

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03080

研究課題名(和文) 蛍光X線顕微分光3次元イメージング法の開発

研究課題名(英文) Development of 3D micro spectroscopic XRF imaging method

研究代表者

辻 幸一 (Tsuji, Kouichi)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30241566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：試料微小部での元素の種類とその濃度を把握することは、各種材料の開発、異物解析に必要であり、蛍光X線分析法(XRF)は試料に対して非破壊的に大気中で適用できる有力な方法である。本研究では全視野型のXRFイメージングを開発し、新規のポリキャピラリーレンズを導入することで視野可変型のXRF像を取得することを目指した。

波長分散型での全視野XRFイメージングに加えて、フォトンカウンティング解析を用いたエネルギー分散型の全視野XRFイメージングに新光素子を導入し、試料とX線カメラの間隔を調整することで多元素同時XRF拡大像が得られることをいくつかの工業試料に適用し実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

蛍光X線分析法(XRF)は様々な試料に対して非破壊的に大気中で元素分析できる有力な方法である。本研究を通じて、全視野型のXRFイメージングを開発し、新規のポリキャピラリーレンズを導入することで視野可変型のXRFによる元素分布像を取得することができた。可視域の光学顕微鏡で得られる試料の形状観察に本手法で得られる元素分布情報を付加することで情報量が増え、材料解析の分野で大きく貢献できる成果であると期待する。

研究成果の概要(英文)：It is important for development of materials and analysis of contaminated particles to know the kind of elements and its concentration at micro region on the sample. X-ray fluorescence (XRF) is powerful technique to analyze nondestructively the various samples under air condition. In this research, a full-field XRF imaging technique was developed using a photon counting analysis and a newly developed x-ray polycapillary optics, besides a wavelength-dispersive XRF imaging. Finally, it was demonstrated that the variable field of view in FF-XRF imaging was demonstrated for some industrial samples.

研究分野：分析化学

キーワード：蛍光X線 元素イメージング 全視野型

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

試料表面・内部に存在する元素の種類とその濃度を把握することは、各種材料の開発、不良解析、異物解析に有効である。蛍光X線分析法(XRF)は試料に対して非破壊的に大気中で適用できる有力な方法である。元素の分布情報を取得する方法は蛍光X線イメージングと呼ばれ、表1に示す2つの方法がある。

「走査型」である共焦点微小部XRF分析では10 μm程度の高い空間分解能で試料内部の元素分布解析が可能である。一方で、このような走査型の手法では試料を走査しながら元素分布を明らかにしていくので、分析面積が広がると元素イメージングに長時間を要するという課題も明らかとなっている。一方、「投影型」の一つである波長分散型蛍光X線イメージング法では、試料から発生した蛍光X線を2次元のコリメーターを用いて位置情報を保持したまま分光結晶に導入し、元素毎に分光したのちに、2次元のX線検出器で元素分布を捉え可視化できる^①。

表1 蛍光X線イメージング法

	走査型	投影型
原理	・ 微細X線ビームに対して、試料を走査しながら分析 ・ 共焦点配置では内部の3次元分析も可能	一次X線を試料全面に照射し、X線2次元検出器で試料から発生した蛍光X線を検出(全視野型とも呼ばれる)
欠点・課題	分析面積が大きくなると長時間を要する	X線2次元検出器にエネルギー分析機能がなく、元素識別イメージングが困難
解決方法	1) X線微細ビームの高輝度化 2) 高感度検出器の利用	1) 波長分散型分光器の利用(本申請課題、短時間元素イメージングが可能) 2) フォトンカウンティング(研究代表者も検討済み、長時間を要する)
装置	・ 微小部XRFは市販装置有り ・ 共焦点型XRFは研究段階	・ 波長分散型イメージングは研究段階 ・ フォトンカウンティング-X線カメラは市販されている(PNセンサー、ドイツ)

2. 研究の目的

実体顕微鏡のように観察視野を調整できるX線顕微分光イメージング装置を開発することを目的とした。試料内部から発生した蛍光X線分布をポリキャピラリーハーフレレンズで拡大しつつ、X線を波長分散型蛍光X線イメージング法で分光、もしくはエネルギー分散型蛍光X線イメージング法で分光し、X線2次元検出器で微小部の元素分布を可視化する装置の開発を目指した。このX線顕微分光イメージング法を用いて、試料を走査することによって試料内の分布解析も目指した。

3. 研究の方法

実験室でのX線顕微分光イメージング法を確立するための要素技術開発を行った。図1には波長分散型のXRFイメージング装置を、図2には全視野型XRFイメージング装置の構成を示す。

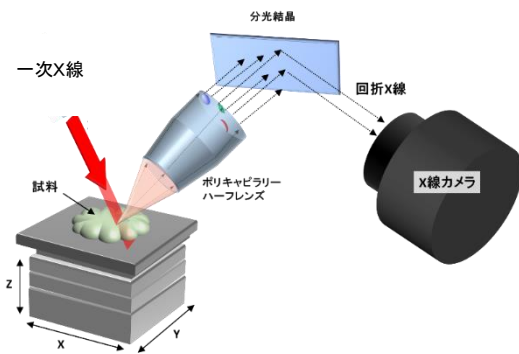


図1 波長分散型XRF顕微分光イメージング装置の構成概略図

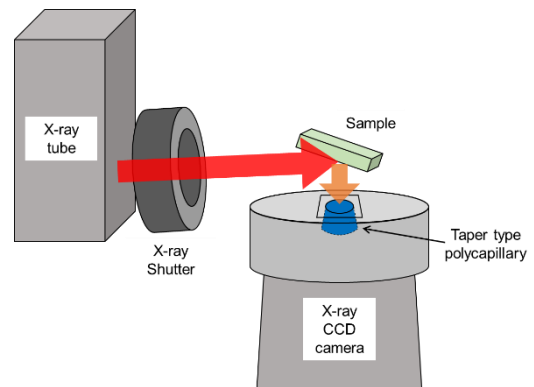


図2. 全視野型XRFイメージング装置の構成概略図

波長分散型のXRFイメージングでは、試料内部から発生した蛍光X線に対してポリキャピラリーハーフレレンズの焦点を合わせた。ポリキャピラリーハーフレレンズは微小領域からの蛍光X線を平行ビーム束に変換でき、平行ビームとした後は、図1に示した分光結晶を用いて特定の回折角度方向に目的とする蛍光X線エネルギーのみを取り出す仕組みとなっている。実験の初期においては高感度X線検出器を用いて実験を行い、図1の装置構成にて数秒で高速イメージングが実施できた。ところが研究の1年目にこの検出器が故障となり、その後はX線カメラ(Andor製; ピクセルサイズ: 13 μm×13 μm, 素子数: 1024×1024)を利用して実験を継続した。

そこで、波長分散型XRFイメージングと並行して、エネルギー分散型XRFイメージング装置(図2)を試作し、全視野型のXRFイメージングの実験を実施した。ハーフレレンズを構成する多数

のキャピラリー（ガラス毛细管）の内壁ではX線全反射現象が生じており、全反射臨界角以下から蛍光X線を取り込めるため、高い透過率が達成される。そこで、試料からの元素分布情報を正確にキャピラリーに写し取るために、傾斜角度を有するテーパ型ポリキャピラリーレンズを設計し、本研究に用いることとした。この場合、試料面とポリキャピラリーレンズ（もしくはX線カメラ）との距離を調整することで、分析視野の拡大・調整ができる可能性がある。つまり、分析視野可変型のXRFイメージング装置の開発と評価を目指しつつ、実験を実施した。

4. 研究成果

(1) 波長分散型の蛍光X線イメージング

微弱な蛍光X線を画像化するX線カメラは重要な要素部品となるX線 CCD カメラを購入し、これまでに研究代表者が試作してきた波長分散型分光器に設置し、動作確認、特性評価を行った。しかしながら、これまでの高感度X線カメラと比較して、今回購入できたX線 CCD カメラでは十分な強度を得ることが困難であった。そこで、試料からの微量元素のイメージングのためには検出器に至る蛍光X線強度を高める工夫を行うこととした。具体的には、試料からの蛍光X線は1次X線の強度に依存するため、X線源に近づける工夫や分光結晶と検出器の間隔を小さくする、つまり、波長分散型蛍光X線イメージング分光器の小型化を図ることとした。そこで、小型分光器の設計を行い、試作を行なった。試作機では試料と分光結晶間の距離は従来の218 mmから56 mmへ、分光結晶からX線カメラまでの距離は従来の240 mmから115 mmへと大幅な小型化に成功した。その結果、空間分解能は従来の約1000 mmから278 mm - 844 mmへの大幅な改善を達成できた。実試料としてプリント電子基板を測定対象としてCu, Auなどの蛍光X線分布像を数10秒で元素イメージングできることを実証できた。この手法では目的元素毎に回折角度を変える必要があるが、測定元素が決まっている場合には大変有効な元素イメージング手段となる。

(2) エネルギー分散型の蛍光X線イメージング

図2の配置において、直線型のポリキャピラリー素子を試料とX線カメラの間に配置し、1対1の関係で試料面に対して多元素同時イメージングを行った。個々のキャピラリーの内径を小さくすることで空間分解能の向上が図れた。プリント電子基板に適用した場合13 mm × 13 mmの視野に対して、Ti, Cu, Brなどの元素に対して20-30分程度で元素分布像が得られることを実証した。加えて、1次X線の入射角を斜入射角度に設定することで、表面敏感な元素イメージングが可能になることを見出した。加えて、蛍光X線イメージングに圧縮センシングの情報処理過程を付与し、実測の低解像画像から本来の姿に近い高解像画像を得るプロセスを考案し、図3に示すように、この実証実験にも成功した。図3では電子基板の一部の文字に注目し、処理前では不明瞭であったものを圧縮センシングの適用により明瞭となり、解像度の改善に有効な手法であることが分かった。

並行して、拡大型のポリキャピラリー光学素子を製作し、この光学素子をエネルギー分散型の蛍光X線イメージング分光器に取り付ける治具を設計試作し、視野拡大仕様に関して性能評価を行なった。試料と光学素子の間隔を変えることにより、分析視野が変化することを確認することとした。

2次元検出器に対してフォトンカウンティング解析を行うことで、各ピクセルでX線のエネルギー解析を行い、結果的に蛍光X線元素イメージングが可能な装置を開発し、以下の改良研究を行った。この装置において、図4に示すテーパ付きのポリキャピラリー集光レンズを導入した。つまり、従来の直線型の素子ではなく、入射面と出射面の面積が異なるテーパ付きのポリキャピラリー素子を設計し試作した。試料とポリキャピラリー素子間の距離（図4におけるd）を調整することで、分析視野が拡大できることを実証した。

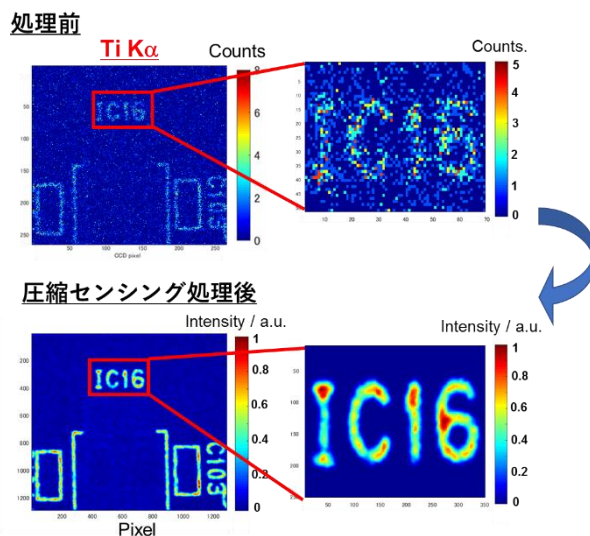


図3. 全視野型 XRF イメージングにおける圧縮センシングの適用例

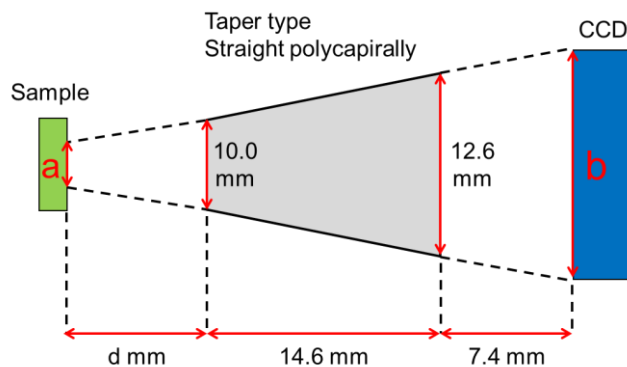


図4. テーパ付きポリキャピラリー素子の設計

図5ではプリント電子基板の一部(a)に対して得られた銅のXRFイメージングを示す。図5(b)には従来からの直線型のポリキャピラリー素子を使った実験結果を、図5(c)-(e)ではテーパ型ポリキャピラリーを用いてその距離を調整した際の結果である。この距離に応じて像が拡大されている様子が観察された。

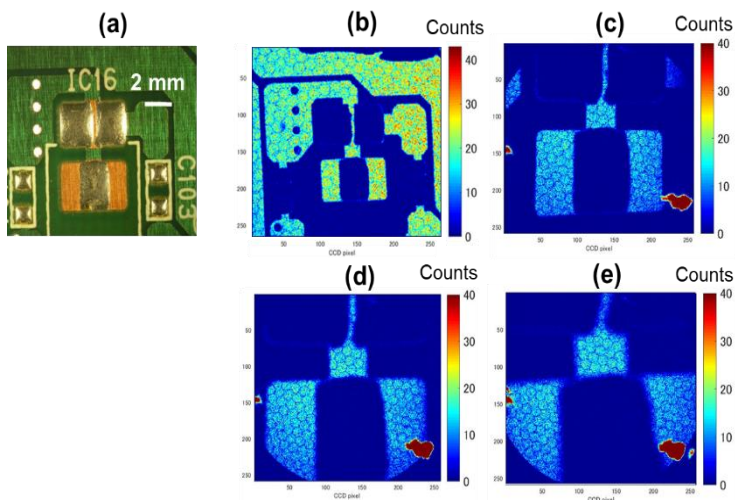


図5. プリント電子基板のイメージング像(Cu K α). (a)試料写真, (b)ストレートポリキャピラリーでの結果, (c)~(e)テーパ型ポリキャピラリーでの結果. 距離は(c)10mm, (d)20mm, (e)30mm.

図6においては Cu 以外に同時に測定した Br, Ti の XRF 画像を示す。キャピラリーを通過後にはX線は発散するため、図4の距離 d が大きくなるにつれて画像は不明瞭になることが分かった。

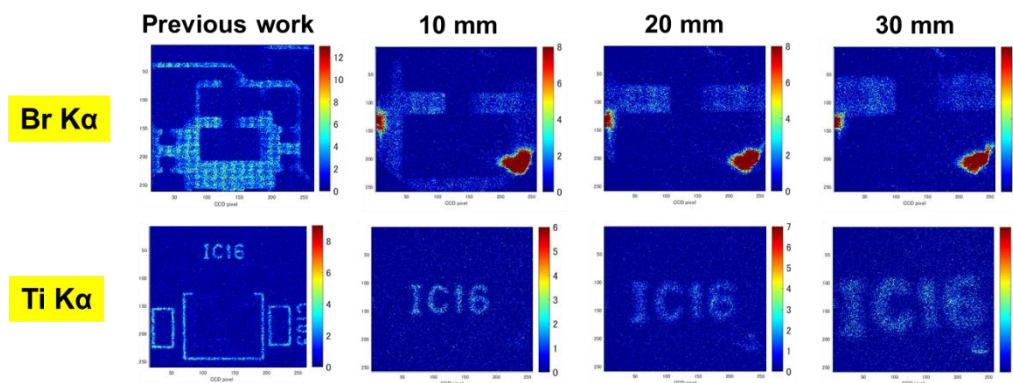


図6. プリント電子基板のイメージング像(Br K α , Ti K α)

そこで、得られた画像の空間分解能を図7の要領で評価した。エッジを有する Ti 試料を準備し、そのエッジ部分を横切る Ti の XRF 画像の強度分布を算出し、この分布にシグモイド曲線をフィッティングし、それを微分したときの半値幅を算出、その結果を表2にまとめた。Ti 以外に、Fe, Ni, Cu, Zn に対しても空間分解能を評価した。距離 d が小さいと最適な空間分解能が得られるが、距離が増加するにつれて、大きくなることが確認された。

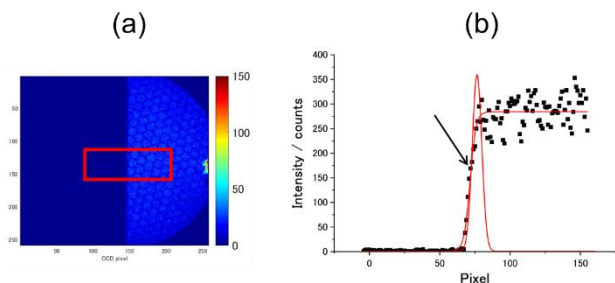


図7. (a)Ti K α の強度プロットと解析範囲. (b)Ti K α の強度と解析範囲の相関.

表2. 各元素の空間分解能

Analytical line	Distance / mm				
	10	15	20	25	30
Ti K α	169	228	303	453	691
Fe K α	143	216	283	441	515
Ni K α	136	192	276	319	477
Cu K α	122	139	183	278	377
Zn K α	75	123	151	219	304

さらに、1次X線の入射角を斜入射角度近くで精密に制御することで、表面敏感な元素イメージングが可能であることを実証する実験も実施した。図8に示すように、試料を回転傾斜ステージに取り付け、1次X線はスリットを通じて、シート状に成型した。試料を回転することで、入射角度を制御し、いくつかの薄膜試料に対してXRF画像を取得した。斜入射角度では最表面に存在する元素の分布が明瞭に観察された。

またこれに関連して、試料内部の元素分布を可視化するための1つの手法として、新たに共焦点蛍光X線分析法を提案し、装置の試作、分析特性の評価、実試料への応用を実施した。研究代表者らが取り組んできた共焦点3次元蛍光X線分析法の知見を活かして、ダブルスリットを用いて線状のX線ビームを作製し、同様に、検出側には線状で分析視野を制限した。結果、試料内部を含めた3次元空間において線状の分析箇所での分析が可能であることを実証した。共焦点方式と比較しての利点は、分析領域が広いことであり、均質な相構造を有する試料の場合には有効な手法であることを確認した。

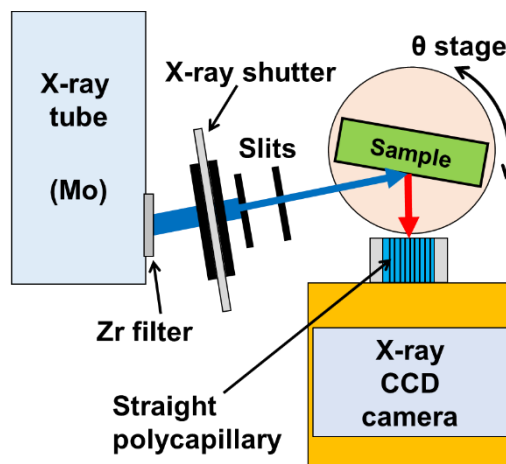


図8. 表面敏感型の全視野XRFイメージング装置の構成図

<引用文献>

①K. Tsuji, et al, Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence (WDXRF) Imaging, *Anal. Chem.*, **83** (2011) 6389-6394

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 蓬田 直也、辻 幸一	4. 巻 49
2. 論文標題 共焦点型微小部蛍光X線分析法を用いた毛髪中の元素分布解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 208～218
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 辻 幸一	4. 巻 99
2. 論文標題 共焦点型3次元蛍光X線分析装置による鉄鋼試料の腐食過程解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NSSTつうしん	6. 最初と最後の頁 2～3
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 辻 幸一	4. 巻 31
2. 論文標題 水溶液中の固体表面近傍の蛍光X線元素イメージング（月例卓話327）	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 海洋科学研究	6. 最初と最後の頁 27～30
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Shota Aida, Masaki Yamanashi, Takuto Sakumura, Kazuyuki Matsushita, Takashi Shoji, Naoki Kawahara, Kouichi Tsuji	4. 巻 61
2. 論文標題 Wavelength-Dispersive XRF Imaging Using Soller Slits and 2D Detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances in X-ray Analysis	6. 最初と最後の頁 180～187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/ac201395u	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 Jingyuan Zhu, Haruna Takahashi, Kouichi Tsuji	4. 巻 59
2. 論文標題 Elemental analysis of three kinds of teas by tabletop XRF analyzer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Memoirs of the Faculty of Engineering Osaka City University	6. 最初と最後の頁 1~5
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 Shota Aida, Tsuyoshi Matsuno, Takeshi Hasegawa, Kouichi Tsuji	4. 巻 402
2. 論文標題 Application of principal component analysis for improvement of X-ray fluorescence images obtained by polycapillary-based micro-XRF technique	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 267~273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2017.03.123	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 細見 凌平、陳 自義、土井 教史、秋岡 幸司、辻 幸一	4. 巻 66
2. 論文標題 共焦点型微小部蛍光X線分析法による水溶液中での鉄鋼材料腐食過程のその場観察	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 713~718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunseki.kagaku.66.713	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 会田 翔太、瀧本 雄毅、作村 拓人、松下 一之、庄司 孝、河原 直樹、辻 幸一	4. 巻 66
2. 論文標題 波長分散型蛍光X線分析による大面積イメージング及び固体試料の溶解過程の元素モニタリング	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 885~892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunseki.kagaku.66.885	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 山梨 眞生、山内 葵、辻 幸一	4. 巻 66
2. 論文標題 全視野型蛍光X線定量イメージングに関する基礎的検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 901 ~ 907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.66.901	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 Koji Akioka, Takashi Doi, Ryota Yagi, Tsuyoshi Matsuno, Kouichi Tsuji	4. 巻 2017
2. 論文標題 Cross Sectional Elemental Mapping of Under Film Corrosion of Galvanized Steel Sheets by Confocal XRF Analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 11th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet Galvatech 2017, Tokyo, Japan, ISIJ, (2017)	6. 最初と最後の頁 161 ~ 168
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 山梨 眞生、山内 葵、辻 幸一	4. 巻 2019
2. 論文標題 蛍光X線元素イメージング分析技術の進歩と応用例	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ぶんせき	6. 最初と最後の頁 146 ~ 153
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 Md Abdul Malek, Takashi Nakazawa, Hyun-Woo Kang, Kouichi Tsuji, Chul-Un Ro	4. 巻 24
2. 論文標題 Multi-Modal Compositional Analysis of Layered Paint Chips of Automobiles by the Combined Application of ATR-FTIR Imaging, Raman Microspectrometry, and SEM/EDX	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1381 ~ 1381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.3390/molecules24071381	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 Aoi Yamauchi, Masanori Iwasaki, Kazunori Hayashi, Kouichi Tsuji	4. 巻 48
2. 論文標題 Evaluation of full field energy dispersive X-ray fluorescence imaging apparatus and super resolution analysis with compressed sensing technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X-Ray Spectrometry	6. 最初と最後の頁 644 ~ 650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/xrs.3055	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 辻 幸一、細見凌平	4. 巻 105
2. 論文標題 共焦点微小部蛍光X線元素イメージング法による鉄鋼材料の応力負荷腐食進行過程のその場観察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 975 ~ 980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2019-025	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 Koji Akioka, Takashi Doi, Shohei Mita, Tsugufumi Matsuyama, Kouichi Tsuji	4. 巻 36
2. 論文標題 Depth Elemental Imaging during Corrosion of Hot-Dip Galvanized Steel Sheet by Confocal Micro XRF Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 55 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19SAP04	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 Masaki Yamanashi, Kouichi Tsuji	4. 巻 18
2. 論文標題 Development of Full-field XRD (FFXRD) Imaging Method Realized in the Laboratory Using a Straight Polycapillary and in situ Observation of the Oxidation Process of Cu by Heat Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejsnt.2020.1	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 Hitomi Nakano, Yumiko Nakanishi, Shohei Mita, Momotaro Nakanishi, Shintaro Komatani, Kouichi Tsuji	4. 巻 63
2. 論文標題 Elemental Mapping of Pasta Sample Using Confocal Micro X-Ray Fluorescence Spectrometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in X-ray Analysis	6. 最初と最後の頁 in press
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 Tsugufumi Matsuyama, Shohei Mita, Momotaro Nakanishi, Kouichi Tsuji	4. 巻 63
2. 論文標題 Development of Fly-scan mode Confocal Micro X-ray Fluorescence Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in X-ray Analysis	6. 最初と最後の頁 in press
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 仲西 桃太郎、中野 ひとみ、藤原 裕子、藤井 義久、辻 幸一	4. 巻 50
2. 論文標題 微小部蛍光X線分析法による銅系防錆処理木材の元素分布解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 105 ~ 112
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 中野 ひとみ、阪口 真以、安保 拓真、駒谷 慎太郎、大澤 澄人、岩崎 余帆子、近藤 萌絵、田口 かおり、森 直義、辻 幸一	4. 巻 50
2. 論文標題 長作動距離モノキャピラリーX線集光素子を用いた絵画用X線分析顕微鏡の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 151 ~ 160
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 陳 自義、細見 凌平、川上 洋司、辻 幸一	4. 巻 50
2. 論文標題 鉄鋼材料の微生物腐食挙動の共焦点微小部蛍光X線分析法による観察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 169 ~ 175
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 松山嗣史、山内 葵、岩崎正寛、林 和則、辻 幸一	4. 巻 51
2. 論文標題 圧縮センシング技術を用いた蛍光X線イメージングの超解像解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 49 ~ 56
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 中野和彦、駒谷慎太郎、坂東 篤、内原 博、辻 幸一	4. 巻 51
2. 論文標題 非共焦点配置による微小部蛍光X線分析装置の空間分解能の向上	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 57 ~ 63
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65件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 実験室での蛍光X線イメージング法の進展状況
3. 学会等名 2019年度 先端分析・機能創発研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野ひとみ、大澤澄人、駒谷慎太郎、松山嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 微小異物の蛍光X線分析における共焦点配置による検出下限向上
3. 学会等名 第55回X線分析討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡林 漠、仲西桃太郎、松山嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点三次元蛍光X線高速イメージングによる金属腐食過程の観察
3. 学会等名 第55回X線分析討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田将太、中野ひとみ、松山嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 共焦線型蛍光X線分析を用いた層構造を有する試料の深さ方向分析
3. 学会等名 第55回X線分析討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾関凌太、松山嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 斜入射条件下での全視野エネルギー分散型蛍光X線イメージング装置の開発
3. 学会等名 第55回X線分析討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾関 凌太、山内 葵、松山 嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 テーパ型ポリキャピラリー素子を用いた全視野型蛍光X線イメージング装置の試作と性能評価
3. 学会等名 日本分析化学会 第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田 将太、中野 ひとみ、松山 嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 共焦線型蛍光X線分析法による深さ方向分析
3. 学会等名 日本分析化学会 第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲西 桃太郎、中野 ひとみ、藤原 裕子、藤井 義久、松山 嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 共焦型蛍光X線分析による銅系防蝕処理木材の分析
3. 学会等名 日本分析化学会 第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山梨 眞生、辻 幸一
2. 発表標題 全視野型XRDイメージング装置による銅の酸化過程のその場観察
3. 学会等名 日本分析化学会 第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲西 桃太郎、松山 嗣史、辻 幸一
2. 発表標題 水溶液中金属腐食のその場観察を目指した蛍光X線元素イメージングの高速化
3. 学会等名 日本分析化学会 第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田 将太、中野 ひとみ、辻 幸一
2. 発表標題 共焦配置による蛍光X線内部解析法の基礎研究
3. 学会等名 日本分析化学会 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾関 凌太、山内 葵、辻 幸一
2. 発表標題 エネルギー分散型及び波長分散型分光による蛍光X線イメージング装置の試作
3. 学会等名 日本分析化学会 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三田 昇平、秋岡 幸司、土井 教史、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点型蛍光X線イメージング法による亜鉛めっき鋼板試料の腐食挙動観察
3. 学会等名 日本分析化学会 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田 将太、辻 幸一
2. 発表標題 共焦配置による蛍光X線内部解析法の基礎研究
3. 学会等名 関西分析研究会令和元年度第1回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 高感度化と多次元化を目指した新規X線元素分析法の開発と応用研究【学会賞講演】
3. 学会等名 日本分析化学会 第68年会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsuyama, S. Sonoda, H. Nakano, K. Tsuji
2. 発表標題 Confocal Line XRF Analysis in Comparison with Confocal Point Micro XRF Analysis
3. 学会等名 68th Annual Conference on Applications of X-ray Analysis Denver X-ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Tsuji, A. Yamauchi, T. Matsuyama
2. 発表標題 Full Field Energy Dispersive X-ray fluorescence Imaging and Compressed Sensing Analysis for Super-Resolution Analysis
3. 学会等名 68th Annual Conference on Applications of X-ray Analysis Denver X-ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Tsuji, M. Nakanishi, R. Ozeki, T. Matsuyama
2. 発表標題 Scanning and Full Field X-Ray Fluorescence Imaging with Laboratory X-ray Source
3. 学会等名 PSA-19, 8th International Symposium on Practical Surface Analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Recent advances and standardization in x-ray fluorescence (XRF) analysis: Confocal 3D-XRF and total reflection XRF
3. 学会等名 IUPAC Analytical Chemistry Workshop Advances in Analytical Chemistry II, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Yamanashi, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Observation of Crystal Structure Changes with Full Field X-ray Diffraction Imaging Instrument
3. 学会等名 67th Annual Conference on Applications of X-ray Analysis Denver X-ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Furusato, Naoya Yomogita, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Elemental Analysis of Human Hair by Confocal Micro-XRF Analysis
3. 学会等名 European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Furusato, Fumiyuki Inoue, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Quantitative Elemental Analysis of Human Hairs by Using Desktop X-Ray Fluorescence Analyzer,
3. 学会等名 European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Momotaro Nakanishi, Ryohei Hosomi, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 In Situ Observation of the Corrosion Process of Steel Sheets under Bending Stress by Confocal Micro XRF Technique
3. 学会等名 European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Momotaro Nakanishi, Yuko Fujiwara, Yoshihisa Fujii, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Elemental Distribution Analysis of Copper-based Preservative-treated Woods by Micro XRF Method
3. 学会等名 European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 卓上型蛍光X線分析装置の紹介と適用例
3. 学会等名 2018年度「ぶんせき講習会」(実践編)第65回機器による分析化学講習会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 表面近傍の蛍光X線元素イメージング
3. 学会等名 2018年度実用表面分析講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 蛍光X線イメージングに向けた装置開発と適用例
3. 学会等名 マイクロビームアナリシス第141委員会 第175回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 仲西 桃太郎、辻 幸一、藤原 裕子、藤井 義久
2. 発表標題 微小部蛍光X線分析装置による木材中の銅系防腐剤の分布解析
3. 学会等名 第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三田 昇平、村上 修平、河原 直樹、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点微小部蛍光X線分析における単色X線源の利用と高速化への試み
3. 学会等名 関西分析研究会平成30年度第1回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 共焦点型微小部蛍光X線分析法による深さ元素イメージング
3. 学会等名 X線分析講習会 蛍光X線分析の実際 (第10回)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 尾関 凌太、山内 葵、辻 幸一
2. 発表標題 いくつかの蛍光X線元素イメージング法の比較と評価
3. 学会等名 中部支部・近畿支部 合同夏期セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 園田 将太、中野 ひとみ、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点蛍光X線分析法による銅系防腐剤処理木材の元素分布解析と共焦線分析への応用
3. 学会等名 中部支部・近畿支部 合同夏期セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 幸一、山内 葵、三田 昇平、岩崎 正寛、林 和則
2. 発表標題 蛍光X線元素イメージングにおける情報処理技術の適用
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内 葵、山梨 眞生、辻 幸一
2. 発表標題 全視野型蛍光X線イメージング装置における直線型ポリキャピラリーの最適化と性能評価
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三田 昇平、河原 直樹、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点微小部蛍光X線分析装置への単色X線源の導入と高速化への試み
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内 葵、岩崎 正寛、林 和則、辻 幸一
2. 発表標題 全視野型蛍光X線イメージングと圧縮センシングによる超解像解析の基礎検討
3. 学会等名 第54回X線分析討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 園田 将太、仲西 桃太郎、中野 ひとみ、辻 幸一
2. 発表標題 微小部蛍光X線分析法による銅系防腐剤処理木材の深さ方向元素分布解析
3. 学会等名 第54回X線分析討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三田 昇平、秋岡 幸司、土井 教史、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点型微小部蛍光X線分析法による溶融亜鉛めっき鋼板の腐食挙動観察
3. 学会等名 第54回X線分析討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 尾関 凌太、山内 葵、辻 幸一
2. 発表標題 波長分散型及びエネルギー分散型蛍光X線元素イメージング法の分光特性の評価
3. 学会等名 第54回X線分析討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中野 ひとみ、仲西 由美子、三田 昇平、仲西 桃太郎、駒谷 慎太郎、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点蛍光X線分析法による食品中塩分の分析
3. 学会等名 第54回X線分析討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内 葵、三田 昇平、岩崎 正寛、林 和則、辻 幸一
2. 発表標題 全視野型蛍光X線イメージングと圧縮センシングによる超解像解析の試み
3. 学会等名 近畿支部創設65周年記念講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内 葵、岩崎 正寛、林 和則、辻 幸一
2. 発表標題 全視野蛍光X線イメージング装置の分析特性評価と超解像解析の基礎検討
3. 学会等名 関西分析研究会平成30年度第2回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kouichi Tsuji, Shota Aida, Masaki Yamanashi, Takuto Sakumura, Kazuyuki Matsushita, Takashi Shoji, Naoki Kawahara
2. 発表標題 Wavelength-Dispersive XRF Imaging Using Soller Slits and 2D Detector
3. 学会等名 66th Annual Conference on Applications of X-ray Analysis Denver X-ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoki Kawahara, Ryohei Hosomi, Shohei Mita, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Calculation Procedure of Confocal Micro-XRF Intensity for Inhomogeneous Samples
3. 学会等名 66th Annual Conference on Applications of X-ray Analysis Denver X-ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Aoi Yamauchi, Masaki Yamanashi, Francesco Paolo Romano, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Preliminary results of full field XRF imaging under glancing incident condition,
3. 学会等名 The 17th International Conference on Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis and Related Methods (TXRF2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Akioka, Takashi Doi, Ryota Yagi, Tsuyoshi Matsuno, Kouichi Tsuji
2. 発表標題 Cross sectional elemental mapping of under film corrosion of galvanized steel sheets by a confocal XRF analysis
3. 学会等名 The 11th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 共焦点型蛍光X線分析法による水溶液中固体表面近傍の元素分布の可視化
3. 学会等名 京都化学者クラブ(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 蛍光X線分析による微量分析および元素イメージング
3. 学会等名 第5回メタロミクス研究フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 蛍光X線イメージング法による腐食挙動の可視化
3. 学会等名 大阪市立大学大学院工学研究科 第73回オープン・ラボラトリー(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山内 葵、瀧本 雄毅、山梨 眞生、辻 幸一
2. 発表標題 フォトンカウンティング解析による全視野蛍光X線イメージングの研究
3. 学会等名 平成29年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三田 昇平、松野 剛士、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点型3次元蛍光X線分析法による塗膜鉄鋼試料の腐食挙動観察
3. 学会等名 平成29年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山梨 眞生、辻 幸一
2. 発表標題 X線イメージング法における定量分析へのアプローチ
3. 学会等名 第77回分析化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 会田 翔太、辻 幸一
2. 発表標題 波長分散型蛍光X線イメージングによる元素モニタリングの基礎検討
3. 学会等名 第77回分析化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 細見 凌平、辻 幸一
2. 発表標題 鋼板の微生物腐食過程の共焦点型微小部蛍光X線分析法によるその場観察
3. 学会等名 第77回分析化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 細見 凌平、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点型微小部蛍光X線分析法による応力下における水溶液中鋼板の腐食挙動その場観察
3. 学会等名 関西分析研究会平成29年度第1回例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三田 昇平、辻 幸一
2. 発表標題 溶融亜鉛めっき鋼板の共焦点蛍光X線イメージングと主成分分析の適用
3. 学会等名 日本分析化学会近畿支部 平成夏季セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山内 葵、辻 幸一
2. 発表標題 フォトンカウンティング解析による全視野蛍光X線イメージング
3. 学会等名 日本分析化学会近畿支部 平成夏季セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 会田 翔太、辻 幸一
2. 発表標題 波長分散型蛍光X線イメージングによるいくつかの化学反応の元素モニタリング
3. 学会等名 日本分析化学会第66年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 細見 凌平、辻 幸一
2. 発表標題 共焦点型微小部蛍光X線分析法による水溶液中曲げ応力下銅板の腐食過程その場観察
3. 学会等名 日本分析化学会第66年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 幸一
2. 発表標題 実験室における蛍光X線元素イメージング
3. 学会等名 2017年度第2回提案公募型セミナー「蛍光X線イメージングの新展開」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Francesco Paolo Romano, Kouichi Tsuji, Claudia Caliri, Lighea Pappalardo, Francesca Rizzo, Hellen Cristine Santos
2. 発表標題 Full Field XRF and scanning XRF - Novel approaches for a real time elemental imaging of 2D and 3D samples
3. 学会等名 第53回X線分析討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山梨 眞生、山内 葵、辻 幸一、F. P. Romano
2. 発表標題 全視野型蛍光X線定量イメージング法の基礎的検討
3. 学会等名 第53回X線分析討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山内 葵、山梨 眞生、F. P. Romano、辻 幸一
2. 発表標題 斜入射配置での全視野エネルギー分散型蛍光X線イメージング
3. 学会等名 第53回X線分析討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三田 昇平、河原 直樹、辻 幸一
2. 発表標題 単色X線を励起源とする共焦点型微小部蛍光X線分析装置の開発
3. 学会等名 第53回X線分析討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 幸一、細見 凌平
2. 発表標題 3次元蛍光X線元素分布解析による水溶液中鉄鋼試料の応力付加腐食進行過程の可視化
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第175回春季講演大会
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----