

令和 5 年 4 月 26 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04156

研究課題名（和文）二重露光法によるX線応力測定法の確立

研究課題名（英文）A construction of X-ray stress measurement using double exposure method

研究代表者

鈴木 賢治（Suzuki, Kenji）

新潟大学・人文社会科学系・教授

研究者番号：30154537

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：粗大粒および溶接部のX線応力測定は困難とされていた。それを解決に、検出器としてCdTeピクセル検出器を利用した放射光高エネルギーX線による二重露光法を提案した。この手法を粗大粒および溶接部の応力測定に適用した。粗大粒を持つはりの曲げひずみを測定することができた。焼きばめしたリングの二軸応力を測定できた。溶接部の残留応力分布測定ができた。これらの成果をもとにして、突合せ溶接配管の溶接底部の残留応力マップを測定することに成功した。二重露光法は平板の透過X線を利用するために、平面応力の測定に限定されていたが、中性子応力測定による三軸応力分布と合わせて、詳細な応力マップを作成することを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の二重露光法により、これまでX線による応力測定が困難であった粗大粒や溶接部のX線応力測定が可能となり、歴史に残されていた難問が解決された意義は大きい。近年開発されたCdTeピクセル検出器により、高エネルギーX線の利用が可能となり、軽金属に限定されていた二重露光法を鉄鋼材料にも拡張した。このことは産業利用において大いに役立つ研究である。本研究の成果により、詳細な残留応力マップを作ることが可能となり、製造物の実応力解析の手法が確立した。本研究により実応力解析が可能となり、シミュレーションの結果を検定する方法が確立した意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：It is difficult to measure stresses of coarse grains and welded parts using X-rays. To solve this problem, we proposed a double exposure method using synchrotron high-energy X-rays and a CdTe pixel detector. This method was applied to the stress measurement of coarse grained materials and welded parts of austenitic stainless steel. As a result, we were able to measure the bending strain of the beam with coarse grains. The bi-axial stress of the shrink-fitted ring could be measured. We were able to measure the residual stress distribution of the weld. Based on these results, we succeeded in measuring the residual stress map of the welding root of a butt-welded pipe (150A). Since the double exposure method uses X-rays transmitted through a flat plate, it was limited to the measurement of a plane stress. However, we proposed to create a detailed stress map together with the triaxial stress distribution by a neutron stress measurement.

研究分野：X線材料強度学

キーワード：X線応力測定 粗大粒 溶接部 残留応力 シンクロトロン放射光 中性子 二重露光法

1. 研究開始当初の背景

実応力の非破壊的測定は、X線応力測定法が唯一の方法である。近年では、2次元検出器の利用によりX線応力測定用のポータブルな計測器も開発されている。産業界での普及を考え、2次元検出器を利用したX線応力測定法標準も準備が進められている。しかし、それは均質等多結晶体の仮定が成立する場合に限られていた。これに対して、粗大粒からの回折は斑点となり、連続環のような平均効果は仮定できないので、回折中心 O と回折曲線から回折角度 2θ を決定できない。これが粗大粒問題である。粗大粒だけでなく溶接部なども同様にX線応力測定が困難と見なされていた。回折中心を用いないで回折角度 2θ を決定しなければならない。

この粗大粒問題を解決すれば、X線応力測定は大きく前進し、実応力解析の新たな展開が望める。その解決策として、二重露光法を提案し、30 keV の放射光X線と Si 半導体 2 次元検出器 (PLIATUA) を組み合わせ、アルミニウムなどの軽金属では良好な結果が得られた。しかしながら、粗大粒、溶接部に対し、高エネルギーX線による二重露光法の課題を解決する必要がある。

2. 研究の目的

粗大粒問題を解決には、従来の回折装置 (回折角中心の仮定) による角度決定方法を揚棄しなくてはならない。回折中心によらない、新しい測角方法として 2 次元検出器を用いた二重露光法を提案する。この方法は申請者の考案による独創的な手法である。さらに、70 keV 以上の高エネルギーX線に対応する新しい検出器として、CdTe ピクセル検出器を利用する。

二重露光法と CdTe ピクセル検出器を組み合わせ、粗大粒および溶接部のX線応力測定に適用し、高エネルギーX線による二重露光法を確立する。また、CdTe ピクセル検出器は白色X線に対して閾値エネルギーによる分光ができる特徴があり、X線エネルギーの識別によるX線応力測定の可能性についても研究を実施する。さらに、二重露光法は 2 次元応力問題を仮定しているが、配管溶接などにおいては、3 次元応力問題にも拡張する。

3. 研究の方法

3.1 測定原理 本研究で提案する二重露光法は、図 1 に示すように一切のスリット系を用いずに前方 P_1 と後方 P_2 の 2 箇所 CdTe ピクセル検出器で透過X線回折像を撮影し、 P_1 と P_2 の回折像から各方位の回折角を測定する手法である。本手法は、シンクロトロン放射光X線ビームのように、高輝度かつ指向性の高いビームにおいて適用できる手法である。本研究の放射光実験においては、大型放射光施設 SPring-8 の量子科学技術研究開発寄附機構の専用ビームライン BL14B1 および高輝度光科学研究センターの共用ビームライン BL26B2 を用いた。その他、原子力研究開発機構専用ビームライン BL22XU を用いた。

一方、中性子による 3 軸応力測定については、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 を用いてひずみスキャンング法で実施された。

3.2 データ処理 本測定においては、大量の画像データを測定し、膨大な計算が必要となる。そのため、測定データを変換し、画像処理をして計算するツールが必要になる。本研究においては、検出器の変換及び画像処理をするツールを GNU-Fortran を用いて作成した。また、汎用のデータ処理は、ImageJ (Fiji) のマクロを作成して実施した。一連の開発ツールについては、以下の URL にまとめている。

<http://kikai.ed.niigata-u.ac.jp/CdTe/>

3.3 測定対象 測定対象は、以下の試験体について CdTe ピクセル検出器と二重露光法による応力測定を実施した。

1. オーステナイト系ステンレス鋼鍛造材 SUSF316L の曲げ応力の測定(白色X線)
2. オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の焼きばめ応力の測定(単色X線)
3. オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L の厚板の突合せ溶接体の溶接残留応力分布(白色X線, 単色X線)

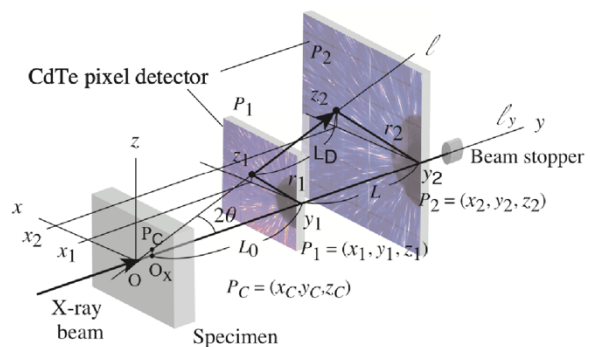


図 1 二重露光法の原理

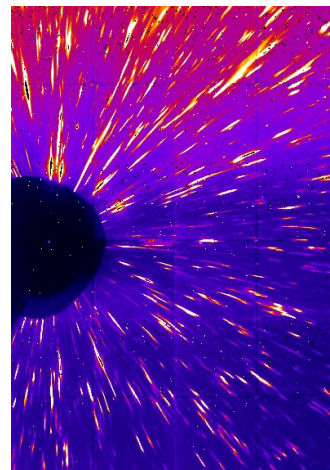


図 2 CdTe 検出器で測定した SUSF316L の回折像(閾値 60 keV)

4. オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316 配管(150A)の突合せ溶接体の残留応力測定 (単色X線, 中性子)

4. 研究成果

前述の方法により 3.3 でX線応力測定した主な成果について、以下にそれぞれ述べる。

4.1 SUSF316L の曲げ応力の測定 (詳細は引用文献[1])

白色X線ビームを透過して SUSF316L の粗大粒の応力測定を行った。図 2 に示す回折像は、粗大粒からの多数の回折斑点で構成されている。CdTe ピクセル検出器のエネルギー閾値機能を利用して、画素ごとに閾値を高エネルギーから低エネルギーに変化させながら逐次回折像を撮影し、それらの差分像から各X線エネルギーの回折像を得た。その波長 λ と二重露光法により得られた回折角 2θ から格子面間隔 d を測定し、曲げひずみを求めた。その結果を図 3 に示す。曲げ負荷ひずみと測定ひずみがよく対応している。各回折斑点から得たひずみのばらつきは大きいですが、平均したひずみを図 3 に示している。CdTe ピクセル検出器を使うことで、その格子面の回折条件に適した波長 λ を選択できる利点がある。そのため、白色X線は、単色X線よりも遥かに多い回折斑点を撮影することが可能であり、今後の発展が期待できる。ただし、エネルギー分解能が大きな課題となる。

4.2 SUS304 の焼きばめ応力の測定 (詳細は引用文献[2])

本研究では、単色X線を用いて 70 keV, 80 keV および 90 keV の単色X線による二重露光法で SUS304 の焼きばめ応力を測定した。丸棒とリングを焼きばめし、リングの円周方向および半径方向の応力分布を測定した。図 4 に 90 keV のX線ビームによる回折を CdTe ピクセル検出器で測定した結果を示す。図のように、きれいな回折環が測定されているが、スパイクノイズが目立っている。80 keV 以下のX線ビームでは目立たなかったが、90 keV 以上になると顕著になる。ノイズ処理で対応できたが、長時間の露光では画質の悪化が避けられず、検出器の改善が必要である。

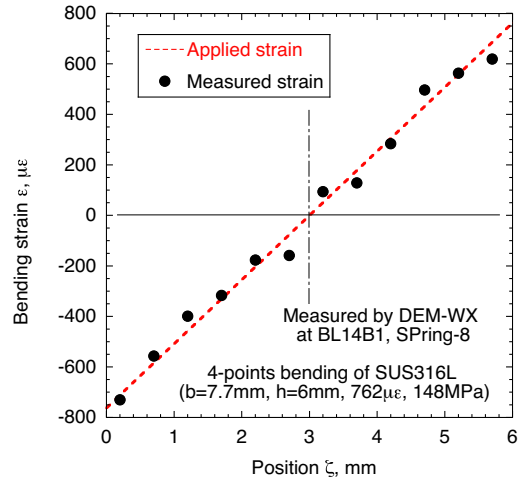


図 3 SUS316L 鍛造材はりの 4 点曲げ負荷ひずみの測定

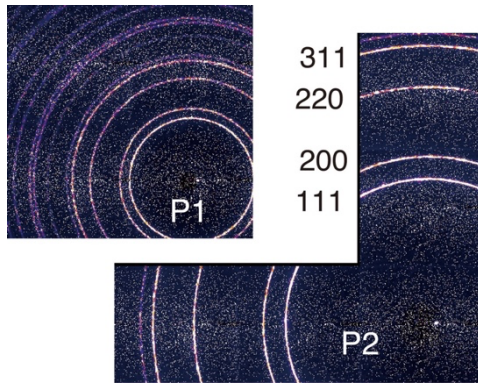


図 4 SUS304 の焼きばめリングの 90 keV 回折像

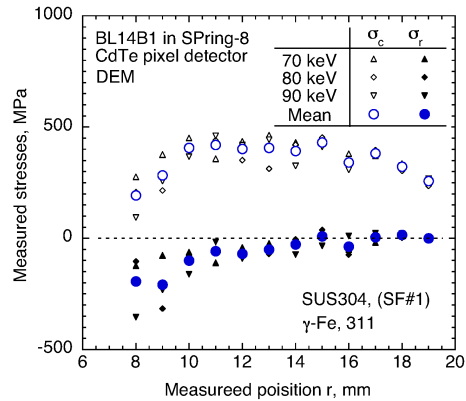
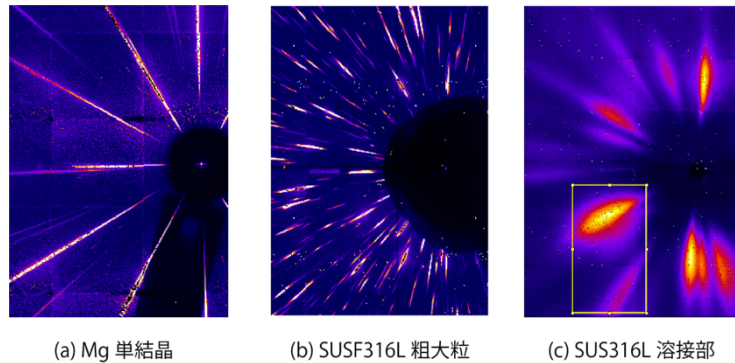


図 5 SUS304 焼きばめリングの応力分布 (中心からの距離 r はめ合い部 $r=7.5\text{mm}$)

測定された応力分布を図 5 に示す。図中の σ_c が円周方向応力、 σ_r が半径方向応力になる。 σ_c はリング外側からはめ合い部に向かい徐々に大きな引張になる、しかし、境界付近で塑性変形により引張応力が低下している。また、 σ_r は外周で無応力であり、はめ合い部に向かい圧縮が大きくなる。しかし、境界付近では塑性変形により、圧縮がやや緩和する傾向が見られる。これらの σ_c および σ_r の挙動は、塑性変形領域以外は弾性解析の結果とよく対応している。以上のように、二重露光法の測定法で二次元応力分布を測定できることが実証できた。アンジュレーターのビームライン BL22XU で CCD カメラを用いて同じ試験片の応力測定を二重露光法で試みた。その結果も図 5 と同様の結果が得られた。単色X線を用いた場合は、波長 λ が一定であり、検出器による角度分解能でひずみの精度が決まる。

4.3 SUS316L の厚板の突合せ溶接体の溶接残留応力分布 (詳細は引用文献[3])

粗大粒の測定については、単色X線、CdTe ピクセル検出器および二重露光法を組み合わせることでX線応力測定が実現できた。それらの成果をもとに、二重露光法を溶接部の応力測定に適用した。白色X線に対する単結晶、粗大粒材および溶接部の回折像を図 6 に示す。図(a)の Mg 単結晶は原子の配列が、規則的なので円周方向の広がりはなく、逆に長い空間に及ぶので放射状の長い回



(a) Mg 単結晶 (b) SUS316L 粗大粒 (c) SUS316L 溶接部
 折パターンとなる。図(b)の粗大粒は、規則的原子配列が短いので放射状パターンは短い。しかし、粗大粒はたくさんの方向を向いているので、たくさんの斑点が現れている。

図 6 結晶形態による白色 X 線の回折パターンの比較

これらの特徴的なパターンに対して、溶接部の回折は図(c)に示すように回折斑点が少ない。そして、粗大粒よりも大きいので、粗四角の枠で示すように長い放射状パターンになる。また、溶接部の回折斑点は円周方向に長く伸びており、結晶内の乱れも大きいことがわかる。このことから、溶接部は乱れの多い大きな結晶子であると定義できる。つまり、溶接部の X 線応力測定の高難しさの原因が、大きく広がった回折斑点にある。このことから、溶接部の応力測定には、CdTe ピクセル検出器では、波長を厳密に決定した単色 X 線が適している。

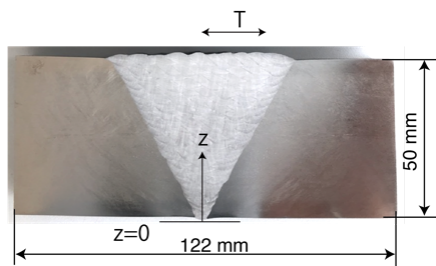


図 7 SUS316L 平板の突合せ
 溶接試験片

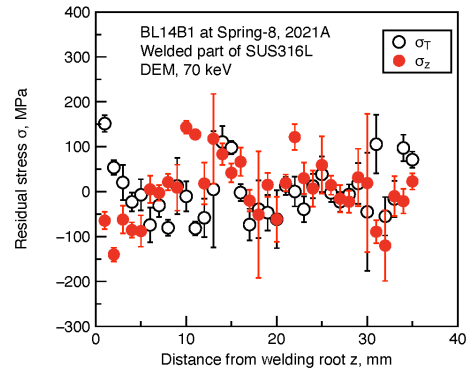


図 8 溶接底から二重露光法で測定した
 残留応力分布

単色 X 線による二重露光法を用いて図 7 に示す板厚 50 mm の平板の突合せ溶接体を用意した。溶接線方向に厚さ 5 mm に取り出した平板試験片を用意した。溶接底から図 7 の z 方向の応力分布を測定した。溶接横断方向の応力 σ_T および z 方向応力 σ_z として結果を図 8 に示す。溶接底に溶接横断方向に引張の残留応力が発生しており、溶接残留応力分布の特徴が測定されている。単色 X 線で二重露光法を用いると溶接部の残留応力を測定することも可能であることが実証できた。

4.4 SUS316 配管の突合せ溶接体の残留応力測定(詳細は引用文献[4])

これらの実験の総括から突合せ溶接配管の残留応力マップを作成することを試みた。70 keV の単色 X 線、CdTe ピクセル検出器および二重露光法で図 9 に示す配管から切り出した溶接部の試験片(板厚 5 mm)の残留応力分布を測定した。溶接底部付近を 1 mm 間隔で溶接配管の軸方向のひずみ ϵ_a および半径方向ひずみ ϵ_r を測定した。これらのひずみは溶接配管から 5 mm の厚さで放電加工により切り出したものであることから、平面応力状態となっているので、そのままでは 3 軸応力状態の残留応力とは異なる。

溶接部の回折半径は、粗大な溶接デンドライト組織の位置と寸法により大きく変動するので、その変化は結晶の弾性ひずみによる変化よりはるかに大きい。そのことを示すために図 10 を用意した。図は、各測定位置で測定された回折半径を表示している。 r_1 は前方の位置 P1 で測定された回折半径、 r_2 は後方の位置 P2 で測定された回折半径である。図中の各回折半径の変動を見れば、ひずみを測定することは困難であることは明白である。しかし、図からわかるように P1 と P2 で検出された各回折半径は互いに同期している。ゆえに、真の回折半径 r は $r_2 - r_1$ から求ることができる。これが粗大粒や溶接部で応力測定できる二重露光法の強みである。

前述までの 2 次元問題に限られていた二重露光法を 3 軸問題も扱えるようにする必要がある。そのため、中性子回折で 3 軸応力下の円周方向の残留応力 σ_h の分布を中性子回折により求めた。二重露光法で求めた ϵ_a 、 ϵ_r に対して中性子で求めた σ_h を平面ひずみ状態作用させると次式が得

られる。

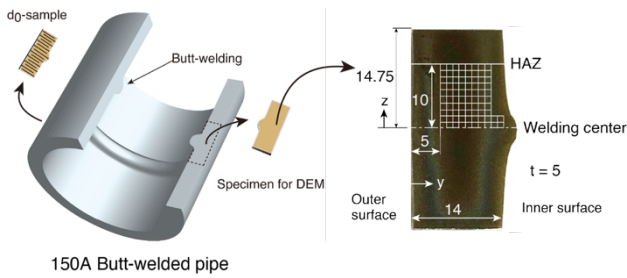


図9 SUS316 突合せ溶接配管(150A)と切り出された二重露光法用の溶接試験片

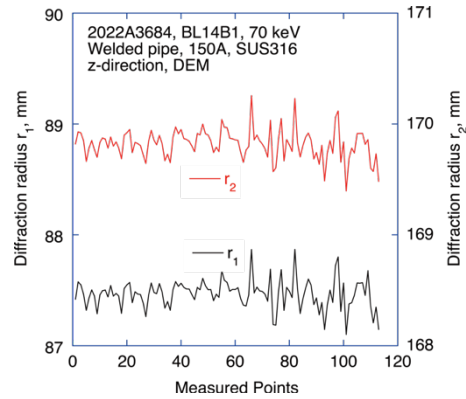


図10 回折半径 r1 と r2 の変動

$$\sigma_a = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_a + \nu \varepsilon_r) + \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_h, \quad \sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_r + \nu \varepsilon_a) + \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_h \quad (1)$$

これらの関係を用いて 3 軸応力下の σ_a と σ_r の残留応力マップを求めた。その結果を図 11 に示す。これまでの溶接残留応力による配管からの応力腐食割れでは、底部から HAZ 部に向かい少し離れたところからき裂が発生し、溶接中心部に向かう経路をたどる。図 11 の σ_a の応力マップは、前述のき裂発生・進展の経験によく一致している。

以上の結果から、CdTe ピクセル検出器を用いた二重露光法は、これまで困難とされていた粗大粒および溶接部の放射光の X 線応力測定を解決する手法として有効であることが実証された。特に、高エネルギー放射光 X 線に適した 70 keV から 90 keV の鋼、ニッケル基合金、銅合金などに適した手法として活用が期待される。

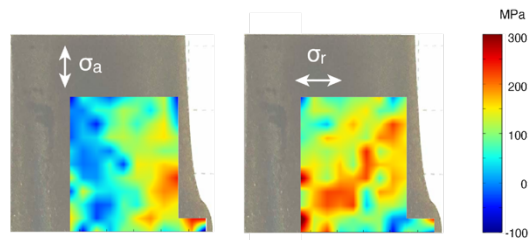


図11 放射光による二重露光法と中性子回折を利用して得られた溶接残留応力マップ

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 2018A3653, 2018B3653, 2018B3684, 2019A1636, 2019B3684, 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-18-QS-0032, A-19-QS-0037, 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 2018B3721, 2018B3653, 2019B3605, 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。

引用文献

- [1] K. Suzuki, A. Shiro, H. Toyokawa, C. Saji, T. Shobu, Double-Exposure Method with Synchrotron White X-ray for Stress Evaluation of Coarse-Grain Materials, *Quantum Beam Sci.* Vol. 4, No. 3, pp. 1-14 (2020). DOI: 10.3390/qubs4030025
- [2] 鈴木賢治, 山田みなみ, 城 鮎美, 菖蒲敬久, 豊川秀訓, 佐治超爾, 高エネルギー放射光単色 X 線による二重露光応力測定, *Vol. 71, No. 4, pp. 347-353 (2022)*. DOI: 10.2472/jsms.71.347
- [3] 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, pp. 1005-1012 (2022). DOI: 10.2472/jsms.71.1005
- [4] 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, *Vol. 72, pp. 1005-1012 (2022)*. DOI: 10.2472/jsms.72.316

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 5件）

| | |
|--|-------------------------|
| 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 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 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 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 Suzuki Kenji, Shiro Ayumi, Toyokawa Hidenori, Saji Choji, Shobu Takahisa | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 Double-Exposure Method with Synchrotron White X-ray for Stress Evaluation of Coarse-Grain Materials | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Quantum Beam Science | 6. 最初と最後の頁 25 ~ 25 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/qubs4030025 | 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, SHIRO Ayumi, TOYOKAWA Hidenori, SAJI Choji, SHOBU Takahisa | 4. 巻 69 |
| 2. 論文標題 A Feasibility Study on X-Ray Stress Measurement with CdTe Pixel Detector | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan | 6. 最初と最後の頁 293 ~ 299 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.69.293 | 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12件(うち招待講演 3件/うち国際学会 1件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 三浦 靖史、鈴木 賢治、諸岡 聡、菖蒲 敬久 |
| 2. 発表標題 中性子回折法による小口径配管溶接部の残留応力測定に関する基礎的検討 |
| 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，菖蒲敬久 |
| 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 18 回 SPring-8 金属材料評価研究会「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 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「第2回北の耐熱合金セミナー」(招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 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) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山田みなみ, 鈴木賢治, 城 鮎美, 豊川秀訓, 佐治超爾, 菖蒲敬久 |
| 2. 発表標題 高エネルギー単色X線を用いた二重露光法 |
| 3. 学会等名 第54回X線材料強度に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鈴木賢治, 城 鮎美, 豊川秀訓, 佐治超爾, 菖蒲敬久 |
| 2. 発表標題 放射光白色X線を用いたプロファイル法による応力測定 |
| 3. 学会等名 第54回X線材料強度に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鈴木 賢治, 豊川 秀訓, 佐治 超爾, 梶原 堅太郎 |
| 2. 発表標題 放射光白色X線による細粒材料の新しい応力測定法 |
| 3. 学会等名 第54回X線材料強度に関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 鈴木賢治, 菟浦敬久, 城 鮎美 |
| 2. 発表標題 二重露光法による粗大粒材の応力測定 |
| 3. 学会等名 第57回X線材料強度に関する討論会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| <p>CdTeピクセル検出器 http://kikai.ed.niigata-u.ac.jp/CdTe/ CdTeピクセル検出器ツール http://kikai.ed.niigata-u.ac.jp/CdTe/</p> |
|--|

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 | 城 鮎美(瀬ノ内鮎美) (Shiro Ayumi) (60707446) | 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究 所 放射光科学研究センター・主任研究員 (82502) | |

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 |
|---------|---------|