

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03161

研究課題名(和文)中性子ハイブリット回折が拓く現場利用バルク金属残留応力計測技術の開拓

研究課題名(英文) Development of neutron hybrid diffraction method aiming for measurement of residual stress in bulk metals

研究代表者

大竹 淑恵 (Otake, Yoshie)

国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・チームリーダー

研究者番号：50216777

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,450,000円

研究成果の概要(和文)：小型中性子源RANSを用いた飛行時間法による中性子回折においては、冷延鋼板の高強度化と高成形性の両立に欠かせない集合組織の高精度測定に成功した。また、回折スペクトルのエネルギー分解能の向上に取り組んだ結果、非結合型減速材を用い、陽子パルス幅と散乱ベクトル方向を最適化することにより、高分解能な回折ピークが得られた。一方、角度分散法による回折においては、シリコン単結晶に曲率をもたせたモノクロメータを作成し、得られた単色ビームを用いて軟鋼サンプルからの回折シグナルの検出に成功した。これらの取り組みの結果、金属材料の実用的な組織情報測定が、現場実装可能な小型中性子源で実現する可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中性子の高い透過力を活用して、回折により金属構造物の残留応力や微視組織を計測する試みが行われているが、これまではビーム強度に優れる原子炉等の大型施設での測定に限られていた。今回、大学や企業の研究所や工場に設置可能な小型中性子源において残留応力測定の可能性が示されたことによって、ものづくり産業における研究・製造・利用の現場に近いサイトで、より高頻度な中性子残留応力・微視組織測定実現への道が開け、高張力鋼の利用拡大や疲労破壊、遅れ破壊の防止に貢献する技術基盤が確立した。

研究成果の概要(英文)：The texture of a cold-rolled steel sheet was successfully measured by using time-of-flight diffraction method with a compact neutron source "RANS". Such measurements are indispensable for the developments of novel high-strength steels with excellent formability. In order to improve the energy resolution of the diffraction spectra aiming for the measurement of residual stress, a decoupled moderator which consists of polyethylene and boron carbide was newly fabricated, which was revealed to be useful for the high energy resolution together with the optimum scattering angle.

As regards the angular dispersive diffraction, a monochromator system has been designed and fabricated, in which silicon single crystal plates were used. 211 diffraction peak of a bcc steel sample was successfully detected by using the monochromatic beam generated by the monochromator system.

These results successfully depicted the possibility of a compact neutron source to be utilized in industrial field.

研究分野：小型中性子源システム開発

キーワード：中性子回折 小型中性子源 残留応力 バルク金属 飛行時間法 角度分散法 モデレータ モノクロメータ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や資源枯渇が進む現在においては、環境保全や省資源の観点から、環境負荷の小さい材料設計や機械設計が求められるようになってきた。例えば、自動車や鉄道、航空機などの輸送機器においては、性能・機能の向上と省エネルギー性・省資源性の向上が求められる一方で、安全性向上との両立が必要不可欠とされている。そのため、過度な裕度を削減しつつも、適正な品質を実現する極限設計が求められており、軽量、高強度かつ加工性に優れた材料設計や、作用荷重と部品強度とのバランスが取れた強度設計が必要とされている。たとえば、結晶集合組織の制御、固溶・析出・結晶微細化・相変態などによるミクロ組織の制御は、高強度かつ成形性に優れた材料開発につながる。一方、機械加工や表面処理に伴う不均一塑性変形、溶接に伴う溶融凝固プロセス、熱膨張係数差や各部の温度差などが要因で発生する残留応力は、材料の機械的性質やき裂進展などの破壊メカニズムに影響を及ぼすことから、これら残留応力の低減が信頼性の高い機械設計を可能にする。したがって、材料のミクロ組織や機械構造物の残留応力状態を正確に把握し制御することが、現代社会に要求されている、環境に調和しつつも信頼性に優れた「ものづくり」を可能にする。

中性子回折法は、中性子線の優れた透過能を生かすことで、数センチメートルオーダーの材料深部の応力・ひずみを非破壊で測定できる唯一の測定技術として知られている。一方、中性子回折により得られる回折プロファイルを精密に解析すれば、転位密度や集合組織、相分率などのミクロ組織因子を定量的に評価することができる。特に中性子回折法は、その優れた透過能から、ミクロ組織因子のバルク平均が得られる特徴があり、機械的性質との関係を求めて、材料開発や既存材料の信頼性を検討するのに適しており、強度延性バランスに優れた材料開発や、軽量かつ強度信頼性に優れた工業製品開発において、中性子回折法の果たす役割は大きく、産業界からの期待も大きい。中性子回折を利用した材料工学研究は、研究用原子炉や大型加速器施設において実施可能であり、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 の角度分散型中性子応力測定装置 RESA-1、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質生命科学実験施設 (MLF) 内飛行時間型 (エネルギー分散型) の工学材料回折装置「匠」では、残留応力評価や材料強度評価をはじめとする材料工学研究や産業応用に利用されてきた (引用文献)。大型施設から得られる高強度中性子線によるバルク計測は非常に魅力的であるが、ビーム利用は最大年数日に限られており、実用化を目指した効率的な革新的構造材料開発や製品開発にはこの頻度では対応できない。そのため現場では表面評価のみ可能な X 線や電子線装置が利用されている。しかし現在、X 線回折装置のように手で利用でき、必要な時に必要な情報を得ることのできる小型中性子源 (引用文献) が開発利用されており、実用化への計測技術開拓が重要となっている。

現在、国内外で普及の進む小型中性子源は、全長 10m 程度で、実験室や工場にも設置可能な「手軽」な中性子源として注目されている。申請者らの研究グループにおいても、理化学研究所キャンパス内に理研小型中性子源システム RANS (図 1) を整備・高度化し、これを利用した非破壊計測技術の開発・研究を進めている。小型中性子源は、 $10^4\sim 10^6/\text{cm}^2$ 程度の低いフラックスゆえに、透過イメージングや小角散乱実験は可能でも、回折実験は極めて困難と考えられてきた。しかし、申請者らはこの難題にあえて取り組み、測定条件や測定環境の最適化により、飛行時間法により鉄鋼材料の高次も含んだ回折パターンの測定が可能であり組織解析に利用可能であることを世界で初めて実証した (引用文献)。すなわち実験室レベルで中性子回折法を利用したバルク集合組織や体積相分率の測定、さらに、X 線では不可能な材料深部の残留応力測定など、材料開発や工業製品の開発において重要なパラメータとなる組織力学因子の定量評価が可能になることが示された。

バルクサンプル内部 (数 mm から cm の大きさ) の塑性加工前後の集合組織変化やオーステナイト相分率計測などは全方位からの回折パターンの強度変化の評価が可能となることが要求される。一方、残留応力測定においては回折ピーク位置の変化を精確に評価できる優れた分解能が要求されるなど、強度と分解能の両立が求められる。しかし、強度と分解能はトレードオフの関係があるため、線源の強度を上げない限り高分解能化と高強度化の両立は難しい。すなわち中性子発生量増大のための加速器の高強度化、短パルス高分解能化のための中性子源の改良など可能であるがいずれも遮蔽も含めた小型中性子源システムの大幅な大型



図 1 理研小型中性子源システム RANS

(Riken Accelerator Driven Compact Neutron Source)

化を招き、手で利用可能な装置ではなくなる。したがって、中性子工学回折におけるそれぞれの計測に要求される性能を小型中性子源システムに満足させるとともに、小型中性子源の優位

性を維持するためには、分解能には劣るが測定効率に有利性のあるパルス飛行時間法と、分解能に優れた完全結晶による角度分散法を組み合わせたハイブリッド計測システムの構築が有効である。

2. 研究の目的

革新的構造材料開発分野では、過度な裕度を削減しつつも、適正な品質を実現する極限設計が求められており、軽量、高強度かつ加工性に優れた材料設計や作用荷重と部品強度のバランスを有する強度設計が必要とされている。特に、鉄鋼等金属材料内部の残留応力やマイクロ組織制御はバルク計測が必要であるにも関わらず、表面の計測に依存している。近年、パルス小型中性子源による回折実験鉄鋼バルク内部組織観察成功した。本研究では高精度計測へ向けた角度分散結晶法導入によるハイブリッド中性子回折計測技術によるバルク集合組織、体積相分率、内部残留応力のバルク測定技術を開拓する。これにより、日常的に開発現場で中性子線によるバルク材料残留応力計測、マイクロ組織測定が可能となり、革新構造材料開発の高効率化が実現可能となる。

3. 研究の方法

本研究では、小型中性子源によるバルク材料の内部組織・残留応力の構成時計測を目指し、飛行時間法及び角度分散法によるハイブリッド中性子回折を、以下の方法で実現する。

(1) 飛行時間法中性子回折

飛行時間法は、いわゆるエネルギー分散法であり、減速材(モデレータ)からパルス状に発生する白色中性子線を直接試料に照射し、中性子線のエネルギー毎に、中性子線の発生から試料での回折および計測までの時間を測定する。したがって、あるエネルギー範囲に存在する回折ピークを同時に測定できるメリットを有している。本手法では、方位ごとに回折パターンを分離して回折強度分布を解析すれば、集合組織の高効率測定が実現できる。本研究では、光学系レイアウトの最適化とデータ解析技術の高度化により、飛行時間法によるバルク集合組織測定および体積相分率測定の高速度と高精度化を達成する。また、集合組織の測定効率の向上には、リートベルト集合組織解析プログラム MAUD (Materials Analysis Using Diffraction) を応用が測定効率向上に有効であるため、本プログラムを利用した集合組織測定方法を確立する。

(2) 角度分散法中性子回折

小型中性子源による角度分散型中性子回折法を実現するため、高強度モノクロメータシステムを開発するとともに、飛行時間型中性子回折法によるマルチピーク測定の高効率化を図る。これを実現するために、シリコン単結晶を用いて、鉄鋼材料等の応力測定において推奨回折面とされているフェライト 211 回折、オーステナイト 311 回折のひずみ測定を可能とするモノクロメータを設計、製作し、RANS を用いた中性子集光実験により基礎特性を把握する。得られた結果から、モデレータからモノクロメータ結晶までの距離、モノクロメータ結晶から回折計までの距離(集光距離)、最適なモノクロメータ結晶曲率半径など、高い分解能が得られるとともに、高効率測定が可能となる角度分散型中性子回折計の光学系レイアウトを構築する。

4. 研究成果

(1) 飛行時間法中性子回折

フェライト相とオーステナイト相からなる複相鋼に対して、RANS を用いた測定手法開発を行った。試料に入射中性子線を当てる角度を変えて実験を繰り返すことができるように、試料を2軸周りに回転させるオイラークレードルを導入した。バックグラウンドの低減等、回折測定系の最適化を行った結果、相分率の同定に必要な回折ピークを検出することができた。また、リートベルト解析の結果オーステナイト相分率を1%以内の誤差で得られた。この結果は大型中性子施設装置の結果と0.8%の差異で一致することが確認された。上記で開発した回折計及び解析手法を発展させ、軟鋼板(IF鋼)の集合組織測定に取り組んだ。ビーム強度と飛行時間分解能のバランスを最適化するために、ポリエチレンモデレータからサンプルまでの入射ビームのフライトパス(L1)を5250mm、サンプルから検出器までのフライトパス(L2)を315mmとした。バックグラウンドノイズ遮蔽のために、5mm厚のB₄Cゴムシートによる可動式遮蔽体で回折計を囲んだ。結晶方位の分解能を高めるために回折パターンを取得する中性子検出器領域の立体角を数値的に小さく分割し、光学システムの空間分解能を確保した。また、相対的に大きな試料サイズ(15mm×15mm×15mm)を採用し、かつ各試料方位の測定時間を適切に設定することで十分な統計量を確保した。回折計の概観と16分割した中性子検出器と回折パターンを図2に示す。更に、回折パターンに含まれるバックグラウンドノイズのスペクトルを測定してシグナルから除外する手法を採用した結果、高精度な結晶方位分布の測定が可能となり、図3に示す極点図を得ることができた。これは、大型中性子施設であるJ-PARC MLFのBL19(匠)とほぼ同等な精度であり、小型中性子源では世界で初めて実現した技術である。

同じくRANSを用いた飛行時間法による中性子回折手法においては、格子面間隔測定による残留応力測定の実現に取り組んだ。測定サンプルとしてBCC鉄の粉末を用いて、ポリエチレンモデレータの改良によるエネルギー分解能の向上に取り組んだ。ここでは、ポリエチレンの厚さを変化させるとともに、B₄Cゴムを用いた非結合型モデレータを製作し、その効果を調査した。非結合型モデレータの概要図及び得られた回折パターンを図4に示す。また、陽子パルス幅および散乱ベクトル方向を変化させた際の回折ピークへの影響を定量的に調査した。その結果、非結合型モデレータを用い、陽子パルス幅と散乱ベクトル方向を最適化することにより、高分解能な回折ピークが得られ、バルク金属の残留応力測定実現につながる可能性があることが示された。その一方で、モデレータ厚さの影響は顕著ではなかった。さらに、得られた回折パターンから効果的

にバックグラウンドの影響を排除してプロファイルフィッティングを実施し、得られた格子面間距離の精度について分析した。その結果、鉄鋼材料の実用的な残留応力測定を可能とする 0.1% オーダーの格子面間隔分解能が得られる可能性が示唆された。

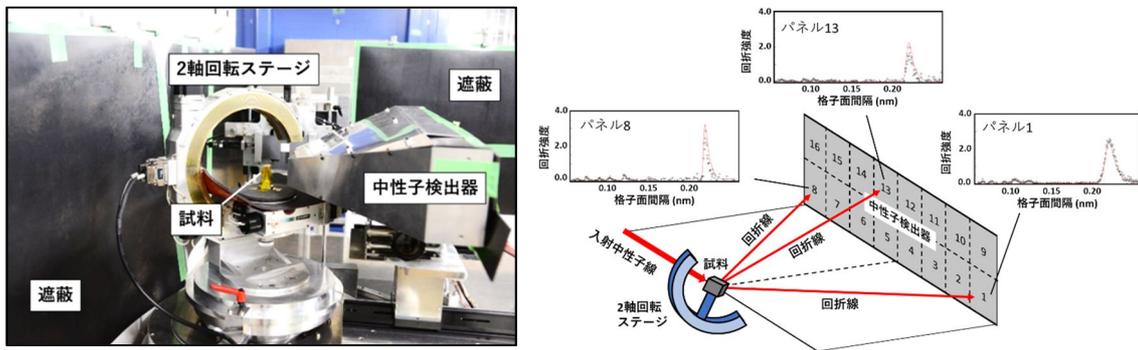


図2 RANS 回折計の概観（左）と16分割した中性子検出器と回折パターン（右）。16分割した中性子検出器の一つひとつのパネルから検出される回折パターンは、集合組織の影響を受けて異なる強度の回折パターンを示す。

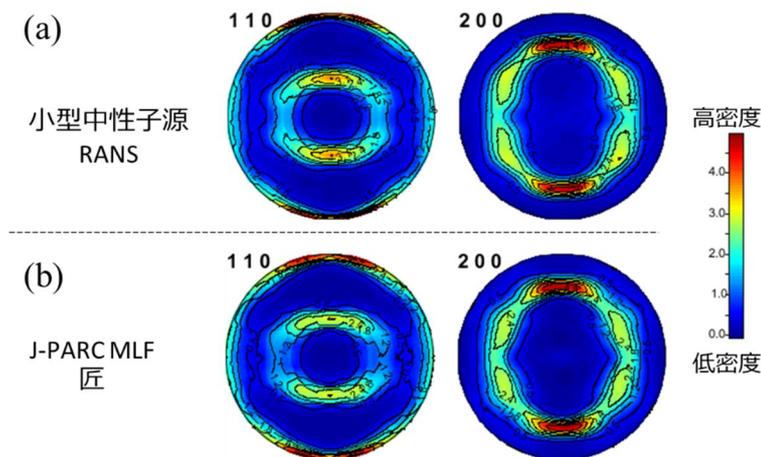


図3 (a)RANS 及び J-PARC MLF「匠」(引用文献) で得られた IF 鋼の極点図

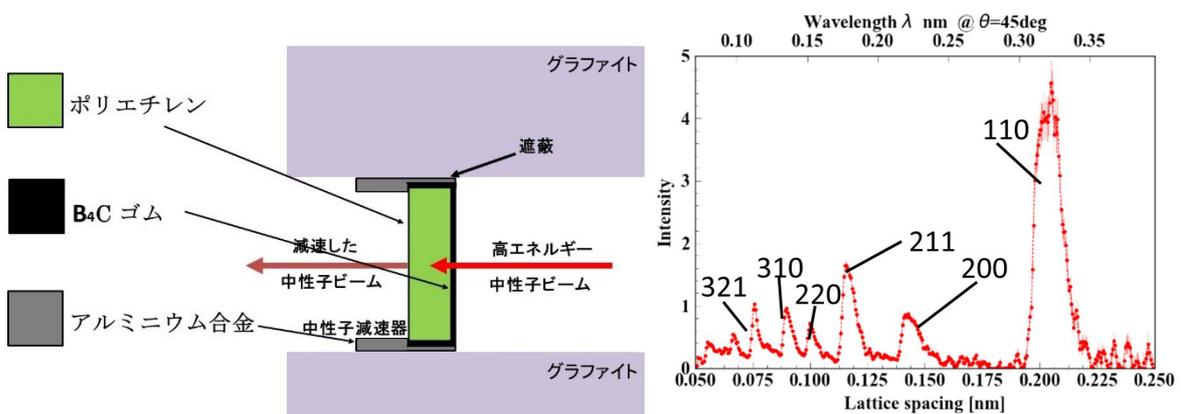


図4 非結合型モデレータの概要図及び得られた BCC 鉄サンプルの回折パターン

(2) 角度分散法中性子回折

小型中性子源における金属材料の応力測定を目的とした角度分散法中性子回折を実現させるための装置（モノクロメータ）設計、製作、および基礎実験を実施した。モノクロメータは、シリコン単結晶の（100面）を散乱ベクトルと一致させ、（400）面（面間距離 1.3576 オングストローム）からの反射により単色ビームを得る設計とした。1枚の結晶のサイズは 0.7×15×200（単位は mm）とし、これを15枚重ねて曲率を与える（ベントシリコン）ことで、効果的なモザイク効果により高いビーム強度を得ることを目的とした。さらに、上記15枚重ねの結晶の束を上下に7段並べ、縦方向の曲率を与えることを狙いとしてモノクロメータを設計した。モノクロメータは、上記横方向（Si 結晶長手方向）および縦方向の曲率を、カム機構とステップモーターの組み合わせにより高精度に実現する形とした。モノクロメータの外観および集光・回折実験のレイアウトを図5に示す。

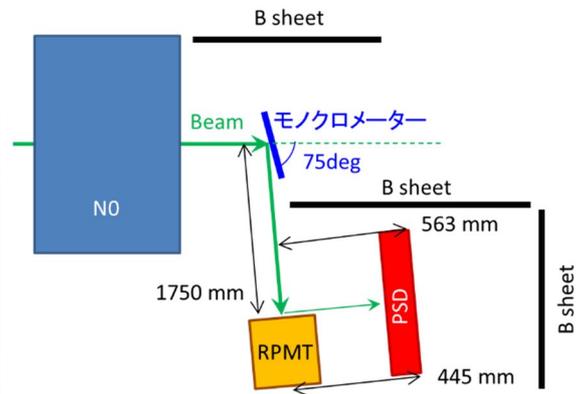


図5 RANS の中性子ビーム出口に設置された Si 単結晶モノクロメータ (左) および実験レイアウトの概略平面図 (右)

上記モノクロメータを用いた中性子回折実験においては、横方向で約 40mm にコリメートした白色パルスビームを用いた。検出器として、モノクロメータからの単色ビームの集光の確認には RPMT を、サンプル (BCC 鉄を使用) からの回折シグナルの検出には 3He による位置敏感型検出器 (PSD) を用いた。その結果、Si 結晶の 400 面および 800 面からの反射による単色ビームが RPMT 有感面内の直径 80mm 以内の領域に集光されている様子が確認できた。さらに、BCC 鉄サンプルからの回折シグナルとして、211 面に相当するビームが PSD により検出できた。また、BCC 鉄サンプルを回転させたところ、既知の異方性と一致する回折ビームの強弱を確認することができた。得られた回折パターンを図 6 に示す。

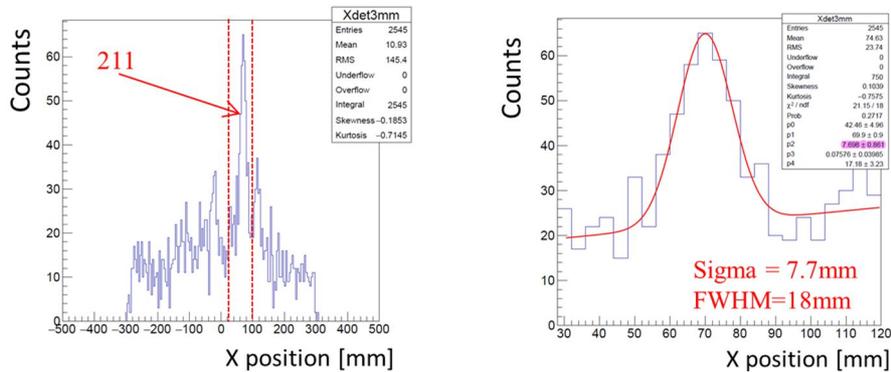


図6 角度分散法により得られた bcc 鉄粉の回折パターン (左) および 211 回折面によるピークの拡大図 (右)

さらに、上記実験結果で得られた回折パターンの分析を進めた。この実験では、シリコン単結晶を用いたモノクロメータにより、20meV-40meV のエネルギー領域にピークを持つ単色中性子ビームが得られている。また、IF 鋼サンプルの 211 面ピークに対する格子面間距離測定分解能は約 2.5%であった。この結果を分析し、今後さらに高分解能測定を実現するために必要となるバックグラウンドノイズ低減、およびビーム発散角を抑制するコリメーション手法についての指針を得た。

(3) 結論

小型パルス中性子源を用いた中性子回折技術として、飛行時間法と角度分散法の 2 手法を用いたハイブリッド回折技術の開発に取り組んだ。飛行時間法においては、回折計の最適設計及び解析手法の高度化により、小型中性子源では世界で初めて集合組織の高精度測定に成功した。角度分散法においては、カム機構による集光調整機能を備えたモノクロメータにより、実用材料 (IF 鋼) の回折ピーク検出に成功したが、バックグラウンドノイズ低減及びビーム発散角抑制に課題があることが判明したため、今後の課題としたい。

【引用文献】

H. Suzuki, et al., JPS Conference Proceedings, 8 (2015) 031006.
 山田 雅子, ほか, 日本鉄鋼協会学会誌「鉄と鋼」, Vol. 100, No.3 (2014), pp. 429-431.
 Y. Ikeda, et al., Nuclear Instruments and Methods A, 833 (2016). pp61-67.
 Xu, P. G., et al., J. Appl.Cryst. 51 (2018), 746-760.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Xu, P.G., Ikeda, Y., Hakoyama, T., Takamura, M., Otake, Y. & Suzuki, H.	4. 巻 53
2. 論文標題 In-house texture measurement using a compact neutron source	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Crystallography	6. 最初と最後の頁 444-454
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1107/S1600576720002551	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 池田 義雅・高村 正人・箱山 智之・大竹 淑恵・熊谷 正芳・鈴木 裕士	4. 巻 104-3
2. 論文標題 小型中性子源の現場利用を目指した残留オーステナイト相分率測定手法の開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 138-144
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2017-080	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 Masayoshi Kumagai, Tomohiro Uchida, Kodai Murasawa, Masato Takamura, Yoshimasa Ikeda, Hiroshi Suzuki, Yoshie Otake, Takayuki Hama, Shinsuke Suzuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Convergence Behavior in Line Profile Analysis Using Convolutional Multiple Whole-Profile Software	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Research Proceedings 6 (ECRS-10)	6. 最初と最後の頁 57-62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi: 10.21741/9781945291890-10	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 Kodai Murasawa, Masato Takamura, Masayoshi Kumagai, Yoshimasa Ikeda, Hiroshi Suzuki, Yoshie Otake, Takayuki Hama and Shinsuke Suzuki	4. 巻 59-7
2. 論文標題 Determination Approach of Dislocation Density and Crystallite Size Using a Convolutional Multiple Whole Profile Software	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 1135-1141
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.M2017380	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 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Ryunosuke Kakuta, Masato Takamura, Pingguang Xu, Chihiro Iwamoto, Takaoki Takanashi, Yoshie Otake, Ryo Kurihara, Susumu Takahashi, Hiroshi Suzuki
2. 発表標題 Energy resolution evaluation of decoupled neutron moderator for stress measurements via neutron diffraction with compact neutron source
3. 学会等名 The 3rd Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering 2019 (AOCNS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徐平光・高村正人・池田義雅・角田龍之介・箱山智之・岩本ちひろ・大竹淑恵・鈴木裕士
2. 発表標題 鉄鋼材料の集合組織測定研究に関する大型中性子施設とRIKEN小型中性子源の連携
3. 学会等名 理研シンポジウム「小型中性子源がインフラ・ものづくり現場の非破壊評価分析を変える 大型、小型の連携で挑む元素分析、組織・構造解析の革新」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高村正人・岩本ちひろ・徐平光・角田龍之介・栗原諒・熊谷正芳・鈴木裕士・箱山智之・池田義雅・大竹淑恵
2. 発表標題 小型中性子源の作業利用実現に向けた金属組織観察技術開発
3. 学会等名 理研シンポジウム「小型中性子源がインフラ・ものづくり現場の非破壊評価分析を変える 大型、小型の連携で挑む元素分析、組織・構造解析の革新」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩本ちひろ・池田義雅・高村正人・箱山智之・鈴木裕士・徐平光
2. 発表標題 小型中性子源を用いた角度分散法中性子回折による高分解能残留応力測定法の開発
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第179回春季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高村正人, 大竹淑恵
2. 発表標題 RANSで探る塑性加工のミクロとマクロ
3. 学会等名 理研シンポジウム 「安全・安心を未来に繋ぐ小型中性子源RANS・RANS- ものづくり・インフラ産業で使える中性子へ 」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Takamura, Y. Ikeda, H. Suzuki, M. Kumagai, Y. Oba, T. Hama and Y. Otake
2. 発表標題 In-house texture measurement using compact neutron source
3. 学会等名 18th International Conference on Textures of Materials (ICOTOM-18) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田義雅, 箱山智之, 高村正人, 大竹淑恵
2. 発表標題 小型中性子源の産業利用に向けた金属組織測定技術開発
3. 学会等名 理研シンポジウム 第5回「光量子工学研究」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田義雅, 箱山智之, 高村正人, 大竹淑恵, 鈴木裕士, 熊谷正芳, 浜孝之
2. 発表標題 小型中性子源を用いた産業利用に向けた金属集合組織の測定
3. 学会等名 理研シンポジウム 「小型中性子源RANSが拓く中性子利用と大型施設との連携 インフラ・ものづくり産業利用での非破壊定量評価への 挑戦 」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 箱山智之, 池田義雅, 高村正人, 大竹淑恵, 浜孝之, 熊谷正芳, 鈴木裕士
2. 発表標題 小型中性子源を用いた金属組織観察による塑性加工シミュレーションの高度化
3. 学会等名 理研シンポジウム 「小型中性子源RANSが拓く中性子利用と大型施設との連携 インフラ・ものづくり産業利用での非破壊定量評価への挑戦」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高村正人
2. 発表標題 小型中性子源がつなぐ塑性加工のミクロとマクロ
3. 学会等名 理研シンポジウム 第6回「光量子工学研究」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Hakoyama, Y. Ikeda, M. Takamura, Y. Otake, T. Hama, H. Suzuki, and M. Kumagai
2. 発表標題 Measurement of twinning volume fraction for pure titanium using compact neutron source
3. 学会等名 ICFG 2019/52nd International Cold Forging Group (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

軽量化を可能にする鋼材開発に向けた新たな分析手法の確立 - ものづくり現場における小型中性子源の貢献 -
http://www.riken.jp/pr/press/2018/20180205_1/

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	高村 正人 (Takamura Masato) (00525595)	国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・ 上級研究員 (82401)	
研究分担者	鈴木 裕士 (Suzuki Hiroshi) (10373242)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究 部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・リーダー (82110)	
研究分担者	熊谷 正芳 (Kumagai Masayoshi) (20582498)	東京都市大学・工学部・講師 (32678)	
研究分担者	徐 平光 (Xu Pingguang) (80554667)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究 部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・研究副主 幹 (82110)	