

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01220

研究課題名（和文）近接押し込み試験による塑性ひずみ場干渉を活用した力学特性評価

研究課題名（英文）Characterization of mechanical properties based on interaction of plastic strain field in neighboring indentation test

研究代表者

渡邊 育夢（Watanabe, Ikumu）

国立研究開発法人物質・材料研究機構・マテリアル基盤研究センター・主幹研究員

研究者番号：20535992

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 7,900,000円

研究成果の概要（和文）：押し込み試験では、数値シミュレーションと組み合わせることで、引張試験相当の応力-ひずみ関係を評価するための拡張がなされてきた。しかし、応力-ひずみ関係の再現性や微小領域の評価において、異方性の考慮などに課題がある。本研究では、押し込み試験を用いた評価手法の拡張に取り組んだ。特に、押し込み試験を近接して実施し、塑性ひずみ場を干渉させることで塑性力学特性を抽出する手法を開発した。また、鉄鋼のように加工硬化率の高い金属材料への適用性を改善するために、加工硬化則を拡張し、新たな実験データを追加せずに材料定数を同定する手法を提案した。さらに、結晶学的な異方性を考慮するための枠組みを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

データ駆動材料研究・開発のためには、簡易・大量にデータを評価する手法が不可欠であるが、一般的な力学特性の評価手法である引張試験は時間・労力を要する。開発手法は、試験片加工を要せずに微小試料から引張試験相当の応力-ひずみ関係を取得できる。既存手法では、鉄鋼やNi基超合金のような高強度材料において、評価精度が低かったが、本研究では新たな実験データを追加することなく、評価性能を向上させた。また、圧痕の変形状態の評価も不要であり、荷重-変位関係のみから力学特性を評価できる。既に、積層造形体における力学特性の不均一分布の評価や組成傾斜試料と組み合わせたハイスルーブット実験への適用事例が創出されている。

研究成果の概要（英文）：Computational methods for the characterization of mechanical properties using instrumented indentation test were upgraded in this study, for which a new concept of neighboring indentation tests was proposed. The new approach was based on the interaction effect between preceding and subsequent indentations. Furthermore, in the estimation, the constitutive model of an alloy was upgraded to characterize the crystallographical anisotropy and high plastic strain-hardening. The developed methods could successfully estimate the stress-strain curves of both Al alloys and a stainless steel in the demonstrations.

研究分野：計算力学

キーワード：押し込み試験 金属塑性 非線形有限要素法 結晶塑性 数値シミュレーション 逆解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 押し込み試験による力学特性評価

構造用金属材料の力学特性は一般に、引張試験で評価されるが、引張試験は試験加工を含めて労力がかかるため、簡易評価として硬さ試験を用いることが多い。計装化押し込み試験（以下、単純に押し込み試験と呼ぶ）は圧子を試験片に押し付ける際の荷重を制御する硬さ試験を拡張した評価手法であり、試験中の荷重 - 深さ関係を取得できる。この押し込み試験において、計測される荷重 - 深さ関係から硬さや等価弾性剛性だけでなく、引張試験相当の応力 - ひずみ関係を評価しようとする研究が取り組まれてきた。押し込み試験時に、試験片に生じるひずみ / 応力場は引張試験のように一様でないため、単純な換算はできない。その結果、塑性変形挙動を降伏強度と加工硬化係数の 2 つの材料定数のみで記述する単純な構成モデルで表現したとしても、単一の押し込み荷重 - 深さ関係からだけでは、唯一解として応力 - ひずみ関係を得ることはできない。そこで、2 つの異なる形状の圧子（二圧子法） [Chollacoop et al., Acta Mater., 2003] や押し込み試験中に押し込み深さ - 断面積関係が変化する球圧子 [Ogasawara et al., Scripta Mater., 2006] を用いたアプローチが提案された。これらの手法では圧子の交換や荷重 / 変位の範囲指定が必要であり、実用上、使い勝手が悪い。

(2) 圧痕のパイルアップを用いた評価手法

Goto et al. [Int. J. Plast., 2019; Mater. Des., 2020] は押し込み荷重 - 深さ関係だけでなく、圧痕周辺に生じる変形状態に着目した評価手法を開発した（図 1）。ここでは、圧痕周辺の盛り上がりであるパイルアップ高さが加工硬化係数と相関があることを利用して、荷重 - 深さ関係とパイルアップ高さから塑性構成モデルに含まれる 2 つの材料定数を同定する。開発手法では単一の任意形状の圧子で評価でき、圧子の交換が不要である。さらに、微小押し込み試験装置によってはパイルアップ高さを含む表面形状の計測機能が実装されているため、実用的なアプローチである。積層造形体の不均一性の評価にも活用できる [Watanabe et al., Sci. Tech. Adv. Mater., 2020]。

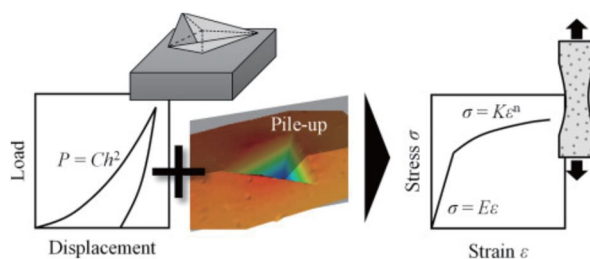


図 1 押し込み試験による応力 - ひずみ関係の評価

(3) 力学特性評価における課題

これまで提案された押し込み試験から応力 - ひずみ関係を評価するアプローチでは、2 つの材料定数のみで表現する単純な塑性構成モデルが適用される。しかし、一般に金属材料の応力 - ひずみ関係を表現するためには、少なくとも三つの材料定数を含む構成モデルが適用される。したがって、押し込み試験による力学特性評価手法で用いられている構成モデルでは表現性能が十分とはいえない。複雑な関数に改良または項を追加することで構成モデルの表現性能を改善するためには、材料定数を同定するための独立性の高い実験データを新たに取得する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 近接押し込み試験による力学特性評価

一般に、押し込み試験では、試験間の干渉を避けるために、十分に間隔を開けて試験が行われる。すなわち、近接領域に押し込み試験を行った場合、先行試験が作り出す塑性ひずみ場の影響が後続試験に現れる。本研究では、押し込み試験において避けられてきた近接領域への試験による塑性ひずみ場の干渉作用を数値シミュレーションと連携することによって抽出・活用する（図 2）。圧痕のパイルアップ高さを用いる手法では、加工硬化係数が大きい材料に対してはパイルアップ高さが小さくなり、材料定数に対する感度が相対的に低くなってしまふ。一方、押し込み試験の干渉作用を利用した場合、加工硬化係数が高いほど、感度が高くなると考えられ、構成モデルを拡張する際の追加情報として適切である。

(2) 近接押し込み試験による結晶粒界の特性評価

押し込み試験は荷重を微小に制御することで評価スケールを相似的に変えることができるマルチスケール性を有する。この性質を利用して、Matsuno et al. [Int. J. Mech. Sci. 2020] は二相鉄鋼組織における位相界面の強化機構の評価に活用した。押し込み試験は異相界面の強化機構の評価において有効な手段であるが、力学特性が類似の結晶粒の界面である結晶粒界に対しては有意な応答の差が得られず、評価が難しい。しかし、結晶粒界の強化機構は構造用金属材料において重要な強化機構であり、評価手法の確立は材料研究・開発の進展に不可欠である。開発手法は 2 つの押し込

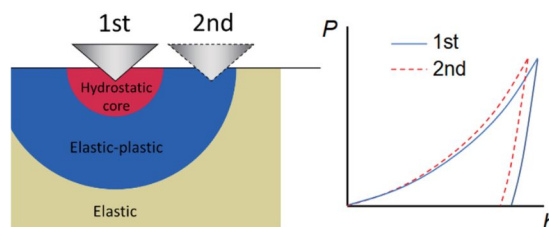


図 2 近接押し込み試験による力学特性評価

み試験の作り出す塑性ひずみ場の干渉作用を評価するアプローチであるが、結晶学的な異方力学特性を数値シミュレーションにおいて考慮することで、両者の間に結晶粒界があった場合、界面との相互作用を抽出できる。開発手法の特性を利用して、本研究では結晶粒界の界面特性の評価に応用展開し、その結果を議論する。

(3) 本研究での実施内容

本研究では、これまで計測精度の低下要因として避けられてきた(1)近接領域への押し込み試験を基に、実験データと数値シミュレーションを数理最適化法によって連携し、未活用情報を抽出・活用する実験・理論・計算を統合したアプローチを開発する。また、(2)力学特性評価の適用性を向上するために、力学特性を表現する構成モデルを拡張する。さらに、(3)開発手法において、近接押し込み試験の間に結晶粒界を配置し、結晶粒界の影響・強化機構を抽出する。

3. 研究の方法

(1) 近接領域への押し込み試験による応力 - ひずみ関係の評価

近接領域への押し込み試験の実験結果から数値シミュレーションと連携して応力 - ひずみ関係の評価する手法を開発する。ここでは、押し込み試験後に、一定の距離を開けて再度押し込み試験を行い、先行・後続の押し込み試験における荷重 - 深さ関係を基に、実験データと数値シミュレーションの差が最小となるような材料定数を同定する。評価試料としてAl合金および鉄鋼材料を用意する。実験を効率よく実施するために、適切な実験条件を数値シミュレーションで検討する。

(2) 構成モデルの拡張

既存の評価手法で採用されているべき乗硬化則では、高ひずみ領域において加工硬化率が低下し過ぎてしまうため、鉄鋼材料のような加工硬化率の高い構造用金属材料では、応力 - ひずみ関係の再現性が悪い。そこで、加工硬化則を拡張し、押し込み試験を用いて、その材料定数を同定するための方法を提案する。

金属材料の微小領域では、結晶学的な異方性が顕著に現れる。押し込み試験を用いた力学特性評価において、この異方性を考慮する。ここでは、単結晶体のすべり変形に注目し、結晶塑性構成モデルを適用する。問題をできるだけ単純化するため、面心立方結晶構造の金属材料を対象とする。

(3) 結晶粒界の特性評価

近接押し込み試験を用いて粒界を挟んで実施し、荷重 - 深さ関係の違いから結晶粒界の影響を議論する。ここでは、数値シミュレーションを用いて結晶粒界と各押し込み試験の距離などの実験条件を検討する。また、結晶粒界の影響を詳細に分析するために、収束イオンビームを用いて、2つの圧痕と結晶粒界を含む断面を掘削・抽出して、透過型電子顕微鏡を用いて断面の転位観察を行い、議論する。

4. 研究成果

(1) 近接領域への押し込み試験による応力-ひずみ関係の評価

本研究では、近接領域において押し込み試験を行い、先行・後続の押し込み試験の間の相互作用を試験の結果から塑性特性を抽出する。適切な試験条件を設定するために数値シミュレーションを実施する。有限要素モデルを作成し、実験と同等の結果を得られることを確認した。ここでは、三角錐型の Berkovich 圧子を用いる。また、既往研究と同様に、試料の等方力学特性を仮定し、等方弾塑性構成モデルを採用する。加工硬化モデルとして、2つの材料定数で記述されるべき乗則を用いる。2つの押し込み試験の深さおよび間隔を数値シミュレーションで検討し、材料定数を同定するための実験条件を決定した。

2つの塑性構成モデルの材料定数を決定するために、先行押し込み試験の荷重係数（荷重 - 深さ関係を二次曲線で近似したときの係数）と先行・後続試験の荷重係数の差について、数値シミュレーションを用いて事前に対応曲面データベースを作成した(図3)。ここでは、Al合金と鉄鋼材料の弾性定数を設定した。この対応曲面データベースによって、実験後、対応する材料定数を即座に得ることができる。

2種類のAl合金 A5052, A7204 およびステンレス鋼 SUS304

に対して、近接押し込み試験を行った(図4)。開発手法では加工硬化率の高い鉄鋼材料において差が大

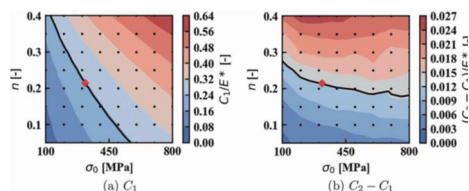


図3 近接押し込み試験のための対応曲面データベース (鉄鋼材料)

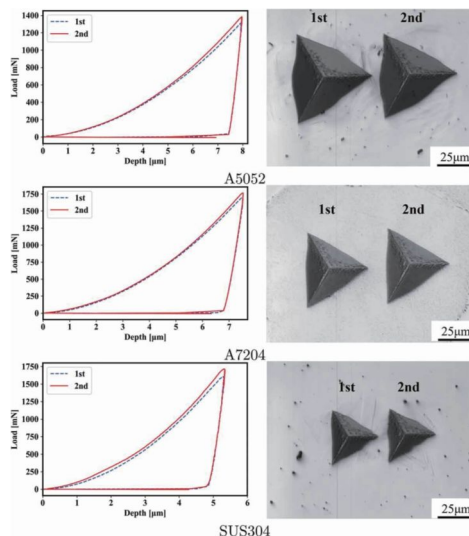


図4 近接押し込み試験の実験結果

大きく現れる。この荷重 - 深さ関係より、応答曲面データベースから対応する材料定数を読み出し、応力 - ひずみ関係を推定した。推定した応力 - ひずみ関係と対応する材料の引張試験結果を比較した (図 5)。ここでは、圧痕のパイルアップ高さをを用いる手法 [Goto et al., Mater. Des. 2020] とも比較した。比較より、開発手法は既存手法と同程度の推定性能があることを確認できた。

(2) 構成モデルの拡張 加工硬化則の拡張:

押し込み試験を用いた力学特性の推定手法で適用されるべき乗硬化則では、鉄鋼材料のように高強度・高加工硬化率の金属材料の力学特性を表現することが難しい。よって、関数的な表現性能を改善する必要がある。本研究では、べき乗硬化則に線形硬化項を追加し、構成モデルを拡張した。べき乗硬化則と同様に線形硬化則も 2 つの材料定数で構成されているため、既存のアプローチと同様に押し込み試験を用いて材料定数を同定できる。押し込み試験を用いて推定された応力 - ひずみ関係は図 6 のような上下界となることがわかった。この性質を利用して中間的な応答を求める手法を提案した。この手法では材料定数を同定するために実験を追加する必要がない。また、材料定数の同定には応答曲面データベースを用いたアプローチを採用した。ここでは、材料定数が 3 つとなるため、図 7 のような三次元のデータベースを計算する必要がある。開発手法の検証のため、圧痕のパイルアップ高さをを用いる力学特性の推定手法を用いて、ステンレス鋼 SUS304 の応力 - ひずみ関係を推定した (図 8)。べき乗則を用いた推定に対して評価性能が向上していることが確認できる。本手法は近接押し込み試験による推定手法にも適用でき、押し込み試験による力学特性の推定手法の枠組みを拡張した。本研究を掲載した論文 [Chen et al., Sci. Tech. Adv. Mater. Meth. 2022] は学術雑誌の Editor's Choice に選ばれ、Asian Research News 2024 においても取り上げられた。

また、金属材料の塑性変形では、ひずみ速度依存性があり、押し込み試験においても荷重-変位関係においてクリープやリラクゼーションといった応答が観察される。実験と数値シミュレーションを連携することで、構成モデルにおけるひずみ速度依存性に関する材料定数を同定する手法を開発した。

結晶学的異方性の考慮:

結晶学的な異方性を表現する結晶塑性構成モデルの有限要素法への実装について、実績 [Terada & Watanabe, Comput. Mech., 2007; Watanabe et al., Int. J. Plast., 2010] はあるが、押し込み試験のように有限ひずみと接触・摩擦を伴う非線形問題では、陰解法で収束解を求めることが難しい。そこで、本研究では、対象とする問題は準静的な問題であるが、安定的な計算のために慣性力を考慮する陽的動解法を適用した。すなわち、構成モデルの応力評価では陰解法による収束計算を行うが、有限要素法の変形解析では収束計算を行わず、陽的に評価する。開発手法をマイクロ押し込み試験の数値シミュレーションへ適用し、その有効性を示した。

異方性材料に対して押し込み試験を行った場合、圧痕に異方性の影響が現れる。実験と数値シミュレーションを比較し、再現性を評価した (図 9)。この変形状態を構成モデルに含まれる材料定数で制御するために、各材料定数の影響を調査した。ここでは、問題を単純化するために、単一のすべり系のみで記述される面心立方構造を対象とした。特に、すべり系間の干渉作用を表現

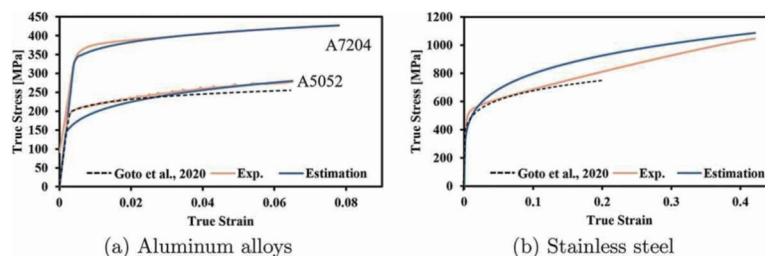


図 5 近接押し込み試験による力学特性の推定

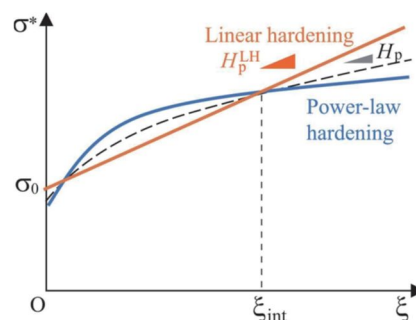


図 6 加工硬化則の拡張

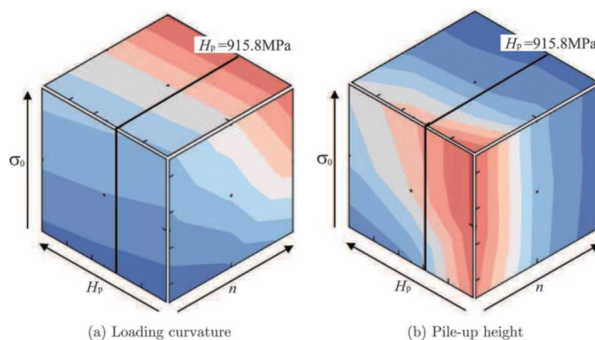


図 7 三次元応答曲面データベース

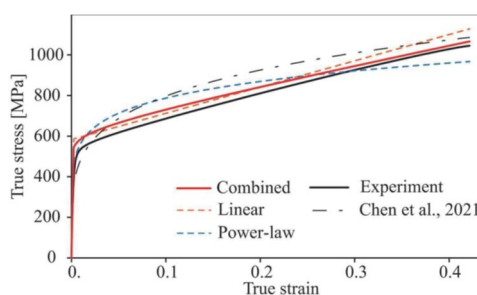


図 8 応力 - ひずみ関係の評価

する行列の影響を評価した。

また、微小押し込み試験では塑性変形開始時にポップインと呼ばれる局所変形を伴う現象が確認される。この現象を表現するために、降伏後の応力降下を表現する構成モデルを提案した。この構成モデルを用いて、引張試験における降伏点現象を再現できることを示した。

(3) 結晶粒界の特性評価

項目(1), (2)の研究成果を統合して結晶粒界の特性評価に取り組んだ。結晶粒界を挟んだ形で近接領域への押し込み試験を行った。2つの圧痕と粒界を含む領域を透過型電子顕微鏡で観察した(図10)。結晶粒界と転位の相互作用は材料種の影響が強いため、複数の材料に対して実験を行っている。また、対応した数値シミュレーションを実行している。

(4) 本研究のまとめと今後の展開

本研究では、(1)近接領域への押し込み試験による応力 - ひずみ関係の評価、(2)構成モデルの拡張、(3)結晶粒界の特性評価 に取り組んだ。押し込み試験による力学特性評価において新しい枠組みを提案した。これらは基盤的な研究成果であり、様々な分野における研究・開発で活用されることを期待する。既に、合金開発のためのハイスループット実験にも活用されている [Goto et al., Jour. Alloys Compounds 2022]。

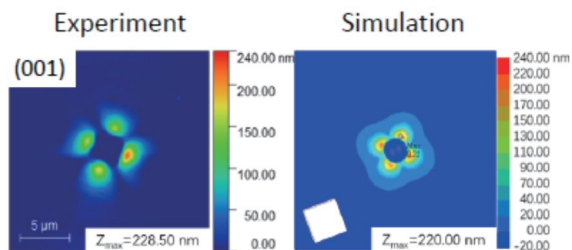


図9 結晶学的異方性を考慮した押し込み試験



図10 結晶粒界を挟んだ近接押し込み試験

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 WATANABE Ikumu, CHEN Ta-Te, TANIGUCHI Sachiko, KITANO Houichi	4. 巻 191
2. 論文標題 Heterogeneous microstructure of duplex multilayer steel structure fabricated by wire and arc additive manufacturing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 112159 ~ 112159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.matchar.2022.112159	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 WATANABE Ikumu, AMAISHI Toshiro	4. 巻 120
2. 論文標題 Three-dimensional finite element analysis of unintended deformation of polycrystalline billet in micro-extrusion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	6. 最初と最後の頁 817 ~ 827
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00170-022-08726-y	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 CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu	4. 巻 2
2. 論文標題 Data-driven estimation of plastic properties in work-hardening model combining power-law and linear hardening using instrumented indentation test	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials: Methods	6. 最初と最後の頁 416 ~ 424
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/27660400.2022.2129508	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 CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu, LIU Dayuan, GOTO Kenta	4. 巻 1
2. 論文標題 Data-driven estimation of plastic properties of alloys using neighboring indentation test	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials: Methods	6. 最初と最後の頁 143 ~ 151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/27660400.2021.1959838	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 CHEN Ta-Te、WATANABE Ikumu、FUNAZUKA Tatsuya	4. 巻 11
2. 論文標題 Characterization of the Strain-Rate-Dependent Plasticity of Alloys Using Instrumented Indentation Tests	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1316 ~ 1316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11111316	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 WATANABE Ikumu、AMAISHI Toshiro	4. 巻 120
2. 論文標題 Three-dimensional finite element analysis of unintended deformation of polycrystalline billet in micro-extrusion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	6. 最初と最後の頁 817 ~ 827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00170-022-08726-y	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 YANAGAWA Shinnosuke、WATANABE Ikumu	4. 巻 64
2. 論文標題 Multiscale Finite Element Analysis of Yield-point Phenomenon in Ferrite-Pearlite Duplex Steels	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 874 ~ 880
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2023-470	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 YANAGAWA Shinnosuke、WATANABE Ikumu	4. 巻 110
2. 論文標題 Multiscale Finite Element Analysis of Yield-point Phenomenon in Ferrite-Pearlite Duplex Steels	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 333 ~ 341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2023-080	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25件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 渡邊 育夢, 天石 敏郎
2. 発表標題 多結晶金属材料のマイクロ押し加工三次元有限要素解析
3. 学会等名 第73回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu
2. 発表標題 Data-driven estimation of plastic properties in work-hardening model combining power-law and linear hardening using instrumented indentation test
3. 学会等名 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング第4回研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 越知 孝介, 松野 崇, 藤田 大樹, 北条 智彦, 渡邊 育夢
2. 発表標題 Dual Phase鋼ナノインデンテーション部の3次元組織観察
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第184回秋季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu, LIU Dayuan
2. 発表標題 Data-driven Estimation of Plastic Properties of Alloys with Various Hardening Behaviors Using Neighboring Indentation Test
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 天石 敏郎, 渡邊 育夢
2. 発表標題 マイクロ押し加工における結晶粒サイズの影響の結晶塑性有限要素解析
3. 学会等名 2022年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 LIU Dayuan, CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu
2. 発表標題 Characterization of Local Mechanical Properties of Alloys using Instrumented Indentation test
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第185回春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu
2. 発表標題 Data-driven estimation of plastic properties in a work-hardening model combining power-law and linear hardening using instrumented indentation test
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第185回春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu, LIU Dayuan, GOTO Kenta
2. 発表標題 Data-driven estimation of plastic properties of alloys using neighboring indentation test
3. 学会等名 日本金属学会研究会No.82「微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング」2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊育夢
2. 発表標題 計算機支援材料設計
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季(第170回)講演大会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 健太, 越知 孝介, 松野 崇, 北条 智彦, 渡邊 育夢, 浜 孝之
2. 発表標題 Dual Phase鋼ナノインデンテーション部の3次元組織観察
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第187回春季講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 柳川 真之裕, 渡邊 育夢
2. 発表標題 フェライト-パーライト鋼における降伏点現象のマルチスケール有限要素解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第187回春季講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 田中 健太, 越知 孝介, 松野 崇, 浜 孝之, 北条 智彦, 渡邊 育夢
2. 発表標題 ナノインデンテーション部3次元結晶方位像を用いたDual Phase鋼ナノスケール不均一変形挙動の分析
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会 第54回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu, LIU Dayuan, MIYAMOTO Goro
2. 発表標題 Estimation of plastic properties of alloys using instrumented indentation test
3. 学会等名 Summit of Materials Science 2023 and GIMRT User Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YANAGAWA Shinnosuke, WATANABE Ikumu
2. 発表標題 Multiscale finite element analysis of yield point phenomenon in Ferrite-Pearlite duplex steels
3. 学会等名 NIMS Award Symposium 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 LIU Dayuan, CHEN Ta-Te, WATANABE Ikumu
2. 発表標題 Estimation of mechanical properties of alloys using neighboring indentation test
3. 学会等名 NIMS Award Symposium 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 天石 敏郎, 渡邊 育夢, 陳 達徳
2. 発表標題 形状の異なる圧子を用いたインデンテーションの結晶塑性解析による材料特性予測
3. 学会等名 M&M2023 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 陳 達徳, 渡邊 育夢, 劉 大元
2. 発表標題 べき乗則と線形硬化則を組み合わせた構成モデルにおける計装化押込み試験によるデータ駆動型塑性特性推定法
3. 学会等名 M&M2023 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 WATANABE Ikumu, CHEN Ta-Te, LIU Dayuan
2. 発表標題 Characterization of Mechanical Properties of Alloys using Instrumented Indentation Test
3. 学会等名 XVII International Conference on Computational Plasticity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 WATANABE Ikumu
2. 発表標題 Characterization of Material Properties from Microscopic Heterogeneity using Numerical Material Testing
3. 学会等名 ZCCE seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 WATANABE Ikumu, CHEN Ta-Te, LIU Dayuan
2. 発表標題 Characterization of mechanical properties using instrumented indentation test
3. 学会等名 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 育夢, 陳 達徳, 劉 大元
2. 発表標題 押し込み試験による局所力学特性の推定
3. 学会等名 第28回計算工学講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 育夢
2. 発表標題 連続体力学に基づく延性破壊の数値解析
3. 学会等名 第一回日本鉄鋼協会「局所塑性に由来する損傷発達および破壊」研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 育夢, 陳 達徳
2. 発表標題 微小押し込み試験による局所応力-ひずみ関係の評価
3. 学会等名 第4回GiSMワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡邊 育夢
2. 発表標題 材料微視構造の有限要素モデリング, 最適設計
3. 学会等名 第3回GiSMワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

[Editor's Choice]T. CHEN and I. WATANABE, Data-driven estimation of plastic properties in work-hardening model combining power-law and linear hardening using instrumented indentation test, Science and Technology of Advanced Materials: Methods 2 (2022) 416-424.
[プレスリリース]New data extracted from old for materials database
<https://www.asiaresearchnews.com/content/new-data-extracted-old-materials-databases>
[プレスリリース]高強度材料に適用可能な力学特性の簡易評価手法を開発
<https://kyodonewsprwire.jp/release/202211089436>
[プレスリリース]Cracking the metal code
<https://www.asiaresearchnews.com/content/cracking-metal-code>
[雑誌特集]Asian Research News 2024
<https://www.asiaresearchnews.com/magazine/2024>
[受賞]研究奨励奨学金, つくばスカラシップ, Tianwen TAN, 筑波大学, 2023.
[受賞]優秀講演表彰, 陳 達徳, べき乗則と線形硬化則を組み合わせた構成モデルにおける計装化押込み試験によるデータ駆動型塑性特性推定法, M&M2023材料力学カンファレンス, 2023.

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
研究協力者	陳 達徳 (CHEN Ta-Te) (20983084)	名古屋大学・工学研究科・助教 (13901)	研究代表者指導の下, 2022年3月に筑波大学大学院にて博士号取得, 物質・材料研究機構でポスドク研究員を務めた後, 2023年4月より現職。

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
---------	---------