

◆◆◆ ポスター発表 ◆◆◆

Poster- 1. 『Cu-Al-Mn 系形状記憶合金を用いた除振系に関する研究』

北九州市立大学 ○三好 俊, 佐々木 卓実, 長 弘基

これまで、小型でシンプルな除振装置として、座屈後 Ti-Ni 系形状記憶合金を用いた除振系を検討してきたが、Ti-Ni 系形状記憶合金は、負剛性発現に温度管理が必要であり、広範囲な適用に対する課題となっていた。これに対して、Cu-Al-Mn 系形状記憶合金は温度依存性があまり見られない点で優れている。本報では、Cu-Al-Mn 系形状記憶合金の除振性能について検討した。

Poster- 2. 『テープ状形状記憶合金素子を用いた

リハビリトレーニンググローブ用アシスト機構の研究開発』

北九州市立大学 ○長住 真吾, 長 弘基, 松田 鶴夫

片麻痺患者用の手指リハビリ器具として空気圧駆動リハビリグローブがある。現在、本リハビリ装置は医療機関内のみで使用されているが、自宅などで使用できるようになることで負担を増やさずに効果的なリハビリを行えることが期待されている。しかし、小型の装置を使用した場合グローブの指展開方向の力が弱いという課題がある。そこで、本研究ではテープ状形状記憶合金素子をグローブに装着することで指展開時の動作アシストを行うことを目的とした。本報では、テープ状形状記憶合金素子を用いた指展開時のアシスト機構を試作し、その特性評価を行った。

Poster- 3. 『高拡張力 TiNi 形状記憶合金ステントの変形特性』

○森本楓生（愛知工業大学大学院）、松井良介（愛知工業大学）

TiNi 形状記憶合金（Shape Memory Alloy：以下 SMA）は他の合金系 SMA と比べ疲労強度が高く、耐食性や生体適合性に優れることから、医療分野での応用が期待されている。応用先の 1 つに自己拡張型ステントと呼ばれる医療器具がある。これは狭窄した血管に挿入するもので、内側から血管を広げることで血流を確保する機能を持つ。留置されたステントは常に拍動等による繰返し負荷を受けながら血管を支える必要があるため、疲労強度の確保と高い拡張力が必要とされる。

そこで本研究では、TiNi SMA ステントの機械的特性を明らかにし、疲労強度と高い血管拡張力の両立が可能なステントの製造プロセスを提案することを目的とした。本発表では本プロセスで作製したステントを 3D モデル化し、有限要素解析を用いて半径方向単軸圧縮モードにおける局所的な変形挙動を明らかにした。また、ステント実物の反力を求め、解析の妥当性を評価した結果についても述べる。

◆◆◆ ポスター発表 ◆◆◆

Poster- 4. 『等原子比組成 ZrCu 合金マルテンサイト相の格子不変変形と自己調整構造』

熊本大学¹, NIMS², ○尾中 晃生(D3)¹, 吉岡 徹郎(M2)¹, 井 誠一郎², 松田 光弘¹

近年、Ti-Ni 合金よりも高温域で作動する高温型形状記憶合金の開発が進められており、Ti と同族元素である Zr に着目した Zr 基合金に関する研究が行われている。本研究では等原子比 ZrCu 合金を作製し SEM-EBSD および TEM 観察により、マルテンサイト相の格子不変変形および自己調整構造について調査した。本合金マルテンサイト相は室温にて二種類の単斜晶構造(① $P2_1/m$ ② Cm)を呈していた。格子対応バリエーションは幅 1~2 μm 、長さ約 5~20 μm のプレート状であり、両構造ともにバリエーション界面に Type I 双晶(①: $\{011\}$ 双晶, ②: $\{021\}$ 双晶)を形成していた。これら双晶界面は $\{011\}_{P21/m} // \{021\}_{Cm} // \{001\}_{B2}$ の方位関係を有しており、この界面を境界とする晶癖面バリエーション同士が対となって生成していた。また②では底面にて鏡面对称となるバリエーション(ex.)CV5-CV5')の界面として $\{001\}_{Cm}$ Compound 双晶を形成しており、これは本合金の格子不変変形であると考察される。

Poster- 5. 『Ti-Ni-Hf 合金斜方晶マルテンサイトの変態挙動と自己調整構造に及ぼす時効の影響』

熊本大学 ○鬼塚 慈恩(M1), 尾中 晃生(D3), 松田 光弘

近年、高温型形状記憶合金として Ti-Ni-Hf 合金に関する研究が進められている。本合金は時効処理に伴い微細な H 相粒子が析出することで、機能特性の改善が行われている^[1,2]。本研究では、EBSD 測定および TEM 観察により、 $\text{Ti}_{15}\text{Ni}_{50}\text{Hf}_{35}$ 合金時効材の微細構造を調査しバリエーション解析を行うことにより、 $\text{Ti}_{15}\text{Ni}_{50}\text{Hf}_{35}$ 合金斜方晶マルテンサイトの変態挙動と自己調整構造に及ぼす時効の影響を調査した。800°C-2 min 時効材では室温にて斜方晶 ($B33$) 構造であり、幅 0.5~1 μm 、長さ 1~30 μm を有する多角形状とプレート状が混在したモザイク状組織を呈しており、溶体化処理材と比較して微細化していた。また晶癖面が同一となる隣り合った格子対応バリエーション同士が $\{021\}_{B33}$ Compound 双晶を境にほぼ同体積率にてペアとなった 2 バリエーションで生成していた。また時効材の DTA 測定の結果、各種変態点が低下していた。

[1] F. Yang, *et. al.* : Acta Mater. **61** (2013) 3335.

[2] A. Evirgen, *et. al.*: Acta Materialia. **83** (2015) 48.

◆◆◆ ポスター発表 ◆◆◆

Poster- 6. 『TiNi 形状記憶合金における変態誘起転位の発生機構に関する運動学的考察』

東工大物質理工学院¹, 東工大科学技術創成研究院², 九州大総合理工学研究院³

○彦坂 元(D1)¹, 平間慧¹, 篠原百合², 赤嶺大志³, 西田稔³, 稲邑朋也²

TiNi などの形状記憶合金では、マルテンサイト組織の形成に伴い発生する転位が機能劣化の一因となる。これらの転位は、生成したマルテンサイトバリエーションの連結や晶癖面に存在するミスフィットを緩和するために発生していると考えられる。そこで本研究では、晶癖面に不可避免的に存在する局所的なミスフィットを緩和するために転位が導入されるとの仮説の下、変形の連続性を表す Rank-1 接続を用いて、晶癖面での転位発生運動学的モデルを構成した。さらに電子顕微鏡観察により、上記モデルの妥当性を検証した。その結果、晶癖面に局所的に存在するミスフィットは転位により理論上は緩和できることがわかり、それら転位のバーガースペクトルは電子顕微鏡観察結果と一致した。だが晶癖面方位に関してはモデルと実験が一致しているとはいえなかった。このことから、晶癖面近傍の転位は、モデルで仮定された均一すべりではなく、不均一すべりにより局所的に発生していることが示唆された。

Poster- 7. 『DFT により設計された高温高エントロピー形状記憶合金の形状記憶効果』

東京大学¹, MINTEK² ○沈佑年(D2)¹, Maje Phasha², 松永紗英¹, 御手洗容子¹

TiNi は、優れた形状記憶効果と超弾性を持つが、マルテンサイト変態温度 (MTT) が低いため、TiNi の応用は 100℃以下に限られている。これまで TiPd や TiPt を基に、拡散速度が遅く、格子歪みにより高温における高強度化が期待されるハイエントロピー合金を設計し、HT-SMAs としての可能性を調べてきたが、試行錯誤であり効率が悪い。そこで、本研究では、マルテンサイト変態における結晶構造変化に関係がある弾性定数に着目し、弾性定数から変態温度や形状回復を予測が可能であるか検討する。HT-SMA として有望な元素の組み合わせとして、TiZrPdPtCo を選び、異なる合金組成に対して、密度汎関数理論 (DFT) により弾性定数を計算した。得られた弾性定数から変態温度、形状回復効果を予測し、これらの予測が妥当であるかを、実験的に検証した。

◆◆◆ ポスター発表 ◆◆◆

Poster- 8. 『TiZrPdPt 高温形状記憶合金の相変態と形状記憶効果』

東京大学 ○肖劍鋒 (M1)、沈佑年 (D2)、松永紗英、御手洗容子

形状記憶合金として最も利用されている TiNi 合金は、動作温度が 100° C 以下であるため、高温形状記憶合金としては利用できない。近年、TiPd、TiPt 系合金など、Ni を融点が高い元素に代替することで、変態温度を 500° C 以上に上昇させることが報告されている。しかし、高温環境下では強度不足により、形状を完全に回復できないという問題がある。TiPd や TiPt に、大きな原子サイズを持つ Zr を添加することで、形状回復が改善されることが報告されたが、完全な回復は得られなかった[1]。最近注目されているハイエントロピー合金は、遅い拡散や結晶格子の歪みなどの特徴により、塑性変形を抑制する効果がある。そこで本研究では、ミディアムエントロピー TiZrPdPt 四元合金に着目し合金組成がマルテンサイト変態および形状記憶効果へ与える影響について検討した。

[1] Y. Yamabe-Mitarai, Metals, 10 (2020) 1531.

Poster- 9. 『TiZrHf 合金をベースとした 4 元系ミディアムエントロピー合金における相構成』

○続木あみ¹⁾、高橋風¹⁾、當代光陽¹⁾、永瀬丈嗣²⁾、中野貴由³⁾

¹⁾新居浜工業高等専門学校、²⁾兵庫県立大学、³⁾大阪大学大学院工学研究科

ハイエントロピー合金(HEAs)は 5 元素以上からなる多成分系の固溶体を指し、近年注目を集めている。bcc 型 Ti 系 HEA は強度と生体適合性に優れ生体材料としての可能性が報告されている。その一方でその実用化には延性改善が大きな課題として残っている。延性低下の原因は bcc 相の粒界割れが原因とされており、広く bcc 型 HEA の特徴とされている。生体適合性を考慮すると、Ti が主成分として考えられ、Ti と全率固溶する同族の Zr と Hf を第 2、第 3 元素として選択し、最大限混合エントロピーを増大させると、室温で hcp 相を示す三元系 TiZrHf 合金が得られる。この合金は Ti と同様の高温相(bcc 相)と低温相(hcp 相)を示す。本研究では TiZrHf をベースとしたミディアムエントロピー合金の相構成と組織を調査し、高温相(bcc 相)と低温相(hcp 相)の相変態について議論することで、Ti 合金のような様々な変形モード(応力誘起マルテンサイト変態や双晶変形など)を発現させ、このことによって強度－延性バランスの改善を模索する。

◆◆◆ ポスター発表 ◆◆◆

Poster-10. 『コンビナトリアル手法による Ti-Ni-Hf 高成形性形状記憶合金の特性評価』

名古屋大学大学院 ○王 藝舒, 岡 智絵美, 秦 誠一, 櫻井 淳平

Ti-Ni 形状記憶合金に適切な第三元素を添加すると、粘性流動特性を利用した成形加工が可能な Ti-Ni 系高成形性形状記憶合金 (High Formable Shape Memory Alloy: HFSMA) となる⁽¹⁾。本研究では、医療用マイクロアクチュエータデバイスへの応用を目指し、コンビナトリアル手法により、高温変態が可能な新規 Ti-Ni-Hf HFSMAs の探索を行った。ガラス転移温度と合金組成の探索を行うため、初めに合成スパッタ法により非晶質合金薄膜サンプルからなるライブラリを作製した。電気抵抗測定により、ガラス転移を検知し、金属ガラス化の有無の確認を行った。その結果、Ni 濃度が 50 at.%以上、Hf 濃度が 10 at.%以上の組成で、ガラス転移を示した。変態温度と熱処理温度の依存性評価を行うため、温度傾斜加熱炉を用いて熱処理温度を連続的に変化させたサンプルからなるライブラリを作製した。熱サイクル中のサンプルの放射率変化から、マルテンサイト変態温度を測定した。その結果、Hf 濃度が 15 at.% 以上、熱処理温度が 873 K 程度で A_s は目標の 397 K を超えるサンプルになることを確認した。

1) J. Sakurai, S. Hata, Mater.Schi.Eng.A 541, 2012, 8-13

Poster-11. 『コイル状 SMA アクチュエータとスライダ機構による後頭部褥瘡予防装置の開発』

大阪工業大学 ○畑野 敦哉, 常深 大生, 谷口 浩成

褥瘡とは寝たきりなどにより、体重で圧迫された場所の血流が悪くなり滞ることで、皮膚が壊死してしまう症状である。予防手段は、体位変換を行うことで体圧を分散させる。しかし、介護者による体位変換は療養者の睡眠を妨げることもあり、介護者の負担も高い。近年では、褥瘡予防装置として空気圧を用いた体位変換ができるエアマットレスが販売されているが、空気を入れる動作音により療養者の睡眠の妨げになることが報告されている。本研究では、駆動時の動作音がなく、緩やかな動作が可能な形状記憶合金(SMA)アクチュエータを用いた後頭部の褥瘡予防装置を開発している。装置は、主に頭部保持部品とスライダ部品で構成されており、スライダ部品を SMA アクチュエータによって稼働させ、それに連動して頭部保持部品を動かすことで、頭部を回旋させる。本発表では、褥瘡予防装置の設計と試作、および動作評価試験について報告する。

◆◆◆ ポスター発表 ◆◆◆

Poster-12. 『SMAアクチュエータを駆動源としたミズクラゲ型ソフトロボットの開発

：無線駆動と小型化の検討』

大阪工業大学 ○上田 哲平, 谷口 浩成

ストレスを軽減する手法の一つとして、アニマルセラピーが挙げられる。ミズクラゲは、高いアニマルセラピー効果があるとされており、これはクラゲが水中を漂う様子や、そのゆっくりとした動きによってもたらされている。そこで本研究では、本物のミズクラゲと同様のセラピー効果を得られるミズクラゲ型ソフトロボットを開発している。提案するロボットは、シリコーンゴム製のクラゲロボットの傘に、SMAアクチュエータを取り付け、クラゲの柔軟な動きの再現を試みている。これまでいくつかのクラゲ型ロボットを試作してきたが、SMAアクチュエータの駆動に外部電源より有線を通じて通電する点や、クラゲロボットの大きさに問題があった。そこで、クラゲロボットの電源、駆動回路を本体に内蔵させ、小型化を試みた。本報告では、無線駆動方式のミズクラゲ型ソフトロボットの構造と試作について説明し、水中での駆動試験について述べる。

Poster-13. 『Au-Cu-Al 合金マルテンサイト相の結晶構造解析』

奈良女子大学 ○山本 若奈, 松岡 由貴

生体医療材料用形状記憶合金として現在はTi-Niが用いられているが、この合金はNiの溶出による金属アレルギーの懸念やレントゲン造影性に劣るといった問題点がある。より優れた生体医療材料として有望視される合金の一つにAu-Cu-Alがある。

Au-Cu-Alは宝飾品として用いられており、その用途の組成Au₇Cu₅Al₄周辺の結晶構造や組織についてはCortieらによって詳しく調べられている。生体医療材料としての機械的特性や組織については海瀬らによるβ相の広範囲にわたる研究報告があり、マルテンサイト相は斜方晶と単斜晶の2種が現れることが分かっているが、どちらの晶系が出現するのかを決定する要素は不明である。また、詳細な結晶構造パラメータの報告は少ない。我々は結晶構造パラメータの精密解析と、各原子サイトの元素組成比を詳細に調べ、それが機械的特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。今回は結晶構造が特定されているAu₂CuAlからAuをCuに置換していったAu₄₅Cu₃₀Al₂₅、Au_{37.5}Cu_{37.5}Al₂₅の2組成についての結晶構造解析結果を報告する。

◆◆◆ ポスター発表 ◆◆◆

Poster-14. 『FCC-HCP マルテンサイト変態を利用した

Co-Cr 合金の長寿命化と医療デバイスへの応用』

物質材料研究機構 ○李 相民, 土谷 浩一

Co-Cr 合金は FCC 相と HCP 相の相安定性を制御する事で塑性変形モードが転位すべり、双晶変形、FCC-HCP マルテンサイト変態と変化する。我々は最近、Co-Cr-Mo-Ni 合金について比較的可逆性に優れる双晶変形と FCC-HCP 変態が共存する組成の合金で、低サイクル疲労寿命が大幅に改善する事を見出した。特に Co-20Cr-10Mo-26Ni 合金は冠動脈ステントの主要材料である SUS316L の 13 倍、MP35N 合金の 2.6 倍、L605 合金の 1.6 倍という優れた疲労寿命を示した。この合金は大きな加工硬化を示すため強度-延性バランスに優れ、伸管加工や伸線加工性にも優れている。またラット背部への埋植試験の結果、生体適合性についても問題無いことが確認されている。本合金のチューブ材のレーザー加工で作製したステントは、既存合金（エルジロイ）性ステントの 2 倍の拡張力を示す事からさらなるロープロファイル化も可能である。