

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25249103

研究課題名(和文) ダイナミック構造変化を利用した高強度・高延性ナノ結晶合金の創製

研究課題名(英文) Development of high strength nanocrystalline alloys with high ductility controlled by dynamic structural changes during plastic deformation

研究代表者

山崎 徹 (Yamasaki, Tohru)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号：30137252

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,800,000円

研究成果の概要(和文)：ナノ結晶合金やアモルファス合金は高強度材料ではあるが、塑性変形中の加工硬化は生じない。このため、引張や圧縮変形時には塑性伸びを殆ど生ずることはなく、局所的なせん断帯を生じて脆性的に破壊し、これが、これら高強度合金の実用化への大きな障害となっている。本研究では、電解析出法によりナノ結晶相とアモルファス相の複合組織を有するNi-W合金を作製し、塑性変形誘起のナノ結晶粒成長を利用した加工硬化性の発現と高延性化を実現できた。さらに、アモルファス構造を有するZr基金属ガラスに貴金属を添加することにより、塑性変形誘起のナノ準結晶相の析出を促進させ、加工硬化性を発現させることができた。

研究成果の概要(英文)：Nanocrystalline and amorphous bulk metallic alloys have been limited in practical applications because of their low ductility under tensile and compressive testing conditions. This may be due to the formation of highly localized shear bands during plastic deformation. We have developed the high strength Ni-W electrodeposited alloys having large plastic deformability during tensile tests, e.g., tensile strength of about 2000 - 3000 MPa with plastic strain about 1% - 7%. This may be due to the dynamic nanocrystalline grain growth during plastic deformation. In addition, small amounts of Au addition on the Zr-Cu-Ni-Al BMGs have accelerated dynamic precipitations of nano-scale icosahedral quasicrystal phase (I-phase) inside the shear bands during plastic deformation. As the results, crystallization behaviors of the I-phase during plastic deformation have large remedial effects on the mechanical properties of the Zr based BMGs

研究分野：材料設計学

キーワード：電解析出 Ni-W合金 ナノ結晶 アモルファス 加工硬化 放射光 マイクロビーム

### 1. 研究開始当初の背景

高強度ナノ結晶合金は、結晶粒の超微細粒化により極端に硬質化しており、一般に、塑性変形中の加工硬化は生じない。このため、大きな曲げ変形能を有するナノ結晶材料においても、引張変形時には塑性伸びを殆ど生ずることはなく、Shear Band と呼ばれる局所的なせん断帯を生じて脆性的に破壊する。同様の現象は、高強度バルク状のアモルファス合金にも広く認められており、これら高強度合金の実用化への大きな障害となっている。

これら高硬質材料の脆性的な破壊に関する問題を解決するためには、塑性変形誘起のダイナミックな構造変化を利用した新しい加工硬化機構を付与することが必要である。

### 2. 研究の目的

一方、本申請代表者の山崎は、結晶粒サイズが 15 nm 以下のナノ結晶合金を安定して作製する方法として電解析出法に注目し、特に、Ni-W 系ナノ結晶合金においては、約 3,000MPa にも達する極めて高い引張強度を示し、平均結晶粒子サイズが 5nm 程度の均質なナノ結晶合金の作製に成功している<sup>1~6)</sup>。これら合金においては、結晶粒の超微細粒化により、既に超硬質化したナノ結晶合金が局所的ではあるが、加工硬化を伴う延性的な塑性変形挙動を示すことが明らかとなった。この原因として、応力誘起のナノ結晶粒の成長が生じ、逆ホールペッチ則に従った加工硬化が生じたと推定された。このため、これら変形メカニズムの詳細な解明と組織制御の最適化により、ナノ結晶合金における超塑性の発現等、加工硬化を伴う高延性化への道を拓くものと考えられた。

本研究では、塑性変形誘起のダイナミックな構造変化を利用して、これら材料に加工硬化性能を付与し、高強度・高延性ナノ結晶合金の創製を目的とした。

### 3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、電解析出法を用いて作製した Ni および Ni-W ナノ結晶合金および液体急冷法を用いて作製した Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラス合金により、以下の研究を実施した。

①高強度・高延性ナノ結晶電析合金の創製については、Ni および Ni-W 系ナノ結晶合金を対象とする。電解浴中の各種イオン濃度の厳密な管理の下で試料を作製する。これら合金の結晶粒成長挙動と引張塑性変形時の加工硬化挙動との関係をしらべた。

②バルク状ナノ結晶合金の創製については、Zr-Cu-Ni-Al 系アモルファス合金を中心に準結晶相の析出を促進させる Au, Pt, Pd, Ag 等の貴金属元素を添加し、HPT 等の強加工技術の導入と種々の熱処理条件を組み合わせることで塑性変形誘起のナノ結晶化挙動を明らかにする。さらに、結晶粒サイズが 10nm 程度の超微細組織を有し、高強度・高延性を発現す

るバルク状ナノ結晶合金の創製条件について検討するとともに、これら合金の塑性変形挙動についてしらべた。

③上記①②で作製したナノ結晶材料の結晶粒成長過程のダイナミック測定を行う。SPring-8 の長尺ビームライン(カメラ長 L=140m)極小角散乱測定装置により塑性変形時や加熱時の結晶粒成長挙動を計測するとともに、高速ビデオカメラを用いた局所的な塑性変形挙動の動的観察を行った。

④放射光を用いた X 線回折測定は高輝度光科学研究センターSPring-8 の BL46XU にて行った。入射 X 線ビームのエネルギーは 30keV、ビーム径を 0.4×0.4mm<sup>2</sup>とした。

### 4. 研究成果

#### 4-1. 高強度・高延性 Ni-W ナノ結晶合金の作製と変形挙動の合金組成依存性

図 1 に、電解析出法により作製した Ni-W 合金の引張試験結果を示す。アモルファス単相組織を有する Ni-20 at. % W 合金においては、破断強度は 3,200MPa を超える高い強度を有し、約 2% を超える弾性変形を示すことから、優れたバネ特性を有することが明らかとなった。しかしながら、破断までの塑性変形量は 0.5% 以下となり、アモルファス合金特有の局所的なせん断帯を生じて脆性的に破断した。Ni-14.9 at. % W 合金においては、結晶粒サイズが 10 nm 以下のナノ結晶単相組織を有しており、引張破断強度は 2,000MPa 程度にまで低下したが、破断までの塑性変形量は、同様に 0.5% 以下となり、局所的なせん断帯を生じて脆性的に破断した。

一方、W 含有量が 15.5 ~ 18.2 at. % の時、アモルファス相とナノ結晶相の複合組織が形成され、W 含有量の増加とともに、アモルファス相の割合の増加が認められた。このような複合組織を有する合金では、2,000 ~ 3,000 MPa 程度の高い降伏強度を維持しながら、加工硬化を伴う大きな塑性変形伸びを示した。

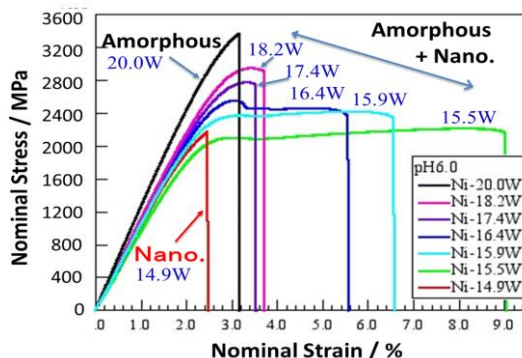


図 1 電解析出法により作製した Ni-W 合金の引張試験結果。

Ni-15.5 at. % W 合金においては、破断強度は 2,000 MPa 以上を維持しつつ、破断までの総ひずみ量は約 9% に達し、高強度と高延性を兼ね備えた新規の構造用材料を作製することができた。

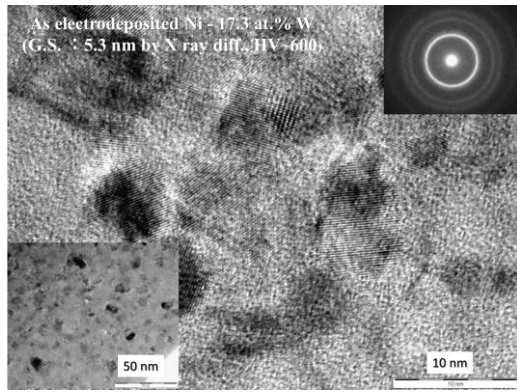


図2 電析 Ni-17 at. %W 合金の高分解能透過電子顕微鏡観察結果

図2に電解析出法により作製した Ni-17 at. %W 合金の高分解能透過電子顕微鏡による組織観察結果を示す。図中の一部には、低倍率像と制限視野回折像を合わせて示した。図から明らかとなり、本合金の組織は、アモルファス母相中に、直径 6 nm 程度のナノ結晶相が高密度に分布していることがわかる。本合金は 3,000 MPa 近くの高強度と約 1% 程度の加工硬化を伴う大きな塑性変形伸びを示すことが明らかとされており、これらの複合組織が塑性変形の発現に寄与していると考えられた。

#### 4-2 アモルファス/ナノ結晶複合組織を有する Ni-W 合金の塑性変形メカニズム

図3に、Ni-17 at. %W 合金の引張試験によりせん断帯の発生した試料に、せん断帯を横切るように、20 μm 径の放射光ビームを計 20 点、順に照射し、引張変形中に生じた塑性変形領域の組織変化を観察した結果を示す。

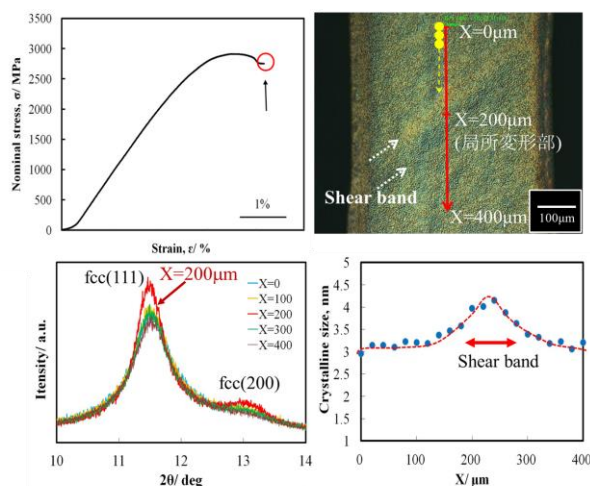


図3 放射光マイクロビーム(20 μm 径)を用いた電析 Ni-17 at. %W 合金の引張せん断変形内部の局所的構造変化測定。

引張試験中に応力低下が発生した時点で試験を中止したところ、試験片平行部に約 10 μm 幅のせん断変形体が観察された。このせ

ん断帯中心部分で、図中の X=200 μm 位置で測定した X線回折パターンは、その周辺部分と比較して回折ピーク強度が増加しており、塑性変形誘起のナノ結晶粒の粒成長が生じていることがわかる。また、ナノインデントによる局所的硬度測定を行ったところ、せん断帯内部で硬度の上昇が認められた。

以上の結果から、アモルファス相とナノ結晶相の複合組織を有し、高強度・高延性を発現する Ni-W 合金の塑性変形メカニズムについて考察した。

図4に、Ni および Ni-W 合金の硬度測定から求めたホールペッチプロットの結果を示す。Ni-W 合金においては、結晶粒子サイズが約 15 nm 以下になると、結晶粒子サイズの減少とともに軟化する、いわゆる、逆ホールペッチ現象が観察される。図3の結果から明らかのように、本研究で開発した Ni-W 合金は、X線回折から求めた初期ナノ結晶粒子サイズは 5nm 以下であり、塑性変形誘起の粒子サイズの成長により、硬度の増加が生じたものと考えられる。また、図2の TEM 観察結果を見ると、本合金の組織は、アモルファス相中に約 6 nm 程度のナノ結晶粒子が高密度に分布した状態にあり、塑性変形誘起のナノ結晶粒子の粒成長により軟質のアモルファス相の体積率が減少し、硬質のナノ結晶粒子の体積率が増加して、試料全体として硬質化が生じたものと考えられた。

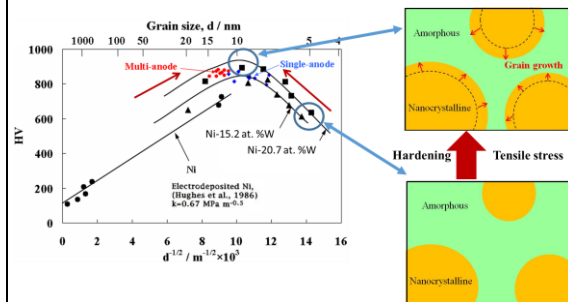


図4 Ni および Ni-W 合金の硬度測定から求めたホールペッチプロットの結果と、塑性変形誘起のナノ結晶粒成長挙動の模式図。

#### 4-3 高強度 Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラスの高延性化

Zr 基金属ガラスは、ナノ結晶材料と同様に、高強度、高靱性を有するが加工硬化能がなく、局所的なせん断帯変形により脆性的に破壊する。これは、せん断帯内部で過冷却液体が形成され、変形応力が大きく低下するためと考えられている。著者らは、65 at.%以上の Zr 含有率を有する Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラスに Au 等の貴金属をわずかに添加した合金では、過冷却液体からの準結晶相 (I 相) の析出が容易となり、圧縮時の塑性変形能が大きく改善することを明らかにした<sup>7)</sup>。この原因として、せん断帯の内部で動的に準結晶が析出し、変形応力の低下が抑制されるためと考えた。

本研究では、Au, Pd 等の貴金属を添加した Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラスの塑性変形挙動を調べ、せん断帯内部における準結晶の析出挙動と塑性変形能の関連性について検討した。供試材の組成は  $Zr_{65+x}Cu_{20-x-y}Ni_5Al_{10}$  (Pd, Pt, Ag or Au)<sub>y</sub> (x = 0, 1.5, 3, 4, y = 0, 0.5, 1.5, 3 at%) (Zr65, Zr65 ~ 69NM0.5 ~ 3) (NM : Au, Ag, Pd, Pt) とし、傾角鋳造法を用いて直径 8 mm、長さ約 40 mm のバルク状の試料を作製した。また、Au 添加材については、高 Zr を含有した  $Zr_{66.5+x}Cu_{15.5-x}Ni_5Al_{10}Au_3$  (x=0, 1.5, 3.5, 5.5 at%) (Zr66.5Au3~Zr72Au3) 合金のリボン状試料を単ロール式液体急冷法により作製した。銅ロールの周速度は 39 m/s とした。

図 5 に、バルク状 Zr65, Zr65Au3, Zr65Ag3 および Zr65Pd3 金属ガラスの as-cast 材, (Tg-100)K および(Tg-50)K-90min の熱処理材の圧縮試験結果を示す。貴金属を添加しない Zr-Cu-Ni-Al 金属ガラス合金(Zr65)では塑性変形初期から大きく変形応力の低下が生じたが、図に示すように、Zr65Au3 合金では塑性変形初期から全ひずみが 5 % 付近に至るまで変形応力の上昇が生じながら変形し、その後、緩やかに応力低下を生じた。一方、Zr65Ag3 および Zr65Pd3 合金では、塑性変形初期から大きく変形応力の低下が生じた。また、Zr65Pd3 および Zr65Ag3 合金では熱処理後に脆化が観察されたが、Zr65Au3 合金では観察されなかった。

Au 添加による塑性変形能の改善効果は、Zr 含有量を 66.5 at. % および 68 at. % まで増加させると、さらに上昇する傾向が見られたが、Pd, Ag, Pt 添加材については、添加による改善効果は少ないか、むしろ変形性能が低下する傾向が認められた。DSC 測定によると、Au 添加材においては、I 相の析出による発熱ピークと、その後の平衡相 (bct-Zr<sub>2</sub>Cu 相) のピークとが明瞭に分離し、加熱速度を上昇させても両発熱ピークは重ならず分離していた。一方、Pd, Ag, Pt 添加材では、加熱速度の上昇とともに両ピークが重なり、高速過熱条件では I 相と平衡相とが同時に析出することが明らかとなった。

Au 添加した Zr-Cu-Ni-Al 金属ガラスの I 相と平衡相 (bct-Zr<sub>2</sub>Cu 相) の析出挙動に及ぼす Zr 含有量の影響を調べるため、Zr 含有量を最大 72 at. % まで増加させた試料を単ロール式液体急冷装置を用いて作製し検討したところ、Zr が 66.5 at.% から 68 at.% へと増加すると Tg, Tx1 (I 相), Tx2 (bct-Zr<sub>2</sub>Cu 相) はいずれも 20 K 程度低温側に大きくシフトし、68 at.% 以上ではほぼ一定の値を示した。I 相の粒成長の活性化エネルギー E1 は、Zr が 66.5 at.% で 206 kJ/mol であったが、68 at.% 以上では約 250 kJ/mol へと大幅に増加し、ほぼ一定値を示した。平衡相である bct-Zr<sub>2</sub>Cu の結晶粒成長の活性化エネルギー E2 はいずれの組成においても 250 kJ/mol 程度であり、Zr 含有量増加による影響は見られなかった。以上のことから、Zr 含有率の増加は I 相の粒成長の活性

化エネルギーを増加させ、せん断帯内部で生成される過冷却液体中に I 相と平衡相との同時析出を抑制し、I 相のみの析出が生じて塑性変形の改善をもたらしたと考えられた。

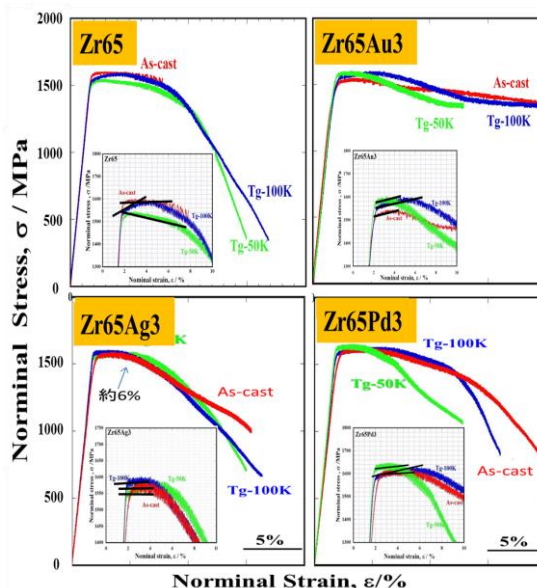


図 5 バルク状 Zr65, Zr65Au3, Zr65Ag3 および Zr65Pd3 金属ガラスの as-cast 材, (Tg-100)K および(Tg-50)K-90min の熱処理材の圧縮試験結果。

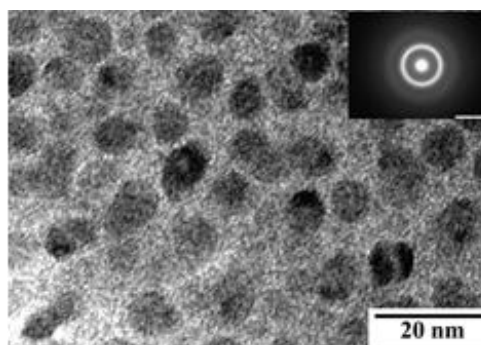


図 6 Zr65Au3 金属ガラスを圧縮試験終了後、せん断破断面近傍から試料を切り出して透過電子顕微鏡観察を行ったもの。アモルファス母相中に多数のナノ結晶相の析出が観察される。

図 6 に、Zr65Au3 金属ガラスを圧縮試験終了後、せん断破断面近傍から試料を切り出して透過電子顕微鏡観察を行った結果を示す。本合金系では、圧縮塑性変形時の主せん断帯の形成による応力低下を防止できると同時に、せん断帯内にナノスケールの準結晶相 (or 結晶相) の析出が認められたことから、ナノ結晶相の塑性変形誘起の析出により、せん断帯内部の変形抵抗を増大させ、加工硬化能を発現させたことを示唆している。熱処理により結晶化させると粗大な結晶相が析出するが、変形誘起の析出であれば、数 nm レベルのナ

ノ結晶とアモルファスの二相複合組織の合金を得る事が出来るため、強ひずみ加工法等を用いることにより、アモルファス合金中に多くのせん断帯を形成させ、アモルファス/ナノ結晶複合組織を有し、加工硬化性能を有する高強度・高延性の新規の材料開発も可能と考えられた。

#### まとめ

高強度・高延性のナノ結晶合金およびアモルファス合金の開発を検討した。その結果、アモルファス相とナノ結晶相の複合組織を形成させることにより、塑性変形中の加工硬化性能が発現できることを見出し、引張破断強度が2,000~3,000 MPaで、破断までの塑性ひずみ量が1~7%の高強度・高延性のNi-W系電析合金を開発することができた。また、圧縮変形において加工硬化の発現により局所的な脆性破断をしないZr-Cu-Ni-Al-Au系金属ガラス合金を開発することができた。

これら合金の加工硬化のメカニズムとして、Ni-W電析合金においては、アモルファス相中に分散析出した硬質のナノ結晶相が、塑性変形誘起の結晶粒成長を起し、加工硬化性能を発現したと考えられた。一方、Zr-Cu-Ni-Al系金属ガラスにおいては、微量のAuを添加することにより、せん断帯内部に塑性変形誘起の準結晶相が析出し、加工硬化を発現した。本合金系の場合には、予めナノサイズの準結晶相を析出させ、ナノ結晶/アモルファス複合組織を形成することができれば、さらなる延性の改善が期待される。

本合金に使用した金属ガラスの作製に関し、東北大学金属材料研究所の共同利用研究を利用して頂きました。深く感謝の意を表します。

#### (参考文献)

- (1) T. Yamasaki, P. Schlossmacher, K. Ehrlich and Y. Ogino, NanoStructured Materials, 10, 375-388 (1998).
- (2) T. Yamasaki, Scripta Materialia, 44, 1497-1502 (2001).
- (3) 山崎 徹, 表面技術, 55, 242-247 (2004).
- (4) K. Fujita, T. Suidu and T. Yamasaki, J. Japan Inst. Metals, Vol. 75, No. 6 (2011) 348-354.
- (5) T. Yamasaki and K. Fujita, Proc. of the Int. Symp. on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM 2010), .34-37.
- (6)(招待講演) T. Yamasaki and K. Fujita, Abs. of TMS2012, p. 506, Mar.11-15, 2012 Orland, Florida, USA.
- (7) 山崎 徹, 山田昌弘, 藤田和孝, 加藤秀実, Do Hyang Kim; 粉体および粉末冶金, Vol. 63, No. 4, 230-238 (2016).

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- 1) “Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラスの塑性変形挙動に及ぼす貴金属添加の影響”  
山崎 徹, 山田昌弘, 藤田和孝, 加藤秀実, Do Hyang Kim; 粉体および粉末冶金, Vol. 63, No. 4, 230-238 (2016). 「査読有」
- 2) “Zr 基バルク金属ガラスのねじり応力下における破壊特性と疲労特性”  
藤田和孝, 西川裕之, 山崎 徹, 加藤秀美: 粉体および粉末冶金, Vol. 63, No. 4, 223-229 (2016). 「査読有」
- 3) ”Fabrication and characterization of fine-grained 316L steel with 2.0 mass% TiC”, M. Terasawa, T. Yamasaki et. al., J. Nuclear Science and Technology, 「査読有」  
DOI:10.1080/00223131.2016.1175390, (2016)
- 4) “Elastic and Plastic Deformation Behavior Studied by In-situ Synchrotron X-ray Diffraction in Nanocrystalline Nickel”,  
H. Adachi, Y. Kuramatsu, S. Nakayama, T. Miyazawa, M. Sato and T. Yamasaki  
Materials Transactions, Vol. 57, No. 9, 1447-1453 (2016). 「査読有」  
<http://dx.doi.org/10.2320/matertrans.MH201505>
- 5) “Correlation between Mechanical Properties and Microstructure as a Function of W-content in Ni-W Dual-Phase Alloys”,  
S. Nakayama, H. Adachi, T. Nabeshima, T. Miyazawa and T. Yamasaki, Science of Advanced Materials,  
Vol. 8 (11), 2082-2088 (2016). 「査読有」
- 6) “Large enhancement of superconducting transition temperature in single-element superconducting rhenium by shear strain”,  
M. Mito, H. Matsui, K. Tsuruta, T. Yamaguchi, K. Nakamura, H. Deguchi, N. Shirakawa, H. Adachi, T. Yamasaki, H. Iwaoka, Y. Ikoma, and Z. Horita : Scientific Reports 6, Article number: 36337 (2016) 「査読有」  
DOI:10.1038/srep36337
- 7) “Development of plastic elongation in nanocrystalline and amorphous Ni-W dual phase alloy by brushing technique”, 「査読有」  
S. Nakayama, H. Adachi, T. Yamasaki; J. Alloys and Compounds Vol. 643 (2015) S22-S26.  
DOI: 10.1016/j.jallcom.2014.12.209
- 8) “Development of nanostructured SUS316L-2%TiC with superior tensile properties”, T. Sakamoto, H. Kurishita, S. Matsuo, H. Arakawa, S. Takahashi, M. Tsuchida, S. Kobayashi, K. Nakai, M. Terasawa, T. Yamasaki, M. Kawai; Journal of Nuclear Materials Vol. 466 (2015) 468-476. 「査読有」
- 9) “Frictional and Wear Behavior of Commercially Pure Ti, Ti-6Al-7Nb and SUS316L Stainless Steel in Artificial Saliva at 310K”, Eri Miura-Fujiwara, Tetsuya Okumura and Tohru Yamasaki; Materials Transactions (2015). 「査読有」  
DOI: 10.2320/materials.M2015094
- 10) “Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラスの塑性変形性

に及ぼす Au 添加の影響”  
 山田昌弘、山崎 徹、横山嘉彦  
 日本金属学会誌, Vol. 78, No. 12 (2014)  
 449-458. 「査読有」  
 DOI: 10.2320/instmet.J201404254)  
 11) “Nano-microscale moulding of some metal plates with high strength Ni-W alloy moulds” T. Yamasaki, M. Yamada, H. Adachi, T. Nabeshima and Y. Yokoyama, *Microsystem Technologies*, Vol. 20, 1941-1948 (2014). 「査読有」  
 DOI: 10.1007/s00542-013-2005-7  
 12) “Nanocrystallization of Zr-Cu-Ni-Al-Au glassy alloys during severe plastic deformation” M. Yamada, R. Kamisato, T. Yamasaki, H. Adachi, K. Tsuchiya and Y. Yokoyama 「査読有」  
*Mat. Sc. and Eng.*, 63 (2014) 012167.  
 DOI: 10.1088/1757-899X/63/1/012167  
 13) “Solid plasticity and supercooled-liquid thermoplasticity of Zr-Cu-enriched hypoeutectic Zr-Cu-Ni-Al cast glassy alloys”, Y. Yokoyama, M. Yamada, T. Mori, H. Tokunaga, T. Sato, T. Shima, M. Nishijima, K. Fujita, and T. Yamasaki: 「査読有」  
*Mater. Sci. Eng. A* 606, pp. 74-80 (2014).  
 14) “Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラスの過冷却液体粘度と熱的性質の合金組成依存性”, 山田昌弘、山崎徹、横山嘉彦; 日本金属学会誌, 78, 90-97 (2014). 「査読有」  
 DOI: 10.2320/instmet.J2013055

〔学会発表〕 (計 45 件)

1) (Invited Presentation) “Plastic deformation of Zr-Cu-Ni-Al-NM (NM: Noble Metal) Bulk Metallic Glasses”, T. Yamasaki, M. Yamada, K. Fujita, K. Amiya, H. Kato  
 ISMANAM’2016, July 4-8, (2016), Nara, Japan.  
 2) (Best Poster Award) “Effects of Shot Peening on Structure and Mechanical Properties of Zr-Cu-Ni-Al(-Au) Bulk Metallic Glasses”, Y. Mukai, Y. Harada, H. Adachi, K. Amiya, H. Kato and T. Yamasaki,  
 ISMANAM’2016, July 4-8, (2016), Nara, Japan.  
 3) (Invited Presentation) “Effects of Au and Pd additions on plastic deformation of Zr-Cu-Ni-Al bulk metallic glasses”, T. Yamasaki, Y. Mukai, K. Fujita, K. Amiya, H. Kato, *Thermec’2016*, May 29-June 4, (2016), Graz, Austria.  
 4) (優秀ポスター賞) “Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラス合金の塑性変形能に及ぼす Au, Pd 添加影響”: 土居利行, 山崎徹, 網谷健児, 加藤秀実  
 日本金属学会第 159 回秋期講演大会, (2016) 9/21-23, 大阪  
 5) (優秀ポスター賞) “シングルナノメートルサイズの結晶粒を有した Ni 合金における引張変形中の組織変化観察” 中山翔太, 足立大樹, 山崎徹 日本金属学会第 159 回秋期講演大会, (2016) 9/21-23, 大阪  
 6) (優秀発表賞) “ショットピーニング処理した Zr 基金属ガラスの構造変化と機械的特性”: 向井勇太, 山崎徹, 原田泰典, 網谷健児,

加藤秀実: 日本材料学会・第 2 回材料 WEEK (2016) 10/11-13, 京都  
 7) “Zr-Cu-Ni-Al-(Pd, Cr, Nb) 金属ガラスの準結晶析出を利用したナノポーラス化”  
 野原一成, 網谷健児, 山崎 徹: 日本材料学会・第 2 回材料 WEEK (2016) 10/11-13, 京都  
 8) “高強度バルク金属ガラスの機械的予ひずみや熱サイクル付与による高靱性化の検討”  
 後藤晟太, 藤田和孝, 土居利行, 山崎 徹, 加藤秀実, 2016 年日本金属学会秋期講演大会 (大阪大学豊中, H28/9/21~9/23, ), P37..  
 (他、発表件数 37 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/outline/faculty/yamasaki/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山崎 徹 (YAMASANKI Tohru)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号: 30137252

### (2) 研究分担者

足立 大樹 (ADACHI Hiroki)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 00335192

藤田 和孝 (FUJITA Kazutaka)

宇部工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号: 10156862

網谷 健児 (AMIYA Kenji)

東北大学・金属材料研究所・特任准教授

研究者番号: 30463798

三浦 永理 (MIURA Eri)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 70315258

早乙女 康典 (SAOTOME Yasunori)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号: 90143198

(定年退官により H27 年度まで)

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし

以上