

雲南市埋蔵文化財調査報告書2

ゴマボリ遺跡・寺田Ⅰ遺跡

— 尾原ダム建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書7 —

第 2 分 冊

2007年3月

国土交通省斐伊川・神戸川総合開発工事事務所
雲 南 市 教 育 委 員 会

ゴマボリ遺跡・寺田 I 遺跡

— 尾原ダム建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書 7 —

第 2 分 冊

2007年3月

国土交通省斐伊川・神戸川総合開発工事事務所
雲 南 市 教 育 委 員 会

目 次

[第1分冊]

第1章 調査に至る経緯

- 第1節 発掘調査の経緯……………(山崎) 1
- 第2節 調査体制……………(山崎) 3

第2章 位置と歴史的環境……………(山崎) 5

第3章 ゴマボリ遺跡

- 第1節 発掘調査の経過と概要……………(坂本・山崎) 21
- 第2節 屈序と出土遺物……………(坂本) 21
- 第3節 まとめ……………(坂本) 25

第4章 寺田 I 遺跡

- 第1節 発掘の経過と概要……………(坂本・山崎) 27
- 第2節 遺構と出土遺物……………(坂本・山崎) 32
- 第3節 製鉄関連遺物の考古学的観察……………(穴澤・坂本・山崎) 107
- 第4節 まとめ……………(坂本・山崎) 222

[第2分冊]

第5章 自然科学的分析

- 第1節 寺田 I 遺跡 2 区検出焼土の地磁気年代…………… 1
- 第2節 寺田 I 遺跡 2 区出土鍛冶・鑄造遺物の金属学的調査…………… 9
- 第3節 寺田 I 遺跡 2 区の土壌環境と鉄器の遺存状況の対応関係について…………… 67
- 第4節 寺田 I 遺跡 2 区出土木材の樹種同定…………… 69
- 第5節 寺田 I 遺跡 2 区土壌内の花粉分析…………… 74
- 第6節 寺田 I 遺跡 5 区出土製鉄関連遺物の金属学的調査…………… 78

第5章 自然科学的分析

第1節 寺田I遺跡2区検出焼土の地磁気年代

高根大学総合理工学部

時枝克安・一瀬久嘉・竹内博史

1. 地磁気年代測定法の仕組み

地磁気には伏角と偏角で決まる方向、および、強度の要素があるが、それらの要素の全てが変動している。この地磁気の変動は、変化速度が速いものから遅いものまで様々な成分の和として表すことができるが、これらの成分の中でも、10年以上経過してはじめて変化したことが認識できるような緩慢な変動を地磁気永年変化と呼んでいる。地磁気年代法で時計の働きをするのは、地磁気の方向の永年変化であり、地磁気の方向と年代の関係を表す変動曲線を利用して、焼土の焼けた年代を過去の地磁気方向から読み取ろうとする。しかし、これが実現するためには、焼土が焼けたときの地磁気方向が何かに記録されており、それを測定できなくては目的を果たせない。焼土の焼けたときの地磁気方向は、焼土の熱残留磁気として記録され保存されている。地磁気年代を求める手順を述べると、まず、焼土の熱残留磁気の測定によって、焼土の被熱時の地磁気方向を求め、次に、焼土の存在する地域の地磁気永年変化曲線上で、求めた方向に近い点を決定し、その点の年代日盛りを読み取ることになる。

地磁気のなかで、土壤、粘土、砂、岩石等が焼けると、これらは熱残留磁気を帯びる。熱残留磁気の担い手は磁鉄鉱等の磁性粒子であり、熱残留磁気方向は、焼けたときの地磁気方向に一致し、しかも、磁性粒子のキュリー温度（磁鉄鉱では575℃）以上に再加熱されないうり非常に安定であり、数万年以上時間が経過しても変化しない。焼土がキュリー温度以上に再加熱されたときには、それまで保持されていた残留磁気は完全に消滅し、その代わり、再加熱時の地磁気方向を向いた新しい残留磁気を獲得される。つまり、焼土は最終焼成時の地磁気方向を正しく記憶している。それゆえ、年代既知の焼土の熱残留磁気データを蓄積して、あらかじめ、過去の地磁気方向が時間とともにどのように変化したかをポツグラフを作成しておけば、このグラフを「時計」の目盛りとして焼土の最終焼成年代を推定できる。地磁気年代法の「時計」では、地磁気方向が「針」に相当し、焼土の熱残留磁気は焼成時の「針」の位置を記憶している。日本では、西南日本の過去2000年間の地磁気永年変化曲線が広岡によってかなり詳しく測定されているので、ここで説明した方法が焼土の簡便な年代測定法として実用化されている。地磁気年代法の詳細については広岡および中島等による解説^{(1) (2)}が参考になる。

2. 地磁気年代測定法の問題点

第一に、地磁気方向は時間だけでなく場所によっても変化するので、地域によっては、その場所の標準曲線の形が西南日本のものからかなり相違していることが挙げられる。厳密に言えば、あ

る焼土の地磁気年代を求めるには、焼土のある地域の標準曲線を使用しなければならない。相違が小さいときには西南日本の標準曲線を代用できるが、相違が大きいたときにはその地域特有の標準曲線を決定し、この曲線と焼土の残留磁気の方角を比較する必要がある。今までの中国地域の調査では、西南日本の標準曲線から求めた地磁気年代は、ほとんどの場合、遺物の考古学年代と整合する。したがって、中国地域では、西南日本の標準曲線を使用して地磁気年代を決定しても問題はない。

第二に、地磁気年代測定法は地磁気変動という物理現象を利用しているため、地磁気年代は土器編年に左右されないと考えがちであるが、これは誤解であり、地磁気年代と土器編年の間には密接な関係がある。すなわち、少数の年代定点を除くと、標準曲線上のほとんどの年代目盛りは土器編年体系を参照して決められている。それゆえ、年代定点に近い地磁気年代には問題がないが、年代定点から遠く離れた地磁気年代は土器編年の影響を強く受けており、もし、土器編年に改訂があれば、地磁気年代も訂正しなければならない。年代定点の数が増加すると、地磁気年代はこのような相互依存から独立できるが、現状では年代定点が少数なのでやむをえない。しかし、地磁気年代測定法は、地磁気を媒介とする対比のおかげで、焼土跡に遺物がない場合でも有効である点、相互に隔絶した土器編年を対比できる点で独自の優れた性格をもっている。

3. 遺構と試料

寺田 I 遺跡 2 区では、丘陵の中腹の狭い範囲から炭窯、製鉄関連遺跡、墓跡などが検出されているが、地磁気年代の推定を試みた遺構は、炭焼き遺構 1 基、炭窯 1 基、鍛冶炉 3 基である。

(1) 炭焼き遺構：長辺が土手状に盛り上がった四辺形の窪み (8.3m×3.4m) があり、床面は主軸方向 (S43E) に約 10 度の緩勾配をなしている。土手状の長辺には赤変した焼土が部分的に認められるが、いずれも土質が柔らかく焼成度は低い。なお、この遺構および遺構の下部から、木炭、須恵器および土師器の破片が出土している。定方位試料は、赤変が目立つ部分を選び、北東側の土手から 13 ヶ、反対側の土手から 3 ヶ、焚門近くの上手から 6 ヶ、合計 22 ヶを採取した。

(2) 炭窯：寺田 I 遺跡では、最も高い位置にあり、焚門が狭く奥に広がったラッキョウ型のプラン (奥行 4.5m、最大幅 2.5m) をもち、床面は平坦である。奥壁の東半分と東壁のみが残存する。なお、この炭窯は近世の墓群を壊して築造されている。定方位試料は、焚口付近の床面から 10 ヶ、東壁の奥よりから 11 ヶ、奥壁の外側に残る煙道の縁から 2 ヶ、合計 23 ヶを採取した。

(3) 鍛冶炉 1 号：大きさ (68×65cm) の円く浅い窪みがあり、その周囲に焼土が分布している。窪みの内部は焼けていない。この鍛冶炉の作業時の地表面は、(1) の炭窯 A と連続している。定方位試料は、窪みの周囲のよく焼けた部分から 20 ヶを採取した。

(4) 鍛冶炉 1 号に隣接する場所に、かなりの範囲 (~1.5m×2.0m) にわたって、鉄滓が堆積していたが、鉄滓を取り除くと、5 基の鍛冶炉が検出された。それらのうち、鍛冶炉 2、3 号について地磁気年代の推定を試みた。

鍛冶炉 2 号：大きさ (35×23cm) の円く浅い窪みであり、断面の観察のために中央から半分は断ち割られ、残っているのは東側半分だけである。炉の断面から、炉底の下に赤変が著しい焼土が観察できたので、炉底をさらに掘り下げてこの焼土を露出させ、そこから 11 ヶの定方位試料を採取した。

鍛冶炉 3 号：大きさ (36×26cm) の円い窪みであり、底部には鉄滓がこびりついている。定方位

表1 寺田 I 遺跡2区の焼土のデータ

遺構	大きさ	床面	定方位試料	焼土の状態
炭焼き遺構	8.3/3.4m 主軸S43E	平坦	北東辺13、対辺3 焚口側の辺6 (計23)	柔らかい。赤変部が少ない。
炭 窯	4.5/2.5m 主軸S20E	平坦	東壁11、煙道縁2 焚口付近床面10 (計23)	壁は良好な焼成度 床面は低焼成度
鍛冶炉1号	68/65cm	窪み状	窪みの周囲20 (計20)	顕著な赤変
鍛冶炉2号	35/23cm	窪み状	炉底下の赤変部分11 (計11)	炉底下の顕著な赤変部から試料採取
鍛冶炉3号	36/26cm	窪み状	盛上がった縁4、ごびりついた鉄滓を除いた炉底6 (計10)	顕著に赤変している。 炉底に鉄滓がごびりついている。

注 主軸：ここでは焚口から窯尻を見る方位を指す。

試料は盛り上がった縁の部分から4ヶ、窪みの底部の鉄滓を取り除いて露出させた焼土から6ヶ、合計10ヶを採取した。なお、これらの鍛冶炉のグループからは、碗型鍛冶滓、鍛造刺片、羽口、須恵器、丹塗り土師器が出土しており、須恵器の年代は古代末まで遡る。定方位試料の採取法としては、整形した焼土塊に樹脂製ケース(24×24×24mm)を被せて隙間を石膏で充填し、ケース上面の走行と傾斜をクリノコンパスで測定する仕方を行っている。

表1に、焼土のデータをまとめる。

4. 測定結果

試料の自然残留磁気を、スピナー磁力計(Schonstedt社 Model SSM-1A)で測定した。

[残留磁気の強度]

図1及び図2に自然残留磁気の強度分布を示す。図1に示すように、炭焼き遺構と炭窯の強度分布はよく似ており、どちらも試料の約90%が 10^{-5} emu/gのレベルにあり、残りはそれ以上の強度である。このレベルは焼土としては弱いレベルに相当するが、炭窯としては平均的なレベルである。

一方、図2に示すように鍛冶炉1号は試料の80%が 10^{-6} emu/gのレベルにあり、残りはそれ以下の強度となっている。このレベルは焼土

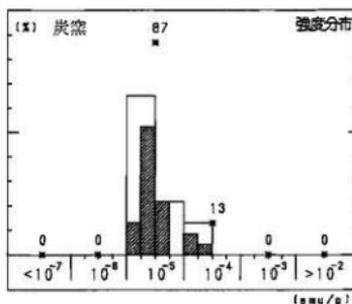
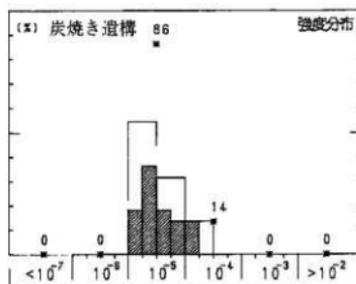


図1 寺田 I 遺跡2区の炭焼き遺構と炭窯の自然残留磁気強度の分布

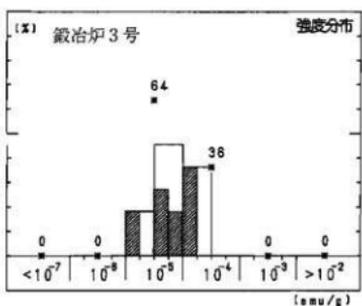
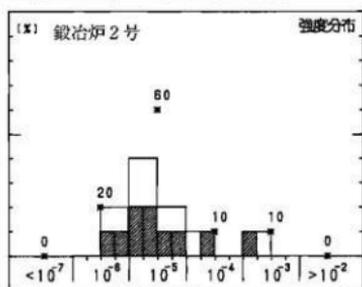
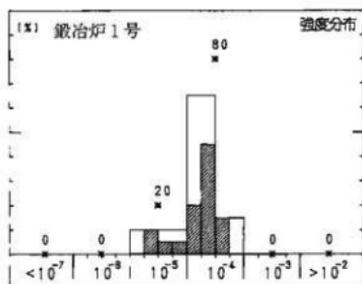


図2 寺田I遺跡2区の鍛冶炉1、2、3号の自然残留磁気強度の分布

交流消磁 (10mT) で約20%、鍛冶炉1号:交流消磁 (20mT) で50~60%、鍛冶炉2号:交流消磁 (10mT) で30~80%である。表3に、図4の小円内のデータから計算された残留磁気平均方向と誤差の目安となる数値を示す。

鍛冶炉3号については、交流消磁 (10mT) によって残留磁気強度がはじめの30%程度に減少し、磁化の汚染は充分に除去できたはずであるのに、残留磁気方向は大きく分散したままであった。したがって、有意の平均方向を求めることができず、地磁気年代を推定できない。この残留磁気分散は、炉底にこびりついていた鉄滓の残留磁気の影響と考えられる。

としては通常の強度に相当する。また、鍛冶炉2号と鍛冶炉3号では、 10^{-6} emu/g以下のレベルが、それぞれ64%と80%となる。鍛冶炉の残留磁気強度は通例 10^{-6} emu/g以上のものが多いので、鍛冶炉2、3号の残留磁気強度は比較的弱いと言える。

[残留磁気の方向]

図3に示すように、遺構によって、自然残留磁気方向には比較まとまっているものと分散しているものがある。残留磁気方向の集中度をさらに高めるために交流消磁を行った。

交流消磁というのは、試料を交流磁場中で回転させながら、磁場強度を適当な設定値から零になるまで徐々に減少させて、磁場の設定値よりも弱い抗磁力をもつ磁気成分を消去する方法である。実施した交流消磁の内容を表2に示す。表中で、○は当該磁場で交流消磁を行ったことを意味し、●は当該磁場で全試料の交流消磁を行い、集中するデータを選んで、それらの平均方向を窯の最終焼成時の地磁気方向としたことを示す。

結局、図4に示すように、炭焼き遺構については交流消磁 (5 mT) の結果、炭窯については交流消磁 (10mT) の結果、鍛冶炉1号については交流消磁 (20mT) の結果、鍛冶炉2号については交流消磁 (10mT) の結果のそれぞれから、さらに揃ったデータのみを選び (各図の小円内)、これらの平均方向を元にして地磁気年代を求める。交流消磁に伴う残留磁気強度の減少 (消磁前の値に対する割合) は、炭焼き遺構:交流消磁 (5 mT) で80~90%、炭窯:

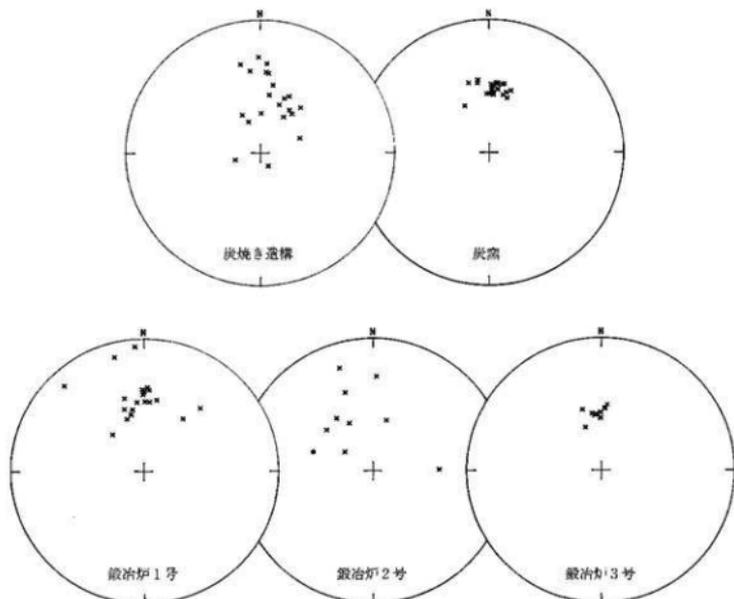


図3 寺田I遺跡2区の炭焼き遺構、炭窯、鍛冶炉1、2、3号の自然残留磁気の方

表2 交流消磁の実施内容

テスト試料		交流消磁の消磁磁場 (mT)					
遺構	試料数	0	5	10	15	20	30
炭焼き遺構	22	○	◎	○			
炭窯	23	○		◎			
鍛冶炉1号	20	○		○		◎	○
鍛冶炉2号	11	○		◎			
鍛冶炉3号	10	○		○			

○は当該磁場で交流消磁を行ったことを意味する。

◎は当該磁場で全試料の交流消磁を行い、その結果から集中するデータを選んで、それらを元に地磁気年代の推定を行ったことを意味する。

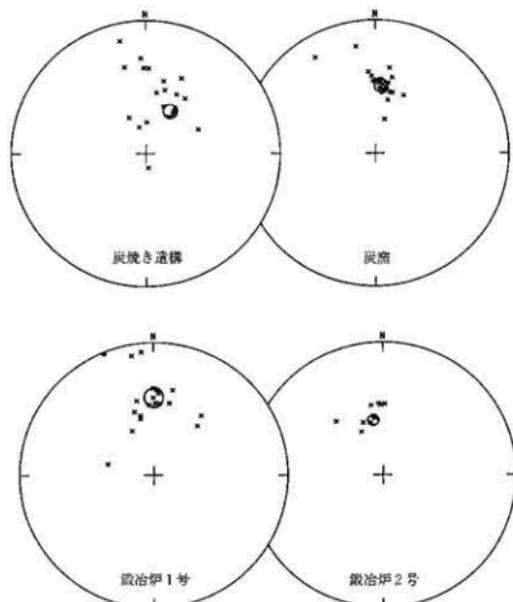


図4 地磁気年代を推定に用いた交流消磁の結果
(小円内のデータを元にして地磁気年代を求める)

表3 寺田I遺跡2区の焼土の残留磁気の平均方向

遺構	Im (度)	Dm (度E)	k	α_{95} (度)	n/N	消磁磁場 (mT)
炭焼き遺構	59.15	30.28	430	3.70	5/22	5
炭窯	46.66	4.38	494	2.06	11/23	10
鍛冶炉1号	40.75	1.28	259	3.76	7/20	20
鍛冶炉2号	53.69	-7.76	9290	1.28	3/11	10

Im：平均伏角 k：Fisherの信頼度係数 n/N：採用試料数/採取試料数
Dm：平均偏角 α_{95} ：95%誤差角

5. 寺田 I 遺跡の焼土の地磁気年代

図5は寺田 I 遺跡の焼土の残留磁気の平均方向 (+印) と誤差の範囲 (点線の楕円) および、広岡による西南日本の過去2000年間の地磁気永年変化曲線⁽¹³⁾である。地磁気年代を求めるには、残留磁気の平均方向に近い点を永年変化曲線上に求めて、その点の年代を読み取る。地磁気永年変化曲線が狭い範囲で重なり合っているために、複数の地磁気年代が可能となる。このようにして得られた地磁気年代の候補値は、炭焼き遺構：AD260頃、または、AD1270頃、炭窯：AD1275±20、または、AD1760±35、鍛冶炉 1号：AD1430±40、鍛冶炉 2号：AD740±15、または、AD1100±20となる。唯一の年代を求めるには他の分野の知識を必要とする。炭焼き遺構の下部からは、須恵器と土師器の破片が検出されているので、地磁気年代としては、AD1270頃を選ぶのが合理的となる。また、炭窯については18世紀後半から19世紀代と推定される近世の墓群を壊して築造されているので、地磁気年代としてAD1760±35を選ぶのが合理的になる。表4に寺田 I 遺跡の焼土の地磁気年代をまとめる。

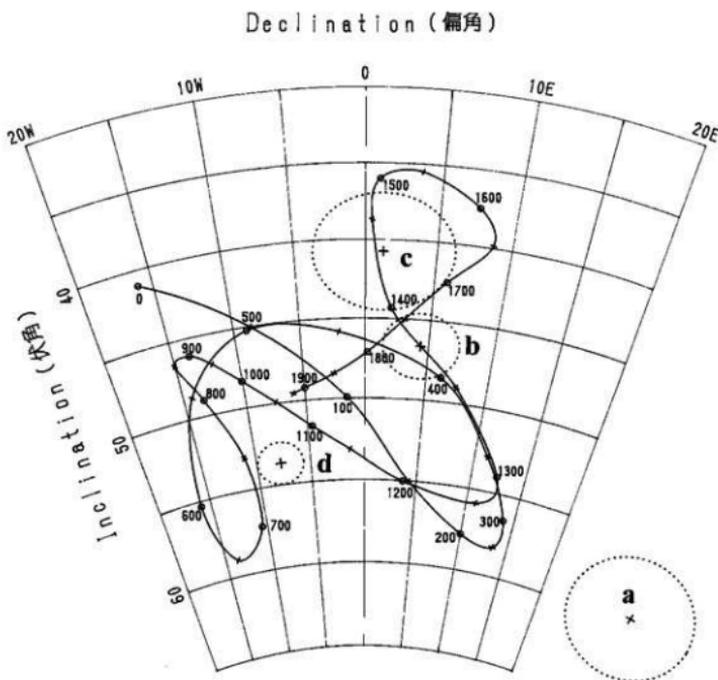


図5 寺田 I 遺跡2区の炭焼き遺構、炭窯、鍛冶炉1、2号の残留磁気の平均方向 (+印) と誤差の範囲 (点線の楕円) および広岡による西南日本の過去2000年間の地磁気永年変化曲線の一部
(a)炭焼き遺構 (b)炭窯 (c)鍛冶炉1号 (d)鍛冶炉2号

表4 寺田 I 遺跡2区の焼土の地磁気年代

遺構	地磁気年代
炭焼き遺構	AD1270頃
炭 窯	AD1760+35
鍛冶炉1号	AD1430±40
鍛冶炉2号	AD740±15、または、AD 1100±20

6. 考察

炭焼き遺構の残留磁気の方向が標準曲線よりも大きくずれている。この大きいずれの原因はよく分からない。しかし、次の理由から、地磁気年代を求めるために使用した残留磁気の5ケのデータは炭焼き遺構の操業時の地磁気の方角を正しく示していると判断できる。ただし、標準曲線からのずれが大きいため、求めた地磁気年代値は参考値として扱うべきものと考えている。

- (1) 試料の位置が遺構の広い範囲にわたっていることから、これらの5ケのデータは遺構の局所的な変形の影響を受けていない。
- (2) 消磁前、交流消磁（5 mT）後、交流消磁（10 mT）後を通じて、残留磁気の方角変化が少なく、また、強度の減少の割合も5 mTで約90%、10 mTで60～70%と少なく、磁氣的に安定である。

製鉄には炭の使用が不可欠であるので、製鉄遺跡の実態を正しく把握するためには、炭焼き遺構と鍛冶炉の操業時期の異同が問題となる。残留磁気の方角から言えば、図5から分かるように、炭焼き遺構と各鍛冶炉の残留磁気の方角の差が約25度にも達するので、炭窯と各鍛冶炉の時代が大きく異なることは間違いない。また、鍛冶炉1号と鍛冶炉2号についても、残留磁気の方角は角度にして約15度と大差があるので、それぞれの時代が異なることは確実である。

鍛冶炉2号の地磁気年代の候補値の一つとして、奈良時代の値（AD740±15）が得られた。遺跡からは古墳時代の須恵器も出土しているため、AD740±15は鍛冶炉の実年代を示す可能性がある。もし、これが本当ならば、山陰地域の製鉄史が奈良時代にまで遡ることになるので、意義は極めて大きい。

註

- (1) 広岡公夫（1995）『考古資料分析法』、考古学ライブラリー65、山口勇・斉藤努編、ニュー・サイエンス社、100-101
- (2) 中島正志、夏原信義『考古地磁気年代推定法』考古学ライブラリー9、ニュー・サイエンス社
- (3) 広岡公夫（1978）『考古地磁気および第四紀古地磁気の最近の動向』、第4紀研究 15、200-203

第2節 寺田 I 遺跡 2 区出土鍛冶・鑄造遺物の金属学的調査

九州テクノロジー・TACセンター

大澤正己・鈴木瑞穂

1. いきさつ

寺田 I 遺跡は雲南市木次町北原地内に所在する。遺跡内では鍛冶炉跡 2 基を含む古代（8 世紀後半）の鍛冶関連遺構が確認された。それに伴い多数の鍛冶関連遺物と、銅の鑄造関連の遺物が出土している。このため、当遺跡内での金属生産の実態を検討する目的で、金属学的調査を実施した。

2. 調査方法

2-1. 供試材

Table. 1 に示す。鍛冶・鑄造関連遺物計 24 点の調査を行った。

2-2. 調査項目

(1) 肉眼観察

遺物の肉眼観察上の所見を記している。これをもとに分析試料採取位置を決定する。

(2) マクロ組織

本来は肉眼またはルーペで観察した組織であるが、本稿では顕微鏡埋込み試料の断面全体像を、投影機の 5 倍から 20 倍で撮影したものを指す。当調査は、顕微鏡を用いた観察よりも広い範囲にわたって、組織の分布状態、形状、大きさなどの観察ができる利点がある。

(3) 顕微鏡組織

洋中に晶出する鉱物及び鉄部の調査を目的として、光学顕微鏡を用い観察を実施した。観察面は供試材を切り出した後、エメリー研磨紙の #150、#240、#320、#600、#1000、及びダイヤモンド粒子の 3μ と 1μ で順を追って研磨している。なお金属鉄は 5% ナイタル（硝酸アルコール）液、銅は酢酸・硝酸・アセトン混合液を用いて腐食（Etching）して組織観察を行った。

(4) ビッカース断面硬度

鉄中の鉱物と、金属鉄の組織同定を目的として、ビッカース断面硬度計（Vickers Hardness Tester）を用いて硬さの測定を行った。試験は鏡面研磨した試料に 136° の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた窪みの面積をもって、その荷重を除した高を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用し、試験荷重は 0.2kgf で測定した。

(5) EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) 調査

化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定を目的とする。

分析の原理は、真空中で試料面（顕微鏡試料併用）に電子線を照射し、発生する特性 X 線を分光後に画像化し、定性的な結果を得る。更に標準試料と X 線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理してデータ解析を行う方法である。

(6) 化学組成分析

供試材の分析は次の方法で実施した。

全鉄分 (Total Fe)、金属鉄 (Metallic Fe)、酸化第一鉄 (FeO) : 容量法。

炭素 (C)、硫黄 (S) : 燃燒容量法、燃燒赤外吸収法。

二酸化珪素 (SiO₂)、酸化アルミニウム (Al₂O₃)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化カリウム (K₂O)、酸化ナトリウム (Na₂O)、酸化マンガン (MnO)、二酸化チタン (TiO₂)、酸化クロム (Cr₂O₃)、五酸化磷 (P₂O₅)、バナジウム (V)、銅 (Cu) : ICP (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer) 法 : 誘導結合プラズマ発光分光分析。

(7) 耐火度

主に炉材の性状調査を目的とする。耐火度は、熔融現象が進行の途上で軟化変形を起こす状態での温度で表示される。胎上をゼーゲルコーンという三角錐の試験片に作り、1分間当り10℃の速度で1000℃まで温度上昇させ、以降は4℃に昇温速度を落とし、試験片が荷重なしに自重だけで軟化し崩れる温度を示している。

3. 調査結果

TER-1 : 流動滓

肉眼観察 表面がきれいな流動状を呈する小型 (20g) の鉄滓片である。上面は酸化雰囲気中に曝されて紫紅色を呈する。また側面の破面では滓が上下2層に重なっている。なお破面は気孔が少なく、非常に緻密である。下面には木炭痕が僅かに残る。

顕微鏡組織 Photo. 1 ①~③に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvospinel : 2FeO·TiO₂)、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト (Fayalite : 2FeO·SiO₂) に加え、微細な白色樹枝状結晶ウスタイト (Wustite : FeO) が素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。

なお②は試料表層部で冷却速度が早いいため、ウルボスピネル結晶が微細な樹枝状に晶出する。これに対して③は試料内部で冷却速度が比較的に遅いため、発達した多角形結晶が形成される。これは製鉄炉の操業中、炉内に溜まった滓を排出する時に生じる炉外流出滓によく見られる特徴である。

ピッカーズ断面硬度 Photo. 1 ①の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は610Hvで、ウルボスピネルと推測される⁽⁹⁾⁽¹¹⁾。

化学組成分析 Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 46.16%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.11%、酸化第一鉄 (FeO) 51.41%、酸化第二鉄 (Fe₂O₃) 8.71%の割合であった。渣滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) 31.58%と高めで、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は2.75%である。

また主に製鉄原料の砂鉄に同溶する二酸化チタン (TiO₂) 5.41%、バナジウム (V) 0.19%であった。また酸化マンガン (MnO) が0.96%、銅 (Cu) は<0.01%であった。

脈石成分 (Ti, V, MnO) の数値から、当試料は低チタン含有量 (TiO₂ : 2~3%程度) 砂鉄を原料とした製鉄滓と推定される。

TER-2 : 梔形鍛冶滓 (含鉄)

肉眼観察 平面が不整楕円形で厚手の梔形鍛冶滓である。1040gを測る大型品。上面は緩やかな流動状の滓部で、部分的に茶褐色の錆色が広がる。特殊金属探知機の特L (☆) で反応があり、内部には金属鉄が良好に遺存すると推測される。側面から下面にかけては木炭痕が密に残り、一部灰褐

色土が固着している。この灰褐色土は鍛冶炉の炉床土であった可能性が考えられる。

顕微鏡組織 Photo. 1④～⑧に示す。④～⑥は金属鉄部である。当試料内部にはまとまった鉄塊は存在せず、最大でも2～3mm程の微細な金属鉄が洋中に多数散在している。これらの鉄部は何れも炭素含有量の低い軟鉄であった。④の鉄部は白色のフェライト素地に少量黒色のパーライトが析出する亜共析組織で、炭素含有量は0.2%程度と推測される。また⑤⑥の鉄部は、ほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織であった。

淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘーシナイト (Hercynite: $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) の固溶体^(9,21)である。さらに発達した白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質洋中に晶出する。鍛冶原料(製錬系鉄塊)の不純物を除去する、精錬鍛冶工程で派生する洋に一般的な組成といえる。

ピッカース断面硬度 Photo. 1⑥の金属組織部分(フェライト単相)の硬度を測定した。硬度値は79Hvで、組織に見合った値である。

またPhoto. 1⑦の白色樹枝状結晶の硬度値は482Hvであった。ウスタイトの文献硬度値450～500Hvの範囲内であり、ウスタイトに同定される。また⑧の淡茶褐色多角形結晶は724Hvで、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体と判断される。

化学組成分析 Table. 2に示す。全鉄分(Total Fe) 59.27%に対して、金属鉄(Metallic Fe)は3.61%、酸化第1鉄(FeO)が44.98%、酸化第2鉄(Fe_2O_3) 29.59%の割合であった。造滓成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)は15.21%と低値で、このうち塩基性成分は($\text{CaO} + \text{MgO}$) 1.53%であった。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン(TiO_2)は3.94%、バナジウム(V)が0.11%であった。また酸化マンガン(MnO)は0.39%、銅(Cu) 0.01%である。

当試料はTER-1流動滓(製錬滓)と比較すると脈石成分(Ti, V, Mn)が低減する。後続工程の精錬鍛冶作業で派生した滓と判断される。

TER-3: 梔形鍛冶滓(含鉄)

肉眼観察 平面が円形に近い形状を呈する、完形の梔形鍛冶滓である。上面は緩やかな皿状に中央部が窪み、表面には微かに木炭痕が残る。下面は浅い梔形で、微細な木炭痕に覆われる。側面が一部茶褐色の銹色を呈し、特殊金属探知機の特L(☆)で反応があるため、内部には金属鉄が良好に遺存する。

マクロ組織 Photo. 22に示す。試料内部にはまとまった鉄部が遺存する。金属組織から、全体に炭素含有量の低い軟鉄である。

また試料上面側の金属鉄部では、多数の気孔が層状に分布しており、ごく粗い鍛打が施された鉄素材が、鍛冶炉内に落ちて取り残された可能性が考えられる。

顕微鏡組織 Photo. 2①～⑤に示す。洋中には白色樹枝状結晶ウスタイトと発達した淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。鍛錬鍛冶滓に一般的な鉱物組成である。

また洋中の金属鉄は5%ナイトルで腐食している。試料上面の鉄部中央には若干炭素量の高い領域がある。②はその拡大で、発達した針状フェライトの周囲に若干黒色層状のパーライトがみられる。素地の灰色部は下部ペイナイトと推測される。

また③④は鉄部下面側の拡大で、発達した針状フェライト主体の組織であった。⑤はさらに試料

下面側で、液中に散在する微細な金属鉄の拡大である。比較的発達した多角形状のフェライト単相の組織が確認された。

ピッカース断面硬度 Photo. 2 ①～⑤の金属組織の硬度を複数個所測定した。硬度値は86～140 Hvで、試料上面側ほど高値傾向を示す。この硬度値から、当試料中の金属鉄は最大でも0.1%以下の炭素量の軟鉄である。

TER-4：梔形鍛冶滓（含鉄）

肉眼観察 平面が不整形で比較的小型（195g）の梔形鍛冶滓である。上面は中央がやや窪み形状で、一部黒錆の滲みや錆膨れが確認される。下面では全面に長さ1cm以下の木炭痕が残る。また一部木炭の噴き込みもみられる。当試料の表層は広い範囲で、茶褐色の錆色に覆われており、特殊金属探知機の特L（☆）で反応があるため、内部に金属鉄が残存すると推測される。

マクロ組織 Photo. 22に示す。液中にはごく微細な不定形の金属鉄が多数散在するが、その多くが上下面の表層付近に集中している。

また金属鉄部はほとんど浸炭していないフェライト単相の組織から、全面パーライトの共析組織（0.77% C）に近いものまで確認された。

顕微鏡組織 Photo. 3 ①～⑤に示す。①は試料上面表層の金属鉄の分布状態を示した。写真左側が試料の上面側にあたる。液中には発達した白色粒状結晶ウスタイトと淡灰色木ぞれ状結晶ファイヤライトが晶出する。鍛錬鍛冶滓にごく一般的な鉱物組成である。

また液中の金属鉄は5%ナイトルで腐食している。②～⑤は金属鉄部の拡大である。②は針状フェライトに若干黒色層状のパーライトが析出する亜共析組織、③はほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織、④は素地がベイナイト（フェライト地に分散した微細な炭化物で構成される）で、発達した針状フェライトが析出する組織、⑤は素地が黒色層状のパーライトで、僅かに白色の初析フェライトが析出する組織であった。以上のように液中には様々な炭素含有量の鉄部を含む。

ピッカース断面硬度 Photo. 3 ①～⑤の金属鉄部の硬度を複数個所測定した。硬度値は73～240Hvであった。炭素量は鉄部ごとにばらついており、全体に軟鉄の割合が高いが、僅かに最大0.7%程度の炭素量の金属鉄も確認される。

TER-5：梔形鍛冶滓（含鉄）

肉眼観察 大型（1016g）ではほぼ完形の梔形鍛冶滓である。上面端部に黒色ガラス質滓や半溶解石が固着する。前者は羽目先端の溶融物と推測される。下面は全体が不規則な凹凸や微細な木炭痕で覆われ、部分的に黄褐色の鍛冶炉床土が付着する。

また特殊金属探知機の特L（●）で反応があるため、内部に金属鉄が残存すると推測される。

顕微鏡組織 Photo. 4 ①～⑤に示す。写真左側が試料の上面側にあたる。液中には比較的発達した白色粒状結晶ウスタイトと淡灰色短柱状結晶ファイヤライトが晶出する。鍛錬鍛冶滓にごく一般的な鉱物組成である。また液中の金属鉄は5%ナイトルで腐食している。①の写真上側の白色部は針状フェライトで、その周囲には黒色層状のパーライトが析出し、素地の灰色部はベイナイトである。中央部はフェライト素地に少量パーライトが析出する亜共析組織である。また写真下側に向かって徐々に炭素量が下がり、下端部ではフェライト単相の組織となる。

ビッカース断面硬度 Photo. 4 ②～③の金属組織の硬度を複数個所測定した。硬度値は75～184HVであった。この硬度値と金属組織の特徴から、最大でも0.2%程度の炭素含有量の軟鉄である。また鉄部の冷却速度は比較的速かったと推測され、水冷された可能性も考えられる。

化学組成分析 Table. 2に示す。滓部を中心に分析を実施した。全鉄分 (Total Fe) 54.66%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) は3.31%、酸化第1鉄 (FeO) 49.08%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) が18.87%の割合であった。造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) 25.96%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は1.62%である。主に製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン (TiO₂) は0.57%、バナジウム (V) は0.04%と低値であった。また酸化マンガン (MnO) も0.08%と低く、銅 (Cu) は0.01%であった。脈石成分 (Ti, V, Mn) の低減傾向が著しい。

滓の鉱物・化学組成から、当試料は砂鉄を始発原料とした鉄素材を原料とした、鍛錬鍛冶工程での派生物である。ただし滓中の金属鉄は内部の気孔の状態からほとんど鍛打を受けていないと推測されるため、鍛打作業初期の派生物の可能性が高い。

TER-6：椀形鍛冶滓

肉眼観察 非常に軽い小型 (52g) の椀形鍛冶滓である。素地部分は黒色ガラス質滓で、内部には石英・長石などの砂粒が多量に混在する。これらの砂粒は最大20mm程の大粒のものである。

顕微鏡組織 Photo. 5 ①～③に示す。①の白色部は滓中の微細な金属鉄である。また紙面の構成上顕微鏡写真は割愛したが、微細な錆化鉄粒が多数散在している。

②③は試料下面の黒色ガラス質滓部分の拡大で、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。なお試料上表面はガラス質滓中に晶出物はほとんどみられず、石英・長石等の砂粒が多数混在する。

化学組成分析 Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 2.36%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.10%、酸化第1鉄 (FeO) 1.02%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 2.10%の割合であった。造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は95.99%と高い割合を占める。主に砂鉄粒中に固溶する二酸化チタン (TiO₂) は0.29%、バナジウム (V) は0.01%と低値であった。また酸化マンガン (MnO) も0.04%と低い。銅 (Cu) は0.01%である。

当試料はSiO₂、Al₂O₃、K₂O、Na₂Oが高値傾向を示す。滓中に混在する石英・長石などの石粒を反映した値である。該品も半溶解石の投入が指摘されているが、今回の分析結果からはその趣旨が捉えられなかった。カリウム、ナトリウムが高値傾向にあるが……。

TER-7：鍛冶滓 (含鉄)

肉眼観察 平面不整形をした含鉄鉄滓である。表面は茶褐色の土砂で覆われ、小さなひび割れや黒錆の滲みがみられる。特殊金属探知機の特L (☆) で反応があるため、まとまった鉄部が存在すると推定される。

マクロ組織 Photo. 23に示す。まとまった鉄主体の遺物であった。浸炭の進んだ過共析組織～白鉄組織の鉄塊で、内部には不定形の気孔が多数散在する。当試料は鍛打前の鍛冶原料鉄と推測される。

顕微鏡組織 Photo. 5 ④～⑧に示す。④は試料表層の酸化土砂中に固着する鍛造剥片である。また⑤は表層に固着する滓部である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ウスタイト

が素地の暗黒色ガラス質滓中に品出する。このウスタイト (FeO) は金属鉄が鍛冶炉内で加熱されて、再酸化した可能性が高い。この鉱物組成から、当試料は精錬鍛冶中途の鍛冶原料鉄と推測される。

⑥~⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。⑥⑦は蜂の巣状のレデブライトが品出する亜共析組成白鑄鉄組織、⑧は黒色層状のパーライト素地に白色板状のセメンタイトが析出する過共析組織部分を示した。

ピッカース断面硬度 Photo. 5 ⑦⑧の金属組織の硬度を測定した。中央はその圧痕で、⑦は白鑄鉄組織のレデブライト部分で硬度値は728Hv、⑧は過共析組織のパーライトで硬度値は362Hvであった。それぞれ組織に見合った値といえる。

TER-8：鍛冶滓 (未製品付)

肉眼観察 不定形で小型の鍛冶滓の上面に、棒状の鉄部が固着している。滓の上面は比較的滑らかな流動状で、一部は黒色ガラス質滓である。また下面には粉炭痕のような凹凸が広がる。

また鉄部は51×16×6 mm程の細長い棒状を呈する。試料表面は土砂に覆われ、錆化による錆彫れや放射割れを起こしている。ただし特殊金属探知機のL (●) で反応があるため、内部には金属鉄が遺存すると推測される。

マクロ組織 Photo. 23に示す。鉄部の断面は歪で方形ないし円形といった定形に整えられつつある。また表層部には広い範囲に薄く暗黒色ガラス質滓が付着している。

写真左側が高炭素域で、パーライト素地に網目状にセメンタイトが析出する過共析組織、写真右側がほぼ全面パーライトの共析組織であった。

顕微鏡組織 Photo. 6 ①~⑧に示す。①は試料表層に付着する微細な酸化鉄の破片である。断面には外層ヘマタイト (Hematite: Fe₂O₃)、中間層マグネタイト (Magnetite: Fe₃O₄)、内層ウスタイト (Wustite: FeO) の3層が確認される。熱間加工時に鉄素材ないし半製品の表層が酸化して生じた鍛造剥片の可能性が高い。また②は土砂中に取り込まれた、ごく微細な木炭破片である。木炭は鉄と置換しつつある。

また③は錆化鉄部分の非金属 inclusion を示した。鉄部内には展伸した形状の介在物が複数確認された。このことから当鉄部は鍛打成形が終了した鉄製品ではないとしても、ごく粗い鍛打が施されたと判断される。一方暗黒色ガラス質滓中の品出物は、色調と形状からシュードブルーカイト (Pseudobrookite: Fe₂O₃·TiO₂) など、チタン (TiO₂) の割合が高い鉄チタン酸化物と推測される。当鉄部は砂鉄を用いて高温製錬^(※3) で造られた鉄塊が原料であった可能性が高い。

④~⑧は5%ナイタルで腐食して現れた組織である。④の写真左側は網目状にセメンタイトが析出する過共析組織、右側はほぼ全面パーライトの共析組織であった。⑤⑥はその拡大である。これらの金属組織から鉄中の炭素含有量は0.8~1.1%程度と推定される。

ピッカース断面硬度 Photo. 6 ⑦⑧の金属組織の硬度を測定した。⑦は過共析組織の網目状のセメンタイトと周囲に広がるフェライト結晶部分である。硬度値が173Hvとやや軟質傾向であるのは、フェライトの影響と判断される。⑧は共析組織部分で硬度値は208Hvであった。組織に見合った値である。

以上の結果、当試料中の鉄部は鍛打初期段階の未製品と推測される。砂鉄始発原料で、周辺地域

で造られた鉄塊が鍛冶原料であったと想定しても矛盾はない。なお鉄中の炭素含有量は高く、硬度を必要とする刃器製作等にも向いた素材といえる。

TER-9：鉄塊系遺物（鍛冶系）

肉眼観察 平面不整形円状を呈して、上下方向に伸びる鉄塊系遺物である。表面は錆化により土砂に覆われ、黒錆の滲みや一部表層の剥離を起こしている。重量感があり、特殊金属探知機の特L(☆)で反応があるため、鉄主体の遺物と推測される。また全体に木炭痕が顕著で、長さ1cm程のものから最大3cmを越えるものまでみられる。

マクロ組織 Photo. 24に示す。当試料はほぼ鉄部主体の遺物であった。複数の鉄塊が接合したような不定形の扁平な形状で、内部には不定形の気孔が多数散在する。また表層には薄く滓が固着しており、凹部では滓の噛み込みが顕著である。

顕微鏡組織 Photo. 7①～⑨に示す。①～③は滓部である。①は試料表層部で、白色粒状結晶ウスタイトが凝集して晶出する。これは金属鉄を加熱した際に表層が酸化して生じた鍛冶滓と推定される。これに対して②③は試料内部である。どちらも砂鉄を原料とした製錬滓の鉱物組成を示し、②は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、③は微細な樹枝状のウルボスピネルと淡褐色片状結晶シェードブルーカイトないしルチル(Rutile: TiO_2)が晶出する。このため当試料は鉄塊中に固着した製錬滓を溶融・除去する精錬鍛冶中途の派生物であり、内部にまだ除去されていない製錬滓を噛み込んでいると判断される。

④～⑨は鉄部を5%ナイタルで腐食した組織である。④はほとんど浸炭していないフェライト単相の個所である。また⑤は白色のフェライト主体で黒色層状の割合が僅かな亜共析組織、⑥⑦の素地の灰色部はベイナイトで、白色部は針状フェライト、その周囲に黒色層状のパーライトが晶出する。当試料は最大で0.2%程度炭素を含む軟鉄である。

金属組織の特徴から当試料の冷却速度は比較的速かったと推測される。水冷された可能性も考えられる。

ピッカース断面硬度 Photo. 7⑧⑨の金属組織の硬度を測定した。⑧はフェライト素地にごく少量パーライトが析出する個所で硬度値は113Hv、⑨は針状フェライトと下部ベイナイトないし低温変態パーライトからなる個所で、硬度値は187Hvであった。

化学組成分析 Table. 2に示す。全鉄分(Total Fe) 56.53%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 1.16%、酸化第1鉄(FeO) 16.87%、酸化第2鉄(Fe_2O_3) 60.42%の割合であった。試料端部を供試材としたため金属鉄が少なく、錆化鉄の割合がより高くなった。

造滓成分($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$)は10.09%であるが、錆化に伴う付着土砂等の影響が若干であると推測される。また主に製鉄原料の砂鉄に由来する「酸化チタン(TiO_2)」は1.26%、バナジウム(V)が0.06%で、鉄塊系遺物としては比較的高値であった。除去されていない製錬滓を反映した値といえる。酸化マンガン(MnO)も0.14%と高めで、銅(Cu)は<0.01%であった。

当試料は精錬鍛冶工程のごく初期の様相をとどめる鍛冶原料鉄といえる。また内部に噛み込んだ製錬滓の鉱物組成から、当試料も砂鉄を高温製錬して造られた鉄塊が原料と推定される。

TER-10：鉄素材（板状未製品）

肉眼観察 上下面が比較的平坦な板状を呈する鉄片である。側面は3面が直線状で、このうち2面は鋸で切断した痕跡のように斜めに傾斜しており、鋸で切り分けられた鉄素材の可能性が考えられる。ただし錆膨れや黒錆の滲みも見られるため、錆化による破面の可能性もある。

マクロ組織 Photo. 24に示す。試料右下の端部から左上にかけて斜めに折り返した痕跡が残る。このため当該試料は鍛錬中途の鉄素材（未製品）の可能性が高い。また断面が不規則な形状のため、既に表層は鍛接線に沿って剥離しており現状は芯部のみ残存している可能性が考えられる。

顕微鏡組織 Photo. 8①～⑧に示す。①は試料表層部を示した。写真左側の白色部は金属鉄である。右側は表層に薄く固着する滓部で、白色粒状のウスタイトが凝集して晶出する。鍛冶作業で試料表層が加熱酸化され生じたものである。

また②③は鉄中非金属介在物である。微細な淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡褐色片状結晶シユードブルーカイトないしルチルが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出している。これらの介在物から、当該試料も砂鉄を用いて比較的高温で製錬された鉄塊が鍛冶原料であったと推定される。

④～⑧は金属鉄を5%ナイトルで腐食した組織である。④は試料側面端部の折り返し部分の拡大である。当該試料の素地部分はほぼ全面パーライトの共析組織（C：0.77%）であるが、鍛接線もしくは亀裂に沿って脱炭しており、特に写真右側（マクロ写真右下部分）は脱炭が進み、ほとんど炭素を含有しないフェライト単相の組織となっている。また⑤は素地部分、⑥～⑧は脱炭層の金属組織の拡大である。

ピッカース断面硬度 Photo. 8⑤～⑧の金属組織の硬度を測定した。⑤のほぼ全面パーライト組織部分の硬度値は274Hvであった。また⑥⑦のパーライト素地に白色針状のフェライトが析出する亜共析組織部分の硬度値は共に134Hv、⑧のフェライト単相部分の硬度値は107Hvであった。炭素含有量の減少に対応して軟化が確認され、組織に見合った値といえる。

EPMA調査 Photo. 28の1段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。1の番号をつけた暗色結晶の定量分析値は17.2%FeO-13.3%MgO-58.4%Al₂O₃-3.9%V₂O₅-3.5%MnO-3.2%TiO₂であった。ヘーシナイト〔鉄スピネル〕（Hercynite：Fe₂+Al₂O₄）とスピネル（Spinel：MgAl₂O₄）を主な端成分とする固溶体の可能性が高い。ヘーシナイトは製錬・鍛冶滓ともに比較的良好に見られるが、当結晶のようにMgを多量に固溶するものは珍しい。柱状のヘーシナイト成分の結晶より、高温・強還元雰囲気が生じたと推測される。

また2の番号をつけた淡褐色多角形結晶の定量分析値は68.2%TiO₂-10.9%V₂O₅-8.0%FeO-6.4%Al₂O₃-3.8%MgO-1.2%MnOであった。チタン酸化物主体の化合物であり、砂鉄の高温製錬で派生した品出物と推定される。

さらにもう1視野、Photo. 28の2段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。4の番号をつけた淡褐色片状結晶の定量分析値は71.5%TiO₂-6.6%V₂O₅-10.3%FeO-2.3%Al₂O₃-6.7%MgO-1.0%MnOであった。これもチタン酸化物主体の化合物であった。

また5の番号をつけたガラス質の素地部分の定量分析値は、36.5%SiO₂-9.8%Al₂O₃-13.3%CaO-3.3%MgO-3.8%K₂O-17.4%TiO₂-12.4%FeO-2.1%MnOであった。

以上の介在物の特徴から、当該試料は砂鉄を原料として高温製錬された生成鉄からつくられた半製品と推定される。

TER 11: 鉄塊系遺物 (鍛冶系)

肉眼観察 平面は不整六角形で比較的まとまりの良い鉄主体の遺物である。上面が平気味で下面は碗形を呈する。側面は破面主体の可能性が高い。表面は錆化により土砂が付着し、黒錆や錆膨れの欠けなどがみられる。また上面には薄い木炭痕があり、下面にも大型の木炭痕ないしは工具痕が残る。

マクロ組織 Photo. 25に試料側面端部を示した。表面の凹部に滓を噴み込んでいるが、まとまった鉄主体の遺物である。また芯部は過共析組織であるが、試料表層は熱影響を受けて割れや亀裂などの隙間の広い範囲が酸化・脱炭している。ほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織の箇所も若干確認される。

顕微鏡組織 Photo. 9①～⑥に示す。①は試料表層に固着した滓部である。白色粒状結晶ウスタイトが凝集して品出する。鍛冶処理中に金属鉄の表層が酸化して生じた滓と推定される。②は鉄中非金属介在物である。やや展伸した形状の介在物が複数分布する。

当試料は粗く鍛打を施した鉄素材 (未製品) と判断される。また淡褐色片状結晶シェードブルーカイトないしルチルが素地の暗黒色ガラス質滓中に品出している。当試料も砂鉄を用いて高温で製錬された鉄塊が鍛冶原料であったと推定される。

③～⑥は金属鉄を5%ナイトルで腐食した組織である。④の写真左側が芯部で、パーライト素地に針状セメントイトが析出する過共析組織であった。これに対して、写真右側は試料表面の脱炭層で、白色のフェライト素地に少量パーライトが析出する亜共析組織となっている。また③⑤は④の拡大である。

ピッカース断面硬度 Photo. 9⑥～⑧の金属組織の硬度を測定した。⑥は芯部の過共析組織部分で硬度値は295Hvであった。また⑦はほぼ全面パーライトの共析組織部分で硬度値は283Hv、⑧は表層部の亜共析組織部分で硬度値は165Hvであった。炭素含有量の減少に対応して軟化が確認される。組織に見合った値である。

TER 12: 粒状滓^(P4)

TER-12 イー1 2.5mm径、磁着：弱

肉眼観察 表面の色調は黒灰色で、やや歪んだ球状を呈する。また部分的に茶褐色の土砂が付着するが、表面は比較的平滑である。

マクロ組織 Photo. 10①に示す。粒内には最大0.25mm程の気孔が散在する。

顕微鏡組織 Photo. 10②に示す。粒内にはごく微細な金属鉄が僅かに散在する。また白色粒状結晶ウスタイト、及びごく微細な木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に品出する。

TER-12 イー2 1.4mm径、磁着：弱

肉眼観察 表面の色調は黒灰色で、歪な球状を呈する。表面にはやや凹凸があり、部分的に微細な気孔が点在する。

マクロ組織 Photo. 10③に示す。中央に0.7mm程で比較的美しい球状の気孔が存在する。その周囲にも最大0.2mm程の気孔が多数散在する。

顕微鏡組織 Photo. 10④に示す。白色多角形結晶マグネタイトが素地の暗黒色ガラス質滓中に品

出する。

TER-12 ロー1 2.4mm径、磁着：やや強

肉眼観察 表面の色調は黒灰色で、やや歪な球状を呈する。表面には小さな棘状の突起が複数見られる。

マクロ組織 Photo.10⑤に示す。粒内には最大0.2mm程の気孔が散在する。写真上面の突起部分は球状部分と鉱物の品出状態が若干異なる。ただし両者は2次のな付着でなく、一体の滓と推定される。

顕微鏡組織 Photo.10⑥に示す。写真上側が突起部分で、ごく微細な樹枝状のウスタイトとファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質中に品出する。また本体の球状部分は粒状のウスタイトが凝集気味に品出する。

TER-12 ロー2 1.6mm径、磁着：やや強

肉眼観察 色調は暗褐色で、比較的きれいな球状を呈する。表層には茶褐色の錆が付着するため若干凹凸がみられる。

マクロ組織 Photo.10⑦に示す。内部は大きく空洞化している。

顕微鏡組織 Photo.10⑧に示す。白色多角形結晶マグネタイトが凝集して品出する。

分析調査を実施した粒状滓4点のうち、ロー2はきれいな球状を呈し、内部が大きく空洞化しているため、鍛打により飛散した粒状滓の可能性が高い。これに対して残る3点はやや歪な形状で、内部も空洞化していないため、鍛冶炉内で滓が溶融、垂下して生じた可能性が考えられる。しかしこれらも鉄酸化物主体の組成であり、鍛錬鍛冶工程での派生物と判断される。

TER-13：鍛造剥片⁽²⁴⁾

TER-13 イー1 5.1×3.5×0.5mm、磁着：弱

肉眼観察 色調は光沢のない黒褐色で、表裏面とも細かい凹凸がみられる。

マクロ組織 Photo.10⑨に示す。比較的厚手の剥片である。特に裏面側の凹凸により、厚みが変動している。

顕微鏡組織 Photo.10⑩に示す。王水腐食により、鉄酸化物の3層構造（外層へマタイト、中間層マグネタイト、内層ウスタイト）が明瞭に現れた。内層ウスタイトは凝集が進んでいるが、上下方向に伸びた結晶粒が確認される。

TER-13 イー2 3.6×2.5×0.2mm、磁着：弱

肉眼観察 色調はやや光沢のある青灰色である。比較的平出であるが、表裏面ともごく細かい凹凸がみられる。

マクロ組織 Photo.11⑪に示す。やや薄手の剥片である。表裏面の凹凸により、断面が僅かに彎曲している。該品は本来保持していた酸化膜組成が風化により侵されて、王水腐食で更にウスタイトはダメージを受けている。

顕微鏡組織 Photo.11⑫に示す。王水腐食により、鉄酸化物の3層構造が確認された。また当該品は裏面側にもマタイト、マグネタイト層が存在する。これは鍛打により派生した鍛造剥片が、鍛冶炉内に飛散するなどして再度熱を受け生じた可能性が考えられる。

TER-13 イー3 3.2×2.9×0.12mm、磁着：弱

肉眼観察 色調はやや光沢のある青灰色である。表面は比較的平滑であるが、裏面には皺状の凹凸が微かにみられる。

マクロ組織 Photo. 11③に示す。比較的薄手の剥片である。表面は非常に平滑であるが、裏面は若干凹凸があるため厚みの変動がみられる。該品も風化によるダメージから内層が激しく侵される。

顕微鏡組織 Photo. 11④に示す。王水腐食により、鉄酸化物の3層構造が確認された。また当該試料もイー-2と同様、裏面側にヘマタイト、マグネタイト層が存在する。

TER-13 ロー1 4.2×4.1×0.5mm、磁着：やや強

肉眼観察 色調は光沢のない暗灰色である。表裏面とも凹凸があり、茶褐色の錆が付着している。

マクロ組織 Photo. 11⑤に示す。比較的厚手で、表裏面の僅かな凹凸により厚みの変動がみられる。

顕微鏡組織 Photo. 11⑥に示す。鉄酸化物の3層構造は見られない。白色部はウスタイトで、暗色部には微細なファイヤライト結晶が晶出する。これは鍛錬鍛冶滓と同様の組成であり、鍛冶滓片の可能性が高い。

TER-13 ロー2 3.2×3.0×0.2mm、磁着：やや強

肉眼観察 色調は光沢のない灰色で、表裏面とも比較的平滑である。

マクロ組織 Photo. 11⑦に示す。比較的平坦な剥片であるが、若干表裏面の凹凸による厚みの変動が目立つ。

顕微鏡組織 Photo. 11⑧に示す。鉄酸化物の3層のうち、中間層マグネタイトと内層ウスタイトの間が不明瞭である。ただし提示した写真の下側5mm程は比較的暗色でウスタイト層の可能性がある。この層は完全に非晶質化しており、鍛打工程後半段階の派生物と推測される。

TER-13 ロー3 2.7×1.4×0.1mm、磁着：やや強

肉眼観察 色調は光沢を持つ青灰色である。表面は緩やかな波状の平滑面で、裏面は細かい皺状の凹凸が認められる。

マクロ組織 Photo. 11⑨に示す。平坦度を保つ剥片である。

顕微鏡組織 Photo. 11⑩に示す。鉄酸化膜の3層構造が確認された。中間層マグネタイトは肥大化気味で内層ウスタイトは完全に非晶質化しており、鍛打工程後半段階の派生物と推測される。

分析調査を実施した6点のうち、ロー1は鍛冶滓片の可能性が高いが、残る5点は鍛打に伴って派生した鍛造剥片(スケール)と推定される。

TER-14：再結合滓

肉眼観察 平面不整六角形をした厚手の再結合滓片である。試料中には1cm以下の鉄滓片が含まれ、中には錆を吹くものもみられる。また粒状滓は僅かであるが、鍛造剥片が多量に混在している。鍛造剥片は比較的薄手で青黒い光沢を持つものが多い。さらに微細な木炭片も含んでいる。

顕微鏡組織 Photo. 12①～⑨に示す。①は微細な木炭片である。また②～⑤は鍛造剥片を示した。②③は鉄酸化物の3層構造(外層ヘマタイト、中間層マグネタイト、内層ウスタイト)が明瞭で、ウスタイト層が非晶質の剥片である。鍛打工程後半段階での派生物と推測される。また④⑤は鉄酸化物の3層構造が若干不明瞭で、ウスタイトは粒状に晶出している。このことから鍛打のごく初期に派生した剥片の可能性が高いが、鍛錬鍛冶滓の表層部破片の可能性も残る。

⑥～⑨には鉄滓の破片を示した。⑥⑦は結晶の大きさに差があるが、共にウスタイト、ファイヤライトが晶出しており、鍛錬鍛冶滓である。これに対して、⑧は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネルとファイヤライト、⑨は白色針状結晶イルミナイト、淡褐色片状結晶シュードブルーカイトないしルチルが晶出しており、砂鉄製錬滓が存在する。

当試料に含まれる鉄滓片には、⑧⑨に示したような製錬滓の小破片が複数確認された。これらの製錬滓の小破片から、当遺跡内に搬入された鍛冶原料鉄（砂鉄から造られた製錬系鉄塊）の表面に固着した製錬滓を叩いて落とすなど、鍛冶炉で加熱精錬する前に可能な範囲で不純物を除く作業を行っていた可能性が考えられる。

また鍛冶工程で派生した滓の小破片や多数の鍛造剥片も内蔵される。

当試料中の微細遺物の構成は、遺跡内で連続して精錬鍛冶～鍛錬鍛冶作業が行われたことを示すものであった。

TER-15：鉄錠状未製品

肉眼観察 平面が長い三角形の鉄片である。厚さ7mm程の板状を呈し、上下面には若干凹凸がある。側面3面はきれいな直線状を呈する。また表面に固着する上砂中には鍛造剥片が混在する。

マクロ組織 Photo. 25に示す。横断面はきれいな長方形に鍛打成形されている。当試料の内部には鍛接に伴う大側の展伸状存在物は見られないが、試料下面中央の白色部とそれ以外の部分では金属組織が異なるため、異なる異材を鍛接した鉄素材ないし鉄製品の可能性が考えられる。金属組織に関しては、顕微鏡組織の項で詳述する。

顕微鏡組織 Photo. 13・14①～⑤に示す。Photo. 13は試料下面側端部、Photo. 14は試料下面中央部の拡大である。Photo. 13・14①の写真上側のように、試料上下面の一部を除き、広い範囲で下部ペイナイト組織が確認された。これに対して試料下面側の白色部はフェライトで、灰色部は縮状マルテンサイト、黒色部はパーライトと判断される。以上の組織観察の結果、当試料は650℃程度まで温度が低下した状態から水冷されたと判断される。低温水冷の目的は何であろうか。

また鉄中非金属介在物中には淡褐色不定形のシュードブルーカイトないしルチル、あるいは多角形状のウルボスピネルが晶出している。当試料は砂鉄から造られた鍛冶原料鉄素材であったと推定される。

ビッカース断面硬度 Photo. 13・14②の試料内面側、④の下面表層部の硬度を複数箇所測定した。159～278HVと全体的に低値傾向を示すため、当試料は最大でも0.2%程度の炭素含有量の軟鉄と推定される。

TER-16：鉄器（刃器）

肉眼観察 平面不整形をした鉄器破片である。側面3面は直線状の破面である。残る1面は端部が斜めに塗切れており、槌で切断した可能性がある。

マクロ組織 Photo. 26に示す。残存金属鉄の形状から写真左側が棟部、右側が刃部の鉄器破片である可能性が高い。こちらは鍛接線が明瞭で、折り返し鍛錬が施されている。また棟側端部は介在物も写真下側方向に曲って分布していることから、写真上側から槌で切断されたと推定される。刃部先端は錆化により欠損している。

顕微鏡組織 Photo. 15・16①～⑤に示す。Photo. 15は棟側端部、Photo. 16は試料中央寄りの拡大である。ほとんど浸炭していない白色多角形のフェライト結晶単相の層と、フェライト素地に少量黒色のパーライトが析出する層が広範囲で確認された。さらにPhoto. 16②に示したように、試料上向表面層では一部発達した針状フェライトと上部ベイナイトからなる組織がみられる。この部分は試料表面側のため、冷却速度が比較的早かったと考えられる。また以上の金属組織から、当試料は最大でも炭素含有量が0.2%程度の軟鉄と判断される。

また介在物中には比較的発達した白色粒状結晶ウスタイトが多数晶出しており、一部淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトも確認される。これらは熱間加工時に鉄素材が酸化されて派生した酸化物であり、砂鉄製錬時に派生する鉄チタン酸化物の結晶はできなかった。

ピッカース断面硬度 Photo. 15・16①の金属組織の硬度を複数個所測定した。硬度値は95～124Hvと全体的に軟質の値を示し、組織に見合った値といえる。ただしフェライト単相の部分はやや硬質で、結晶中に若干不純物を固溶している可能性がある。

当試料は軟鉄を用いた鍛造品（刃器破片）のため、折れにくく砥ぎやすい点は長所となるが、硬いものの切削等、硬度を必要とする作業にはやや不向きといえる。また後工程に浸炭処理を考えての成形品であろうか。

TER-17：鉄器（角棒状）

肉眼観察 棒状の鉄器片である。試料表面は完全に平坦ではない。特に長軸側面のうち1面は斜めに鑿切りされた可能性の痕跡を残す。

マクロ組織 Photo. 26に示す。写真の上下面及び写真右側面はほぼ平坦で、各面の角部は直角に近い形状である。これらの面は鍛打で成形されたと推測される。これに対して、左側面は斜めに鑿切りされた可能性が高い。なお残存金属鉄部には鍛接線が残り、折り返し鍛錬が施された鉄素材ないし鉄製品と判断される。

また残存金属鉄は部位により炭素含有量の差が大きい。写真左下の白色部が低炭素域で、金属組織から0.1～0.6%程度の偏析があると判断される。

顕微鏡組織 Photo. 17①～⑤に示す。試料中央部付近の拡大である。①の写真上側は炭素含有量が高く、パーライト素地に網目状に初析フェライトが析出する。これに対して①の写真左側は低炭素域で、白色針状のフェライトの割合が高い。なお②③は①の上向側、④⑤は下面側の拡大である。

また③⑤では鍛打により展伸した形状の介在物も示している。③の介在物中にはごく微細な淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。⑤は非品質の珪酸塩で、内部に晶出物はみられない。これらは共に鍛錬鍛冶作業中、鉄素材表面の酸化防止のため塗布された、粘上汁等による介在物と推測される。

ピッカース断面硬度 Photo. 17②④の金属組織の硬度を測定した。炭素量の高い上面側の硬度値が164Hv、204Hvであり、炭素量の低い左下側の硬度値が137Hv、159Hvであった。それぞれ組織に見合った値といえる。

TER-18：鉄素材（板状未製品）

肉眼観察 薄板状の鉄素材（未製品）の破片である。平面は不整五角形で、側面端部が僅かに反り

返っている。また銹跡のためか、上下面にはやや凹凸がみられる。

マクロ組織 Photo. 27に示す。当試料は薄板状に粗く鍛打されているが、表裏面の緩やかな波状の凹凸に伴い、断面の厚みが3.5～5 mm程度変動している。また試料表面や中央部の割れ目には、鉄素材が酸化して派生したウスタイト (FeO) 主体の滓が固着する。以上の特徴から、当試料は鍛打成形された鉄製品の可能性は低く、折り返し鍛錬前の鉄素材の可能性が高いと考えられる。

顕微鏡組織 Photo. 18①～⑤に示す。試料中央付近の拡大で、写真右上の暗色部は滓を噛み込んだ割れ目である。試料表面には針状フェライトの割合が高い脱炭層がみられる。これに対して芯部では旧オーステナイト粒界に沿って若干初析フェライトが晶出するが、ほぼパーライト主体の組織であった。以上の金属組織から、当試料の炭素含有量は0.1～0.7%程度の偏析を持つと推定される。

鉄中の非金属介在物は非晶質硅酸塩系の素地中に、ごく微細な鉄チタン酸化物が晶出するものが複数確認された。当試料の始発原料は砂鉄と推定される。また介在物の形状は球状、展伸した形状のものが混在しており、鍛錬の度合いは弱いと推測される。

ピッカース断面硬度 Photo. 18①～⑤の金属組織の硬度を複数箇所測定した。硬度値は121～334Hvであった。フェライトの割合が少ない芯部の高炭素域ほど硬質である。なお芯部で高値傾向が著しいのは、当試料の冷却速度が比較的速くパーライトの層間が密なためと考えられる。

TER-19：羽目（鍛冶滓付）

肉眼観察 羽目の先端部破片である。内径は3 cm程と推測される。外面は長軸方向に沿ってヘラ削りで調整されている。胎土は緻密で、石英質の砂粒とスサを少量混和している。

また先端には不整形凹形で薄手の碗形鍛冶滓が付着する。滓下面は木炭痕が点在しており、一部鍛冶炉床土が固着している。

顕微鏡組織 Photo. 19①～⑤に示す。①～③は羽目先端に固着した滓部である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄を始発原料とする精錬鍛冶滓に一般的な鉱物組成である。

④⑤は羽目先端のガラス質滓部分である。粘上鉱物は黒色ガラス質化しているが、混和された石英・長石粒はほぼ本来の形状を保つが高温クラックが僅かに発生する。

化学組成分析 Table. 2に示す。羽目胎土部分の調査を実施した。強熱減量 (Ig loss) 1.36%と低値で、熱影響が強く結晶構造水の多くが飛散した状態での分析である。鉄分 (Fe₂O₃) が3.63%と高く、酸化アルミニウム (Al₂O₃) は17.26%と低めで、耐火性には不利な成分系である。

耐火度 1160℃であった。古代の鍛冶羽目としても耐火性の低い性状である。特に鍛冶原料（製錬系鉄塊）の表層に固着した製錬滓を溶融・分離するため、高温の保持が必要な精錬鍛冶作業では先端部の溶損が著しかったと推察される。

TER-20：土器転用ルツボ

肉眼観察 土師器甕の破片である。全体に熱影響が強く、ルツボに転用された可能性が高い。熔融金属が接触する内面表層は全面暗褐色のガラス質滓化し、直接炎が当たる外面側も黒灰色に変色している。胎土中には石英・長石粒が比較的多く混在する。

顕微鏡組織 Photo. 19⑥～⑧に示す。いずれも内面表層のガラス質滓部分の拡大である。⑥の粒

状の明色部は赤銅色を呈し金属銅と推測される。酢酸・硝酸・アセトン混合液で腐食したが、ほとんど変化はみられなかった。また周囲の多角形結晶はマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) で、銅粒に含まれていた鉄分が酸化したものと判断される。

また⑦⑧は内面表層に付着する滓部を示した。淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) が晶出する。これも銅中の不純物の鉄分が酸化して生じた可能性が高く、当試料はやや不純物を含む銅素材を溶解したと推定される。

なお内面表層では粘土鉱物が完全にガラス質滓化するが、石英・長石などの鉱物粒はほぼ形状を保っている。

ピッカース断面硬度 断面の構成上、圧痕の写真を割愛したがPhoto. 19⑥の銅粒の硬度測定を実施した。硬度値は58Hvと非常に軟質で、純度の高い金属銅と推測される。この銅粒がエッチング液を受けなかったのは何故であろうか。風化の影響が出るのかも知れない。

TER-21: 小型ルツボ

肉眼観察 小型のルツボの口縁から体部破片である。溶融金属が触れる内面傘面と外面口縁部の表層がガラス質滓化している。内面には緑青の吹いた粒状の付着物が点在する。胎土は硬質で、砂粒や粉痕、スサの混和が少量確認される。

顕微鏡組織 Photo. 20①~③に示す。①はルツボ胎土部分である。強い熱影響を受けて粘土鉱物はガラス質滓化している。また②③の中央は内面表層ガラス質滓中の銅粒である。暗色部は錆化部分である。粒状初晶の錆化が先に進み、素地部分にも錆化が広がり始めている。このため酢酸・硝酸・アセトン混合液腐食を行ったが、ほとんど変化がみられなかった。

ピッカース断面硬度 Photo. 20③の銅粒部分の硬度測定を行った。硬度値は85Hvであった。比較的軟質の値のため、純度の高い銅粒の可能性が高い。

耐火度 1200℃であった。当試料や他のルツボにも純度の高い銅粒が付着している。このため当遺跡では銅関連遺物製作に伴い、これらの銅粒が溶融する温度(純銅の融点: 1080℃)まで、ルツボが加熱されていたと推測される。こうした状況を考慮すると、当試料の耐火性は若干低めと判断される。

TER-22: ルツボ(転用ルツボ内張り部分)

肉眼観察 当試料は土器転用ルツボ底部の内張り部分の可能性が指摘されている。内面表層はガラス質滓化しているが、銅の酸化による赤い発色(銅赤)が著しい。また粒状の緑青も点々と確認される。胎土は石英・長石等の砂粒主体の粗い土を選択している。

顕微鏡組織 Photo. 20④~⑤に示す。いずれも内面表層側のガラス質滓部分である。④の写真左上に複数散在する金属粒は全て赤銅色を呈しており、比較的純度の高い銅粒の可能性が高い。なお酢酸・硝酸・アセトン混合液で腐食したが、これらはほとんど変化が見られなかった。また銅粒の周囲には不定形・柱状の晶出物が多数確認される。当試料はEPMA調査を実施していないため、この晶出物の組成は不明である。但し他の遺跡から出土した銅関連遺物のEPMA調査事例を参考にすると、青銅製作時に添加される錫ないしその酸化物の可能性が考えられる。

⑤⑥もガラス質滓中の微細な銅粒を示した。④~⑥のような赤銅色の銅粒は、内面表層に多数硫

認められる。⑤は全体に赤銅色が強く、酢酸・硝酸・アセトン混合の腐食で多角形結晶（ α 相）が確認された。純度の高い銅粒と推測される。また⑥も素地部分は赤銅色で、高純度銅と推測される。粒界の不規則な網状の青灰色部は錆化銅、ないしは銅鉱石に由来する鉄・砒素などの不純物を含んでいる可能性が高い。

これに対してガラス質滓の比較的内側には、⑦⑧中央に示したような金属粒が多数散在する。素地部分は白色、内部の楕円ないし不定形部は淡黄色を呈する。全体に淡黄色部は錆化が速く、完全に錆化して青灰色になっているものも多い。これらは不純物を多く含む銅ないしは銅合金の可能性が考えられるが、金属組織観察のみから組成を類推することはできなかった。

TER-23：鍛冶滓（緑青付着）

肉眼観察 小型の滓破片である。上下面と側面の一部が生きており、小型の楕円鍛冶滓の淡部破片と推測される。表面には1cm以下の小型の木炭痕が残る。また外面には粒状の緑青が付着している。

顕微鏡組織 Photo. 21①～④に示す。①及び②の暗色部は鍛冶滓部分である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。この鉱物組成から、砂鉄を原料とする鉄素材（製錬系鉄塊）の不純物除去で派生した精錬鍛冶滓と推測される。

また②の写真右端の白色部は試料外面表面層に付着した銅粒で、③④はその拡大である。内部は網目状に錆化が進んでいるが、酢酸・硝酸・アセトン混合液で腐食したところ、多角形結晶（ α 相）の粒界が確認された。

ピッカース断面硬度 紙面の構成上硬度を測定した圧痕の写真を割愛したが、銅粒の素地部分の調査を実施した。硬度値は47Hvと非常に軟質で、純銅に近い組成と推定される。

EPMA調査 Photo. 28の3段目に滓部の反射電子像（COMP）を示す。8の番号をつけた淡褐色多角形結晶の定量分析値は69.1%FeO-8.5%TiO₂-4.6%Al₂O₃-1.2%V₂O₅であった。マグネタイト（Magnetite：FeO・Fe₂O₃）、ウルボスピネル（Ulvo-spinel：2FeO・TiO₂）、ヘーシナイト（Hercynite：FeO・Al₂O₃）を端成分とする固溶体と推定される。9の番号をつけた白色粒状結晶は100.3%FeOであった。ウスタイト（Wustite：FeO）に同定される。10の番号をつけた淡灰色木ずれ状結晶は61.4%FeO-32.7%SiO₂-4.1%CaO-3.2%MgO-1.7%MnOであった。かんらん石類のファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）で、若しCa, Mg, Mnを固溶する。また11の番号をつけた素地のガラス質滓は58.2%SiO₂-16.4%Al₂O₃-1.8%CaO-12.7%FeOであった。

滓部のEPMA調査の結果、チタン（Ti）を含むスピネル鉱物が確認されたため、当該試料は砂鉄系精錬鍛冶滓と推定される。

更に試料表面に固着する銅粒の調査を2箇所実施した。まずPhoto. 29の反射電子像（COMP）上3の番号をつけた明灰色部の高速度定性分析した結果がFig. 1である。主に銅（Cu）、砒素（As）、銀（Ag）が検出された。また定量分析値は87.6%Cu-12.4%Oで、若し錆化しているが本来は純銅に近い組成であったと推測される。その周囲の暗色部は錆化が進んでいるため、酸化物定量を実施した。4～6の番号をつけた個所の定量分析結果をみると、CuO以外はごく微量で、これらも本来は純銅に近い組成と判断される。これに対して7の番号をつけた個所の定量分析値は10.2%CuO-94.7%Ag₂Oと、銀（Ag）の濃度が高い相であった。

また特性X線像をみても反射電子像の暗色部に対応して酸素(O)が分布し、結晶粒界に沿って錆化が進んでいることを示している。また錆化銅部分に2箇所程、銀の濃度が高い箇所が存在する。銀を含む銅鉱石から造られた銅素材では、素地部分に銀を少量固溶するほか、多角形結晶(α 相)の粒界に銀の濃度の高い相が晶出する例がある。当試料は粒界部の錆化が進んでいるが、本来は同様の金属組織であったと判断される。

もう1視野Photo.30の反射電子像(COMP)は銅中の硫化物を示した。1の番号をつけた粒状部の高速定性分析結果がFig.2である。銅(Cu)、銀(Ag)、セレン(Se)、テルル(Te)、碲黄(S)などの諸元素が検出され、定量分析値は71.4%Cu-3.3%Se-2.1%Te-1.1%Ag-21.8%Sであった。若干Ag, Se, Teが固溶した白鉱(Cu₂S)^(16,17)に同定される。

さらに2の番号をつけた銅素地の高速定性分析がFig.3である。銅(Cu)のみが確認され、定量分析値は96.4%Cu-2.2%Asであった。特性X線像をみても素地は純度の高い銅で、僅かに砒素(As)、銀(Ag)が固溶すると判断される。

分析調査の結果、当試料の滓本体(精錬銀治滓)と表層の銅粒は2次的に固着したものと判断される。当遺跡内では、ルツボを鍛冶炉内で加熱して銅ないし銅合金の溶解・鑄造が行われたため、こうした鍛冶関連遺物と鑄銅関連遺物が混濁した派生物が生じたと推定される。

TER-24:羽口

肉眼観察 小型羽口の先端部の小破片である。外面表層は熱影響を受けてガラス質澤化している。またその色調は赤みが強く、酸化銅による発色の可能性が考えられる。

内面は破面で通風孔の痕跡は残存していない。胎土は硬質で、石英等の砂粒を多く含む。

顕微鏡組織 Photo.21⑤~⑦に示す。⑥⑦は羽口外面表層のガラス質澤部分である。非常に微細な金属粒が多数散在する。これらの微細金属は光沢の強い白色を呈し、金属鉄粒の可能性が高いものが複数確認される。但し、一部赤銅色や青灰色の金属粒も確認される。

また⑦は試料外面側のガラス滓中で、最も大きな金属粒を示した。5%ナイトル液で腐食したところ、ほぼ中心に結晶粒界の線が確認できた。炭素をほとんど含まない金属鉄(α 鉄:フェライト)粒と推定される。

EPMA調査 Photo.31はPhoto.21⑦と同じ金属鉄粒の反射電子像(COMP)である。この金属鉄粒の高速定性分析結果をFig.4に示す。鉄(Fe)、燐(P)が検出されている。特性X線像をみても、全体に燐(P)を微量固溶する金属鉄粒(Metallic Fe)で、鉄製品(鉄素材)製作時の派生物と推定される。

またPhoto.32には赤銅色と青灰色の2相を呈するごく微細な金属粒の反射電子像(COMP)を示した。2の番号をつけた赤銅色部の高速定性分析結果をFig.5、3の番号をつけた青灰色部は高速定性分析結果をFig.6に示した。ともに銅(Cu)、鉄(Fe)、砒素(As)等の元素が検出された。ただし定量分析値をみると組成は大きく異なり、2が64.6%Cu-11.1%Fe-2.8%As、3が8.8%Cu-81.4%Fe-7.4%Asであった。2はCu主体、3はFe主体の砒鉱⁽¹⁸⁾で、鉄(Fe)、砒素(As)などの不純物の多い銅素材を溶解した際の派生物と推定される。

また銅素材の始発原料は黄銅鉱(Chalcopyrite:CuFeS₂)で、一部砒砒鉄鉱(Arsenopyrite:FeAsS)など砒素を含む鉱石が混在していた可能性が高い。

さらにCOMPに7の番号をつけたガラス質滓部分は60.9%SiO₂-16.9%Al₂O₃-8.6%CaO-1.4%MgO-5.6%K₂O-2.2%Na₂O-3.2%FeO-0.3%CuOであった。また8の番号をつけた暗色片状結晶は55.3%SiO₂-19.7%CaO-12.9%MgOであった。普通輝石 (Augite : Ca1-P (Mg, Fe₂₊) 1+PSi₂O₆) と推定される。

上述のように、当試料の外周ガラス質中には微細な金属鉄 (α鉄 : フェライト) 粒と砒鉄が確認された。なお金属鉄は若干燐 (P) を固溶するのみで、砒鉄 (Fe) 以外の主要元素である銅 (Cu)、砒素 (As) は全く検出されなかった。このため両者が同質の素材から、同じ作業工程で派生した可能性は極めて低いと考えられる。鍛冶遺構で鍛冶と鑄鋼双方の作業が行われて、双方の派生物が融着した可能性がある。

ただし鍛冶炉を用いて鍛冶と鑄鋼双方の作業を行う場合、用途に合わせて羽口を付け替える可能性も高く、こうした混濁状態が一般的なものか疑問が残る。今後も同様の遺跡から出土する羽口の溶着金属について、分析例を蓄積して検討を進める必要がある。

化学組成分析 Table. 2に示す。強熱減量 (Ig loss) は1.01%と低値であった。強い熱影響を受けて結晶構造水のほとんどが飛散した状態での分析である。金属鉄 (Metallic Fe) が0.08%であるが、これは試料表面の微細な金属鉄粒を反映したと推測される。なお鉄分 (Fe₂O₃) は1.95%と低値で軟化性に優れるが、酸化アルミニウム (Al₂O₃) は17.24%と高くはなく、耐火性にはやや不利である。

耐火度 1290℃であった。当遺跡から出土した耐火物 (羽口・ルツボ) の中では最も耐火性が高い性状であった。鍛冶、鑄鋼に用いるには当試料程度の耐火性を備えている方が適当と判断される。

4. まとめ

守田I遺跡から出土した鍛冶・鑄鋼関連遺物を調査した結果、次の点が明らかになった。

(1) 鍛冶関連遺物の調査結果

〈1〉当遺跡には砂鉄を製錬の鉄塊が鍛冶原料として搬入されている。

流動滓 (TER-1) は鉱物・化学組成の特徴から、低チタン含有砂鉄 (TiO₂ : 2~3%程度) 製錬滓に分類される。これは遺跡内に搬入された鍛冶原料に混じていた可能性が高い。また家ノ前鉦、横ヶ埴遺跡など木次町内の製鉄遺跡から出土した砂鉄の分析結果をみると、周辺地域には低チタン砂鉄が分布しており、それを製鉄原料に用いていた傾向が窺える。当遺跡にも近接地域で生産された鉄塊の搬入が想定される。

〈2〉当遺跡では鍛冶原料の不純物除去の精錬鍛冶工程から、鉄製品を製作する鍛錬鍛冶工程まで、一連の鍛冶作業が行われたと推定される。

出土鍛冶滓は鉱物組成・化学組成の特徴から、精錬鍛冶滓 (TER-2・19・23) と鍛錬鍛冶滓 (TER-3・4・5) に分類される。さらに粒状滓 (TER-12)、鍛造剥片 (TER-23) など鍛冶作業に伴う微細遺物が確認された。

〈3〉金属鉄部の組織調査の結果、精錬中途の鍛冶原料鉄と推定される含鉄鉄滓 (TER-7)、鉄塊系遺物 (TER-9) や、鍛冶初期の鉄素材 (TER-8・11・18) は比較的炭素含有量の高い鋼 (共析~過共析鋼) の割合が高い。また鉄中非金属介在物にはシュードブルーカイト (Pseudobrookite : Fe₂O₃・TiO₂)、ルチル (Rutile : TiO₂) など高温製錬で派生する (鉄) チタン酸化物が品出するも

のが多い。この結果、当遺跡では高温で製錬され、比較的浸炭の進んだ鋼が主な鍛冶原料であった可能性がある。

これに対して、折り返し鍛錬が施された半製品ないし鉄器片は、炭素量の高い領域と鍛錬に伴い脱炭した低炭素域が混在する試料(TER-10、17)と、全体が炭素含有量の低い鋼(軟鉄)となった試料(TER-15、16)が確認された。

以上のように、各分析試料の鍛打加工の度合いと鉄中炭素含有量の関係に着目すると、当遺跡では比較的高温で鍛錬することにより、鉄中の炭素量を下げた鉄素材ないし鍛造鉄器を製作した可能性が考えられる。また分析試料中には水冷痕跡が残るものもあり、用途に応じた熱処理が行われたと推定される。

(2) 鑄銅関連遺物の調査結果

〈1〉当遺跡からは銅粒が付着したルツボ(TER-20・21・22)が確認された。銅ないし銅合金の鑄造作業が行われたと推定される。

〈2〉分析試料中には、表層に銅粒が付着した精錬鍛冶滓(TER-23)や、金属鉄粒と砒鉍が付着した羽口(TER-24)のように、一つの遺物の中に鍛冶作業での派生物と銅の溶解、鑄造に伴う派生物が混在するものがみられた。当遺跡では、ルツボを鍛冶炉内で加熱して銅ないし銅合金の溶解・鑄造が行われたため、こうした鍛冶関連遺物と鑄銅関連遺物が混濁した派生物が生じたと推定される。

〈3〉EPMA調査の結果、鍛冶滓に付着した銅粒(TER-23)は純度の高い銅粒で、若干銀を含むことが確認された。銀を含む銅鉱石から製錬された銅素材が搬入されたと推定される。

羽口(TER-24)の外表面層の微細な金属粒中に、砒鉍が確認されたことから、鉄(Fe)、砒素(As)などの不純物を含んだ状態の銅素材が搬入されている。なおEPMAによる調査を実施していないが、ルツボ(TER-20)の内面表層にはマグネタイト(Magnetite: Fe_3O_4)やファイヤライト(Fayalite: $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$)といった鉄酸化物が晶出しているため、羽口(TER-24)と同様に鉄分を多く含む銅素材を溶解したと判断される。

銅粒(TER-23)、砒鉍(TER-24)に含まれる微小元素には共通性が少なく、異なる産地の銅素材が搬入されている可能性が考えられる。

今までのところ、古代に遡る銅製錬遺跡の調査事例がほとんどないため、搬入先を類推することは困難であるが、銅ないし銅合金の鑄造遺跡に残る金属試料の分析結果を蓄積していくことで、銅素材の流通に関しても検討が進むと期待される。この際、今回実施したようなEPMAを用いて微細な溶着金属の組成を確認していくことが、有効な手法となる。

註

(1) 日刊工業新聞社「焼結鉱組織写真および識別法」1968

砒鉄鉱(鉱石)は530~600Hv、ウスタイトは450~500Hv、マグネタイトは500~600Hv、ファイヤライトは600~700Hvの範囲が提示されている。またウルボスピネルの硬度値範囲の明記はないが、マグネタイトにチタン(Ti)を固溶するので、600Hv以上であればウルボスピネルと同一している。それにアルミナ(Al)が加わり、ウルボスピネルとヘーシナイトを端成分とする固溶体となると更に硬度値は上昇する。このため700Hvを超える値では、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が考えられる。

(2) 黒田吉彦・諏訪兼位『偏光顕微鏡と造岩鉱物 [第2版]』共立出版株式会社 1983

第5章 鉱物各論 D. 尖晶石類・スピネル類 (Spinel Group) の記載に加筆

尖晶石類の化学組成の一般式は XY_2O_4 と表記できる。Xは2価の金属イオン、Yは3価の金属イオンである。その組み合わせでいろいろの種類のものがある。(略)

スピネル (Spinel: $MgAl_2O_4$)、ヘーシナイト [鉄スピネル] (Hercynite: $Fe^+Al_2O_4$)、
 マグネタイト [磁鉄鉱] (Magnetite: $Fe^2Fe^3O_4$)、クロム磁鉄鉱 (Chromite: $Fe^2Cr_2O_4$)、
 マグネシオクロマイト (Magnesiocromite: $MgCr_2O_4$)、ウルボスピネル (Ulvospinel: $TiFe^3O_4$)、
 またこれらを端成分とした固溶液をつくる。

(3) J.B. Mac chesney and A. Murau: American Mineralogist, 46 (1961), 572

[イルミナイト (Ilmenite: $FeO \cdot TiO_2$)、シュ・ドブルーカイト (Pseudobrookite: $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$)、ルチル (Rutile: TiO_2) の晶出は $FeO-TiO_2$ 二元平衡状態図から高汎化操作が推定される。]

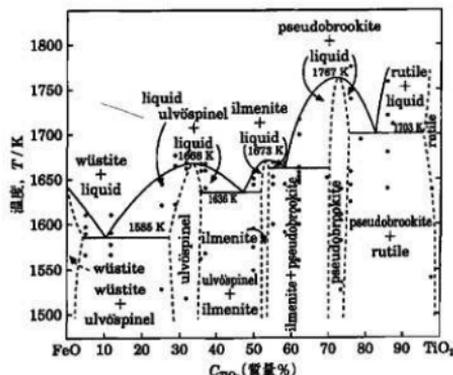


図3 FeO-TiO₂二元平衡状態図

- (4) 粒状滓は鍛冶作業において凹凸を持つ鉄素材が鍛冶炉の中で赤熱状態に加熱されて、突起部が溶け落ちて酸化され、表面張力の関係から球状化したり、赤熱鉄塊に酸化防止を目的に塗布された粘土汁が酸化膜と反応して、これが鍛打の折に飛散して球状化した微細な遺物である。
- (5) 鍛造剥片とは鉄素材を大気中で加熱、鍛打したとき、表面酸化膜が剥離、飛散したものを指す。俗に鉄肌 (金肌) やスケールとも呼ばれる。鍛冶工程の進行により、色調は黒褐色から青味を帯びた銀色 (光沢を失する) へと変化する。粒状滓の後継派生物で、鍛打作業の実証と、鍛冶の段階を押える上で重要な遺物となる。

鍛造剥片の酸化膜相は、外層は微細なヘマタイト (Hematite: Fe_2O_3)、中間層マグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4)、大部分は内層ウスタイト (Wustite: FeO) の3層から構成される。このうちのヘマタイト相は1450℃を越えると存在しなく、ウスタイト相は570℃以上で生成されるのは $Fe-O$ 系平衡状態図から説明される。

鍛造剥片を王水 (塩酸3:硝酸1) で腐食すると、外層ヘマタイト (Hematite: Fe_2O_3) は腐食しても侵されず、中間層マグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) は黄変する。内層のウスタイト (Wustite: FeO) は黒変する。鍛打作業前半段階では内層ウスタイト (Wustite: FeO) が粒状化を呈し、鍛打仕上げ時になると非晶質化する。鍛打作業工程のどの段階が行われていたか推定する手がかりともなる。

(6) 前掲注(2) 第1章 主要な混含鉱物 4.7からん石類 (Olivine Group)

からん石類は X_2SiO_4 で表される。XにはMg, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Caなどがはいる。このXの位置は2個の

イオンだけで占められ、AlやFe³⁺のような3価の金属イオンはほとんど存在しない。Siの位置をAlが置換することもない。代表的なかんらん石としては、Mg₃SiO₄（青いかんらん石）、FeSiO₃（鉄かんらん石）、MnSiO₃（テフロかんらん石）、CaMgSiO₄（モンチセリかんらん石）などがある。

(7)伊藤尚『金属通論』1983 3-2-3 Cu製錬 の記載をもとに加筆

銅の主要な鉱石に黄銅鉱(CuFeS₂)が挙げられる。これは主に銅(Cu)鉄(Fe)硫黄(S)で構成される鉱物である。このため鉱石中から金属銅を採取するには鉄、硫黄分を除去する作業が必要となる。今日ではCu40~50%の銅鉱を採取し、これから金属銅を採取するのが普通である。第1段階を製鉱、第2段階を製銅という。

銅(Cu)は硫黄(S)、酸素(O)と結びつく力(親和力)にあまり差がないが、鉄(Fe)は硫黄より酸素と結びつく力の方が著しく大きい。この性質を利用して鉱石を加熱酸化するとFeSが優先的に酸化されて、鉄は酸化物(FeO)の滓になる。この滓は製錬中途の硫化銅と硫化鉄の混合物(xCuS·yFeS)より軽いため、炉のなかで上に浮き分離される。また硫黄はSO₂ガスとなる。

製錬中途の硫化銅と硫化鉄の混合物(xCuS·yFeS)をマット(錠)、分離された滓をからみと呼ぶ。できた錠はさらに酸化製錬され、まずFeSが除去される。次に残ったCuS(白錠)が酸化されると銅(Cu)から硫黄(S)がとり除かれて金属銅が得られる。

(8)『講座・現代の金属学 製錬編2 非鉄金属製錬』日本金属学会 1980 3-1 (3)

スパイス(砒錠)

スパイス(Speiss)は砒錠ともよばれ、重金属化合物が融体で均一に溶け合った人工的な混合物である。(中略)スパイスに入りやすい金属元素は、Ni, Co、これについてCu, Feといわれる。これは単にAsとの親和力で決まるのではなく、SやOとの親和力が関連する。CuはOと親和力が小さいがSとの親和力が大きいので、マット(錠)に入りやすくなる。FeはAs, S, Oのいずれとも大きい親和力を持つため、スパイス、マット、スラグの各相に分配する。各系のスパイスでは存在量の多いFeがFe化合物として基本になる場合が多い。

Table. 1 供試材の履歴と調査項目

符号	通称名	出仕位置	通称名称	指定年代	計測値		埋蔵深度	メタル度	調査項目				備考	
					大きさ(mm)	重量(g)			マクロ組織	ミクロ組織	ピカース断面硬度	X線回折		EPMA
TER-1	寺田 I	南本トレンテ	流動溝	8c後半	30×21×20	20.0	3	なし	-	○	-	-	-	-
TER-2		F-12	練形鋳造溝(巻線,大)		170×110×45	1040.0	10	特L(♀)	-	○	-	-	○	-
TER-3		G-11-7	練形鋳造溝(巻線,中)		100×110×45	487.0	7	特L(♀)	○	○	-	-	-	-
TER-4		G-12-4	練形鋳造溝(巻線,小)		75×74×30	195.0	5	特L(♀)	-	○	-	-	-	-
TER-5		G-11-5	練形鋳造溝(半流動石付巻)		151×145×41	1016.0	6	L(●)	-	○	-	-	○	-
TER-6		G-11-7	練形鋳造溝(半流動石付巻)		43×33×20	32.0	1	なし	-	-	-	-	○	-
TER-7		G-11-13	鋳造溝(巻線)		81×45×30	174.0	9	特L(♀)	○	○	-	-	-	-
TER-8		G-11-4	鋳造溝(巻線厚付)		60×60×15	43.0	8	L(●)	○	○	-	-	-	-
TER-9		G-9-12	鉄塊系運動(鋳造系)		75×46×52	157	9	特L(♀)	○	○	-	-	○	-
TER-10		F-12-8	鉄素材(板状未製品)		56×42×13	100	7	特L(♀)	○	○	-	-	-	-
TER-11		G-9-12	鉄素材(板状未製品)		55×50×30	108	9	特L(♀)	○	○	-	-	○	-
TER-12		D-5 他	硝状滓(4点)		-	-	-	なし	○	○	-	-	-	-
TER-13		E-7	鋳造断片(6点)		-	-	-	なし	○	○	-	-	-	-
TER-14		F-7	再鋳合滓		140×105×90	1008	6	なし	-	○	-	-	-	-
TER-15		G-11-16	鋳造板未製品		60×35×25	48	9	L(●)	○	○	-	-	○	-
TER-16		F12-4	鋳器(刃器)		26×40×14	21	6	L(●)	○	○	-	-	-	-
TER-17		F-12	鋳器(筒棒状)		14×47×17	13	7	M(◎)	○	○	-	-	-	-
TER-18		G-11-1	鉄素材(板状未製品)		32×32×10	11	6	L(●)	○	○	-	-	-	-
TER-19		F-11	珪口(鋳造滓付き)		75×84×40	323	3	なし	-	○	-	-	○	-
TER-20		G-11-10	土器 瓶用ルツボ		45×30×7	10	1	なし	-	○	-	-	-	-
TER-21		G-11-14	小型ルツボ(鋳系)		40×30×15	40	2	鋳化(△)	-	○	-	-	○	-
TER-22		G-11-3	ルツボ(肉張り部分)		54×45×12	45	1	鋳化(△)	-	○	-	-	-	-
TER-23		G-11-15	鋳造溝(鋳造滓着)		34×12×10	5	1	鋳化(△)	-	○	-	-	○	-
TER-24		G-11	珪口		40×32×15	50	1	なし	-	○	-	-	○	-

Table. 2 供試材の組成

番号	標識名	出上位置	通称名称	精製年代	全鉄分 (Total Fe)	金高鉄 (Metallic Fe)	酸化 第1鉄 (FeO)	酸化 第2鉄 (Fe ₂ O ₃)	二酸化 珪素 (SiO ₂)	酸化 シリカ (Al ₂ O ₃)	酸化 カルシウム (CaO)	酸化 マグネシウム (MgO)	酸化 ナトリウム (Na ₂ O)	酸化 マンガン (MnO)	二酸化 チタン (TiO ₂)	酸化 クロム (Cr ₂ O ₃)	酸化 五酸化燐 (P ₂ O ₅)	炭素 (C)	ホウ素 (B)	銅 (Cu)	耐火度 (°C)	遷移成分 遷移成分 Total Fe	TiO ₂ Total Fe		
TER-1	寺田 1	南正トンネル	波動潭	8<歳半	48.16	0.11	51.41	8.71	21.79	5.43	2.18	0.56	1.31	0.30	0.66	5.41	0.04	0.23	0.13	0.19	<0.01	-	31.56	0.684	0.117
TER-2			褶皺部 冷潭 (常盤、大)		59.27	3.61	44.90	79.59	9.96	2.90	1.14	0.39	0.67	0.26	0.39	3.94	<0.01	0.20	0.19	0.11	0.01	-	15.21	0.257	0.066
TER-5			解形部 冷潭 (半沼部 石付走)		54.66	3.31	49.08	18.87	18.32	4.04	1.22	0.40	1.16	0.62	0.68	0.57	<0.01	0.06	0.11	0.15	0.04	0.01	25.96	0.475	0.010
TER-6			解形部 冷潭 (半沼部 石付走)		2.26	0.10	1.02	2.10	71.38	13.89	1.46	0.22	5.33	3.71	0.04	0.29	<0.01	0.06	0.12	0.01	0.01	-	85.96	40.674	0.123
TER-9			解形部 冷潭 (半沼部 石付走)		56.53	1.16	16.87	90.49	6.74	1.84	0.74	0.08	0.30	0.29	0.14	1.26	0.03	0.08	0.50	0.06	<0.01	-	10.09	0.178	0.022
TER-19			洞口 (御釜 潭付走)		3.53	0.03	1.24	3.83	66.00	17.26	1.62	0.75	3.19	2.01	0.05	0.58	<0.01	0.08	1.36	0.01	<0.01	1160	92.83	26.297	0.164
TER-21			小室 ルツボ (御釜)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1700	-	-	-
TER-24			洞口		1.73	0.08	0.37	1.95	71.56	17.24	0.82	0.87	3.71	1.53	0.05	0.55	<0.01	0.07	1.04	<0.01	0.01	1290	95.73	55.325	0.318

Table 3 出土遺物の調査結果のまとめ

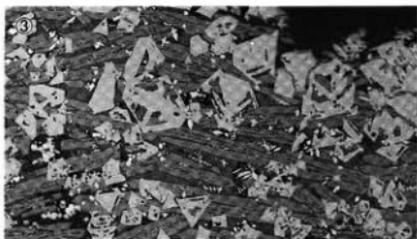
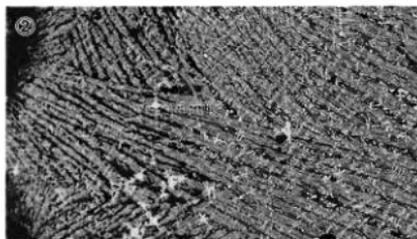
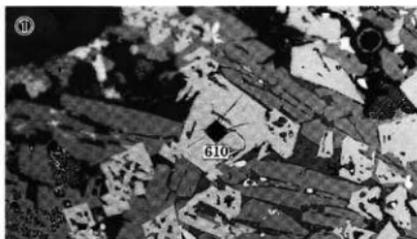
遺物番号	出土位置	遺物名	推定年代	組織		化学組成(%)					所産	
				Total Fe	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	V	MnO	ガラス質成分	Cu		
TER-1	寺田1	銅鏡	古銅	46.16	8.71	2.75	5.41	0.19	0.96	31.58	<0.01	銅鏡(赤銅質)
TER-2		銅鏡(赤銅質)		59.27	29.59	1.53	3.94	0.11	0.39	15.21	0.01	銅鏡(赤銅質)
TER-3		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-4		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-5		銅鏡(赤銅質)		54.66	18.97	1.62	0.57	0.04	0.08	25.96	0.01	銅鏡(赤銅質)
TER-6		銅鏡(赤銅質)		2.36	2.10	1.66	0.29	0.01	0.04	95.99	0.01	銅鏡(赤銅質)
TER-7		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-8		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-9		銅鏡(赤銅質)		56.53	60.42	0.82	1.26	0.06	0.14	10.09	<0.01	銅鏡(赤銅質)
TER-10		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-11		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-12		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-13		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-14		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-15		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-16		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-17		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-18		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-19		銅鏡(赤銅質)		3.53	3.63	2.37	0.98	0.01	0.06	92.83	<0.01	銅鏡(赤銅質)
TER-20		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-21		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-22		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-23		銅鏡(赤銅質)		-	-	-	-	-	-	-	-	銅鏡(赤銅質)
TER-24		銅鏡(赤銅質)		1.79	1.95	1.66	0.85	<0.01	0.05	95.75	0.01	銅鏡(赤銅質)

注 U:Ulvosane(2FeO・TiO₂), W:Wuestite(FeO), F:Fe₂SiO₄(Fe₂SiO₄・TiO₂), R:Rutile(TiO₂), P:Psuedobrookite(Fe₂O₃・TiO₂), H:Hercynite(FeO・Al₂O₃)

TER-1

流動滓

- ①×200 硬度圧痕：610Hvウルボスピネル
②×100 試料表面：ウルボスピネル・ファイヤライト
③×100 試料内蔵：ウルボスピネル・ウスタイト・ファイヤライト



TER-2

椀形鍛冶滓(含鉄)

- ④~⑥×200 金属鉄部：ナイタルetch
④×100 フェライト・パーライト：亜共析組織
⑤×100 フェライト単相
⑥×200 同上、硬度圧痕：79Hv
⑦⑧×200 滓部、硬度圧痕：
⑦482Hv、ウスタイト
⑧724Hv、ウルボスピネル

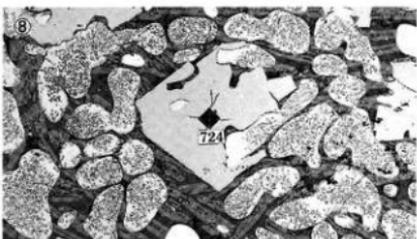
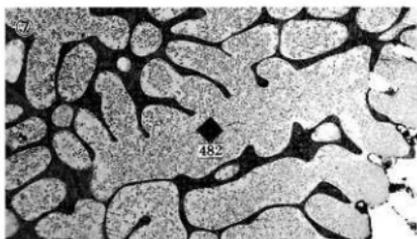
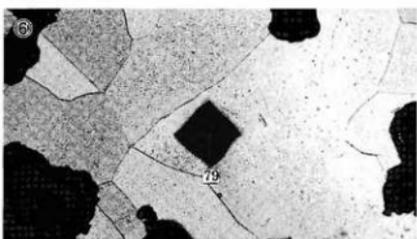
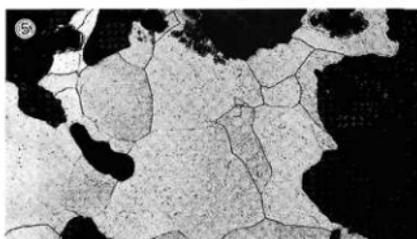
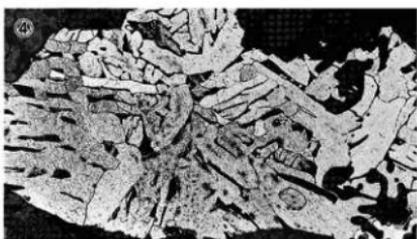


Photo.1 流動滓・椀形鍛冶滓の顕微鏡組織

TER-3

椀形鋳冶滓(含鉄)

①～⑤ ナイタルetch

①×25 洋部：ウスタイト・ファイヤライト

金属鉄部：上側、針状フェライト・パーライト

下部ペイナイト～

下側、フェライト単相

②～④×100 ①の金属鉄部拡大

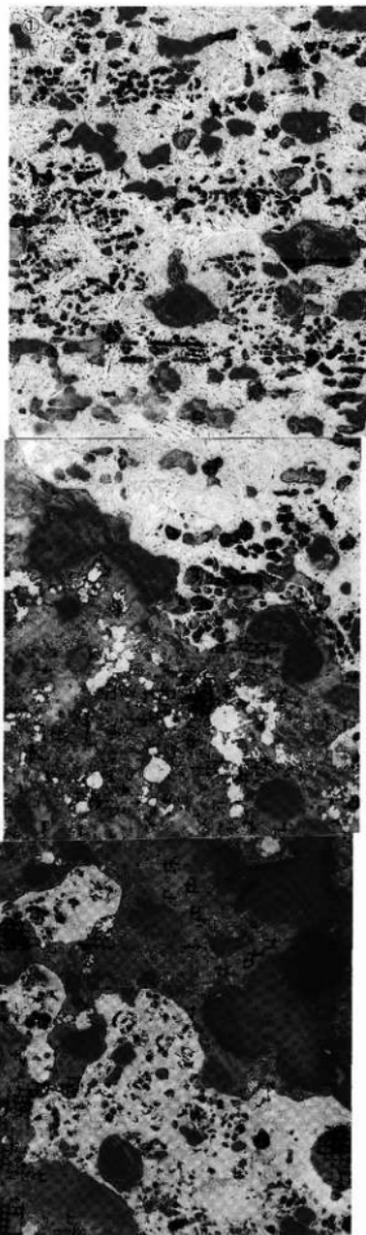
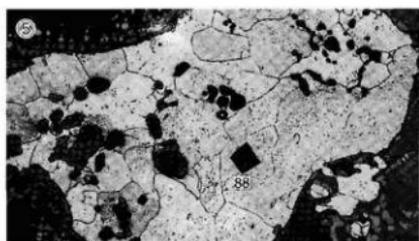
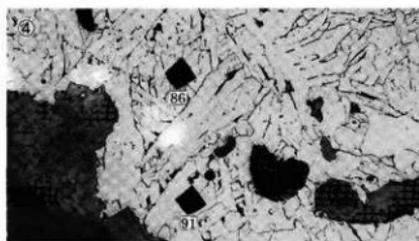
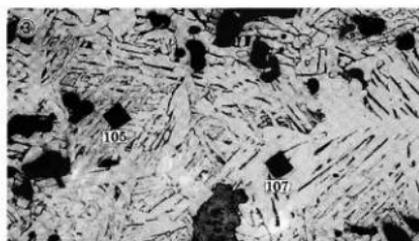
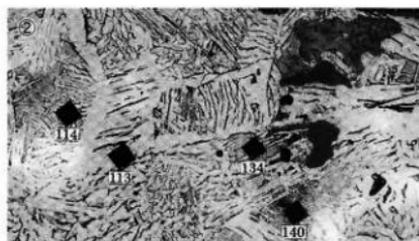


Photo.2 椀形鋳冶滓(含鉄)の顕微鏡組織

TER-4

梘形鍛冶滓(含鉄)

①～⑤ ナイタルetch

①X25 浮部：ウスタイト・ファイヤライト

金属鉄部散在

②～⑤X100 金属鉄部拡大

②フェライト・少量パーライト

③フェライト単相

④針状フェライト・パーライト・ベイナイト

⑤初析フェライト・パーライト

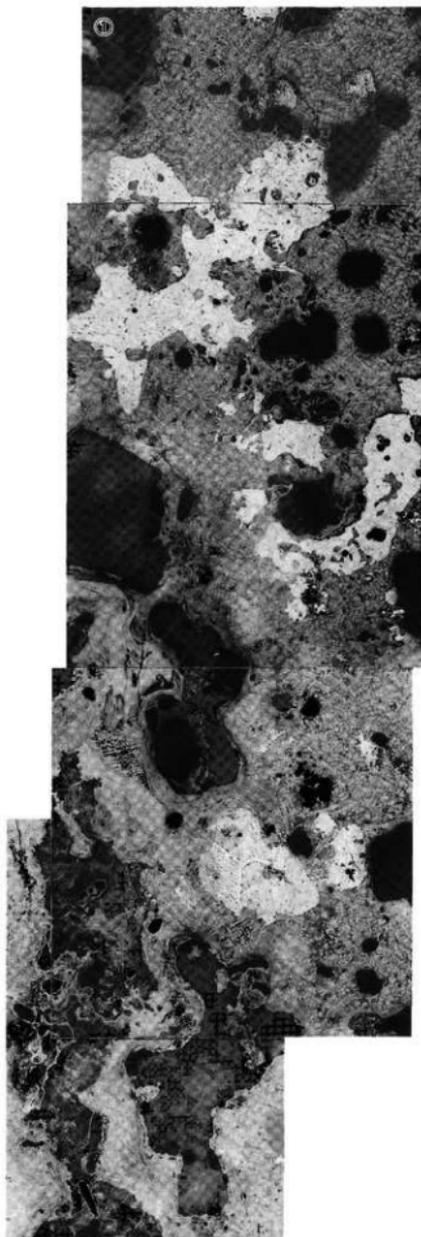
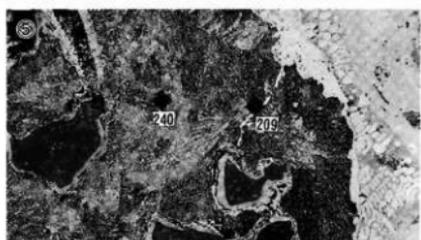
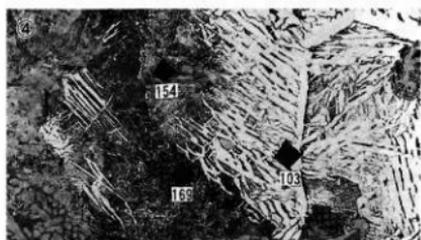
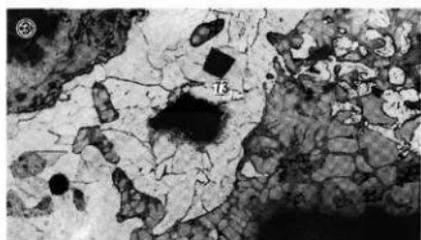
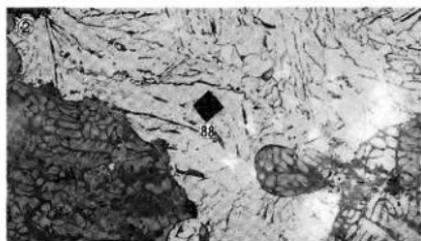


Photo.3 梘形鍛冶滓の顕微鏡組織

TER-5

椀形鋳冶滓(含鉄)

①~⑤ ナイタルetch

① X25 浮部:ウスタイト・ファイヤライト

全鋼鉄:針状フェライト・パーライト・ベイナイト

~フェライト・少量パーライト~フェライト単相

②~⑤ X100 ①の拡大

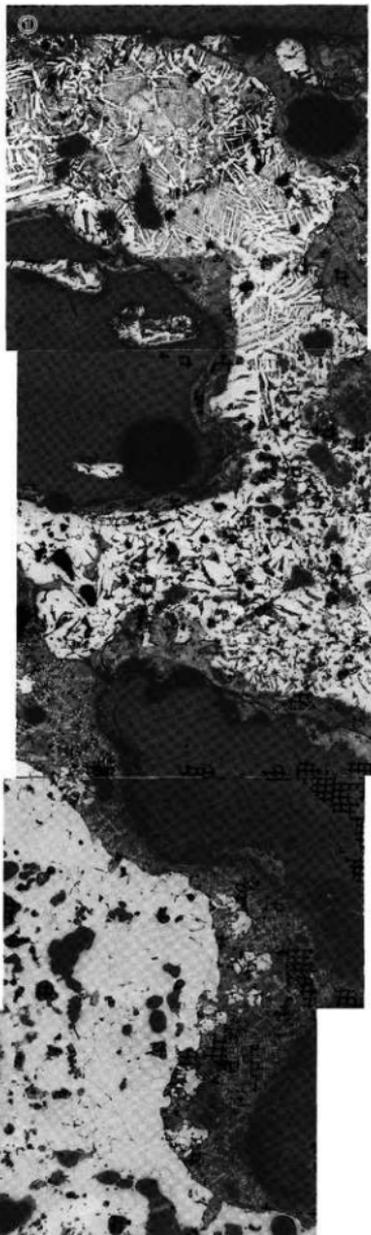
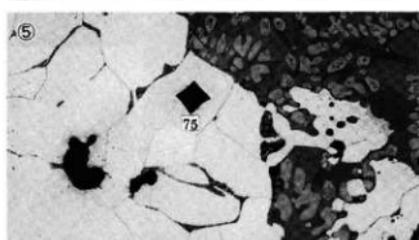
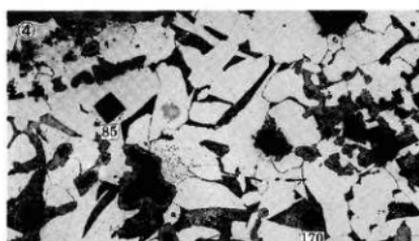
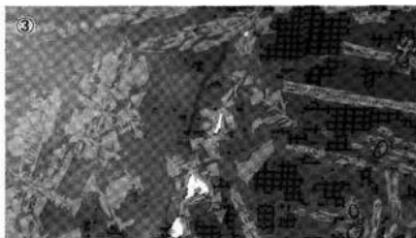
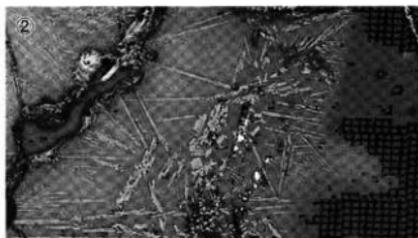


Photo.4 椀形鋳冶滓(含鉄)の顕微鏡組織

TER-6

椀形鍛冶滓

- ①×100 白色部：金屬鉄
- ②×100
- ③×400 浮部：ファイヤライト



TER-7

鍛冶滓(含鉄)

- ④×50 付着鍛冶滓片
- ⑤×100 浮部：ウスタイト・ウルボスピネル
- ⑥～⑧ 金屬鉄部：ナイタルetch
- ⑥×100 亜共晶組織白誘鉄
- ⑦⑧×200 硬度圧痕：
⑦728Hv
⑧962Hv

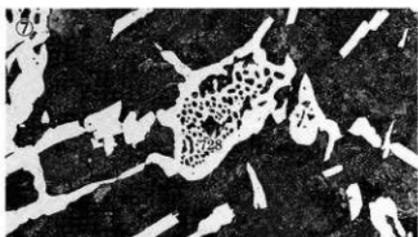
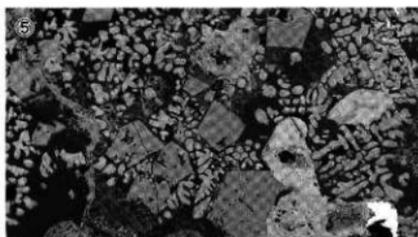
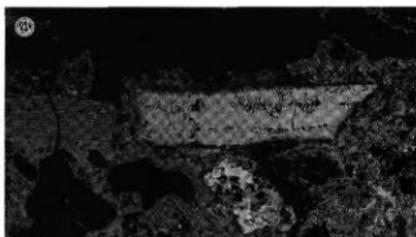


Photo.5 椀形鍛冶滓・鍛冶滓の顕微鏡組織

TER-8

鍍治滓(未製品付)

- ①×100 付着鍍造別片
- ②×50 付着木炭
- ③×400 非金属存在物
- ④～⑧ 金属鉄、ナイトルetch
- ④×100 左側：過共析組織～、右側：共析組織
- ⑤⑥×400拡大
- ⑦⑧×200 硬度圧痕：
- ⑦173Hv
- ⑧208Hv

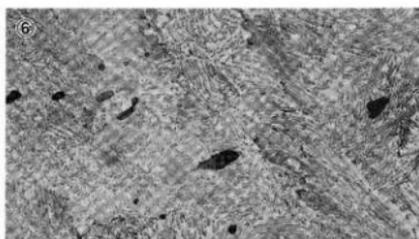
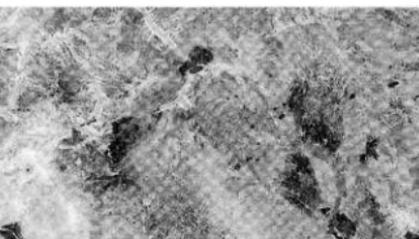
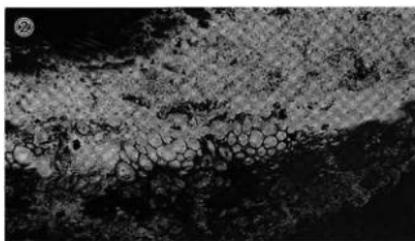
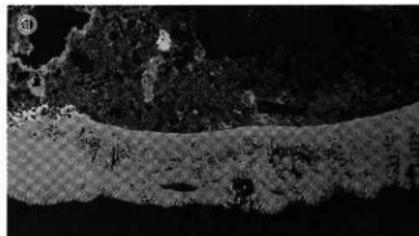


Photo.6 鍍治滓(未製品付)の顕微鏡組織

TER-9

鉄塊系遺物

①～③×100 薄部

①表面：ウスタイト凝集、②内部：ウルボスピネル

③内部：シェードブルーカイト

④～⑥ 全露鉄、ナイタルetch

④×100 フェライト単相

左側：過共析組織へ、右側：

⑤～⑦×100 亜共析組織

⑧×200 硬度

⑧113Hv、⑨187Hv

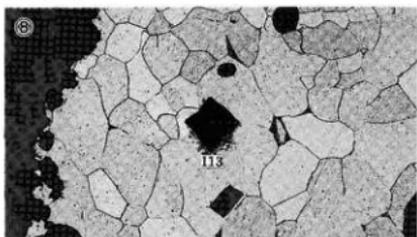
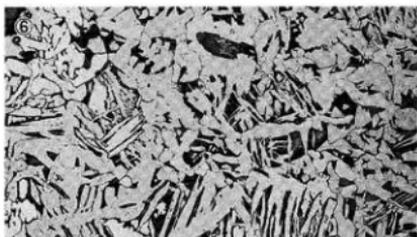
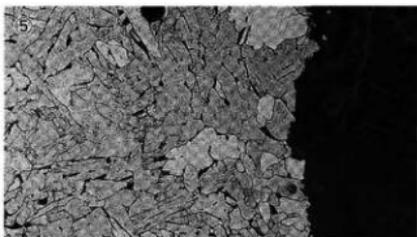
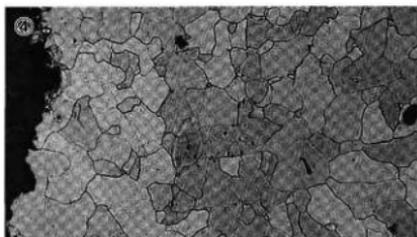
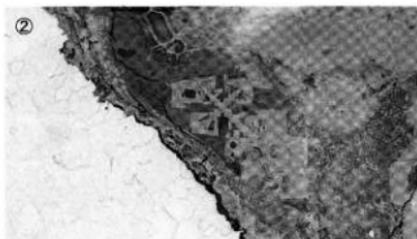
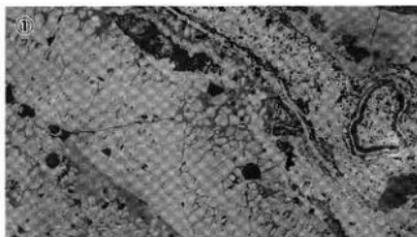


Photo.7 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

TER-10
板状鉄片

①×100 右側：表層付着層、ウスタイト

②③×400 鉄中非金屬介在物

④～⑧ 金屬鉄、ナイタルetch

④×50 側面端部、基底：共析組織～鍛接部；脱炭

⑤～⑧×200 硬度位置：

⑤274Hv、⑥134Hv

⑦134Hv、⑧107Hv

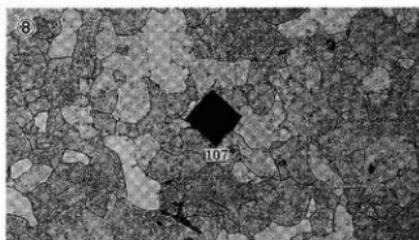
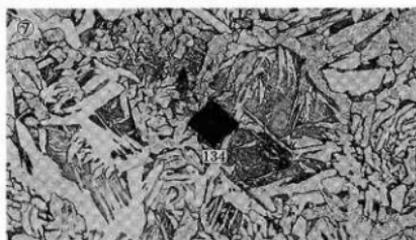
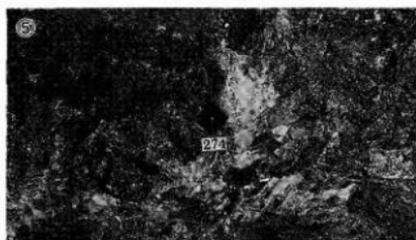
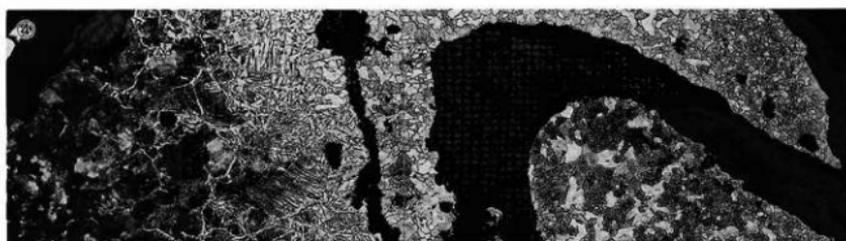


Photo.8 板状鉄片の顕微鏡組織

TER-11

鉄素材(未製品)

①×100 洋部：ウスタイト凝集

②×400 鉄中非金属存在物

③～⑧：金属鉄、ナイタルetch

③×100 ④の左側：高炭素域拡大

④×50 左側：過共析組織～

右側：鍛接部脱炭、亜共析組織

⑥～⑧×200 硬度注痕：

⑥295Hv

⑦283Hv

⑧165Hv

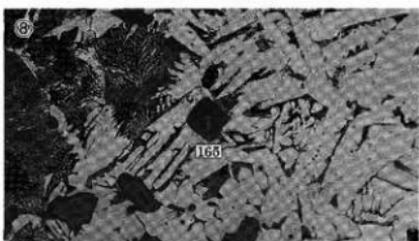
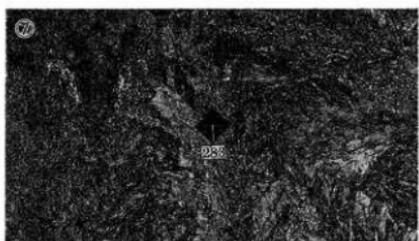
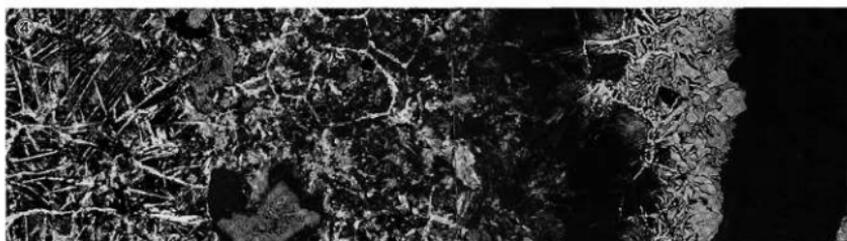
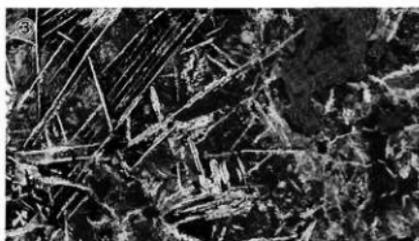
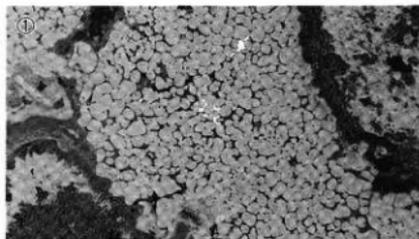
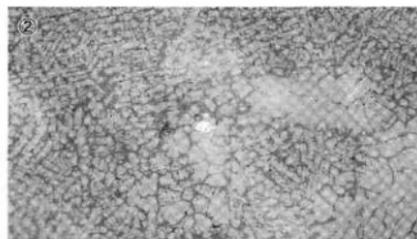
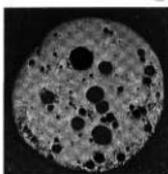


Photo.9 鉄素材(未製品)の顕微鏡組織

TER-12 イー1

粒状滓

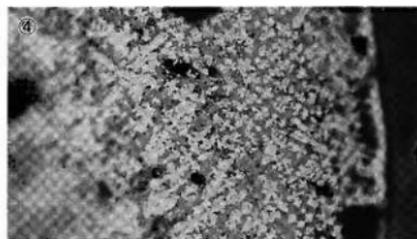
- ①×200 マクロ組織
②×400 中央白色部：金属鉄、ウスタイト・微細ファイヤライト



TER-12 イー2

粒状滓

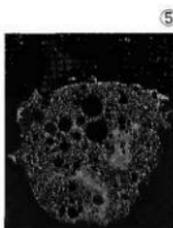
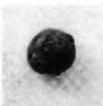
- ③×20 マクロ組織
④×400 マグネタイト



TER-12 ロー1

粒状滓

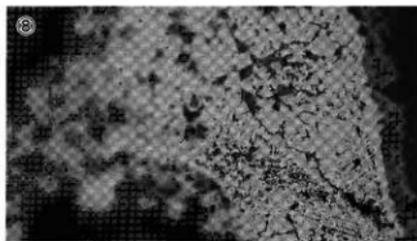
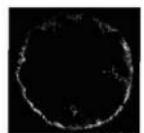
- ⑤×20 マクロ組織
突起部：微細ウスタイト・ファイヤライト、球状部：ウスタイト凝集



TER-12 ロー2

粒状滓

- ⑦×20 マクロ組織
⑧×400 マグネタイト



TER-13 イー1

鍛造剥片

- ⑩⑪ 王水etch
⑬×20 マクロ組織
⑭×400 3層分離型、内層ウスタイト凝集

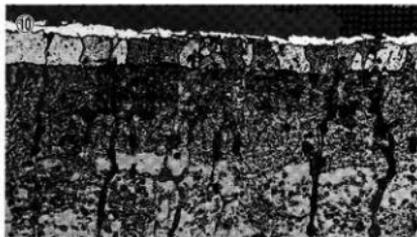


Photo.10 粒状滓、鍛造剥片の顕微鏡組織

TER-13 イー2

鍛造剥片

- ①② 王水etch
- ①×20 マクロ組織
- ③×400 3層分離型



①



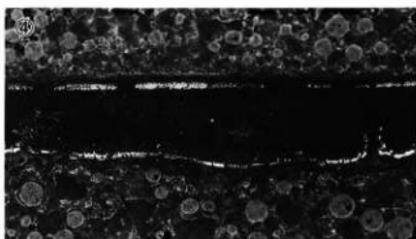
TER-13 イー3

鍛造剥片

- ③④ 王水etch
- ③×20 マクロ組織
- ④×400 3層分離型



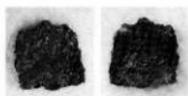
③



TER-13 ロー1

鍛造剥片?

- ⑤×20 王水etch, マクロ組織
- ⑥×100 no etch
- ウスタイト層集、微相ファイヤライト(鍛造剥片の可能性有)



⑤



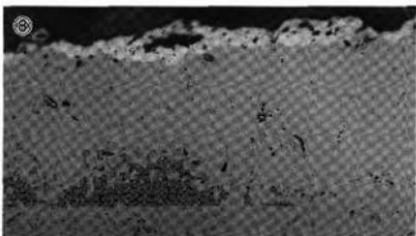
TER-13 ロー2

鍛造剥片

- ⑦⑧ 王水etch
- ⑦×20 マクロ組織
- ⑧×400 3層分離型? (中間層マグネサイト・内層ウスタイト不明瞭)



⑦



TER-13 イー3

鍛造剥片

- ⑨⑩ 王水etch
- ⑨×20 マクロ組織
- ⑩×400 3層分離型、内層ウスタイト非晶質



⑨

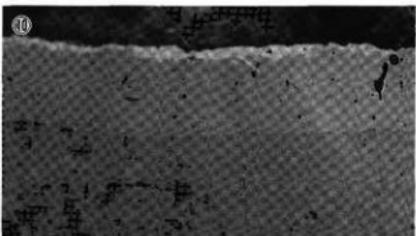


Photo.11 鍛造剥片の顕微鏡組織

TER-14

再結合滓

- ①×100 木炭片
- ②×100 ③×400 鋳造滓片
- ④×100 ⑤×400 同上
- ⑥⑦×100 鋳造滓片 ウスタイト・ファイヤライト
- ⑧⑨×100 精錬滓片?
- ⑩ウラボスピネル・ファイヤライト
- ⑪イルミナイト・シュードブルーカイト?

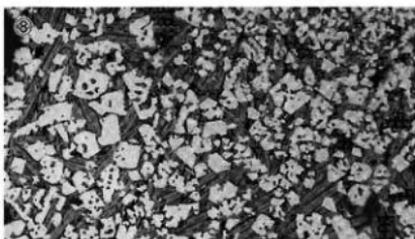
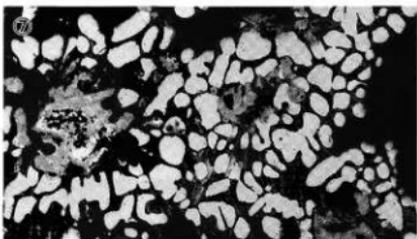
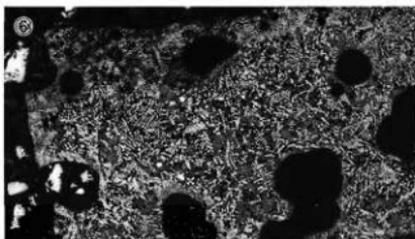
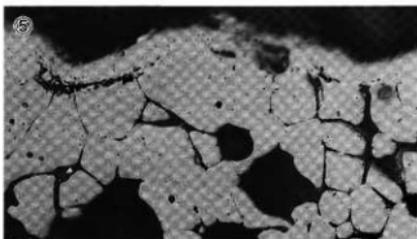
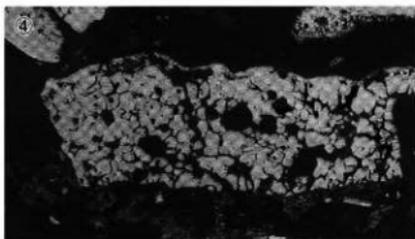
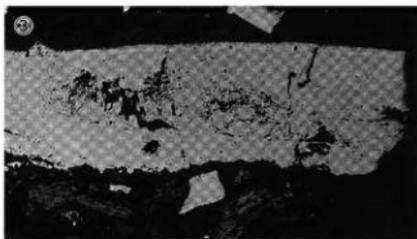
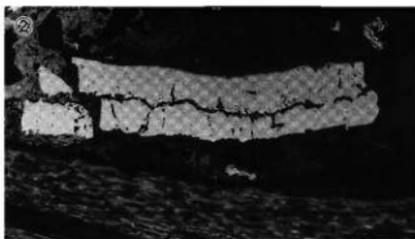
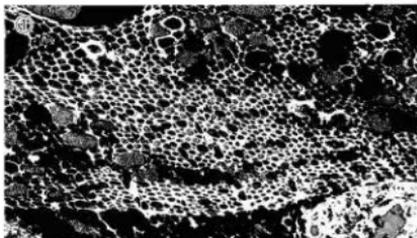


Photo.12 再結合滓の顕微鏡組織

TER-15(1)

鉄鋳状未製品

①～⑤ 試料下面部ニイタルetch

①×50 内面：下部ベイナイト～

下面表層：フェライト・島状マルテンサイト・パーライト

②×100 ③×400 ④の内側拡大

④×100 ⑤×400 ④の表層側拡大

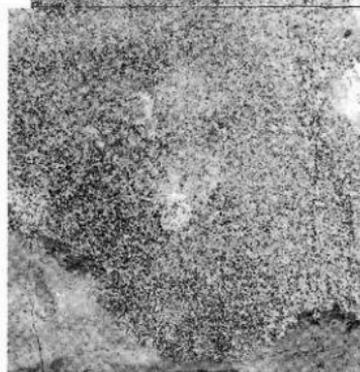
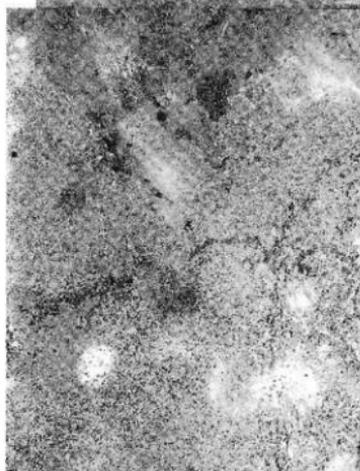
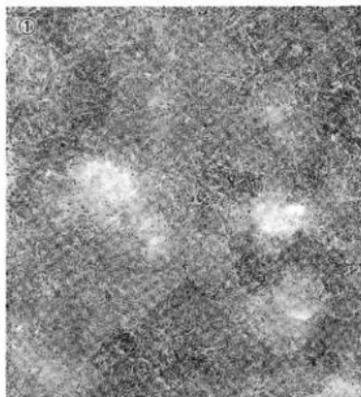
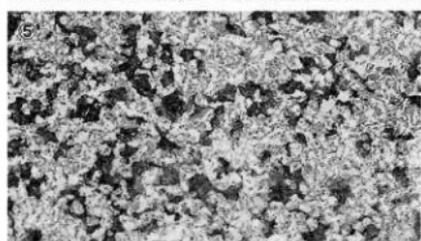
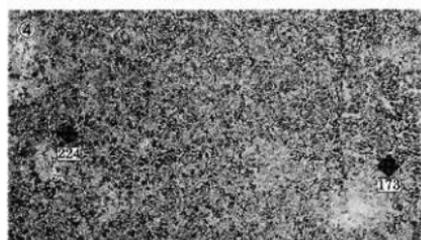
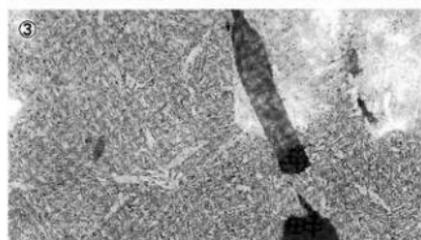
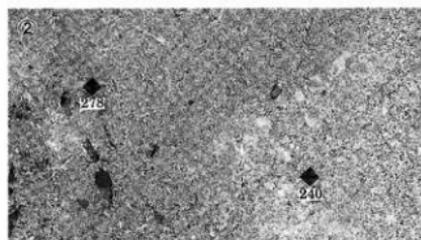


Photo.13 鉄鋳状未製品の顕微鏡組織

TER-15(2)

鉄鋳状未製品

①～⑤ 試料下面中央部ナイタルetch

①×50 内面：下部ベイナイト～

下面表層：フェライト・島状マルテンサイト・パーライト

②×100 ③×400 ①の内側拡大

④×100 ⑤×400 ①の表層側拡大

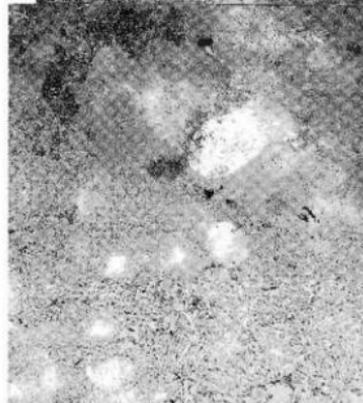
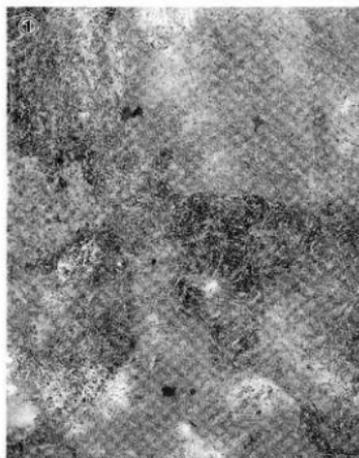
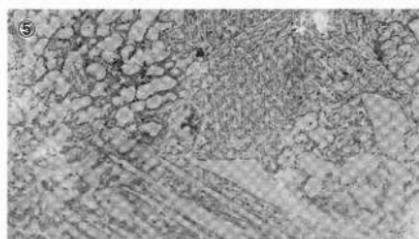
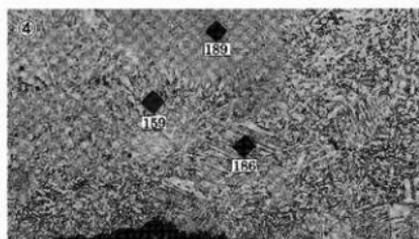
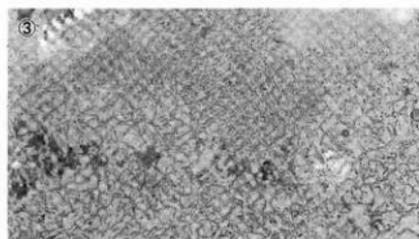
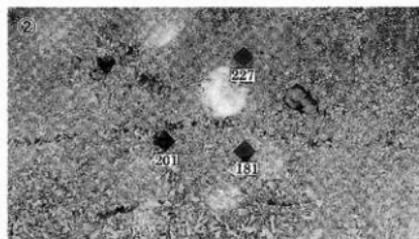


Photo.14 鉄鋳状未製品の顕微鏡組織

TER-16(1)

鉄器

①～⑤ 横側端部 ナイタルetch

①×100 フェライト単相～フェライト・少量パーライト

②～⑤×400 ①の拡大

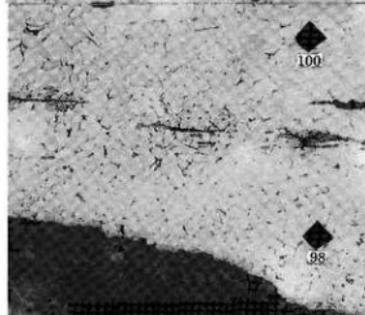
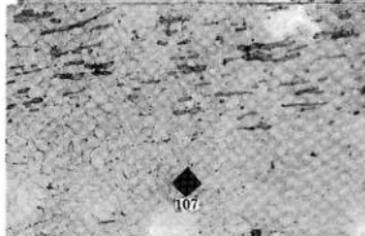
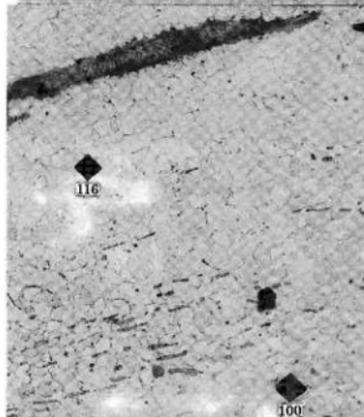
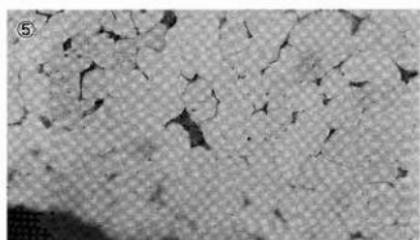
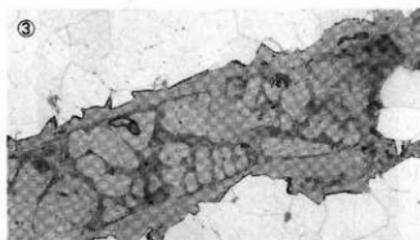


Photo. 15 鉄器の顕微鏡組織

TER-16(2)

鉄器

①～⑤ 試料中央付近 ナイタルetch
①×100 針状フェライト・上部ペイナイト
～フェライト単相～フェライト・少量パーライト
②～⑤×400 ①の拡大

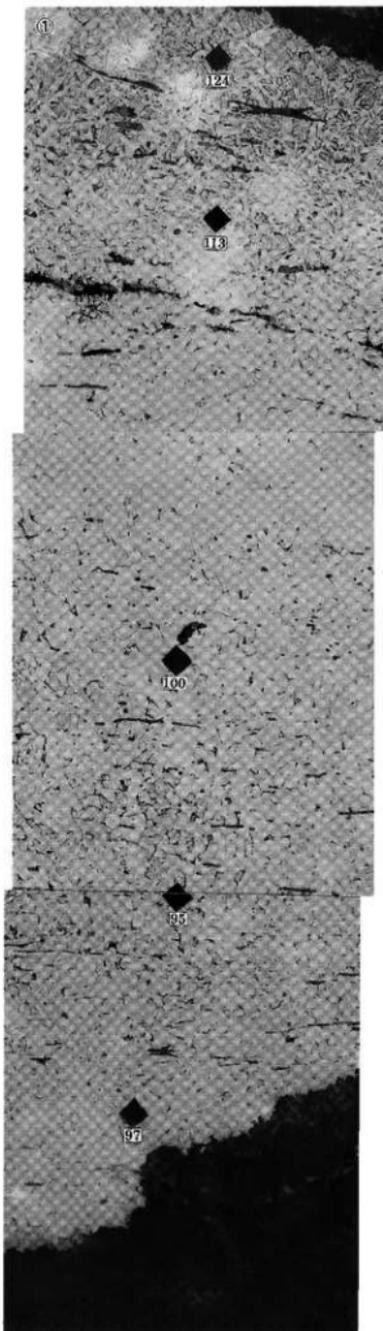
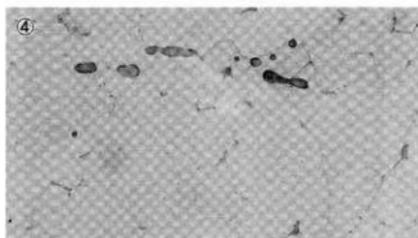
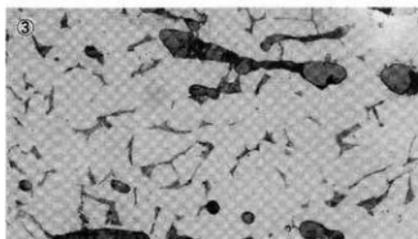


Photo.16 鉄器の顕微鏡組織

TER-17

鉄器

①～⑤ 試料中央部ナイタルetch

①×50 試料上面：高炭素域網目状初析フェライト・パーライト
～試料左下部分：低炭素域針状フェライト・パーライト

②×100 ③×400 ①の上面側拡大

④×100 ⑤×400 ①の下面側拡大

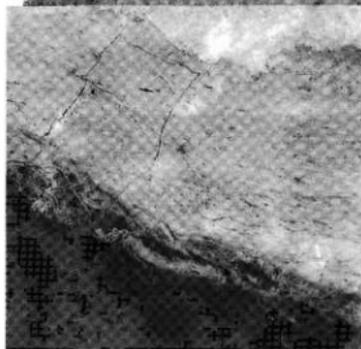
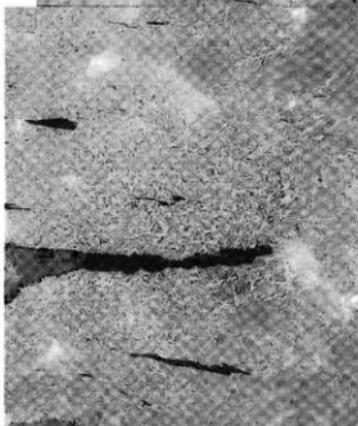
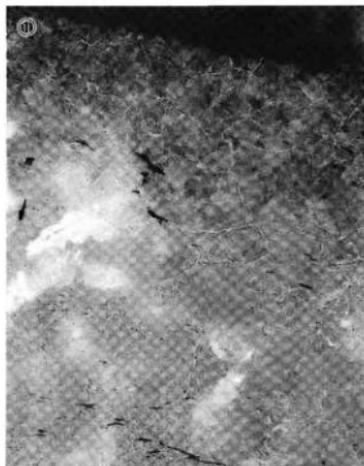
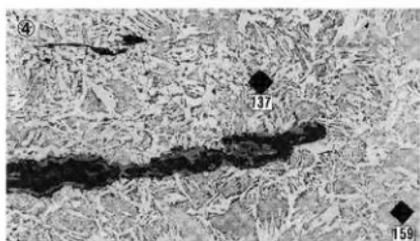
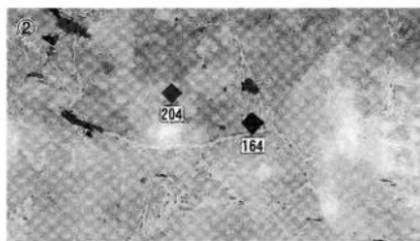


Photo.17 鉄器の顕微鏡組織

TER-18

鉄素材(板状未製品)

①~⑤ 試料中央部 ナイタルetch

①×100 表層付着層:ウスタイト

鉄部表層:酸炭層、針状フェライト・パーライト

芯部:パーライト主体

②~⑤×400 ①の拡大

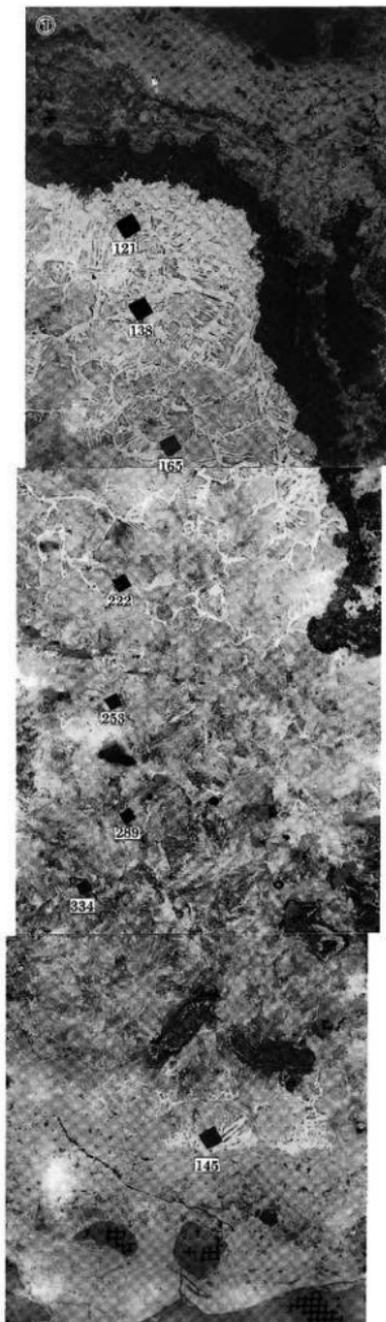
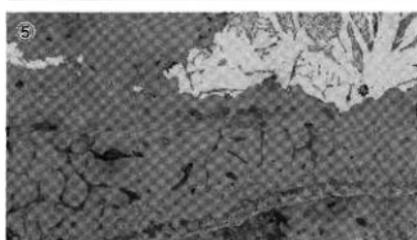


Photo.18 鉄素材の顕微鏡組織

TER-19

羽口(鍛冶滓附着)

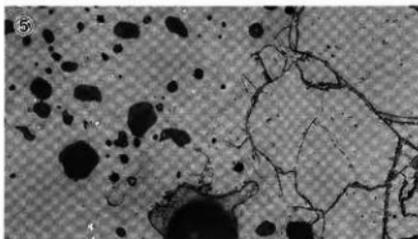
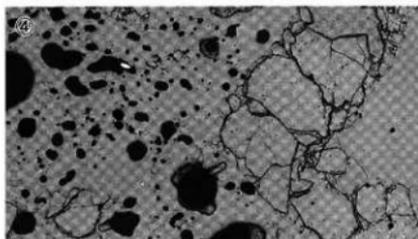
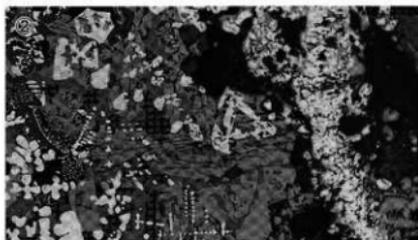
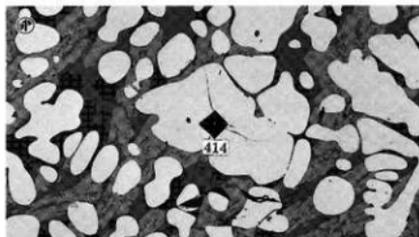
①~③ 付着層部

①×200 硬度圧痕:414HV ウスタイトか

②×100 ③×400 ウルボスピネル・ウスタイト・ファイヤライト

④×50 ⑤×100 羽口充填

ガラス質滓、石英・長石粒子残存



TER-20

土器転用ルツボ

⑥ 内面表層ガラス質滓、明色部:銅粒

周囲多角形結晶:マグネタイト

⑦×100 ⑧×400 内面表層付着滓:ファイヤライト

下面下側中央微小明色部銅粒

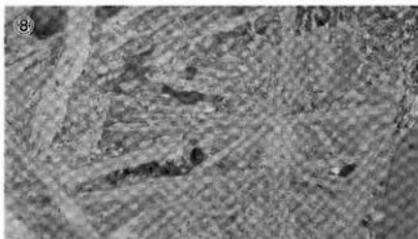
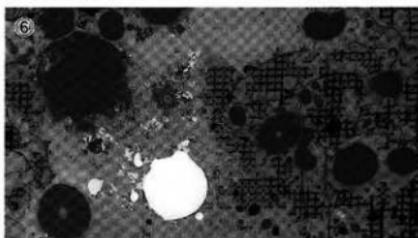


Photo.19 羽口・土器転用ルツボの顕微鏡組織

TER-21

小型ルツボ

①×50 鋳土：粘土鉱物ガラス質化

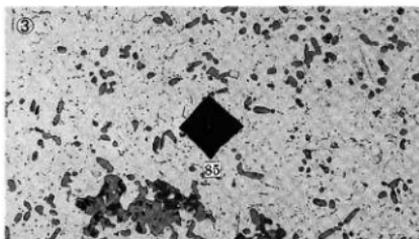
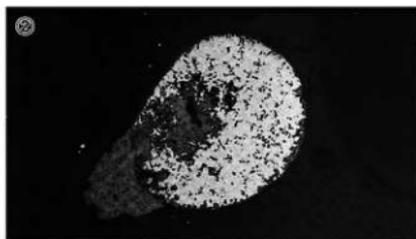
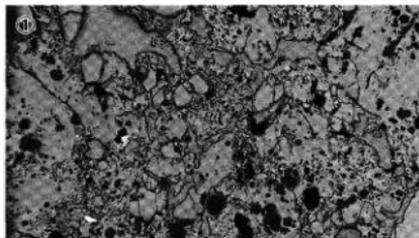
②×50 ③×100 内面表層

ガラス質中の銅粒

粒内暗色部：初晶部誘化

素地：酢酸・硝酸・アセトン混合液で腐食、変化なし

硬度圧痕：85Hv、純度の高い銅



TER-22

ルツボ(内面内張り部分)

④~⑧×400 内面ガラス質中の銅粒及びCu-Fe-As系化合物

酢酸・硝酸・アセトン混合液で腐食

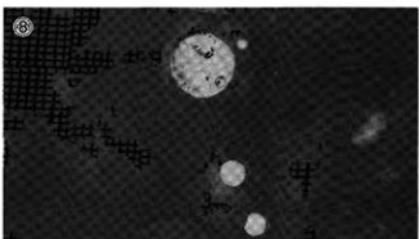
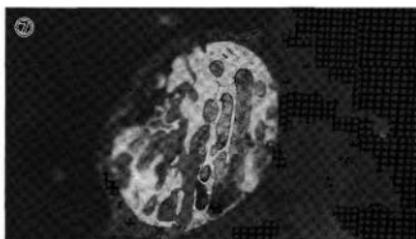
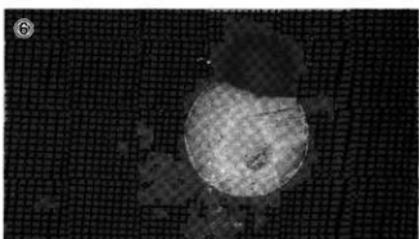
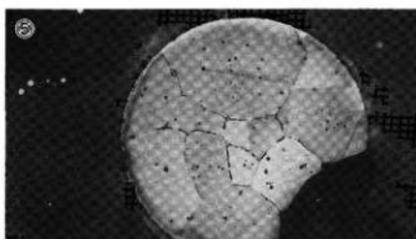
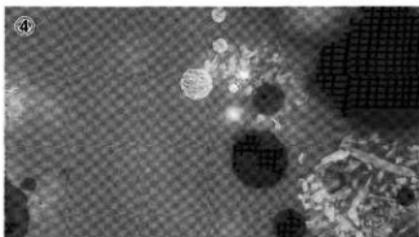
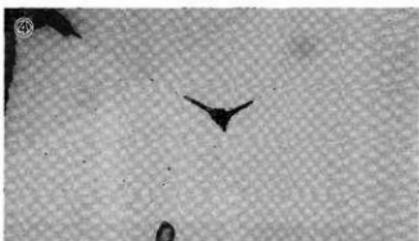
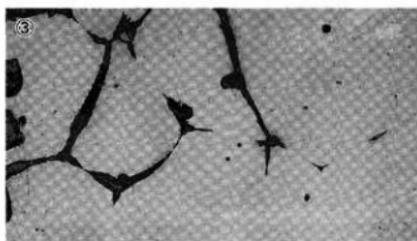
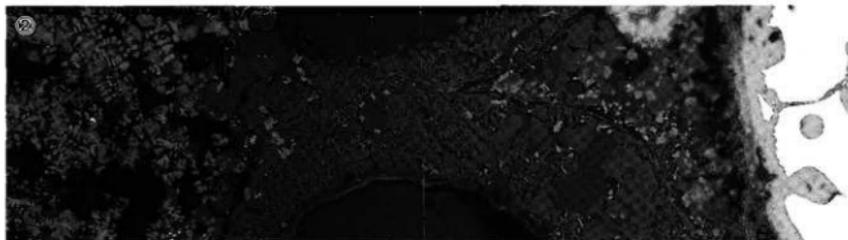
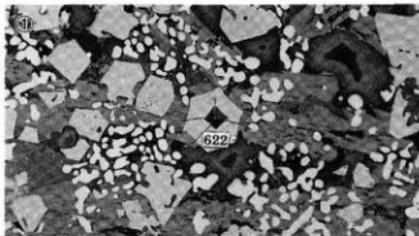


Photo.20 ルツボの顕微鏡組織

TER-23

銀冶滓 (緑青付着)

- ①×200 硬度圧痕：622Hv、ウルボスピネル
②×100 暗色部：銀冶滓
ウルボスピネル・ウスタイト・ファイヤライト晶出
白色部：付着銅粒
③×100 ④×400 銅粒部分
酢酸・硝酸・アセトン混合液腐食、多角形結晶 (d相)



TER-24

羽口

- ⑤⑥×400 試料外面表面層
ガラス質滓、微小金属粒散在
⑦×400 ガラス質滓中の金属鉄粒、ナイトルetch
フェライト単相

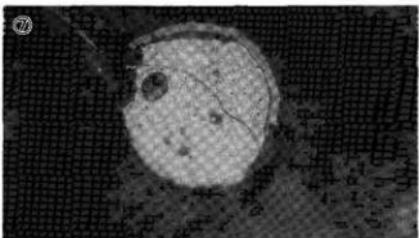
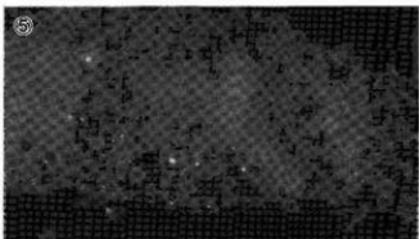
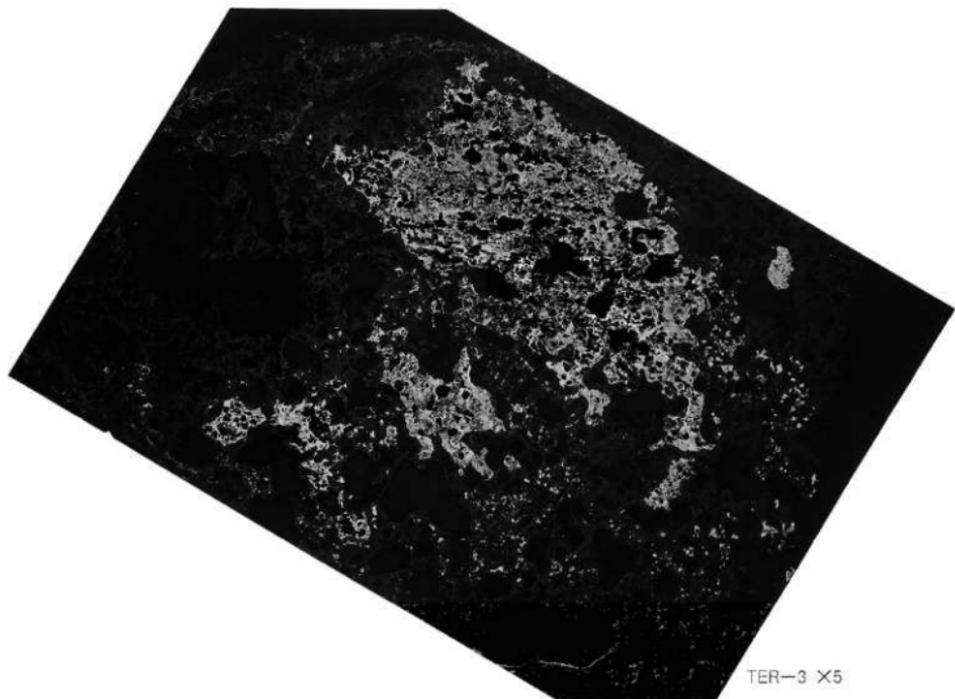
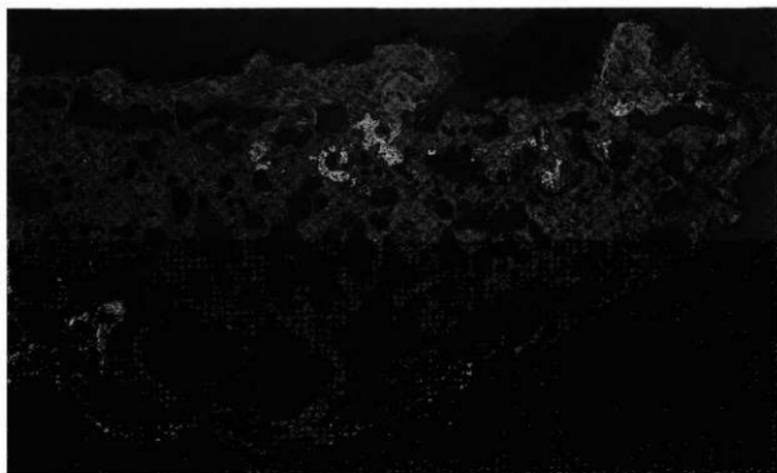


Photo.21 銀冶滓 (銅粒付着)・羽口の顕微鏡組織

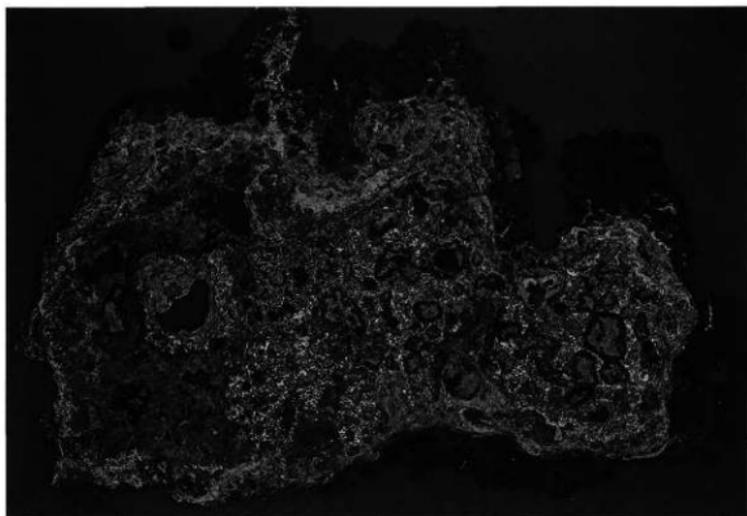


TER-3 X5

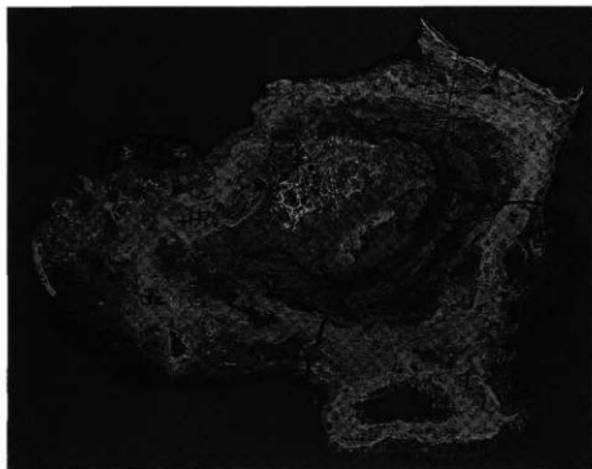


TER-4 X5

Photo.22 上段：椀形鋳冶滓(含鉄)(TER-3)のマクロ組織(X5)
下段：椀形鋳冶滓(含鉄)(TER-4)のマクロ組織(X5)

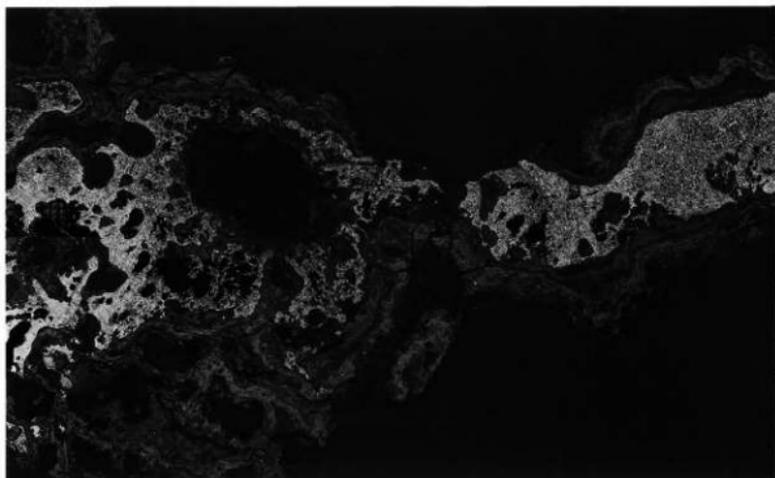


TER-7 X5

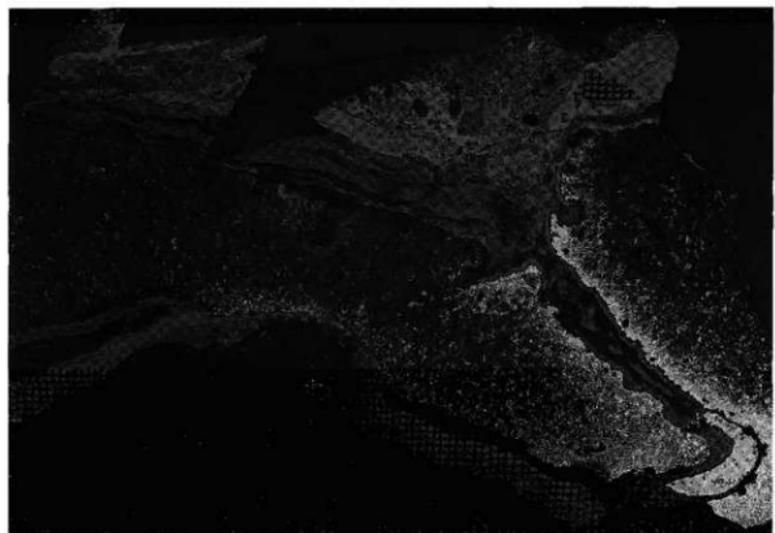


TER-8 X10

Photo.23 上段：鐵冶滓(含鉄)(TER-7)のマクロ組織(X5)
下段：鐵冶滓(未製品付)(TER-8)のマクロ組織(X10)



TER-9 X5



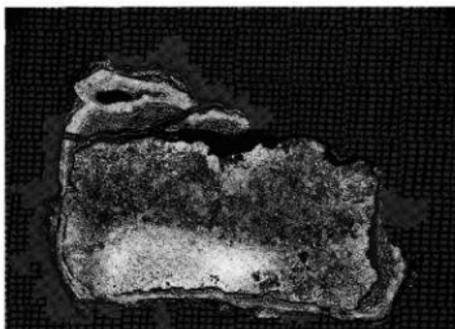
TER-10 X10

Photo.24 上段：鉄塊系遺物(TER-9)のマクロ組織(X5)
下段：鉄素材(板状未製品)(TER-10)のマクロ組織(X10)



写真左側が試料上面

TER-11 X10



TER-15 X5

Photo.25 上段：鉄素材(未製品)(TER-11)のマクロ組織(X10)
下段：鉄鋳状未製品(TER-15)のマクロ組織(X5)