

現代科学から見た鉄炮用鉄の魅力

丸 山 徹

要 旨：金属組織は製品の製法履歴によって形成することから、製造法の伝承が途絶えた金属製品の製法を研究する手段として期待される。本報告では火縄銃の金属組織を調査した文献から江戸時代における鉄炮の金属組織と現代の鉄鋼組織を対比し、そこから認められる鉄炮の製造技術と鉄素材の特徴を検討した。

キーワード：火縄銃、製鉄、金属組織、鍛造、鍛冶滓

1. はじめに

18世紀のイギリスで始まった西洋の近代製鉄では、現代の技術にすると1日の高炉操業で約1万トン¹⁾の銑鉄が得られる。銑鉄は炭素含有量の多い鉄合金であり、たたら製鉄の銑（ずく）に相当する。これに対して江戸時代のたたら製鉄では、1回の操業で得られる鉄（鋳（けら）や銑）は3～5トン²⁾であり、生産性の観点からは西洋の近代製鉄に遠く及ばない。一方で、近代製鉄では鋼を得るのには少なくとも2工程（高炉による製銑工程と転炉による製鋼工程）が必要であるが、たたら製鉄では1工程で鋼である鋳と銑鉄である銑の両方が得られる。これはたたら製鉄の魅力の一つといえる。鉄炮に用いられた鉄素材の多くは、銑から炭素を除くことのできる「大鍛冶」という脱炭工程を経て製造された包丁鉄と考えられている³⁾。現代の製鉄でも銑鉄からの脱炭工程があり、1600℃以上の高温で溶けた銑鉄に酸素を吹き込むことで鋼を得るが、大鍛冶ではそれよりも温度は低く、非溶融状態を経て高純度の鉄が得られる⁴⁾。比較的低い温度で鉄が得られるという点で大鍛冶は省エネルギーの観点からも興味深いプロセスである。このように鉄炮に用いられた鉄は冶金学的に興味深い、たたら製鉄とは異なり幾つかの資料はあるものの現代には継承されておらず、その詳細を知ることは難しい⁴⁾。また鉄炮の製造方法も現代には継承されておらず、その詳細を知るのは簡単ではない。現代であれば電動工作機械や溶接技術を利用して鉄炮を製造することを考えるが、産業革命前の日本で鉄炮が製造された事実からするとその技術や技能にかなりの工夫があったと想像される。鉄炮の製造方法に関する研究は少ないが、鉄炮銃身の金属組織や介在物を調査して製造方法を考察した報告がいくつかある。本報告では既報告の調査結果を現代の鉄鋼製造技術との対比から鉄炮鍛冶の技術と技能について検討した結果を報告する。

2. 鉄炮銃身の金属組織

2.1 金属組織中の介在物に関する研究

金属組織はその加工履歴や熱履歴によって形成されるため、鉄炮の製法や素材の強度特性などを知るうえで金属組織から得られる情報は重要な手掛かりとなる。齋藤ら³⁾は鉄炮銃身の金属組織中にはFe, Si, P, K, Caを主体としチタンをほとんど含まない介在物が存在することを報告しており、さらに銃身の金属組織の形態から銃身製法が「鯁鈍張り」か「葛巻」のどちらであるかについて識別できる場合があることを明らかにしている。田中ら⁵⁾は、鉄炮銃身の介在物の組成と構造を調査した結果、FeOが多くあり、FeO-SiO₂系の酸化物やAl₂O₃-SiO₂系の酸化物が認められ、他にも少量のP, K, Ca, Mg, Naを含むことを報告しており、齋藤らの報告³⁾と同様な結果が得られている。銃身中の介在物にFeOあるいはFeO-SiO₂系の酸化物が多いことは当時国内で製造されたと考えられる管打銃（洋式銃の一種）でも報告されており⁶⁾、火縄銃と同様な原材料で製造されたと考えられる。

金属組織中の介在物は素材に関する貴重な情報を示している。現代の製鉄技術であれば、鉄が完全に溶けるまで温度を上げることができるため、酸化物が溶けた鉄（溶鉄）中に存在しても浮上分離する。この場合、鉄中の介在物は浮上せずに懸濁した微小なものか溶鉄中に溶けていた成分が鉄の凝固によって分離して生成したものである。そのため現代の鉄鋼中の介在物から得られる製鉄過程の情報は限られている。一方、たたら製鉄で得られる鋤や大鍛冶で得られる包丁鉄では溶融物と固体の鉄が共存する状態で生成するため、酸化物等が介在物として鉄の中に残るとその分離は難しい。この場合、製鉄過程の反応生成物が鉄中の介在物として残っている可能性がある。鉄炮の素材は鋤ではなく主に包丁鉄であると考えられているので、鉄炮中の介在物は大鍛冶によって生成する酸化物であると考えられる。そのため大鍛冶によって生成する滓に関する情報や鍛冶工程で生じる鍛冶滓に関する情報が増えれば、それらの情報と鉄炮の銃身中に存在する介在物との関係を調べることで鉄炮の製法に関するより詳細な検討が可能になると考えられる。

2.2 金属組織中の金属相に関する研究

田中ら⁷⁾は、鉄炮銃身の金属組織を調べた結果、刀剣に見られるパーライト組織はほとんど無く、ほぼ純鉄であるフェライト（ α 相）の組織がほとんどであることを報告している。また、そのフェライト結晶粒の一部は双晶を含む結晶粒で結晶粒径の大ききのばらつきは大きいことを明らかにしている。双晶の存在は、鉄が比較的低い温度で叩かれたことを意味しており、結晶粒径のばらつきが大きいことは金属組織が均質でないことを意味している⁷⁾。現代の加工技術では、温度と圧延率をコントロールして均質な金属組織を得るのが基本である。金属組織が不均一であるということは、鍛造加工中の温度や鉄を叩く強さや回数が場所によって異なることを意味している。

上述の通り、鉄炮銃身の金属組織にはパーライト組織がほとんど無いと報告されているが、局部的にその存在が認められている^{7,8)}。例えば、田中らが調査した火縄銃（製造年代：推定1624～1644年）では、銃身の外周表面、銃口付近、目当て部及び銃尾ねじ部の一部にパーライト組織が認められている⁷⁾。久保田ら⁸⁾が調査した火縄銃（製造年代：推定1851年）でも、ほとんどが α 相であるが、銃尾ねじ部にはパーライト組織の存在が報告されている。さらに、田中らが江戸元禄時代（1688～1704年）に国友で製造された火縄銃の金属組織を調べた報告では、銃身中央部外周の埋金、銃口付近の外周部及び銃尾ねじ部の一部にパーライト組織を認めている⁹⁾。

図1にナイトール液で腐食して現出させた金属組織の光学顕微鏡写真と鉄中の炭素量の関係を示す。図中の色の濃い部分がパーライトである。硬い組織でありパーライトの量が多いと鋼の強度は向上する。一方で白色部の部分はフェライトである。フェライトはパーライトと比べて軟らかく、図1のようにフェライト中にパーライトが分布することで強度と延性を両立する鋼となる。鋼中の炭素量が多くなるとパーライトの量も多くなり、パーライトの量が増加すると鋼の強度は増加するが、脆さも増大し耐衝撃性は低下する。そのため刀剣では刀身本体の炭素量は低めにしておき、刃先の炭素量を増加させるなどの工夫がされるが、鉄炮銃身の炭素量は低く銃身のほとんどがフェライトである。

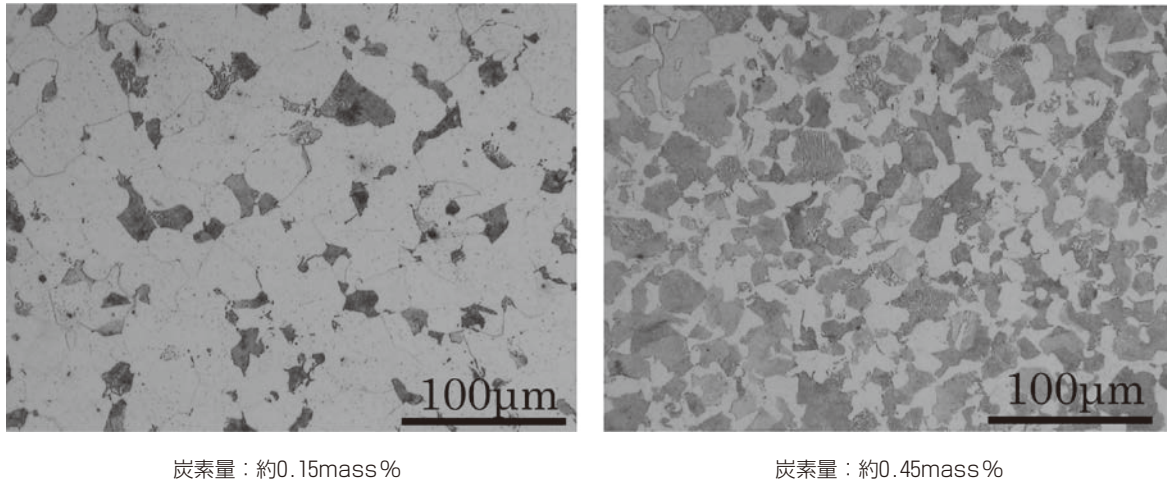


図1 炭素鋼の光学顕微鏡組織

ほとんどがフェライトであることは鉄炮の品質向上につながっている可能性があり、当時の技術的な工夫であると考えられる。鉄炮に用いた鉄中の介在物量は現代の鋼に比べて明らかに多い。介在物は破壊の起点となりうるため、何も考えずに当時の鉄を筒状に加工しただけでは、発射時の衝撃に耐えられないと想像される。銃身の金属組織の大半を構成するフェライトの強度は高くないが、鉄炮発射時の衝撃に対する緩衝材となり得る。介在物の多い素材を用いながらも発射時の安全性を向上させる意味ではフェライトの組織を積極的に活用するのが合理的と考えられる。

2.3 金属組織から想像される鉄素材の使い分け

鉄炮に用いられた主な鉄素材である包丁鉄の炭素濃度は0.1～0.3mass%程度¹⁰⁻¹³⁾と考えると金属組織はフェライトと少量のパーライトの混合組織である。鉄炮銃身のフェライト組織の炭素濃度は0.1mass%以下であり⁵⁻⁹⁾、包丁鉄の炭素量よりも低いようである。予め脱炭して用いたか、鍛冶工程で脱炭されたと考えれば理解できる。一方で、銃身のパーライト組織の量が多い箇所では、0.1～0.4mass%程度⁶⁻⁹⁾の炭素量と推定されており、包丁鉄以外の素材を用いた可能性が考えられる。江戸元禄時代に国友で製造された火縄銃の銃口部外周には炭素量が約0.2～0.3mass%の鋼が巻き付けられており⁹⁾、異なる素材を組合す技術が用いられている。現代の技術であれば、鉄中の炭素濃度を増加させる「浸炭」を行えば、外周部のみ炭素量を多くすることは可能であるが、当時は炭素量の高い鋼を銃身外周に巻き付けたと考えられており⁹⁾、異なる素材を接合する技術に優れていたことが想像される。

銃口外周部以外にも鍛造加工時に生じる鉄と鉄のつなぎ目に相当する部分に炭素量の多い小片状の素材が埋め込まれていることも報告されている^{7,9)}。鍛造加工時の鉄の表面は酸化するため、つなぎ目には酸化物層が入りこみ、つなぎ目の接合強度低下につながる。しかし、つなぎ合わせ面を接触加圧することで酸化物層が分断され鉄同士が直接接触する面積が増加して接合強度は向上する。類似の技術として現代では摩擦攪拌接合が知られている。ここで重要なのは接触加圧における加圧力が大きくないと鉄同士の強固な接合は期待できないことである。銃身を表面から叩くことで表面近傍の酸化物層は加圧力によって分断されるが、銃身の主な素材であるフェライト組織の鉄は衝撃を吸収する性質に優れるので叩いた力は銃身内部に分散・減衰し、内部の酸化物層分断や鉄同士の強固な結合は得られにくい。一方でフェライトよりも硬い鋼片を銃身表面から叩き込めば加圧力は銃身内部まで伝わるのでつなぎ目の広範囲で接合強度の向上が期待できる。

目当ての部分には介在物の多い鉄素材が用いられており^{7,8)}、介在物が多いと強度は低くなるが衝撃の加わらない箇所には強度の低い素材で問題ないことから⁸⁾、適材適所で貴重な鉄を有効利用していたとも考えられる。

3. おわりに

鉄炮用の鉄は純鉄に近いフェライト組織を有する鉄であるが、部分的に強度の高い鋼や介在物の多い素材が用いられており、当時の工夫によると考えられる。どのような素材がどの程度使われていたかについては鉄炮製造の知るうえで重要であるが、鉄炮の製造技術は途絶えており、直接知ることは困難である。金属組織から分かること以外にも、鉄炮鍛冶工程で生じる滓も製造過程を考えるうえで貴重な情報になると考えられる。

図2に井上関右衛門家の敷地内から発掘された滓とみられる塊をX線CTで測定した断面像を示す。上部には色の濃い部分が認められ、中央部は明灰色であり、下部には白色部分が認められる。黒色は空洞部と考えられる。これら色の違いについて詳細に調べることで、鉄炮の鍛冶工程に関する新たな知見が得られることを期待したい。

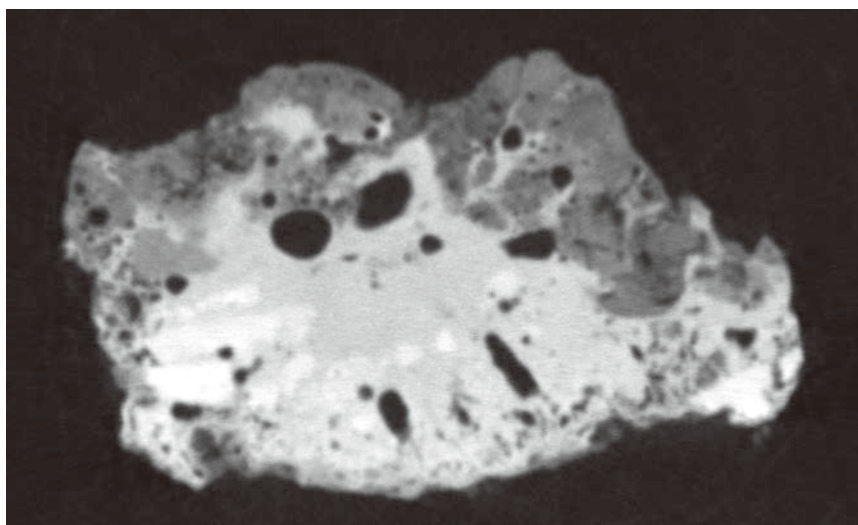


図2 井上関右衛門家の敷地内から見つかったスラグのX線CT像

謝辞

本研究は、2022年度関西大学なにわ大阪研究センター基幹研究班において、研究テーマ「鉄砲鍛冶屋敷井上関右衛門家に関する堺市との共同調査に基づく鉄砲ならびに「モノ作り」に関する研究」として研究費を受け、その成果を公表するものである。本研究を進めるにあたり、貴重な情報をいただいた井上関右衛門家に深く感謝する。また、関連の機会を提供いただいた堺市文化財課の関係者に謝意を表する。

参考文献

- 1) 奥野嘉雄：日本機械学会誌, 102 (1999), p.336-337
- 2) 館充：日本機械学会誌, 82 (1979), p.1228-1233
- 3) 齋藤努、坂本稔、高塚秀治：国立歴史民俗博物館 研究報告, 177 (2012), p.179-219
- 4) 齋藤努、高塚秀治、宇田川武久：国立歴史民俗博物館 研究報告, 136 (2007), p.237-261
- 5) 田中真奈子、北田正弘：日本金属学会誌, 74 (2010), p.250-257
- 6) 田中真奈子、北田正弘：日本金属学会誌, 74 (2010), p.779-787
- 7) 田中真奈子、北田正弘：日本金属学会誌, 73 (2009), p.778-785
- 8) 久保田俊輔、峯田元治、安井純一、中江秀雄：鉄と鋼, 97 (2011), p.566-571
- 9) 田中真奈子、北田正弘：日本金属学会誌, 76 (2012), p.489-495
- 10) 窪田蔵郎：「鉄の考古学」, 雄山閣 (1973), p.281
- 11) 中江秀雄：鑄造工学, 85 (2013), p.452-462
- 12) 矢野武彦：金属材料, 9 (1969), No.9
- 13) 清永欣吾：まてりあ, 33 (1994), p.1453-1458

(まるやま とおる 関西大学化学生命工学部教授)

