

第9章 原の辻遺跡出土鉄製品の調査

鈴木瑞穂

1. 調査対象

1953年第2次調査で表面採取された鉄製品2点、同調査第4トレンチ出土から鉄製品2点の計4点を調査した。鑄造鉄斧（図119-708）がNRN-1、鑄造鉄斧（図119-709）がNRN-2、棒状素材または鍛造鉄器（図126-746）がNRN-3、鉄製品（土器付着）（図119-711）がNRN-4に対応している。

2. 調査方法

（1）X線CT調査

X線CT（ニコンインステック社製STH450）を用いて、鉄製品の厚さ・縦・横3方向の断層画像を0.5mm間隔で撮影した。これらの画像をもとに、各断面の形状を精査した。

表7 供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	計測値		調査項目					備考
				大きさ(mm)	重量(g)	X線CT	マクロ組織	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	EPMA	
HRN-1	原の辻 (1953年調査)	バス道路寄栗畑表面採取	鑄造鉄斧	63×43×14	92.4	○	○	○	○	○	
HRN-2		第4トレンチE区	鑄造鉄斧	52×36×17	105.2	○	○	○	○	○	
HRN-3		第4トレンチ付近 表面採取	棒状素材（鍛造鉄器）	79×29×15	56.3	○	○	○	○	○	
HRN-4		第4トレンチH区	鉄製品（土器付着）	56×50×29	76.9	○	○	○		○	

（2）マクロ組織

試料を端部から切り出した後、断面をエメリー研磨紙の#150、#320、#600、#1000、およびダイヤモンド粒子の3 μ mと1 μ mで順を追って研磨し、断面全体像を撮影した。

（3）顕微鏡組織

光学顕微鏡を用いて、鉄滓断面および鉄製品の金属組織および非金属介在物を観察後、写真を撮影した。金属鉄部の組織観察には3%ナイトル（硝酸アルコール液）を腐食に用いた。

（4）ビッカース断面硬度

ビッカース断面硬度計（Vickers Hardness Tester）を用いて金属鉄部の硬度を測定した。ビッカース硬度は測定箇所に応力（136°の頂角をもったダイヤモンド）を押し込んだ時の荷重と、それにより残された窪み（圧痕）の対角線長さから求めた表面積から算出される。試料は顕微鏡用を併用し、荷重は200gfで測定した。

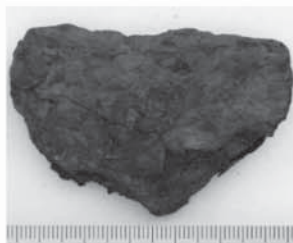
（5）EPMA調査

EPMA（日本電子(株)製JXA-8230）を用い、鉄滓や鉄中非金属介在物の組成を調査した。測定条件は以下の通りである。加速電圧：15kV、照射電流（分析電流）：2.00E-8A。

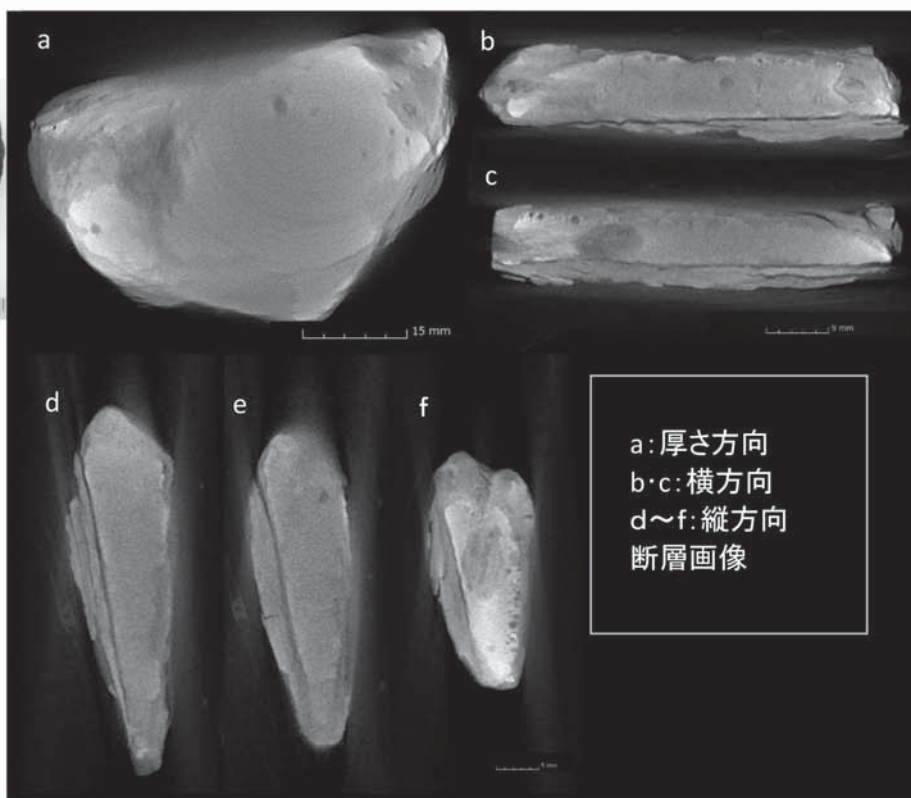
3. 調査結果

HRN-1：鑄造鉄斧

（1）X線CT調査：図127上段に厚さ方向（a）、横方向（b・c）、縦方向（d～f）の断層画像を示



HRN-1 外観写真



HRN-2 外観写真

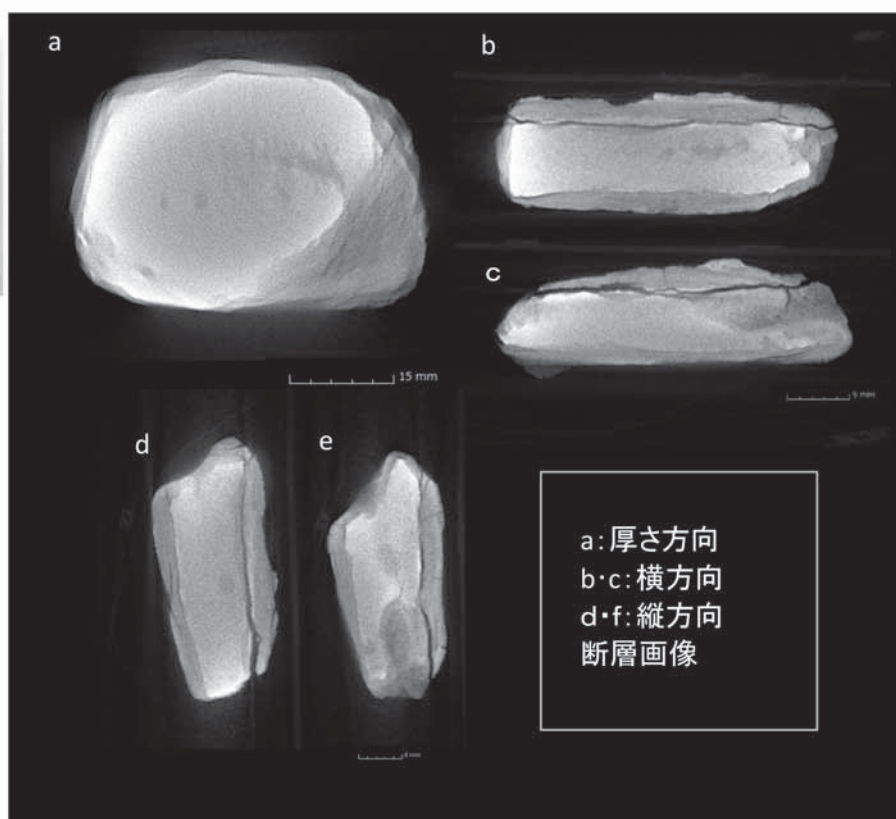


図127 鑄造鉄斧（HRN-1・2）のX線CT画像

HRN-1 鑄造鉄斧

①マクロ組織、鑄造後焼なまし

②～⑤袋部底金属鉄部拡大、脱炭層;フェライト～パーライト(156～229Hv)、芯部レドブライト(375～598Hv)

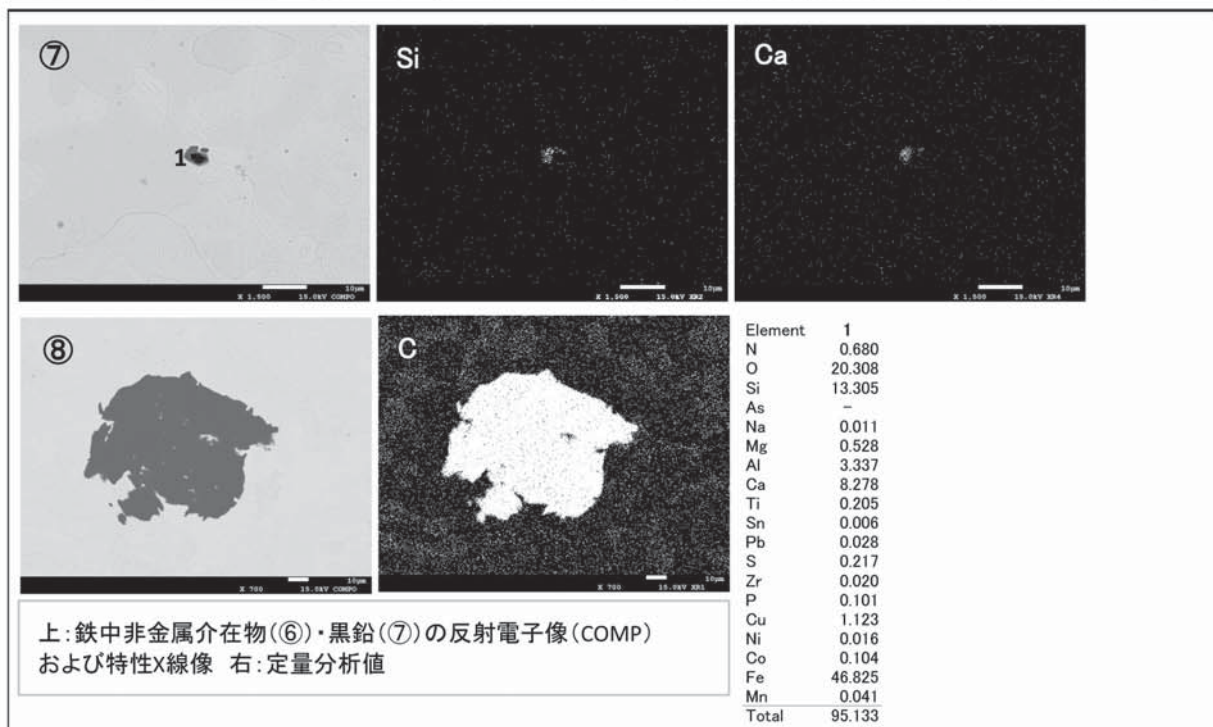
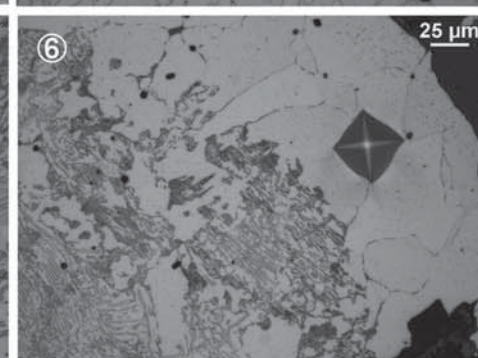
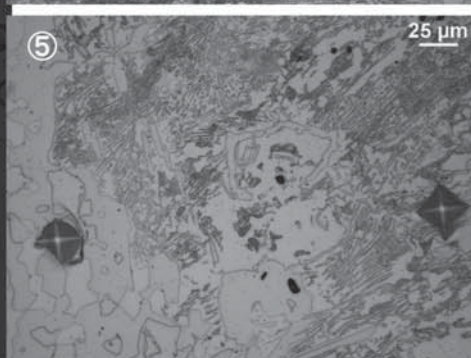
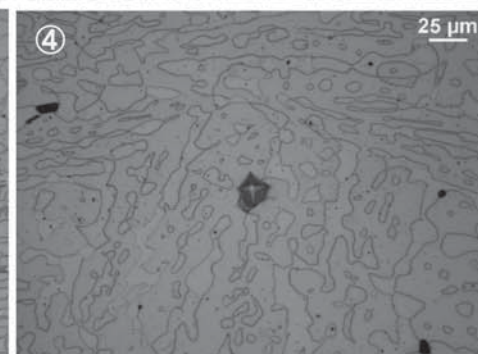
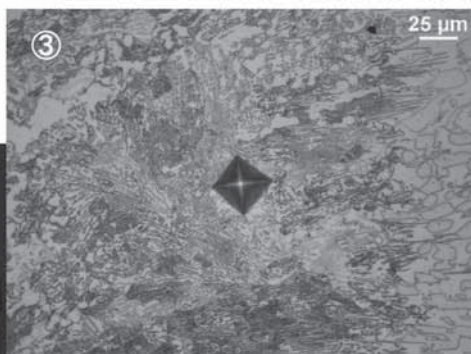
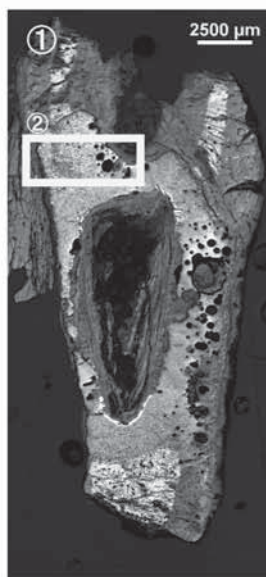
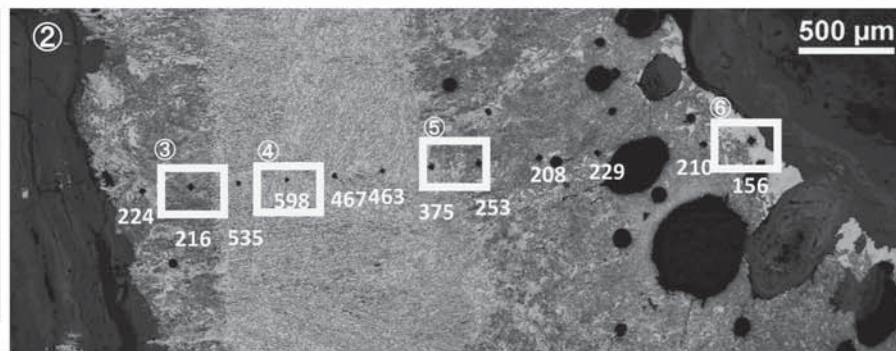


図128 鑄造鉄斧 (HRN-1) の顕微鏡組織・EPMA 調査

す。表層は銹化（腐食）しているが、内部に金属鉄（明白色部）が残存する。金属鉄中には大小の鑄巣が確認される。また縦断面の形状から、鑄造鉄斧の袋部底から刃部にかけての破片と判断される。

（２）マクロ組織：図128①に示す。外観写真右側面から、試料を採取して刃部縦断面を観察した。刃部中央に大きな鑄巣が存在しており、その周囲は脱炭が進んでいる。これに対して、上端の袋部底と刃部側下端には、白鑄鉄組織が確認される。以上の組織から、この鉄斧は鑄造後に焼なましされて表層が脱炭されたことが明らかとなった。

（３）顕微鏡組織：図128②～⑥に示す。試料上側の袋部底部分の拡大である。刃部および袋部底の表層部は脱炭しており、ほとんど炭素を含まないフェライト単相（Ferrite： α 相）から、パーライト（Pearlite）素地の亜共析（ $C < 0.77\%$ ）組織が確認された。③の左側、⑤の右側および⑥はその拡大である。これに対して、芯部には白鑄鉄組織（レデブライト：Ledeburite）が残存する。④はその拡大である。

（４）ビッカース断面硬度：図128②に示す。袋部底の表層（フェライト単相）の硬度値は156Hv、その内側および刃部外面の脱炭層（少量フェライト・パーライト組織）の硬度値は208～253Hvであった。これに対して、白鑄鉄組織残存部分の硬度値は375～598Hvであった。焼なましによって脱炭層が軟化していることが確認された。

（５）EPMA 調査：図128⑦に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。中央の暗灰色部の定量分析値は46.8%Fe - 13.3%Si - 3.3%Al - 8.3%Ca - 1.1%Cu（分析点1）であった。非晶質珪酸塩と推測される。

また図128⑧の塊状黒色部は炭素（C）に強い反応がある。鑄造後の焼なましに伴い生じた黒鉛（Graphite）と推定される。

HRN-2：鑄造鉄斧

（１）X線CT調査：図127下段に厚さ方向（a）、横方法（b・c）、縦方向（d・e）の断層画像を示す。表層は銹化（腐食）しているが、内部に金属鉄（明白色部）が残存する。金属鉄中には大小の鑄巣が確認される。また縦断面の形状から、HRN-1と同様、鑄造鉄斧の袋部底から刃部にかけての破片と判断される。

（２）マクロ組織：図129①に示す。外観写真右側面から、試料を採取して刃部縦断面を観察した。刃部に大きな鑄巣が存在する。

（３）顕微鏡組織：図129②～⑤に示す。試料上側の袋部底付近の拡大である。素地はフェライトまたは層間の広いパーライトで、その内部には粒状・網目状のセメンタイト（Cementite： Fe_3C ）およびレデブライトが分布する。当鉄斧もHRN-1と同じく、鑄造後焼なましされたが、セメンタイトが分解しきらず残存していることが確認された。

（４）ビッカース断面硬度：図129③に示す。硬度値は201～592Hvであった。④は最も軟かい箇所、⑤は最も硬い箇所の拡大である。セメンタイトおよびレデブライトがまとまって残存する部分が硬質であった。

（５）EPMA 調査：図版129⑥に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。中央の炭鉄褐色粒の定量分析値は59.2%Fe - 3.3%Mn - 36.0%S（分析点2）であった。硫化鉄（ FeS ）で、マンガ（Mn）を少量固溶する。

また図版129⑦の塊状黒色部は炭素（C）に強い反応がある。鑄造後の焼なましに伴って生じた黒鉛（Graphite）と推定される。

HRN-2 鑄造鉄斧

①マクロ組織、鑄造後焼なまし

②～⑤袋部底金属鉄部拡大、素地:フェライト～不完全球状セメンタイト、レデブライト・セメンタイト残存、硬度:193～592Hv

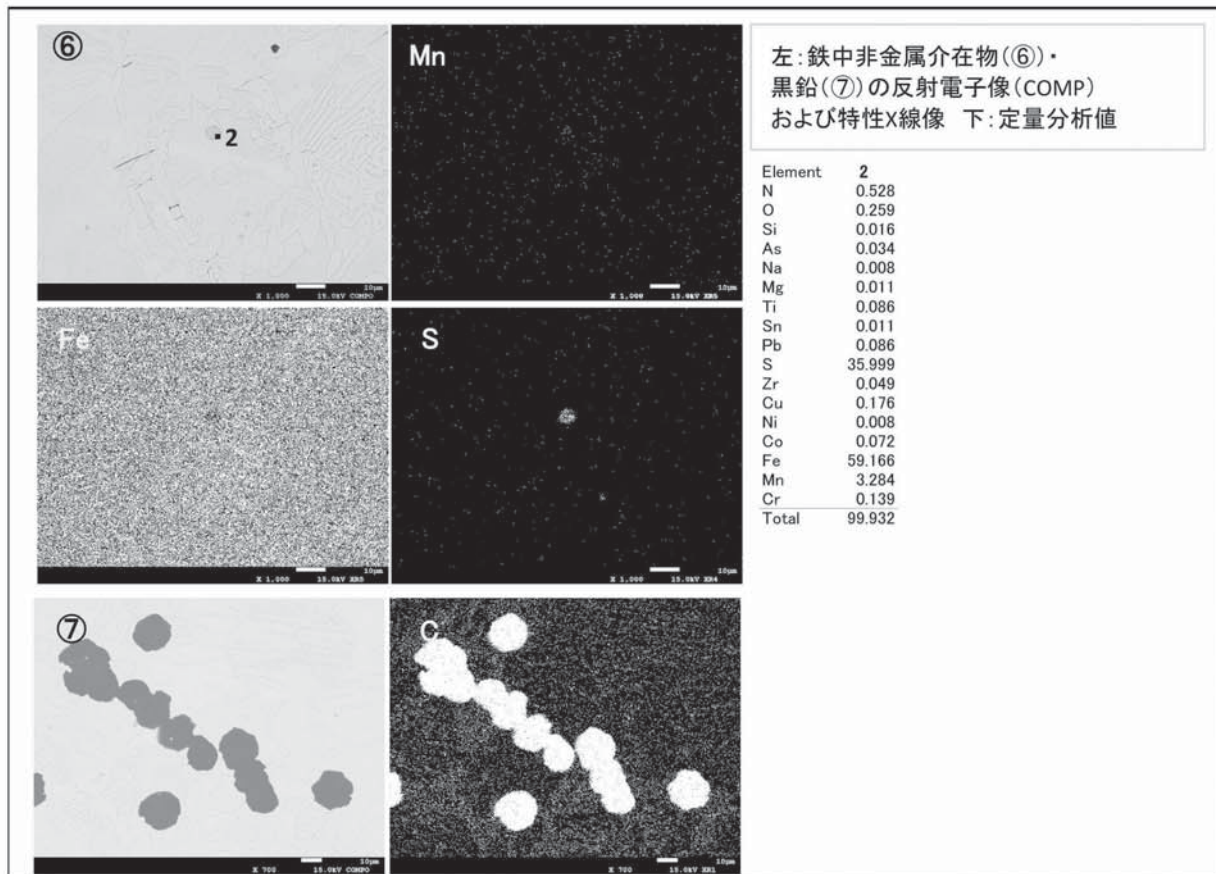
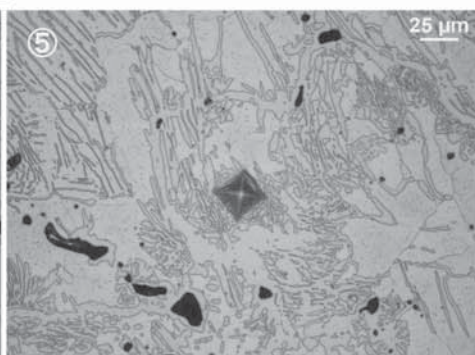
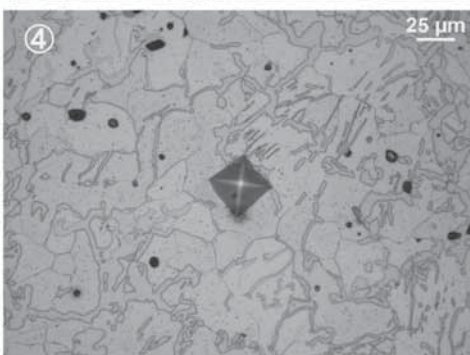
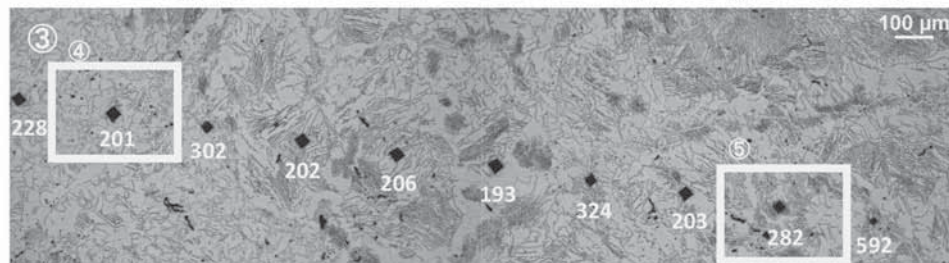
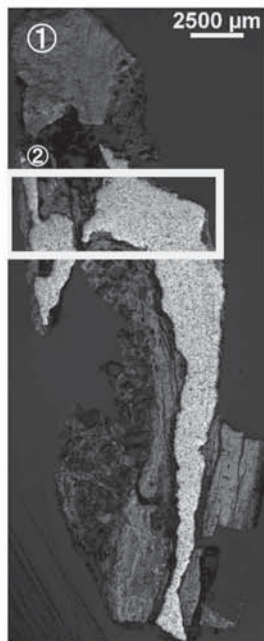
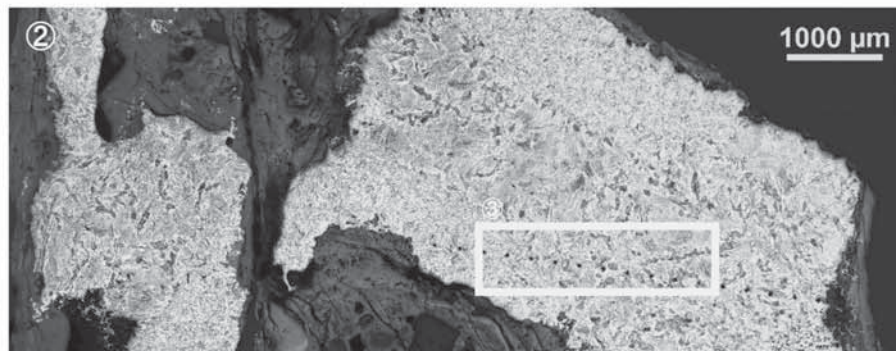


図129 鑄造鉄斧 (HRN-2) の顕微鏡組織・EPMA 調査

HRN-3：棒状素材（鍛造鉄器）

（１）X線CT調査：図130上段に厚さ方向（a）、縦方法（b）、横方向（c～f）の断層画像を示す。調査前外観観察では棒（細長い直方体）状の鉄素材と推測された。しかしX線透過像を見ると、土砂に厚く覆われた下側部分で幅と厚みが徐々に減じていることが明らかとなった。この特徴から、鑿状の鉄製品であった可能性が考えられる。

また写真上側の芯部には金属鉄が残存する。横断面の断像画像（c）をみると、層状に非金属介在物が分布している。折り返し鍛錬された鍛造品と推定される。

（２）マクロ組織：図131①に示す。外観写真上側端部から、試料を採取して横断面を観察した。内部の明灰色部は金属鉄である。折り返し鍛錬による接合部に沿って、左下から中央部にかけて錆化（腐食）が進んでいる。

（３）顕微鏡組織：図131②～⑥に示す。②の上側表層と中央の折り返し鍛錬による接合部は、酸化雰囲気曝露に曝されて脱炭したと推測される。フェライトの割合が高い組織となっている。③、⑤、⑥は低炭素域の拡大である。これに対して、素地部分はパーライト主体の組織であった。④はその拡大である。

（４）ビッカース断面硬度：図131②に示す。上側表層の硬度値は143～191HV、内側の硬度値は185～236HVであった。表層側（低炭素域）がやや軟質で、組織に見合った値である。

（５）EPMA調査：図131⑦に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。白色粒状結晶の定量分析値は92.7%FeO－1.3%MgO（分析点3）であった。ウスタイト（Wustite：FeO）と推定される。素地の暗灰色部の定量分析値は26.1%SiO₂－16.9%P₂O₅－4.6%Al₂O₃－29.4%CaO－2.4%MgO－1.7%K₂O－17.7%FeO（分析点4）であった。非晶質珪（燐）酸塩と推測される。

さらにもう1箇所、試料中央の折り返し鍛錬による接合部の反射電子像（COMP）を示す。写真右下の明白色部は金属鉄である。金属鉄表層（灰色部）の定量分析値は71.0%FeO（分析点5）であった。熱間での鍛冶作業に伴い鉄素材の表層に生じた鉄酸化物が、折り返し鍛錬によって内側に取り込まれたものと推定される。さらに47.0%SiO₂－9.0%Al₂O₃－28.8%CaO－2.5%MgO－1.8%K₂O－8.1%FeO（分析点6）であった。非晶質珪酸塩である。

当鉄製品中には、熱間加工で生じた鉄酸化物と、鉄素材表面の酸化防止や鍛接剤として用いられた粘土汁や藁灰などから生じた珪（燐）酸塩系の介在物が確認された。これらは折り返し鍛錬された鍛造品の特徴といえる。

HRN-4：鉄製品（土器付着）

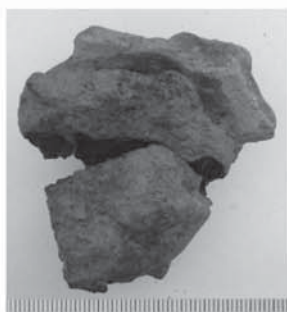
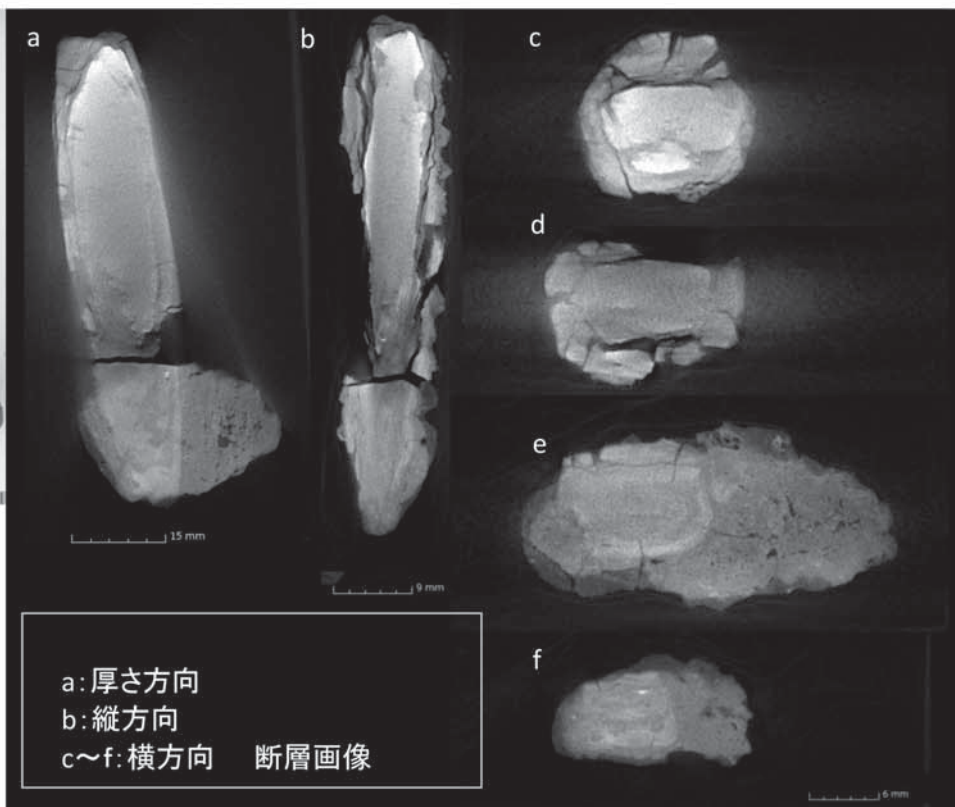
（１）X線CT画像：図130下段に厚さ方向（a）、縦方法（b）、横方向（c～e）の断層画像を示す。外観写真上段の淡橙色部は土器片である。その下側の淡褐色～茶褐色部中には板状の鉄片の輪郭（明灰色部）が確認された。鉄片は全体が完全に錆化（腐食）し、内部に金属鉄は残存していない。また鉄片の周囲は土砂で覆われ、土器片との間も土砂が埋めている状態であった。このため土器片と鉄片は、廃棄後に付着した可能性が高いと考えられる。

（２）マクロ組織：図132①に示す。外観写真下側端部から、試料を採取して横断面を観察した。厚さ約5mmの板状の破片であった。

（３）顕微鏡組織：図132②～⑤に示す。②③は鉄片表層部、⑤は内側部分の拡大である。ともに錆化（腐食）しており、金属組織痕跡は不明瞭であった。ただし②③の素地部分はフェライト、暗灰色部はパーライトであった可能性が考えられる。



HRN-3
外観写真



HRN-4 外観写真

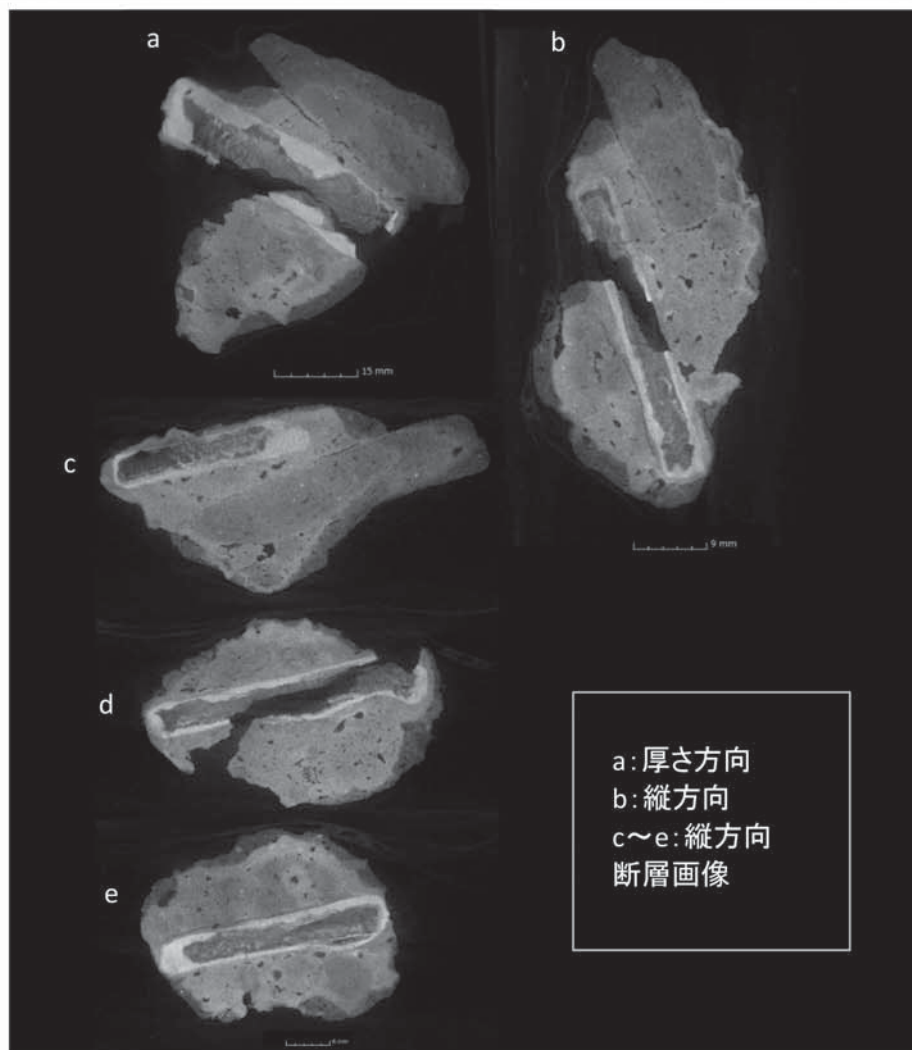
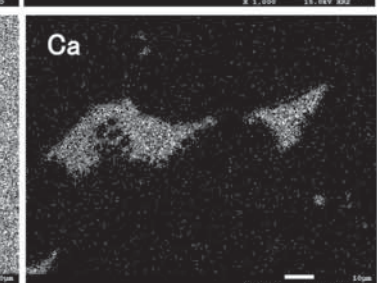
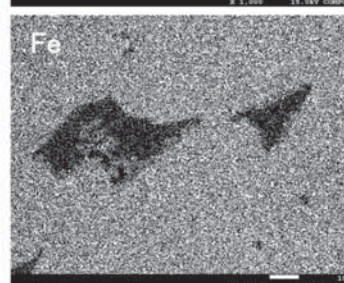
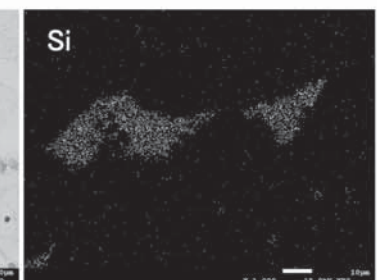
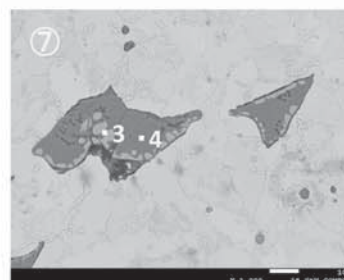
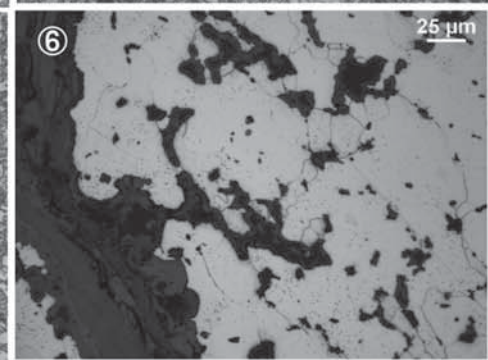
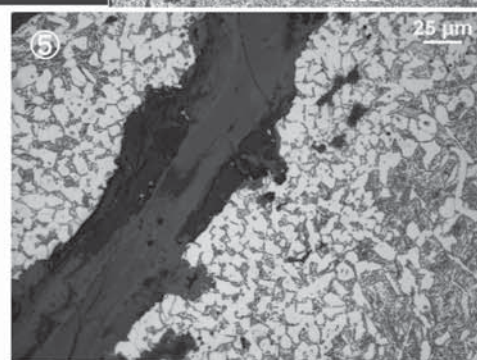
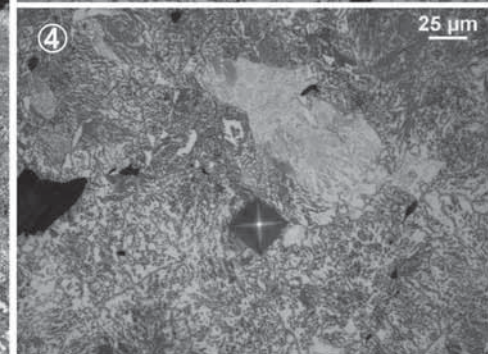
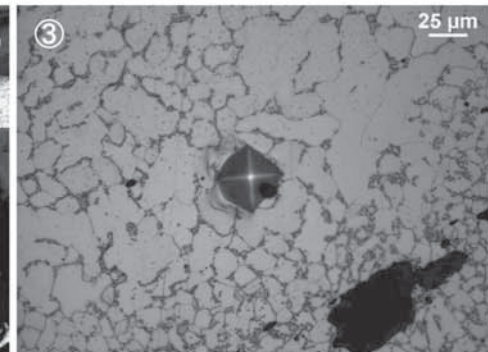
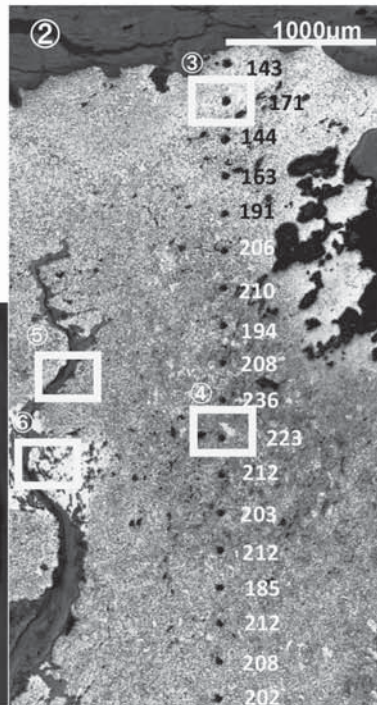
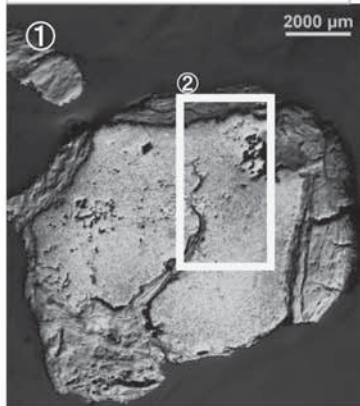


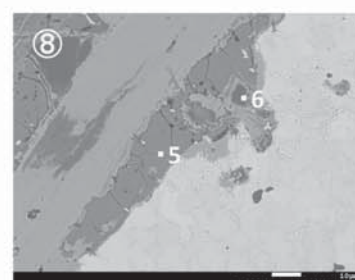
図130 鉄製品 (HRN-3・4) のX線CT画像

HRN-3 棒状素材
(鍛造鉄器)

①マクロ組織、②～⑥表層および折り返し部:フェライト单相～亜共析組織、素地:共析組織、硬度:143～236Hv



上: 鉄中非金属介在物の反射電子像 (COMP (⑦⑧)) および特性X線像
右: 定量分析値



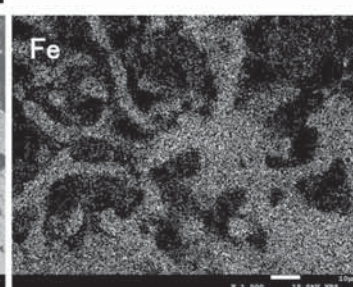
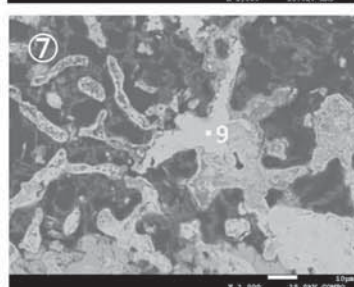
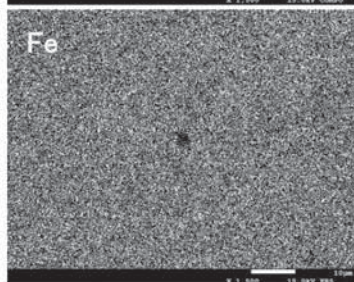
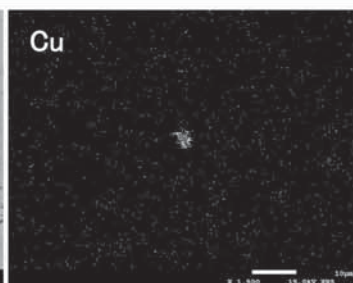
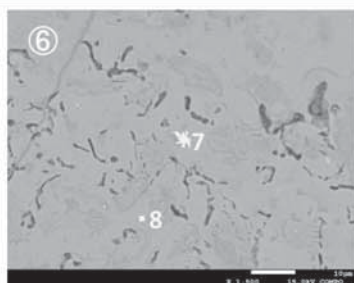
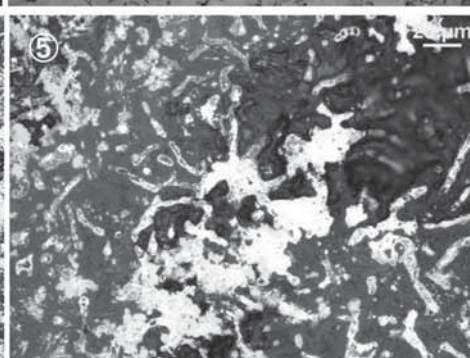
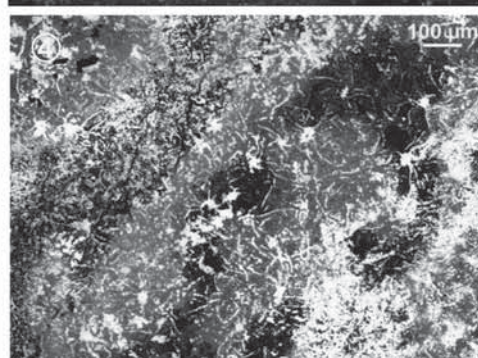
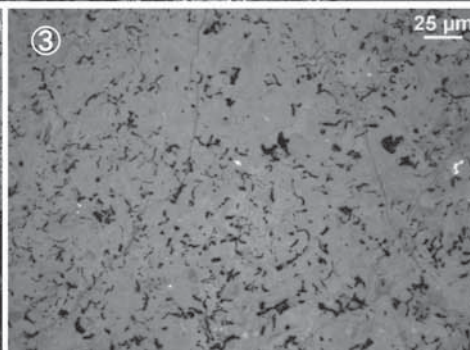
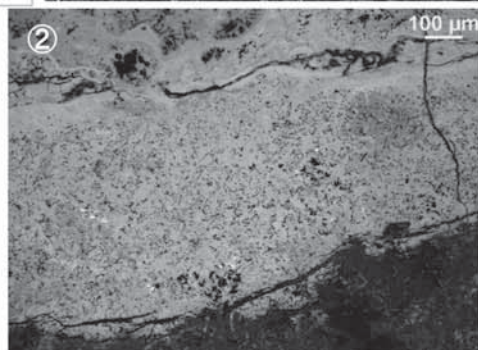
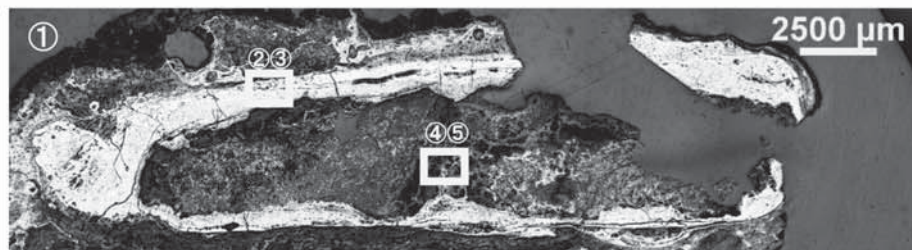
Element	3	4	5	6
MgO	1.341	2.408	—	2.456
SiO ₂	0.397	26.074	—	46.970
Na ₂ O	—	0.145	—	0.164
Al ₂ O ₃	0.720	4.613	0.020	8.987
CaO	0.281	29.359	0.091	28.813
TiO ₂	0.640	0.208	—	0.853
S	—	0.051	0.849	0.085
ZrO ₂	—	0.100	—	—
P ₂ O ₅	0.049	16.945	0.371	0.106
K ₂ O	0.037	1.734	—	1.818
CuO	—	—	0.040	0.061
FeO	92.716	17.657	71.044	8.116
MnO	0.560	0.521	0.045	0.287
Cr ₂ O ₃	0.068	—	0.020	0.001
V ₂ O ₃	0.972	0.029	—	0.064
Total	97.781	99.844	72.480	98.781

図131 棒状素材 (鍛造鉄器) の顕微鏡組織・EPMA 調査

HRN-4 鉄製品

(土器付着)

- ①マクロ組織、②～⑤錆化鉄、金属組織不明瞭、
③微小淡橙色部:金属銅



左: 錆化鉄部(⑥⑦)の反射電子像 (COMP) および特性X線像
下: 定量分析値

Element	7	8	9
N	0.869	0.542	0.645
O	0.460	29.718	28.292
Si	0.012	0.364	0.225
As	—	0.036	—
Ca	0.003	—	—
Ti	0.007	0.004	—
Sn	—	0.005	0.003
Pb	—	0.020	0.054
S	—	0.010	0.132
Zr	—	0.058	—
P	0.015	0.047	0.026
K	0.001	—	—
Cu	93.608	0.085	0.008
Ni	—	0.016	—
Co	0.004	0.134	0.158
Fe	7.566	68.368	69.734
Mn	0.001	0.025	0.047
Cr	—	0.012	0.018
Cl	0.025	0.012	0.001
Total	102.571	99.456	99.343

図132 鉄製品 (土器付着) の顕微鏡組織・EPMA 調査

(4) EPMA 調査：図132⑥に鉄片表層部の反射電子像（COMP：図132③の拡大）を示す。中央の微細な淡橙色部の定量分析値は93.6Cu - 7.6Fe（分析点7）であった。金属銅（Cu）と推定される。製鉄原料の鉄鉱石中に銅を含む鉱物がごく微量共伴しており、製錬時に鉄中に移行した可能性が考えられる。これに対して素地部分の定量分析値は68.4%Fe - 29.7%O（分析点8）であった。金属鉄が錆化（腐食）した水酸化鉄と推定される。

また図132⑦は鉄片表層部の反射電子像（COMP：図132⑤の拡大）である。明灰色部の定量分析値は69.7%Fe - 28.3%O（分析点9）であった。この部分は金属鉄が錆化（腐食）した水酸化鉄と推定される。その周囲の暗灰色内部は特性 X 線像では鉄（Fe）の反応がなく、錆化（腐食）に伴い空洞化が進んでいることが確認された。

4. まとめ

原の辻遺跡から出土した鉄製品4点を調査した結果、以下の点が明らかとなった。

(1) 焼なましされた鑄造鉄斧

鑄造鉄斧の袋部底から刃部の破片が2点（HRN-1、2）確認された。また断面の金属組織を観察した結果、鑄造後に熱処理「焼なまし」されたことが明らかとなった。

鑄込みのままの硬くて脆い白鑄鉄製品に靱性（粘り強さ）を持たせる「焼なまし」の技術は、戦国時代の中国大陸で発展した。日本列島内の初期鉄器との関連性が深い、中国東北部でも焼きなましされた鑄造鉄器類が確認・報告されている^(注1)。日本列島内で最も早い時期の鉄製品のひとつと考えられる、弥生時代前期末の福岡県春日市平若 A 遺跡出土鉄片も、焼きなましされた鑄造鉄部の袋部底から刃部破片であった。^(注2)。こうした鑄造鉄斧の各部の破片は、弥生時代を通じて西日本各地で確認されている。特に刃部破片の理化学的調査事例は多い。袋部底は最も厚みがあるため、芯部に鑄造時の白鑄鉄組織が残存することが多い。従って、袋部よりも再生鉄器の素材、または鍛冶原料として加工・再利用することは難しく、そのまま残りやすい可能性が考えられる^(注3)。

壱岐島では、カラカミ遺跡から弥生時代後期後葉と推定される鑄造鉄斧の袋部底の小破片や、鑄造後焼なましされた刀子の破片が確認されている^(注4)。上述したように中国では鑢（鑄造鉄斧）以外にも鎌や鉄刀、鉄鏃等の多様な製品が、鑄造後に焼なましをして利用されている。一方日本国内では、鑄造鉄斧以外の焼なましされた鑄造製品の確認例はきわめて少ない。壱岐島では、より多様な鉄製品が交易で入手されていた状況が窺える。

(2) 板状鉄片

今回調査を実施した遺物のうち、鉄製品（HRN-4）は、調査前には鉄滓の可能性も考えられた。しかし調査結果、土器片と土砂が廃棄後二次的に付着した、厚さ5mm前後の鉄板であったことが確認された。また側面を研磨して刃部を成形した痕跡はみられなかった。

鉄板自体は完全に腐食（錆化）しており、金属組織痕跡も不明瞭であった。ただし鑄造鉄器の破片に4～5mmの板厚のことが多いことや、断面に折り返し鍛錬に伴う層状の割れがないこと、断面表層と内側で腐食の具合が異なることを考えると、鑄造鉄斧（HRN-1、2）のように、鑄造後焼なましされた鑄造鉄器の破片、または板状の鉄素材であった可能性が考えられる。しかし、それを裏付けるような白鑄鉄組織や、焼なましで生じた黒鉛などの明瞭な痕跡は残存していなかった。

(3) 鍛造鉄器とその焼入れ技術

鉄製品（HRN-3）は鍛造品であった。調査前の外観観察の段階では、棒状の鉄素材の可能性が考

えられた。しかし X 線 CT で断像画像を見ると、土砂に厚く覆われた下側部分で幅と厚みが徐々に減じていることが確認された。この特徴から、鑿状の鉄製品であった可能性が考えられる。

また上端部の横断面を観察したところ、折り返し鍛錬に伴い鉄材の表面に生じた鉄酸化膜が内部に取り込まれた状態が確認できた。この折り返し部分や、試料表層の一部は脱炭して低炭素域が生じている。これに対して素地はほぼパーライト組織で、炭素量は0.7～0.8% 前後の高炭素鋼と推測される。

下端部（刃先側）は錆化（腐食）が進み金属鉄が残存しないため、材質に関しては不明である。ただし上端部の素地部分と同等の材質（高炭素鋼）であった場合、適切に部分焼入れ～焼もどしをする技術があれば、硬さと粘り強さをあわせた刃先が得られる。工具に適した材料の製品と判断される。

その一方で、全体が炭素量の高い鋼からなる製品は、製品全体を一気に焼入れすると、焼き割れや変形が起きて利用可能な製品にならない^(注5)。このため、特に研ぎによる摩耗の速い製品は、適切に部分焼入れして刃先の直しをする技術がないと、刃先の切削性を長く保つことは難しい。最近の理化学的調査で、日本列島内に熱間での鍛打加工による本格的な鍛冶技術が定着する前段階に、焼入れによる硬さの調整を在地でした可能性を示唆する製品も確認されている^(注6)。

壱岐島での鉄器や鍛冶技術の普及の実態を考えるうえでも、焼入れでの硬さの調整や補修が地域でいつからどの程度行われていたのか、今後検討していく必要があるといえる。

(注)

- (1) 陳建立2014『中国古代金属冶铸文明新探』科学出版社
- (2) 鈴木瑞穂2022「平若 A 遺跡・赤井手遺跡の出土鉄器・鉄片の調査および弥生時代の製作技術」『令和3年度春日市文化財年報』春日市教育委員会
- (3) 鈴木瑞穂2017「弥生時代～古墳時代初頭の铸造鉄斧・鉄素材の材質と鉄器製作技術に関する研究」『FUSUS』9号アジア铸造技術史学会
- (4) 大澤正己・鈴木瑞穂2013「カラカミ遺跡出土鉄関連遺物の金属学的調査」『壱岐カラカミ遺跡Ⅳ』九州大学大学院人文科学研究院考古学研究室
- (5) 朝岡康二1993『日本の鉄器文化－鍛冶屋の比較民俗学－』慶友社
- (6) 鈴木瑞穂2020「出土遺物の理化学的分析結果からみた弥生時代の鉄器とその製作技術」『新・日韓交渉の考古学－弥生時代－（最終報告書 論考編）』新・日韓交渉の考古学－弥生時代－研究会・新・日韓交渉の考古学－青銅器～原三国時代－研究会