

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00829

研究課題名(和文) 階層的顕微解析による熱弾性マルテンサイト変態の多様性の理解

研究課題名(英文) Understanding of diversity in thermoelastic martensitic transformation by hierarchical microscopy studies

研究代表者

西田 稔(Nishida, Minoru)

九州大学・総合理工学研究院・特任教授

研究者番号：90183540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,500,000円

研究成果の概要(和文)：Ti-Ni系合金の応力誘起マルテンサイト(M)相は生成条件によって熱誘起M相と異なる内部欠陥を持つことが知られた。Cu-Al-Mn合金単結晶で2段階の応力誘起変態が起こることを見出し、温度-応力状態図を作成した。Ti-Ni系合金の変態誘起転位がこれまで定説とされてきた順変態時ではなく、逆変態時の母相/マルテンサイト界面の後退に伴って生成することを階層的顕微観察によって実験的に示し、この結果を基に機能劣化の生じない合金系の開発指針が得られた。Ni過剰Ti-Ni合金時効材における等温M変態の可視化に成功した。Ti-Pd-Hf合金においてStrain Glass的挙動を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

明らかになった応力誘起M相と熱誘起M相の相違をさらに解析することで、M変態の結晶学の深化が図られる。Cu-Al-Mn合金単結晶の応力-温度状態図は耐震部材等への応用において、設計基準の設定等に重要な情報を与える。変態誘起転位と自己調整構造の関係および前者の生成機構の解明によって、機能劣化の生じないTi-Ni系合金の開発指針が得られた。医療用Ti-Ni超弾性合金の経年劣化が等温R相変態に起因し、その抑制が保管時の温度管理によって可能であることを明らかにした。Ti-Pd-Hf合金におけるStrain Glass的な現象の要因が、これまで提唱されてきたものとは異なる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Stress-induced martensitic phase of Ti-Ni alloys was observed to have different internal defects from thermally induced M phase depending on the formation conditions. Two-step stress-induced transformation of Cu-Al-Mn alloy single crystals was found, and temperature-stress phase diagram was established. The results of hierarchical microscopic observation experimentally showed that transformation induced dislocations in Ti-Ni alloys are generated not during the forward transformation, as has been conventionally assumed, but during the reverse transformation. This result provided guidelines for the development of alloy systems that do not appear functional degradation. Strain glass-like behavior was found in Ti-Pd-Hf alloys.

研究分野：材料組織学

キーワード：熱弾性マルテンサイト変態 形状記憶・超弾性合金 階層的顕微解析 自己調整構造 変態誘起転位
非金属介在物 走査電子顕微鏡用試料冷却ステージ Strain Glass

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マルテンサイト (以下, M) 変態は「母 (高温) 相の隣り合う原子が拡散によって別個に動くのではなく, 互いに連携を保ちながら 1 原子距離以下“せん断的”に移動し, 新しい結晶構造を持つ低温 (M) 相に変化する変態」と定義され, 拡散を必要としないため極低温でも起こる①. M 変態は熱弾性型と非熱弾性型に大別され, 前者は形状記憶・超弾性合金, 後者は鋼 (鉄合金) 等で発現する. 熱弾性 M は変態温度履歴が極めて狭く, 温度・応力・磁場等の外場の変化に追従して母相/M 相, M 相/M 相界面が容易に移動するため形状記憶効果や超弾性の担い手となる. M 変態は前世紀から結晶学や熱力学の観点から体系化された学理が構築されている. しかし, 近年の物性測定・構造解析手法の高度化に伴い, これまで見落とされてきた熱弾性 M 変態の多様な性質が顕在化してきた.

2. 研究の目的

本研究では実用形状記憶・超弾性材料である Ti-Ni 系合金を中心に研究目的に応じて適切な合金系を選択し, 熱弾性 M 変態の多様性に着目した以下の 4 つの課題を設定し, 様々な顕微解析法による階層的可視化とその定量的評価を通して現象の理解を深め, それらに関わる新しい学理の構築と機能の改善・創出の指針を得ることを目的とした.

(1) 応力誘起 M の結晶学的特徴: 熱誘起 M と応力誘起 M の結晶学的特徴の相違点を洗い出し, 熱弾性 M 変態の結晶学を深化と新たな視点からの体系化に繋げる. また, 応力誘起 M は超弾性を担う相であるため, その結晶学的特徴を明らかにすることにより, 超弾性合金開発の新たな設計指針が得られる.

(2) 熱弾性 M の自己調整と格子欠陥に着目した組織制御: 特性劣化の起こり難い自己調整構造の特徴を明確にし, 母相結晶の粒径・形状を制御および新たな合金系を設計することによって, 理想的な自己調整構造の生成割合が高い材料を造り込む. これにより形状記憶効果の劣化の抑制のみならず, 変態温度履歴および超弾性における応力履歴の低減が期待できる.

(3) 等温熱弾性 M 変態の結晶学と組織形成: 観察例のない等温熱弾性 M 変態の組織形成過程を可視化することにより, M 相の核生成および成長に関する知見を得る.

(4) 原子分解能観察による熱弾性 M 変態に付随する格子変調の定量評価: 点欠陥との相互作用であるにもかかわらず, 相反する現象である母相の安定化による Strain Glass 挙動②と M 相の安定化によるゴム弾性挙動③の実体を明らかにする.

3. 研究の方法

本研究で主に対象とした Ti-Ni 系合金では, 合金系や製造履歴によって以下の熱弾性 M 変態が起こる④.

(I) Ti-Ni 2 元系溶体化処理材 (およそ 700°C 以上から急冷した試料): 立方晶 (以下, B2) ⇔ 単斜晶 (以下, B19') 変態.

(II) Ti-Ni 2 元系時効処理材, 強加工低温焼鈍材, Ti-Ni-Fe, Ti-Ni-Al 3 元系合金溶体化処理材: B2 ⇔ 三方晶 (以下, 慣例として R) ⇔ B19' 逐次変態.

(III) Ti-Ni-20Cu, Ti-Pd-Hf 合金溶体化処理材: B2 ⇔ 直方晶 (以下, B19) 変態.

(1) 応力誘起 M の結晶学的特徴: 応力誘起 M (以下, SIM) 相が室温で安定な組成の多結晶 Ti-Ni 合金を引張変形し SIM を導入し, 走査電子顕微鏡 (SEM), SEM-電子線後方散乱回折 (EBSD) および透過電子顕微鏡 (TEM) を用いて階層的顕微解析を行った. また, 近年, 耐震分野への応用が進展している Cu-Al-Mn 合金単結晶⑤の応力誘起変態についても調査した.

(2) 熱弾性 M の自己調整と格子欠陥に着目した組織制御: 3 種の Ti-Ni 系合金 (Ti-Ni, Ti-Ni-Fe, Ti-Ni-Cu) について, M 変態 - 逆変態により導入され機能劣化の主因と考えられている変態誘起転位と M 相の自己調整構造との関係を階層的顕微解析によって調査した. 得られた結果を基に機能劣化を起こさない合金系の設計・試作を行った.

(3) 等温熱弾性 M 変態の結晶学と組織形成: 熱処理の異なる Ti-Ni 2 元系合金の等温変態挙動を熱分析, 電気抵抗測定, SEM 内冷却・等温観察によって調査した.

(4) 原子分解能観察による熱弾性 M 変態に付随する格子変調の定量評価: 熱弾性 M 変態における特異な現象として知られている Strain Glass やゴム弾性に付随して起こると考えられている格子変調を, 高分解能走査透過電子顕微鏡 (HR-STEM) 観察によって検討した. Strain Glass につ

いては Ti-Pd-Hf 系合金を，ゴム弾性については Au-Cd 合金③を対象とした。

4. 研究成果

(1) 応力誘起 M の結晶学的特徴：多結晶 Ti-Ni 合金では母相結晶粒ごとに主体的に底面上の積層欠陥と(001)複合双晶が生成している M バリエントと冷却によって生じる熱誘起 M の格子不変変形(以下, LID)と同様の第Ⅱ種双晶⑥が生成しているバリエントが確認され，引張方位の影響，変形温度，すなわち，“応力誘起 M”か“ひずみ誘起 M”であるかも考慮すべきことが示唆された. Cu-Al-Mn 合金単結晶では引張軸が母相(L2₁構造)の<100>, <112>に近い方位において，応力負荷に伴い母相(L2₁) → 18R(6M)相 → X 相で表される 2 段階変態が誘起され， $\epsilon = 15\%$ にも及ぶ超弾性による回復が認められた. さらに-196 °Cから 100 °Cの温度範囲で引張試験のを行い，試験温度に対して 18R と X の変態誘起応力をプロットして図 1 に示す応力 - 温度状態図を作成した. なお，X 相の構造については解析を継続中である.

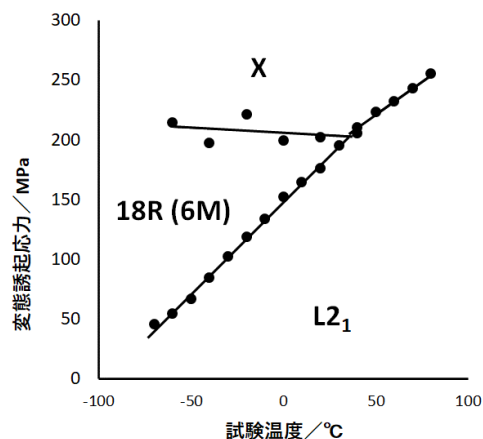


図 1 Cu-Al-Mn 合金単結晶の応力 - 温度状態図

(2) 熱弾性 M の自己調整と格子欠陥に着目した組織制御：Ti-Ni 合金の変態誘起転位は LID である第Ⅱ種双晶関係にある二つの格子対応バリエントで構成される晶癖面バリエント(以下, HPV)の母相/M 相界面(晶癖面)に沿って LID の双晶面に平行に配列するアピン状の転位が観察された(図 2). また，それらはこれまで定説とされてきた順変態時ではなく，逆変態時の母相/マルテンサイト界面の後退に伴って生成することを階層的顕微観察によって実験的に示した. さらに，すべり系を同定し，特異な形状を呈する転位ループの生成・不動化の機構を考察した.

以上の結果から変態誘起転位の生成には LID の存在(有無)が関連することが示唆された. そこで，TEM 観察によって LID を生成しないと報告されている Ti-30Ni-20Cu 合金⑧の自己調整構造を SEM-EBSD によって再調査し，LID がほとんど現れないことに加えて，Ti-Ni₂ 元合金に比べて熱サイクルによる変態点の変化が小さいこと，一般的な熱弾性 M 相で観察されるような晶癖面の痕跡はなく，複数の格子対応バリエントが組み合わせられたモザイク状の M 組織によって母相結晶粒全体が埋め尽くされることを見出した. これにより Ti-30Ni-20Cu 合金を基本として合金元素の添加等により母相と M 相の格子定数を調整することで，熱及び応力サイクルによって生成する変態誘起転位の抑制，すなわち形状記憶・超弾性合金の機能劣化を改善が図られるという指針が得られた. また，高温形状記憶合金の候補である Zr-Co-Pd 合金，Ti-Pd-Hf 合金の自己調整構造を明らかにした(10.1007/s10853-020-05599-y, 10.1016/j.jallcom.2022.165491).

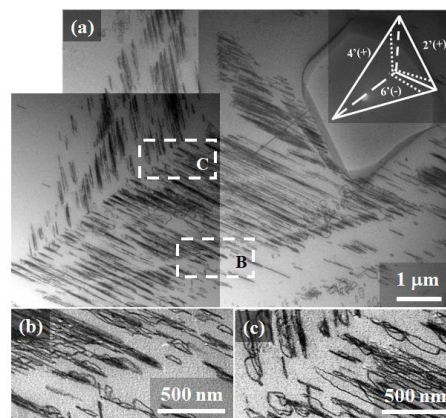


図 2(a) 1 回の変態・逆変態サイクルによって B2 母相中に生成した変態誘起転位の TEM 明視野像. 逆変態前の M 相は 3 つの HPV より成る 3 角形状と推定される⑦. (b), (c) (a)の領域 B, C の拡大像.

(3) 等温熱弾性 M 変態の結晶学と組織形成：高温から急冷し溶体化処理した母相単相から成る Ti-50.8 at% Ni 合金(B19' M 変態開始温度: $M_s = -37^\circ\text{C}$) の電気抵抗測定を行い， M_s 近傍での等温保持により M 変態による電気抵抗の減少を確認し，それに基づき SEM 内冷却・等温保持観察を行ったが，変態の進行を可視化できなかった. 一方，溶体化処理後の時効により M_s を上記の Ti-50.8 at% Ni 合金溶体化処理材とほぼ同等の -35°C に調整した微細な整合析出相を含む Ti-51.0 at% Ni 合金時効材では，SEM 内冷却・等温保持によって M 変態の進行を可視化することに成功した(図 3, M 相は矢印で示す明るいコントラストの領域). このことは等温熱弾性 M 変態が母相に内在する“整合ひずみ”あるいは“整合応力”

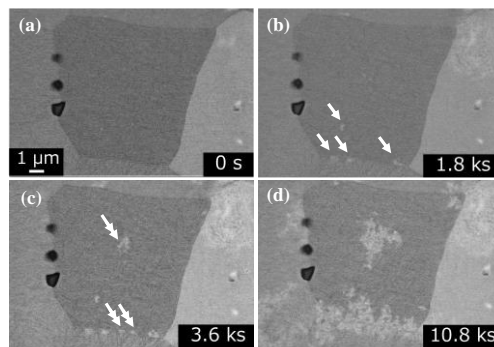


図 3 -33°C に等温保持した微細な整合析出相を含む Ti-51.0 at% Ni 合金時効材に生成する等温 M 相の SEM-反射電子像. 保持時間は各 SEM 像の右下に表示.

によって加速されることを示唆している(10.2320/matertrans.MT-MJ2019004).

Ti-Ni₂ 元系合金の等温熱弾性 M 変態は M_s が -120°C 程度の Ni 過剰合金において顕著に起こることが報告されているため⑨, より低温で SEM 内冷却・等温保持が可能となるように SEM 用試料冷却ステージの改良を行った(10.1093/jmicro/dfaa051). また, SEM 内その場冷却観察と TEM 内その場冷却観察の得失を比較するために, Ti-Ni 合金の自己調整構造に及ぼす試料厚さの影響を明らかにした(10.2320/matertrans.MT-M2020219).

さらに, 上記の時効材では B19' M 変態に先立って現れる R 相変態においても電気抵抗測定によって顕著な等温変態が起こることを見出し, 同等の熱処理を行っている医療用 Ti-Ni 超弾性合金の経年劣化の原因が等温 R 相変態であること, さらには保管時の温度管理によって劣化の抑制が可能であることを明らかにした.

関連する研究として, 医療用 Ti-Ni 系超弾性合金の耐疲労特性の改善の観点から, 鑄造時に生成する炭化物系非金属介在物が熱処理や加工に伴い疲労破壊の起点となる酸化物系非金属介在物へと遷移する過程を調べ, 炭化物を安定化させるプロセスを確立した(10.3390/met9090999, 10.1007/s40830-020-00302-1, 10.2320/jinstmet.J2020056).

(4) 原子分解能観察による熱弾性 M 変態に付随する格子変調の定量評価: 等原子 Ti-Pd 合金の Ti を Hf で置換した Ti-Pd-Hf 合金において, Hf 量の増加に伴い, マルテンサイト変態温度が著しく低下し, 25Hf, 40Hf 合金ではマルテンサイト変態は起こらず Strain Glass 的な現象が認められた. しかし変態温度低下の要因は, 一連の Strain Glass の研究において提唱されているナノドメインの生成によるマルテンサイト変態の抑制・阻害②とは異なるものであることを見出した.

ゴム弾性の発現に伴い何らかの格子変調が起こることを想定して, Au-Cd 合金薄膜試料の同一個所を TEM 観察できる試料ホルダーを開発し定期的に観察したが, 減圧化のデシケータ中に保管しても表面酸化を抑制できず, 経時変化の明確な証拠を得ることができなかった.

<引用文献>

- ① 西山善次, マルテンサイト変態 基本編, 丸善 (1971).
- ② X. Ren, Strain glass and ferroic glass-unusual properties from glassy nano-domains, *Phys. Status Solidi B*, **251** (2014) 1982-1992.
- ③ X. Ren, K. Otsuka, Origin of rubber-like behaviour in metal alloys, *Nature*, **389** (1997) 579-582.
- ④ K. Otsuka, X. Ren, Physical metallurgy of Ti-Ni-based shape memory alloys, *Prog. Mater. Sci.*, **50** (2005) 511-678.
- ⑤ 喜瀬純男, 荒木慶一, 片岡奈々美, 横山重和, 東田豊彦, 石川浩司, 大森俊洋, 貝沼亮介, 単結晶 Cu-Al-Mn 超弾性合金の開発と耐震分野への応用, *まてりあ*, **60** (2021) 54-56.
- ⑥ K. M. Knowles, D. A. Smith, The crystallography of the martensitic transformation in equiatomic nickel-titanium, *Acta Metall.*, **29** (1981) 101-110.
- ⑦ M. Nishida, T. Nishiura, H. Kawano, T. Inamura, Self-accommodation of B19' martensite in Ti-Ni shape memory alloys-Part I. Morphological and crystallographic studies of the variant selection rule, *Philos. Mag.*, **92** (2012) 2215-2233.
- ⑧ T. Tadaki, C. M. Wayman, Electron microscopy studies of martensitic transformations in $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$ alloys. Part II. Morphology and crystal structure of martensites, *Metallography*, **15** (1982) 247-258.
- ⑨ T. Fukuda, S. Yoshida, T. Kakeshita, Isothermal nature of the B2-B19' martensitic transformation in a Ti-51.2Ni (at.%) alloy, *Scripta Mater.*, **68** (2013) 984-987.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 M. Matsuda, K. Kiwaki, H. Akamine, M. Nishida	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of Hf on the microstructure and martensitic transformation behavior in Ti-Pd-Hf alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jallcom.2022.165491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Egilmez, O. Batal, W. Abuzaid, Z. Salman, M. Alkhader, H. Akamine, M. Nishida, J. W. A. Robinson	4. 巻 5
2. 論文標題 Superconductivity in Ti67Zr19Nb11.5Sn2.5 shape memory alloy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Materials	6. 最初と最後の頁 074802_1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevMaterials.5.074802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Sumio Kise, Nanami Kataoka, Ryo Takamatsu, Minoru Nishida, Toshihiro Omori, Ryosuke Kainuma, Yoshikazu Araki	4. 巻 33
2. 論文標題 Feasibility of Roll-Threading Superelastic Cu-Al-Mn SMA Rods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials in Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 04021254_1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003874	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 F. Yamashita, Y. Ide, H. Akamine, K. Ishikawa, M. Nishida	4. 巻 6
2. 論文標題 Effect of C/O Ratio on Phase Change and Stability of Inclusions in Ti-Ni Alloys Fabricated by a Commercial Production Process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Shape Memory and Superelasticity	6. 最初と最後の頁 354-364
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s40830-020-00302-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Soejima, A. Heima, H. Akamine, T. Inamura, M. Nishida	4. 巻 61
2. 論文標題 Comparison of in situ SEM and TEM observations of thermoelastic martensitic transformation in TiNi shape memory alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 2107-2114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2020219	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Matsuda, K. Arai, M. Mitsuhashi, Y. Yamabe-Mitarai, M. Nishida	4. 巻 56
2. 論文標題 Self-accommodation and morphological characteristics of the B33 martensite in Zr-Co-Pd alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 5899-5909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-020-05599-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Tsuzaki, M. Koyama, R. Sasaki, K. Nakafuji, K. Oie, A. Shibata, T. Gondo, H. Miyazaki, H. Akamine, M. Nishida	4. 巻 70
2. 論文標題 Novel -75 °C SEM cooling stage: application for martensitic transformation in steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 250-254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfaa051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 山下史祥, 副島洋平, 赤嶺大志, 西田稔	4. 巻 85
2. 論文標題 162-Ni過剰Ti-Ni合金に生成する非金属介在物相の安定性に及ぼすNi濃度とC/O比の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 162-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.J2020056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 F. Yamashita, Y. Ide, S. Kato, K. Ueda, T. Narushima, S. Kise, K. Ishikawa, M. Nishida	4. 巻 9
2. 論文標題 Effect of Nonmetallic Inclusions on Fatigue Properties of Superelastic Ti-Ni Fine Wire	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 999_1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/met9090999	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Akamine, Y. Soejima, T. Nakamura, S. Farjami, T. Fukuda, T. Kakeshita, M. Nishida	4. 巻 61
2. 論文標題 Isothermal Martensitic Transformations in an Aged Ni-Rich TiNi Alloy Containing Coherent Ti ₃ Ni ₄ Particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 37-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-MJ2019004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 前田信行, 松田光弘, 赤嶺大志, 西田 稔
2. 発表標題 Ti-Ni-Hf合金B33マルテンサイト相の自己調整構造の形態と結晶学
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会・九州支部合同学術講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木脇広大, 松田光弘, 赤嶺大志, 西田 稔
2. 発表標題 Ti-Pd-Hf合金に生成するH相の微細構造解析
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会・九州支部合同学術講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田信行, 松田光弘, 御手洗容子, 松下能孝, 赤嶺大志, 西田 稔
2. 発表標題 Ti-Ni-Hf合金マルテンサイト相の自己調整構造の形態と結晶学
3. 学会等名 日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木脇広大, 松田光弘, 赤嶺大志, 西田 稔
2. 発表標題 Ti-Pd-Hf合金の微細構造とマルテンサイト変態挙動
3. 学会等名 日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平間慧, Francesco Della Porta, 篠原百合, 西田稔, 稲邑朋也
2. 発表標題 Ti-Ni-Cu形状記憶合金における特異なマルテンサイト組織
3. 学会等名 日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田稔
2. 発表標題 マルテンサイト変態の顕微解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Heima, Takumi Higashizono, Ryosuke Nishikawa, Hiroshi Akamine, Tomonari Inamura, Minoru Nishida
2. 発表標題 Characterization of Dislocation Substructures and Detection of Residual Strain Induced by Thermoelastic Martensitic Transformation
3. 学会等名 International Conference on Martensitic Transformation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomonari Inamura, Francesco Della Porta, Akira Heima, Yuri Shinohara, Minoru Nishida
2. 発表標題 Compatibility Condition at Triple Junction of Martensite and Unusual Microstructure in TiNiCu Alloy
3. 学会等名 International Conference on Martensitic Transformation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minoru Nishida
2. 発表標題 Recent Microstructure Characterizations in Ti-Ni Based Shape Memory Alloys
3. 学会等名 International Conference on Martensitic Transformation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Nishida
2. 発表標題 Microstructural characterization of B19' martensite in Ti-Ni shape memory alloys
3. 学会等名 Structural Materials for Nuclear and Space Applications (SNSA20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西田稔
2. 発表標題 Ti-Ni合金の魅力
3. 学会等名 形状記憶合金協会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Nishida
2. 発表標題 Dynamic SEM characterization of phase transformations in Ti-Ni alloys processed by various treatments
3. 学会等名 The International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies (SMST2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井手泰徳, 山下史祥, 赤嶺大志, 西田稔, 喜瀬純男
2. 発表標題 Ti-Ni超弾性合金における介在物の加工と熱処理に伴う形態および相変化
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会九州支部合同講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重松和磨, 東園拓海, 赤嶺大志, 西田稔, 小山元道, 津崎兼彰, 喜瀬純男
2. 発表標題 Cu-Al-Mn形状記憶合金の熱弾性マルテンサイト変態に及ぼす水素の影響
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会九州支部合同講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田稔
2. 発表標題 走査電子顕微鏡による熱弾性マルテンサイト変態の組織解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井手泰徳，山下史祥，赤嶺大志，西田稔，喜瀬純男
2. 発表標題 Ti-Ni超弾性合金における非金属介在物の相変化機構の解明
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期（第165回）講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重松和磨，東園拓海，赤嶺大志，小山元道，津崎兼彰，西田稔
2. 発表標題 水素チャージしたTi-Ni系合金の微細構造解析
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期（第165回）講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井手泰徳，赤嶺大志，西田稔
2. 発表標題 Ti-Ni合金における非金属介在物の微細構造解析
3. 学会等名 形状記憶合金協会シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田稔
2. 発表標題 Ti-Ni合金の金相学
3. 学会等名 形状記憶合金協会シンポジウム2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田稔
2. 発表標題 熱弾性マルテンサイト変態の組織解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会「鉄鋼のマルテンサイト/ベイナイト組織 その基礎と応用」フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平間慧, 西川涼祐, 副島洋平, 赤嶺大志, 西田稔
2. 発表標題 熱サイクルによってTi-Ni系合金に導入された転位組織の特徴
3. 学会等名 日本金属学会第2020年春期 (第166回) 講演大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	赤嶺 大志 (Akamine Hiroshi) (40804737)	九州大学・総合理工学研究院・助教 (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松田 光弘 (Matsuda Mitsuhiro) (80332865)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授 (17401)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	稲邑 朋也 (Inamura Tomonari)		
研究協力者	副島 洋平 (Soejima Yohei)		
研究協力者	喜瀬 純男 (Kise Sumio)		
研究協力者	山下 史祥 (Yamashita Fumiyoshi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
アラブ首長国連邦	American University of Sharjah			
スイス	Paul Scherrer Institute			
米国	University of Illinois Urbana Champaign			

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	University of Cambridge			
ベルギー	University of Antwerp			