

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02309

研究課題名（和文）S01式超高速X線イメージングによるレールの初期転動接触疲労の実態解明

研究課題名（英文）Study on early stage of rolling contact fatigue of rails using real time X-ray imaging with S01 detector

研究代表者

佐々木 敏彦（Sasaki, Toshihiko）

金沢大学・人間科学系・教授

研究者番号：40251912

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,100,000円

研究成果の概要（和文）：鉄道レールは車輪との転がり接触により疲労することが知られており、鉄道の安全性と保守技術の向上が望まれている。現状の対策方法は、主に疲労層の削正除去による疲労の抑制措置、並びに、疲労で生じたき裂を超音波技術で発見して管理することである。しかし、多大の労力を要するため、改善技術が必要になっている。本研究は、最新のX線回折技術によるひずみ（残留応力）や回折環を用いてこの問題を改善する技術を開発することである。本研究では、JRとの協力により、実路線レールをサンプルに用いて詳細なX線測定データを収集して分析し、き裂発生の予兆を見出す方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄道レールの疲労面は、残留応力が三軸応力状態を形成しており、金属組織に関しては塑性フローや集合組織を生じ、力学的に弾性異方性となっている。また、塑性ひずみが蓄積することで転位密度が増加し、X線の半価幅が増加するため、X線応力測定精度に悪影響を及ぼす。こうした状況は、標準測定理論の適用対象外のため、X線応力測定技術の学術的改良により、新たな測定理論と技術の構築が必要になる。一方、X線によるレールの損傷の予知方法の確立は、公共交通機関となっている鉄道技術の安全性向上とともに、保守に要するコストと労力の改善に貢献する。

研究成果の概要（英文）：It is known that railroad rails get tired due to rolling contact with wheels, and it is desired to improve railroad safety and maintenance technology. The current countermeasures are mainly measures to suppress fatigue by grinding and removing the fatigue layer, and finding and managing cracks caused by fatigue by ultrasonic technology. However, since it requires a great deal of labor, improvement technology is required. This research is to develop the technology to improve this problem by using the strain (residual stress) and the diffraction ring by the latest X-ray diffraction technology. In this study, in collaboration with JR, we proposed a method of collecting and analyzing detailed X-ray measurement data using actual rails as samples to find signs of crack formation.

研究分野：金属加工学

キーワード：鉄道 レール 疲労 転動接触疲労 X線 残留応力 X線回折 回折環

1. 研究開始当初の背景

新幹線に代表されるように、鉄道車両の進歩は華麗な一方で、足元であるレールに関する技術は進歩に乏しく、未だに転動接触疲労(以下、RCF)の課題を抱えている。レールと車輪は、直径約 20mm の円で接触して車両荷重が集中し、数年で「疲労き裂」を生じる傾向が報告されている。英国では、2000 年に RCF が原因で列車が通過中に広範囲でレールが破損し、脱線死亡事故に至っている。この事故を契機に、RCF 研究への注目が集まったが、その解明は未だに不十分で、レール疲労の解明は困難なままである。このため、現在でも科学的なレール保守が難しく、多くを現場の経験と勘に頼っている。また、き裂発生を抑えるため、健全部も含め全レールの表面疲労層(約 0.2mm)を毎年一律に研削除去(削正)している。超音波探傷も含め、一定の効果は有るものの、未だに多数のき裂発生とレール折損が根絶しきれない。RCF の解明が進まない要因として、①ラボの再現試験(二円筒試験)が現場レールと乖離し再現が困難な点や、②現場レールのデータが著しく不足している点、などが挙げられる。これらの改善が解決への第一歩である。

2. 研究の目的

疲労の進行を予測することで、無駄のないピンポイントでの科学的レール保守(削正)を可能にし、き裂発生やレール折損を防ぐ。そうして、き裂発生に対する管理数を大幅に減らして保守の負担(労力、コスト)を低減させ、同時に、健全部まで含めた無駄なレール削正を改め、レール保守の省力化と鉄道の安全を両立させていくことを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

- ①レール用の X 線応力測定装置を開発・改良し、測定精度の検証を行った上で実路線レールサンプルの測定に投入し、データ収集と分析を進める。この際に二次元 X 線回折技術を用いて、RCF 現象との関係を詳細に検討していく。
- ② 実路線レールの測定サンプルとして、日本の在来線で使用されたレールについて X 線分析を行った。
- ③ X 線分析法には、図 1 の二次元 X 線回折技術に基づいた  $\cos \alpha$  法により回折環を解析した。

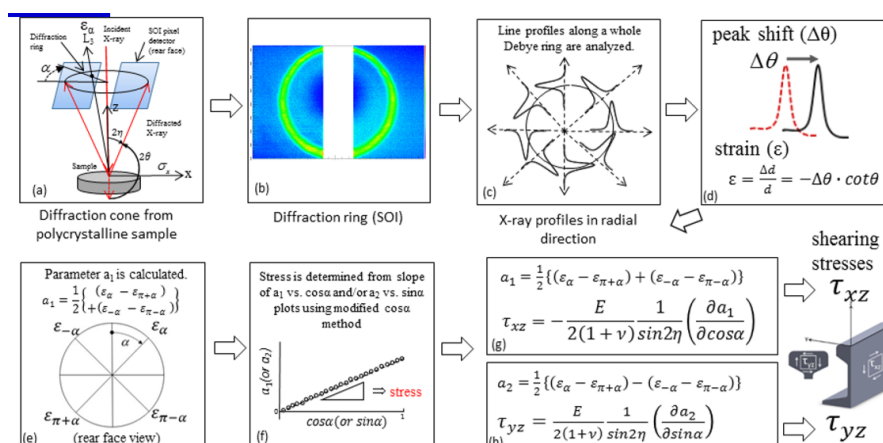


図 1.  $\cos \alpha$  法によるデータ解析の流れ。

4. 研究成果

① サンプルレールから得られた代表的な回折環を図 2 に示す。同図の(b)は白色層(WEL)からのものであり他の回折環よりも大きな FWHM となった。このように、回折環の測定により WEL を識別できることがわかる。

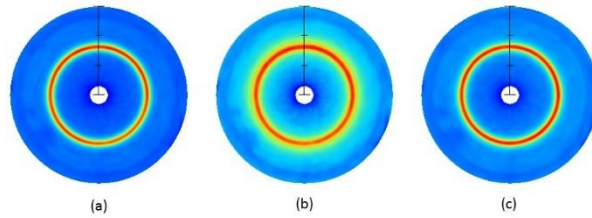


図 2. サンプルレールから得られた回折環（検出器：IP）。

②図 3 に、き裂が存在する線上から得られた回折プロファイルを示す。図では、回折環の中心角  $\alpha = 0$  での X 線プロファイルがプロットされている。プロファイルの広がり、すなわち、半価幅の違いが見られ、白色層の有無に依ることが推察できる。X 線回折測定に対する WEL の影響をより詳細に確認することが可能である。さらに、(20, 2) の回折プロファイルの形状は、ガウス分布の形状とは異なる。本プロファイルは、WEL の X 線プロファイルとサンプルレールのフェライト鋼の X 線プロファイルの合成によるものであり、WEL の直下にマルテンサイト変態しないままのフェライト組織が存在している可能性が考えられる。

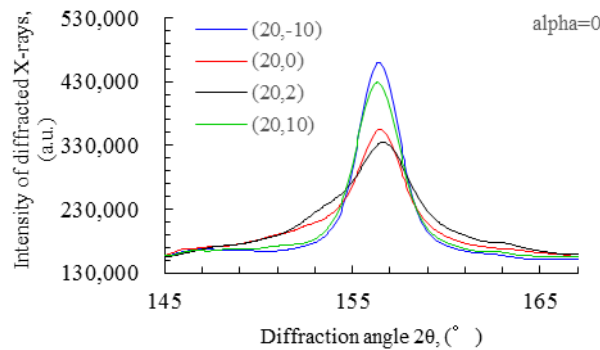
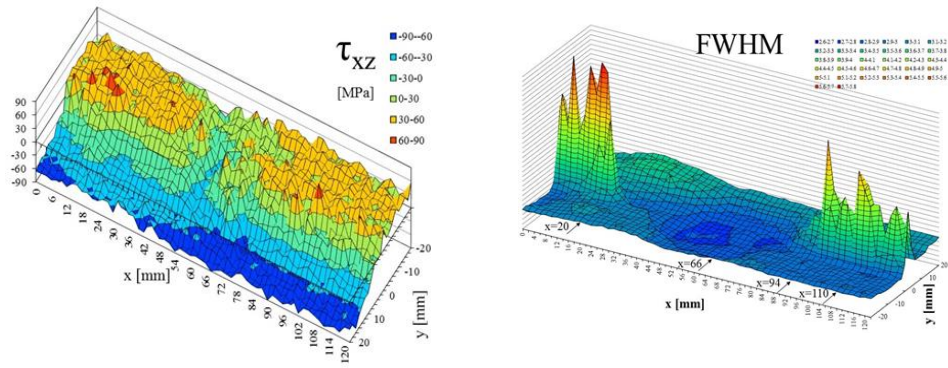


図 3. サンプルレール上から得られた回折プロファイル。中心角  $\alpha = 0$ 。

③次に、回折環から  $\cos \alpha$  法により応力を決定した。X 線データのマッピングにより、残留せん断応力と FWHM について検討した。得られた結果を図 4 に示す。同図より、レールの中心を除き、せん断応力  $\tau_{xz}$  はレールの横方向に対して階段状の分布を示している。レール断面の金属顕微鏡観察によれば、 $\tau_{xz}$  の分布はレールに形成された塑性フローのパターンによく対応する。一方、せん断応力  $\tau_{xz}$  は、17 mm の長さのき裂が生成されていたレール頭頂面の中心付近でほぼゼロの応力状態を示した。したがって、き裂の形成により応力緩和が発生したと考えられる。半価幅 (FWHM) の測定結果を図 4 (b) に示す。図から、レール頭頂面の両側で非常に高い値 (以下「ピーク」) が得られたことが分かる。FWHM の値 (すなわち、 $4^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ) を考慮すると、これらのピークでマルテンサイト変態が発生し、WEL が形成されたと結論される。その原因は、レールと車輪の間の摩擦による発熱後の急冷であると考えられる。一方、17mm 長のき裂が発生したレール頭頂面の中心で FWHM が減少した理由は、き裂の形成後の列車の繰り返し通過中に発生した一種の軟化現象である。本研究では、各測定点から 2 種類の三軸せん断応力  $\tau_{xz}$  と  $\tau_{yz}$  を測定するのに約 1 分かかり、これらの応力は自動的にマッピングすることができる。これに対し、通常の Dölle と Hauk の方法を使用した場合、1 点あたり約 1 時間かかるので、本研究の方法は、三軸応力のマッピング測定に有効な方法といえる。

④本研究で開発した SOI 検出器式のレール用 SOI 応力測定装置を図 5 に示す。

⑤SOI 装置によりレールから得られた回折環を図 6 に示す。いずれも良好な結果が得られている。(測定位置：レールの幅方向を 5mm 間隔で測定)



(a)  $\tau_{xz}$  の残留せん断応力 (b) 半価幅 (FWHM)

図 4. 本研究による三軸せん断応力 ( $\tau_{xz}$ ) およびX線半価幅 (回折環平均)

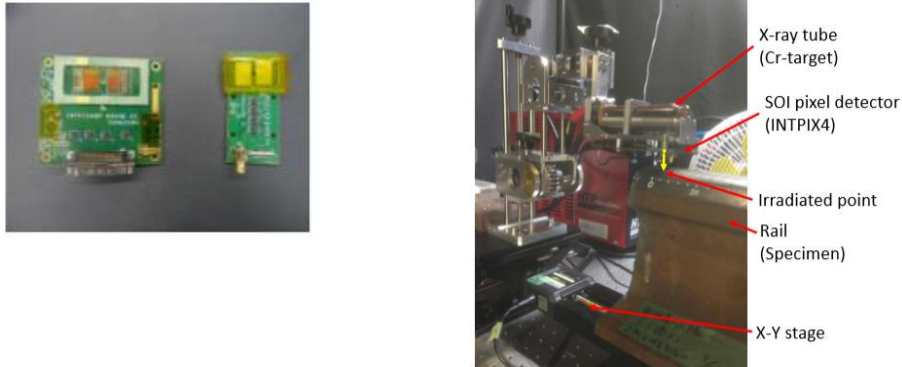


図 5. SOI 検出器チップを 2 個搭載した SOI 検出器式回折環測定装置

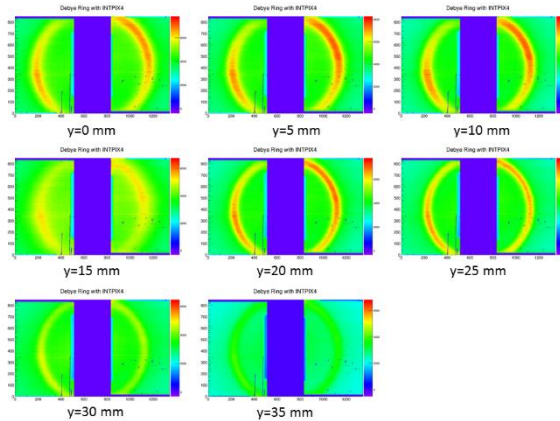


図 6. SOI 装置によりレールから得られた回折環

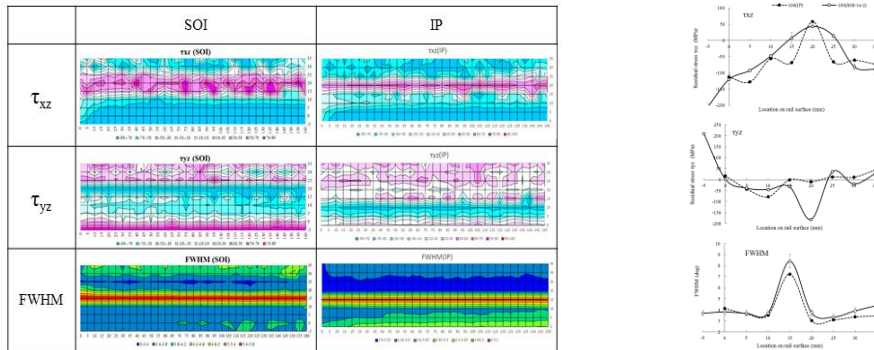


図 7. SOI 検出器と IP 検出器による測定結果の比較

⑥SOI 検出器と IP 検出器の比較を図 7 に示す。左図はレールの頭頂面から測定された 2 種類のせん断応力成分と半価幅のマッピング結果の比較であり、右図は両検出器によるせん断応力の測定値の相関性を表している。この結果より、両装置の結果はほぼ同等であり、SOI 検出器によって高速な X 線応力測定が可能になることが判明した。

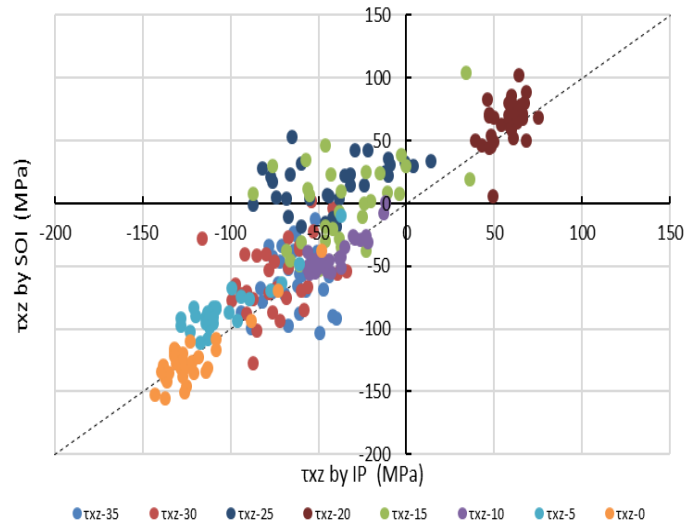


図 8. SOI 検出器と IP 検出器によるせん断応力  $\tau_{xz}$  の測定結果の相関関係

⑦以上より、SOIピクセル検出器 (INTPIX4) を用いてX線三軸応力解析が可能なシステムより、回折環を背面反射で測定し、 $\cos \alpha$  法を適用して応力解析した。本研究では、2種類の三軸せん断応力成分  $\tau_{xz}$ 、 $\tau_{yz}$  の測定について検証した。また、同時に算出できる回折環の半価幅についても検討した。本測定システム的应用として鉄道レールの転動接触疲労問題に適用した。本研究の成果は以下のようにまとめられる。

1. SOIピクセル検出器を用いたX線応力測定システムは、三軸応力解析にも有効に適用できる。
2. SOIピクセル検出器を用いた測定システムは、IPを用いた従来装置に比べて15倍高速かつ高精度な測定が可能である。
3. レールと車輪の接触により、レール頭頂面には三軸せん断応力成分が観察された。この結果は、X線でレールの検査を行い、残留応力状態を評価する場合には三軸応力解析が必要なことを示すものである。
4. 本測定システムによる6種類の三軸残留応力、3方向からの半価幅に関するマッピング結果は、レールの転動接触疲労の状態を表しており、時系列的な測定データの蓄積により疲労き裂の発生の兆候が明らかになるものと期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 松田 真理子、兜森 達彦、高姿 弘行、高島 一郎、佐々木 敏彦	4. 巻 68
2. 論文標題 大型鍛鋼品の偏析部がX線応力測定に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 材料, 68 巻 (2019) 3 号, pp.285-291.	6. 最初と最後の頁 285-291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.68.285	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 Toshihiko Sasaki, Shingo Mitsui, Masayoshi Shinya; Kayo Yanagi; Ryutaro Nishimura, Toshinobu Miyoshi, Yasuo Arai	4. 巻 924
2. 論文標題 Study on application of a monolithic SOI pixel detector to residual stress measurement using X-rays	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 924, 21 April 2019, Pages 452-456.	6. 最初と最後の頁 452-456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.07.084	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 Shingo Mitsui, Toshihiko Sasaki, Yasuo Arai, Toshinobu Miyoshi, Ryutaro Nishimura	4. 巻 924
2. 論文標題 Development of Debye-ring Measurement System Using SOI Pixel Detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 924, 21 April 2019, Pages 441-447	6. 最初と最後の頁 441-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.09.147.	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 松田 真理子、沖田 圭介、中川 知和、佐々木 敏彦	4. 巻 68
2. 論文標題 固有ひずみ理論に基づく有限要素法による冷間加工部の残留応力予測におけるX線回折半価幅の有効性評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 材料, 68 巻 (2019) 4 号, pp. 332-337	6. 最初と最後の頁 332-337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.68.332	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 Takumi Fujita, Naoya Hasegawa, Naoya Kamura, Toshihiko Sasaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Rolling Contact Fatigue of Thrust Ball Bearing under Low Lambda Condition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tribology Online/14 巻 (2019) 4 号, pp. 163-172.	6. 最初と最後の頁 163-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2474/trol.14.163	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 嘉村直哉、藤田工、佐々木敏彦	4. 巻 67
2. 論文標題 X線回折環分析装置によるピーリング損傷の評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 694-699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.67.694	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 T. Sasaki, S. Mitsui, M. Shinya, K. Yanagi, R. Nishimura, T. Miyoshi, Y. Arai	4. 巻 924
2. 論文標題 Study on application of a monolithic SOI pixel detector to residual stress measurement using X-rays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research	6. 最初と最後の頁 452-456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.07.084	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 S. Mitsui, T. Sasaki, Y. Arai, T. Miyoshi, R. Nishimura	4. 巻 924
2. 論文標題 Development of Debye-ring measurement system using SOI pixel detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research	6. 最初と最後の頁 441-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.09.147	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 松田 真理子、兜森 達彦、高恣 弘行、高島 一郎、佐々木 敏彦	4. 巻 68
2. 論文標題 大型鍛鋼品の偏析部がX線応力測定に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 285-291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.68.285	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 松田真理子、沖田圭介、中川知和、佐々木敏彦	4. 巻 68
2. 論文標題 固有ひずみ理論に基づく有限要素法による冷間加工部の残留応力予測におけるX線回折半価幅の有効性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 332-337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.68.332	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 嘉村直哉、藤田工、佐々木敏彦	4. 巻 67
2. 論文標題 X線回折環分析装置によるピーリング損傷の評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 10-16
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 嘉村直哉、宮崎利行、佐々木敏彦	4. 巻 66
2. 論文標題 X線回折環のフーリエ解析によるアルミニウム合金の応力測定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 非破壊検査	6. 最初と最後の頁 492-497
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 Mariko MATSUDA, Keisuke OKITA, Tomokazu NAKAGAWA and Toshihiko SASAKI	4. 巻 4
2. 論文標題 Application of X-ray stress measurement for residual stress analysis by inherent strain method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mej.17-00022	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 佐々木敏彦、三井真吾、新谷正義	4. 巻 63
2. 論文標題 重要部品の検査のためのリアルタイムX線残留応力計測装置	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 23-27
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 佐々木敏彦、小林裕一、榊原隆之、小林祐次、藤田工、鷹合滋樹	4. 巻 69
2. 論文標題 新X線技術に依る自動車関連の残留応力・材質検査	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 機械の研究	6. 最初と最後の頁 23-27
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 藤田工、嘉村直哉、佐々木敏彦	4. 巻 52
2. 論文標題 転がり軸受を支える測定技術 (X線応力測定法による転動疲労の評価)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 設計工学	6. 最初と最後の頁 144-150
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 T.Miyazaki and T. Sasaki	4. 巻 49
2. 論文標題 A comparison of X-ray stress measurement methods based on the fundamental equation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Applied Crystallography	6. 最初と最後の頁 426-432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600576716000492.	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 該当する

1. 著者名 T. Miyazaki, Y. Fujimoto and T. Sasaki	4. 巻 49
2. 論文標題 Improvement in X-ray stress measurement using Debye--Scherrer ring by in-plane averaging	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Applied Crystallography	6. 最初と最後の頁 241-249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S160057671600128X	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 該当する

1. 著者名 T. Miyazaki and T. Sasaki	4. 巻 194
2. 論文標題 X-ray residual stress measurement of austenitic stainless steel based on Fourier analysis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nuclear Technology	6. 最初と最後の頁 111-116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.13182/NT15-25	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 該当する

1. 著者名 鷹合滋樹, 安井治之, 谷内大世, 内山宗久, 丸山洋一, 佐々木敏彦	4. 巻 61
2. 論文標題 X線回折法による焼入れ鋼の表面硬さ評価	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 材料試験技術	6. 最初と最後の頁 426-432
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 -

〔学会発表〕 計47件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 山崎知裕、木野文尋、佐々木敏彦、柳嘉代子
2. 発表標題 cos 法によるショットピーニングを施したばね鋼のX線三軸応力測定
3. 学会等名 日本ばね学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田真理子、兜森達彦、高松弘行、沖田圭介、中川知和、佐々木敏彦
2. 発表標題 大型鍛鋼のフィレット部の表面および内部の残留応力予測技術に関する研究
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 / 非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嘉村直哉、藤田工、佐々木敏彦
2. 発表標題 二次元検出器方式 X 線応力測定の実用に関する研究
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 / 非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤本洋平、中本久志、下池利孝、佐々木敏彦
2. 発表標題 デバイリングのフーリエ解析によるフェライト系鉄鋼材料および実部品の応力測定
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 / 非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江尻正一、大場宏明、佐々木敏彦
2. 発表標題 cos 法に対する統計学的評価分析
3. 学会等名 日本非破壊検査協会/非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木淳一、佐々木敏彦
2. 発表標題 転がり軸受における電食の解析へのcos 法の適用検討
3. 学会等名 日本非破壊検査協会/非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎智裕、木野文尋、曾田裕二、柳嘉代子、佐々木敏彦
2. 発表標題 ショットピーニングで付与されるばねのX線残留応力測定
3. 学会等名 日本非破壊検査協会/非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村正美、佐々木敏彦
2. 発表標題 レーザを用いた変形加工や熱処理におけるcos 法によるX線応力測定への適用
3. 学会等名 日本非破壊検査協会/非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾、柳嘉代子、新谷正
2. 発表標題 cos 法による X 線応力測定への三軸応力、応力勾配の影響
3. 学会等名 日本非破壊検査協会/非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎智裕、佐々木敏彦、 木野文尋、柳嘉代子
2. 発表標題 ばね鋼の cos 法を用いた X 線三軸応力測定
3. 学会等名 日本材料学会/第53回 X 線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江尻正一、大場宏明、佐々木敏彦、 木野文尋、柳嘉代子
2. 発表標題 cos 法における測定結果のばらつき評価および精度検定に関する研究
3. 学会等名 日本材料学会/第53回 X 線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴村淳一、佐々木敏彦
2. 発表標題 人工的に電食を発生させた転がり軸受の X 線応力解析
3. 学会等名 日本材料学会/第53回 X 線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 二次元X線検出器によるX線応力測定における一部が欠けた回折環対策、
3. 学会等名 日本非破壊検査協会/第3回cos 法方式X線残留応力測定法研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshihiko Sasaki, Masatoshi Shin-ya, Shingo Mitsui, Ryutaro Nishimura, Kayoko Yanagi, Toshinobu Miyoshi, Yasuo Arai
2. 発表標題 X-ray tri-axial analysis system using two monolithic SOI pixel detectors
3. 学会等名 12th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD12) at Hiroshima Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Mitsui, T. Sasaki, M. shinya, Y. Arai, T. Miyoshi, R Nishimura
2. 発表標題 X-ray metal material evaluation using an SOI pixel detector
3. 学会等名 12th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD12) at Hiroshima Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryutaro NISHIMURA, Shunji KISHIMOTO, Toshihiko SASAKI, Shingo MITSUI, Masayoshi SHINYA, Yasuo ARAI, Toshinobu MIYOSHI
2. 発表標題 Fine residual stress distribution measurement of steel materials by the SOI pixel detector with synchrotron X-rays
3. 学会等名 12th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD12) at Hiroshima Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 一体型S01ピクセル検出器による残留応力分布の超高速測定技術
3. 学会等名 平成30年度第2回残留ひずみ・応力解析研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 最新のX線応力測定技術 -小型・リアルタイム化による現場適用の動向
3. 学会等名 国際連携 溶接計算科学研究拠点主催 第12回講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 高感度X線検出器を利用した機械構造物の高速診断技術
3. 学会等名 石川県次世代産業育成講座・新技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 cos 法の最新の適用事例
3. 学会等名 平成30年度第2回cos 法方式X線残留応力測定法研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 最新X線技術を利用した機械構造物の技術診断
3. 学会等名 石川県次世代産業育成講座・新技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Sasaki
2. 発表標題 TRI-AXIAL RESIDUAL STRESS ANALYSIS OF RAILWAY RAIL USING TWO-DIMENSIONAL X-RAY DIFFRACTION METHOD
3. 学会等名 The 11th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems (CM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 各種の鋼材に対するcos 法の応力測定精度の比較
3. 学会等名 平成30年度第2回cos 法方式X線残留応力測定法研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Sasaki
2. 発表標題 Evaluation of railway rails suffered from rolling contact fatigue using X-ray cos-alpha method
3. 学会等名 International Confertence on Processing & Mnuufacturing of Advanced Materials (招待講演)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾、柳嘉代子、新谷正義
2. 発表標題 二次元X線検出器を用いた深さ方向の応力勾配の評価
3. 学会等名 平成30年度日本非破壊学会 総合シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾、柳嘉代子
2. 発表標題 cos 法を用いたX線応力測定
3. 学会等名 平成29年度日本非破壊検査協会非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三井真吾、佐々木敏彦
2. 発表標題 S01検出器を用いたcos 法応力測定
3. 学会等名 平成29年度日本非破壊検査協会非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 江尻正一、大場宏明、佐々木敏彦
2. 発表標題 2D法によるX線応力測定における応力値推定
3. 学会等名 平成29年度日本非破壊検査協会非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 兜森達彦、高松広行、佐々木敏彦
2. 発表標題 大型鍛造材における平面揺動法を用いたX線cos 法の応力評価
3. 学会等名 平成29年度日本非破壊検査協会非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾、西村龍太郎、三好敏喜、新井康夫
2. 発表標題 INTPIX4を用いたX線応力測定
3. 学会等名 第8回S0IPIX研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三井真吾、新井康夫、三好敏喜、西村龍太郎、佐々木敏彦
2. 発表標題 INTPIX4を用いたX線応力測定装置の小型・高速化
3. 学会等名 第8回S0IPIX研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾、柳 嘉代子、幸田 啓、江尻正一
2. 発表標題 cos 法への三軸応力およびX線侵入深さの影響
3. 学会等名 第51回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 江尻正一、大場宏明、佐々木敏彦
2. 発表標題 二次元検出器を用いたX線応力測定法理論および測定誤差に関する比較研究
3. 学会等名 第51回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 嘉村直哉、藤田 工、佐々木敏彦
2. 発表標題 転がり軸受のピーリング損傷におよぼす残留応力の影響（第2報）
3. 学会等名 第51回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三井真吾、佐々木敏彦、西村龍太郎、三好敏喜、新井康夫
2. 発表標題 一体型S01検出器を用いたリアルタイムX線応力測定装置の開発
3. 学会等名 日本非破壊検査協会第10回現場指向X線残留応力測定法研究委員会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾、柳 嘉代子
2. 発表標題 cos 法に及ぼす三軸応力、応力勾配、力学的不均質性の影響について
3. 学会等名 日本非破壊検査協会第10回現場指向X線残留応力測定法研究委員会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshihiko Sasaki, Shingo Mitsui, Ryutaro Nishimura, Toshinobu Miyoshi and Yasuo Arai
2. 発表標題 Application of a monolithic SOI pixel detector to evaluation of strength of industrial materials
3. 学会等名 第11回半導体検出器の開発と応用に関する国際広島シンポジウム (第2回SOIピクセル検出器研究会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shingo Mitsui, Yasuo Arai, Toshinobu Miyoshi, Ryutaro Nishimura and Toshihiko Sasaki
2. 発表標題 Development of Debye-Ring Measurement System Using SOI Pixel Detector
3. 学会等名 第11回半導体検出器の開発と応用に関する国際広島シンポジウム (第2回SOIピクセル検出器研究会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾、柳嘉代子
2. 発表標題 cos 法の最新の適用事例の紹介
3. 学会等名 日本非破壊検査協会第11回現場指向X線残留応力測定法研究委員会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 新X線技術cos 法による残留応力・材質評価
3. 学会等名 日本熱処理技術協会平成29年度 第4回 熱処理技術セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 X線応力測定の小形・高速化の動向
3. 学会等名 X線新技術産業化コンソーシアム2017年度研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Sasaki
2. 発表標題 High Speed X-ray Stress Measurement with a Monolithic SOI Pixel Detector
3. 学会等名 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木敏彦、乾典規、伊藤覇臣
2. 発表標題 転がり接触疲労した鉄道レール頭頂面のX線三軸応力測定
3. 学会等名 日本材料学会第50回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木敏彦、三井真吾
2. 発表標題 X線残留応力測定をリアルタイムで！～SOI検出器の応用～
3. 学会等名 イノベーションジャパン2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 新X線技術による超高速応力測定実現への試み (SOI検出器及びフーリエ解析法の適用)
3. 学会等名 第119回転がり疲れ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Sasaki
2. 発表標題 Full Use of a Debye-Scherrer Ring for X-ray Stress Measurement of Polycrystalline Materials with $\cos^2$ Method
3. 学会等名 The 10th Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木敏彦
2. 発表標題 新X線技術による重要部品の残留応力・材料評価
3. 学会等名 第8回総合検査機器展セミナー (招待講演)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

金沢大学 佐々木敏彦研究室  
<http://next.w3.kanazawa-u.ac.jp/wp/>  
 金沢大学 佐々木敏彦研究室  
<http://next.w3.kanazawa-u.ac.jp/wp/>

## 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	秋田 貢一  (Akita Koichi)  (10231820)	東京都市大学・理工学部・教授    (32678)	
研究分担者	三井 真吾  (Mitsui Shingo)  (10714438)	金沢大学・人間科学系・特任准教授    (13301)	
研究分担者	三好 敏喜  (Miyoshi Toshinobu)  (20470015)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・研究機関講師    (82118)	
研究分担者	江尻 正一  (Ejiri Shoichi)  (40331582)	岩手医科大学・教養教育センター・教授    (31201)	
研究分担者	高蒲 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)	
研究分担者	鷹合 滋樹  (Takago Shigeki)  (00504739)	石川県工業試験場・機械金属部・研究主幹    (83303)	
研究分担者	佐藤 嘉洋  (Sato Yoshihiro)  (00170796)	大阪市立大学・大学院工学研究科・教授    (24402)	削除：平成29年11月9日

## 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
---------	---------