

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	SHARMA Bhupendra (しゃるま ぶふぺんどら)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1134 号
○授与年月日	2016 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Development of an Innovative Process to Fabricate Titanium Alloys Using Titanium Hydride (水素化チタンを利用したチタン合金の新創製法の開発)
○審査委員	(主査) 飴山 恵 (立命館大学理工学部教授) 上野 明 (立命館大学理工学部教授) 伊藤 隆基 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

チタン、ならびにその合金は、医療福祉から航空宇宙分野まで幅広い用途で利用されている材料である。軽量かつ高強度で耐食性にも優れる等、物理的・化学的に優れた構造用材料であるが、原料コストや加工コストが高いことから適用範囲が限定されている。そこで、粉末冶金法を適用し、最終形状に近い部材を作製してコスト低減につなげ、さらに、粉末冶金法特有の手法であるメカニカルアロイングにより固相反応を利用した合金化の試みがなされている。しかしながら、金属粉末のメカニカルアロイングでは、原料粉末の凝着現象が実用化の大きな壁となっている。

本研究では、チタン、ならびにチタン合金の粉末冶金法の適用に関し、粉末凝着を防ぎ、効率よく目的の材料を創製可能とするプロセスの開発を検討した。その結果、原料粉末として水素化チタンを利用し、焼結工程を最適化することで、より高効率なチタン、ならびにチタン合金の作製が可能であることを明らかとした。

本論文は、全 8 章から構成されている。緒言である第 1 章では研究背景と課題、関連研究について記述した。第 2 章では実験方法、試料作製プロセス、各種評価手法について詳細に記述した。第 3 章では水素化チタンを利用し純チタンを創製するプロセスについて、脱水素過程を制御するという観点から検討した結果について記述した。第 4 章以降、水素

化チタンを利用した粉末冶金プロセスについて検討している。第 4 章では Ti-Nb<sub>2</sub> 元系合金の創製プロセス、第 5 章では Ti-Nb-Sn<sub>3</sub> 元系合金の創製プロセス、第 6 章では Ti-Nb 2 元系合金の微視的構造と機械的性質の関係、第 7 章では Ti-Nb-Zr<sub>3</sub> 元系チタン合金の微視的構造と機械的性質の関係について論じている。第 8 章では、全体の総括と今後の展望について記述した。

#### < 論文審査の結果の要旨 >

チタンとその合金には、優れた機械的特性や化学的安定性から幅広い応用展開が期待されている。しかし、そのような優れた性質にもかかわらず、原料や加工にかかるコスト等から応用に制約がある。これに対し、粉末冶金法はニヤネットシェープを付与できるため低コストであり、チタンやチタン合金への応用展開が進められている。しかしながら、粉末製造用の合金溶解が必要であるため、合金溶解を必要としない効率のよい製造プロセスの開発が必要とされている。

本論文では、このような背景のもとで、低コストで入手しやすく、しかも安定な水素化チタン粉末を利用した、新たなチタン・チタン合金創製プロセスの開発を目的とし、以下の研究結果を得た。

(1) 水素化チタン粉末の有効性の検証。水素化チタンを原材料として利用可能かどうかについて検証した。純チタン、Ti-40mass%Nb 合金、Ti-25mass%Nb-11mass%Sn 合金のメカニカルアロイング法と放電プラズマ焼結による作製を試み、水素化チタン粉末の利用により粉末の凝集が抑制でき、高効率なプロセスであることを実証した。その後の焼結によって、 $\beta$  相の微細結晶粒の焼結体が作製できることを明らかとした。しかしながら、水素の残留の影響によると推測される延性の低下が認められ、単純な脱水素プロセスでは十分な力学特性が得られないことを示した。

(2) 「2-step 焼結法」の提案。上記の、単純な水素化チタンの脱水素プロセスを利用した方法に代わる、脱水素過程での温度・保持時間を制御した焼結密度の向上と同時に組織制御ができる新たなプロセスとして「2-step 焼結法」を提案した。この方法を Ti-40mass%Nb、Ti-25mass%Nb-25mass%Zr 合金の作製に適用した結果、高密度な  $\beta$  単相焼結体を作製することができることを示した。いずれのチタン合金ともに溶解法と同等な高強度と高延性を示し、「2-step 焼結法」が有効な方法であることを実証した。 $\beta$  単相チタン合金は低ヤング率を有することから生体材料として有望視されているが、本プロセスにより作製された  $\beta$  単相合金も溶製法と同等のヤング率を示した。本研究成果は、今後、展開が期待される 3D 積層造形法にも応用できる技術であり、優れた成果である。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果をふまえ、本論文は博士学位を授与するにふさわしいものと判断した。

＜試験または学力確認の結果の要旨＞

本論文の主査は、学位申請者が本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の公聴会は、2016年7月26日（火）9時30分～10時40分イーストウィング4階機械システム系第1演習室において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 SHARMA Bhupendra に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、材料中の水素と機械的性質、合金の目標組成と実際の組成の乖離、微細粒割合と力学特性、などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学位申請者は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。