

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：12606

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H01358

研究課題名(和文)放射光X線CTによる非破壊での日本刀の体系的な研究：作刀技術解明にむけて

研究課題名(英文)A systematic study of Japanese swords by non-destructive method using synchrotron X-ray CT : toward the elucidation of sword making techniques

研究代表者

田中 眞奈子 (Tanaka, Manako)

東京藝術大学・大学院美術研究科・准教授

研究者番号：70616375

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の1年目には地鉄や作刀技術に特徴のある日本刀の分析を、2年目には室町時代以降の日本刀のなかでも新刀、新新刀ならびに現代刀を中心に放射光X線CT分析を行った。3年目以降、最終年度まで、幅広い時代の日本刀を調査し、最終的に目標としていた120振を超える日本刀の体系的な非破壊分析を達成した。日本刀の黄金時代と言われる鎌倉時代中期の相州(正宗)、山城(粟田口派、来派)、備前(一文字派)の各地域の日本刀の名刀の分析も行い、刀剣史、文化財科学、放射光分析、刀匠をはじめとする学際的研究メンバーにより時代、地域、作家ごとの日本刀の内部構造・制作技術の違いについて検証を行うことが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、最新の放射光X線CT技術を日本刀の体系的な研究に応用し、非破壊で日本刀の鋼中の数十～数百マイクロサイズの非金属介在物を高分解能で観察することで、秘伝とされてきた日本刀の具体的な作刀技術を解明することを目的としている。世界的にもその機能性や美しさが評価されている日本の代表的な文化財である日本刀を5年間で120振り以上分析し体系的な調査を行う本研究は、非常に学術的意義と独自性に富む研究である。近年日本刀に対する社会的な興味・関心が高まっており、経験に基づき行われてきた日本の作刀技術の解明および保存・伝承につながる本研究の意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In the first year of this study, we analyzed Japanese swords that have distinctive characteristics and in the second year we analyzed Japanese swords from the Muromachi period onward using synchrotron X-ray CT. From the third year to the final year of the project, Japanese swords from various periods were investigated. A systematic nondestructive analysis of more than 120 swords was achieved, which was the goal of this project. We analyzed precious Japanese swords from the Soshu (Masamune), Yamashiro (Awataguchi and Rai schools), and Bizen (Ichimonji school) regions during the mid Kamakura period, which is considered the golden age of Japanese swords. We were able to verify differences in the internal structure and production techniques of Japanese swords by period, region, and artist through interdisciplinary research members including sword history, conservation science, synchrotron radiation analysis, and swordsmith.

研究分野：文化財科学

キーワード：日本刀 放射光 非破壊分析 X線CT

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

美術工芸品として、そして武器としても世界的に高い評価を受けている日本刀の制作技術は、勘や経験に基づき感覚的に行われてきたため解明が難しく、保存・伝承が喫緊の課題となっている。一般的に日本刀は、炭素量の低い心鉄といわれる鋼と、炭素量の高い皮鉄といわれる鋼を組み合わせて制作されると考えられているが、実際の材料の組み合わせ方は様々で、内部に心鉄を入れない無垢の他、まくり、甲伏せ、本三枚、四方詰など様々な材料の組み合わせがある。この材料の組み合わせ方は日本刀特徴の一つである地鉄の模様(地肌)を決定する要因の一つとなっており、作者や流派(地域)、地域等によって違いがあるが、具体的な方法は秘伝とされてきた。日本刀の内部構造は外観からは推測することが出来ないため、詳細を知るためには従来は文化財を切断して金属組織観察をすることが必要であった。これまで、いくつかの日本刀について金属組織学的研究がなされてきたが、貴重な文化財の破壊分析となるため分析事例は非常に少なく、特定の作家、流派(地域)、時代などに焦点をあてた日本刀の体系的な調査は僅かしか行われていない。そのような背景の中、研究代表者はこれまで、各計測技術の専門家らと共に最新の分析技術を用いた鉄鋼文化財の非破壊での研究に取り組んできた。具体的には、科学研究費補助金若手(A)研究(平成26年度・平成29年度「パルス中性子及び高エネルギーX線を用いた鉄鋼文化財の非破壊分析手法の確立」)で、中性子とX線を用いた鉄鋼文化財の非破壊分析手法の確立にむけた研究に取り組んだ。なかでもX線を用いた鉄鋼文化財の非破壊研究では、大型放射光施設 SPring-8 の高輝度の放射光 X 線を用いることで、鋼中の Fe、O、Si、Al などからなる数十～数百ミクロンサイズの非金属介在物の分布や配列を観察することが出来る、という画期的な成果を得た。通常の X 線エネルギーでは鉄の厚さの影響で鉄鋼文化財内部の詳細情報を得ることは難しいが、SPring-8 の BL28B2 で得られる 200keV の高エネルギー X 線を用いれば厚さ 2cm の鉄で透過率 10% が得られ、しかも実効画素サイズ 16.09 $\mu\text{m}$  という高分解能で CT 画像を得ることが出来た。ビームライン担当者らの協力のもと様々な検証ならびに空間分解能や密度分解能の調整を行った結果、非破壊でも鋼内部の非金属介在物を明確に確認できるようになった。本研究では、この画期的な放射光 X 線 CT を用いた非破壊分析技術を日本刀の体系的な研究に応用し、勘や経験に基づき感覚的に行われ、また秘伝とされてきた日本を代表する文化財である日本刀の具体的な作刀技術、具体的には「作者や流派(地域)、時代毎にどのような技術が用いられ、創意工夫がなされてきたのか？」その全体像を解明し、保存・伝承につなげていきたい。

### 2. 研究の目的

本研究は、最新の放射光 X 線 CT 技術を日本刀の体系的な研究に応用し、非破壊で日本刀の鋼中の数十～数百ミクロンサイズの非金属介在物を高分解能で観察することで、秘伝とされてきた日本刀の具体的な作刀技術を解明することを目的としている。刀剣の専門家や博物館、放射光分析の専門家他と学際的な研究グループを組織し、作者や流派(地域)、時代に焦点を絞り 5 年間で 120 振を超える日本刀を体系的に分析することで最終的に日本刀の黄金時代と言われる鎌倉中期の作刀技術を解明することを目的とする。

### 3. 研究の方法

- (1) 放射光 X 線 CT 測定：大強度、200keV の高エネルギー X 線を使用出来、実効画素サイズ 16.09 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 、視野 30mm $\times$ 1.7mm と日本刀(厚さのある鋼素材)の CT 測定を行うのに相応しい SPring-8 の BL28B2 で実験を行った。
- (2) 顕微鏡観察、蛍光 X 線分析など：日本刀の放射光 X 線分析を通して不明な点が出てきた際は昭和女子大学、岐阜県産業技術総合センター、東京藝術大学の分析機器を用いて検証を行った。

### 4. 研究成果

(1) 初年度は「研究実施計画」に沿って、地肌や作刀技術に特徴のある日本刀等に焦点を絞り研究を進め、八雲鍛えと言われる地肌が特徴の徳川齊昭公作日本刀(徳川ミュージアム所蔵)をはじめ幕末の水戸刀名品などの調査を行った。また、滋賀県甲賀市の藤栄神社所蔵で、ヨーロッパの西洋式長剣が国内で唯一伝世した作例と考えられる十字形洋剣の調査も実施した。大型放射光施設 SPring-8BL28B2 の 200keV の高エネルギー X 線 CT により、各刀剣内部の特徴的な非金属介在物の配列を明瞭に観察することが出来た。十字形洋剣は折り返し鍛錬の形跡がみられ日本で制作された可能性が高く、洋剣の由来につながる非常に大きな成果を得た。

(2) SPring-8BL28B2 で日本刀をより安全に早く測定するための高精細 X 線マイクロ CT の開発を行った。投影ライブ画像を見ながらリモートで試料の位置微調整が可能な調整機構を開発・導入することで、試料の位置合わせに要する時間や労力を大幅に低減することができ、より効率的な

計測が可能となった。

(3) 2年目には、新型コロナウイルス感染拡大による移動制限により SPring-8 での実験が出来ない期間があったが、最終的に当初の計画通り、室町時代以降の日本刀の調査を行うことが出来た。1年目に実施した地肌や作刀技術に特徴のある日本刀の調査結果を踏まえ、室町時代以降の日本刀のなかでも新刀、新新刀ならびに現代刀の非破壊分析を行い、鉄原料の性質の違いが日本刀の地肌にどのように影響を与えているか検証した。特に新刀の代表である江戸新刀、大阪新刀ならびに肥前刀の名品の放射光 X 線 CT 分析に取り組み、その作刀技法の比較・検証を行うことが出来た。

(4) 3年目も新型コロナウイルス感染拡大による活動制限により SPring-8 での実験が出来ない期間があったが、本研究の最終目的でもある日本刀の最高峰と言われる鎌倉時代中期の日本刀名刀の X 線 CT 分析に取り掛かることが出来た。具体的には、徳川ミュージアム所蔵の被災刀剣を中心に、山城（来派）や備前（一文字派）の日本刀を分析し、時代、地域、作家ごとの日本刀の内部構造・制作技術の違いの検証を行った。

(5) 分析技術の開発においては、高エネルギー X 線マイクロ CT による試料の高精細計測で生成される大容量のデータを、効率よく転送・保管するためのネットワーク接続型の大容量ストレージの導入に取り組んだ。

(6) 4年目にはより多くの鎌倉時代の日本刀を分析することが出来た。具体的には相州（正宗）、山城（栗田口派、来派）、備前（一文字派）の各地域の名品である日本刀を分析し、時代、地域、作家ごとの日本刀の内部構造・制作技術の違いの検証を行った。また、日本刀との比較として、日本刀が成立する以前の刀剣である蕨手刀の分析も行うことが出来た。

(7) 最終年度には当初の計画通り、幅広い時代に制作された日本刀の調査に取り組んだ。日本刀の最高峰と言われる鎌倉時代中期の日本刀を中心に X 線 CT 分析に取り組み、時代、地域、作家ごとの日本刀の内部構造・制作技術の違いの検証を行った。鎌倉時代前後の時代の刀剣の分析にも集中的に取り組んだ。また、日本刀との比較の為、日本刀が成立する以前の出土刀剣の分析も行うことが出来た。最終的に、目的としていた 120 振を超える日本刀の体系的な非破壊分析を達成した。X 線 CT 分析により得られた結果について研究分担者、研究協力者をはじめとする各分野の専門家達と議論し、作刀技術の解明にむけた多角的な考察を行った。

(8) 研究成果は、国内外の学会などでの発表（招待講演、一般講演）を通して積極的に公表すると共に論文化の準備を進めた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田中 真奈子	4. 巻 10月号
2. 論文標題 文化財：量子ビームを用いた非破壊分析の最新動向	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ぶんせき	6. 最初と最後の頁 533-539
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 Laszlo Szentmiklosi, Zoltan Kis, Manako Tanaka, Boglarka Maroti, Masato Hoshino, and Katalin Bajnok	4. 巻 14 September
2. 論文標題 Revealing hidden features of a Japanese articulated iron lobster via non-destructive local elemental analysis and 3D imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry	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） 10.1039/D1JA00261A	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 田中 真奈子	4. 巻 91(3)
2. 論文標題 特集「文化財への応用が期待される量子ビームを用いた非破壊分析技術」特集にあたって	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 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 Ikemoto Yuka, Tanaka Manako, Higuchi Tomohiro, Semba Toshiro, Moriwaki Taro, Kawasaki Emi, Okuyama Masayoshi	4. 巻 5
2. 論文標題 Infrared Synchrotron Radiation and Its Application to the Analysis of Cultural Heritage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 28 ~ 28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/condmat5020028	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 星野真人, 上杉健太郎, 八木直人	4. 巻 91(3)
2. 論文標題 放射光を用いた高エネルギーX線マイクロCTの開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 4-13
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 Masato Hoshino, Kentaro Uesugi and Naoto Yagi	4. 巻 27
2. 論文標題 Development of an X-ray imaging detector for high-energy X-ray microtomography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Synchrotron Rad	6. 最初と最後の頁 934-940
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15件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 阿部 善也 ・ 田中 真奈子
2. 発表標題 放射光 X 線分析の文化財への応用
3. 学会等名 SPring-8シンポジウム2021(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星野 真人
2. 発表標題 放射光を用いた高エネルギーX線マイクロCTの現状と文化財試料等への応用
3. 学会等名 第5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- (オンライン) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星野 真人
2. 発表標題 白色X線を用いた高エネルギーX線マイクロCTの現状
3. 学会等名 SPRUC高圧物質科学研究会・地球惑星科学研究会合同研究会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 真奈子
2. 発表標題 放射光と中性子の相補利用による鉄鋼文化財の非破壊分析手法の確立ー火縄銃・日本刀・自在置物の研究成果報告ー
3. 学会等名 社会・文化利用課題成果報告会/第40回SPring-8先端利用技術ワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 真奈子
2. 発表標題 文化財分析への放射光応用の事例報告
3. 学会等名 文化財科学への放射光応用推進連絡会ワーキンググループ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 真奈子
2. 発表標題 量子ビームを用いた鉄鋼文化財研究の新展開ー火縄銃・日本刀・自在置物の非破壊分析を通してー
3. 学会等名 第1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ー(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Manako Tanaka
2. 発表標題 Nondestructive study of cultural objects using neutron and X-ray imaging to clarify their material characteristics and manufacturing techniques
3. 学会等名 Museum of Fine Arts, Boston (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部善也、降幡順子、田中真奈子
2. 発表標題 放射光 X 線分析の文化財への応用
3. 学会等名 SPring-8シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷 予志生、細野 幸太、小川 大介、田中 真奈子
2. 発表標題 江戸時代末期に制作された日本刀の内部構造調査
3. 学会等名 日本金属学会秋期 (第165回) 講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 真奈子
2. 発表標題 SPring-8による刀剣研究最前線：制作技術の解明にむけて
3. 学会等名 東京文化財研究所第53回オープンレクチャー かたちからの道、かたちへの道 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 真奈子
2. 発表標題 非破壊での鉄鋼文化財研究の新展開：放射光・中性子・ミュオンの相補利用の可能性
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－（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Manako Tanaka
2. 発表標題 Application of synchrotron radiation and neutron to cultural objects:Toward elucidation of the manufacturing techniques and materials that are being lost
3. 学会等名 Conservation Department, The Palace Museum, China（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Manako Tanaka, Yoshiki Mizutani, Masato Hoshino and Kentaro Uesugi
2. 発表標題 Nondestructive study on traditional Japanese swords using synchrotron X-ray CT to clarify the characteristics of sword-making techniques
3. 学会等名 The 179th ISIJ meeting, International session（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masato Hoshino, Kentaro Uesugi and Naoto Yagi
2. 発表標題 Development of high-energy X-ray microtomography at SPring-8: current status and application to metallic cultural heritage
3. 学会等名 The 179th ISIJ meeting, International session（国際学会）
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 星野真人
2. 発表標題 Spring-8における超高エネルギーX線マイクロCTの現状
3. 学会等名 第4回Spring-8/SACLA先端利用セミナー(オンライン)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 渡邊妙子, 原田 一敏	4. 発行年 2020年
2. 出版社 小学館	5. 総ページ数 354
3. 書名 名刀大全	

〔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	星野 真人 (Hoshino Masato)  (30508461)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・分光推進室・主幹 研究員  (84502)	
研究分担者	原田 一敏 (Harada Kazutoshi)  (20141989)	東京藝術大学・学内共同利用施設等・客員教授  (12606)	

	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
研究協力者	水谷 予志生 (Mizutani Yoshiki)		

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
---------	---------