

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：34309

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H01357

研究課題名(和文) 三角縁神獸鏡の製作地解明に向けたミュオンビームによる非破壊成分分析とその検証

研究課題名(英文) Nondestructive elemental analysis using muon beams and its verification for clarification of the production place of triangular-rimmed sacred mirror

研究代表者

南 健太郎 (MINAMI, Kentaro)

京都橘大学・文学部・准教授

研究者番号：60610110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ミュオンX線を用いた完全非破壊成分分析、鑄造実験による鑄造方法の実証的検討、三次元計測データの解析の3点を柱とし、製作技術から三角縁神獸鏡の製作地の解明にアプローチした。については、完全非破壊で錆の影響を受けていない銅鏡内部の成分分析の方法を確立することができた。については三角縁神獸鏡の鑄造実験により、鑄造欠陥が最も少なくなるような鑄型の設置方法や湯の温度設定を明らかにした。以上の方法により完全非破壊で三角縁神獸鏡の鑄造技術の実態に迫ることができ、製作地解明に向けた新たな視点を提供することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの青銅器研究では、錆の影響のない部分の化学分析を行うには破壊分析が不可欠であった。これに対し、本研究で提示した完全非破壊ミュオン成分分析の方法は遺物へのダメージが皆無である。機器のセッティングや計測時間を調整することで成分分析の精度も向上し、バックグラウンドも極力抑えられることが確認できた。遺物の保存性を担保したうえで、研究に必要な精度の非破壊成分分析の手法を確立した点の社会的意義は大きい。また本研究で提示した鑄型の設置方法や湯の設定温度から鑄造技術を復元する方法は、鑄造技術の復元に新たな視点を提供した点で、学術的意義も有している。

研究成果の概要(英文)：This study approached the elucidation of the production place of triangular-rimmed bronze mirrors from the viewpoint of production techniques, based on three pillars: 1) a completely non-destructive elemental analysis using muon X-rays, 2) an empirical study of the casting method using casting experiments, and 3) analysis of three-dimensional measurement data. With regard to (1), we were able to establish a completely non-destructive method for analysing the elements inside bronze mirrors unaffected by rust. For (2), casting experiments on triangular-rimmed bronze mirrors were conducted to clarify the casting mould setting method and hot water temperature settings that would minimise casting defects. The above methods enabled a completely non-destructive approach to the actual casting technology of triangular-rimmed bronze mirrors, and provided a new perspective towards clarifying the place of manufacture.

研究分野：考古学

キーワード：三角縁神獸鏡 ミュオンX線 完全非破壊成分分析 鑄造技術 三次元計測 鑄造実験

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究の学術的な問いは「三角縁神獣鏡はどこで作られたのか」という点にある。この問いに対する研究は様々な角度から 100 年以上にわたって展開してきた。現在の考古学的研究では三国時代の魏の領域で製作された銅鏡群との高い親和性から、それらの工人集団が三角縁神獣鏡の製作に関与したという考えが極めて優勢である。一方で鉛同位体比分析からは三角縁神獣鏡の一部に朝鮮半島産の鉛が含まれていることが指摘されており、中国産の鉛と朝鮮半島産の鉛の混合は日本列島で生じた、つまり日本列島で三角縁神獣鏡が生産されたという意見がだされている。このように三角縁神獣鏡の製作地論争は今なお続いていると言える。

このような研究状況下において、近年急速に発達したミュオン X 線を利用した化学分析は注目される。ミュオン X 線は宇宙線の一種で、エネルギー量が高いため、物質を透過するという性質を持つ。これを加速器で生成し、ビーム強度を調整することによって、物質内部において蛍光 X 線分析と同様の成分分析をおこなうことができる。この方法であれば資料に一切のダメージを与えずに、錆などの影響のない精度の高いデータを得ることができる。

青銅器の成分分析では錆などの影響のない部分のデータが不足しているため、これまで製作技術、さらに一歩踏み込んだ製作の推定に関する言及は積極的にはなされていない。本研究はそのような現状を打破し、新たな研究手法を確立することができる可能性を秘めている。

このような背景から、三角縁神獣鏡の製作地解明に向けて、ミュオン非破壊分析を実施するに至った。

2. 研究の目的

本研究では三角縁神獣鏡の製作地解明に向けて、ミュオン特性 X 線を用いた完全非破壊成分分析の方法論を確立し、鑄造技術を解明することを目的とする。

三角縁神獣鏡はヤマトを中心として汎日本列島の規模に広がっており、それらの入手・拡散は国家形成期における地域間関係の形成過程を示すと考えられている。三角物神獣鏡が中国で製作されたものなのか、あるいは日本列島で製作されたものなのか、という点は、三角物神獣鏡の保有・拡散の意義を大きく左右する問題である。また東アジア、日本列島の歴史展開を考える上で極めて重要であると言える。

ミュオン特性 X 線は物質を透過する性質を有するため、これまでになし得なかった表面の錆などに影響されない定量的な成分分析を完全非破壊で行うことが可能となる。本研究は上記の歴史的な課題に、ミュオン非破壊成分分析による鑄造技術の復元から挑むものである。

3. 研究の方法

本研究ではミュオン非破壊分析法の確立、鑄造実験による鑄造方法の検討、三次元計測データの解析という3つの課題を設定し、研究を進めた。

ミュオン非破壊分析法の確立

ミュオン X 線の物質を透過する性質を活かし、完全非破壊で成分分析を行う手法を確立する。青銅器は土中埋没期間に様々な外的影響を受けるため、表面部分は少なからず汚染されている。錆はその代表的なもので、表面の化学組成は鑄造時からの変化が著しい。考古学分野で成分分析の主力は蛍光 X 線分析であるが、この場合は表面の錆の部分の中までしかビームを届けることができないため、精度の高いデータを得ることはできなかった。これに対し、ミュオン X 線は物質を透過し、データが必要な深さでビームを止めることができるので、錆などの腐食層の影響のない地金の部分のデータを得ることができるのである。

この方法によればこれまで不可能であった銅鏡の成分を三次元的(位置+深さ)に把握することが可能になる。

鑄造実験による鑄造方法の検討

ミュオン非破壊分析法の確立には、成分比が既知の資料を計測し、分析結果との整合性をチェックする必要がある。一方、ミュオン非破壊分析で三次元的に成分組成を把握することができることは、成分の偏在性をも明らかにすることができると考えられる。これらの視点から、鑄造実験によって三角縁神獣鏡のレプリカを作成し、ミュオン非破壊分析以外の方法で三次元的な成分組成を把握する必要性が見出された。

これらのことから、鑄造実験においては三角縁神獣鏡の三次元計測データから作成した樹脂製レプリカをモデルとして、レプリカ鏡から鑄型をおこして同様な原材料の配合費によって複数の銅鏡を製作する方法をとった。

三次元計測データの解析

近年、考古資料の三次元計測が急速に進展し、三角縁神獣鏡の鑄造技術復元においても大きな成果が得られている。本研究では三次元計測データを用いて、厚さ分布、および鏡面の等高線の分析をおこなう。厚さ分布は、一面の鏡において厚さがどのように相違しているのかを明確にすることができる。また等高線図では鏡面の歪みを図化することができるのが強みである。これらは注湯後の凝固収縮の発生状況を示すものと思われるため、鏡によってその傾向を比較するこ

とは鑄造技術の系譜を考える上で重要なデータとなる。

4. 研究成果

本研究ではミュオン非破壊分析の精度検証、鑄造方法の実態、三次元データ解析による凝固結果の比較を並行的に進めた。以下、研究成果をミュオン非破壊分析法の精度検証、鑄造方法の実態、注湯後変形の3点に分けて述べる。

ミュオン非破壊分析の精度検証

ミュオン非破壊分析法によって得られたデータには、少なからずバックグラウンド(誤差の範囲)が存在する。バックグラウンドが広いデータは、それだけ精度が低いデータと言える。成分組成の比較においては銅、錫、鉛の比率が問題になるが、三角縁神獸鏡の破壊分析による成分組成の結果をみると、製作段階によってこれらの含有量の変化がみられることが指摘されている。例えば錫は舶載の古い段階の三角縁神獸鏡には20~24%底部含まれているが、舶載の最終段階、および「仿製」段階では20%に達しなくなる。このような傾向を見出すためにはバックグラウンドが1%前後でなければならない。ミュオン非破壊分析のバックグラウンドは、検出器の性能と台数、ビームタイムの長短で決定される。すなわち、検出効率の良い検出器をたくさん使用し、さらに長いビームタイムをかけると、その分バックグラウンドが小さい、高精度の成分組成データが得られるということになる。本研究の実験では、ビームタイムを変えて分析した結果、45~55分の場合にはバックグラウンドが大きかったが、180分以上かければバックグラウンドを小さく抑えることができることが確認できた。

またミュオン実験結果を蛍光X線分析結果と比較する際は、wt%に変換する作業が必要である。本研究では成分組成が既知の標準資料を複数ミュオン分析し、結果から検量線を設定する手法を確立した。これにより全体を100%としたときの銅・錫・鉛の比率を算出することが可能となった。

これによりミュオン非破壊分析の結果を、これまで他手法によって得られた分析結果と比較するための方法論を確立することができた。

鑄造方法の実態

ミュオン分析では成分組成の三次元的把握が完全非破壊でできる点がメリットであった。この手法をとる前段階の基礎データ収集としてレプリカ鏡の蛍光X線分析をおこなった。その結果、主要元素のうち、特に鉛が一面の鏡の中で偏在性が高いことが見出された。銅・錫・鉛は比重や凝固点が異なるため、鑄型に湯が注がれてから凝固するまでの間に偏在が生じてしまうのではないかと考えられた。これに大きな影響を与えると考えられるのが鑄型の設置角度である。地面と鑄型で形成される角度が大きいほど垂直に近くなり、小さいほど水平に近くなる。鑄型の設置角度が違えば、鑄型内での湯の流れるスピードや凝固のタイミングも異なってくるものと考えられる。これらのことから、鑄造実験は鑄型の設置角度を90度、60度、30度に設定し、さらに文様が掘られた鏡背面鑄型と、鏡の面になる鏡面鑄型の方向を上下逆にしてレプリカ鏡を作成した。また湯の温度も偏在性を探る上では重要な指標になり得ると考えられたため、湯の温度の高低を変えて鑄造をおこなった。

レプリカ鏡の成分分析結果はまだすべて実施できていないため、偏在性の特徴はまだ把握できていないが、文様の鑄上がりの面で注目すべき結果が得られた。様々な条件で鑄造した結果、最も鑄造欠陥が少なかったのは、鏡面鑄型を下にして鑄型を60度傾けて設置し、湯の温度高めで鑄造したものであった。次点は鏡面鑄型を下にして鑄型を30度傾けて設置し、湯の温度高めで鑄造したものであった。このように鏡面を下にしたほうが鑄造欠陥が起りにくい可能性が見出された。これまでの研究では、三角縁神獸鏡などの鏡は鏡背面鑄型を下にして鑄造されたと考えられていたが、それとは真逆の結果となった。この点については検証実験をおこなったため、今後データの比較を行っていく。

三次元データ解析による凝固結果の比較

三角縁神獸鏡の特徴として、鏡面の大きな反りが挙げられる。反りについては他鏡種においても生じているが、これらの相違点を評価するためには客観的なデータとして提示することが必要である。また厚みについても手で計る場合は面的な厚さ分布を提示することはできないことがこれまでの研究上での課題であった。三次元データはこれらの課題を解消する手段として有効である。このため本研究では三角縁神獸鏡と、その前段階に製作された呉の領域の神獸鏡の比較をおこなった。その結果、鏡面の反りを示す等高線図では興味深い傾向がみられた。呉の神獸鏡は中心部から極端な変形をともしない同心円状に等高線が描かれるのに対し、三角縁神獸鏡は一定方向への歪みが顕著であり、同心円状から大きく外れる形となった。要因としては凝固過程が両者で異なっていたことが予想され、これは成分の偏在性や鑄型の設置角度と関係している可能性が考えられる。

このように本研究では三角縁神獸鏡の鑄造技術についての新たな研究視点を提示し、その実態についての見通しを得ることができた。三角縁神獸鏡の製作地解明には、さらに他鏡種との比

較研究が必要となる。本研究で確立した方法を他鏡種含めて継続的に実施し、実証的データに基づいた製作地研究へと昇華させていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 南健太郎	4. 巻 16
2. 論文標題 後漢末における神獸鏡の鑄造技術－3Dポリゴンデータによる厚み分布、等高線の検討－	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 アジア鑄造技術史学会研究発表資料集	6. 最初と最後の頁 23, 26
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 南健太郎	4. 巻 Jan-22
2. 論文標題 ミュオン非破壊分析による三角縁神獸鏡鑄造技術の研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 KEK Proceedings	6. 最初と最後の頁 116, 129
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 南健太郎	4. 巻 15
2. 論文標題 3Dポリゴンデータによる三角縁神獸鏡の鑄造技術研究試論	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アジア鑄造技術史学会研究発表資料集	6. 最初と最後の頁 31, 33
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 長柄毅一、南健太郎、廣川守、三船温尚	4. 巻 15
2. 論文標題 復元鑄造した三角縁神獸鏡の成分分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アジア鑄造技術史学会研究発表資料集	6. 最初と最後の頁 20, 23
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 Kentaro MINAMI	4. 巻 14
2. 論文標題 Technological positioning of the triangular-rimmed deity-and-beast mirrors by considering the location of the gate of mold	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 アジア鑄造技術史学会研究発表資料集	6. 最初と最後の頁 16-18
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 長柄毅一、南健太郎、廣川守、三船温尚	4. 巻 14
2. 論文標題 三角縁神獸鏡の鑄造シュミレーションによる湯流れ、凝固過程の考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 アジア鑄造技術史学会研究発表資料集	6. 最初と最後の頁 19-21
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 南健太郎、三船温尚、清山隆	4. 巻 14
2. 論文標題 三角縁神獸鏡の注湯方法復元に向けた鑄造実験	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 FUSUS	6. 最初と最後の頁 65-74
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 南健太郎	4. 巻 14
2. 論文標題 重圏文鏡生産開始期の技術様相 - 湯口・湯道の設置方法の検討から -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 FUSUS	6. 最初と最後の頁 89-93
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 佐藤朗	4. 巻 91 (3)
2. 論文標題 連続状ミュオン施設におけるミュオン非破壊分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 243-249
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 佐藤朗	4. 巻 52
2. 論文標題 ミュオンX線による非破壊元素・同位体比分析の進展	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 21-32
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 Kentaro MINAMI, Akira SATO, Kazuhiko NINOMIYA, M. Kenya KUBO, Dai TOMONO and Yoshitaka KAWASHIMA	4. 巻 13
2. 論文標題 Non-destroying non-contact elemental analysis of Han mirror using muon X-rays	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アジア鑄造技術史学会研究発表資料集	6. 最初と最後の頁 41-42
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 南健太郎	4. 巻 237
2. 論文標題 鑄造技術からみた後漢・三国時代の銅鏡	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 銅鏡から読み解く 2～4世紀の東アジア アジア遊学	6. 最初と最後の頁 61-71
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 南健太郎	4. 巻 2019-10
2. 論文標題 銅鏡のミュオン非破壊成分分析と鉛同位体比分析についての展望	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 KEK Proceedings	6. 最初と最後の頁 133-146
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 Kentaro MINAMI, Akira SATO, Kazuhiko NINOMIYA, M. Kenya KUBO, Dai TOMONO and Yoshitaka KAWASHIMA	4. 巻 33
2. 論文標題 Non-destructive elemental analysis of archaeological metal materials using muonic X-rays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料とプロセス (CAMP-ISIJ)	6. 最初と最後の頁 73
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 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 後漢末における神獸鏡の鑄造技術－3Dポリゴンデータによる厚み分布、等高線の検討－
3. 学会等名 アジア鑄造技術史学会第16奈良大会 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 東アジアの銅鏡と弥生社会
3. 学会等名 日本高麗浪漫学会 高麗澄夫記念『第4回渡来文化大賞』授賞式ミニ講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 3Dポリゴンデータによる三角縁神獸鏡の鑄造技術研究試論
3. 学会等名 アジア鑄造技術史学会第15回高岡大会（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長柄毅一、南健太郎、廣川守、三船温尚
2. 発表標題 復元鑄造した三角縁神獸鏡の成分分析
3. 学会等名 アジア鑄造技術史学会第15回高岡大会（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 漢代青銅器の成分組成
3. 学会等名 第7回文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る - 加速器が紡ぐ文理融合の地平 - （招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 ミュオンが拓く成分分析の新地平
3. 学会等名 令和4年度秋季企画展「元素でたどる考古学」記念講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 銅鏡からみた近畿弥生社会
3. 学会等名 2022年度弥生時代講座 聞いてなっとく弥生の世界 遺跡・遺物からみた弥生時代研究（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kentaro MINAMI
2. 発表標題 Technological positioning of the triangular-rimmed deity-and-beast mirrors by considering the location of the gate of mold
3. 学会等名 アジア鑄造技術史学会第14回高岡大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長柄毅一、南健太郎、廣川守、三船温尚
2. 発表標題 三角縁神獸鏡の鑄造シュミレーションによる湯流れ、凝固過程の考察
3. 学会等名 アジア鑄造技術史学会第14回高岡大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 ミュオン非破壊分析による三角縁神獸鏡鑄造技術の研究
3. 学会等名 第6回文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る - 加速器が紡ぐ文理融合の地平 -
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 ミュオン非破壊分析法による考古資料の成分分析
3. 学会等名 考古学研究会岡山2月例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤朗
2. 発表標題 大阪大学・核物理研究センター 連続状ミュオンビーム施設RCNP-MuSIC
3. 学会等名 第12回 研究会「Muon科学と加速器研究」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤朗
2. 発表標題 RCNP-MuSIC連続ミュオンビームによる実験
3. 学会等名 研究会「ミュオンX線 線分光 -非破壊分析、化学、原子核物理への新展開」、 「ミュオン原子核捕獲反応による原子核関連研究の可能性」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南健太郎、佐藤朗、長柄毅一、三船温尚
2. 発表標題 非破壊成分分析による三角縁神獸鏡鑄造技術の復元
3. 学会等名 第3回文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る - 加速器が紡ぐ文理融合の地平 -
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤朗
2. 発表標題 大阪大学RCNP-MuSIC施設とミュオン非破壊分析の可能性
3. 学会等名 第3回 文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る -加速器が紡ぐ文理融合の地平- (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤朗
2. 発表標題 連続ミュオンによる ミュオン非破壊分析の進展
3. 学会等名 第4回 文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る -加速器が紡ぐ文理融合の地平- (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤朗
2. 発表標題 ミュオンによる非破壊元素・同位体分析の進展
3. 学会等名 第56回 X線分析討論会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kentaro MINAMI, Akira SATO, Kazuhiko NINOMIYA, M.Kenya KUBO, Dai TOMONO and Yoshitaka KAWASHIMA
2. 発表標題 Non-destroying non-contact elemental analysis analysis of Han mirroring muon X-rays
3. 学会等名 アジア鑄造技術史学会第13回西安大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南健太郎
2. 発表標題 銅鏡のミュオン非破壊成分分析と鉛同位体比分析についての展望
3. 学会等名 第2回文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る - 加速器が紡ぐ文理融合の地平 -
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro MINAMI, Akira SATO, Kazuhiko NINOMIYA, M. Kenya KUBO, Dai TOMONO and Yoshitaka KAWASHIMA
2. 発表標題 Non-destructive elemental analysis of archaeological metal materials using muonic X-rays
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第179・181回春季講演大会国際セッション「Current developments in nondestructive analysis using synchrotron radiation, neutron, and muon-towards application of cultural heritage research- (国際学会)」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤朗
2. 発表標題 大阪大学RCNP-MuSIC施設とミュオン分析
3. 学会等名 第2回 文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る - 加速器が紡ぐ文理融合の地平 -
4. 発表年 2019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	佐藤 朗 (SATO Akira) (40362610)	大阪大学・大学院理学研究科・助教 (14401)	

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	三船 温尚 (MIFUNE Haruhisa) (20181969)	富山大学・学術研究部芸術文化学系・教授 (13201)	
研究分担者	長柄 毅一 (NAGAE Takekazu) (60443420)	富山大学・学術研究部芸術文化学系・教授 (13201)	

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