

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：84502

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20968

研究課題名(和文) 白色X線回折深部顕微鏡法による凝固冷却中の内部応力の動的測定への挑戦

研究課題名(英文) In-situ measurement of internal stress during solidification cooling by white X-ray diffraction microscopy

研究代表者

豊川 秀訓 (Toyokawa, Hidenori)

公益財団法人高輝度光科学研究センター・放射光利用研究基盤センター・特別嘱託研究職員

研究者番号：60344397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：鉄鋼材料などの強度を受け持つ部材に適した高エネルギーX線領域で、これまで粗大粒や溶接部の応力を非破壊的に測定する手法が確立していなかった。その解決のために、本研究では、高エネルギーX線の計測を可能にする2次元検出器CdTeピクセル検出器の開発・応用を手掛けた。また、粗大粒および溶接部のX線回折像の観察と分析を通じて、粗大粒および溶接部のひずみ測定の原因を明らかにし、それに対応した二重露光法を提案した。これらの2つの成果を合わせて、オーステナイト系ステンレス鋼の粗大粒および溶接部の応力測定に挑戦して、粗大粒および溶接部の応力測定を確立することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでシンクロトロン放射光X線の高輝度、高指向性、透過力が素晴らしい性能を持ちながらも、粗大粒や溶接部の応力に適用できないことが、X線応力測定歴史的難問として残されていた。本研究により、CdTeピクセル検出器の開発および二重露光法の組み合わせにより、その難問を解決するための方策を見つけ、実際に応力測定できることを実証することができた意義は大きい。特に、これまで溶接などの残留応力は数値解析に頼る以外になく、その結果を判定するには、実際の応力を非破壊的に測定する以外に方法がなかった。そのための実応力測定方法が確立し、社会の安全・安心に貢献することができた。また、数値解析の高度化にも貢献した。

研究成果の概要(英文)：Until today, there is no method to non-destructively measure a stress of coarse grains and welded parts of steels using high-energy synchrotron X-rays suitable for strength-bearing members such as steel materials. To solve this problem, in this research, we developed and applied the CdTe pixel detector as an area detector that enables the measurement of high-energy X-rays. In addition, through observation and analysis of X-ray diffraction images from coarse grains and welded parts, the strain measurement method of coarse grains and welded parts was clarified, and the double exposure method was proposed. Combining these two achievements, we attempted feasibility study of measuring the stress of coarse grains and welded parts of austenitic stainless steel. As a result, we established stress measurements of these materials.

研究分野：放射線科学

キーワード：X線応力測定 2次元検出器

1. 研究開始当初の背景

申請者は、2次元検出器の開発とその応用で放射光科学を牽引してきた。スイス放射光施設との国際協力で開発したPILATUS検出器は、現在では材料から生命分野のX線分析で欠かせない、世界標準になっている。申請者は、PILATUS検出器の世界初のフォトンカウンティング型検出器の特性に着眼し、住友金属工業(現日本製鉄)との共同研究として、溶接金属急冷組織形成過程のその場観察に成功し、2007年度日本金属学会論文賞、2008年度日本鉄鋼協会俵論文賞を受賞するなど、金属材料分野で高い評価を得てきた。その発展として、JST先端計測プログラムの支援を受け、日本発のオリジナル技術である、CdTe半導体をセンサーとし広いエネルギー領域で感度を持ち、エネルギー計測が可能なエネルギー認識型X線画像検出器を開発した(CdTeピクセル検出器)。その最大の特徴であるX線強度分布とエネルギーの同時計測を可能にした。PILATUS検出器を用いた溶接実験の分析は、単色X線による回折像の変化を観測する方法であるため、表面での平均的な挙動を調べるには適しているが、高温割れの起源となる内部の情報は得られない。申請者らが開発した2次元検出器二重露光法を高エネルギーX線領域に拡張し、溶接内部の応力測定を可能にする本アプローチはこの課題を克服する最も有効な手段であり、今回の研究構想に至った。

2. 研究の目的

本研究においては、高エネルギーX線による材料深部の評価法を開発し、溶接組織の応力測定に挑戦する。これまで粗大粒、溶接部のX線応力測定は困難と言われていたが、申請者らの開発したCdTeピクセル検出器を利用してそれを解決することが最重要課題となる。また、CdTeピクセル検出器の持つ白色X線の識別能力を応力測定に利用して、その性能と課題を検討することも実施する。

3. 研究の方法

研究方法においては、これまで困難と言われていた粗大粒および溶接部の応力測定をどのようにして解決するかである。そのためには、粗大粒および溶接部の内部の応力測定を困難とする原因を明らかにすることが必要であり、それを克服する方法論が重要となる。その意味では、粗大粒・溶接部のX線応力測定法の確立が研究目的の重要な柱である。その原因は、粗大粒では結晶子の回折位置が仮定できないことによる。その解決策として二重露光法を提案した。本研究では、2次元検出器としてCdTeピクセル検出器を利用する。これらの手法を基礎に深部のX線応力測定を可能にすることを実施する。方法論としてはこれまで、この手法が提案・開発されているが、本研究以前に、実際にそれを適用した事例はなく、本研究により高エネルギーX線領域において二重露光法による応力測定を実施して、粗大粒・溶接部のX線応力測定の可能性を検討する。

そのほか、CdTeピクセル検出器を利用した二重露光法を実施するためには、膨大な検出器のデータを変換・構成した後に、画像処理などを経てひずみを求める必要がある。そのための解析ツールも必要となる。本研究に使用した一連の解析ツールについては、ホームページにまとめてあり、ダウンロードすることができる[1]。データの処理には、主にFijiとそのマクロプログラム、Fortran、GNU PLOTなどを使用してデータを処理した[2]。CdTeピクセル検出器は、縦201画素、横191画素の2次元アレイの計数型検出器である。1画素の寸法は 0.2×0.2 mmである[3]。

4. 研究成果

4.1 白色X線による粗大粒の応力測定 [4]

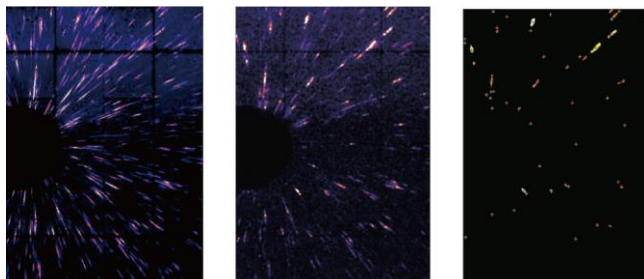
白色X線を利用して粗大粒の応力測定を試みた。実験を実施したビームラインは大型放射光施設SPring-8の量子科学技術研究開発機構専用ビームラインBL14B1である。

材料は、原子炉シュラウド用に製作したオーステナイト系ステンレス鋼SUSF316Lである。平均粒径は $300 \mu\text{m}$ 同材を機械加工して、長さ45 mm、幅7 mm、高さ6 mmの曲げ試験片を製作した。同試験片に四点曲げ治具曲げを負荷して応力測定を行った。負荷曲げ応力は、引張側の表面で148 MPaである。

白色X線を四象限スリットで $0.1 \times 0.1 \text{ mm}^2$ に絞り、透過法で試験片幅方向にX線ビームを入射させ、試験片の回折パターンを測定した。

測定された回折パターンと画像処理過程を図1に示す。CdTeピクセル検出器はエネルギー識別

能力があり、それを利用して指定した閾値以下のエネルギーを計数しないようにすることができる。各ピクセルの閾値ごとのイメージを作成することができる。その例として閾値73 keV以上のX線による回折像を図1 a)に示す。放射状に長く現れる回折は結晶粒の寸法に比例している。白色X線においては、回折条件を満たす回折面方位と格子面間隔に合う波長を用意できることから、多数の回折斑点が現れている。単色X線では回折斑点が少なく、回折を利用してひずみを測定することは難しくなる。



(a) 閾値 73 keV 回折像 (b) 74 keV 差分像 (c) 斑点から重心点の抽出(+)

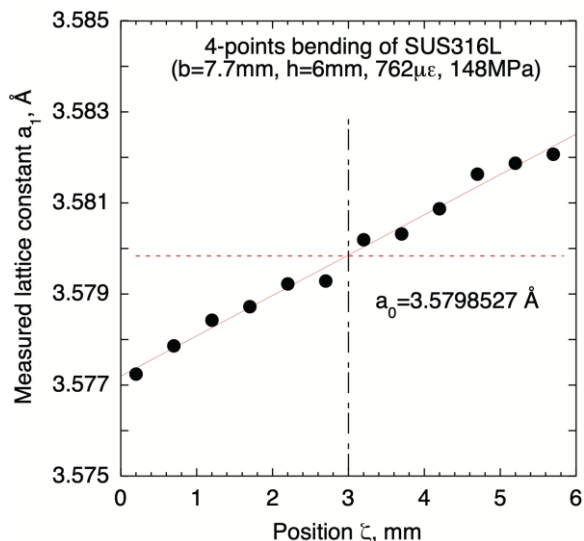
【図1 白色X線をCdTeピクセル検出器で】

例えば、73 keV 閾値像から 74 keV 閾値像を差し引いて差分像を作成すると、その閾値間の X 線エネルギーによる回折像が得られる。図 1 (b) は 74 keV の差分像である。図からわかるように 74 keV の回折像では回折斑点が少なくなるが、その条件に合致した回折が得られるので、格子面間隔を決定することができる。

得られた差分像の回折斑点を抽出して重心点を計算すると、重心点が図 1 (c) の十字で示される。この位置から回折半径を決定し、二重露光法で回折角 2θ を決定できる。多数の回折斑点が得られるので、多数のデータを得ることができた。白色 X 線では複数の回折面 (hkl) を利用しているため、特定の回折面を利用する単色 X 線の測定と異なる。そのため、測定した回折格子面間隔 d_{hkl} から次式により格子定数 a に換算した。

$$a = d_{hkl} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (1)$$

前述の手続きを経て圧縮(上)から引張側(下)に測定点を移動しながら逐次回折角 2θ を二重露光法で測定した。波長 74 keV としてブラック条件で得られた格子面間隔 d_{hkl} から格子定数 a を求めた。得られた格子定数 a は、波長の分解能が 1 keV のため大きくばらつく。そのため、その測定位置で得られた格子定数 a を平均して、格子定数とした。その結果を図 2 示す。測定位置と測定された格子定数良い直線性を示し、白色 X 線を利用して CdTe ピクセル検出器と二重露光法で粗大粒の歪を計測することができた。本研究では、多数の測定点を得るために差分像として 60 keV から 80 keV の範囲で強い回折点を探し、さらにその回折斑点が最大輝度になる波長の回折半径を選び出している。



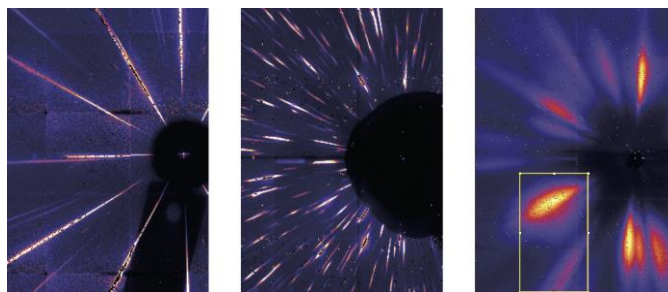
【図 2 白色 X 線により測定された曲げ応力下の格子面

このようにして多数の回折斑点を利用して回折角を測定し、その平均を利用して精度を確保していることに注意する必要がある。

4.2 溶接部の X 線応力測定[5]

溶接部は溶融金属のデンドライト組織となる。その回折を放射光で測定するとききれいな回折曲線は得られず、ひずみ測定は困難とされている。粗大粒の応力測定は前述の研究で確立した。そのことを足がかりにして溶接部の応力測定を成し遂げることが可能ではないかと、考えることは妥当である。そのためには、粗大粒と溶接部とは何が異なるのであろうか、という疑問を解くことが必要である。

白色 X 線の透過ビームで単結晶、粗大粒および溶接部の回折を CdTe ピクセル検出器で測定した結果を図 3 に示す。いずれの回折像も CdTe 検出器の -90 mV 閾値像である。図 3 (a) は Mg の単結晶の例である。単結晶は結晶子のサイズが大きいため、放射状に長い回折パターンとなる。この放射状の長さが結晶子のサイズを示している。試験片の X 線入射側から抜け側に至るすべての光路からの回折が放射状の線を構成する。単結晶は完全性が高いので、円周方向へは広がることなく、放射状の線となる。同一晶帯の別の放射上の線が現れている。



(a) Mg 単結晶 (b) 粗大粒 (γ -Fe) (c) 溶接部 (γ -Fe)

【図 3 白色 X 線による回折像(CdTe ピクセル検出器閾値-90 mV)】

図 3 (b) は前述のオーステナイト系ステンレス鋼の鍛造材 SUSF316L の粗大粒の白色 X 線による回折像である。単結晶とは異なり、多数の回折斑点が現れる。単結晶と比較すると、各斑点の放射状の長さが短い。この形態は、粗大粒の結晶子の寸法は、単結晶よりも短く、結晶の完全性は単結晶と同程度であることを物語る。そして、入射光路には多数の粗大粒があり、それらにより多数の回折斑点が作られる。

これに対して、溶接部の回折パターンは図 3 (c) に示すように独特な形態を取る。図のようにオー

これに対して、溶接部の回折パターンは図 3 (c) に示すように独特な形態を取る。図のようにオー

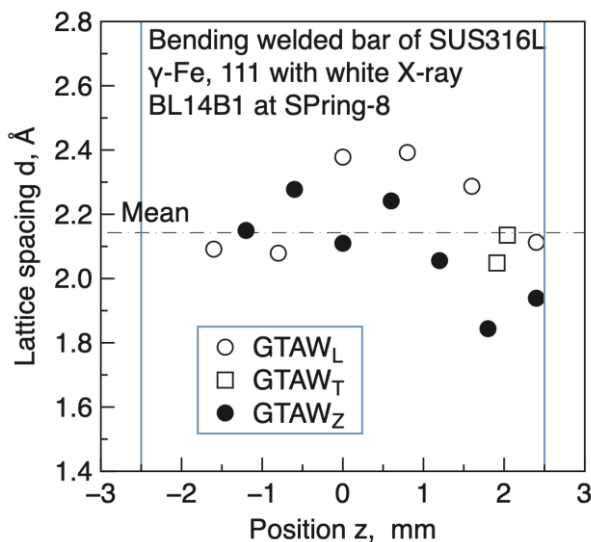
ステナイト系ステンレス鋼 SUSF316L の溶接部の回折パターンは、単結晶よりも短い粗大粒よりも遥かに長い。さらなる特徴として、溶接部の回折パターンは、円周方向の広がりが大きく、単結晶や粗大粒とは比較にならない。ゆえに、溶接金属は原子配列の完全性が低いことも特徴となる。このことから溶接部の X 線応力測定は困難の原因は、粗大粒のように回折位置が異なることに加え、結晶の大きさと不完全さにより回折斑点が極めて大きな広がりを持つことが大きな問題である。

図 4 ガスタングステンアーク溶接 (GTAW) された溶接部から高さ 5 mm のはりを切り出し、曲げ負荷をかけて格子定数の変化を二重露光法で測定した結果である。溶接線方向(L), 溶接線横断方向(T), 板厚方向(Z)のいずれにおいても、直線性はなく曲げひずみが測定されていない。測定された格子定数の変化は、弾性ひずみのオーダーよりもかなり大きい。図 2 粗大粒の曲げの場合、多数の結晶粒の平均を利用できたが、溶接部では半点数が少なくそれができないので、大きな誤差を示してしまう。また、回折斑点の広がりが大きいために更に誤差が大きくなる。

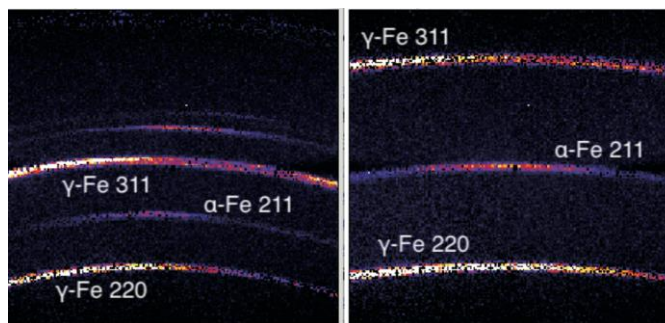
この問題を解決するには、放射光白色 X 線をモノクロメータにより単色化することが必要である。単色化により、溶接部の広がった斑点は円弧状の回折環になり、集合組織の回折に近いパターンになる。その例を図 5 示す。図からわかるように、白色光の回折像と異なり、半径方向の広がりがなくなり、シャープな回折環が得られる。円周方向の積分から回折曲線を得ることによりひずみ測定ができる可能性が高い。

単色 X 線 70 keV の溶接部の回折を二重露光法で測定し、回折環の集積分から回折半径を求めると図 6 ようになる。P1 および P2 位置で検出された回折半径 r_1 , r_2 の挙動を見ると回折位置による影響で変動しているものの、 r_1 と r_2 の変動は互いに同期していることがわかる。二重露光法が粗大粒だけでなく、溶接部の高精度の回折測定に威力を発揮していることが実証された。

大型放射光施設 SPring-8 の量子科学技術研究開発機構専用ビームライン BL14B1 を使用して、前述の結果を踏まえ、70 keV の単色 X 線を用いて二重露光法による溶接残留応力の測定を実施した。図 7 の左の溶接部を放電加工で取り出した平板試験片の溶接底部から表面までの応力分布を測定した。その結果を図 7 右側に示す。例えば、溶接線横断方向の残留応力 σ_T を見ると、溶接底部に引張の残留応力を示し、表面でも引張が生じており、溶接残留応力の特徴を表わしている。この手法を表わして、溶接部の X 線による残留応力測定を確立することができた。

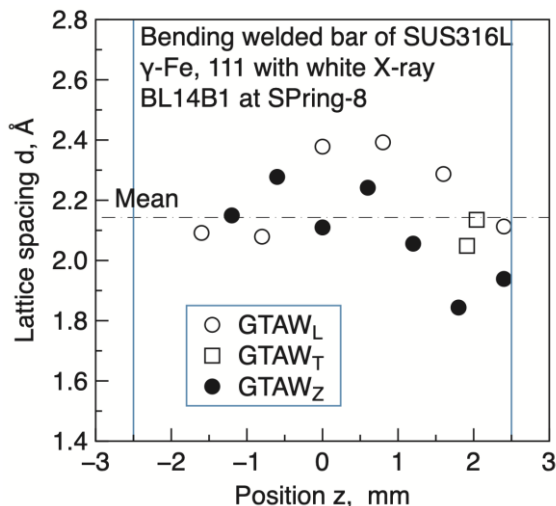


【図 4 曲げ応力負荷された溶接部はりの格子定数の変化】

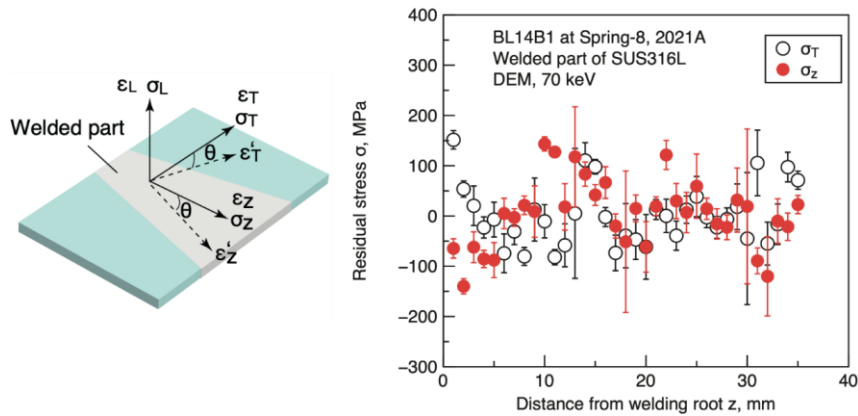


(a) P1 の回折像 (b) P2 の回折像

【図 5 単色 X 線による溶接部の回折像】



【図 6 溶接部の回折環を二重露光法で求めた回折半径の挙動】



【図7 溶接底からの残留応力分布(溶接線)】

5. まとめ

CdTe ピクセル検出器の開発と利用により、効率的かつ正確な物理現象を捉えることができた。本課題では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316 を対象に、高エネルギー X 線を利用して粗大粒と溶接部の応力測定に挑戦した。二重露光法と CdTe ピクセル検出器で計測したイメージ・データの解析により、これらの難問を解決することができた意義は大きい。

本研究では、2 次元検出器と測定・解析方法が共に発展して新しい成果が得られることが教訓である。

謝辞

SPring-8 の量子科学技術研究開発機構専用ビームライン BL14B1 の実験においては、量子科学技術研究開発機構施設共用課題番号 2020A3684, 2021A3684, 2022A3684 の支援を受けた。また、同実験において、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業課題番号 A-20-QS-0018, A-21-QS-0015, A-21-QS-0015, QST マテリアル先端リサーチインフラ事業 JP-MXP1222QS0011 の支援を受けた。SPring-8 の原子力研究開発機構専用ビームライン BL22XU の実験においては施設共用課題番号 2020A3721 の支援を受けた。高輝度光科学研究センターの共用ビームライン BL28B2 の実験においては、課題番号 2020A1425, 2021B2007 の支援を受けた。中性子回折の実験は、東京大学工学系研究科原子力専攻、日本原子力研究開発機構・量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究のもとで、JAEA 研究炉 JRR-3 を用いて実施された (課題番号 21032, 22039)。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- [1] <http://kikai.ed.niigata-u.ac.jp/CdTe/>
- [2] ImageJ はアメリカ国立衛生研究所(National Institute of Health:NIH)の Wayne Rasband 氏が 1997 年に開発したソフトウェアである。Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018. その後、ImageJ に研究者や開発者が機能を追加し、それが Fiji になっている。Fiji は、ImageJ の上位互換ソフトウェアとも言える。Fiji は次のサイトから入手できる。
<https://imagej.net/software/fiji/downloads>
- [3] H. Toyokawa, C. Saji, M. Kawase, K. Ohara, A. Shiro, R. Yasuda, T. Shobu, A. Suenaga and H. Ikeda, "Development of CdTe pixel detectors for energy-resolved X-ray diffractions", Proceedings of 2nd International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2018), JPS Conference Proceedings, Vol. 24, 011015 (2019).
- [4] K. Suzuki, A. Shiro, H. Toyokawa, C. Saji and T. Shobu, "Double-exposure method with synchrotron white X-ray for stress evaluation of coarse-grain materials", Quantum Beam Science, Vol. 4, 25 (2020). doi: 10.3390/qubs4030025
- [5] 鈴木賢治, 倉 己萌, 三浦靖史, 城 鮎美, 豊川秀訓, 佐治超爾, 梶原堅太郎, 菖蒲敬久, "二重露光法による溶接部の応力測定の研究", 材料, Vol. 71, No. 12, pp. 1005-1012 (2022). doi: 10.2472/jsms.71.1005
- [6] 鈴木賢治, 三浦靖史, 城 鮎美, 豊川秀訓, 佐治超爾, 菖蒲敬久, 諸岡 聡, "放射光 X 線と中性子を相補的に用いた小口径突合せ溶接配管の実応力解析", 材料, Vol. 72, No. 4, pp. 316-323 (2023). doi: 10.2472/jsms.72.316
- [7] 鈴木賢治, 三浦靖史, 諸岡 聡, 菖蒲敬久, "突合せ溶接配管の残留応力分布", 第 56 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, 京都市 (2022/7/21), 日本材料学会.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 SUZUKI Kenji, YAMADA Minami, SHIRO Ayumi, SHOBU Takahisa, TOYOKAWA Hidenori, SAJI Choji	4. 巻 71
2. 論文標題 Stress Measurements of Quasi-Coarse Grained Material using Double Exposure Method with High-Energy Monochromatic X-Rays	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 347 ~ 353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.347	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 鈴木賢治, 豊川秀訓	4. 巻 21, No. 3
2. 論文標題 直接法による残留応力の測定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 保全学	6. 最初と最後の頁 89-95
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 -
1. 著者名 SUZUKI Kenji, KURA Komoe, MIURA Yasufumi, SHIRO Ayumi, TOYOKAWA Hidenori, SAJI Choji, KAJIWARA Kentaro, SHOBU Takahisa	4. 巻 71
2. 論文標題 A Study on Stress Measurement of Weld Part using Double Exposure Mehtod	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 1005 ~ 1012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.1005	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 山崎 泰広、篠宮 啓介、奥村 忠晴、鈴木 賢治、菖蒲 敬久、中村 唯我	4. 巻 60
2. 論文標題 面内引張負荷を受けるサスペンションプラズマ溶射遮熱コーティングの内部応力分布	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本溶射学会誌 溶射	6. 最初と最後の頁 3 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11330/jtss.60.3	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 SUZUKI Kenji, MIURA Yasufumi, SHIRO Ayumi, TOYOKAWA Hidenori, SAJI Choji, SHOBU Takahisa, MOROOKA Satoshi	4. 巻 72
2. 論文標題 Actual Stress Analysis of Small-Bore Butt-Welded Pipe by Complementary Use of Synchrotron X-Rays and Neutrons	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 316 ~ 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.72.316	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14件(うち招待講演 3件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 鈴木賢治, 城 鮎美, 菖蒲敬久, 豊川秀訓, 佐治超爾
2. 発表標題 高エネルギー放射光によるオーステナイト系ステンレス鋼の応力測定
3. 学会等名 日本保全学会第17回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木賢治, 倉己萌, 三浦靖史, 城鮎美, 菖蒲敬久, 豊川秀訓, 佐治超爾
2. 発表標題 放射光による溶接材の応力測定(I) - 白色X線の利用
3. 学会等名 第55回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉己萌, 鈴木賢治, 三浦靖史, 城鮎美, 菖蒲敬久, 豊川秀訓, 佐治超爾
2. 発表標題 放射光による溶接材の応力測定(II) - 単色X線の利用
3. 学会等名 第55回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenji Suzuki, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Hidenori Toyokawa, Choji Saji
2. 発表標題 Stress Measurement of Shrink-Fitted Ring using Double-Exposure Method with Hard Synchrotron X-Rays
3. 学会等名 The 11th International Conference on Residual Stresses, Nancy, France(国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊川秀訓
2. 発表標題 フォトンカウンティング型2次元検出器の特徴と先端応用
3. 学会等名 PF研究会「X線画像検出器の現状と将来展望」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊川秀訓
2. 発表標題 半導体ハイブリッド型ピクセル検出器開発と放射光先端利用技術への展開
3. 学会等名 第81回 応用物理学会 秋季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊川秀訓, 尾原幸治, 米村光治
2. 発表標題 計数型CdTeピクセル検出器による2波長X線回折法
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」(第37回)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 豊川秀訓, 人見啓太郎, 野上光博, 久保信, 末永敦士
2. 発表標題 【注目講演】半導体ピクセル検出器: SiからCdTeそしてTlBrへ
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshihisa Sakaida, Kenji Suzuki, and Keisuke Tanaka
2. 発表標題 Standard of the cos method for X-ray stress measurement using two-dimensional detector
3. 学会等名 The 11th International Conference on Residual Stresses, Nancy, France(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木賢治, 豊川秀訓
2. 発表標題 次世代型の応力分布測定法 --直接法の提案
3. 学会等名 日本材料学会第71期学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木賢治, 豊川秀訓
2. 発表標題 世代型X線応力測定法による溶接残留応力分布測定
3. 学会等名 日本保全学会第18回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木賢治, 三浦靖史, 諸岡 聡, 菫蒲敬久
2. 発表標題 突合せ溶接配管の残留応力分布
3. 学会等名 第56回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 賢治
2. 発表標題 放射光を利用した粗大粒、溶接部の応力測定手法の開発
3. 学会等名 第80回SPring-8先端利用技術ワークショップ「放射光・中性子を活用した金属材料の分析技術」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 賢治
2. 発表標題 第2回北の耐熱合金セミナー「量子ビームを利用した実応力解析」
3. 学会等名 日本鉄鋼協会北海道支部ノースフォーラム
4. 発表年 2022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	鈴木 賢治 (Suzuki Kenji) (30154537)	新潟大学・人文社会科学系・教授 (13101)	

6. 研究組織（つづき）

	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	菖蒲 敬久 (Shobu Takahisa) (90425562)	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・サブリーダー (82110)	

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