

第5章 自然科学的分析

第1節 戸井谷遺跡製鉄遺構出土炭化物¹⁴Cの年代測定

) 助九州環境管理協会

はじめに

本報告書は、島根県教育庁埋蔵文化財調査センターの委託を受けて、財団法人九州環境管理協会 が「志津見ダム建設予定地内遺跡(戸井谷遺跡)発掘調査に伴う年代測定」についてとりまとめた ものである。

1. 分析資料

分析資料を表1に示す。

No.	試料記号	遺跡名	採取年月日	遺構	時	期
1	T T — 1	戸井谷遺跡	平成12年9月8日	戸井谷遺跡・1号炭窯	近	代
2	T T - 2	戸井谷遺跡	平成12年8月10日	戸井谷遺跡・製鉄炉	中	世
3	Т Т — З	戸井谷遺跡	平成12年8月11日	戸井谷遺跡・2号炭窯	近	世

表1¹⁴C年代測定試料一覧表

2. 分析方法

¹⁴C年代測定は、ベンゼン合成 – 液体シンチレーション計測法で測定した。

3. 測定結果

3

¹⁴C年代測定の結果を表2に示す。

木

炭

T T - 3

No.	試料記号	試 米	斗 名	遺 構	¹⁴ C年代/years BP
1	T T — 1	木	炭	戸井谷遺跡・1号炭窯	$8\ 0\pm 6\ 0\ (9\ 0\pm 6\ 0)$
2	Т Т — 2	木	炭	戸井谷遺跡・製鉄炉	$7 4 0 \pm 1 0 0 (7 6 0 \pm 1 1 0)$

表 2 ¹⁴C年代測定結果

測定結果は、¹⁴C年代測定で慣例となっているLibbyの半減期5568を採用し、西暦1950年までの経 過年(years BP)で表示している。また、()内の年代は¹⁴Cの半減期として現在使用されている 最新の値、5730を採用し算出された値である。年代誤差は放射壊変の統計誤差(1σ)から換算さ れた値であり、測定結果が約70%の確率でこの範囲にあることを意味する。なお、同位体効果の補 正は行っていない。

戸井谷遺跡・2号炭窯

 210 ± 60 (220 ± 60)

第2節 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯の地磁気年代

島根大学総合理工学部

時 枝 克 安

1 地磁気年代測定法の仕組

地磁気は3要素(偏角、伏角、強度)から成り、それぞれの要素は変動速度の異なる様々な成分 を含むが、時間が約10年程度経過してはじめて変化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(偏角と伏角)の永年変化 であり、過去の地磁気の方向と年代の関係を示す変動グラフを利用して、地磁気の方向から年代を 読みとる。しかし、焼土が焼けた年代を知るためには、当時の地磁気の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。焼けたときの地磁気の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、①まず、焼土の熱残留磁気 の測定から焼土の被熱時の地磁気の方向を求め、②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、③決定した点の年代目盛りを読みとることになる。

地磁気のなかで土壌、粘土、砂、岩石等が焼けるとそれらは熱残留磁気を帯びる。熱残留磁気の 担い手は、物質中の磁鉄鉱等の磁性粒子である。そして、熱残留磁気の方向は焼けたときの地磁気 の方向に一致し、しかも、磁性物質のキュリー温度(磁鉄鉱では575℃)以上に再加熱されないか ぎり、物理・化学的攪乱に対して非常に安定であり、数万年以上時間が経過しても変化しない場合 が多い。キュリー温度以上の再被熱があったときには、それまで焼土が保持していた残留磁気は消 減し、その代わり、再被熱の地磁気の方向を向いた新しい残留磁気が獲得される。つまり、焼土は 最終被熱時の地磁気の方向を熱残留磁気の方向として正しく記憶していることになる。それゆえ、 あらかじめ、年代既知の焼土の熱残留磁気を利用して、過去の地磁気の方向が時間とともにどのよ うに変化したかを測定して、地磁気の方向の変動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、焼土の最終被熱年代を推定できることになる。この時計では地磁気の方向が"針"に 相当し、焼土の熱残留磁気が被熱時の "針の位置"を記憶していることになる。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

第一に地磁気の地域差が問題となる。地磁気の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する場合がある。 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向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。 第二に土器編年の影響の問題がある。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 いるので、地磁気年代は土器編年に左右されないと思われがちであるが、実際には、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 は問題はないが、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

戸井谷遺跡(島根県飯石郡頓原町角井)で出土した製鉄炉、鍛冶炉、炭窯から熱残留磁気を測定 するための定方位試料を採取した。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 する仕方をとっている。試料の採取状況を表1に示す。

製鉄炉には本床があるが小舟はない。定方位試料は本床の長辺に沿って残る南側の壁から20ケ、 北側の壁から20ケ、本床の中央部の狭い範囲に認められた、還元色のよく焼けた極細粒の砂から15 ケを採取した。SX-03は製鉄炉の東端部の近くにあり、円形の穴窪状をしている。残留磁気を 測定するための定方位試料は、炉心の南側を除く壁の全面からくまなく40ケを採取した。炭窯は焚 き口から奥に向かって広がり、奥壁に2ケの煙道がある。垂直な壁は石組みで構築されており、床 面は焼成度が低いために黒色土の元の色があまり変わらず残っている。定方位試料は床面の全面か ら均等に13ケを採取した。

遺構	定方位試料の採取状活	况	焼土の状態
製 鉄 炉	南壁(20),北壁(20),床面(15)	計(55)	焼成度良好
S X - 0 3	炉心を取り巻く全ての壁面(40)	計 (40)	焼成度良好
炭 窯	床面(13)	計 (13)	低焼成度

表1 定方位試料の採取状況

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。自然残留磁気 の方向がかなり分散していたので、残留磁気の方向の集中度を改善するために、全ての試料につい て段階的交流消磁を行った。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滑らかに減少させて、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。いずれの遺構についても消磁磁場は10,20,mTを選んだ。

図1は製鉄炉、SX-03、炭窯の交流消磁(20mT)後の残留磁気の方向である。図2には自然残 留磁気の強度分布を示す。製鉄炉では、試料の89%が10⁻⁴ emu/g以上の強い残留磁気強度を示してお り、一般的に、この強度はよく焼けた焼土のレベルに対応する。図1の小円内の集中度のよい26ケ



図1 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯の交流消磁(20mT)後の残留磁気の方向



図2 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯の自然残留磁気の強度分布

のデータの試料位置は南壁(4)、北壁(9)、床面(13)である。SX-03では、交流消磁(20mT)にもかか わらず、残留磁気の集中は製鉄炉の場合に比べてシャープではない。交流消磁後の残留磁気方向の 分散は鉄の磁化の影響を示している可能性がある。ここでは、比較的よくまとまっている小円内の データを元に地磁気年代の近似的値を求めることにする。なお、SX-03の残留磁気の強度は強 いものから弱いものまで幅広い分布を示しているが、小円内のまとまりのよいデータは全て10⁻⁴ em u/g以上の強い磁化強度をもっている。炭窯では、試料の38%が10⁻⁵ emu/gの比較的弱い残留磁気強 度を示しているが、交流消磁(20mT)を行うと、少数ではあるが4ケのデータが鋭く集中するので、 これらのデータを元に炭窯の地磁気年代を求める。図1の小円内のデータの平均方向を計算すると 次の結果を得る。

遺構	Im(度)	Dm(度E)	k	_{α 95} (度)	n/N	消磁磁場
製鉄炉	53.22	5.81	1346	0.77	26/55	20mT
SX - 03	50.84	7.77	385	1.67	20/40	20mT
炭 窯	42.29	2.60	7894	1.03	4/13	20mT

戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯の残留磁気の平均方向

Im: 平均伏角、 Dm: 平均偏角、 k: Fisherの信頼度係数 $<math>\alpha_{95}: 95\%$ 誤差角、n/N:採用試料数/採取試料数



偏角

 図3 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯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地磁気永年変化曲線の一部
 1:製鉄炉、2:SX-03、3:炭窯

5. 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯の地磁気年代

図3は 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯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地磁気永年変化曲線³⁾の一部分である。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とる。 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、製鉄炉と炭窯では、複数の地磁気年代 が可能となる。製鉄炉では、~AD120、~AD380、~1200、~1300の4つの年代値が候補となるが、 前二者の値は考古学的に考え難いので、地磁気永年変化曲線のAD1200~AD1350の部分に対応する年 代を読みとる。炭窯の地磁気年代は、地磁気永年変化曲線のAD1400~AD1500の部分とAD1700~AD18 00の部分から読みとる。このようにして得られた地磁気年代は、製鉄炉ではAD1210±10またはAD1 330±10、SX-03ではAD1340±15、炭窯ではAD1410±10またはAD1730±15となる。年代を唯 一に決めるためには他の分野の情報を必要とする。

戸井谷遺跡の製鉄炉、	SX - 03	炭窯の地磁気年代
	0 / 0 0 (DC M C P D FAA X C I I V

遺構	地磁気年代
製 鉄 炉	AD1210±10 または AD1330±10
SX - 03	AD1340±15 (鉄の影響を受けている可能性がある)
炭 窯	AD1410±15 または AD1730±15

6. 残留磁気に対する鉄の磁化の影響

製鉄遺構では、取り扱う鉄の磁化の影響のために、焼土の残留磁気の方向が創業時の地磁気の方 向から逸れている場合があるので、これについて検討しなければならない。試料の残留磁気に対す る鉄の影響は、試料の鉄に対するの相対的な位置(方向、距離)によって変化するので、残留磁気 の方向に偏りがあるとすると、偏りの程度(向き、大きさ)は試料位置によって異なるはずである。

製鉄炉の地磁気年代決定に使用したデータ(図1小円内)は26ケあるが、これらの試料採取場所 は、南壁(4)、北壁(9)、床面(13)である。このように、鉄の予想位置(炉の中央部)を取り巻く広 い範囲のデータが集中しているので、これらのデータには鉄の影響がないと判断できる。一方、S X-03は、当初、鍛冶炉と想定されていたが、この想定を裏付ける遺物は出ていない。SX-0 3の残留磁気の方向は20mTの交流消磁にもかかわらず、まとまりはあまりよくない。このような、 2次的磁化の汚染を除去した後で残っている僅かではあるが明白な方向分散は鉄の磁化の影響を示 している可能性がある。それゆえ、これらのデータから導かれた地磁気年代(AD1340±15)には 鉄の影響による誤差が含まれている可能性があるが、SX-03の地磁気年代を決定するのに使用 した20ケのデータ(図1小円内)の試料位置は、遺構中央部を均等に取り囲んでいるので、これら の平均方向は遺構の創業時の地磁気の方向から大きくは偏っていないと考えられ、地磁気年代(AD 1340±15)も真の年代値から大きくはずれていないと予想される。

最後に、試料採取などでお世話になった島根県埋蔵文化財調査センターの神柱靖彦氏に感謝いた します。

註(1)広岡公夫(1995)	「考古資	資料分析法」	、考古学ラ	イブラリー、	65,
	田口勇、	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3節 戸井谷遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査

九州テクノリサーチ・TACセンター

大澤正 己・鈴木 瑞穂

1. いきさつ

戸井谷遺跡は島根県飯石郡頓原町大字角井に所在する。発掘調査の結果、製鉄炉の地下構造およ び関連遺構が検出された。炉の操業時期は、地下構造の規模や本床状遺構のみの単純な構造である ことから中世に比定されている。当遺跡内での生産の実態を検討するため金属学的調査を実施する 運びとなった。

2. 調查方法

2-1.供試材

Table.1に示す。製鉄関連遺物計33点の調査を行った。

- 2-2. 調査項目
- (1) 肉眼観察

遺物の肉眼観察所見である。これらの所見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10倍もしくは20倍で撮影したものを指す。当調査は、顕微鏡検査によるよりも広 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

切り出した試料をベークライト樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、 #1000と順を追って研磨し、最後は被研磨面をダイヤモンド粒子の3µと1µで仕上げて光学顕 微鏡観察を行った。なお、金属鉄は5%ナイタル(硝酸アルコール液)で、腐食(Etching)し ている。

(4) ビッカース断面硬度

鉄滓の鉱物組成と、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°の項角をもった 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、その荷重を除した商を硬度値 としている。試料は顕微鏡用を併用した。

(5) EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) 調査

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。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が可能である。

(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 (Fe0) :容量法。 炭素 (C)、硫黄 (S)、:燃焼容量法、燃焼赤外吸収法

二酸化硅素 (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)、五酸化燐 (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

耐火度の加熱に耐える温度とは、溶融現象が進行の途上で軟化変形を起こす状態度の温度で 表示することを定め、これを耐火度と呼んでいる。胎土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、それ以降は4℃に昇温速度をお 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。

(8) 木炭組織

調査破面(木口、柾目、板目)を#1,000のサンド水ペーパーで研磨して平滑な面を出し、 十分に乾燥する。次に調査面にカーボン蒸着を施し導電性を確保した後、走査型電子顕微鏡で 組織を撮影する。

走査型電子顕微鏡は、真空中で試料面に電子線を照射し、発生する2次電子線の情報を画像 処理するものである。

(9) 木炭の性状

水分、灰分、揮発分、固定炭素:マイクロプロセッサー法。

硫黄(S):燃焼赤外吸収法、灰分の燐(P)、蛍光X線分析法、発熱量、カロリー計。

3. 調査結果

- TOT-1:炉壁
 - (1) 肉眼観察:炉頂部に近い位置の炉壁片である。内外面は基本的に生きている。上面と左側面の一部は粘土の接合面で、直方体状の粘土塊を積み上げて炉体を構築したと推測される。 内面には横方向のナデにより調整された痕跡が残る。また灰黒色に熱変化するのみで熱影響はごく弱い。胎土は軟質で、僅かにスサや粉炭を含む。
 - (2) 顕微鏡組織:Photo.1①に示す。粘土鉱物への加熱変化の程度は低く、鱗片状を保っているが、部分的に非晶質化した個所も確認される。また胎土中の石英・長石粒にはほとんど熱影響はみられない。
 - (3) 化学組成分析:Table.2に示す。強熱減量(Ig loss) 8.51%と高めである。あまり熱影響 を受けず結晶構造水の多くが保持された状態での分析となった。鉄分(Fe₂0₃)は1.46%と 低く軟化性に有利であり、酸化アルミニウム(Al₂0₃)が19.25%と高めで耐火性に有利な成 分である。また滓と鉄の分離を促す自媒剤となる塩基性成分(Ca0+Mg0)は1.02%と適度に 含み、耐火度低下への恐れはさほどなかろう。
 - (4) 耐火度:1470℃であった。化学組成に対応した値であり、当地域周辺で確認された製鉄炉の炉壁片としては、ほぼ一般的な性状である。

TOT-2:炉壁

- (1) 肉眼観察:下端部に通風孔の痕跡が一孔残存する炉壁片である。内外面は生きている。上面と両側面は粘土塊の接合痕が残り、直方体状の粘土塊を積み上げて炉体を構築したと推測される。下面のみ破面である。内面全体が熱影響を受けて黒色ガラス質化して、その表面は僅かに紫紅色を呈する。胎土は粘土質で、僅かにスサや粉炭を含む。
- (2) 顕微鏡組織:Photo.1②~④に示す。②は炉壁胎土部分である。粘土鉱物は加熱変化を受けて非晶質化が進んでいる。胎土中の石英に高温クラックが発生し、長石粒は粒状の形を留めるものの、外周部が溶融しているものが多い。ムライト(3A1203・2Si02)の生成であろう。 ③④は内面の黒色ガラス質部分である。白色多角形結晶はマグネタイト(Magnetite:Fe304)で、淡茶褐色部はウルボスピネル(Ulvöspinel:2Fe0・Ti02)ないしはヘーシナイト(Hercy-nite:Fe0・A1203)と固溶体の可能性が高い。
- (3) 化学組成分析:Table.2に示す。強熱減量(Ig loss)は1.06%と低値であった。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となった。鉄分(Fe₂0₃)は2.74%と低めで軟化性には有利である。酸化アルミニウム(Al₂0₃)は18.70%と、TOT-1炉壁より僅かに低い。しかし滓と鉄の分離を促す自媒剤となる塩基性成分(Ca0+Mg0)が0.38%と低値で、耐火性には有利に働くと考えられる。なお、TOT-1炉壁について随伴微量元素を比較すると、該品は僅かであるが酸化マンガン(Mn0)、硫黄(S)、五酸化燐(P₂0₅)などが低値となる。加熱酸化の影響でなければ通風孔近傍の耐火性対策のための別胎土の混和がありうるだろう。更に繰返しになるが塩基性成分(Ca+Mg0)の0.38%とTOT-1炉壁の1.02%の差異は大きい。該品はTOT-1上段炉壁とは別組織とみるべきであろう。
- (4) 耐火度:1530℃であった。炉壁上部破片のTOT-1よりも、耐火性に優れた性状を示した。炉壁の高温侵食に対する対策のとられた炉材の充当とも考えられる。

TOT-3:羽口(板屋型転用?)

- (1) 肉眼観察:板屋型羽口^(注1)と推定される羽口破片である。現状では外周1/3程が残存し、 穿孔部は確認されない。外面には簀巻きによる成形痕がみられる。更に外面中央寄りには熱 影響を受けて黒色ガラス質化した個所が残る。ガラス質滓の流動状況から、羽口は比較的傾 斜角度をつけて装着したと推定される。胎土は軟質で微細な滓片やスサが混和されている。
- (2) 顕微鏡組織:Photo.1⑤~⑦に示す。⑤⑥は外面表層のガラス質滓部分を示す。⑤の白色部は金属鉄である。砂鉄粒子が還元されて生じたごく微細な金属鉄である。またその周囲には盤状のファイヤライト結晶が晶出する。⑥の右粒子は滓化した砂鉄粒子の痕跡である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。また紙面の構成上割愛したが、半還元砂鉄粒子の付着も確認された。このため当羽口は製鉄に用いられた可能性が高く、穴澤氏の指摘する板屋型羽口の初段階使用の様相を示す事例かも知れない。

また⑦は羽口胎土部分である。粘土鉱物は加熱変化を受けつつあるが、鱗片状を一部に残 しながら非晶質化が進んでいる。また胎土中には多数の石英・長石粒が混在する。さらに写 真中央に示したような滓片が混在する。滓中にはウルボスピネル、ファイヤライト結晶が晶 出し、製錬滓片と判定される。このため当試料は微細な製錬滓片が散在する場所で製作されたと判断される。

従来、板屋型羽口は精錬鍛冶に伴う大型羽口と想定されてきたが、近年当遺跡や周辺の梅 ヶ追製鉄遺跡^(注2)での出土事例があり、再考を促す事態にいたった。板屋型羽口の製鉄・鍛 冶遺跡双方から出土する可能性が窺われるので今後は調査事例を蓄積して、使用状況を十分 に検討していく必要がある。

- (3) 化学組成分析: Table. 2 に示す。強熱減量(Ig loss)は2.17%と低値である。熱影響を受けてかなりの結晶構造水が飛散した状態での分析である。前述TOT-1 炉壁上段粘土に準じた成分系である。鉄分(Fe₂0₃)は2.50%と低めで、軟化性に有利であり、酸化アルミニウム(Al₂0₃)は19.75%と高く、耐火性に有利な成分系である。また塩基性成分(Ca0+Mg0)も0.99%と低く耐火性に有利に働くと考えられる。
- (4) 耐火度:1460℃であった。こちらもTO1−1 炉壁とほぼ同等の値を呈している。
 なお12世紀末から13世紀初頭に比定される、板屋Ⅲ遺跡の鍛冶炉に共伴して出土した大口
 径羽口(ITA-6)の耐火度は1410℃^(注3)である。化学組成を比較するとFe₂0₃:4.03%、
 Al₂0₃:17.04%、Ca0+Mg0:1.80%であり、当羽口の方がやや耐火性の高い性状である。

TOT-4:炉底塊(含鉄)

- (1) 肉眼観察:偏平な含鉄炉底塊の破片である。上面の一部と下面は生きているが、側面は全面破面である。全体に気孔が多く、破面では横方向に連なった気孔が確認される。下面は2条の平行した突出部があり、短軸方向では鉄アレイ状の断面形を呈する。操業初期段階の、炉床幅の狭い炉底部を反映したものと推測される。表層に銹化鉄部は確認されないが、下面側は磁着が強く鉄部を内包すると推定される。
- (2) マクロ組織: Photo. 20に示す。供試材の切断面で最も金属鉄が多い個所を観察した。滓中に未凝集でごく微細な金属鉄粒が多数散在する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.2①~③に示す。①の白色部は微細な金属鉄粒である。また周囲の滓部は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト、白色粒状結晶ヴスタイト(Wüstite:Fe0)などが晶出する。②③は金属鉄を5%ナイタルで腐食した。 未凝集フェライト粒の単相組織であった。酸化砂鉄の製錬滓に分類される。
- (4) ビッカース断面硬度: Photo. 2 ③に金属組織(フェライト)の硬度測定の圧痕を示す。硬 度値は77Hvであった。組織に見合った値である。
- (5) EPMA調査: Photo.32の1段目に滓部鉱物相の反射電子像(COMP)を示す。1の番号をつけた淡茶褐色多角形結晶の定量分析値は66.0%Fe0-22.3%Ti02-8.8%Al203-3.3%V203であった。ウルボスピネル(Ulvöspinel:2Fe0·Ti02)とヘーシナイト(Hercynite:Fe0·Al203)の固溶体鉱物^(注4)である。これにはVを微量固溶する。2の番号をつけた素地のガラス質部分の定量分析値は44.9%Si02-19.0%Al203-6.7%Ca0-13.4%K20-4.0%Na20-16.4%Fe0であった。珪酸塩に微細なファイヤライトを析出するのであろう。3の番号をつけた白色粒状結晶の分析値は96.5%Fe0-1.4%Ti02であった。ヴスタイト(Wüstite:Fe0)に同定される。微量のTiを固溶する。また4の番号をつけた白色粒の定量分析値は138%Fe0であった。

酸化物定量のため100%を超える値となったが、金属鉄(Metallic Fe)に同定される。なお 金属鉄の周囲を取り巻くように晶出するヴスタイトは金属鉄の表面が再酸化された生成物で ある。

(6) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 62.41%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 24.70%、酸化第1鉄(Fe0) 31.52%、酸化第2鉄(Fe₂0₃) 18.89%であった。滓中の微細な金属鉄を反映し、金属鉄が高い値となる。またガラス質成分(Si0₂+Al₂0₃+Ca0+Mg0+K₂0+Na₂0)は19.69%で、このうちに塩基性成分(Ca0+Mg0)を0.91%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti0₂) 1.51%、バナジウム(V) 0.10%と低めで、酸化マンガン(Mn0) も0.37%と少ない。また銅(Cu) は<0.01%であった。

当試料中の金属鉄は未凝集のフェライトで、鍛冶原料になり得る品位ではない。

TOT-5:炉底塊(含鉄)

- (1) 肉眼観察:厚手の含鉄炉底塊の端部破片である。上下面と側面の一部が生きている。側面 破面の上半部は気孔や木炭痕がやや目立ち、下半部は気孔が少なめである。下面は3箇所突 部があり、短軸方向の断面形は波状を呈する。中央の突部は流出孔滓へと繋がる可能性をも つ。また黒錆が各所に点在し、放射割れを起こしていることから鉄部を内包すると推定され る。
- (2) マクロ組織: Photo. 20に示す。供試材の切断面で最も金属鉄が確認された個所を選択している。前述したTOT-4炉底塊よりは若干鉄は纏まりつつあるが、それでも多くは滓中に微細な金属鉄の多数散在に留まる。金属鉄はほぼ吸炭していないフェライト単相の組織であった。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.2④~⑧に示す。④は滓部である。発達した淡茶褐色多角形結晶ウル ボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。砂鉄系製錬滓の晶癖である。 ⑤~⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食している。フェライト単相の組織であった。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.2⑦⑧に硬度測定の圧痕を示す。⑦は金属鉄(フェライト) 部分で硬度値は80Hv、⑧の淡茶褐色多角形結晶の硬度値は660Hvであった。ウルボスピネル に同定される。顕微鏡組織の見立て通りである。
- (5) 化学組成分析:Table.2に示す。前述炉底塊TOT-4と大差ない成分系である。全鉄分 (Total Fe) 55.93%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 9.72%、酸化第1鉄(Fe0) 30.42%、 酸化第2鉄(Fe₂O₃) 32.26%の割合であった。ガラス質成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O +Na₂O) 18.28%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO) は0.82%を含む。砂鉄特有成分の二 酸化チタン(TiO₂) 1.37%、バナジウム(V) 0.09%と低めで、酸化マンガン(MnO) も0.32 %とやや低下気味であった。また銅(Cu) は<0.01%である。該品は前述したTOT-4炉 底塊の比較的操業初期で中断された可能性をもつものの組織と大きく異なる点はなかった。

当試料中の金属鉄は、前述したTOT-4炉底塊(含鉄)と同様の未凝集のフェライトで、 鍛冶原料になり得る品位ではない。

TOT-6:流出孔滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:大型で棒状の流出孔滓の破片である。長軸両端は破面で、横断面はV字型を呈 する。上面の基部側約1/3には瘤状に突出した滓部がある。この個所は木炭痕による凹凸 が顕著で、側面には樋状の工具痕が残る。また先端側2/3は滑らかな流動状を呈する。
- (2) マクロ組織: Photo.21に示す。供試材の切断面ではまとまった鉄部は確認されなかった。 微細な金属鉄粒がごく微量散在するのみである。また滓中には可成り発達した鉱物結晶の晶 出がある。大型の流出孔滓のため比較的冷却速度は遅かったと推測される。
- (3) 顕微鏡組織: Photo. 3 ①に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、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。砂鉄製錬滓の晶癖である。
- (4) ビッカース断面硬度: Photo. 3 ①中央の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は 763Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体である可能性が高い。^(注5)
- (5) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 39.50%に対して、金属鉄(Metalli-c Fe) 0.04%、酸化第1鉄(Fe0) 43.86%、銹化鉄の含有もなく酸化第2鉄(Fe₂0₃) 7.67%の割合であった。ガラス質成分(Si0₂+Al₂0₃+Ca0+Mg0+K₂0+Na₂0)は42.24%と多くて、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)を2.89%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti0₂)は4.83%と比較的高値である。またバナジウム(V)は0.07%であった。酸化マンガン(Mn0)も0.57%と上昇する。銅(Cu)は<0.01%である。鉄分低く、脈石成分(Ti、V、Mn)が高値傾向を示す。前述したTOT-5炉底塊とは異なる成分系での、低チタン酸性砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。

TOT-7:砂鉄(遺跡出土)

- (1) 肉眼観察:砂鉄の粒径は細かく、混在する石英の類は大粒である。色調は光沢のない灰黒 色を呈し被熱砂鉄の多いことが観察される。更に該品の特徴はごく微細な滓片や銹化鉄粒が 多数混在している。
- (2) マクロ組織:Photo.21に示す。砂鉄粒子はほとんど熱影響を受けていないものから、完全に滓化して、中には複数の粒子が融着するものまで確認された。また砂鉄粒子のほかに微細な鉄粒や粒状滓様遺物、製錬滓片や木炭片等が混在するのは肉眼観察の指摘通りである。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.3②~⑧に示す。②~③の中央は生砂鉄の磁鉄鉱(Magnetite:Fe0·F e₂0₃)粒子である。亀裂が走るが焙焼を積極的に発言できるものではなかろう。その周囲には銹化鉄粒や滓片が多数散在している。⑤⑥は微細な鉄粒である。⑤は白色板状のセメンタイト、蜂の巣状のレデブライト痕跡が残存する白鋳鉄、⑥は片状黒鉛の痕跡が残存するねずみ鋳鉄であった。このような鋳鉄組織の痕跡が残存する鉄粒が多数確認される。製鉄炉の操業後、炉内生成物から金属鉄を選別する際に滓中の微細な金属鉄粒が多数飛散したものと推測される。また⑦は粒状滓様遺物を示す。粒内の微細な白色樹枝状結晶はマグネタイトで製錬工程で派生した粒状滓様遺物であろうか。⑧は微細な製錬滓片である。素地のガラス質滓中に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite:Fe0·Ti0₂)が晶出する。比較的高温で操業された^(注6)砂鉄製錬滓の晶癖である。
- (4) 化学組成分析: Table. 2 に示す。全鉄分(Total Fe) 50.31%に対して、金属鉄(Metalli-c Fe) 12.38%、酸化第1鉄(Fe0) 18.00%、酸化第2鉄(Fe203) 34.23%の割合である。微

細な鉄粒を反映して、金属鉄が高値であった。またガラス質成分 $(SiO_2 + AI_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na2O)$ は22.82%と高く、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) は0.87%を含む。砂鉄特 有成分の二酸化チタン (TiO_2) は2.73%、バナジウム (V) 0.09%であった。また酸化マン ガン (MnO) は0.29%、銅 (Cu) は< 0.01%であった。原料砂鉄の低チタン傾向が明らかと なったが、製鉄原料の成分を詳細に検討するには微細な鉄粒、製錬滓の影響が大きく不適当 である。

TOT-8:砂鉄燒結塊

- (1) 肉眼観察:平面不整五角形をした砂鉄焼結塊である。砂鉄粒子はごく微細で、粒径は0.1 ~0.25mm程である。被熱の程度は部位により差がみられる。また表面には1.5~2.0mm大の木 炭痕が残る。
- (2) マクロ組織: Photo.22に示す。全体に滓化が進み、複数の砂鉄粒子が融着している。各粒子の外周部は白色縁どりのヘマタイトの晶出が顕著に現われる。
- (3) 顕微鏡組織: Photo. 4①~③に示す。砂鉄粒子の形状は辛じて残るが、外周からやや還元が進んでいる。外周の白色部はヘマタイト(Hematite: Fe₂0₃)、また内側の暗色部はマグネタイト(Magnetite: Fe₃0₄)と推則される。また暗色部はTiが微量固溶し、マグネタイトとウルボスピネル(Ulvöspinel: 2Fe0・Ti0₂)の中間組成のチタノマグネタイト(Titanomagnetite)^(注7)中のMag-Ilmeniteの溶融組織であろう。
- (4) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 68.59%に対して、金属鉄(Metalli-c Fe) 0.16%、酸化第1鉄(Fe0) 13.96%、酸化第2鉄(Fe₂0₃) 76.38%の割合であった。 またガラス質成分(Si0₂+A1₂0₃+Ca0+Mg0+K₂0+Na₂0)は5.04%と低値で、このうち塩基 性成分(Ca0+Mg0)は0.24%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti0₂)は1.91%、バナ ジウム(V)は0.14%であった。また酸化マンガン(Mn0)が0.48%、銅(Cu)は<0.01%で あった。鉄分高く、ガラス質成分及び脈石成分が低い成分系であった。製鉄炉内で熱影響を 受けているが、TOT-7砂鉄より製鉄原料本来の成分を保持していると判断される。なお、 該品の酸化度(Fe₂0₃)/(Fe0)=5.5は高く、早期還元の中途で取り残されたのであろうか。

TOT-9:マグネタイト系遺物

- 肉眼観察:小型のマグネタイト系遺物である。各面とも破面と流動状の自然面が混在する。
 破面の気孔は僅かで、強い光沢を持つ。色調は青黒色である。
- (2) 顕微鏡組織:Photo.4④~⑧に示す。表層側に白色不定形結晶のマグネタイトが凝集する。 内側へ移行すると結晶内には明度差が存在し、暗色部ではTiを固溶すると推定される。Mag-Ilmeniteの溶融組織とみられよう。粒間に僅かな淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトも晶出 する。
- (3) ビッカース断面硬度:Photo.4⑦⑧に硬度測定の圧痕を示す。白色不定形結晶の硬度を測定した結果、⑦の個所は483Hvでヴスタイト、⑧は573Hvでマグネタイトとなる。両者の硬度差は組成の違いとTiの固溶量が反映しているならば、より後者のTi含有量が高い可能性をもつ。

(4) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 68.59%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 0.16%、酸化第1鉄(Fe0)が高く56.43%、酸化第2鉄(Fe203)35.13%の割合であった。ガラス質成分(Si02+A1203+Ca0+Mg0+K20+Na20)は低くて5.24%で、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)は1.06%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti02)は1.22%、バナジウム(V)は0.10%で両方共に少ない。また酸化マンガン(Mn0)は0.41%、銅(Cu)は<0.01%である。鉄分高く、ガラス質成分及び脈石成分が低値で、TOT-8砂鉄焼結塊に近似した成分系であった。ただし、TOT-8砂鉄焼結塊よりは還元されており、酸化第1鉄(Fe0)の増加に表われている。マグネタイト化である。

TOT-10:工具付着滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:断面隅丸方形気味の棒状工具に付着した含鉄鉄滓である。工具痕側は鉄部で、 その外周には微細な気孔をもつ流動状の滓が重なって付着する。
- (2) マクロ組織: Photo.22に示す。緩いカーブをもつ工具痕に沿って亜共晶組成白鋳鉄組織の 鉄部が現われて、その外側には製錬滓が固着する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.5①~⑤に示す。①写真上側は鉄部である。白色部が金属鉄部分で、 外周部は銹化が進み、自然腐食を受けて白鋳鉄組織が現れている。写真下側は滓部で、3層 の重なりをもち、鉱物組成は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファ イヤライト(Fayalite:2Fe0·Si0₂)が晶出する。②は銹化鉄部と製錬滓との境界の拡大、 ③は滓部で①とは別視野での拡大写真である。

④⑤は①上部で白色部の金属鉄部分を5%ナイタルで腐食した組織を示す。銹化鉄部と同様の亜共晶組成白鋳鉄組織が現れた。

- (4) ビッカース断面硬度: Photo. 5④⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④はレデブライト部分で硬度値は586Hv、⑤はパーライト素地に針状セメンタイトが析出する個所で硬度値は241Hvであった。亜共晶組成白鋳鉄の硬度値を表わす値である。
- TOT-11:流出孔滓
 - (1) 肉眼観察:細身で棒状の流出孔滓の破片である。長軸両端の2面のみが破面で、横断面形 は椀形を呈する。破面は光沢が強く気孔は大型のものが目立つ。上面は酸化気味で紫紅色を 呈し、地は黒褐色である。
 - (2) 顕微鏡組織: Photo. 6 ①~③に示す。発達した淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰 色木ずれ状結晶ファイヤライト、及び微細な白色樹枝状結晶ヴスタイト(粒内析出物有)が 晶出する。急冷組織ではなく炉体に近接した個所での流出孔滓である。
 - (3) ビッカース断面硬度: Photo. 6 ①中央の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は 706Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体に同定される。
 - (4) EPMA調査: Photo. 32の2段目に滓部鉱物相の反射電子像(COMP)を示す。5番号をつけた 素地のガラス質部分の定量分析値は44.0%Si02-19.3%Al203-6.3%Ca0-14.2%K20-3.9 %Na20-17.1%Fe0であった。珪酸塩に微細ファイヤライトの析出組成であろう。また6の 番号をつけた白色樹枝状結晶の定量分析値は98.3%Fe0-1.2%Ti02であった。ヴスタイト

(Wüstite:Fe0)に同定される。さらにTiを微量固溶する。7の淡灰色木ずれ状結晶の定量 分析値は67.6%Fe0-30.1%Si0₂-1.6%Mg0-1.1%Mn0であった。ファイヤライト(Fayalite:2Fe0·Si0₂)に同定される。Mg, Mnを微量固溶する。また8の番号をつけた淡茶褐色多角 形結晶の定量分析値は64.1%Fe0-22.1%Ti0₂-8.7%Al₂0₃-5.5%V₂0₃であった。ウルボス ピネルとヘーシナイトの固溶体に同定され、更にVも固溶する。砂鉄原料の製錬滓を証拠づ ける。

- (5) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 46.36%に対して、金属鉄(Metalli-c Fe) 0.19%、酸化第1鉄(Fe0) 52.83%、酸化第2鉄(Fe203) 7.30%の割合であった。 ガラス質成分(Si02+A1203+Ca0+Mg0+K20+Na20)は35.60%で、このうち塩基性成分(C a0+Mg0)は1.82%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti02)は2.70%、バナジウム(V) 0.16%であった。また酸化マンガン(Mn0)は高めの0.68%、銅(Cu) <0.01%である。該品は滓でありTOT-8砂鉄焼結塊やTOT-9マグネタイト系遺物と比較して、鉄分低くガラス質成分及び脈石成分が増加する。低チタン酸性砂鉄を原料とした製錬滓の成分系である。なお、流動性の良さはもつもののTOT-5炉底塊とは成分系(Ti、Mn高い)は異なる。
- TOT-12:流動滓
 - (1) 肉眼観察:1~2㎝幅の細い流動滓が複数堆積した重層滓である。上下面は生きているが、 側面は破面で下面は底の平らな皿状を呈する。また表面や内部に木炭痕や炉壁粉の噛み込み が確認される。上面は酸化気味でくすんだ紫紅色を呈し、地の色調は黒褐色である。
 - (2) 顕微鏡組織:Photo.6④~⑥に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、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。砂鉄製錬滓の晶癖である。 なお⑤には急冷組織で微細結晶の2条の細い流動滓の境界部を示している。
 - (3) ビッカース断面硬度: Photo. 6 ④中央の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は 702Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体と推測される。
 - (4) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 46.19%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 0.42%、酸化第1鉄(Fe0) 53.49%、酸化第2鉄(Fe203) 5.99%の割合であった。 ガラス質成分(Si02+A1203+Ca0+Mg0+K20+Na20)は30.90%で、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)は2.63%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti02)は7.31%、バナジウム(V) 0.19%と高く、酸化マンガン(Mn0)も0.86%と高値であった。また銅(Cu)は<0.01%である。該品は粘稠質スラグで前述してきた滓の組成(高Ti、V、Mn)とは大きく異なる砂鉄製錬滓であった。

TOT-13:流出溝滓

- (1) 肉眼観察:幅が広く、横断面が浅い樋状を呈する流出溝滓と推測される。ただし滓主体の 炉底塊である可能性も考えられる。上面は半流動状で1.5cm大の木炭痕が点在する。下面に 中央部には炉壁土が厚く固着する。破面は緻密で、光沢が強く鉱物の巨晶化が予想される。 色調は上面表層が酸化のためかやや赤みを帯びる。地は黒褐色である。
- (2) 顕微鏡組織: Photo. 6 ⑦に示す。鉱物組成は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネルが雪花状

に析出し、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。炉 内滓の結晶ではなく、流出溝滓とみるべきであろう。砂鉄製錬滓の晶癖である。

(3) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 40.75%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 0.05%、酸化第1鉄(Fe0) 48.27%、酸化第2鉄(Fe₂0₃) 4.55%の割合であった。 ガラス質成分(Si0₂+Al₂0₃+Ca0+Mg0+K₂0+Na₂0)は39.47%と高く、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)は3.12%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti0₂)は4.40%、バナジウム(V)は0.20%と高めで、酸化マンガン(Mn0)が1.43%と高値であった。また銅(Cu)は
<0.01%である。ガラス質成分及び脈石成分の高い砂鉄系製錬滓である。またTOT-5炉底塊とは成分差(高Mn、Ti、V)が著しく異なる。

TOT-14:炉内滓(炉底塊)

- (1) 肉眼観察:比較的薄手の炉底塊側面の破片と推定される。上面は一部が窪みをもち、手前 側部から底面にかけての横断面は椀形を呈する。表面には木炭痕が密集し、破面には全体に 中小の気孔が散在する。また滓の色調は表面が茶褐色から黒褐色、地は黒褐色であった。
- (2) 顕微鏡組織:Photo.7①~③に示す。①は滓中に残存する銹化鉄部分である。針状フェラ イト及び層状のパーライト痕跡が残存し、亜共析組織と鉄部と判明した。②③は滓部である。 白色粒状結晶ヴスタイト、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。なおヴスタイト粒内の微細な晶出物はヘーシナイトもしくはウルボスピネルと ヘーシナイトの固溶体であろうか。鍛冶滓と見紛うばかりの組織である。
- (3) ビッカース断面硬度: Photo. 7 ③中央の白色樹枝状結晶の硬度を測定した。硬度値は474H vであった。ヴスタイトに同定される。
- (4) 化学組成分析:Table.2に示す。鉄分多くて脈石成分の少ない成分系である。全鉄分(To-tal Fe) 52.18%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 0.12%、酸化第1鉄(Fe0) 54.15%、酸化第2鉄(Fe₂0₃) 14.25%の割合であった。ガラス質成分(Si0₂+Al₂0₃+Ca0+Mg0+K₂0+Na₂0)は28.45%で、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)は1.68%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti0₂) 0.71%、バナジウム(V) 0.04%と低い。酸化マンガン(Mn0) も0.14%と低値であった。また銅(Cu) は<0.01%であった。砂鉄製錬滓としては鉄分高く、脈石成分の低い成分系である。鍛冶滓組成でも通る分析値であった。酸化雰囲気での生成物の可能性が指摘できる該品は、TOT-3板屋型羽口との関連が言及できそうであるが如何であろうか。鉱物組成、化学組成共に鍛冶滓側にシフトする。

TOT-15:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:平面不整台形をした、小型の含鉄炉内滓破片である。上面のみ生きており、側面から下面は破面である。側面端部には炉壁が溶融して生じたガラス質滓が付着する。表面全体が酸化土砂に覆われ、下面中央では黒錆の滲みや放射割れが生じている。
- (2) マクロ組織: Photo.23に示す。砂鉄粒子痕跡が多数確認された。晶出した微細な金属鉄粒 が僅かに残存するが、大半は銹化鉄となっている。
- (3) 顕微鏡組織: Photo. 7④~⑧に示す。④の白色部は晶出したばかりの微細な金属鉄粒であ

る。周囲には砂鉄粒子の形状を留めた銹化鉄が多数確認される。⑤⑥の写真左側は試料側面 に付着するガラス質滓である。また右側は砂鉄粒子痕跡である。中央にはごく微細なウルボ スピネル、ないしはマグネタイト結晶が晶出し、外周を取り巻くように銹化鉄が確認される。 ⑦⑧は比較的鉱物結晶が発達した個所である。微細な淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、 及び淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。

還元初期の様相を留めた含鉄炉内滓である。

TOT-16:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:平面不整楕円状をした小型(87g)の含鉄炉内滓である。表面には明確な滓部 は確認されない。粒状の鉄部が連接したような形状を呈する。
- (2) マクロ組織: Photo. 23に示す。不定形で、過共析組織を呈する鉄部が確認された。またその周囲には滓が薄く固着する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.8①~⑨に示す。①の中央は鉄中の非金属介在物で、球状のガラス質組成である。②③は外周に付着する滓部である。白色粒状結晶ヴスタイト、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。またヴスタイト粒内に晶出する微細な晶出物はウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が高い。④~⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。パーライト素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織が確認された。該品は低チタン砂鉄原料の含鉄炉内滓であろうが、鍛冶滓的でもある。化学分析値の欲しい試料であった。板屋型羽口との関連が気がかりである。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.8⑧⑨は金属組織に硬度測定の圧痕を示す。⑧はパーライト 部分で硬度値は219Hvであった。また⑨はセメンタイト部分で硬度値は322Hvであった。後者 は軟質傾向を呈し、少々誤差を生じている。本来は5~600Hvになろう。

TOT-17:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:ごく小型(10g)の含鉄炉内滓である。表裏面とも1 cm大の木炭痕による凹凸 がある。表面には明確な滓部は確認されない。
- (2) マクロ組織: Photo. 24に示す。過共析組織のまとまった鉄部が確認された。なお内部には 中小の気孔が散在する。
- (3) 顕微鏡組織: Photo. 9①~⑤に示す。①は表層に固着する滓部である。素地の暗黒色ガラス質滓中にイルミナイト(Ilmenite: Fe0·Ti02)やシュードブルーカイト(Pseudobrookite: Fe203·Ti02)が晶出する。高温下で生成された製錬系鉄塊の晶癖である。また銹化鉄粒が複数散在する。②~⑤金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。パーライト素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織が確認された。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.9④⑤は金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④はパーライト 部分で硬度値は225Hv、⑨はセメンタイト部分で硬度値は827Hvであった。組織に見合った値 である。

TOT-18:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:平面不整五角形をした小振り(69g)の含鉄炉内滓である。鉄部は錆膨れが顕 著で、表面には濃緑色のガラス質滓が付着している。また2cm以上の木炭痕が残り、木炭の 隙間で生じたと推測される。
- (2) マクロ組織: Photo. 24に示す。過共析組織から亜共晶組成白鋳鉄組織のまとまった鉄部が 生成される。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.9⑥~⑧に示す。⑥の中央は鉄中非金属介在物である。二等辺三角形の茶褐色異物は硫化鉄(FeS)でその周辺に淡く粒状に存在するのはFe-Fe₃C-Fe₃Pの三元系共晶であるステダイトである。⑦⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。どちらも黒色層状パーライトと地はレデプライトの亜共晶組成白鋳鉄組織である。表層スラグを残さないが製錬系であろう。
- (4) ビッカース断面硬度: Photo. 9 ⑧の白鋳鉄組織に硬度測定の圧痕を示す。レデプライトで 硬度値は663Hvであった。
- TOT-19:炉内滓(含鉄)
 - (1) 肉眼観察:小塊状(50g)の含鉄炉底塊破片である。上面のみ生きており、側面及び下面 は破面である。上面は木炭痕や錆膨れが点在する。また側面に僅かに滓部が確認される。
 - (2) マクロ組織: Photo. 25に示す。局部的な亜共析組織から過共析組織のまとまった鉄部が確認された。鉄部には中小の気孔が多数散在し、その周囲から銹化が進行している。
 - (3) 顕微鏡組織:Photo.10①~⑨に示す。①の中央はガラス質の球状非金属介在物である。② ③の写真左側は試料表層の滓部である。外側の滓部は白色粒状結晶ヴスタイト、淡灰色木ず れ状結晶ファイヤライトが晶出する。これは試料表面の銹化によって2次的に固着した滓片 の可能性をもつ。また内側の鉄部表層に沿って固着する滓部では、素地の暗黒色ガラス質滓 中にイルミナイトやシュードブルーカイトが晶出する。この鉱物組成から、当試料は高温下 で生成されたと判断される。④~⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。 ④は針状フェライトが析出する亜共析組織、⑤はほぼ全面パーライトの共析組織、⑥は針状 セメンタイトが析出する過共析組織個所を示す。組織の主体は共析から過共析の高炭素域で ある。
 - (4) ビッカース断面硬度:Photo.10⑦~⑨の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。⑦は亜共析組織で硬度値は223Hv、⑧は共析組織で硬度値は238Hv、⑨は過共析組織で硬度値は339Hvであった。組織に対応した値である。
 - (5) EPMA調査: Photo. 32の 3 段目に付着鉄滓片の反射電子像(COMP)を示す。9の番号をつけた白色樹枝状結晶の定量分析値は99.9%Fe0であった。ヴスタイト(Wüstite: Fe0)に同定される。10の番号をつけた淡灰色木ずれ状結晶の定量分析値は71.3%Fe0-30.0%Si02であった。ファイヤライト(Fayalite: 2Fe0・Si02)に同定される。11の番号をつけた、素地のガラス質部分の定量分析値は50.2%Si02-20.5%Al203-2.1%Ca0-8.7%K20-18.4%Fe0であった。珪酸塩に微細ファイヤライトの析出物が想定される。

更にPhoto.32の4段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。12の番号をつけた淡褐色の外周部の定量分析値は30.6%Si02-11.9%A1203-3.0%Ca0-1.9%Mg0-6.7%

K₂0組成の珪酸塩と、44.1%TiO₂-2.0%ZrO₂-8.7%FeO-1.1%MnO組成のウルボスピネル系 の混合組成が検出された。これに対して内側の暗色部13の定量分析値は57.8%SiO₂-18.9% Al₂O₃-4.7%CaO-1.5%MgO-13.1%K₂O-6.0%TiO₂-2.2%FeOであった。珪酸塩系の介在 物であり、12と13の色調差はTiの固溶量の差に由来する可能性が大であるが、12の鉱物相は 44.1%TiO₂が大きくて気がかりである。

TOT-20:鉄塊系遺物

- (1) 肉眼観察:小型(70g)で偏平な鉄塊系遺物である。全体は黒錆に覆われるが重量があり、 内部はまとまった鉄部が存在する可能性が高い。また先端が二股に枝分かれしており、流動 化した銑鉄の存在が考えられる。
- (2) マクロ組織: Photo. 25に示す。まとまりのある鉄部が確認された。鉄中には中小の微細な 気孔が複数散在する。また白鋳鉄組織主体であるが、片状黒鉛が析出するねずみ鋳鉄組織部 分が点在する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.11①~③に示す。①の中央の黄褐色微小異物は硫化鉄(FeS)で、左下には片状黒鉛が少量析出する。②③は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。 ②は片状黒鉛とレデブライトが混在する個所、③はレデブライト主体の個所である。流動性が悪く一気に炉外へは出てなかろう。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.11②③の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。②はパーライト 部分で硬度値は267Hv、③はレデブライト部分で硬度値は631Hvであった。組織に対応した値 である。
- TOT-21:鉄塊系遺物
 - (1) 肉眼観察:小型(132g)の鉄塊系遺物である。上面は平坦気味で、窪みに溜まったのか 椀形を呈する。側面3面は破面。側面には黒色ガラス質滓が瘤状に付着する。
 - (2) マクロ組織: Photo. 26に示す。過共析組織から亜共晶組成白鋳鉄組織なりかけのまとまった鉄部が存在し、内部には不定形で比較的大型の気孔が多数散在する。
 - (3) 顕微鏡組織:Photo.11④~⑧に示す。④⑤は試料表層に固着する滓部である。④は素地の 暗黒色ガラス質滓中に微細な淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネルが晶出する。また⑤は金属 鉄粒とともに微細なイルミナイトが晶出する。該品の生成場所は鉱物相が微細で高温保定場 所から外れた外気に曝され易いところが想定される。いずれも砂鉄製錬滓の晶癖である。⑥ は鉄中非金属介在物である。中央の黄褐色異物は硫化鉄である。周囲にはFe-Fe₃C-Fe₃P三 元系共晶のステダイトが存在する。また⑦⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織 である。⑦はセメンタイトが未発達で僅かに蜂の巣状のレデブライトが晶出する亜共晶組成 白鋳鉄なりかけの組織、⑧は初析セメンタイトが成長しつつある過共析組織である。吸炭不 充分な鉄塊であった。
 - (4) ビッカース断面硬度: Photo.11⑧に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。未発達板状セメン タイトの硬度値は586Hvであった。
 - (5) EPMA調査: Photo. 21の5段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。14の番号

をつけた個所の定量分析値は122.8%Fe0-1.1%P₂0₅で、鉄中の燐(P)の偏析が確認された。 前述したステダイト部分である。また15の番号をつけた黄褐色異物の定量分析値は86.2%Fe 0-36.0%Sであった。硫化鉄(FeS)である。なお酸化物定量での測定したため、ともに100 %を超える値となっている。

TOT-22:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:全体は椀形気味の含鉄炉内滓である。平坦な上面と側面1面は生きているが、他は破面となる。重量があり、鉄部主体の遺物と推測される。
- (2) マクロ組織: Photo. 26に示す。過共析組織からパーライト面積の広い亜共晶組成白鋳鉄組 織なりかけのまとまった鉄部が存在する。また内部には中小の気孔が多数散在する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.12①~⑨に示す。①②は鉄塊表面に固着する滓部である。①は微細な 淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、及び淡灰色短柱状結晶ファイヤライトが晶出する。ま た②では金属鉄粒とともに微細な白色針状結晶イルミナイトが析出する。③中央の微小黄褐 色異物は硫化鉄である。④~⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。④⑤はパー ライト素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織、⑥⑦は蜂の巣状のレデブライトが晶 出する亜共晶組成白鋳鉄組織を示した。該品も完全に白鋳鉄になりきっていない鉄塊で、前 述TOT-21鉄塊系遺物に近似する。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.12⑧⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑧は過共析組織のパーライト部分で硬度値は226Hv、⑨は白鋳鉄組織のセメンタイト部分で硬度値は893Hvであった。両者は組織に対応した値である。
- (5) EPMA調査: Photo.33の1・2段目に滓部鉱物相の反射電子像(COMP)を示す。16の番号を つけた微細な針状結晶の定量分析値は17.7%Fe0-18.8%Ti02-3.0%Mn0-1.6%V203-38.1 %Si02-9.5%Al203-4.0%Ca0-1.7%Mg0-5.4%K20であった。Fe0とTi02がほぼ1対1の 割合になり、針状結晶はイルミナイト(Ilmenite:Fe0・Ti02)と同定されよう。なお測定 値は周囲の珪酸塩を含めた値となっている。また19の番号をつけた結晶も同様で、定量分析 値は27.7%Fe0-33.7%Ti02-3.6%Mn0-2.6%V203-23.6%Si02-6.6%Al203-1.6%Ca0-2.1%Mg0であった。やはり針状結晶はイルミナイト(Ilmenite:Fe0・Ti02)でよかろう。 さらに17の番号をつけた片状結晶の定量分析値は43.6%Fe0-26.4%Ti02-16.2%V203であっ た。TiとVは比較的置換しやすい元素であり、Fe0とTi02にV203を足した数値がほぼ1対1 の割合であるため、この結晶もイルミナイト(Ilmenite:Fe0・Ti02)組成で多量にVが固溶 したものと推定される。

18・21の番号をつけた素地ガラス質部分の定量分析値は、酷似する値となった。18が 60.5%Si0₂-14.7%Al₂0₃-5.5%Ca0-1.0%Mg0-8.6%K₂0-6.9%Fe0-1.4%Mn0、21が 60.4%Si0₂-15.4%Al₂0₃-4.8%Ca0-0.8%Mg0-7.8%K₂0-7.5%Fe0-1.3%Mn0であった。

また20の番号をつけた微小金属粒の定量分析値は135.8%Fe0であった。酸化物定量での測 定のため100%を超える値となっているが金属鉄(Metallic Fe)である。

当試料の表層に固着する滓は高温下で生成された製錬滓の晶癖といえる。ただし、前述T OT-21鉄塊系遺物と共に微細鉱物相は高温保定が得られていない状況であり生成場所が外 気に触れやすいところに限定されよう。更に、亜共晶組成なりかけの吸炭中途の炭素量がこ れを裏付ける。

TOT-23:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:平面は長手の不整台形をした含鉄炉内滓片である。上下面は基本的に生きている。下面は浅い樋状を呈し、粉炭痕が目立つ。
- (2) マクロ組織: Photo. 27に示す。パーライト基地に針状セメンタイトを析出した過共析組織のまとまった鉄部が確認された。なお内部には中小の気孔が多数散在する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.13①~⑤に示す。①は表層に固着する滓部である。素地の暗黒色ガラス質滓中に白色針状結晶イルミナイトが晶出する。高温下で生成する砂鉄製錬滓の晶癖である。②は鉄中非金属介在物を示す。非晶質で珪酸塩系の球状介在物である。また③~⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。全面パーライト素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織が確認された。介在物は硫化鉄でなく球状珪酸塩であって微小イルミナイトの析出は瞬間的高温が得られても保定面は不安定個所での生成物であろう。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.13⑤の過共析組織に硬度測定の圧痕を示す。硬度値は309Hv であった。組織に見合った値である。
- (5) EPMA調査: Photo.33の3段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。22番号の 番号をつけた個所の定量分析値は64.0%Si02-16.1%Al203-3.7%Ca0-1.2%Mg0-6.9%K2 0-7.4%Ti02-2.6%Fe0-1.4%Mn0であった。珪酸塩系の介在物と同定される。
- (6) 化学組成分析:Table.2に示す。全鉄分(Total Fe) 66.15%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 27.53%、酸化第1鉄(Fe0) 15.16%、酸化第2鉄(Fe202) 38.15%の割合であった。 ガラス質成分(Si02+A1203+Ca0+Mg0+K20+Na20)は6.26%と低値で、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)は0.21%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti02)は0.19%、バナジウム(V)が0.01%であった。また酸化マンガン(Mn0)は0.19%、銅(Cu)は<0.01%である。 鉄分主体で、ガラス質や脈石成分の少ない成分系であった。分析値からみると、炉内滓でなくて鉄塊系遺物にすべきであって、炭素量の1.29%もさほど桁外れの数字ではない。ただし、破面個所での解釈である。

TOT-24:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:やや薄手の含鉄炉内滓の破片である。上下面は生きていて、側面6面が破面で ある。表面には全体に小型の木炭痕が点在し、破面には中小の気孔が不規則に散在する。
- (2) マクロ組織: Photo. 27に示す。滓中に未凝集の微細な金属鉄粒が多数散在する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.13⑥~⑧に示す。⑥の白色粒は微細なフェライトである。基地の鉱物 相は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトとガラス質珪 酸塩で構成される。砂鉄製錬滓の晶癖である。⑦⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織 を示す。何れも吸炭のないフェライト単相の組織であった。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.13⑧の金属組織(フェライト)に硬度測定の圧痕を示す。硬 度値は86Hvであった。フェライト本来の値であった。

(5) 化学組成分析:Table.2に示す。前述TOT-5厚手炉底塊に近似した成分系である。全 鉄分(Total Fe) 59.14%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 14.96%、酸化第1鉄(Fe0) 26.38 %、酸化第2鉄(Fe₂O₃) 33.85%の割合であった。ガラス質成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO +K₂O+Na₂O)は18.23%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO)は0.86%を含む。砂鉄特有 成分の二酸化チタン(TiO₂)は1.34%、バナジウム(V)0.08%であった。また酸化マンガ ン(MnO)は0.33%、銅(Cu) <0.01%である。滓中に散在する金属鉄粒を反映して鉄分高 く、ガラス質成分や脈石成分は低めの傾向を示す。しかし鍛冶原料となり得る品位ではなく、 滓として廃棄された可能性が大きい。

TOT-25:炉内滓(含鉄)

- (1) 肉眼観察:平面は不整三角形をした厚手の含鉄炉底塊の上半部破片である。上面は生きているが、側面から下面にかけてはほぼ破面である。上面は平坦気味で2~4 cm大の木炭痕が目立つ。側面は上面側2 cm程が光沢の強い滓部で、この個所では鉱物相の巨晶化が目立つ。またその下側では各所に黒錆が確認された。
- (2) マクロ組織: Photo. 28に示す。滓中に纏まりかけた微細な金属鉄が多数散在する。また滓 部では大きく成長したウルボスピネル結晶が観察される。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.14①~⑤に示す。①⑤は滓部である。発達した淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、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。 砂鉄製錬滓の晶癖である。②~④は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。まだ吸炭していないフェライト単相の組織であった。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.14④⑤に硬度測定の圧痕を示す。④はフェライト組織で硬度 値は122Hvで硬質化傾向を呈している。風化の影響であろうか。また⑤の淡茶褐色多角形結 晶の硬度値は656Hvであった。ウルボスピネルに同定される。
- (5) 化学組成分析:Table.2に示す。脈石成分の高い成分系である。全鉄分(Total Fe) 57.30%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 20.25%、酸化第1鉄(Fe0) 35.56%、酸化第2鉄(Fe203) 13.45%の割合であった。ガラス質成分(Si02+A1203+Ca0+Mg0+K20+Na20)は16.29%で、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)は1.15%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti02)は11.00%、バナジウム(V)は0.37%と全試料中で最も高く、酸化マンガン(Mn 0) も1.01%と高値であった。また銅(Cu)は<0.01%である。

散在する金属鉄を反映して鉄分は高めである。また巨晶化したウルボスピネルを反映して、 脈石成分も高値傾向が確認された。前述してきた滓に対して原料砂鉄の異なる差異が現われ たのであろうか。当試料も鍛冶原料になり得る品位ではなく、滓として廃棄されたと推定さ れる。

TOT-26:炉内滓(含鉄)

(1) 肉眼観察:平面が不整五角形をした含鉄炉底塊の破片である。上面の一部と下面は生きているが、他は鋭利な破面である。表面には茶褐色の酸化土砂が付着する。下面には僅かな粉炭痕と微細な気孔が散在する。

- (2) マクロ組織: Photo. 28に示す。滓中に微細な金属鉄が凝集化に向って蠢動し始めた塊が多数散在する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.14⑥~⑧に示す。⑥は滓部である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、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。砂鉄製錬 滓の晶癖である。⑦⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。ほとんど吸炭していない粗大化結晶のフェライト単相の組織であった。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.14⑧に金属組織(フェライト)の硬度測定の圧痕を示す。硬 度値は102Hvであった。粗大化フェライト粒としては硬質である。風化の影響であろうか。
- (5) 化学組成分析:Table.2に示す。脈石成分の多い成分系である。全鉄分(Total Fe) 56.00%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 21.54%、酸化第1鉄(Fe0) 40.26%、酸化第2鉄(Fe203) 4.53%の割合であった。ガラス質成分(Si02+Al203+Ca0+Mg0+K20+Na20)は20.83%で、このうち塩基性成分(Ca0+Mg0)は1.10%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti02)は8.66%、バナジウム(V)が0.17%と高めで、酸化マンガン(Mn0)も0.85%と前述TOT-25に次いで高値であった。また銅(Cu)は<0.01%である。当試料も鍛冶原料になり得る品位でなく、滓として廃棄された可能性をもつ。

TOT-27:鉄塊系遺物

- (1) 肉眼観察:長径6.0cm弱の椀形の鉄塊系遺物である。ほぼ完形で表面僅かに滓が固着する。
- (2) マクロ組織: Photo. 29に示す。表層僅かに脱炭する個所が見られるが、ほぼ亜共晶組成白 鋳鉄のまとまった鉄部が確認された。また内部には中小の気孔が点在する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.15①~⑤に示す。①は試料表層に固着する滓部である。発達した淡茶 褐色多角形結晶ウルボスピネルが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖 である。②は鉄中非金属介在物を示す。微小黄褐色異物は硫化鉄である。③~⑤は金属鉄を 5%ナイタルで腐食した組織である。ほぼ全面が亜共晶組成白鋳鉄組織で占められる。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.15③~⑤の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。③はレデブラ イト部分で硬度値は688Hv、④はパーライト部分で197Hv、⑤はセメンタイト部分で760Hvで あった。それぞれが組織に見合った値である。
- (5) 化学組成分析:Table.2に示す。酸化物定量である。全鉄分(Total Fe) 86.45%に対して、金属鉄(Metallic Fe) が72.59%、酸化第1鉄(Fe0) 4.85%、酸化第2鉄(Fe₂0₃) 14.43%の割合であった。炭素量(C) は2.06%で組織に対応した値である。ガラス質成分(Si0₂+Al₂0₃+Ca0+Mg0+K₂0+Na₂0)は1.95%と低い。また砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti0₂)は0.58%、バナジウム(V)は0.05%と少なく、酸化マンガン(Mn0)も0.03%と低値であった。表皮スラグは少ないので当然の傾向である。銅(Cu)は<0.01%である。金属鉄主体で、ガラス質成分や脈石成分が非常に低い成分系であった。

TOT-28:鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察:丸棒状の鉄塊系遺物である。長軸の両端部は破面で、横断面形は深い椀形を呈する。流動状の銑鉄塊と推定される。また表面には木炭粉や滓片の固着が目立つ。

- (2) マクロ組織: Photo. 29に示す。端部から銹化が進行しているため、分析試料には金属鉄は ほとんど残存していない。また試料表層に2次的な木炭粉等の固着は見られるが、滓部は確 認されなかった。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.15⑥~⑧に示す。いずれも銹化鉄部で、辛じて金属組織の痕跡が観察できた。⑥は素地のパーライト中にセメンタイト及びレデブライト痕跡が残存し、亜共晶組成白鋳鉄である。また⑦⑧ねずみ鋳鉄組織で、パーライト素地に⑦は片状黒鉛が、⑧は共晶黒鉛が析出する。なお試料端部で共晶黒鉛が析出する事例は、操業時に溶融状態の鋳鉄が、原料砂鉄に由来するチタン(Ti)分を含む溶融スラグに接触したためと推定される。(#8)志津見ダム建設に伴う製鉄遺跡の金属学的調査では、大槙鈩跡(#9)・殿淵山遺跡(#10)から出土した鉄塊系遺物に同様の例が散見される。
- (4) 化学組成分析:Table.2に示す。銹化鉄であるが炭素量(C)は銑鉄レベルの3.22%が検出された。全鉄分(Total Fe)52.58%に対して、金属鉄(Metallic Fe)2.79%、酸化第1鉄(Fe0)14.84%、酸化第2鉄(Fe203)54.70%の割合であった。銹化鉄主体のため酸化第2鉄が高値である。ガラス質成分(Si02+Al203+CaO+MgO+K2O+Na2O)は11.60%であった。これは銹化により酸化土砂の影響を受けた数値と推測される。また砂鉄特有成分の二酸化チタン(Ti02)は0.34%、バナジウム(V)は0.02%と低値で、酸化マンガン(MnO)も0.05%と低減される。銅(Cu)は<0.01%である。

TOT-29:鉄器(鎹?)

- (1) 肉眼観察:鎹の足部状の鉄器片と推測される。横断面は方形で、先端に向かい徐々に細く なる。先端1.5cm程の個所から内側に緩く彎曲しているが、使用ないしは廃棄時の変形の可 能性が考えられる。
- (2) マクロ組織: Photo. 30に示す。基部側端部の横断面を調査した。炭素含有量の低い軟鉄を 成形した製品である。しかし試料表層部に中小の侵食孔が散在しており、鍛打加工度はごく 低いと推測される。断面中央部が黒ずんで見えるのは高炭素域ではなくてエッチング時のシ ミである。風化の影響とみておきたい。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.16①~⑧に示す。①~③は鉄中非金属介在物を示した。横断面での観察であるが、何れも鍛打による展伸度は弱い。先に指摘した鍛打加工度の低さが伺える。なお介在物の鉱物組成に関してはEPMA調査の項で詳述するが硫化マンガンとテフロかんらん石(Mn₂SiO₄)が主体となる。④~⑧は金属組織を5%ナイタルで腐食した組織である。フェライト素地に少量層状のパーライトが析出する亜共析組織が確認された。組織から炭素含有量は0.1%以下の極軟鋼に分類される。
- (4) ビッカース断面硬度: Photo.16⑦⑧の亜共析組織に硬度測定の圧痕を示す。⑦は121Hv、
 ⑧は131Hvであった。硬度値は、やや高め傾向を呈して時効硬化が窺える。
- (5) EPMA調査: Photo.32の1、2段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)及び特性X線 像を低倍率で示した。多数散在する明色介在物は白色輝点がMn,Sに強く集中し、硫化マン ガン(MnS)が同定される。これに対して少量存在する暗色介在物はMn,Siに反応が認めら れる。

このため暗色介在物の定量分析を3個所実施した。Photo.32の3・4 段目に測定個所の反 射電子像(COMP)を示している。23、25、27の番号をつけた個所は酷似する組成であった。 定量分析値は23が54.3%Mn0-6.2%Fe0-24.6%Si02-6.8%A1203、25が53.4%Mn0-6.2%F e0-22.2%Si02-6.3%A1203、27が54.2%Mn0-5.7%Fe0-26.6%Si02-4.6%A1203である。 また24の個所の定量分析値は総計48.7%と減衰し100%を大きく割り込む値となった。これ は介在物中の空隙を測定したためである。さらに26の番号をつけた個所の定量分析値は31.8 %Mn0-6.7%Fe0-1.3%Si02-55.1%A1203であった。

この暗色介在物は非晶質であるが、主にMn,Siを主成分とする個所とMn,Alを主成分とす る個所が確認された。徐冷されれば前者はかんらん石類のテフロイト(Tephroite:(Mn,Fe) 2 SiO₄)、(注11) 後者はスピネル鉱物((Mn,Fe)2 Al2O₄)が晶出するような組成である。 志津見ダム建設に伴う製鉄遺跡から出土した砂鉄の化学組成をみると、MnOは0.49~0.84 %(砂鉄焼結塊を含む)である。周辺地域の原料砂鉄のマンガン含有量は比較的高値である が、当試料のようなマンガンを主要元素とする酸化物が複数確認された例は他にない。Mnを 意図的に投入して脱硫する、近代以降の製鉄法で造られた製品と判断される。

- TOT-30:鉄器 (楔状)
 - 肉眼観察:細身の楔状鉄製品の破片である。横断面形は長方形を呈する。頭部は平坦に加 工したと推測される。また下端部は欠損している。
 - (2) マクロ組織: Photo. 30に示す。基部側端部の横断面を調査した。長方形断面の長軸片端面 寄りに金属鉄が残存するが最表層は銹化して情報がとれぬ。金属組織は炭素含有量の異なる 異材の複数鍛接からの成形品である。またコーナーには折返し曲げ鍛接線が明瞭に残る。鍛 造製品である。
 - (3) 顕微鏡組織:Photo.17①~⑦に示す。①は横方向の断面で鍛打により展伸傾向が弱く表われた鉄中非金属介在物である。素地の暗黒色ガラス質滓中に白色粒状結晶ヴスタイトが晶出する。なお鉱物組成に関してはEPMA調査の項で詳述する。また②~⑦は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。写真左側が試料上面側にあたる。試料上半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。下半部は主にフェライト単相の組織であるが、下端部では漸進的に炭素含有量が増加する。すなわち亜共析組織~フェライト単相組織~亜共析組織と互層をなす。なお最表層は浸炭の可能性が窺える拡散層(③④右側の高炭域)をもつようであるが、銹化が進行していて定かでない。
 - (4) ビッカース断面硬度:Photo.17⑤~⑦の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。⑤は試料上半の亜共析組織部分で硬度値は101Hv、⑥は試料下半のフェライト部分で、硬度値は120Hv、⑦は試料下端の亜共析組織部分で硬度値は115Hvであった。⑥はマクロ組織のエッチングシミが残る個所で、時効硬化か風化の影響が出ているもので異常値である。本来は80Hv前後が想定される。
 - (5) EPMA調査: Photo.33の4段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。28の番号をつけたガラス質の素地部分の定量分析値は46.3%Fe0-34.8%Si02-8.4%Al203-5.5%Ca
 0-5.5%K20であった。珪酸塩に微細なファイヤライト(Fayalite:2Fe0·Si02)結晶を含め

た値と推測される。また29・30の番号をつけた白色粒状結晶は、29が96.4%Fe0、30が95.1 %Fe0であった。共にヴスタイト(Wüstite:Fe0)に同定される。31の番号をつけた淡灰色 個所の定量分析値は59.4%Fe0-27.8%Si02-5.5%Al203-4.0%Ca0であった。ファイヤラ イト(Favalite:2Fe0·Si02)に近い組成である。

TOT-31:鉄器(棒状)

- 肉眼観察:棒状の鉄器片である。両端は破面と推測される。また横断面は隅丸方形状で、 片方の端部に向かって徐々に細くなる形状である。表層は錆膨れや放射割れが著しい。
- (2) マクロ組織: Photo.31に示す。基部側の横断面を観察した。銹化した外周断面は円形でも 残存金属部は不整方形を呈する。フェライト単相の個所からほぼ全面パーライトの共析組織 まで、部位により炭素含有量の変動が著しい。折返し鍛接線が見当たらず丸鍛えに成形され た可能性が窺える。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.18①~⑤・19①②に示す。Photo.18①・19①は鉄中非金属介在物である。当試料中には多数の介在物が点在する。何れも展伸度は弱く、あまり鍛錬されていないとの所見と符合する。なお鉱物組成はEPMA調査の項で詳述する。またPhoto.18②~⑤・19②は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。Photo.18②は試料中央部、Photo.19②は試料上面側を、いずれも横方向に撮影した。最も高炭素域は全面パーライトの共析組織で、低炭素域はフェライト単相の組織である。炭素含有量に偏析をもつ素材が使用されている。
- (4) ビッカース断面硬度:Photo.18③~⑤の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。③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硬度値は121Hv、④はパーライト素地に少量網目状の初析フェライトが析出する亜共析組織で硬度値は207Hv、⑤はほぼ全面パーライトの共析組織で硬度値は273Hvであった。③はフェライト地なのでもう少し軟質と考えられて、やはり時効硬化気味の値である。
- (5) EPMA調査: Photo.33の5段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。32の番号をつけた白色粒状結集の定量分析値は90.8%Fe0-3.9%Ti02-3.4%Al203であった。ヴスタイト(Wüstite:Fe0)に同定される。さらにTi,Alを微量固溶する。また33の番号をつけた淡褐色結晶の定量分析値は64.1%Fe0-15.1%Ti02-14.2%Al203-2.9%V203-1.3%Mg0であった。ウルボスピネル(Ulvöspinel:2Fe0·Ti02)とヘーシナイト(Hercynite:Fe0·Al203)の固溶体鉱物の可能性が高い。これにはV,Mgを微量固溶する。34の番号の番号をつけた白色粒状結集の定量分析値は91.6%Fe0-2.8%Ti02-2.1%Al203-1.5%V203-1.7%Mg0であった。こちらもヴスタイト(Wüstite:Fe0)に同定され、さらにTi,Al,V,Mgを微量固溶する。
 - Ti, Vを含む鉱物相が検出されたことから、当試料の始発原料は砂鉄である。当遺跡を含め、周辺の製鉄遺跡で造られた製錬系鉄塊を鍛冶原料と想定しても、矛盾のない鉱物組成で あった。鉄器の器種の特定は難しい。

TOT-32: 黒鉛化木炭(含鉄)

(1) 肉眼観察:道管の発達した広葉樹の環孔材である。表面は薄く茶褐色の酸化土砂に覆われ

る。側面には2cm大の滓が付着している。特殊金属探知器の特L(☆)で反応があり、金属鉄 が遺存すると推定される。

- (2) マクロ組織: Photo.31に示す。指示された切口からの金属鉄は検出できなかった。木口面を観察した。発達した道管が横方向に並ぶ環孔材である。内部の銹化鉄部(白色部)はごく 僅かで、木炭組織がそのまま残存する。
- (3) 顕微鏡組織:Photo.19③~⑦に示す。③~⑤は試料表層部である。微細な金属鉄が多数点状に残存する。また道管や繊維組織の空隙内を銹化鉄が埋めている。こうした銹化鉄層は表面に沿って確認され、最大幅で0.8mm程度である。⑥⑦は内部の道管を埋めた銹化鉄部である。

TOT-33:木炭

- (1) 肉眼観察:同一樹種の33-1・2を供試材として選択した。広葉樹の散孔材の黒炭である。 炭化はやや不良である。
- (2) 顕微鏡組織: Photo. 36は33-1、Photo. 37は33-2の組織である。上から木口、柾目、板目である。
- (3) 性状調査:Table.3に示す。遺跡から出土する木炭は、通常酸化土砂に汚染されて固定炭素(F.C)が低く灰分が高い傾向を呈する。固定炭素(F.C)は汚染されていない木炭であれば、通常85%台であるものが56.21%に留まった。また灰分は2%以下が正常であるところが6.93%と多く、発熱量も5580cal/gと低値であった。^(注12)本来は7000 cal/g程度確保できるはずである。なお揮発分は36.86%でこれも多い。鉄製錬で有害元素となる硫黄(T.S)は0.002%、灰中燐(P)は0.04%と共に低値であった。

4. まとめ

中世前期に比定される戸井谷遺跡の出土製鉄関連遺物を調査した結果、次の点が明らかになっ た。

- <1>製鉄原料は低チタン(TiO₂:1~2%程度)酸性砂鉄であった。これまで志津見ダム建 設に伴い調査された、近世たたら跡の出土砂鉄(TiO₂:5%前後)と比較するとややチタ ン含有量が低い砂鉄を用いている。
- <2> 製錬滓の鉱物組成はウルボスピネル (Ulvöspinel:2Fe0·Ti0₂)、ファイヤライト (Fayalite:2Fe0・Si0₂) に加え、一部ヴスタイト (Wüstite:Fe0) が晶出する試料がある。こ れはチタン含有量が低い砂鉄を原料とする製鉄遺跡の出土製錬滓に、広く共通する組成で ある。ただし含鉄鉄滓・鉄塊系遺物の表層付着滓には、高温下で晶出するイルミナイト (Ilmenite:Fe0・Ti0₂)、ルチル (Rutile:Ti0₂) の晶出が多数確認されるため、炉内雰 囲気は場所によって変異が大きく、少なくとも通風孔近傍は高温・高還元雰囲気であった と推測される。ただし、鉱物相の結晶は微小未発達で高温化はあるが保定は不安定気味が 指摘できる。
- <3>含鉄鉄滓・鉄塊系遺物は主に過共析組織~亜共晶組成白鋳鉄組織が確認された。このこ とからも当遺跡では比較的高温操業が行われ、吸炭の進んだ高炭素鋼が得られた形跡は認 められるが、銑鉄になると亜共晶組成なりかけで、前述した高温操業の保定安定は一抹の

不安を覚える。

- <4> 炉壁片は炉頂部破片(TOT-1)より、炉下部破片(TOT-2)の方が高い耐火性 を示した。近世たたらの炉は上から上釜・中釜・元釜に分けられるが、最も高温に曝され、 かつ溶融して造滓剤の役割も果たす元釜部分は、特に上質の土が選択されたことが知られ ている。同様の選択が該期にも行われていた可能性が考えられる。
- <5>当遺跡から出土した板屋型羽口(TOT-3)は半還元砂鉄粒子や、砂鉄が還元されて 生じたごく微細な金属鉄が確認されたため、製鉄に使用された可能性が高い。更にTOT-14含鉄炉内滓は鍛冶滓組成(鉱物相ヴスタイト、化学組成0.71%TiO₂、0.04%V、0.14%M n0)をもつもので、大鍛冶転用の可能性も含め、使用実態に関しては今後の重要な検討課 題である。

なお当遺跡出土砂鉄(TOT-7)中には、微量粒状滓様遺物が含まれていた。しかし 鍛打に伴い派生する内部が大きく空洞化した粒状滓は確認されず、製錬と鍛冶どちらの工 程の派生物か判然としない試料群もある。更に砂鉄中に多数混在する銹化鉄粒も、製鉄・ 精錬鍛冶作業の双方で生じ得て、鍛冶関連遺物の不在を明確には否定できまい。従って板 屋型羽口の用途に関しては、今後更に調査事例を蓄積して検討する必要があろう。

<6>調査した鉄器片3点のうち、鎹状鉄器(TOT-29)は近代以降の混入品と推定される。 当遺跡内には煉瓦を利用した馬蹄状の炭窯跡が確認されて、これに伴う遺物の可能性が高 い。残る楔状鉄器(TOT-30)は軟硬合せ鍛え、棒状鉄器(TOT-31)は丸鍛えの可 能性をもつ鍛造品と推定される。また棒状鉄器中の介在物には鉄チタン酸化物が晶出して おり、始発原料は砂鉄である。当地域周辺の製鉄遺跡で造られた製錬系鉄塊を鍛冶原料と 想定しても、矛盾のない鉱物組成であった。

(注)

(1) 板屋型羽口と称される外面に簀巻き状の成形痕が残る大口径羽口は、島根県・新潟県など日本海側で出土事例が報告されている。推定年代は12世紀末から13世紀台と報告されており、製鉄炉の炉容量拡大に伴う大鍛冶(精錬鍛冶)作業の専業化との関連が想定され、注目される遺物である。

板屋型羽口に関連する発掘調査報告書として以下の2冊が挙げられる。

①『志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書5 板屋Ⅲ遺跡』建設省中国地方建
 設局 島根県教育委員会 1998

②『金津丘陵製鉄遺跡群発掘調査報告書Ⅲ(分析・考察編)』新津市教育委員会 1998

- (2) 山崎順子「島根県飯石郡頓原町梅ヶ迫製鉄遺跡の調査概要」『平成12年度たたら研究会大会 資料』たたら研究会 2000
- (3) 前掲注(1)①大澤正己「板屋Ⅲ遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」
- (4) 黒田吉益・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XY₂0₄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:MgAl₂O₄), ヘーシナイト〔鉄スピネル〕(Hercynite:Fe²+Al₂O₄), マグネタイト〔磁鉄鉱〕(Magnetite:Fe²+Fe₂³+O₄), クロム磁鉄鉱 (Chromite:FeCr₂O₄), マグネシオクロマイト (Magnesiochromite:MgCr₂O₄), ウルボスピネル (Ulvöspinel:TiFe₂³ +O₄), またこれらを端成分とした固溶体をつくる。

(5) 日刊工業新聞社『焼結鉱組織写真および識別法』1968

ヴスタイトは450~500Hv、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、600H v以上であればウルボスピネルと同定している。それにアルミナ(A1)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。

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

イルミナイト(Ilmenite:FeO·TiO₂)、ルチル(Rutile:TiO₂)の晶出はFe-TiO₂二元平衡 状態図から高温化操業が推定される。

(7) 第5章 鉱物各論 E. 磁鉄鉱 (magnetite)

磁鉄鉱は広義のスピネル類に属し、Fe0·Fe₂0₃の理想組成を持っているが、多くの場合Tiを かなり多く含んでいる。(中略) ウルボスピネル(Ulvöspinel:2Fe0·Ti0₂)と連続固溶体をつ くり、この固溶体の中間組成のものをチタン磁鉄鉱(Titanomagnetite)とよぶ。

(8) 山本科学工具研究社『標準顕微鏡組織 第1類炭素鋼・鋳鉄編 改訂6版』 1987共晶黒鉛 鋳鉄(Eutectic Graphite Cast Iron)はAFSが規定している黒鉛形状の分類によるとD型黒鉛 に属し、素地組織はフェライトまたはフェライトとパーライトの混合したものとがある。

この鋳鉄の製造法としては(4)Se, Te, Bi, Tiなど特殊元素を添加する方法、(□)真空状態に近い減圧のもとに溶解、鋳造する方法、(□)鋳鉄溶湯に特殊成分のスラッグ、例えばCa0, Mg0, A 1₂0₃, Ti0₂などを接触させる方法、(二)高温溶解による方法、(団急冷凝固させる方法などがある。

- (9) 大澤正己・鈴木瑞穂「大槙鈩跡出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査」『丸山遺跡・大槙 鈩跡』志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書10 国土交通省中国地方整備局 島 根県教育委員会 2001
- (10) 大澤正己・鈴木瑞穂「殿淵山遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」『殿淵山遺跡・獅子谷 遺跡(2)』志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書 国土交通省中国地方整備局 島 根県教育委員会 2003
- (1) 前掲注(4) 第4章 主要な造含鉱物 4.7かんらん石類(Olivine Group) かんらん石類はX₂SiO₄で表される。XにはMg, Fe²⁺, Mn²⁺, Caなどがはいる。このXの位置は 2価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、Mg₂SiO₄(苦土かんらん石), Fe₂SiO₄(鉄かんらん石), Mn₂SiO₄(テフロかんらん石), CaMgSiO₄(モンチセリかんらん石) などがある。

テフロかんらん石の化学式はMn₂SiO₄であり、鉄かんらん石との間に固溶体をつくる。 (12) 大澤正己「大山遺跡を中心とした埼玉県下出土の製鉄関係遺物分析調査|『大山』(埼玉県遺

跡発掘調査報告書第23集)埼玉県教育委員会 1979 347頁

	備考																																		
	カロリー	I	I	1	1	I.	I	I	1	I	1		I	1	1	I	1		1	1	I	I	I	1	I	1	1	1	I		1	I	1	0	
	耐火度	0	0	0	I	I	I	I	I	I	I		-	1	I	I	1	I	I	I	I	I	I	1	I	I	I	1	I	1	I	I		1	
	化学分析	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	I	1	1	I	1	1	1	I	0	0	0	0	0	0	1	1	I	1	0	
項目	EPMA	1		-	0	1	I	I	1	I	1	0	I		I	-	1	1	I	0	1	0	I	0	0	1	I	1	I	0	0	0	1		
調	X線回折	1			1	I	I	I	1		1	1			1	ana	1	1	I	1		I	1	1	I	I	1	I	I	1	1	I	1		
	ビッカース 断面硬度	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0		0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	1	* 41 点調杳
	顕微鏡 組 織	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	マ組 ク 日織	1	I	I	0	0	0	0	0	1	0	-	1	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	メタル度	なし	なし	なし	特し(公)	特L(公)	r ()	なし	なし	なし	特L(公)	なし	なし	なし	なし	(́) Н	M (©)	() ()	r ()	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特し(公)	特し(公)	特L(公)	特し(公)	特し(公)	L ()	L ()	特L(公)	なし	
	磁着度	2	4	-	ω	=	ω	4	7	7	5	m	-	2	m	9	9	4	4	4	7	9	9	6	10	m	œ	7	ω	m	m	4	6	1	
亘	重重 (g)	1312.6	1790.9	409.0	1014.8	5260.0	1225.0	20.0	25.8	74.1	28.9	432.4	828.5	3100.0	776.0	136.8	87.3	19.9	68.8	50.9	69.6	131.6	150.2	295.8	851.1	1575.2	1333.8	118.5	139.9	43.2	11.5	15.9	84.6	/)·흡†33.8	
計測(大また (mm)	158×123×87	159×131×94	95×90×70	167×84×59	241×126×116	250×93×74	1	34×40×17	53×43×20	52×22×20	135×60×35	164×120×35	281×163×57	95×106×60	60×49×31	58×37×39	33×27×17	48×42×27	$44 \times 36 \times 23$	41×52×15	42×57×37	63×51×29	137×52×25	118×110×38	130×115×74	49×137×72	59×48×20	112×40×22	67×26×13	47×21×16	54×16×16	63×54×34		
	能 定年代	中	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	遺物名称	炉壁	炉壁	図口	炉底塊(含鉄)	炉底塊(含鉄)	流出孔泽	砂鉄	砂鉄焼結塊	マグネタイト系遺物	工具付着淬	浙出孔海	流動滓	浙出蒲淳	炉内滓(炉底塊)	炉内淬(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	鉄塊系遺物	鉄塊系遺物	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	鉄塊系遺物	鉄塊系遺物	鉄器 (鎹?)	鉄器(楔状)	鉄器(棒状)	黒鉛化木炭(含鉄)	木炭	
	出土位置	F-7.ž	F — 7 、え	C – 6 、あ	Е—11、Э	F — 6 、U	G – 8 、う	砂鉄溜まり	Е — 3 、あ	G — 9 、ž	F — 8 、 う	G — 9 、あ	G — 6 、L1	G-6、え	Е — 3 、あ	G-10, U	E — 5 、U	$F - 7$, $\tilde{\lambda}$	F-8、え		G — 9 、U	F - 5、あ	F — 4 、U	G — 9、あ	C 10, ž	E — 6 、あ	トレンチ	G — 8 、ž	Е — 8 、 Э		F —10、あ	E — 5 、U	A-5、J	F —10、あ	
	遺野名	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	万井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	万井谷	
	符号	T O T 1	T O T - 2	T O T - 3	T O T - 4	T O T - 5	T O T - 6	T O T - 7	T O T - 8	T O T - 9	T O T 10	T 0 T 11	T O T 12	T O T 13	T O T	T O T 15	T O T 16	T 0 T 17	T O T-18	T O T-19	T O T-20	T O T-21	T 0 T 22	T 0 T 23	ΤΟΤ24	T O T-25	ΤΟΤ-26	T 0 T - 27	T O T 28	T O T - 29	T O T 30	T O T 31	T O T 32	T O T 33	

Table.1 供試材の履歴と調査項目

供試材の組成
Table.2

[ŕ																			
	i02	al Fe	.176	. 229	.150	. 024	. 024	.122	. 054	. 030	.018	.058	.158	.108	.014	. 003	. 023	. 192	. 155	. 007	. 006
	i成分 T	al Fe Tot	107 0	548 0	847 0	315 0	327 0	069	454 0	078 0	076 0	768 0	669	0 696	545 0	095 0	308 0	284 0	372 0	023 0	221 0
*	₽成分 造済	Tota	8.09 47.	5.06 60.	2.74 33.	9.69 0.	8.28 0.	2.24 1.	2.82 0.	5.04 0.	5.24 0.	5.60 0.	0.90 0.	9.47 0.	8.45 0.	6.26 0.	8.23 0.	6.29 0.	0.83 0.	1.95 0.	1.60 0.
~	火雨 - 遊	ç	1470 8	1530 9	1460 9		-	4	2			3	e	3	2		-	-	2		1
	锏	(Cu)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	ナン	Ś	≤0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.09	0.07	0.09	0.14	0.1	0.16	0.19	0.2	0.04	0.01	0.08	0.37	0.17	0.05	0.02
Igloss	** ** - い	(C)	±8.51	¢1.06	‡2 . 17	0.15	0.88	0.09	0.73	0.14	0.05	0.06	0.01	0.05	0.31	1.29	0.11	0.07	0.18	2.06	3.22
• ŧ	をとり、「「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、「」」を見て、	°₂0₅)	0.03	<0.01	0.03	0.03	0.06	0.11	0.12	0.06	0.13	0.05	0.11	0.10	0.07	0.06	0.08	0.03	0.05	0.03	0.05
	橫	(S)	0.02	<0.01	0.01	0.04	0.09	0.02	0.04	≤0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.09	0.07	0.02	0.03	0.06	0.25
	酸化 4	(r ₂ 0 ₃)	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03	0.08	0.05	0.05	0.06	0.03	0.02	0.12	0.02	0.05	0.03	0.05	0.03
	L 酸 し し し し し し し し し し し し し	Ti0 ₂) (C	0.33	0.36	0.41	1.51	1.37	4.83	2.73	1.91	1.22	2.70	7.31	4.40	0.71	0.19	1.34	11.00	8.66	0.58	0.34
	後代マー) (Oum)	0.09	0.02	0.09	0.37	0.32	0.59	0.39	0.48	0.41	0.68	0.86	1.43	0.14	0.05	0.33	1.01	0.85	0.03	0.05
¢	後 行 ナ し ウ レ ン	Na 20)	1.31	0.22	0.80	0.39	0.34	0.46	0.17	0.05	0.05	0.70	0.29	0.28	0.20	0.07	0.35	0.18	0.20	0.03	0.12
	酸化 鹿っしウ	(K ₂ 0)	2.85	3.15	3.65	0.77	0.70	1.53	0.85	0.24	0.35	1.35	1.28	1.78	0.81	0.32	0.64	0.71	0.89	0.09	0.36
ę	後化マ ブネシ J	7 (Mg0)	0.43	0.28	0.54	0.25	0.23	1.09	0.46	0.13	0.33	0.51	1.02	0.70	0. 39	0.06	0.24	0.33	0.27	0.05	0.10
÷	後 た レ シ ウ く 、	(Ca0)	0.59	0.10	0.45	0.66	0.59	1.80	0.41	0.11	0.73	1.31	1.61	2.42	1.29	0.15	0.62	0.82	0.83	0.06	0.22
÷	後 化 ア ー ニ ー	ウム Al ₂ 0 ₃)	19.25	18.70	19.75	3.25	3.07	8.56	4.98	1.20	0.92	6.26	5.76	7.61	4.71	1.15	3.19	4.13	4.77	0.38	2.25
÷	二酸化 珪素 /	Si0 ₂)	63.66	72.61	67.55	14.37	13.35	28.80	15.95	3.31	2.86	25.47	20.94	26.68	21.05	4.51	13.19	10.12	13.87	1.34	8.55
	酸化 =	⁻ e ₂ 0 ₃)	1.46	2.14	2.50	18.89	32.26	7.67	34.23	76.38	35.13	7.30	5.99	4.55	14.25	38. 15	33.85	13.45	4.53	14.43	54.70
	酸化 高1鉄 第	(Fe0)	1.03	0.07	1.25	31.52	30.42	43.86	18.00	13.96	56.43	52.83	53.49	48.27	54.15	15.36	26.38	35.56	40.26	4.85	14.84
	È属鉄 btollio	Fe)	0.05	0.02	0.02	24.70	9.72	0.04	12.38	0.16	0.16	0.19	0.42	0.05	0.12	27.53	14.96	20.25	21.54	72.59	2.79
	全鉄分 Totol	Fe)	1.87	1.57	2.74	62.41	55.93	39.50	50.31	64.43	68.59	46.36	46.19	40.75	52.18	66.15	59.14	57.30	56.00	86.45	52.58
	推定	年代	中田	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	まるな	這初白柳	炉壁	炉壁	湖口	炉底塊(含鉄)	炉底塊(含鉄)	流出孔泽	砂鉄	砂鉄焼結塊	マグネタイト系遺物	流出孔淬	流動滓	流出溝淬	炉内滓 (炉底塊)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄)	炉内淬(含鉄)	鉄塊系遺物	鉄塊系遺物
	第 元 本 の	回覧	可并合	百井谷	戸井谷	百井谷	可并心	戸井谷	百井谷	可并心	戸井谷	戸井谷	百井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	戸井谷	可并怂	戸井谷	百井谷	戸井谷
		<u>کا</u> ک	T O T 1	T O T - 2	T O T - 3	T O T - 4	TOT-5	T O T - 6	T O T - 7	TOT-8	TOT-9	T O T	T O T 12	T O T -13	T O T	T O T 23	T O T-24	T O T - 25	T O T - 26	T 0 T -27	T O T 28

Table.3 木炭の性状

,		
	灰中P	0.04
	発熱量 (ca1/g)	5580
	T.S	0.002
	F.C	56.21
	水分	14.97
	揮発分	36.86
	灰分	6.93
	推定年代	中中
	遺物名称	大炭
	遺跡名	百井谷
	符号	T O T –33

\sim
\mathcal{B}
رد
#6
6
₩
妲
壍
噩
6
祾
Ĥ
-++
11
4
ດ້
-
đ
Ë

									۴				
谷	遺跡名	出土位置	遺物名称	推年 定代	驒 绂 詭 掐 纖	Total F e	Fe ₂ 0 ₃		Ti02		4 n 0 描	「ラス C	山 山
T 0 T - 1	戸井谷	F-7, Ž	炉壁	申	胎土:粘土鉱物やや非晶質化(熱影響はごく弱い)	1.87	1.46	1.02	0.33	<0.01	3 60.0	38. 09 <0	.01 耐火度:1470℃
T O T - 2	戸井谷	F-7, Ž	炉壁	*	胎士:粘土鉱物非晶質化、表層:ガラス質滓M+U晶出	1.57	2.14	0.38	0.36	<0.01	0.02	35.06 <0	.01 耐火度:1530℃、炉下部はより耐火性をもつ粘土を選択した可能性あり
TOT-3	戸井谷	C-6、あ	日間	*	胎土中に製錬滓片混在、ガラス質滓:金属鉄・半還元砂鉄・UrF晶出	2.74	2.50	0.99	0.41	<0.01	60.0	32.74 <0	.01 耐火度:1460℃、製鉄に使用された可能性あり、
T O T 4	戸井谷	E-11、う	炉底塊 (含鉄)	*	滓部:U+₩+F、金属鉄:フェライト散在	62.41	18.89	0.91	1.51	0.1	0.37	19.69 <0	-01 製錬系含鉄鉄滓(原料:低Ti砂鉄)、金属鉄未凝集の廃棄品
T O T - 5	百井谷	F-6、U	炉底塊 (含鉄)	*	滓部:ロナ₩ナト、金属鉄:フェライト散在	55.93	32.26	0.82	1.37	0.09	0.32	18.28 <0	・01 製錬系含鉄鉄滓(原料:低Ti砂鉄)、金属鉄末凝集の廃棄品、T0T-4と同系
T O T - 6	「二井心	G-8、J	流出孔泽	*	U+F	39.50	7.67	2.89	4.83	0.07	0.59 4	12.24 <0	-01 砂鉄系製錬滓(原料:低Ti砂鉄)、T0T-5とは別系統
T O T 7	戸井谷	砂鉄溜まり	砂鉄	*	砂鉄粒子(磁鉄鉱主体)・銹化鉄粒・粒状滓様遺物・製錬滓片混在	50.31	34.23	0.87	2.73	0.09	0.39 2	22.82 <0	 01 低Ti砂鉄、製錬炉内廃棄物の可能性(ただし分析値は混入物の影響大)
TOT-8	百井谷	E-3、あ	砂鉄燒結塊	*	砂鉄粒子融着、外周部:H、内部:M、 Mag-I I meniteの溶離組織	64.43	76.38	0.24	1.91	0.14	0.48	5.04 <0	.01 半還元砂鉄融着、低T i 砂鉄(酸化度5.5と高い)
T O T - 9	戸井谷	G-9、え	マグネタイト系遺物	*	M疑集+W+F、 Mag-I Imeniteの溶離組織	68.59	35.13	1.06	1.22	0.1	0.41	5.24 <0	.01 砂鉄中途還元遺物(原料:低Ti砂鉄)
T O T 10	戸井谷	F-8、 ブ	工具付着淬	*	滓部:U+W+F 3層付着、金属鉄:亜共晶組成白鋳鉄	Ι	I	1	1	1			- 流動状銑鉄を工具で操作する状況確認
T 0 T -11	百井谷	G-9、あ	派出孔泽	*	U+W+F (W:粒内析出物)	46.36	7.30	1.82	2.70	0.16	0.68	35.60 <0	 ・01 砂鉄系製錬滓(原料:低Ti砂鉄)、T0T-5とは別系統
T O T 12	24年回	G-6、 L \	流動海	*	□+F (未発達急冷2層重なり組織)	46.19	5.99	2.63	7.31	0.19	0.86	30.90 <0	-01 砂鉄系製錬滓(脈石成分高値傾向)、粘稠質スラグ
T O T13	戸井谷	G-6、ž	東東田浜	*	n+F(U結晶雪花状でTOT-11に近似)	40.75	4.55	3.12	4.40	0.2	1.43	39.47 <0	.01 砂鉄系製錬滓(原料:低Ti砂鉄)、満滓の可能性大
T O T	戸井谷	E-3、あ	炉内滓 (炉底塊)	*	滓部:W(粒内H or U+H)+F、銹化鉄部:亜共析組織痕跡	52.18	14.25	1.68	0.71	0.04	0.14	28.45 <0	.01 鉱物組成・化学組成共に鍛冶滓傾向
T O T 15	百井谷	G-10, U	炉内滓 (含鉄)	*	済部:ガラス質滓、砂鉄粒子痕跡(外間:誘化鉄・HF 晶出)、微小金属鉄粒	1	Ι		I				- 砂鉄系製錬滓(砂鉄粒子痕跡多数残存)
T O T-16	戸井谷	E-5, LY	炉内淬 (含鉄)	*	滓部:W(粒内U+H)+F、金属鉄:過共析組織	I	1	I	1	1	m	-	- 製錬系含鉄鉄滓(原料:低Ti砂鉄)、鍛冶系ともとれる
T O T 17	戸井谷	F-7、え	炉内滓(含鉄)	*	滓部:I or Ps or R、金属鉄:過共析組織	I	Ι	1	1	1	1		- 製錬系鉄塊(高温下生成物)
T O T	戸井谷	F-8、え	炉内滓(含鉄)	*	金属鉄介在物:FeS、ステダイト:過共析組織〜亜共晶組成白铸鉄組織	1	Ι	1	1	I			- 製錬系鉄塊か(表層付着滓は存在しない)
T O T 19	戸井谷		炉内滓 (含鉄)	*	滓部:Ⅰ or Ps、金属鉄:亜共析組織~過共析組織	I	1	1	I	Ι	I	1	- 製錬系鉄塊(高温下生成物)
T O T-20	戸井谷	6-9° U V	鉄塊系遺物	*	金属鉄:介在物:FeS、ステダイト、レデプライト、局部に片状黒鉛、白鋳鉄	1			I		1	1	- 製錬系鉄塊か(表層付着滓は確認されない)
T O T-21	同井谷	F5、あ	鉄塊系遺物	*	滓部:U+I、金属鉄:過共析組織~亜共晶組成白鋳鉄なりかけ	I	I	1	I	1	1	1	- 製錬系鉄塊(吸炭不充分)、微細鉱物相で流出孔近傍生成物か
T O T 22	戸井谷	F-4、U1	炉内滓 (含鉄)	*	滓部:U+F+I、金属鉄:過共析組織~亜共晶組成白鋳鉄なりかけ	Ι	1	1	1	1	1		- 製錬系鉄塊、T0T-21と同系
T O T -23	戸井谷	G-9、あ	炉内滓 (含鉄)	*	滓部:I、金属鉄:介在物:球状珪酸塩、過共析組織	66.15	38.15	0.21	0.19	0.01	0.05	6.26 <0	-01 製錬系鉄塊(高温下保定不安定生成物)、保定不安定
T O T 24	戸井谷	C-10、え	炉内滓(含鉄)	*	洋部:U+F、金属鉄:フェライト散在	59.14	33.85	0.86	1.34	0.08	0.33	18.23 <0	.01 製錬系含鉄鉄滓(原料:低Ti砂鉄)、金属鉄未凝集の廃棄品
T O T -25	戸井谷	E-6、あ	炉内滓 (含鉄)	*	滓部:U+F、金属鉄:フェライト散在	57.30	13.45	1.15	11.00	0.37	1.01	16.29 <0	 ・01 製錬系含鉄鉄滓(脈石成分高値:原料砂鉄中のTi量高目か?)、金属鉄末袋集の廃棄品
T O T 26	戸井谷	トレンチ	炉内滓(含鉄)	*	滓部:U+F、金属鉄:フェライト散在	56.00	4.53	1.10	8.66	0.17	0.85 2	20.83 <0	・01 製錬系含鉄鉄滓(脈石成分高値・原料砂鉄中のTi量高日か?)、金属鉄未凝集の廃棄品
T O T 27	戸井谷	6-8、え	鉄塊系遺物	*	泽部:U、金属鉄:亜共晶組成白鋳鉄組織(表層:一部脱炭)	86.45	14.43	0.11	0.58	0.05	0.03	1.95 <0	-01 製錬系鉄塊
T O T28	戸井谷	Е-8、Э	鉄塊系遺物	*	銹化鉄:白鋳鉄+ねずみ鋳鉄組織痕跡混在斑鋳鉄の可能性	52.58	54.70	0.32	0.34	0.02	0.05	11.6 <0	.01 製錬系鉄塊か(表層付着滓は確認されない)
T O T 29	戸井谷		鉄器(鎹?)	*	亜共析組織、介在物:MnS+Mn-Si-AI系介在物(非晶出)	I	I	1	1	1	1	1	- テフロかんらん石(Mr.SiO4)、大量MrSの存在、近代以降の鉄製品の可能性が高い
T O T 30	百井谷	F-10、あ	鉄器(楔状)	*	亜共析組織+フェライト単相+亜共析組織(異材鍛装)、介在物:W+F	I	I	I	I	I	I	1	- 軟硬合せ鍛えの工具の可能性あり
T O T31	戸井谷	E-5, U	鉄器 (棒状)	*	フェライト単相〜共析組織(場所による偏析大)、介在物:W+U+H	l	I	1	I	I	I	1	- 丸鍛え鍛造品(始発原料:砂鉄)の可能性あり
ΤΟΤ-32	戸井谷	A-5、ラ	黒鉛化木炭(含鉄)	*	木炭:広葉樹の環孔材、外周:銹化鉄層(一部微細な金属鉄粒残存)	1	1	1	1	1	1	1	外周僅かに、微細な金属鉄が道管や繊維組織内の空隙に貫入・銹化したと推測される
T O T 33	戸井谷	F-10、あ	木炭	*	広葉樹の散孔材	1	1	1	I	1	1	1	- 土砂汚染で発熱量劣化 5580cal/g、P・S含有量は低い
W-Witetite (Foll) II-IIIvös	ninal (2EaO.TiO.) H-Harovnita (EaOAI	ц.ц. (- О	Eavalite (?Eav.CiO.) Itllmanite (Eav.TiO.) D.B.Htile (TiO2)	Forbert W	ito (Eo	INN) Pe		- rookito	/E0.0.	T:0 /	

TOT-1 炉壁 ①x50 炉壁胎土: 粘土鉱物は熱影響を受けてやや 非晶質化する 胎土中に石英・長石粒多数混在



TOT-2 炉壁 ②x50 炉壁胎土:粘土鉱物は非 晶質化する 石英・長石粒:外周 部溶融 ③x100④x400内面表層:黒色ガ ラス質滓 多角形結晶 白色部:マグネタイト 暗色部:ウルボスピネル



×0.3



TOT-3 羽口 ⑤⑥外面表層ガラス質滓 ⑤x400 白色部:微小金属鉄粒 周囲:フィヤライト晶出 ⑥x200砂鉄粒子痕跡 ⑦x100羽口胎土:粘土鉱物非晶 質化、石英・長石粒多数混在 中央:製錬滓片混入 ウルボスピネル・ファイヤライト





Photo.1 炉壁・羽口の顕微鏡組織











TOT-4 炉底塊(含鉄) ①x100 no etch 白色部:微小金属鉄散在 滓部:ウルボスビネル・ ヴスタイト・ファイヤライト ②③ナイタルetch ②x100金属鉄:フェライト ③x200硬度圧痕:77Hv フェライト







TOT-5 炉底塊(含鉄) ④x100滓部:ウルボスピネル・ファ イヤライト ⑤~⑦ナイタルetch ⑤⑥x100白色部、金属鉄:フェラ イト ⑦⑧x200硬度圧痕: ⑦80Hv、フェライト ⑧660Hv、ウルボスピネル







Photo.2 炉底塊の顕微鏡組織











TOT-6 流出孔滓 ①x200硬度圧痕:763Hv ウルボスピネル+ファイヤライト



TOT-7 砂鉄 ②~④x100中央:砂鉄粒子 周囲:銹化鉄・滓片散在 ⑤⑥x400銹化鉄粒 ⑤白鋳鉄組織痕跡 ⑥ねずみ鋳鉄組織痕跡 ⑦x400粒状滓様遺物 ⑧x200製錬滓破片(イルミナイト 結晶)

















Photo.3 流出孔滓・砂鉄の顕微鏡組織

TOT-8 砂鉄焼結塊 ①x100砂鉄粒子滓化 白色部:マグネタイト 暗色部:ウルボスピネルか ②x100③x400 同上







×0.8















Photo.4 砂鉄焼結塊・マグネタイト系遺物の顕微鏡組織

TOT-10 工具付着滓 ①x50 ho etch 内側:金属鉄 ②x100右上:銹化鉄部 亜共晶組成白鋳鉄組織 周囲:滓部、ウルボスピネル ③x100滓部:ウルボスピネル ・ヴスタイト・ファイヤライト ④⑤x200ナイタルetch 白鋳鉄 硬度:④586Hv、⑤241Hv

×0.9









Photo.5 工具付着滓の顕微鏡組織



TOT-11 流出孔滓 ①x200 硬度圧痕:706Hv ②x100③x400ウルボスピネル・ ヴスタイト(粒内微細晶出物あり)・ ファイヤライト





TOT-12 流動滓 ④x200 硬度圧痕:702Hv ウルボスピネルとヘーシナイトの 固溶体か ⑤x100⑥x400 ウルボスピネル・ ファイヤライト





TOT—13 流出溝滓 ⑦x400 ウルボスピネル・ ファイヤライト



Photo.6 流出孔滓・流動滓・流出溝滓の顕微鏡組織







TOT-14 炉内滓(炉底塊) ①x100 滓中の銹化鉄部: 亜共析組織痕跡 ②x100 ヴスタイト(粒内微小晶 出物あり)・ファイヤライト ③x200硬度圧痕:474Hv

















A

6









炉内滓の顕微鏡組織 Photo.7

TOT-16 炉内滓(含鉄) ①x400 鉄中非金属介在物 ②x100③x400滓部:ヴスタイト (粒内微細晶出物あり)・ファイヤ ライト ④~⑨ナイタルetch ④x100 ⑤x400過共析組織 ⑥x100⑦x400 同上 ⑧⑨x200硬度:⑧219Hv⑨ 322Hv



1









Photo.8 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織











Photo.9 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織



Photo.10 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織

TOT-20 鉄塊系遺物 ①x400中央:鉄中非金属介在物 硫化鉄(FeS)、片状黒鉛 ②③x200ナイタルetch 硬度圧痕:②267Hv③631Hv 局部的に片状黒鉛あるものの大 部分は白鋳鉄組織







TOT-21 鉄塊系遺物 ④x200 滓部:ウルボスピネル ⑤x200 滓部:イルミナイト 微小金属鉄粒散在 ⑥x400鉄中非金属介在物 ⑦⑧ナイタルetch ⑦x100亜共晶組成白鋳鉄 ⑧x200 硬度圧痕:586Hv











Photo.11 鉄塊系遺物の金属学的調査



TOT-22 炉内滓(含鉄) ①x200滓部:ウルボスピネル・ファ イヤライト②x400滓部:イルミナイ ト③x400鉄中非金属介在物 ④~⑨ナイタルetch ④x100⑤x400過共析組織 ⑥x100⑦x400亜共晶組成白鋳 鉄 ⑧⑨x200 硬度圧痕:⑧226Hv ⑨893Hv



3



a win f

49













Photo.12 炉内滓(含鉄)の金属学的調査

TOT-23 炉内滓(含鉄) ①x400 滓部:イルミナイト、 微小金属鉄粒散在 ②x400 鉄中非金属介在物 ③~⑤ ナイタルetch ③x100 過共析組織 ④x100 同上 ⑤x200硬度圧痕:309Hv



3













Photo.13 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織





TOT-25 炉内滓(含鉄) ①x100滓部:ウルボスピネル・ ファイヤライト ②~④ ナイタルetch ③x100 フェライト ③x100 同上 ④⑤x200 硬度圧痕:④122Hv ⑤656Hv





×0.3







TOT-26 炉内滓(含鉄) ⑥x200 硬度圧痕:656Hv ウルボスピネル+ファイヤライト ⑦⑧ ナイタルetch ⑦x100 フェライト ⑧x200 硬度圧痕:102Hv



(8)



A and the off

0



Photo.14 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織

TOT-27 鉄塊系遺物 ①x100滓部:ウルボスピネル ②x400中央:鉄中非金属介在物 硫化鉄(FeS) ③~⑤x200ナイタルetch 亜共晶組成白鋳鉄組織 ③688Hv④197Hv⑤760Hv



×0.7

1





TOT-28 鉄塊系遺物 ⑥~⑧ 銹化鉄部 ⑥x100亜共晶組成白鋳鉄組織 痕跡⑦x100 片状黒鉛、ねずみ 鋳鉄組織痕跡 ⑧x100 共晶黒鉛、ねずみ鋳鉄 組織痕跡





Photo.15 鉄塊系遺物の顕微鏡組織









тот-29 1 鉄器(鎹?) ①~⑤x400 鉄中非金属介在 物 ④~⑨ナイタルetch ④x100フェライト・ 少量パーライト亜共析組織 ⑤x400④の左側拡大 ⑥x400④の右側拡大 ⑦⑧x200 硬度圧痕:⑦121Hv、 ®131Hv 2 3 À. 6 8.

Photo.16 鉄器(鎹?)の顕微鏡組織

.)

TOT-30 鉄器(楔状) ①x400鉄中非金属介在物 ②~⑦ナイタルetch ②x50異材銀接合せ銀えか 上下面表層:亜共析組織 中央:フェライト単相 ③x50④x100 同上 ⑤~⑦x200 硬度圧痕:⑤ 101Hv ⑥120Hv⑦115Hv

















Photo.17 鉄器(楔状)の顕微鏡組織



hoto.18 鉄器(楔状)の顕微鏡組織



transmin of

TOT-31(2) 鉄器(棒状) ①x400 鉄中非金属介在物 ② ナイタルetch ②x50 亜共析組織 左側:低炭素域~右側:高炭素域 ~最表層:脱炭









Photo.19 鉄器(棒状)・黒鉛化木炭(含鉄)の顕微鏡組織



写真左側が上面側

TOT-4 ×10



写真左側が上面側

TOT-5 ×10

Photo.20上段:炉底塊(含鉄)(TOT-4)の顕微鏡組織(×10)下段:炉底塊(含鉄)(TOT-5)の顕微鏡組織(×10)



写真左側が上面側

TOT-6 ×20



TOT-7 ×20

 Photo.21
 上段:流出孔滓(TOT-6)の顕微鏡組織(×20)

 下段:砂鉄(TOT-7)の顕微鏡組織(×20)



写真左側が上面側



TOT-10 ×10

Photo.22 上段:砂鉄焼結塊 (TOT-8)の顕微鏡組織 (×20) 下段:工具付着滓(TOT-10)の顕微鏡組織(×10)



写真左側が上面側

TOT-15 ×10



TOT-16 ×10

Photo.23 上段:炉内滓(含鉄)(TOT-15)の顕微鏡組織(×10) 下段:炉内滓(含鉄)(TOT-16)の顕微鏡組織(×10)



TOT-18 ×20

Photo.24上段:炉内滓(含鉄)(TOT-17)の顕微鏡組織(×10)下段:炉内滓(含鉄)(TOT-18)の顕微鏡組織(×20)



TOT-19 ×10



TOT-20 ×10

Photo.25 上段:炉内滓(含鉄)(TOT-19)の顕微鏡組織(×10) 下段:鉄塊系遺物(TOT-20)の顕微鏡組織(×10)



TOT-21 ×10



TOT-22 ×5

 Photo.26
 上段:鉄塊系遺物(TOT-21)の顕微鏡組織(×10)

 下段:炉内滓(含鉄)(TOT-22)の顕微鏡組織(×5)



TOT-23 ×10



TOT-24 ×10

Photo.27 上段:炉内滓(含鉄)(TOT-23)の顕微鏡組織(×10) 下段:炉内滓(含鉄)(TOT-24)の顕微鏡組織(×10)



TOT-25 ×20



TOT-26 ×10

Photo.28上段:炉内滓(含鉄)(TOT-25)の顕微鏡組織(×20)下段:炉内滓(含鉄)(TOT-26)の顕微鏡組織(×10)



写真左側が試料上側面である

TOT-27 ×10



写真左側が試料上側面である

TOT-28 ×10

Photo.29上段:鉄塊系遺物(TOT-27)の顕微鏡組織(×10)下段:鉄塊系遺物(TOT-28)の顕微鏡組織(×10)



TOT-29 ×10



TOT-30 ×10

Photo.30上段: 鉄器(鎹?)(TOT-29)の顕微鏡組織(×10)下段:鉄器(楔状)(TOT-30)の顕微鏡組織(×10)



TOT-31 ×10



Photo.31上段:鉄器(棒状)(TOT-31)の顕微鏡組織(×10)下段:黒鉛化木炭(含鉄)(TOT-32)の顕微鏡組織(×10)