

氏名	田中眞奈子
学位の種類	博士（文化財）
学位記番号	博美第352号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位論文等題目	〈論文〉火縄銃に用いられた鋼の微細構造と腐食挙動に関する金属組織学的研究
論文等審査委員	
（主査）	東京芸術大学 教授（美術学部） 桐野文良
（副査）	〃 〃（ 〃 ） 稲葉政満
（ 〃 ）	〃 〃（ 〃 ） 永田和宏
（ 〃 ）	〃 〃（ 〃 ） 藪内佐斗司
（ 〃 ）	〃 〃（ 〃 ） 篠原行雄
（ 〃 ）	〃 名誉教授 北田正弘

（論文内容の要旨）

1. 緒言

火縄銃は室町時代後期に日本へ伝来し、明治時代に入るまで国内で製造された。銃身の原料には砂鉄を用いた日本古来のたたら製錬による鋼だけでなく、鉄鉱石由来の輸入鋼も使われていたと伝えられているが、材料科学的な研究は少なく不明な点が多い。また、火縄銃の銃身は鍛造品であるが、製造方法は秘伝とされてきたため詳細は伝えられていない。従来の火縄銃の研究では、文献史学および型式学的な研究が多くなされてきたが、金属組織学的研究はほとんど行われていない。本研究の目的は、わが国近代化の礎になった主要な鉄鋼文化財である火縄銃および管打銃（洋式銃）の金属組織、非金属介在物および表面生成物の分析を通して、鉄鋼原料の由来、製造方法、表面処理の有無および表面劣化挙動などを明らかにし、鉄鋼文化財の保存に関する基礎的な知識を蓄積して、その保存技術向上に寄与することである。

2. 研究方法

火縄銃2挺および管打銃1挺（北田正弘提供）から試料を採取し、金属組織、非金属介在物および表面生成物を調べた。鋼の炭素量は化学分析により測定した。金属組織等は光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡および透過電子顕微鏡を用いて観察した。エネルギー分散型X線分析装置で組成を分析し、波長分散型X線分析装置で元素の分布状態を求めた。電子線後方散乱像の解析を行い、X線回折装置で結晶構造を同定した。pH=8.45と5.45での電流-電位曲線を測定し、銃身素材の電気化学特性を求めた。ビッカース硬度計と引張り試験機で機械的性質を測定した。また、内部微細構造の寄与を明らかにするため、試料を焼鈍（700°Cx1h）した。

3. 研究結果および考察

（1）江戸時代に製造された火縄銃の金属組織学的研究

銃身中央部は炭素量0.01～0.1mass%の極低炭素鋼から低炭素鋼である。非金属介在物の分布から、本試料は一枚の鋼板を巻いて製造された「饅頭張り」と呼ばれる製造法を用いた銃である。透過電子顕微鏡観察で結晶内部に双晶や転位が確認され、転位はセメンタイト（Fe₃C）粒子に絡んだ状態でピン止め

されている。焼鈍により結晶粒の粗大化が観察され、ビッカース硬度と引張り強度も低下し、応力ひずみ曲線には降伏現象が現れた。これらの結果から、銃身は熱間鍛造の後に室温近傍で鍛造され、強化されている。銃身中央部の非金属介在物に含まれる元素はFe、Si、Al、Ca、K、Mg、P、NaおよびTiである。日本産の砂鉄は概してTiを含み、鉄鉱石や輸入鋼のTi含有量は極めて低いことから、用いられた原料は砂鉄と考えられる。本試料には防食のための表面処理の痕跡がなく、地鋼表面近傍にはマグネタイト (Fe_3O_4) が生成し、その上には α -Fe00H、 β -Fe00Hおよび γ -Fe00Hなどのオキシ水酸化鉄が生成している。銃身試料のpH=8.45およびpH=5.45における電気化学特性は、高純度鉄と同様の高耐食性を示した。

(2) 3挺の銃の相互比較

火縄銃2挺および管打銃1挺の銃身中央部はいずれも極低炭素鋼から低炭素鋼で α Fe組織である。銃口部はいずれも銃身中央部より炭素量が高い低炭素鋼から中炭素鋼で、 α Feとパーライトからなる組織である。3試料の非金属介在物の分布は同心円状で、一部が鍛接された「鯢鮓張り」銃身である。江戸時代に製造された火縄銃と幕末に製造された管打銃は、銃口部全体の炭素量を銃身中央部より高くしているのに対して、国友鉄砲鍛冶製の火縄銃では、銃口部に炭素量の高い鋼板を巻いて補強している。2挺の火縄銃は雄ねじ、雌ねじともに切削法で製造されている。いずれの銃も、非金属介在物からTiが検出されたことから、砂鉄原料と考えられる。ただし、3試料の非金属介在物の内部組成および内部構造には違いがみられ、これらは砂鉄産地などの特徴や、銃身の加工プロセスに由来すると考えられる。江戸時代に製造された火縄銃銃身には防食処理の痕跡がないが、他の2挺の銃身には表面処理が施されており、黒色のマグネタイト (Fe_3O_4) 層が形成されている。表面処理が施されていない銃および表面処理が施された銃の銃床や柑子が嵌め込まれていた領域では、地鋼およびマグネタイト層の腐食生成物である赤褐色のオキシ水酸化鉄が生成している。

4. 結 言

本研究によって、火縄銃と管打銃の銃身に用いられている鋼の炭素量、金属組織、非金属介在物、機械的性質および電気化学的性質などで多くの新しい知見が得られ、火縄銃の金属組織学的な基礎を確立することが出来た。これはわが国の貴重な文化財である火縄銃の保存や修復において非常に有用なデータである。また、金属組織学的分析を通して、銃身に用いられている原料や製造方法についても明らかにした。特に銃身の製造方法については、江戸時代の文献の自然科学的裏付けを行うとともに、文献では示されていない具体的な加工方法も明らかにすることが出来た。情報が失われつつある火縄銃の製造技術の保存・伝承という観点からも重要な結果が得られた。更に銃の表面生成物を同定し、銃の表面処理や鉄の腐食挙動について明らかにした。これは火縄銃だけではなく、広く鉄文化財の劣化や防食について検討する上で役に立つものである。

(博士論文審査結果の要旨)

申請論文は、江戸時代にわが国で異なる年代に製作された三丁の鉄砲の金属組織ならびに非金属介在物を詳細に解析することにより鉄砲の作られた工程ならびに用いられた鉄原料を明らかにするとともに銃身表面の表面層を解析することにより表面処理の可能性ならびに腐食層の構造などの解析結果などの成果をまとめている。また、銃身と並び銃床も鉄砲を形造る重要な部分であり、その部分についても用いられた樹種の同定を行っている。

鉄砲の製造方法は各藩の極秘事項であるので文献等はほとんど残されていない。本研究では偏光顕微鏡、走査型電子顕微鏡および透過電子顕微鏡など材料科学的手法を駆使して金属組織観察を中心に製造技法の推定を行っている。また、偏光顕微鏡や透過電子顕微鏡による観察から、銃身に用いられた鉄鋼

材料の特徴を明らかにするとともに、製作当時の製錬技術を推定している。用いた鉄は高分解能走査型電子顕微鏡ならびに電子後方散乱回折法（EBSP）による介在物の詳細な解析から国産の砂鉄であることを示唆する結果を得ている。さらに、上述の研究手法により三丁の鉄砲の金属組織観察結果の比較から材料的な共通点と異なる点を相互比較することにより鉄砲に用いられた材料科学的な特徴を明らかにしている。これと同時に、本研究で用いた手法が金属文化財の材料研究において有効な手法であることを示している。さらに、銃身の表面層を解析することにより、腐食の状態や表面処理について明らかにしている。表面処理は装飾を目的とすると同時に防食の効果も得られることを推定している。さらに、銃身に施された象嵌などの装飾も詳細に研究している。このように、鉄砲に用いる材料としての特徴を明らかにすると同時に、製造方法や用いられた原料まで推定している。本研究のようにナノメータオーダーでの研究により鉄砲に用いられた材料を明らかにした例はほとんど報告されていない。

本研究に用いた手法は、鉄砲を始め様々な鉄鋼文化財の材料科学的研究に研究手法として用いることができる保存科学的に重要な基礎研究としても評価できる。本研究の成果は審査付きの学会投稿論文として3報がすでに公開され2報が執筆中である。また、学会講演は19件（国際学会での講演が1件、招待講演が1件を含む）である。以上のことから、本申請論文は博士（文化財）の学位を授与するのに相応しいと内容および水準であると判断できる。

以上