

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06858

研究課題名(和文) デジタル画像相関法と結晶塑性解析を駆使した金属材料のマルチスケール変形挙動の解明

研究課題名(英文) Investigation of multiscale deformation behavior of metals using crystal-plasticity modeling and digital-image correlation measurements

研究代表者

宅田 裕彦 (Takuda, Hirohiko)

京都大学・エネルギー科学研究科・教授

研究者番号：20135528

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、粗大結晶粒金属、デジタル画像相関法、結晶塑性有限要素法を組み合わせることで、環境調和型金属の変形特性を結晶粒レベルから明らかにすることを目的とした。具体的には、結晶粒を粗大化させた純チタン板や鋼板の変形を、デジタル画像相関法および結晶塑性有限要素法により実測あるいは予測することで、結晶粒レベルでの不均一なひずみ分布とその発展について詳細に調査した。また実験と解析の比較から、解析技術の高精度化に取り組んだ。この成果は、金属材料の塑性変形に関する系統的な理解とともに、環境調和型金属のさらなる利用拡大とそれによる輸送機器の軽量化、ひいてはCO2排出量の削減への貢献が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、結晶粒を粗大化させた金属材料とデジタル画像相関法、そして結晶塑性有限要素法を組み合わせることで、金属材料の結晶粒レベルの変形挙動を実験的に詳細観察し、またそれを理論的に調査する手法を構築した。この手法により、金属材料における多階層的な変形に関する理解の促進が期待され、その学術的な意義は極めて大きい。また、実用的に用いられる金属材料の多くは多結晶体であることから、結晶粒レベルの変形挙動の理解は金属材料の加工性の理解と向上にもつながり、その結果、環境調和型金属の利用拡大とそれによる輸送機器の軽量化が期待される。このように、社会的にも大きな意義を有する。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to understand the deformation behavior at the grain level of environmentally-friendly metals by using oligocrystals, digital image correlation measurements and a crystal plasticity finite-element method. Specifically, through comparing strain distribution and its evolution measured by using digital image correlation measurements and that predicted by a crystal plasticity finite-element method, heterogeneous strain distribution at the grain level was discussed in detail. Moreover, simulation techniques were explored to improve the predictive accuracy of heterogeneous strain distribution. It is expected that the achievements of this work contribute to not only academic advancement of plasticity of metals but also wide use of environmentally-friendly metals, leading to reduction of vehicle weights and CO2 emission.

研究分野：機械工学

キーワード：結晶塑性有限要素法 粗大結晶粒材 デジタル画像相関法 不均一変形 環境調和型金属

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球環境問題への対応から、輸送機器の軽量化が求められている。薄板のプレス加工分野では、アルミニウム合金板やマグネシウム合金板、工業用純チタン板といった軽量化を促進できる環境調和型金属の適用が期待されている。しかしながらこれらの新素材は、従来用いられてきた軟鋼板とは変形特性が大きく異なるため、プレス加工性の把握には予め巨視的な変形特性を十分に理解することが不可欠である。

プレス加工中に板材は、引張や圧縮、曲げ、またその組み合わせなど多様な負荷を受け、またその状態も時々刻々と変化する。そのため、プレス加工性を理解するためには種々の負荷状態における巨視的な変形特性を把握することが重要である。一方、多結晶金属板の巨視的な変形特性は、各結晶粒の変形や結晶粒間の相互作用といった微視的変形から決定される。例えば、自動車車体で広く用いられている鋼板は体心立方構造金属であるのに対して、アルミニウム合金板は面心立方構造、またマグネシウム合金板や純チタン板は六方最密構造の金属であり、この結晶構造の違いが巨視的変形特性の違いに大きな影響を及ぼしていることは自明である。そのため、巨視的な変形特性を系統的に理解するためには、本来は結晶粒レベルの微視的変形から理解することが重要である。しかしながら、結晶粒レベルの微視的変形を観察および評価する実験手法やそのモデリング、あるいは微視的変形と巨視的変形を直接的に結び付けるマルチスケール変形理論などが不十分なため、微視的変形に基づく巨視的変形特性の理解は未だ途上段階である。

この問題に対して近年、2つの顕著な技術的発展がある。一つ目は、デジタル画像相関法の利用拡大である。この技術は、デジタル画像を用いて変形中のひずみ場を実験的に観察する技術であり、プレス加工中の板材の変形といった巨視的な変形場の計測に用いられることが多い。そして二つ目の技術は、結晶塑性解析技術の発展である。この技術は、結晶粒レベルの微視的変形に基づいて巨視的な変形特性を計算機上で予測できる数値解析技術である。研究代表者らはこれまで、結晶塑性解析と有限要素法を組み合わせることで、マグネシウム合金板や純チタン板といった種々の金属材料を対象とした解析技術を開発し、多様な変形特性の予測を実現してきた[例えば1]。これまでの研究により、解析の信頼性も高まってきている。

研究代表者らは、これらの新しい実験および解析技術を持つ金属に対して適用すれば、(1)結晶粒レベルの微視的変形を定量的に評価できること、また(2)その結果から微視的変形が巨視的な塑性変形に与える影響を詳細に調査できることなどが期待できると考えた。そしてその結果として、金属材料の巨視的な変形特性を微視的な変形特性から系統的に調査することも期待できる。以上の観点から本課題では、粗大結晶粒金属、デジタル画像相関法、そして結晶塑性有限要素法を組み合わせることで、環境調和型金属における変形特性の系統的な解明を目指すという着想に至った。

### 2. 研究の目的

本研究では、粗大結晶粒をもつ金属材料の塑性変形挙動について、デジタル画像相関法による実験観察と結晶塑性有限要素法による数値シミュレーションを行い、結晶粒レベルの微視的変形特性とその巨視的変形特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。また実験と解析の比較検討を通して、結晶塑性モデルによる解析精度の向上を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験方法

まず、粗大結晶粒を持つ金属材料試験片を作成した。本研究では工業用純チタンおよび極低炭素鋼を対象とした。純チタンは一方凝固により、また極低炭素鋼はスラブ材を熱処理することにより結晶粒を粗大化させた。平均粒径は、純チタンが10mm程度、極低炭素鋼が0.5mm程度である。得られた粗大結晶粒材から、長手方向長さが10~30mm程度のゲージ部を有する薄板状試験片に加工し、実験に供した。このゲージ部寸法は、ゲージ部内に必要十分な数の結晶粒が含まれるように決定した。なお、板厚方向にはできるだけ様な結晶方位分布が得られるように、試験片に応じて板厚を調整した。

実験では、一軸引張試験を中心に実施した。実験に際して、試験片のゲージ部に白色および黒色のスプレーによりスペckルパターンを塗布し、変形中のパターンの様子をデジタルカメラにより撮影した。そして、得られたデジタル画像からデジタル画像相関法によりゲージ部のひずみ分布とその発展を測定した。

実験に先立って、試験片のゲージ部を電子線後方散乱回折法により測定することで、結晶方位分布および粒界に関する情報を取得した。

極低炭素鋼試験片については、単純せん断反転負荷試験も実施することで反転負荷に伴うひずみ分布の発展を調査した。

#### (2) 解析方法

研究代表者らが開発してきた、結晶塑性有限要素法プログラム[1]を用いた。解析では、試験片のゲージ部のみをモデル化した。具体的には、ゲージ部寸法に合わせて有限要素モデルの外形を決定し、結晶粒界を模擬するように各要素へ電子線後方散乱回折法により測定された結晶方位を割り当てた。なお簡単のため、結晶粒界はボクセル近似とした。また実験における試験片作成方法に基づき、板厚方向には結晶方位分布が一様である(結晶粒が貫通している)と仮定した。

板面内では十分なひずみの分解能が得られるように要素分割数を決定した。一方、板厚方向には、解析精度と解析時間の双方を考慮して3分割とした。

解析で用いた結晶塑性モデルのパラメータは、研究代表者らの過去の研究[1]に基づいて決定した。

#### 4. 研究成果

本報告書では、純チタンへの適用事例[2]に焦点を当てて報告する。図1に、粗大結晶粒純チタン板の引張試験によって得られた平均応力-平均ひずみ曲線とゲージ部における長手方向ひずみ成分の分布に関する実験結果を示す。平均応力は試験機で測定された荷重を初期断面積で割ることで、また平均ひずみは長手方向ひずみ成分をゲージ部全域で平均することで算出した。ひずみ分布の図中における黒い実線は粒界を表す。

巨視的には弾性域である平均ひずみ約0.5% (点A) の時点においても、既に粒界近傍でひずみの局所化が見られ、不均一なひずみ分布を示している。またここでみられるひずみの局所化は、変形の進行に伴ってさらに顕在化している (点B)。平均ひずみ2.5%程度 (点C) まで至ると、粒界近傍だけでなく粒内にも大きなひずみが発生するが、各結晶粒内でも不均一性は顕著である。また、粒界近傍では、数多くの直線状の局所ひずみがみられる (点C, 点D)。これらはすべり線、すなわちすべり系の活動が直接可視化された結果である。

図2(a)に、長手方向ひずみ分布について実験と解析で比較した結果を示す。解析では、粒界を起点とするひずみの局所化や結晶粒内でのひずみの不均一性、あるいは結晶粒ごとでひずみ

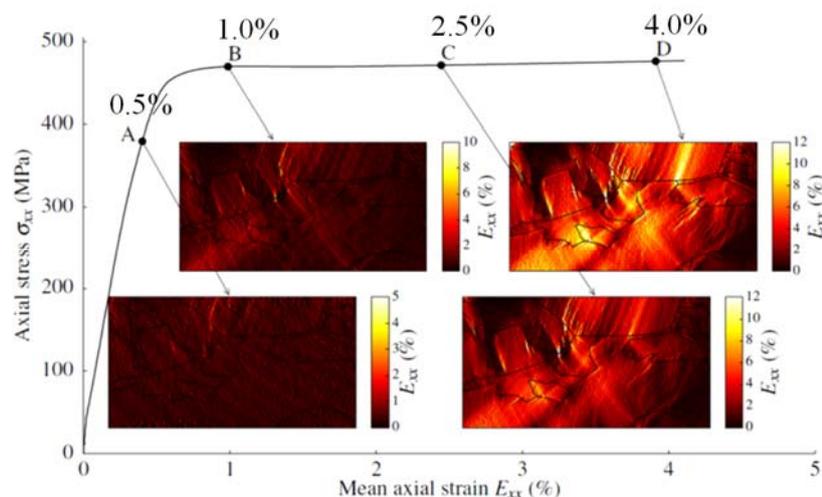


図1 粗大結晶粒純チタン板の引張変形時における平均応力-平均ひずみ曲線とゲージ部におけるひずみ分布 [2].

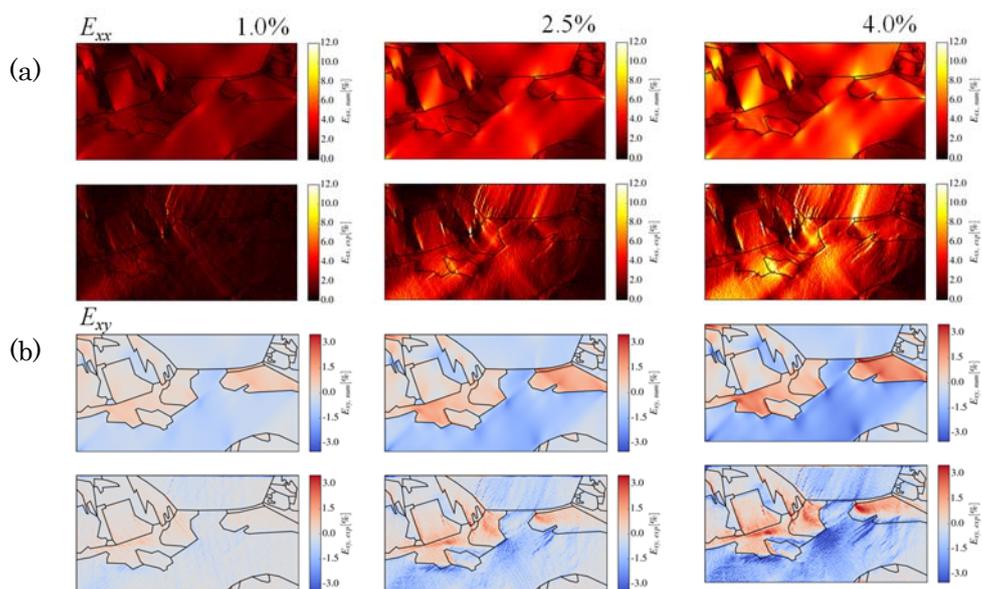


図2 ひずみ分布における実験と解析の比較 [2]. (a)長手方向ひずみ, (b)せん断ひずみ. それぞれの結果において, 上段が解析, 下段が実験の結果である.

が異なる様子が良く再現できている。なお、解析ではすべり線が表面性状に及ぼす影響はモデル化していないため、すべり線による粒界近傍の不均一性は表現できていない。

図2(b)に、板面内のせん断ひずみ成分の分布を示す。変形初期(平均ひずみ1.0%)の段階から、正のせん断ひずみが生じる結晶粒と負のせん断ひずみが生じる結晶粒が明瞭に分かれている。またその傾向は、変形が進展しても変化しない。以上の結果は解析でも良好に予測できている。なお、実験と解析でせん断ひずみの正負が異なる小さな結晶粒がみられる。これは、この結晶粒は板厚方向に貫通していなかったため、解析における板厚方向での結晶方位分布一様の仮定が成り立っていなかったためである。このことから、表面のひずみ分布には内部の変形が大きく影響することがわかる。

以上の結果から、本研究で用いた結晶塑性有限要素モデルにより、結晶粒レベルでの変形を定性的に予測可能であることが明らかとなった。

純チタンに関する先行研究から、すべり系による臨界分解せん断応力の大小関係がある程度明らかにされている。しかしながら、底面すべり系については研究によって考え方が大きく異なり、その位置づけが十分明らかにされていない。図2で示した解析では、底面すべり系の臨界分解せん断応力は主すべり系である柱面すべり系の約2.14倍に設定していた。しかしながらこの値は試行錯誤により決定された結果であり、その妥当性は明らかではない。そこで、粗大結晶粒におけるひずみ分布を参照することで、底面すべり系の適切な位置づけを検討する。具体的には、底面すべり系の臨界分解せん断応力を種々に変化させて解析を行い、実験に近いひずみ分布を与える条件を検討した。

図3に結果の一例を示す。最上段には参考のため、実験結果および当初のパラメータを用いた参照解析結果を示す。(a)は、底面すべり系の臨界分解せん断応力を主すべり系である柱面すべり系と一致させた場合(臨界分解せん断応力比が1倍)の結果であり、(b)、(c)、(d)はそれぞれ1.25倍、1.7倍、2.3倍に設定した結果である。実験結果および参照解析結果とこれらの結果を比較すると、1倍の結果((a))ではひずみの局所化が小さく見積もられており、また幅方向ひずみ成分では正負が逆転して予測されている。一方、底面すべり系の臨界分解せん断応力を徐々に大きくすると、ひずみの局所化が顕著になるとともに、幅方向ひずみ成分の正負が実験結

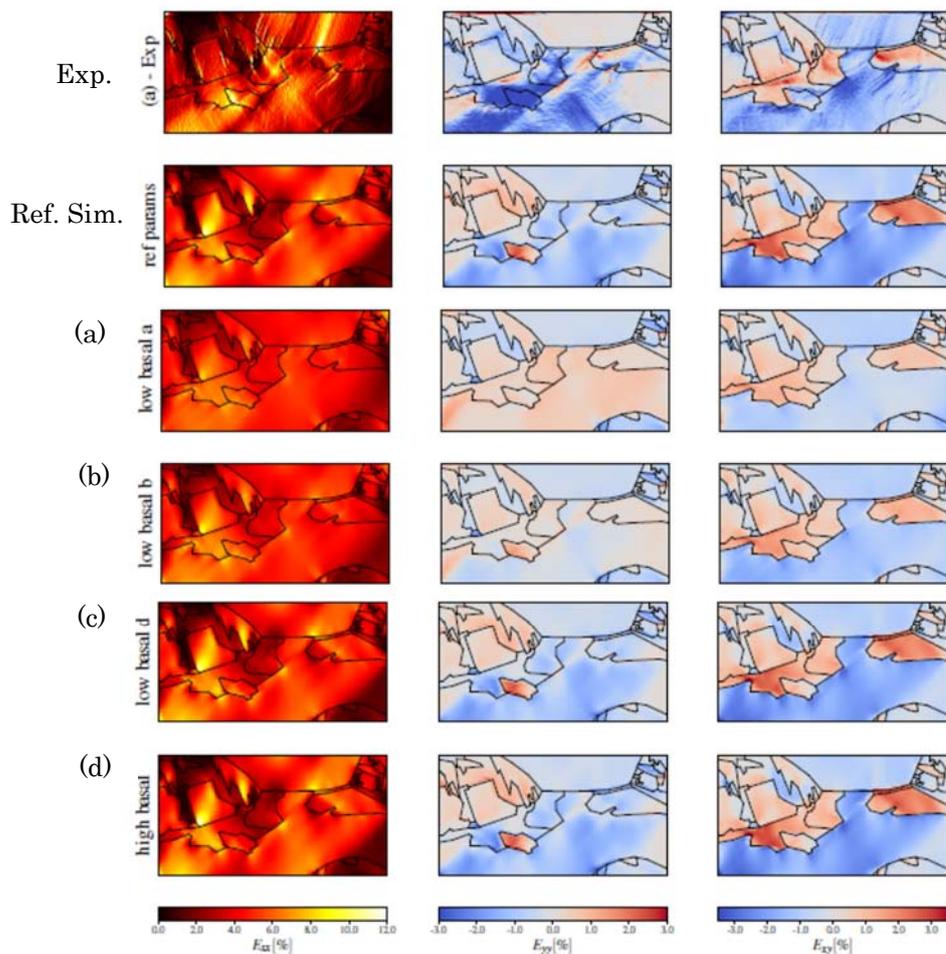


図3 底面すべり系の臨界分解せん断応力を種々に変化させた場合の解析結果。柱面すべり系の臨界分解せん断応力に対して、それぞれ(a)1倍、(b)1.25倍、(c)1.7倍、(d)2.3倍に設定した場合の結果である。

果と整合するように変化している。そして底面すべり系の臨界分解せん断応力が 1.7 倍以上になると、結果にはほとんど違いがみられない。以上の結果から、ひずみ分布の観点から考えると、底面すべり系の臨界分解せん断応力は一定以上の大きさに設定する必要があることが明らかとなった。また、当初設定したパラメータでは約 2.14 倍に設定していたことから、試行錯誤によって同定されたパラメータには一定の妥当性があることが示唆された。

#### 参考文献

- [1] Hama, T., Kobuki, A., and Takuda, H., *Int. J. Plast.*, 91 (2017), 77-108.
- [2] Baudoin, P., Hama, T., and Takuda, H., *Int. J. Plast.*, 115(2019), 111-131.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Baudoin, P., Hama, T., and Takuda, H.	4. 巻 115
2. 論文標題 Influence of critical resolved shear stress ratios on the response of a commercially pure titanium oligocrystal: crystal plasticity simulations and experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 111-131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2018.11.013">https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2018.11.013</a>	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 Hama, T., Suzuki, T., Hatakeyama, S., Fujimoto, H., and Takuda, H.	4. 巻 725
2. 論文標題 Role of twinning on the stress and strain behaviors during reverse loading in rolled magnesium alloy sheets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering A	6. 最初と最後の頁 8-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.03.124">https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.03.124</a>	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 Kubo, M., Hama, T., Tsunemi, Y., Nakazawa, Y., and Takuda, H.	4. 巻 58-4
2. 論文標題 Influence of strain ratio on surface roughening in biaxial stretching of IF steel sheets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 704-713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2017-612">https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2017-612</a>	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 Hama, T., Fujimoto, H., and Takuda, H.	4. 巻 15
2. 論文標題 Prediction of differential work-hardening behavior under biaxial tension of steel sheet using crystal plasticity models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Procedia Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1808-1815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.210">https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.210</a>	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 Kubo, M., Hama, T., Tsunemi, Y., Nakazawa, Y., and Takuda, H.	4. 巻 1063
2. 論文標題 Crystal plasticity finite-element analysis of surface roughening behavior in biaxial stretching of steel sheets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conf. Series	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hama, T., Sakai, T., Korkolis, Y.P., and Takuda, H.	4. 巻 1063
2. 論文標題 Crystal-plasticity finite-element simulation of time-dependent springback in a commercially pure titanium sheet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conf. Series	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Baudoin, P., Hama, T., Uchida, S., and Takuda, H.	4. 巻 1063
2. 論文標題 Crystal plasticity analysis of the deformation of a grade 2 CP-Ti oligocrystal	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conf. Series	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kubo, M., Hama, T., Tsunemi, Y., Nakazawa, Y., and Takuda, H.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Influence of strain ratio on surface roughening in biaxial stretching of IF steel sheets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 Hama, T., Kojima, K., Kubo, M., Fujimoto, H., and Takuda, H.	4. 巻 57-5
2. 論文標題 Crystal plasticity finite-element simulation on development of dislocation structures in BCC ferritic single crystals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 866-874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2017-011">https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2017-011</a>	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 Hama, T., Kobuki, A., and Takuda, H.,	4. 巻 91
2. 論文標題 Crystal-plasticity finite-element analysis of anisotropic deformation behavior in commercially pure titanium Grade 1 sheet	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 77-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2016.12.005">https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2016.12.005</a>	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 浜孝之	4. 巻 44
2. 論文標題 結晶塑性解析による数値材料試験	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 TEST	6. 最初と最後の頁 3-5
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 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 浜孝之, 宅田裕彦
2. 発表標題 結晶塑性解析による冷延鋼板の加工硬化特性の予測
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会 シンポジウム「鋼板材料モデリングのシンポと課題」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 129) 浜孝之, 達川昂至, 生川遼太, 前田康裕, 前田恭志, 藤本仁, 宅田裕彦
2. 発表標題 結晶塑性解析と単純せん断試験を用いた5000系アルミニウム合金板における大ひずみ域までの加工硬化特性評価
3. 学会等名 第69回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜孝之, 月原啓志, 畠山真一, 内田壮平, 藤本仁, 宅田裕彦
2. 発表標題 異なる双晶活動を示す2種類の純チタン板における2段階変形挙動
3. 学会等名 第69回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Pierre Baudoin, 浜孝之, 内田壮平, 宅田裕彦
2. 発表標題 粗大結晶粒純チタン板の不均一変形挙動とその結晶塑性解析
3. 学会等名 平成30年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜孝之, Pierre Baudoin, 宅田裕彦
2. 発表標題 少数結晶材の活用による結晶塑性解析の高精度化の可能性
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第175回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Pierre Baudoin, 浜孝之, 内田壮平, 宅田裕彦
2. 発表標題 粗大結晶粒純チタン材の不均一変形挙動に及ぼすCRSS比の影響
3. 学会等名 日本機械学会M&M2018カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hama, T., Fujimoto, H., and Takuda, H.
2. 発表標題 Prediction of differential work-hardening behavior under biaxial tension of steel sheet using crystal plasticity models
3. 学会等名 METALFORMING2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kubo, M., Hama, T., Tsunemi, Y., Nakazawa, Y., and Takuda, H.
2. 発表標題 Crystal plasticity finite-element analysis of surface roughening behavior in biaxial stretching of steel sheets
3. 学会等名 NUMISHEET 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hama, T., Sakai, T., Korkolis, Y.P., and Takuda, H.
2. 発表標題 Crystal-plasticity finite-element simulation of time-dependent springback in a commercially pure titanium sheet
3. 学会等名 NUMISHEET 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Baudoin, P., Hama, T., Uchida, S., and Takuda, H.
2. 発表標題 Crystal plasticity analysis of the deformation of a grade 2 CP-Ti oligocrystal
3. 学会等名 NUMISHEET 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜孝之, Pierre Baudoin, 宅田裕彦
2. 発表標題 少数結晶材の活用による結晶塑性解析の高精度化の可能性
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第175回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜孝之, 平野夏帆, 藤崎悠介, 内田壮平, 藤本仁, 宅田裕彦
2. 発表標題 二段階負荷を受ける純チタン板の応力挙動
3. 学会等名 第68回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浜孝之, 八木翔吾, 生川遼太, 前田康裕, 前田恭志, 藤本仁, 宅田裕彦
2. 発表標題 種々のひずみ経路における5000系アルミニウム合金板の加工硬化特性
3. 学会等名 第68回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浜孝之, 平野夏帆, 藤崎悠介, 内田壮平, 藤本仁, 宅田裕彦
2. 発表標題 二段階負荷を受ける純チタン板の変形挙動に及ぼす双晶活動の影響
3. 学会等名 日本機械学会M&M2017カンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浜孝之, 浦谷政翔, 藤本仁, 宅田裕彦
2. 発表標題 鉄鋼板の応力緩和挙動に関する結晶塑性有限要素法解析
3. 学会等名 平成29年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浜孝之
2. 発表標題 結晶塑性解析による材料組織と力学特性のブリッジング
3. 学会等名 日本塑性加工学会東海支部第84回塑性加工懇談会「圧延および鍛造のための材料組織予測モデルの現状と展望」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜孝之
2. 発表標題 結晶塑性理論の応用 実用化を見据えた最新動向と今後の可能性
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第69回白石記念講座「金属材料の弾塑性変形のマクロ・ミクロモデルの進歩」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浜孝之
2. 発表標題 六方晶金属板の変形挙動とその結晶塑性解析
3. 学会等名 大橋鉄也先生記念シンポジウム「金属塑性の理解とモデリング」(招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分担 者	浜 孝之  (Hama Takayuki)  (10386633)	京都大学・エネルギー科学研究科・准教授    (14301)	