

第5節 赤坂小丸山遺跡出土製鉄関連遺物の分析調査

日鉄住金テクノロジー（株）八幡事業所 TACセンター

大澤正己・鈴木瑞穂

1 いきさつ

赤坂小丸山遺跡は鳥取県西伯郡大山町赤坂ほかに所在する。調査地区からは10～13世紀代と推定される製鉄炉1基、粘土採掘坑1基、道路遺構6基、炭窯1基など、鉄生産に関わる遺構や遺物群が検出された。当地域での鉄生産の実態を検討する目的から分析調査を行う運びとなった。

2 調査方法

2-1. 供試材

表56に示す。製鉄関連遺物計29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

滓中に晶出する鉍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3 μ mと1 μ mで順を追って研磨している。なお金属組織の調査では、3%ナイトル(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

鉄滓中の鉍物と、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50～200gf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鉍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)、二酸化ジルコニウム(ZrO₂)：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

木炭組織の観察を目的とする。

調査破面(木口、柀目、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

KOM-1：砂鉄・滓粉混在物

(1) 肉眼観察：製鉄炉跡の地下構造から採取された砂鉄と、鉄滓破片などの微細な製鉄関連遺物とが混在した資料である。表面に茶褐色の鉄錆化物が付着する砂鉄粒子が多い。これは製鉄炉の操業時、還元によって砂鉄粒内に生じた非常に微細な金属鉄が錆化したものと推定される。なかには複数の砂鉄や砂粒などが、錆によって固着した不定形の塊も多数観察される。

(2) マクロ組織：写真24①に示す。砂鉄主体であるが、ごく微細な製錬滓や粒状滓様遺物、錆化鉄、粘土の塊(炉壁粉)なども多数混在する。

(3) 顕微鏡組織：写真24②③に示す。格子状の離溶組織を持つ含チタン鉄鉱¹⁾が多数確認される。また砂鉄粒子には②の左側のように内部にごく微細な金属鉄が晶出するものや、②中央右寄りの粒のように還元によって生じた金属鉄が錆化したものなど、炉内に装入されたことが明瞭なる粒子が多数含まれる。一方で②右下や③の左寄りの粒子のように熱影響がほとんどないものも混在する。

③の右上は鉄滓の破片である。内部には淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル(Ulvöspinel：2FeO·TiO₂)、淡灰色柱状結晶ファヤライト(Fayalite：2FeO·SiO₂)が晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖でいえる。また③の右下は粒状滓様遺物である。内部にはごく微細な灰褐色多角形結晶マグネタイト(Magnetite：Fe₃O₄)が凝集気味に晶出する。

当資料は砂鉄が主体で、熱影響がほとんどない粒から、還元が進み内部に微細な金属鉄粒が生じている粒子まで混在している。また内部に格子状の離溶組織を持つ含チタン鉄鉱が確認されることから、主に火山岩起源の砂鉄が製鉄原料であったと判断される。他にごく微細な砂鉄製錬滓や、錆化鉄、粘土(炉壁粉)などの製鉄関連遺物が混在する。

KOM-2：流出溝滓(含鉄)

(1)肉眼観察：やや小形の流出溝滓に破片(82g)と推測される。上面はやや平坦気味で、側面から下面にかけては表面に炉壁粉が付着する。滓の地の色調は黒灰色であるが、表面には茶褐色の鉄錆化物が付着する。特殊金属探知器の特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24④に示す。観察面ではまとまった金属鉄部は確認されず、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24⑤⑥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(Hercynite:FeO·Al₂O₃)を主な端成分とする固溶体²⁾と推定される。砂鉄製錬滓の晶癖である。

また不定形の明白色部は金属鉄である。3%ナイト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: α 鉄)単相の組織が確認された。

(4)ビッカース断面硬度：写真24⑤の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は837Hv、888Hvであった。ウルボスピネル(Ulvöspinel: 2FeO·TiO₂)としては高値傾向が著しく、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の可能性が高いと考えられる³⁾。

(5)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)35.51%に対して、金属鉄(Metallic Fe)1.65%、酸化第1鉄(FeO)34.70%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)9.85%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は39.36%と高値で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)も7.37%と高めである。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO₂)も9.70%と高値であった。バナジウム(V)は0.23%、酸化マンガン(MnO)0.53%である。また二酸化ジルコニウム(ZrO₂)は0.37%、銅(Cu)が<0.01%と低値であった。

当鉄滓はチタン(TiO₂)や塩基性成分(CaO+MgO)の高値傾向を示すため、主に火山岩起源の砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。また金属鉄部は非常に微細なものが滓中に多数散在するため、鍛冶原料となり得る状態ではなく廃棄されたものと判断される。

KOM-3：工具付着滓

(1)肉眼観察：内面に丸棒状の痕跡が残るごく小形の工具付着滓(31g)である。地の色調は黒灰色で、やや軽い質感の滓である。外面は若干凹凸があり弱い流動状を呈する。側面は全面破面で断面に層状の痕跡が観察される。内部には炉壁粉や砂粒(炉材粘土に混和されたものの可能性がある)が点在する。また中小の気孔も多数散在する。

(2)顕微鏡組織：写真25①～③に示す。暗色多角形結晶はヘルシナイト、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ェライトが晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖である。

また滓中のごく微細な明白色部は金属鉄である。②③の金属鉄部は3%ナイトルで腐食したところ、亜共析組織(<0.77%C)が観察された。

第4章 自然科学分析

(3) ビッカース断面硬度：写真25②の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は829Hv、889Hvであった。ウルボスピネルとしては高値傾向が著しく、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の可能性が高い。また暗色多角形結晶の硬度値は1197Hv、1282Hvであった。非常に硬質であり、ヘルシナイトと推定される。

以上の鉱物組成から、当鉄滓は砂鉄製錬に伴う反応副生物(砂鉄製錬滓)と推定される。

KOM-4：木炭

(1) 肉眼観察：テラス1粘土面から出土した木炭破片である。分析調査用に送付された資料中から、比較的大形の環孔材の破片を1点選択して、組織観察を行った。また性状調査は他の複数の小破片を用いている。

(2) 顕微鏡組織：写真25④～⑥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。この木炭破片は、組織の特徴からコナラ材と推定される。

(3) 性状調査(木炭)：表58に示す。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)は通常85%台であるものが60.79%に留まった。灰分も4.89%と高めで、発熱量も5947cal/gに留まる。本来は7000 cal/g程度は確保できるはずである。また揮発分も34.43%と多い。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0.010%、灰中燐(P)は0.06%であった。

KOM-5：炉壁

(1) 肉眼観察：強い熱影響を受けて内面表層がガラス質滓化した、製鉄炉の炉壁破片(297g)である。断面にはガラス滓が層状に観察されて、炉壁を補修して繰り返し使用したと推定される。胎土部分は褐色で、砂粒を混和している。

(2) 顕微鏡組織：写真26①～③に示す。内面のガラス質滓部分である。不定形の灰褐色粒は、熱影響を受けて外周部が滓化しかけた砂鉄である。周囲の微細な灰褐色結晶はマグネタイトと推測される。この砂鉄粒子は製鉄原料として製鉄炉内に装入されたものの可能性もあるが、若干粒径が小さく炉材粘土中に含まれていた可能性も考慮する必要がある。

(3) 化学組成分析：表57に示す。強熱減量(Ig loss)は2.12%と低値であった。熱影響を受けて結晶構造水が飛散した状態である。鉄分(Fe_2O_3)は6.48%と高いが、これは炉壁胎土本来の値でなく、ガラス質滓部分の影響を受けた値の可能性が高い。また酸化アルミニウム(Al_2O_3)は25.55%と高値傾向が著しく、耐火性に有利に働くと考えられる。

(4) 耐火度：1300℃であった。後述の炉壁(KOM-18)や粘土採掘坑からの採取粘土(KOM-25)と比較するとやや低めの値である(製鉄原料の砂鉄に起因する)。ガラス質滓中の鉄分の影響を受けた可能性も配慮すべきであろう。

当炉壁はアルミナ(Al_2O_3)の高値傾向が顕著であった。この特徴は採取粘土(KOM-25)とも共通することから、当遺跡で使用された炉材粘土は、周辺で調達されていた可能性が高い。一方で採取粘土の鉄分は当炉壁よりも低値である。これは粘土成分の反映も無視できないが、上述したように製鉄原料の砂鉄に起因するガラス質滓中の鉄分の影響を受けたと考えるべきであろう。

KOM-6：炉壁

(1)肉眼観察：上面側に薄く炉壁粘土が固着している。炉壁胎土は褐色～赤褐色で砂粒が多量に混和されている。一部通風孔部が残存する。またその下側に厚手の炉内流動滓が溶着する。滓の色調は暗灰色で表面はやや風化気味である。破面には大小の気孔が多数散在するが、重い質感の炉壁である。

(2)顕微鏡組織：写真26④～⑥に示す。④上側は滓部で、⑤はその拡大である。暗色多角形結晶はヘルシナイト、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④下側は炉壁胎土部分で⑥はその拡大である。素地は鱗片状の粘土鉱物で内部には砂粒を混和している。

(3)ピッカース断面硬度：写真26⑤の暗色多角形結晶と淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。淡茶褐色多角形結晶の硬度値は817Hv、829Hvであった。ウルボスピネルとしては高値傾向が著しく、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の可能性が高いと考えられる。また暗色多角形結晶の硬度値は1317Hv、1394Hvであった。非常に硬質であり、ヘルシナイトと推定される。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)34.54%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.10%、酸化第1鉄(FeO)34.47%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)10.93%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)43.73%と高値である。このうち塩基性成分(CaO+MgO)は5.07%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(TiO₂)は8.15%と高値である。またバナジウム(V)は0.22%、酸化マンガン(MnO)0.41%であった。銅(Cu)は<0.01%と低値である。

当試料の滓部は流出溝滓(KOM-2)とよく似た砂鉄製錬滓であった。

KOM-7：砂鉄

(1)肉眼観察：製鉄炉の作業場(砂鉄置場と考えられる位置)から回収された砂鉄である。砂鉄の粒径にはばらつきがあり、磨耗によってやや丸みを帯びた粒子が多い。また熱影響を受けた粒子はほとんどない。また砂鉄以外に斜長石などの砂粒も含まれるが、その割合は僅かである。

(2)マクロ組織：写真27①に示す。ほぼ熱影響のない砂鉄(磁鉄鉱または含チタン鉄鉱)主体で、脈石鉱物(暗色粒)はごく僅かである。

(3)顕微鏡組織：写真27②③に示す。②右下の暗色粒は僅かに混在する脈石鉱物、他の灰褐色粒子は砂鉄である。粒径や磨耗の度合いにはややばらつきがみられる。また砂鉄粒子中には内部に格子状の離溶組織が残る含チタン鉄鉱(③左側)も確認された。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)は63.25%と高値であった。金属鉄(Metallic Fe)0.07%、酸化第1鉄(FeO)27.30%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)59.99%の割合である。また砂鉄以外の主な造岩鉱物(石英・長石類・角閃石類など)の主要構成元素で鉄製錬時の造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は4.46%と低く、塩基性成分(CaO+MgO)も1.47%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(TiO₂)7.32%と高めであった。バナジウム(V)は0.27%、酸化マンガン(MnO)が0.33%であった。また二酸化ジルコニウム(ZrO₂)は0.02%、銅(Cu)は<0.01%と低値である。

当砂鉄はチタン(TiO₂)、マグネシア(MgO)の割合が高めで、ジルコン(ZrO₂)が低値であることから、火山岩起源と推定される。当遺跡出土製錬滓と比較すると、チタン(TiO₂)、バナジウム(V)、マンガン(MnO)等の含有率は近似する。一方でジルコン(ZrO₂)の含有率にはやや差がみられる。

第4章 自然科学分析

KOM-8：砂鉄

(1)肉眼観察：製鉄炉の作業場の床面直上から回収された砂鉄である。KOM-1と同様に表面に茶褐色錆が付着する砂鉄粒子が多い。これは製鉄炉の操業時、還元によって砂鉄粒内に生じた非常に微細な金属鉄が錆化したものと推定される。なかには複数の砂鉄や砂粒などが、錆によって固着した不定形の塊も若干観察される。

(2)マクロ組織：写真27④に示す。灰褐色粒が砂鉄である。熱影響を受けた粒の割合が高いが大きさや磨耗の度合いは砂鉄置場から回収された砂鉄(KOM-7)と類似する。

(3)顕微鏡組織：写真27⑤⑥に示す。砂鉄粒子はほとんど熱影響のないものから、内部に微細な金属鉄が晶出するものまで確認された。また微細な金属鉄粒や砂鉄製錬滓の破片も若干混在する。⑥左下は製錬滓の拡大で、内部に淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite： $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)が晶出する。高温下で生じた砂鉄製錬滓の晶癖といえる⁴⁾。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)は59.89%であった。金属鉄(Metallic Fe)1.15%、酸化第1鉄(FeO)25.45%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)55.70%の割合である。また砂鉄以外の主な造岩鉱物(石英・長石類・角閃石類など)の主要構成元素で鉄製錬時の造滓成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)は6.96%と低く、塩基性成分($\text{CaO} + \text{MgO}$)も1.61%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_2)は7.74%と高めである。バナジウム(V)が0.27%、酸化マンガン(MnO)は0.29%であった。また二酸化ジルコニウム(ZrO_2)は0.03%、銅(Cu)は<0.01%で低値である。

当砂鉄も前述砂鉄(KOM-7)と成分が近似しており、火山岩起源の砂鉄と推定される。

KOM-9：粒状の滓

KOM-9-1 3.5mm径

(1)肉眼観察：色調は黒灰色で、僅かに歪な球状を呈する。表面は比較的平滑であるが、ごく微細な凹凸がみられる。

(2)マクロ組織：写真28①に示す。ガラス質成分主体の滓で、内部には非常に微細な金属鉄が若干点状に存在する。

(3)顕微鏡組織：写真28②に示す。左上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。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。また滓中の微細な明白色部は金属鉄である。

KOM-9-2 2.2mm径

(1)肉眼観察：色調は黒灰色で、やや歪な球状を呈する。表面にはごく細かい凹凸がみられる。

(2)マクロ組織：写真28③に示す。表層部はやや風化が進んでいる。

(3)顕微鏡組織：写真28④に示す。KOM-9-1と同様に、ごく微細な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。

KOM-9-3 2.0mm

(1)肉眼観察：色調は黒灰色で、比較的きれいな球状を呈する。表面には非常に微細な気孔が点在するが、比較的平滑である。

(2)マクロ組織：写真28⑤に示す。表層や内部にごく微細な気孔が点在する。ガラス質成分主体の滓

である。

(3)顕微鏡組織：写真28⑥に示す。ごく微細な淡茶褐色樹枝状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。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。また滓中の微細な明白色部は金属鉄である。

KOM-9-4 1.8mm

(1)肉眼観察：色調は光沢の強い黒灰色で、きれいな球状を呈する。表面は非常に平滑である。

(2)マクロ組織：写真28⑦に示す。ガラス質成分主体の滓で、内部には非常に微細な金属鉄が若干点在する。また表層部は若干風化している。

(3)顕微鏡組織：写真28⑧に示す。左下寄り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。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。また滓中の微細な明白色部は金属鉄である。

KOM-9-5 1.6mm

(1)肉眼観察：色調は黒灰色で、やや歪な球状を呈する。表面にはごく微細な気孔が若干点在するが平滑である。

(2)マクロ組織：写真29①に示す。表層部に若干凹凸が見られるが、緻密なガラス質成分主体の滓である。内部には非常に微細な金属鉄が若干点在する。

(3)顕微鏡組織：写真29②に示す。右側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。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。また滓中の微細な明白色部は金属鉄である。

KOM-9-6 1.5mm

(1)肉眼観察：色調は黒灰色で、やや歪な球状を呈する。表面は比較的平滑である。

(2)マクロ組織：写真29③に示す。表層部はやや風化が進んでいる。

(3)顕微鏡組織：写真29④に示す。中央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。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。また滓中の微細な明白色部は金属鉄である。

今回調査を実施した6点(KOM-9-1～6)は、球状の粒状滓様遺物である。しかし鉄素材を熱間で鍛打加工する際に生じる粒状滓とは異なり、いずれも砂鉄製錬滓の晶癖であった。

KOM-10：流出溝滓

(1)肉眼観察：やや偏平な流出溝滓の端部破片である(629g)。滓の色調は黒灰色で、表面は部分的に風化している。また上面は平滑で数条の流動状の痕跡が観察される。短軸片側は破面で内部には気孔が散在するが、緻密で重量感のある滓である。

(2)顕微鏡組織：写真29⑤～⑦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。砂鉄製錬滓の晶癖である。また⑦中央は被熱砂鉄粒子の拡大である。内部に格子状の離溶組織が観察される含チタン鉄鉱で、外周部は還元・滓化が進んでいる。周囲のごく微細な明白色粒は、還元で生じた金属鉄である。

(3)ビッカース断面硬度：写真29⑥の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は772Hv、799Hvであった。ウルボスピネルとしては高値傾向を示しており、ウルボスピネルとヘルシナイト

第4章 自然科学分析

を主な端成分とする固溶体の可能性が高い。また淡灰色柱状結晶の硬度値は722Hvであった。ファヤライト (Fayalite : $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) の文献硬度値600 ~ 700Hvと比較するとやや硬質であり、マグネシア (MgO)などを若干固溶している可能性が考えられる。

(4) EPMA調査 : 写真30①に被熱砂鉄および周囲の滓部の反射電子像 (COMP) を示す。被熱砂鉄の素地部分は特性X線像をみると鉄 (Fe)、酸素 (O) に反応がある。定量分析値は97.7%FeO - 1.8TiO₂ (分析点13) であった。磁鉄鉱 (Magnetite: $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) に同定される。また砂鉄粒内の格子状の淡茶褐色部は、特性X線像ではチタン (Ti) に強い反応がある。定量分析値は71.1%FeO - 21.5%TiO₂ - 4.5%Al₂O₃ (分析点12) であった。チタン磁鉄鉱 (Titano-magnetite: マグネタイトとウルボスピネルを端成分とする固溶体) と判断される。また外周部に晶出する微細な淡茶褐色多角形結晶の定量分析値は63.4%FeO - 22.4%TiO₂ - 11.3%Al₂O₃ (分析点11) であった。ウルボスピネル (Ulvöspinel : $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$) とヘルシナイト (Hercynite : $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) を主な端成分とする固溶体と推定される。さらにその外側の淡灰色結晶は特性X線像をみると珪素 (Si) に強い反応がある。定量分析値は63.1%FeO - 3.0%MgO - 2.1%CaO - 31.6%SiO₂ であった (分析点14)。ファヤライト (Fayalite : $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) で、微量マグネシア (MgO)、ライム (CaO) を固溶する。さらに微細な明白色粒の定量分析値は103.4%FeO であった (分析点25)。金属鉄 (Metallic Fe) である。

(5) 化学組成分析 : 表57に示す。全鉄分 (Total Fe) 37.69% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.15%、酸化第1鉄 (FeO) 41.39%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 7.67% の割合であった。造滓成分 (SiO₂ + Al₂O₃ + CaO + MgO + K₂O + Na₂O) 40.65% と高値で、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) も7.83% と高めであった。製鉄原料の砂鉄 (含チタン鉄鉱) 起源の二酸化チタン (TiO₂) も7.74% と高めである。またバナジウム (V) は0.18%、酸化マンガン (MnO) 0.46% であった。二酸化ジルコニウム (ZrO₂) は0.37% とやや高めで、銅 (Cu) は < 0.01% と低値である。

当鉄滓も流出溝滓 (KOM-2) とよく似た化学組成であった。主に火山岩起源の砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。

KOM-11 : 炉底塊 (含鉄)

(1) 肉眼観察 : 炉底塊の端部寄り破片と推測される (2,535g)。上面は一部弱い流動状で中央がやや窪んでいる。下面は緩やかな船底状を呈する。表面は広い範囲が茶褐色の鉄錆化物で覆われる。特殊金属探知器の特L (☆) で反応があり、内部には金属鉄が存在すると判断される。

(2) マクロ組織 : 写真30②に示す。切断面ではまとまった金属鉄部はなく、非常に微細な金属鉄部が散在する状態であった。

(3) 顕微鏡組織 : 写真30③④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。砂鉄製錬滓の晶癖である。

また不定形の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 : α 鉄) 単相の組織が確認された。当未凝集フェライトの形態は砂鉄粒子の痕跡を留める。

(4) ビッカース断面硬度 : 写真30③の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は806Hv、812Hv であった。ウルボスピネル (Ulvöspinel : $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$) としては高値傾向が著しく、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の可能性が高いと考えられる。

また写真30④の金属鉄部の硬度測定を実施した。硬度値は103Hv、149Hvであった。フェライト単相の組織としては硬質で、燐(P)などの硬度を上昇させる元素を固溶している可能性が高い。

(5) EPMA調査：Photo.8①に滓部の反射電子像(COMP)を示す。滓中の淡茶褐色多角形結晶は特性X線像をみるとチタン(Ti)に強い反応がある。定量分析値は63.9%FeO-25.2%TiO₂-7.6%Al₂O₃-1.5%MgO(分析点15)、69.1%FeO-20.0%TiO₂-8.4%Al₂O₃(分析点16)であった。ウルボスピネル(Ulvöspinel: 2FeO·TiO₂)とヘルシナイト(Hercynite: FeO·Al₂O₃)を主な端成分とする固溶体と推定される。また白色樹枝状結晶は特性X線像では鉄(Fe)に強い反応がある。定量分析値は98.7%FeO-1.1%TiO₂であった(分析点17)。ウスタイト(Wustite: FeO)と推定される。さらに淡灰色微結晶は特性X線像では珪素(Si)、カルシウム(Ca)に強い反応がみられる。定量分析値は41.4%FeO-3.1%MgO-18.0%CaO-32.5%SiO₂であった(分析点18)。灰鉄かんらん石[Kirschsteinite: 2(Fe,Ca)O·SiO₂]と推定される。

(6) 化学組成分析：表57に示す。滓部の調査を実施した。全鉄分(Total Fe)44.45%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.81%、酸化第1鉄(FeO)30.32%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)28.70%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)21.52%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は4.45%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(TiO₂)8.79%と高めであった。またバナジウム(V)は0.27%、酸化マンガン(MnO)0.38%、二酸化ジルコニウム(ZrO₂)0.25%である。銅(Cu)は<0.01%と低値であった。

以上の鉱物・化学組成から、当鉄滓も主に火山岩起源の砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。また金属鉄部は非常に微細な状態で滓中に散在しているため、鍛冶原料となり得るものではなく廃棄されたと判断される。

KOM-12：炉内滓(含鉄)

(1) 肉眼観察：小形で不定形の炉内滓破片(37g)である。上面には広い範囲で茶褐色の鉄錆化物が付着しており、特殊金属探知器のL(●)で反応があり、内部には金属鉄が存在する。表面は暗灰色で細かい凹凸の多い滓部で覆われる。

(2) マクロ組織：写真31②に示す。滓中にごく小形で不定形の金属鉄部(写真右側)が存在する。3%ナイトルで腐食したところ亜共析組織～共析組織が確認された。

(3) 顕微鏡組織：写真31③④に示す。暗色部は滓部である。③上側の樹枝状結晶はEPMAなどを用いた定性・定量分析を実施していないため、断定は難しいが形状や色調などからペロブスカイト(Perovskite: CaO·TiO₂)の可能性が考えられる。また④左側の淡褐色片状結晶はシュードブルーカイト(Pseudobrookite: Fe₂O₃·TiO₂)と推定される。高温下での砂鉄製錬滓の晶癖といえる。また③下側は金属鉄部である。滓と接触している表層部は若干脱炭しているが、内側はほぼ黒色層状のパーライト(Pearlite)主体の組織であった。一方④の金属鉄部は炭素含有率が低く亜共析組織(<0.77% C)を呈する。

(4) ビッカース断面硬度：写真31③④の金属鉄部の硬度を測定した。白色のフェライト素地に少量パーライトが析出する亜共析組織部分の硬度値は118Hv、118Hv、166Hvである。これに対して、ほぼ全面黒色層状のパーライト組織部分はより硬質で、硬度値は262Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

第4章 自然科学分析

当遺物は火山岩起源の砂鉄を高温製錬してできた含鉄鉄滓に分類される。また組織観察および硬度測定結果から、金属鉄部は炭素含有率が0.2～0.7%程度のばらつきのある鋼と判断される。

KOM-13：鉄塊系遺物

(1)肉眼観察：やや小形の鉄塊系遺物である(56g)。表面は広い範囲が茶褐色の鉄錆化物に覆われており、錆化に伴う割れも生じている。特殊金属探知器のL(●)で反応をもち、内部には金属鉄が存在する。ただし、下面側には暗灰色の滓部が観察される。

(2)マクロ組織：写真32①に示す。内部にやや小形であるが、比較的まとまりの良い金属鉄部が存在する。3%ナイタルで腐食したところ亜共析組織～過共析組織が確認された。また肉眼観察の項で述べたように下面側にまとまった滓部(写真左側暗灰色部)が観察される。

(3)顕微鏡組織：写真32②③に示す。滓中には白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite： $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$)、淡褐色片状結晶シュードブルーカイトが晶出する。高温下で生じた砂鉄製錬滓の晶癖といえる。

②の金属鉄部は比較的炭素含有率の低い個所で、亜共析組織～共析組織を呈する。一方③の金属鉄部は高炭素域で白色針状のセメントイト(Cementite： Fe_3C)が析出する過共析組織($\text{C}>0.77\%$)であった。また過共析組織部分では黒色点状のステダイト(Steadite： $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}-\text{Fe}_3\text{P}$)も晶出する。

(4)ビッカース断面硬度：写真32②③の金属鉄部の硬度を測定した。②の亜共析組織部分の硬度値は154Hv、共析組織部分の硬度値は221Hvであった。③の過共析部分はより硬質で、硬度値は340Hv、610Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

当遺物も高温下で火山岩起源の砂鉄を製錬生成した小鉄塊といえる。金属鉄部の炭素含有率は部位によってばらつきが大きく0.2～1.5%程度と推定される。

KOM-14：流出孔～溝滓

(1)肉眼観察：先端側が二又に分かれた流出孔～溝滓の破片(400g)である。短軸両端が破面で、断面は楕円状を呈する。上面は弱い流動状でやや気孔が目立つ。下面には微細な炉壁粉が付着する。

(2)顕微鏡組織：写真32④～⑥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。さらに白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。⑤の右側の灰褐色粒は被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)である。外周部は熱影響を受けて還元・滓化が進む。砂鉄表層や滓中の微細な明白色部は金属鉄である。

(3)ビッカース断面硬度：写真32⑥の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は773Hv、861Hvであった。ウルボスピネル(Ulvöspinel： $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$)としては高値傾向が著しく、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の可能性が高い。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)39.57%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.46%、酸化第1鉄(FeO)40.98%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)10.37%の割合であった。造滓成分($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$)35.93%と高値で、塩基性成分($\text{CaO}+\text{MgO}$)も6.96%と高めである。製鉄原料の砂鉄(含チタン鉄鉱)起源の二酸化チタン(TiO_2)も7.24%と高めであった。バナジウム(V)は0.20%、酸化マンガン(MnO)0.50%であった。二酸化ジルコニウム(ZrO_2)0.33%とやや高め、銅(Cu)は<0.01%は低値である。

以上の鉱物・化学組成から、当鉄滓も火山岩起源の砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。

KOM-15：鉄塊系遺物

(1)肉眼観察：やや小形の鉄塊系遺物(58g)である。広い範囲で暗灰色の滓が観察されるが、表面は茶褐色の鉄錆化物に覆われており、錆化に伴う放射割れも生じている。特殊金属探知器のL(●)で反応があり、内部にまとまった金属鉄が存在する。

(2)マクロ組織：写真33①に示す。表層には滓が固着しているが、比較的まとまりの良い金属鉄部が存在する。金属鉄部は3%ナイトルで腐食したところ、亜共析組織～共析組織が確認された。

(3)顕微鏡組織：写真33②③に示す。②は左下の滓部である。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。また②右上および③は金属鉄部の拡大である。亜共析組織～共析組織を呈する。

(4)ピッカース断面硬度：写真33②の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は805Hvであった。ウルボスピネルとしては高値傾向が著しく、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の可能性が高いと考えられる。

また金属鉄部の硬度測定も実施した。②の初析フェライトが析出する個所の硬度値は147Hv、素地のパーライトの硬度値は186Hvであった。また③のフェライト(針状)が析出する個所の硬度値は、硬度圧痕がパーライト側への食み出しがあり、硬質の220Hv、素地のパーライトの硬度値は224Hvであった。後者は組織に見合った値である。

当遺物は火山岩起源の砂鉄を製錬してできた小鉄塊といえる。金属鉄部の炭素含有率は部位によってばらつきがあり0.3～0.7%程度と推定される。

KOM-16：マグネタイト系遺物

(1)肉眼観察：ごく小形のマグネタイト系遺物である(45g)。滓の地の色調は暗灰色で、表面には細かい凹凸がみられる。側面の大半は破面で、細かい気孔が散在する。

(2)顕微鏡組織：写真33④～⑥に示す。淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネル、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と推定される。さらに白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。

(3)ピッカース断面硬度：写真33⑤の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は676Hv、771Hvであった。前者はウルボスピネルとしても一般的な値といえるが、後者はウルボスピネルとしては高値傾向を示しており、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の可能性が高いと考えられる。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)56.20%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.24%、酸化第1鉄(FeO)33.20%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)43.11%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)13.68%と低値で、塩基性成分(CaO+MgO)は2.69%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(TiO₂)6.59%とやや低めであった。またバナジウム(V)は0.22%、酸化マンガン(MnO)0.35%、二酸化ジルコニウム(ZrO₂)0.27%である。銅(Cu)は<0.01%と低値であった。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。チタン(TiO₂)含有率は出土砂鉄より若干低めであるが、これは滓化が進んで炉材粘土溶融物の影響も受けていると考えられる。

KOM-17：流出溝滓

(1)肉眼観察：流出溝滓の破片である(438g)。色調は暗灰色で、重量感のある緻密な滓である。上面は緩やかな流動状である。下面には細かい木炭痕による凹凸が残る。また側面5面は破面で、上下面に沿って気孔が散在する。

(2)顕微鏡組織：写真34①～③に示す。滓中には淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。さらに少量白色粒状結晶ウスタイトも確認される。また滓中のごく微細な明白色粒は金属鉄である。3%ナイトルで腐食したところ、②③の微小金属鉄部では亜共析組織が確認された。

(3)ビッカース断面硬度：写真34②の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は604Hv、641Hvであった。ウルボスピネルと推定される。また淡灰色柱状結晶は460Hv、471Hvで、ファヤライトの文献硬度値と比較すると非常に軟質であった。測定時の亀裂の影響や、ライム(CaO)などを固溶している可能性も考えられる。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)42.19%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.17%、酸化第1鉄(FeO)44.69%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)10.41%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)31.35%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は5.46%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(TiO₂)8.99%と高値であった。またバナジウム(V)は0.29%、酸化マンガン(MnO)0.47%であった。二酸化ジルコニウム(ZrO₂)は0.34%とやや高めで、銅(Cu)は<0.01%と低値である。

以上の鉱物・化学組成から、当鉄滓も火山岩起源の砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。

KOM-18：炉壁

(1)肉眼観察：強い熱影響を受けて、内面表層がガラス質滓化した炉壁片である(477g)。炉壁(KOM-5)と同様、側面には補修痕が観察される。胎土は淡赤褐色で短く切ったスサや砂粒を混和している。

(2)顕微鏡組織：写真34④～⑥に示す。内面のガラス質滓部分である。不定形の灰褐色粒は、熱影響を受けて外周部が滓化しかけた砂鉄である。周囲の微細な灰褐色結晶はマグネタイトと推測される。この砂鉄粒子は製鉄原料として製鉄炉内に装入されたものの可能性もあるが、若干粒径が小さいことから、もともと炉材粘土中へ混在していた可能性もあろう。

(3)化学組成分析：表57に示す。強熱減量(Ig loss)は4.19%やや低めであった。熱影響を受けて結晶構造水が飛散した状態である。鉄分(Fe₂O₃)は5.09%と高値である。ただしこれは炉壁胎土本来の値でなく、ガラス質滓部分の影響も受けた値の可能性もある。また酸化アルミニウム(Al₂O₃)24.71%と高値で、耐火性に有利に働くと考えられる。

(4)耐火度：1460℃であった。耐火性の非常に高い性状であった。炉壁(KOM-5)と同様、当炉壁もアルミナ(Al₂O₃)の高値傾向が顕著であった。この特徴は採取粘土(KOM-25)とも共通することから、当遺跡で使用された炉材粘土は、周辺で調達されていた可能性が考えられる。

KOM-19：砂鉄焼結塊

(1)肉眼観察：薄板状の砂鉄焼結塊の破片である(286g)。地の色調は暗灰色で、表面は砂鉄粒子の

微細な凹凸が残る。また茶褐色の鉄錆化物が薄く固着している。還元によって生じた微細な金属鉄が錆化したものと推定される。特殊金属探知器での反応はない。

(2)顕微鏡組織：写真35①～③に示す。観察面では全体に滓化が進んでいるが、内部には被熱砂鉄粒子(含チタン鉄鉱)も多数残存する。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。

(3)ピッカース断面硬度：写真35③の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は642Hvであった。ウルボスピネルと推定される。また白色樹枝状結晶の硬度値は403Hv、404Hvであった。ウスタイトの文献硬度値450～500Hvよりも軟質であるが、結晶の色調・形態などからウスタイトの可能性が高いと考えられる。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)54.59%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.08%、酸化第1鉄(FeO)33.86%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)40.31%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)13.17%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は2.40%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(TiO₂)は6.28%とやや低めであった。またバナジウム(V)は0.21%、酸化マンガン(MnO)0.40%である。二酸化ジルコニウム(ZrO₂)0.37%とやや高めで、銅(Cu)は0.01%と低値であった。

当鉄滓も砂鉄製錬滓に分類される。チタン(TiO₂)含有率は出土砂鉄(KOM-6、7)より若干低めであるが、これは滓化が進んで炉材粘土溶融物の影響も受けているためと考えられる。またジルコン(ZrO₂)の含有率がやや高めである。操業回によって若干砂鉄の成分に違いがあった可能性も考えられる。

KOM-20：流出孔～溝滓

(1)肉眼観察：流出孔～溝滓の破片である(886g)。上面側は流動状で、一部皺状の凹凸が著しい。側面から下面にかけては比較的きれいな船底状を呈する。側面1面は破面で、気孔が若干散在するが緻密である。

(2)顕微鏡組織：写真35①～③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。さらに白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。また⑥の灰褐色粒は被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)である。外周部は熱影響を受けて滓化が進んでいる。

(3)ピッカース断面硬度：写真35⑤の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は796Hv、805Hvであった。ウルボスピネル(Ulvöspinel：2FeO・TiO₂)としては高値傾向が著しく、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の可能性が高い。また淡灰色柱状結晶の硬度値は638Hv、684Hvであった。ファヤライトの文献硬度値の範囲内であり、ファヤライトに同定される。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)40.80%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.15%、酸化第1鉄(FeO)42.59%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)10.79%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は34.92%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は6.48%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(TiO₂)は8.58%と高めであった。またバナジウム(V)0.23%、酸化マンガン(MnO)0.48%である。二酸化ジルコニウム(ZrO₂)は0.36%とやや高めで、銅(Cu)は0.01%と低値であった。

第4章 自然科学分析

当鉄滓も主に火山岩起源の砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。

KOM-21：炉底塊(含鉄)

(1)肉眼観察：やや大形で厚手の炉底系の角部破片(996g)である。表面は茶褐色の鉄錆化物で覆われており、特殊金属探知器の特L(☆)で反応があり、内部には金属鉄が残存する。滓の地の色調は暗灰色で、側面の一部は弱い流動状を呈する。

(2)マクロ組織：写真36①に示す。切断面ではまとまった金属鉄(または錆化鉄)部はみられなかった。

(3)顕微鏡組織：写真36②③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。さらに白色粒状結晶ウスタイトまたはマグネタイト、淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。また③の黒色部は還元によって生じたごく微細な金属鉄が錆化、剥落した痕跡と推定される。

(4)ビッカース断面硬度：写真36②の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は750Hv。830Hvであった。ウルボスピネル(Ulvöspinel： $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$)としては高値傾向が著しく、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の可能性が高い。また白色樹枝状結晶の硬度値は510Hv、520Hvであった。ウスタイトの文献硬度値450～500Hvより若干硬質で、マグネタイトの文献硬度値500～600Hvの範疇に入る。ただし結晶内に微細な淡褐色結晶(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)が晶出しているので、素地部分がウスタイトでもその影響を受けた可能性も高い。ウスタイトまたはマグネタイト、ないしは両者の混晶の可能性も提示しておきたい。

(5)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)48.34%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.12%、酸化第1鉄(FeO)20.54%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)46.12%の割合であった。造滓成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)17.93%とやや低めで、塩基性成分($\text{CaO} + \text{MgO}$)は2.49%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_2)は3.38%と低値であった。またバナジウム(V)は0.13%、酸化マンガン(MnO)0.17%、二酸化ジルコニウム(ZrO_2)0.12%であった。銅(Cu)も<0.01%と低値である。

当鉄滓は遺跡出土製錬滓の中でもチタン含有率が低めであるが、これは滓中の微細な錆化鉄部の影響が大きいと判断される。また切断面では、まとまった金属鉄(または錆化鉄)部はなく、滓として廃棄されたものと推定される。

KOM-22：炉内滓(含鉄)

(1)肉眼観察：炉底塊の側面部破片(411g)と推定される。滓の地の色調は灰褐色で、表面は細かい凹凸が目立つ。また広い範囲で茶褐色の鉄錆化鉄が付着している。特殊金属探知器の特L(☆)で反応があり、内部には金属鉄が残存する。

(2)マクロ組織：写真36④に示す。金属鉄部は存在するがまとまりに欠け、微細なフェライトが多数滓中に散在する状態であった。

(3)顕微鏡組織：写真36の⑤に金属鉄部の硬度測定圧痕を示す。白色縞状部は104Hvと軟質のフェライト・パーライト域である。黒色層状部は185Hvでパーライト域、白色紐状は圧痕が食い出して167Hvwo呈した。写真36⑤⑥に示す。⑤は比較的まとまりのある金属鉄部の拡大である。3%ナイトルで腐食したところ、亜共析組織～共析組織が確認された。また⑥の微細な明白色部も金属鉄である。こちらは3%ナイト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。また⑥の暗色部は製錬滓である、滓中には淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色柱状結晶ファヤライトが晶出する。

(4)ピッカース断面硬度：写真36⑥の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は639Hv、747Hvであった。前者はウルボスピネルとしても一般的な値といえるが、後者はウルボスピネルとしては高値傾向を示しており、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の可能性が高い。

(5)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)44.13%に対して、金属鉄(Metallic Fe)1.76%、酸化第1鉄(FeO)18.32%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)40.22%の割合であった。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)25.62%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)は3.13%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(TiO₂)は4.67%と低値であった。またバナジウム(V)は0.24%、酸化マンガン(MnO)0.23%、二酸化ジルコニウム(ZrO₂)0.17%である。銅(Cu)も0.01%と低値であった。

当鉄滓も炉底塊(KOM-21)と同様にチタン含有率が低めであるが、これは滓中の微細な錆化鉄部の影響が大きいと判断される。また金属鉄部はごく微細なものが多数滓中に散在する状態で、鍛冶原料となり得るものではなく廃棄品であろう。

KOM-23：鉄塊系遺物

(1)肉眼観察：ごく小形の鉄塊系遺物(39g)である。表面は細かい凹凸があり、全体が茶褐色の土砂で覆われる。側面端部に暗灰色の滓が観察されるが、特殊金属探知器のL(●)で反応があり、内部には金属鉄が存在する。

(2)マクロ組織：写真37①に示す。写真左側の明灰色部は付着滓である。また写真下側中央部にごく小形の金属鉄部が観察される。

(3)顕微鏡組織：写真37②③に示す。②は滓部の拡大である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ウスタイトまたはマグネタイトが晶出する。③は金属鉄部の拡大である。3%ナイトルで腐食したところ、フェライト地に微量のパラライトが晶出する亜共析組織が確認された。

(4)ピッカース断面硬度：写真37②の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は680Hvで、ウルボスピネルに同定される。また白色樹枝状結晶の硬度値は531Hv、554Hvであった。ウスタイトの文献硬度値より硬質で、マグネタイトの文献硬度値の範疇に入る。ただし結晶内に微細な淡褐色結晶(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)が晶出しており、素地部分がウスタイトでもその影響を受けた可能性も高い。ウスタイトまたはマグネタイト、ないしは両者の混晶の可能性も提示しておきたい。

また金属鉄部の硬度測定も実施した。硬度値は105Hv、107Hvであった。組織に見合った値である。

当遺物は砂鉄の製錬生成小鉄塊といえる。金属鉄部の炭素含有率は低めで0.2%以下と推定される。

KOM-24：黒鉛化木炭

(1)肉眼観察：ごく小形の黒鉛化木炭の破片(30g)である。表面は広い範囲で茶褐色の錆化鉄が固着しており、側面に沿って放射状の割れも観察される。全体に錆化が進んでおり着磁性は低い。

(2)マクロ組織：写真37④に示す。木口面を観察している。広葉樹の放射孔材と推測される。また

第4章 自然科学分析

観察面では金属鉄部はみられないが、側面(写真上側)や放射方向の割れに沿って青灰色の錆化鉄部が確認された。

(3)顕微鏡組織：写真37⑤⑥に示す。⑤は木炭表面に付着した砂鉄製錬滓の拡大である。淡褐色片状結晶シュードブルーカイトが晶出する。またEPMA調査を実施していないため断定は難しいが、滓中の微細な端赤色部は色調等からチタンナイトライド(TiN)の可能性が考えられる。木炭に接触した部分で、局部的に高温・強還元雰囲気が生じ生成されたものと推測される。

また⑥は木炭組織部分の拡大で、導管内にも錆化鉄部が確認される。一部黒色針状組織痕跡が残存する個所は過共析組織であった可能性が考えられる。

木炭組織の特徴(放射孔材)から、当遺物はアカガシなどの常緑カシ類を用いた黒炭と推定される。また表層付着滓から砂鉄製錬に用いられたことや、製鉄炉の操業中、当木炭の周囲では高温・強還元雰囲気となっていたことも明らかとなった。

KOM-25：粘土

(1)肉眼観察：粘土採掘坑1の壁面から採取された粘土である。色調は淡黄褐色で、緻密である。

(2)化学組成分析：表57に示す。人為的な熱影響を受けていないため、強熱減量(Ig loss)は8.23%と高値であった。鉄分(Fe_2O_3)は2.37%と低めで、酸化アルミニウム(Al_2O_3)は20.05%と高く、耐火性に有利な成分系といえる。

(3)耐火度：1380℃であった。遺跡から出土した炉壁(KOM-5、18)は耐火度のばらつきが非常に大きいですが、当粘土はその中間の値であった。

当粘土は出土炉壁(KOM-5、18)と比較すると鉄分が低いですが、前述したように炉壁に関してはガラス質滓部分の影響を受けている可能性がある。一方アルミナ(Al_2O_3)の高値傾向には共通性がみられる。周囲の粘土を採掘して築炉していた可能性は考えられよう。

KOM-26：鉄塊系遺物

(1)肉眼観察：やや小形で不定形の鉄塊系遺物(59g)と推測される。表面は全体が黄褐色の土砂や茶褐色の鉄錆化物で覆われる。錆化に伴う割れや剥落も生じているが、特殊金属探知器のL(●)で反応があり、内部に金属鉄が存在すると考えられる。

(2)マクロ組織：写真38①に示す。鉄部は錆化が進んでおり(不定形青灰色部：錆化鉄)、金属鉄(明白色部)はごく僅かに残存するのみである。写真下側は滓部であり、製錬滓と分離の悪い状態の小鉄塊と判断される。

(3)顕微鏡組織：写真38②③に示す。②左下は滓部である。淡茶褐色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②の右側および③左側の明白色部は金属鉄である。3%ナイトルで腐食したところ、フェライト主体であるがごく僅かに黒色層状のパーライトも析出する。

(4)ビッカース断面硬度：写真38②の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は649Hv、659Hv、722Hvであった。前二者はウルボスピネルとしても一般的な値といえるが、後者はウルボスピネルとしては高値傾向を示しており、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412Hv、492Hvであった。前者はウスタイトとしてはやや軟質であるが、色調・形態等からウスタイトと推定される。

さらに写真38②の金属鉄部(フェライト単相)の硬度測定も実施した。硬度値は92Hv、99Hvと軟質で、組織に見合った値である。

当遺物は砂鉄を製錬してできた小鉄塊といえる。金属鉄部の炭素含有率は低く0.1%未満と推定される。

KOM-27：鉄塊系遺物

(1)肉眼観察：やや小形で不定形の鉄塊系遺物と推定される(64g)。表面は黄褐色の土砂や茶褐色の鉄錆化物に覆われており、錆膨れによる凹凸も目立つ。特殊金属探知器の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38④に示す。切断面では滓中にごく微細な金属鉄(明白色部)が多数散在する状態で、まとまった鉄部はみられなかった。

(3)顕微鏡組織：写真38⑤⑥に示す。⑤の暗色部は製錬滓である。淡茶褐色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⑤の明灰色部は金属鉄で、3%ナイトルで腐食したところ、炭素をほとんど含まないフェライト単相の組織が確認された。⑥は表層付着土砂中の砂鉄粒子で、内部に格子状の離溶組織を持つ含チタン鉄鉱が観察される。

(4)ビッカース断面硬度：写真38②の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は874Hv、979Hvと高値傾向が著しく、ウルボスピネルとヘルシナイトの固溶体と推測される。さらに金属鉄部(フェライト単相)の硬度測定も実施した。硬度値は89Hvと軟質で、組織に見合った値である。

当鉄滓は火山岩起源の砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。金属鉄部は非常に微細な状態で滓中に散在しているため、鍛冶原料となり得ずに廃棄されたものと判断される。

KOM-28：鉄製品

(1)肉眼観察：表面が厚く土砂で覆われた棒状の鉄製品の破片である。短軸両端は錆化による破面と推定される。特殊金属探知機での反応はなく、完全に錆化していると考えられる。

(2)顕微鏡組織：写真39①～③に示す。①に錆化鉄(明灰色)部の横断面で、直径約4mmのきれいな円形を呈する。内部には鍛打により展伸した形状の介在物もなく、近代以降の混入品(丸釘などの体部破片)の可能性も考えられる。②③は錆化鉄部の拡大で、金属組織痕跡は不明瞭であった。

KOM-29：砂鉄

(1)肉眼観察：甲川で採取した砂鉄である。正八面体や六角板状結晶形を保つ(磁鉄鉱やチタン鉄鉱と推測される)砂鉄粒子が確認されるが、磨耗してやや丸みを帯びた粒も多い。また石英・斜長石・角閃石・輝石類といった砂粒(造岩鉱物)や微細な岩石片も混在する。

(2)マクロ組織：写真39④に示す。作業場から回収された砂鉄(KOM-7、8)と比較すると径の大きな砂鉄粒子の割合が高い。また砂鉄以外の砂粒も多数混在する。

(3)顕微鏡組織：写真39⑤⑥に示す。灰褐色粒は砂鉄である、一部未分離な他の造岩鉱物(暗色部)が付着するものも点在する。また砂鉄粒内に格子状の離溶組織を持つ含チタン鉄鉱も確認された。

(4)化学組成分析：表57に示す。全鉄分(Total Fe)54.89%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.05%、酸化第1鉄(FeO)12.36%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)64.67%の割合であった。また砂鉄以外の主な造岩鉱物

(石英・長石類・角閃石類など)の主要構成元素で鉄製錬時の造滓成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)は15.63%とやや高めであった。このうち塩基性成分($\text{CaO} + \text{MgO}$)も2.85%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_2)は7.45%と高めであった。バナジウム(V)は0.25%、酸化マンガン(MnO)が0.36%であった。また二酸化ジルコニウム(ZrO_2)は0.04%と低く、銅(Cu)も0.01%と低値である。

当砂鉄もチタン(TiO_2)、マグネシア(MgO)がやや高めで、ジルコン(ZrO_2)低値であることから、火山岩起源の砂鉄と推定される。作業場から回収された砂鉄(KOM-7、8)と比較すると、砂分の多さを反映して造滓成分の割合が高めであるが、成分の傾向はよく似ている。

4. まとめ

赤坂小丸山遺跡から出土した製鉄関連遺物を調査した結果、次の点が明らかとなった。

〈1〉炉壁2点は耐火度のばらつきが大きい(KOM-5:1300℃、KOM-18:1480℃)結果となったが、補修痕跡のある炉壁であるため、前者はよりガラス質滓部分の影響を受けた可能性がある。また成分的には2点とも高アルミナ(Al_2O_3)傾向が顕著である。粘土採掘坑1壁面から採取した粘土(KOM-25)も高アルミナ(Al_2O_3)傾向は共通するため、耐火性の高い粘土を選択して築炉していた可能性が考えられる。

〈2〉作業場から回収された砂鉄(KOM-6、7)と甲川採取砂鉄(KOM-29)は成分的にはよく似ている。火山岩起源の中チタン(TiO_2)砂鉄に分類される。遺跡出土製錬滓ともチタン含有率(TiO_2)はほぼ同等であり(第214図⁵⁾)、同様の砂鉄が製鉄原料となった可能性が高い。ただし砂鉄中のジルコン(ZrO_2)がごく微量であるのに対して、製錬滓のジルコンの含有率はやや高めである。

なお同じ大山町に所在する、9世紀後半の製鉄炉が検出された下市築地ノ峯東通第2遺跡の出土砂鉄も成分はよく似ているが、ジルコンの含有率はやや高めである(ZrO_2 :0.36)。通常珪長質深成岩起源の砂鉄に多く含まれるため、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考えられる。こうした成分の微妙な違いが、砂鉄採取の時期や場所の差を反映したものの否かは今後の検討課題といえる。

〈3〉組織観察を実施した木炭(KOM-4)は、その特徴からクヌギ材と推定される。また黒鉛化木炭(KOM-24)は落葉カシ類の黒炭であったと考えられる。これらはともに薪炭材としてよく利用される広葉樹材である。

〈4〉出土製錬滓[KOM-3、6(滓部)、9、10、11、14、16、17、19、20]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やや酸化鉄の割合の高い傾向がみられる(第214図)。古墳時代後期～古代の中国地方の事例(第215図)と比較しても、若干歩留まりの低い傾向を示している。製鉄炉内は(部分的に高温化していても)全体の温度がやや低めで、還元雰囲気弱い状態での操業が主体であったと推察される。

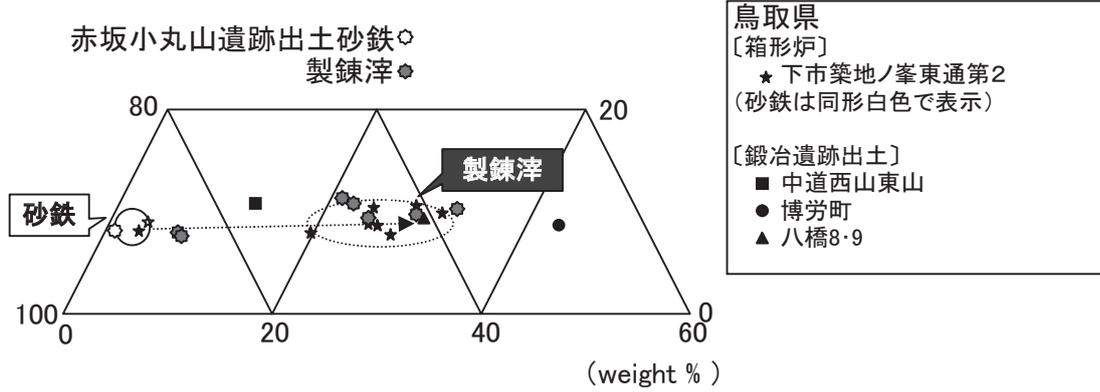
なお上述の下市築地ノ峯東通第2遺跡でも同様の特徴が確認されている。

〈5〉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ものが複数(KOM-2、11、21、22)確認された。これらは鍛冶原料となり得る状態ではなく、滓として廃棄されたと判断される。比較的まとまった金属鉄が確認された遺物(KOM-12、13、15、22、23)もごく小形で、製錬滓との分離が不十分な状態の鋼であった(第216図)。

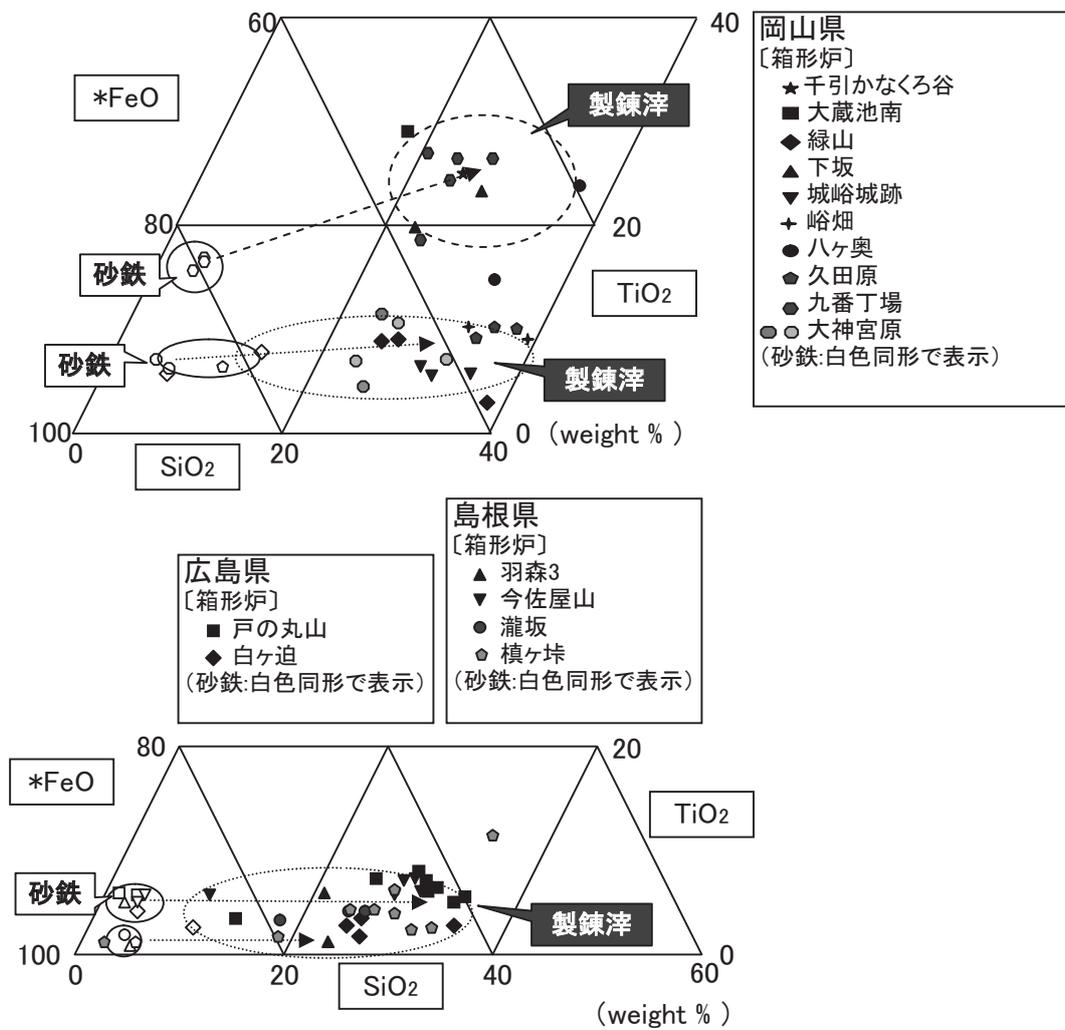
以上の調査結果から、当遺跡で生産された金属鉄は比較的炭素含有量の低い鋼が主体であったと推察される。

【註】

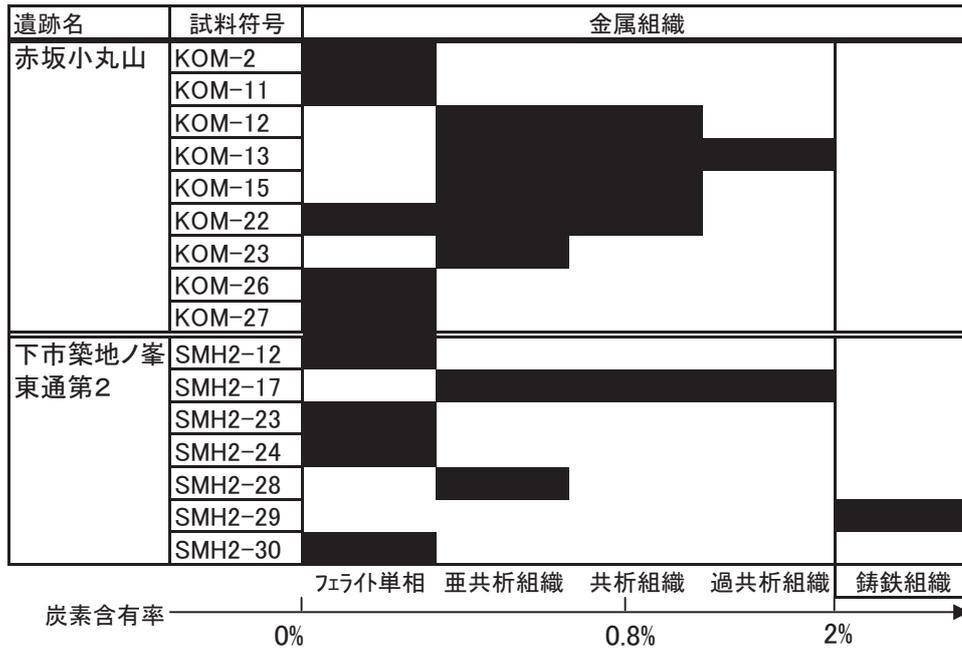
- 1) 木下亀城・小川留太郎『岩石鉱物』保育社 1995
チタン鉄鉱は赤鉄鉱とあらゆる割合に混じりあった固溶体をつくる。(中略)チタン鉄鉱と赤鉄鉱の固溶体には、チタン鉄鉱あるいは赤鉄鉱の結晶をなし、全体が完全に均質なものと、チタン鉄鉱と赤鉄鉱が平行にならんで規則正しい縞状構造を示すものがある。
チタン鉄鉱は磁鉄鉱とも固溶体をつくり、これにも均質なものと、縞状のものがある。(中略)このようなチタン鉄鉱と赤鉄鉱、または磁鉄鉱との固溶体を含チタン鉄鉱 Titaniferous iron ore という。
- 2) 黒田吉益・諏訪兼位『偏光顕微鏡と造岩鉱物 [第2版]』共立出版株式会社 1983
第5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_2O_4 と表記できる。X は2価の金属イオン、Y は3価の金属イオンである。その組み合わせでいろいろの種類のものがある。(略)
- 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: $FeO \cdot TiO_2$) の晶出は $FeO - TiO_2$ 二元平衡状態図から高温化操業が推定される。]
- 5) 第215図は以下の発掘調査報告書に掲載された砂鉄、鉄滓の化学分析値を元に作成した。
 - ①『八橋8・9遺跡』(財)鳥取県教育文化財団埋蔵文化財センター 2004
 - ②『中道西山東山遺跡』(財)鳥取県教育文化財団 2005
 - ③『博労町遺跡』米子市教育文化事業団 2011
 - ④『下市築地ノ峯東通第2遺跡』鳥取県埋蔵文化財センター 2013



第214図 鳥取県下の製鉄遺跡出土砂鉄・製錬滓の化学組成



第215図 中国地方(岡山・広島・島根県)の製鉄遺跡出土砂鉄・製錬滓の化学組成



第216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

表56 供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	出土位置	遺物No.	遺物名称	推定年代	計測値		磁着度	メタル度	調査項目					備考		
						大きさ(mm)	重量(g)			マクロ組織	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	X線回折	EPMA		化学分析	耐火度
KOM-1	赤坂小丸山遺跡	1号製鉄炉	3	被熱砂鉄・滓粉混在物	10～13世紀	-	200	5	なし	○							
KOM-2		1号製鉄炉	12	流出溝滓(含鉄)			60×50×25	820	3	特L(☆)	○			○			
KOM-3		テラス1粘土面	24	工具付着滓			55×31×14	310	1	なし	○						
KOM-4		テラス1粘土面	32	木炭(一括)			-	1030	1	なし	○			○			○
KOM-5		テラス1	42	炉壁			110×79×39	2970	3	なし	○			○			○
KOM-6		テラス1・排滓土坑1	61	炉壁			58×174×85	8980	1	なし	○			○			
KOM-7		テラス1	65	生砂鉄			-	56420	6	なし	○			○			
KOM-8		テラス1	66	被熱砂鉄			-	3130	6	なし	○			○			
KOM-9		テラス1	68	粒状の滓			-	02	1	なし	○						
KOM-10		テラス1	93	流出溝滓			145×92×32	6290	1	なし	○			○			
KOM-11		テラス1	106	炉底塊(含鉄)			110×248×60	25350	4	特L(☆)	○			○			
KOM-12		テラス1	118	炉内滓(含鉄)			34×21×23	370	4	L(●)	○						
KOM-13		テラス1	125	鉄塊系遺物			41×38×26	560	5	L(●)	○						
KOM-14		流出溝1	144	流出孔～溝滓			115×88×42	4000	1	なし	○						
KOM-15		流出溝1	158	鉄塊系遺物			32×30×34	580	4	L(●)	○						
KOM-16		排滓場1	196	マグネト系遺物			47×30×20	450	3	なし	○			○			
KOM-17		排滓場1	204	流出溝滓			106×87×49	4380	1	なし	○			○			
KOM-18		排滓土坑1	228	炉壁			110×104×40	4770	3	なし	○			○			
KOM-19		排滓土坑1	260	砂鉄塊結塊			101×67×23	2860	6	錆化(△)	○			○			
KOM-20		排滓土坑1	283	流出溝～溝滓			133×93×53	8860	2	なし	○			○			
KOM-21		排滓土坑1	307	炉底塊(含鉄)			65×150×75	9960	3	特L(☆)	○			○			
KOM-22		排滓土坑1	315	炉内滓(含鉄)			95×76×60	4110	3	特L(☆)	○			○			
KOM-23		排滓土坑1	320	鉄塊系遺物			24×40×23	390	4	L(●)	○			○			
KOM-24		排滓土坑1	324	黒鉛化木炭(含鉄)			36×18×16	300	3	L(●)	○			○			
KOM-25		粘土採掘坑1	325	粘土採掘坑粘土			-	2000	1	なし	○						○
KOM-26		表土	397	鉄塊系遺物			43×31×25	590	3	L(●)	○			○			
KOM-27		流土	398	鉄塊系遺物			57×37×30	640	3	L(●)	○			○			
KOM-28		流土	400	鉄製品			12×41×13	90	2	錆化(△)	○						
KOM-29		甲川採取	-	砂鉄			-	200	5	なし	○						

微細遺物サイズ(mm)

KOM-9-1	3.5
KOM-9-2	2.2
KOM-9-3	2.0
KOM-9-4	1.8
KOM-9-5	1.6
KOM-9-6	1.5

表57 供試材の化学組成

遺跡名	遺物名称	出土位置	推定年代	全鉄分 (Total Fe)	金属鉄 (Metallic Fe)	酸化第1鉄 (FeO)	酸化第2鉄 (Fe ₂ O ₃)	二酸化珪素 (SiO ₂)	酸化アルミナ (Al ₂ O ₃)	酸化カルシウム (CaO)	酸化マグネシウム (MgO)	酸化カリウム (K ₂ O)	酸化ナトリウム (Na ₂ O)	酸化マンガン (MnO)	二酸化チタン (TiO ₂)	酸化クロム (Cr ₂ O ₃)	硫黄 (S)	五酸化リン (P ₂ O ₅)	炭素 (C)	V (V)	銅 (Cu)	二酸化ジルコニウム (ZrO ₂)	耐火度 (°C)	造滓成分		T-O ₂ Total Fe	
																								Total Fe	Total Fe		
KOM-2	流出溝滓 (含鉄)	1号製鉄炉	10~13世紀	35.51	1.65	34.70	9.85	20.01	10.48	4.54	2.83	1.22	0.28	0.53	9.70	0.07	0.072	0.22	0.24	0.23	<0.01	0.37	-	39.36	1.108	0.273	
KOM-5	炉壁	テラス1		5.09	0.05	0.65	6.48	61.10	25.55	0.48	1.01	1.37	0.73	0.04	0.99	0.03	0.014	0.06	Ig loss 2.12	0.02	<0.01	<0.01	-	1300	90.24	17.729	0.194
KOM-6	テラス1・排滓土坑1	テラス1・排滓土坑1		34.54	0.10	34.47	10.93	25.15	12.20	2.66	2.41	0.93	0.38	0.41	8.15	0.07	0.022	0.17	Ig loss +2.50	0.22	<0.01	<0.01	-	43.73	1.266	0.236	
KOM-7	生砂鉄	テラス1		63.25	0.07	27.30	59.99	0.71	2.26	0.07	1.40	<0.01	0.02	0.33	7.32	0.10	0.007	<0.01	0.01	0.27	<0.01	<0.01	0.02	-	4.46	0.071	0.116
KOM-8	被熱砂鉄	テラス1		59.89	1.15	25.45	55.70	2.26	3.01	0.19	1.42	0.05	0.03	0.29	7.74	0.09	0.051	0.05	0.22	0.27	<0.01	<0.01	0.03	-	6.96	0.116	0.129
KOM-10	流出溝滓	テラス1		37.69	0.15	41.39	7.67	22.18	8.94	4.74	3.09	1.36	0.34	0.46	7.74	0.06	0.044	0.20	0.12	0.18	0.18	<0.01	0.37	-	40.65	1.079	0.205
KOM-11	炉底塊 (含鉄)	テラス1		44.45	0.81	30.32	28.70	10.02	6.30	2.34	2.11	0.58	0.17	0.38	8.79	0.06	0.15	0.15	0.92	0.27	<0.01	<0.01	0.25	-	21.52	0.484	0.198
KOM-14	流出溝1	流出溝1		39.57	0.46	40.98	10.37	18.81	8.76	4.24	2.72	1.14	0.26	0.50	7.24	0.06	0.082	0.35	0.30	0.20	<0.01	<0.01	0.33	-	35.93	0.908	0.183
KOM-16	排滓場1	排滓場1		56.20	0.24	33.20	43.11	6.06	4.24	0.90	1.79	0.55	0.14	0.35	6.59	0.08	0.007	0.18	0.41	0.41	0.22	<0.01	0.27	-	13.68	0.243	0.117
KOM-17	排滓場1	排滓場1		42.19	0.17	44.69	10.41	16.54	8.32	2.73	2.73	0.77	0.26	0.47	8.99	0.09	0.046	0.14	0.25	0.29	<0.01	<0.01	0.34	-	31.35	0.743	0.213
KOM-18	排滓土坑1	排滓土坑1	5.01	0.05	1.80	5.09	57.01	24.71	0.44	1.02	1.36	0.70	0.04	0.95	0.03	0.008	0.07	Ig loss 4.19	0.02	0.02	<0.01	<0.01	-	1460	85.24	17.014	0.190
KOM-19	排滓土坑1	排滓土坑1	54.59	0.08	33.86	40.31	6.27	3.80	0.76	1.64	0.53	0.17	0.40	6.28	0.07	0.043	0.22	0.48	0.48	0.21	0.01	0.37	-	13.17	0.241	0.115	
KOM-20	排滓土坑1	排滓土坑1	40.80	0.15	42.59	10.79	17.84	9.31	3.79	2.69	1.03	0.26	0.48	8.58	0.12	0.064	0.21	0.19	0.23	0.01	0.36	-	34.92	0.856	0.210		
KOM-21	排滓土坑1	排滓土坑1	48.34	0.12	20.54	46.12	9.85	4.99	1.45	1.04	0.48	0.12	0.17	3.38	0.05	0.14	0.11	0.83	0.13	<0.01	<0.01	0.12	-	17.93	0.371	0.070	
KOM-22	排滓土坑1	排滓土坑1	44.13	1.76	18.32	40.22	13.94	7.50	1.75	1.38	0.85	0.22	0.23	4.67	0.10	0.078	0.14	0.59	0.24	0.01	0.17	-	25.64	0.581	0.106		
KOM-25	粘土探掘坑1	粘土探掘坑1	2.58	0.03	1.15	2.37	60.73	20.05	0.15	1.42	2.37	0.44	0.04	0.99	0.01	0.015	0.03	Ig loss 8.23	0.02	<0.01	<0.01	-	1380	85.16	33.008	0.384	
KOM-29	甲川採取	砂鉄	54.89	0.05	12.36	64.67	8.35	3.75	0.70	2.15	0.19	0.49	0.36	7.45	0.09	0.006	0.11	0.05	0.25	0.01	0.04	-	15.63	0.285	0.136		

表58 木炭の性状

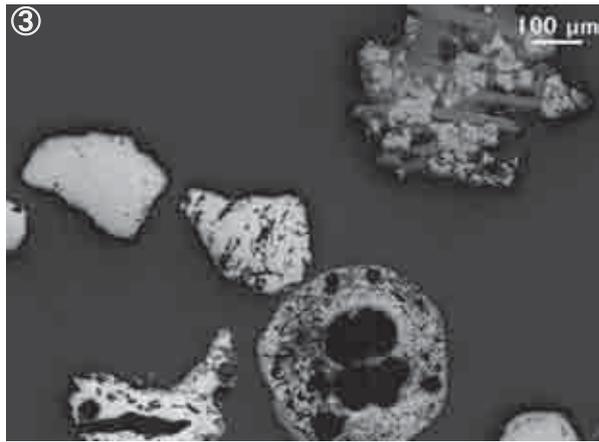
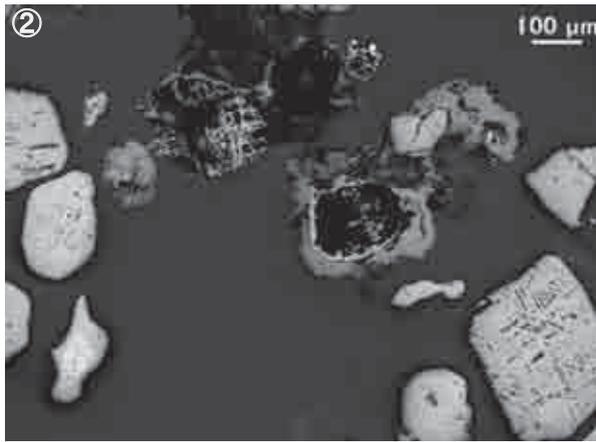
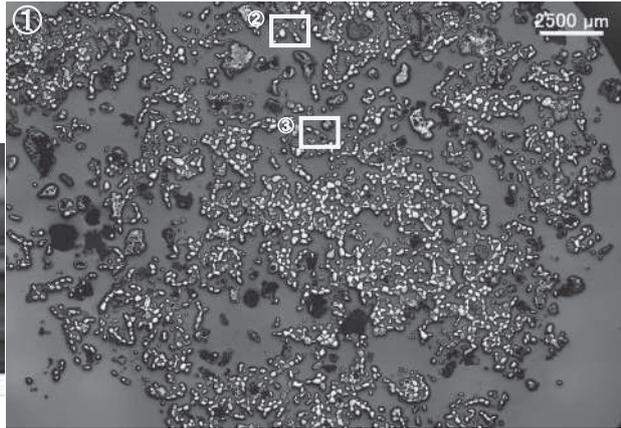
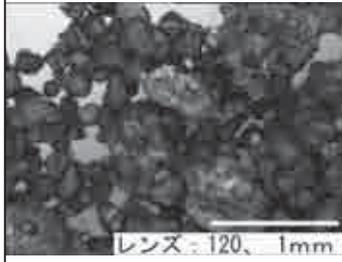
遺跡名	遺物名称	推定年代	Ash	揮発分 VM	水分 MS	固定炭素 FC	硫黄 TS	発熱量 cal/g	灰中 P
KOM-4	テラス1 粘土面	10~13世紀	4.89	34.32	15.66	60.79	0.010	5947	0.06

表59 出土遺物の調査結果のまとめ

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	顕微鏡組織	化学組成 (%)							所見		
						Total Fe	Fe ₂ O ₃	塩基性成分	TiO ₂	V	MnO	造滓成分		Cu	
KOM-1	赤坂小丸山遺跡	1号製鉄炉	被熱砂鉄・造滓混在物	10～13世紀	含Fe ₂ O ₃ 鉄鉱(生砂鉄・被熱砂鉄)混在、製鉄滓片、粒状造滓遺物、銹化鉄	-	-	-	-	-	-	-	-	火山岩起源の砂鉄と製鉄関連遺物の混在物。	
KOM-2	赤坂小丸山遺跡	1号製鉄炉	流出造滓(含鉄)		造滓:UとHの固溶体、微小金属鉄部:Fe ₂ O ₃ 単相	35.51	9.85	7.37	9.70	0.23	0.53	39.36	<0.01	砂鉄製錬滓、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得ない。	
KOM-3	赤坂小丸山遺跡	テラス1 粘土面	工具付着滓		造滓:UとHの固溶体+H+F、微小金属鉄・亜共析組織	-	-	-	-	-	-	-	-	砂鉄製錬滓	
KOM-4	赤坂小丸山遺跡	テラス1 粘土面	木炭(一括)		広葉樹:鱗孔材	-	-	-	-	-	-	-	-	-	組織観察した破片はFe ₂ O ₃ 材の黒炭と推定される。
KOM-5	赤坂小丸山遺跡	テラス1	炉壁		内面表層がFe ₂ O ₃ 質滓、被熱砂鉄粒子、微細M	5.09	6.48	1.49	0.99	0.02	0.04	90.24	<0.01	耐火度:1300°C、古代末の製鉄炉としては一般的な形状。	
KOM-6	赤坂小丸山遺跡	テラス1・排滓土坑1	炉壁		造滓:UとHの固溶体+H+F、炉壁胎土:粘土鉱物	34.54	10.93	5.07	8.15	0.22	0.41	43.73	<0.01	付着滓:砂鉄製錬滓	
KOM-7	赤坂小丸山遺跡	テラス1	生砂鉄		含Fe ₂ O ₃ 鉄鉱(熱影響なし)、脈石鉱物	63.25	59.99	1.47	7.32	0.27	0.33	4.46	<0.01	火山岩起源の中Fe ₂ O ₃ 砂鉄	
KOM-8	赤坂小丸山遺跡	テラス1	被熱砂鉄		含Fe ₂ O ₃ 鉄鉱・被熱砂鉄)混在、製鉄滓片、微小金属鉄	59.89	55.70	1.61	7.74	0.27	0.29	6.96	<0.01	火山岩起源の中Fe ₂ O ₃ 砂鉄	
KOM-9	赤坂小丸山遺跡	テラス1	粒水の滓		造滓:UとHの固溶体、微小金属鉄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	微細な球状の砂鉄製錬滓
KOM-10	赤坂小丸山遺跡	テラス1	流出造滓		造滓:UとHの固溶体+F、被熱砂鉄(含Fe ₂ O ₃)、微小金属鉄	37.69	7.67	7.83	7.74	0.18	0.46	40.65	<0.01	砂鉄製錬滓	
KOM-11	赤坂小丸山遺跡	テラス1	炉底塊(含鉄)		造滓:UとHの固溶体+W+F、微小金属鉄部:Fe ₂ O ₃ 単相	44.45	28.70	4.45	8.79	0.27	0.38	21.52	<0.01	砂鉄製錬滓、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得ない。	
KOM-12	赤坂小丸山遺跡	テラス1	炉内滓(含鉄)		造滓:Ps+Pe、金属鉄部:亜共析組織～共析組織	-	-	-	-	-	-	-	-	製錬滓との分離が不十分な小鉄塊(原料:砂鉄、高温製錬)、金属鉄部は鋼(C:0.2～0.7%程度)	
KOM-13	赤坂小丸山遺跡	テラス1	鉄塊系遺物		造滓:UとHの固溶体+W+F、被熱砂鉄(含Fe ₂ O ₃)、微小金属鉄	-	-	-	-	-	-	-	-	製錬滓との分離が不十分な小鉄塊(原料:砂鉄、高温製錬)、金属鉄部は鋼(C:0.2～0.7%程度)	
KOM-14	赤坂小丸山遺跡	流出溝1	流出孔～溝滓		造滓:UとHの固溶体+W+F、被熱砂鉄(含Fe ₂ O ₃)、微小金属鉄	39.57	10.37	6.96	7.24	0.20	0.50	35.93	<0.01	製錬滓との分離が不十分な小鉄塊(原料:砂鉄)、金属鉄部は鋼(C:0.3～0.7%程度)	
KOM-15	赤坂小丸山遺跡	流出溝1	鉄塊系遺物		造滓:UとHの固溶体、金属鉄部:亜共析組織～共析組織	-	-	-	-	-	-	-	-	砂鉄製錬滓	
KOM-16	赤坂小丸山遺跡	排滓場1	マがね付小系遺物		造滓:UとHの固溶体+W+F	56.20	43.11	2.69	6.59	0.22	0.35	13.68	<0.01	砂鉄製錬滓	
KOM-17	赤坂小丸山遺跡	排滓場1	流出溝滓		造滓:U+W+F、微小金属鉄部:亜共析組織	42.19	10.41	5.46	8.99	0.29	0.47	31.35	<0.01	砂鉄製錬滓	
KOM-18	赤坂小丸山遺跡	排滓土坑1	炉壁		内面表層がFe ₂ O ₃ 質滓、被熱砂鉄粒子、微細M	5.01	5.09	1.46	0.95	0.02	0.04	85.24	<0.01	耐火度:1460°C、非常に耐火性の高い性状。	
KOM-19	赤坂小丸山遺跡	排滓土坑1	砂鉄塊結塊		被熱砂鉄(含Fe ₂ O ₃)、造滓:U+W+F	54.59	40.31	2.40	6.28	0.21	0.40	13.17	0.01	溶化が進んだ状態の砂鉄製錬滓、成分は出土砂鉄と近似するが、Si ₂ O ₅ は高め傾向を示す。	
KOM-20	赤坂小丸山遺跡	排滓土坑1	流出溝～溝滓		造滓:UとHの固溶体+F、被熱砂鉄(含Fe ₂ O ₃)	40.80	10.79	6.48	8.58	0.23	0.48	34.92	0.01	砂鉄製錬滓、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得ない。	
KOM-21	赤坂小丸山遺跡	排滓土坑1	炉底塊(含鉄)		造滓:UとHの固溶体+WまたはM、微細金属鉄粒銹化・剥落痕跡	48.34	46.12	2.49	3.38	0.13	0.17	17.93	<0.01	砂鉄製錬滓、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得ない。	
KOM-22	赤坂小丸山遺跡	排滓土坑1	炉内滓(含鉄)		造滓:UまたはUとHの固溶体+F、微小金属鉄部:Fe ₂ O ₃ 単相～共析組織	44.13	40.22	3.13	4.67	0.24	0.23	25.64	0.01	砂鉄製錬滓、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得ない。	
KOM-23	赤坂小丸山遺跡	排滓土坑1	鉄塊系遺物		造滓:U+WまたはM	-	-	-	-	-	-	-	-	製錬滓との分離が不十分な小鉄塊(原料:砂鉄)、金属鉄部は低炭素鋼(C:0.2%以下)	
KOM-24	赤坂小丸山遺跡	排滓土坑1	黒炭化木炭(含鉄)		広葉樹放物孔材、付着滓:Ps+TiN、銹化鉄部(過共析組織痕跡か)	2.58	2.37	1.57	0.99	0.02	0.04	85.16	<0.01	耐火度:1380°C、高7%系粘土	
KOM-25	赤坂小丸山遺跡	粘土採掘坑1	粘土採掘坑粘土		造滓:UまたはUとHの固溶体+W、金属鉄部:Fe ₂ O ₃ 単相～亜共析組織	-	-	-	-	-	-	-	-	製錬滓との分離が不十分な小鉄塊(原料:砂鉄)、金属鉄部は低炭素鋼(C:0.1%未満)	
KOM-26	赤坂小丸山遺跡	表土	鉄塊系遺物		造滓:UとHの固溶体、金属鉄部:Fe ₂ O ₃ 単相、砂鉄(含Fe ₂ O ₃)付着	-	-	-	-	-	-	-	-	砂鉄製錬滓、金属鉄部は非常に微細で鍛冶原料となり得ない。	
KOM-27	赤坂小丸山遺跡	流土	鉄塊系遺物		銹化鉄部:金属組織痕跡不明瞭	-	-	-	-	-	-	-	-	丸棒状の銹化鉄、近代以降の混入品の可能性もある。	
KOM-28	赤坂小丸山遺跡	流土	鉄製品		銹化鉄部:金属組織痕跡不明瞭	-	-	-	-	-	-	-	-	火山岩起源の中Fe ₂ O ₃ 砂鉄、作業場出土砂鉄(KOM-6、7)と成分は近似的。	
KOM-29	赤坂小丸山遺跡	甲川採取	砂鉄		含Fe ₂ O ₃ 鉄鉱(熱影響なし)、脈石鉱物	54.89	64.67	2.85	7.45	0.25	0.36	15.63	0.01	火山岩起源の中Fe ₂ O ₃ 砂鉄、作業場出土砂鉄(KOM-6、7)と成分は近似的。	

U:Ulivospinel (2FeO·TiO₂)、Ilmenite (FeO·TiO₂)、Ps:Pseudobrookite (Fe₂O₃·TiO₂)、Pe:Perovskite (CaO·TiO₂)、W:Wustite (FeO)、M:Magnetite (Fe₃O₄)、H:Hercynite (FeO·Al₂O₃)、F:Faialite (2FeO·SiO₂)

KOM-1
 砂鉄(滓粉混在物)
 ①マクロ組織
 ②③生砂鉄・被熱砂鉄混在、
 錆化鉄、鉄滓破片、
 粒状滓様遺物



KOM-2
 流出溝滓(含鉄)
 ④マクロ組織
 ⑤⑥滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、
 硬度:50gf
 微小白色部:金属鉄、
 ナイタルフェライト单相

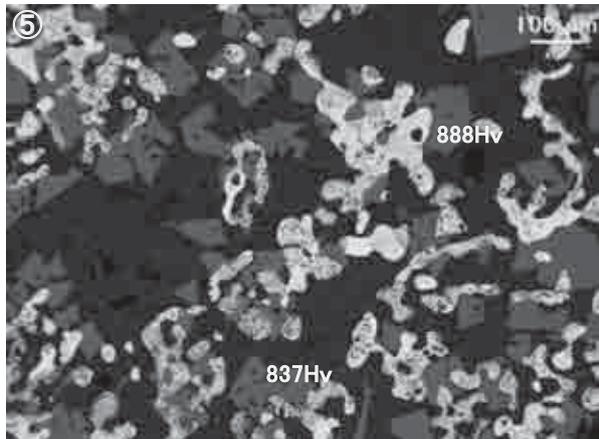
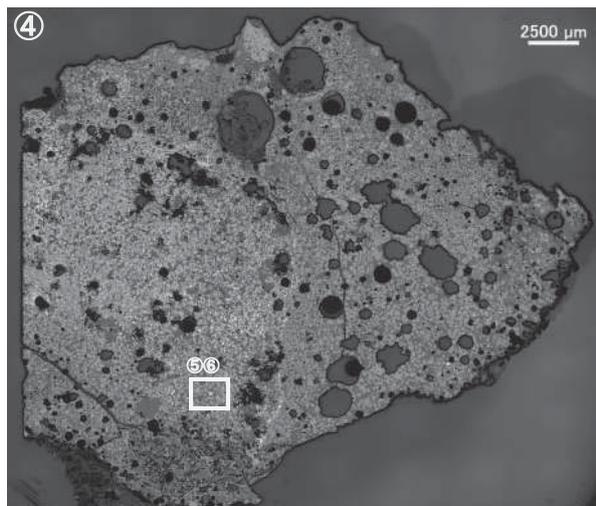
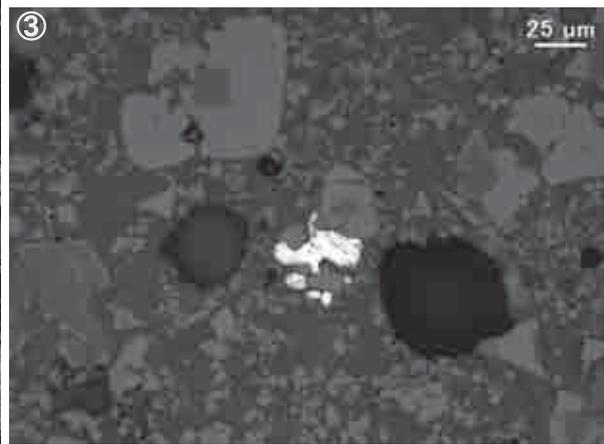
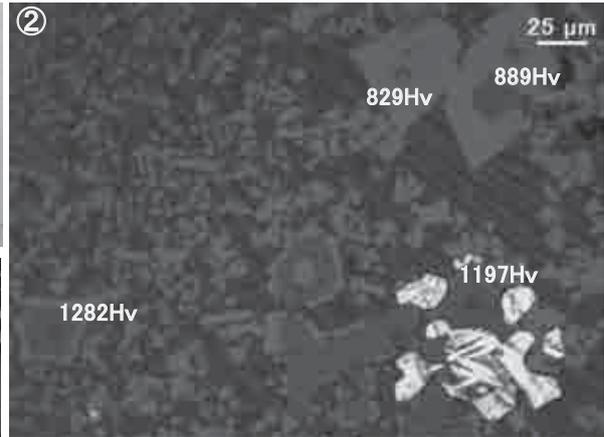
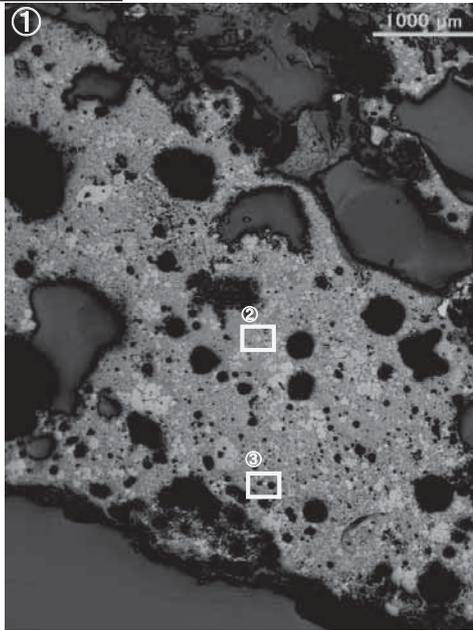


写真24 砂鉄(滓粉混在物)・流出溝滓(含鉄)の顕微鏡組織

KOM-3
工具附着滓
 ①～③滓部:ウルボスピネル
 とヘルシナイトの固溶体・ヘル
 シナイト・ファヤライト、硬度:50g
 f、微小明白色部:金属
 鉄、ナイタルetch 亜共析組
 織



KOM-4
木炭
 ④木口、⑤柁目、⑥板目
 広葉樹:環孔材

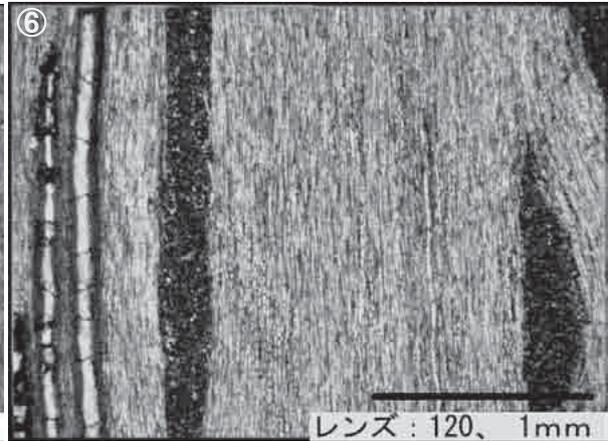
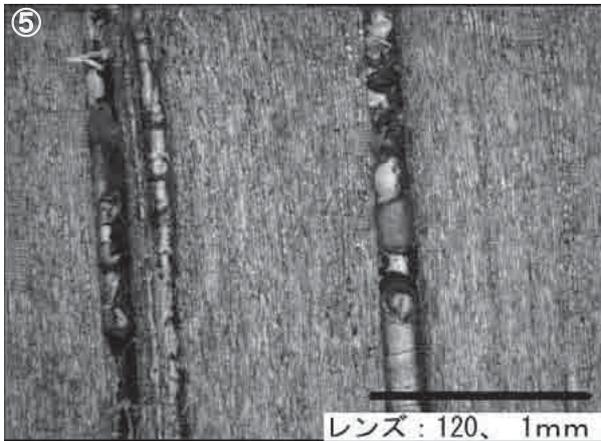
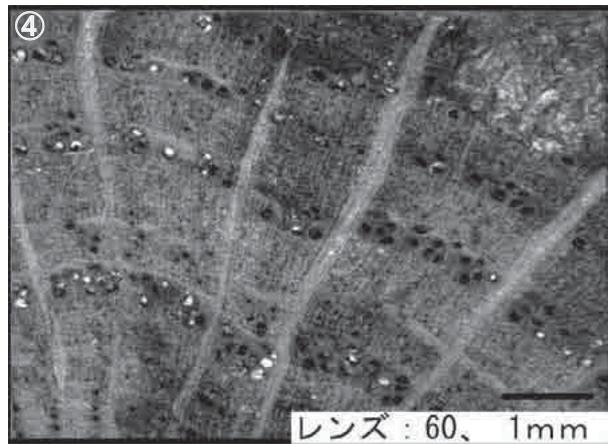
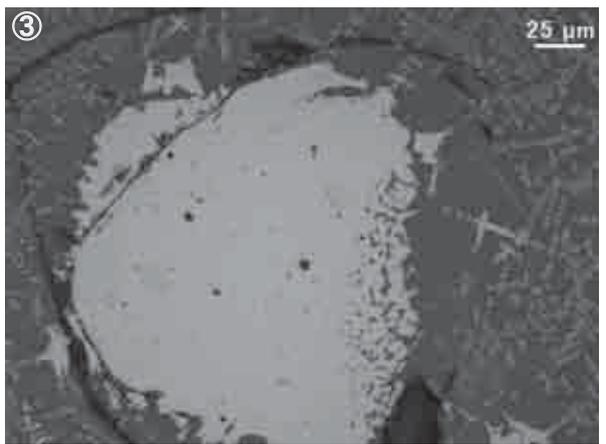
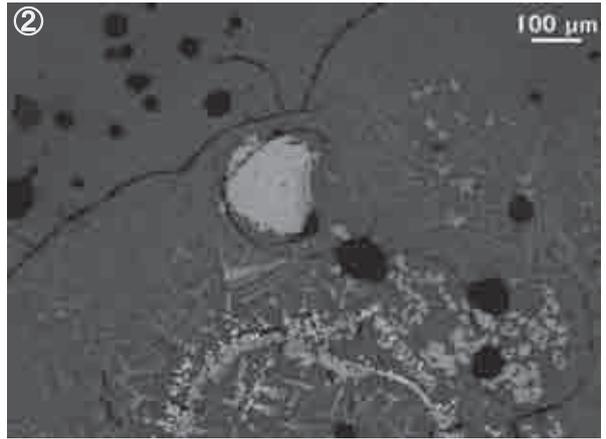


写真25 工具附着滓・木炭の顕微鏡組織

KOM-5
 炉壁
 ①～③内面表層ガラス質
 滓、被熱砂鉄混在、微細
 マグネタイト晶出



KOM-6
 炉壁
 ④上側:滓部、ウルホスピネ
 ルとヘルシナイトの固溶体・ヘ
 ルシナイト・ファヤライト、
 下側:炉壁胎土
 ⑤滓部拡大
 ⑥胎土部分拡大

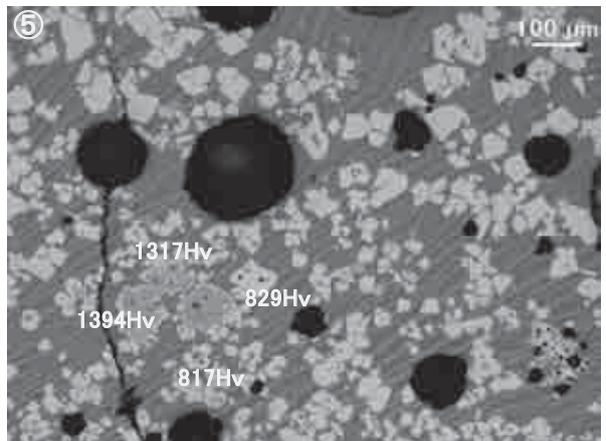
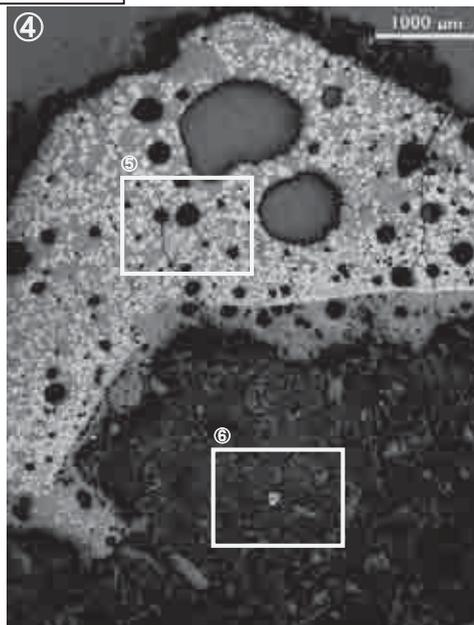
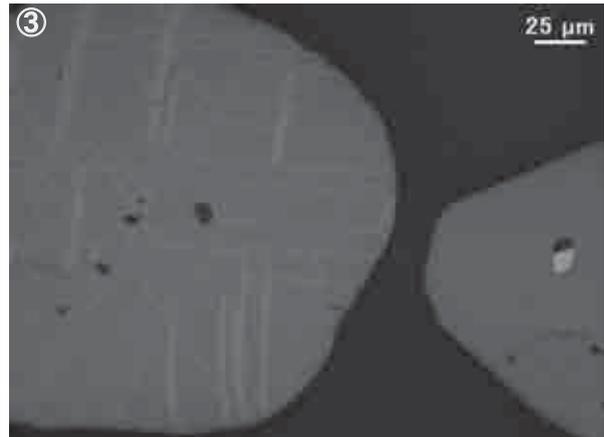
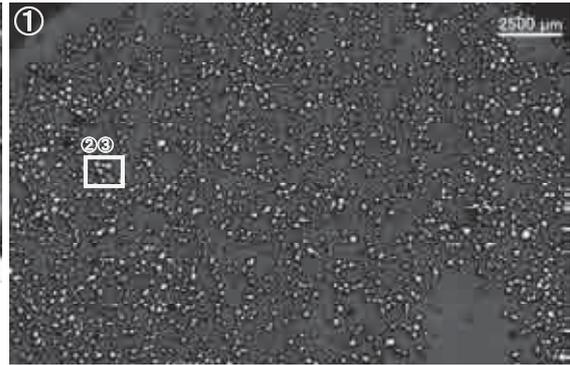
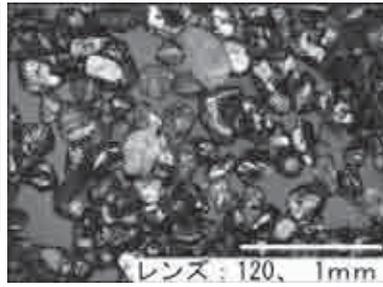


写真26 炉壁の顕微鏡組織

KOM-7
 砂鉄
 ①マクロ組織
 ②③明色粒:砂鉄粒子
 (磁鉄鉱・含チタン鉄鉱混在)、暗色粒:脈石鉱物



KOM-8
 砂鉄
 ④マクロ組織
 ⑤⑥明色粒:砂鉄粒子
 (磁鉄鉱・含チタン鉄鉱混在)、被熱砂鉄粒内明白色部:金属鉄、微細製鍊滓片

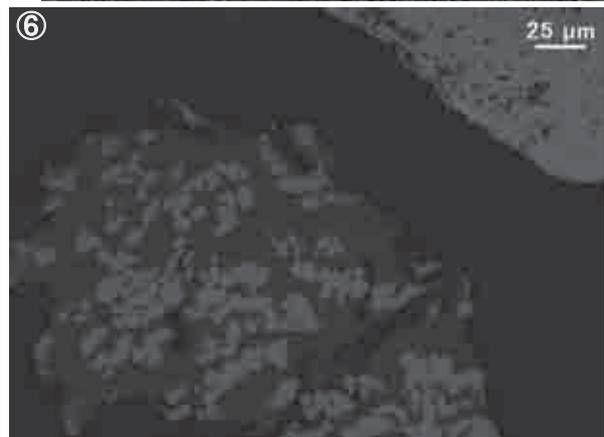
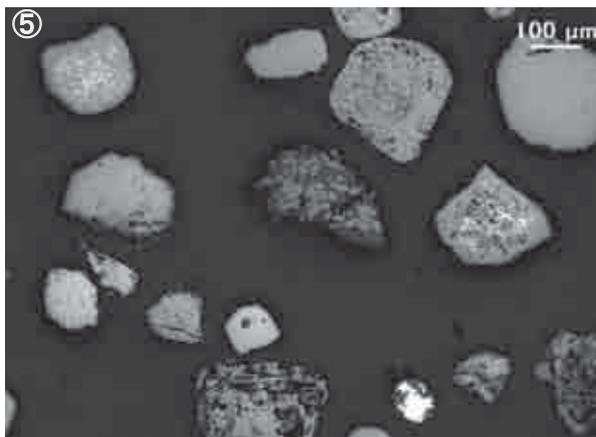
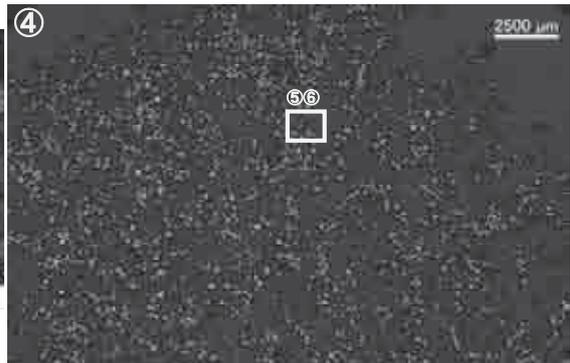
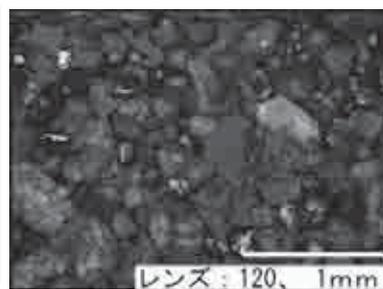
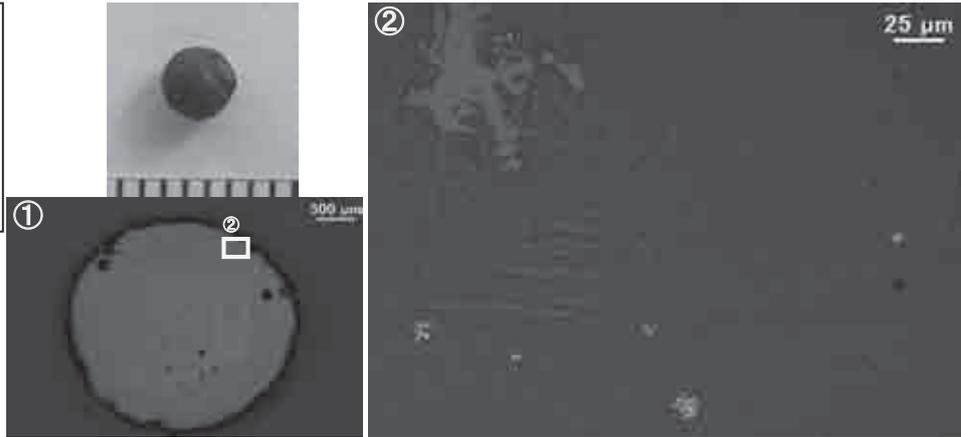
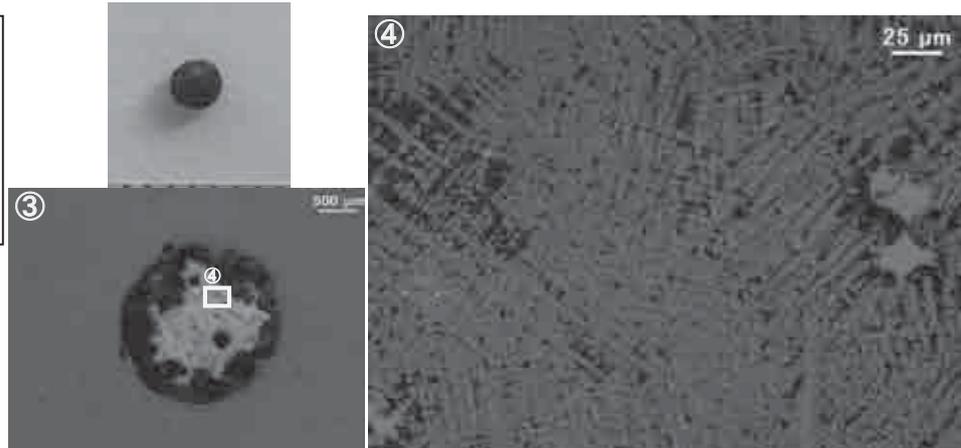


写真27 砂鉄の顕微鏡組織

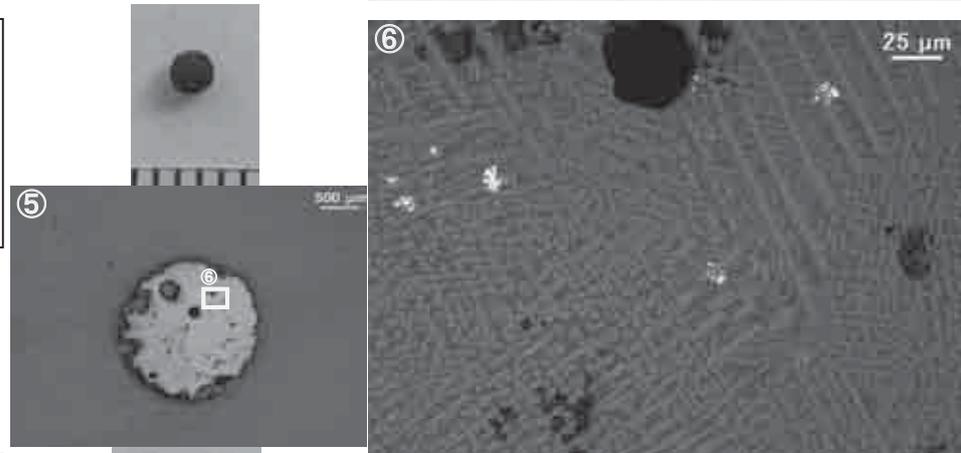
KOM-9-1
粒状の滓
①マクロ組織
②滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、微小明白色粒:金属鉄



KOM-9-2
粒状の滓
③マクロ組織
④滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体



KOM-9-3
粒状の滓
⑤マクロ組織
⑥滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、微小明白色粒:金属鉄



KOM-9-4
粒状の滓
⑦マクロ組織
⑧滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、微小明白色粒:金属鉄

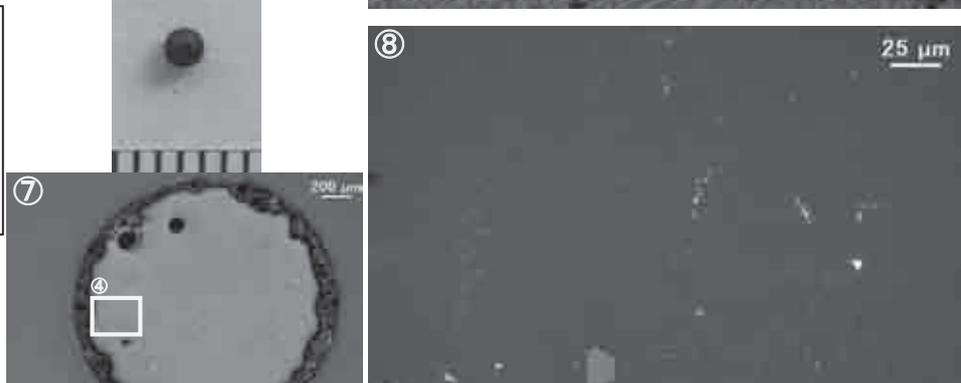
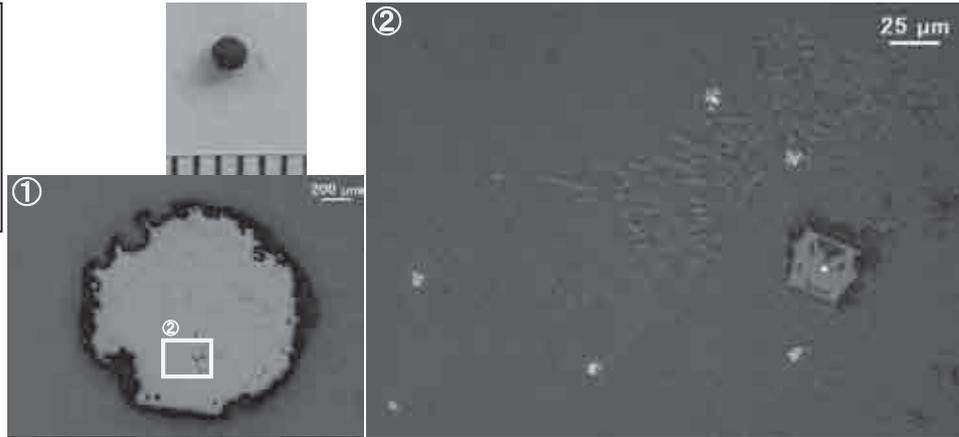
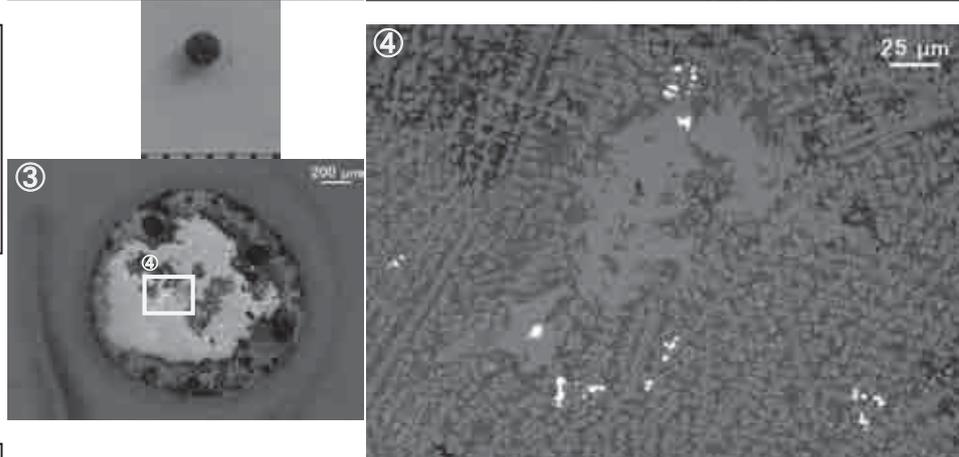


写真28 粒状の滓の顕微鏡組織

KOM-9-5
粒状の滓
①マクロ組織
②滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、微小白色粒:金属鉄



KOM-9-6
粒状の滓
③マクロ組織
④滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、微小白色粒:金属鉄



KOM-10
流出溝滓
⑤滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体・ファヤライト、被熱砂鉄(含タン鉄 鋳)還元・滓化進行、微小白色部:金属鉄
⑥滓部、⑦被熱砂鉄拡大

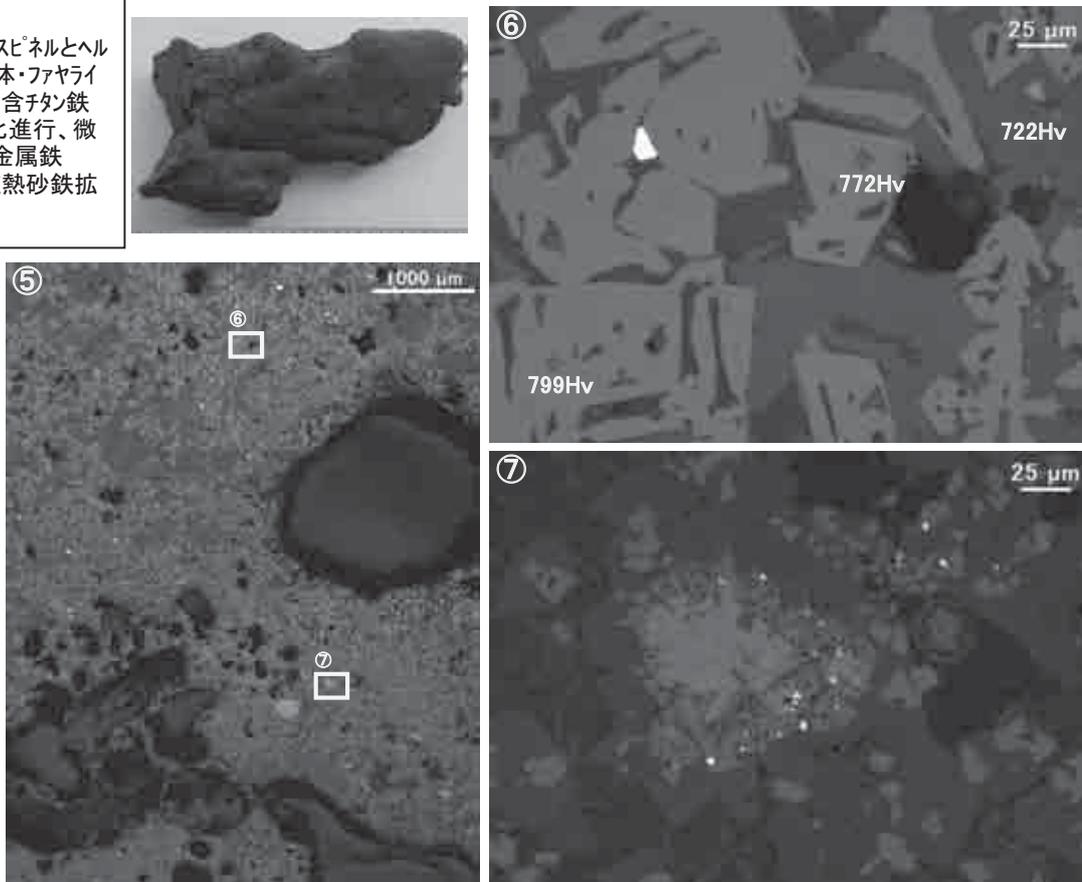
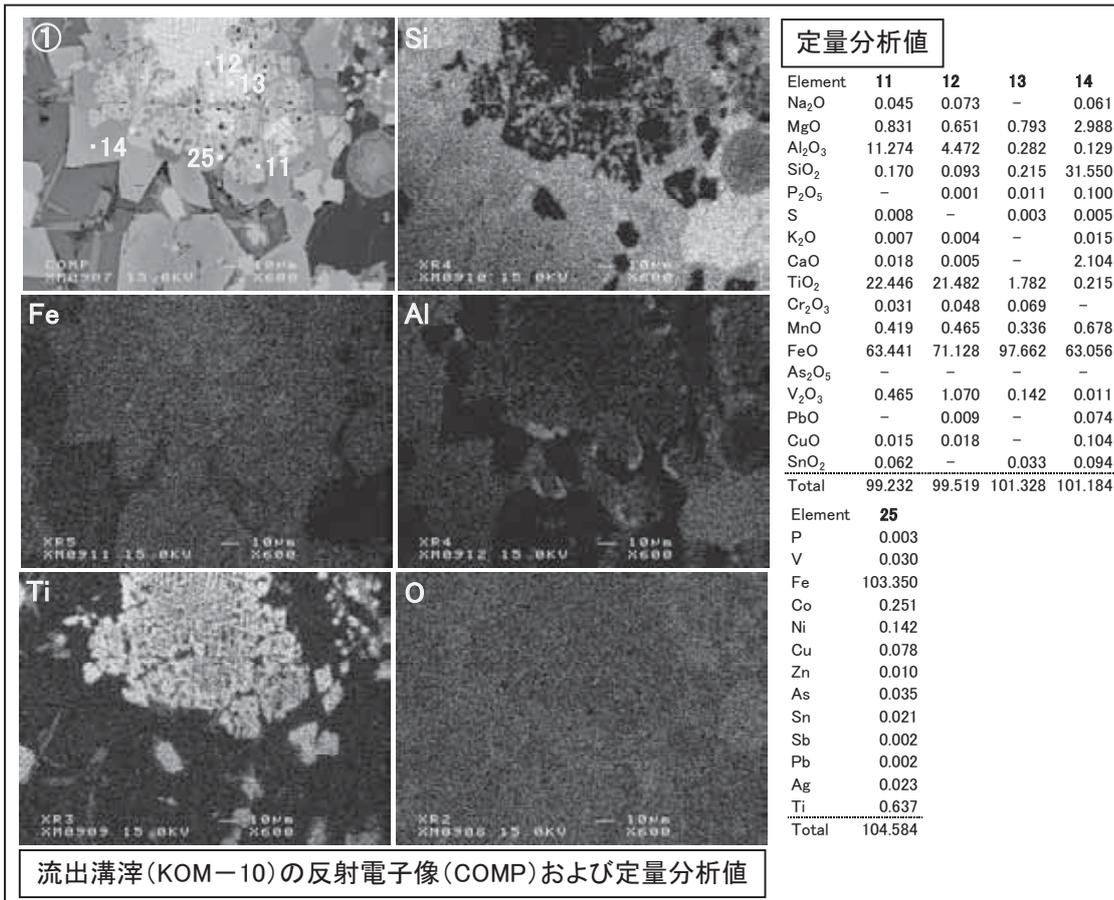


写真29 粒状の滓・流出溝滓の顕微鏡組織



KOM-11
 炉底塊
 ②マクロ組織
 ③④滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、金属鉄部:ナイトレッチフェライト単相
 硬度:③50gf、④100gf

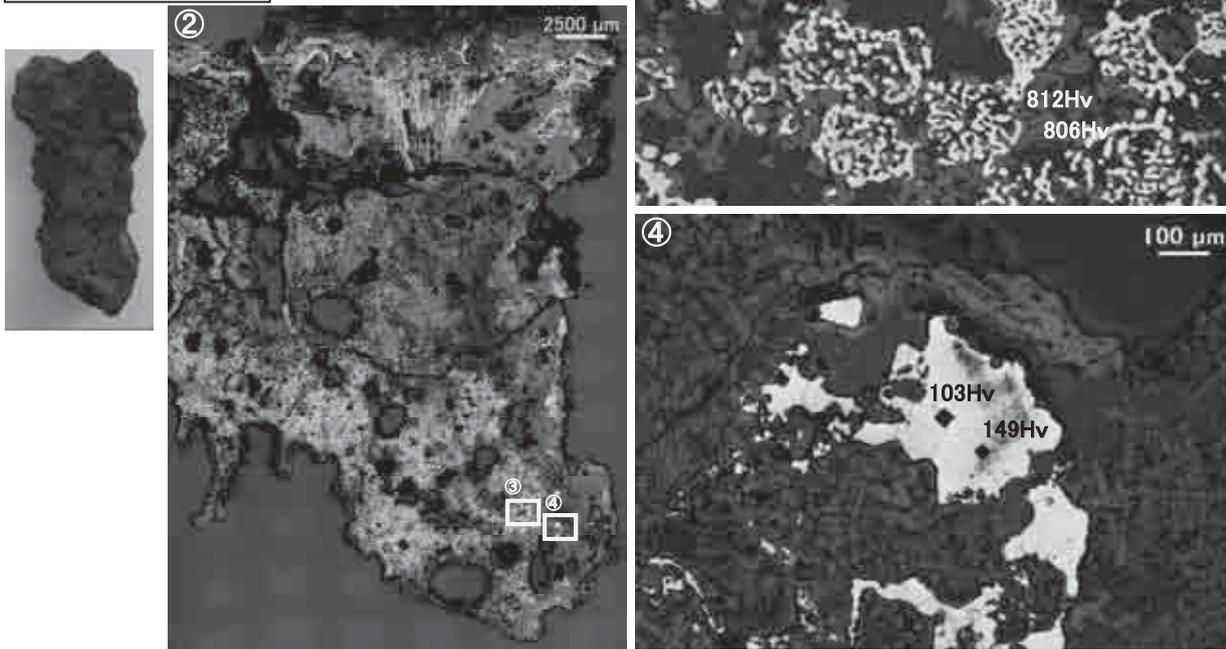
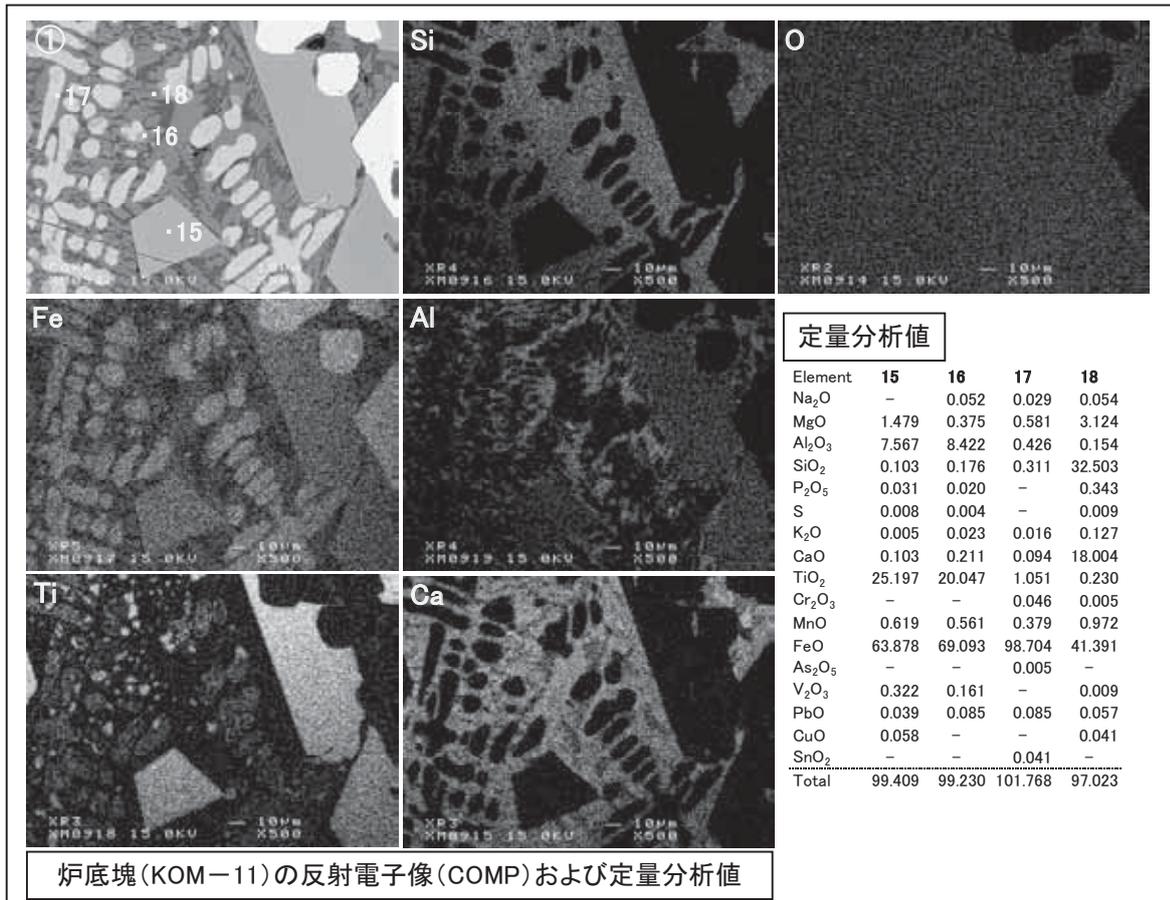


写真30 流出溝滓のEPMA調査結果・炉底塊の顕微鏡組織



KOM-12
 炉内滓 (含鉄)
 ②マクロ組織
 ③④滓部:シュートブルカイト・ペロプスカイト、金属鉄部: ナイタルetch 亜共析~共析組織、硬度:200gf

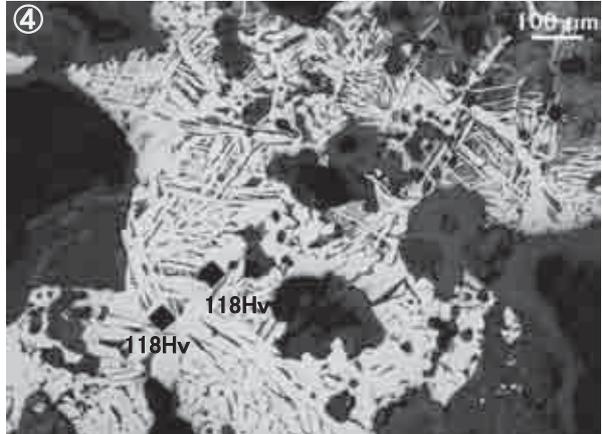
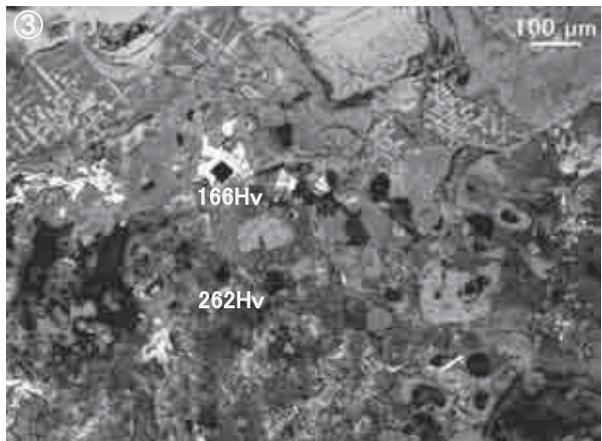
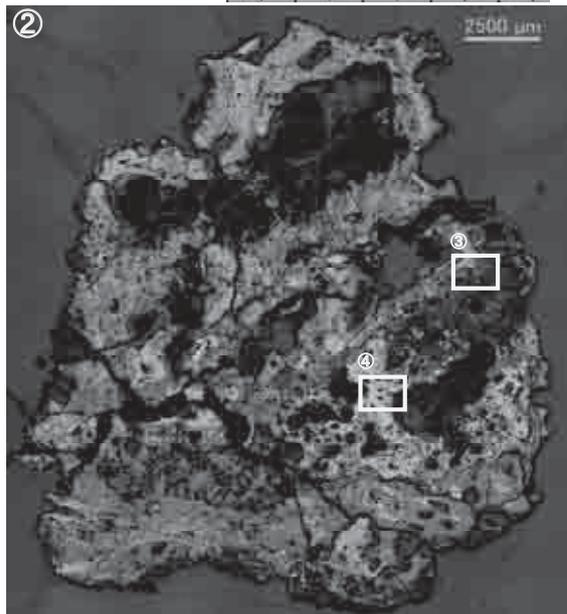
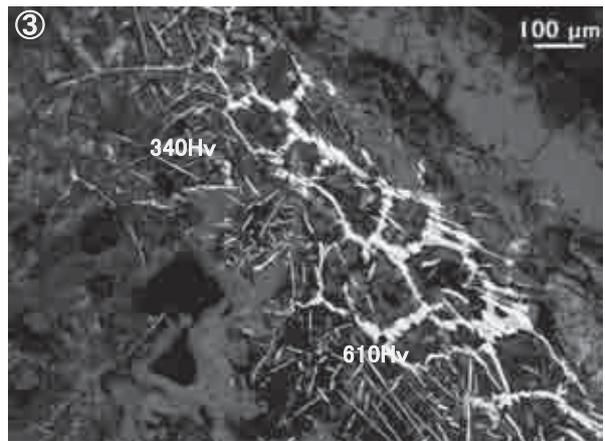
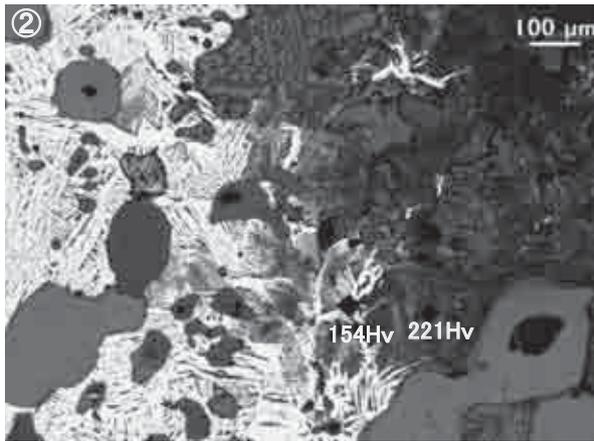
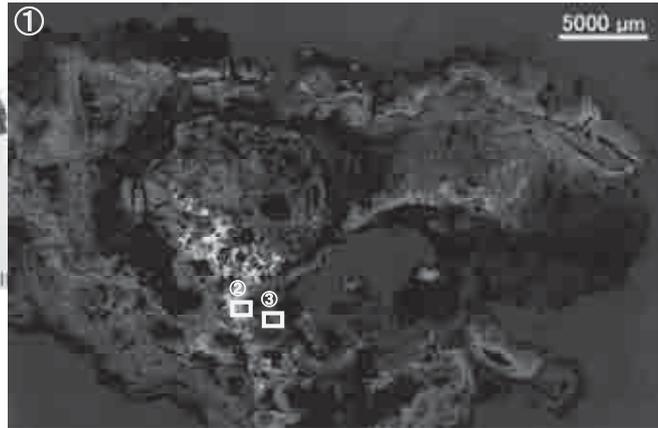


写真31 炉底塊のEPMA調査結果・炉内滓 (含鉄) の顕微鏡組織

KOM-13
鉄塊系遺物
①マクロ組織
②③金属鉄部:ナイタルetch
亜共析～過共析組織、
硬度:200gf
滓部:イルミナイト・シュート・フルー
カイト



KOM-14
流出孔～溝滓
④～⑥滓部:ウルホスピネル
とヘルシナイトの固溶体・ファヤ
ライト、硬度:50gf、被熱砂
鉄(含チタン鉄鉱)、微小明
白色粒:金属鉄

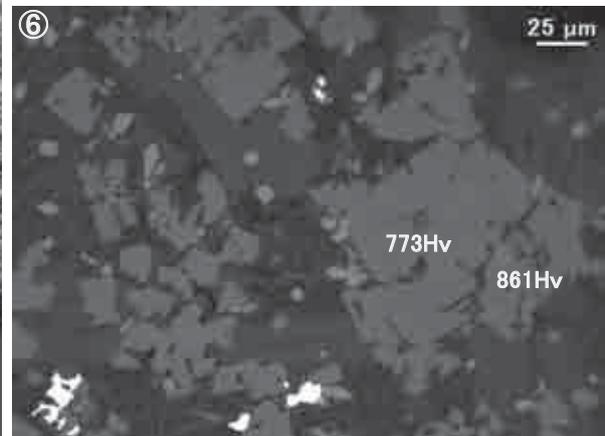
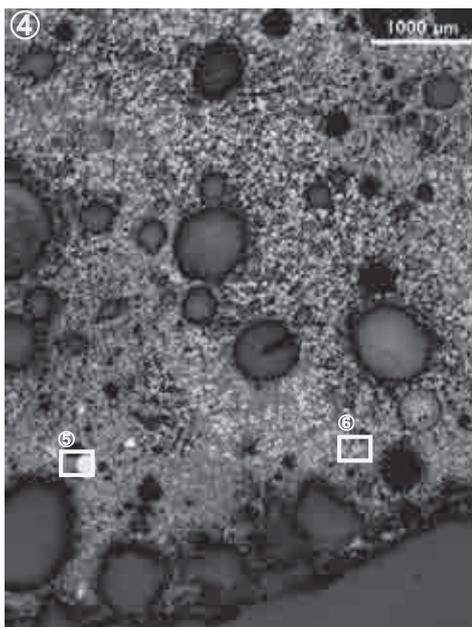
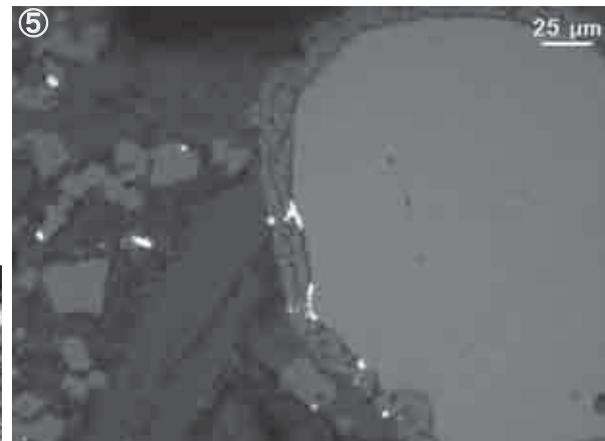
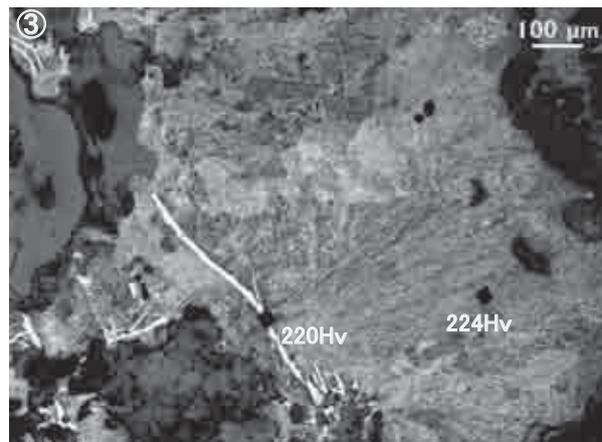
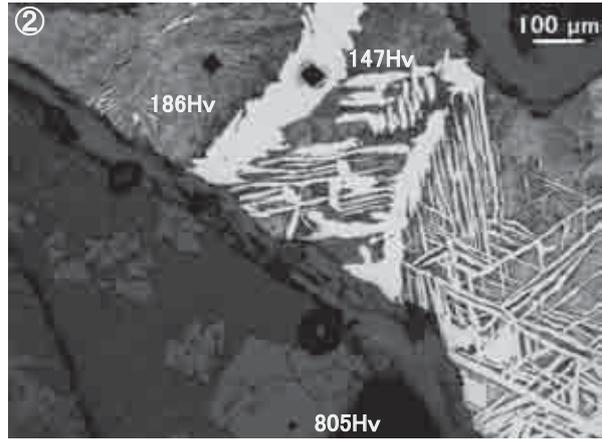
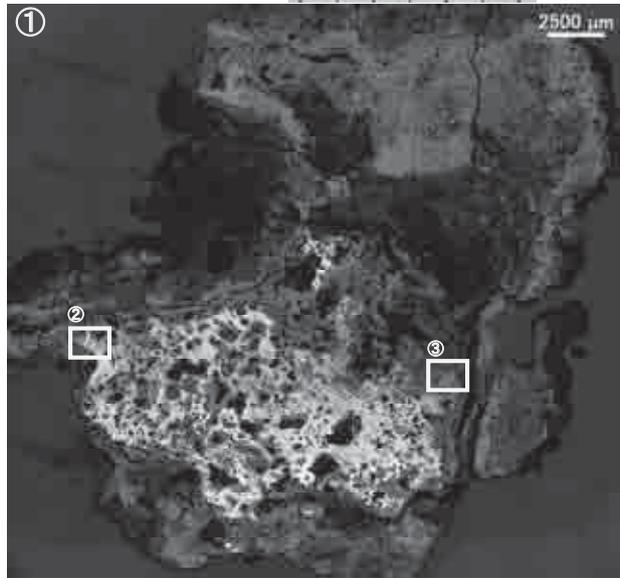


写真32 鉄塊系遺物・流出孔～溝滓の顕微鏡組織

KOM-15
鉄塊系遺物
①マクロ組織
②③滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、金属鉄
部:ナイトetch 亜共析～共析組織、硬度:200gf



KOM-16
マグネタイト系遺物
④～⑥滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体・ウスタイト・ファヤライト、硬度:50gf

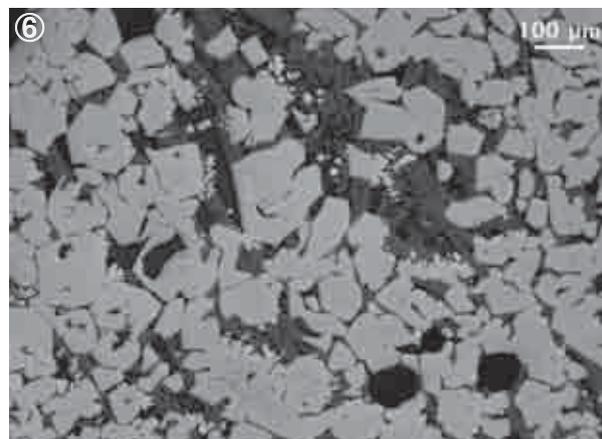
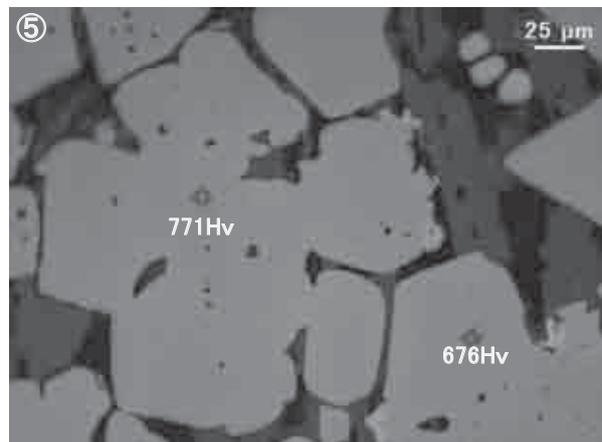
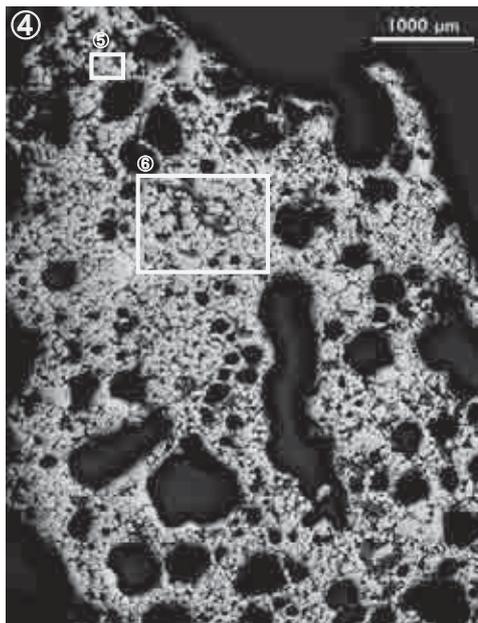
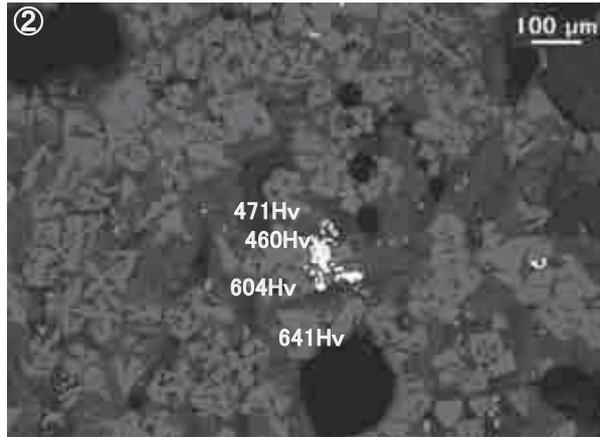
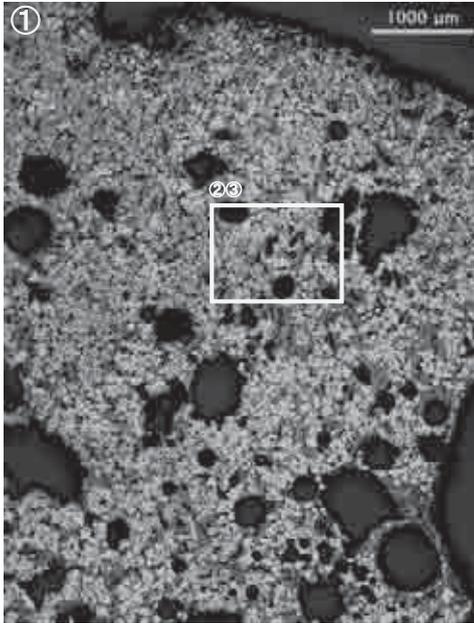


写真33 鉄塊系遺物・マグネタイト系遺物の顕微鏡組織

KOM-17
流出溝滓
①滓部:ウルホスピネル・ファヤライト、硬度:50gf、微小明白色部:金属鉄 ナイタル etch 亜共析組織



KOM-18
炉壁
④~⑥炉壁内面ガラス質滓、被熱砂鉄点在、周囲:マクネタイト晶出

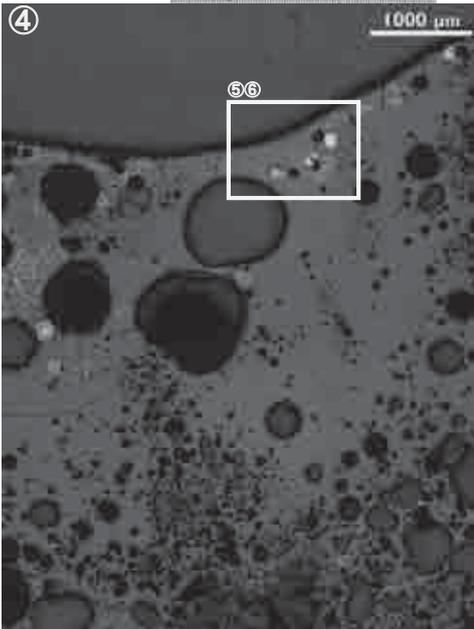
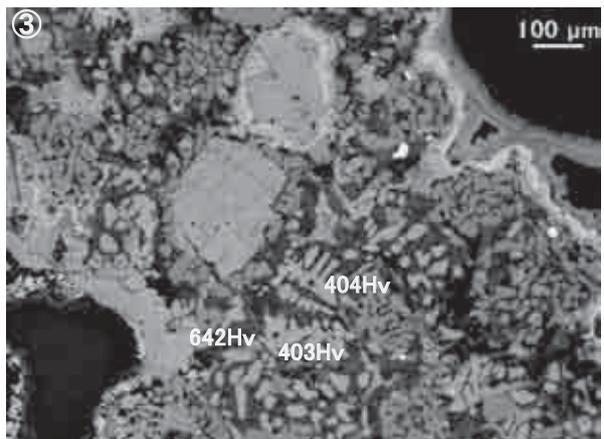
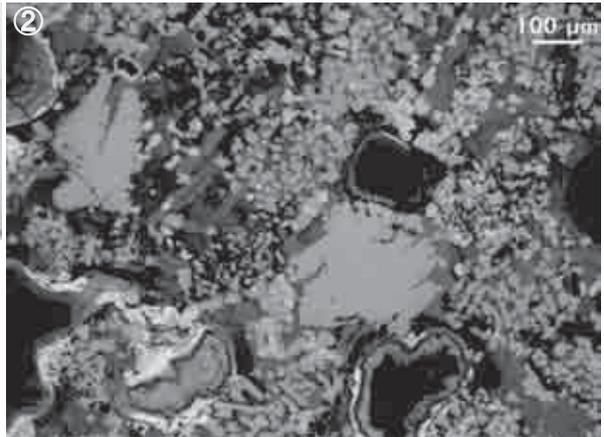
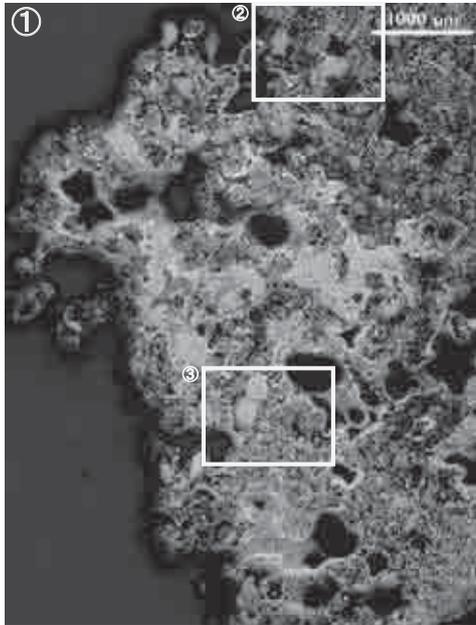


写真34 流出溝滓・炉壁の顕微鏡組織

KOM-19
 砂鉄焼結塊
 ①～③被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)、還元滓化進行、滓部:カルホスピネル・ウスタイト・ファイヤライト:硬度:50gf、



KOM-20
 流出孔～溝滓
 ④～⑥被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)、還元滓化進行、滓部:カルホスピネル・ウスタイト・ファイヤライト:硬度:50gf、

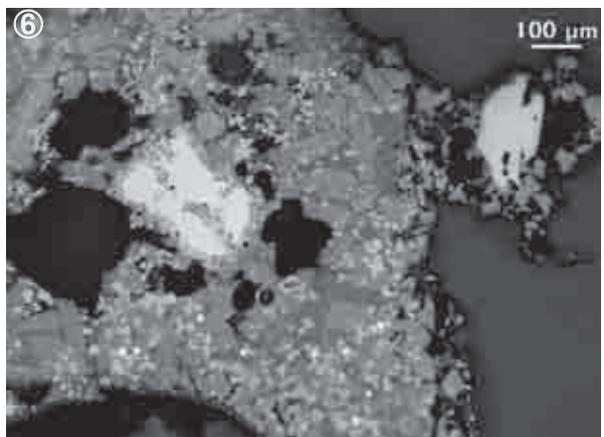
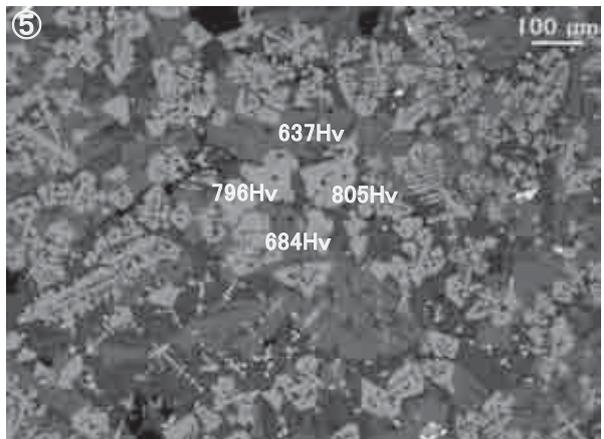
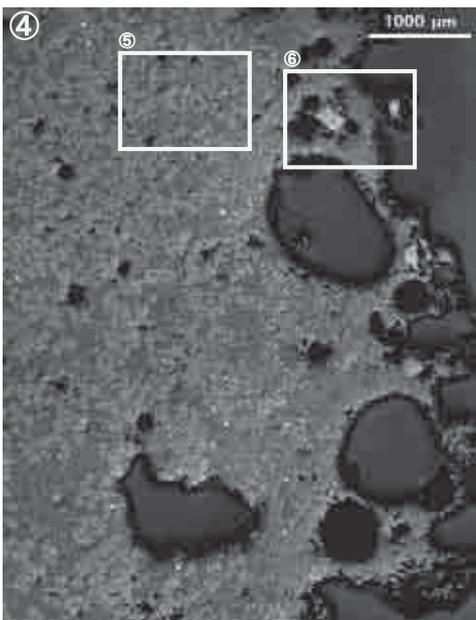
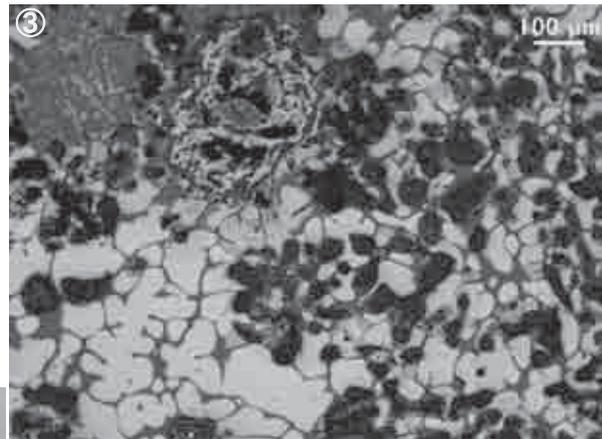
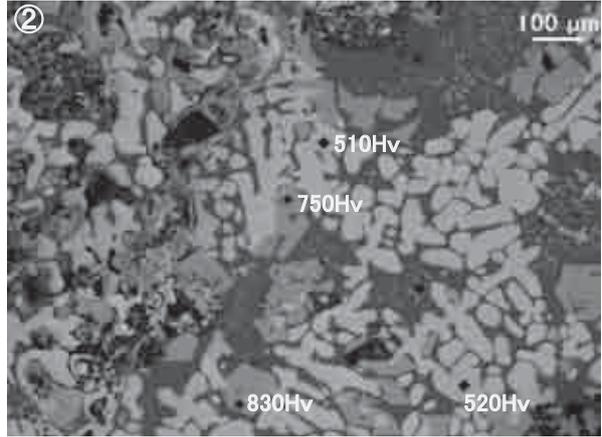
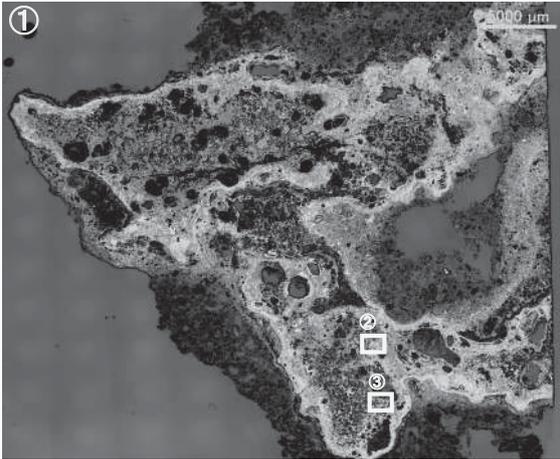


写真35 砂鉄焼結塊・流出孔～溝滓の顕微鏡組織

KOM-21
 炉底塊
 ①マクロ組織
 ②③滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体・ウスタイト、硬度:50gf、
 黒色部:金属鉄の錆化・剥落跡



KOM-22
 炉内滓(含鉄)
 ④マクロ組織
 ⑤⑥金属鉄部 ナイタルetch
 フェライト単相～共析組織
 滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体ファイヤイト、硬度:200gf

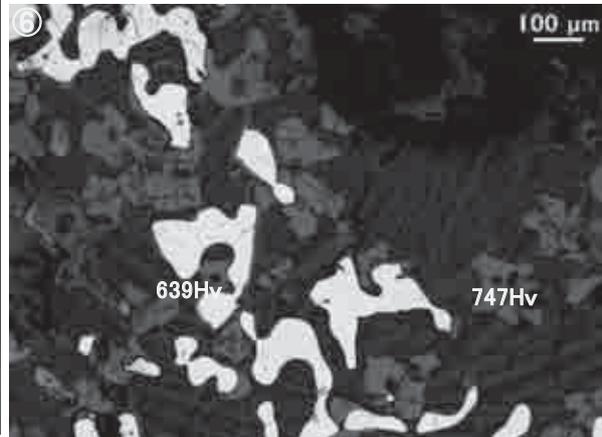
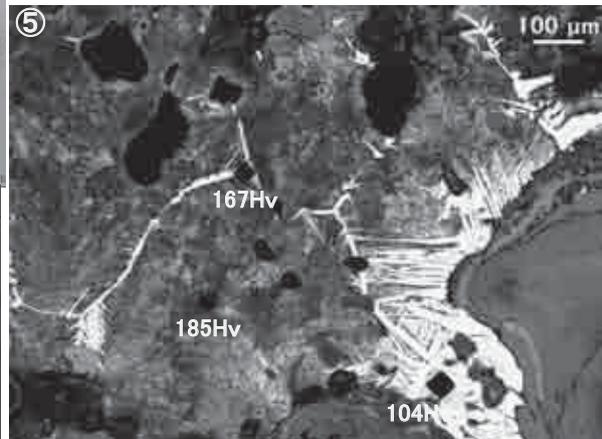
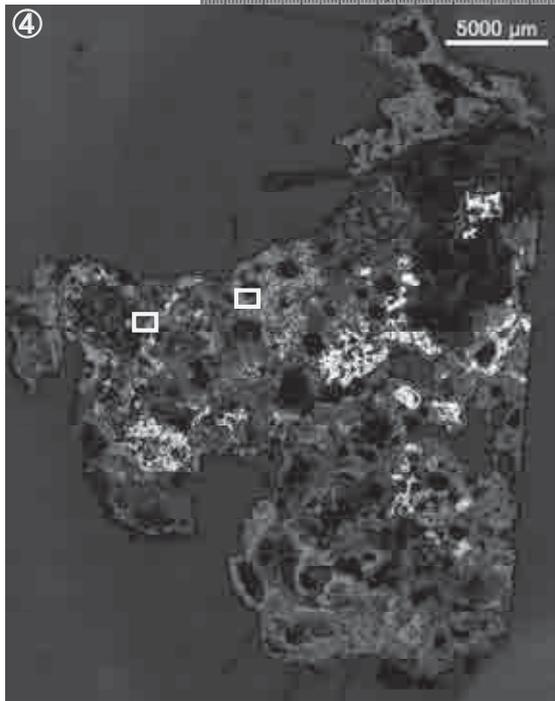
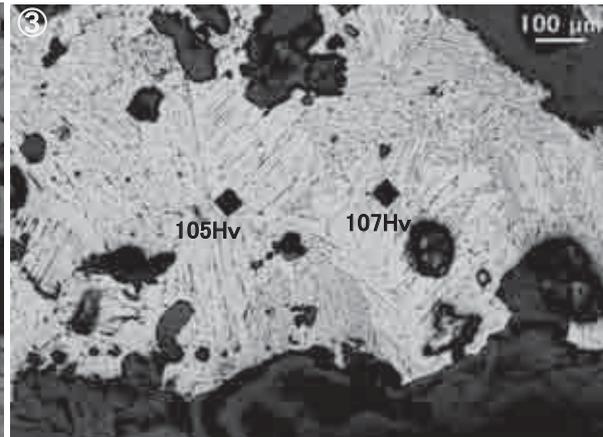
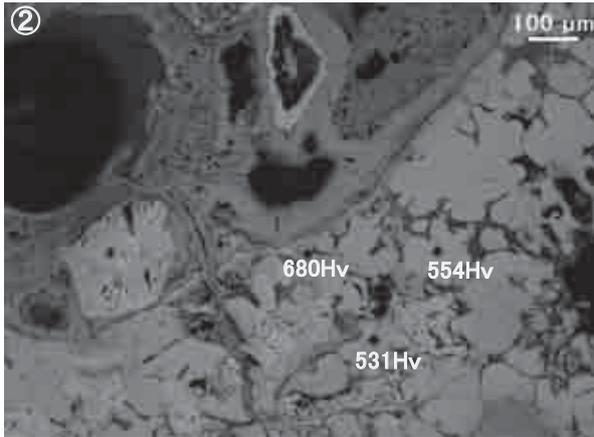
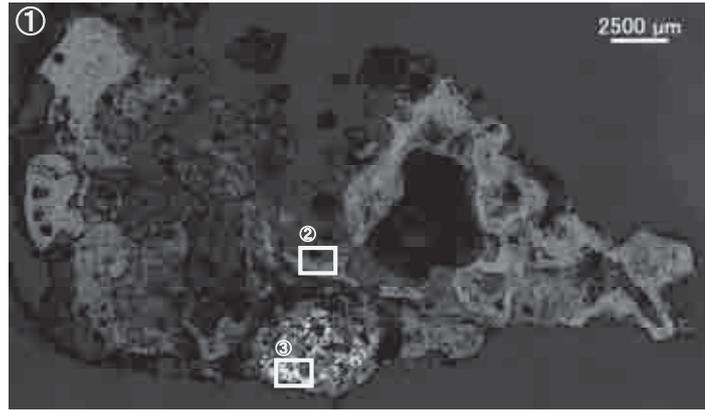


写真36 炉底塊・炉内滓(含鉄)の顕微鏡組織

KOM-23
鉄塊系遺物
 ①マクロ組織
 ②滓部:ウスタイトまたはマグネタイト・ウルホスピネル、被熱砂鉄(含チタン鉄鉱)付着
 ③金属鉄部 ナイタルetch:
 亜共析組織、
 硬度:200gf



KOM-24
黒鉛化木炭
 ④マクロ組織、広葉樹:放射孔材
 ⑤付着製錬滓、シュートブルカイト、チタンナイトライド
 ⑥木炭組織拡大、青灰色部:銹化鉄、過共析組織痕跡か

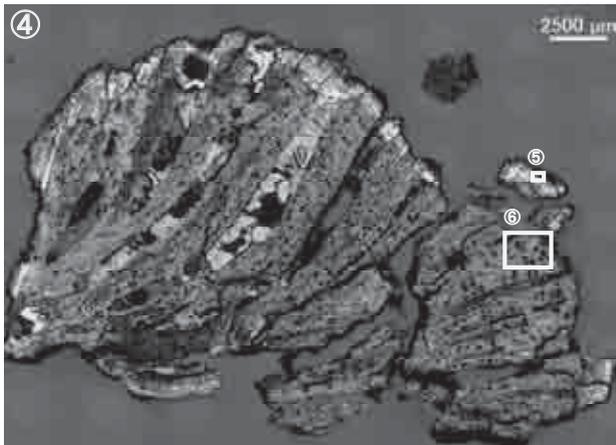
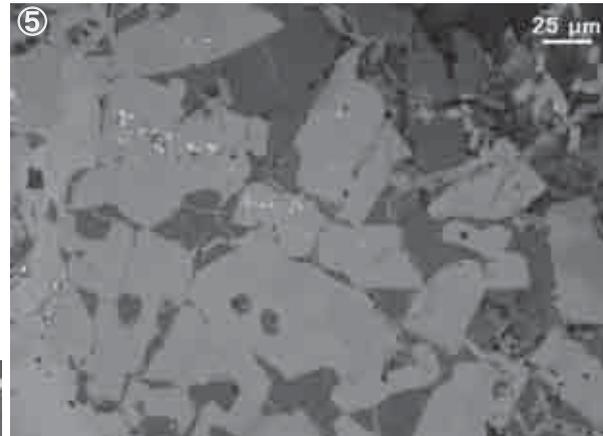
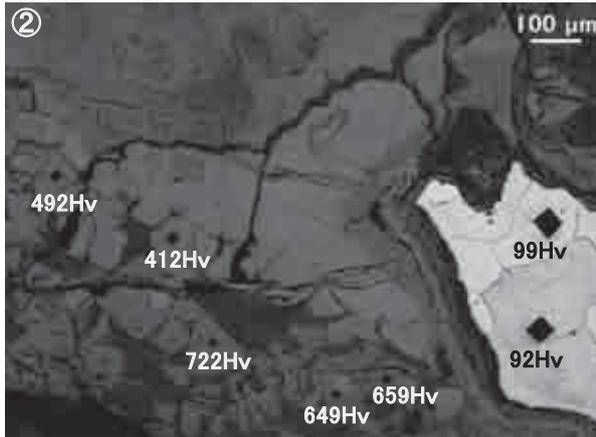
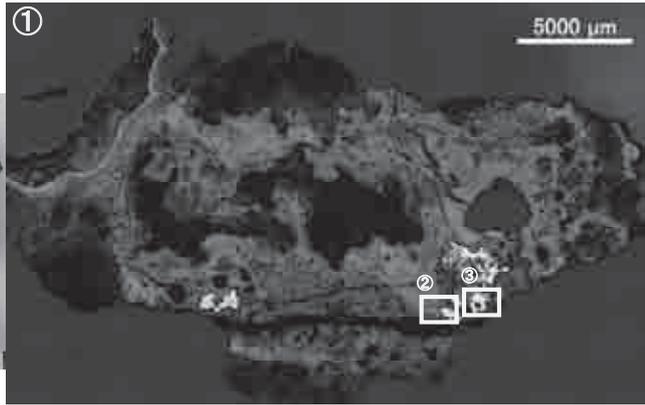


Photo.14 鉄塊系遺物・黒鉛化木炭の顕微鏡組織

写真37 鉄塊系遺物・黒鉛化木炭の顕微鏡組織

KOM-26
鉄塊系遺物
①マクロ組織
②③滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体・ウスタイト、金属鉄部 ナイタルetch: フェライト単相～亜共析組織、硬度:200gf



KOM-27
鉄塊系遺物
④マクロ組織
⑤滓部:ウルホスピネルとヘルシナイトの固溶体、金属鉄部 ナイタルetch: フェライト単相、硬度:200gf
⑥付着砂鉄(含チタン鉄鉱)

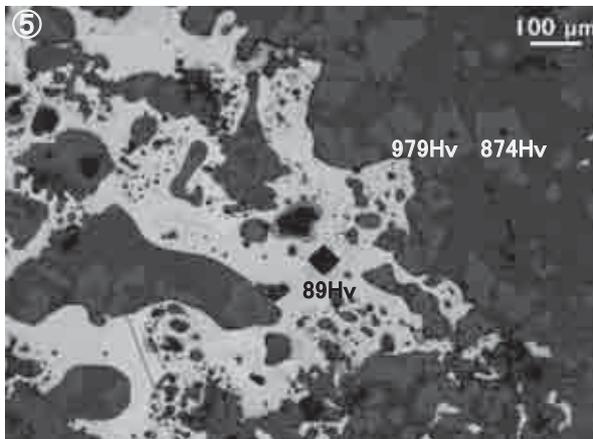
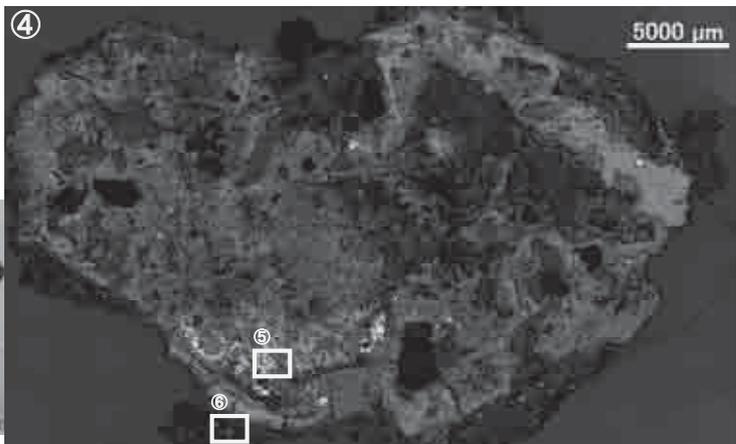
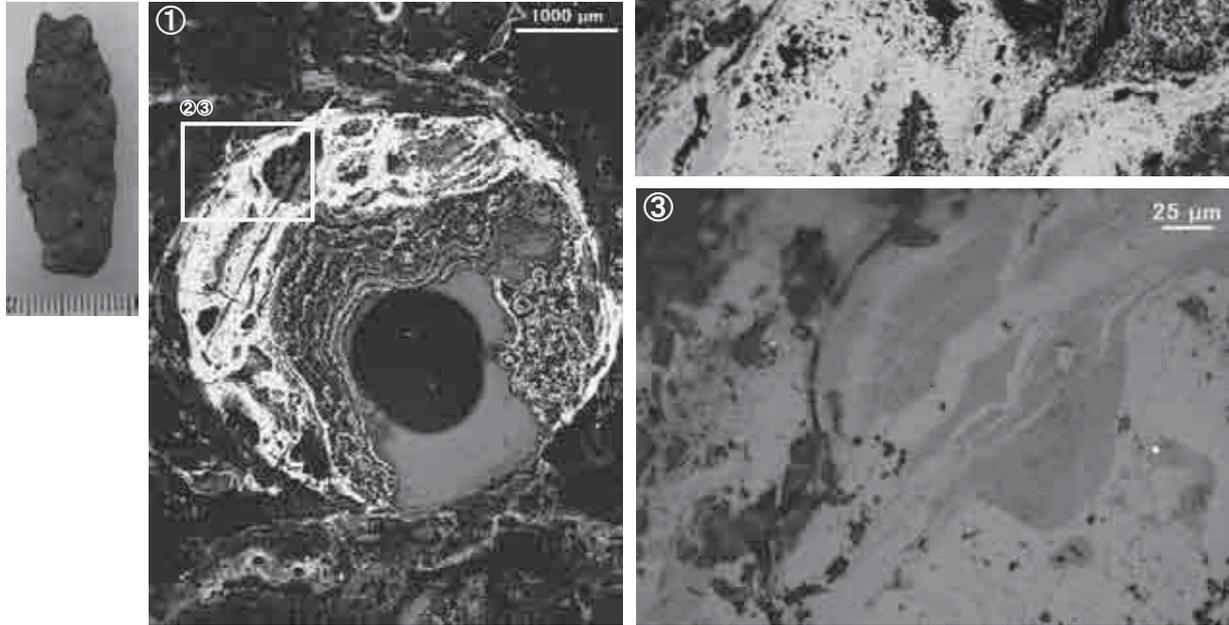


写真38 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

KOM-28
鉄製品
①~③青灰色部: 錆化鉄、金属組織痕跡不明



KOM-29
砂鉄
④マクロ組織
⑤⑥明色粒: 砂鉄粒子 (磁鉄鉱・含チタン鉄鉱混在)、暗色粒: 脈石鉱物

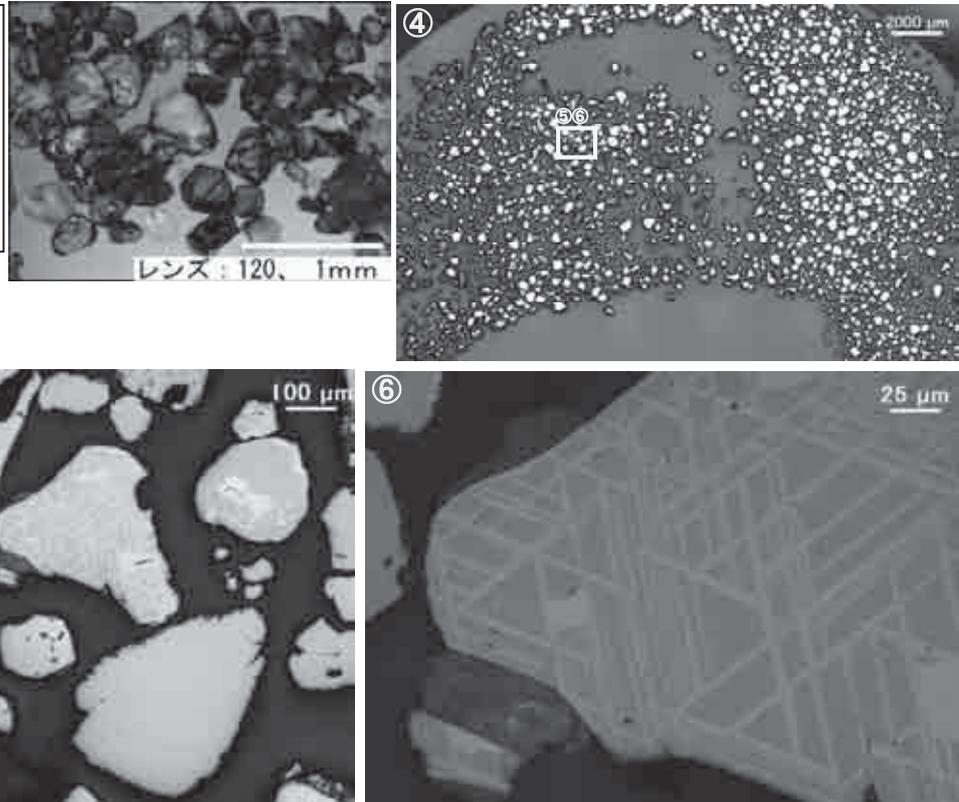


Photo.16 鉄製品・砂鉄の顕微鏡組織

写真39 鉄製品・砂鉄の顕微鏡組織