

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)

省エネルギー社会に向けた
革新的軽量材料の創製

課題名

軽量・超耐食性社会のためのチタンの
新連続製造プロセス

終了報告書

研究開発期間 平成23年3月～平成31年3月

研究開発代表者: 宇田 哲也
京都大学工学研究科 教授

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：京都大学 教授 宇田 哲也

研究開発課題名：軽量・超耐食性社会のためのチタンの新連続製造プロセス

1.研究開発の目的

金属チタン(Ti)は、超々ジュラルミンを上回る優れた比強度と極めて優れた耐食性を持つ。これらの性質を積極的に利用すれば、軽量でエネルギー効率の高い優れた輸送機器（自動車、電車、船舶など）や表面の防食処理が不要な海洋構造物のメンテナンスフリーの理想的な材料として、低炭素化社会を構築する大きな推進材料となる。このような利点があるにもかかわらず、金属 Ti の年間世界生産量は 20 万トン程度であり、例えば、アルミニウムの約 200 分の1以下にすぎない。その理由の1つは、Ti は資源が豊富であるにもかかわらず、現行の製造方法（クロール法）が、還元反応が非常に大きな発熱を伴うため、また、残留物、反応副生成物の除去、室温までの冷却に時間を必要とし約10日のバッチプロセスであることにある。そこで、本研究では還元容器底部に配置したビスマス(Bi)にTiを還元し、Bi-Ti液体合金を生成し、この液体合金を連続的に取り出し、偏析、高温真空蒸留、PDR(Plasma Droplet Refining)、ならびに EB(エレクトロビーム)溶解法と組み合わせることにより、チタンの連続製造方法の確立を目指した。

2.研究開発の概要

(1)内容:

低融点の Bi-Ti 合金を介して、 $TiCl_4$ から Mg 還元によって、インゴット形状のチタンが直接かつ高速に製造できる可能性を示した。また、球状粉末の製造などにも応用が考えられる。

(2)成果:

Bi 合金へ連続還元し、偏析濃化する工程を確立し、偏析後の工程として、次の 3 つのプロセスを提案できた。

(プロセス 1) 京都大学が主導し、Bi の蒸留だけで、純度 約 98 mol % の粉状チタンを得る方法を確立した。プロセスはシンプルであるが、蒸留に時間がかかる点が欠点である。

(プロセス 2) 京都大学が主導し、Bi 合金の蒸留をおおよそ 90 mol % 程度まで進め、PDR 処理で球状化粉末製造時に純度を向上させる方法を確立した。この方法では、3D プリンター用の高付加価値のチタンを製造可能である。

(プロセス 3) 京都大学と(株)IHIの共同で、蒸留をおおよそ 70 mol % 程度まで進めた合金に対し、これにEB溶解でインゴット製造する方法を提案した。この方法では、1～2日程度でチタン原料である $TiCl_4$ からチタンインゴットを得られる可能性が示唆され、非常に有望なプロセスであると考えられる。

また、プラントエンジニアリング的展開としては、(株)IHI が主導し、偏析工程の実証試験機として偏析場を傾動・回転可能な偏析装置を設計し、試験により連続的な偏析工程の成立を実証した。還元工程についても産業応用可能な装置構成として溶解炉、ポンプ、反応場からなる試験装置を設計し、Bi 溶湯へのガス導入プロセスの成立を実証した。

(3)今後の展開:

チタンを連続的に短時間で得る手法を実証した。また、実用化に当たって、連続的な処理を可能とするプロセス工程の提案を行った。荒い近似を含むが、インゴットの製造のためのコスト概算では、従来法よりも大幅なコスト削減の可能性が示唆された。このような知見を生かし、今後はより大きな規模でのパイロット試験などの実行が望まれる。

○Report summary (English)

Principal investigator: Tetsuya Uda, Professor, Materials Science and Eng. in Kyoto University

R & D title: A new continuous manufacturing process for titanium for a lightweight and ultra-corrosion-resistant society

1. Purpose of R & D

Metallic titanium (Ti) has superior specific strength and excellent corrosion resistance. If these properties are actively utilized, they can be used as light structural materials for transportation, and for ideal maintenance-free materials for marine structures that do not require surface anti-corrosion treatment. Such utilizations make it possible to establish a low-carbon society. Despite these advantages, the annual global production of metallic Ti is only around 200,000 tons. One of the reasons for this is that although Ti is abundant in resources, the current production method (Kroll process) is a batch process that takes about 10 days because the reduction reaction involves very high exothermic reaction and also requires time for removal of reaction byproducts and cooling Ti to room temperature. In this study, we reduce Ti in molten bismuth (Bi) at the bottom of the reduction vessel to produce a Bi-Ti liquid alloy. Then, segregation, vacuum distillation at high temperature, PDR (Plasma Droplet Refining) or EB (electro-beam irradiation) melting are utilized to establish continuous titanium production process.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

Using the Bi-Ti liquid alloy, the possibility of direct and fast production of ingot-shaped titanium by Mg reduction from TiCl_4 was demonstrated. The process can also be applied to the production of spherical powder.

(2) Achievements:

Three processes are developed after segregation process.

Process 1: A method to obtain powdered titanium with a purity of about 98 mol % was established, where only the distillation of Bi was used.

Process 2: The distillation of Bi alloy was proceeded to about 90 mol %, and PDR are carried out to obtain spherical powder.

Process 3: After distilled to about 70 mol %, a method for producing ingots by EB melting was combined. Experimental results suggest the possibility of obtaining a titanium ingot from TiCl_4 in 1-2 days.

And, researches on plant engineering for new process is also carried out.

(3) Future developments:

A continuous titanium production process in a shorter period of time than the current method was demonstrated. The possibility of significant cost reduction over the conventional method was suggested. It is desirable to conduct pilot tests on a larger scale in the future.