# 第9節 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

下市築地ノ峯東通第2遺跡は鳥取県大山町に所在する。発掘調査地区からは9世紀後半の須恵器窯 3基と製鉄炉(箱形炉)1基が検出された。当遺跡での鉄生産の実態を検討する目的から、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

表159に示す。製鉄関連遺物計31点の調査を行った。

2-2. 調査項目

(1)肉眼観察

遺物の外観上の観察所見を簡単に記載した。

(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、低 倍率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

滓中に晶出する鉱物及び鉄部の調査を目的として、光学顕微鏡を用い観察を実施した。観察面は供 試材を切り出した後、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000、及びダイヤモンド粒子 の3μと1μで順を追って研磨している。なお金属組織の調査では、3%ナイタル(硝酸アルコール液) を腐食(Etching)に用いた。

(4)ビッカース断面硬度

鉄滓中の鉱物と、金属鉄の組織同定を目的として、ビッカース断面硬度計(Vickers Hardness Tester)を用いて硬さの測定を行った。試験は鏡面研磨した試料に136°の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた窪みの面積をもって、その荷重を除した商を硬度値としている。試料は 顕微鏡用を併用し、荷重は50または100gfで測定した。

(5)EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)調査

化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定を目的とする。

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

(6)化学組成分析

供試材の分析は次の方法で実施した。

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

炭素(C)、硫黄(S)、: 燃燒容量法、燃燒赤外吸収法

二酸化硅素(SiO<sub>2</sub>)、酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化カルシウム(CaO)、酸化マグネシウム(MgO)、 酸化カリウム(K<sub>2</sub>O)、酸化ナトリウム(Na<sub>2</sub>O)、酸化マンガン(MnO)、二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)、酸化ク ロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、五酸化燐(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、バナジウム(V)、銅(Cu)、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>):ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer)法:誘導結合プラズマ発光分光分析。

(7)耐火度

主に炉材の性状調査を目的とする。耐火度は、溶融現象が進行の途上で軟化変形を起こす状態度の 温度で表示される。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℃の速度で温 度1000℃まで上昇させ、以降は4℃に昇温速度を落し、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

木炭組織の観察を目的とする。

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乾燥後、実 体顕微鏡を用い観察を実施した。

(9) 木炭の性状

供試材の分析は次の方法で実施した。

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

SMH2-1:炉壁

(1)肉眼観察:熱影響を受けて、若干内面がガラス質化した炉壁片である。内面表層には被熱砂鉄や 滓が薄く溶着している。下面は粘土塊を積み上げて炉を築いた時の接合面の可能性がある。炉壁胎土 は粘土質で、短く切ったスサを混和している。

(2)マクロ組織:写真39①に示す。炉壁内面表層部である。写真左上の明色部は砂鉄製錬滓が溶着した部分で、素地の暗灰色部は炉壁が溶融して生じたガラス質滓である。

 (3)顕微鏡組織:写真39②③に示す。砂鉄製錬滓部分の拡大である。淡茶褐色多角形結晶はウルボス ピネル(Ulvöspinel:2FeO・TiO<sub>2</sub>)とヘルシナイト(Hercynite:FeO・Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を主な端成分とする固溶体
 (注1)と推測される。さらに白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite:FeO・TiO<sub>2</sub>)、白色粒状結晶ウスタイト(Wustite:FeO)が晶出する。

(4)化学組成分析:表161に示す。炉壁胎土部分の調査を実施した。強熱減量(Ig loss)は3.04%と低めであった。熱影響を受けてかなり結晶構造水が飛散した状態での分析である。鉄分(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は6.65%と高値で軟化性劣化が心配されるが、酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)が26.69%と高値傾向が救いとなる。耐火性には不均衡な成分系といえる。

(5)耐火度:1340℃であった。古代の製鉄炉の炉壁片としては、ごく一般的な耐火性状である。

SMH2-2: 砂鉄

(1)肉眼観察:砂鉄粒子〔磁鉄鉱または含チタン鉄鉱<sup>(住2)</sup>〕はやや磨耗して丸みを帯びたものが多いが、 正八面体の結晶形を留めた粒も交じる。また表面に茶褐色の鉄錆が固着した粒も複数確認される。還 元によって生じたごく微細な金属鉄が銹化したものと推測される。また斜長石や角閃石などの造岩鉱 物や微細な岩石片なども混在する。なお篩による粒度分布では0.1~0.2mmの範囲内に収まる細粒であっ た。

(2)マクロ組織:写真39④に示す。灰褐色粒は砂鉄粒子、暗色粒は脈石鉱物である。反射顕微鏡下で 観察しているため、光を透過する鉱物ほど暗い色調で示される。

(3)顕微鏡組織:写真39⑤・⑥に示す。⑤の左寄りの砂鉄粒内の明白色部は還元によって生じた金属 鉄である。また⑥の下寄りの砂鉄粒子(含チタン鉄鉱)の断面には格子状の離溶組織が確認される。白 色部はチタン鉄鉱(Ilmenite:FeO·TiO<sub>2</sub>)である。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)59.64%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.05%、酸化第1鉄(FeO)19.54%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)63.49%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)8.32%で、このうち塩基性成分(CaO + MgO)は2.23%とやや低めである。砂鉄(含 チタン鉄鉱)に含まれる二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は7.54%、バナジウム(V)が0.25%とやや高めであった。酸化マンガン(MnO)は0.33%、銅(Cu)は<0.01%と低値であった。また二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は 0.36%と高め傾向を示す。

当砂鉄はチタン含有率(TiO<sub>2</sub>)がやや高めであるが、マグネシア(MgO)が低値で、二酸化ジルコニ ウム(ZrO<sub>2</sub>)が高値傾向を示す。この結果から、当遺跡では磁鉄鉱系列の花崗岩起源の砂鉄(低TiO<sub>2</sub>、 MgO、高ZrO<sub>2</sub>)と、安山岩質火山岩起源(高TiO<sub>2</sub>、MgO、低ZrO<sub>2</sub>)砂鉄が混じる河川または海浜で砂 鉄を採取し、製鉄原料としていた可能性が考えられる。

### SMH2-3:砂鉄

(1)肉眼観察:下市川流域の用水路から採取された砂鉄である。製鉄炉(テラス1)採取砂鉄(SMH2-2)と比較すると、磨耗が少なく角張った形状の粒が目立つ、また混在する六角板状の粒はチタン鉄鉱の可能性が高く、高チタン(TiO<sub>2</sub>)砂鉄と推測される。さらに斜長石、角閃石、輝石類などの造岩鉱物も確認されるため、大山火山(安山岩質)起源の噴出物起源の砂鉄の割合が高いと考えられる。粒度分布は0.15~0.075mmでバラツキが大きく細粒である。

(2)マクロ組織:写真40①に示す。灰褐色粒は砂鉄粒子、暗色粒は脈石鉱物である。製鉄炉(SS1)採 取砂鉄(SMH2-2)と比較すると、粒径にばらつきがあり角張った形状の粒が多い。

(3)顕微鏡組織:写真40②・③に示す。②・③の中央は含チタン鉄鉱である。断面に格子状の離溶組織が確認される。

(4)化学組成分析:表172に示す。全鉄分(Total Fe)53.11%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.46%、酸 化第1鉄(FeO)21.27%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)51.64%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)10.25%で、このうち塩基性成分(CaO + MgO)は2.67%であった。砂鉄(含チタン 鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は14.55%と高値で、バナジウム(V)0.25%である。また酸化マンガン (MnO)0.34%、銅(Cu) < 0.01%であった。二酸化ジルコニ ウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.06%と低値であった。

当砂鉄は製鉄炉(テラス1)採取砂鉄(SMH2-2)と比較すると、高チタン(TiO<sub>2</sub>)、低ジルコニウム

(ZrO<sub>2</sub>)傾向が確認される。大山火山(安山岩質)起源の噴出物起源の砂鉄の割合が高いものと考えられる。

SMH2-4:砂鉄焼結塊

(1)肉眼観察:平面不整三角形で板状に近い砂鉄焼結塊である。地の色調は黒灰色で、表面には茶褐色の鉄錆が付着する。還元で生じた微細な金属鉄が銹化したものと考えられる。特殊金属探知機のH
 (○)で反応があり、内部には金属鉄が残存する可能性がある。また素地部分は部位によって着磁性に差があり、部分的に滓化が進んでいると考えられる。

(2)マクロ組織:写真40④に示す。灰褐色粒は被熱砂鉄である。還元・滓化の進んだ粒が多い。僅か に砂鉄粒子の痕跡を留めながらも島状に焼結する。

(3)顕微鏡組織:写真40⑤・⑥に示す。⑤は0.15~0.20mm径砂鉄粒子が半還元状態で溶着する。砂鉄(含 チタン鉄鉱)粒子は全体に還元・滓化が進行している。素地部分では淡茶褐色多角形結晶が凝集して 晶出しており、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。また内部に 散在する微細な明白色粒は金属鉄である。

SMH2-5:流出孔~溝滓

(1)肉眼観察:細長い流出孔~溝滓で、短軸両端は破面である。表面は滑らかな流動状の部分と流れ 皺のみられる部分とが混在する。側面から下面にかけてはごく微細な炉壁粉が点々と固着する。また 破面の気孔は少なく緻密である。

(2)顕微鏡組織:写真41①~③に示す。ごく微細な明白色粒は金属鉄である。また滓中の淡茶褐色多 角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体、暗色多角形結晶はヘルシナイ トと推定される。さらに淡灰色柱状結晶ファヤライト(Fayalite:2FeO·SiO<sub>2</sub>)が晶出する。砂鉄製錬 滓の晶癖である。

(3)ビッカース断面硬度:写真41③の淡茶褐色多角形結晶(左側)の硬度を測定した。硬度値は867Hv と硬質であるため、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。また暗 色多角形結晶(右側)の硬度値は1085Hvと非常に高値で、ヘルシナイトと推定される<sup>(注3)</sup>。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)36.53%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.36%、酸化第1鉄(FeO)41.18%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)5.95%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は42.01%と高値で、塩基性成分(CaO + MgO)も6.81%であった。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は8.17%、バナジウム(V)0.23%であった。酸化マンガン(MnO)は0.45%、銅(Cu) < 0.01%で、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.32%とやや高めであった。

当鉄滓は砂鉄製錬時の反応副生物であり、製鉄炉(SS1)採取砂鉄(SMH2-2)と脈石成分(TiO<sub>2</sub>、V、MnO、ZrO<sub>2</sub>)の組成が近似する。

SMH2-6:炉内滓

(1)肉眼観察:炉内滓の破片である。表面には茶褐色の鉄錆や瘤状の土砂が付着しており、特殊金属 探知機のH(〇)で反応があるため、内部に金属鉄が含まれる可能性がある。また滓部は黒灰色で着磁 性は弱い。 (2)顕微鏡組織:写真41④~⑥に示す。④の上側は鉄滓表層部で、0.2~0.25mm径砂鉄粒子が複数付着している。⑤はその拡大である。全体に熱影響は弱く、廃棄後二次的に付着した可能性が高い。また④下側は滓部で⑥はその拡大である。素地の灰褐色不定形結晶はマグネタイト(Magnetite:FeO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)で、内部の微細な茶褐色部はチタン磁鉄鉱またはウルボスピネルと推測される。その周囲の淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体、白色粒状結晶はウスタイト(Wustite:FeO)の可能性が高い。

(3)ビッカース断面硬度:写真41⑥の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は742Hvと硬質 で、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。また、白色粒状結晶の 硬度値は361Hvであった。ウスタイトの文献硬度値450~500Hvより軟質であるが、周囲の風化など の影響を受けた可能性が考えられる。さらに灰褐色不定形結晶の硬度値は537Hvであった。マグネタ イトの文献硬度値500~600Hvの範囲内であり、微細な茶褐色部(チタン磁鉄鉱またはウルボスピネル) を含むものの、素地部分はマグネタイトの可能性が高い。

(4)化学組成分析:写真41に示す。全鉄分(Total Fe)51.83%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.05%、酸化第1鉄(FeO)19.47%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)52.40%であった。銹化鉄部を反映して酸化第2鉄の割合が高い。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)16.19%と低めで、塩基性成分(CaO + MgO)  $\delta$ 1.44%と低値である。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)3.50%、バナジウム(V)0.16%とやや低めであった。酸化マンガン(MnO)0.15%、銅(Cu) < 0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)  $\delta$ 0.14%とやや低めであった。

マグネタイトまたはチタン磁鉄鉱が凝集する鉱物組成から、当鉄滓は比較的還元雰囲気の弱い個所 で生じた砂鉄製錬滓と推定される。また断面観察ではまとまった金属鉄(または銹化鉄)は確認できな かったが、酸化鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の割合が高く、脈石成分(TiO<sub>2</sub>、V、MnO、ZrO<sub>2</sub>)が低値傾向を示す。かな り銹化鉄部を含む鉄滓と推測される。

### SMH2-7:再結合滓

(1)肉眼観察:椀状の再結合滓の破片である。黄褐色の土砂中に炉壁破片、被熱砂鉄、ごく微細な木 炭破片などが含まれる。特に砂鉄の割合が高い。また特殊金属探知機のH(○)で反応があるため、内 部に微細な金属鉄が存在する可能性が考えられる。

(2)マクロ組織:写真42①に示す。多数の被熱砂鉄が確認される。比較的砂鉄粒子の形状をとどめた 粒も存在するが、還元および滓化の進んだ粒が多い。さらに熱影響を受けた微細な粘土塊や木炭破片 も若干含まれている。

(3)顕微鏡組織:写真42②・③に示す。②中央の微細明白色部は還元によって生じた金属鉄である。 輪郭は砂鉄粒子の痕跡を留める。また不定形青灰色部は銹化鉄である。砂鉄(含チタン鉄鉱)は分解・ 滓化が進んでいるが、格子状の離溶組織の痕跡が残るものも多い。磁鉄鉱粒子の還元が速く、チタン 鉄鉱粒子が遅れをとる。

当再結合滓中には被熱砂鉄が多く遺存する。操業後、製鉄炉を壊して内部の生成鉄を取り出す時に、 製鉄炉内に装入された被熱砂鉄が周囲に飛散したものと推定される。 SMH2-8:流出孔~溝滓

(1)肉眼観察:製鉄炉(テラス1)に残された大型の流出孔~溝滓の流出孔よりの小破片である。表面 は滑らかな流動状で、破面の気孔は少なく緻密である。

(2)顕微鏡組織:写真42④~⑥に示す。表面には被熱砂鉄が付着している。④の右下の灰褐色粒は被 熱砂鉄(含チタン鉄鉱)である。また④の左上から右下にかけて流動滓の溶着面が観察される。⑤はそ の拡大である。左側の溶着面に沿って灰褐色のマグネタイトが帯状に晶出する。滓中の淡茶褐色樹枝 状または多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトの固溶体と推測される。さらに暗色多角形結晶 ヘルシナイト、淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖である。

(3)ビッカース断面硬度:写真42⑥の硬度を測定した。淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度 値は755Hvと硬質で、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体に同定される。また 暗褐色多角形結晶の硬度値は1145Hvと非常に高値であった。ヘルシナイトと推定される。さらに淡 灰色柱状結晶の硬度値は641Hvとファヤライトの文献硬度値の範囲内であった。ファヤライトに同定 される。

(4) EPMA調査:写真43①に滓部の反射電子像(COMP)を示す。左下の微細明白色粒は特性X線像では鉄(Fe)に強い反応がある。分析点1の定量分析値は99.1%Feで、金属鉄(Metallic Fe)に同定される。左上の多角形結晶は、特性X線像を見ると中央の暗色部はアルミニウム(Al)に、周囲はチタン(Ti)に強い反応がある。分析点9(中央暗色部)の定量分析値は36.1%FeO-41.6%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5.7%TiO<sub>2</sub>-4.2%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-3.0%MgOであった。ヘルシナイト(Hercynite : FeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)に同定される。またチタン(TiO<sub>2</sub>)、クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、マグネシウム(MgO)を微量固溶する。一方分析点10(外周明色部)の定量分析値は54.5%FeO-20.5%TiO<sub>2</sub>-16.2%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-1.6%MgOであった。ウルボスピネル(Ulvöspinel : 2FeO·TiO<sub>2</sub>)とヘルシナイト(Hercynite : FeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を主な端成分とする固溶体である。分析点11の微小白色粒状結晶の定量分析値は93.0%FeO-1.1%TiO<sub>2</sub>であった。ウスタイト(Wustite : FeO)に同定される。分析点12の淡灰色柱状結晶の定量分析値は58.3%FeO-2.7%MgO-2.1%CaO-31.4%SiO<sub>2</sub>であった。ファヤライト(Fayalite : 2FeO·SiO2)に同定される。さらに分析点13の素地部分の定量分析値は39.7%SiO<sub>2</sub>-15.4%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-9.9%CaO-3.7%K<sub>2</sub>O-4.5%Na<sub>2</sub>O-23.7%FeOであった。非晶質珪酸塩で鉄分(FeO)が高い割合で含まれる。

もう1視野、写真43②に被熱砂鉄を含む滓部の反射電子像(COMP)を示す。分析点14の被熱砂鉄部 分の定量分析値は87.7%FeO-4.3%TiO<sub>2</sub>-2.2%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であった。チタン磁鉄鉱に同定される。分析点15 の被熱砂鉄の周囲の定量分析値は63.9%FeO-16.9%TiO<sub>2</sub>-12.2%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、分析点16の淡茶褐色多角形結 晶の定量分析値は61.8%FeO-18.6%TiO<sub>2</sub>-12.4%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であった。ともにウルボスピネル(Ulvöspinel: 2FeO·TiO<sub>2</sub>)とヘルシナイト(Hercynite:FeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を主な端成分とする固溶体である。分析点17 の淡灰色柱状結晶の定量分析値は57.4%FeO-3.4%MgO-1.5%CaO-32.0%SiO<sub>2</sub>であった。ファヤラ イト(Fayalite:2FeO·SiO<sub>2</sub>)に同定される。さらに分析点18の素地部分の定量分析値は44.9%SiO<sub>2</sub>-18.6%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-6.9%CaO-4.7%K<sub>2</sub>O-5.2%Na<sub>2</sub>O-18.2%FeOであった。非晶質珪酸塩で鉄分(FeO)が高 い割合で含まれる。

(5)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)39.79%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.25%、酸化第1鉄(FeO)43.33%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)8.38%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)37.99%と高値で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は6.44%である。製鉄原料の

砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は8.09%、バナジウム(V)0.26%であった。酸化マンガン(MnO)は0.41%、銅(Cu)<0.01%である。また二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.31%とやや高めであった。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。成分は流出孔~溝滓(SMH2-5)と酷似する。

SMH2-9:炉底塊

(1)肉眼観察:平面不整半月形をした炉底塊の破片である。表面は広い範囲が茶褐色の土砂または鉄 錆で覆われる。着磁性は比較的弱く、特殊金属探知機での反応もないため、まとまった金属鉄部が内 部に存在する可能性は低い。また砂鉄焼結部も広い範囲で確認される。

(2)マクロ組織:写真44①に示す。表面に0.1~0.25mm径の被熱砂鉄が多数付着している。砂鉄粒子と 滓部の接着状況からは、廃棄後二次的に付着した可能性が高いと考えられる。

(3)顕微鏡組織:写真②③に示す。②は表面の被熱砂鉄粒子の拡大である。砂鉄粒内の明白色部は金属鉄、また周囲の不定形青灰色部は銹化鉄である。③は滓部で各結晶が凝集して晶出する。色調等から淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネルまたはウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体、白色不定形結晶マグネタイトまたはチタン磁鉄鉱と推測される。

(4)ビッカース断面硬度:写真44③の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は598Hv、 635Hv、715Hvとばらつきがみられる。ウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO<sub>2</sub>)組成に近い結晶と ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体とが混在している可能性が考えられる。ま た内部に微細な淡褐色部が多数点在する不定形白色結晶の硬度値は502Hv、560Hvであった。この硬 度値からは、微細な褐色部はチタン磁鉄鉱、素地部分はマグネタイトの可能性が高いと考えられる。 (5)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)58.14%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.09%、酸

化第1鉄(FeO)44.12%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)33.97%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)6.65%で、塩基性成分(CaO+MgO)も1.88%と低値であった。また製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO2)は7.13%、バナジウム(V)が0.25%であった。酸化マンガン(MnO)は0.33%、銅(Cu)は<0.01%と低値であった。また二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.28%とやや高めであった。

当鉄滓は製鉄炉(SS1)採取砂鉄(SMH2-2)と化学組成が近似している。還元があまり進まない状態で滓化した砂鉄製錬滓と判断される。

SMH2-10:砂鉄燒結塊

(1)肉眼観察:ごく小型で塊状の砂鉄焼結塊の破片である。表面は広い範囲で薄く茶褐色の鉄錆や土砂が付着している。土砂中にはごく微細な炉壁粉が点在する。被熱砂鉄は粒の形状が残る個所と、分解・滓化の進んだ個所とが混在する。

(2)マクロ組織:写真44④に示す。写真左上の暗色部は微細な炉壁粉である。また全体に点在する灰 褐色粒は被熱砂鉄で、中央上寄りの暗色部は滓化中途の個所である。

(3)顕微鏡組織:写真44⑤・⑥に示す。⑤は被熱砂鉄部分の拡大である。粒の形状は留めているもの の分解および滓化が阻まれる。ごく微細な淡茶褐色結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成 分とする固溶体と推定される。また砂鉄粒子の痕跡を取り巻くように、青灰色不定形の銹化鉄部が確 認される。一方⑥は⑤よりは滓化の進行した部分の拡大で、各結晶が凝集して晶出する。色調等から 淡茶褐色のウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体、および灰褐色のマグネタイト またはチタン磁鉄鉱と推測される。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)58.53%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.11%、酸 化第1鉄(FeO)22.63%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)58.38%であった。銹化鉄部を反映して、酸化第2鉄が高 い割合を示す。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は8.00%と低く、塩基性成分(CaO + MgO)も1.02%と低値である。砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)も4.23%と低めであっ た。バナジウム(V)は0.20%、酸化マンガン(MnO)は0.15%、銅(Cu) < 0.01%と低値である。また二酸 化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)も0.14%とやや低めであった。スラグ化は不十分で砂鉄組成を残す。

当資料は熱影響を受けて還元・滓化が中途で留まった砂鉄焼結塊である。製鉄炉(SS1)採取砂鉄 (SMH2-2)と比較すると、脈石成分(TiO<sub>2</sub>、V、MnO、ZrO<sub>2</sub>)が低値傾向を示すが、これは銹化鉄部 を反映したものと考えられる。

SMH2-11:流出溝滓

(1)肉眼観察:やや幅広の流出溝滓の破片である。表面にはごく微細な炉壁粉が多数付着している。 また上面は炉外に排出された時の皺状の凹凸が著しい。側面(破面)の気孔は少なく、緻密で重量感の ある滓である。

(2)顕微鏡組織:写真45①~③に示す。滓中の淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイト を主な端成分とする固溶体と推定される。さらに淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。砂鉄製錬 滓の晶癖である。また下面表層には被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)粒子が多数固着している。

(3)ビッカース断面硬度:写真45③の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は841Hvと硬質 で、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体に同定される。さらに淡灰色柱状結晶 の硬度値は666Hvであった。ファヤライトの文献硬度値の範囲内で、ファヤライトに同定できる。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)39.10%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.08%、酸 化第1鉄(FeO)37.22%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)14.43%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は38.59%と高値で、塩基性成分(CaO + MgO)は5.44%であった。製鉄原料の砂鉄 (含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は6.04%、バナジウム(V)0.18%とやや低めであった。酸化 マンガン(MnO)は0.33%、銅(Cu)は<0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.25%であっ た。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。脈石成分は流出孔~溝滓(SMH2-8)と比較すると若干低めで あった。

SMH2-12:炉内滓(含鉄)

(1)肉眼観察:黄褐色の土砂で覆われた含鉄炉内滓の破片である。表面には銹化に伴う割れが生じている。特殊金属探知機のM(◎)で反応があり、内部に金属鉄が残存する。また側面から下面にかけて 木炭痕の散在をみる。

(2)顕微鏡組織:写真45④~⑥に示す。素地は滓部で淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシ ナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。さらに淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。砂 鉄製錬滓の晶癖である。また内部の微細な明白色部は金属鉄である。3%ナイタルで腐食したところ、 ほとんど炭素を含まないフェライト(Ferrite: a鉄)単相の組織であった。

(3)ビッカース断面硬度:写真45<sup>6</sup>の金属鉄部の硬度を測定した。硬度値は101Hvであった。フェラ イト結晶としては若干硬質の値であるが、非常に微細なため、周囲の滓部の影響を受けた値の可能性 が考えられる。または燐(P)などの硬度を上昇させる元素を微量固溶している可能性もある。また淡 茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は934Hvと非常に硬質であり、ウルボスピネルとヘルシ ナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)40.06%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.75%、酸 化第1鉄(FeO)23.85%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)29.70%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)32.56%で、このうち塩基性成分(CaO + MgO)3.28%と低めである。製鉄原料の砂 鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は4.46%と低めで、バナジウム(V)は0.29%であった。酸 化マンガン(MnO)0.19%、銅(Cu)は<0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)も0.15%とや や低い。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。金属鉄は非常に微細な状態で滓中に散在しており、鍛冶原料と なり得るものではない。

### SMH2-13:木炭

(1)肉眼観察:流出溝2-bから出土した、ごく小形の木炭破片である。全体に炭化は不良で、端部 に刃物による切断痕が残る。

(2)顕微鏡組織:写真45①~③に示す。送付された複数の木炭破片から、観察表のBの破片を選択して組織観察を実施した。①は木口面、②柾目面、③板目面である。年輪に沿って大導管が並ぶ広葉樹の環孔材である。また小道管は火炎状に分布する。放射組織は単列で目立たない。

(3)性状調査(木炭):表159に示す。送付された木炭破片は、組織観察に用いたBの一部を除き、全量分析に用いた。出土木炭は土砂等の影響を受け、固定炭素(F.C)が低く灰分が多い。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39.23%に留まった。灰分も2%以下が正 常であるが29.40%と高値傾向が顕著であった。このため発熱量も4050cal/gと低値であった。本来は 7000 cal/g程度は確保できるはずである。揮発分も31.37%と多い。また鉄製錬時に金属鉄中に移行す ると悪影響が懸念される硫黄(T.S)は0.02%、灰中燐(P)は0.08%であった。

組織観察を実施したBについては、組織の特徴からクリ材と推定される。

### SMH2-14:工具付着滓

(1)肉眼観察:ごく小形の工具付着滓の破片である。内側の断面形は隅丸方形状の工具痕が残る。外 側は流動状で細かい波状の凹凸がみられる。また破面には微細な気孔が散在するが緻密である。

(2)顕微鏡組織:写真40④~⑥に示す。淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な 端成分とする固溶体と推測される。さらに白色粒状結晶ウスタイトが晶出する。また⑤⑥右よりの灰 褐色粒は被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)で、外周部は分解・滓化の初期段階を呈する。

以上の鉱物組成から、当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。

SMH2-15:流出溝滓

(1)肉眼観察:幅1.5cm程の滓が複数重なって生じた流出溝滓の破片である。表面には明褐色の炉壁 粉が点々と固着する。破面には横方向に広がった大型の気孔がみられるが、緻密で重量感のある滓で ある。

(2)顕微鏡組織:写真47①~③に示す。滓の表面(①②の左上)には0.15mm径前後の被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)が複数付着する。また滓中には淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ウスタイト、 淡灰色短柱状結晶ファヤライトが晶出する。

(3)ビッカース断面硬度:写真47③の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は699Hvであった。他の出土鉄滓中の淡茶褐色多角形結晶と比較すると若干軟質である。アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の割合が やや低く、ウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO<sub>2</sub>)に近い組成の結晶の可能性が高いと考えられる。 また白色粒状結晶の硬度値は476Hv、488Hvであった。ウスタイトの文献硬度値の範囲内であり、ウ スタイトに同定される。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)45.08%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.09%、酸化第1鉄(FeO)45.19%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)14.10%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)31.74%で、このうち塩基性成分(CaO + MgO)は5.92%である。製鉄原料の砂鉄(含 チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は6.35%、バナジウム(V)が0.20%であった。また酸化マンガン(MnO)は0.33%、銅(Cu)は<0.01%と低値であった。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.25%と高め傾向が確認された。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。鉄分がやや高めで、脈石成分(TiO<sub>2</sub>)は低め傾向を示す。

### SMH2-16:流出溝滓

(1)肉眼観察:幅2cm程の流動滓が重なって生じた流出溝滓の破片である。上面は滑らかな流動状で、 一部流れ皺がみられる。破面の気孔は少なく緻密である。

(2)顕微鏡組織:写真47④~⑥に示す。淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な 端成分とする固溶体、暗褐色多角形結晶はヘルシナイトと推定される。さらに淡灰色長柱状結晶ファ ヤライトが晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖である。また滓中の非常に微細な明白色粒は金属鉄である。 (3)ビッカース断面硬度:写真47⑥の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は813Hvであっ た。硬質の値を示すためウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。ま た暗褐色多角形結晶の硬度値は1111と非常に硬質で、ヘルシナイトと推定される。さらに淡灰色柱状 結晶の硬度値は616Hvであった。ファヤライトの文献硬度値の範囲内で、ファヤライトに同定される。 (4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)38.88%に対して、金属鉄(Metallic Fe)1.84%、酸 化第1鉄(FeO)43.33%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)4.80%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+ MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)39.24%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO)は6.04%であった。製鉄原料の砂 鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は8.05%と高めで、バナジウム(V)が0.23%であった。酸 化マンガン(MnO)は0.42%、銅(Cu) < 0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>) は0.31%と高 め傾向を示す。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。脈石成分(TiO<sub>2</sub>)は当遺跡出土鉄滓中では高めで、流出溝滓(SMH2-8)と酷似した化学組成であった。

SMH2-17:炉壁(含鉄)

(1)肉眼観察:表面が厚く黄褐色の土砂で覆われた炉壁または炉床土の破片と推測される。特殊金属 探知機の特L(☆)で反応があり、内部にまとまった金属鉄が存在する可能性が高い。また土砂により 本来の表面観察が困難であるが、炉壁溶融からの黒色ガラス質滓が確認される。

(2)マクロ組織:写真48①に示す。内部には銹化が進んでいるもののまとまりのある鉄部が存在する。 また残存金属鉄部は3%ナイタルで腐食したところ亜共析~過共析組織が確認された。また表層(左 側暗灰色部)には製錬滓が付着する。

(3)顕微鏡組織:写真48②③に示す。②は比較的炭素含有率の低い亜共析組織部分で、針状白色部は フェライト、黒色部はパーライト(Pearlite)である。③は過共析組織部分で、黒色層状のパーライト 素地に白色針状のセメンタイト(Cementite:Fe<sub>3</sub>C)が析出する。

(4)ビッカース断面硬度:写真48②の亜共析組織部分の硬度を測定した。白色部(フェライト)主体の 個所の硬度値は129Hv、黒色部(パーライト)主体の部分の硬度値は167Hvであった。それぞれ組織に 見合った値である。

さらに写真③の過共析組織部分の硬度も測定した。素地のパーライト部分の硬度値は223Hv、白色 針状のセメンタイトが析出する個所の硬度値は319Hvであった。これも組織に見合った値であり、② の個所と比較すると、炭素含有率の違いに伴う硬さの上昇が確認された。

(5) EPMA調査:写真48④に付着滓部分の反射電子像(COMP)を示す。淡褐色結晶は特性X線像では f g > (Ti)、バナジウム(V)に強い反応がある。定量分析値は分析点1が62.3%TiO<sub>2</sub>-11.9%V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8.9%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-2.9%MgO-2.1%FeO、分析点2は72.2%TiO<sub>2</sub>-12.3%V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8.5%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-3.0%MgO-2.3%FeOであった。二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)が主成分で、ルチル(Rutile:TiO<sub>2</sub>)に近い組成の化合物とい える。また分析点3は素地部分で定量分析値は50.4%SiO<sub>2</sub>-30.6%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-13.5%CaO-2.0%Na<sub>2</sub>O-1.1%K<sub>2</sub>Oであった。非晶質珪酸塩で、鉄(Fe)やチタン(Ti)の影響はほとんどみられない。こうした 鉱物組成から、砂鉄(含チタン鉄鉱)を高温製錬した時に生じた砂鉄製錬滓と判断される<sup>(注4)</sup>。

さらにもう1視野、写真48⑤に銹化鉄(過共析組織残存)部分の反射電子像(COMP)を示す。写真右 側の黄褐色粒は特性X線像をみると硫黄(S)に強い反応がある。分析点4の定量分析値は58.6%Fe-3.9%V-37.3%Sであった。硫化鉄で微量バナジウム(V)を固溶する。また分析点5の地鉄部分の定 量分析値は92.1%Fe、分析点6の共晶組織部分の定量分析値は82.5%Fe-9.3%Pであった。ステダイ ト(Steadite:Fe-Fe<sub>3</sub>C-Fe<sub>3</sub>P)に同定される。

(6)化学組成分析:表161に示す。強熱減量(Igloss)が11.44%と高値で、銹化鉄部主体の分析となった。 全鉄分(Total Fe)は54.14%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.87%、酸化第1鉄(FeO)14.51%、酸化第 2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)60.10%の割合であった。また造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は9.36% であるが、土砂等の影響を受けた可能性が高いと考えられる。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の 二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は0.58%、バナジウム(V)0.09%と低値であった。酸化マンガン(MnO)も0.03%、 銅(Cu) < 0.01%、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.01%といずれも低値傾向が顕著であった。

(5)耐火度:1055℃であった。厚手の炉壁片(SMH2-1)と比較すると耐火性が非常に低い。銹化鉄 部やその周囲に固着した土砂の影響を受けた可能性が考えられる。

当遺物中の鉄部はまとまりのよい鋼であった。確認された金属組織(亜共析〜過共析組織)から炭素 含有量は0.3~1.5%程度の鋼と推定される。また付着滓中の結晶から、砂鉄(含チタン鉄鉱)を高温製 錬して生成された鉄塊と判明した。

SMH2-18:流出孔~溝滓

(1)肉眼観察:平面不整台形をした流出孔~溝滓の破片である。上面には皺状の凹凸が残る。下面に は灰色の被熱粘土が密に付着する。破面の気孔は比較的少なく緻密で、重量感のある滓である。

(2)顕微鏡組織:写真49①~③に示す。①の右下の暗色部は、下面に固着する被熱粘土部分である。
 また滓中にはやや小形の淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。さらに淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖である。また
 ②中央の灰褐色粒は約0.2mm径の被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)で、外周から滓化が進んでいる。

(3)ビッカース断面硬度:写真49③の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は881Hvと硬質 で、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。さらに淡灰色柱状結晶 の硬度値は607Hvであった。ファヤライトの文献硬度値の範囲内で、ファヤライトに同定される。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)39.97%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.11%、酸化第1鉄(FeO)40.09%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)12.44%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)36.95%で、このうち塩基性成分(CaO + MgO)は4.70%であった。また製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は6.98%、バナジウム(V)0.23%であった。また酸化マンガン(MnO)0.35%、銅(Cu)は<0.01%と低値で、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.27%と高め傾向が確認された。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。また滓中の結晶が比較的小型であることから、整理調査段階で 指摘されたように冷却速度の早い流出孔~溝滓の可能性が高いと考えられる。

SMH2-19:炉内滓

(1)肉眼観察:広い範囲で砂鉄焼結部が派生した炉内滓の破片である。また表面には茶褐色の鉄錆が みられる。特殊金属探知機のH(〇)で反応があるため、内部に金属鉄を含むものと推測される。

(2)顕微鏡組織:写真49④~⑥に示す。熱影響を受けて還元および滓化の進んだ砂鉄(含チタン鉄鉱) が多数確認される。またごく微細な明白色部は還元によって生じた金属鉄、不定形の青灰色部は銹化 鉄である。

(3)ビッカース断面硬度:写真49⑥の還元および滓化の進んだ砂鉄(含チタン鉄鉱)の硬度を測定した。淡褐色微結晶部分の硬度値は631Hv、633Hvであった。ウルボスピネルとほぼ同等の硬度値であり、 近い組成の結晶と考えられる。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)51.75%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.50%、酸化第1鉄(FeO)19.69%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)51.39%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)10.05%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は1.51%と低値である。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は6.56%、バナジウム(V)0.22%であった。また酸化マンガン(MnO)は0.29%、銅(Cu)<0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.25%と高め傾向が確認された。

当鉄滓は製鉄炉内に装入された砂鉄が還元・滓化しかけた状態で焼結した遺物であった。砂鉄組成 を濃厚に留める。 SMH2-20:炉床土

(1)肉眼観察:平面不整多角形状の炉床土破片と推測される。熱影響を受けて上面表層は黒色ガラス 質化している。側面の破面をみると、熱影響の強い上面側に気孔が多数散在する。また広い範囲で黄 褐色の土砂が付着しており、部分的に茶褐色の鉄銹化物や銹化にともなう放射割れがみられる。特殊 金属探知機のH(○)でも反応があり、部分的に微細な金属鉄が含まれている可能性が考えられる。

(2)顕微鏡組織:写真50①~③に示す。全体に強い熱影響を受けており、ガラス質化が進んでいる。 また内部の微細な灰褐色粒は砂鉄(磁鉄鉱)と推定される。この粒は内部に単独で存在するため、製鉄 原料というよりも炉壁粘土中に微量含まれていたものの可能性が高いと考えられる。

(3)化学組成分析:表161に示す。強熱減量(Ig loss)は1.38%と低値であった。強い熱影響結晶を受け て、結晶構造水がほぼ飛散した状態での分析である。鉄分(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は6.65%であった。炉壁(SMH2-1) と同様に高値であった。一方、酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は20.22%で、炉壁(SMH2-1)と比較すると 低値であるが、これに加えて塩基性成分(CaO+MgO)約3倍の8.31%が耐火性には不利な成分系とい える。

(5)耐火度:1100℃であった。炉壁片(SMH2-1)と比較すると耐火性が低い。これが本来の値であ れば、部位により耐火性の異なる粘土を選択していたものと考えられる。

SMH2-21:流出孔~溝滓

(1)肉眼観察:やや偏平な棒状の流出孔~溝滓の破片である。上面は比較的滑らかな流動状で、側面 や下面には微細な炉壁粉が多数固着する。短軸両端はともに破面で、不整楕円状を呈する。大型の気 孔が若干存在するが、緻密で重量感のある滓である。

(2)顕微鏡組織:写真50④~⑥に示す。滓中には淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。さらに淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。砂鉄製 錬滓の晶癖である。また⑤中央の灰褐色粒は約0.2mm径の被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)で、外周部は分解・ 滓化が進み始めている。

(3)ビッカース断面硬度:写真50⑥の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は825Hvと硬質 で、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体である。さらに淡灰色柱状結晶の硬度 値は631Hvであった。ファヤライトの文献硬度値の範囲内で、ファヤライトに同定される。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)34.83%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.08%、酸化第1鉄(FeO)41.75%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)3.29%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)44.35%と高値で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は6.20%であった。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は7.63%、バナジウム(V)が0.25%であった。また酸化マンガン(MnO)は0.38%、銅(Cu)<0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.27%と高め傾向を示す。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。テラス1出土流出孔~溝滓(SMH2-5)と類似した、鉄分の割合が低く、造滓成分 $(SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$ の割合の高い滓であった。

SMH2-22:炉内滓

(1)肉眼観察:平面不整五角形状の炉内滓破片である。表面全体が茶褐色の土砂で覆われており、特

殊金属探知機のH(○)で反応があり、内部にごく微細な金属鉄が存在する可能性が考えられる。また 長さ2~6cm程の大型の木炭痕が残る。滓表面は流動性が弱く、細かい凹凸が観察される。

(2)顕微鏡組織:写真51①~③に示す。灰褐色多角形結晶マグネタイトまたはチタン磁鉄鉱、白色粒 状結晶ウスタイトが凝集して晶出する。

(3)ビッカース断面硬度:写真51③の灰褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は513Hv、568Hv であった。マグネタイトの文献硬度値の範囲内であり、ウルボスピネル結晶より軟質であった。ただ し後述の化学組成をみるとチタン(TiO<sub>2</sub>)をかなり含むことから、マグネタイトとウルボスピネルの 中間組成のチタン磁鉄鉱の可能性が高いと考えられる。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)52.75%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.15%、酸 化第1鉄(FeO)25.22%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)47.18%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は10.82%と低値で、塩基性成分(CaO + MgO)も2.82%と低めであった。製鉄原料 の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は8.33%、バナジウム(V)が0.31%であった。また酸 化マンガン(MnO)0.35%、銅(Cu)は<0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.28%と高 め傾向を示す。

当鉄滓は製鉄炉出土砂鉄(SMH2-2)と類似した化学組成であった。装入砂鉄は還元が進まずに滓 化・凝集したものと推測される。

SMH2-23:炉内滓(含鉄)

(1)肉眼観察:やや小形で塊状の炉内滓の破片である。茶褐色の土砂で覆われており、本来の表面観察は困難な状態であった。銹化に伴う放射割れが生じており、特殊金属探知機のL(●)で反応があるため、内部に金属鉄が残存するものと判断される。

(2)マクロ組織:写真52④に示す。表層には薄く製錬滓が固着する。組織写真右寄りの青灰色部は銹 化鉄で、一部微細な明白色の金属鉄部が残存する。

(3)顕微鏡組織:写真52⑤⑥に示す。明白色部は金属鉄で、3%ナイタルで腐食したところ、ほとんど炭素を含まないフェライト(Ferrite: a 鉄)単相の組織を残す。また金属鉄部に接して、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネルが晶出する。砂鉄製錬滓と金属鉄部の分離が不充分な含鉄鉄滓といえる。
 (4)ビッカース断面硬度:写真52⑥の金属鉄(フェライト単相)部分の硬度を測定した。硬度値は91Hvとごく軟質で、組織に見合った値である。

また淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は899Hvと硬質で、ウルボスピネルとヘルシナ イトを主な端成分とする固溶体に同定される。

(5)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)51.19%に対して、金属鉄(Metallic Fe)1.28%、酸 化第1鉄(FeO)17.82%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)51.56%の割合であった。鉄部は銹化が進んでいるため、 金属鉄の割合が低く、酸化第2鉄の割合が高い。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) は14.76%低めで、塩基性成分(CaO + MgO)は2.03%と低値であった。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱) 起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は2.08%、バナジウム(V)も0.06%と低めであった。酸化マンガン(MnO) は0.11%、銅(Cu) < 0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)も0.10%と低下した。

当遺物は砂鉄製錬滓と微細な金属鉄が分離の悪い状態で混在している。金属鉄部はほとんど炭素を 含まない軟鉄であった。 SMH2-24:炉内滓(含鉄)

(1)肉眼観察:平面不整五角形状の炉内滓の破片である。表面は黄褐色の土砂に覆われており、銹化に伴う割れも生じている。また特殊金属探知機の特L(☆)で反応があり、内部に金属鉄が存在する。
 (2)マクロ組織:写真52①に示す。切断位置ではまとまった金属鉄部(またはその銹化物)は確認されず、滓中に非常に微細な金属鉄が散在する状態であった。

 (3)顕微鏡組織:写真52②③に示す。明白色部は金属鉄で、3%ナイタルで腐食した組織を示す。ほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織であった。滓部の淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。さらに白色粒状結晶ウスタイトが晶出する。
 (4)ビッカース断面硬度:写真52③の金属鉄(フェライト単相)部分の硬度を測定した。硬度値は 97Hvとごく軟質で、組織に見合った値である。

淡茶褐色多角形結晶の硬度値は699Hvであった。流出溝滓(SMH-15)と同様、他の出土鉄滓中の淡 茶褐色多角形結晶と比較すると若干軟質である。このためアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の割合がやや低く、ウル ボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO<sub>2</sub>)に近い組成の結晶の可能性が高い。また白色粒状結晶の硬度値 は462Hvであった。ウスタイトの文献硬度値の範囲内であり、ウスタイトに同定される。

(5) EPMA調査:写真52④に滓部の反射電子像(COMP)を示す。発達した淡茶褐色多角形結晶および 針状結晶は特性X線像をみると、チタン(Ti)に強く、アルミニウム(Al)に弱い反応がみられる。分析 点4の定量分析値は62.2%FeO-19.7%TiO<sub>2</sub>-13.7%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-1.7%V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-1.2%MgO、分析点5の定量分 析値は55.1%FeO-11.7%TiO<sub>2</sub>-10.6%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0.2%V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-1.0%MgO-14.0%SiO<sub>2</sub>-4.3%CaO-1.3%K<sub>2</sub>O であった。ともにウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO<sub>2</sub>)とヘルシナイト(Hercynite:FeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を主な端成分とする固溶体で、後者は結晶の面積が狭いため、周囲のガラス滓の影響を受けたものと 推測される。

素地の暗黒色部は特性X線像をみると珪素(Si)に強い反応がある。分析点6の定量分析値は 35.7%SiO<sub>2</sub> - 9.6%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 10.7%CaO - 1.1%MgO - 2.3%K<sub>2</sub>O - 1.8%Na<sub>2</sub>O - 36.0%FeO - 1.8%TiO<sub>2</sub>で あった。非晶質珪酸塩である。鉄分(FeO)の割合の高いのは周囲の白色微結晶〔ウスタイト(Wustite: FeO)〕の影響も受けている可能性が考えられる。

また白色粒状結晶は特性 X 線像では鉄(Fe) に強い反応がみられる。分析点 7 の定量分析値は 95.4%FeO - 3.6%TiO<sub>2</sub> - 1.0%MgOであった。ウスタイト(Wustite: FeO) またはマグネタイト (Magnetite: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)で、チタン(TiO<sub>2</sub>)、マグネシウム(MgO)を微量固溶する。

(6)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)53.91%に対して、金属鉄(Metallic Fe)6.43%、酸 化第1鉄(FeO)31.83%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)32.51%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)12.78%と低めで、このうち塩基性成分(CaO + MgO)は2.76%である。製鉄原料の 砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は4.76%とやや低めで、バナジウム(V)は0.29%であっ た。また酸化マンガン(MnO)は0.21%、銅(Cu)は<0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>) も0.12%と低めであった。

当鉄滓は内部にごく微細な金属鉄が散在する砂鉄製錬滓であった。鍛冶原料になり得る品位ではな く、滓として廃棄されたものと推測される。 SMH2-25:マグネタイト系遺物

(1)肉眼観察:表面がごく弱い流動状を呈するマグネタイト系遺物の破片である。裏面側には広い範囲で砂鉄焼結部が確認される。また特殊金属探知機のHで反応があるが、表層には明瞭な鉄部はみられない。

(2)顕微鏡組織:写真53①に示す。凝集して晶出する灰褐色多角形結晶はマグネタイトとウスボスピネルおよびヘルシナイトを主な端成分とする固溶体、その周囲の微細な淡茶褐色結晶はウルボスピネルと推測される。

(3)ビッカース断面硬度:写真53①の灰褐色多角形結晶部分の硬度を測定した。硬度値は768Hv、 878Hv、893Hvと非常に硬質であった。色調と形状および後述の化学組成から、マグネタイトとウス ボスピネルおよびヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。またその周囲の微細な淡茶 褐色結晶の硬度値は397Hv、583Hvであった。通常のウルボスピネル結晶より軟質であるが、結晶の 周囲が非晶質のガラス質滓で充填されていないためと考えられる。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)59.26%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.01%、酸化第1鉄(FeO)22.49%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)59.72%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)8.21%と低く、塩基性成分(CaO + MgO)も2.25%と低値である。製鉄原料の砂鉄(含 チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は6.79%、バナジウム(V)が0.22%であった。また酸化マンガン(MnO)0.31%、銅(Cu)は<0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.26%と高め傾向を示す。

当鉄滓は砂鉄の還元があまり進まない状態で、溶融・滓化した遺物と推測される。観察面では金属 鉄(またはその銹化物)の存在はほとんどみられない。

SMH2-26:流出溝滓

(1)肉眼観察:やや偏平な棒状の流出溝滓の破片である。上面は流動状で流れ皺状の凹凸が残る。破面には気孔がまばらに散在するが緻密である。表層は部分的に風化が進んでいる。

(2)顕微鏡組織:写真53②に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色樹枝状結晶ウスタイト、 淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。さらに滓中のごく微細な明白色粒は金属鉄である。

(3)ビッカース断面硬度:写真53②の硬度を測定した。淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度 値は805Hvと硬質で、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体に同定される。また 淡灰色柱状結晶の硬度値は617Hvとファヤライトの文献硬度値の範囲内であった。ファヤライトに同 定される。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)40.72%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.07%、酸化第1鉄(FeO)43.83%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)9.41%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)36.15%で、このうちに塩基性成分(CaO + MgO)は5.19%である。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は6.67%、バナジウム(V)は0.16%であった。また酸化マンガン(MnO)は0.36%、銅(Cu) < 0.01%と低値である。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は0.28%と高め傾向を示す。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。流出孔~溝滓(SMH-11, 18)と同様、造滓成分 $(SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$ の割合が高く、脈石成分 $(TiO_2)$ はやや低めの化学組成であった。

SMH2-27:炉内滓(含鉄)

(1)肉眼観察:表面全体が黄褐色の土砂に覆われた炉内滓の破片である。表面には銹化に伴う放射割 れが生じており、特殊金属探知機のH(〇)で反応し、内部に微細な金属鉄が含まれる可能性がある。 (2)顕微鏡組織:写真53③~⑤に示す。滓中には淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイ トを主な端成分とする固溶体と推定される。さらに白色粒状結晶ウスタイトが島状に晶出する。また 微細な明白色粒は金属鉄、青灰色部は銹化鉄であった。切断面ではまとまった金属鉄部は生成されな かった。

(3)ビッカース断面硬度:写真53⑤淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は840Hv、843Hv と硬質で、ウルボスピネルとヘルシナイトを主な端成分とする固溶体と推定される。また白色粒状結 晶の硬度値は460Hv、551Hvであった。前者はウスタイト、後者はマグネタイトの文献硬度値の範囲 内であり、両者の混晶の可能性が考えられる。さらに淡灰色結晶の硬度値は610Hvであった。ファヤ ライトの文献硬度値の範囲内で、ファヤライトに同定される。

(4)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)51.48%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.03%、酸化第1鉄(FeO)25.44%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)45.29%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は13.92%と低めで、塩基性成分(CaO + MgO)も1.48%と低値である。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は5.86%、バナジウム(V)0.22%であった。酸化マンガン(MnO)は0.23%、銅(Cu)は<0.01%と低値である。また二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)0.20%であった。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。比較的鉄分の割合が高く、還元があまり進まない状態で滓化し たものと推測される。

### SMH2-28: 鉄塊系遺物

(1)肉眼観察:やや偏平な塊状の鉄塊系遺物である。表面は全体が茶褐色の鉄錆や黄褐色の土砂に覆われる。また銹化に伴う放射割れが著しく、部分的に表層の剥離も進んでいる。特殊金属探知機のL
 (●)で反応があり、まとまった鉄部が存在する可能性が高い。

(2)マクロ組織:写真54①に示す。全体に銹化が進んでいるが、まとまりのある鉄部が確認された。
 (3)顕微鏡組織:写真54②③に示す。金属鉄部を3%ナイタルで腐食した組織を示す。素地の灰色部はベイナイト(Bainite:微細なフェライト中に更に小さなセメンタイトが分散している組織)で、白色針状のフェライトが析出する。

(4)ビッカース断面硬度:Photo.16②③の金属鉄部の硬度を測定した。素地部分(灰色部)の硬度値は 2個所測定したところともに159Hvであった。また他の部分はフェライトの割合の高い個所ほど軟質 で114Hvから140Hvまでのばらつきを示す。それぞれ組織に見合った値であり、炭素含有量は最大で も0.2%以下の軟鉄と推定される。

(5)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)57.10%に対して、金属鉄(Metallic Fe)<0.01%、酸化第1鉄(FeO)1.29%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)80.21%であった。銹化鉄部を反映して酸化第2鉄の割合の高い組成となっている。また造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は6.75%と低値であるが、これは土砂等の影響も受けた値の可能性が高い。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は1.13%、バナジウム(V)0.04%であった。また酸化マンガン(MnO)0.05%、銅(Cu)<

0.01%、二酸化ジルコニウム $(ZrO_2)0.06\%$ といずれも低値である。

当遺物は銹化が進んでいるが鉄主体であった。残存金属部の金属組織から炭素含有量は最大でも 0.2%以下の軟鉄と推定される。

SMH2-29:炉床土(含鉄)

(1)肉眼観察:上面部が熱影響を受けて黒色ガラス質化した炉床土の破片である。また表面は広い範囲が黄褐色の土砂で覆われる。特殊金属探知機の特L(☆)で反応があるため、内部にまとまった金属鉄が存在する可能性が高い。

(2)マクロ組織:写真54④に示す。切断面でまとまりのある金属鉄部が確認された。3%ナイタルで 腐食したところ、ほぼ全面亜共晶組成白鋳鉄組織(C<4.26%)を呈する。

(3)顕微鏡組織:写真54⑤⑥に示す。金属鉄部の拡大である。素地は黒色層状のパーライト(Pearlite)
 で、白色板状のセメンタイト(Cementite: Fe<sub>3</sub>C)、蜂の巣状のレデブライト(Ledeburite)が確認される。亜共晶組成白鋳鉄組織であった。

(4)ビッカース断面硬度:Photo.16⑥の金属鉄部の硬度を測定した。蜂の巣状のレデブライト硬度値 は769Hv、白色板状のセメンタイトは1000Hvと非常に硬質であった。また素地のパーライト部分の 硬度値は282Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

(5)化学組成分析:表161に示す。金属鉄部は断面観察を優先したため、炉床土(ガラス質滓主体の分析となった。全鉄分(Total Fe)17.21%に対して、金属鉄(Metallic Fe)3.40%、酸化第1鉄(FeO)5.03%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)14.16%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)は69.74%と高値である。このうち塩基性成分(CaO + MgO)は5.54%であった。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は1.67%、バナジウム(V)0.05%と低めであった。また酸化マンガン(MnO)は0.15%、銅(Cu) < 0.01%、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)0.06%といずれも低値である。

素地部分は炉床土(ガラス質滓)主体で、まとまりの良い鉄塊(銑)の溶着が確認された。透過X線像 にみられる鉄輪郭の丸味は銑鉄を表していた。

SMH2-30:炉内滓(含鉄)

(1)肉眼観察:全体が黄褐色の土砂や茶褐色の鉄錆で覆われた炉内滓の破片である。また特殊金属探知機のL(●)で反応があるが、鉄部の銹化に伴う放射割れが著しく、部分的に表層の剥離も進んでいる。

(2)マクロ組織:写真55①に示す。切断面では滓中にごく微細な金属鉄が多数散在する状態で、まと まった金属鉄部は確認されなかった。放射割れは内部へ食い込む。

(3)顕微鏡組織:写真55②③に示す。不定形明白色部は金属鉄で、3%ナイタルで腐食したところ、 ほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織が確認された。0.2mm径前後の砂鉄粒子の痕跡を留め たフェライト粒の晶出である。また滓中の淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘルシナイトを主 な端成分とする固溶体と推測される。さらに白色粒状結晶ウスタイトまたはマグネタイトが晶出する。 (4)ビッカース断面硬度:写真55③の金属鉄部の硬度を測定した。硬度値は126Hvであった。フェラ イト結晶としては若干硬質の値であるが、非常に微細なため、周囲の滓部の影響を受けた値の可能性 が考えられる。または燐(P)などの硬度を上昇させる元素を微量固溶している可能性もある。 淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は770Hvと硬質で、ウルボスピネルとヘルシナイト を主な端成分とする固溶体に同定される。白色粒状結晶の硬度値は534Hvであった。この結晶はマグ ネタイトの文献硬度値の範囲内であり、マグネタイトの可能性が考えられる。ただし炉内滓(SMH2 -27)のようにウスタイトとの混晶となっている可能性も看過できない。

(5)化学組成分析:表161に示す。全鉄分(Total Fe)53.92%に対して、金属鉄(Metallic Fe)が6.88% と高値であった。また酸化第1鉄(FeO)26.37%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)37.95%である。造滓成分(SiO<sub>2</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)10.22%と低値で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は2.75%であっ た。砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は10.08%、バナジウム(V)が0.38%と高値傾向を 示す。また酸化マンガン(MnO)は0.43%、銅(Cu)は<0.01%であった。二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)は 0.31%と高めである。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。当遺跡出土製錬滓としては脈石成分(TiO<sub>2</sub>、V、MnO、ZrO<sub>2</sub>) の高値傾向が顕著であった。一方金属鉄部は非常に微細な状態で、砂鉄粒子の痕跡を留めたフェライ トであった。鍛冶原料になり得る品位ではなく廃棄されたものと推定される。

SMH2-31:木炭

(1)肉眼観察:比較的大型の木炭破片である。端部片側に刃物の切断痕が残る。広葉樹の環孔材の黒 炭で、炭化はやや不良である。

(2)顕微鏡組織:写真55④~⑥に示す。年輪界に沿って楕円状の大導管が並ぶ広葉樹の環孔材である。

一方小道管は火炎状に配列している。また放射組織は単列のものと複合型の高放射組織の二種類が確認される。

(3)性状調査(木炭):表159に示す。固定炭素(F.C)は52.00%に留まった。ただし複数の小破片を測 定した木炭(SMH2-13)と比較すると高値傾向が顕著であった。灰分は6.11%であり、木炭(SMH2-13)よりも夾雑物の影響が少ない。このため発熱量も5730cal/gと高めであった。揮発分も41.89%と多 い。また鉄製錬時に金属鉄中に移行すると悪影響が懸念される硫黄(T.S)は0.01%、灰中燐(P)は0.05% であった。

当木炭は組織の特徴からコナラ材と推定される。

# 4. まとめ

下市築地ノ峯東通第2遺跡から出土した製鉄関連遺物の調査結果から次の点が明らかとなった。 〈1〉炉壁(SMH-1、17)は付着滓の鉱物組成から、ともに砂鉄製錬材に特定できた。また耐火度は SMH-1が1340℃、SMH-17は1055℃と大差をもつが、後者は銹化鉄部の影響を受けている。ただし 炉床土(SMH2-20)も1100℃と耐火性の低い性状であり、部位による熱影響の違いを考慮して粘土が 選択された可能性が考えられる。

〈2〉製鉄炉(SS1)出土砂鉄(SMH2-2)は、中チタン砂鉄(TiO<sub>2</sub>: 7.54%)に分類される。下市川採取砂 鉄(SMH2-3)と比較するとチタン含有率が低く、通常珪長質深成岩起源の砂鉄に多く含まれるジル コニウム(ZrO<sub>2</sub>)がやや高めの傾向を示す。大山火山(安山岩質)の高チタン砂鉄と、花こう岩類起源 の低チタン砂鉄が混じる河川または海浜で採取された砂鉄の可能性が高い。

〈3〉出土鉄滓(SMH-4~6、8~11、14~16、18、19、21、22、25、26)は全て砂鉄製錬時の反応副生

物に分類される。化学組成をみると製錬滓としては酸化鉄の割合の高い傾向がみられる(第339図)。 古墳時代後期~古代の中国地方の事例(第340図)と比較すると、若干歩留まりの低い傾向が読み取れ る。

また鉄滓に被熱砂鉄粒子を含むものが多数確認されたことや、被熱砂鉄主体の再結合滓(SMH-7) が存在することからも、砂鉄/木炭比の高い操業が行われたか、炉内は(部分的に高温化していても) 全体の温度がやや低めで、還元雰囲気の弱い操業であったと推察される。

〈4〉出土含鉄鉄滓・鉄塊系遺物中には、非常に微細な金属鉄が滓中に散在する状態のものが複数(SMH-12、23、24、30)検出された。これらは未凝集鉄でまとまりがなく鍛冶原料となり得る品位ではなく、 滓として廃棄されている。一方、まとまった鉄関連遺物では、軟鉄(SMH-28)、鋼(SMH-17)、銑(SMH-29)と鉄中の炭素含有量にはばらつきがみられる(第341図)。当遺跡では様々な炭素含有量の鉄塊が 生じたと考えられる。出土鉄滓から推察される操業条件を勘案すると、生産された鉄は軟鉄〜鋼の割 合が比較的高かった可能性が指摘できる。

〈5〉木炭(SMH-13、31)組織の特徴から、当遺跡ではクリやコナラなど広葉樹の環孔材を製鉄に用いていた。これらは製炭材としては一般的な起用であり、国内の製鉄遺跡でも年代に関わらずよく見受けられる。

# (註)

(1) 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 XY<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 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)

(2)木下亀城・小川留太郎『岩石鉱物』保育社 1995

チタン鉄鉱は赤鉄鉱とあらゆる割合に混じりあった固溶体をつくる。(中略)チタン鉄鉱と赤鉄鉱の固溶体には、チ タン鉄鉱あるいは赤鉄鉱の結晶をなし、全体が完全に均質なものと、チタン鉄鉱と赤鉄鉱が平行にならんで規則正 しい縞状構造を示すものとがある。

チタン鉄鉱は磁鉄鉱とも固溶体をつくり、これにも均質なものと、縞状のものとがある。(中略) このようなチタン 鉄鉱と赤鉄鉱、または磁鉄鉱との固溶体を含チタン鉄鉱 Titaniferous iron ore という。

(3)日刊工業新聞社『焼結鉱組織写真および識別法』1968

ウスタイトは450~500Hv、マグネタイトは500~600Hv、ファイヤライトは600~700Hvの範囲が提示されている。 ウルボスピネルの硬度値範囲の明記はないが、マグネタイトにチタン(Ti)を固溶するので、600Hv以上であれば ウルボスピネルと同定している。それにアルミナ(Al)が加わり、ウルボスピネルとヘル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ルシナイトの固溶体 の可能性が考えられる。

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

〔イルミナイト(Ilmenite:FeO·TiO<sub>2</sub>)の晶出はFeO-TiO<sub>2</sub>二元平衡状態図から高温化操業が推定される。〕



	備考																															
	オロー													0																		0
	耐火度	0																0			0											
	化学 分析	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
	PMA								0									0							0							
調査項目	X線 回折 E																															
- T	ビッカース 新面硬度					0	0		0	0		0	0			0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	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
	マクロ 組織	0	0	0	0			0		0	0							0						0	0				0	0	0	
	メタル度	しな	なし	なし	H(O)	なし	H(O)	H(O)	なし	銹化(△)	H(O)	なし	$M(\bigcirc)$	なし	なし	なし	なし	特L(公)	なし	H(O)	(O)H	なし	H(O)	<b>L</b> ( <b>)</b>	特L(公)	H(O)	なし	H(O)	<b>r</b> ()	特L(公)	L()	ے ج
	兹着废		c c	°	n	-	2	1	-	3	2		c C	1	1	1	1	-	1	n			2	c C	2	2		с С	3	c C	2	
	<b></b> [重(g)]	401.0	20.0	20.0	14.0	41.0	93.0	215.0	35.0	762.0	40.0	581.0	69.0	20.0	7.0	687.0	314.0	1251.0	696.0	270.0	1074.0	439.0	212.0	38.0	169.0	101.0	144.0	255.0	38.0	303.0	217.0	481.0
計測値	大きさ(mm)	$94 \times 82 \times 68$	1	I	$32 \times 27 \times 20$	$65 \times 30 \times 12$	$70 \times 48 \times 24$	$100 \times 68 \times 40$	$28 \times 54 \times 22$	$58 \times 93 \times 56$	$42 \times 34 \times 28$	$108 \times 98 \times 56$	$45 \times 46 \times 33$		$27 \times 22 \times 8$	$127 \times 86 \times 49$	$99 \times 67 \times 27$	$137 \times 149 \times 77$	$90 \times 88 \times 61$	$86 \times 53 \times 43$	$160\times120\times70$	$123 \times 64 \times 40$	$97 \times 70 \times 40$	$39 \times 30 \times 22$	$63 \times 66 \times 33$	$57 \times 53 \times 30$	$83 \times 43 \times 27$	$69 \times 80 \times 43$	$42 \times 44 \times 20$	$85 \times 65 \times 55$	$70 \times 52 \times 39$	$222 \times 67 \times 89$
+ +++	≢ 年 紀代	9 c後半		現代	9 c後半		<u> </u>															<u> </u>	<u> </u>		<u> </u>		<u> </u>			<u> </u>	<u> </u>	11~12世 紀: <sup>14</sup> C年 代画記
	遺物名	炉壁(長軸側・上段下半・砂鉄焼結付き・ 横方向接合痕付き)	砂鉄(遺跡採取テラス1南壁採取)	砂鉄(下市川下流採取)	砂鉄焼結塊(含鉄)	流出孔~溝滓	炉内滓(含鉄)	再結合達(含鉄・砂鉄焼結付き)	流出孔~溝滓(炉床土付き)	炉底塊(含鉄)	砂鉄焼結塊(含鉄)	流出溝滓	炉内滓(含鉄)	木炭(一括)	工具付着滓	流出溝滓	流出溝滓	炉壁(含鉄・滓付き)	流出孔~溝滓	炉内滓(含鉄・マグネタイト系滓付き・ 砂鉄焼結付き)	炉床土(含鉄・滓付き・マグネタイト 系滓付き)	流出孔~溝滓	炉内滓(含鉄)	炉内滓(含鉄・マグネタイト系達付き)	炉内滓(含鉄)	マグネタイト系遺物(含鉄・砂鉄焼結 付き)	流出溝滓	炉内滓(含鉄)	鉄塊系遺物(含鉄)	炉床土(含鉄)	炉内滓(含鉄)	木炭(一括)
	遺構名	製鉄炉	製鉄炉	周辺河川 (下市川)	-製鉄炉		_				流出溝2-b				流出溝 2 - a		流出溝1	テラス1			排滓場1					排滓場2				表土		炭焼窯15
相事	题名									_		_		۲	÷Æå	张幸	1/	<b>秋</b> 市	水通	第2	遺跡	_	_				_			_	_	
	符号	SMH2-1	SMH2-2	SMH2-3	SMH2-4	SMH2-5	SMH2-6	SMH2-7	SMH2-8	SMH2-9	SMH2-10	SMH2-11	SMH2-12	SMH2-13	SMH2-14	SMH2-15	SMH2-16	SMH2-17	SMH2-18	SMH2-19	SMH2-20	SMH2-21	SMH2-22	SMH2-23	SMH2-24	SMH2-25	SMH2-26	SMH2-27	SMH2-28	SMH2-29	SMH2-30	SMH2-31

表159 供試材の履歴と調査項目

	TiO2 Total Fe	0.161	0.126	0.274	0.224	0.068	0.203	0.123	0.072	0.154	0.111	0.141	0.207	0.011	0.175	0.127	0.143	0.215	0.158	0.041	0.088	0.115	0.164	0.114	0.020	0.097	0.187
	造祿 成分 Total Fe	13.180	0.140	0.193	1.150	0.312	0.955	0.114	0.137	0.987	0.813	0.704	1.009	0.173	0.924	0.194	14.824	1.273	0.205	0.288	0.237	0.139	0.888	0.270	0.118	4.052	0.190
<b>×</b> ⊠	造 读 分	84.88	8.32	10.25	42.01	16.19	37.99	6.65	8.00	38.59	32.56	31.74	39.24	9.36	36.95	10.05	88.20	44.35	10.82	14.76	12.78	8.21	36.15	13.92	6.75	69.74	10.22
	耐火度	1340	Ι	-	Ι	Ι	I	-	I	-	Ι		I	1055	I	Ι	1100	Ι	Ι	Ι	-	I	Ι	Ι		Ι	
	二酸化 ジルコニウ ム (ZrO <sub>3</sub> )	0.04	0.36	0.06	0.32	0.14	0.31	0.28	0.14	0.25	0.15	0.25	0.31	0.01	0.27	0.25	0.03	0.27	0.28	0.10	0.12	0.26	0.28	0.20	0.06	0.06	0.31
	銅 (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	<0.01	<0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	バナジ ウム (V)	0.03	0.25	0.25	0.23	0.16	0.26	0.25	0.20	0.18	0.29	0.20	0.23	0.09	0.23	0.22	0.02	0.25	0.31	0.06	0.29	0.22	0.16	0.22	0.04	0.05	0.38
	炭素 (C)	Ig loss 3.04	0.33	0.17	0.16	0.79	0.04	09.0	0.20	0.09	0.40	0.05	0.05	Ig loss 11.44	0.03	0.30	Ig loss 1.38	0.09	0.30	0.20	2.64	0.14	0.06	0.17	0.39	0.30	0.05
	五酸化燐 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.12	0.02	0.07	0.17	0.07	0.16	0.06	0.05	0.16	0.10	0.20	0.15	0.06	0.14	0.04	0.40	0.20	0.16	0.09	0.08	0.07	0.19	0.09	0.07	0.23	0.07
	硫黄 (S)	0.03	0.01	0.01	0.04	0.04	0.05	0.05	0.02	0.05	0.08	0.04	0.05	0.11	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04	0.14	0.15	0.02	0.07	0.09	0.05	0.11	0.08
	酸化 クロム $(Cr_2O_3)$	0.01	0.10	0.08	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.06	0.09	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.02	0.08	0.10	0.03	0.13	0.11	0.05	0.08	0.04	0.04	0.11
	二酸化 チタン (TiO <sub>2</sub> )	1.04	7.54	14.55	8.17	3.50	8.09	7.13	4.23	6.04	4.46	6.35	8.05	0.58	6.98	6.56	0.85	7.63	8.33	2.08	4.76	6.79	6.67	5.86	1.13	1.67	10.08
	酸化マン ガン (MnO)	0.13	0.33	0.34	0.45	0.15	0.41	0.33	0.15	0.33	0.19	0.33	0.42	0.03	0.35	0.29	0.13	0.38	0.35	0.11	0.21	0.31	0.36	0.23	0.05	0.15	0.43
*	変化ナト リウム (Na <sub>2</sub> O)	1.56	0.12	0.18	0.80	0.24	0.69	0.08	0.05	0.67	0.55	0.55	0.71	0.13	0.63	0.17	2.42	0.82	0.06	0.24	0.16	0.06	0.65	0.16	0.11	1.60	0.12
*	酸化 7 リウム (K <sub>2</sub> O)	0.96	<0.01	0.03	1.31	0.16	1.19	$<\!0.01$	0.02	1.01	0.76	0.93	1.17	0.11	1.08	0.02	3.01	1.37	0.04	0.30	0.26	0.08	1.07	0.11	0.14	2.05	0.20
*	ゴビマグ シウム プ (MgO)	0.99	1.79	2.28	2.60	0.97	2.44	1.37	0.84	2.16	1.32	1.96	2.40	0.28	1.99	1.28	2.06	2.34	1.73	0.65	1.36	1.61	1.99	1.09	0.32	1.54	1.90
*	化カル 酸 マウム ネ (CaO)	1.66	0.44	0.39	4.21	0.47	4.00	0.51	0.18	3.28	1.96	3.96	3.64	0.28	2.71	0.23	6.25	3.86	1.09	1.38	1.40	0.64	3.20	0.39	0.60	4.00	0.85
*	ビアル 酸 ニウム ジ M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	69.69	2.78	2.56	0.83	5.35	0.22	2.91	2.97	0.32	9.98	8.19	0.64	3.41	0.28	3.51	20.22	2.07	3.87	3.94	4.43	3.31	9.70	4.57	1.93	8.30	3.83
*	酸化酸 主素 ミニ SiO <sub>2</sub> ) (7	3.02	3.19	4.81	2.26 1	9.00	9.45 1	1.78	3.94	1.15 1	2.99	6.15	0.68	5.15	0.26 1	4.84	4.24	3.89 1	4.03	8.25	5.17	2.51	9.54	7.60	3.65	2.25 ]	3.32
	酸化 二 第2鉄 3 Fe <sub>2</sub> 0 <sub>3</sub> ) ((	6.65 5	53.49	51.64	5.95 2	52.40	8.38 1	33.97	58.38	14.43 2	29.70	14.10	4.80 2	30.10	12.44 2	51.39	6.65 5	3.29 2	17.18	51.56	32.51	59.72	9.41	15.29	30.21	14.164	37.95
	酸化 §1鉄 FeO) (I	2.30	9.54 (	1.27	1.18	9.47	3.33	4.12	2.63	7.22	3.85 2	5.19	3.33	4.51 (	0.09	9.69	1.58	1.75	5.22	7.82	1.83	2.49	3.83	5.44	1.29 8	5.03	6.37
	金属鉄 Metallic <sup>9</sup> Fe)	<0.01	0.05 1	0.46	0.36	0.05 1	0.254	0.09	0.11	0.08	0.75	0.09	1.84	0.87	0.11 4	0.50	0.03	0.084	0.15 2	1.28 1	6.43 5	0.01	0.07 4	0.03 2	<0.01	3.40	6.88 2
	全鉄分 (Total (J Fe)	6.44	59.64	53.11	36.53	51.83	39.79	58.14	58.53	39.10	40.06	45.08	38.88	54.14	39.97	51.75	5.95	34.83	52.75	51.19	53.91	59.26	40.72	51.48	57.10	17.21	53.92
	推定年 代	96 金		現代	9c 後半		1							1	1			1									
	遺物名	垣壁	砂鉄	砂鉄(採取)	流出孔~溝滓	炉内滓(含鉄)	流出孔~溝滓	炉底塊(含鉄)	砂鉄焼結塊 (含鉄)	流出溝滓	炉内滓(含鉄)	流出溝滓	流出溝滓	炉壁(含鉄・ 滓付き)	流出孔~溝滓	炉内滓	炉床土	流出孔~溝滓	炉内滓(含鉄)	炉内滓	炉内滓(含鉄)	マグネタイト 系遺物	流出溝滓	炉内滓(含鉄)	鉄塊系遺物	炉床土(含鉄)	炉内滓(含鉄)
	遺構名	製鉄炉	製鉄炉	下市川 周辺	製鉄炉				流出溝 2 - b				流田浦 	テラス 1			排滓場 1		_			排滓場 2				表土	
	遭 名										<u>ب</u>	市筑	売地~	峯東通	無っ	こ遺	「」						_				
	待号	SMH2-1	SMH2-2	SMH2-3	SMH2-5	SMH2-6	SMH2-8	SMH2-9	SMH2-10	SMH2-11	SMH2-12	SMH2-15	SMH2-16	SMH2-17	SMH2-18	SMH2-19	SMH2-20	SMH2-21	SMH2-22	SMH2-23	SMH2-24	SMH2-25	SMH2-26	SMH2-27	SMH2-28	SMH2-29	SMH2-30

# 表160 供試材の化学組成

木炭の性状
61
表1

灰中P	0.08	0.05
発熱量 cal/g	4050	5730
発熱量 KJ	16965	23988
航 近 ST	0.02	0.01
国 定 FC	39.23	52.00
水分 MIS	17.85	20.57
揮発分 VM	31.37	41.89
灰分 Ash	29.40	6.11
推定年代	9 c 後半	11~12世紀: C <sup>14</sup> 年代測定
遺物名称	木炭(一括)	木炭
遺構名	流出溝 2 - b	炭焼窯15
遺跡名	「土谷」、安井、高校・0	1、11、2、11、11、11、11、11、11、11、11、11、11、11、
符号	SMH2-13	SMH2-31

# 表162 粒度分布測定

試料	能 数 (mm)	0.850	$0.300$ $\widetilde{0.210}$	$\stackrel{0.210}{\overset{\sim}{_{0.150}}}$	0.150 $0.106$	0.106	<0.075	- <u>1</u> - 1)1100
No 2.A	(g)	0.000	0.000	8.277	8.194	0.582	0.068	17.121
磁着あり	(%)	0.0	0.0	48.3	47.9	3.4	0.40	100
No.2B	(g)	0.000	0.000	0.697	1.907	0.207	0:030	2.841
磁着なし	(%)	0.0	0.0	24.5	67.1	7.3	1.1	100
No.3A	(g)	0.000	0.000	3.001	7.432	5.412	1.683	17.528
磁着有り	(%)	0.0	0.0	17.1	42.4	30.9	9.6	100
No.3B	(g)	0.000	0.000	0.635	0.992	0.400	0.091	2.118
磁着なし	(%)	0.0	0.0	30.0	46.8	18.9	4.3	100

~
S
L
416
R
5
■
焸
ТЩ
ء
6
1
almi
+
मं
77
3
¥.
ЩX
17/11

化学組成(%)	[書性 TiO <sub>2</sub> ] V MnO 遗答 Cu 所見	265 1.04 0.03 0.13 84.88 <0.01 耐火度1340℃、 1.04 0.03 0.13 84.88 <0.01 古代の製鉄炉としてはごく一般的な耐火性状	223         7.54         0.25         0.33         8.32         <001	267         1455         0.25         0.34         10.25         <001	- <u>- 0.20mm~0.15mm粒子はSMH2-20時款</u> 社子に準ずる。熱影響を受けて全体に溶化の進 ムデ約発達装壇	681 8.17 0.23 0.45 42.01 <0.01 砂鉄製錬浴	1.44 3.50 0.16 0.15 16.19 <0.01 砂鉄製錬萍(銹化鉄合みで砂鉄脈石成分低下)	<ul> <li> チタン磁鉄鉱跡を強く留めた被熱砂鉄を主体とした再結合準</li> </ul>	6.44 8.09 0.26 0.41 37.99 <0.01 砂鉄製錬塔、化学組成はSMH25に酷似	1.88 7.13 0.25 0.33 6.65 <0.01 砂鉄製錬学	1.02 4.23 0.2 0.15 8.00 <0.01 消化不十分で砂鉄組成を残す砂鉄製錬洋	5.44 6.04 0.18 0.33 38.59 <0.01 砂鉄製錬学	328 4.46 0.29 0.19 3256 <0.01 砂鉄製錬業、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得る品位ではない	細織観察を実施したBはクリ材の黒炭と推定される		5.92 6.35 0.20 0.33 31.74 <0.01 砂鉄製錬滓	604 805 0.23 0.42 3924 <001 砂鉄製錬学、SMH21515酷似	0.56 0.58 0.09 0.03 9.36 <0.01 耐火度1055℃(夾維物混入胎土で正常値ではない)。鉄部は高温製錬で生じた鋼(C.0.3)	4.7 6.98 0.23 0.35 36.95 <0.01 砂鉄製錬学	1.51 6.56 0.22 0.29 10.05 <0.01 砂鉄組成を濃厚に留めた砂鉄製錬塔。	8.31 0.85 0.02 0.13 88.20 <0.01 耐火度10.5℃、炉壁(SMH2-1)より低い耐火性状、高塩基性成分(約3倍)の影響が大 8.31 0.85 0.02 0.13 88.20 <0.01 ★く響く。	620 7.63 0.25 0.38 44.35 <0.01 砂鉄製錬達、SMH25に類似	2.82 8.33 0.31 0.35 10.82 <0.01 砂鉄製錬滓、SMH2-2に類似した化学組成、未消化鉄滓。	203 2.06 0.06 0.11 14.76 <0.01 砂鉄製錬学と分離不充分の金属鉄部(軟鉄)が共存	276 4.76 0.29 0.21 12.78 <0.01 砂鉄製錬萍、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得る品位ではない	225 6.79 0.22 0.31 8.21 <0.01 未還元砂鉄組成の砂鉄製錬淬	519 6.67 0.16 0.36 36.15 <0.01 砂鉄製錬港、SMH2-11、18に近似組成	148 586 0.22 0.23 13.92 <0.01 選元不足の砂鉄製錬湾	0.92   1.13   0.04   0.05   6.75   <0.01   軟鉄(C:最大で0.2%程度)の小鉄塊	5.54     1.67     0.05     0.15     69.74     <001     溶着金属部はまとまりの良い銃	2.75 10.08 0.38 0.43 10.22 <0.01 砂鉄製錬学、金属鉄部は非常に微細で縦治原料となり得る品位ではない	コナラ材の黒炭と推定される
	$Fe_2O_3$ 4	6.65	63.49	51.64	1	5.95	52.4	1	8.38	33.97	58.38	14.43	29.7	1	1	14.1	4.80	60.1	12.44	51.39	6.65	3.29	47.18	51.56	32.51	59.72	9.41	45.29	80.21	14.16	37.95	I
	Total Fe	6.44	59.64	53.11	I	36.53	51.83	1	39.79	58.14	58.53	39.1	40.06	1	1	45.08	38.88	54.14	39.97	51.75	5.95	34.83	52.75	51.19	53.91	59.26	40.72	51.48	57.1	17.21	53.92	I
	顕微鏡組織	:   澤部:UとHの固溶体+I+W、ガラス質滓	砂鉄粒子:含チタン鉄鉱(格子状離溶組織)被熱砂鉄:微小 金属鉄晶出		砂鉄粒子(含チタン鉄鉱)溶化進行、 働小会属発散な	<del>                                    </del>	被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)付着、 港部:IIとHの固溶体+M+W締集	被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)、微細粘土、木炭破片	被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)、 落部:UとHの固溶体+H+M+F	被熟砂鉄(含チタン鉄鉱)付着、 落部:UとHの固溶体+M+W凝集	被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)滓化進行、 灌納:UとHの固溶体+M凝集	被勲砂鉄(含チダン鉄鉱)、 落部:UとHの固溶体+F	滓部:UとHの固溶体+F、 微小金属鉄:フェライト単相	B材:広葉樹環孔材	被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)、 滓船:UとHの固溶体+W	被熱砂鉄、滓部:U+W+F	3   津部:UとHの固溶体+F、微小金属鉄	付着滓.R、金属鉄部亜共析~過共析組織	被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)、 滓部:UとHの固溶体+F、微小金属鉄	被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)滓化進行、微小金属鉄	ガラス質楽	被熱砂鉄:達部:UとHの固溶体+F、微小金属鉄	译部:M+W凝集	金属鉄部:フェライト単相、 灌船:UとHの固溶体	戳小金属鉄フェライト単相、 落船:U+W	澤部:MとHの固溶体+U	滓部:UとHの固溶体+W+F、微小金属鉄	滓部:UとHの固溶体+WまたはM凝集、微小金属鉄	金属鉄部:針状フェライト・ベイナイト	金属鉄部.亜共晶組成白鋳鉄組織	微小金属鉄:フェライト単相、 澤部:UとHの固溶体+WまたはM	: 広葉樹の環孔材
小 井	年代	9C後半		現代													9C後÷															11~12世 約: <sup>14</sup> C年 代測定
	遺物名	炉壁	砂鉄	市砂鉄	砂鉄焼結塊	流出孔~溝海	炉内滓	再結合達	流出孔~溝滓	炉底塊	砂鉄焼結塊	流出溝滓	炉内達(含鉄)	木炭(一括)	工具付着滓	流出溝違	流出溝滓	炉壁(含鉄・滓 付き)	楽曲く「玉田派	炉内港(含鉄·砂 鉄燒結)	炉床土	流出孔~溝達	炉内滓	炉内港(含鉄)	炉内滓(含鉄)	マグネタイト系 谱物	新世 第 日 第	炉内滓(含鉄)	鉄塊系遺物	炉床土(含鉄)	炉内港(含鉄)	木炭
	出土位置	製鉄炉	製鉄炉	周辺河川(下ī 川)			ANT ANT IN-	製鉄炉							流出溝 2 - a		流出溝 1		テラス1				排法場1				排滓場2				表土	炭焼窯15
「古井」	数 を						`						1	∦= T	· 梁 北	/※		通第c	と遺跡	2												
	符号	SMH2-1	SMH2-2	SMH2-3	SMH2-4	SMH2-5	SMH2-6	SMH2-7	SMH2-8	SMH2-9	SMH2-10	SMH2-11	SMH2-12	SMH2-13	SMH2-14	SMH2-15	SMH2-16	SMH2-17	SMH2-18	SMH2-19	SMH2-20	SMH2-21	SMH2-22	SMH2-23	SMH2-24	SMH2-25	SMH2-26	SMH2-27	SMH2-28	SMH2-29	SMH2-30	SMH2-31





第341図 遺跡出土鉄塊系遺物・含鉄鉄滓の断面金属組織観察結果



### 写真39 炉壁・砂鉄の顕微鏡組織



写真40 炉壁・砂鉄焼結塊の顕微鏡組織



写真41 流出孔~溝滓・炉内滓の顕微鏡組織



写真42 再結合滓・流出孔~溝滓の顕微鏡組織



### 写真43 流出孔~溝滓のEPMA調査結果



写真44 炉底塊・砂鉄焼結塊の顕微鏡組織



写真45 流出溝滓・炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織



# 写真46 木炭・工具付着滓の顕微鏡組織