

論文の内容の要旨

論文題目 Study on Alumina Reduction by Laser Ablation (レーザーアブレーションによるアルミナ還元に関する研究)

氏名 田中 聖也

近年、月面有人基地建設が計画され、その場資源利用に基づいた物資輸送コスト削減が提案されている。月資源の中でもアルミナ還元により獲得されるアルミニウムはその材料特性から月面での有用性が高い。しかし従来のアルミナ還元手法である炭素電極を用いた熔融塩電解では地球からの輸送が必要となる炭素を還元剤として膨大に消費してしまう。それに対し、レーザーアブレーションによるアルミナ還元は、レーザーをアルミナに直接照射し、蒸発、熱解離させる手法であり、還元剤のような消耗品を用いない還元手法であるため、その場資源利用に基づいた月面でのアルミニウム及び酸素獲得に適した手法である。

先行研究においては、パルスレーザーを用いたレーザーアブレーションによるアルミナ還元は実証されていたが、アルミニウム回収速度が低いという問題点を有していた。また連続発振レーザーを用いた酸化マグネシウムの還元は実証され回収速度も高かったが、より難還元であるアルミナの還元に関しては未実証である。また回収原理の理論的考察を踏まえた還元物質の回収率向上は先行研究において未検討であった。そこで本研究では連続発振レーザーを用いたレーザーアブレーション法によるアルミナ還元について、アルミナ解離の実証、熱解離過程での実験パラメータ依存性検証を通じたアルミニウムへの解離量最大化、およびアルミニウム回収原理解明による高回収率実現を目的としている。

第1章は序論であり、月面でのアルミニウム獲得の有用性を述べるとともに、アルミナ還元手法について先行研究を参照して概説している。先行研究のアルミナ還元手法の有する種々の問題点を解決する手法として、連続発振レーザーによるアブレーション還元法を提案し、本手法確立における課題を挙げながら研究目的を述べている。

第2章では、発光分光法を用いた生成アルミニウム原子の観測を行い、レーザーアブレーションによるアルミナ解離を実証した。またアブレーション速度およびプラズマ温度測定によってアルミニウムへの解離量のレーザー照射条件への依存性を定量的に明らかにした。これにより解離量を最大化するレーザー照射条件を導出している。

第3章では、レーザーアブレーション後にアルミナロッド表面上に生じたアルミニウム粒の電子顕微鏡で観察して、アルミニウム粒生成が不均一核生成理論に則った酸素欠陥型アルミナからの不純物析出によるものであることを明らかにした。その生成

原理に基づいて連続発振レーザーアブレーション還元法でのアルミニウム回収系に要求される表面温度条件などを導出している。またアブレーション終了直後のアルミナロッド表面温度分布の時間変化を測定し、そのアルミナロッド表面温度および冷却速度を、アルミニウム回収系の冷却条件に適用可能であると述べている。

第4章では、第3章で得られた温度条件を満たすアルミニウム回収系を設計し、回収板の素材として高融点物質であるアルミナ、タンタル、タングステンを用いて試験を行った結果、温度 1500 K のタンタル製回収板にてアルミニウム回収を実証した。その背景として、回収板表面でのアルミニウムの原子拡散や化学反応の影響を分析し、回収板温度条件と併せ、アルミニウム回収板に要求される条件を導出している。

第5章では、アルミナ解離及びアルミニウム回収における最適条件を併用したアルミナ還元実験系を設計、連続発振レーザーアブレーション還元法におけるエネルギー原単位およびアルミニウム回収速度を測定し、評価している。その結果、エネルギー原単位は熔融塩電解に劣ったものの、パルスレーザーアブレーション還元法と比較してアルミニウム回収速度が飛躍的に向上したことを明らかにしている。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。以上要するに本論文は、月資源利用を見据えた還元剤不使用のアルミナ還元手法として連続発振レーザーを用いたレーザーアブレーションによるアルミナ還元手法を提案し、解離量最大化を含めたアルミナ解離実証および回収原理解明によるアルミニウム回収達成を通して高アルミニウム回収速度を有すレーザーアブレーション還元手法を確立したものである。