

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：34310

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20418

研究課題名（和文）レーザーアルミナ還元における熔融金属へのアルミニウム溶解回収手法の確立

研究課題名（英文）Aluminum recovery from laser ablated alumina using molten metal

研究代表者

田中 聖也 (TANAKA, Seiya)

同志社大学・研究開発推進機構・助教

研究者番号：40962048

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：アルミナ焼結体にてレーザーアブレーションを引き起こしアルミニウム原子を生成し、それを熔融金属中に溶かし込むことで、アルミニウムの再酸化を防止しアルミニウムを安定的に回収する実験を行った。光学系を新規に構築し、ブルーム温度をモニタリングしながら100W級のレーザーでアブレーションを引き起こすことに成功した。アブレーションブルーム下流部にコイルヒーターで溶かした熔融Cuを設置することで、熔融Cuにブルームを衝突させた。冷却後にCuサンプルをXRD分析にて解析したところ、CuAl系の金属混合物や複合酸化物が確認され、アルミニウム再参加の防止に一部成功したことが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本アルミニウム製錬手法は従来手法にて消費していたカーボンを消費しないものである。よって消耗品ゼロである本手法は月面などの宇宙環境下においても利用可能であり、月資源からの金属・酸素生成の実現に寄与する。対し本研究は、生成したアルミニウムの安定的回収に資するものであり、将来の宇宙開発への貢献が期待される。また熔融金属中での金属酸素原子の挙動解明は材料科学分野への理学的貢献も果たす。

研究成果の概要（英文）：An experimental study of aluminum dissolution into molten metal was conducted for achievement of stable aluminum recovery in laser alumina reduction method. The laser ablation generates aluminum atoms from a sintered alumina rod and produced aluminum dissolved in molten metal. A novel optical system was developed, enabling successful ablation using a 100W class laser while monitoring the plume temperature. Downstream of the ablation plume, molten Cu, melted by a coil heater, was introduced and collided with the plume. XRD analysis of the cooled Cu sample revealed the presence of CuAl-based metal mixtures and complex oxides, indicating partial success in preventing aluminum reoxidation.

研究分野：反応化学

キーワード：月資源利用 レーザーアブレーション 金属製錬 プラズマ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年宇宙環境利用の議論が進み、月面基地建设など長期有人拠点の建設が各国研究機関にて計画されている。しかし、そのために必要となる大量の建築資材および生命活動のための酸素を地球から輸送することがコストおよび時間的に現実的でない。そこで宇宙資源のその場利用が提案されている。月面であれば月レゴリスと呼ばれる砂礫が月面を覆っており、これらは金属酸化物で構成されている。よってこの金属酸化物を現地にて還元することで、大量の金属を獲得可能である。中でもアルミニウムは地球でも広く用いられ、宇宙環境においても汎用性の高い金属の一つであり、

そこで月面など宇宙環境下においても利用可能なアルミナ還元手法の確立を目指し、レーザー還元の研究を行ってきた。レーザーによりアルミナを沸点以上に加熱し、アルミニウム原子と酸素原子に分離、非平衡的に冷却することで固体のアルミニウムを生成するという手法である。先行研究において、レーザー照射により生じたアブレーションルーム中に発光分光解析からアルミニウム原子の存在が確認され、アルミナの還元が実証されていた。アブレーションルームの温度は 4100 K と測定され、アルミニウムに解離した割合である還元率は 32% と評価された。しかし、冷却過程について Cu の回収板にルームを衝突させることでアルミニウム回収を試みたが、アルミニウムと酸素の再結合が生じるため、アルミニウムの回収率が低いという問題点があった。主な回収物は再結合により生じた Al_2O_3 および酸素欠陥型アルミナ Al_2O_{3-x} であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、アルミニウムと酸素の再結合防止によるアルミニウム回収率の向上である。そこで本研究においては、アルミニウム回収系に溶融金属を用いた。アブレーションルームを溶融金属に吹込み、アルミニウム原子が溶融金属中に溶け込みながら酸素は溶融金属と反応することで、アルミニウムと酸素の再結合を防止することを狙った。

3. 研究の方法

Figure 1 に実験系の写真を示す。チャンパー内にコイルヒーターを設置し、そこに金属粉末を入れヒーターによる加熱により溶融金属とした。金属種は先行研究において回収板材料として用いられた例のある Cu とし、その融点はおよそ 1350 K である。金属温度は 1500 K となるようヒーターへの投入電力を調整した。金属温度は測定した発光スペクトルに対する黒体放射フィッティングにより測定した。チャンパー内はロータリーポンプにより真空引きした後、アルゴンを 10 slm にて導入し、アルゴン雰囲気 1 atm となるよう調整した。

アブレーション対象である 3 のアルミナ焼結体はチャンパー内につるす形で設置し、その先端に 100 W 級 CO_2 レーザーをレンズにより集光することでアブレーションを引き起こした。レーザー照射時間は 1 s である。アブレーション後、凝固した金属をコイルヒーターより取り出し、XRD 分析を行うことで材料組成の評価を行った。

4. 研究成果

アブレーションを行う前にコイルヒーターによる加熱で Cu が溶解するか検証を行った。Figure 2 に加熱時のコイルヒーターの写真を示す。金属温度 1500 K において、投入した Cu 粉末は完全に溶解していたことが、実験後の Cu 凝固物より明らかになった。そこでアブレーションルーム衝突実験についても 1500 K で行った。

アブレーションルームを噴出させ、溶融金属に衝突させた。ルーム温度は 3400 K 程度であり、これは本研究のレーザー強度が先行研究の 10 分の 1 程度であり、かつ予加熱を行っていないことによるものであると考えられる。ルームを衝突させた凝固金属の XRD 分析を行ったところ、再結合により再結合により生成された Al_2O_3 に加え、溶融金属との結合による $CuAl$ 、 $CuAl_2$ 、

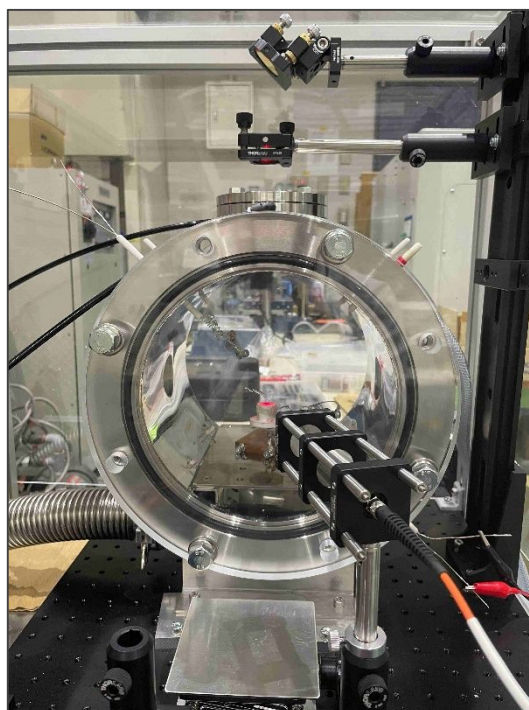


Fig. 1 実験系写真. チャンパー内にコイルヒーターおよびアルミナを設置し、チャンパー上部からレーザーを照射した。

$\text{AlCuO}_{2.3}$ の存在が確認された。これら化合物と析出 Al は Al 含有溶融金属の非平衡冷却による Cu-Al (-0)系での共晶組織と考えられ、まさに溶融金属を用いた回収系での特徴的な Al 析出形態であると考えられる。



Fig. 2 コイルヒーター加熱により作製された溶融 Cu の写真.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中聖也, 鈴木祐太, 後藤琢也, 小紫公也 |
| 2. 発表標題 月レゴリスからの金属・酸素生成技術—熔融塩電解およびレーザーアブレーション— |
| 3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Seiya Tanaka |
| 2. 発表標題 Extraction of Metals and Oxygen from Regolith Using Laser and Electrolysis |
| 3. 学会等名 ISAS Planetary Exploration Workshop (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中聖也, 鈴木祐太, 後藤琢也 |
| 2. 発表標題 レゴリスからの金属・酸素生成手法の開発—電解還元およびレーザー還元— |
| 3. 学会等名 第8回重力天体（月火星）着陸探査シンポジウム |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Seiya Tanaka, Shin Yamada, Kimiya Komurasaki |
| 2. 発表標題 Aluminum Collection from Laser-Ablated Alumina Using Recovery Tube |
| 3. 学会等名 The 31st Annual Meeting of IAPS (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|---------|----------------------|--|--|--|
| 米国 | Princeton University | | | |