

審査の結果の要旨

氏名 田中 聖也

修士（工学）田中 聖也 提出の論文は、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）と題し、6章から構成されている。

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建設物資などの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法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、月資源から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、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に対する依存性検証に基づい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、本手法確立に必要な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により、レーザーアブレーションによるアルミナ解離を実証している。またアブレーション速度およびアブレーション気体の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、その解離量を最大化する条件を導出している。

第3章では、円柱形に成形されたアルミナロッドに炭酸ガスレーザーを照射し、レーザーアブレーション後にアルミナロッドの表面上に生じたアルミニウム粒を電子顕微鏡で観察して、アルミニウム粒の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、その生成原理に基づいてアルミニウム析出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の温度分布時間変化を測定し、その温度範囲および冷却速度を、アルミニウム回収板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章で得られた冷却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、タンタル製回収板にてアルミニウム回収を実証している。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、アルミナ解離量最大条件、及びアルミニウム回収系最適条件を考慮したアルミナ還元実験系を設計し、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て、先行研究のアルミナ還元手法と比較し評価している。その結果、エネルギー原単位は熔融塩電解法に劣ったものの、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は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、その場資源利用に基づいた月資源利用を可能とする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、アルミナ解離量最大化、および回収原理解明に基づいて高アルミニウム回収速度を達成したものであり、今後の宇宙開発における有用性も高く、航空宇宙工学、材料工学に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。