

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：17501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420021

研究課題名(和文) 強変形加工による超微細粒銅の微視組織構造に着目した高サイクル疲労特性の改善

研究課題名(英文) Study on the microstructure and high-cycle fatigue property of ultrafine grained copper processed by severe plastic deformation

研究代表者

後藤 真宏 (Goto, Masahiro)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：30170468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：強変形加工材に特有の微視組織構造と傾斜き裂発生に関わる損傷の物理的関連性を明らかにするため、強変形加工による強い組織依存性を有するECAP材の特定の位置から疲労き裂を自然発生させる手法を検討し、浅い部分切欠を加工することによりこの問題を克服した。さらにき裂の進展方向とき裂面形状を調べ、き裂進展方向とき裂面形状がECAP最終せん断面と関係して変化することを示した。さらに、混合モード応力拡大係数を計算し、モードIIの成分がき裂進展方向とき裂面形状に密接に関係していることを力学的に明らかにした。また、銅合金の組織構造がき裂発生・進展挙動に及ぼす役割を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It was shown that, using the partial-notched specimen, specification of the initiation site of the fatal natural crack could be achieved despite the microstructural inhomogeneity resulting from ECAP. Although the crack growth paths inclined 45° and 90° to the loading-axis were observed in the different locations on the surface, crack faces in these cracks were extended along one set of maximum shear stress planes, corresponding to the final ECAP shear plane. To investigate the physical background of the unique crack growth directions of UFG Cu, the SIF values were evaluated, by assuming a semi-infinite body with inclined semi-elliptical surface cracks, subjected to tension stress in the x-direction at infinity. The shape of the crack faces/paths was strongly affected by the in-plane shear-mode deformation. The role of microstructure on the crack initiation/growth was clarified from the fatigue tests of precipitate-strengthened Cu-6Ni-1.5Si alloy.

研究分野：材料力学

キーワード：超微細粒 疲労 き裂 強変形加工 微視組織 銅

1. 研究開始当初の背景

微細粒材料の研究に対する期待は大きく、科学研究費補助金「新学術領域研究」において「バルクナノメタル」が採択(H22~26年)されていることはこれを裏づけている。申請者は、超微細粒銅(粒径300nm)のせん断帯の形成機構、き裂進展経路の組織依存性などを明らかにしてきた。本研究は、これまで得られた成果を基に、疲労強度特性の向上を目指し強変形加工材に特有の微視組織構造と傾斜き裂発生に関わる損傷の物理的関連性を示すことを目的とする。

2. 研究の目的

上述「1. 研究開始当初の背景」で述べた事柄に基づいて本研究では以下のことを明らかにすることを目的とした。

- ・ ECAP 材は強せん断変形と関係した異方性があり、この異方性により特定の位置から優先的にき裂が発生する傾向がある。異方性の存在にかかわらず、任意に指定した平滑部から優先的にき裂を発生させ、かつ連続的に観察する手法を確立する。
- ・ 上の手法にてき裂発生と異方性の詳細な検討を行い、き裂発生に及ぼす組織構造の影響を明らかにすると共に、特異な傾斜き裂の形成機構を応力拡大係数を用いて力学的側面から解明する。
- ・ 高強度導電性銅材 Cu-Ni-Si 合金の疲労特性を明らかにする。特に、疲労き裂の挙動と組織構造の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

材料は市販の無酸素銅(99.99% Cu)であり、それを焼ならしてから(500℃, 1h) ECAP加工(B₀ルート, 8パス)を行った。熱処理後の粒径は約100μmであり、ECAP後の平均粒径は300nm程度であった。また、析出硬化 Cu-6Ni-1.5Si 合金を、溶体化処理(980℃, 1hr)後、500℃にて0.5hrおよび3hr時効処理した材料を使用した。

試験片は、平滑材とみなせる丸棒試験片である。試験片製作後、電解研磨により表面を30μm程度除去してから実験に供した。試験機は小野式回転曲げ疲労試験機(容量:14.7Nm, 60Hz)である。表面の疲労被害の観察は、金属顕微鏡(×400)とSEMにより行った。応力 σ_a は最小断面部の公称応力振幅で定義した。図1に、最終せん断面と関係した観察位置(zx-plane, xy-plane)を示す。

4. 研究成果

ECAP 材の強せん断変形と関係した異方性の影響を受けずに、特定の位置から自然き裂を発生させる手法を検討し、浅い部分切欠の寸法を制御する方法が有効であることを確認した。図2に部分切欠部から優先的に発生・進展した疲労き裂を示す。

また、部分切欠材に加えて、き裂の起点としての微小孔を加工した試験片も併用して

き裂発生・進展挙動の詳細な観察を行った。部分切欠と微小孔の加工位置は、図2に示す ECAP 最終せん断面と試験片表面の交線が軸方向と45°をなす位置(zx-plane)と90°をなす位置(xy-plane)である。

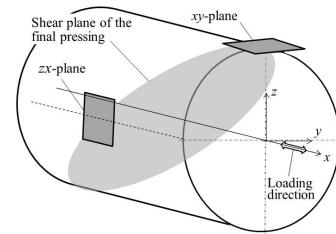


図1 せん断面と関係した観察位置の定義

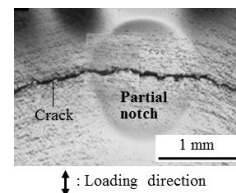


図2 部分切欠から発生した疲労き裂

図3に、 $\sigma_a = 240\text{MPa}$ (高応力下)におけるzx-plane, xy-planeに発生したき裂($l = 1\text{mm}$)の試験片表面および内部方向の進展経路を示す。zx-planeのき裂は、表面では主応力方向に対して45°をなす方向に進展し(図3a)内部では表面に対してほぼ垂直に進展した(図3b)一方、xy-planeのき裂は、表面では主応力方向にほぼ垂直に進展し(図3c)内部では表面に対してほぼ45°をなす方向に進展した(図3d)なお、0.5mmのき裂についても試験片表面と内部方向のき裂進展方向は、1mmのき裂との大きな違いは認められなかった。以上のように、高応力下ではzx-plane, xy-planeのき裂はともに ECAP 加工により生じた組織の方向性の影響を受け、ECAP 最終せん断面に沿って進展する傾向にある。一方、 $\sigma_a = 90\text{MPa}$ (低応力下)では、zx-plane, xy-planeいずれの場合もき裂は表面では主応力方向に対してほぼ垂直に、内部では表面と主応力方向に対してほぼ垂直に進展した。以上のように、低応力下では普通の結晶粒寸法の材料と同様の進展挙動を示し、ECAP 材特有のき裂進展経路は認められない。

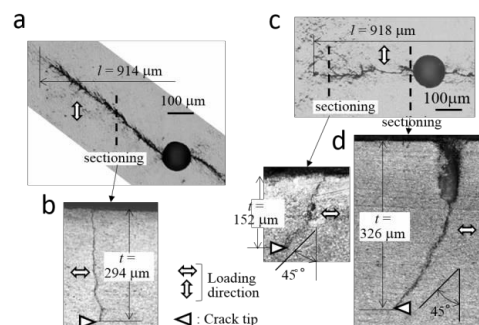


図3 表面と内部のき裂進展経路: (a,b) zx-plane; (c,d) xy-plane.

図4に、 $\alpha = 240\text{MPa}$ における zx -plane, xy -plane の $l = 0.5\text{mm}$ および $l = 1\text{mm}$ のき裂のき裂面形状を示す。ここで、図4に示すように L はき裂進展方向に沿って測定したき裂長さ、また t, T はそれぞれ表面に垂直方向に測定したき裂深さとき裂面に沿って測定したき裂深さである。高応力下では zx -plane の最深部の相対き裂深さ t/l と T/L は 0.266, 0.189 であった。一方、 xy -plane の最深部の相対き裂深さ t/l と T/L は 0.389, 0.550 であった。以上のように、高応力下の zx -plane と xy -plane のき裂面形状は著しく異なる。一方、低応力下では zx -plane, xy -plane の最深部の相対き裂深さ $t/l (=T/L)$ はいずれも 0.41 程度であり、両者のき裂面形状に大きな差は認められず、通常結晶粒寸法の材料のき裂面形状とほぼ同じであった。

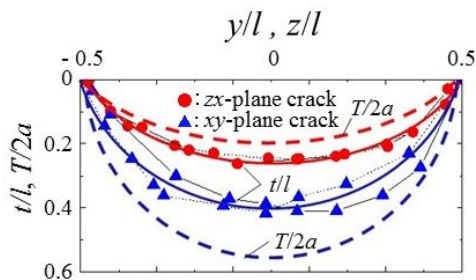


図4 zx -plane と xy -plane のき裂面形状

以上のような ECAP 材特有のき裂進展の物理的背景を検討するため繰返しによる組織を EBSD 解析により調べた結果、高応力の繰返しにより粗大化した結晶の寸法は最大でも数ミクロン以下であり、高角粒界の割合もそれほど増加しなかった (47.0→51.4%)。すなわち、動的再結晶は完了しておらず組織には ECAP 特有の欠陥分布が残ったため、き裂進展が ECAP 最終せん断面に沿ったと考えられる。

傾斜き裂形成の力学的背景を検討するため、遠方で引張を受ける半無限体中の傾斜半円表面き裂を仮定し、き裂先端の応力拡大係数を評価した。表1に、高応力下における zx -plane ($b/a = 0.38$) と xy -plane ($b/a = 1.10$) のき裂の表面および最深部のモードごとの無次元化した応力拡大係数を示す。 b/a はアスペクト比であり a はき裂長さの半長、 b は最深部のき裂深さである。 zx -plane の場合、 F は表面より内部が大きくなるが、これは $b/a > 1$ を意味するが、実際は $b/a = 0.38 < 1$ となる。 F は表面が大きくなるが、これは面内せん断モード変形によるき裂進展を促す。 F は、最深部が大きな値を示すが、面外せん断モード変形は深さ方向の進展にあまり寄与しないと考えられるのが自然であり、すなわち zx -plane の浅い半円形状のき裂面は、表面の面内せん断変形が原因と考えられる。さらにモードの変形は表面のき裂先端周辺のせん断帯の発生を促進し、さらに発生したせん断帯は大きな F の下で分離しせん断き裂となり主き裂と合体する。これも表面のき裂進展を促進し $b/a < 1$ の原因となる。

一方、 xy -plane のき裂の場合は、 F は内部より表面が大きくなるがこれは $b/a < 1$ を意味するが、実際は $b/a = 1.10 > 1$ となる。一方、 F は内部が大きくなるが、これは面内せん断モード変形による内部方向のき裂進展を促す。すなわち、深い半円形状のき裂面形成は、内部の面内せん断モード変形が主因である。

表1. 半楕円き裂における無次元化した応力拡大係数の値

Type of crack	α (deg)	F_I	F_{II}	F_{III}
zx -plane crack $b/a = 0.38$	1	0.68	0.77	0.31
	45	0.83	0.23	0.69
	90	0.93	0	0.83
xy -plane crack $b/a = 1.1$	1	0.74	-0.08	0.09
	45	0.65	0.28	0.23
	90	0.60	0.53	0

高強度導電性銅材 Cu-Ni-Si 合金の疲労特性に関して、き裂発生と進展に及ぼす組織の影響を検討した。図5はき裂の発生・進展挙動である。き裂発生箇所は、結晶粒界であった。発生後は、隣接する結晶粒のすべり方向に沿って進展する傾向にあった。SEMにより粒界近傍の組織を調べた結果(図6)、粒界には、数十 nm オーダーの粗大化した析出物 Ni_3Si と、マトリクス中の数 nm オーダーの析出物が粘着した帯状の領域 PFZ の形成が確認できた。すなわち、粒界付近の PFZ 内のマトリクスは硬化しひずみが集中すること、更に粗大化した析出物の応力集中によるひずみ集中により粒界がき裂発生場所になったと考えられる。

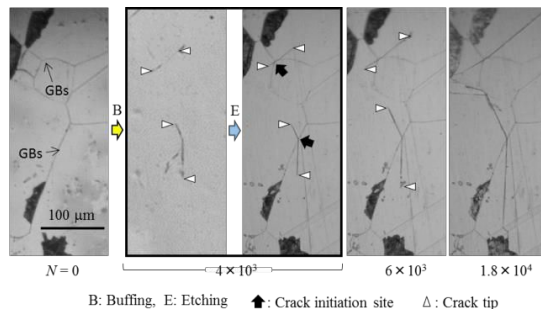


図5 主き裂近傍の繰返しによる表面状態の変化

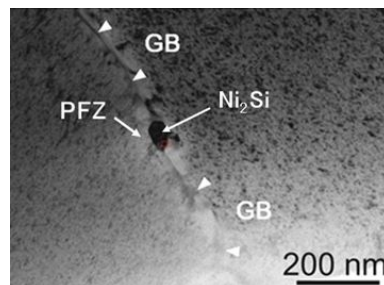


図6 粒界付近の組織状態

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 24 件)

1. Daeho Jeong, Yongnam Kwon, Masahiro Goto, Sangshik Kim. High cycle fatigue and fatigue crack propagation behaviors of -annealed Ti-6Al-4V alloy. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 12-1, 2017, pp. 1-10, 査読有.
2. Terutoshi Yakushiji, Fuminori Nakagawa, Masahiro Goto. Bending fatigue strength of annealed 0.45% carbon steel specimens finishing by cutting and rubbing technique utilizing cemented carbide tip. *International Journal of Fracture, Fatigue and Wear*, Vol. 4, 2016, pp.146-152, 査読有.
3. Tetsuya Fujimura, Masahiro Goto, Seung Zeon Han, Takaei Yamamoto, Jee-Hyuk Ahn, Jyunichi Kitamura, Daigo Okuzume. Effect of heterogeneous precipitates on fatigue behavior of age-hardened Cu-Ni-Si alloy. *International Journal of Fracture, Fatigue and Wear*, Vol. 4, 2016, pp.33-38, 査読有.
4. Masahiro Goto, Sueng Zeon Han, Sung Hwan Lim, Junichi Kitamura, Tetsuya Fujimura, Jee-hyuk Ahn, Takaei Yamamoto, Sangshik Kim, Jehyun Lee. Role of microstructure on initiation and propagation of fatigue cracks in precipitate strengthened Cu-Ni-Si alloy. *International Journal of Fatigue*, Vol. 87, 2016, pp.15-21, 査読有.
5. Daeho Jeong, Yongnam Kwon, Masahiro Goto, Sangshik Kim. Effect of superplastic forming exposure on fatigue crack propagation behavior of Ti6Al4V alloy. *Metals and Materials International*, Vol.22, Issue 5, 2016, pp.747-754, 査読有.
6. Seung Zeon Han, Sung Hwan Lim, Sangshik Kim, Jehyun Lee, Masahiro Goto, Hyung Giun Kim, Byungchan Han, Kwang Ho Kim. Increasing strength and conductivity of Cu alloy through abnormal plastic deformation of an intermetallic compound. *Scientific Reports* (Nature Publishing Group), 6, Article number: 30907, 2016, 査読有.
7. Jehyun Lee, Seungzeon Han, Masahiro Goto, Sung Hwan Lim, Jee-Hyuk Ahn, Snagshik Kim, Kwho Kim. Increasing toughness by promoting discontinuous precipitation in Cu-Ni-Si alloys. *Philosophical Magazine Letters*, Vol.96, Issue 5, 2016, pp. 196-20, 査読有 3.
8. Masahiro Goto, Seung Zeon Han, Takaei Yamamoto, Jyunichi Kitamura, Jee-Hyuk Ahn, Terutoshi Yakushiji, Sangshik Kim, Jehyun Lee. Formation mechanism of inclined fatigue-cracks in ultrafine-grained Cu processed by equal channel angular pressing. *International Journal of Fatigue*, Vol.92. 2016, pp.577-587, 査読有.
9. Masahiro Goto, Seung Zeon Han, Takaei Yamamoto, Jyunichi Kitamura, K.usno Kamil, Tetsuya Fujimura, Terutoshi Yakushiji. Relationship between Grain Growth and Formation of Fracture Surface of Ultrafine Grained Cu in High-Cycle Fatigue. *Key Engineering Materials*, Vol. 713, 2016, pp.147-150, 査読有.
10. 薬師寺 輝敏, 後藤 真宏, 鳥居 幸代
ワイヤ放電加工した S45C 材の疲労強度
材料, Vol.64, No.11, 2015, pp.940-945, 査読有.
11. Masahiro Goto, Kakeru Morita, Junichi Kitamura, Takaei Yamamoto, Masataka Baba, Seung-zeon Han, Sangshik Kim
Growth behavior of fatigue cracks in ultrafine grained Cu smooth specimens with a small hole. *Fracture and Structural Integrity* (Journal of the Italian Group of Fracture), Vol. 34, 2015, pp.484-493, 査読有.
12. Masahiro Goto, Masataka Baba, Seung Zeon. Han, Junichi Kitamura, Takaei Yamamoto, Jee-Hyuk. Ahn, Terutoshi Yakushiji, Sangshik Kim, Jehyun Lee. Fatigue-induced grain growth and formation of slip bands in Cu processed by equal channel angular pressing. *WIT Transactions on Modelling and Simulation*, Vol. 59, 2015, pp.279-290, 査読有.
13. Masahiro Goto, Kakeru Morita, Seung Zeon Han, Takaei Yamamoto, Junnichi Kitamura, Jee-Hyuk Ahn, Sangshik Kim, Jehyun Lee. Shear crack growth in copper processed by equal channel angular pressing under cyclic stresses. *Anales de Mecánica de la Fractura*, Vol.32, 2015, pp.31-36, 査読有.
14. Daeho Jeong, Woojin Jung, Youngju Kim, Masahiro Goto, Sangshik Kim. Stress corrosion cracking behavior of X80 steel in artificial seawater under controlled strain rate and applied potentials. *Metals and Materials International*, Vol. 21, Issue 5, 2015, pp.785-792, 査読有.
15. Masahiro Goto, Seung Zeon Han, Kakeru Morita, Jee-Hyuk Ahn, Jyunichi Kitamura, Masataka Baba, Sangshik Kim. Fatigue-Induced Damage and Crack Growth of Cu Processed by ECAP. *Modern Physics Letters B*, Vol. 29, No.6, 2015, pp. 1540028 (5 pages), 査読有.
16. Masahiro Goto, Sueng Zeon Han, Junichi Kitamura, Terutoshi Yakushiji, Jee-hyuk Ahn, Sangshik Kim, Masataka Baba, Takaei Yamamoto, Jehyun Lee. S-N

plots and related phenomena of ultrafine grained copper with different stages of microstructural evolution. *International Journal of Fatigue*, Vol. 73, 2015, pp. 98 - 109, 査読有.

17. 薬師寺輝敏, 渡部 杏伍, 後藤真宏, 戸高義一. Ti-6Al-4V 合金に行う切削摩擦加工とその効果. *日本機械学会論文集*, Vol. 80, No.818, 2014, pp. 1-13, 査読有.

18. Masahiro Goto, Norihiro Teshima, Seung-zeon Han, Jee-hyuk Ahn, Terutoshi Yakushiji. High-cycle fatigue damage of oxygen-free and deoxidized-phosphorous copper processed by equal channel angular pressing. *Key Engineering Materials*, Vol.627, 2015, pp. 201-204, 査読有.

19. Masahiro Goto, Norihiro Teshima, Seungzeon Han, Jee-hyuk Ahn, Jyunichi Kitamura, Sangshik Kim. Evaluation of small-crack growth rate in ultrafine grained copper. *International Journal of Fracture Fatigue and Wear*, Vol. 2, 2014, pp. 182-188, 査読有.

20. Masahiro Goto, Sueng-Zeon, Han, Masaomi Baba, Jee-hyuk Ahn, Sangshik Kim. S-N property and fatigue damage of ultrafine grained Cu smooth specimens. *Procedia Materials Science*, Vol. 3, 2014, pp. 524-530, 査読有.

21. Youngju Kim, Jaeki Kwon, Daeho Jeong, Namsub Woo, Masahiro Goto, Sangshik Kim. Effect of applied potential on fatigue crack propagation behavior of API X80 steel in seawater. *Metals and Materials International*, Vol.20, Issue 5, 2014, pp. 851-858, 査読有.

22. Dae-Ho Jeong, Myung-Je Choi, Masahiro Goto, Hong-Chul Lee, Sangshik Kim. Effect of Service Exposure on Fatigue Crack Propagation of Inconel 718 Turbine Disc Material at Elevated Temperatures. *Materials Characterization*, Vol. 95, 2014, pp. 232-244, 査読有.

23. Seung Zeon Han, Masahiro Goto, Jee-hyuk Ahn, Sung Hwan Lim, Sangshik Kim, Jehyun Lee. Grain growth in ultrafine grain sized copper during cyclic deformation. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 615, 2014, pp. S587-589, 査読有.

24. Masahiro Goto, Sueng Zeon Han, Jee-hyuk Ahn, Terutoshi Yakushiji, Kwangjun. Euh, Sangshik Kim, Jehyun Lee. The role of mixed-mode deformation at the crack tip on shear banding and crack propagation of ultrafine-grained copper. *International Journal of Fatigue*, Vol. 66, 2014, pp. 220 - 228, 査読有.

〔学会発表〕(計19件)

1. 藤村哲也, 北村純一, Seungzeon Han, 山本隆栄, 後藤真宏. 強変形加工した銅の組織と機械的性質. 日本材料学会九州支部第3回学術講演会論文集(中国・九州支部合同研究会), pp. 17-18, 北九州国際会議場, 発表日: 2016年12月10日.

2. Masahiro Goto, Seung Zeon Han, Takaei Yamamoto, Jyunichi Kitamura, K.usno Kamil, Tetsuya Fujimura, Terutoshi Yakushiji. Relationship between Grain Growth and Formation of Fracture Surface of Ultrafine Grained Cu in High-Cycle Fatigue. 15th International Conference on Fracture and Damage Mechanics, 14-16 September 2016, Hotel Melia Alicante, Alicante, Spain, 発表日: 15th September.

3. Tetsuya Fujimura, Masahiro Goto, Seungzeon Han, Takaei Yamamoto, Jee-Hyuk Ahn, Jyunichi Kitamura, Daigo Okuzume. Effects of heterogeneous precipitates on fatigue behavior of age-hardened Cu-Ni-Si alloy. 5th International Conference on Fracture, Fatigue and Wear 2016, 24-26 August, Kyushu International Congress Center, Kitakyushu, 発表日: 25th August, 2016.

18. 19.

4. Terutoshi Yakushiji, Fuminori Nakagawa, Masahiro Goto. Bending fatigue strength of annealed 0.45% carbon steel specimens finished by cutting and rubbing technique utilizing cemented carbon tip. 5th International Conference on Fracture, Fatigue and Wear 2016, 24-26 August, Kitakyushu International Congress Center, Kitakyushu, 発表日: 24th August, 2016.

5. Masahiro Goto, Seung-zeon Han, Junichi Kitamura, Takaei Yamamoto, Terutoshi Yakushiji, Jee-hyuk Ahn, Testuya Fujimura. Role of microstructure on mechanical properties of ultrafine grained Cu processed by different ECAP pass-numbers. International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials 2016, May 29 - June 3, 2016, Graz Convention Center - MESSE GRAZ, Graz, Austria, 発表日: 2nd June 2016.

6. 藤村哲也, 北村純一, Seung-zeon Han, 山本隆栄, 後藤真宏. 析出強化 Cu-Ni-Si 合金のき裂発生・進展挙動と組織の関係. 日本材料学会九州支部第2回学術講演会(中国・九州支部合同研究会)ホルトホール大分, 発表日: 2015年12月12日.

7. 森田翔人, 北村純一, 山本隆栄, Seung-zeon Han, 後藤真宏. 超微細粒銅の高応力下と低応力下の疲労き裂の進展経路. 日

本材料学会九州支部第 2 回学術講演会 (中国・九州支部合同研究会), ホルトホール大分, 発表日: 2015 年 12 月 12 日.

8. 馬場将臣, 北村純一, Seung-zeon Han, 山本隆栄, 後藤真宏. 超微細銅の疲労損傷形成に及ぼす ECAP パス数の影響. 日本材料学会九州支部第 2 回学術講演会 (中国・九州支部合同研究会), ホルトホール大分, 発表日: 2015 年 12 月 12 日.

9. 馬場将臣, 藤村哲也, 山本隆栄, 葉師寺輝敏, 後藤真宏. 強変形加工した銅の組織と機械的性質. 日本機械学会第 23 回機械材料・材料加工技術講演会 2015 年 11 月 13 ~ 15 日, 広島大学 東広島キャンパス, 発表日: 2015 年 11 月 15 日.

10. Masahiro Goto, Kakeru Morita, Junichi Kitamura, Takaei Yamamoto, Masataka Baba, Seung-zeon Han, Sangshik Kim. Growth behavior of fatigue cracks in ultrafine grained Cu smooth specimens with a small hole. The 5th International Conference on Crack Paths, Ferrara, Italy, 16-18 September, 2015, 発表日: 17th September, 2015.

11. Masahiro Goto, Masataka Baba, Seung Zeon. Han, Junichi Kitamura, Takaei Yamamoto, Jee-Hyuk. Ahn, Terutoshi Yakushiji, Sangshik Kim, Jehyun Lee. Fatigue-induced grain growth and formation of slip bands in Cu processed by equal channel angular pressing. 17th International Conference on Computational Methods and Experimental Measurements, 招待講演 (Invited Paper), Opatija, Croatia, 発表日: 6th May, 2015.

12. Masahiro Goto, Kakeru Morita, Seung Zeon Han, Takaei Yamamoto, Junichi Kitamura, Jee-Hyuk Ahn, Sangshik Kim, Jehyun Lee. Shear crack growth in copper processed by equal channel angular pressing under cyclic stresses. Thirty-second Spanish Conference on Fracture and Structural Integrity, 招待講演 (Plenary Lecture), University of Salamanca, Zamora Spain, 発表日: 29 April, 2015.

13. 馬場将臣, 北村純一, Seung-zeon Han, 山本隆栄, 後藤真宏. ECAP により組織を微細化した銅の疲労損傷とき裂進展挙動. 日本材料学会九州支部第 1 回学術講演会 (中国・九州支部合同研究会), 鹿児島大学工学部, 発表日: 2014 年 12 月 13 日.

14. 森田翔人, 後藤真宏, 山本隆栄, 北村純一. 超微細粒銅の高応力下と低応力下のき裂進展経路. 日本機械学会九州支部大分講演会, ホルトホール大分, 発表日: 2014 年 9 月 20 日.

15. Masahiro Goto, Norihiro Teshima, Seung-zeon Han, Jee-hyuk Ahn, T. Yakushiji. High-cycle fatigue damage of

oxygen-free and deoxidized-phosphorous copper processed by equal channel angular pressing. 13th International Conference on Fracture and Damage Mechanics, 23-25 September, Hotel Marina Atlantico, Azores, Portugal, 発表日: 25th September, 2014.

16. Masahiro Goto, Norihiro Teshima, Seungzeon Han, Jee-hyuk Ahn, Jyunichi Kitamura, Sangshik Kim

Evaluation of small-crack growth rate in ultrafine grained copper. International Conference on Fracture, Fatigue and Wear 2014, 1-3 September, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, 発表日: 2nd September, 2014.

17. Masahiro Goto, Seung Zeon Han, Kakeru Morita, Jee-Hyuk Ahn, Jyunichi Kitamura, Masa-omi Baba, Sangshik Kim. Fatigue-Induced Damage and Crack Growth of Cu Processed by ECAP. 7th International Conference on Advanced Materials Development and Performance, Invited Paper, 2014, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea, 発表日: 18th July, 2014

18. Masahiro Goto, Sueng-Zeon, Han, Masaomi Baba, Jee-hyuk Ahn, Sangshik Kim. S-N property and fatigue damage of ultrafine grained Cu smooth specimens. The 20th European Conference of Fracture, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 発表日: 1st July, 2014.

19. 後藤真宏, 馬場将臣, 森田翔人, 韓承傳, 北村純一, 葉師寺輝敏. ECAP パス数の異なる超微細粒銅の表面疲労損傷. 日本材料学会第 63 期通常総会・学術講演会, 2014 年 5 月 16 ~ 18 日, 福岡大学, 発表日: 5 月 18 日.

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 真宏 (GOTO MASAHIRO)

大分大学・工学部・教授

研究者番号: 30170468

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 海外研究協力者

韓 承傳 (HAN SEUNGZEON)

韓国材料科学研究院・主任研究員