江戸時代後期に製作された火縄銃の特異組織と製法

久保田 俊輔*・峯田 元治*²・安井 純一*³・中江 秀雄*³

Unusual Structure and Fabrication Process of Japanese Matchlock Gun (*Hinawajuu*), Made at the Late EDO Period

Shunsuke KUBOTA, Motoharu MINEDA, Junichi YASUI and Hideo NAKAE

Synopsis : The metallurgical macro- and micro-structure, and the residual stress of the Japanese matchlock gun, fabricated at the late Edo period, have been investigated with an optical microscope, an SEM, an EPMA and an X-ray residual stress meter for estimating the fabricating process and their materials. This gun was fabricated by *Udonbari* (in Japanese) process, which is similar to that of the Russell's method, tubes was created by the joining together opposite edges of a flat iron strip with an iron core bar. The joining line was wavy. Their residual stress was mainly compressive and the values were from 180 to 280 MPa in the longitudinal direction and from 240 to 380 MPa at the transverse direction.

The gun was made of low carbon steel with equiaxed ferrite grains; their grain size was mainly 10 μm partly with 100 μm and exceptionally more than 1000 μm grains. Moreover, we find the special banded structure, consisted of fine ferrite grains bands and large ferrite grains bands.

The firing part was fabricated by the joining of five parts for getting the L-shape hole. The female screw was made by forging; therefore the shape was tapered screw and the male screw was cut from a low grade steel bar, confirmed by their macro-structure.

Key words: Japanese matchlock gun; *Hinawajuu*; residual stress; micro-structure; macro-structure.

1. 緒言

『鉄砲記』によれば天文12(1543)年に、種子島に鉄砲が伝来したと記されている。つまり、火縄銃が伝来したとは言わないと、歴史家は言う。「鉄砲」という記述はあるが、確かに「火縄銃」という表現はない¹⁾。しかし、我々は「火縄銃」「燧石銃」「管打銃」など、その機能面で銃を分類する必要性から、今回は火縄式発火装置をもつ銃を「火縄銃」と記述する。火縄銃の作り方を表した本としては、江戸後期に2書がある。一貫斎國友藤兵衛著『大小御鉄砲張立制作』と、棟居保春著『中嶋流砲術管闕録』である^{2,3)}。

火縄銃に関する著書¹⁻⁶⁾は多いが、そのほとんどが鉄砲伝来や内部構造・機構に関するもので、金属組織学的な報告は極めて少ない。火縄銃の金属組織に関しては最近、Tanakaらによる詳細な報告⁷⁻⁹⁾がなされているが、組織観察に重点が置かれており、製造法に関しては十分に触れられているとは言いがたい。製造法に関する報告^{2,10-12)}は極めて少なく、専門的な解析が望まれている。著者らは江戸後期に作製された火縄銃を入手した。そこで、そのマクロ、ミクロ組織の観察を中心に行い、X線による残留応力の測

定を試みた。これらの結果に基づいて各部位について調査・検討と、材質の特定を試みた。

2. 供試材

組織観察に供した火縄銃の外観と銃身、火皿部をFig. 1に示す。また、銃尾にはFig. 1(c)に示したように銘が刻ん

Fig. 1. Appearance of gun, barrel, firing and inscription parts.

平成23年4月21日受付 平成23年7月14日受理 (Received on Apr. 21, 2011; Accepted on July 14, 2011)

* 早稲田大学理工学術院大学院生 (現: 古河スカイアルミ (株)) (Graduate Student, Waseda University, 3-4-1 Okubo Shinjuku Tokyo 169-0051, now Furukawa-Sky Aluminum Corporation)

*2 (有) サンワーク (Sun-Works)

*3 早稲田大学材料技術研究所 (Laboratory for Material Science and Technology, Waseda University)

であり、「○津臣 佐藤○○」と読める。この銃の銃砲刀剣類登録証には、「登録番号記号 東京都 第216386号、銘文 沼津臣 佐藤○○○、昭和54年10月25日」と記載されている。これより、「沼津臣 佐藤長定」の作によるもので、江戸末期嘉永4（1851）年の作と思われる¹³⁾。登録証には、銃身は839mm、口径12mmと記されている。銃の外観形は八角形で、本体の重量は2140gである。

銃の外径（八角形の平行面の間隔）は銃尾で26.5mm、銃口での20.9mmと、銃尾から銃口に近づくにつれて銃身がしだいに細く（肉厚が薄く）なっていた。正確にはFig. 2の③近傍が最も細く、この部分を腰と称している⁴⁻⁶⁾。また、図中(b)下側に矢印で示した3つの突起物は、銃の固定用治具（目釘穴）である。

銃の切断・組織観察に先立ち、X線による残留応力の測定に供した。測定条件はX線応力測定法標準¹⁴⁾に準じた。測定条件は、並傾法で、平行ビームを用い、対陰極：CrK α 、Vフィルター、出力：30kV-8mAとした。測定結果をTable 1に示す。表より、縦・横方向ともに180~382MPaと比較的大きな圧縮の残留応力が残り、そして銃尾に近づくほどその値は大きい。圧縮の残留応力は、玉の発射時に内部で火薬が爆発した際には抵抗力となり、好ましい結果といえる。しかし、このような残留応力が故意に付与されたとは考え難く、鍛造時に自然に発生したものであろう。

この銃をFig. 2に示す位置、すなわち、①銃尾部、②中央部、③銃口部で縦方向に切断し、さらにこれらを中心で長手方向に切断し、縦方向（平行断面）と横方向（垂直断面）での組織観察に供した。

銃口の内径は①部、②部と③部、そして銃口部の切断面でノギスにより測定した。これらの値はいずれも13.5 $\pm$ 0.1mmとほぼ一定で、測定箇所による相違は認められな

Fig. 2. Cut position of barrel and appearance.

Table 1. Residual stress measured by X-ray diffraction method (MPa).

Position	① Rear	② Middle	③ Front
Direction			
Longitudinal	-283	-188	-180
Transverse	-382	-241	-298

かった。この加工には「もみしの」と呼ばれる鋼の錐^{3,12)}が用いられ、精度よく加工されていたことがわかる。また、この内径より使用された玉径は四匁玉といえる⁴⁾。銃尾端部の尾栓ネジ（雄ネジと雌ネジ）に関しては項を改めて記述する。

さび落としを行った②部の残材で、非金属介在物の少ない部分を選んで10mm程度フライス加工し、約10gの切粉を採取し、化学分析に供した。これらの切粉から、CとSは燃焼法(JIS G 1211と1215)にて、そのほかの元素は湿式法でJIS G 1212, 1213, 1214, 1219, 1223に準じて化学分析を行った。したがって、この分析値は平均組成を示している。しかし、この試料には一部に非金属介在物が含まれており、非金属介在物中のSiO₂の一部がSiとして分析された可能性もある。したがってSiの値は幾分高めの値が得られているかもしれない。化学分析の結果は次のとおりである。以下、本論文ではmass%を単に%で表記する。

0.03%C, 0.32%Si, Mn<0.005%, 0.030%P, 0.005%S, Cu<0.005%, Ti<0.005%

これより、本材質は極めて不純物の少ない、高純度低炭素鋼といえる。

3. 断面組織

3.1 平行断面組織

銃尾部①の平行断面のマクロ組織をFig. 3に示す。図で左上の突起物は前目当て（照準器）で、その中央部にはL字型の穴がけられている。これは「露切り」といって、雨露がたまって反射するのを防ぐためとか、夜間の射撃訓練でここに線香を立てたり、ホタルの発光部をここに付けて目当てを定めたりするのに使われたもの、とされている⁴⁾。

この図では明らかではないが、後述するようにこの銃身にはたくさんの大きな非金属介在物が内在されている。また、そのマクロ組織は極めて不均一なことがわかる。そして、前目当て部には特に大きな非金属介在物が水平方向に延ばされているのが確認できる。

Fig. 4に前目当て部の平行断面マクロ組織を示す。Fig.

Fig. 3. Macro-structure of rear portion of barrel and rear sight in longitudinal section.

Fig. 4. High magnification micro-structure of rear sight area in longitudinal section.

Fig. 5. Macro-band structure of barrel rear portion in longitudinal section.

Fig. 6. Micro-structure of band structure in longitudinal section.

4(a)は全体像で、(b)と(c)に目当て接合部の組織を示す。これより、目当て下部は本体との接合は不完全で、端部のみが鍛接されている様子がわかる。また、この部分には大きな非金属介在物が見受けられ、その量は本体部よりも極めて多い。目当ては照準器であり、荷重がかかる部位ではないため、粗悪な鋼が使われたことが推定される。また、組織写真は表示していないが、目釘穴（銃身の銃床への固定穴）が、①下部には1個、③下部には2個存在し(Fig. 1)、これも目当てと同様に簡易に鍛接されていた。

平行断面試料には多くの不思議な縦縞模様組織が観察された。②上部の縞模様組織をFig. 5に示す。これらの不思議な縞模様の高倍率組織はFig. 6に示すように、粗大なフェライトの等軸晶バンド部と微細なフェライト粒バンド部の繰り返りで構成されている。後述するように、この銃は「うどん張り」で製作されており、芯金（真）に鋼の平板を巻きつけて製造されている。芯金に平板を巻きつけ、高温で鍛造を行い、その後の冷却時に発生した引張応力により生成したものと考えられるが、詳細は不明である。このような組織はTanakaらの報告⁷⁻⁹⁾や、Sasakiの著書⁵⁾にも報告されていない。また、21/4Cr-1Mo鋼の溶接部の長時間応力除去焼なまし組織¹⁵⁾や、Sauveur¹⁶⁾、Honeycombeら¹⁷⁾

Fig. 7. Abnormal large ferrite grains in longitudinal section.

Fig. 8. Macro-structure of rear portion in horizontal cross section.

の言う Banded structure でもない。実に不思議な組織である。

このような不思議な組織とともに、結晶粒が著しく粗大化した部位が共存する。これらの結晶粒の粗大部（粒径で1mm以上）のマクロ組織をFig. 7に示す。この結晶粒は等軸晶であり、異常成長粒である。このような組織は、鍛造時の10%程度の加工度と800°C程度の焼なましで生成しやすいとされており¹⁵⁾、このような条件下で部分的に結晶粒が粗大化したのであろう。しかし、この銃身の最も代表的な組織はフェライトの等軸晶で、粒径が10μm部と100μm部の領域が混在している。

3・2 垂直断面組織

Fig. 2での①部の垂直断面組織をFig. 8に示す。図中の上端にある突起物は目釘穴で、これも鍛接されていることがわかる。また、図中の円弧状に白く見える模様は写真撮影時の照明の反射であり、組織ではない。Fig. 8で、四角で囲った部分(a)と(b)の拡大組織をFig. 9に示す。(a)は鍛接部と思われる箇所で、組織がほかと異なっていることがわかる。この断面での鍛接部と推定される部位を矢印で示した。これらの組織観察を多くの断面で繰り返すと、この銃では鍛接線は蛇行しているが、「うどん張り」の手法（巻張りではない）で制作されたことが判明した。また、銃身

Fig. 9. Micro-structure of rear portion in horizontal cross section. (a) Joined structure. (b) Widmanstätten ferrite.

Fig. 10. Cross-sectional micro-structure of firing part. (a) Appearance of firing pan and firing pan cover. (b) Fabrication process of firing part estimated with their micro-structure. (c) Cross sectional micro-structure of (c). (d) Cross sectional micro-structure of (d).

の肉厚は全体的には先端（銃口部）にいくほど薄くなっており、原材料の板の肉厚の不均一と、場所による加工度の変化で鍛造線が蛇行したと考える。しかし、図は省略したが、鍛接線の傾斜（方向）は途中で変化しており、Fig. 2の①、②部と③以下ではその法線方向が異なっており、箇所により鍛造の方向が異なっていることを推察させる。すなわち、加工途中で銃をひっくり返し、逆方向から鍛造したものと考えられる。従来にも、多くの報告でうどん張りの製法は確認されているが、鍛接線が蛇行しているとの報告はない。

一方、Fig. 9(b)は特異組織で、銃尾部にのみ観察され、ウィドマンステッテン・フェライト組織である。この組織は亜共析鋼を高温のオーステナイトから徐冷した際に現れやすい組織とされており、肉厚部の銃尾部にのみこの組織が現れたのであろう。

3・3 火皿部の組織と製造法

Fig. 1(c)に示した火皿部を、点火孔を中心に垂直方向に切断し（Fig. 1とは逆方向から）、その接合部の組織観察を行った結果をFig.10に示す。この図で、(a)で示した面は銃を構えた場合に身体から遠くなる面であり、Fig. 1(c)とは

Fig. 11. Appearance of repaired rear surface (a), and cross-sectional micro-structure (b) and (c).

反対側の面である。Fig.10の(e)と(f)に、(a)面を点線で切断した面の組織と、これらに基づいて加工法を解析した結果を(b)に示す。これらの組織観察により、火皿部は5つの部品を組み合わせて鍛接加工されているのが判明した。点火孔がまっすぐでは、火薬の爆発時の爆風が逃げやすいのを防止する目的でL字型に加工したのであろう。いかにL字型の点火孔を作製するのに苦労したかがうかがえる。点火孔をまっすぐではなく、L字型に曲げるためにこのような手の込んだ作業をしたことが理解できる。また、この部分の接合はほぼ完璧であり、目当て部(Fig. 4)や目釘穴部のような不完全な接合ではない。しかし、この部分は使用により痛みやすいので、修復の可能性も否定できない。

3・4 銃尾部の埋め込み

銃身表面部の酸化被膜を除き、軽く研磨・腐食し、マクロ組織の観察を行ったところ、Fig.11のように、数多くの埋込み補修箇所を見いだした。この補修が行われた面は側面で、銃を構えた際には身体から遠い部で、銃を構えたときに、他人の目に触れる面である。Fig.11(a)は外観であり、ここに4カ所の埋め込みが認められる。最大のものは(c)で、幅3mm、長さ35mm、深さ1mmであった。このような補修(?)は銃尾部に限定され、中央部や先端部には認められなかった。これは何を意味するのであろうか。一因は、銃尾部の肉厚が厚いことかもしれない。これら埋込み部と銃身の接着は不完全であり、強度の向上は期待できない。これら補修部には大きな介在物があって、それを取り除き外観をきれいにする仕上げ処理と考えられるが、詳細は不明である。この部分は火薬を爆発させる部分でもあり、強度が最も要求される箇所であり、このような補修でも発砲に耐えたのであろう。銃工の腕の悪さをごまかしたか、粗製乱造品ともみることができる。

3・5 銃尾部の尾栓ネジ部

3・5・1 雄ネジ

銃尾部の尾栓ネジ（雄ネジ・雌ネジ）に関しては Sasaki

の報告¹⁰⁾や、著者の一人、Mineda¹¹⁾の報告がある。雌ネジ部は本体そのものであり、その化学組成は先に記述したとおりである。雄ネジ部の化学組成は以下のとおりである。これらの組成は本体とは大きく異なっており、別の鋼が使われたことがわかる。

0.17%C, 0.03%Si, Mn<0.01%, 0.014%P, S<0.005%, 0.01%Cu, Ti<0.005%

この雄ネジはFig.12に示すように非常に多くの非金属介在物を内在し、特に中心部はほぼ完全に非金属介在物だけで構成されている。この結果はTanakaらの報告⁷⁾と一致する。あまり大きな負荷のかからない箇所（例えば先の目当てなども）には品質の悪い鋼が使用されているが、雄ネジにも同様の材質が用いられている。この部分には圧縮の応力しかかからないので、このような材質が使われたのかもかもしれないが、不思議としか言いようがない。逆に、良質の鋼は非常に大切に使われた、と考えるべきであろう。また、この形状からテーパネジであることがわかる。この点に関しては雌ネジの項で詳述する。

Fig.12中の(a)部を拡大するとFig.13が得られる。ここには大きな非金属介在物が水平に、板状に存在し、これにより切削法により製造された雄ネジであることがわかる^{4,10,11)}。また(c)部のSEM観察した顕微鏡組織をFig.14に

Fig. 12. Cross sectional macro-structure of male screw.

Fig. 13. Micro-structure of male screw head in Fig. 12(a).

示す。図中に右下の矢印は中心部の非金属介在物との境界を示す。この雄ネジはネジ山部(a)はフェライトで、(c)はパーライトとフェライトの混在組織であり、鋼の標準組織¹⁸⁾と比較すると(c)は0.4%Cと推定できる。ここから下方に(d)に向かうと再びフェライト化している。すると、0.4%程度の炭素を含有する試料が加工時の加熱で表面脱炭したことが推定できる。特に、中心部は大きな非金属介在物で構成されており、この部分を介して脱炭が進んだのであろう。また、これらの組織から試料全体としてはその平均値で炭素含有量が0.17%は妥当な値である。

3・5・2 雌ネジ

雌ネジの、a)ミクロ組織と、b)マクロ組織およびc)ネジ山形状の測定結果をFig.15に示す。このネジ山の形状は外

Fig. 14. Micro-structure of male screw head in Fig. 12(c).

Fig. 15. Macro- and micro-structure of female screw at barrel end portion and its shape. a) Micro-structure. b) Macro-structure. c) Shape of thread of screw.

表面を基準に、非接触レーザ変位計¹⁹⁾で測定した。a)より、ネジ山部では非金属介在物の形状がネジ山の形状と一致しており、これは鍛造法によるネジであることがわかる^{4,10,11)}。

先に記述したように、銃の内径はほぼ一定である。また、火縄銃には腰と呼ばれる外径が最少となる箇所が先端から100 mm付近にあり、この部分の外径は20.85 mmであった。また、銃尾から143 mm部の外径は26.44 mmである。この支点間距離739 mmより、実際の肉厚勾配を求めると0.0378 mm/mmになる。また、Fig.15(c)から図中の一点鎖線での勾配を求めると、0.0375 mm/mmになる。また、この勾配測定は八角形の面を基準に行っており、この勾配に全体の肉厚勾配が加味されているはずである。そこでこの値に0.0378 mm/mmを加算すると、真の肉厚（ネジの）勾配は0.0753 mm/mmになる。これより、このネジはテーパネジであることがわかる。もっとも、鍛造ネジであれば、ネジの加工後に型の雄ネジを銃身から引き抜かざるを得ず、これには抜け勾配が不可欠で、テーパネジは必然でもある。

4. 結言

江戸時代に製造された火縄銃を切断、研磨し、そのマクロ・ミクロ組織の調査から、その製法を探った。その材質は高純度の極低炭素鋼であった。また、切断に先立ってX線法により残留応力の測定に供した。その結果、以下の点が明らかにできた。

(1) 全体的に200~400 MPaの圧縮の残留応力が認められた。これは、故意に付与されたものとは考えられず、加工・冷却時に自然発生したものと考えられる。

(2) 銃身はフェライトの等軸晶からなり、主には粒径が10 μm程度のもので、これにところどころ100 μm程度のものが混在しており、一部には粒径1 mm以上の結晶も認められた。また、縦断面マクロ組織から、この銃はうどん張り法で作製され、鍛接線は蛇行していることを確認した。

(3) 銃身中央部には大小にフェライト粒からなる特異なバンド組織が認められたが、その成因は加工・冷却時の

残留応力によるものと考えられるが、詳細は不明である。

(4) 火縄銃の着火点、すなわち火皿部は5つの部品の接合で製造されており、曲がった孔の製造に工夫がなされていることが判明した。しかし、修復時にこのような機構に改造された可能性も残されており、この銃に限ることかもしれない。

(5) 銃身の付属物である目当てや銃の固定治具（目釘穴）は不完全に接合されており、その材質も銃身よりもはるかに非金属介在物が多いものが使われていた。

(6) また、非金属介在物の形態から、銃尾部の雌ネジは鍛造法により、雄ネジは切削法により加工されたことが判明した。

最後に、本研究に当たり、X線残留応力の測定に関して日立金属素材研究所に、試料の化学分析に関しては東洋電化工業株式会社のご協力をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

文 献

- 1) 洞 富雄：鉄砲伝来とその影響、恩文閣、(2001)、3.
- 2) 所 莊吉：江戸科学古典叢書42 大小御鉄砲張立制作・気砲記 石火矢鑄方伝・粉砲孝・秘状図、恒和出版、(1982)、11.
- 3) 所 莊吉：江戸科学古典叢書43 中島流砲術管闕録、恒和出版、(1982)、517.
- 4) 所 莊吉：火縄銃、雄山閣、(1964)、54、56、59、217.
- 5) 佐々木稔編：火縄銃の伝来と技術、吉川弘文館、(2003)、102.
- 6) 所 莊吉：新版 図解古銃辞典、雄山閣、(2006)、70.
- 7) M.Tanaka and M.Kitada: *J. Jpn. Inst. Met.*, **73** (2009), 778.
- 8) M.Tanaka and M.Kitada: *J. Jpn. Inst. Met.*, **74** (2010), 250.
- 9) M.Tanaka and M.Kitada and M.Nishijima: *J. Jpn. Inst. Met.*, **74** (2010), 779.
- 10) M.Sasaki: *Met. Technol. (Jpn.)*, **74** (2004), 487.
- 11) 峯田元治：銃砲史研究、No. 341 (2003)、1.
- 12) 宇田川武久：江戸の砲術 継承される武芸、東洋書林、(2000)、9.
- 13) 小笠原信夫、安田 修 共著：全国鉄砲鍛冶銘鑑 全国鉄砲鍛冶銘地域別分類、出版元 安田 修、(2001.3.1)、176.
- 14) X線応力測定法標準：社団法人 日本材料学会 X線材料強度部門委員会 (1982).
- 15) 鋼の熱処理：日本鉄鋼協会編、丸善、(1985)、48、635.
- 16) A.Sauveur: *The Metallography and Heat Treatment of Iron and Steel*, The University Press, Cambridge, (1926), 157, 172.
- 17) R.W.K.Honeycombe and H.K.D.H.Bhadeshia: *Steels Microstructure and Properties*, Edward Arnold, (1995), 293.
- 18) 鉄鋼顕微鏡組織：東北大学金属材料研究所編、丸善、(1972).
- 19) H.Nakae, H.C.Shin and S.Matsuo: *J. JFS*, **74** (2002), 644.