

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13655

研究課題名(和文)ホイスラー構造を持つAuCuAl合金の延性化機構の解明と生体機能材料への応用

研究課題名(英文) Study of ductility mechanism of AuCuAl alloys with heusler structure and application to biofunctional materials

研究代表者

海瀬 晃 (Umise, Akira)

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：60802353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ホイスラー構造を持つAuCuAl合金の延性化機構の解明と生体機能材料への応用を目的とする。ホイスラー構造をもつ金属間化合物は、強磁性形状記憶合金、熱電変換材料などさまざまな機能材料としての応用が期待させるが、多結晶では非常に脆い。このためAu₂CuAl基合金の粒界脆化の機構を解明することで本合金の生体機能材料への実用化の可能性を検証した。延性化の手法として粒界形状の複雑化を添加元素による制御と第二相による制御により行った。また、生体機能材料として使用するため、耐食性の評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究対象であるAuCuAl基超弾性合金はMRIアーチファクトフリー、高レントゲン造影性があり、および、機能材料としては、形状制御や応力保持のための超弾性・形状記憶効果があり、また生体材料として必要不可欠の生体適合性(ニッケルなどの金属アレルギーのない元素で構成)を持つ現在において唯一無二の全てを兼ね備える生体機能材料の設計ができる可能性を有しているが、この合金においても粒界脆化のため非常に脆いという問題がある。複雑な粒界形状が粒界脆化を抑制するという着想とその機構の解明は学問的に新しく独創的である。この機構を解明することで、機能材料としてホイスラー合金の革新的発展につながると考える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the ductility mechanism of AuCuAl alloys with heusler structure and its application to biofunctional materials. Intermetallic compounds with the heusler structure are expected to be applied to various functional materials such as ferromagnetic shape memory alloys and thermoelectric conversion materials, but they are very brittle in polycrystal. Therefore, we investigated the mechanism of grain boundary embrittlement in Au₂CuAl-based alloys to verify the potential of this alloy for biomedical functional materials. The ductility of the material was improved by controlling the grain boundary shape by addition elements and by controlling the second phase. In addition, corrosion resistance was evaluated for use as a biofunctional material.

研究分野：生体金属材料

キーワード：形状記憶合金 超弾性 生体金属材料 微小試験 機械的性質 耐食性

1. 研究開始当初の背景

日本人の死亡原因の大半は心疾患と脳血管疾患である。これらの治療のため、ステントなどの血管内機器による治療の重要性が増している。しかし、柔軟で信頼性の高い超弾性合金 TiNi の利用が進んでいるが、Ni は生体アレルギー性であり、これに替わる新規生体用超弾性が望まれている。血管内での治療機器の留置は、レントゲン撮影により位置を確かめながら移動させる必要がある。しかし、レントゲン撮影で見え難いため、手術が難しく被爆量が増えるなどの問題がある。研究対象である Au₂CuAl 合金は L₂₁ 構造 (ホイスラー構造) をもつ金属間化合物である。ホイスラー合金は、強磁性形状記憶合金、熱電変換材料、ハーフメタル材料など、さまざまな機能材料として高いポテンシャルを有している。しかし、Ni₂MnGa 磁性形状記憶合金や Cu₂AlNi 形状記憶合金といった多くのホイスラー構造をもつ金属間化合物は多結晶では粒界脆性のために脆く機能材料としての実用応用は難しい。このため、Ni₂MnGa では単結晶とポリマーの複合材料としての研究や、Cu₂AlNi では粗大な単結晶の研究が行われている。しかし、実用化の際の大量生産を見据えると、単結晶化の必要のない多結晶での利用が望ましいが、ホイスラー合金の粒界脆化を抑制する研究は、本申請者が知る限りほとんど行われていない。

本研究対象である Au₂CuAl 基超弾性合金は MRI アーチファクトフリー、高レントゲン造影性があり、および、機能材料としては、形状制御や応力保持のための超弾性・形状記憶効果があり、また生体材料として必要不可欠の生体適合性 (ニッケルなどの金属アレルギーのない元素で構成) を持つ現在において唯一無二の全てを兼ね備える生体機能材料の設計ができる可能性を有しているが、この合金においても粒界脆化のため非常に脆いという問題がある。

2. 研究の目的

唯一無二の全てを兼ね備える生体機能材料の設計の可能性を有しているホイスラー構造の Au₂CuAl 合金に着目し研究を行ってきたが、超弾性の発現する高 Al 濃度では、粒界脆化が生じることが明らかとなった。このため、微小試験により単結晶の機械的性質を評価したところ、単結晶では大きな変形能を持ち、本合金は医療用デバイスとして実用可能な機械的性質を有していることが明らかとなった。そこで粒界脆性を抑制するための方法として、添加元素による結晶粒微細化と粒界形状の変化に着目した。添加元素である Fe や Co は Au₂CuAl の構成元素の中で最も融点が高い。そのため、熱処理中に粒成長の際に Fe や Co のクラスターは粒界移動を抑制する。このため粒径を微細にかつ粒界形状を複雑にし、直線的な粒界の長さを減少させることで、き裂発生前にすべり変形が起こるために延性が向上すると思われる。複雑な粒界形状が粒界脆化を抑制するという着想とその機構の解明は学問的に新しく独創的である。そこで本研究では、Au₂CuAl 基合金の粒界脆化の機構を解明することで本合金の生体機能材料への実用化の可能性を検証すると共に、生体機能材料とし

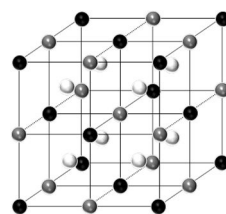


Fig.1 ホイスラー合金は X₂YZ(X, Y: 遷移金属元素, Z: s,p 元素)の化学組成で L₂₁ 構造をもつ金属間化合物である。

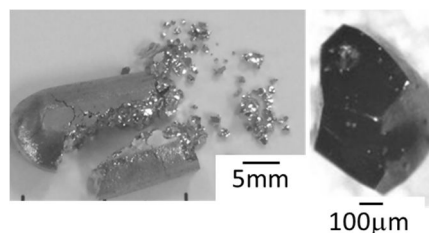


Fig.2 Au-Cu-Al 合金は他のホイスラー合金でもみられるように多結晶は非常に脆く、粒界脆性を示す。

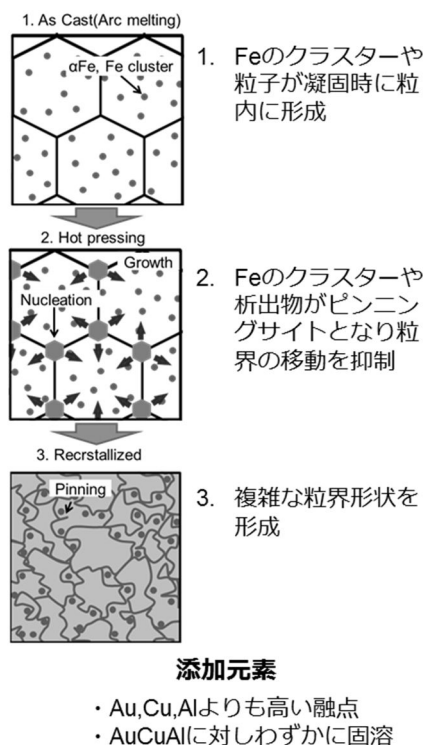


Fig.3 複雑な粒界形状の予想の一例 (Fe 添加)

延性が向上すると思われる。複雑な粒界形状が粒界脆化を抑制するという着想とその機構の解明は学問的に新しく独創的である。そこで本研究では、Au₂CuAl 基合金の粒界脆化の機構を解明することで本合金の生体機能材料への実用化の可能性を検証すると共に、生体機能材料とし

て使用するため、耐食性の評価を行う。

3. 研究の方法

[1] 添加元素による延性化

Au-Cu-Al 合金の各構成元素よりも融点が高く、原子拡散が遅い第四元素を添加することにより、AuCuAl 合金の粒径を微細にかつ粒界の形状を複雑にし、延性を向上させるため、本研究では、それらの進展として、第四添加元素として Pt, Pd, Rh に着目した。添加元素による複雑な粒界を持つ組織の形成は、溶解、加工、熱処理という工業的にも行われている簡便な作製プロセスで良好な機械的性質が得られるはずである。本研究では第四元素を添加した AuCuAl 合金の組織と機械的性質の関係を明らかにする。

[2] 第二相による延性化

Fig.4 に Levey らにより報告された 773K における Au-Cu-Al 合金の三元系状態図を示す。AuCuAl 合金においてマルテンサイト変態が生じるβ領域境界近傍ではα相(fcc)や Au₄Al が生成すると判断できる。本合金と同じ金属間化合物の延性化手法としては、粒界上に第二相を形成させる方法がある。第二相により、熱処理の粒成長を抑制することで粒径を微細化し、さらに、粒界破壊が生じて、第二相の変形が容易であればき裂進展を抑制し、延性を向上させる。AuCuAl 合金において析出するα相は fcc 構造を持つため、マトリクスよりも変形が容易であるため延性を向上させることが期待できる。そこで第二相としてα相と比較のために Au₄Al を選択し、組織と機械的性質の関係を明らかにする。また、第二相と添加元素では延性化改善の機構が異なると考えており、異なる延性化機構の複合によるさらなる延性化も目指す。

[3] 生体機能材料としての耐食性の評価

体内環境は金属にとって過酷な環境であり、生体環境を模擬した溶液内での電気化学的手法を用いた耐食性の評価を行う。

4. 研究成果

[1] 添加元素による延性化

Fig.4 に(a) Pt 添加, (b) Pd 添加, (c) Rh 添加をした AuCuAl 合金の OM 像を示す。それぞれの結晶粒径は 51μm, 162μm, 73μm であった。粒界の形状は、結晶粒径の減少の確認できた Pt, と Rh 添加においては複雑になっていることが確認された。Fig.5 に(a) Pt 添加, (b) Pd 添加, (c) Rh 添加した AuCuAl 合金の SEM 像を示す。Pt 添加では、EDS 分析の結果から PtAl と思われる粗大な第二相が確認された。Pd 添加では第二相は確認されず、AuCuAl 中に Pd はすべて固溶したと考えられ、結晶粒系の減少も粒界形状の変化も起こらなかったと考えられる。Rh 添加では EDS 分析の結果から RhAl と思われる第二相の形成が確認された。OM 像と SEM 像から、RhAl は粒界近傍に多く形成していることがわかる。また、第二相のサイズはこれまで研究を行ってきた Fe や Co を添加して際の第二相のサイズと同様であり、この RhAl の形成により熱処理中の再結晶が起こった際に粒界移動を抑制し、このため粒径を微細にかつ粒界形状を複雑にしたと

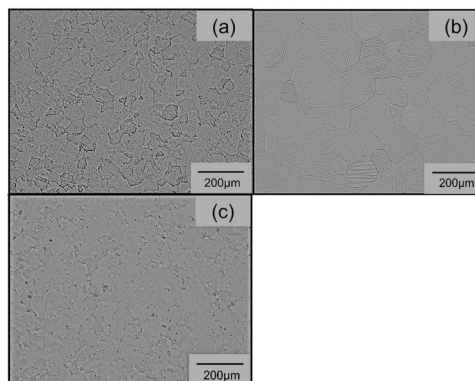


Fig.4 第四元素を添加した AuCuAl 合金の OM 像 (a) Pt 添加, (b) Pd 添加, (c) Rh 添加

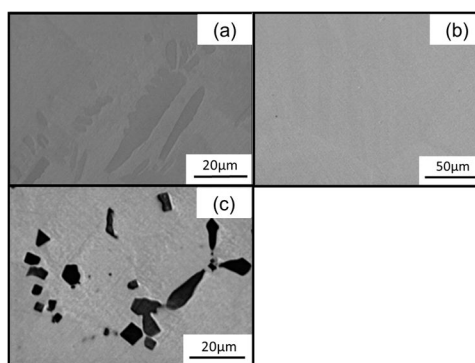


Fig.5 第四元素を添加した AuCuAl 合金の SEM 像 (a) Pt 添加, (b) Pd 添加, (c) Rh 添加

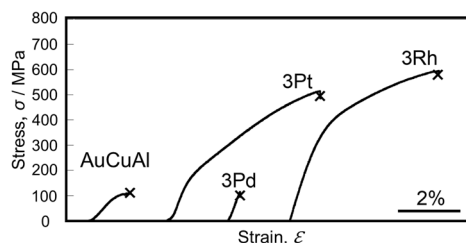


Fig.6 第四元素を添加した AuCuAl 合金の応力-歪み曲線

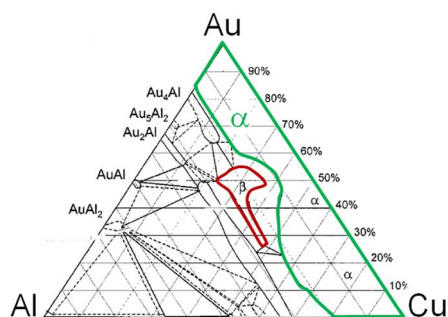


Fig.7 773K における Au-Cu-Al 合金の三元系状態図¹

考えられる．Fig.6 に第四元素を添加した AuCuAl 合金の応力-歪み曲線を示す．AuCuAl 三元系合金と比較して，Pt 添加と Rh 添加では延性の向上が認められた．粒径を微細にかつ粒界形状を複雑にしたことで，直線的な粒界の長さを減少し，き裂発生前にすべり変形が起こるために延性が向上したとも考えられる．しかし，Fe 添加の際に形成された第二相は α -Fe であったが，Pt 添加と Rh 添加の第二相は PtAl と RhAl であり，第二相の形成によりマトリクス中の Al 濃度の低下が主要原因として考えられる．

[2] 第二相による延性化

Fig.7 に Levey らにより報告された 773K における Au-Cu-Al 合金の三元系状態図を示す．AuCuAl 合金においてマルテンサイト変態が生じる β 領域境界近傍では α 相(fcc)や Au_4Al が生成すると判断できる．本合金と同じ金属間化合物の延性化手法としては，粒界上に第二相を形成させる方法がある．第二相により，熱処理の粒成長を抑制することで粒径を微細化し，さらに，粒界破壊が生じて，第二相の変形が容易であればき裂進展を抑制し，延性を向上させる．AuCuAl 合金において析出する α 相は fcc 構造を持つため，マトリクスよりも変形が容易であるため延性を向上させることが期待できる．そこで第二相として α 相と比較のために Au_4Al を選択し，組織と機械的性質の関係を明らかにした．Fig.8 に(a) β 相単相合金(b) β 相+ α 相合金，(c) β 相+ Au_4Al 合金の SEM 像を示す．それぞれの結晶粒径は $300\mu\text{m}$ ， $20\mu\text{m}$ ， $16\mu\text{m}$ であった．このことから， α 相， Au_4Al のいずれの第二相であっても熱処理中の粒成長を抑制し粒径を減少させることが明らかとなった．Fig.9 に第二相を有する AuCuAl 合金の応力-歪み曲線を示す．第二相として α 相を導入することで最大で 14%以上もの引張延性を示すことを示している．しかし，これに伴いマルテンサイト変態温度は上昇してしまうため，三元系合金では第二相導入による延性化と体温近傍のマルテンサイト変態温度とを両立させることが困難であり，別な延性化手法が必要であると考えられる．

そこで，マルテンサイト変態温度を低下させ，粒径を微細にかつ粒界の形状を複雑にさせることで延性を向上させた Fe に着目し， α 相を導入した合金に Fe を添加することとした．Fig.10 に α 相を有する AuCuAl 合金の応力-歪み曲線を示す． β 相+ α 相の合金に Fe を添加することにより延性が向上していることは明らかである． α 相の導入は結晶粒径の微細化と粒界上に形成された変形が容易な α 相によりき裂進展を抑制し，延性を向上させる．一方で，Fe 添加は AuCuAl 合金の粒径を微細にかつ粒界の形状を複雑にし，直線的な粒界一つあたりの長さを減少させることで，臨界き裂長さから推測できる破壊応力をすべり臨界応力以上となり，き裂発生前にすべり変形が生じ，延性を向上させる．これらのことから，異なる延性化手法である第二相(α 相)の導入と Fe 添加の組み合わせにより AuCuAl 合金の延性は大幅に向上することが明らかとなった．

[3] AuCuAl 合金の耐食性

擬似体液である 0.9mass%NaCl 水溶液と $5.85\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}+10\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 乳酸の混合水溶液(pH2.3)を溶液に用いて耐食性の評価を行った．組織観察の結果，2mol%以上の Fe 添加では微細な第二相(α Fe 固溶体)が形成しており，Fe 濃度の増加に伴い，第二相の数密度は増加していた．Fig.11 に 0.9mass%NaCl 水溶液中におけるアノード分極曲線を示す．Fe 無添加材は，1.2VSCE までの測定において明確な不動態域を示し，局部腐食は生じなかった．一方で，2mol%の Fe 添加材では，不動態皮膜の一部が破壊されたとみられる瞬間的な電流の上昇が確認された．Fe 濃度が

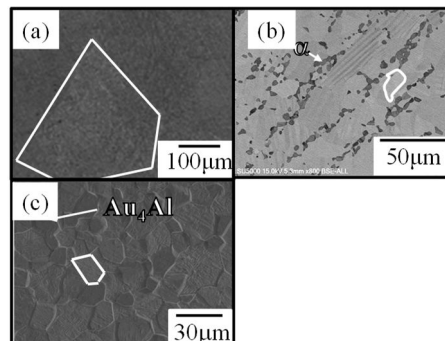


Fig.8 AuCuAl 合金の SEM 像 (a) β 相単相合金, (b) β 相+ α 相合金, (c) β 相+ Au_4Al 合金

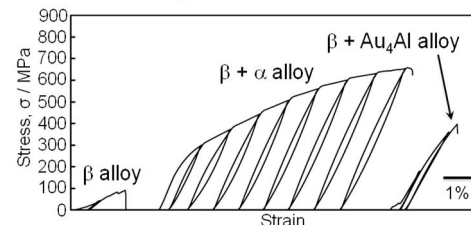


Fig.9 第二相を有する AuCuAl 合金の応力-歪み曲線

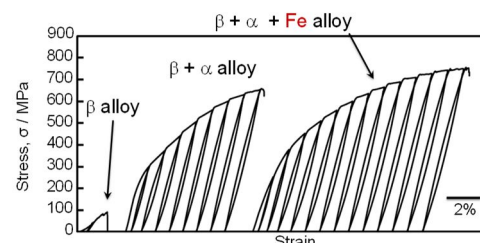


Fig.10 α 相を有する AuCuAl 合金の応力-歪み曲線

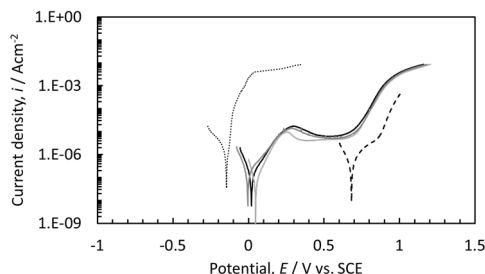


Fig.11 0.9mass%NaCl 水溶液中におけるアノード分極曲線

増加するほど電流密度の増加しており，第二相(α Fe 固溶体)が耐食性の低下に寄与していることが明らかとなった．しかし，いずれの Fe 濃度の AuCuAl 合金においても高い耐食性を示した．

<引用文献>

F.C. Levey, M.B. Cortie and L.A. Cornish, A 500 Isothermal Section for the Al-Au-Cu System, Metall.Trans.A, 33A (2002) 987-993

海瀬晃，盛田智彦，堀貴文，後藤研滋，金高弘恭，田原正樹，稲邑朋也，細田秀樹，種々の第四元素を添加した AuCuAl 基生体用形状記憶合金のマルテンサイト変態と機械的性質，日本金属学会誌，80(1)，(2016)，71-76.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Toriyabe Ayano, Chiu Wan-Ting, Umise Akira, Tahara Masaki, Goto Kenji, Kanetaka Hiroyasu, Hanawa Takao, Hosoda Hideki	4. 巻 139
2. 論文標題 Mechanical property enhancement of the Ag-tailored Au-Cu-Al shape memory alloy via the ductile phase toughening	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Intermetallics	6. 最初と最後の頁 107349 ~ 107349
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.intermet.2021.107349	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 Goo Kang-Wei, Chiu Wan-Ting, Toriyabe Ayano, Homma Masahiro, Umise Akira, Tahara Masaki, Goto Kenji, Sannomiya Takumi, Hosoda Hideki	4. 巻 14
2. 論文標題 Mechanical Properties Enhancement of the Au-Cu-Al Alloys via Phase Constitution Manipulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3122 ~ 3122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma14113122	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 Goto Kenji, Umise Akira, Tahara Masaki, Hosoda Hideki	4. 巻 60
2. 論文標題 Compressive Deformation Behavior and Magnetic Susceptibility of Au ₂ CuAl Biomedical Shape Memory Alloys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 662 ~ 665
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.MB201810	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29件（うち招待講演 0件／うち国際学会 16件）

1. 発表者名 栗原 知希, 後藤 研滋, Wan-Ting CHIU, 海瀬 晃, 田原 正樹, 埴 隆夫, 細田 秀樹
2. 発表標題 Au-Cu-Al生体用形状記憶合金の機械的性質に及ぼすPt, Pd, Rh添加の影響
3. 学会等名 第170回日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kang-Wei Goo, Ayano Toriyabe, Kenji Goto, Wan-Ting Chiu, Akira Umise, Masaki Tahara, Hideki Hosoda
2. 発表標題 Effects of Martensite Phase Introduction on Mechanical Properties of Au-Cu-Al Biomedical Alloys
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Goo Kang-Wei, 鳥谷部綾乃, 後藤研滋, Chiu Wan-Ting, 海瀬晃, 田原正樹, 細田秀樹
2. 発表標題 Au-Cu-Al合金の機械的性質に及ぼすマルテンサイト相導入の効果
3. 学会等名 第169回日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海瀬晃, 田原正樹, 細田秀樹, 後藤研滋, 堤祐介, 塙隆夫
2. 発表標題 交視認性を有するAuCuAl基生体用形状記憶合金の線材作製と耐食性
3. 学会等名 学際・国際的高度人材育成ライフイノベーション材料創製共同研究プロジェクト 第4回公開討論会, 学際・国際的高度人材育成ライフイノベーション材料創製共同研究プロジェクト 第4回公開討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海瀬 晃, 山路 幸毅, 後藤 研滋, 田原 正樹, 塙 隆夫, 細田 秀樹
2. 発表標題 生体用AuCuAlB形状記憶合金の組織と機械的性質
3. 学会等名 第166回日本金属学会春期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Akira Umise, Kenji Goto, Masaki Tahara, Tso Fu Mark Chang, Masato Sone, Takao Hanawa, Hideki Hosoda
2. 発表標題	Deformation Behavior of AuCuAl Biomedical Superelastic Alloys by Micro-Compression Tests
3. 学会等名	The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Maya Miyoshi, Akira Umise, Masaki Tahara, Kenji Goto, Takao Hanawa, Hideki Hosoda
2. 発表標題	Effect of C and Y additions on microstructure and mechanical properties in AuTiCo biomedical shape memory alloy
3. 学会等名	The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	A. Umise, K. Yamaji, K. Goto, M. Tahara, H. Kanetaka, T. Hanawa, H. Hosoda
2. 発表標題	Mechanical Property Improvement of AuCuAl Biomedical Superelastic Alloys Containing Phase
3. 学会等名	International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (IcMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Akira Umise, Kenji Goto, Masaki Tahara, Yusuke Tsutsumi, Hiroyasu Kanetaka, Takao Hanawa, Hideki Hosoda
2. 発表標題	Effect Fe Additions on Mechanical Properties and Corrosion Behavior of AuCuAl Based Biomedical Shape Memory Alloys
3. 学会等名	The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-4) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 Ayano Toriyabe, Kenji Goto, Akira Umise, Takao Hanawa, Hideki Hosoda
2. 発表標題 Suppression of Intergranular Fracture of Au-Cu-Al Biomedical Shape Memory Alloys by Introducing Ag-rich Second Phase
3. 学会等名 1st Tokyo Tech-NCTU Joint Symposium on Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Hosoda, Akira Umise, Masaki Tahara
2. 発表標題 Development of AuCuAl biomedical superelastic alloys
3. 学会等名 1st Tokyo Tech-NCTU Joint Symposium on Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Umise, Kenji Goto, Tso Fu Mark Chang, Masaki Tahara, Masato Sone, Takao Hanawa, Hideki Hosoda
2. 発表標題 Deformation Behavior of Au-28Cu-22Al Biomedical Shape Memory Alloy Micropillars
3. 学会等名 30th Annual Conference of the European Society for Biomaterials (ESB2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 海瀬 晃, 山路 幸毅, 後藤 研滋, 田原 正樹, 埴 隆夫, 細田 秀樹
2. 発表標題 生体用AuCuAlB形状記憶合金の組織と機械的性質
3. 学会等名 第166回日本金属学会春期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海瀬晃, 田原正樹, 細田秀樹, 後藤研滋, 堤祐介, 埴隆夫
2. 発表標題 高視認性を有するAuCuAl基生体用形状記憶合金の線材作製と耐食性
3. 学会等名 学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト 第4回公開討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Umise
2. 発表標題 Deformation behavior of biomedical Au28Cu22Al shape memory alloy
3. 学会等名 4st International workshop for advanced materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Hosoda, Serizawa Rui, Toriyabe Ayano, Goto Kenji, Umise Akira, Tahara Masaki, Masato Sone, Takao Hanawa
2. 発表標題 Recent development of AuCuAl biomedical superelastic alloys
3. 学会等名 Thermec2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海瀬晃, 後藤研滋, 田原正樹, 堤祐介, 埴隆夫, 細田秀樹
2. 発表標題 AuCuAl 基生体用形状記憶合金の機械的性質と耐食性
3. 学会等名 第163回日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥谷部綾乃, 後藤研滋, 海瀬晃, 田原正樹, 埴隆夫, 細田秀樹
2. 発表標題 Ag-rich 相を有する Au-Cu-Al 生体用形状記憶合金の組織と機械的性質
3. 学会等名 第163回日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Toriyabe, K. Goto, A. Umise, M. Tahara, T. Hanawa, H. Kanetaka, H. Hosoda
2. 発表標題 Microstructure and mechanical properties of Au-Cu-Al biomedical shape memory alloys containing Ag
3. 学会等名 iLIM-3(The 3rd International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海瀬晃, 山路幸毅, 後藤研滋, 田原正樹, 堤祐介, 埴隆夫, 細田秀樹
2. 発表標題 Au-27Cu-18Al 生体用超弾性合金の延性向上と耐食性評価
3. 学会等名 第1回材料機能特性のアーキテクチャー研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥谷部綾乃, 後藤研滋, 海瀬晃, 田原正樹, 埴隆夫, 細田秀樹
2. 発表標題 Au-Cu-Al 生体用形状記憶合金の組織と機械的性質に及ぼすAg添加の影響
3. 学会等名 第1回材料機能特性のアーキテクチャー研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Umise, Koki Yamaji, Kenji Goto, Masaki Tahara, Takao Hanawa, Hideki Hosoda
2. 発表標題 Martensitic Transformation and Mechanical Properties of AuCuAl Biomedical Superelastic Alloys Containing Phase
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Toriyabe, K. Goto, A. Umise, M. Tahara, T. Hanawa, H. Kanetaka, Hideki HOSODA
2. 発表標題 Grain Boundary Strengthening of AuCuAl Biomedical Shape Memory Alloy by Silver Addition
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥谷部綾乃, 後藤研滋, 海瀬晃, 田原正樹, 埴隆夫, 細田秀樹
2. 発表標題 Ag-rich fcc- 相の導入による Au-Cu-Al 生体用形状記憶合金の粒界強化
3. 学会等名 日本金属学会第15回ヤングメタラジスト研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ayano Toriyabe, Kenji Goto, Akira Umise, Hiroyasu Kanetaka, Hideki Hosoda
2. 発表標題 Mechanical properties of Au-Cu-Al biomedical shape memory alloys containing Ag
3. 学会等名 The 2018 MRS Fall Meeting & Exhibits (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Umise, Koki Yamaji, Hayato Gunji, Kenji Goto, Masaki Tahara, Takao Hanawa, Hideki Hosoda
2. 発表標題 Ductility Enhancement of AuCuAl Biomedical Shape Memory Alloys by Introducing FCC Phase
3. 学会等名 The 2018 MRS Fall Meeting & Exhibits (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Hosoda, Akira Umise, Kenji Goto, Masaki Tahara
2. 発表標題 Deformation Behavior of Stoichiometric Au ₂ CuAl
3. 学会等名 The 2018 MRS Fall Meeting & Exhibits (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海瀬晃, 後藤研滋, 田原正樹, 細田秀樹, 金高弘恭, 伊藤和博, 堤祐介, 埴隆夫
2. 発表標題 AuCuAl 生体用形状記憶合金の延性向上
3. 学会等名 学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製 共同研究プロジェクト (6大学連携プロジェクト) 第3回公開討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 海瀬晃, 後藤研滋, 田原正樹, 埴隆夫, 細田秀樹
2. 発表標題 Au-Cu-Al 生体用形状記憶合金線材の拡散挙動と機械的性質
3. 学会等名 第164回日本金属学会春期講演大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 形状記憶合金及び形状記憶合金線材	発明者 細田秀樹, 海瀬晃, 後藤研滋	権利者 国立大学法人東京工業大学, 田 中貴金属工業株
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6661132号	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔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
---------	---------