

研究部会紹介

チタンの準安定相・析出相研究部会

Research sectional meeting on metastable and precipitation phases of titanium and its alloys

成島 尚之*・小林 千悟**・上田 正人***
Takayuki NARUSHIMA*, Sengo KOBAYASHI** and Masato UEDA***

1. 研究部会発足の背景と目的

チタンおよびチタン合金（以降、チタン）は、高比強度、高耐食性、優れた生体適合性などのユニークな特性を有する軽金属材料である。航空機、熱交換器、自動車、電極材、眼鏡フレームなどの民生品、生体用インプラントなどへ応用され、今後ますますの適用分野拡大と用途開発が期待されている¹⁾。チタンが発現する特性の多くは同素変態の存在、高活性に関連している。同素変態の存在は加工熱処理による材料組織制御を通じた広範な力学特性の達成を可能とする。活性の高さは多彩な合金設計を可能とし、耐食性の向上にも寄与する。一方で、準安定相を含めたチタンの相変態は複雑であり不明な部分も多い。そして、チタンの高活性は還元と高純度化を難しいものとし、製造プロセスコストを押し上げる。

平成26年に軽金属学会研究委員会でチタン研究部会発足のための課題抽出WGが立ち上がり、上述したチタンの課題やチタンのテクノロジー・サイエンスロードマップなどを踏まえ議論を重ねた。その結果、「基礎的であり共同テーマとして適当であること」と「幅広い応用分野に関係していること」から、チタンの準安定相と析出相に焦点を絞ることとし、表記題目の研究部会を立ち上げるに至った。他学協会で行われているチタン関連の研究会、例えば、日本鉄鋼協会チタン自主フォーラム「エネルギー関連構造・機能チタン材料」(平成28年度より「超高耐久性チタン材料の研究(シーズ探索)」)や日本金属学会研究会「チタン製造プロセスと材料機能研究会」との関係も考慮した。

部会の目的は軽金属学会ホームページでも公開されているとおり、「準安定相・析出相が形成される機構解明、微細組織および諸特性との関係に関する実験的研究、準安定相・析出相形成予測に関する計算材料学的研究を行い、準安定相・析出相制御を通しての耐熱性および力学特性に優れた低コストチタン合金の設計と製造プロセス構築の可能性を検討する」と設定した²⁾。

活動期間は平成27年度から平成31年度の4年間とした。

具体的な活動内容は以下の4点である。

- (1) 準安定相・析出相形成と物理的・機械的・化学的特性との関係を明らかにする。
- (2) 低コストチタン合金における準安定相・析出相形成挙

表1 委員構成（敬称略）

氏名	所属	備考
新家 光雄	名城大学、東北大、大阪大、名古屋大	副部会長 幹事
池田 勝彦	関西大学	
木下 和宏	一般社団法人日本チタン協会	
小林 千悟	愛媛大学	
上田 正人	関西大学	
仲井 正昭	近畿大学	
佐原 亮二	物質・材料研究機構	
上杉 徳照	大阪府立大学	
御手洗 容子	物質・材料研究機構	
成島 尚之	東北大	
逸見 義男	株式会社神戸製鋼所	
高林 宏之	大同特殊鋼株式会社	
山出 善章	新日鐵住金株式会社	

動を把握する。

- (3) 準安定相・析出相を利用した組織制御法を提案する。
- (4) 準安定相・析出相形成予測手法を確立する。

2. 委員の構成

本研究部会の委員構成を表1に示す。構成は学側から9名、日本チタン協会から1名、企業3社、(株)神戸製鋼所、大同特殊鋼(株)、新日鐵住金(株)、から各1名、総勢13名である。学側は実験系の研究者7名に加えて、第一原理計算の専門家、チタンへの適用に実績のある研究者2名にも参画いただいた。研究部会の活動にあたっては、日本チタン協会の協力が不可欠であることから、日本チタン協会 木下企画部部長にも参画をお願いした。参加企業はいずれもチタンメーカーである。自動車や重工関連チタンユーザー企業やスポンジメーカーの本研究部会参加をお願いする次第である。

3. これまでの活動

本研究部会では年3回の研究会を行っている。これまでの2年間の活動内容を以下に示す。なお、特に断りのない限り合金組成はmass%表示である。

3.1 初年度（平成27年度）

初年度の目標は以下のとおりとした。

- (a) チタン合金中の準安定相・析出相形成に及ぼす元素機

* 東北大学工学研究科（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-02） Graduate School of Engineering, Tohoku University (6-6-02 Aza Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi 980-8579)

** 愛媛大学理工学研究科（松山市） Graduate School of Science and Engineering, Ehime University (Matsuyama-shi, Ehime)

*** 関西大学化学生命工学部（吹田市） Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering, Kansai University (Suita-shi, Osaka)

受付日：平成29年5月15日

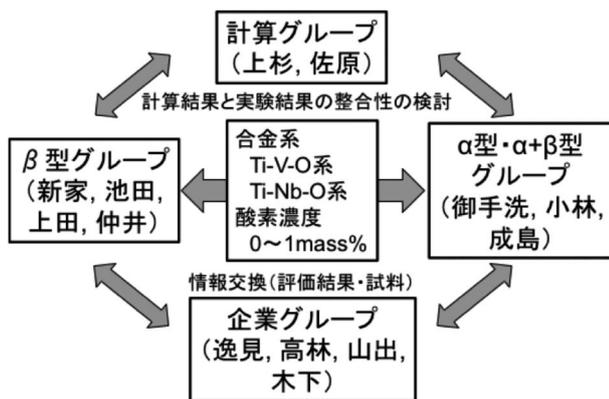


図1 チタン研究部会におけるグループ分け (敬称略)

能に関する研究動向の調査を行い、理解と共通認識を深めるとともに、次年度以降の実施項目の詳細を決定する。

- (b) 準安定相・析出相形成に関する実験的研究と計算材料学的研究の整合性の現状を把握する。

第1回研究会では、部会活動を開始するにあたり、対象とする合金系に関する検討を行った。「低コストチタン合金の設計」との観点から、スポンジチタンの主要な不純物元素である酸素に着目することとなった。酸素の元素機能把握はB級スポンジやスクラップなどの低廉原料の有効利用を可能とすることが期待できる。さらに、 β 相安定化元素としてはチタンの β 相に全率固溶し、それ自身もチタンと同様に大きな酸素溶解度と酸素との高い親和力を有するVおよびNb³⁾を選択した。Ti-V系やTi-Nb系合金では力学特性や準安定相の挙動が比較的良好に知られていること^{4),5)}も選択の理由の一つである。すなわち、本研究部会ではTi-V-O系およびTi-Nb-O系合金を対象とすることを決定した。酸素濃度は1mass%程度をまずは上限とした。

第2回研究会では、池田部会員に「チタン合金の諸特性に及ぼす酸素添加の影響」、上杉部会員に「チタンの計算材料科学に関する研究」に関するレビュー講演をお願いし、実験系および計算系の現状認識を深めた。加えて、研究活動のためのグループ分けを行った(図1)。 β 相安定化元素を幅広く変化させることで、 α 型、near α 型、near β 型および β 型のTi-V-O系およびTi-Nb-O系合金を取り扱うこととした。幅広い合金組成を取り扱うことから共通試料の使用は断念した。

第3回研究会では、各グループから2年目以降の研究計画を報告した。 α 型・ $\alpha+\beta$ 型グループは、Ti-V-O合金系およびTi-Nb-O系合金の組織と力学特性に加えて高温酸化などの化学的特性も評価に含めること、 β 型グループは、Ti-V-O系合金の熱処理とTi-Nb-O系合金の変形挙動から研究を開始すること、計算グループは第一原理計算によるTi-V系およびTi-Nb系合金の α 、 α' 、 β 、 ω 相の相安定性に及ぼす酸素添加の影響の解明を目標とすること、が確認された。

3.2 2年目 (平成28年度)

2年目の目標は以下のとおりとした。

- (a) Ti-V-O系およびTi-Nb-O系合金中の準安定相・析出相形成を把握するとともに、特性との関係解明を試みる。
 (b) 準安定相・析出相形成に及ぼすVおよびNb添加の影響を計算材料学的観点から検討する。

前年同様に3回の研究会を行った。各グループで得られた成果の概要は以下のとおりである。

α 型・ $\alpha+\beta$ 型グループ

- ・ $\alpha+\beta$ 型 (near α 型) Ti-4V-0.6O合金における α' 形成が強度・延性バランスに及ぼす影響を明らかにした。
- ・ $\alpha+\beta$ 型 (near β 型) Ti-10.6V-(0, 0.3, 1.0) O合金における時効に伴う硬さ変化を α'' および α' 相のスピンオーダー分解の観点から説明した。
- ・ α 型Ti-1V-1OおよびTi-1Nb-1O合金の1023K大気酸化に伴う質量変化を測定し、酸素添加が酸化速度に及ぼす影響を明らかにした。

β 型グループ

- ・ β 型Ti-20V-(0, 0.3, 0.7) O合金の熱処理に伴う組織変化を調査し、酸素が熱的 ω 相および非熱的 ω 形成に及ぼす影響を明らかにした。
- ・ β 型Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr合金の熱的 ω 相の安定性に及ぼす酸素添加の効果を3Dアトムプローブ分析により明らかにした。

計算グループ

- ・SQSモデルを用いてTi-X (X=V, Nb, Mo, Al, Zr, Cr, Fe, Co)系の相安定性とヤング率を評価した。
- ・Ti-V系およびTi-N系合金における酸素添加の効果を第一原理計算による相(ω , α'' , α , β)安定性の観点から評価した。

4. 今後の活動

これまでの2年間の活動を踏まえ、3年目の目標を以下のとおり設定した。

- (a) 準安定相・析出相の観点からTi-V-O系およびTi-Nb-O系合金組織制御方法の確立を試みる。
 (b) Ti-V系およびTi-Nb系合金の準安定相・析出相形成に及ぼす酸素添加の影響を計算材料学的観点から検討し、実験結果との整合性を調査する。

3年目は各合金系における組織制御手法を確立するとともに、本研究部会の特徴である実験系と計算系の融合を図り、最終年度のまとめにつなげたいと考えている。特にTi-V-O系およびTi-Nb-O系における ω 相の安定性に及ぼす酸素の効果を実験的および計算材料学的に整合性を持って解明することができれば、学術的・工業的に大きな成果になると思われる。

学側と産側の複数の研究者がオープンな形式で一つの研究テーマに関して議論する場合は、チタンに関しては他学協会でも少ない。成果を積み重ねることで、チタン研究部会の存在をアピールしたいと考えている。今後も、軽金属学会研究委員会でのアドバイスを反映しつつ、日本チタン協会産学連携委員会、日本鉄鋼協会チタン自主フォーラム、日本金属学会チタン研究会と密接な連絡をとりつつ研究を遂行する予定である。

参考文献

- 1) 山出善章, 北河久和, 小池 磨: 軽金属, **67** (2017), 126-135.
- 2) <http://www.jilm.or.jp/society/images/contents/228/ti.pdf>
- 3) 成島尚之: チタン, **61** (2013), 126-131.
- 4) M. Ikeda, S. Komatsu, T. Sugimoto and K. Kamei: J. Japan Inst. Met., **54** (1990), 743-751.
- 5) D. Kuroda, M. Niinomi, M. Morinaga, Y. Kato and T. Yashiro: Mater. Sci. Eng. A, **243** (1998), 244-249.