

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360299

研究課題名(和文) 生体医療用コバルト合金における粒界からのイプシロン - マルテンサイト形成機構の解明

研究課題名(英文) Mechanism of epsilon-martensite formation at grain boundaries in biomedical cobalt alloy

研究代表者

小泉 雄一郎 (Koizumi, Yuichiro)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：10322174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,200,000円、(間接経費) 2,760,000円

研究成果の概要(和文)： -マルテンサイトの形成は、人工関節等の生体医療用材料として重要なCo-Cr-Mo合金の熱間加工性や耐摩耗性等の機械的性質に強く関係する。しかし、 -マルテンサイト形成の支配因子が不明なことが本合金の開発を遅らせていた。本研究では、 -マルテンサイト形成への粒界の寄与に注目し、種々の条件で塑性変形を加え、形成される -マルテンサイトの分布や形態との相関を調べた。これにより -マルテンサイト形成を支配する因子を明らかにするとともに、詳細な電子顕微鏡観察、組成分析、計算機シミュレーションにより、そのメカニズムを解明し、熱間加工性と耐久性に優れたCo-Cr-Mo合金開発の指針を得た。

研究成果の概要(英文)：The formation of epsilon-martensite is closely related to the deformability and durability of biomedical Co-Cr-Mo alloys used for artificial hip and knee joints. However, the lack in information of dominant factors and mechanisms of epsilon-martensite have retarded the development of highly-reliable prosthesis. In this study, the formation of epsilon-martensite during plastic deformation under various conditions have been investigated with special focus on the crystal orientation and grain boundaries through electron microscopy, chemical analysis and computer simulations. Detailed knowledge on epsilon-martensite formation including the mechanisms of preferential formation of epsilon-martensite at twin boundaries, and the roles of epsilon-martensite in fracture process under cyclic loading has been obtained, and the This knowledge is useful for developing highly-reliable prosthesis.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：バイオマテリアル Co-Cr-Mo合金 界面 粒界 相変態 塑性変形 疲労

1. 研究開始当初の背景

Co-Cr-Mo(以下 CCM)合金は、人工関節用材料として用いられているが、高齢化社会を迎え、耐用年数を現状の約15年から30年以上に延ばす要請がある。CCM合金の主構成相はfcc構造の $\gamma$ 相であるが、塑性変形や熱処理によりhcp構造を有する硬質な $\epsilon$ -マルテンサイト(以下M)が形成される。 $\epsilon$ -Mは摺動面に形成されると耐摩耗性の向上に繋がり有益であるが、塑性加工中に形成されると破壊の起点となり、変形能を著しく低下させる。中でも、 $\epsilon$ -M形成への粒界の寄与は重要である。これまでに我々は、CCM合金に鍛造、スエージング等の種々の塑性加工を施し、形成される組織と力学特性との関係を調べてきた。しかしながら、加工条件と $\epsilon$ -M形成との相関には未だ不明な点が多い。同じ加工条件でも初期組織の違いにより $\epsilon$ -M形成頻度は大きく異なり、一見同様の初期組織であっても、履歴の違いにより $\epsilon$ -M形成頻度や形態は大きく異なる。従って、 $\epsilon$ -Mの形成機構解明が不可欠であった。また我々は、積層欠陥や双晶界面といった局所的なhcp構造が、 $\epsilon$ -M形成に強く影響するという仮説を立てた。その根拠として、(1)  $\{111\}$ 面上の積層欠陥や双晶界面と $\epsilon$ 相の(0001)面の原子配列の類似性、(2)すべり面や双晶界面に沿って $\epsilon$ 相が多く観察されることを挙げていた。しかし、必ずしも双晶界面から $\epsilon$ -Mが形成されるとは限らず、他の粒界から $\epsilon$ -Mが形成される場合もある。従って、単なる原子配列の類似性だけでは、 $\epsilon$ -M形成を説明できず、より詳細な検討が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、種々の方位の結晶、粒界からなるCCM合金多結晶に、種々の条件で塑性変形を加え、形成される $\epsilon$ -Mの分布や形態を調べるとともに、原子レベルでの構造解析、組成分析、計算機シミュレーションを行う。これにより粒界からの $\epsilon$ -M形成に対する、支配因子の影響及びその機構を解明し、 $\epsilon$ -Mの制御による長寿命・高信頼性合金開発の指針を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

SIMTの制御による生体医療用コバルト合金高性能化を目指し、SIMT発現への双晶界面(TB)の影響を以下の方法で調べた。光学式浮遊帯域法を用いてCo-28Cr-6.5Mo合金(mass%)結晶を育成し、TBに平行なせん断変形が生じる荷重軸で室温にて圧縮変形した。圧縮前および塑性ひずみ8%における結晶方位ならびに相の分布を、TB近傍での結晶回転およびSIMT発現に着目し測定した。また、変形後のTB近傍の透過電子顕微鏡(TEM)観察、変形後の内部応力分布を、Wilkinson法により精密測定し、偏析によるTBでの相安定性変化をフェーズフィールド計算により調べた。一方、 $\gamma$ 相単相に溶体化(1200°C)した粗

大多結晶粒を有するCCM合金に対し、室温で引張試験と疲労試験をひずみ速度を $1.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ として行った。引張試験では1%の塑性ひずみを与え、疲労試験では塑性ひずみ振幅を約1%とし2000サイクルまで試験を行った。試験前後の結晶方位と相分布をSEM-EBSD法により分析し、試験に伴い生じた組織変化と表面凹凸形状を光学顕微鏡その場観察およびTEM観察を用い調査した。

4. 研究成果

塑性ひずみ8%までの圧縮変形後には、双晶の内側と外側とで異なるすべり系が活動するとともに、TB近傍での優先的な $\epsilon$ 相形成が確認された。その $\epsilon$ 相のTEM観察では、 $\epsilon$ 相の成長は連続的ではなく離散的に進行することが判明した。また双晶の両側の二つのTBで $\epsilon$ 相の厚さは明確に異なった。さらにTBから少し離れた箇所にも $\epsilon$ 相の優先形成が認められた。その原因として双晶界面での塑性不適合に起因する内部応力を検討し、Wilkinson法による内部応力解析を行い、厚い $\epsilon$ 相が形成された界面ではSIMTを助長する応力場が、薄い $\epsilon$ 相しか形成されなかった界面にはSIMTを抑制する応力場の存在が確認された(図1)。

熱処理における構成元素のTBへの偏析と相安定性の変化をフェーズフィールド計算により評価した結果、TBの局所的なhcp型積層構造に起因する化学ポテンシャルによりhcp安定化元素であるCr, Moの偏析が生じTBでの $\epsilon$ 相安定性が増すことで、SIMTが生

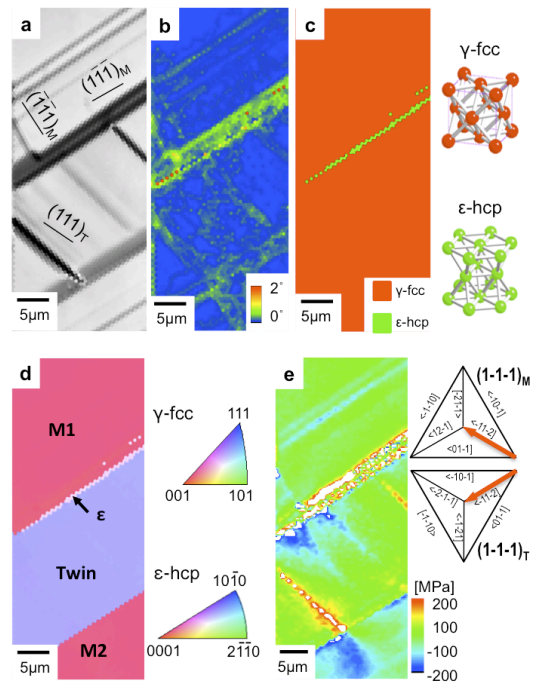


図1. 圧縮変形したCCM合金中の双晶界面近傍のEBSD解析結果: (a) IQマップ, (b) KAMマップ, (c) Phaseマップ, (d) IPFマップ, (e) せん断弾性ひずみ分布。(鈴木将ら. 2011年日本金属学会ポスター賞, 2011年東北大学金属材料研究所内講演会ポスター賞)

じ易い状態にある事が示された。従って、SIMT 発現の制御には、TB 分布の制御に加え、界面偏析の制御も重要なこと示された。

2年目には、ATBに平行でないすべりのSFが最大の場合でもATBに平行なすべりが優先的に生じ、ATBに沿ってSIMTが発現すること、ATBの存在がすべりの選択性とSIMT発現に影響することを見出した。また、ATBに平行なすべりを起点としてSFの大きなすべりが生じる等、SIMTに由来する特徴的なすべりの伝播挙動を確認した。さらにSIMTと金属インプラントの破損の第一要因である疲労破壊との関係に注目し、CCMN合金の疲労変形・破壊挙動についても調査した。その結果、疲労変形後の表面起伏にはすべり変形が非可逆性を反映した階段状の特殊な表面起伏が見られた。この様なすべりの非可逆性は準安定 $\gamma$ 相中のショックレー部分転位の非可逆的運動から解釈される。一方、SIMTが集中して $\epsilon$ 相が厚く生成した領域では $\gamma$ 相に比べ非常に鋭い表面起伏を形成することがわかった。この様な鋭い表面起伏は疲労亀裂発生源となり、最終的な疲労破壊に繋がることを明らかにした。その他、摩擦試験や、 $\epsilon$ -単相化したCCM合金の塑性変形挙動等についても調べ、本合金の耐摩耗性を向上し、高信頼性の人工関節を実現するための指針を得るとともに、鉄鋼材料等の特性改善にも有用な、知見が得られた。

最終年度には特性改善策を提案すべく粒径の影響に注目して行った。

**CCM合金の塑性変形機構と粒径依存性：**粒径の異なるCCM合金多結晶を引張変形し、形成される表面起伏形状からその塑性変形機構を調査した。これまで準安定 $\gamma$ 相CCM合金のSIMTで生成される $\epsilon$ 相は変形困難と考えられていた。しかし、本研究では粒径約160 $\mu\text{m}$ 以上では定説に反し、生成した $\epsilon$ 相内の底面で完全転位によるすべりの集中がむしろその塑性変形において中心的な役割を果たすことを明らかにした。すなわち、CCM合金の塑性変形機構は $\gamma$ 相のSIMTと、SIMTで生成した $\epsilon$ 相内の底面完全転位すべりとの競合であり、粒径が小さい場合は前者が、大きい場合は後者が変形を支配することを見出した。以下により詳細を記す。

CCM合金の塑性変形機構はこれまで $\gamma$ 相におけるショックレー部分転位、すなわちSIMTに因ってのみ進行し、SIMTで生成する $\epsilon$ 相は硬質相で変形は困難と考えられ、 $\epsilon$ 相中の転位すべりは考慮されてこなかった。実際、 $\gamma$ 母相の粒径80 $\mu\text{m}$ の場合、引張試験により導入された表面起伏角度 $\theta_{\text{ex}}$ はSIMTによって形成される表面起伏角度 $\theta_{\epsilon}$ と一致した。しかし、粒径160 $\mu\text{m}$ 以上では、引張変形で導入される表面起伏の角度はSIMTで形成される表面起伏角度と比べ非常に大きく、生成した $\epsilon$ 相内でSIMT後にさらなる変形が生じたことを示唆した。この変形機構を解明するためTEM-weak-beam法による $\mathbf{g}\cdot\mathbf{b}$ 解析をした

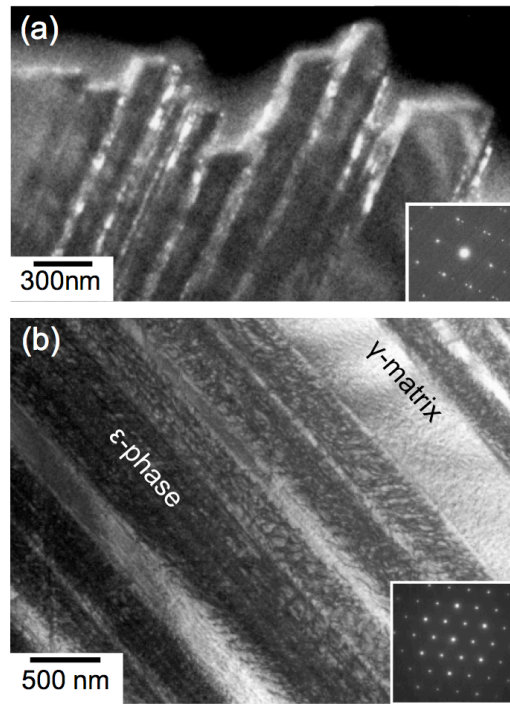


図2 引張-圧縮疲労変形（塑性ひずみ振幅±0.5%、2000サイクル）したCCM合金のTEM像。(a)表面起伏の断面TEM暗視野像。(b)すべり面垂直方向から観察した転位組織TEM明視野像。(光延卓哉ら、2013年日本金属学会ポスター賞、2013年東北大学金属材料研究所内講演会ポスター賞、2013年日本金属学会組織写真)

結果、hcpの完全転位である $\langle\mathbf{a}\rangle$ 転位が多量に存在することが確認された(図2)。

すなわち、大きな角度を持つ表面起伏の形成は、 $\epsilon$ 相内の完全転位によるすべりによるもので、CCM合金の塑性変形、 $\gamma$ 相におけるショックレー部分転位の運動(SIMT)と、SIMTにより生成した $\epsilon$ 相内の底面における完全転位によるすべりとの競合であり、粒径が小さい場合( $d < 80\mu\text{m}$ )は前者が、大きい場合( $d > 160\mu\text{m}$ )は後者が支配的な機構として変形を担うことを見出した。

この塑性変形機構の粒径依存性はSIMT発現量の粒径依存性を上手く説明できる。すなわち、粒径80 $\mu\text{m}$ 以下では $\gamma$ 相におけるショックレー部分転位の運動が主要な機構として塑性変形が進行するためSIMT発現量が大きくなり、粒径160 $\mu\text{m}$ 以上では $\epsilon$ 相内の転位すべりにより変形が進行するためSIMT発現量が減少したものと考えられる。こういった塑性変形機構に見られる粒径依存性の起源について、転位論に基づき、pile-upしたショックレー部分転位からの逆応力を見積もった。その結果、粒径80 $\mu\text{m}$ 以下では $\epsilon$ 相相内の転位源へ作用する逆応力が非常に大きくなり、 $\epsilon$ 相内における転位すべりが困難となることと理解された。

**CCM合金の疲労変形と表面起伏形成機構：**粒径の異なるCCM合金の疲労試験を行い、表面起伏形成と疲労機構の研究を行った。粒径約900 $\mu\text{m}$ の場合、変形初期にSIMTにより形成

された薄い  $\epsilon$  相に底面完全転位すべりが集中する結果、薄い  $\epsilon$  相に沿った高さ 500 nm 程度の段差で構成されたノッチ状の表面起伏を形成した。対して粒径約 80  $\mu\text{m}$  では  $\gamma$  相の SIMT の進行が速く、疲労変形に伴いほぼ全面が  $\epsilon$  相となり表面形状はなだらかとなった。これにより CCM 合金の疲労挙動と表面起伏形状は粒径に強く依存し、粒径の制御で CCM 合金の疲労挙動の制御可能なことが示された。以下により詳細を記す。

$\gamma$  母相から成る CCM 合金の疲労挙動と表面起伏形状について調査した。粒径約 80  $\mu\text{m}$  の場合、その疲労変形は主に  $\gamma$  相内のショックレー部分転位の運動によって進行する。そのため、疲労変形に伴い SIMT が次々と生じ、疲労破壊後における  $\gamma$  母相の残留は少なく、多量の  $\epsilon$  相が形成される。表面形状はなだらかな曲線状を呈した。これは、広範囲に生成した  $\epsilon$  相全体へ、均一に転位すべりが生じたことで形成されるものと理解される。その一方で、粒径約 900  $\mu\text{m}$  の場合、その疲労変形は SIMT によって変形初期に形成された、厚さ $\sim$ 200 nm 程度の薄い  $\epsilon$  相内へ、完全転位による底面すべりが集中することで進行する。結果として、疲労破壊後であっても  $\gamma$  母相は大量に残留し、薄い  $\epsilon$  相に沿った高さ 500 nm 程度の段差により構成された、ノッチ状の表面起伏を形成した。すなわち、引張変形と同様に、これまで寄与しないと考えられてきた SIMT によって生成する  $\epsilon$  相内の完全転位は、CCM 合金の疲労変形を考える上においても重要なことが示された。

上記の様に、 $\gamma$  母相から成る CCM 合金の疲労挙動と表面起伏形状は、粒径に強く依存することが見出された。これは、引張変形で明らかにした塑性変形機構の粒径依存性に因る。すなわち、粒径が小さくなるにつれ  $\gamma$  母相内のショックレー部分転位が、粒径が大きくなるにつれ SIMT により生成した  $\epsilon$  相内の完全転位が、それぞれ主要な塑性変形機構として CCM 合金の疲労変形を担うものと考えられる。これは、粒径を変化させることで、CCM 合金の疲労挙動と表面起伏形成の制御が可能であることを示している。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① H. Matsumoto, Y. Koizumi, T. Ohashi, B.S. Lee, Y. Li, A. Chiba, Microscopic mechanism of plastic deformation in a polycrystalline Co-Cr-Mo alloy with a single hcp phase, *Acta Materialia*, 査読有, 64 (2014) 1-11.  
DOI: 10.1016/j.actamat.2013.11.005
- ② T. Mitsunobu, Y. Koizumi, B.S. Lee, A. Chiba, Asymmetric slip trace formation in tension / compression cyclic deformation of biomedical Co-Cr-Mo-N alloy with negative stacking fault energy, *Scripta Materialia*, 査読有, 74 (2014) 52-55.  
DOI:10.1016/j.scriptamat.2013.10.015
- ③ Y. Chen, Y. Li, S. Kurosu, K. Yamanaka, N. Tang, Y. Koizumi, A. Chiba, Effects of Sigma Phase and Carbide on the Wear Behavior of Biomedical CoCrMo Alloys in Hanks' Solution, *Wear*, 査読有, 310 (2014) 51-62.  
DOI:10.1016/j.wear.2013.12.010
- ④ S.H. Sun, Y. Koizumi, S. Kurosu, Y. Li, H. Matsumoto, A. Chiba, Build-direction dependence of microstructure and high-temperature tensile property of Co-Cr-Mo alloy fabricated by electron-beam melting (EBM), *Acta Materialia* 64 (2014) 154-168.  
DOI:10.1016/j.actamat.2013.10.017
- ⑤ 光延卓哉, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, 生体用 Co-Cr-Mo 合金の疲労変形における突出し・入り込み形成とひずみ誘起マルテンサイト変態(日本金属学会 第 64 回金属組織写真賞 奨励賞作品), まてりあ, 査読有, 53 (2014) p. 193.
- ⑥ 仲井正昭, 小泉雄一郎, 上田正人, 三浦永理, 大津直史, 廣本祥子, 石本卓也, 上田恭介, ミニ特集「医療材料開発ニーズの現在と未来」企画にあたって, まてりあ, 査読有, 53 (2014) p. 133.
- ⑦ Y. Koizumi, S. Suzuki, K. Yamanaka, B.S. Lee, K. Sato, Y. Li, S. Kurosu, H. Matsumoto, A. Chiba, Strain-induced martensitic transformation near twin boundaries in biomedical Co-Cr-Mo alloy with negative stacking fault energy, *Acta Materialia*, 査読有, 61 (2013) 1648-1661.  
DOI: 10.1016/j.actamat.2012.11.041
- ⑧ J. Favre, Y. Koizumi, A. Chiba, D. Fabregue, E. Maire, Deformation Behavior and Dynamic Recrystallization of Biomedical Co-Cr-W-Ni (L-605) Alloy, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 査読有, 44 (2013) 2819-2830.  
DOI: 10.1007/s11661-012-1602-x
- ⑨ Y. Koizumi, T. Nukaya, S. Suzuki, S. Kurosu, Y. Li, H. Matsumoto, K. Sato, Yuji Tanaka, A. Chiba, Suzuki Segregation in Co-Ni-based Superalloy at 973 K: an experimental and

computational study by phase-field simulation, *Acta Materialia*, 査読有, 60 (2012) 2901-2915.  
DOI: 10.1016/j.actamat.2012.01.054

- ⑩ Y. Li, J.S. Yu, S. Kurosu, Y. Koizumi, H. Matsumoto, A. Chiba, Role of Nitrogen Addition in Stabilizing the  $\gamma$  Phase of Co-29Cr-6Mo Alloy, *Materials Chemistry and Physics*, 査読有. 133 (2012) 29-32  
DOI: 10.1016/j.matchemphys.2011.12.081

[学会発表] (計 26 件)

- ① 光延卓哉, 小泉雄一郎, 李云平, 松本洋明, 山中謙太, 千葉晶彦, "Co-29Cr-6Mo 合金の疲労変形におけるひずみ誘起マルテンサイト変態と突出し・入込み形成機構", 日本金属学会春期 (第 154 回) 講演大会, 2014. 3. 21-23, 東京工業大学.
- ② 光延卓哉, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, "生体用 Co-Cr-Mo 合金の疲労変形中に生じるひずみ誘起マルテンサイト変態と表面起伏形成", 第 12 回日本金属学会東北支部研究発表大会, 2014. 1. 13, 名取.
- ③ 光延卓哉, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, "生体医療用 Co-Cr-Mo-N 合金の変形におけるひずみ誘起マルテンサイト変態の役割", 第 23 回日本 MRS 年次大会, 2013. 12. 9-11, 横浜市開港記念会館.
- ④ 光延卓哉, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, "生体用 Co-Cr-Mo 合金の疲労変形におけるひずみ誘起マルテンサイト変態と突出し・入込み形成機構", 第 126 回金研所内講演会, 2013. 11. 28, 東北大学金属材料研究所.
- ⑤ 光延卓哉, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, "生体用 Co-Cr-Mo 合金の疲労変形に伴う突出し・入り込み形成とひずみ誘起マルテンサイト変態", 日本金属学会秋期 (第 153 回) 講演大会, 2013. 9. 17-19, 金沢大学.
- ⑥ 小泉雄一郎, 陳妍, 千葉晶彦, 田中俊一郎, 萩原嘉廣, "ある使用済み Co-Cr 合金製 Metal-on-Metal 型人工股関節摺動部の表面組織", 日本金属学会秋期 (第 153 回) 講演大会, 2013. 9. 17-19, 金沢大学.
- ⑦ 松本洋明, 小泉雄一郎, 李秉洙, 李云平, 大橋 鉄也, 千葉晶彦, 生体用  $\epsilon$ -CoCrMo 合金における変形過程の粒界近傍での転位集積と結晶塑性解析, 日本金属学会 2013 年度春期講演大会 2013 年 3 月 27 日, 東京
- ⑧ S.H. Sun, S. Kurosu, Y. Koizumi, Y. Li, H. Matsumoto, A. Chiba, Effect of preferential orientation on creep behavior of Co-28Cr-6Mo-0.23C-0.17N alloy fabricated by electron beam melting (EBM), 日本金属学会 2013 年度春期講演大会, 2013 年 3 月 27 日, 東京
- ⑨ T. Mitsunobu, Y. Koizumi, B.S. Lee, A. Chiba, Strain-Induced Martensitic Transformation in Tensile/Compression Cyclic Deformations of Biomedical Co-Cr-Mo-N Alloy, TMS (Minerals, Metals and Materials Society), 2013 Annual Meeting, 2013 年 3 月 6 日, San Antonio, TX, USA
- ⑩ 小泉雄一郎, 広義の積層欠陥に支配される結晶塑性と組織形成, 日本鉄鋼協会・東北支部 若手研究者フォーラム『構造用金属材料の微細組織制御と特性』[招待講演], 2012 年 12 月 17 日, 仙台
- ⑪ 光延卓哉, 李秉洙, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, 生体用 Co-Cr-Mo-N 合金の疲労変形におけるすべり挙動とひずみ誘起マルテンサイト変態, 日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2012, 2012 年 11 月 26 日, 仙台
- ⑫ B.S. Lee, Y. Koizumi, A. Chiba, Microstructure-Dependence of Strain-Induced Martensitic Transformation in Biomedical Co-Cr-Mo-N alloy, 日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2012, 2012 年 11 月 26 日, 仙台
- ⑬ A. Chiba, K. Yamanaka, Y. Li, Y. Koizumi, H. Matsumoto Ultrafine Grain Refinement due to Novel Dynamic Recrystallization Mechanisms in Co-29Cr-6Mo Alloy with Extremely Low Stacking Fault Energy at Elevated Temperatures, The 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials (ISAEM-2012) [Invited], 2012 年 11 月 5 日, 豊橋
- ⑭ 小泉雄一郎, 光延卓也, 李秉洙, 松本洋明, 李云平, 黒須 信吾, 千葉晶彦, 生体用 Co-Cr-Mo 合金中の粒界近傍におけるひずみ誘起マルテンサイト, 日本金属学会秋期講演大会, 2012 年 9 月 17 日, 愛媛
- ⑮ 光延卓哉, 李秉洙, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, 生体用 Co-Cr-Mo-N 合金の引張-圧縮変形におけるひずみ誘起マルテンサイト変態, 日本金属学会秋期講演大会, 2012 年 9 月 17 日, 愛媛

- ①⑥ 孫世海, 黒須信吾, 小泉雄一郎, 李云平, 千葉晶彦, Microstructure and High Temperature Tensile Property of Co-28Cr-6Mo-0.23C-0.17N Alloy Fabricated by Electron Beam melting (EBM), 日本金属学会秋期講演大会, 2012年9月17日, 愛媛
- ①⑦ 松本洋明, 黒須信吾, 李秉洙, 李云平, 小泉雄一郎, 千葉晶彦,  $\epsilon$  単相組織の生体用 Co-Cr-Mo 多結晶合金の強度および変形特性, 日本金属学会秋期講演大会, 2012年9月17日, 愛媛
- ①⑧ 千葉晶彦, 山中謙太, 黒須信吾, 小泉雄一郎, 李云平, 松本洋明, 生体用 Co-Cr 合金の組織制御と力学特性改善, 日本金属学会秋期講演大会(招待講演[基調講演]), 2012年9月17日, 愛媛
- ①⑨ 李秉洙, 松本洋明, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, Microstructure-Dependence of Strain-Induced Martensitic Transformation in Biomedical Co-Cr-Mo-N Alloy, 日本金属学会秋期講演大会, 2012年9月17日, 愛媛
- ②⑩ 小泉雄一郎, 広義の積層欠陥に支配される結晶塑性と組織形成, 日本金属学会秋期講演大会(招待講演[受賞講演]), 2012年9月17日, 愛媛
- ②⑪ 千葉晶彦, 山中謙太, 黒須信吾, 李云平, 小泉雄一郎, 松本洋明, 生体用コバルトクロム合金の高強度・高延性化のための材料加工技術, 東北大学金属材料研究所共同研究ワークショップ, 日本バイオマテリアル学会東北地域講演会, 2012年9月3日, 仙台
- ②⑫ K. Yamanaka, M. Mori, A. Chiba, Y. Koizumi, S. Kurosu, Nanostructured Co-Cr-Mo Based Alloys for Orthopedic Implant Applications, The 9th World Biomaterials Congress (WBC), 2012年6月1日, Chengdu, China
- ②⑬ 鈴木将, 小泉雄一郎, 李秉洙, 山中謙太, 松本洋明, 李云平, 黒須信吾, 菅原孝昌, 田中裕次, 千葉晶彦, 塑性変形した生体用 Co-Cr-Mo 合金における種々の界面近傍のひずみ分布, 日本金属学会春期講演大会, 2012年3月30日, 横浜国立大学.
- ②⑭ 李秉洙, 鈴木将, 松本洋明, 李云平, 小泉雄一郎, 千葉晶彦, GND Distribution near Strain-induced Martensitic  $\epsilon$ -phase in Co-Cr-Mo-N alloy, 日本金属学会春期講演大会, 2012年3月30日, 横

浜国立大学.

- ②⑮ Y. Koizumi, S. Suzuki, T. Ohtomo, S. Kurosu, Y. Li, H. Matsumoto, A. Chiba, Phase-Field Simulation of Segregation to Stacking Fault and Twin Boundaries in Co-based alloys, Symposium: Computational Thermodynamics and Kinetics in TMS/AIME Annual Meeting, 2012年3月13日, Orlando, FL, USA.
- ②⑯ B. S. Lee, Sho Suzuki, H. Matsumoto, Y. Koizumi, A. Chiba, Micromechanical Analysis of Strain-Induced Martensitic Transformation in Biomedical Co-Cr-Mo-N Alloy, Biological Materials Science Symposium in TMS/AIME Annual Meeting, 2012年3月13日, Orlando, FL, USA

[図書] (計0件)  
該当無し

[産業財産権]  
○出願状況 (計0件)  
該当無し

○取得状況 (計0件)  
該当無し

[その他]  
ホームページ等  
< <http://www.chibalab.imr.tohoku.ac.jp>>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小泉 雄一郎 (KOIZUMI, Yuichiro)  
東北大学・金属材料研究所・准教授  
研究者番号: 10322174

### (2) 研究分担者

千葉 晶彦 (CHIBA, Akihiko)  
東北大学・金属材料研究所・教授  
研究者番号: 00197617

松本 洋明 (MATSUMOTO, Hiroaki)  
東北大学・金属材料研究所・助教  
研究者番号: 40372312

李 云平 (LI, Yunping)  
東北大学・金属材料研究所・助教  
研究者番号: 80546862

### (3) 連携研究者

なし