

審査の結果の要旨

氏名 鄭 海燕

金属チタンは優れた特性かつ豊富な資源を有しているが、現行のチタンの量産方法であるクロール法は生産性が極めて低く、製造コストが高い。このため、工業生産が始まってから半世紀以上も経った現在でも、未だチタンはレアメタルの域にとどまっている。本論文は、選択塩化法を利用した高効率かつ環境調和型の新規チタン製造プロセスの開発を行ったものである。本論文は以下の6章から構成される。

第1章では、チタンの発見から工業生産までの歴史、これまでに行われてきたチタンの製造プロセスの研究やその特徴について述べ、各種プロセスの問題点などを解析している。次いで、選択塩化法を利用したチタンの新製造プロセスの原理と特長について論じ、本研究の位置付けと目的を明確化している。

第2章では、選択塩化によるチタン鉱石からの脱鉄、カルシウムによるチタン酸化物の還元ならびにチタンのスクラップを利用した塩化物廃棄物からの塩素回収について、熱力学的な検討を行っている。この結果、反応系内の酸素や塩素の化学ポテンシャルの制御により、チタン鉱石に含まれる鉄のみを選択的に塩化して揮発除去できることに明らかにしている。また、脱鉄処理したチタン酸化物を金属カルシウムの蒸気により還元し、低酸素濃度の金属チタンを製造できることも明らかにしている。さらに、金属チタンのスクラップを用いて塩化物廃棄物中の塩素を抽出し、チタン原料 (TiCl_4) として分離回収する反応条件を解析している。

第3章では、第2章の熱力学的な考察結果を踏まえ、金属塩化物を塩素源とした選択塩化法を用い、低品位のチタン鉱石中の鉄などの不純物除去に関する基礎的な実験を行っている。1023 ~ 1293 K 窒素と水との混合ガス雰囲気下で低品位のチタン鉱石と塩化カルシウム (CaCl_2) を反応させた結果、チタン鉱石中の不純物の鉄を選択的に除去できることを実証

している。また、反応温度を上げると選択塩化による脱鉄の効率が增大することも明らかにしている。さらに、実験結果をもとに、選択塩化による脱鉄メカニズムを熱力学的に解析した結果、チタン鉱石からの脱鉄反応は HCl ガスおよび CaTiO_3 の生成反応によって進行することを見出している。

第 4 章では、チタンスクラップを利用した塩化物廃棄物からの塩素回収とチタン原料 (TiCl_4) 製造について基礎的な実験を行っている。900 ~ 1200 K で塩化鉄 (FeCl_2) と金属チタンとを反応させたところ、金属鉄と TiCl_4 が得られ、チタンを TiCl_4 として分離回収できることを実証している。チタンの反応率は反応温度の上昇に伴って高くなり、1100 K では 90% に達した。また、チタンスクラップの原料として、チタン粉末を利用すると、大きな表面積のために反応がより効率良く進行することも明らかにしている。

第 5 章では、還元剤として金属カルシウム蒸気を用い、チタン鉱石を還元して金属チタンを製造する実験を行っている。本研究で新たに開発したプリフォーム還元法により、天然のチタン鉱石から直接 99% 以上の均一な粉末状の金属チタンを製造できることに成功している。また、チタン鉱石を焼成してプリフォームを製造する際に CaCl_2 をフラックスとして用いれば、選択塩化反応により鉱石中の不純物の鉄を除去でき、さらに、プリフォームを製造する際に添加物として炭素を加えた場合、脱鉄反応がさらに効率良く進行することも明らかにしている。

第 6 章では、本研究で得られた成果を総括している。

以上要するに、本論文は、選択塩化法を利用してチタン鉱石あるいはチタン富化鉱から鉄などの不純物を除去し、直接還元用のチタン酸化物原料が製造できることを熱力学的な考察および基礎的な実験により明らかにしている。また、脱鉄したチタン酸化物のプリフォームを金属カルシウムの蒸気で還元することで、均一なチタン粉末を効率良く製造できることを実証し、従来の手法とは全く異なるタイプの高速、半連続、環境調和型の新しいチタン製造プロセスを開発することに成功している。これらの一連の研究成果から得られた知見の一部は、チタン製錬の研究分野の発展に大きく寄与するものである。

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。