

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06773

研究課題名(和文) Ti-X-7Al合金の焼戻しで生じるマルテンサイトの変態機構

研究課題名(英文) The mechanism of martensitic transformation induced by tempering of Ti-X-7Al alloy.

研究代表者

竹元 嘉利 (Takemoto, Yoshito)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：60216942

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：Ti-X-7Al合金の焼戻しに伴う斜方晶 β' の形成機構について調査を行った。単相域からの焼入れで残留 β 相とわずかに β' -M (マルテンサイト) が形成される。塩浴や集光加熱を用いて急速に約 500 °C への焼戻しを行うと、加熱中に粗大な β' -M が全面に形成されるが、3分以上保持すると原子拡散を伴って微細な β' -iso に変化する。また β' -M は約 200 °C で加熱を行うと β 相に逆変態する。複雑な変態挙動は、急速な熱処理に伴う熱応力と、 β 相のスピノーダル分解型自由エネルギーによって引き起こされることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マルテンサイト変態は材料の強化だけでなく、形状記憶や超弾性などの機能発現に重要な役割を果たす。本研究では鉄鋼材料でよく理解されている常識的なマルテンサイト変態とは大きく異なる変態挙動が Ti-X-7Al 合金で発現することを明らかにした。特に焼戻しでマルテンサイトが形成することや、それより低温で逆変態する現象、焼入れで試料内部にマルテンサイトが生成することなどは、マルテンサイトの利用の幅を広げるものと確信している。また形状記憶とは逆向きの形状変化の発現や、焼戻しによる急速な硬化現象などは実用的な利用が見込まれる。

研究成果の概要(英文)：The transformation mechanism of the orthorhombic β' phase induced by tempering of the Ti-X-7Al alloy was investigated. Quenching from the single phase region forms a slight β -M (martensite) with the residual β phase. Rapid tempering to about 500 °C using a salt bath or convergent light heating results in the formation of coarse β' -M over the entire surface during heating. After holding for 3 minutes or more, β' -M disappears and changes to fine β' -iso due to atomic diffusion. Furthermore, β' -M reverses to the β phase when heated to about 200 °C. Complex transformation behavior suggests that the free energy of the β phase is spinodal decomposition. It is suggested that the complicated transformation behavior is caused by the thermal stress associated with rapid heat treatment and the spinodal decomposition type free energy of β phase.

研究分野：材料工学

キーワード：マルテンサイト スピノーダル分解 逆変態 形状変化 焼戻し 熱応力

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

β 型(bcc:高温相)Ti合金は軽量、高強度、加工性、耐食性に優れた合金であるが、 β 安定化のためNbやMoといった高価で重い元素を多量に添加する必要があり、コスト高と重量化を招くことになる。安価なFeで β 安定化を図ると今度は ω 相が形成され非常に脆くなる。そこで β 下限組成(Ti-X)に ω 相の生成を抑制するAlを添加した合金開発が行われた。Alは α 相(hcp:低温相)を安定化する元素であるため、3mass%ほど添加すると、溶体化焼入れ(STQ)処理で、 β 相中にマルテンサイト(M)が形成されるようになった。しかし7mass%まで添加量を増やすと ω 相の生成を抑制するとともに、M相も形成されず β 単相組織を得ることができ、その結果、純Tiよりも軽量で加工性の良好な β 型Ti-4Fe-7Al合金が開発された⁽¹⁾。この合金の形状記憶(SM)特性を調査するため、U字曲げ材の加熱に伴う形状回復挙動を調査したところ、通常のSM合金では元の形状に回復(SR)するが、本合金では逆に曲げ方向に形状が進展(SA)する奇妙な現象を現れた。この原因を調査した結果、M相と同じ構造であるが微細な斜方晶(空間群:Cmcm)が形成されるためであることが分かった。このような現象はTi-X-7Al(X:4Fe⁽²⁾, 6Mn, 8Cr, 10Mo⁽³⁾, 15V⁽⁴⁾, 23~35Nb⁽⁵⁾)で同様に発現することが確認された。

2. 研究の目的

しかしこの合金の変態挙動は非常に複雑で、全体像も含めて全くの手探り状態であった。特に斜方晶 α'' にはサイズや生成プロセスにしたがって大きく3種類存在することが明らかにされてきた。1つ目はサイズが最も小さいもので、STQ処理で残留 β 相中に形成される約3nmサイズの変調構造で、ナノドメインとよばれる β 母相と整合した斜方晶である⁽⁶⁾。2つ目は焼戻しや等温時効など、450~550°C付近で生成する斜方晶で、 α'' isoと呼ばれる300nm程度の針状生成物である⁽⁷⁾。これが元々、本研究課題で対象とした斜方晶であるが、この生成過程が無拡散型変態なのか、拡散型変態なのかさえ明らかではなかった。これをマルテンサイト(無拡散型)と考えるなら、Ms(マルテンサイト開始温度)曲線がどのような形を有するのかが最大の焦点である。3つ目は最も古くから知られている焼入れ等で形成される α'' -Mで数100 μ mもの粗大な針状生成物である。しかし後年に分かることだが、この α'' -Mは450~550°C付近の急速焼戻しによっても形成されることが明らかとなった⁽⁴⁾。

そこで本研究の目的は、この種の合金の α'' isoおよび α'' -M変態挙動の全体像を明らかにするとともに、 α'' isoの生成が無拡散型か、拡散型かを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

使用した合金は、酸素含有量0.1mass%以下のTi-X-7Al合金(X:10Mo, 15V, 23~35Nb)を用い、真空中1050°C-30minの溶体化処理後、水冷(STQ)した。焼戻しは主に塩浴炉を用い、所定の保持時間後、直ちに水冷した。組織観察には光学顕微鏡(OM)、走査型電子顕微鏡(SEM)、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた。またその場観察には、高温OM、高温エックス線回折(高温XRD)、電気抵抗測定、示差熱分析(DSC)などを行った。機械特性調査には、ビッカース硬さ、引張試験等を行った。

4. 研究成果

(1)形状変化の組成依存性

Ti-23~35Nb-7Al合金の焼入れ材を用い、室温にてU字曲げを行い、ホットプレート上で加熱し、その形状変化を記録した。図1に示すように23~25Nb-7Alでは、200°C付近で一旦形状回復して、引き続き加熱によって形状進展が起こった。しかしNb組成が28Nb以上の合金では、形状回復を示さず、形状進展のみ生じた⁽⁵⁾。低Nb合金では室温での曲げ変形で加工誘起 α'' -Mが生成し、加熱によって α'' -M \rightarrow β 逆変態により形状回復が起こる。引き続き昇温すると、今度は α'' isoが β 中に生成し、このとき α'' isoの優先バリエーションの生成が形状進展を引き起こす。一方、高Nb合金では室温での曲げ変形がすべり変形であるため、加熱による形状回復は生じないが、400°C付近で α'' isoの優先バリエーションが生成するため、形状進展だけが起こる。形状進展が起こった後は、 α'' isoバリエーションが不均一に分布しているため、加熱・冷却によってパイメタルのような形状変化が発現する。これは α'' 斜方晶における熱膨張率の異方性に起因する。一連の形状変化は他にもTi-X-7Al合金のX=4Fe, 10Mo, 15Vなどで共通して発現する現象であることを明らかにした。

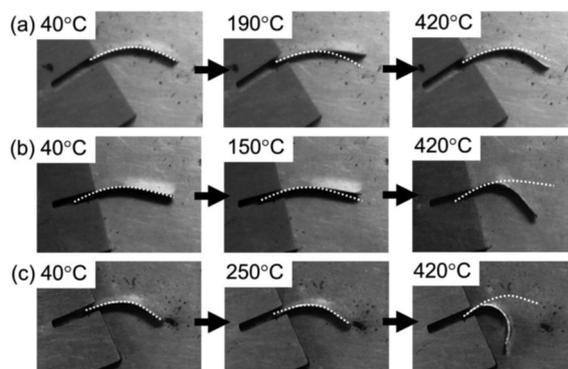


図1 U字曲げしたTi-xNb-7Alの加熱による形状変化, (a) x=23, (b) x=25 (c) x=28.

(2) α'' isoの変態様式

STQ材を450~550°Cで焼戻すと、数100nmの針状 α'' isoが生成するとともに急激に硬化する。こ

の変態が無拡散型か、拡散型かを明らかにするため、Ti-35Nb-7Al 合金を用いて 450°Cでの時効硬化挙動を調査した。約1分程度の潜伏期間の後、3分で約100nmの α'' isoが生成するとともに著しく硬化した。この時効材をSTEM-EDS分析すると図2に示すように α'' iso内部はNbが希薄になっており、原子拡散を伴う変態であることを明らかにした⁽⁸⁾。これまで α'' isoの格子定数比(b/a)が加工誘起 α'' の軸比よりhcpに近い値をもつことから、組成分配があることは示唆されていたが、直接的な証拠は本研究が初めてである。一方、わずか450°C-7秒で著しく硬化するTi-10Mo-7Alでは組成分配はほとんど見られず、450°C-1時間でわずかに組成分配が認められる程度であった。Qiらは最近Ti-Nb-Zr-Sn合金の焼戻しにおいて、 β 相から α'' への構造変化が先に起こり、後から組成分配が生じることを報告しており⁽⁹⁾、 $\beta \rightarrow \alpha''$ 変態までのメカニズムが複数あることが提案されている。

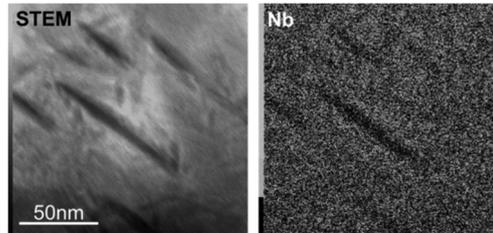


図2 Ti-35Nb-7Alの450°C-3分時効材における α'' isoのSTEM-EDS分析。

(3) α'' -Mの変態挙動

α'' -Mは焼入れや、サブゼロ処理、加工処理などによって形成される無拡散変態であるが、本研究においてTi-15V-7AlのSTQ材を550°C-3秒の焼戻しを行うとフル α'' -M組織が形成されることを初めて明らかにした。さらに図3に示すように200°Cで時効処理を行うと、 α'' -M $\rightarrow\beta$ 逆変態が可逆的に起こることから、無拡散型であることが裏付けられた⁽⁴⁾。一連の変態挙動はTi-10Mo-7Alでも確認され、焼戻し α'' -Mの変態挙動は次の通りであった。

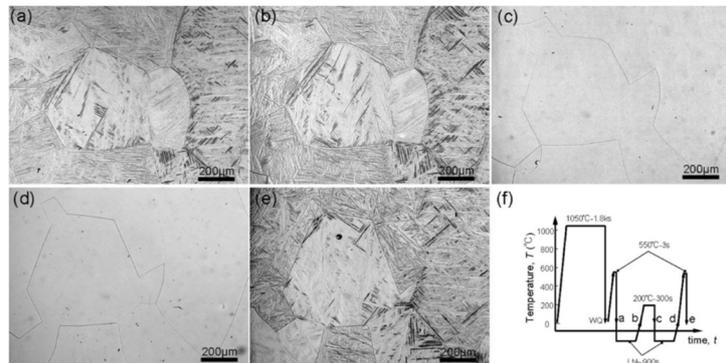


図3 Ti-15V-7Alの熱処理に伴う組織変化。(a)-(e)は熱履歴(f)中の各熱処理後の組織。

①350~550°Cの塩浴や集光ランプなどを用いた急速加熱で α'' -Mは生成し、加熱速度を遅くすると生成されない。②焼戻し後の急冷処理ではなく、急速加熱中に α'' -Mが生成する。③0.1mm程度の薄板では α'' -Mは形成されない。④200°C-5秒の予加熱後に直接550°Cで焼戻しを行うと α'' -Mの生成量は激減する。⑤焼戻しまでの温度差を稼ぐために、液体窒素(-196°C)から直接250°C塩浴に焼戻しても α'' -Mは形成されず、むしろSTQやサブゼロ処理で形成されていた α'' -Mさえ β 逆変態する。⑥ThermoCalcによるTi-10Mo-7Alの熱力学計算によると、200°C: $G^\alpha < G^\beta$, 400°C: $G^\alpha = G^\beta$, 550°C: $G^\beta < G^\alpha$ であり、単純な化学的駆動力からは説明が困難。⑦焼戻し温度で3分程度保持すると α'' -Mは消失し、微細な α'' isoに変態するため著しく硬化するとともに光学顕微鏡では観察できなくなる。以上の結果から焼戻しで形成される α'' -Mは、急速加熱時に生じる熱応力によって誘起されると推測し、有限要素法による熱応力計算を行った。試料サイズ5×5×2mm³の板材を450°Cの塩浴に投入したとき、約0.3秒で試料表面に最大約55MPaの圧縮応力が生じることが分かった。これは合金の熱伝導率が花崗岩並みに低いため、試料の表面と内部で大きな温度差が生じることが原因である。一方、STQ材を室温で引張試験を行うと、加工誘起Mの形成には約250MPaが必要である。したがってより高温で α'' -Mが形成されるためには、塩浴焼戻しにおける熱応力だけでは不十分である。一連の複雑な変態挙動を説明するため、図4で示すような α 相のスピンodal分解⁽⁴⁾を考慮すると、高温での α'' -M形成や、200°C付近での β 逆変態挙動が説明できる。

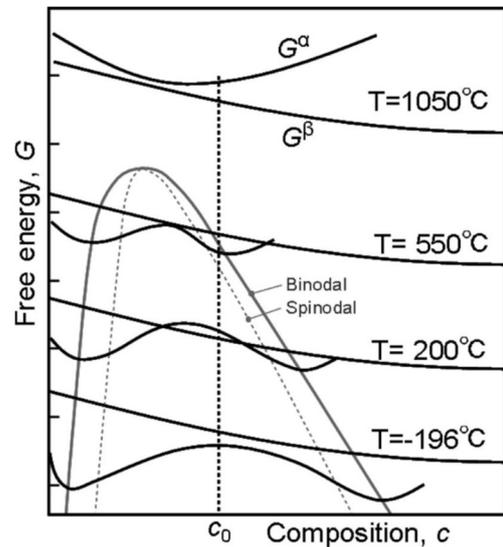


図4 α 相と β 相の自由エネルギー。 G^α がスピノードル分解型をもつことで、高温 α'' -Mの形成と、200°Cでの β 逆変態が生じる

(4) α'' -Mの分布

焼入れや焼戻しで生成する α '-M の分布を調査するため、Ti-10Mo-7Al の各種熱処理材の断面観察を行った。STQ 材の表面観察では、 α '-M は β 粒界近傍に多少観察される程度であるが、試料内部には α '-M が多量に生成していることが認められた。LN2 サブゼロ処理材も STQ 材と α '-M の分布は同じで試料表層部には少量で、内部には多量に観察された (図 5)。なおサブゼロ処理材の方が α '-M の生成量は増加した。一方、450°C-3 秒の焼戻し材では、逆に試料表層部に多量に生成しており、内部にはほとんど観察されなかった。STQ およびサブゼロ処理では試料内部に圧縮応力が生じ、焼戻しでは表層部に圧縮応力が発生する。Ti-10Mo-7Al の α '-M 変態では約 0.6% の体積収縮を伴うため、 α '-M 変態に有利な圧縮応力がマルテンサイトの形成に寄与すると考えられる。ただし、LN2 温度から、200°C 付近への塩浴焼戻しを行っても、 α '-M は全く形成されず、フル β 組織となった。なお、 α '-M の分布と 200°C 域での β 逆変態挙動の研究は継続していく予定である。

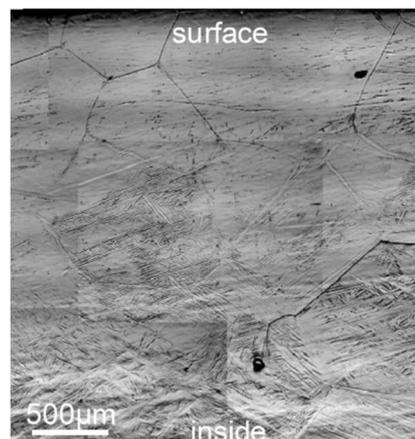


図 5 Ti-10Mo-7Al の LN2 サブゼロ処理材の断面組織. α '-M は表層部に少なく内部に多い.

<引用文献>

- (1) 竹元嘉利, 越智昌宏, 瀬沼武秀, 高田潤, 清水一郎, 松木一弘 : 日本金属学会誌, 76 (2012)332-337.
- (2) 竹元嘉利, 越智昌宏, 瀬沼武秀, 高田潤, 清水一郎, 松木一弘 : 日本金属学会誌, 76 (2012)449-455.
- (3) 井尻政孝, 竹元嘉利 : 日本金属学会誌, 79 (2015)468-473.
- (4) 竹元嘉利, 恒川弥佑, 真部侑司, 板野壮志, 村岡祐治 : 日本金属学会誌, 82 (2018) 307-313.
- (5) 井尻政孝, 富田悠希, 石川高史, 門脇賢司, 竹元嘉利 : 日本金属学会誌, 81 (2017) 345-351.
- (6) Y. Zheng, T. Alam, R. Banerjee, D. Banerjee, H. L. Fraser : Scripta Materialia 152 (2018) 150-153.
- (7) E. A. Gautier, A. Settefrati, F. Bruneseaux, B. Appolaire, B. Denand, M. Dehmas, G. Geandier, P. Boulet : Journal of Alloys and Compounds, 577S(2013)S439-S443.
- (8) 井尻政孝, 富田悠希, 石川高史, 竹元嘉利 : 日本金属学会誌, 80 (2016)547-552.
- (9) L. Qi, S. He, C. Chen, B. Jiang, Y. Hao, H. Ye, R. Yang, K. Du : Acta Materialia, 195 (2020) 151-162.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 竹元嘉利	4. 巻 67
2. 論文標題 Ti-10Mo-7Al合金の奇妙な相変態	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 チタン	6. 最初と最後の頁 112-115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 竹元嘉利, 丸山拓也, 井尻政孝	4. 巻 82
2. 論文標題 Ti-42mass%Nb合金のマルテンサイト変態に伴う電気抵抗変化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 256-261
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/jinstmet.J2018013	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 竹元嘉利, 恒川弥佑, 真部侑司, 板野壮志, 村岡祐治	4. 巻 82
2. 論文標題 Ti-15V-7Al合金の低温と高温で形成されるマルテンサイト変態	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 307-313
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/jinstmet.J2018014	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. Takemoto, M. Tsunekawa, Y. Manabe, S. Itano and Y. Muraoka	4. 巻 59
2. 論文標題 Martensitic Transformation Induced in Ti-15V-7Al Alloy at Low and High Temperatures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 1560-1566
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.M2018185	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 井尻政孝, 富田悠希, 石川高史, 門脇賢司, 竹元嘉利	4. 巻 81
2. 論文標題 Ti-xNb-7Al の焼戻しに伴う 変態に及ぼすNb 添加量の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 345-351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.J2017011	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 -

〔学会発表〕 計44件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 杉立真太郎, 工藤彩音, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Al合金の機械的性質および組織に及ぼす熱処理の影響
3. 学会等名 日本金属学会第60回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池本雅基, 安野実希子, 安藤寛幸, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Al合金の異常なマルテンサイト変態挙動と生成条件
3. 学会等名 日本金属学会第60回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹元嘉利
2. 発表標題 型チタン合金の予想できない変態挙動
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第136回 金属物性研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津田弘基、安野実希子、竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-35Nb合金の熱処理に伴う微細組織と電気抵抗変化
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第44回若手フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池本雅基、元吉達也、竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-25Nb-7Al合金の引張特性に及ぼす熱処理の影響
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第44回若手フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉立真太郎、安野実希子、竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-23Nb-7Al合金の引張特性に及ぼす温度の影響
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第44回若手フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木雄基、安野実希子、竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-8Mo合金におけるスピノーダル分解挙動
3. 学会等名 軽金属学会第11回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 真部侑司、安野実希子、竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-15V-7Al合金の焼戻し組織変化に及ぼす焼戻し温度の影響
3. 学会等名 軽金属学会第11回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安野実希子、池本雅基、宮崎翔太郎、竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Al合金における短時間焼戻しで生じるマルテンサイト変態
3. 学会等名 軽金属学会第11回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田弘基、安野実希子、竹元嘉利
2. 発表標題 各種測定によるTi-35 Nb合金の相変態の評価
3. 学会等名 日本金属学会第59回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-X-7Alの特異現象と相変態挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板野壮志, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Alの熱処理に伴う電気抵抗変化
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹元嘉利
2. 発表標題 チタン合金の基礎と応用
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部 第131回講習会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木雄基, 安野美希子, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-8Mo合金におけるマルテンサイトのスピノーダル分解
3. 学会等名 軽金属学会中国四国支部第45回若手フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 真部侑司, 安野実希子, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-15V-7Al合金の時効硬化に及ぼす焼戻し温度の影響
3. 学会等名 軽金属学会中国四国支部第45回若手フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安野実希子, 池本雅基, 竹元嘉利, 宮崎翔太郎
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Al合金の短時間焼戻しで生じるマルテンサイト変態
3. 学会等名 軽金属学会中国四国支部第45回若手フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田弘基, 池本雅基, 安野実希子, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-35Nb合金の焼戻しにおける相変態の評価
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第45回若手フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木雄基, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-8Mo合金のスピンノーダル分解と 相生成
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第133回金属物性研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木雄基, 竹元嘉利
2. 発表標題 TEM観察及びTEM試料作製におけるアーティファクトに関する研究
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 真部侑司, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-15V-7Al合金の550 焼戻しに伴うマルテンサイトの形成と消滅
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安野実希子, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-25Nb-7Al合金の焼戻しとサブゼロ処理で生じるマルテンサイト変態
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板野壮志, 竹元嘉利
2. 発表標題 型Ti-X-7Al合金の熱処理に伴う電気抵抗率変化
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹元嘉利, 恒川弥佑
2. 発表標題 Ti-15V-7Al の冷却と加熱に伴うマルテンサイト変態
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第175回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹元嘉利
2. 発表標題 型Ti合金のサブゼロと焼戻しで形成されるマルテンサイト
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 異相界面の制御による複相鉄族合金の高性能化フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-15V-7Alの低温と高温で形成されるマルテンサイト
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 マルテンサイト・ベイナイトフォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木 稜, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Alの短時間焼戻しによるマルテンサイト変態
3. 学会等名 軽金属学会第10回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元吉達也, 安野実希子, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-25Nb-7Al合金における焼入れ組織と機械特性に及ぼす溶体化温度の影響
3. 学会等名 日本金属学会第58回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹元嘉利, 荒木 稜
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Al 合金の焼戻しによるマルテンサイト変態の温度範囲
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元吉達也, 安野実希子, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-25Nb-7Al 合金における焼入れ組織と機械特性に及ぼす溶体化温度の影響
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第41回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木 稜, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-10Mo-7Alのサブゼロ処理と短時間焼戻しによるマルテンサイト変態
3. 学会等名 軽金属学会中国四国支部第41回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹元嘉利
2. 発表標題 新規 型Ti合金の特異なマルテンサイト変態
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部第65回材質制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田口洋助, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-35Nb-xAlの時効硬化挙動に及ぼすAlの影響
3. 学会等名 軽金属学会第9回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森 俊貴, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-23Nb-7Al合金の焼戻しで生成する斜方晶構造に及ぼす溶体化温度の影響
3. 学会等名 日本金属学会第57回日本鉄鋼協会第60回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野宏輝, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-xNb-7Alの引張特性に及ぼすNbの影響
3. 学会等名 日本金属学会第57回日本鉄鋼協会第60回中国四国支部講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 恒川弥佑, 荒木 稜, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-15V-7Al合金の焼戻しに伴う組織変化
3. 学会等名 日本実験力学会 2017年度年次講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 門脇賢司, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-8Cr-7Al合金の焼戻しに伴う硬さと組織変化
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-X-7Alの焼戻しに伴うマルテンサイトのな変態と特異現象の発現
3. 学会等名 チタン・フォーラムシンポジウム「チタン合金の相変態研究の新たな展開」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 恒川弥佑, 荒木 稜, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-15V-7Alの焼戻しで生じるマルテンサイト変態
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第37回若手フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田口洋助, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-35Nb-xAlの時効硬化挙動と組織に及ぼすAlの影響
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第38回若手フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木雄基, 竹元嘉利
2. 発表標題 TEM観察及びTEM試料作製におけるアーティファクトに関する研究
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 真部侑司, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-15V-7Al合金の550℃焼戻しに伴うマルテンサイトの形成と消滅
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安野実希子, 竹元嘉利
2. 発表標題 Ti-25Nb-7Al合金の焼戻しとサブゼロ処理で生じるマルテンサイト変態
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板野壮志, 竹元嘉利
2. 発表標題 型Ti-X-7Al合金の熱処理に伴う電気抵抗率変化
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第40回若手フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹元嘉利, 恒川弥佑
2. 発表標題 Ti-15V-7Al の冷却と加熱に伴うマルテンサイト変態
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第173回春季講演大会
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------