

## 第5章 自然科学的考察

### 第1節 中道西山東山遺跡出土鍛冶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

中道東山西山遺跡は鳥取県東伯郡琴浦町笠見に所在する。当遺跡では、9世紀に比定される掘立柱建物内から鍛冶炉が検出され、それに伴い多数の鍛冶関連遺物も出土している。遺跡内の鉄器生産の詳細を検討する目的から、金属学的調査を行う運びとなった。

#### 2. 調査方法

##### 2-1. 供試材

表73に示す。鍛冶関連遺物計11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、投影機の5倍もしくは10倍で撮影したものを指す。当調査は、顕微鏡検査によるよりも広い範囲にわたって、組織の分布状態、形状、大きさなどの観察ができる利点がある。

###### (3) 顕微鏡組織

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3 $\mu$ と1 $\mu$ で順を追って研磨している。なお金属組織の調査では腐食(Etching)液に5%ナイトル(硝酸アルコール液)を用いた。

###### (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、その荷重を除いた商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用した。

###### (5) E P M A (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) : 燃烧容量法、燃烧赤外吸収法。

二酸化硅素 ( $\text{SiO}_2$ )、酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化カリウム ( $\text{K}_2\text{O}$ )、酸化ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{O}$ )、酸化マンガン (MnO)、二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ )、酸化クロム ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )、五酸化磷 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、バナジウム (V)、銅 (Cu) : ICP (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer) 法 : 誘導結合プラズマ発光分光分析。

### 3. 調査結果

NMH-1 : 粒状滓<sup>(注1)</sup>

NMH-1 イー1 : 1.3mm径

- (1) 肉眼観察 : 色調は青黒色である。僅かに歪な球状を呈する。また表面は比較的平滑であるが、微細な気孔が発生する。磁着は弱い。
- (2) マクロ組織 : 写真13①に示す。断面中央には複数の気孔が集まってできた、不定形の空隙が確認された。さらに、その周囲にも微細な気孔が多数散在する。なお外周部は風化のためか、素地のガラス質部分が剥落しており暗色を呈する。
- (3) 顕微鏡組織 : 写真13②に示す。白色樹枝状結晶ウスタイト (Wustite : FeO) が、素地のガラス質滓中に晶出する。鍛錬鍛冶滓と同様の鉱物組成であり、鍛錬鍛冶工程での微細な派生物である。

NMH-1 イー2 : 0.7mm径

- (1) 肉眼観察 : 色調は青黒色である。きれいな球状を呈する。表面は平滑で、1個所比較的大きな気孔が存在する。
- (2) マクロ組織 : 写真13③に示す。ガラス質成分の高い、球状の滓である。写真下側表層付近に、微細な気孔が3~4個集まって生じた、不定形の空隙が確認される。
- (3) 顕微鏡組織 : 写真13④に示す。ごく微細な白色樹枝状結晶はウスタイトである。更に色調から、多角形結晶の中央暗色部はヘーシナイト (Hercynite :  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )、明色部はウルボスピネル (Ulvöspinel :  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) とヘーシナイトの固溶体<sup>(注2)</sup>の可能性が高い。精錬鍛冶滓と類似する鉱物組成であり、精錬鍛冶工程での微細な派生物と推測される。

NMH-2 : 鍛造剥片<sup>(注3)</sup>

NMH-2 イー1 :  $4.7 \times 2.7 \times 0.2\text{mm}$

- (1) 肉眼観察 : 地の色調は青黒色で、表層には茶褐色の土砂が部分的に付着する。表裏面とも比較的平滑な剥片である。磁着は弱い。
- (2) マクロ組織 : 写真13⑤に示す。厚手で平坦な剥片である。ただし表裏面の僅かな凹凸に伴う、厚みの変動が若干見られる。
- (3) 顕微鏡組織 : 写真13⑥に王水で腐食した組織を示す。鉄酸化膜の3層構造〔外層ヘマタイ

ト (Hematite:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、中間層マグネタイト (Magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、内層ウスタイトの非晶質]が明瞭に現れている。

NMH-2 イ-2:  $2.2 \times 2.2 \times 0.12\text{mm}$

- (1) 肉眼観察: 色調は青灰色で、表裏面とも比較的平滑な剥片である。磁着は弱い。
- (2) マクロ組織: 写真13⑦に示す。非常に平坦な剥片で、断面には微細な気孔が散在する。
- (3) 顕微鏡組織: 写真13⑧に王水で腐食した組織を示す。鉄酸化物の3層構造が確認された。内層ウスタイトは非晶質。

NMH-2 ロ-1:  $3.4 \times 2.5 \times 0.12\text{mm}$

- (1) 肉眼観察: 色調は暗青灰色で、表裏面とも緩やかな波状の凹凸が見られる。裏面は光沢を有する。磁着は強い。
- (2) マクロ組織: 写真13⑨に示す。断面は緩やかな「へ」の字状に彎曲している。また、一部に空隙が確認される。
- (3) 顕微鏡組織: 写真13⑩に王水で腐食した組織を示す。当試料も鉄酸化物の3層構造が明瞭に現れている。内層ウスタイトは非晶質。

NMH-2 ロ-2:  $2.4 \times 2.4 \times 0.06\text{mm}$

- (1) 肉眼観察: 色調はやや光沢のある青灰色で、表裏面とも非常に平滑である。磁着は強い。
- (2) マクロ組織: 写真14①に示す。薄手で平坦な剥片である。
- (3) 顕微鏡組織: 写真14②に王水で腐食した組織を示す。当試料も鉄酸化物の3層構造が確認された。内層ウスタイトは非晶質。

分析調査を実施した4点は、何れも鉄酸化膜の3層構造が明瞭であった。熱間加工時に鉄材の表層が酸化・剥離した、鍛造剥片に分類される。またウスタイト層は全て非晶質で、鍛打工程後半段階の派生物の可能性が高い。

NMH-3: 含鉄鉄滓 (製錬系)

- (1) 肉眼観察: 平面が不整形三角形状を呈する、小型の含鉄鉄滓である。表層は茶褐色の酸化土砂で薄く覆われるが、本来の試料表層は灰黒色の緻密な滓と推測される。ただし、上半部を中心に錆化による放射割れや、小さな錆膨れがみられ、特殊金属探知機の特L (☆) で反応があるため、金属鉄を内包すると判断される。
- (2) マクロ組織: 写真20に示す。写真上面が試料側面にあたる。緩い弧状を呈する、本来の試料表面を残す。また内部には、ごく微細な金属鉄が広い範囲に散在する。
- (3) 顕微鏡組織: 写真14③~⑨に示す。③及び⑧は滓部である。③は試料表層部で、微細な白色樹枝状結晶はウスタイト、非常に発達した多角形結晶はウルボスピネルとヘーシナイトないしスピネル (Spinel:  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) の固溶体である。更に淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト (Fayalite:  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) が素地のガラス質滓中に晶出する。また⑧のようにウスタイトはみられず、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体のみ晶出する個所も広範囲で確認される。

滓部の鉱物組成は、やや酸化雰囲気が生じた砂鉄製錬滓にも、後続工程で派生する精錬鍛冶滓にもみられるものであった。

さらに④~⑦及び⑨は滓中の微細な金属鉄部を5% ナイタルで腐食した組織を示した。④⑤は

滓中に散在する微細な金属鉄粒で、フェライト単相の組織が確認された。これに対して⑥⑦及び⑨にはややまとまりのある金属鉄部を示す。⑥はほぼフェライト単相、⑦及び⑨はフェライト素地に黒色層状のパーライトが少量析出する亜共析組織である。炭素含有量は最大でも0.1%以下の軟鉄であった。また滓中に微細な金属が散在する状態で、鍛冶原料になり得る品位ではない。

(4) ビッカース断面硬度：写真14⑧の淡褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は776Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイトの可能性が高い<sup>(註4)</sup>。

また⑨金属鉄のフェライト結晶部分の硬度値は68Hvであった。組織に見合った値である。

(5) 化学組成分析：表74に示す。全鉄分 (Total Fe) 55.62% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 15.19%、酸化第1鉄 (FeO) 34.70%、酸化第2鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 19.24% 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19.47% で、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) は3.82% である。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) は7.98%、バナジウム (V) が0.20% であった。また酸化マンガン (MnO) 0.38%、銅 (Cu) 0.02% である。

当試料は製鉄原料の砂鉄に由来する、脈石成分 (TiO<sub>2</sub>, V, MnO) の割合が高い滓であった。

なお他の遺物と化学分析値を比較すると、当試料は、砂鉄製錬滓の可能性が高い遺物群 (NMH-4~6、8) と近似する (TiO<sub>2</sub>: 7~13% 台)。これに対して、鍛冶滓と推定される遺物 (NMH-9、10) の脈石成分はより低値である (TiO<sub>2</sub>: 2% 以下)。このため、当試料は砂鉄製錬滓の可能性が高いと判断される。ただし、製錬滓が多く固着した鍛冶原料 (製錬系鉄塊) を処理した精錬鍛冶滓の可能性も残る。

#### NMH-4：含鉄鉄滓 (製錬系)

(1) 肉眼観察：平面不整五角形をした含鉄鉄滓の破片である。表層には大型の木炭痕が多数残存する。表面は薄く茶褐色の土砂で覆われるが、黒色の緻密な滓が確認される。また下半部の磁着が強く、側面には一部錆化による錆膨れがみられる。特殊金属探知機の特L (☆) で反応があるため、金属鉄を内包する。

(2) マクロ組織：写真20に示す。当試料も、ごく微細な金属鉄が滓中に多数散在している。金属鉄はほとんど浸炭していない、フェライト単相の組織であった。

(3) 顕微鏡組織：写真15①~⑤に示す。①は滓中の金属鉄と晶出物を、腐食なしの状態を示した。微細な不定形白色部は金属鉄、灰色部は錆化鉄である。さらにその外周に淡褐色片状結晶シュードブルーカイト (Pseudobrookite: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · TiO<sub>2</sub>)、ないしルチル (Rutile: TiO<sub>2</sub>) がある。製鉄原料の砂鉄が還元され、微細な金属鉄が晶出した状態をとどめる組織であった。

②~⑤は金属鉄を5% ナイタルで腐食した組織を示した。いずれもほとんど炭素を含有しない、フェライト単相の組織である。

(4) ビッカース断面硬度：写真15⑤の金属鉄部の硬度を測定した。硬度値は126Hvであった。フェライト単相の組織としては、やや硬質である。微細な鉄部のため周囲の滓の影響を受けているか、燐 (P) など硬度を上昇させる元素が固溶している可能性が考えられる。

(5) EPMA調査：写真23に滓部の反射電子像 (COMP) を示す。2視野調査を実施した。上段は写真15①と同じ鉱物が確認された個所である。5の番号をつけた淡褐色片状結晶の定量分析値は79.2%TiO<sub>2</sub>-8.5%MgO-5.2%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-7.2%FeO-2.2%V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であった。Mg, Al, Fe, Vな

どの元素を少量含むが、チタン酸化物 ( $\text{TiO}_2$ ) 主体の鉱物である。また6の番号をつけた、微細な錆化鉄部の定量分析値は86.0%FeOであった。錆化鉄のため100%に満たない減衰した値を示す。さらに7の番号をつけた、素地の暗黒色ガラス質滓の定量分析値は41.5% $\text{SiO}_2$  - 16.9% $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 3.2%CaO - 9.8%MgO - 2.2% $\text{K}_2\text{O}$  - 12.2%FeO - 11.1% $\text{TiO}_2$  - 1.8%MnOであった。

下段は写真15③⑤の滓部と、同様の鉱物が確認された個所である。1の番号をつけた、淡褐色針状結晶の定量分析値は16.1%FeO - 7.3%MgO - 4.4% $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 1.9% $\text{ZrO}_2$  - 67.5% $\text{TiO}_2$ であった。Mg, Al, Zrなどの元素がかなりFe, Tiを置換しているが、シュードブルーカイト (Pseudobrookite:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ ) に近い鉱物である。また2の番号をつけた素地のガラス質滓の定量分析値は、44.0% $\text{SiO}_2$  - 12.7% $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 4.5%CaO - 7.7%MgO - 1.4% $\text{K}_2\text{O}$  - 20.5%FeO - 5.4% $\text{TiO}_2$  - 1.7% $\text{ZrO}_2$  - 1.3%MnOであった。さらに3の番号をつけた、淡茶褐色多角形結晶の定量分析値は50.4%FeO - 36.9% $\text{TiO}_2$  - 7.9%MgO - 6.0% $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 1.6%MnOであった。ウルボスピネル (Ulvöspinel:  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ )、ヘーシナイト (Hercynite:  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )、スピネル (Spinel:  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) を主な端成分とする固溶体に同定される。

以上の鉱物組成から、当試料はチタン ( $\text{TiO}_2$ ) 含有量の高い砂鉄を、高温製錬した際の派生物<sup>(注5)</sup>と判断される。

(6) 化学組成分析：表74に示す。全鉄分 (Total Fe) 49.55%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 16.39%、酸化第1鉄 (FeO) 20.62%、酸化第2鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 24.50%の割合であった。造滓成分 ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) 19.82%で、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) は4.44%である。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) は13.16%、バナジウム (V) が0.25%と高値であった。また酸化マンガン (MnO) は0.65%、銅 (Cu) 0.01%である。

鉱物・化学組成の特徴から、当試料は砂鉄を還元して金属鉄をつくる、製錬工程で生じた含鉄鉄滓に分類される。鍛冶原料の製錬系鉄塊に伴い、遺跡内に搬入されたと考えられる。また金属鉄は微細なフェライトが散在する状態で、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定される。

#### NMH-5：含鉄鉄滓（製錬系）

- (1) 肉眼観察：平面不整五角形状の含鉄鉄滓片である。表層は細かい凹凸が顕著で、微細な木炭痕が残る。また一部に黒錆がみられ、比較的磁着も強い。さらに特殊金属探知機のH (○) で反応があるため、内部には若干金属鉄の残存が予測できる。
- (2) 顕微鏡組織：写真15⑥～⑧に示す。発達した淡茶褐色多角形結晶は、ウルボスピネル、ヘーシナイト、スピネルを主な端成分とする固溶体、やや小型の暗褐色多角形結晶はヘーシナイトの可能性が高い。更にごく微細な淡灰色結晶ファイヤライトが、素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。

また⑥⑦中央の白色部は、微細な金属鉄粒である。5%ナイトルで腐食したところ、フェライト単相の組織が確認された。

- (3) ビッカース断面硬度：写真15⑦の金属鉄粒の硬度を測定した。硬度値は96Hvで、フェライト結晶粒と判断される。また3⑧の淡茶褐色多角形結晶の硬度値は879Hvであった。ウルボスピネ

ル (Ulvöspinel:  $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ) としては硬質で、Mg, Alなどの元素を固溶している可能性が高い。  
 (4) 化学組成分析: 表74に示す。全鉄分 (Total Fe) 47.23% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.34%、酸化第1鉄 (FeO) 21.99%、酸化第2鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 42.60% の割合であった。造滓成分 ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) 21.83% で、このうち塩基性成分 ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) は2.76% である。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) は7.15%、バナジウム (V) が0.48% であった。また酸化マンガン (MnO) 0.28%、銅 (Cu) 0.01% である。

当試料は砂鉄由来の脈石成分 ( $\text{TiO}_2, \text{V}, \text{MnO}$ ) の割合が高く、砂鉄製錬滓と推定される。

#### NMH-6 : 流動滓

(1) 肉眼観察: 小型の流動滓の端部破片である。上面はきれいな流動状で、表層は黒褐色を呈する。また酸化雰囲気曝されたためか、紫紅色の部分もみられる。破面は緻密であるが、上面側に横方向に広がった気孔が発生する。

(2) 顕微鏡組織: 写真16①~③に示す。発達した淡茶褐色多角形結晶は、ウルボスピネル、ヘーシナイト、スピネルを主な端成分とする固溶体である。更に白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが、素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。これは弱い還元雰囲気ですら生じた砂鉄製錬滓にも、精錬鍛冶滓にもみられる鉱物組成である。

(3) ビッカース断面硬度: 写真16①の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は882Hvであった。ウルボスピネルとしては硬質で、Mg, Alなどの元素を固溶している。

(4) 化学組成分析: 表74に示す。全鉄分 (Total Fe) 49.83% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) <0.01%、酸化第1鉄 (FeO) 39.37%、酸化第2鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 27.49% の割合であった。造滓成分 ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) は21.75% で、このうち塩基性成分 ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) は3.36% である。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) は9.32%、バナジウム (V) が0.32% と高値であった。また酸化マンガン (MnO) 0.44%、銅 (Cu) 0.02% である。

当試料は砂鉄由来の脈石成分 ( $\text{TiO}_2, \text{V}, \text{MnO}$ ) の割合が高い。製錬工程で派生した炉外流出滓の可能性が高いと判断される。ただし、製錬滓が多く固着した鍛冶原料 (製錬系鉄塊) を処理した精錬鍛冶滓の可能性も完全に否定はできない。

#### NMH-7 : 含鉄鉄滓 (錆化)

(1) 肉眼観察: 13g と小型の含鉄鉄滓である。上下面と側面約1/2は本来の試料表面で、反対側の側面は破面であろう。また表面には木炭痕が浅く残る。さらに黒錆や錆化による割れも見られる。しかし磁着は弱く、特殊金属探知機での反応もない。鉄部は既に錆化していた。

(2) 顕微鏡組織: 写真16④~⑧に示す。④~⑥は試料内側の組織である。発達した淡茶褐色多角形結晶は、ウルボスピネル、ヘーシナイト、スピネルを主な端成分とする固溶体、さらに淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが、素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。また⑤⑥の不定形灰色部は錆化鉄である。当試料中にはこうした微細な錆化鉄が多数散在し、まとまった鉄部は遺存しない。

これに対して、⑦⑧は試料表層部の組織である。左側の表層に沿って、ウスタイトが層状に晶出している。このウスタイト層は上面と側面1面に沿って確認された。精錬鍛冶作業中に、鉄材

の表層が再酸化して生じた可能性が考えられる。

- (3) ビッカース断面硬度: 写真16④の茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は834Hvであった。ウルボスピネルとしては硬質で、Mg, Alなどの元素を固溶している可能性が高い。

当試料は表面のウスタイト層の状況から、製錬滓が多く固着した鍛冶原料（製錬系鉄塊）を処理した精錬鍛冶滓の可能性もある。しかし、内部の鉱物組成は、チタン（TiO<sub>2</sub>）含有量の高い含鉄鉄滓（NMH-3、5）と酷似しており、製錬滓の可能性も残る。

当試料は非常に小型で、必要な試料量が確保できず、化学分析を実施していない。このため、現状の調査結果のみから、製錬滓・精錬鍛冶滓の何れかを断定することは難しい。双方の可能性を提示しておきたい。

#### NMH-8：含鉄鉄滓（製錬系）

- (1) 肉眼観察：平面不整楕円状の含鉄鉄滓である。上下面と側面の一部は、本来の試料表面と推定される。試料表層は酸化土砂に薄く覆われるが、地は比較的緻密な灰黒色の滓である。また表面には木炭痕が残り、一部木炭の噛み込みもみられる。さらに部分的に黒錆が確認され、特殊金属探知機の特L（☆）で反応があるため、内部には金属鉄の残存が予測される。

- (2) マクロ組織: 写真21に示す。鉄部の状態は、含鉄鉄滓（製錬系）（NMH-3、4）に酷似する。ごく微細な金属鉄が滓中に散在し、炭素含有量は全体に低い。

また滓中には、大型で多角形状のスピネル鉱物が凝集気味に晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。なお滓中には大型の木片が複数遺存する。写真右上の不整形の暗色部は、試料観察面で認められた、最も大型の木炭片である。

- (3) 顕微鏡組織：写真17①～⑨に示す。①～③は滓中の木炭片である。当試料中には木炭が複数散在している。試料観察面でも3箇所確認され、何れも木口面の組織が捉えられた。①は試料上面表層の木炭片である。広葉樹材で、発達した道管が放射方向に並ぶ。また帯状の独立柔組織が観察される。放射組織は単列のもの写真左寄りにみられる高放射組織の2種類がある。これらの特徴から、アカガシの可能性が高い。②の左側は試料中央、また③は試料下面（マクロ写真右上）の木炭片である。ともに広葉樹の散孔材で、③では非常に幅の広い放射組織が確認される。木炭組織の特徴から、これらはブナの可能性が高い。以上の結果から、燃料に広葉樹材を用いていたと判断される。

④は滓部である。発達した淡茶褐色多角形結晶は、ウルボスピネル、ヘーシナイト、スピネルを主な端成分とする固溶体である。さらに淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトも、素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。

⑤～⑨は金属鉄を5%ナイトルで腐食した組織を示した。⑤の白色部は滓中に散在する微細な金属鉄で、フェライト単相の組織である。⑥～⑧は比較的まとまりのある金属鉄部分で⑥⑦はフェライト単相、⑧⑨はパーライトを少量含む亜共析組織が確認された。鉄部は最大でも0.1%程度の炭素含有量の軟鉄で、まとまりが悪く鍛冶原料となり得る品位ではない。

- (4) ビッカース断面硬度：写真17④の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は860Hvであった。ウルボスピネルとしては硬質で、Mg, Alなどの元素を固溶している。

また写真17⑤⑦の金属組織の硬度を測定した。⑤のフェライト単相部分の硬度値は79Hv、⑨

の垂共析部分の硬度値は103Hvであった。それぞれ組織に見合った値といえる。

- (5) 化学組成分析：表74に示す。全鉄分 (Total Fe) 50.33% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 5.52%、酸化第1鉄 (FeO) 27.00%、酸化第2鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 34.06% 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) 20.41% で、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) は2.72% である。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) は7.07%、バナジウム (V) が0.29% であった。また酸化マンガン (MnO) は0.30%、銅 (Cu) 0.02% である。

当試料は砂鉄由来の脈石成分 (TiO<sub>2</sub>, V, MnO) の割合が高めで、製錬工程での派生物と推定される。含鉄鉄滓 (製錬系) (NMH-3, 4) と酷似する遺物であり、鍛冶原料の製錬系鉄塊に伴い、遺跡内に搬入されたと考えられる。ただし鉄部は鍛冶原料になり得る品位ではなく、滓として廃棄されたのだろう。

#### NMH-9：椀形鍛冶滓

- (1) 肉眼観察：190g とやや小型で厚手の椀形鍛冶滓である。側面に一部小さな破面が見られるが、ほぼ完形に近い。上面は木炭痕が残り比較的平坦で、中央付近には羽口溶融物と推定される黒色ガラス質滓がみられる。また下面も平坦で、木炭痕を薄く残す。

- (2) 顕微鏡組織：写真18①～⑤に示す。当試料は断面中央付近に存在する、横方向に細長く伸びる気孔を挟んで、上下の鉱物組成が異なっている。①～③は試料下面側である。試料下半部では発達した白色粒状結晶ウスタイトが凝集気味に晶出する。その周囲の微細な多角形結晶の明色部は、ウルボスピネル、ヘーシナイト、スピネルを主な端成分とする固溶体。暗色部は同じスピネル類の鉱物であるが、色調からよりヘーシナイトに近い組成とみてよかろう。さらに淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトも晶出している。

これに対して、④⑤は試料上面側である。試料上半部にはウスタイトがほとんど晶出していない。ただし下面と同様の明暗2相のスピネル鉱物と発達したファイヤライトが観察される。

- (3) ビッカース断面硬度：写真18①の白色粒状結晶の硬度を測定した。硬度値は512Hv であった。硬度値から当結晶はマグネタイトの可能性が高い。ウスタイトとマグネタイトが混在しているものと推測される。

また④の淡灰色短柱状結晶の硬度値は725Hv であった。ファイヤライトとしてはやや硬質で、Mg などの元素が一部 Fe を置換しており、硬度が上昇している可能性が考えられる。さらに⑤の淡褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は977Hv であった。ウルボスピネルとしては硬質で、Mg, Al などの元素を固溶している可能性が高い。

- (4) 化学組成分析：表74に示す。全鉄分 (Total Fe) 48.54% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.04%、酸化第1鉄 (FeO) 38.80%、酸化第2鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 26.22% 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) 29.20% で、このうち塩基性成分 (CaO + MgO) は2.24% である。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) は1.99%、バナジウム (V) が0.13% 低値であった。また酸化マンガン (MnO) は0.16%、銅 (Cu) 0.03% である。当試料は酸化鉄と、炉材 (羽口ないし炉壁) に由来する成分 (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O) の割合が高く、砂鉄由来の脈石成分は低値であった。

以上の調査の結果、当試料は鍛冶原料 (製錬系鉄塊) に固着した製錬滓を分離、除去する精錬



鍛冶工程での派生物と推定される。

#### NMH-10：椀形鍛冶滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：51 gを測る小型で偏平な椀形鍛冶滓破片である。表層には1 cm以下の木炭痕が残存する。また一部錆膨れがみられ、特殊金属鉄のL（●）で反応があるため、内部には金属鉄が残る。

(2) マクロ組織：写真22に示す。上段に端部の断面を提示した。表層部には明瞭な破面はみられず、全面本来の試料表面が残る。また写真右側約2/3は金属鉄である。内部にまとまりのよい鉄部が確認された。

下段は金属鉄部の拡大である。内部に細かい気孔が多数散在しているため、鍛錬作業前の鉄塊と推測される。また金属組織は全面パーライト主体で、共析鋼（C：0.77%）に近い。

(3) 顕微鏡組織：写真18⑥～⑧に示す。⑥は滓部である。白色粒状結晶ウスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。当試料の滓中には、製鉄原料の砂鉄に由来する鉄チタン酸化物は全く晶出していない。このため、既に製錬工程で派生した滓の除去を終えた段階の遺物と判断される。

⑦⑧は金属鉄を5% ナイタルで腐食した組織である。いずれも黒色層状のパーライト主体であるが、⑦では旧オーステナイト粒界に若干初析フェライトが、⑧でも白色針状のセメントイトが析出している。ただし上述したように、全体的にはほぼ共析鋼に近い鉄塊といえる。鍛錬鍛冶滓に分類される。

(4) ビッカース断面硬度：写真18⑥の白色粒状結晶の硬度を測定した。硬度値は456Hvで、ウスタイトに同定される。

また紙面の構成上、硬度を測定した圧痕の写真を割愛したが、金属鉄（パーライト組織）の硬度を測定した。硬度値は244Hv、287Hv、313Hvであった。パーライトとしてはやや硬質な個所もあるが、冷却速度の速さを反映したものと推測される。

(5) 化学組成分析：表74に示す。全鉄分（Total Fe）60.03%に対して、金属鉄（Metallic Fe）4.77%、酸化第1鉄（FeO）34.70%、酸化第2鉄（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）40.44%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）12.84%で、このうち塩基性成分（CaO + MgO）は0.76%である。製鉄原料の砂鉄に由来する二酸化チタン（TiO<sub>2</sub>）は0.37%、バナジウム（V）が0.03%と低値であった。また酸化マンガン（MnO）は0.06%、銅（Cu）0.01%である。

当試料は滓中にチタン（TiO<sub>2</sub>）の影響がほとんどない。鍛冶原料（製錬系鉄塊）に固着した滓の除去は、終了した段階の遺物と判断される。また金属鉄は鍛打作業前の鉄塊で、まとまった形状の鉄素材を作る際に、炉内に取り残されたものと推測される。

#### NMH-11：鉄塊系遺物（製錬系）

(1) 肉眼観察：13.6 gを測る小型の鉄塊系遺物である。資料端部には大きな錆膨れが生じている。また表面には微細な木炭片が複数付着する。当資料は大きさの割に重量があり、全体に磁着が強い。特に特殊金属探知機のL（●）で反応があり、まとまった鉄部主体の遺物である。

(2) マクロ組織：写真21に示す。試料表層にごく薄く製錬滓が付着するが、まとまった金属鉄主

体の遺物であった。

(3) 顕微鏡組織：写真19①～⑨に示す。①の左側は試料表層に固着する、ごく微細な木炭片である。木口面が観察できる試料を提示した。微細なため樹種同定は困難であるが、内部に道管が確認され、広葉樹材と判断できる。

また②は試料表層の付着滓である。発達した淡茶褐色多角形結晶は、ウルボスピネル、ヘーシナイト、スピネルを主な端成分とする固溶体である。砂鉄製錬滓の晶癖といえる。

③～⑦はマクロ組織右側の金属鉄部の拡大である。5% ナイタルで腐食した組織を示した。③の写真左側、⑥の組織右側のように、試料表層や気孔の周辺に薄く低炭素域が存在する。この部分は白色のフェライト結晶と黒色層状のパーライトからなる、亜共析組織を呈する。これに対して、内部は部位によって程度が異なるが、不完全球状セメンタイト化している。⑥の左側及び⑦は比較的黒色層状のパーライトが残存するが、③の右側及び⑤は球状セメンタイト化が進み、素地はフェライトになっている。以上のような内部の金属組織から、当試料は製鉄炉内で徐冷された後、炉内から取り出されたと推定される。

また⑧⑨はマクロ写真左側の低炭素域の拡大である。ここでもパーライトの球状セメンタイト化が確認された。

(4) ビッカース断面硬度：写真19②の淡褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は821Hvであった。ウルボスピネルとしては硬質で、Mg, Alなどの元素を固溶している可能性が高い。

また金属鉄部の硬度を複数個所測定した。④試料表層の亜共析組織部分の硬度値は165Hvであった。これに対して試料内面は、⑤球状セメンタイト化が進んだ部分の硬度値は178Hv、⑦比較的パーライトが残存する個所の硬度値は188Hvであった。さらに⑨最も炭素量の低い個所は138Hvである。それぞれ組織に見合った値である。

当試料は付着滓の鉱物組成から、砂鉄を製錬してできた小型の鉄塊系遺物に分類される。遺跡内に搬入された鍛冶原料鉄と推測される遺物である。

#### 4. まとめ

中道東山西山遺跡の出土鍛冶関連遺物を分析調査した結果、砂鉄製錬時に生じた含鉄鉄滓・鉄塊系遺物が多数確認された。当遺跡には製鉄遺跡でつくられた製錬系鉄塊が、そのまま鍛冶原料として搬入されたと判断される。また遺跡内では、鍛冶原料に固着した滓を除去する精錬鍛冶から、鉄器製作の鍛錬鍛冶工程までが一貫して行われたと推定される。

〈1〉含鉄鉄滓(NMH-4, 5, 8)・鉄塊系遺物(NMH-11)は砂鉄製錬時の生成物に分類される。特に含鉄鉄滓(NMH-4)は酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )主体の鉱物が確認され、高温製錬での派生物と判断される。さらにE P M A調査結果をみると、通常の鉄チタン酸化物( $\text{FeO} - \text{TiO}_2$ 系晶出物)と比較して、かなりMgO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ が置換した結晶が確認されている。同様の状況が、米子市内に所在する萱原・奥陰田遺跡群の出土遺物<sup>(注6)</sup>でもみられる。従ってこの特徴は、地域周辺に分布する砂鉄、ないし砂鉄に混在する脈石の特徴を反映した可能性があり注目される。

また含鉄鉄滓(NMH-3)、流動滓(NMH-6)は、ウスタイト(Wustite:  $\text{FeO}$ )が晶出しており、精錬鍛冶工程での派生物の可能性も残る。ただし化学組成は、砂鉄由来の脈石成分( $\text{TiO}_2$ , V, MnO)の割合が高く、上述の製錬滓に区分した遺物群と同等の含有率である。このため、これ

らも砂鉄製錬滓の可能性が高いと考えられる。

現在までのところ、鳥取県内では古代に推定される製鉄炉の分析調査事例がない。ただし複数の鍛冶遺跡から、製錬工程での派生物と推定される遺物が確認<sup>(注7)</sup>されており、周辺地域の製鉄遺跡の存在が推察される状況である。このため、鍛冶遺跡の出土遺物が、鍛冶原料（製錬系鉄塊）に伴い遺跡内に搬入されたものか、遺跡内の鍛冶作業で派生したものか、全てを区分することが現状では困難である。地域の製鉄炉に共伴する遺物群の分析調査を含む、調査事例の蓄積が待たれる。

〈2〉含鉄鉄滓（NMH-8）は、多数の木炭片を噛み込んでいた。これらは何れも道管の発達した広葉樹材であった。さらに木口面の特徴から、カシ・ブナと推測される破片も確認された。当地域では、こうした広葉樹の黒炭を鉄製錬の燃料としていたことが窺える。

〈3〉含鉄鉄滓（NMH-3、4、5、8）は、何れも滓中に微細なフェライトが散在する状態で、鍛冶原料となり得る品位ではなく、廃棄されたものと判断される。さらにこれらは、鍛冶炉で滓を熔融・除去する前に、打撃等で付着物を落とした時の派生物の可能性もある。当遺跡には、製錬滓が多量に固着した状態で製錬系鉄塊が搬入されていた可能性が考えられる。

これに対して、まとまった鉄部が確認された椀形鍛冶滓（含鉄）（NMH-10）、鉄塊系遺物（製錬系）（NMH-11）では、亜共析組織～共析組織が確認された。鍛冶原料鉄は鋼主体であった可能性が指摘できる。

〈4〉椀形鍛冶滓（NMH-9）は、鉱物・化学組成の特徴から、精錬鍛冶滓に分類される。また粒状滓（NMH-1）、や鍛造剥片（NMH-2）など鍛打に伴い派生する微細遺物も検出されており、当遺跡内で、一連の精錬鍛冶～鍛錬鍛冶作業が行われたことはほぼ間違いなからう。

（注）

- （1）粒状滓は鍛冶作業において凹凸を持つ鉄素材が鍛冶炉の中で赤熱状態に加熱されて、突起部が溶け落ちて酸化され、表面張力の関係から球状化したり、赤熱鉄塊に酸化防止を目的に塗布された粘土汁が酸化膜と反応して、これが鍛打の折に飛散して球状化した微細な遺物である。
- （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)  
スピネル (Spinel:  $MgAl_2O_4$ )、ヘーシナイト [鉄スピネル] (Hercynite:  $Fe^{2+}Al_2O_4$ )、  
マグネタイト [磁鉄鉱] (Magnetite:  $Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4$ )、クロム磁鉄鉱 (Chromite:  $Fe^{2+}Cr_2O_4$ )、  
マグネシオクロマイト (Magnesiochromite:  $MgCr_2O_4$ )、ウルボスピネル (Ulvöspinel:  $TiFe_2^{3+}O_4$ ) またこれらを端成分とした固溶体をつくる。
- （3）鍛造剥片とは鉄素材を大気中で加熱、鍛打したとき、表面酸化膜が剥離、飛散したものを指す。俗に鉄肌（金肌）やスケールとも呼ばれる。鍛冶工程の進行により、色調は黒褐色から青味を帯びた銀色（光沢を発する）へと変化する。粒状滓の後続派生物で、鍛打作業の実証と、鍛冶の段階を押える上で重要な遺物となる<sup>(注8)</sup>。鍛造剥片も粒状滓同様に極めて微細な鍛冶派生物であり、発掘調査中に土中より肉眼で識別するのは難しい。通常は鍛冶趾の床面の土砂を水洗することにより検出される。鍛冶工場の調査に当たっては、鍛冶炉を中心にメッシュを切って土砂を取り上げ、水洗、選別、秤量により分布状況を把握できれば、工房内の作業空間配置の手掛りとなりうる重要な遺物でもある<sup>(注9)</sup>。  
鍛造剥片の酸化膜相は、外層は微厚のヘマタイト (Hematite:  $Fe_2O_3$ )、中間層マグネタイト (Magnetite:  $Fe_3O_4$ )、大部分は内層ウスタイト (Wüstite:  $FeO$ ) の 3 層から構成される<sup>(注10)</sup>。  
鍛造剥片を王水（塩酸 3：硝酸 1）で腐食すると、外層ヘマタイト (Hematite:  $Fe_2O_3$ ) は腐食しても侵されず、中間層マグネタイト (Magnetite:  $Fe_3O_4$ ) は黄変する。内層のウスタイト (Wüstite:  $FeO$ ) は黒変する。鍛打作業前半段階では内層ウスタイト (Wüstite:  $FeO$ ) が粒状化を呈し、鍛打仕上げ時になると非晶質化する。鍛打作業工程のどの段階が行われていたか推定する手がかりともなる。

- (4) 日刊工業新聞社『焼結鉍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ーシナイトを端成分とする固溶体となると更に硬度値は上昇する。このため700Hvを超える値では、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が考えられる。
- (5) J. B. Mac chesney and A. Murau : American Mineralogist, 46 (1961), 572  
 [イルミナイト (Ilmenite:FeO·TiO<sub>2</sub>)、シュードブルーカイト (Pseudobrookite:Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·TiO<sub>2</sub>)、ルチル (Rutile: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。]
- (6) 大澤正己「萱原・奥陰田遺跡群出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査」『萱原・奥陰田Ⅱ』鳥取県道路課 (財) 米子市教育文化事業団 1998
- (7) 大澤正己・鈴木瑞穂「八橋第8・9遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『八橋第8・9遺跡』~一般国道9号(東伯中山道路)の改築に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書Ⅲ~(鳥取県教育文化財団調査報告書87)(財)鳥取県教育文化財団 2004.3
- (8) 大澤正己「房総風土記の丘実験試料と発掘試料」『千葉県立房総風土記の丘 年報15』(平成3年度)千葉県房総風土記の丘 1992
- (9) ① 栃木県教育委員会「5. 東野田遺跡」『一般国道4号(新4号国道)改築工事に伴う埋蔵文化財発掘調査の経過』(栃木県埋蔵文化財調査報告書第95集) 1988  
 小林広治「奈良・平安時代の鍛冶の復元的考察」『早稲田大学大学院文学研究科紀要別冊15集』哲学・史学編 1988
- ② 大澤正己「岩田遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『岩田遺跡』(福島市埋蔵文化財報告書第91集) 1991
- ③ 大澤正己「南諏訪原遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『南諏訪原遺跡』(福島市埋蔵文化財調査報告書) 1992
- (10) 森岡ら「鉄鋼腐食化学」『鉄鋼工学講座』11 朝倉書店 1975

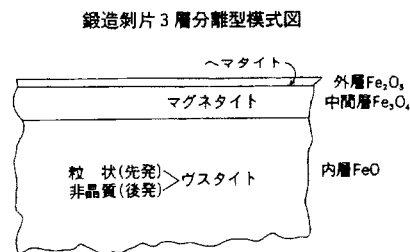
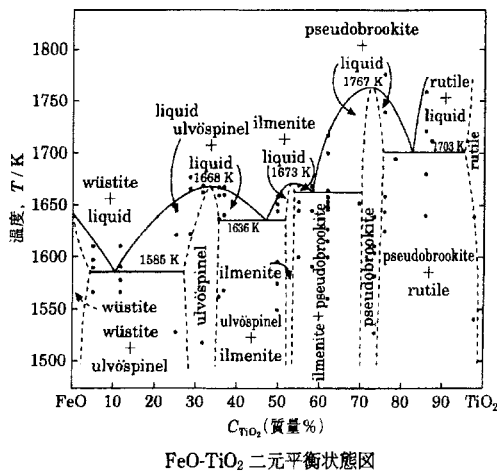


表73 供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	計測値			調査項目							備考				
					大きさ(mm)	重量(g)	磁着度	メタル度	マクロ組織	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	X線回折	E P M A	化学分析		耐火度	カロリー		
																		耐火度	造淨成分
NMH-1	中道東山西山	SB7	粒状滓 (2点)	9c	-	-	-	なし	○	-	-	-	-	-	-	-	-		
NMH-2			鍛造剥片 (4点)															○	-
NMH-3		SK53	含鉄鉄滓 (製錬系)		5	特L (★)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-4			含鉄鉄滓 (製錬系)		5	特L (★)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-5		SS3 2層	含鉄鉄滓 (製錬系)		3	H (○)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-6			流動滓		3	なし	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-7		P422 埋土	含鉄鉄滓		4	錆化 (△)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-8			含鉄鉄滓 (製錬系)		7	特L (★)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-9		東山S-10 暗褐色土層	腕形鍛冶滓		5	なし	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-10			腕形鍛冶滓 (含鉄)		5	L (●)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMH-11		東山S-10 暗褐色土層	鉄塊系遺物 (製錬系)		5	L (●)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				13.6															

表74 供試材の組成

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	二酸化珪素 (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)	酸化チタン (TiO <sub>2</sub> )	二酸化チタン (TiO <sub>2</sub> )	酸化クロム (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	硫黄 (S)	五酸化燐 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	炭素 (C)	バクシウム (V)	銅 (Cu)	耐火度	造淨成分	造淨成分 Total Fe	TiO <sub>2</sub> Total Fe	注	
NMH-3	中道東山西山	東山T-9 SK53	含鉄鉄滓 (製錬系)	9c	55.62	15.19	34.70	19.24	9.36	5.59	1.88	1.94	0.55	0.15	0.38	7.98	0.08	0.08	0.21	0.05	0.20	0.02	-	19.47	0.350	0.143		
NMH-4			含鉄鉄滓 (製錬系)		49.55	16.39	20.62	24.50	9.54	4.80	1.06	3.38	0.47	0.57	0.65	13.16	0.06	0.23	0.05	0.12	0.25	0.01	-	19.82	0.400	0.266		
NMH-5		SS3 2層	含鉄鉄滓 (製錬系)		47.23	0.34	21.99	42.60	10.84	7.84	1.05	1.71	0.30	0.09	0.28	7.15	0.18	0.03	0.18	0.16	0.48	0.01	-	21.83	0.462	0.151		
NMH-6			流動滓		49.83	<0.01	39.37	27.49	11.01	6.96	1.30	2.06	0.31	0.11	0.44	9.32	0.10	0.03	0.20	0.04	0.32	0.02	-	21.75	0.436	0.187		
NMH-8		東山S-8 暗褐色土層	含鉄鉄滓 (製錬系)		50.33	5.52	27.00	34.06	9.97	6.55	1.13	1.59	0.81	0.36	0.30	7.07	0.08	0.06	0.20	0.27	0.29	0.02	-	20.41	0.406	0.140		
NMH-9			腕形鍛冶滓		48.54	0.04	38.80	26.22	17.96	8.52	1.23	1.01	0.30	0.18	0.16	1.99	0.06	0.04	0.20	0.09	0.13	0.03	-	29.20	0.602	0.041		
NMH-10		東山S-10 暗褐色土層	腕形鍛冶滓		60.03	4.77	34.70	40.44	8.29	3.23	0.39	0.37	0.35	0.21	0.06	0.37	0.03	0.13	0.14	0.80	0.03	0.01	-	12.84	0.214	0.006		

表75 出土遺物の調査結果のまとめ

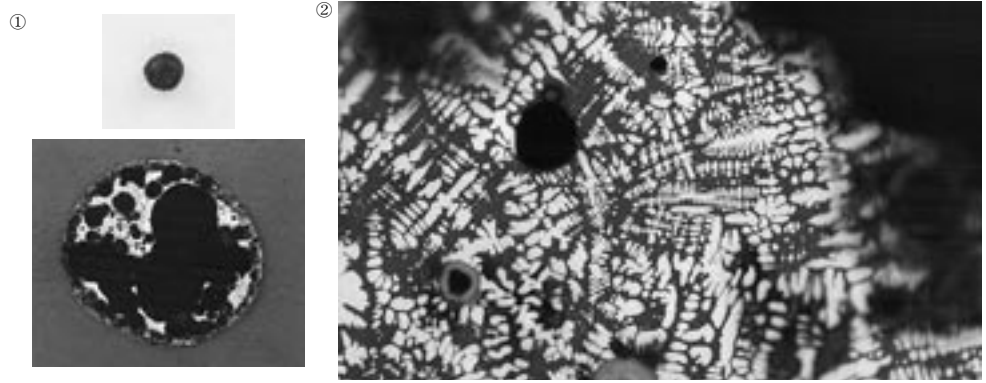
符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	顕微鏡組織	化学組成 (%)								所見	
						Total Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	塩基性成分	TiO <sub>2</sub>	V	MnO	造滓成分	Cu		
NMH-1			粒状滓 (2点)		イ-1 : W, イ-2 : W + U と H の固溶体 + H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	精錬鍛冶～鍛錬鍛冶工程で派生する微細遺物
NMH-2		SB7	鍛造剥片 (4点)		He + M + W (非晶質)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	鍛打作業 (熱間加工) に伴い、派生する微細遺物
NMH-3		SK53	含鉄滓 (製錬系)		滓部 : W + U と H と S の固溶体 + F、鉄部 : フェライト 散在～亜共析組織	55.62	19.24	3.82	7.98	0.20	0.38	19.47	0.02	0.02	製錬系含鉄滓 (原料 : 砂鉄)、鍛冶原料にはなり得ず、滓として廃棄
NMH-4		SS3	含鉄滓 (製錬系)		滓部 : R + Ps, I + U と H と S の固溶体、鉄部 : フェライト単相	49.55	24.50	4.44	13.16	0.25	0.65	19.82	0.01	0.01	製錬系含鉄滓 (原料 : 砂鉄)、鍛冶原料にはなり得ず、滓として廃棄 (フェライトの一部は砂鉄痕跡を止める)
NMH-5			含鉄滓 (製錬系)		滓部 : U と H と S の固溶体 + F、鉄部 : フェライト散在	47.23	42.60	2.76	7.15	0.48	0.28	21.83	0.01	0.01	製錬系含鉄滓 (原料 : 砂鉄)、鍛冶原料にはなり得ず、滓として廃棄
NMH-6	中道東山 西山	P422 埋土	流動滓	9c	滓部 : W + U と H と S の固溶体 + F、	49.83	27.49	3.36	9.32	0.32	0.44	21.75	0.02	0.02	砂鉄製錬滓の可能性が高い (精錬鍛冶滓の可能性も 残る)
NMH-7			含鉄滓		滓部 : W + U と H と S の固溶体 + F、錆化鉄部散在	-	-	-	-	-	-	-	-	-	砂鉄製錬滓ないし精錬鍛冶滓
NMH-8		東山S-8 暗褐色土層	含鉄滓 (製錬系)		木炭片 : 木口面、広葉樹材、カシ・ブナ、滓部 : U と H と S の固溶体 + F、鉄部 : フェライト散在～亜共析組織	50.33	34.06	2.72	7.07	0.29	0.30	20.41	0.02	0.02	製錬系含鉄滓 (原料 : 砂鉄)、鍛冶原料にはなり得ず、滓として廃棄
NMH-9		東山R-10 暗褐色土層	梃形鍛冶滓		滓部 : (下面側) W + U と H と S の固溶体 + H + F、(上面側) U と H と S の固溶体 + H + F	48.54	26.22	2.24	1.99	0.13	0.16	29.20	0.03	0.03	精錬鍛冶滓 (始発原料 : 砂鉄)
NMH-10		東山S-10 暗褐色土層	梃形鍛冶滓 (含鉄)		滓部 : W + F、鉄部 : 共析組織主体	60.03	40.4	0.76	0.37	0.03	0.06	12.84	0.01	0.01	鍛錬鍛冶滓、鉄部 : 鍛打作業前の鉄塊、共析鋼
NMH-11			鉄塊遺物 (製錬系)		滓部 : U と H と S の固溶体 + F、鉄部 : 亜共析～共析組織 (内 面素地部分 : 不完全球状セメンタイト)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	鍛冶原料 (製錬系鉄塊、原料 : 砂鉄)

W : Wustite (FeO), Ulvöspinel : (2FeO · TiO<sub>2</sub>), H : Hercynite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · TiO<sub>2</sub>), M : Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), Ps : Pseudobrookite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · TiO<sub>2</sub>), I : Ilmenite (FeO · TiO<sub>2</sub>), S : Spinel (MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), F : Fayalite (2FeO · SiO<sub>2</sub>)

NMH-1 イ-1

粒状滓

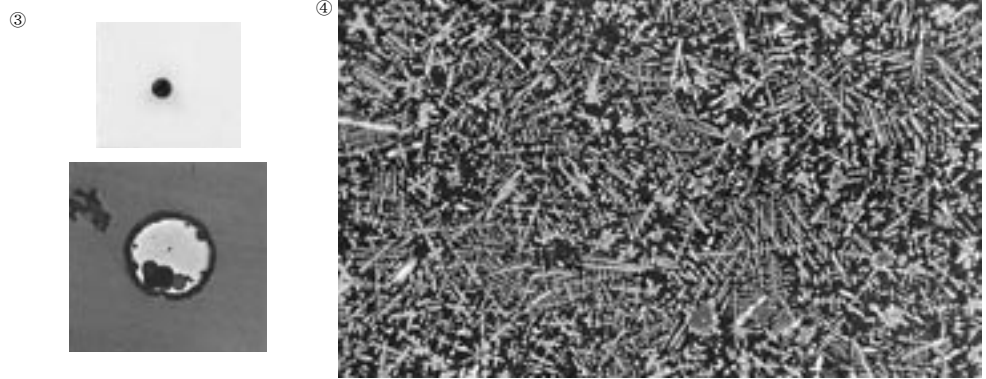
- ①×20 マクロ組織
- ②×400 ウスタイト



NMH-1 イ-2

粒状滓

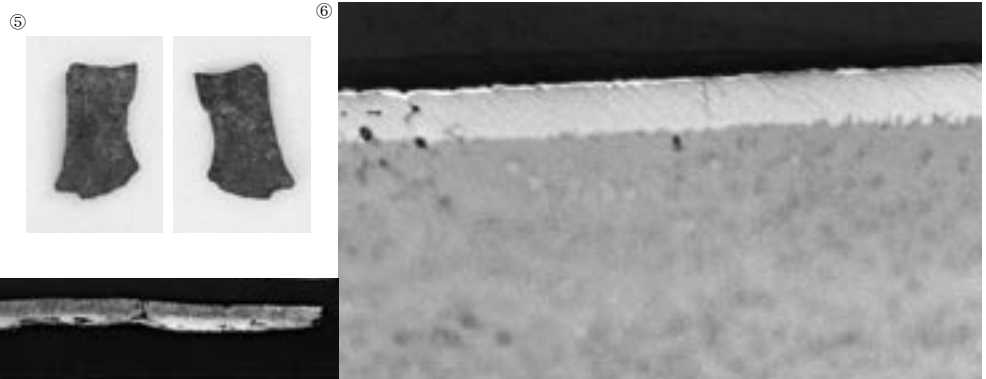
- ③×20 マクロ組織
- ④×400 微小ウスタイト・ヘーシナイト・ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体



NMH-2 イ-1

鍛造剥片

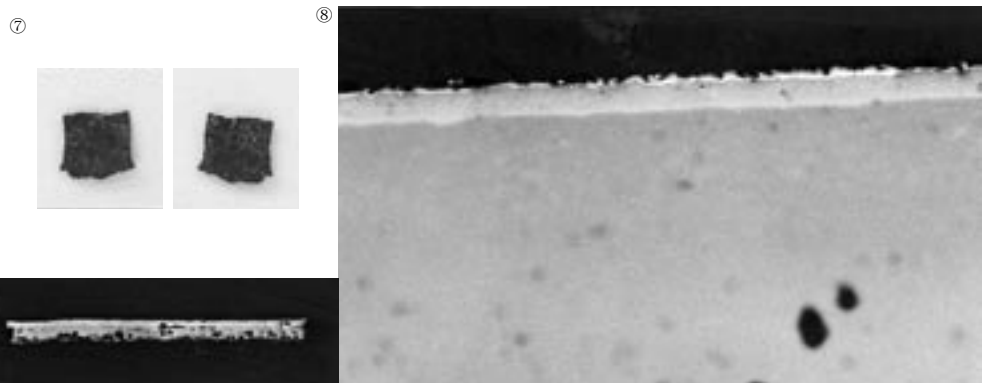
- ⑤⑥王水 etch
- ⑤×20 マクロ組織
- ⑥×400 3層分離 (外層ハマタイト・中間層マグネタイト・内層ウスタイト)
- 内層ウスタイト 非晶質



NMH-2 イ-2

鍛造剥片

- ⑦⑧王水 etch
- ⑦×20 マクロ組織
- ⑧×400 3層分離
- 内層ウスタイト 非晶質



NMH-2 ロ-1

鍛造剥片

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

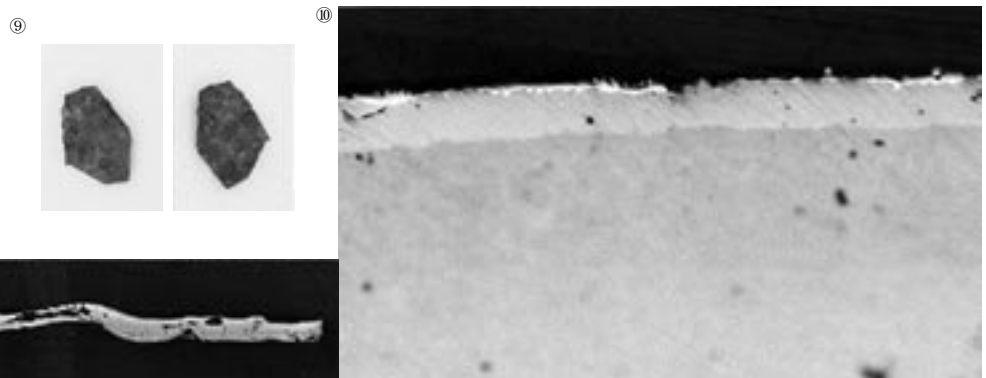


写真13 粒状滓・鍛造剥片の顕微鏡組織

NMH-2 ロ-2

鍛造剥片

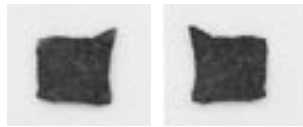
①②王水 etch

①×20 マクロ組織

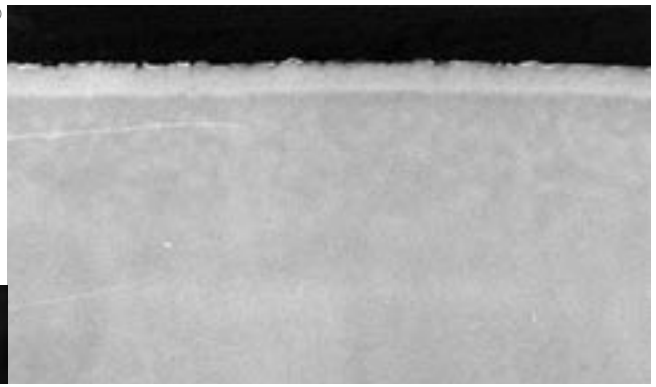
②×400 3層分離

内層ウスタイト 非晶質

①



②



NMH-3

含鉄鉄滓 (製錬系)

③×50 滓部：ウスタイト・ウル  
ボスピネルとヘーシナイトの固溶  
体・ファイヤライト

④~⑨金属鉄 ナイタル etch

④×100 ⑤×400 フェライト散在

⑥×100 フェライト单相

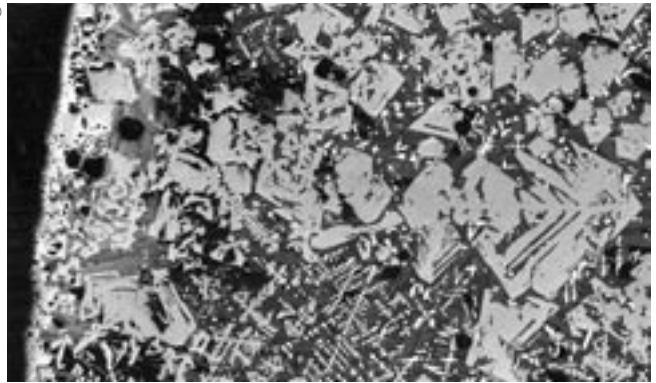
⑦×100 フェライト・少量  
パーライト

⑧⑨×200 硬度圧痕：

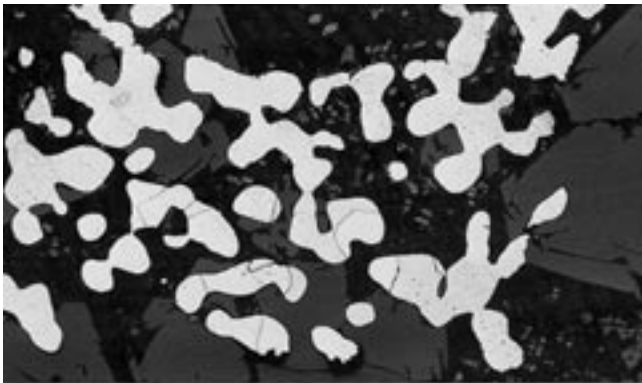
⑧776Hv、⑨68Hv



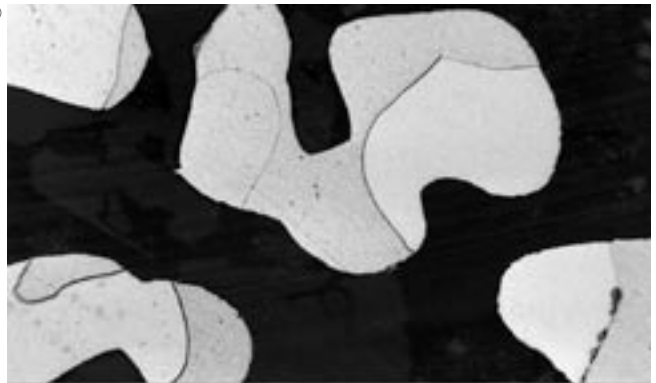
③



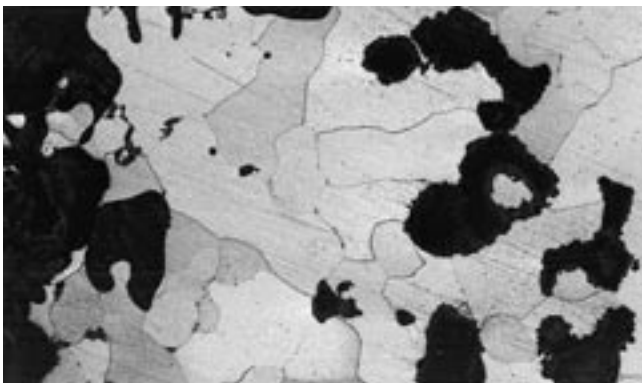
④



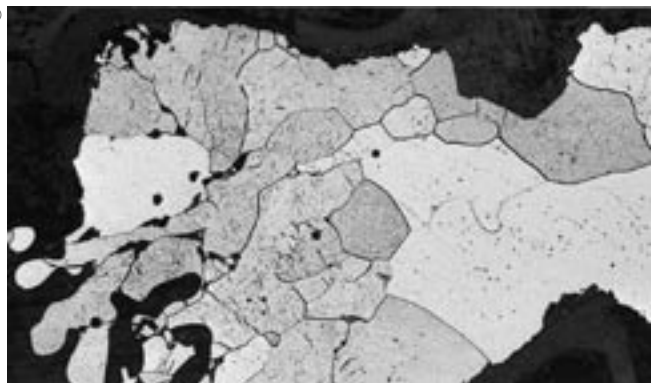
⑤



⑥



⑦



⑧



⑨

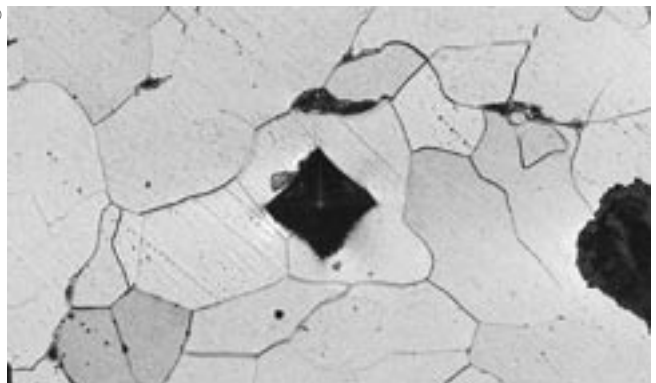


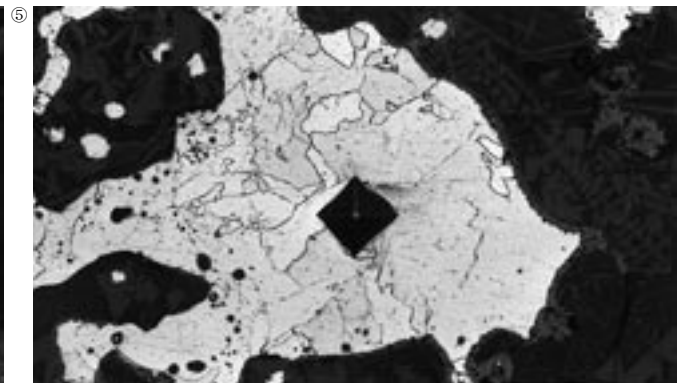
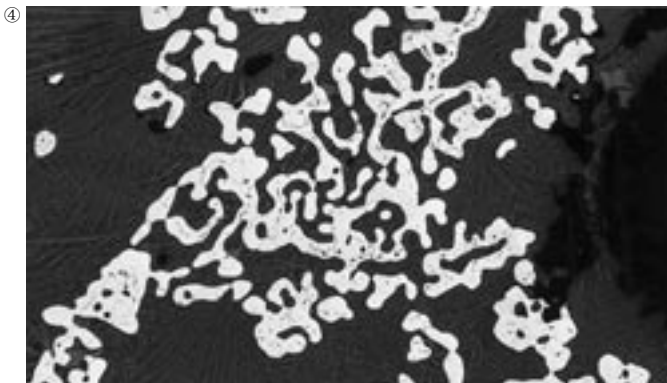
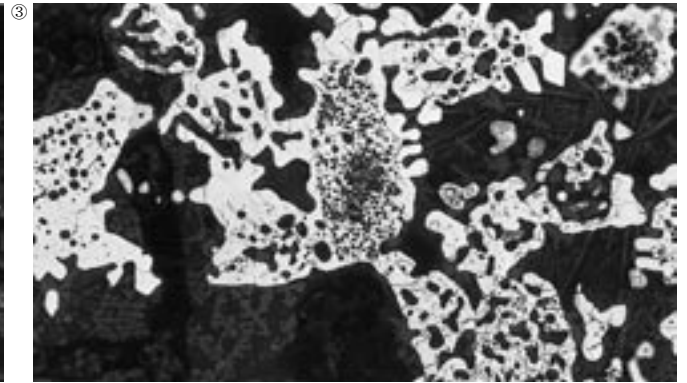
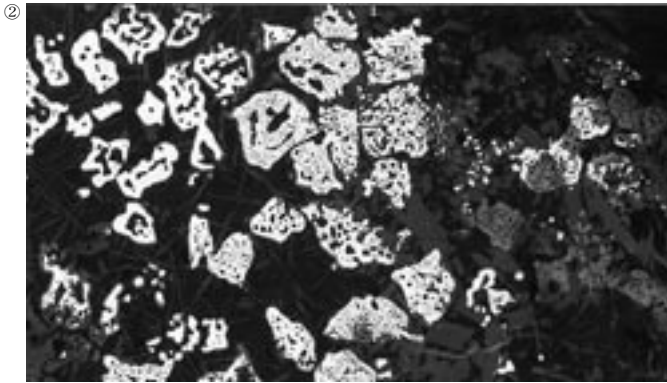
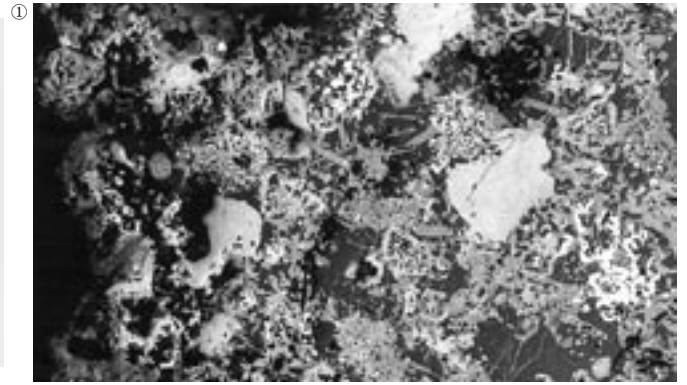
写真14 鍛造剥片・含鉄鉄滓の顕微鏡組織



NMH-4

含鉄鉄滓 (製錬系)

- ①×50 白色部：微小金属鉄
- 灰色部：銹化鉄、シュードブルーカー  
イトないシルチル晶出
- ②～⑤金属鉄 ナイタル etch
- ②×50 フェライト散在
- ③④×100 同上
- ⑤×200 硬度圧痕：126Hv



NMH-5

含鉄鉄滓 (製錬系)

- ⑥⑦金属鉄 ナイタル etch
- ⑥×100 中央白色部：微小金属鉄  
フェライト単相、滓部：ウルボスピ  
ネルとヘーシナイト及びスピネルの  
固溶体 ヘーシナイト・微小ファイ  
ヤライト
- ⑦⑧×200 硬度圧痕：
- ⑦96Hv、⑧879Hv

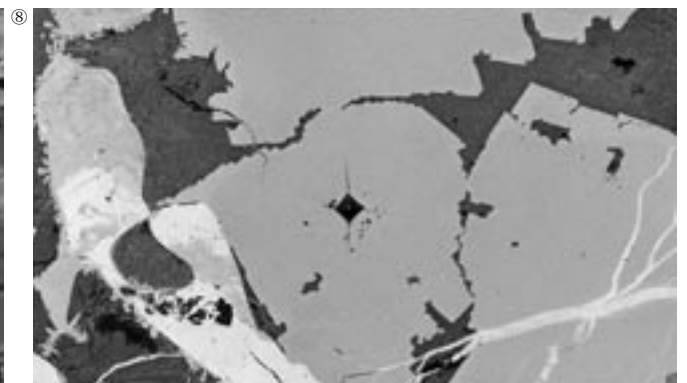
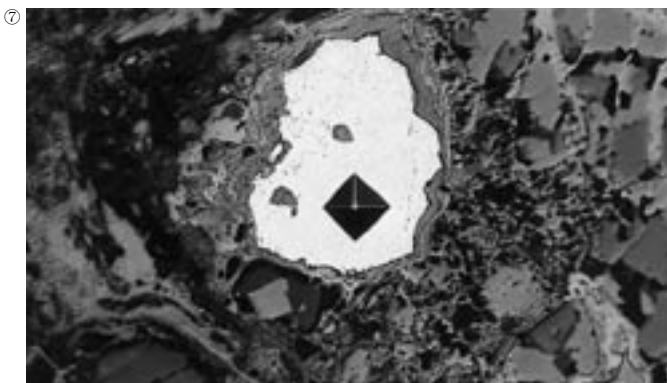
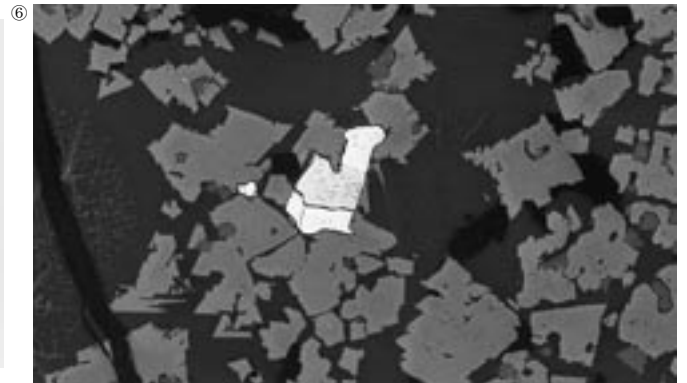
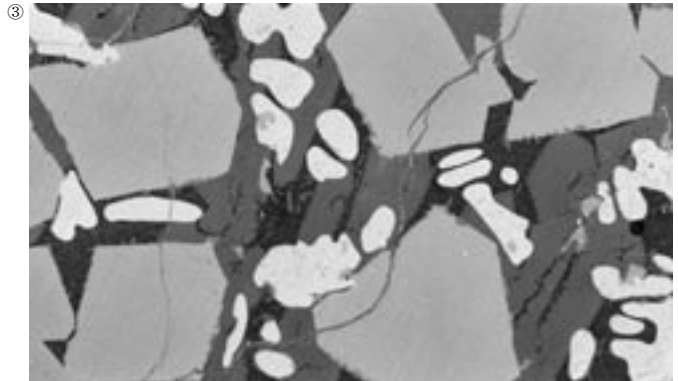
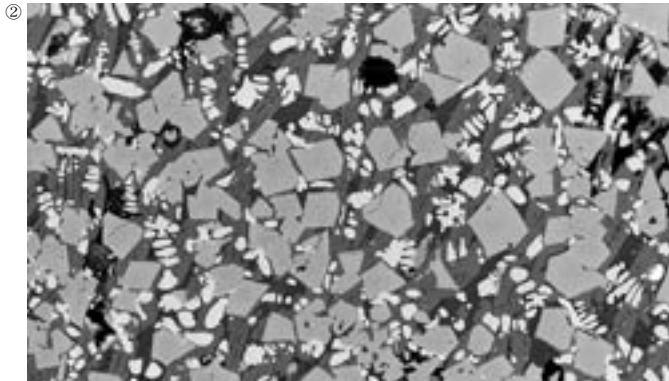
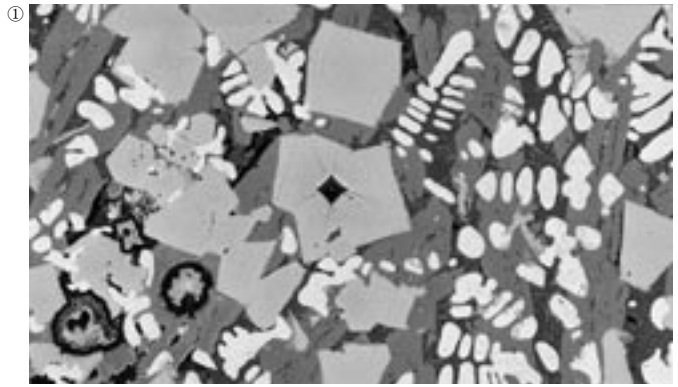
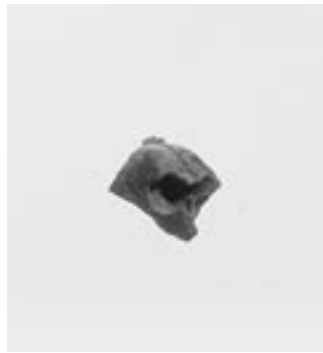


写真15 含鉄鉄滓の顕微鏡組織

NMH-6

流動滓

①×200 硬度圧痕：882Hv  
 ウルボスピネル・ヘーシナイト・  
 スピネルの固溶体  
 ②×100 ③×400 ウスタイト・  
 ウルボスピネルとヘーシナイト及び  
 スピネルの固溶体・ファイヤライト



NMH-7

含鉄鉄滓 (錆化)

④~⑥試料内面側  
 ④×200 硬度圧痕：834Hv  
 ウルボスピネル・ヘーシナイト・  
 スピネルの固溶体+ファイヤライト  
 ⑤⑥×100同上  
 ⑦×100 ⑧×400 試料表層部  
 左側：表層、ウスタイト凝集

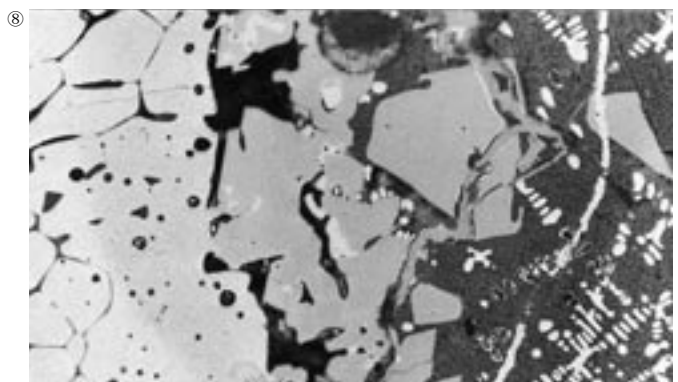
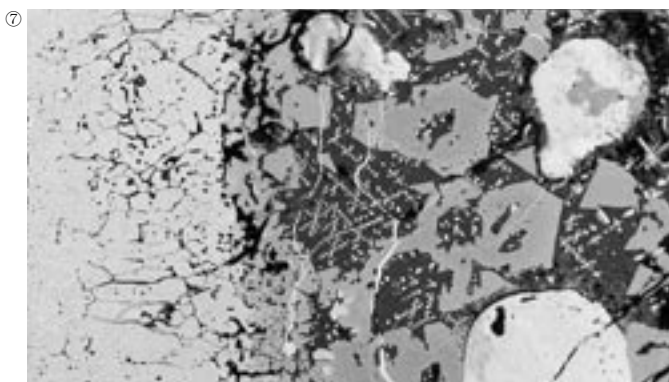
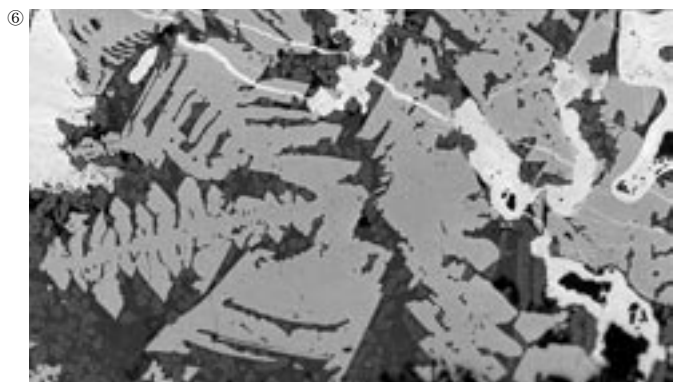
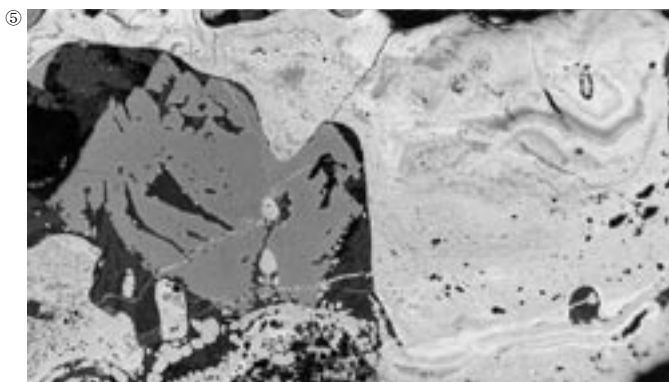
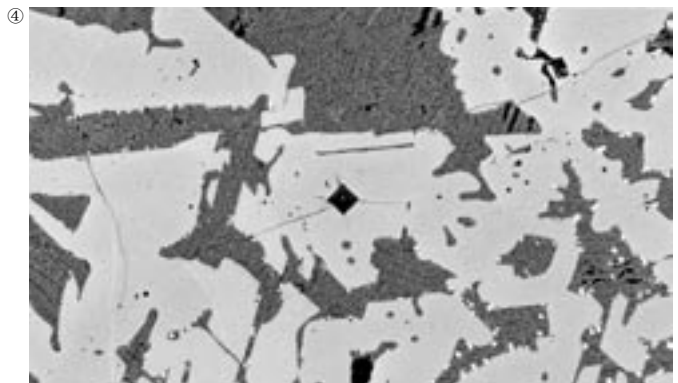


写真16 流動滓・含鉄鉄滓の顕微鏡組織

NMH-8

含鉄鉄滓 (製錬系)

①~③×25 木炭木口面：広葉樹材

④×200 滓部、

硬度圧痕：860Hv

ウルボスピネル・ヘーシナイト・スピネルの固溶体+ファイヤライト

⑤~⑨金属鉄 ナイタル etch

⑤⑥×100、⑦×200

フェライト単相 硬度：79Hv、

⑧×100 ⑨×200フェライト・

少量パーライト、硬度：103Hv

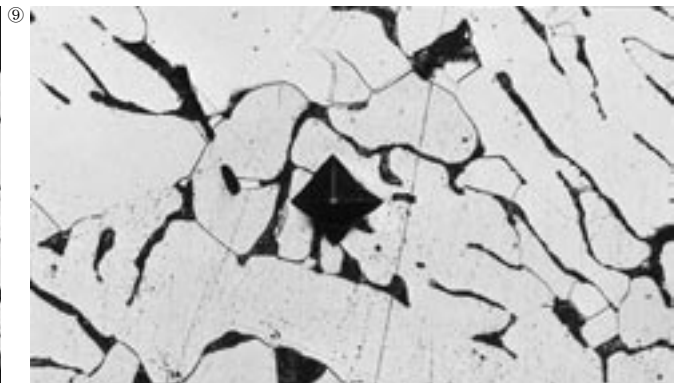
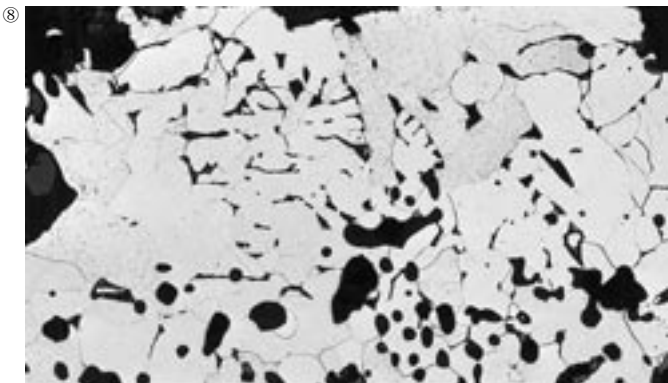
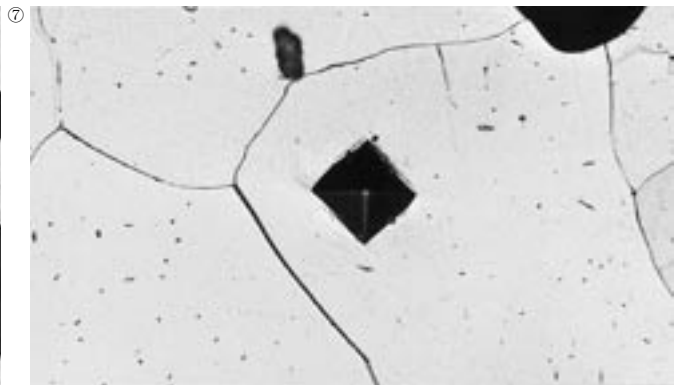
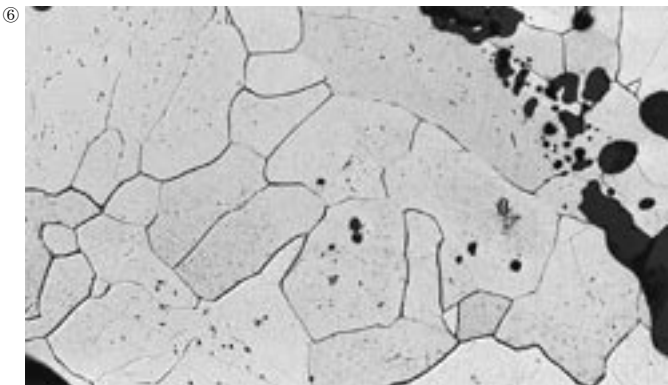
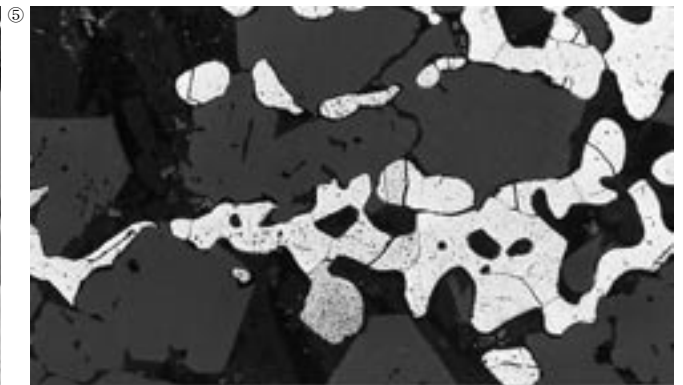
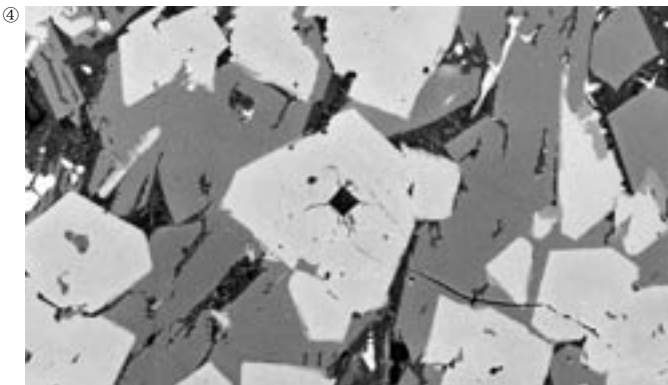
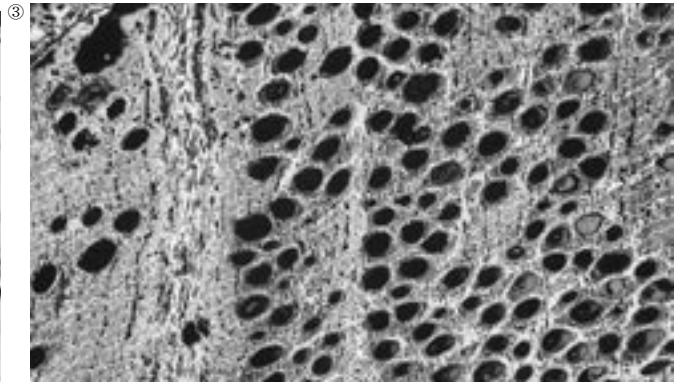
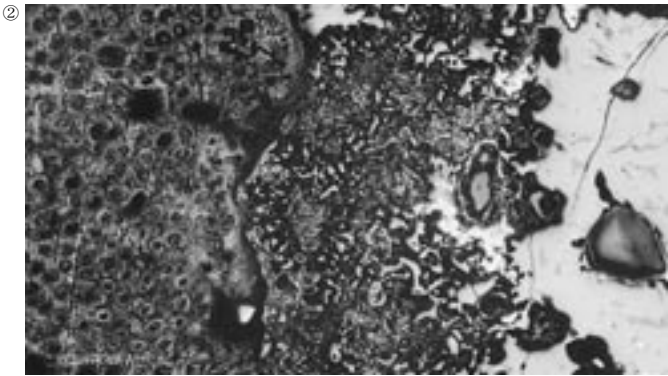
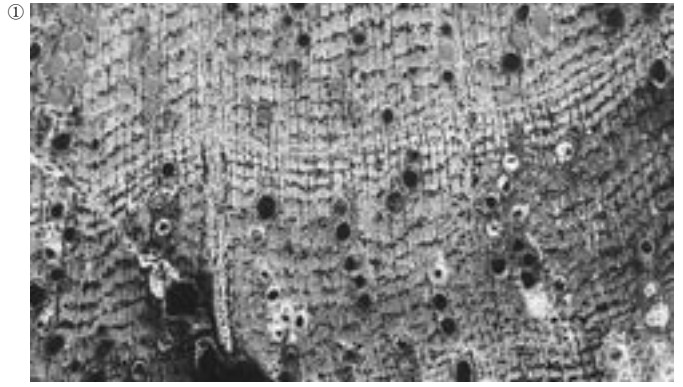
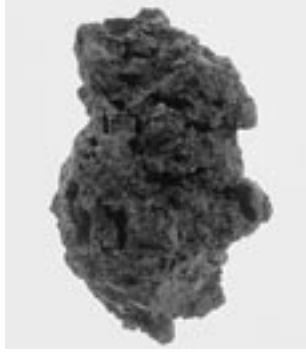


写真17 含鉄鉄滓の顕微鏡組織



NMH-9

椀形鍛冶滓

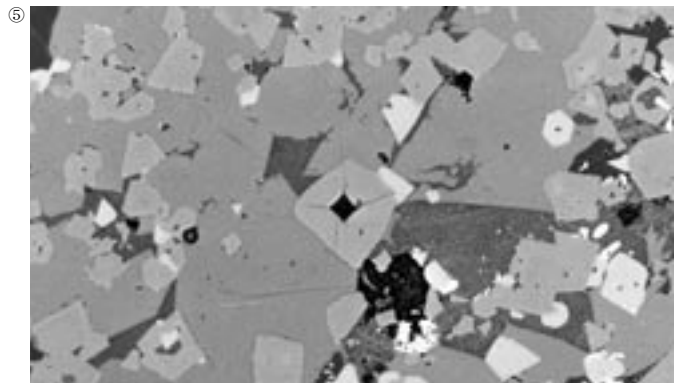
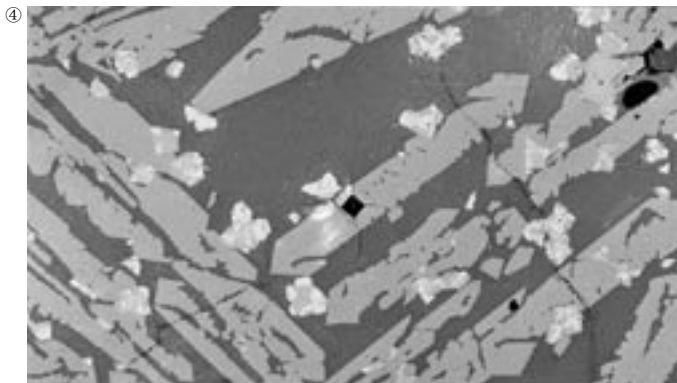
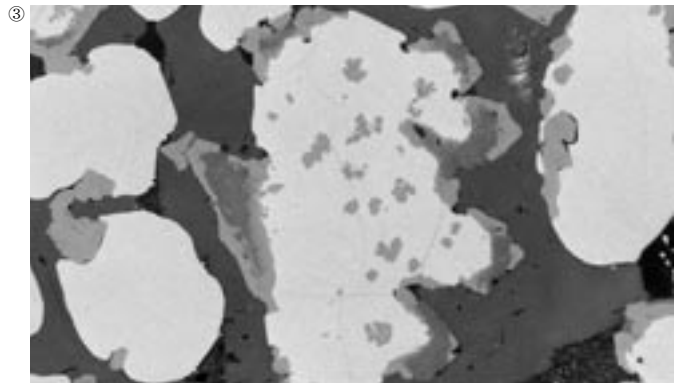
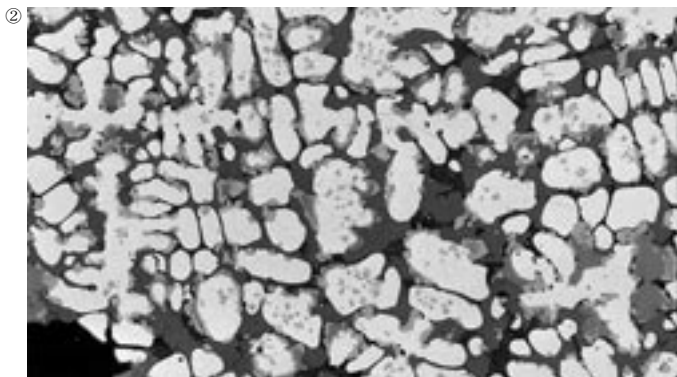
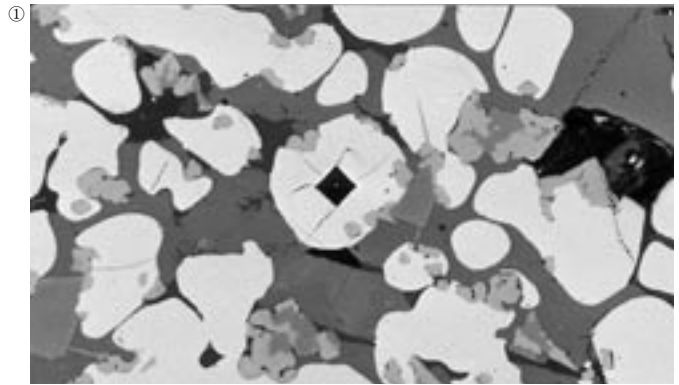
①~③試料下面

①×200 硬度圧痕：512Hv

②×100 ③×400 ウスタイト・ウルボスピネルとヘーシナイト及びスピネルの固溶体・ファイヤライト

④⑤×200 試料上面、ウルボスピネル・ヘーシナイト及びスピネルの固溶体・ファイヤライト、硬度：④725Hv、

⑤977Hv



NMH-10

椀形鍛冶滓 (含鉄)

⑥×200 滓部、

硬度圧痕：456Hv

ウスタイト+ファイヤライト

⑦⑧金属鉄 ナイタル etch

⑦×100 初析フェライト・

パーライト

⑧×100 針状セメントタイト・

パーライト

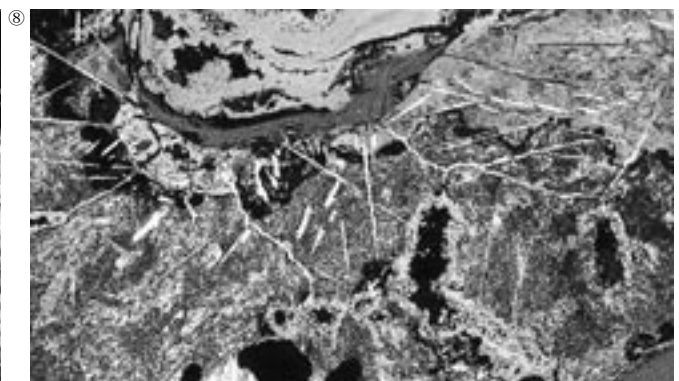
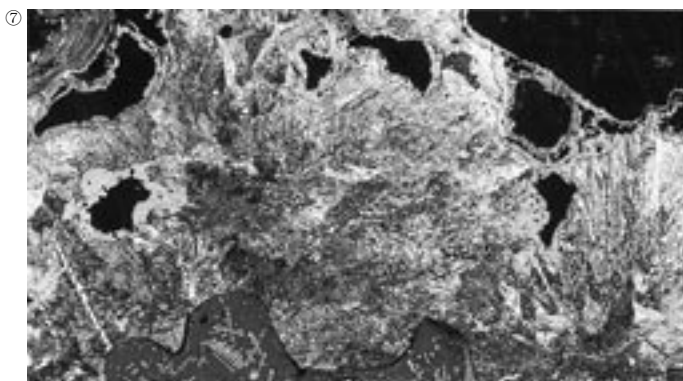
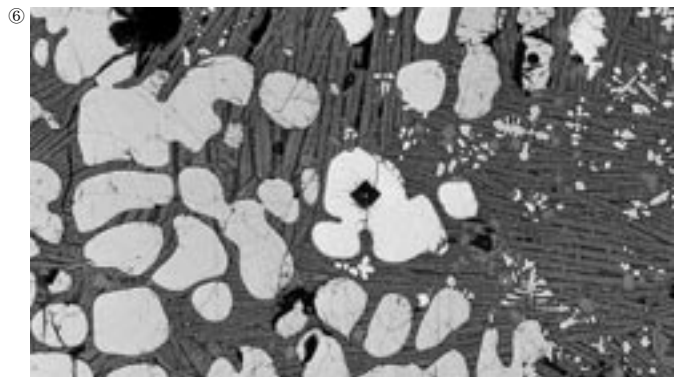


写真18 椀形鍛冶滓の顕微鏡組織

NMH-11

鉄塊系遺物（製錬系）

①×50 木炭片木口面：広葉樹材  
 ②×200 附着滓、硬度圧痕：821Hv  
 ウルボスピネル・ヘーシナイト・  
 スピネルの固溶体  
 ③～⑨金属鉄 ナイタル etch  
 ③×100 ④⑤×200  
 表層フェライト・パーライト～  
 不完全球状セメンタイト、  
 ④165Hv、⑤178Hv  
 ⑥×100 ⑦×200 同上、⑧188Hv  
 ⑧×100 ⑨×200 フェライト・  
 パーライト、⑨138Hv

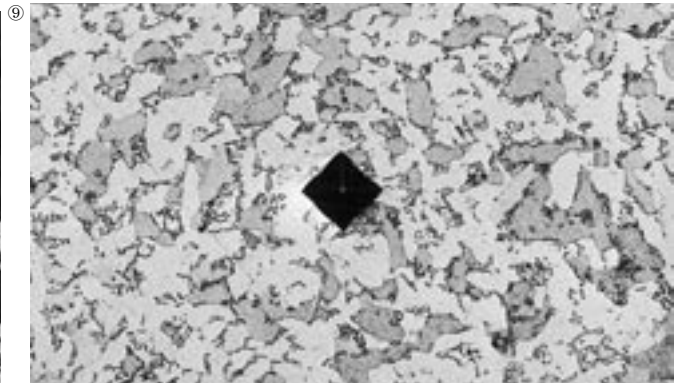
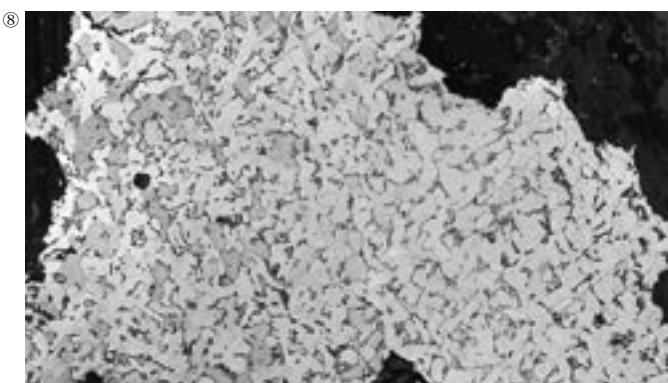
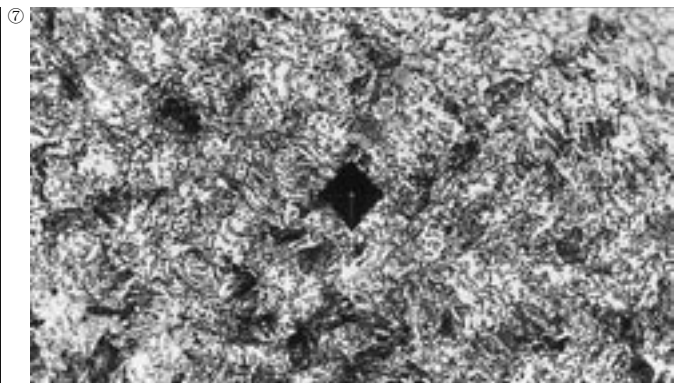
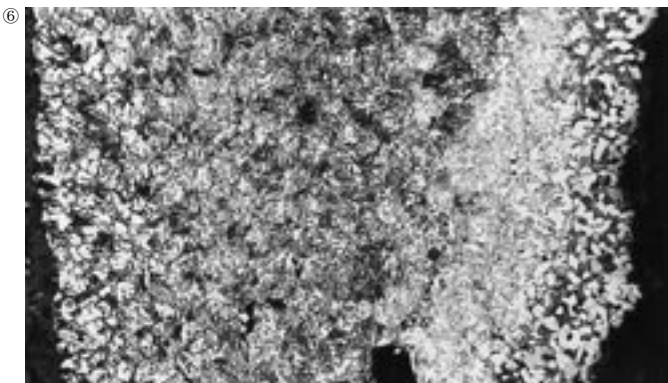
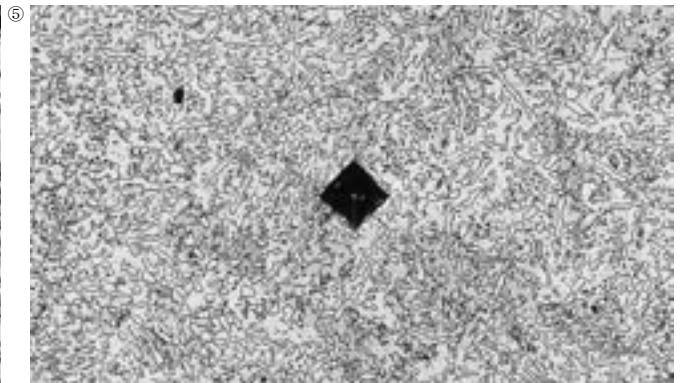
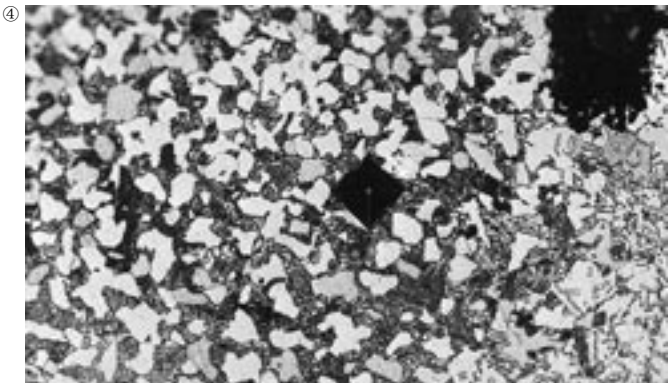
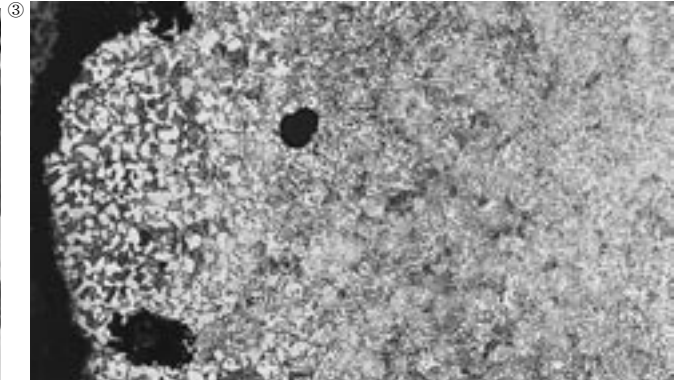
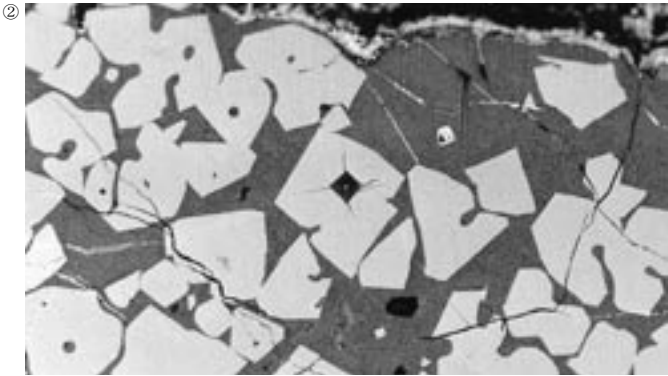
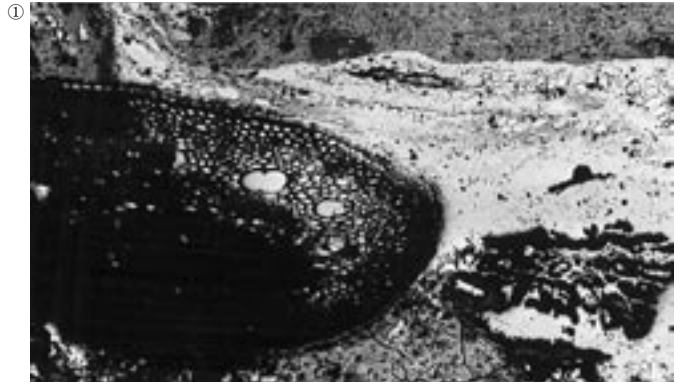
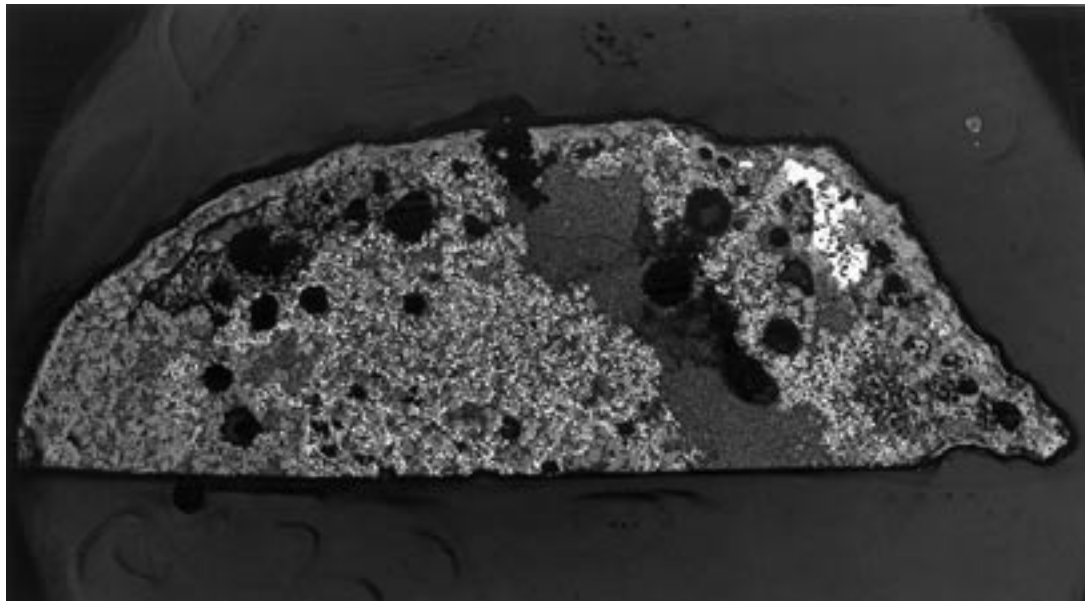
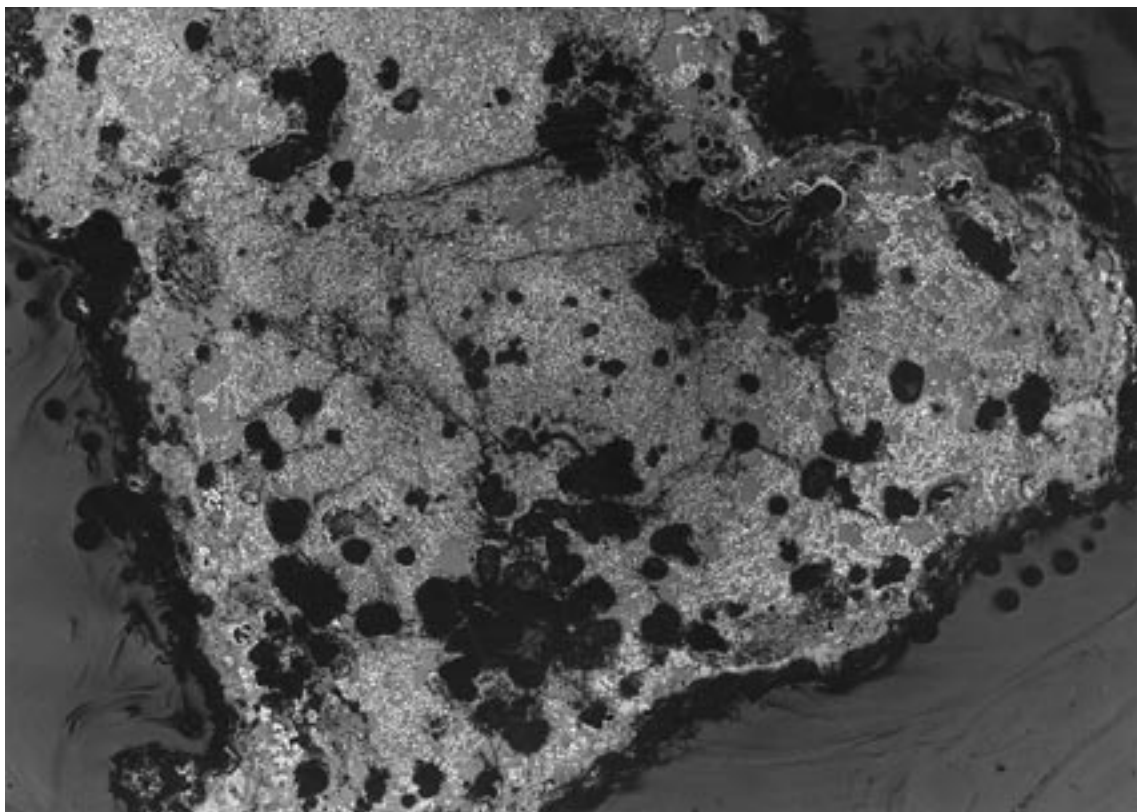


写真19 鉄塊系遺物の顕微鏡組織



※写真左側が試料上面側

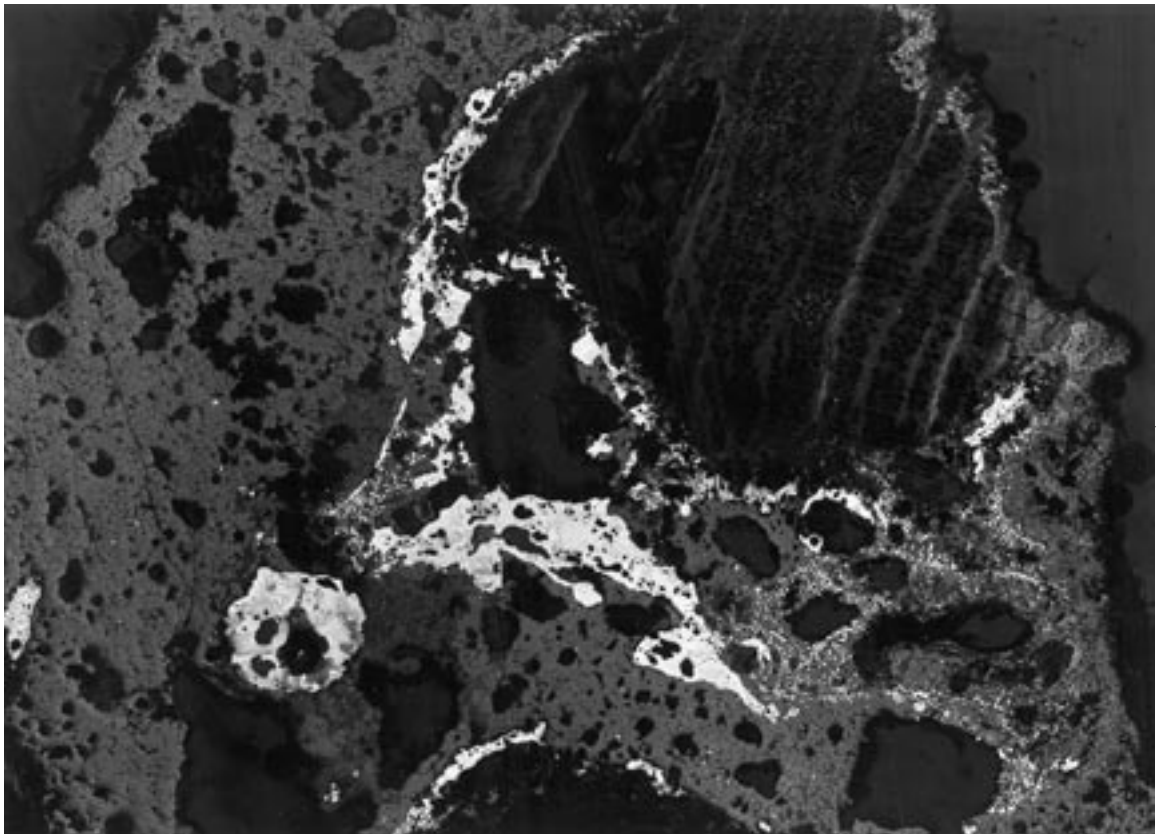
NMH-3 × 5



※写真左側が試料上面側

NMH-4 × 5

写真20 上段：含鉄鉄滓（製錬系）（NMH-3）のマクロ組織（×5）  
下段：含鉄鉄滓（製錬系）（NMH-4）のマクロ組織（×5）

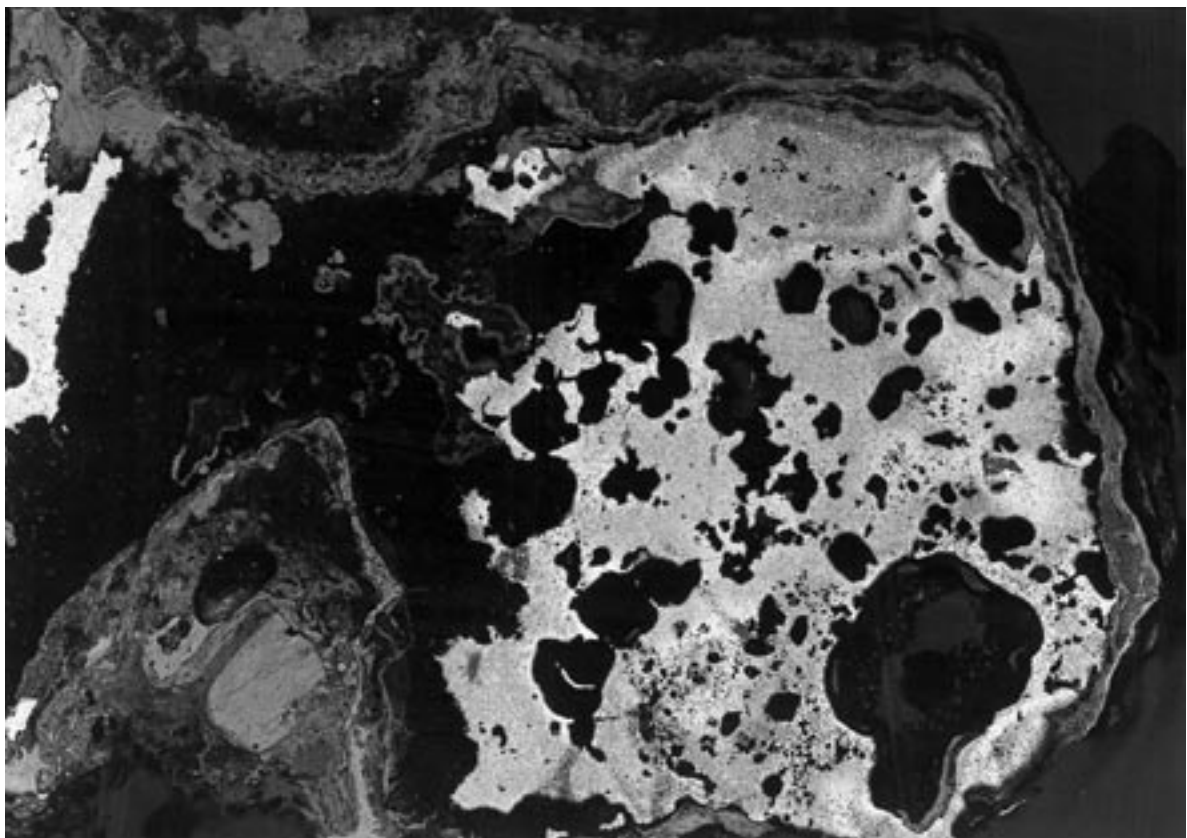


← 写真③  
撮影位置

※写真左側が試料上面側

↑  
写真②撮影位置

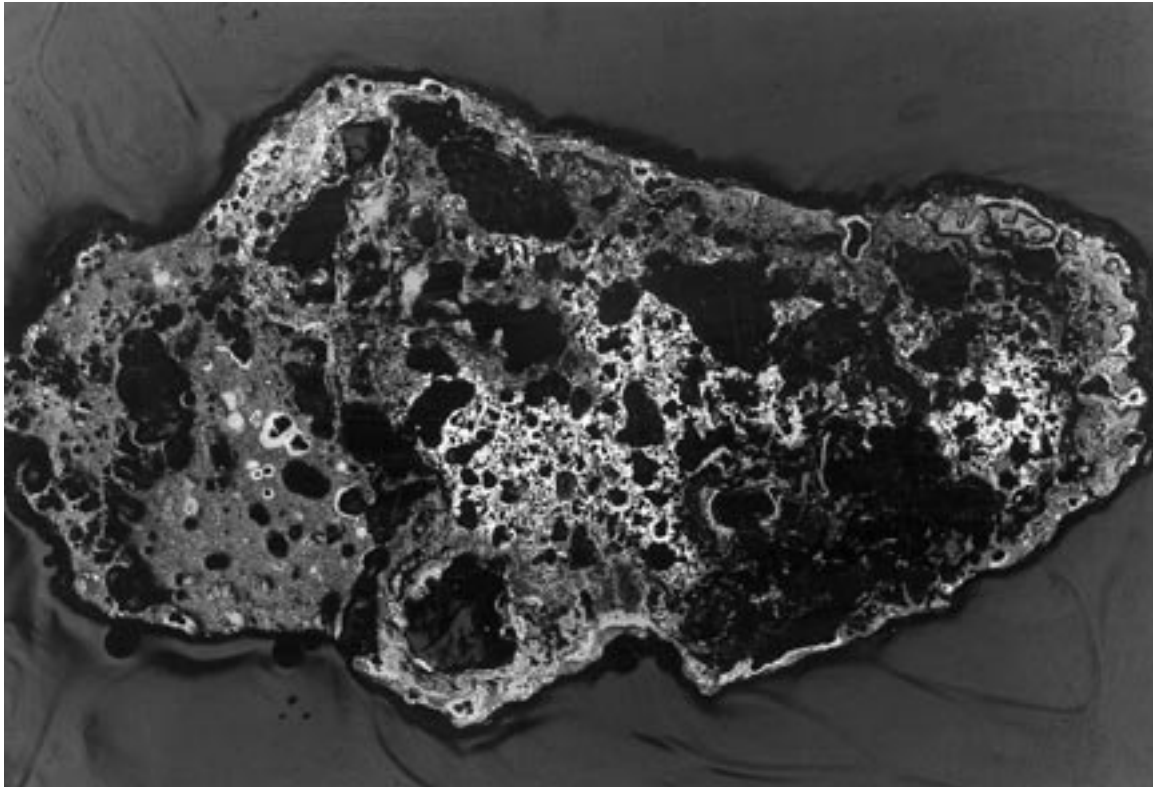
NMH-8 × 5



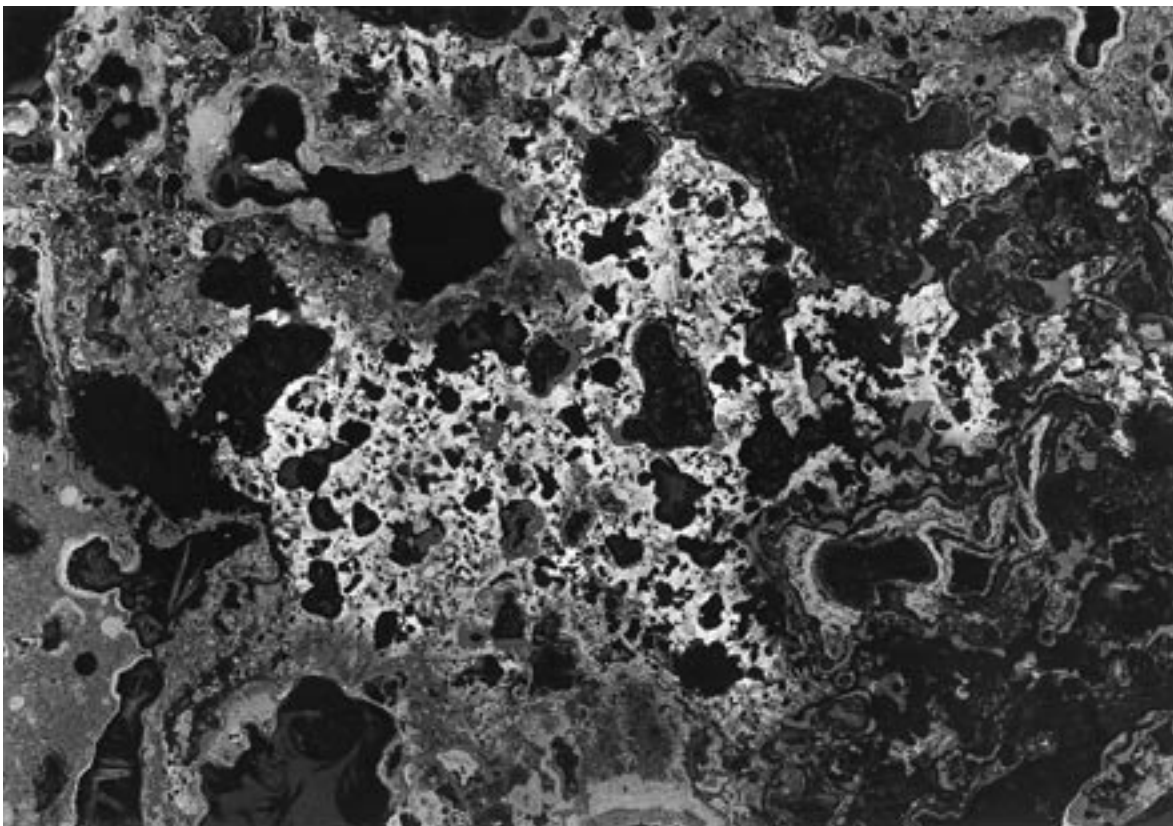
NMH-11 × 10

写真21 上段：含鉄鉄滓（製錬系）（NMH-8）のマクロ組織（×5）  
下段：鉄塊系遺物（製錬系）（NMH-11）のマクロ組織（×10）





NMH-10×5

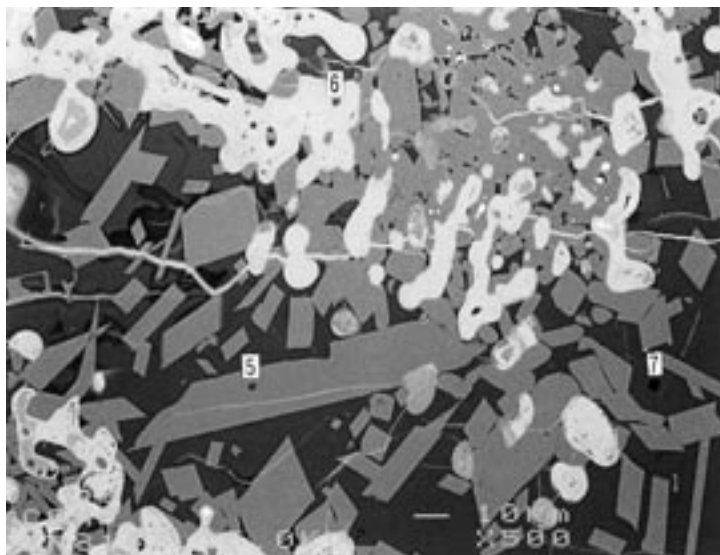


NMH-10×10

写真22 梔形鍛冶滓（含鉄）（NMH-10）のマクロ組織  
上段：（×5） 下段：（×10）

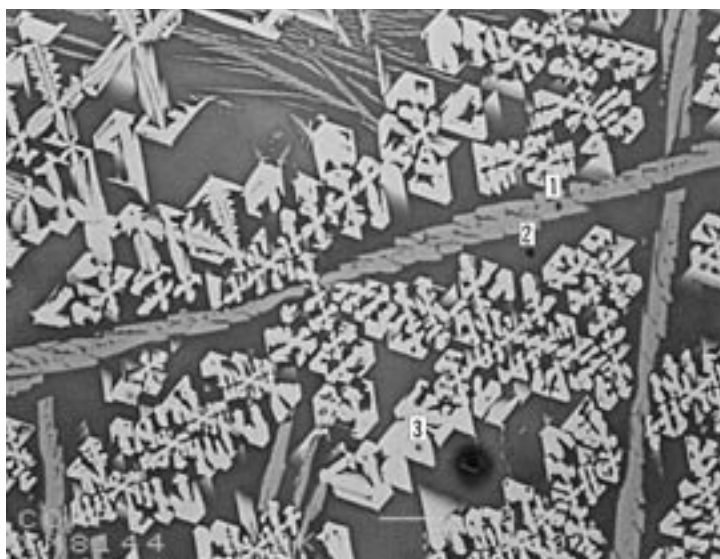


COMP  
×500



Element	5	6	7
MgO	8.532	0.084	9.836
Al2O3	5.233	0.030	16.922
SiO2	0.095	1.041	41.476
P2O5	—	0.379	0.025
S	0.005	0.020	0.030
K2O	0.010	0.028	2.169
CaO	0.053	0.016	3.237
TiO2	79.229	2.452	11.088
MnO	0.351	0.117	1.819
FeO	7.153	85.969	12.199
ZrO2	0.986	0.066	0.981
CuO	—	—	0.093
V2O3	2.164	0.149	0.055
As2O5	0.075	—	0.075
Total	103.885	90.346	99.998

COMP  
×1000



Element	1	2	3
MgO	7.268	7.674	7.939
Al2O3	4.415	12.713	6.014
SiO2	2.517	43.956	0.362
P2O5	—	0.267	—
S	0.002	0.103	—
K2O	0.086	1.447	0.026
CaO	0.300	4.503	0.058
TiO2	67.503	5.403	36.941
MnO	0.386	1.257	1.588
FeO	16.113	20.520	50.354
ZrO2	1.856	1.699	0.158
CuO	0.010	0.039	—
V2O3	0.998	—	0.536
As2O5	0.091	0.044	0.064
Total	101.545	99.599	104.040

写真23 EPMA調査結果  
反射電子像 (COMP) 及び定量分析値 (NMH-4 : 含鉄鉄滓)

## 第2節 炭化材樹種同定

株式会社古環境研究所

### 1. はじめに

木材は、セルロースを骨格とする木部細胞の集合体であり、解剖学的形質から、概ね属レベルの同定が可能である。木材は、花粉などの微化石と比較して移動性が少ないことから、比較的近隣の森林植生の推定が可能であり、遺跡から出土したものについては、木材の利用状況や流通を探る手がかりとなる。

### 2. 試料

試料は、中道東山西山遺跡において検出された製炭土坑SK3、SK6、SK22、SK31、SK33、SK40、SK43より出土した炭化材10点である。

### 3. 方法

試料を割折して、炭化材の新鮮な横断面（木口と同義）、放射断面（柁目と同義）、接線断面（板目と同義）の基本三断面の切片を作製し、落射顕微鏡によって50～1000倍で観察した。同定は、解剖学的形質および現生標本との対比によって行った。

### 4. 結果

同定結果を表76に、主要な分類群の顕微鏡写真を示す。以下に同定の根拠となった特徴を記す。

クリ *Castanea crenata* Sieb. et Zucc. ブナ科 写真24-1

横断面：年輪のはじめに大型の道管が、数列配列する環孔材である。晩材部では小道管が、火炎状に配列する。早材から晩材にかけて、道管の径は急激に減少する。

放射断面：道管の穿孔は単穿孔である。放射組織は平伏細胞からなる。

接線断面：放射組織は単列の同性放射組織型である。

以上の形質よりクリに同定される。クリは北海道の西南部、本州、四国、九州に分布する。落葉の高木で、通常高さ20m、径40cmぐらいであるが、大きいものは高さ30m、径2mに達する。耐朽性強く、水湿によく耐え、保存性の極めて高い材で、現在では建築、家具、器具、土木、船舶、彫刻、薪炭、椎茸ほだ木など広く用いられる。

シイ属 *Castanopsis* ブナ科 写真24-2・3

横断面：年輪のはじめに中型から大型の道管がやや疎に数列配列する環孔材である。晩材部で小道管が火炎状に配列する。

放射断面：道管の穿孔は単穿孔で、放射組織は平伏細胞からなる。

接線断面：放射組織は単列の同性放射組織型のものが存在する。

以上の形質よりシイ属に同定される。シイ属は本州（福島県、新潟県佐渡以南）、四国、九州に分

表76 中道東山西山遺跡における樹種同定結果

遺構	試料	結果 (学名/和名)	
S K 3	サンプルNo.1	<i>Castanopsis</i>	シイ属
	サンプルNo.2	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i>	クリ
	サンプルNo.3	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i>	クリ
	サンプルNo.4	<i>Castanopsis</i>	シイ属
S K 6	サンプルNo.1	<i>Castanopsis</i>	シイ属
S K 22	サンプルNo.1	<i>Castanopsis</i>	シイ属
S K 31	サンプルNo.1	Fagaceae	ブナ科
S K 33	サンプルNo.1	<i>Castanopsis</i>	シイ属
S K 40	サンプルNo.1	<i>Castanopsis</i>	シイ属
S K 43	サンプルNo.1	Fagaceae	ブナ科

布する。常緑高木で、高さ20m、径1.5mに達する。材は耐朽、保存性やや低く、建築、器具、薪炭などに用いられる。

なおシイ属には、スタジイとツブラジイがあり、集合放射組織の有無などで同定できるが、本試料は小片の為、広範囲の観察が困難であったので、シイ属の同定にとどまる。

#### ブナ科 Fagaceae

横断面：部分的ではあるが大型の道管と、火炎状に配列する小道管が見られた。

放射断面：放射組織は平伏細胞からなる。

接線断面：放射組織は単列の同性放射組織型である。

以上の形質よりブナ科の、クリ、シイ属、コナラ属コナラ節のいずれかである。なお本試料は保存状態が悪い為、広範囲の観察が困難であったので、ブナ科の同定にとどまる。

## 5. 所見

同定の結果、中道東山西山遺跡の炭化材は、クリ2点、シイ属6点、ブナ科2点であった。クリは、温帯に広く分布する落葉広葉樹であり、二次林的要素でもある。シイ属は、温帯から温帯下部の暖温帯に分布する常緑広葉樹であり、照葉樹林の主要構成要素である。また二次林要素でもある。ブナ科も、温帯域に分布する。いずれも温帯ないし温帯下部の暖温帯に分布する樹種ばかりであり、遺跡周辺からもたらすことができる樹種であったと考えられる。

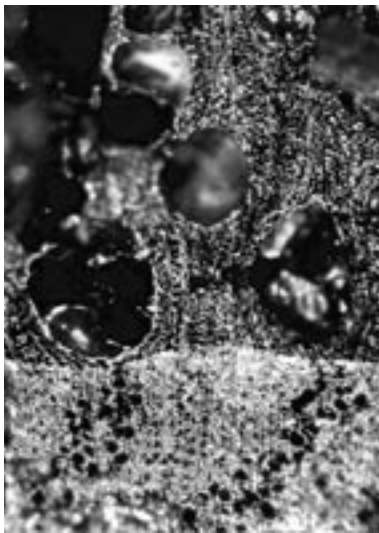
#### 【参考文献】

佐伯浩・原田浩（1985）針葉樹材の細胞。木材の構造，文永堂出版，p.20-48.

佐伯浩・原田浩（1985）広葉樹材の細胞。木材の構造，文永堂出版，p.49-100.

島地謙・伊東隆夫（1988）日本の遺跡出土木製品総覧，雄山閣，p.296

山田昌久（1993）日本列島における木質遺物出土遺跡文献集成，植生史研究特別第1号，植生史研究会，p.242



横断面 ————— : 0.4mm

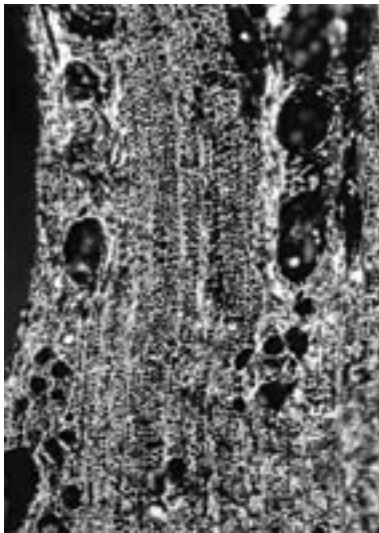
1. S K 3 サンプルNo.2 クリ



放射断面 ————— : 0.4mm



接線断面 ————— : 0.2mm



横断面 ————— : 0.4mm

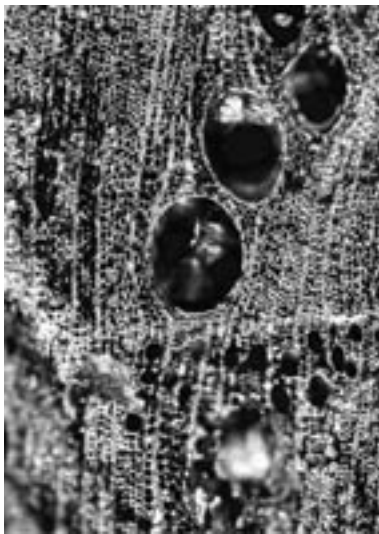
2. S K 3 サンプルNo.1 シイ属



放射断面 ————— : 0.4mm



接線断面 ————— : 0.2mm



横断面 ————— : 0.4mm

3. S K 3 サンプルNo.4 シイ属



放射断面 ————— : 0.4mm



接線断面 ————— : 0.2mm

写真24 中道東山西山遺跡の炭化材

## 第3節 中道東山西山遺跡における焼土の分析

パリノ・サーヴェイ株式会社

### はじめに

琴浦町に所在する中道東山西山遺跡は、大山北麓の標高約60～70mの丘陵上に位置する。発掘調査では、弥生時代後期後葉～終末期とされる竪穴住居跡や平安時代の掘立柱建物跡および鉄生産関連遺構などが検出されている。

本報告では、それら検出された遺構の中でも、製炭土坑および平安時代の鉄生産関連遺構を対象とし、土坑壁面や底面に認められる赤色化した部分の土に含まれる鉱物の状態から、壁面や底面が受けた熱の温度について検討する。この被熱温度の検討により、遺構の性格を考えるための資料の作成を目的とするものである。

### 1. 試料

今回の分析の対象とされた遺構は、SK3、SK6、SK40、SK63、SB7の5基である。SK3からSK63までの4基は、底面に炭層の検出された製炭土坑であると考えられており、SB7は鉄滓などが出土した平安時代の鉄生産関連遺構と考えられている。

試料は、各遺構において、赤化した焼土とされる部分と赤化していない地山とされる部分よりそれぞれ1点ずつ計2点採取されており、5遺構で合計10点である。試料が採取された位置は、SK3では焼土が壁面から、地山は底面であるが、他の3基の製炭土坑では、焼土・地山ともに土坑壁面から採取されている。SB7では、炭混じりの焼土面が検出されており、その焼土の部分とそれに接する地山の部分とからそれぞれ採取された。

なお、地山試料は褐色を呈する火山灰土であり、焼土試料は赤褐色を呈するほかは地山試料と同質の土壌である。

### 2. 分析方法

ある特定の鉱物が、熱を受けることにより、外形が変化し、さらには消失あるいは生成することはよく知られていることであるが、今回の分析では、焼土中に含まれる鉱物を明らかにして、焼土と地山との間に、それらの変化が認められるか否かという視点から分析を行う。ここでは、その方法として、薄片作製による偏光顕微鏡観察とX線回折分析を実施した。以下に各方法の処理手順を述べる。

#### (1) 薄片作製観察

土壌試料は、樹脂を含浸させて固化した試料をダイヤモンドカッターで切断、正確に0.03mmの厚さに研磨して作製した。薄片は岩石学的な手法を用いて観察し、土壌中に含まれる碎屑物の種類構成を明らかにし、また基質の構造などの特徴を把握する。

#### (2) X線回折分析

105℃で4時間乾燥させた試料をメノウ乳鉢で微粉碎し、X線回折用アルミニウムホルダーに充填し、X線回折分析試料（無定方位試料）を作成する。作成したX線回折測定試料について以下の条件

で測定を実施する。

検出された物質の同定解析は、Materials Data, Inc. の X線回折パターン処理プログラム J A D E を用い、該当する化合物または鉱物を検索する。

装置：理学電気製 MultiFlex Divergency Slit：1°

Target：Cu (K α)

Scattering Slit：1°

Monochrometer：Graphite 湾曲

Receiving Slit：0.3mm

Voltage：40KV

Scanning Speed：2° / min

Current：40Ma

Scanning Mode：連続法

Detector：SC

Sampling Range：0.02°

Calculation Mode：cps

Scanning Range：2～45°

### 3. 結果

#### (1) 薄片作製観察

各試料の観察結果を一覧にして、表77に示す。以下に、遺構ごとに結果を記載する。

S K 3 試料：砂粒の種類構成は、焼土試料も地山試料もほぼ同様である。砂粒の全体量は少量、鉱物片では、角閃石が少量認められ、他に微量の石英、斜長石（地山試料では少量）、酸化角閃石、黒雲母、不透明鉱物が含まれる。なお、地山試料では斜方輝石、単斜輝石、緑廉石も微量含まれる。岩石片では、流紋岩と火山ガラスが微量含まれ、他に焼土試料では花崗岩と多結晶石英も微量含まれる。さらにいずれの試料にも木片が微量認められる。

素地についても、焼土試料と地山試料とで差異はほとんど認められない。焼土試料には粘土の非晶質化は認められず、また、いずれの試料にも水酸化鉄は微量認められるが、赤鉄鉱化は認められない。

S K 6 試料：砂粒の種類構成は、焼土試料も地山試料もほぼ同様である。砂粒の全体量は焼土試料では少量、地山試料では中量である。鉱物片では、斜長石が焼土試料で少量、地山試料で中量認められ、角閃石が少量認められる。他に微量の石英、酸化角閃石、黒雲母、不透明鉱物が含まれる。なお、焼土試料では斜方輝石と緑廉石も微量含まれる。岩石片では、流紋岩と火山ガラスが微量含まれ、他に地山試料では溶結凝灰岩が少量含まれる。さらにいずれの試料にも木片が微量認められる。

素地についても、焼土試料と地山試料とで差異はほとんど認められない。焼土試料には粘土の非晶質化は認められず、また、いずれの試料にも水酸化鉄は微量認められるが、赤鉄鉱化は認められない。

S K 40 試料：砂粒の種類構成は、焼土試料も地山試料もほぼ同様である。砂粒の全体量はいずれの試料も少量である。鉱物片では、斜長石が少量認められ、角閃石が焼土試料で少量、地山試料で微量認められる。他に微量の石英、斜方輝石、黒雲母、不透明鉱物が含まれる。なお、焼土試料では緑廉石、地山試料では単斜輝石と酸化角閃石も微量含まれる。岩石片では、溶結凝灰岩、流紋岩および火山ガラスが微量含まれる。

素地についても、焼土試料と地山試料とで差異はほとんど認められない。ただし、水酸化鉄の量比が焼土試料の方に若干多い傾向が認められ、またその赤鉄鉱化も認められた。なお焼土試料における粘土の非晶質化は認められない。

S K 63：砂粒の種類構成は、焼土試料も地山試料もほぼ同様である。砂粒の全体量は中量、鉱物片では、斜長石と角閃石が少量認められ、他に微量の石英、斜方輝石、単斜輝石、酸化角閃石、黒雲

母、不透明鉱物が含まれる。なお、焼土試料では緑廉石も微量含まれる。岩石片では、溶結凝灰岩と流紋岩および火山ガラスが微量（焼土試料では溶結凝灰岩は少量）含まれ、さらにいずれの試料にも木片が微量認められる。

素地についても、焼土試料と地山試料とで差異はほとんど認められない。焼土試料には粘土の非晶質化は認められず、また、いずれの試料にも水酸化鉄は微量認められるが、赤鉄鉱化は認められない。

S B 7 試料：砂粒の種類構成は、焼土試料も地山試料もほぼ同様である。砂粒の全体量は少量、鉱物片では、斜長石と角閃石が少量（地山試料では角閃石は微量）認められ、他に微量の石英、酸化角閃石、黒雲母、不透明鉱物が含まれる。なお、地山試料ではジルコンも微量含まれる。岩石片では、溶結凝灰岩と流紋岩および火山ガラスが微量含まれ、さらにいずれの試料にも木片が微量認められる。

素地についても、焼土試料と地山試料とで差異はほとんど認められない。焼土試料には粘土の非晶質化は認められず、また、いずれの試料にも水酸化鉄は微量認められるが、赤鉄鉱化は認められない。

## (2) X線回折分析

焼土および地山試料のX線回折図を遺構別に図203～207に示す。全10点の試料からは、いずれも同様の鉱物が検出された。検出された鉱物は、石英 (Quartz)、曹長石 (albite)、クリストバライト (Cristobalite)、角閃石 (Hornblende)、イライト (Illite)、モンモリロナイト (Montmorillonite)、ハロイサイト (Halloysite)、赤鉄鉱 (hematite) の各鉱物である。なお、S K 3 ①、S K 3 ②、S K 6 ②、S B 7 ①、S B 7 ②についてはギブサイト (Gibbsite) の存在も確認されている。

## 4. 考察

薄片観察では、どの遺構においても、焼土試料と地山試料との間に、砂粒の種類構成の大きな違いは認められなかった。これは、焼土とされた土壌は、地山となっている土壌と本質的な違いはないことを示す。すなわち、焼土とされた部分は、その場で何らかの外的影響（今回の場合は被熱が想定されている）のために色調が変化したものである。また、各試料に認められた砂粒は、鉱物片と岩石片ともに、その種類構成と遺跡の地理的位置から、ほとんどが大山火山の噴出物と大山火山の周辺に広く分布する古第三紀に貫入した深成岩類に由来するものであろう。これらのことは、昨年度に報告した別所中峯遺跡における同様の焼土分析の中でも述べたことである。

次に、被熱温度について検討してみる。薄片観察により捉えることのできる鉱物の高温変化としては、800℃付近における普通角閃石から酸化角閃石への変化、900℃付近の粘土鉱物（セリサイト）の非晶質化、1000℃以上での石英のクラックや長石類の熔融、ムライトの生成などがあげられる。今回の試料では、上記900℃付近以上で生じる鉱物の変化は全く認められない。また、全ての焼土試料に酸化角閃石が認められたものの、全ての地山試料にも同様に含まれており、かつ、焼土試料には普通角閃石と酸化角閃石との中間的な性質を示す酸化角閃石も認められなかった。したがって、焼土試料の酸化角閃石は、高温により生成したものではなく、もともとの土壌中に含まれていた鉱物であると考えられる。以上のことから、焼土とされた試料は、800℃よりも低い被熱温度であったと考えられる。

一方、数百℃程度の被熱については、赤鉄鉱の存在が指標となる。水酸化鉄（針鉄鉱）は被熱を受けた場合、マグヘマイトを経て、赤鉄鉱へと変化し、その変化する温度は、270～325℃とされている。

る（吉木，1959）。すなわち、水酸化鉄の赤鉄鉱化が確認されればこれ以上の被熱があったと考えてもよい。薄片観察では、SK40の焼土にのみ赤鉄鉱が認められたが、X線回折では微量ではあるが全ての焼土試料に認めることができた。ただし、SK3とSB7の焼土試料ではギブサイトも検出されている。ギブサイトは、250℃以上の温度域ではベーマイトーダイアスポア鉱物へと変化することが知られていることから、これらの試料では250℃以上の被熱はなかったと言える。さらに、赤鉄鉱は全ての地山試料からも検出されている。したがって、今回の焼土試料中の赤鉄鉱被熱により生成したものではないと考えられる。しかし、薄片観察により比較的明瞭に認められたSK40焼土試料の赤鉄鉱については、被熱を示唆する可能性がある。

なお、前回の別所中峯遺跡の報告でも述べた東村（1990）のX線回折分析による粘土鉱物の高温変化の検出においては、今回の試料では焼土試料全点にハロイサイトが認められたことが指標となる。すなわち、ハロイサイトは550℃付近で消失することから、今回の焼土試料が受けた熱は、550℃よりも低い温度の熱であったと考えられる。なお、焼土試料からは、クリストバライトも検出されているが、これは地山試料にも含まれているため、高温被熱により生成したものではない。

以上の結果をまとめると、SK40焼土は300～500℃程度、それ以外の遺構の焼土については、熱を受けていたとしても250℃以下の低い被熱状況が推定される。前回の別所中峯遺跡における焼土の被熱温度推定においても、全ての試料が250℃以下の低い温度が推定された。現時点では、まだ2例にすぎないが、いずれもほぼ同様の結果となった。これらの結果は、焼土として認識される土壤の赤化は、比較的低い温度の熱でも生じる可能性のあることを示唆している。実際に、土壤中の磁性鉱物の磁性変化を確認した森永（1998）のたき火実験では、水底堆積物のシルト土壤におけるたき火の地下4～5cmの部分で190℃の温度を測定している。この例などは、発掘により検出された焼土が、熱源に直接さらされた表面部分ではなく、表面から数cm内部の土であったというような状況を考えさせる。今後もさらに事例を蓄積し、「焼土」が示唆することを探っていきたい。

#### 【引用文献】

東村武信，1990，改訂 考古学と物理化学．学生社，171－184．

森永速男，1998，第4章 磁性解析．文化財探査の手法とその実際，足立和成・中條利一郎・西村 康編著，真陽社，83－98．

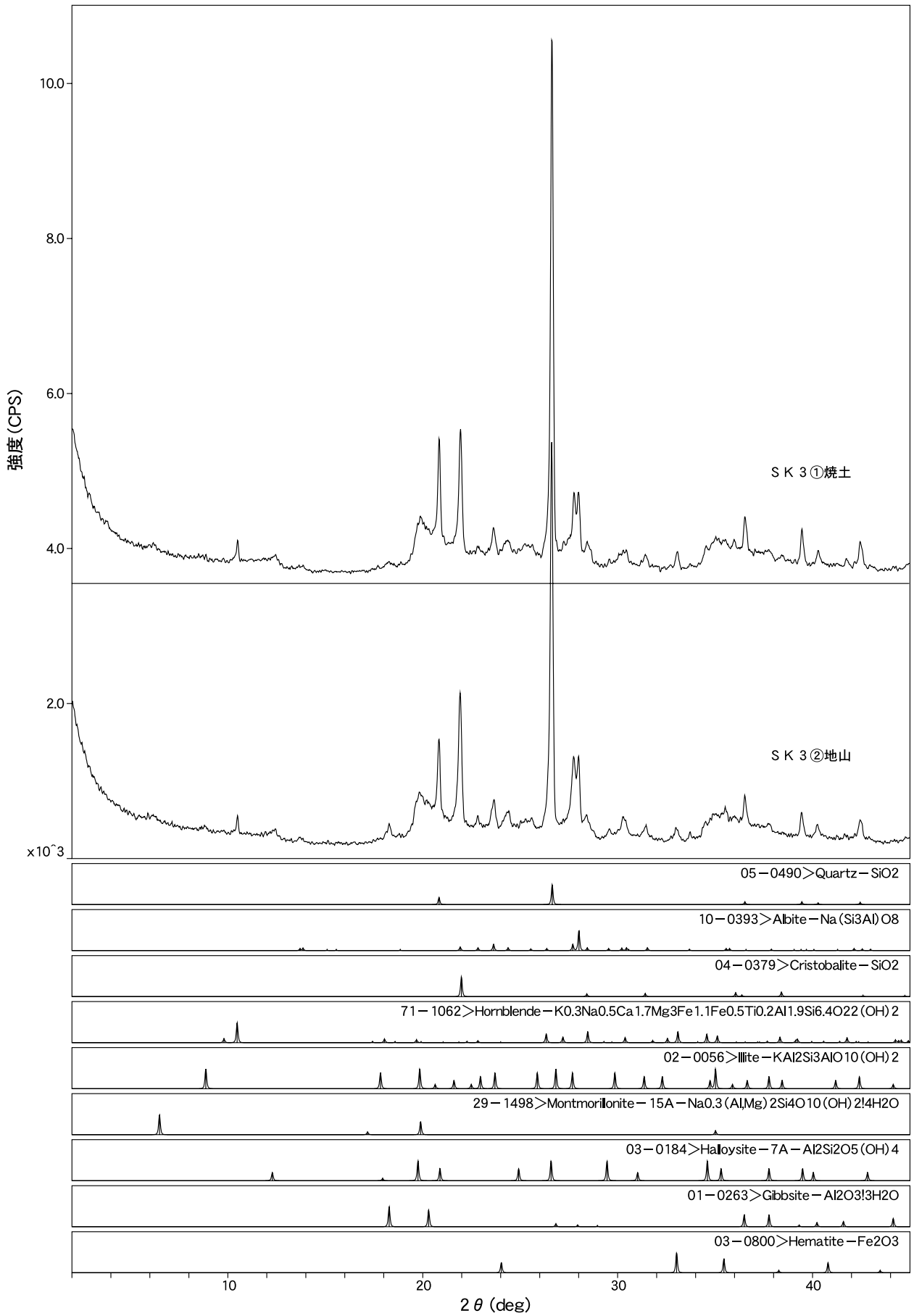
吉木文平，1959，鉱物工学．技報堂，710p．



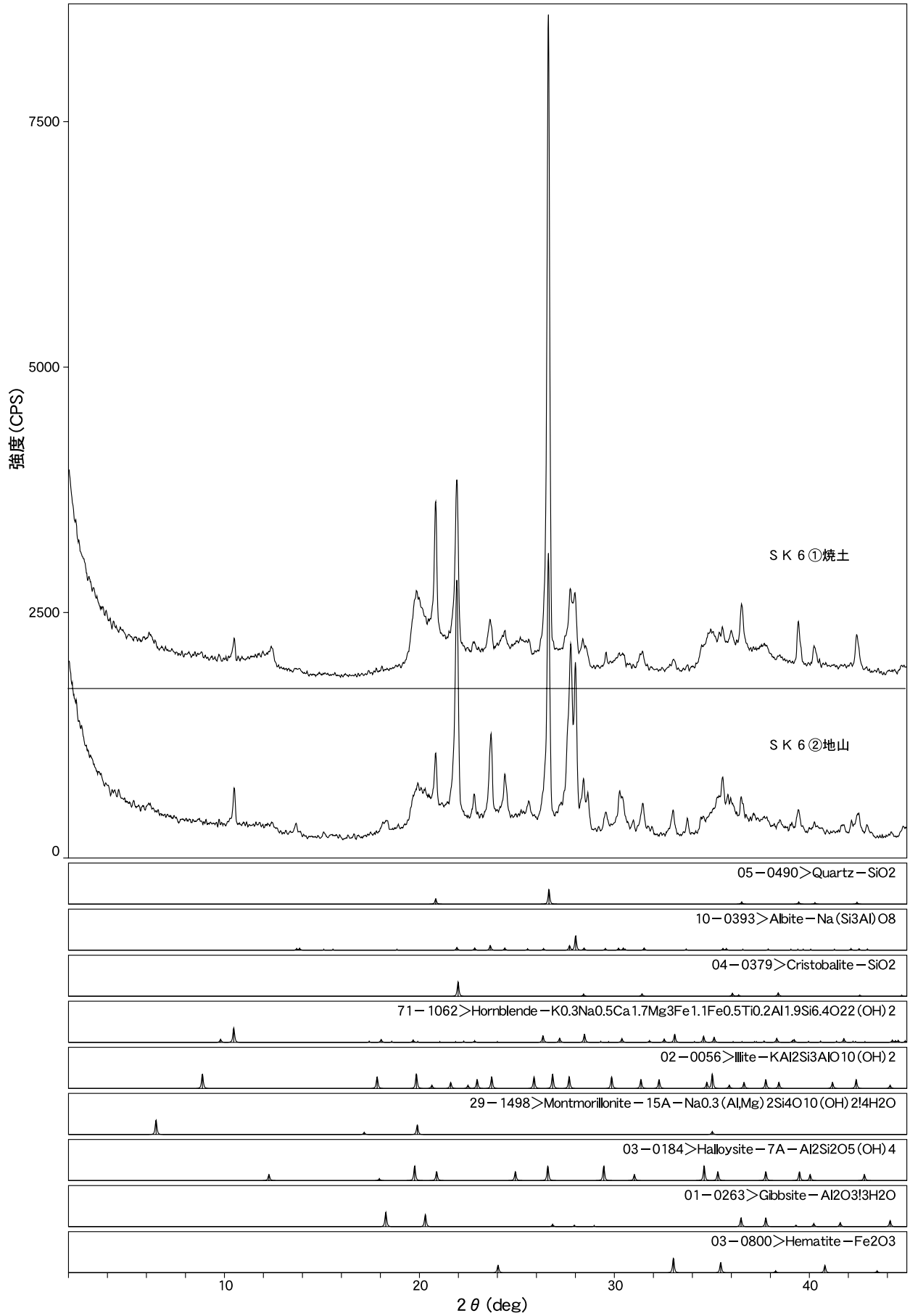
表77 薄片観察結果

試料名	採取部位	砂粒			砂粒の種類構成												孔隙度	方向性	粘土残存量	含鉄量	焼成温度	備考							
		全体量	淘汰度	最大径	鉱物片																								
					石英	斜長石	斜方輝石	単斜輝石	角閃石	酸化角閃石	黒雲母	ジルコシ	緑廉石	不透明鉱物	溶結凝灰岩	スフェルライト							流紋岩	花崗岩	多結晶石英	火山ガラス	木片	その他	
SK3①	焼土	△	×	2.2	+	+	△	△	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	×	+	<325℃	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。パブルウォール型の火山ガラスがきわめて微量に含まれる。
SK3②	地山	△	×	1.7	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	-	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。
SK6①	焼土	△	△	1.2	+	△	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	×	+	<325℃	酸化角閃石が微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。
SK6②	地山	○	×	2.2	+	○	+	△	+	△	+	+	+	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	-	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。
SK40①	焼土	△	×	2.0	+	△	+	△	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	>325℃	素地に散在する水酸化鉄の赤鉄鉱化が認められる。パブルウォール型の火山ガラスがきわめて微量に含まれる。
SK40②	地山	△	△	1.1	+	△	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	-	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。
SK63①	焼土	○	△	1.1	+	△	+	△	+	△	+	+	+	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	<325℃	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。
SK63②	地山	○	×	1.9	+	△	+	△	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	-	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。
SB7①	焼土	△	×	2.2	+	△	+	△	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	<325℃	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。
SB7②	地山	△	×	2.8	+	△	+	△	+	△	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	△	×	+	-	酸化角閃石がきわめて微量程度認められるが、中間的な酸化角閃石が認められないことから、初生鉱物とみられる。水酸化鉄の赤鉄鉱化は認められない。火山ガラスは軽石型およびパブルウォール型を呈する。

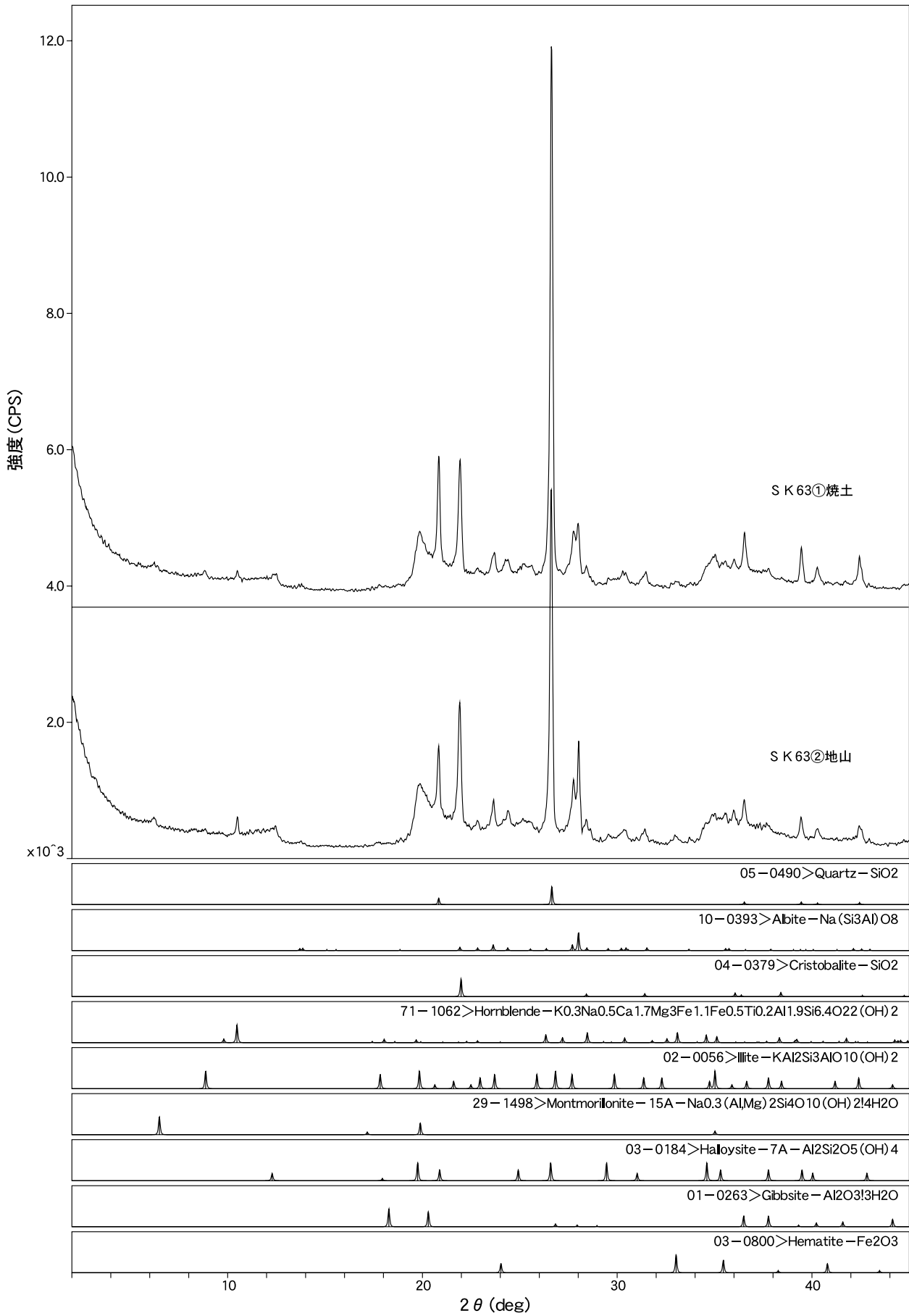
量比 ◎：多量 ○：中量 △：少量 +：微量 ×：なし  
 程度 ●：強い ○：中程度 △：弱い ×：なし



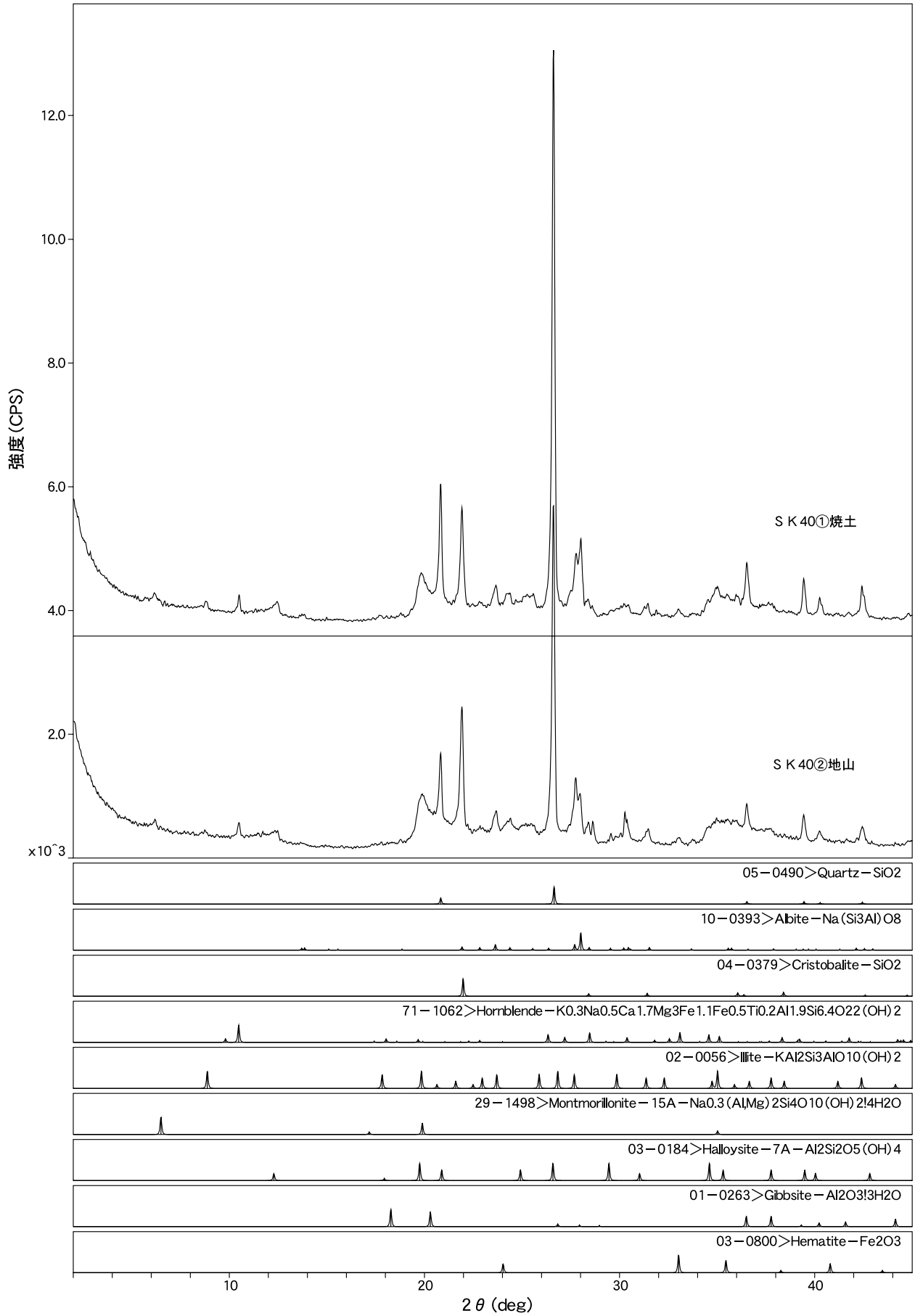
第203図 S K 3 焼土および地山試料のX線回折図



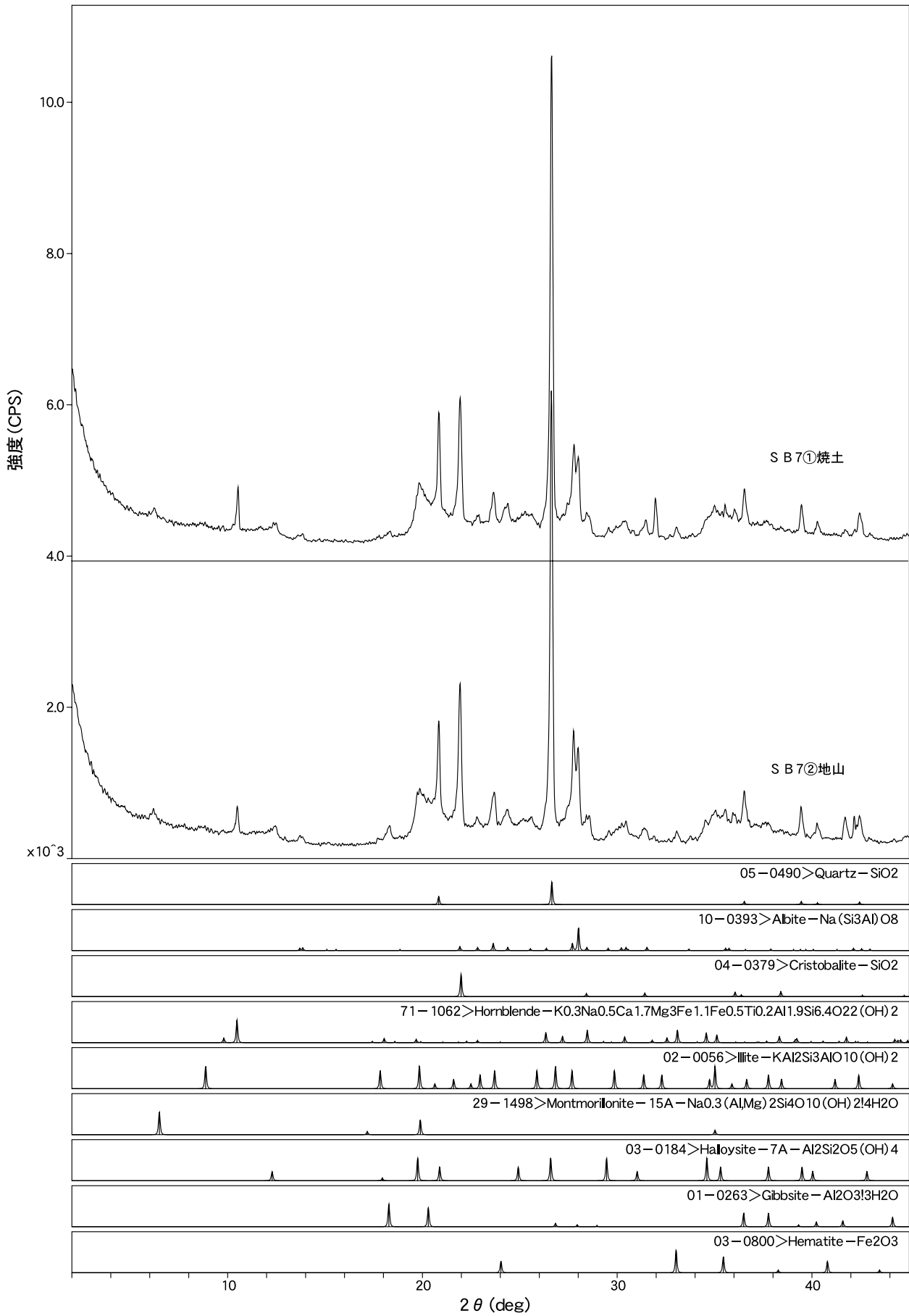
第204図 SK 6 焼土および地山試料のX線回折図



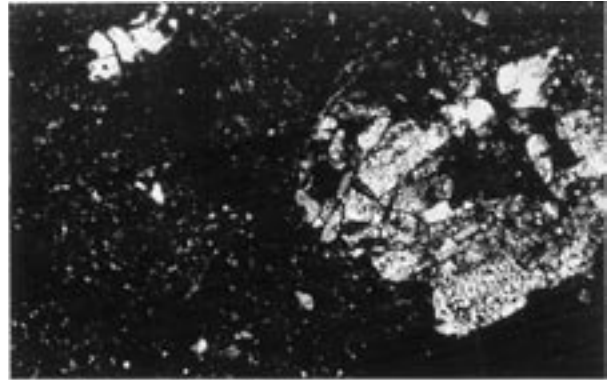
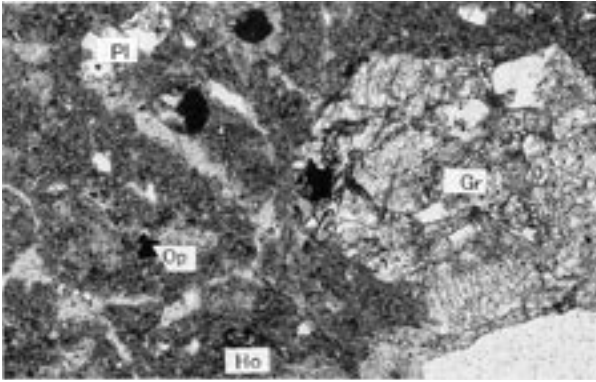
第205図 S K 63焼土および地山試料のX線回折図



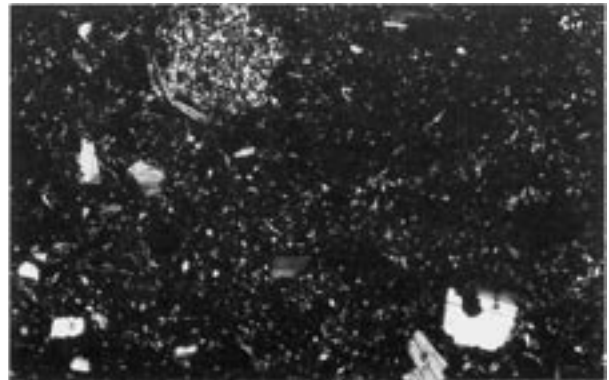
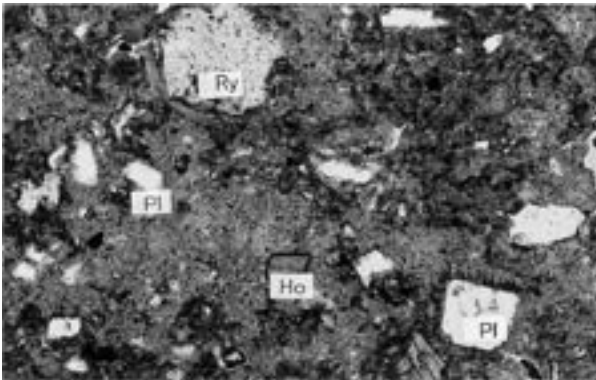
第206図 SK40焼土および地山試料のX線回折図



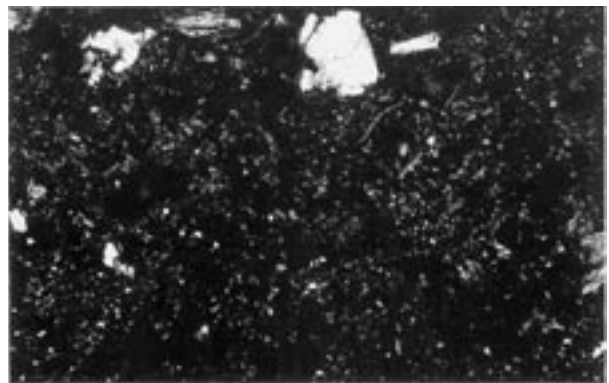
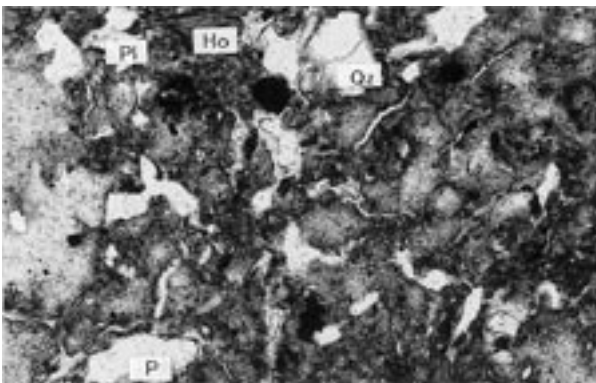
第207図 S B 7 焼土および地山試料のX線回折図



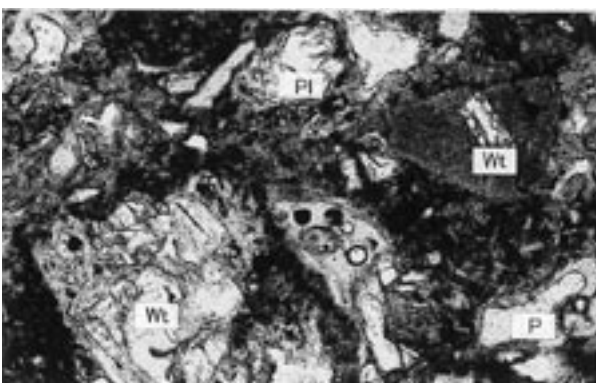
1. SK 3 ①焼土



2. SK 3 ②地山



3. SK 6 ①焼土



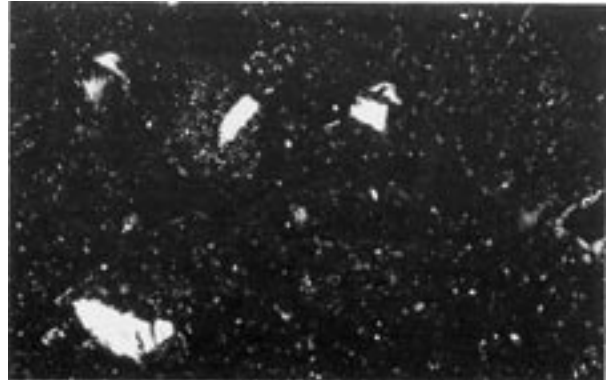
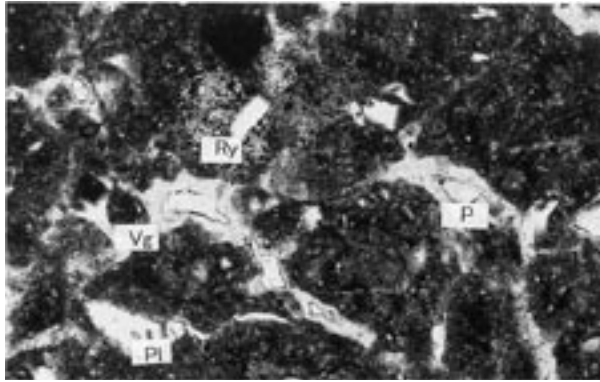
4. SK 6 ②地山

Qz：石英 Pl：斜長石 Ho：角閃石 Op：不透明鉱物  
 Gr：花崗岩 Ry：流紋石 Wt：溶結凝灰石  
 P：孔隙

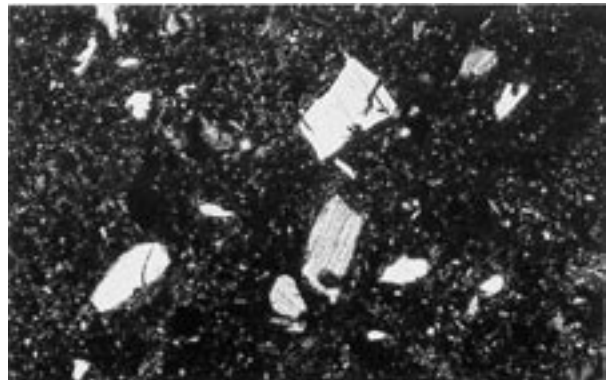
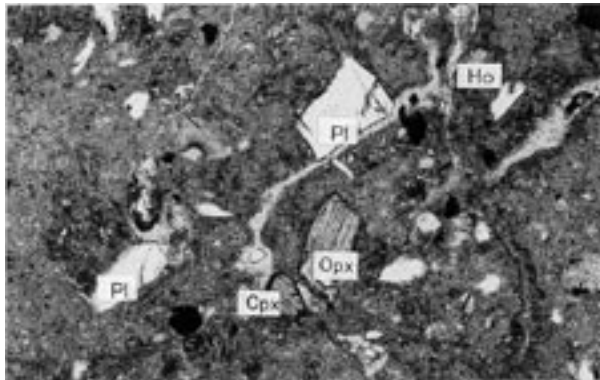
写真左列は下方ポーラー、写真右列は直交ポーラー下。

0.5mm

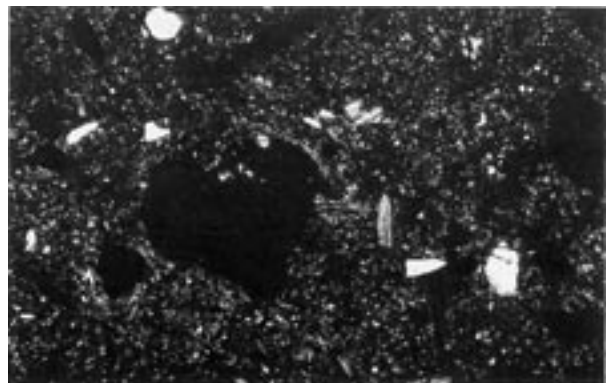
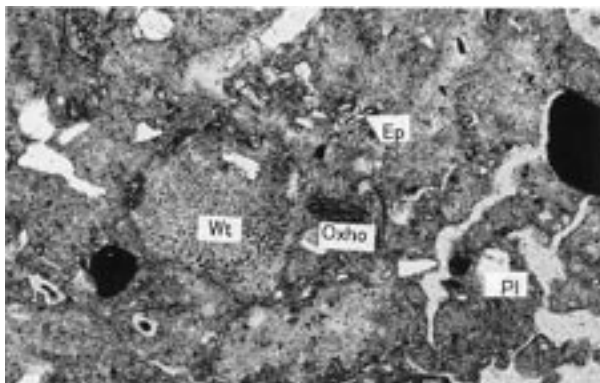
写真25 薄片（1）



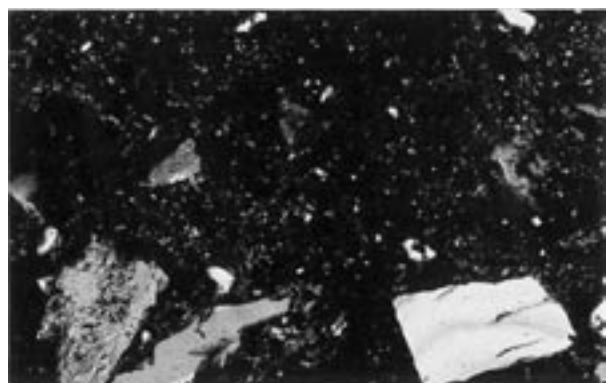
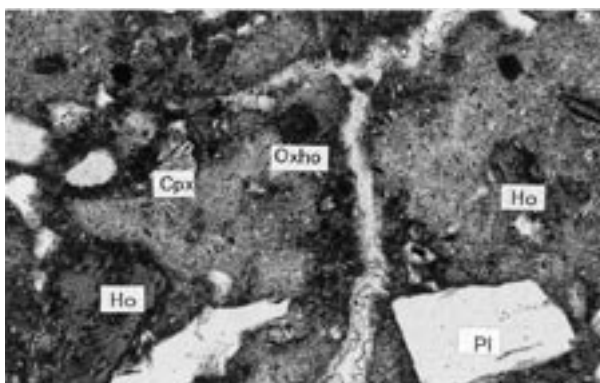
5. SK40①焼土



6. SK40②地山



7. SK63①焼土



8. SK63②地山

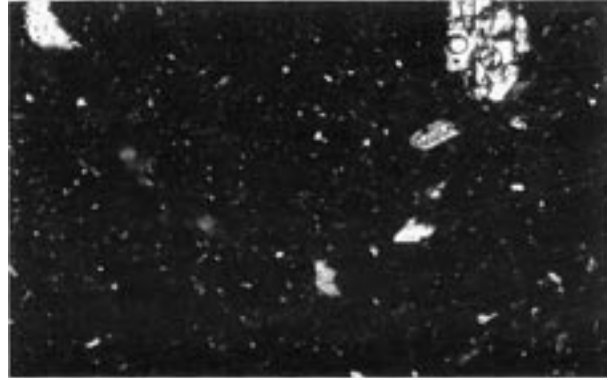
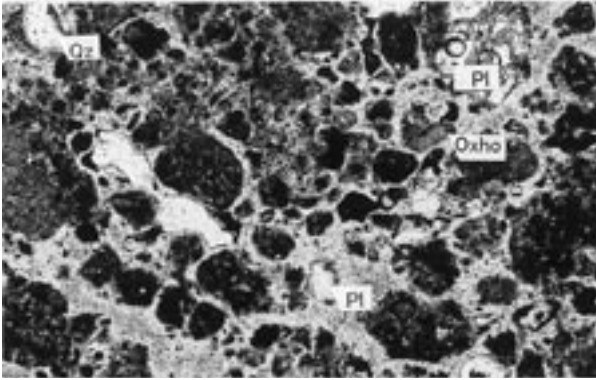
Pl: 斜長石 Opx: 斜方輝石 Cpx: 単斜輝石 Ho: 角閃石 Oxho: 酸化角閃石  
 Ep: 緑レン石 Ry: 流紋石 Wt: 溶結凝灰石  
 Vg: 火山ガラス P: 孔隙

写真左列は下方ポーラー、写真右列は直交ポーラー下。

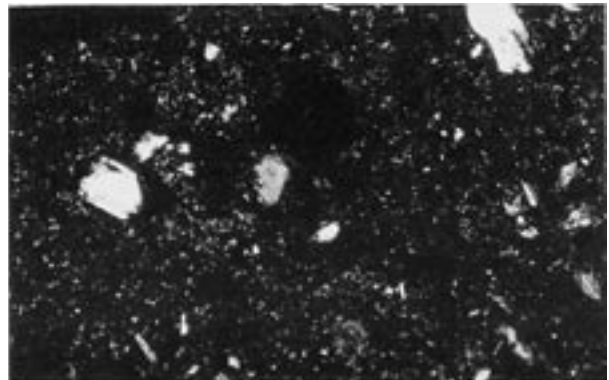
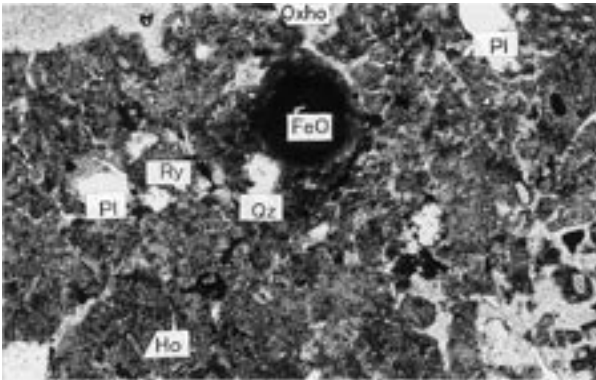
0.5mm

写真26 薄片(2)





9. S B 7 ①焼土



10. S B 7 ②地山

Qz：石英 PI：斜長石 Ho：角閃石 Oxho：酸化角閃石  
Ry：流紋石  
FeO：水酸化鉄

0.5mm

写真左列は下方ポーラー、写真右列は直交ポーラー下。

写真27 薄片(3)