

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

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。

表1 ¹⁴C年代測定試料一覧表

No.	試料記号	遺跡名	採取年月日	遺構	時期
1	TT-1	戸井谷遺跡	平成12年9月8日	戸井谷遺跡・1号炭窯	近世
2	TT-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	TT-3	戸井谷遺跡	平成12年8月11日	戸井谷遺跡・2号炭窯	近世

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

¹⁴C年代測定の結果を表2に示す。

表2 ¹⁴C年代測定結果

No.	試料記号	試料名	遺構	¹⁴ C年代/years BP
1	TT-1	木炭	戸井谷遺跡・1号炭窯	80±60 (90±60)
2	TT-2	木炭	戸井谷遺跡・製鉄炉	740±100 (760±110)
3	TT-3	木炭	戸井谷遺跡・2号炭窯	210±60 (220±60)

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。

第2節 戸井谷遺跡の製鉄炉、S X - 0 3、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、焼上が焼けた年代を知るためにには、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上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、焼上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、焼上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。

地磁気のなかで土壤、粘土、砂、岩石等が焼けるとそれらは熱残留磁気を帯びる。熱残留磁気の扱い手は、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°C）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滅し、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することになる。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、ある焼上の地磁気年代を求めるには、焼上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るので、地磁気年代は土器編年に左右されないと思われるが、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、少數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、上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ないのでやむをえない。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、焼上跡に遺物がない場合でも有効である点、相互に隔絶した上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（島根県飯石郡頃原町角井）で出土した製鉄炉、鍛冶炉、炭窯から然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ヶ、北側の壁から20ヶ、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ヶを採取した。SX-03は製鉄炉の東端部の近くにあり、円形の穴窓状をしている。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ヶを採取した。炭窯は焚き口から奥に向かって広がり、奥壁に2ヶの煙道がある。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ヶを採取した。

表1 定方位試料の採取状況

遺構	定方位試料の採取状況			焼土の状態
	南壁(20)	北壁(20)	床面(15)	
SX-03	炉心を取り巻く全ての壁面(40)			計(40)
炭窯	床面(13)			計(13)
				低焼成度

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ヶ

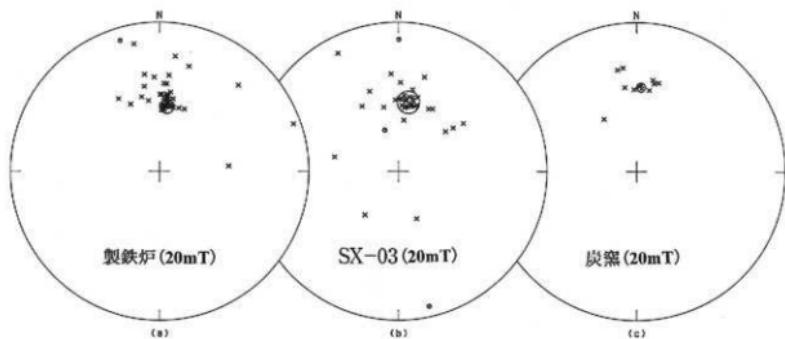


図1 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯の交流消磁(20mT)後の残留磁気の方向

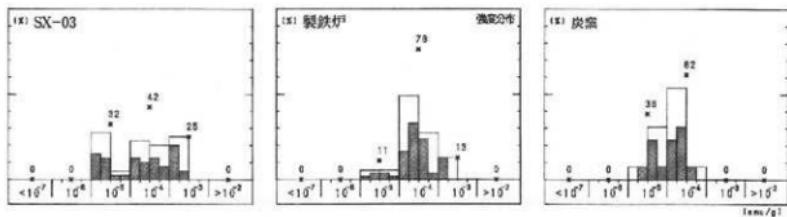


図2 戸井谷遺跡の製鉄炉、SX-03、炭窯の自然残留磁気の強度分布

のデータの試料位置は南壁(4)、北壁(9)、床面(3)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にすることにする。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、少數ではあるが4ヶ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。

戸井谷遺跡の製鉄炉、S X - 0 3、炭窯の残留磁気の平均方向

遺構	I _m (度)	D _m (度E)	k	α_{95} (度)	n/N	消磁場
製鉄炉	53.22	5.81	1346	0.77	26/55	20mT
S X - 0 3	50.84	7.77	385	1.67	20/40	20mT
炭窯	42.29	2.60	7894	1.03	4/13	20mT

I_m : 平均伏角、 D_m : 平均偏角、 k : Fisherの信頼度係数

α_{95} : 95%誤差角、 n/N : 採用試料数/採取試料数

偏角

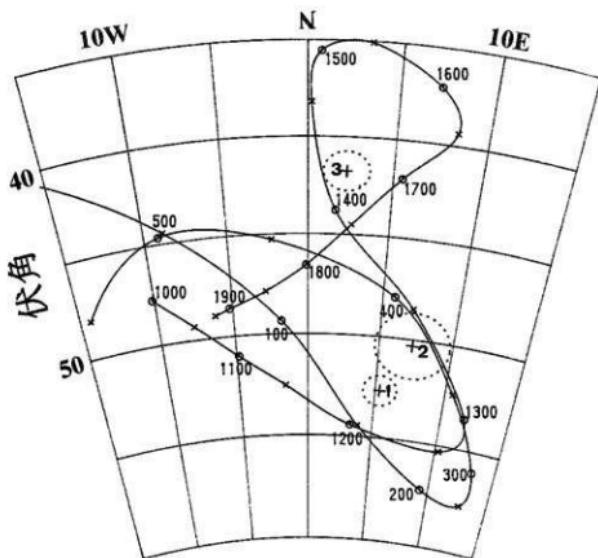


図3 戸井谷遺跡の製鉄炉、S X - 0 3、炭窯の残留磁気の平均方向(十印)と誤差の範囲
(点線の梢円)、および、広岡による西南日本の地磁気永年変化曲線の一部
1: 製鉄炉、2: S X - 0 3、3: 炭窯

5. 戸井谷遺跡の製鉄炉、S X - 0 3、炭窯の地磁気年代

図3は戸井谷遺跡の製鉄炉、S X - 0 3、炭窯の残留磁気の平均方向（+印）と誤差の範囲（点線の横円）および、広岡による西南日本の地磁気永年変化曲線¹¹⁾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～AD1800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AD1330±10、S X - 0 3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、S X - 0 3、炭窯の地磁気年代

遺構	地磁気年代
製鉄炉	AD1210±10 または AD1330±10
S X - 0 3	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逆っ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、試料の鉄に対する相対的位置（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ヶあるが、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 - 0 3は、当初、鍛冶かと想定されていたが、この想定を裏付ける遺物は出でていない。S X - 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、S X - 0 3の地磁気年代を決定するのに使用した20ヶのデータ（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（AD1340±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鳥取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) 「考古資料分析法」、考古学ライブラリー、65、
田口勇、齊藤努編、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

戸井谷遺跡は鳥取県飯石郡頃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. 調査方法

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) ピッカース断面硬度

鉄滓の鉱物組成と、金屬鉄の組織同定を目的として、ピッカース断面硬さ計（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 (FeO) : 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

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分間当たり10°Cの速度で1000°Cまで温度上昇させ、それ以降は4°C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、柱目、板目) を #1,000 のサンド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、灰分の磷 (P)、蛍光X線分析法、発熱量、カロリー計。

3. 調査結果

TOT-1 : かま壁

(1) 肉眼観察 : 炉頂部に近い位置のかま壁片である。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、部分的に非品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 (Fe₂O₃) は1.46%と低く軟化性に有利であり、酸化アルミニウム (Al₂O₃) 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 (CaO+MgO) 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°C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かまの炉壁としては、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. 1 ②～④に示す。②は炉壁船上部分である。粘土鉱物は加熱変化を受けて非晶質化が進んでいる。船上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、外周部が溶離しているものが多い。ムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 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нетイト (Magnetite: Fe_3O_4) で、淡茶褐色部はウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) ないしはヘーシナイト (Hercynite: $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) 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 (Fe_2O_3) 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 (Al_2O_3) は 18.70% と、TOT-1 炉壁より僅かに低い。しかし津と鉄の分離を促す自媒剤となる塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 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 が焼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 (MnO)、硫黄 (S)、五酸化磷 (P_2O_5) 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 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 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°C 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。が焼の高温侵食に対する対策のとられたが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。ガラス質津の流動状況から、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津片やスサが混和されている。
- (2) 顕微鏡組織: Photo. 1 ⑤～⑦に示す。⑤⑥は外面表層のガラス質津部分を示す。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アライト結晶が品出する。⑥の右粒子は淬火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アライトが品出する。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津片が混在する。津中にはウルボスピネル、ファイアライト結晶が品

出し、製鍊滓片と判定される。このため当試料は微細な製鍊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作る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⁽²²⁾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所以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 T O T - 1 が壁上段粘土に準じた成分系である。鉄分 (Fe_2O_3) は 2.50% と低めで、軟化性に有利であり、酸化アルミニウム (Al_2O_3) 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 ($CaO + MgO$) 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°C であった。こちらも T O T - 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°C⁽²³⁾ である。化学組成を比較すると Fe_2O_3 : 4.03%、 Al_2O_3 : 17.04%、 $CaO + MgO$: 1.80% であり、当羽口の方がやや耐火性の高い性状である。

T O T - 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、破面では横方向に迷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、かり床幅の狭い炉底部を反映したものと推測される。表層に錆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。供試材の切削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. 2 ①～③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アライト、白色粒状結晶ウスタイト ($Wüstite : FeO$) 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。酸化砂鉄の製鍊滓に分類される。
- (4) ピッカース断面硬度: 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% FeO - 22.3% TiO_2 - 8.8% Al_2O_3 - 3.3% V_2O_3 であった。ウルボスピネル ($Ulvöspinel : 2FeO \cdot TiO_2$) とヘーサイト ($Hercynite : FeO \cdot Al_2O_3$) の固溶体鉱物⁽²⁴⁾ 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% SiO_2 - 19.0% Al_2O_3 - 6.7% CaO - 13.4% K_2O - 4.0% Na_2O - 16.4% FeO であった。珪酸塩に微細なファイア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% FeO - 1.4% TiO_2 であった。ウスタイト ($Wüstite : FeO$) に同定される。微景の 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% FeO 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。なお金属鉄の層間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 (FeO) 31.52%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 18.89%であった。津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 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は19.69%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) を0.91%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 1.51%、バナジウム (V) 0.10%と低めで、酸化マンガン (MnO) 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 (合鉄)

- (1) 肉眼観察: 厚手の合鉄が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。下面是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溝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。供試材の切削面で最も金属鉄が確認された箇所を選択している。前述したTOT-4炉底塊よりは皆下鉄は纏まりつつあるが、それでも多くは津中に微細な金屬鉄の多数散在に留まる。金屬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. 2 ④～⑧に示す。④は津部である。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。砂鉄系製鉄津の晶癖である。⑤～⑧は金屬鉄を5%ナイトで腐食している。フェライト単相の組織であった。
- (4) ピッカース断面硬度: Photo. 2 ⑦⑧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80 Hv、⑧の淡茶褐色多角形結晶の硬度値は660 Hv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 (FeO) 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が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が底塊 (合鉄) 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: 流出孔溝 (合鉄)

- (1) 肉眼観察：大型で棒状の流出孔津の破片である。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津部がある。この箇所は木炭痕による凹凸が顕著で、側面には瘤状の工具痕が残る。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。また津中には可成り発達した鉱物結晶の晶出がある。大型の流出孔津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. 3①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アライトが素地の暗黒色ガラス質津中に晶出する。砂鉄製鍊津の晶癖である。
- (4) ピッカース断面硬度：Photo. 3①中央の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は763 Hv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。⁽⁴⁾⁽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 (Metallic Fe) 0.04%、酸化第1鉄 (FeO) 43.86%、錆化鉄の含有もなく酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 7.67%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は42.24%と多くて、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) を2.89%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 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 (MnO) 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鍊津に分類される。

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津片や錆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、完全に津化して、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津様遺物、製鍊津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. 3②～⑥に示す。②～③の中央は生砂鉄の磁鉄鉱 (Magnetite: FeO·Fe₂O₃) 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。その周囲には錆化鉄粒や津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トタイト、蜂の巣状のレデブライテ痕跡が残存する白鉄鉱、⑥は片状黒鉛の痕跡が残存するねずみ鉄鉱であった。このような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津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は粒状津様遺物を示す。粒内の微細な白色樹枝状結晶はマグネタイトで製鍊工程で派生した粒状津様遺物であろうか。⑧は微細な製鍊津片である。素地のガラス質津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: FeO·TiO₂) が晶出する。比較的高温で操業された⁽⁶⁾ 砂鉄製鍊津の晶癖である。
- (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 (Metallic Fe) 12.38%、酸化第1鉄 (FeO) 18.00%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 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 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) は22.82%と高く、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 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つたが、製鉄原料の成分を詳細に検討するには微細な鉄粒、製錬済の影響が大きく不適当である。

TOT-8：砂鉄焼結塊

- (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。全体に液化が進み、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. 4 ①~③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 ($\text{Hematite} : \text{Fe}_2\text{O}_3$)、また内側の暗色部はマグネタイト ($\text{Magnetite} : \text{Fe}_3\text{O}_4$) と推測される。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 ($\text{Ulvöspinel} : 2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の中间組成のチタノマグネタイト (Titanomagnetite)⁽²⁷⁾ 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 (Metallic Fe) 0.16%、酸化第1鉄 (FeO) 13.96%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 76.38%の割合であった。またガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) は5.04%と低値で、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) は0.24%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) は1.91%、バナジウム (V) は0.14%であった。また酸化マンガン (MnO) 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 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{FeO})$) = 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

- (1) 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. 4 ④~⑧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。粒間に薄かな淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトも晶出する。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo. 4 ⑦⑧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でヴァスタイト、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、金属鉄 (Metallic Fe) 0.16%、酸化第1鉄 (FeO) が高く56.43%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 35.13%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は低くて5.24%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は1.06%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 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 (MnO) 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秒鉄焼結塊に近似した成分系であった。ただし、TOT-8秒鉄焼結塊よりは還元されており、酸化第1鉄 (FeO) の増加に表われている。マグネタイト化である。

TOT-10: 工具付着津（含鉄）

- (1) 肉眼観察: 断面丸方形気味の棒状工具に付着した含鉄津である。工具裏側は鉄部で、その外周には微細な気孔をもつ流動状の津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鉄組織の鉄部が現われて、その外側には製錬津が固着する。
- (3) 顕微鏡組織: Photo. 5 ①～⑤に示す。①写真上側は鉄部である。白色部が金属鉄部分で、外周部は鉄化が進み、自然腐食を受けて白鉄組織が現れている。写真下側は津部で、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ニル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト (Fayalite: 2FeO·SiO₂) が晶出する。②は鉄化鉄部と製錬津との境界の拡大、③は津部で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。鉄化鉄部と同様の亜共晶組成白鉄組織が現れた。
- (4) ピッカース断面硬度: Photo. 5 ④⑤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トイトが析出する個所で硬度値は241Hvであった。亜共晶組成白鉄の硬度値を表わす値である。

TOT-11: 流出孔津

- (1) 肉眼観察: 細身で棒状の流出孔津の破片である。長軸両端の2面のみが破面で、横断面形は楕円形を呈する。破面は光沢が強く気孔は大型のものが目立つ。上面は酸化氣味で紫紅色を呈し、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ニル、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。急冷組織ではなく柱体に近接した個所での流出孔津である。
- (3) ピッカース断面硬度: 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。ウルボスピニ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段目に津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%SiO₂-19.3%Al₂O₃-6.3%CaO-14.2%K₂O-3.9%Na₂O-17.1%FeO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%FeO-1.2%TiO₂であった。ヴスタイト

(Wüstite : FeO) 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%FeO-30.1%SiO₂-1.6%MgO-1.1%MnOであった。ファイヤライト (Fayalite : 2FeO·SiO₂) 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%FeO-22.1%TiO₂-8.7%Al₂O₃-5.5%V₂O₅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。砂鉄原料の製鍊滓を証拠づける。

- (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 (Metallic Fe) 0.19%、酸化第1鉄 (FeO) 52.83%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 7.30%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は35.60%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は1.82%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) は2.70%、バナジウム (V) 0.16%であった。また酸化マンガン (MnO) 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マグネッ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鍊滓の成分系である。なお、流動性の良さはもつもののTOT-5が底塊とは成分系 (Ti, Mn高い) は異なる。

TOT-12 : 流動滓

- (1) 肉眼観察 : 1~2cm幅の細い流動滓が複数堆積した重層滓である。上下面是生きているが、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嗜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. 5 ④~⑥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。砂鉄製鍊滓の晶癖である。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) ピッカース断面硬度 : 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 (FeO) 53.49%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 5.99%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は30.90%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は2.63%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) は7.31%、バナジウム (V) 0.19%と高く、酸化マンガン (MnO) 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鍊滓であった。

TOT-13 : 流出溝滓

- (1) 肉眼観察 : 幅が広く、横断面が浅い桶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。地は墨褐色である。
- (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津中に晶出する。炉内津の結晶ではなく、流出溝津とみるべきであろう。砂鉄製錆津の晶癖である。

- (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 (FeO) 48.27%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 4.55%の割合であった。ガラス質成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) は 39.47%と高く、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は 3.12%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) は 4.40%、バナジウム (V) は 0.20%と高めで、酸化マンガン (MnO) 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錆津である。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：炉内津（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楕円形を呈する。表面には本炭痕が密集し、破面には全体に中小の気孔が散在する。また津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) 路微鏡組織：Photo. 7 ①～③に示す。①は津中に残存する錆化鉄部分である。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は津部である。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津中に晶出する。なおヴスタイト粒内の微細な品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。錆治津と見紛うばかりの組織である。
- (3) ピッカース断面硬度：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 47 且 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 (Total Fe) 52.18%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.12%、酸化第1鉄 (FeO) 54.15%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 14.25%の割合であった。ガラス質成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) は 28.45%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は 1.68%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 0.71%、バナジウム (V) 0.04%と低い。酸化マンガン (MnO) も 0.14%と低値であった。また銅 (Cu) は <0.01%であった。砂鉄製錆津としては鉄分高く、脈石成分の低い成分系である。錆治津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 板厚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、化学組成共に錆治津側にシフトする。

TOT-15：炉内津（含鉄）

- (1) 肉眼観察：平面不整台形をした、小型の含鉄炉内津破片である。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津が付着する。表面全体が酸化土砂に覆われ、下面中央では黒鉛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。品出した微細な金属鉄粒が僅かに残存するが、大半は錆化鉄となっている。
- (3) 路微鏡組織：Photo. 7 ④～⑧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錆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нетタイト結晶が晶出し、外層を取り巻くように錆化鉄が確認される。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アライトが晶出する。

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：平面不整梢円状をした小型（87 g）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態を呈する。
- (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. 8 ①～⑨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ア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。バ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) ピッカース断面硬度：Photo. 8 ⑧⑨は金属組織に硬度測定の圧痕を示す。⑧はバーライト部分で硬度値は219 Hvであった。また⑨はセメンタイト部分で硬度値は322 Hv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5～600 Hvになろう。

TOT-17：炉内滓（含鉄）

- (1) 肉眼観察：ごく小型（10 g）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. 9 ①～⑤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 : FeO·TiO₂）やシュードブルーカイト（Pseudobrookite : Fe₂O₃·TiO₂）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。また錆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。バ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) ピッカース断面硬度：Photo. 9 ④⑤は金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④はバーライト部分で硬度値は225 Hv、⑤はセメンタイト部分で硬度値は827 Hv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（69 g）の含鉄ガラスである。鉄部は錫膨れが顕著で、表面には濃緑色のガラス質津が付着している。また 2 cm 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鉄組織のまとまった鉄部が生成される。
- (3) 顕微鏡組織：Photo. 9 ⑥～⑧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 $Fe - Fe_3C - Fe_3P$ の三元系共晶であるステタイトである。⑦⑧は金属鉄を 5% ナイタルで腐食して現れた組織である。どちらも黒色層状バーライトと地はレデブライトの亜共晶組成白鉄組織である。表層スラグを残さないが製錬系であろう。
- (4) ピッカース断面硬度：Photo. 9 ⑨の白鉄組織に硬度測定の圧痕を示す。レデブライトで硬度値は 663 Hv であった。

TOT-19：炉内津（含鉄）

- (1) 肉眼観察：小塊状（50 g）の含鉄ガラス塊破片である。上面のみ生きており、側面及び下面は破面である。上面は木炭痕や錫膨れが点在する。また側面に僅かに津部が確認される。
 - (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、その周囲から錫化が進行している。
 - (3) 顕微鏡組織：Photo. 10 ①～⑨に示す。①の中央はガラス質の球状非金属介在物である。②③の写真左側は試料表層の津部である。外側の津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。これは試料表面の錫化によって 2 次的に固着した津部の可能性をもつ。また内側の鉄部表層に沿って固着する津部では、素地の暗黒色ガラス質津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はほぼ全面バ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。組織の上体は共析から過共析の高炭素域である。
 - (4) ピッカース断面硬度：Photo. 10 ⑦～⑨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 223 Hv、⑧は共析組織で硬度値は 238 Hv、⑨は過共析組織で硬度値は 339 Hv であった。組織に対応した値である。
 - (5) EPMA 調査：Photo. 32 の 3 段目に付着鉄津片の反射電子像 (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% FeO であった。ヴスタイト (Wüstite : FeO) 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% FeO - 30.0% SiO₂ であった。ファイヤライト (Fayalite : 2FeO · SiO₂) 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% SiO₂ - 20.5% Al₂O₃ - 2.1% CaO - 8.7% K₂O - 18.4% FeO 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% SiO₂ - 11.9% Al₂O₃ - 3.0% CaO - 1.9% MgO - 6.7%

K₂O組成の珪酸塩と、44.1%TiO₂、-2.0%ZrO₂、-8.7%FeO-1.1%MnO組成のウルボスピニエ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（70 g）で偏平な鉄塊系遺物である。全体は黒鉛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、流動化した鉄鉱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。また白鉄組織主体であるが、片状黒鉛が析出するねずみ鉄組織部分が点在する。
- (3) 頸微鏡組織：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) ピッカース断面硬度：Photo. 11②③の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。②はバーライト部分で硬度値は267 Hv、③はレデブライト部分で硬度値は631 Hv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（132 g）の鉄塊系遺物である。上面は平坦気味で、窪みに溜まつ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津が瘤状に付着する。
- (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) 頸微鏡組織：Photo. 11④～⑧に示す。④⑤は試料表層に囲着する洋部である。④は素地の暗黒色ガラス質津中に微細な淡茶褐色多角形結晶ウルボスピニエルが晶出する。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持場所から外れた外気に曝され易いところが想定される。いずれも砂鉄製鍊滓の晶癖である。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二元系共晶のステタイトが存在する。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) ピッカース断面硬度：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586 Hv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 $122.8\%FeO - 1.1\%P_2O_5$ で、鉄中の磷(P)の偏析が確認された。前述したステタイト部分である。また15の番号をつけた黄褐色異物の定量分析値は $86.2\%FeO - 36.0\%S$ 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: 全体は楕円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、鉄部上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铸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では金屬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中央の微小黃褐色異物は硫化鉄である。④～⑨は金屬鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。④⑤はパラ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铸鉄組織を示した。該品も完全に白铸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) ピッカース断面硬度: Photo. 12⑧⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑧は過共析組織のパラライト部分で硬度値は $226Hv$ 、⑨は白铸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 $17.7\%FeO - 18.8\%TiO_2 - 3.0\%MnO - 1.6\%V_2O_3 - 38.1\%SiO_2 - 9.5\%Al_2O_3 - 4.0\%CaO - 1.7\%MgO - 5.4\%K_2O$ であった。FeOと TiO_2 がほぼ1対1の割合になり、針状結晶はイルミナイト($Ilmenite: FeO \cdot TiO_2$)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 $27.7\%FeO - 33.7\%TiO_2 - 3.6\%MnO - 2.6\%V_2O_3 - 23.6\%SiO_2 - 6.6\%Al_2O_3 - 1.6\%CaO - 2.1\%MgO$ であった。やはり針状結晶はイルミナイト($Ilmenite: FeO \cdot TiO_2$)でよからう。さらに17の番号をつけた片状結晶の定量分析値は $43.6\%FeO - 26.4\%TiO_2 - 16.2\%V_2O_3$ であった。 Ti と V は比較的置換しやすい元素であり、FeOと TiO_2 に V_2O_3 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($Ilmenite: FeO \cdot TiO_2$)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 $60.5\%SiO_2 - 14.7\%Al_2O_3 - 5.5\%CaO - 1.0\%MgO - 8.6\%K_2O - 6.9\%FeO - 1.4\%MnO$ 、21が $60.4\%SiO_2 - 15.4\%Al_2O_3 - 4.8\%CaO - 0.8\%MgO - 7.8\%K_2O - 7.5\%FeO - 1.3\%MnO$ であった。

また20の番号をつけた微小金屬粒の定量分析値は $135.8\%FeO$ 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屬鉄(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TOT-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) 内眼観察：平面は長手の不整合形をした含鉄炉内滓片である。上下面是基本的に生きている。下面是浅い瘤状を呈し、粉炭痕が日立つ。
- (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鍊滓の晶癖である。②は鉄中非金属介在物を示す。非晶質珪酸塩系の球状介在物である。また③～⑤は金屈鉄を5%ナイト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) ピッカース断面硬度：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箇所の定量分析値は64.0%SiO₂-16.1%Al₂O₃-3.7%CaO-1.2%MgO-6.9%K₂O-7.4%TiO₂-2.6%FeO-1.4%MnO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(Metallurgical Fe) 27.53%、酸化第1鉄(FeO) 15.16%、酸化第2鉄(Fe₂O₃) 38.15%の割合であった。ガラス質成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は6.26%と低値で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は0.21%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO₂)は0.19%、バナジウム(V)が0.01%であった。また酸化マンガン(MnO)は0.19%、銅(Cu)は<0.01%である。鉄分主体で、ガラス質や漂石成分の少ない成分系であった。分析値からみると、か内滓でなく鉄塊系遺物にすべきであって、炭素量の1.29%もさほど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) 内眼観察：やや薄手の含鉄炉内滓の破片である。上下面是生きていて、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アライトとガラス質珪酸塩で構成される。砂鉄製鍊滓の晶癖である。⑦⑧は金屈鉄を5%ナイト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) ピッカース断面硬度：Photo. 13⑧の金屈組織(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 T O T - 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、金属性鉄 (Metallic Fe) 14.96%、酸化第1鉄 (FeO) 26.38%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 33.85% の割合であった。ガラス質成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) は 18.23% で、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) は 0.86% を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 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。

T O T - 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、この箇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鉛が確認された。
- (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性鉄が多数散在する。また滓部では大きく成長したウルボスピニル結晶が観察される。
- (3) 錫微鏡組織: 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ニル、淡灰色木ずれ状結晶ファイアライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に品出する。砂鉄製練滓の晶癖である。②~④ は金属性鉄を 5 % ナイタルで腐食した組織である。まだ吸収していないフェライト単相の組織であった。
- (4) ピッカース断面硬度: 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 122 Hv 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 656 Hv であった。ウルボスピニルに同定される。
- (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、金属性鉄 (Metallic Fe) 20.25%、酸化第1鉄 (FeO) 35.56%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 13.45% の割合であった。ガラス質成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) は 16.29% で、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) は 1.15% を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 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 (MnO) も 1.01% と高値であった。また銅 (Cu) は < 0.01% である。
- 散在する金属性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ニルを反映して、脈石成分も高値傾向が確認された。前述してきた滓に対する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。

T O T - 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上砂が付着する。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。津中に微細な金属鉄が凝集化に向って運動し始めた塊が多い散在する。
- (3) 顕微鏡組織: Photo. 14⑥～⑧に示す。⑥は津部である。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アライトが素地の暗黒色ガラス質津中に晶出する。砂鉄製錬岸の晶癖である。⑦⑧は金属鉄を5%ナイトルで腐食した組織である。ほとんど脱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) ピッカース断面硬度: 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102 Hv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、金属鉄(Metallic Fe) 21.54%、酸化第1鉄(FeO) 40.26%、酸化第2鉄(Fe₂O₃) 4.53%の割合であった。ガラス質成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は20.83%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は1.10%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO₂)は8.66%、バナジウム(V)が0.17%と高めで、酸化マンガン(MnO)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。当試料も鋳造原料になり得る品位でなく、津として廃棄された可能性をもつ。

TOT-27: 鉄塊系遺物

- (1) 内眼観察: 長径6.0cm弱の楕円形の鉄塊系遺物である。ほぼ光形で表面僅かに津が固着する。
- (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、ほぼ並共晶組成白鉄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津部である。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津中に晶出する。砂鉄製錬岸の晶癖である。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%ナイトルで腐食した組織である。ほぼ全面が並共晶組成白鉄鉄組織で占められる。
- (4) ピッカース断面硬度: Photo. 15③～⑤の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。③はレデブライド部分で硬度値は688 Hv、④はパーライト部分で197 Hv、⑤はセメントタイト部分で760 Hv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、金属鉄(Metallic Fe)が72.59%、酸化第1鉄(FeO) 4.85%、酸化第2鉄(Fe₂O₃) 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(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は1.95%と低い。また砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO₂)は0.58%、バナジウム(V)は0.05%と少なく、酸化マンガン(MnO)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) 内眼観察: 丸棒状の鉄塊系遺物である。長軸の両端部は破面で、横断面形は深い楕形を呈する。流動状の鉄鉄塊と推定される。また表面には木炭粉や津片の固着が目立つ。

- (2) マクロ組織：Photo. 29に示す。端部から錆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、淬部は確認されなかった。
- (3) 顕微鏡組織：Photo. 15⑥～⑧に示す。いずれも錆化鉄部で、半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ド痕跡が残存し、亜共晶組成白錆鉄である。また⑦⑧ねずみ錆鉄組織で、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錆鉄が、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。^[13] 志津見ダム建設に伴う製鉄遺跡の金属学的調査では、大槻鉱跡^[14]・殿瀬山遺跡^[15]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。錆化鉄であるが炭素量（C）は鉄鉄レベルの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（FeO）14.84%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）54.70%の割合であった。錆化鉄主体のため酸化第2鉄が高値である。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）は11.60%であった。これは錆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（TiO₂）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（鎌？）

- (1) 肉眼観察：鎌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形成した製品である。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、何れも鍛打による延伸度は弱い。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關しては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%ナイトルで腐食した組織である。フェラ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) ピッカース断面硬度：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、Si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%MnO-6.2%FeO-24.6%SiO₂-6.8%Al₂O₃、25が53.4%MnO-6.2%FeO-22.2%SiO₂-6.3%Al₂O₃、27が54.2%MnO-5.7%FeO-26.6%SiO₂-4.6%Al₂O₃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%MnO-6.7%FeO-1.3%SiO₂-55.1%Al₂O₃であった。

この暗色介在物は非品質であるが、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)₂SiO₄)、(注11)後者はスピネル鉱物((Mn, Fe)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)

- (1) 内眼観察: 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) 観微鏡組織: Photo.17①-⑦に示す。①は横方向の断面で鍛打により延伸傾向が弱く表わされた鉄中非金属介在物である。素地の暗黒色ガラス質中に白色粒状結晶ヴァタイトが晶出する。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、銹化が進行していく定かでない。
- (4) ピッカース硬度: 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101 Hv、⑥は試料下半のフェライト部分で、硬度値は120 Hv、⑦は試料下端の亜共析組織部分で硬度値は115 Hv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80 Hv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%FeO-34.8%SiO₂-8.4%Al₂O₃-5.5%CaO-5.5%K₂Oであった。珪酸塩に微細なファイアライト(Fayalite:2FeO·SiO₂)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%FeO、30が95.1%FeOであった。共にウスタイト (Wüstite : FeO) 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%FeO-27.8%SiO₂-5.5%Al₂O₃-4.0%CaOであった。ファイヤライト (Fayalite : 2FeO·SiO₂) に近い組成である。

T O T - 31 : 鉄器 (棒状)

- (1) 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。表層は錯謬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。鋸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。折返し鉛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) 薦微鏡組織：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%ナイト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) ピッカース断面硬度：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121 Hv、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207 Hv、⑤はほぼ全面パーライトの共析組織で硬度値は273 Hv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%FeO-3.9%TiO₂-3.4%Al₂O₃であった。ウスタイト (Wüstite : FeO) 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%FeO-15.1%TiO₂-14.2%Al₂O₃-2.9%V₂O₃-1.3%MgOであった。ウルボスピネル (Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂) とヘーシナイト (Ilercynite : FeO·Al₂O₃) 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%FeO-2.8%TiO₂-2.1%Al₂O₃-1.5%V₂O₃-1.7%MgOであった。こちらもウスタイト (Wüstite : FeO) 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。

T O T - 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上砂に覆われ

る。側面には2cmの大穴が付着している。特殊金属探知器の特L(☆)で反応があり、金屬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。内部の錆化鉄部(白色部)はごく僅かで、木炭組織がそのまま残存する。
- (3) 視微鏡組織: 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錆化鉄が埋めている。こうした錆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錆化鉄部である。

T O T - 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) 視微鏡組織: 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%に留まつた。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。^{註7)} 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%、灰中構(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(TiO_2 : 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、近世たら跡の出土砂鉄(TiO_2 : 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(Uvöspinel: $2FeO \cdot TiO_2$)、ファイヤライト(Fayalite: $2FeO \cdot SiO_2$)に加え、一部ヴェスタイト(Wüstite: FeO)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。ただし合鉄鉱滓・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: $FeO \cdot TiO_2$)、ルチル(Rutile: TiO_2)の晶出が多数確認されるため、ガス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〉合鉄鉱滓・鉄塊系遺物は主に過共析組織-亜共晶組成白鉄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、鉄鉱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。

く4) 炉壁片は炉頂部破片 (TOT-1) より、か¹下部破片 (TOT-2) の方が高い耐火性を示した。近世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。

く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屬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合鉄が内津は鍛冶滓組成 (鉱物相 α スチタイト、化学組成 $0.71\% \text{TiO}_2$ 、 $0.04\% \text{V}$ 、 $0.14\% \text{Mn}$) 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。更に砂鉄中に多數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ない。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。

く6) 調査した鉄器片3点のうち、鎌状鉄器 (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。残る模状鉄器 (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品出しており、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巻き状の成形痕が残る人口径羽口は、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世紀初と報告されており、製鉄炉の炉容拡大に伴う大鍛冶（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「島根県飯石郡頃原町梅ヶ迫製鉄遺跡の調査概要」「平成12年度たら研究会大会資料」たら研究会 2000

(3) 前掲注(1)・(2)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・諫訪兼美『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_3O_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〔磁鐵鉱〕 (Magnetite : Fe²⁺+Fe³⁺+O₄)、クロム磁鐵鉱 (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450~500 Hv、ファイヤライトは600~700 Hv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、600 Hv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 (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700 Hv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) の品出は Fe-TiO₂二元平衡状態図から高温化操作が推定される。

(7) 第5章 鉱物各論 E. 磁鐵鉱 (magnetite)

磁鐵鉱は広義のスピネル類に属し、FeO·Fe₂O₃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 : 2FeO·TiO₂) 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鐵鉱 (Titanomagnetite) とよぶ。

(8) 山本科学工具研究社『標準顯微鏡組織 第1類炭素鋼・鉄鉱編 改訂6版』 1987共晶黒鉛鉄 (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バーライトの混合したものとがある。

この鉄鉄の製造法としては(1)Se, Te, Bi, Tiなど特殊元素を添加する方法、(2)真空状態に近い減圧のもとに溶解、鋳造する方法、(3)鉄鉄浴湯に特殊成分のスラグ、例えばCaO, MgO, Al₂O₃, TiO₂などを接触させる方法、(4)高温溶解による方法、(5)急冷凝固させる方法などがある。

(9) 大澤正己・鈴木瑞穂「大槻鉢跡出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査」『丸山遺跡・大槻鉢跡』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

(11) 前掲注(4) 第4章 主要な造合鉱物 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価のイオンだけが占められ、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 (普通かんらん石), 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

Table. 1 供試材の履歴と調査項目

符号	油鉛名	出土位置	遺物名称	指定年代	古測年		マテル板	アルコ	調査項目	参考		
					大きさ (mm)	重量 (g)			X線回折	EPMA	化学分析	耐火度
T.O.T-1	戸井谷	F-7、A	炉盤	中世	158×125×87	132.6	2	なし	-	○	○	-
T.O.T-2	戸井谷	F-7、A	炉盤	-	159×131×94	170.9	4	なし	-	○	○	-
T.O.T-3	戸井谷	C-6、A	羽口	-	95×90×70	409.0	1	なし	-	○	○	-
T.O.T-4	戸井谷	E-11、A	炉内渣(含鉄)	-	167×94×59	1014.8	8	特L(△)	-	○	○	-
T.O.T-5	戸井谷	F-6、A	炉内渣(含鉄)	-	241×128×116	5260.0	11	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-6	戸井谷	G-8、A	流出渣	-	250×93×74	1225.0	8	L(●)	○	○	○	-
T.O.T-7	戸井谷	砂利埋まり	砂鉄	-	-	20.0	4	なし	○	○	○	-
T.O.T-8	戸井谷	E-3、A	砂利焼結体	-	34×20×17	25.8	7	なし	○	○	○	-
T.O.T-9	戸井谷	G-9、A	マグナタイト系鉱物	-	53×43×20	74.1	7	なし	○	○	○	-
T.O.T-10	戸井谷	F-8、A	工具焼結物	-	-	28.9	5	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-11	戸井谷	G-9、A	流出渣	-	135×60×35	432.4	3	なし	○	○	○	-
T.O.T-12	戸井谷	G-6、A	炉内渣	-	164×125×35	828.5	1	なし	○	○	○	-
T.O.T-13	戸井谷	G-6、A	流出渣	-	281×165×57	3100.0	2	なし	○	○	○	-
T.O.T-14	戸井谷	E-3、A	炉内渣(含鉄)	-	95×105×60	776.0	3	なし	○	○	○	-
T.O.T-15	戸井谷	G-10、A	炉内渣(含鉄)	-	60×18×31	136.8	6	H(○)	○	○	○	-
T.O.T-16	戸井谷	E-5、A	炉内渣(含鉄)	-	58×43×39	87.3	6	M(○)	○	○	○	-
T.O.T-17	戸井谷	F-7、A	炉内渣(含鉄)	-	33×27×17	19.9	4	L(●)	○	○	○	-
T.O.T-18	戸井谷	F-8、A	炉内渣(含鉄)	-	48×12×27	68.6	4	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-19	戸井谷	C-10、A	炉内渣(含鉄)	-	48×38×23	50.9	4	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-20	戸井谷	G-9、A	砂利焼結物	-	41×52×15	69.6	7	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-21	戸井谷	F-5、A	砂利焼結物	-	42×57×37	131.6	6	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-22	戸井谷	F-4、A	炉内渣(含鉄)	-	63×51×29	150.2	6	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-23	戸井谷	G-9、A	炉内渣(含鉄)	-	137×92×25	285.8	9	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-24	戸井谷	C-10、A	炉内渣(含鉄)	-	118×110×38	891.1	10	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-25	戸井谷	E-6、A	炉内渣(含鉄)	-	130×115×74	1575.2	3	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-26	戸井谷	トレンチ	炉内渣(含鉄)	-	49×37×72	1333.8	8	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-27	戸井谷	G-8、A	砂利焼結物	-	59×48×20	118.5	7	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-28	戸井谷	E-8、A	砂利焼結物	-	112×40×22	139.9	8	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-29	戸井谷	鉛(?)	鉛器	-	67×28×13	43.2	3	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-30	戸井谷	F-10、A	鉛器(棒状)	-	47×21×16	11.5	3	L(●)	○	○	○	-
T.O.T-31	戸井谷	E-5、A	鉛器(棒状)	-	54×18×16	15.9	4	L(●)	○	○	○	-
T.O.T-32	戸井谷	A-5、A	黒鉛化木炭(含鉄)	-	63×54×34	84.6	9	特L(△)	○	○	○	-
T.O.T-33	戸井谷	木炭	-	-	小計33.8	-	なし	○	○	○	○	-

#413回収

Table 2 供試材の組成

Table 3 木炭の性状

符号	油路名	油物名称	油室年代	灰分	揮發分	水分	F.C	T.S	含水量 (cm ³ /g)	灰中P
TOT-33	三井谷	木炭	中世	6.93	36.96	14.97	56.21	0.002	5580	0.04

Table 6.4 出土遺物の調査結果のまとめ

件号	遺物名	出土位置	遺物名	固 定 破 摧				固 定 塵 四				所 在
				Tai Fe Mn Cu	V Fe Mn Cu	Tai Fe Mn Cu	V Fe Mn Cu	Tai Fe Mn Cu	V Fe Mn Cu	Tai Fe Mn Cu	V Fe Mn Cu	
TOT-1 戸井塗 F-7.3	丹波	中世	施上土器物やや高品質な(熱处理物はごく少い)	1.67	1.46	1.02	0.33	<0.01	0.09	0.09	0.09	140°C
TOT-2 戸井塗 F-7.3	伊智	新:施上土器物質高、表面ガラス質滑らか	1.57	2.14	0.36	0.01	0.02	0.06	0.06	0.06	0.06	130°C, 140°C
TOT-3 戸井塗 C-6.3	口	施上土器物質片在、ガラス質等、高品質な(熱处理物はごく少い)	2.74	2.50	0.99	0.41	0.01	0.09	0.74	0.01	0.01	140°C
TOT-4 戸井塗 E-1.2	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	62.41	18.89	0.51	1.51	0.1	0.37	15.89	0.01	0.01	140°C
TOT-5 戸井塗 F-6.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	55.93	20.26	0.61	1.37	0.09	0.32	18.26	0.01	0.01	140°C
TOT-6 戸井塗 G-3.7	鬼田井跡	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-7 戸井塗 F-6.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	30.95	7.67	2.69	4.63	0.07	0.59	42.24	0.01	0.01	140°C
TOT-8 戸井塗 E-1.6	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	50.31	34.23	0.67	2.73	0.01	0.01	25.82	0.01	0.01	140°C
TOT-9 戸井塗 G-9.3	マクタネト系植物	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	66.43	76.36	0.24	1.91	0.14	0.48	5.04	0.01	0.01	140°C
TOT-10 戸井塗 F-6.1	工具付陶器	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	68.59	35.13	1.06	1.22	0.1	0.41	5.24	0.01	0.01	140°C
TOT-11 戸井塗 G-3.6	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-12 戸井塗 F-6.1	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	46.19	5.39	2.63	7.37	0.16	0.09	46.01	0.01	0.01	140°C	140°C
TOT-13 戸井塗 G-6.4	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	40.75	4.55	3.12	4.40	0.3	1.43	30.90	0.01	0.01	140°C	140°C
TOT-14 戸井塗 E-3.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	52.18	14.25	1.68	0.71	0.04	0.14	26.45	0.01	0.01	140°C
TOT-15 戸井塗 G-6.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-16 戸井塗 E-5.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-17 戸井塗 F-7.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-18 戸井塗 F-8.4	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-19 戸井塗 G-9.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-20 戸井塗 G-9.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-21 戸井塗 F-5.6	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-22 戸井塗 F-4.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-23 戸井塗 G-9.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	66.15	38.15	0.21	0.19	0.01	0.05	6.26	0.01	0.01	140°C
TOT-24 戸井塗 C-10.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	59.14	23.85	0.86	1.34	0.01	0.33	18.23	0.01	0.01	140°C
TOT-25 戸井塗 E-6.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	57.30	13.45	1.15	1.15	0.01	0.37	14.70	0.01	0.01	140°C
TOT-26 戸井塗 レンチ	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	56.00	4.53	1.10	0.66	0.17	0.85	26.83	0.01	0.01	140°C
TOT-27 戸井塗 E-6.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	69.45	14.43	0.11	0.59	0.06	0.10	1.95	0.01	0.01	140°C
TOT-28 戸井塗 F-6.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	52.58	54.70	0.32	0.34	0.02	0.05	11.6	0.01	0.01	140°C
TOT-29 戸井塗 F-10.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-30 戸井塗 E-5.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-31 戸井塗 F-6.1	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-32 戸井塗 F-10.3	伊智(含鉄)	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT-33 戸井塗 F-10.3	水瓶	溶出:六角形、金属性、フライヒ在	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

R:Reactive (FeO), U:Unreactive (Fe₂O₃), M:Medium (Fe₃O₄), F:Fully Oxidized (Fe₂O₃), P:Partial Oxidized (Fe₃O₄), T:Total Fe (FeO+Fe₂O₃), R:Reactive (FeO/T), M:Medium (Fe₃O₄/T), F:Fully Oxidized (Fe₂O₃/T), P:Partial Oxidized (Fe₃O₄/T), T:Total Fe (FeO/T+Fe₂O₃)

TOT-1

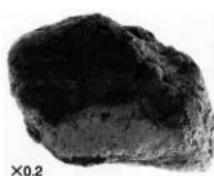
炉壁

① $\times 50$ 炉壁胎土:

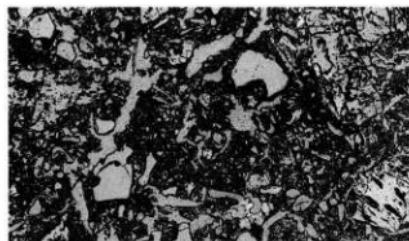
粘土鉱物は熱影響を受けてやや

非晶質化する

胎土中に石英・長石粒多数混在



$\times 0.2$



TOT-2

炉壁

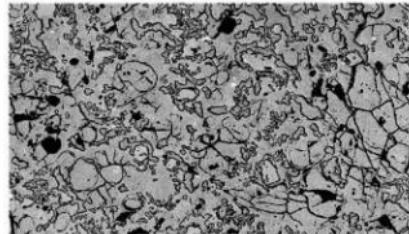
② $\times 50$ 炉壁胎土:粘土鉱物は非
晶質化する 石英・長石粒:外周
部溶融

③ $\times 100$ ④ $\times 400$ 内面表層:黒色ガ
ラス質洋

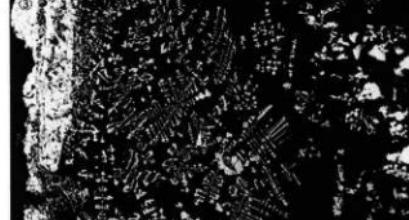
多角形結晶 白色部:マグネタイト
暗色部:ウルボスピニエル



$\times 0.3$



⑤



⑥



TOT-3

羽口

⑤⑥ 外面表層ガラス質洋

⑤ $\times 400$ 白色部:微小金属鉄粒

周囲:ファイライト晶出

⑥ $\times 200$ 砂鉄粒子痕跡

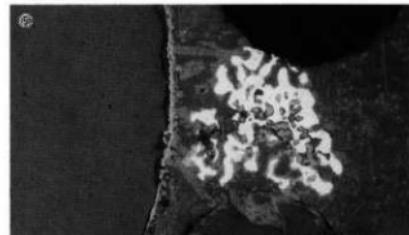
⑦ $\times 100$ 羽口胎土:粘土鉱物非晶
質化、石英・長石粒多数混在

中央:製錬漆片混入

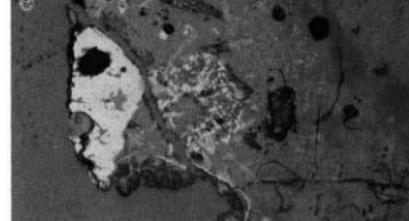
ウルボスピニエル・ファイライト



$\times 0.5$



⑦



⑧

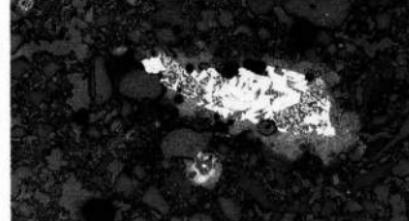


Photo.1 炉壁・羽口の顕微鏡組織

TOT-4

炉底塊(含鉄)

①x100 no etch

白色部:微小金属鉱散在

津部:ウルボスピニル・

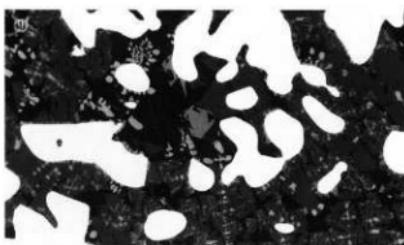
グストタイト・ファイライド

②③ナイトル-etch

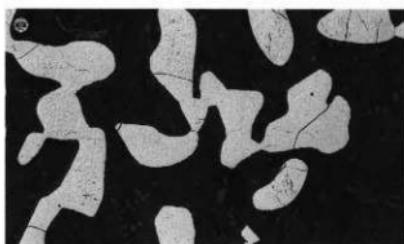
②x100金属鉄:フェライト

③x200硬度圧度:77Hv

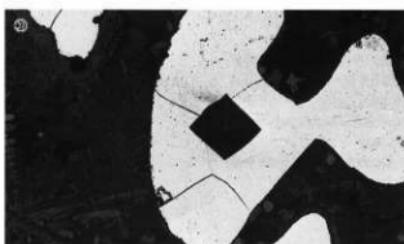
フェライト



④



⑤



TOT-5

炉底塊(含鉄)

④x100津部:ウルボスピニル・ファ

イヤライド

⑤~⑦ナイトル-etch

⑤⑥x100白色部:金属鉄:フェラ

イト

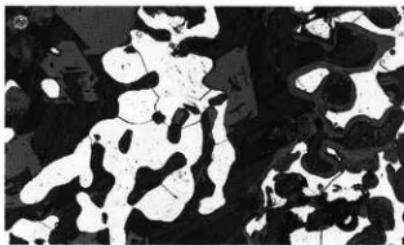
⑦⑧x200硬度圧度:

⑦80Hv、フェライト

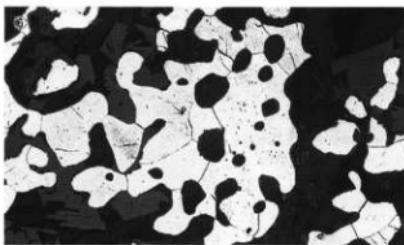
⑧660Hv、ウルボスピニル



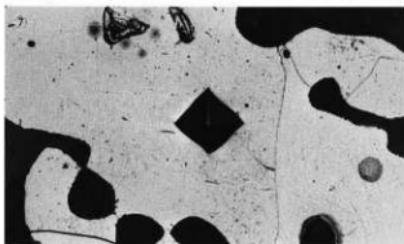
⑧



⑨



⑦



⑩

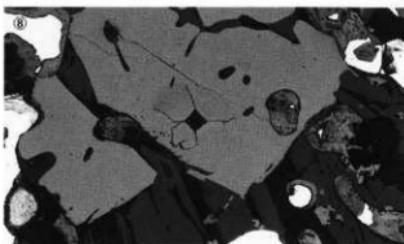


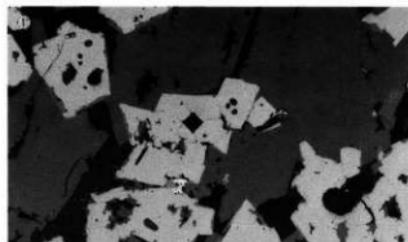
Photo.2 炉底塊の顕微鏡組織

TOT-6

流出孔溝

①x200硬度圧痕:763HV

ウルボスピネル+ファイアライト



TOT-7

砂鉄

②~⑦x100中央:砂鉄粒子

周囲:錆化鉄・津片散在

⑤⑥x400錆化鉄粒

⑤白鉄組織痕跡

⑥ねずみ鉄組織痕跡

⑦x400粒状津片遺物

⑧x200鋼鉄浮遊片(イルミナイト結晶)

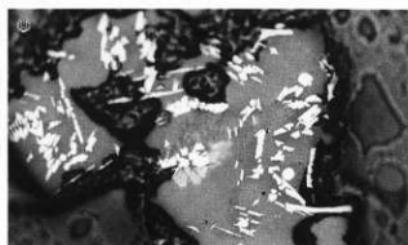
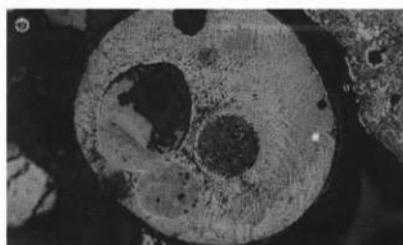
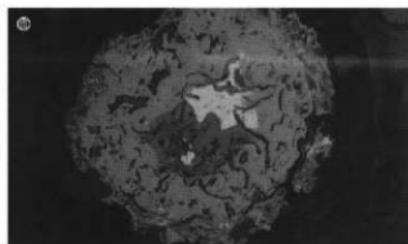
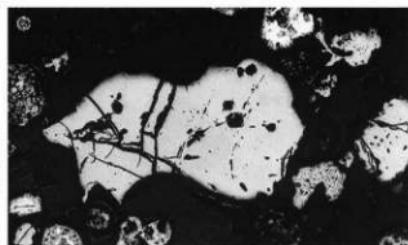
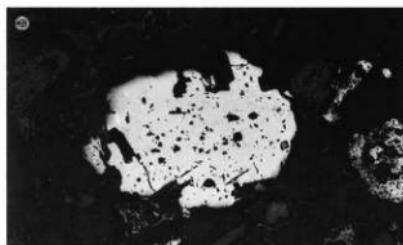
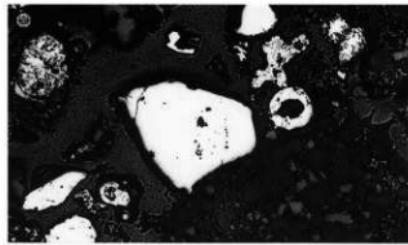


Photo.3 流出孔溝・砂鉄の顕微鏡組織

TOT-8

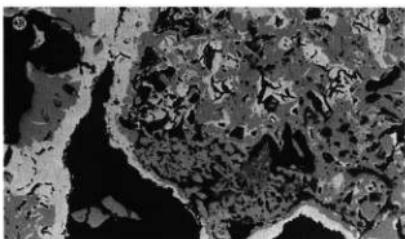
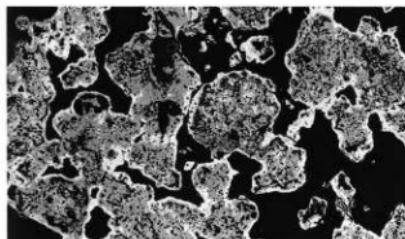
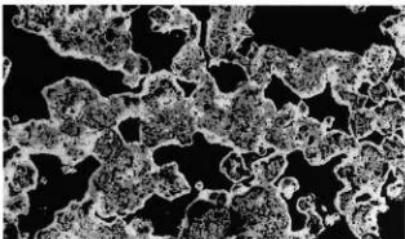
砂鉄焼結塊

①x100砂鉄粒子浮化

白色部:マグネタイト

暗色部:ウルボスビネルか

②x100③x400 同上



TOT-9

マグネタイト系遺物

④x100マグネタイト凝集

⑤x100⑥x400マグネタイト凝集

ヴスタイト、ファイライド少量

⑦⑧x200硬度圧痕:

⑦483Hv、ヴスタイト

⑧573Hv、マグネタイト



X0.8

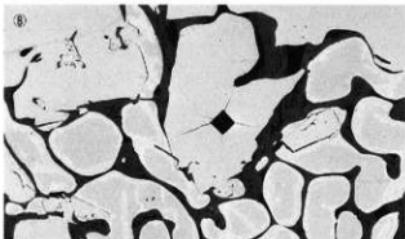
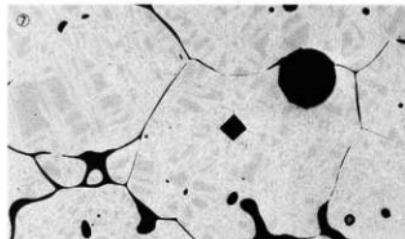
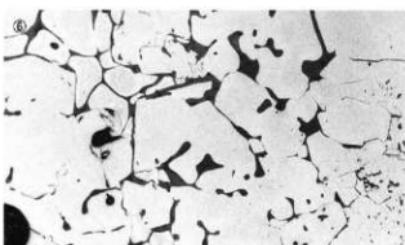
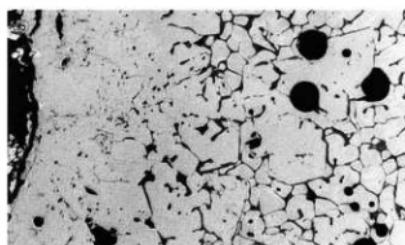
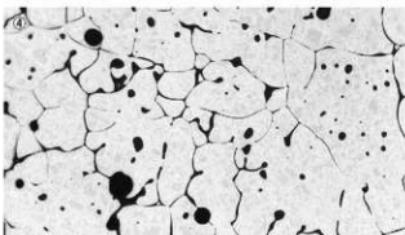


Photo.4 砂鉄焼結塊・マグネタイト系遺物の顕微鏡組織

TOT-10

工具付着津

①x50 ho etch 内側:金属鉄

②x100右上:焼化鉄部

並共晶組成白鉄部組織

周囲:津部、ウルボスピネル

③x100津部:ウルボスピネル

・ワスタイト・ファイヤライト

④⑤x200ナイタルetch 白鉄部

硬度:④586Hv、⑤241Hv

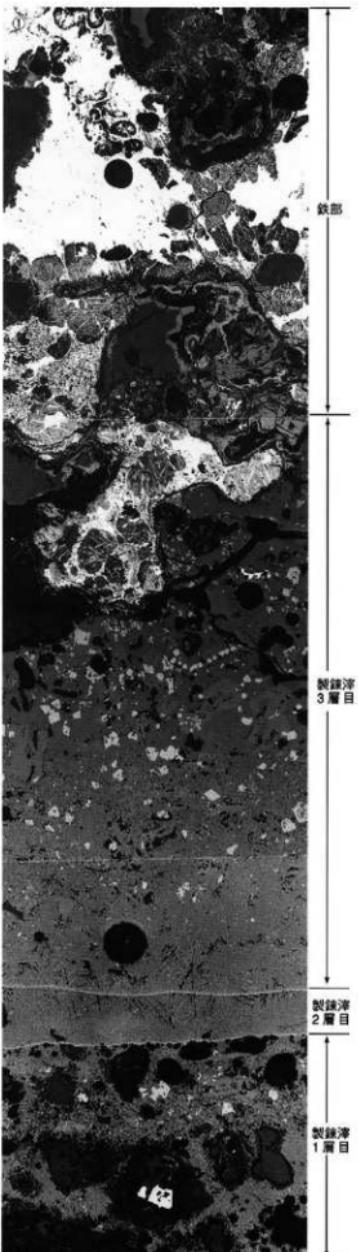
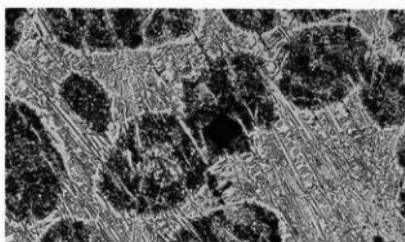
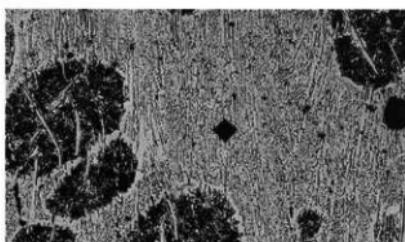
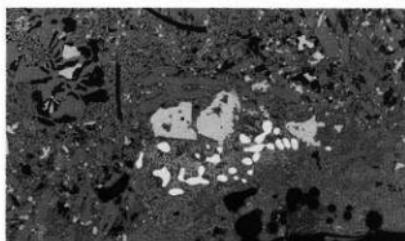
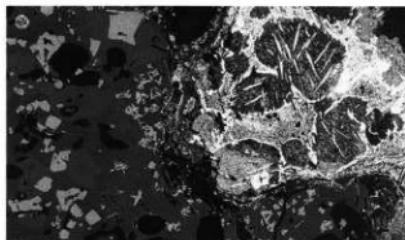
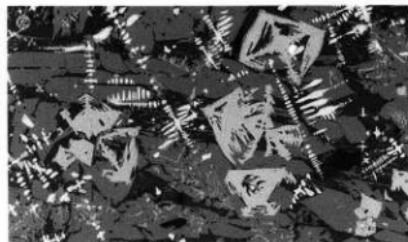
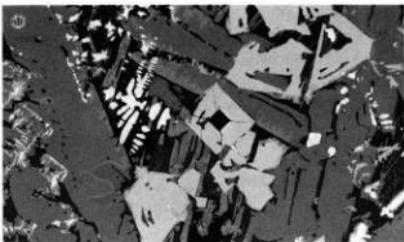


Photo.5 工具付着津の顕微鏡組織

TOT-11

流出孔津

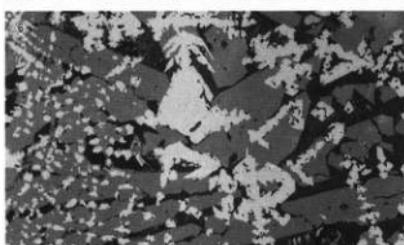
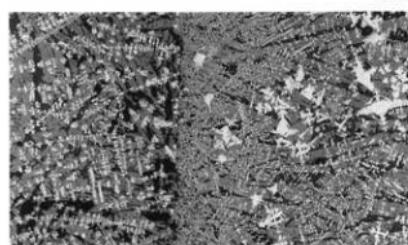
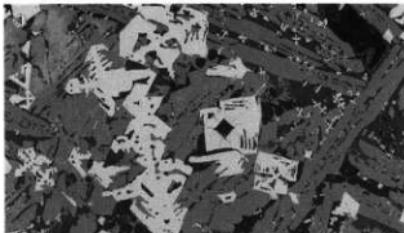
- ①x200 硬度圧痕:706Hv
②x100③x400ウルボスピニル・
ヴァサイト(粒内微細晶出物あり)・
ファイヤライト



TOT-12

流动津

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



TOT-13

流出溝津

- ⑦x400 ウルボスピニル・
ファイヤライト

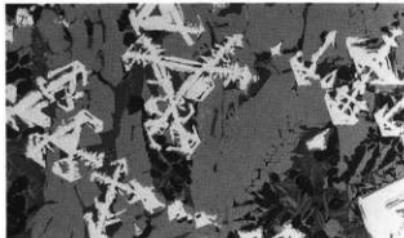


Photo.6 流出孔津・流动津・流出溝津の顯微鏡組織

TOT-14

炉内滓(炉底塊)

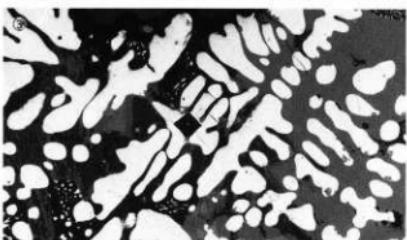
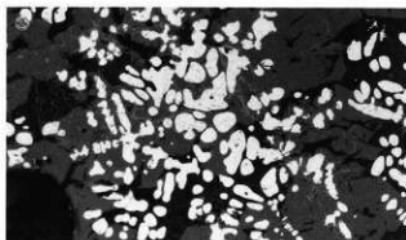
①x100 洋中の錆化鉄部:

亜共析組織痕跡

②x100 ヴスタイル(粒内微小晶)

出物あり)・ファイアライト

③x200硬度圧痕:474Hv



TOT-15

炉内滓(含鉄)

④x100 錆化鉄多数散在

微小金属鉄一部残存

砂鉄粒子痕跡

⑤x100 ⑥x400 左側:側面表

層ガラス質津、右側:砂鉄粒子痕

跡

⑦x100 ⑧x400 洋部:ウルボスピ

ネル・ファイアライト・砂鉄粒子痕

跡

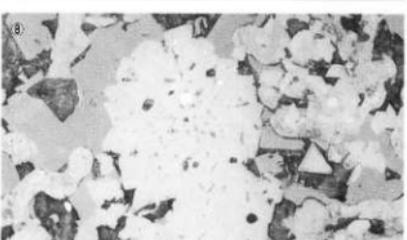
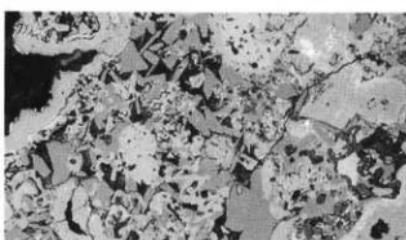
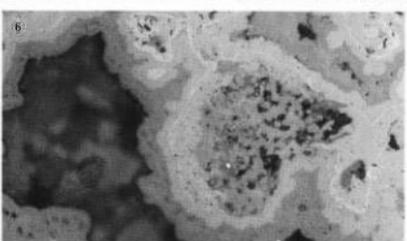
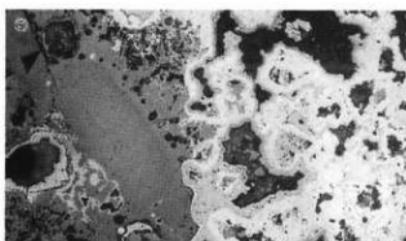
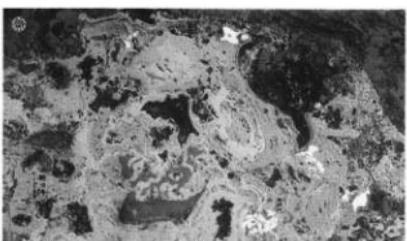


Photo.7 炉内滓の顕微鏡組織

TOT-16

炉内滓(含鉄)

①x400 鉄中非金属介在物

②x100 ③x400 淬部: ヴィストル

(粒内微細品出物あり)・ファイヤ

ライト

④~⑧ナチュルエッチ

④x100 ⑤x400過共析組織

⑥x100 ⑦x400 同上

⑧x200硬度: 6219Hv⑨

322Hv

X0.7

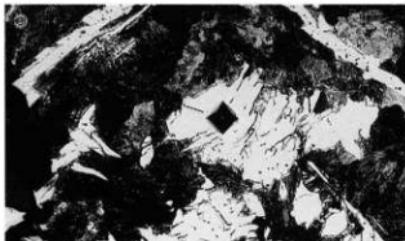
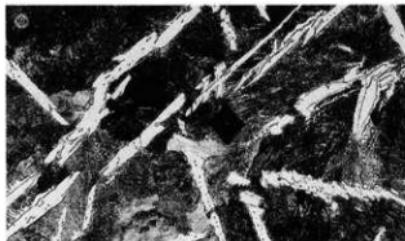


Photo.8 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織

TOT-17

炉内滓（含鉄）

①x200 淬砕：イルミナイトないし

シードブルーカイト

錆化鉄粒散在

②~⑤ナイタルetch

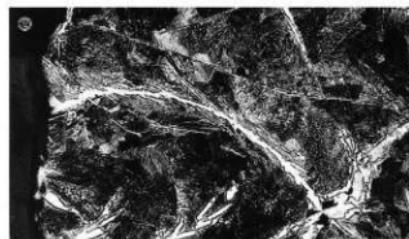
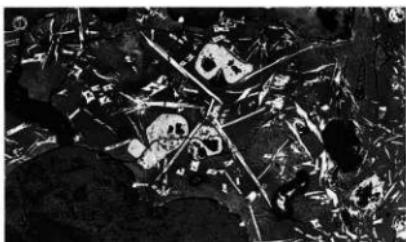
②x100③x400 過共析組織

④x200 硬度圧痕：

④225Hv⑤827Hv



X1.2



TOT-18

炉内滓（含鉄）

⑥x400 中央：鉄中非金属介在

物 硫化鉄(FeS)

⑦⑧ナイタルetch

⑦x100垂共晶組成白鉄

⑧x200 硬度圧痕:263Hv



X0.9

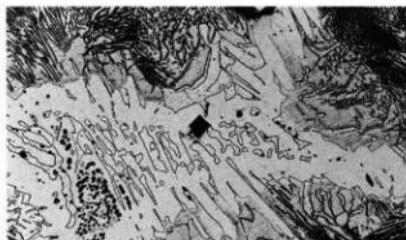
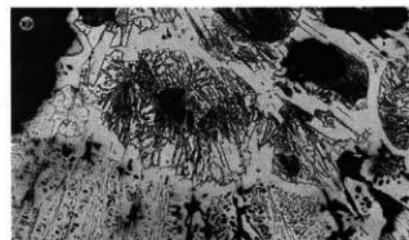


Photo.9 炉内滓（含鉄）の顕微鏡組織

TOT-19

炉内滓(含鉄)

- ①x400 鉄中非金属介在物
- ②x100 ③x400 左側端部: ゲスター
イト・ファイヤライド 中央端部: イ
ルミナイト ④~⑨ナイタルエッチ
- ④x100 莖共析組織 ⑤x100 共析
組織 ⑥x100 透共析組織
- ⑦~⑨x200 硬度圧痕: ⑦
223Hv
⑧238Hv ⑨339Hv



x1.0

①

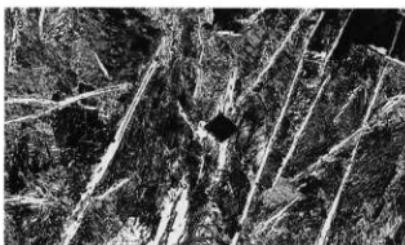
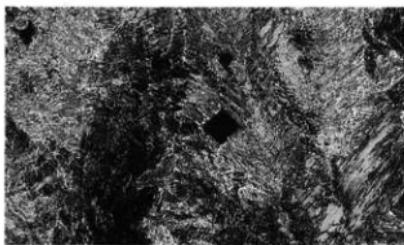
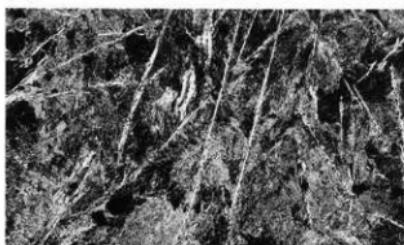
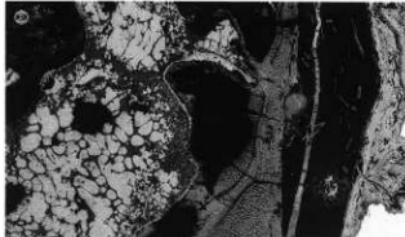


Photo.10 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織

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ナチュアルetch

硬度圧痕:②267HV③631HV

局部分的に片状黒鉛あるものの大

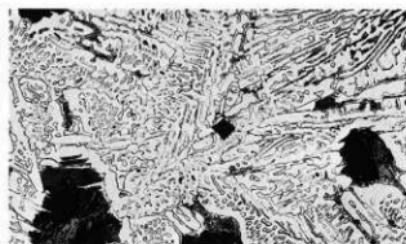
部分は白鉄組織



×0.9



①



TOT-21

鉄塊系遺物

④x200 深部:ウルボスピネル

⑤x200 深部:イルマタイト

微小金属鉄粒散在

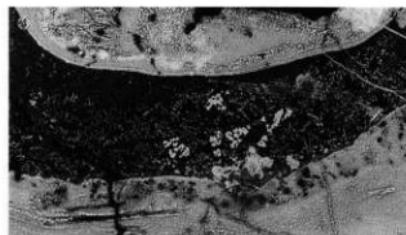
⑥x400 鉄中非金属介在物

⑦⑧x100 垂共晶組成白鉄鉄

⑨x200 硬度圧痕:586HV



×0.8



⑥



Photo.11 鉄塊系遺物の金属学的調査

TOT-22

炉内滓(含鉄)

①x200淬部:ウルボスピニエル・ファ

イヤライト②x400淬部: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亜共晶組成白鉄

鉄

⑧⑨x200 硬度圧痕:⑧226HV

⑨893HV

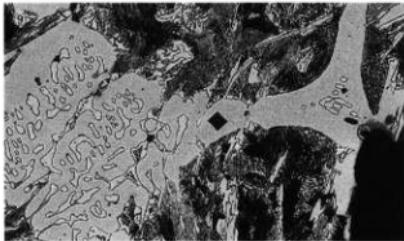
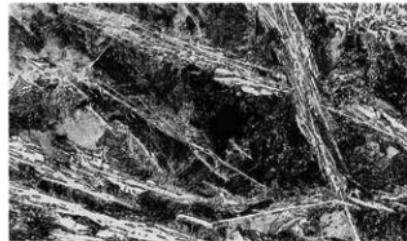
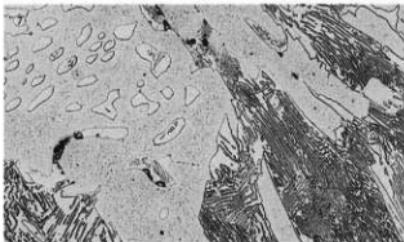
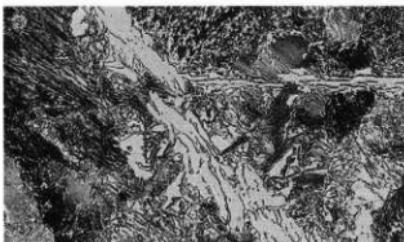
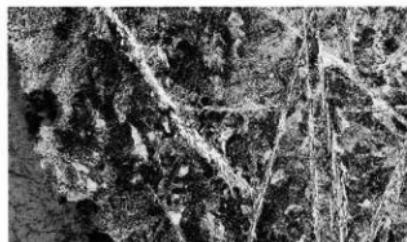
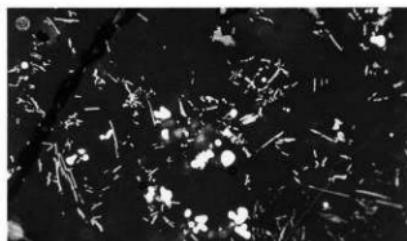


Photo.12 炉内滓(含鉄)の金属学的調査

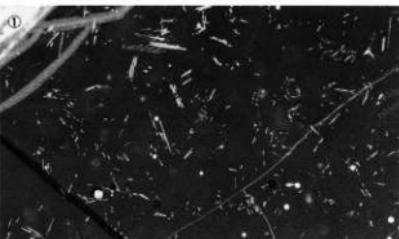
TOT-23

炉内津(含鉄)

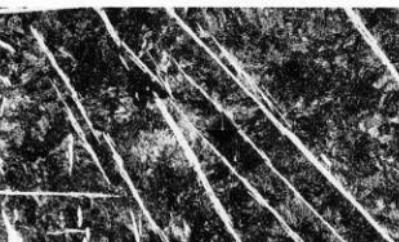
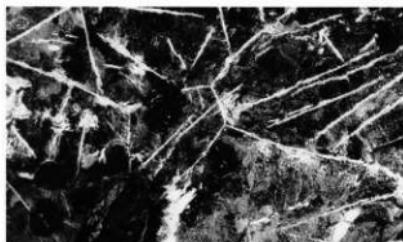
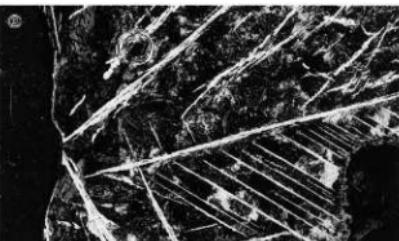
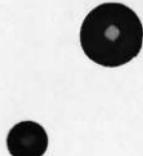
- ①x400 深部:イルミナイト、微小金属鉄粒散在
- ②x400 鉄中非金属介在物
- ③~⑤ ナイタルetch
- ⑥x100 過共析組織
- ⑦x100 同上
- ⑧x200 硬度圧痕:309 Hv



X0.3



②



TOT-24

炉内津(含鉄)

- ⑨x100 ho etch
- 白色部:金属鉄
- 津部:ウルボスピニエル・ファイライト
- ⑩~⑫ナイタル-etch
- ⑭x100 フェライト
- ⑮x200 硬度圧痕:86 Hv



X0.4

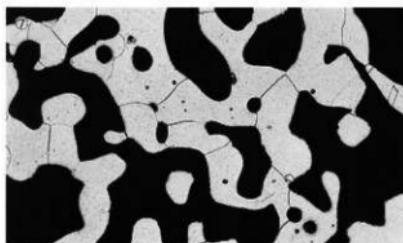


Photo.13 炉内津(含鉄)の顕微鏡組織

TOT-25

炉内滓(含鉄)

①x100 淚部:ウルボスピニル・

ファイアライト

②~④ ナイタル-etch

②x100 フェライト

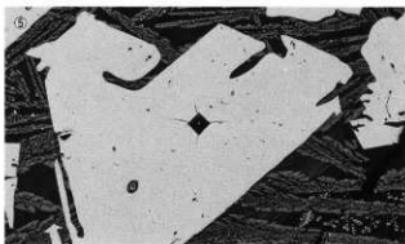
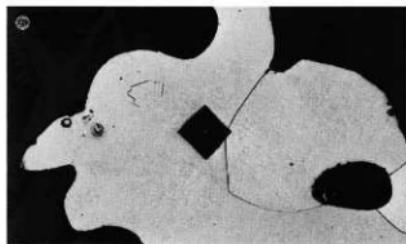
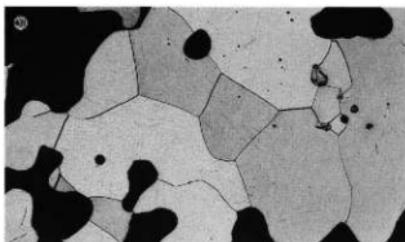
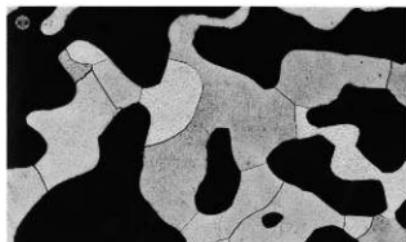
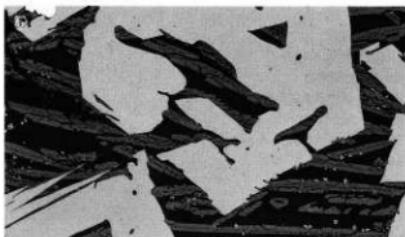
③x100 同上

④x200 硬度圧痕:④122Hv

⑤656Hv



x0.3



TOT-26

炉内滓(含鉄)

⑥x200 硬度圧痕:656Hv

ウルボスピニル+ファイアライト

⑦⑧ ナイタル-etch

⑦x100 フェライト

⑧x200 硬度圧痕:102Hv



x0.3

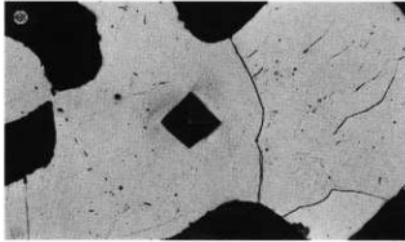
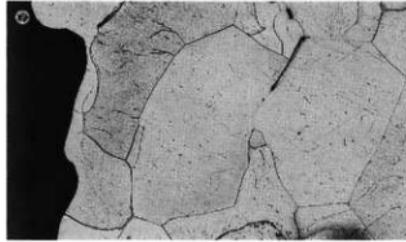
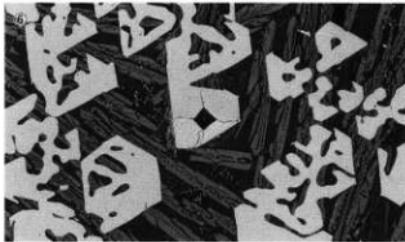


Photo.14 炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織

TOT-27

鉄塊系遺物

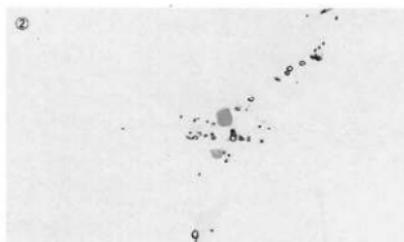
- ①x100 深部:ウルボスピニル
- ②x400 中央:鉄中非金属介在物
硫化鉄 (FeS)
- ③~⑤x200 ナイタル etch
共晶組成白鉄鉄組織
- ⑥688Hv ⑦197Hv ⑧760Hv



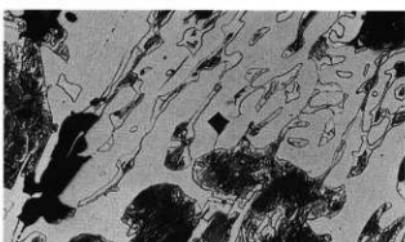
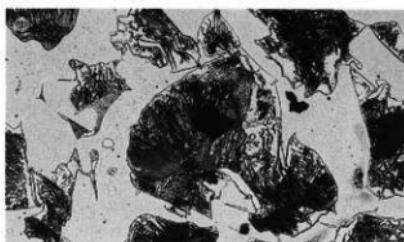
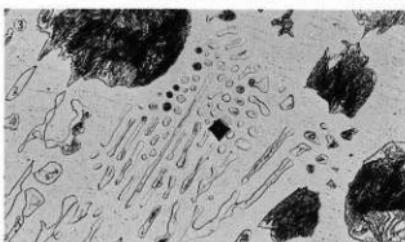
X0.7



②



9



TOT-28

鉄塊系遺物

- ⑥~⑧ 鋳化鉄部
- ⑨x100 厚大晶粒成白鉄鉄組織
痕跡 ⑩x100 片状黒鉄、ねずみ
鉄鉄組織痕跡
- ⑪x100 共晶黒鉄、ねずみ鉄
組織痕跡



X0.4

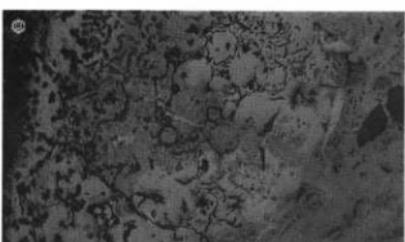
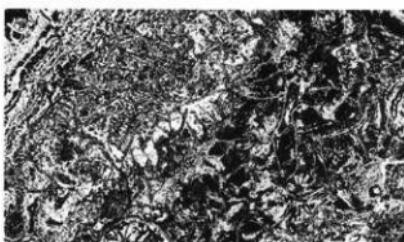


Photo.15 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

TOT-29

鉄器(鎌?)

①～⑤x400 鉄中非金属介在

物

④～⑥ナイトルetch

④x100フェライト・

少量バ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、

⑧131Hv

①

②

③

8

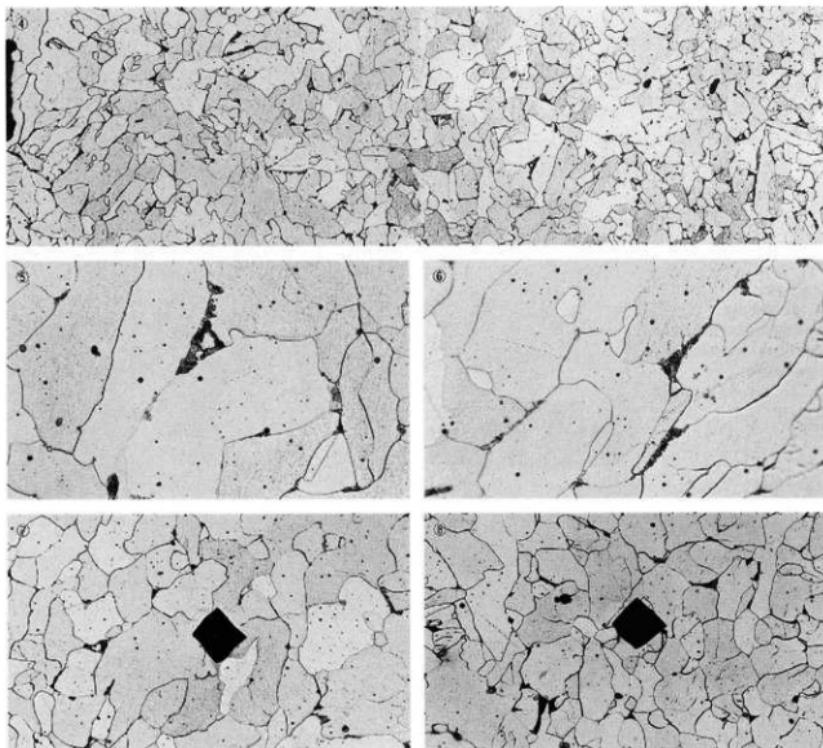


Photo.16 鉄器（鎌？）の顕微鏡組織

TOT-30

鉄器（楔状）

①x400 鉄中非金属介在物

②～⑦ナイタルetch

②x50 異材鍛接合せ鍛入か

上下面表面：亜共析組織

中央：フェライト単相

③x50 ④x100 同上

⑤～⑦x200 硬度圧度：⑤

101Hv

⑥120Hv ⑦115Hv

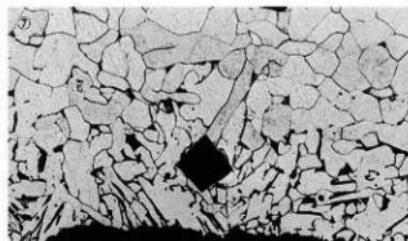
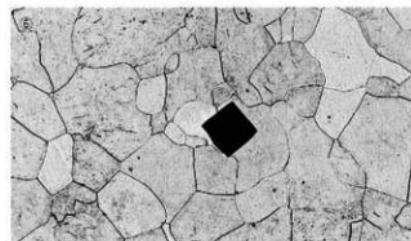
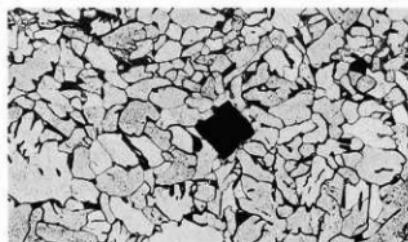
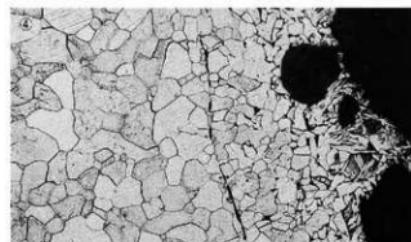
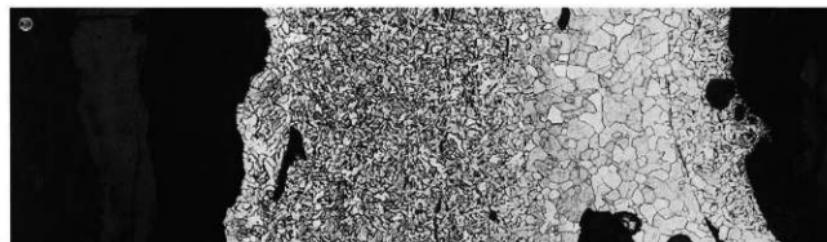
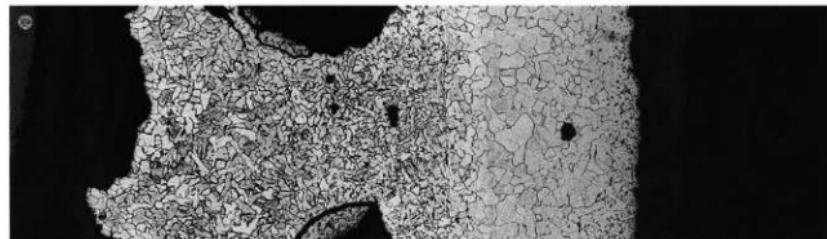
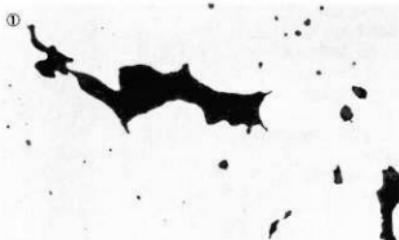


Photo.17 鉄器（楔状）の顕微鏡組織

TOT-31(1)

鉄器(棒状)

①x400 鉄中非金属介在物

②～⑤ ナイタル-etch

②x24.5共析組織～フェライト單

相

③～⑤x200 硬度圧痕:③

121Hv

④207Hv⑤273Hv



①

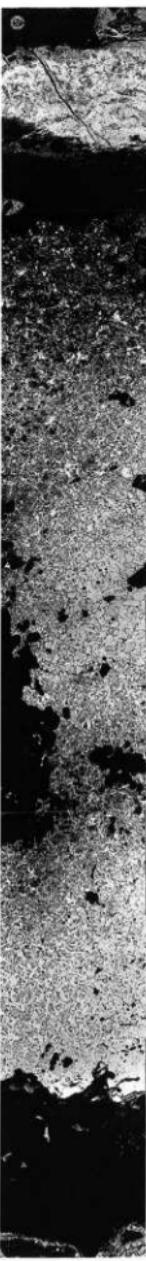
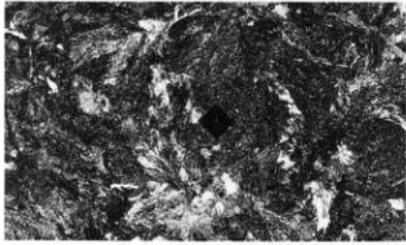
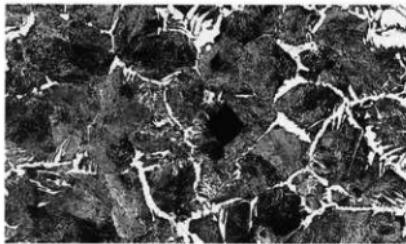
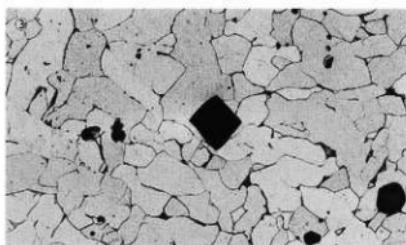


foto.18 鉄器(棒状)の顕微鏡組織

TOT-31 (2)

鉄器(棒状)

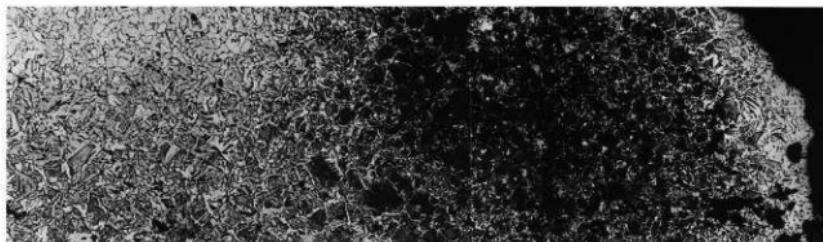
①x400 鉄中非金属介在物

② ナイタルetch

③x50 亜共析組織

左側:低炭素域～右側:高炭素域

～最表層:脱炭



TOT-32 (含鉄)

黒鉛化木炭

③x400側面表層:微小金属鉄粒

散在、周囲は黒鉛化

④x100⑤x400外面側表層:同上

⑥x100⑦x400内部:道管内黒化

鉄(セメンタイト・バーライト痕跡残
存?)

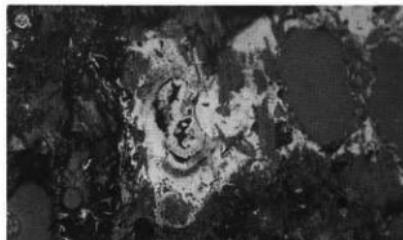
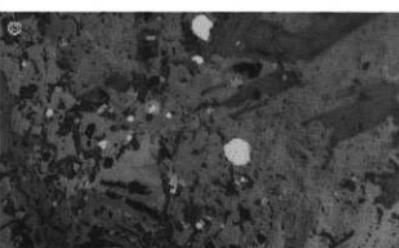
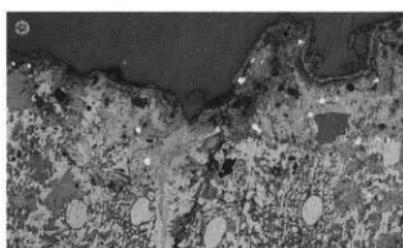
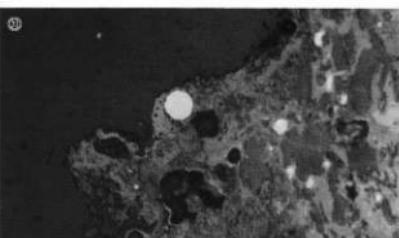
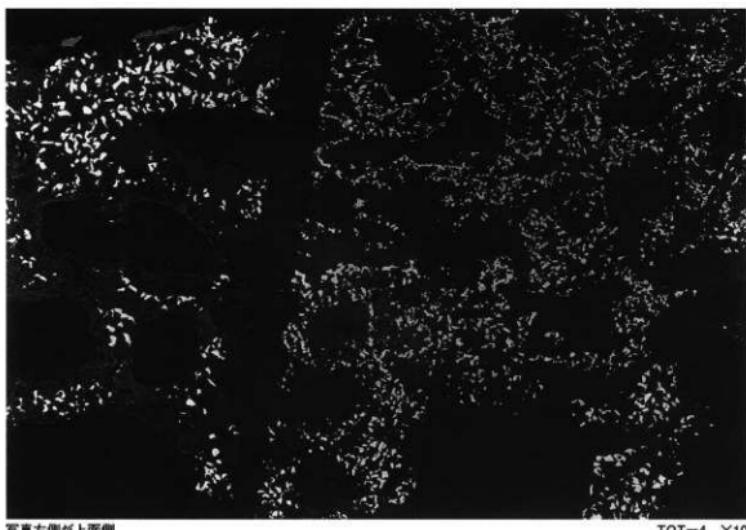
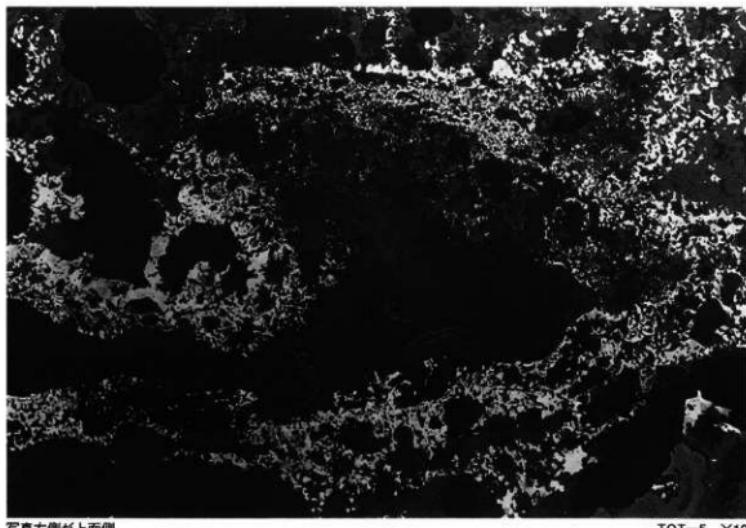


Photo.19 鉄器(棒状)・黒鉛化木炭(含鉄)の顕微鏡組織



写真左側が上面側

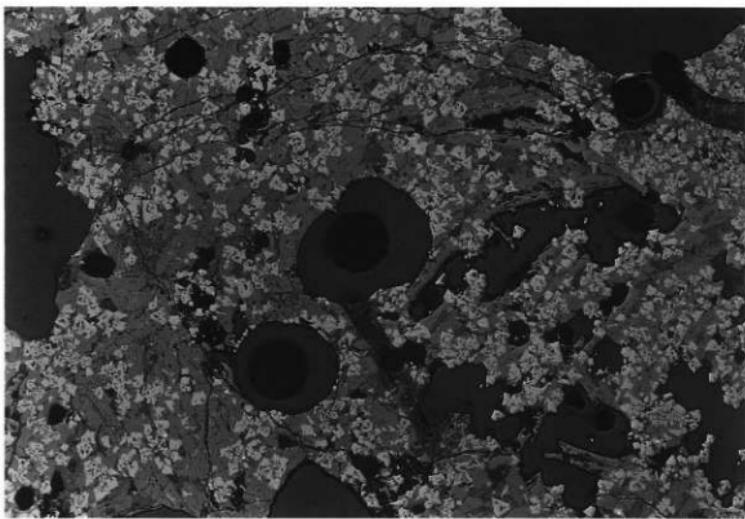
TOT-4 ×10



写真左側が上面側

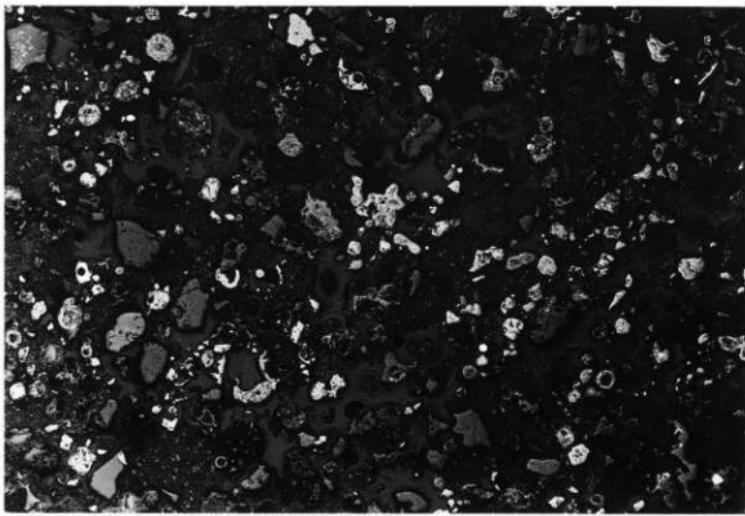
TOT-5 ×10

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)



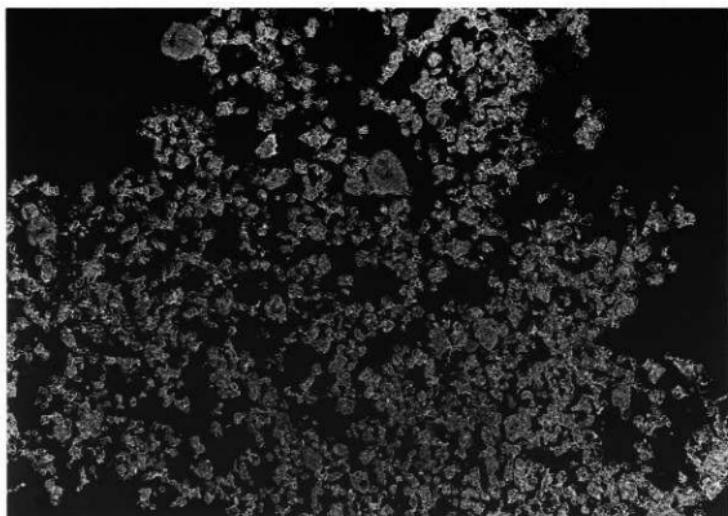
写真左側が上面側

TOT-6 ×20



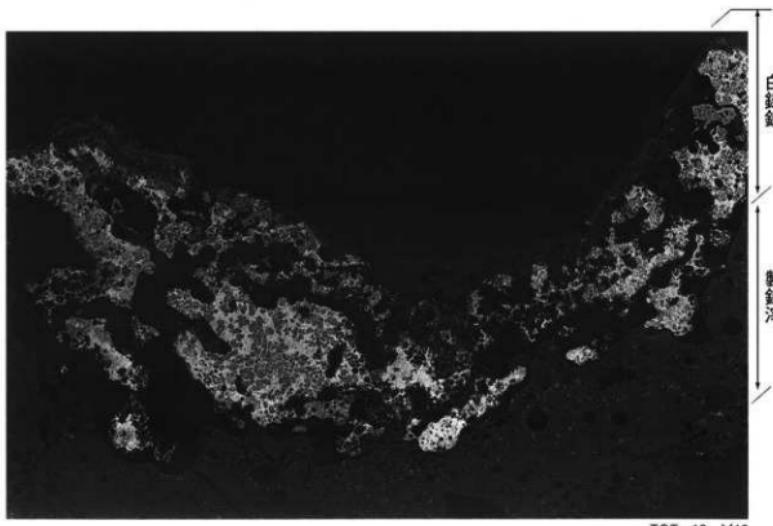
TOT-7 ×20

Photo.21 上段：流出孔津（TOT-6）の顕微鏡組織（×20）
下段：砂鉄（TOT-7）の顕微鏡組織（×20）



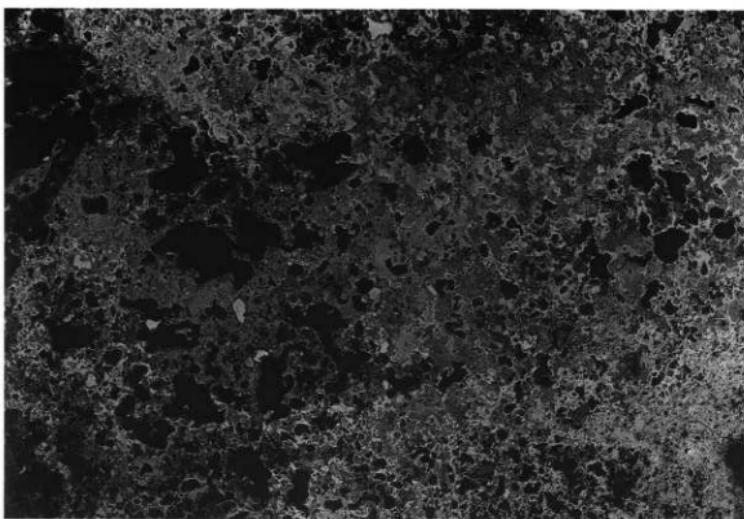
写真左側が上面側

TOT-8 ×20



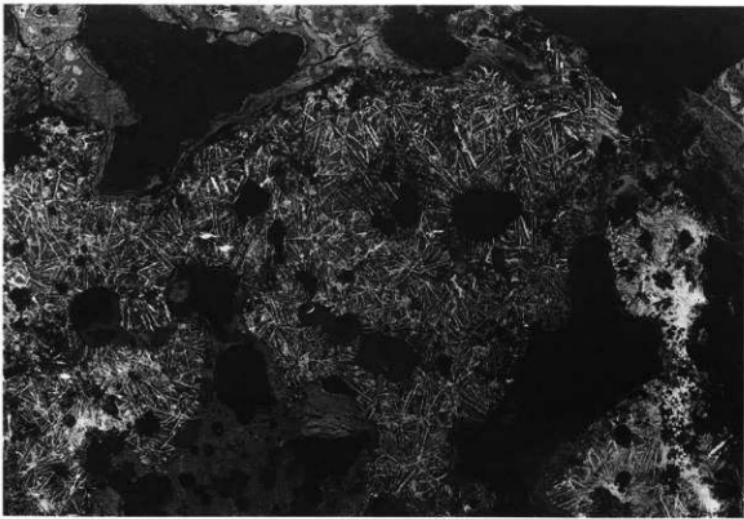
TOT-10 ×10

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



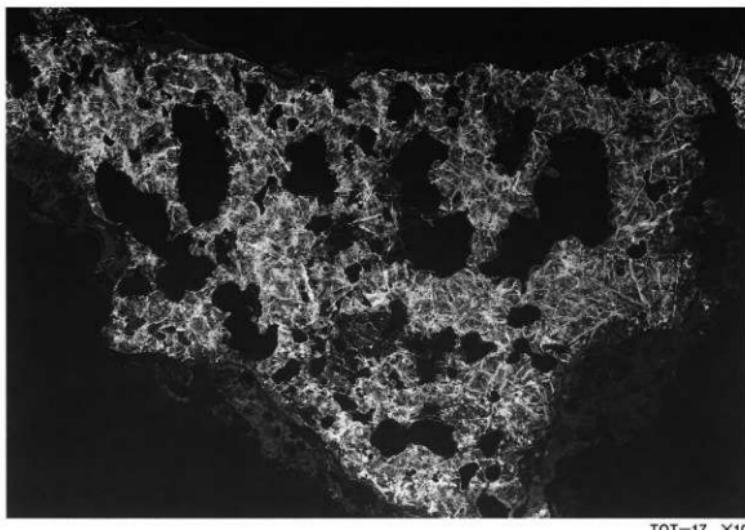
写真左側が上面側

TOT-15 ×10

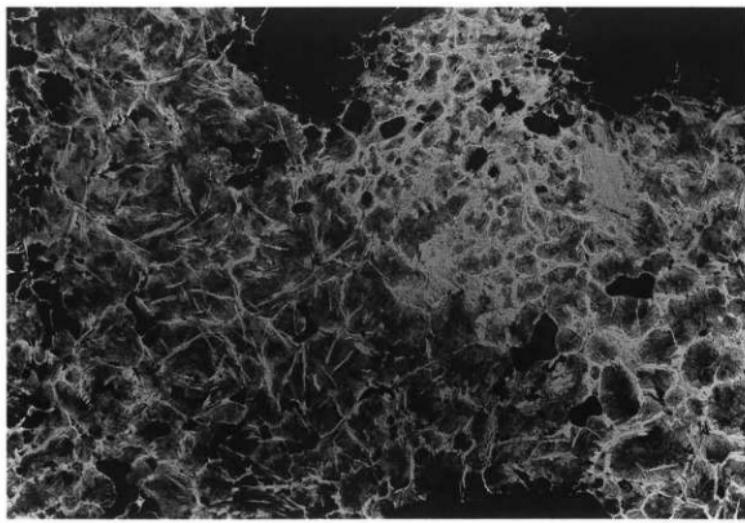


TOT-16 ×10

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)

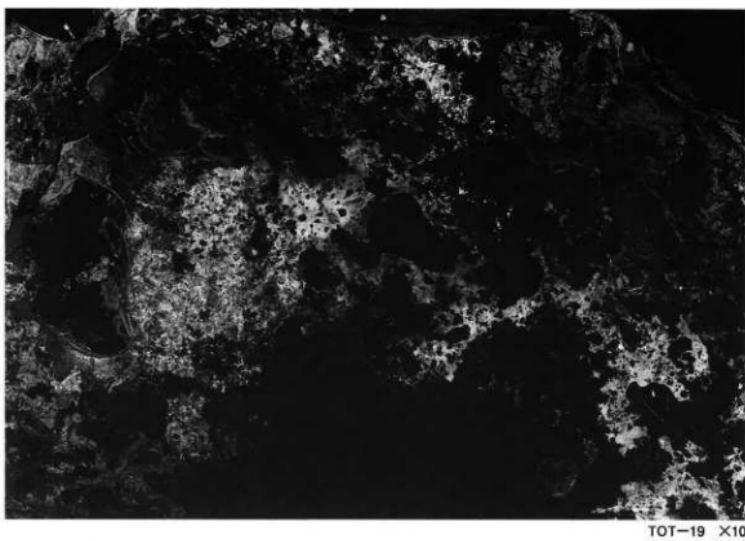


TOT-17 ×10

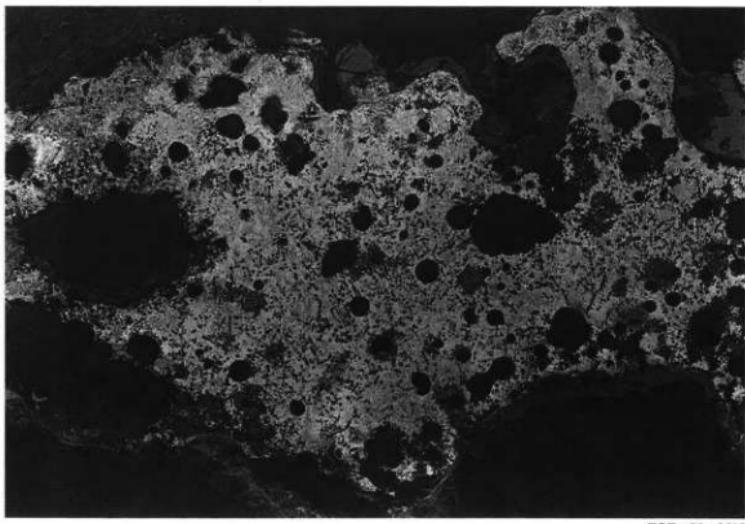


TOT-18 ×20

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)

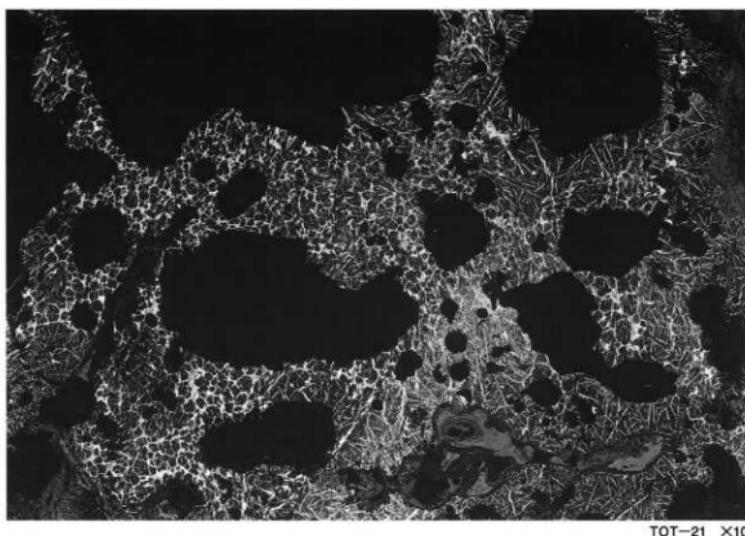


TOT-19 ×10

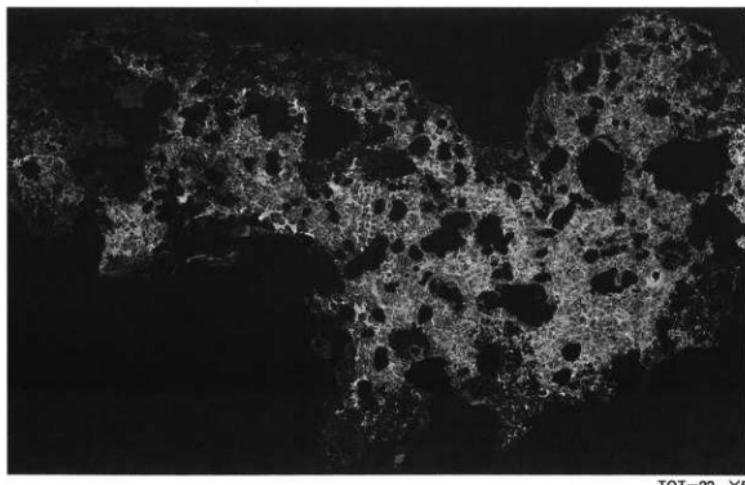


TOT-20 ×10

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)

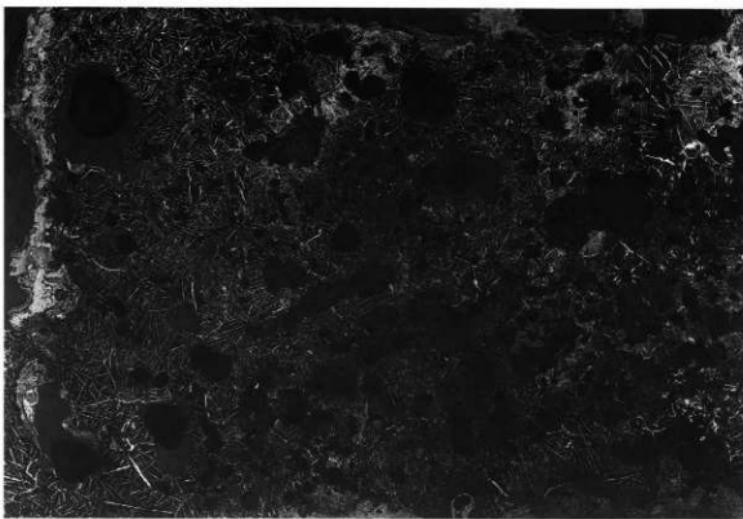


TOT-21 ×10

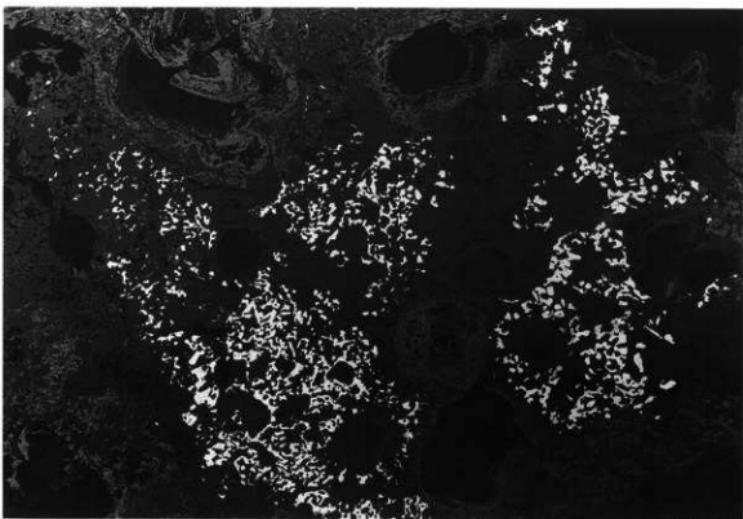


TOT-22 ×5

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)

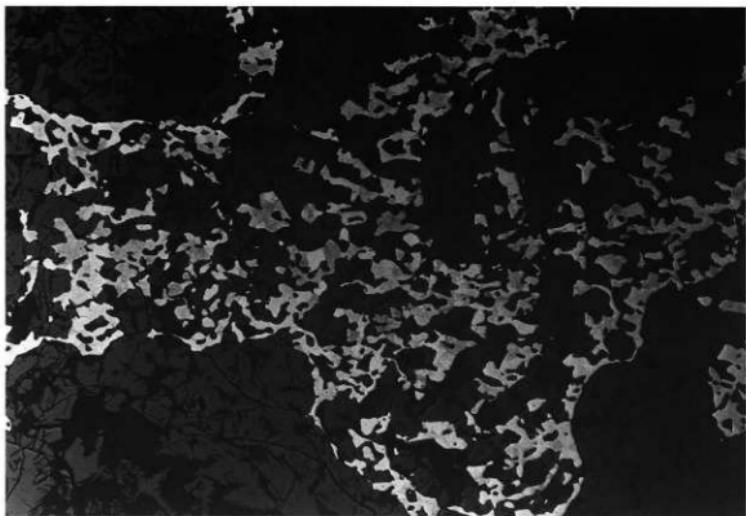


TOT-23 ×10

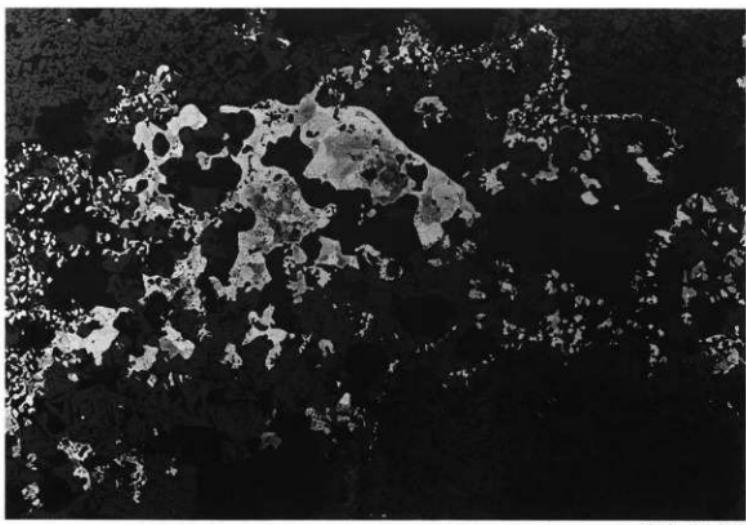


TOT-24 ×10

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)

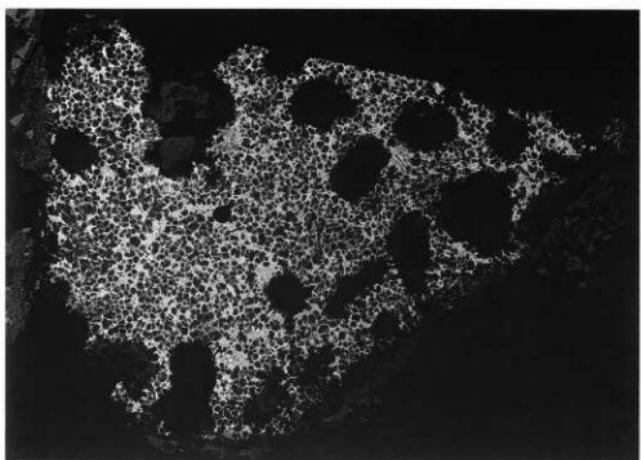


TOT-25 X20



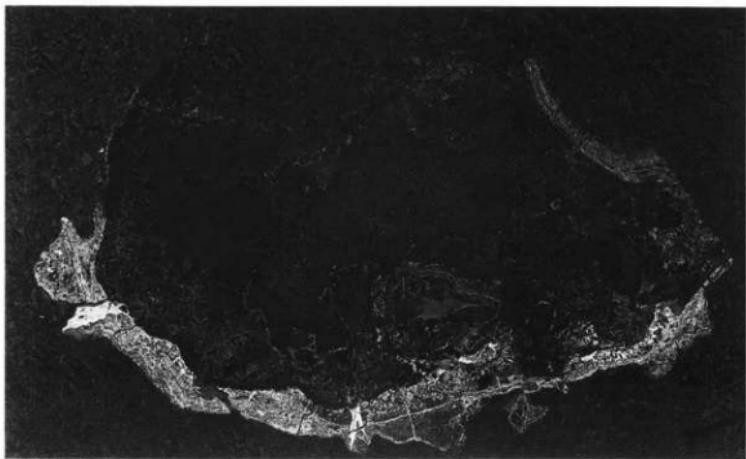
TOT-26 X10

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



写真左側が試料上側面である

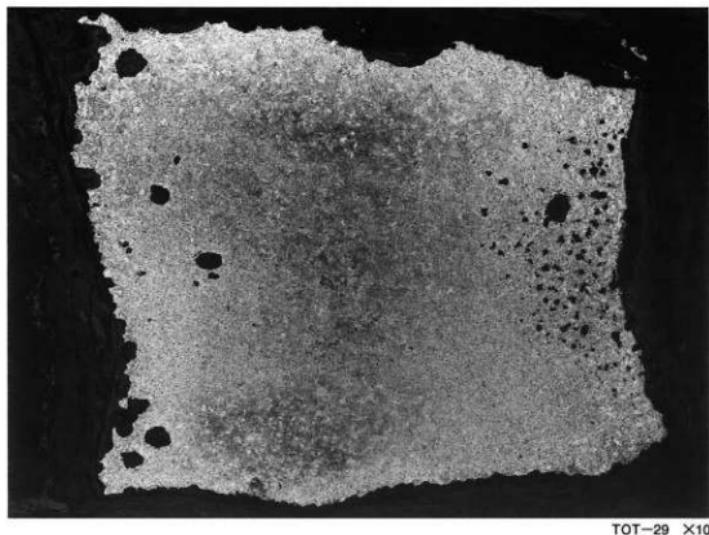
TOT-27 ×10



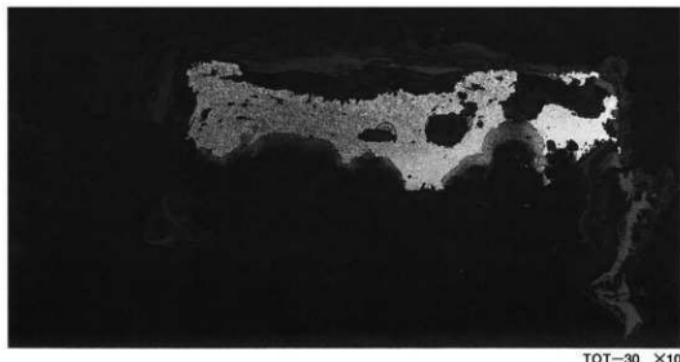
写真左側が試料上側面である

TOT-28 ×10

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



TOT-29 ×10



TOT-30 ×10

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

Photo.19
②~⑤

Photo.18
②



→道管

→道管

→道管
○(環孔材)

TOT-32 ×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）