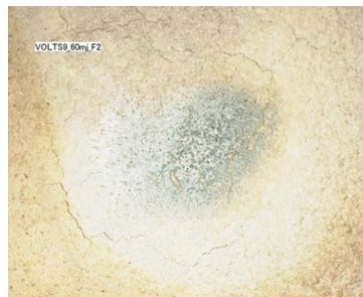


図7 ソーラーシミュレーター照射後の CeO_2 の加工痕

大出力ソーラーシミュレーターシステムの確立

部谷 学（工学部電子情報通信工学科）

1. 研究の目的・計画・方法（概要）

集光太陽光により生成した亜臨界水によるバイオマス処理を目的として、平成 25 年度は楕円集光反射鏡の設計と作製を行った。平成 26 年度は、装置全体を囲う筐体と架台を作製し、システムとして稼働させ、集光特性評価実験を行った。

2. 研究成果

図 1 に作製した装置全体及び楕円集光反射鏡の外観写真を示す。左図の右上にあるお椀型のものが楕円集光反射鏡であり、その中に 5 kW のキセノンランプが設置されている。上段は観音開きの扉になっており、下段に照射対象を出し入れするための窓がある。上段の扉にはインター

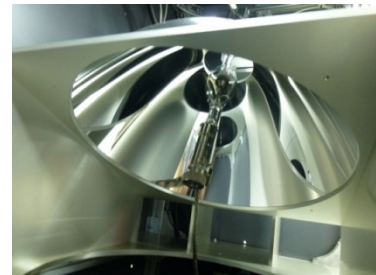


図 1 作製した装置全体及び楕円集光反射鏡の外観写真

ロック機能が施されており、上段の扉を閉じた時のみランプが点灯するようになっている。反射鏡の母材はテンパックス、反射材料には SiO_2 保護膜付アルミニウム薄板を用いた。焦点距離(第 2 焦点距離)は 672.3 mm であった。光学設計上では、この楕円集光反射鏡を用いた集光直径は 5 mm である。これによって、集光点の光強度は $2.5 \times 10^5 \text{ kW/m}^2$ 程度を実現できる予定である。東京工業大学の実績から、光強度が 10^2 kW/m^2 で 1000 °C、 10^4 kW/m^2 で 2000 °C まで表面を加熱できることが分かっている。したがって、今回導入したソーラーシミュレーターシステムが稼働すれば、照射対象の表面温度 1000~2000 °C 程度までの加熱が期待できる。

図 2 にソーラーシミュレーターにおける高さを変えた時のスポット径の変化を示す。

今回得られた実験結果から、電流値 20 A (出力 91.0 W)、床面からの高さ 843 mm 時にスポット径が最小となった。加えて、ソーラーシミュレーターの出力値を大きくするにつれて床面からの高さが低い位置で、より集光される傾向が観測された。今後、電流値 90 A 以上における大出力領域において、集光特性を測定する必要がある。

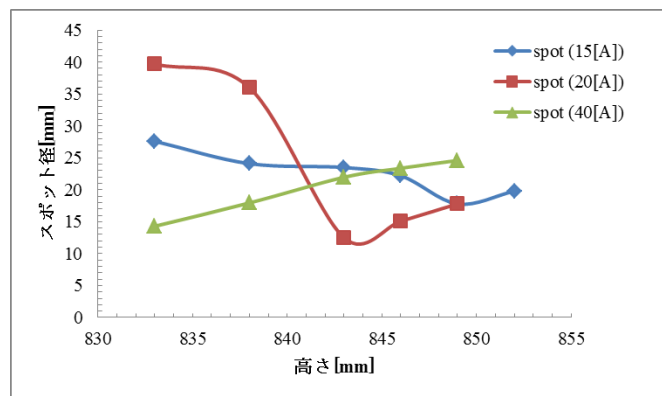


図 2 各出力における高さを変えた時のスポット径の変化

大出力ソーラーシミュレータを用いた吸収体の作製・評価及び照射実験

草場 光博（工学部電子情報通信工学科）

1. 研究の目的・計画・方法（概要）

集光太陽光により生成した亜臨界水によるバイオマス処理を目的として、平成 25 年度は吸収体である酸化クロム膜(CrO_2)を作製し、レーザーを用いた耐光試験を実施した。平成 26 年度は集光太陽熱による水素製造の際に使用される酸化セリウム(CeO_2)への照射実験を行った。

2. 研究成果

吸収体として CrO_2 を金属板上に溶射によって成膜した。図 1(a)に試作した CrO_2 の写真を示す。図中の多数の横長の傷はレーザーによる照射痕である。また、図 1(b)に、 CrO_2 におけるレーザー出力とレーザーの走査速度を変えた時の照射痕の深さの変化を示す。スポット直径は $100\ \mu\text{m}$ 程度であり、 $50\ \text{W}$ ではほとんど加工されていない。これを光強度に換算すると、 $5 \times 10^6\ \text{kW/m}^2$ 程度となる。開発中の集光ソーラーシミュレータの集光位置での光強度は $10^4\ \text{kW/m}^2$ 程度であるため、集光ソーラーシミュレータを使用する際には、 CrO_2 は熔融せず、表面形態に変化が生じないことが予想される。これは CrO_2 が吸収体として使用できることを示唆している。

予算上の都合上、水中照射実験が実施できなかったため、大気中でシステムの性能評価を行うために、酸化セリウム(CeO_2)の照射実験を行った。図 2 に、ソ

ーラーシミュレータ照射後の CeO_2 の加工痕の光学顕微鏡写真を示す。電流値 $40\ \text{A}$ (出力 $246\ \text{W}$)で 20 秒ほど照射すると、照射領域の CeO_2 が青色に変化した。光学顕微鏡で CeO_2 の加工痕を観察すると、加工表面には CeO_2 の熔融組織らしきものが観測された。青色への変色は、3 価の酸化セリウム(Ce_2O_3)に変化したことを示唆している。

Ce_2O_3 への還元反応は、 $1500\ \text{°C}$ 近傍での高温反応であることが知られている。よって、開発した集光ソーラーシミュレータによって、 $1500\ \text{°C}$ 程度の高温を得られることが示された。

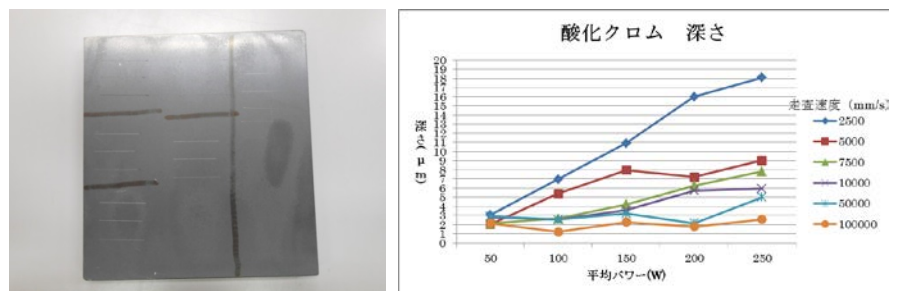


図 1 (a) 作製した吸収体（酸化クロム）の写真、(b) 酸化クロムにおける平均パワー及び走査速度を変えた時の加工深さの変化

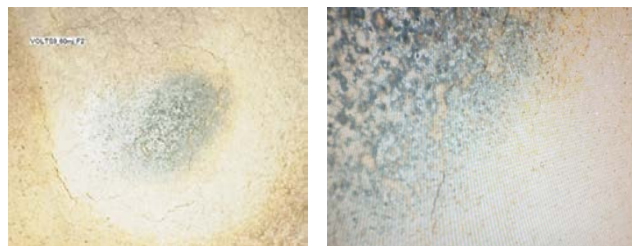


図 2 ソーラーシミュレータ照射後の CeO_2 の加工痕