

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630439

研究課題名(和文) レーザープラズマ風洞を用いた革新的アルミナ還元技術

研究課題名(英文) Innovative Alumina Reduction Technology Using a Laser Plasma Wind Tunnel

研究代表者

小紫 公也 (KOMURASAKI, Kimiya)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：90242825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：固形アルミナ(円柱ロッド)表面に直接レーザー光を集光し、4400 K(乖離温度)以上に加熱することを試みた。アルゴン1気圧の雰囲気中でアブレーションガスの分光計測を行うと、多くのアルミニウム原子が発光していることが確認され、レーザーアブレーションで還元剤なしにアルミを還元することに成功した。アルミ原子の発光はレーザーパワーとともに強くなり、1 kW出力の場合に比べて、1.5 kWで5倍、2.0 kWで9.4倍の発光が観測された。

研究成果の概要(英文)：Laser power was irradiated directly on an alumina rod and heated surface of alumina to the temperature required for dissociation, over 4400 K. Ar gas was supplied into the chamber. At the ambient pressure of 1.0 atm, ablation plume ejected with strong emission. By the emission spectroscopy, the line spectra of atomic Al I were detected from ablation plume and alumina was successfully reduced using laser without reducing agents. At the laser power was from 1.0-2.0 kW, the high emission intensity of Al I was observed in the ablation plume. 1.5 kW laser reduced 5.0 times and 2.0 kW reduced 9.4 times as much alumina as 1.0 kW.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：エネルギー レーザー 金属還元 アブレーション 放電

1. 研究開始当初の背景

アルミニウムを用いたエネルギーサイクルは、太陽光や風力などの自然エネルギーから得られた電力を、電力の余剰のある時にアルミナ(酸化アルミニウム)を還元してアルミニウムという化学ポテンシャルの高い形態で貯蔵し、電力不足の時に燃焼させて発電するというものである。このサイクルにおいて最も重要かつ技術的に難しい問題がアルミナの還元技術である。現在、工業的に行われているアルミナの還元法はホール・エルー法と呼ばれ、炭素電極を用いて電気分解をすることによりアルミニウムを精錬している。しかしながらこの方法ではエネルギー効率の面だけでなく、炭素電極は還元剤としても働いているため、膨大な量の二酸化炭素や一酸化炭素を発生するため、地球温暖化防止の観点からエネルギーサイクルには全く適さない。

本研究で取り組む新しいアルミナの還元方法は、世界的にみても申請者らの独創的な研究であるレーザープラズマ風洞という宇宙技術を応用したものをを用いている。連続発振のレーザーを、アルミナ粉末を混合した気流に集光させて高密度のレーザープラズマを生成する。アルミナが熱解離によりアルミニウムと酸素に解離した後、超音速ノズルによってアルミニウムと酸素は、再結合反応する余裕もなく、いわゆる凍結流の過程で常温近くまで冷却される。

平成7年度に通産省資源エネルギー庁委託調査で、アルミニウムを用いたエネルギーサイクルの可能性についての調査報告があるが、その最も困難な還元技術についてエネルギーサイクルという観点から学術的研究が行われた例はない。本研究の特色は、アルミナ還元を従来の電気化学的手法でなく、レーザープラズマと超音速気流から応用したもので他に例はない。アルミニウムの燃焼については、他の研究機関が研究を開始しており、このサイクルが実証できれば、再生可能エネルギーを安定かつ補完する有力な大規模蓄電技術となるコア技術と考えられる。

2. 研究の目的

地球資源として豊富に存在し、石油・石炭に匹敵するエネルギー貯蔵密度を持つアルミニウムを用いたエネルギーサイクルは、電力量が不安定な再生可能エネルギーを安定化かつ補完するのに有力な大規模蓄電技術として考えている。このサイクルを実現する上で、最も困難かつ根幹となるアルミナの還元技術は、従来のアルミニウム精錬における手法とは全く異なった先進のプラズマ・レーザー技術と宇宙技術を応用したもので、効率的かつ炭素フリーの技術であり、ここではそ

の還元の効率向上を目指した学術的研究を行う。

3. 研究の方法

無電極で 10,000 K 以上の温度を容易に得ることが出来る「レーザープラズマ風洞」という技術をアルミ還元の熱源として用いた。連続発振する 2kW 級 TEA 炭酸ガスレーザーから射出されるレーザー光を固体酸化アルミニウムに集光して、アルミナの乖離に必要な 4400 K 以上に加熱した後、超音速ノズルによって加速すると、アルミニウムと酸素はいわゆる熱化学的に凍結した状態で常温以下まで冷却され、反応性が極端に下がったアルミニウム原子と酸素分子に分離して回収できる。

アルミナの微粒子をアルゴン気流に混合してレーザー支持プラズマ(アルゴンプラズマ)中で加熱する先行研究(図1)では、混合したアルミナ量に対して、得られるアルミの収量が5%程度と期待した値よりも少なかった。そこで本研究では熱乖離によるアルミニウム原子の収量を飛躍的に向上させる方法について、研究期間中に様々なアプローチを試みた。

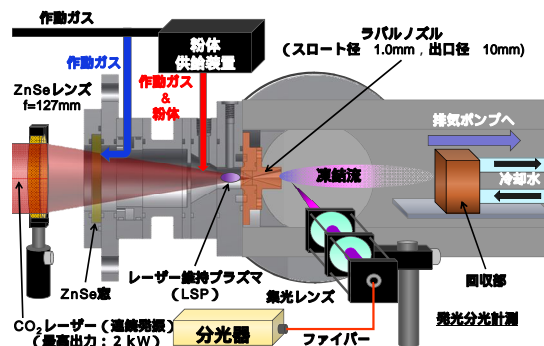


図1 アルミナ微粒子をアルゴン気流に混合してレーザー支持プラズマ中で加熱する先行研究

4. 研究成果

(1) まずは固形アルミナ(円柱ロッド)表面にレーザー光を集光し、生じるレーザーアブレーションによりアルミ収量のアップを試みた。実験系を図2に示す。

しかし真空中では図3に見られるように、アルミナ蒸気ジェットを発生させるだけで、アルミニウムの乖離にはいたっていないことを明らかにした。

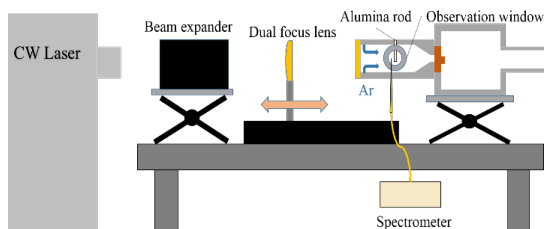


図2 実験装置

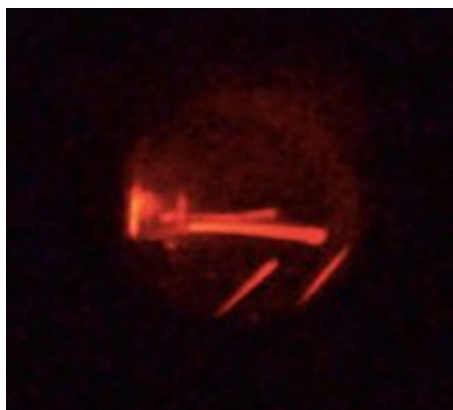


図3 真空中でのアブレーションプラズマ

(2) そこでこのアブレーション気流をレーザー支持プラズマで再加熱する2段加熱法を試したが、アブレーション気流の動圧によりレーザー支持プラズマが吹き消えてしまい、安定な2段加熱を行うことができなかった。

(3) 然しながら、アルゴン雰囲気中でアブレーションガスの分光計測をすると、非常に明るいアブレーションプラズマが観測された。その写真を図4に示す。図3に比べて、はるかに強い発光を有するプラズマが見取れる。



図4 アルゴン雰囲気中(1気圧)でのアブレーションプラズマ

分光計測を行うと、多くのアルミニウム原子が発光していることが確認され、2段加熱を行わなくても乖離が効率的に行われていることが示唆された。図5に計測されたスペクトル分布を示す。アルミ原子の発光はレー

ザーパワーとともに強くなり、1 kW 出力の場合に比べて、1.5 kW で 5 倍、2.0 kW で 9.4 倍の発光が観測された。

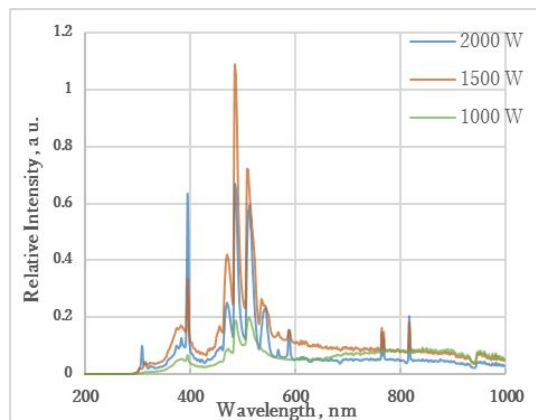


図5 アルゴン雰囲気中でのアブレーションプラズマ発光スペクトル

アルゴン雰囲気がアルミナのアブレーションの蒸気圧および沸点を高めたか、あるいは励起されたアルゴン原子との衝突により気流中で乖離反応が進んだのではないかと推測することができる。

アルミニウム収量の定量的な測定、および精錬されたアルミの回収方法の改良・確立は今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Soichiro SANO, Ryota SOGA, Maximillian Frank, Kimiya KOMURASAKI, Hiroyuki KOIZUMI, and Tsuruo KOBAYASHI, Alumina Reduction by Coupling Laser Ablation and Laser Sustained Plasma, Frontier of Applied Plasma Technology, 査読有, Vol.9 (2016), 49-54.

[学会発表](計4件)

定常レーザーによる固体アルミナの直接還元、田中聖也、佐野宗一郎、曾我遼太、小紫公也、アルミエネルギーサイクル研究会、2017年1月17日、日本エクスクロン(東京・文京区)

Soichiro SANO, Ryota SOGA, Maximillian Frank, Kimiya KOMURASAKI, Hiroyuki KOIZUMI, and Tsuruo KOBAYASHI, Alumina Reduction by Laser Ablation and Laser Plasma, International Workshop on Applied Plasma Science, March 7-9, 2016, Bangkok (Thailand).

曾我遼太、小紫公也、レーザー維持プラズマによるアルミナアブレーションガス

の還元実験、アルミエネルギーサイクル研究会、2016年1月28日、東京大学(東京・文京区)

佐野宗一郎、小紫公也、CW レーザーによるアルミナのアブレーション実験、アルミエネルギーサイクル研究会、2016年1月28日、東京大学(東京・文京区)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.al.t.u-tokyo.ac.jp/cw/index.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

小紫 公也 (KOMURASAKI, Kimiya)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：90242825