

令和 2 年 6 月 20 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06870

研究課題名(和文) 多変量解析を利用した調和組織材料の力学特性設計指針の確立

研究課題名(英文) Establishment of mechanical property design guideline for harmonic structured materials using multivariate analysis

研究代表者

川畑 美絵(太田美絵)(Kawabata, Mie)

立命館大学・理工学部・助教

研究者番号：30710587

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：調和組織材料の機械的特性を支配する組織因子を抽出し、多変量解析(重回帰分析)を利用して、調和組織制御によって発現する機械的特性の予測を可能にすることが本申請課題の目的である。

Hall-Petch則における調和組織材の特異性解明を通して、調和組織材の強度に寄与する因子を抽出した。最終的に、粗大結晶粒の平均粒径、微細結晶粒の平均粒径、微細結晶粒の面積割合の3つの組織因子を説明変数として、重回帰分析により調和組織材料の引張強さを予測することは可能であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属材料の強度と組織因子の間にはHall-Petch則が成り立つことが知られているが、調和組織材は、これを上回る強度の上昇を発揮することがわかった。このような特異な現象は調和組織材のネットワーク構造に起因していると推察される。これは金属材料のこれまでの常識を覆す発見であり、学術的意義は大きいと考える。

調和組織材は微細結晶のネットワーク構造により優れた力学特性を発揮するが、その組織の構成因子の多さから再現性や特性の安定性には難があった。重回帰分析によって、数多くある組織因子の影響度を明確化し、調和組織材の引張強さの予測を可能にしたことは、本研究の社会実装を飛躍的に進歩させると考える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this application is to enable the prediction of mechanical properties of the harmonic structure materials control using multivariate analysis (multiple regression analysis).

Effective parameters for the strength of harmonic structure materials were determined with experimental approach. Through this research, it is cleared the harmonic structure indicates extra hardening beyond Hall-Petch relationship. Three parameters were selected for multiple regression analysis which are average grain size of coarse grains, average grain size of fine grains and area fraction of fine grains. it was cleared that strength of the harmonic structure materials can be estimate via multiple regression analysis using those three parameters.

研究分野：材料工学

キーワード：粉末冶金 強度延性バランス 重回帰分析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

構造用金属材料の高強度化は部材の小型化・軽量化につながり、省資源、省エネルギー等に大きく貢献する。結晶粒微細化は有効な高強度化方法の一つである。そのため、従来の構造用金属材料は、結晶組織を『より均一に微細化する』ことで高強度化が図られてきた。しかしながら、金属材料における強度と延性は、一般的には二律背反の関係にあり、これらを両立することは困難であるとされている。この課題に対して、我々の研究グループでは「調和組織制御法」を提案してきた。

Fig.1(a)に、調和組織の概念図を示す。調和組織とは、微細結晶粒領域 (Shell) と粗大結晶粒領域 (Core) の二つの異なる粒径領域の結晶から構成されるヘテロバイモーダル組織であり、粗大結晶粒領域を母相として微細結晶粒領域が母相内に3次元の連結したネットワーク構造を構築した組織である。Fig.1(b)、(c)は、SUS304Lの調和組織 (EBSD 粒界像) と、その強度・延性バランス図である。これからわかるように、微細結晶粒がネットワークを形成した調和組織材では、同一素材の従来組織材と比べて強度も延性も向上することがわかる。

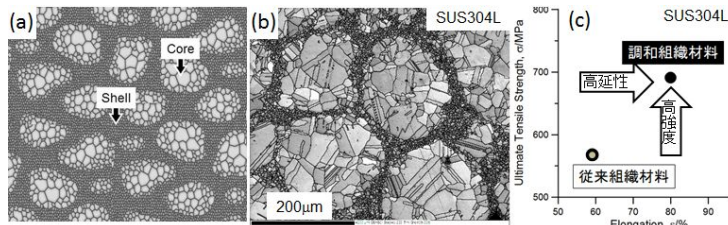


Fig.1 (a): 調和組織の模式図 (Shell: 微細粒, Core: 粗大粒), (b): SUS304L 調和組織材料の EBSD 粒界像, (c): SUS304L 調和組織材料と従来組織材料の強度・延性バランスの比較図

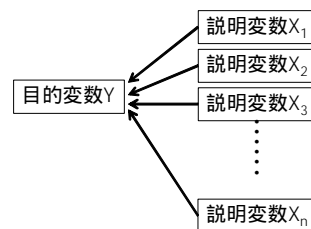
調和組織材料は、高強度化を結晶粒微細化で実現し、その一方で、調和組織という3次元のマクロなネットワーク構造により、変形時の塑性不安定開始を高ひずみ側へシフトさせ、高延性を得ることができる。すなわち、従来の『より均一に微細化する』とは逆転の発想である「不均一 (ヘテロ) かつ調和」という視点から、「粗大結晶粒組織を超微細結晶粒組織の中に周期的に配置することで、高強度と高延性 (高靱性) を同時に達成できる」ことを見いだした。この調和組織制御を用いることにより、純 Ni、2 相ステンレス鋼、純 Ti、Ti-6Al-4V 合金、等について調和組織制御法を適用し、いずれの場合も高強度化と高延性化の両立が実証された。

2. 研究の目的

調和組織材料の機械的特性を支配する組織因子を抽出し、多変量解析 (重回帰分析) を用いて、調和組織制御によって発現する機械的特性の予測を可能にすることが本研究の目的である。

前述の通り、調和組織制御材料は強度延性バランスが良く機械的特性に優れていることは立証されている。これまでの予備実験により、調和組織の組織構造 (微細結晶粒の割合やネットワークサイズなど) が変わることによって、得られる機械的特性 (降伏強度や引張強さなど) が変化することが明らかとなった。これらの結果はすなわち、材料組織の諸因子を制御することにより、機械的特性を任意に制御できる可能性を示唆している。しかしながら、機械的特性に影響をおよぼす組織因子は複数あり、また因子間での相互作用も予測されることから、実験ベースで任意の機械的特性を発現させるには、膨大な時間と労力が必要となる。

そこで、本研究では、多変量解析を利用した力学特性の設計指針の確立に取り組むことを目的とした。多変量解析とは、ある要因 (目的変数) に対して、関係する複数の要因 (説明変数) がどの程度の影響度をもって寄与しているかを関数式で表し、目的要因の値を予測する統計学的手法である (Fig.2)。この手法を用いた調和組織材料の力学特性の予測とその検証について検討を行った。



$$\text{関数式: } Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + e$$

Fig.2 多変量解析のモデル

3. 研究の方法

(1) 調和組織材の作製

プラズマ回転電極法により作製した純銅粉末を、粉末: ボールの重量比 = 2 : 1 ~ 10 : 1 の割合で SUS304 製容器に入れ Ar 封入した後に遊星型ボールミル装置で、乾式ならびに湿式 (溶媒: ヘプタン) 回転数 150 ~ 200rpm、50 ~ 300hr の種々の時間メカニカルミリング (MM) 処理を施した。得られた MM 粉末を放電プラズマ焼結 (SPS) 法により 100MPa、550 ~ 600、保持時間 10 ~ 60min. で焼結し、純銅調和組織材 (HS 材) を作製した。

(2) 均一組織材の作製

平均粒子径 500nm の純 Cu 微細粉末を焼結温度 550 ~ 900、保持時間 10 ~ 60min.、加圧力 100MPa の各条件で SPS 焼結して作製した。

(3) 評価方法

得られた各試料の組織観察には SEM/EBSD を用い、力学特性は引張試験 (室温、試験片寸法: 幅 1mm x 厚み 1mm x 標点間距離 3mm、初期ひずみ速度 $5.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) により評価した。

4. 研究成果

Fig.3(a)、(b)、(c)は、SEM/EBSD より得られた純 Cu 調和組織材の粒界像（粒界角度 $> 15^\circ$ ）である。図中、網目状に黒く見える領域は、平均結晶粒径 $2.0 \sim 2.3 \mu\text{m}$ の微細結晶粒からなる Shell であり、一方の粗大結晶粒領域（Core）の平均粒径は $12.8 \sim 21.5 \mu\text{m}$ 、この組織全体の平均粒径は $6.7 \sim 18.8 \mu\text{m}$ であった。それぞれの視野における Shell の面積割合は、 $14.0 \sim 56.6\%$ であり、Fig.3(d) のグラフからも、Shell 割合の増加とともに組織全体の平均結晶粒径が小さくなっていくことがわかる。

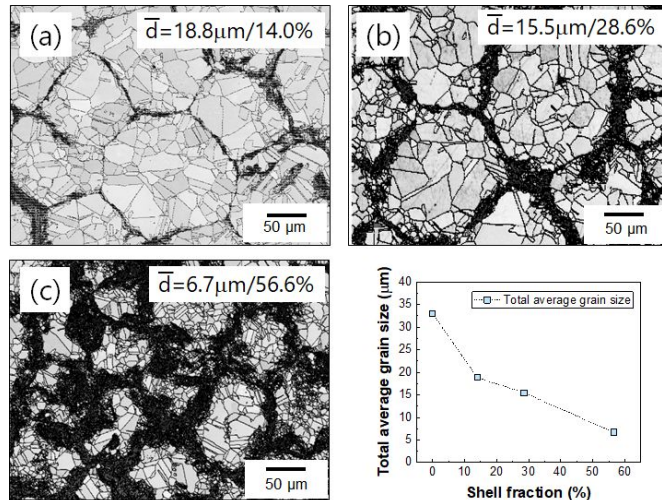


Fig.3 (a),(b),(c)：種々の加工条件で作製した純 Cu 調和組織材の調和組織の SEM/EBSD 粒界像、(d)：Shell 割合による平均結晶粒径の変化。

純 Cu 均一組織材ならびに調和組織材の力学特性を平均結晶粒径で整理した図を Fig.4 に示す。この図は Hall-Petch 関係と呼ばれており、平均結晶粒径の $1/2$ 乗に比例して強度が上昇することが広く知られている。図中、青プロットで示す均一組織材に着目すると、降伏応力は Hall-Petch 則に従って結晶粒径の微細化とともに右肩上がりに上昇している。ところが、平均結晶粒径 $1.6 \mu\text{m}$ を境にその前後で、強度上昇の傾きが変化していることがわかる。平均結晶粒径がサブミクロンサイズの超微細組織材は、Hall-Petch 則を超えて降伏強度が大きく上昇する Extra Hardening を示すことが近年の研究で明らかになっており、本研究においても、同様の現象が確認された。

これに対し、赤プロットで示す調和組織材では、Shell/Core それぞれの結晶粒を含む全体の平均粒径は $10 \mu\text{m}$ 前後であるにもかかわらず、Hall-Petch 則を上回る高い降伏強度を示した。Shell 割合が増加し、全体の平均結晶粒径が小さくなるにつれて、降伏強度は大きく上昇し、Fig.3(c) に示した平均結晶粒径 $6.7 \mu\text{m}$ の試料では、同等の平均結晶粒径を有する均一組織材と比較して降伏強度はおよそ 2 倍まで上昇することが明らかとなった。このように、調和組織材では均一組織材の Extra Hardening とは異なる特異な Hall-Petch 関係が存在することが明らかとなった。

以上の検討結果を踏まえると、調和組織材の力学特性を説明する因子としては、Shell の割合、Shell の平均結晶粒径、Core の平均結晶粒径の 3 つが挙げられ、これらの相関によって力学特性が決定されるものと予想される。そこで、これら 3 つの因子を説明因子として、多変量解析の 1 つである重回帰分析を行った。Table1 は、重回帰分析を行うために異なる作製条件で行った 20 通りの試作の、加工条件ならびに各因子の測定結果をまとめたものである。なお、前述の Hall-Petch 則にならい、Shell および Core の平均結晶粒径は $-1/2$ 乗で表記した。これらのデータをもとに重回帰分析を行い、以下の回帰式を得た。

$$\text{引張強さ} = 183.9 + 2.1 \times (\text{Shell 割合}) + 60.5 \times (\text{Shell 平均結晶粒径})^{-1/2} + 69.6 \times (\text{Core 平均結晶粒径})^{-1/2}$$

回帰式から求めた引張強さの予測値と実際の引張強さの相関と検証試作の結果をまとめた図を Fig.5 に示す。図中の直線は上記の回帰式から求めた予測値と実測値が完全に一致していることを示しており、この実線から離れるほど、予測精度が低いことを表している。白色プロットは、回帰式の導出に用いた 20 通りの試作結果を示したものである。1 点のみ予測値から大きく外れた点があるが、それ以外の実測値は完全一致の直線に近い場所に分布しており、予測値と実測値にそれほど大きな差異はないものと考えられた。この結果を踏まえて、検証のために、新たに異なる条件で 6 通りの試作を行い、回帰式による予測値と実測値との相関を検証した。その結

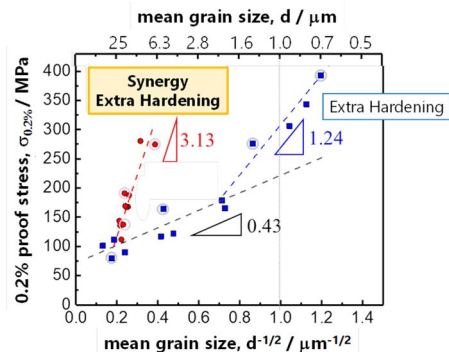


Fig.4 純 Cu 均一組織材ならびに調和組織材の Hall-Petch 関係

Table1 重回帰分析を行うために異なる作製条件で行った20通りの試作の、加工条件ならびに各因子の測定結果

No.	加工条件	UTS (MPa)	Shell fraction (%)	Shell 平均結晶粒径 1/sqrt(μm)	Core 平均結晶粒径 1/sqrt(μm)
1	IP 550 10min	229.1	0.5	0.184	0.184
2	IP 550 60min	228.8	0.5	0.174	0.174
3	IP 600 10min	220.1	0.5	0.130	0.130
4	Cu_WM200h_550 10min 1st	278.2	21.6	0.647	0.235
5	Cu_WM200h_550 60min 1st	284.2	23.2	0.673	0.220
6	Cu_WM200h_600 10min 1st	269.1	15.3	0.658	0.200
7	Cu_MM200h_B10:P1 550 60min	361.7	45.4	0.772	0.242
8	Cu_MM200rpm 50h B10:P1 550 1h	381.4	65.2	0.798	0.279
9	Cu_WM200h_550 60min 3rd	303.1	28.3	0.697	0.219
10	IP 600 10min	308.3	0.5	1.195	1.195
11	IP 600 60min	344.6	0.5	1.125	1.125
12	IP 650 10min	308.2	0.5	1.043	1.043
13	IP 650 30min	244.1	0.5	0.727	0.727
14	IP 650 60min	239.6	0.5	0.712	0.712
15	IP650 60min-D250 1h	254.5	0.5	0.426	0.426
16	IP 650 30min-D250 1h	274.7	0.5	0.864	0.864
17	IP 700 30min	242.9	0.5	0.476	0.476
18	IP 700 60min	225.2	0.5	0.430	0.430
19	IP 800 1minS	229.7	0.5	0.414	0.414
20	IP 900 1h	211.5	0.5	0.239	0.239

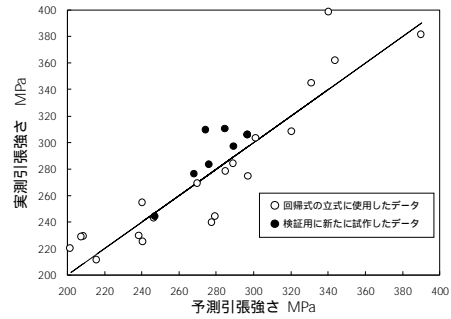


Fig.5 純 Cu 材における、回帰式からの予測引張強さと実際の引張強さとの相関並びに検証結果

果を黒プロットで示す。実測値は予測値に対して若干高強度側に分布する傾向が認められるが、比較的、良い一致を示している。このことから、今回導出した回帰式は、引張強度の予測に対して有効であることが確認された。実測値が予測値に対してわずかに高強度側に分布する傾向が認められた理由としては、検証試作では、粉末加工の方法を乾式から湿式に変更した点が考えられる。湿式ミリングは溶媒中でミリングを行うため、コンタミが生じやすいことが知られている。湿式ミリングによって混入した微物が分散強化のような役割を果たし、その結果強度がわずかに上昇した可能性が考えられる。

総括

本研究の主な成果は以下の2点である。

- (1) 調和組織材では均一組織材の Extra Hardening とは異なる特異な Hall-Petch 関係が存在することが明らかとなった。Hall-Petch 則は金属材料の強度を説明する最も基本的な考え方の一つであるが、Hall-Petch 則では説明できない調和組織材の強化機構を見出したことは学術的意義が大きいと考える。
- (2) 重回帰分析により、Shell の割合、Shell の平均結晶粒径、Core の平均結晶粒径を説明因子として調和組織材の引張強さを予測することができた。二律背反とされてきた強度と延性に両立が可能となる調和組織材であるが、製造プロセスの複雑さや高コストのために、実用化にはまだまだ高い壁が存在する。本研究で実施した組織因子からの強度の予測・把握は、調和組織材を構造用金属材料として社会実装するための一助となると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 入谷 竜平, 堀 憲太, Bhupendra Sharma, 川畑 美絵, Guy Dirras, 古原 忠, 飴山 恵	4. 巻 106
2. 論文標題 調和組織制御された0.3mass%炭素鋼の微細組織と機械的性質	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本鉄鋼協会	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する
1. 著者名 八木 洸紀, Bhupendra Sharma, 川畑美絵, 飴山恵	4. 巻 67
2. 論文標題 パイモダルミリング法によるSUS316L調和組織材料の作製	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 粉体および粉末冶金	6. 最初と最後の頁 239-244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.67.239	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 該当する
1. 著者名 永田勝也, 堀川直樹, 川畑美絵, 飴山恵	4. 巻 83
2. 論文標題 調和組織制御された純Niの機械的性質に及ぼす微細組織の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 231-237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.J2019006	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 M.Nagata, N.Horikawa, M.Kawabata, K.Ameyama	4. 巻 60
2. 論文標題 Effects of Microstructure on Mechanical Properties of Harmonic Structure Designed Pure Ni	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Material Transactions	6. 最初と最後の頁 1914-1920
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2019145	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 該当する

1. 著者名 Dmytro Orlov, Jinming Zhou, Stephen Hall, Mie Ota-Kawabata and Kei Ameyama	4. 巻 580
2. 論文標題 Advantages of architected harmonic structure in structural performance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 12-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/580/1/012019	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 入谷竜平、堀憲太、川畑美絵、飴山恵	4. 巻 59
2. 論文標題 調和組織制御された0.3mass% 炭素鋼のミクロ組織と力学特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 熱処理	6. 最初と最後の頁 103-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Bhupendra Sharma, Shogo Yamada, Mie Kawabata, Sanjay Kumar Vajpai, Kei Ameyama	4. 巻 34
2. 論文標題 Fabrication of Ti from a blend of Ti and TiH ₂ powders via powder metallurgy processing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials and Manufacturing Processes	6. 最初と最後の頁 1745-1752
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10426914.2019.1669802	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 該当する

1. 著者名 Shoichi Kikuchi, Yuta Nakatsuka, Yoshikazu Nakai, Masashi Nakatani, Mie Ota Kawabata, Kei Ameyama	4. 巻 48
2. 論文標題 Evaluation of Fatigue Properties under Four-point Bending and Fatigue Crack Propagation in Austenitic Stainless Steel with a Bimodal Harmonic Structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frattura ed Integrita Strutturale	6. 最初と最後の頁 545-553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3221/IGF-ESIS.48.52	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 飴山 恵, 堀川直樹, 川畑美絵	4. 巻 105
2. 論文標題 調和組織材料の力学的特異性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 124-126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-089	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 Guodong Li, Shuichi Morinaka, Mie Kawabata, Chaoli Ma, Kei Ameyama	4. 巻 15
2. 論文標題 Improvement of Strength with Maintaining Ductility of Harmonic Structure Pure Copper by Cold Rolling and Annealing Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Procedia Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1641-1648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.promfg.2018.07.292	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 Sanjay Vajpai, Bhupendra Sharma, Mie Ota, Kei Ameyama	4. 巻 736
2. 論文標題 Effect of Cold Rolling and Heat-treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Ti-25Nb-25Zr Alloy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering A	6. 最初と最後の頁 323-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2018.09.002	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 飴山 恵, 中谷 仁, 川畑美絵	4. 巻 32
2. 論文標題 調和組織制御による革新的構造材料の創製	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 傾斜機能材料論文集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14957/fgms.32.1	査読の有無 無
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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Mie Ota Kawabata, Motoki Miyakoshi, Akito Shimamura, Kei Ameyama, Guy Dirras, David Tingaud
2. 発表標題 Selective Recrystallization in Harmonic Structure Designed Pure Titanium via Thermo Mechanical Processing
3. 学会等名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM10 (国際学会))
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川畑 美絵、Guodong Li、Chaoli Ma、飴山 恵
2. 発表標題 純Cu調和組織材料の特異な力学特性とそのメカニズム
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 2. 川畑 美絵、八木 洸紀、Jia Pengfei、中谷 仁、飴山 恵
2. 発表標題 バイモーダルミリング法によるSUS316L調和組織材料の創製
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Nagata, N. Horikawa, M. Nakatani, M. Kawabata, K. Ameyama
2. 発表標題 Improvement of Mechanical Properties of Harmonic Structure Nickel Compact via Thermo-Mechanical Processing
3. 学会等名 15th International Symposium on Functionally Graded Materials (ISFGMs2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nagata, M. Nakatani, M. Kawabata, K. Ameyama
2. 発表標題 Preferential Recrystallization in Harmonic Structure Designed Ni by Thermo - mechanical Processing
3. 学会等名 International Conference on Advanced Steels (ICAS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Morihiro Hariki, Masashi Nakatani, Koki Yagi, Mie Ota Kawabata, Cinzia Menapace, Alberto Molinari, Kazuo Isonishi, Kei Ameyama
2. 発表標題 Deformation Behavior of Harmonic Structure Designed SUS304L Austenitic Stainless Steel at Elevated Temperatures
3. 学会等名 Federation of European Materials Societies Junior EUROMAT 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀憲太, 入谷竜平, 川畑美絵, 飴山恵
2. 発表標題 中炭素鋼の調和組織による組織形成と力学特性
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮腰 素生, 島村 秋都, 川畑 美絵, Guy Dirras, 飴山 恵
2. 発表標題 純Ti調和組織材料の加工熱処理による選択的再結晶
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋季講演大会(第163回)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 川畑美絵、飴山恵（他20名）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 267
3. 書名 『粉末成形』 - 粉末加工による機能と形状のつくり込み（新組成加工技術シリーズ10）	

〔産業財産権〕

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----