

# 11-7 二子塚遺跡出土鉄器及び鍛冶関連遺物の 金属学的調査

大澤正己

## 概要

弥生時代後期後半に属する二子塚遺跡出土の鍛冶関連遺物を調査して、以下の点が明らかになった。

- (1) 鍛冶原料の鉄素材として幅 4cm × 厚さ 2mm 程度（長さは幅の 3 倍前後か）の加工の容易な軟質薄板の流通があった可能性をもつ。この素材は焼なましを受けており、簡単にタガネ切り、砥石研磨仕上げ、火炙り曲げ加工で製品製作に結びつく。具体的には出土遺物の袋状鉄斧、摘鎌、無茎鎌、有茎鎌の素材となり得る。さらに、三角鉄片や叉状鉄片は、上記鉄器製作時の切片と考えられる。
- (2) 上記鉄素材を含めて、鉄製品は鉱石系の低温固体還元法にもとづく塊煉鉄である。鉄器製作前の鉄素材の大部分は、鉄中の非金属介在物 ( $FeO + CaO \cdot FeO \cdot 2SiO_2$ ) からみて、朝鮮半島側に求められよう。
- (3) 出土鉄滓は、鉱石系鉄素材の鉄器製作に際して高温沸し鍛接、低温素延べ、火造り作業で排出された鍛錬鍛冶滓に分類される。鉄滓を出土した SB256 は、焼土遺構を伴ない、鍛冶工房址の可能性が高い。ここからは鍛冶作業の「鍛打」を間接的に証明する粒状滓や鍛造剥片が検出された。この微細遺物は鉄滓の付着物である。なお、鍛造剥片の鉱物組成は、加熱酸化物なので、ヘマタイト ( $Fe_2O_3$ )、マグнетイト ( $Fe_3O_4$ )、ヴァスタイト ( $FeO$ ) など、鉄 (Fe) と酸素 (O) の化合物である。
- (4) 上記の加熱酸化物に対して、小鉄片として捉えられた微細遺物に、剥片、粒状片、米粒状片、雲状片、釣針状片などがある。何れも錆化鉄のゲーサイト (Goethite :  $\alpha - FeO \cdot OH$ ) である。断面は全体が鬆状に侵されていた。このグループは軟鉄素材を整切りした際の潰し切屑で、これに酸化土砂が纏り付いた可能性を提示したい。鉄器製作の主体は整切り加工が定常的に行われた事を証明する貴重な遺物と考えられる。
- (5) 鉄製品としての鉄斧刃は、塊煉鉄由来で 0.05% C と 0.30% C 程度の低炭素鋼の合せ鍛えであった。これは心金部分の情報であり、錆化消滅した皮金には硬質中・高炭素鋼の充当は十分に考えられる。これも不明鉄器と称した板状鉄素材の非金属介在物（灰鉄輝石）や炭素含有量に近似性があつて同一産地が想定できる。

## 1 いきさつ

二子塚遺跡は、熊本県上益城郡嘉島町に所在する弥生時代後期後半の環濠集落である。この遺跡内より鍛冶工房址と目された 2 軒の竪穴住居址 (SB256、SB153) が検出された。この遺構からは鍛冶関連遺物（鉄製品、半成品、鉄片、微小鉄片、タガネ、鉄滓 [SB256 のみ]、石鎌、鉄床石、砥石）が大量に出土した。そこで、この 2 遺構を中心に、他遺構出土品も併せて、当時の鍛冶の実態を把握する目的から金属学的調査を行った。

## 2 調査方法

### 2-1 供試材

Table1 に示す。鉄斧 2 点、摘鎌 1 点、鉄鎌 5 点、不明鉄器 1 点、鉄滓 4 点、三角鉄片 3 点、叉状鉄片 1 点、小鉄片 11 点、合計 28 点の調査である。

### 2-2 調査項目

#### (1) 肉眼観察

遺物の外観観察を行い、それをもとに試料採取位置

試料No	種別	細別	重量(g)	数量
1	鉄斧	板状鉄斧	70	1
2	鉄斧	袋状鉄斧	13	1
3	摘鎌	外湾刃	35	1
4	鉄鎌	無茎鎌	3	1
5	鉄鎌	無茎鎌	1	1
6	鉄鎌	無茎鎌	3	1
7	鉄鎌	有茎鎌	2	1
8	鉄鎌	有茎鎌	4	1
9	不明鉄器	不整台形状鉄板	29	1
10	鉄滓	椀形鍛冶滓	90	1
11	鉄滓	椀形鍛冶滓	46	1
12	鉄滓	不整五角形	16	1
13	鉄滓	不定形	48	1
14	三角鉄片	不等辺三角形	0.8 0.3	2
15	三角鉄片	二等辺三角形	2	1
16	叉状鉄片	逆 V 字形	1.2	1
17	小鉄片	剥片状	< 0.5	3
18	小鉄片	粒状	< 0.5	2
19	小鉄片	米粒状	< 0.5	3
20	小鉄片	雲状	< 0.5	1
21	小鉄片	湾曲 3 連状	< 0.5	1
22	小鉄片	釣針状	< 0.5	1
合計				28

Table1 供試材一覧

を決定する。

#### (2) マクロ組織 (Macro Structure)

顕微鏡埋込み試料の断面全体像を投影機の5倍、10倍、もしくは20倍で撮影する。低倍率の観察は、組織の分布状態、形状、大きさなど顕微鏡検査よりも広範囲にわたっての情報が得られる利点がある。

#### (3) 顕微鏡組織 (Microscopic Structure)

供試材は、目的とする位置から切り出したものをベークライト樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000と順を追って研磨し、最後は被研面をダイヤモンド粒子の3μと1μで仕上げて、光学顕微鏡観察を行う。なお、金属鉄のパーライトとフェライト結晶粒は、ナイタル（5%硝酸アルコール溶液）で腐食（Etching）している。

#### (4) ビッカース断面硬度

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

#### (5) CMA (Computer Aided X-ray Micro Analyzer) 調査

EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) にコンピューターを内蔵させた新鋭分析機器である。旧式装置は別名X線マイクロアナライザーとも呼ばれる。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。さらに標準試料とX線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理してデータ解析を行う方法である。化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定が可能である。

#### (6) 化学組成分析

供試材の分析は、次の方法で実施した。

全鉄分 (Total Fe)、金属鉄 (Metallic Fe)、酸化第1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)、酸化マンガン (MnO)、二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>)、酸化クロム (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、五酸化磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、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

#### 3-1 試料No.1：鉄斧刃

(1) 肉眼観察 : 両刃板状鉄斧の破損品である。刃幅3.5cm以上で基部側を欠損する。表裏面の片側の一部は剥落している。厚み方向の中央部に金属鉄を残す。

(2) マクロ組織 : photo.1 の①に示す。該品は基部側において極低炭素鋼 (0.08%C) と低炭素鋼 (0.30%C) の合せ鍛えの可能性が窺える。また、両素材は繰返し折り曲げの鍛接が行なわれ、その鍛接線を明瞭に残している。

(3) 顕微鏡組織 : photo.1 ~ 3 に示す。Photo.1 の②③は鉄中の非金属介在物（鉄鋼中に介在する固形体の非金属性不純物、つまり鉄やマンガン、珪素および磷などの酸化物、硫化物、珪酸塩などの総称）である。介在物は二種類あって黒色点列状異物は、酸化防止に赤熱鉄素材の表面に塗布された粘土汁のガラス化したものである。鉄素材製錬時に関係する介在物は、白色粒状結晶のウスタイト (Wustite : FeO) が多量に晶出し、これに淡灰色盤状結晶の灰鉄輝石が暗黒色ガラス質スラグ中に含まれている。

この種の酸化第1鉄と灰鉄輝石の共晶夾雜物を晶出する鉄素材は、低温個体還元法にもとづく塊煉鉄に分類できる。

Photo.2 の②③は刃先側の組織である。フェライト+パーライト組織が現われた。また、①は刃先端から基部寄りに5mm程度入った個所での厚み方向の横断組織である。中央部は低炭素鋼 (0.3%) で刃先側と大差ない。

Photo.3 の①②は、基部側の横断面組織である。①はピクラル（ピクリン酸飽和アルコール液）で腐食した炭化物組織、②はナイタル（5% 硝酸アルコール液）で腐食したフェライト結晶粒の粒界線を強調して現わした組織である。両組織共に上側の約半分は粗大化したフェライト結晶粒の単独に対して、残る下側半分は、塊状パーライトと微細球状パーライト（セメンタイト）を析出する。微細球状パーライトの拡大組織は Photo.2 の④に示した。韌性（粘さと強さ）向上を指向する熱処理模索の鉄器の可能性も無視出来ない。この 2 種類の炭素含有量の異なる領域の境界は、両者に明確な炭素の拡散層を持たないので浸炭処理は否定できる。これらの組織からみて、該品は成形後 750°C 前後に加熱された後の放冷が推定される。これは鉄器の韌性向上を目的とした焼なまし処理 (Annealing) が施されたことになる。

(4) ピッカース断面硬度：Photo.1 の④は低炭素域 (0.3%C 前後)、⑤は極低炭素域 (0.08%C) の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は、前者がやや硬質 128Hv、後者で軟質の 106Hv であった。両者の炭素含有量の違いに起因した硬度値の差は出ているが、鉄斧としての機能する鋭い切れ味を示す硬さではない。刃先最表層部は錆化消滅したと考えられる。高炭素焼入れ組織があつてもおかしくない造り（貼り合わせ技術）であった。

(5) CMA 調査：Photo.16 に鉄中非金属介在物の特性 X 線像と定量分析結果を示す。定性分析の特性 X 線像は、分析元素の存在は白色輝点の集中度によって読み分ける。SE (2 次電子像) の分析点 1 の黒色点列状介在物は、ガラス質成分 (Si+Al+Ca+Mg+K) に白色輝点が集中し、定量分析値は、12%CaO – 38%FeO – 41%SiO<sub>2</sub> 組成となる。灰鉄輝石 (hedenbergite:CaO · FeO · 2SiO<sub>2</sub>) の類であろうか。これには 6%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3%MgO – 3%K<sub>2</sub>O の固溶体がある。

次に SE に分析点の 2 白色粒状結晶は 99%FeO の定量分析値が得られてウスタイト (Wustite : FeO) が同定される。以上の 2 種類の非金属介在物には、砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) や

バナジウム (V)、ジルコニウム (ZrO<sub>2</sub>) などの含有はなく、製鉄原料の砂鉄は否定されて鉱石系となる。

(6) 化学組成分析：Table2 に示す。錆化鉄を分析試料に当てたので酸化物定量である。全鉄分 (Total Fe) は 60.92% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.13%、酸化第 1 鉄 (FeO) 14.26%、錆化鉄主体なので酸化第 2 鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 71.07% の割合である。夾雜分となるガラス分 (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 4.72% で、このうちに塩基性成分 (CaO+MgO) は 0.24% と少ない。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 0.16%、バナジウム (V) 0.004% は低下し、製鉄原料は鉱石系であろう。また、随伴微量元素も低く酸化マンガン (MnO) 0.01%、銅 (Cu) 0.005% である。但し、有害元素の五酸化磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0.105%、硫黄 (S) 0.264% などはやや高め傾向にある。一方、鉄中の炭素 (C) は、錆化鉄なので有機物含みで信頼度は低いが、0.26% 留りの低炭素鋼レベルであった。

### 3-2 試料No.2：袋状鉄斧

(1) 肉眼観察：刃部を破損で欠く袋状鉄斧である。基部は 1.4mm 前後の板厚で、これを 7mm 程外側に折り曲げて、基部を二重巻きとした袋部補強対策の鉄斧である。袋部の折り返し両端の突合せの間隔が約 3mm 程度開く。

(2) マクロ組織：Photo.4 の①に示す。供試材は基部二重巻きの部分である。金属鉄の残存はなく、錆化鉄となるが折り曲げ加工は実に丁寧に仕上げられている。全体に腐食が激しく、板厚全体を保つ個所はなく、どこか鬆状に侵食される。

(3) 顕微鏡組織：Photo.4 に示す。総て錆化鉄のゲーザイト (Goethite :  $\alpha$  – FeO · OH) となるが局部的にフェライト基地に少量のパーライトの痕跡を留める。④にみられるパーライト (Pearlite : フェライトとセメンタイトが交互に重なり合って構成された層状組織) の面積率から含有炭素量を推定すると、0.05 ~ 0.15% 前後の低炭素鋼である。これは材質が軟らかく、加熱によって折り曲げ加工も容易である。

(4) CMA 調査 : Photo.17 に示す。鉄中の非金属介在物を調査対象とすべく、広く視野を探したが介在物は剥落して残存しない。恐らく該品もヴスタイトを含んだ低温固体還元法にもとづく塊煉鉄の可能性をもつが、その証拠を捉えることができなかった。Photo.4 に示すパーライト痕跡組織では 0.15%C 程度の極軟鋼が想定された。0.05 ~ 0.15% 炭素含有量は、基部側の数値であって、欠損している刃部側は、浸炭などの硬質強化対策がとられた可能性は充分に考えられる。極軟材質の基部 2 重巻きが材質に対する補強対策であろう。

### 3-3 試料No.3 : 摘鎌

- (1) 肉眼観察 : 細長の長方形鉄片の長辺の一端に刃を付け、短辺側を両方折り返した摘鎌である。基部が直線的で外湾刃のタイプである。
- (2) マクロ組織 : Photo.5 の④に示す。金属鉄の残存はなく、板厚内部は鬆状に侵される。
- (3) 顕微鏡組織 : Photo.5 の①~③に示す。②にみられるパーライトの痕跡は、約 50 μ の層状組織であって、炭素含有量も若干高め 0.35% 前後の中炭素鋼が想定される。材質はやや硬質となる。なお、該品の鉄中非金属介在物の検出はできなかった。ヴスタイト (FeO) 系のものが剥落したのであろうか。

### 3-4 試料No.4 : 無茎鎌

- (1) 肉眼観察 : 無茎鎌である。基部のえぐりは深く、ほぼ直角で両端は脚状になる。
- (2) マクロ組織 : Photo.5 の⑤に示す。錆化が激しく板厚方向の内部は空洞化して金属鉄の残留はまったく無い。ただし板状の平坦度は優れ、約 1.4mm の厚みを保持する。
- (3) 顕微鏡組織 : Photo.5 の⑥~⑧に示す。組織は錆化鉄のゲーサイトであるが、小型鉄器で腐食が厳しく、鬆となって真面な鉄面を残留する個所はなかった。非金属介在物の剥落跡（紡重状）からみて該品は低温固体還元法にもとづく塊煉鉄であろう。
- (4) CMA 調査 : Photo.18 に示す。鉄中の非金属介在物は残存しなかった。基地鉄の特性 X 線を提示した。二次汚染からきた珪素 (Si) 分が検出されたのみで

ある。

### 3-5 試料No.5 : 無茎鎌

- (1) 肉眼観察 : 小型（全長 21mm）の無茎鎌である。基部のえぐりはやや鈍角状に開くが平面形は前述No.4 鎌に近似する。
- (2) マクロ組織 : Photo.6 の①に示す。該品は金属鉄の残留はなくて、錆化鉄となり断面は 2 枚割れを起し、鬆の多いゲーサイトである。
- (3) 顕微鏡組織 : Photo.6 の④⑤に示す。金属鉄の残留はなくて、錆化鉄のゲーサイトである。⑤中央は鉄中非金属介在物のヴスタイトである。淡灰色紡重状の異物であって、この介在物の存在により低温固体還元の塊煉鉄由来の製品といえる。
- (4) CMA 調査 : Photo.19 の SE (2 次電子像) に分析対象とした鉄中非金属介在物を示す。紡重状介在物は、白色輝点が鉄 (Fe) にのみ集中し、その周囲の茶褐色部分にはガラス質 (Si+Al+Ca) が検出された。錆化鉄ながら辛うじてヴスタイト (FeO) と、それを取り囲む珪酸塩系の組成が確認された。該品も極低炭素鋼で塊煉鉄由来の製品といえる。

### 3-6 試料No.6 : 無茎鎌

- (1) 肉眼観察 : 身部が長手の無茎鎌である。基部のえぐりは直角に近い形状をもつ。
- (2) マクロ組織 : Photo.6 の②に示す。断面は錆膨れで大きく口を開け、鬆の多いゲーサイトであった。
- (3) 顕微鏡組織 : Photo.6 の⑥に示す。錆化が激しくてパーライトやフェライト結晶の痕跡を捉えることができなかった。また、鉄中非金属介在物も鬆の発生のため剥落跡も押えられない。⑥の中央に不定形白色部が検出されたのでメタルの残留の可能性を考えてナイタルエッチしたが変化がなかった。擬似メタルである。いずれにしろ、該品も然したる情報は得られなかつたが塊煉鉄由来の極低炭素鋼が想定される。

### 3-7 試料No.7 : 有茎鎌

- (1) 肉眼観察 : 圭頭鎌に分類されて全長 4cm、身幅 10mm 前後の小型品である。

- (2) マクロ組織：Photo.6 の③に示す。金属鉄はなくて断面全体が鬆となり、片側に大きく錆膨れを発生する。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.6 の⑦⑧に示す。金属鉄は残存しなくて、錆化鉄のゲーサイトである。鉄中の非金属介在物の大半は剥落した跡で、僅かに茶褐色多角形結晶を幾つか留める。組成はスピネル(尖晶石)であろう。基地鉄は局部的に網目状のフェライト結晶粒界の痕跡が観察できて極低炭素鋼の充当が判明した。これも塊煉鉄由来の製品であろう。
- (4) CMA 調査：Photo.20 に示す。鉄中の非金属介在物狙いで SE (2 次電子像) にみられる異物を調査対象とした。介在物剥落個所に 3 の番号をつけた酸化物は、アルミニウム (Al) とマグネシウム (Mg) に白色輝点が集中し、定量分析値は 25%MgO – 66%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 9% FeO 組成が得られた。鉄含みのスピネル (Spinel : 尖晶石) である。
- 以上の結果から、塊鉄鉱由来の塊煉鉄の裏付けがとれた。

### 3-8 試料No.8：有茎鐵

- (1) 肉眼観察：頭部が尖り圭頭鐵に分類される有茎鐵である。錆膨れがみられる。
- (2) マクロ組織：Photo.7 の①に示す。断面の中核部は空洞化し、残された錆化鉄は鬆を発生する。錆化の激しい供試材である。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.7 の③に示す。これも金属鉄は残さず、錆化鉄のゲーサイトとなる。炭化物やフェライト結晶粒の痕跡は認められなかった。ただし側面の造りは丹精に仕上っている。低炭素鋼クラスが素材になったと考えられる。

### 3-9 試料No.9：不明鐵器

- (1) 肉眼観察：平面は不整合形状の鉄板である。表裏面に厚く錆膨れを発生し、これが側面にも影響を及ぼす。幅広短辺側は生きており、幅 4cm 程度の板状素材破片の可能性をもつ。
- (2) マクロ組織：Photo.7 の②に示す。該品も錆化鉄で断面全体に鬆が生じて腐食の進行が激しいものである。肉眼観察では錆膨れが著しく 4mm 程度の厚

みにみられたが、マクロ組織の左側に元来の板厚が読みとれる侵食度の低い断面を残す。これを読むと 2mm 程度の厚みとなる。板状素材は幅 4cm 前後で厚み 2mm、長さは不明であるが幅の 3 倍以上 (15cm 前後か?) の板材が想定される。

- (3) 顕微鏡組織：Photo.7 の④～⑧に示す。④⑤中の不定形白色部分に黒色点列線が観察できる。鍛打時の表面酸化防止に塗布された粘土汁由來のガラス質介在物である。また、鍛接線もある。一方、不定形白色部以外の淡灰色基地内には、網目状のフェライト結晶粒界と、パーライト塊の痕跡が認められる。パーライトの面積率からみて炭素含有量は 0.15% 前後の低炭素鋼である。また、網目状模様には歪の残留がなく、板状成形後に金属組織の標準化の図られた熱処理 (800 ~ 850°C 加熱の焼ならし処理) が施された可能性をもつ。正に鉄素材としての材質を備えた板状鉄板である。
- (4) CMA 調査：Photo.21 に黒く点列状に連なった介在物の特性 X 線像と定量分析値を示す。白色輝点は、Si + Al + Ca に集中し、定量分析値は 14% CaO – 36% FeO – 34% SiO<sub>2</sub> 組成が得られた。さらに 7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3% MgO – 3% K<sub>2</sub>O の固溶があった。この結果は、前述した No.1 鉄斧刃の介在物に近似する。灰鉄輝石 (CaO · FeO · 2SiO<sub>2</sub>) 系と同定した。両者の産地は同じ可能性が指摘できる。

- (5) 化学組成分析：Table2 に示す。鉄錆試料なので酸化物定量分析を行った。全鉄分 (Total Fe) は 60.25 % に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.15 %、酸化第 1 鉄 (FeO) 15.27 %、酸化第 2 鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 68.96 % の割合であった。鉄錆主体の組成なので酸化第 2 鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) が大きくなる。ガラス質成分 (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 5.50 % とあまり大きくはないが、大半は鉄錆に付着した有機物であろう。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) は 0.13 %、バナジウム (V) 0.002 % は少なくて鉱石系の原料となろう。他の随伴微量元素も小さくて、酸化マンガン (MnO) 0.02 %、銅 (Cu) 0.005 %、酸化クロム (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0.027 % である。なお、有害元素となる五酸化磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0.133 %、硫黄 (S) 0.220 % はやや高め傾向にある。

ここで注目されるのは、成分的にみても前述したNo.1 鉄斧刃にほぼ近似した結果が得られたことである。

以上、不明鉄器は、0.2mm 厚み×4.0cm 幅の薄板状に成形されて、材質は低炭素鋼で内部応力の除去された焼なまし処理の組織をそなえ、加工の容易な材質であった。鉄素材の要素の強い性状であった。さらにNo.1 鉄斧刃の鉄中非金属介在物組織が近似し、かつ、化学組成も大きな差異がない。両者は鉄生産の産地を同じくするものであろう。

### 3-10 試料No.10：鉄滓

- (1) 肉眼観察：鍛冶炉の炉底に堆積形成された椀形鍛冶滓の破片である。平面は不整台形状で側面の大部分が破面を呈する。色調は赤褐色を呈し、表面はやや荒れ肌で木炭痕と気泡を残す。破面は緻密質である。
- (2) マクロ組織：Photo.11 に示す。断面は 0.2 ~ 2.0mm 径の気泡を散在させるが、鉱物相は白色粒状結晶がほぼ全面に均等に晶出する。偏析の少ない鉄滓である。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.8 の①～⑤に示す。鉱物組成は、白色粒状組織のヴスタイト (Wustite : FeO) と淡灰色木ずれ状結晶のファヤライト (Fayalite : 2FeO · SiO<sub>2</sub>) が暗黒色ガラス質スラグ中に晶出する。ヴスタイト粒内には微細析出物のヘルシナイト (Hercynite : FeO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) が認められる。該品は鉄素材の繰返し折り曲げ鍛接の高温作業で排出された鍛錬鍛冶滓に分類される。
- (4) ビッカース断面硬度：Photo.8 の⑤に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は 450Hv であった。ヴスタイトの文献硬度値が 450 ~ 500Hv であって〔日刊工業新聞社 1968〕、この範疇に収るのでヴスタイト (FeO) に同定される。
- (5) CMA 調査：Photo.22 の SE <2 次電子像> にみられる白色粒状結晶と淡灰色木ずれ状結晶及び基地の暗黒色ガラス質スラグの特性 X 線像を示す。白色粒状結晶には白色輝点が鉄 (Fe) にのみ集中してヴスタイト (FeO) が同定される。淡灰色木ずれ状結晶は、白色輝点が鉄 (Fe) と珪素 (Si) に集中し、

こちらはファヤライト (2FeO · SiO<sub>2</sub>) と判明する。砂鉄特有元素のチタン (Ti) には、殆んど白色輝点の反応はなく砂鉄原料は否定される。鉱石由来の鉄素材の鍛冶加工で派生した滓と想定される。

- (6) 化学組成分析：Table2 に示す。鉄分が多く、ガラス分の少ない成分系である。全鉄分 (Total Fe) は 58.57 % に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.51 %、酸化第1鉄 (FeO) 54.17 %、酸化第2鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 22.81 % の割合である。ガラス質成分 (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 17.65 % で、このうちに塩基性成分 (CaO+MgO) を 1.76 % を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 0.39%、バナジウム (V) 0.011% は低値である。酸化マンガン (MnO) は 0.08% とこれも少なく、他の随伴微量元素も押並べて低めであった。酸化クロム (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0.016%、銅 (Cu) 0.010% などである。鉱石系鉄素材の鍛錬鍛冶に際して排出された滓に分類される。

### 3-11 試料No.11：鉄滓

- (1) 肉眼観察：平面が不整六角形を呈する椀形鍛冶滓である。これも側面は破面となる。表面は灰褐色で弱い凹凸をもち、小気泡を散在させる。裏面は反応痕と青灰色炉底粘土を僅かに付着する。緻密質な滓である。
- (2) マクロ組織：Photo.11 に示す。断面は 3 ~ 4mm 径の大気泡を 2 点もち、あとは 1mm 以下の小気泡を多発させるが白色粒状鉱物相は密に晶出する。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.8 の⑥～⑧に示す。鉱物組成は、白色粒状結晶のヴスタイト (FeO) が凝集して晶出する。なお⑥は鍛冶作業中に滓へ落下した鉄塊の錆化物が認められた。(写真の左側)、風化されて組織からの炭素含有量は読みとれなかった。このヴスタイトの晶癖も鍛錬鍛冶滓に分類される。
- (4) 化学組成分析：Table2 に示す。鉄分多くガラス分の少ない成分系で、前述No.10 鉄滓にも近似する。全鉄分 (Total Fe) は 60.59 % に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.11 %、酸化第1鉄 (FeO) 52.44 %、酸化第2鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 28.19 % の割合である。ガラ

ス質成分 ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) は 14.92% で、このうちに塩基性成分 ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) を 1.76% 含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) 0.25%、バナジウム (V) 0.006% は少なくて砂鉄原料は否定される。酸化マンガン ( $\text{MnO}$ ) も 0.005% と低値である。銅 (Cu) のみは 0.020% と若干高めで、No. 10 鉄滓の 2 倍を含む。これも鉱石系の鍛錬鍛冶滓の成分系に分類される。

### 3-12 試料 No. 12：鉄滓

- (1) 肉眼観察：平面は不整五角形の滓である。これも側面は破面なので本来は椀形鍛冶滓の一部であろう。表面は灰黒色に一部赤錆を発し、気泡と木炭痕を残す。裏面は黒色で平滑状を呈していた。破面は緻密質である。
- (2) マクロ組織：Photo.11 に示す。断面は片側に 1 ~ 4mm 径の気泡を発生するが比較的に緻密質である。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.9 の①～③に示す。鉱物組成は、淡灰色盤状結晶のファヤライト ( $\text{Fayalite} : 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) 主体に少量の白色粒状結晶のヴスタイト ( $\text{Wustite} : \text{FeO}$ ) を暗黒色ガラス質スラグ中に晶出する。低温素延べか火造りの鍛錬鍛冶に際して酸化防止の粘土汁を多く塗布した段階の排出滓である。ヴスタイト粒内には微小の  $\text{Fe} - \text{Ti}$  化合物を析出している。砂鉄系もしくは塊鉄鉱の磁鉄鉱系鉄素材であろう。
- (4) ビッカース断面硬度：Photo.9 の③に淡灰色盤状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は 724Hv であった。ファヤライトの文献硬度値が 600 ~ 700Hv であって、これの上限を僅かに越えるがファヤライトに同定される。
- (5) CMA 調査：Photo.23 の SE (2 次電子像) にみられる白色粒状結晶とその粒内析出物及び淡灰色盤状結晶の特性 X 線像を示す。白色粒状結晶は、白色輝点が鉄 (Fe) にのみ集中し、鉱物組成はヴスタイト ( $\text{FeO}$ ) が同定される。その粒内微小析出物は、鉄 (Fe) とチタン (Ti) に白色輝点が集中するので  $\text{Fe-Ti}$  化合物が想定できる。古代砂鉄系の鍛冶滓で認められるが磁鉄鉱原料鉄であっても、この種の化

合物の検出は時折り確認できる。また、淡灰色盤状結晶は、鉄 (Fe) と珪素 (Si) に白色輝点が集中し、ファヤライト ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) が同定される。また、このファヤライト結晶内には数個所に丸、三角、台形状の灰黒色結晶が認められて、ここには鉄 (Fe) 一アルミニウム (Al) に白色輝点が集中する。鉱物組成はヘルシナイト ( $\text{Hercynite} : \text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) と推定される。高温個所の析出物の存在といえよう(古代砂鉄系鍛冶滓の混入が気がかり)。

- (6) 化学組成分析：Table2 に示す。顕微鏡組織で観察できたようにヴスタイト ( $\text{FeO}$ ) の量が少なくファヤライトが多いのは鉄分が幾分減少してガラス分が増加した成分系となっている。すなわち、全鉄分 (Total Fe) は 48.04% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.12%、酸化第 1 鉄 ( $\text{FeO}$ ) 48.34%、酸化第 2 鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 14.84% の割合である。ガラス質成分 ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) は 32.14% で、このうちに塩基性成分 ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) を 2.24% 含む。ヴスタイト粒内に  $\text{Fe} - \text{Ti}$  化合物が析出していたように、二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) は No. 10、11 より高めで 0.82%、バナジウム (V) は差異がなくて 0.008% 留まりであった。また、脈石成分系の酸化マンガン ( $\text{MnO}$ ) も 0.12% と僅かに高め傾向であった。銅 (Cu) は 0.005% と低値を呈した。

この成分系は鍛打作業において加熱目減りを配慮し酸化防止に粘土汁を塗布した影響が現われている。

### 3-13 試料 No. 13：鉄滓

- (1) 肉眼観察：灰褐色の不定形の鍛冶滓である。表面は荒れ肌で木炭痕と気泡を発する。
- (2) マクロ組織：Photo.11 に示す。断面は 0.4 ~ 4.0mm 径の気泡を多発させた多孔質である。また、表層には微細異物の付着が認められる。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.9 の④～⑧、Photo.10 に示す。当鉄滓の主要鉱物組成は、Photo.9 の④、⑦、Photo.10 の④⑤にみられる淡灰色木ずれ状結晶のファヤライト ( $\text{Fayalite} : 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) が暗黒色ガラス質スラグ中に晶出する。これは錆化鉄のゲーサイト ( $\text{Goethite} : \alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) の共伴である。ファヤライト晶出は低温例の 800 ~ 900°C の作業であつ

た可能性をもつ。低温素延べで粘土汁塗布による鍛錬鍛冶滓の特徴を有する。鍛冶素材は試料 No.9 の板状鉄板あたりの充当が想定できよう。

ここで注目したいのは、当鉄滓外周部に鍛冶鍛打作業において派生する微細遺物の粒状滓（Photo.10 の②③）と鍛造剥片（Photo.9 の⑤⑧、Photo.10 の①～④）の付着である。

粒状滓とは、鍛冶作業において凹凸をも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、これが酸化して表面張力の関係から球状化したり、赤熱鉄素材に酸化防止を目的に塗布された粘土汁が酸化物と反応して、これが鍛打の折に飛散して球状化した微細遺物である。通常は 0.05～5.0mm 径程度のものが目にとまる。精錬鍛冶の末期から鍛錬鍛冶の前半段階までに派生する。

鍛造剥片は、鉄素材を大気中で加熱、鍛打すると表面酸化膜が剥離飛散したものを目指す。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、表面荒れ肌で厚手から平坦薄手へ、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。これも粒状滓同様に鍛打作業の実証と、鍛冶の段階を押える上で重要な遺物となる〔大澤 1992〕。鍛造剥片は粒状滓同様に極めて微細な鍛冶派生物であり、発掘調査中に土中から肉眼で識別するのは難しい。通常は鍛冶址の床面の土砂を水洗することにより検出される。鍛冶工房の調査に当っては、鍛冶炉を中心にメッシュを切って土砂を探り上げ、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かりとなりうる重要な遺物である〔大澤 1991〕。

次に鍛造剥片の酸化膜相としての組織を述べておく。Photo.10 の右上に鍛造剥片の模式図を示した。鉄素材を炉内で高温に加熱すれば、速やかに酸化し表面に硬い黒鉱を生ずる。このものは通常、微厚の外層ヘマタイト（Hematite : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、中間層のマグнетイト（Magnetite : Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>）、大部分は内層のヴスタイト（Wustite : FeO）の 3 層から構成される。この場合、ヴスタイト相は 570℃以上で生成されてヘマタイト相は 1450℃を越えると存在しなくなることは、Fe-O 系平衡状態図で説明される〔森岡他 1975〕。

鍛造剥片は、酸化膜といえども母材から剥離して土中に長時間埋蔵されているため、風化を受けて組織の消滅するものもある。常時 3 層分離の組織が得られる保障はない。なお、この 3 層分離型の鍛造剥片は、鍛打作業の後半派生物であり、鍛打前半の剥片は内層のヴスタイトが非晶質ではなく、結晶化した組織で表われる。

一方、鍛造剥片を王水（塩酸 3 : 硝酸 1）でエッティングすると、外層ヘマタイトは侵されず、中間層マグネットイトは黄変し、内層ヴスタイトは黒変する。ただし今回の供試材はこの腐食（エッティング）は施していない。

Photo.10 の粒状滓に記述を戻す。②③の 2 点の球状異物が微細粒状滓の鉱物相である。0.07mm 径と 0.1mm 径の粒状滓は、ヴスタイト（FeO）の凝集した組織で埋まる。これが 0.8～5.0mm 径になると中核部が空洞化した断面となる。また、①～④にみられる鍛造剥片は、鍛打作業の後発で仕上げ段階の派生物である。剥片の皮膜構造は模式図に示す 3 層の分離は自然風化のために判別し難いが、紛れもなく鍛造剥片と認定できる。例えば③の鍛造剥片をみれば、微かに最表層は微厚の白い膜で覆われている。ヘマタイト層である。本来は表層にのみ発生するのが剥離した剥片が鍛冶炉内に飛び込んで再加熱され、破面外周全体がヘマタイト化している。該品は中間層のマグネットイトは前述したように自然風化で不鮮明である。内層のヴスタイト層は非晶質（ビックアース断面硬度の測定で鉱物相を同定した。後述）である。

以上のように鍛造剥片と認定できる微小剥片が数点以上発見された。①に 5 点の鍛造剥片、③に 1 点、④に 1 点などと提示できる。No.13 鉄滓は、SB256 鍛冶遺構からの出土遺物であって、ここでは鍛冶作業として鉄滓を排出し、更には粒状滓や鍛造剥片を派生するような「鍛打作業」があった可能性を証明することとなった。

蛇足ながら粒状滓や鍛造剥片は鉄を加熱して出来た酸化膜である。Photo.10 の模式図に示したように Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>・FeO 組成であって基本的には鉄（Fe）と酸素（O）の化合物であり不純物は一切含

まない。赤錆状の剥片があれば、これは錆化鉄片であって  $\text{FeO} \cdot \text{OH}$  といった水酸基を伴うもので、加熱による構造転移とは別物である。大気腐食の錆層は赤・黒と普段眼にする色調とザラツキをもつが、鍛造剥片は加熱による酸化膜なので平坦で黒褐色から灰色・青灰色を呈し、後発剥片となると光沢をもつ。身体が怪我をしたときにできる瘤を連想してもらいたい。表面は滑らかであるが内側の肉付き部分は微かに凹凸をもち、血痕を残す。鍛造剥片も表裏面を詳細に観察すると、表面は滑らかで裏面に赤錆を残し、微かに凹凸がみられる。ただし鉄塊から延板へと鍛打加工を進行させる過程における初期酸化膜の表面平坦度はあまりなく、母材表面状況に即するものである。

(4) ピッカース断面硬度：Photo.9 の⑧に鍛造剥片内層の硬度測定の圧痕を示す。非晶質部分であるが硬度値は 450Hv であった。ヴスタイト ( $\text{FeO}$ ) に同定される。前述No.10 の白色粒状結晶のヴスタイトに準ずる値であった。

(5) CMA 調査：鉄滓と付着鍛造剥片の 2 種の分析を行った。まず Photo.24 の SE (2 次電子像) には錆化鉄に囲まれた鉄滓部分の調査対象視野を示す。鉱物は大型の不整六角結晶と粒状結晶、これに 5 点の四角から六角形の小型結晶である。前者に白色輝点が集中するのは鉄 (Fe) である。鉱物組成はヴスタイト (Wustite:  $\text{FeO}$ ) かマグнетライト (Magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) が同定される。後者に白色輝点が集中する元素は鉄 (Fe) とアルミニウム (Al) であって、鉱物組成はヘルシナイト (Hercynite:  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) である。なお、鉄滓といえども風化を受けて基地のガラス質成分からは白色輝点が強く検出されるのは珪素 (Si) とアルミニウム (Al) であって、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) などの白色輝点は弱いものだった。また、砂鉄特有成分のチタン (Ti) の含有も殆んどなく、鉄素材の始発原料は鉱石系が推定された。

次は、鍛造剥片の分析結果である。0.3mm 厚みの剥片を対象とした。Photo.25 の SE に示す。剥片は自然風化のため亀裂が走り、外層ヘマタイトは判るが中間層のマグネットイトと内層のヴスタイトの

区別はつけ難い。この内層非晶質の剥片に白色輝点が集中する元素は鉄 (Fe) のみである。前述したように鍛造剥片の被膜構成は、外層ヘマタイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、中間層マグネットイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、内層ヴスタイト ( $\text{FeO}$ ) なので、鉄 (Fe) 以外の元素検出はありえない。なお、亀裂線に珪素 (Si) が現われたのは汚染による侵入であってこれは論外である。

(6) 化学組成分析：Table2 に示す。鉄分がやや低めでガラス分の多い成分系である。全鉄分 (Total Fe) は 40.70% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.11%、酸化第 1 鉄 ( $\text{FeO}$ ) 24.64%、錆化鉄混じりで酸化第 2 鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) が増加気味の 30.65% の割合であった。赤熱鉄素材の酸化防止の粘土汁多用でガラス質成分 ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) も多く 36.79% で、このうちに塩基性成分 ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) を 2.03% を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) は 0.67%、バナジウム (V) 0.005% も高くなく、鉱石系鉄素材の排出滓成分と考えられる。また、酸化マンガン ( $\text{MnO}$ ) 0.10%、銅 (Cu) 0.010% もさほど多くなく、前述No.12 鉄滓に近似する。

### 3-14 試料No.14：三角鉄片

(1) 肉眼観察：供試材は不等辺三角形を呈する小鉄片が 2 点である。10 × 20mm を大、8 × 14mm を小とした。表裏共に赤褐色の錆に覆われて磁性も弱い。

(2) マクロ組織：Photo.12 の⑥：大、⑦：小に示す。断面は大・小試料共に錆化されて鬆となり、前者は中核部の約半分が空洞化する。板厚は 1mm 前後である。僅かに弯曲するのはタガネ切りでの歪の残留であろうか。

(3) 顕微鏡組織：Photo.12 の①：大、②③：小を示す。両方共金属鉄は全く残さず、錆化鉄も遺存度が悪くて組織痕跡までも消滅していた。ただし、材質は錆化鉄の鬆の状態から判断すると塊煉鉄由来の極低炭素鋼の可能性をもつ。

### 3-15 試料No.15：三角鉄片

(1) 肉眼観察：平面がほぼ二等辺三角形を呈する小

鉄片である。錆膨れが大きく前述試料No.14 三角鉄片に比べて若干厚手にみえる。

- (2) マクロ組織：Photo.12 の⑧に示す。全体に錆化が激しくて断面に鬆を残すところも殆んどなく、外周縁部を留めるのみで大きく空洞化する。見掛け上の厚みは大きく感じたが本質はNo.14 三角鉄片と大差ない厚みであった。No.14、No.15 は同一母材からの切片の可能性をもつ。該品も弯曲傾向をもつ。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.12 の④に示す。こちらも外周縁部の僅かに残存した錆化鉄の組織である。ゲーサイト (Goethite :  $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) になり、組織痕跡を留めない。しかし、該品も塊煉鉄由来の極低炭素鋼と想定される。

### 3-16 試料No.16：叉状鉄片

- (1) 肉眼観察：平面が逆V字形を呈する小鉄片である。無茎式の三角形鏃にもみえるが二方に伸びた脚が非対称形であるところからこれも切片であろう。
- (2) マクロ組織：Photo.12 の⑨に示す。断面は全体が鬆状に錆化し、両端は一部空洞化を呈する。該品の弯曲度は大きくタガネ切りの歪の残留とみてよからう。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.12 の⑤に示す。錆化鉄のゲーサイト (Goethite :  $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) であって組織の痕跡は認められない。ただし、淡灰色紡重状異物が点在するのは、非金属介在物のヴァサイトであれば低温固体還元法にもとづく塊煉鉄の可能性が指摘できる。該品も材質は極低炭素鋼の軟質材と想定される。

### 3-17 試料No.17：小鉄片（剥片状）

- (1) 肉眼観察：不定形剥片状の微小鉄片である。3～5mm 平方で極微厚 (0.5mm 以下) の小型品ではあるが錆具合は、左程ひどいものではない。3 片を供試材とした。
- (2) マクロ組織：Photo.13 の①に示す。3 片のうち、最も大きいもの ( $5 \times 6\text{mm}$ ) は錆膨れ片と平坦度を保つ剥片の 2 個に分かれ。両者は微小遺物であり、鬆化した錆化鉄の輪郭は不鮮明である。残る 2 片 (B, C) は鬆状痕跡が長さで 2～3mm が認め

られた。

- (3) 顕微鏡組織：Photo.13 の③～⑤に示す。②はマクロ組織で A をつけた個所の組織である。錆膨れの錆化部分でゲーサイト (Goethite :  $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) となる。③はマクロ組織の B の部分である。これも錆化鉄であって何の痕跡も留めていない。④は C に対応する組織である。これから微小鉄片の厚みが 0.2mm 程度であったと推定される。錆化鉄のゲーサイト以外の情報は採れ難いが、該品は内外層の 2 層に分かれそうにもあるが定かでない。⑤は D に対応する。錆化が激しくて錆化鉄の肉厚は留めず空洞化した輪郭のみを残す結果となった。3 片共に注目したいのは、微小鉄片が酸化土砂に覆われている事である。

### 3-18 試料No.18：小鉄片（粒状）

- (1) 肉眼観察：赤錆に包まれた 2～3mm 径の粒状鉄である。2 点を供試材とした。
- (2) マクロ組織：Photo.13 の⑦に示す。2 点共に楕円状で鬆化した組織が認められる。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.13 の⑥⑦に示す。両者は錆化鉄のゲーサイト (Goethite :  $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) となり組織痕跡は一切読み取れない。ただし、100 倍の倍率から見て該品は 0.3mm 径程度の楕円状の粒鉄で長軸端部は緩く窄まる。鉄器製作の鑿切りの潰れ切片でこれに酸化土砂が纏り付いた遺物であろう。

### 3-19 試料No.19：小鉄片（米粒状）

- (1) 肉眼観察：米粒状ともいえる微小鉄片で 2～3mm  $\Phi \times 5 \sim 9\text{mm}$  サイズの供試材 3 片である。赤錆に覆われるが芯は確りしている。
- (2) マクロ組織：Photo.14 の①に示す。3 片の断面は、いずれも鬆状となり、金属鉄の残留は全くない。なお断面形状は針状の尖りをもち、片側は緩く窄まる。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.14 の②～⑦に示す。いずれも組織は、錆化鉄のゲーサイト (Goethite :  $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) となり組織痕跡は殆んど残さない。しかし、該品らも錆化具合からみて低温固体還元法にもとづく塊煉鉄の極低炭素鋼の類であろう。鑿切りの切り屑に酸化土砂に覆われた微細遺物が想定される。

### 3-20 試料No.20：小鉄片（雲状）

- (1) 肉眼観察：外見上は僅かに湾曲しながら滴下気味で尾を引くといった雲状鉄片（3mm Φ × 13mm 長さ）である。
- (2) マクロ組織：Photo.14 の⑦に示す。断面は、錆化鉄で全体に鬆をもつ鉄片である。加熱による酸化鉄でなく、鉄が大気中で錆化した組織である。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.14 の⑧に示す。組織は錆化鉄のゲーサイト（Goethite： $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ）で腐食が激しく鬆化した残存部においても点蝕が生じている。針状製品でも製作中に派生したのであろうか。もしくはやはり鑿切りの切り屑の可能性も看過できない。

### 3-21 試料No.21：小鉄片（湾曲3連状）

- (1) 肉眼観察：針金状の鉄線がつの字状に残された感じの遺物である。3mm Φ × 10mm サイズ。
- (2) マクロ組織：Photo.15 の①に示す。断面は3個の米粒状鉄片が連結する。ただし、各鉄粒は輪郭のみを残して内側中身は腐食消滅して空洞化している。
- (3) 顕微鏡観察：Photo.15 の①～③に示す。3連の鉄粒は各1視野ごとに提示した。いずれも錆化鉄のゲーサイト（Goethite： $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ）となり、木質汚染物質と共に存した状態であった。木質は木炭の可能性をもつ。切り屑の酸化土砂覆われ遺物にも考えられる。

### 3-22 試料No.22：小鉄片（釣針状）

- (1) 肉眼観察：2mm Φ径の針金状の素材が釣針状に曲げかかった中途で放置された感じの遺物である。長さは2cm前後であろう。
- (2) マクロ組織：Photo.15 の⑤に示す。該品も輪郭のみを残して空洞化した錆化鉄である。
- (3) 顕微鏡組織：Photo.15 の⑥～⑩に示す。組織は錆化鉄のゲーサイト（Goethite： $\alpha - \text{FeO} \cdot \text{OH}$ ）である。白色不定形点状個所は金属鉄の趣を呈するがナイトルエッチでも変化がなく擬似金属鉄であって、やはり錆化鉄である。なお組織痕跡には、鍛打時の加工跡らしき流れ模様もみられるが、引抜き加

工を全面否定するまでのものでもない。切り屑か。

## 4まとめ

弥生時代の鍛冶作業の実態は不鮮明な点が多い。例えば、鍛冶原料鉄の存在、その形状、そして材質の問題である。今回、二子塚遺跡において不明鉄器と称する鉄板片は板状素材の半製品の可能性が指摘できた。

第1に形状である。4cm幅で厚み2mmを計り、長さは使用端切れで不明であるが幅の3倍以上が想定される。このような例から板状鉄素材の在り様を想定することができよう。今後の出土例の増加に期待するところである。

第2に材質の問題がある。薄板は極低炭素鋼（0.1%以下の軟質材）を充當し、薄板成形後に焼きならし（Normalizing）を施して鋼の組織を常態化するために変態点（二子塚試料は800～850°C）以上の適当な温度に加熱して大気中で放冷する操作がとられている妻木晚田遺跡出土品も同様に焼きならし処理が確認された。

板状素材の薄手材は、タガネ切り加工を前提とした半製品であって、小物鉄製品（例えば小型袋状鉄斧：鉗、摘鎌、無茎鎌など）へと繋がってゆく。それに対して厚板状素材は板状鉄斧など強度の要求される大型鉄製品への対応となろう。これらの用途に応じて機械的性質の向上を図った熱処理が施されてあるのも特徴である（炭化物の球状化を図り韌性（粘りと強さ）の強化）。

次に、出土鉄滓と鍛冶作業の関係を追及する問題がある。鍛冶には荒鉄（製錬生成鉄で、表皮スラグや捲込みスラグ、さらには炉材粘土など不純物を含む原料鉄：鉄塊系遺物）の不純物除去と成分調整を目的とした精錬鍛冶があり、その後続作業として、純度の上がった鉄素材から繰返し折り曲げ鍛接の高温から低温素延べ・火造りの作業で製品化に繋がる鍛錬鍛冶がある。今回、二子塚遺跡出土鉄滓を4点調査したが、それらは鍛錬鍛冶に関する作業で排出された滓に分類された。ただし、これも原料鉄の純度の違いや作業条件により鉱物組成や化学組成が微妙に変動する。試料No.10、No.11と、No.12、No.13は鉱物組成と脈石成分（Ti、V、MnO、CaO+MgO）に差異をもち2群に分けられる。前者は高温沸し、後者は低温素延べ、火

試料 NO.	種別	＊＊＊＊＊									
		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)
1 鉄斧刃	60.92	0.13	14.26	71.07	2.98	1.35	0.15	0.09	0.085	0.065	0.01
9 不明鉄器	60.25	0.15	15.27	68.96	3.77	1.34	0.15	0.10	0.080	0.060	0.02
10 鉄滓	58.57	0.51	54.17	22.81	11.67	4.22	1.31	0.45	1.095	0.185	0.08
11 鉄滓	60.59	0.11	52.44	28.19	9.94	3.22	1.27	0.49	0.540	0.096	0.05
12 鉄滓	48.04	0.12	48.34	14.84	21.60	8.30	1.47	0.77	0.560	0.255	0.12
13 鉄滓	40.70	0.11	24.64	30.65	26.11	8.65	1.22	0.81	1.425	0.435	0.10

Σ *											
試料 NO.	種別	二酸化 チタン (TiO <sub>2</sub> )	バナジウム (V)	銅 (Cu)	五酸化磷 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	酸化 クロム (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	炭素 (C)	硫黄 (S)	造滓成分	造滓成分 Total Fe	TiO <sub>2</sub> Total Fe
1 鉄斧刃	0.16	0.004	0.005	0.105	0.028	0.26	0.264	4.72	0.078	0.002	
9 不明鉄器	0.13	0.002	0.005	0.133	0.027	0.48	0.220	5.50	0.091	0.001	
10 鉄滓	0.39	0.011	0.010	0.347	0.016	0.11	0.055	17.65	0.301	0.007	
11 鉄滓	0.25	0.006	0.020	0.311	0.076	0.16	0.048	14.92	0.246	0.004	
12 鉄滓	0.82	0.008	0.005	0.509	0.022	0.16	0.029	32.14	0.669	0.017	
13 鉄滓	0.67	0.005	0.010	0.267	0.021	0.29	0.089	36.79	0.904	0.017	

Table2 鉄製品・鉄滓の化学組成（酸化物定量）

造りとなる。ここでSB256遺構での鉄滓（No.13）を生じせしめた鉄素材は板状半製品相当であろう。鉄滓の鉱物組成は低温晶出のファヤライトとガラスから800～900℃の温度設定が推測される。鉄の加熱酸化目減りを配慮して粘土汁塗布の作業が想定できる。

一方、前述したNo.13鉄滓には、鍛打作業を実証する微細遺物としての粒状滓と鍛造剥片が付着する。この遺物は赤熱鉄素材の表面から剥落した鉄の酸化物である。鉱物組成は、ヘマタイト（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、マグнетサイト（Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>）、ヴスタイト（FeO）などで構成されて570～1457℃の熱履歴をもっている。この微細遺物の存在と鉄滓の組み合わせがあれば鍛冶作業での「沸し」「素延ベ・火造り」の鍛打が実証される。なお、鍛打作業がなくて曲げ加工のための炙り曲げ加工においても酸化膜は発生する。ただし、こちらでは粒状滓の核となる突起個所をもたないので粒状滓の派生は少なかろう。

二子塚遺跡の鍛冶は、半製品のタガネ切り主体の原始鍛冶と、一部鉄滓と微細遺物を発生させるやや進展した鍛冶があったと推定される。ただし、荒鉄を処理する本格的鍛冶操業はなかった。また、原始鍛冶も弥生時代中期後半から末期に属する京都府所在の奈良岡遺跡や福岡県赤井手遺跡でみられた中国東北部産の可能性をもつ鑄鉄脱炭鋼高温液体還元法とは異なる鍛冶

原料鉄で塊煉鉄であったことも弥生時代後期の東北アジアの鉄の動向を示唆する。時代の推移で朝鮮半島での鉄生産の興隆もあり、塊煉鉄が生産され、鉄素材となり、日本列島にもたらされたのであろう。

#### 〔引用文献〕

- 日刊工業新聞社 1968『焼結鉱組織写真および識別法』  
日刊工業新聞社  
当刊行物にはヴスタイト（FeO）の硬度値は450～500Hv、マグネットサイト（Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>）500～600Hv、ファヤライト（2FeO・SiO<sub>2</sub>）600～700Hvとある。  
大澤正己 1992「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、千葉県房総風土記の丘  
大澤正己 1991「奈良尾遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『奈良尾遺跡』今宿バイパス関連埋蔵文化財調査報告書13、福岡県教育委員会  
森岡 他 1975「鉄鋼腐食科学」『鉄鋼工学講座』11、朝倉書店

No.1  
鉄斧刃

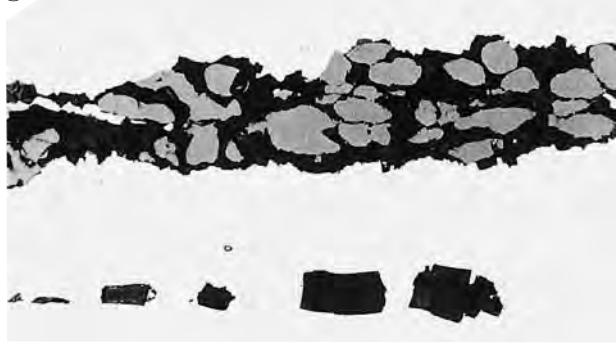
- ①×14 マクロ組織  
②×100 ③×400  
no etch 非金属介在物  
④⑤×200 硬度圧痕  
④パーライト・フェライト128Hv  
⑤フェライト 106Hv



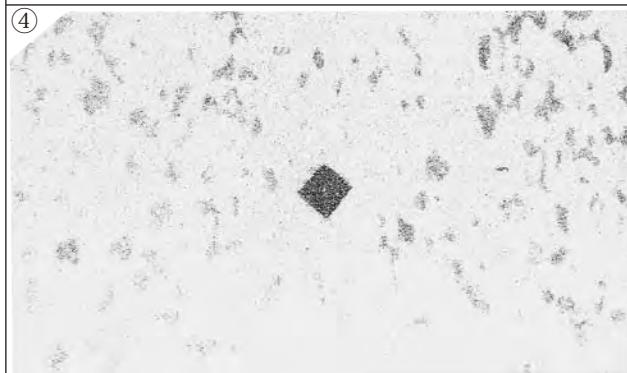
②



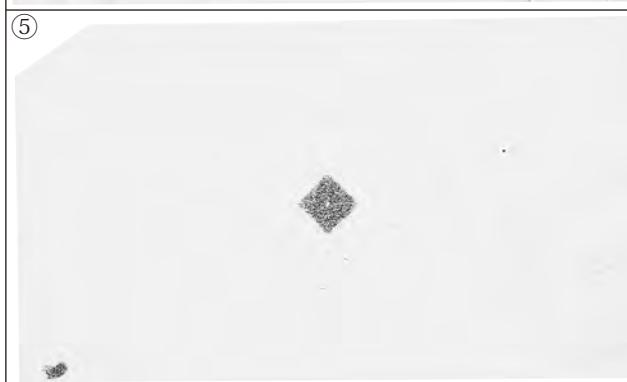
③



④



⑤



①

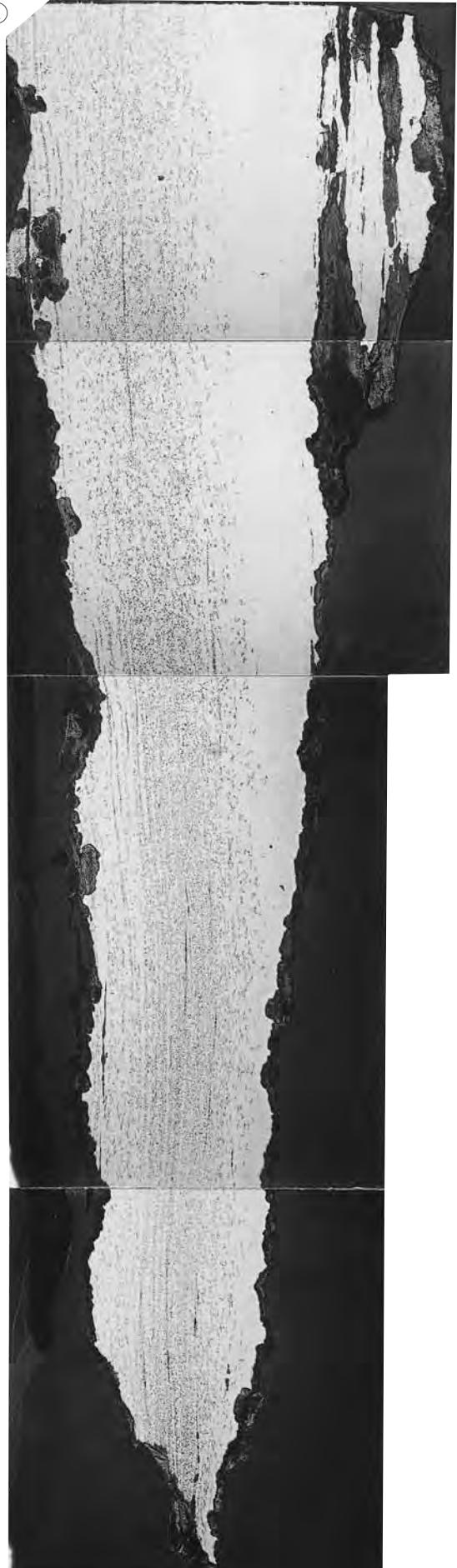


Photo.1 鉄斧刃のマクロ・顕微鏡組織

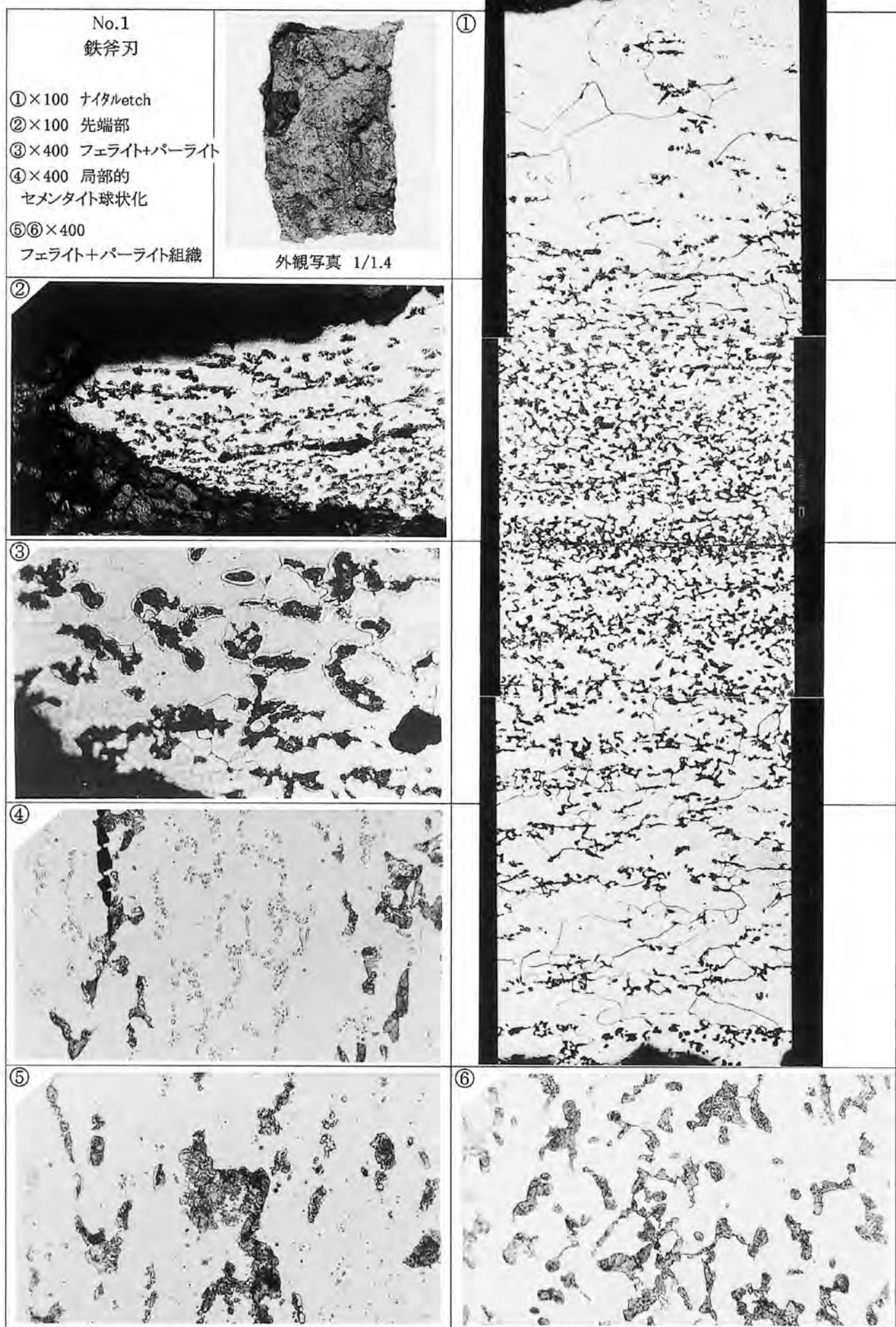


Photo.2 鉄斧刃の顕微鏡組織

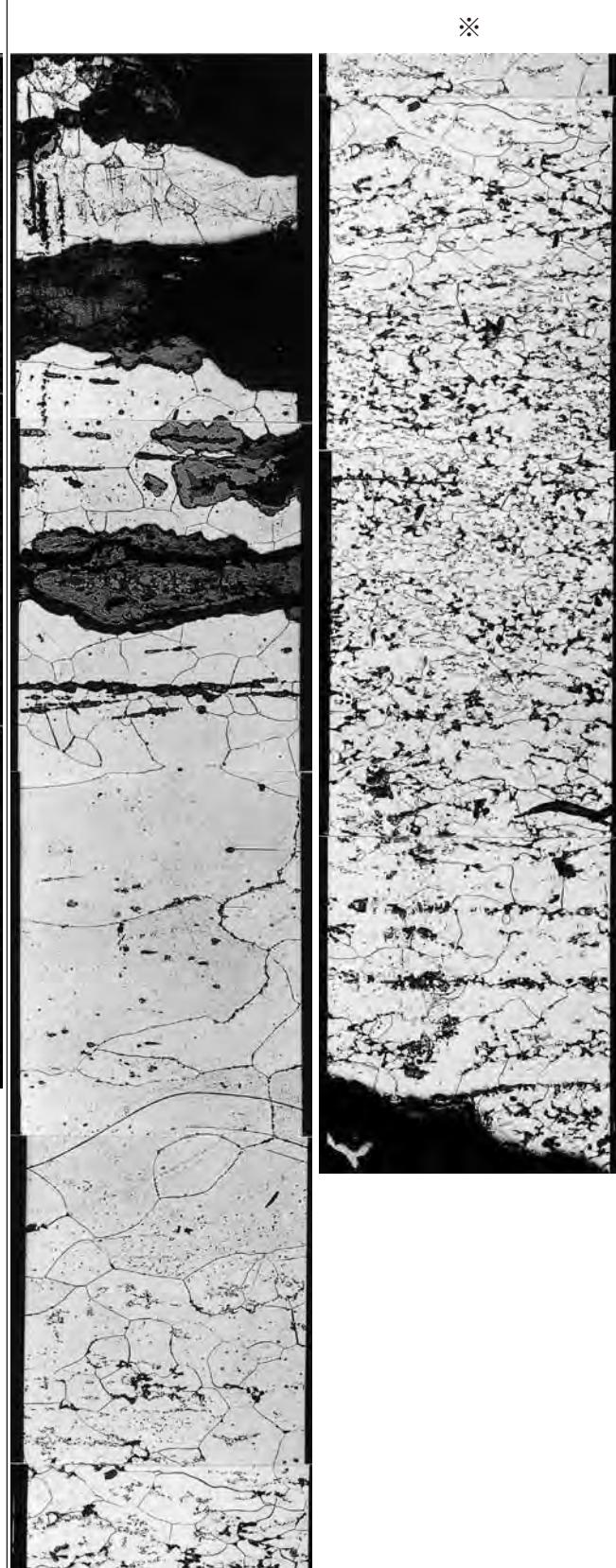
No.1 鉄斧刃

① ピクリン酸etch ×70 パーライト組織



※

② ナイタルetch ×70 フェライト組織



※

Photo.3 鉄斧刃の顕微鏡組織

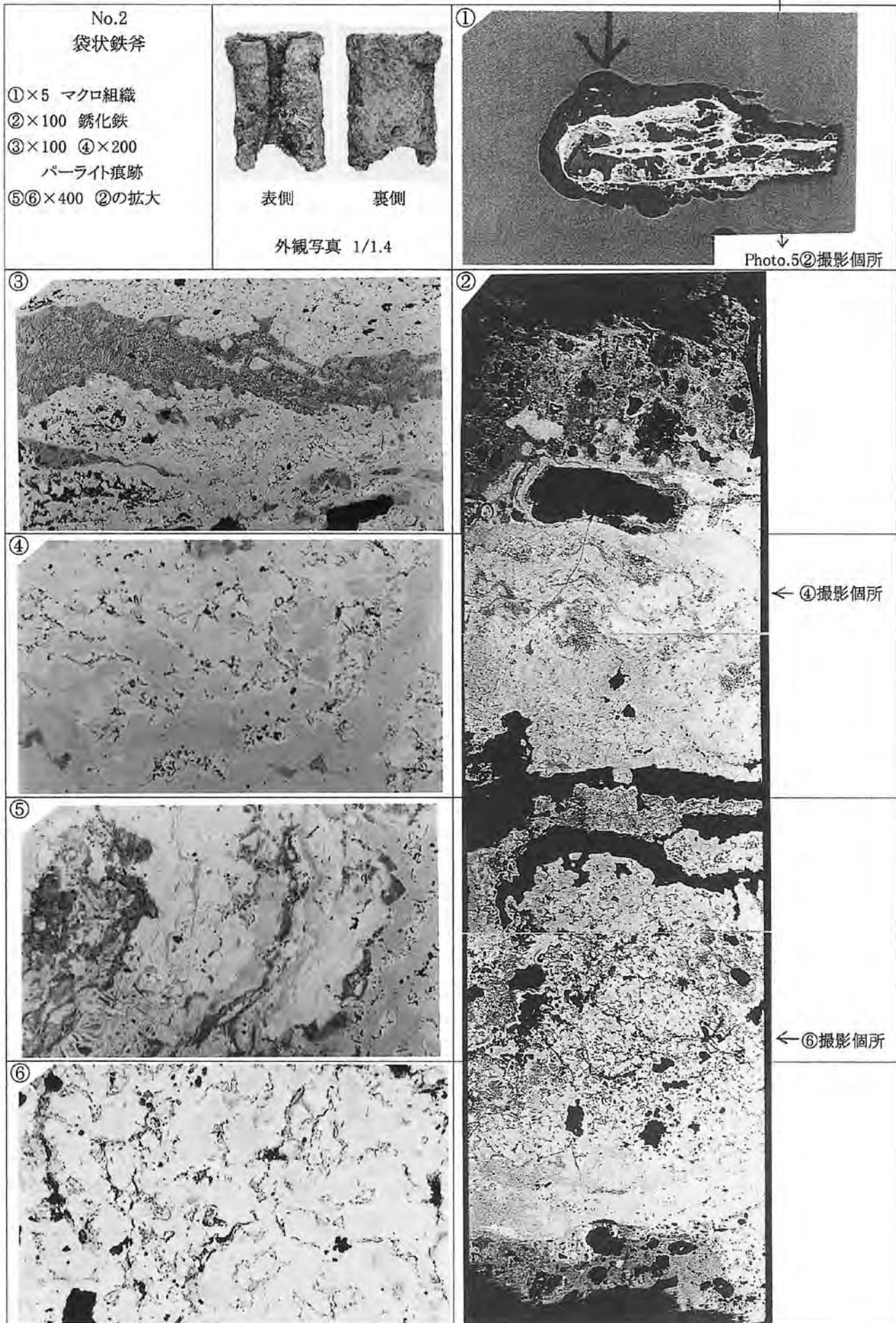


Photo.4 袋状鉄斧の顕微鏡組織

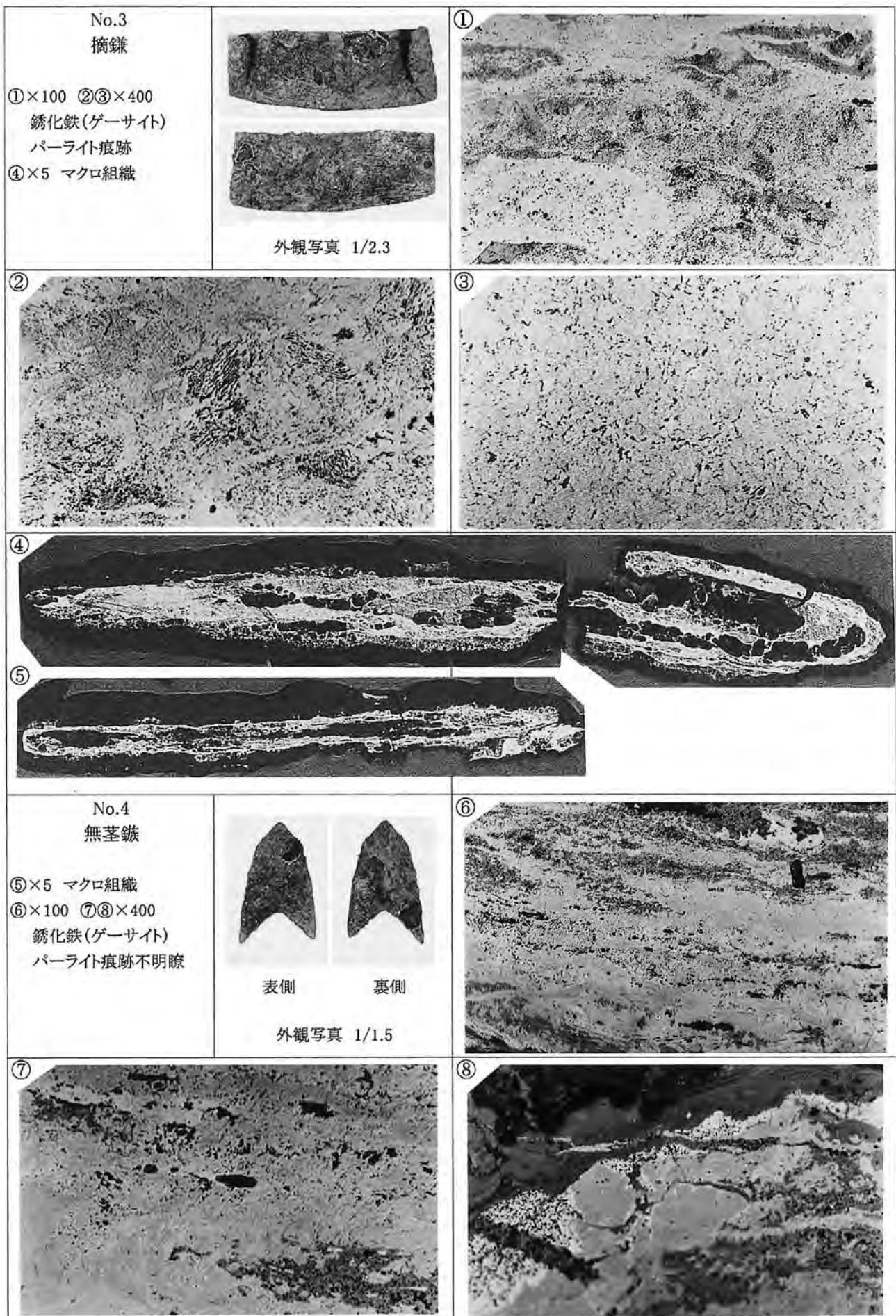


Photo.5 摘鎌と無茎鎌の顕微鏡組織

<p>No.5 無茎鎌</p> <p>①×5 マクロ組織 ④×100 ⑤×400 錆化鉄:グーサイト 紡垂状異物:介在物 ヴスタイト(FeO)</p>	<p>表側 裏側</p> <p>外観写真 1/1.5</p>	<p>④</p>
<p>①</p> <p>②</p> <p>③</p>		<p>⑤</p>
<p>No.6 無茎鎌</p> <p>②×5 マクロ組織 ⑥×100 錆化鉄:グーサイト</p>	<p>表側 裏側</p> <p>外観写真 1/1.5</p>	<p>⑥</p>
<p>No.7 有茎鎌</p> <p>③×5 マクロ組織 ⑦×100 ⑧×400 錆化鉄:グーサイト</p>	<p>表側 裏側</p> <p>外観写真 1/1.4</p>	<p>⑦</p>
		<p>⑧</p>

Photo.6 鉄鎌の顕微鏡組織

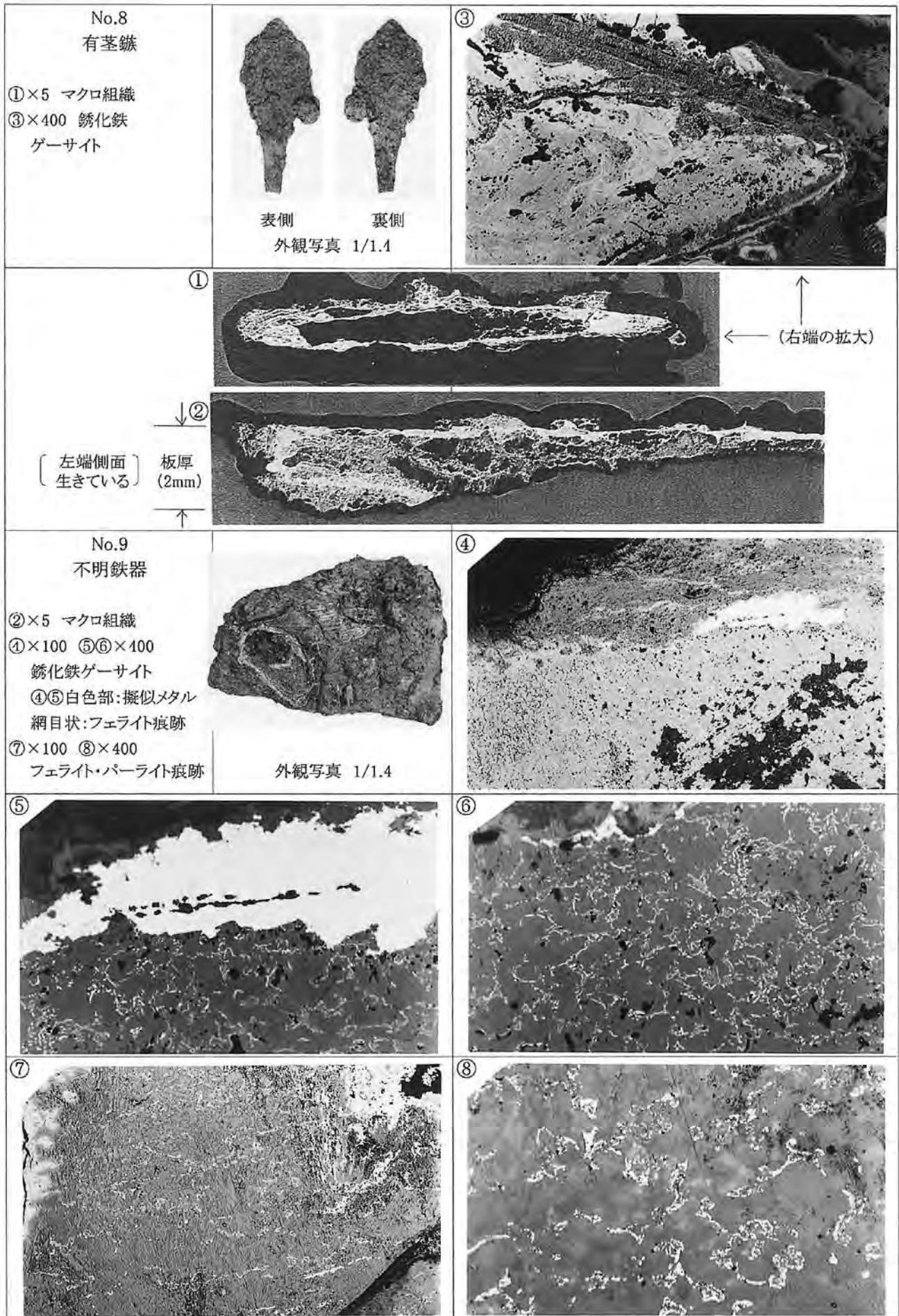


Photo.7 有茎鉄鎌と不明鉄器の顕微鏡組織

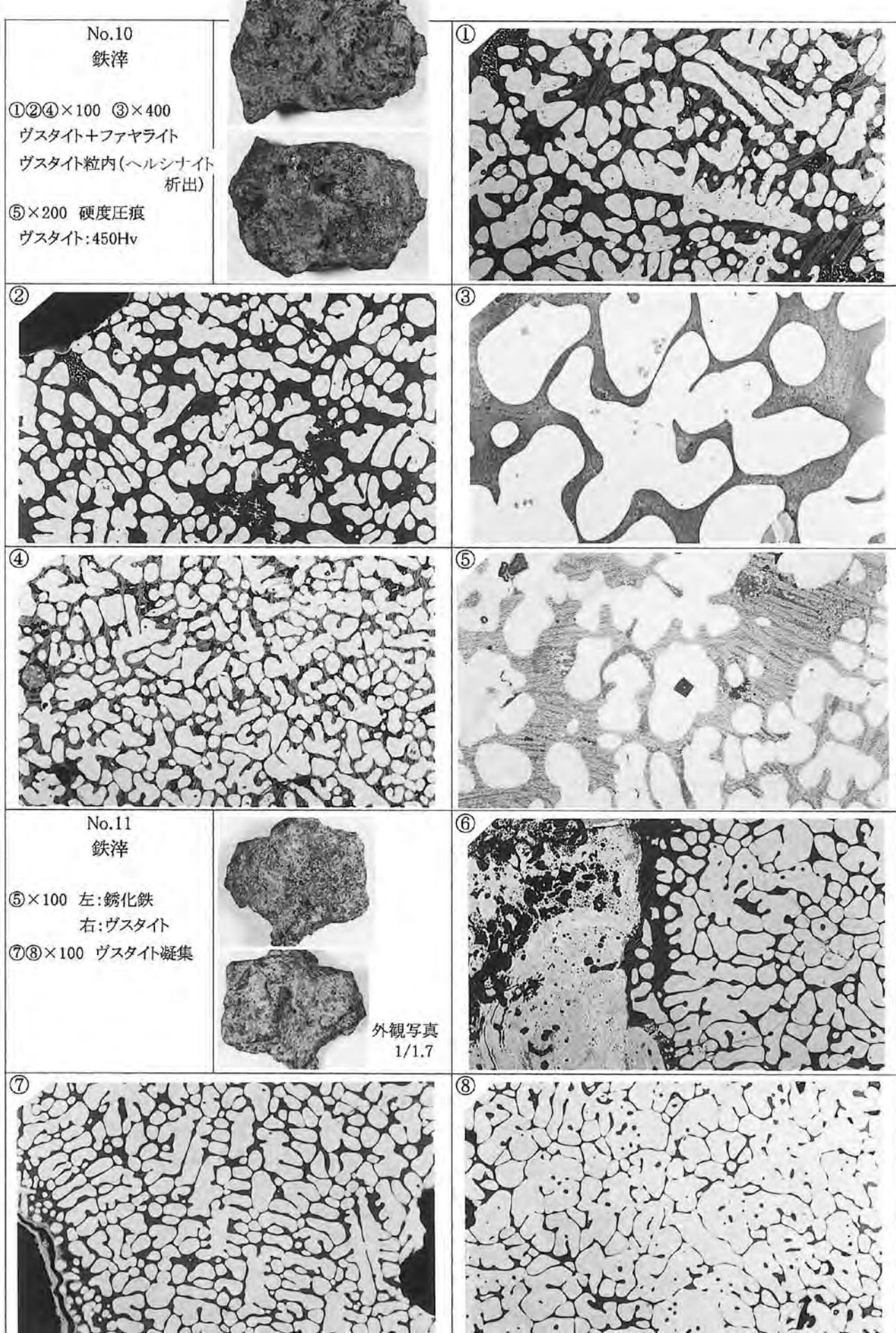


Photo.8 鉄滓の顕微鏡組織

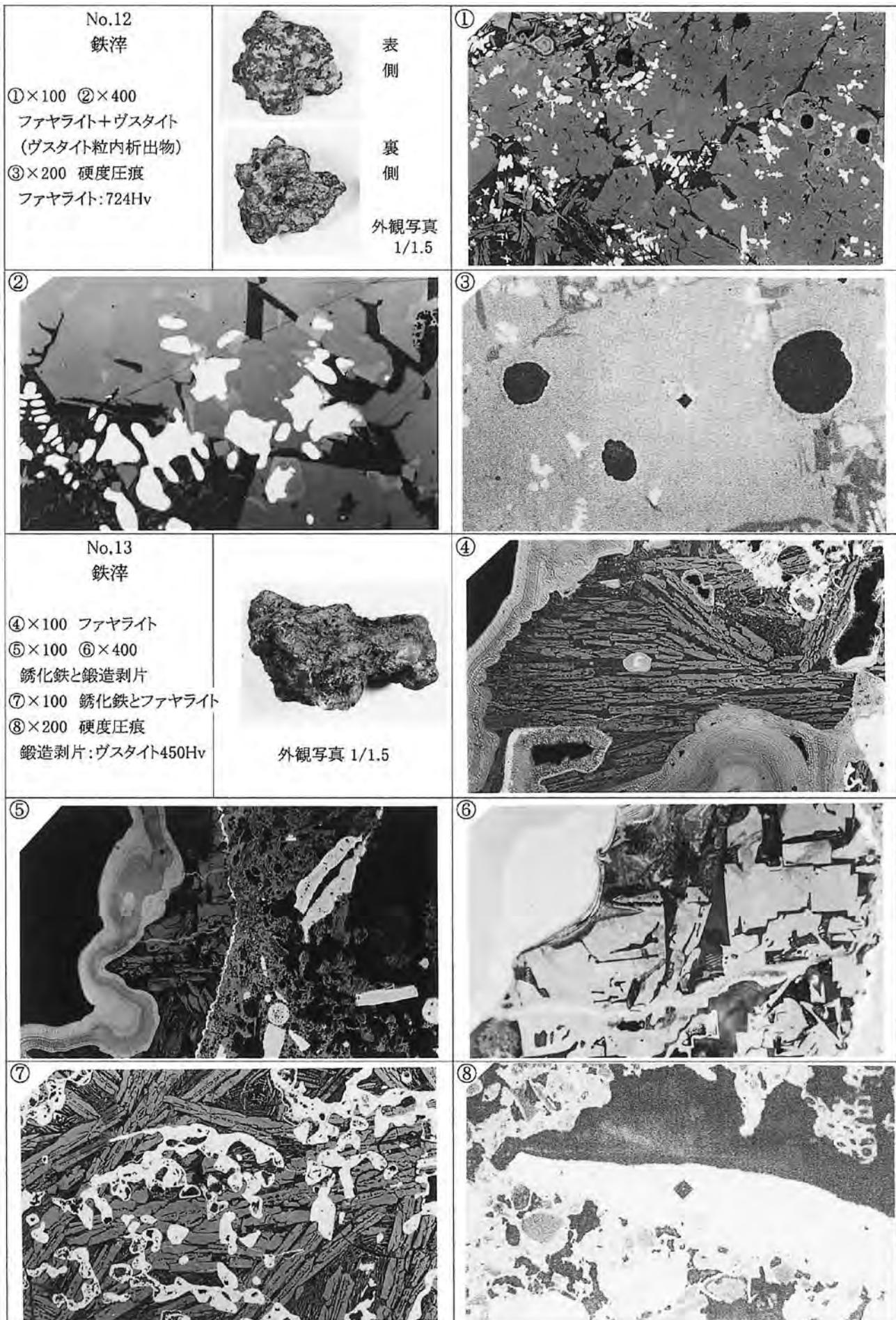


Photo.9 鉄滓の顕微鏡組織

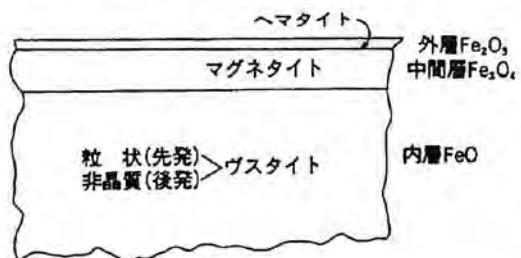
No.13  
鉄滓

- ①×100 鍛造剥片  
②×100 ③×400  
粒状滓  
④⑤×100  
④左:鍛造剥片  
右:鉄滓組織

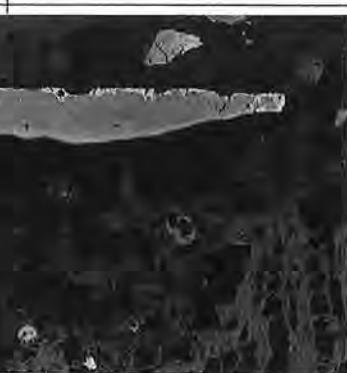
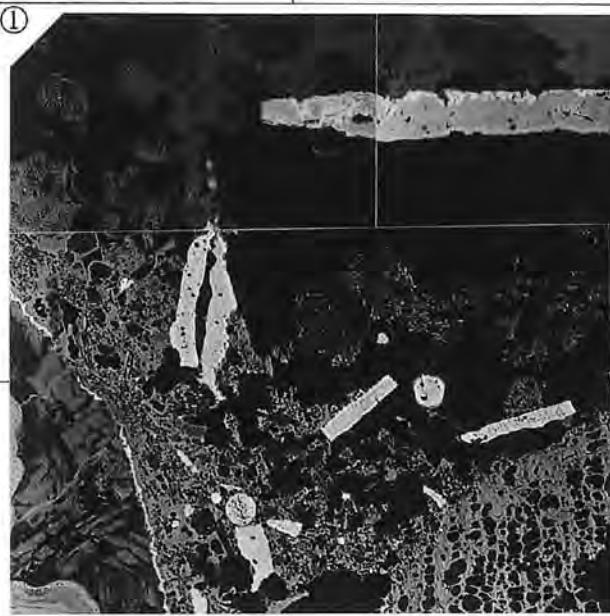


外観写真 1/1.5

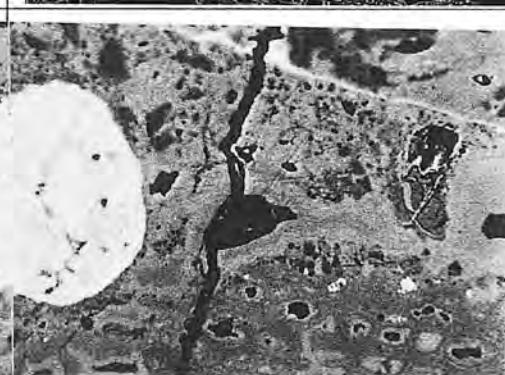
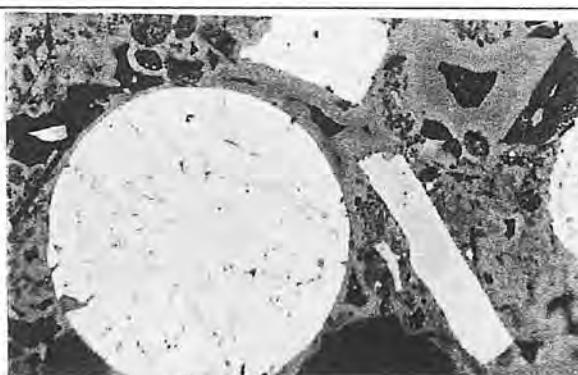
鍛造剥片 3 層分離型模式図



①



③

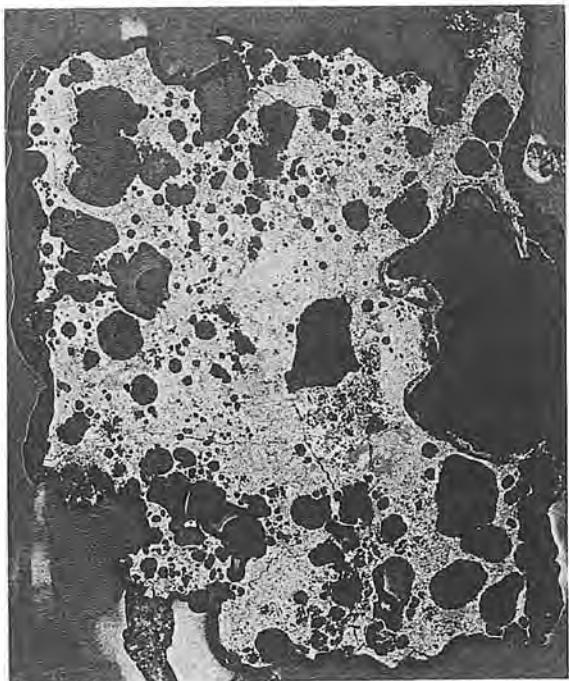


④

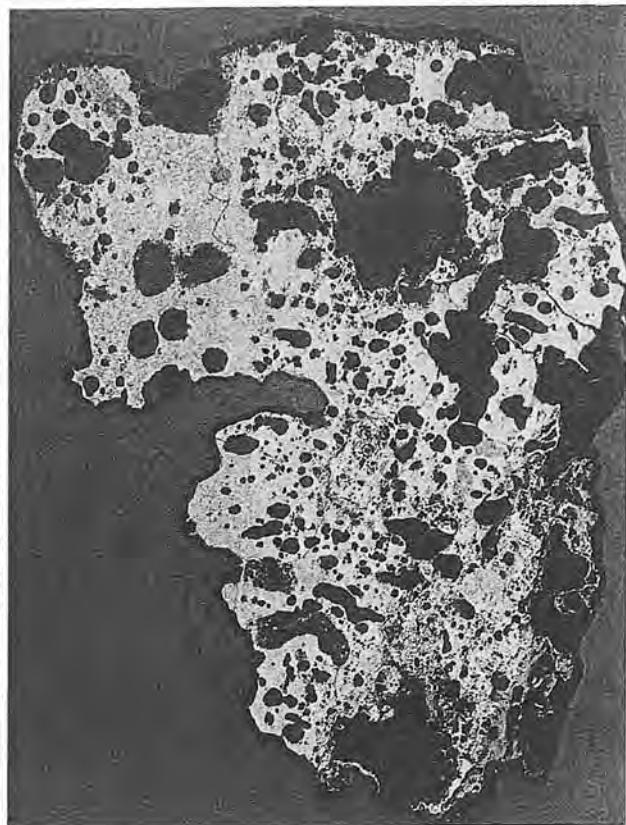


Photo.10 鉄滓付着粒状滓と鍛造剥片の顕微鏡組織

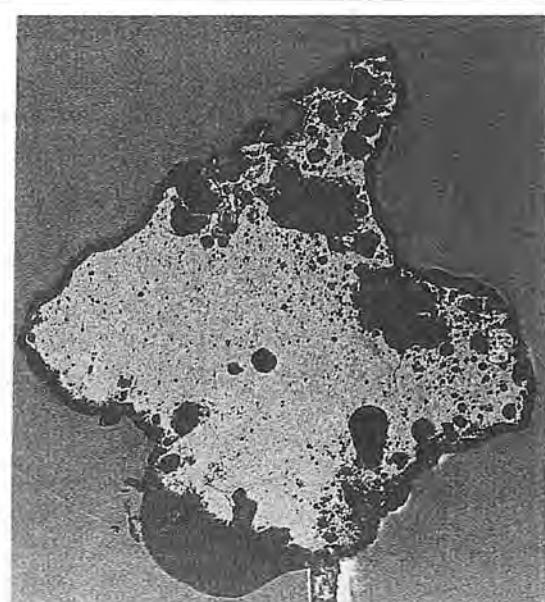
No.10



No.11



No.12



No.13

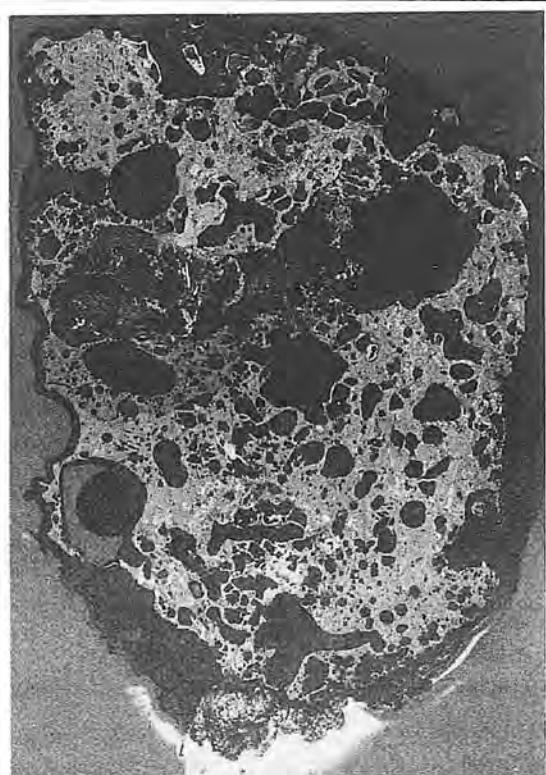


Photo.11 二子塚遺跡出土鍛冶滓のマクロ組織 ( $\times 5$ )

<p>No.14 三角鉄片 (大・小2点あり)</p> <p>⑥⑦×5 マクロ組織 ①×100 :大試料 ②×100 ③×400 (小試料) 大・小共に錆化鉄 組織痕跡消滅</p>	<p>表側 裏側</p> <p>外観写真 1/1.4</p>	<p>①</p>
<p>②</p>	<p>③</p>	
<p>No.15 三角鉄片</p> <p>⑧×5 マクロ組織 ④×100 錆化鉄</p>	<p>表側 裏側</p> <p>外観写真 1/1.4</p>	<p>④</p>
<p>No.16 叉状鉄片</p> <p>⑨×5 マクロ組織 ⑤×100 錆化鉄</p>	<p>表側 裏側</p> <p>外観写真 1/1.4</p>	<p>⑤</p>
<p>⑥</p>	<p>⑦</p>	<p>⑧</p> <p>⑨</p>

Photo.12 三角鉄片と叉状鉄片の顕微鏡組織

No.17  
小鉄片(剥片状)  
(供試材3片)

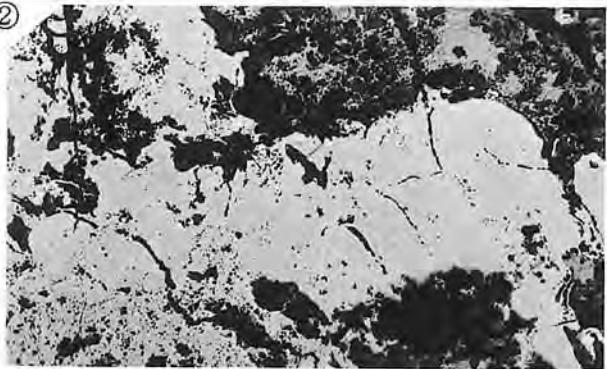
- ①×5 マクロ組織  
②③×100 マクロ:A、B  
④×100 マクロ:C  
⑤×100 マクロ:D  
鉄化鉄ゲーサイト  
(組織痕跡なし)

外観写真 1/1.4

①



②



③



④



⑤

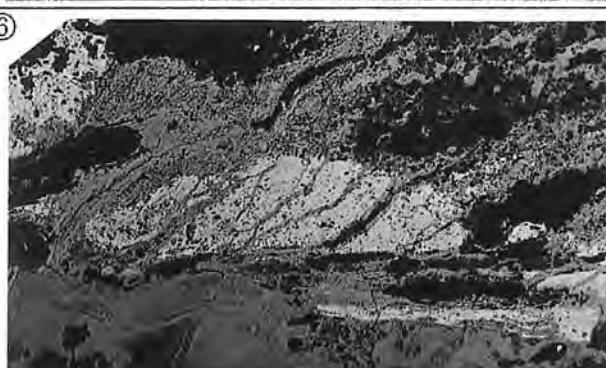


No.18  
小鉄片(粒状)  
(供試材2片)

- ⑥⑦×5 マクロ組織  
⑥⑦×100 鉄化鉄  
ゲーサイト( $\alpha$ -FeO·OH)

外観写真 1/1.4

⑥



⑦



⑧

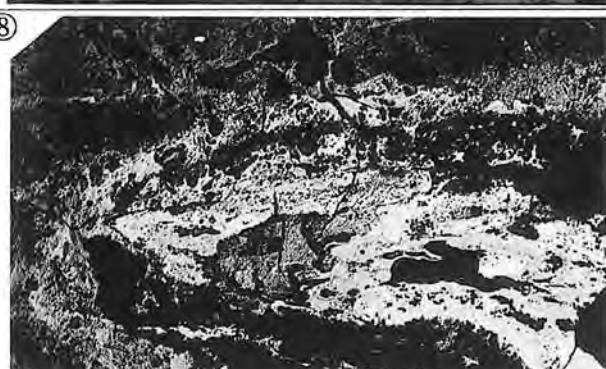
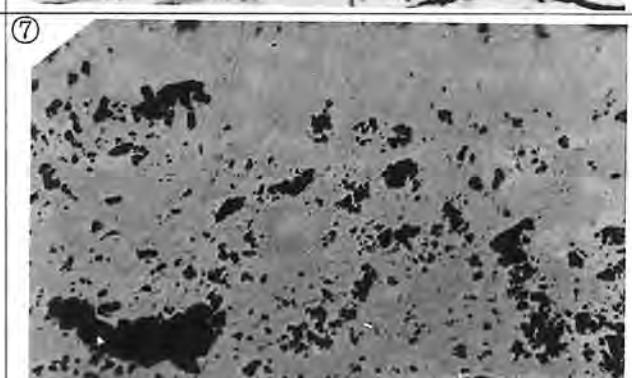
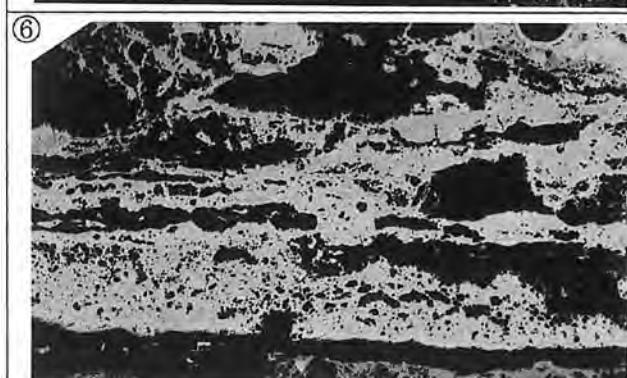
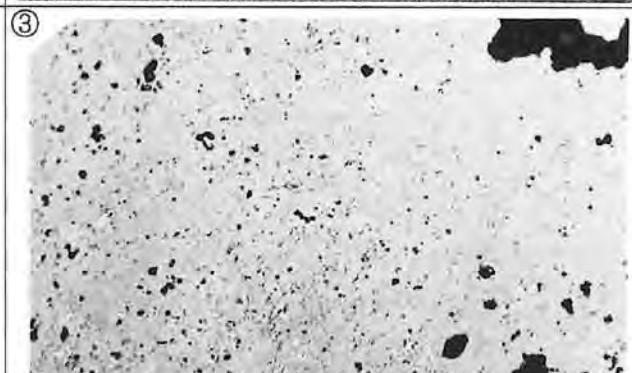
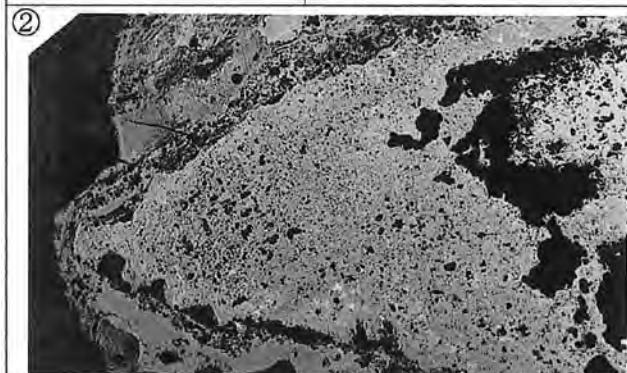
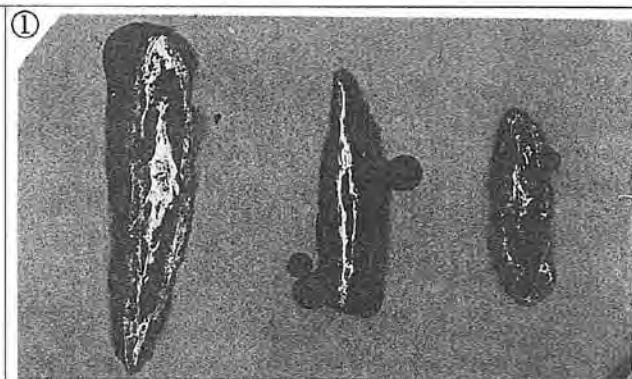


Photo.13 小鉄片の顕微鏡組織

No.19  
小鉄片(米粒状)  
(供試材3片)

①×5 マクロ組織  
②×100 ③×400 :左  
④×100 ⑤×400 :中  
⑥×100 ⑦×400 :右  
錆化鉄(ゲーサイト)

外観写真 1/1.4



No.20  
小鉄片(零状)

⑧×5 マクロ組織  
⑨×100  
錆化鉄ゲーサイト

外観写真  
1/1.4

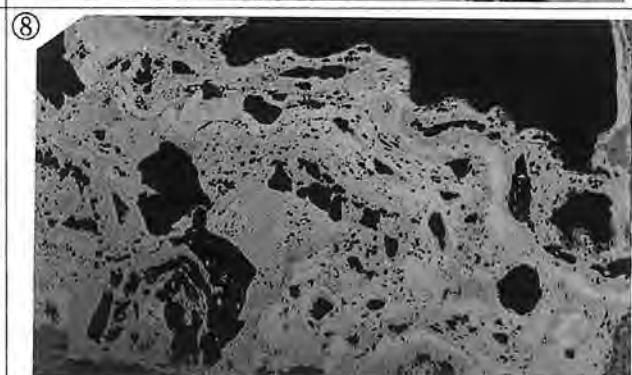


Photo.14 小鉄片の顕微鏡組織

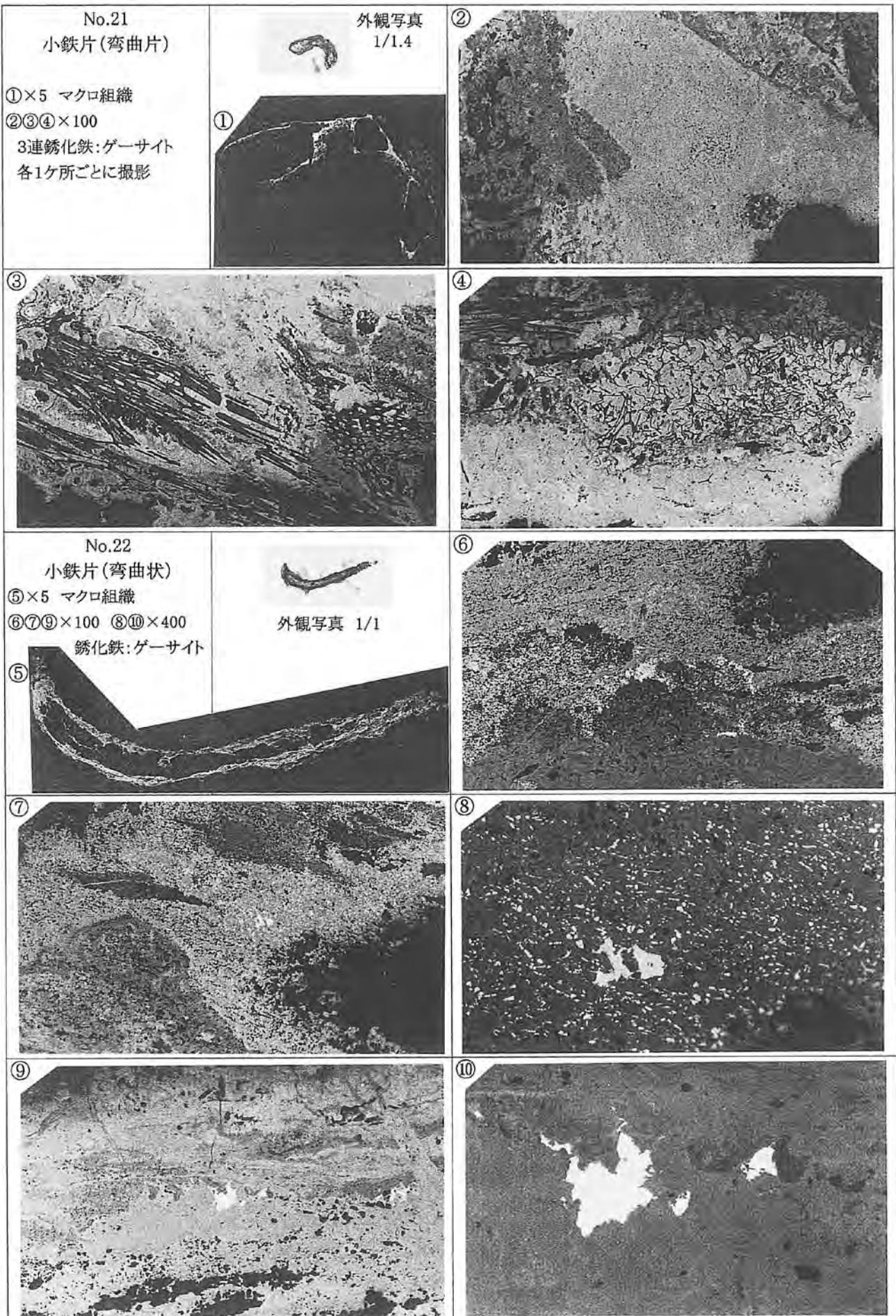
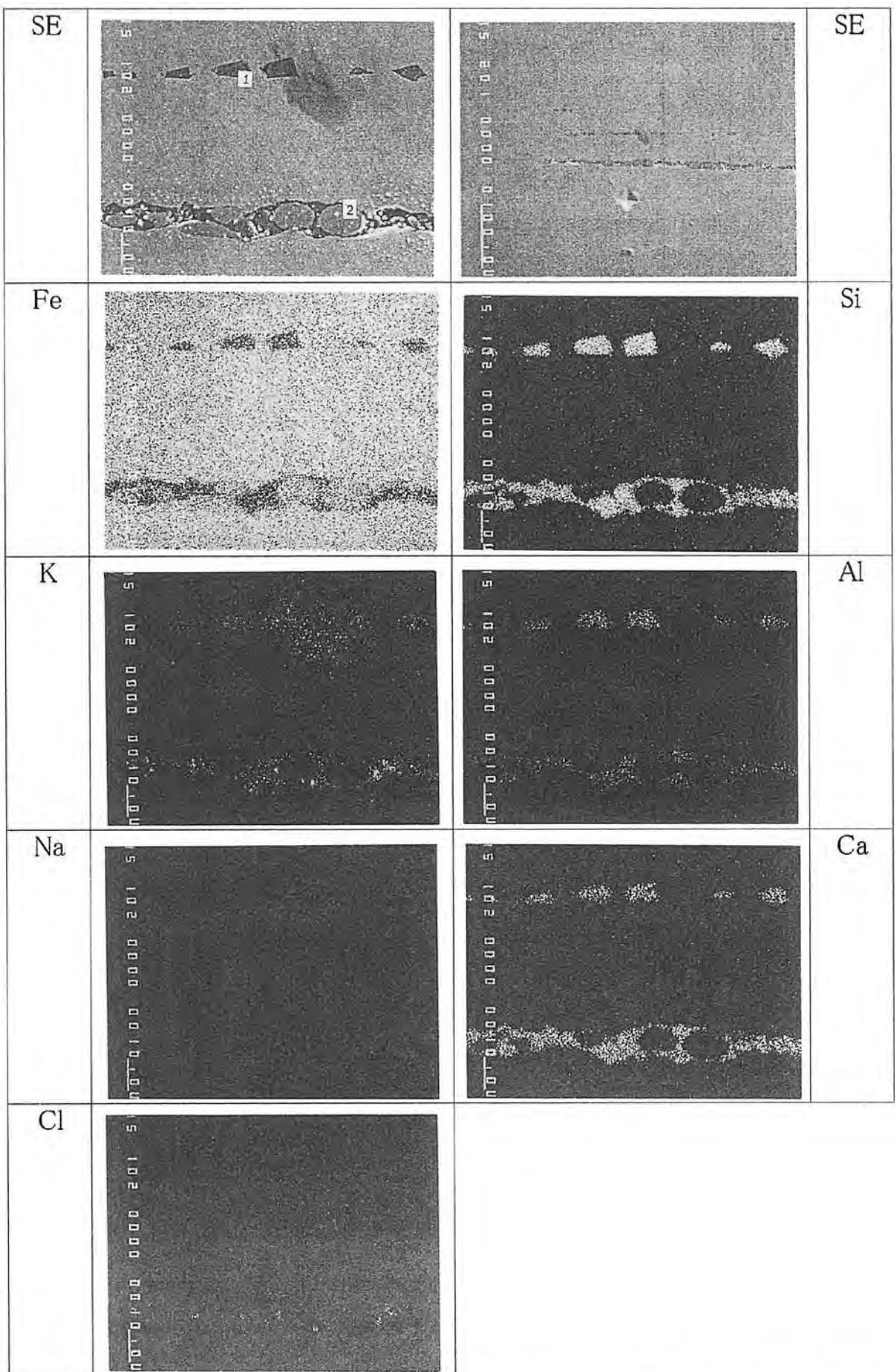


Photo.15 小鉄片の顕微鏡組織



	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	F	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	MgO	S	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
1	41.056	12.398	38.035	0.000	6.261	2.647	0.134	2.823	0.160	0.536	0.158	0.259	0.000	104.467
2	0.114	0.000	98.776	0.149	0.266	0.092	0.010	0.514	0.023	0.192	0.000	0.011	0.000	100.085

Photo.16 二子塚遺跡出土鉄斧刃部片(No.1)鉄中の非金属介在物の特性X線像と定量分析値

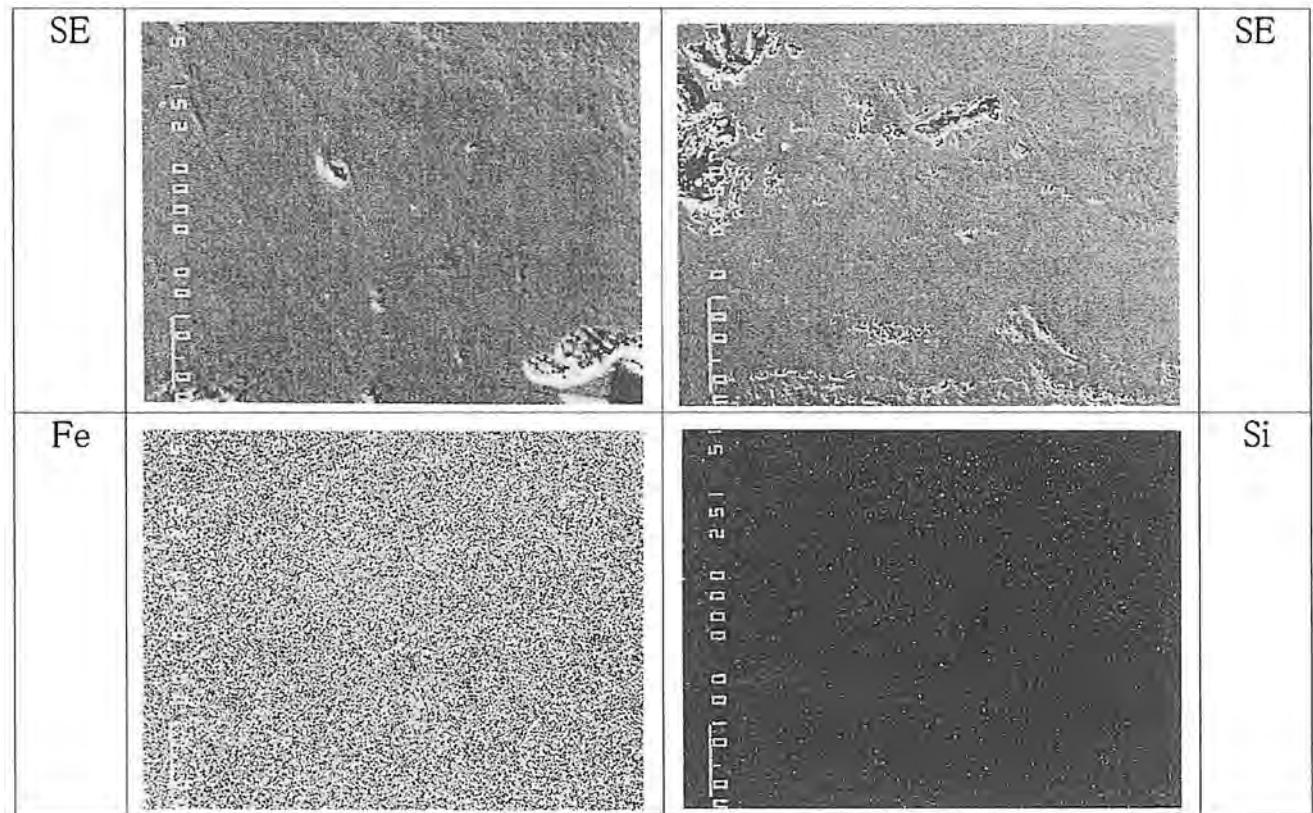


Photo.17 袋状鉄斧 (No.2) の特性X線像

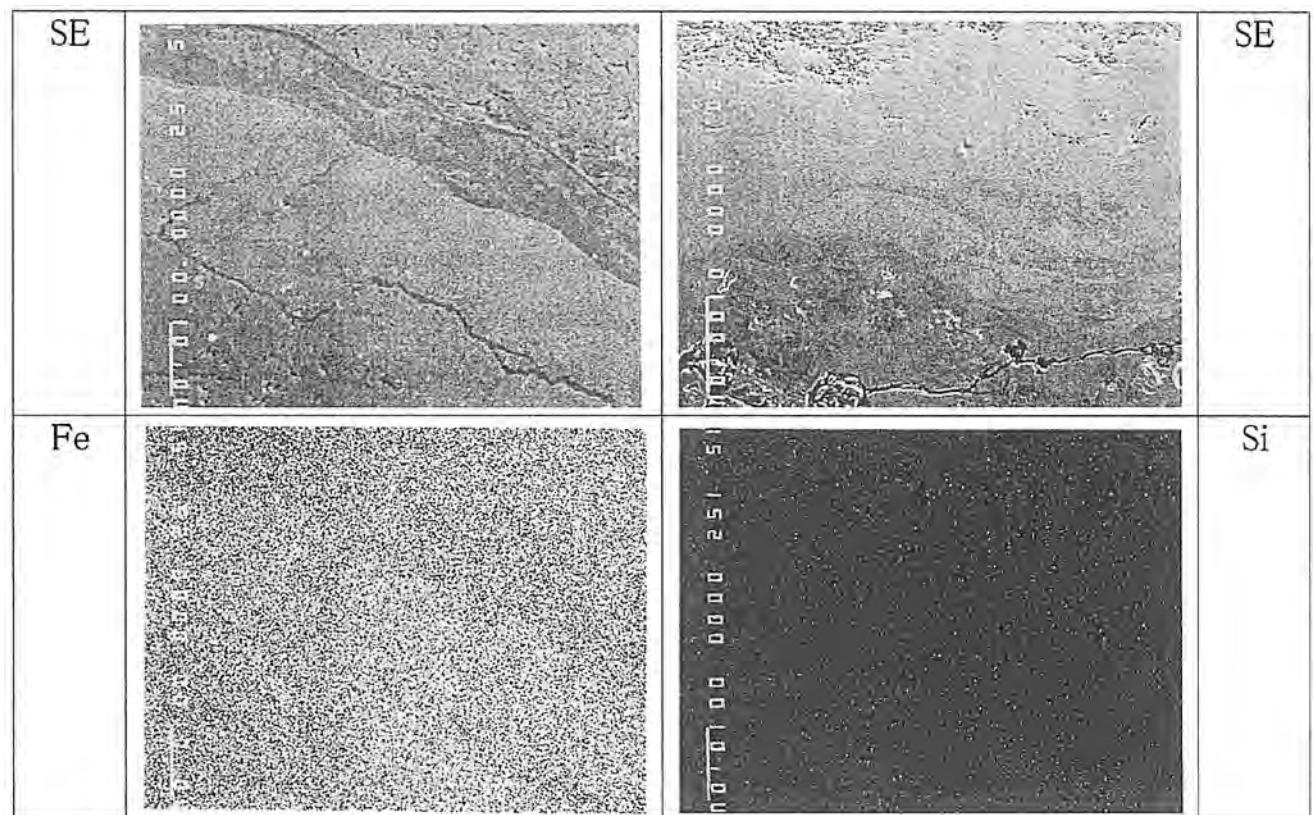


Photo.18 無茎鎌 (No.4) の特性X線像

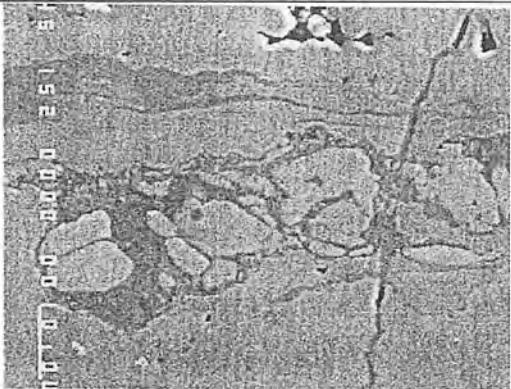
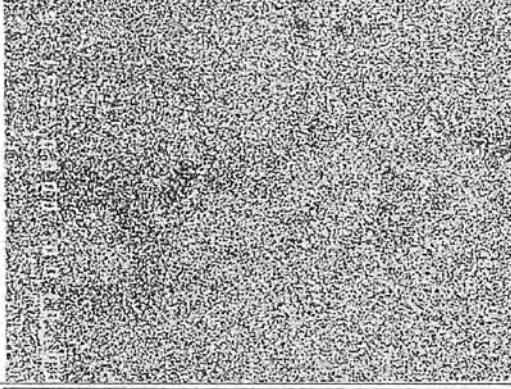
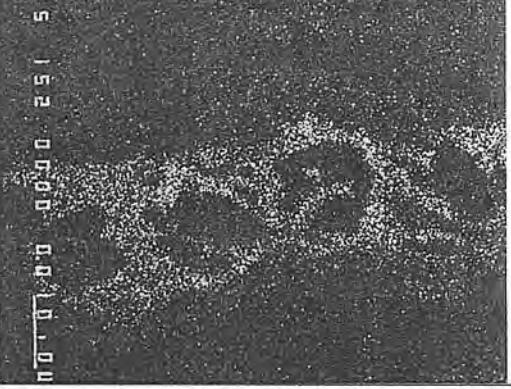
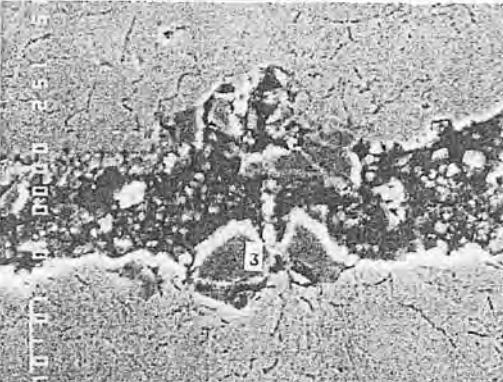
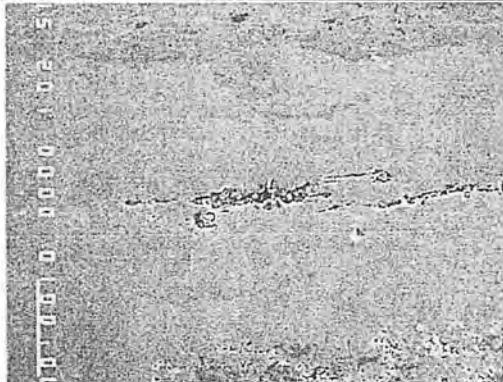
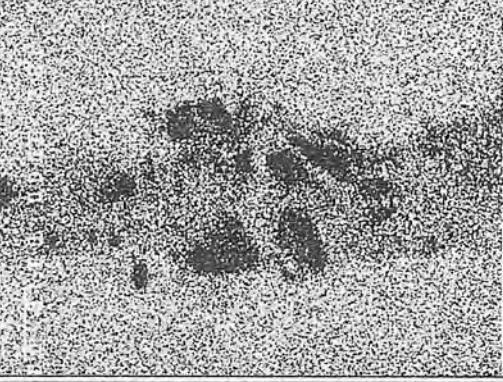
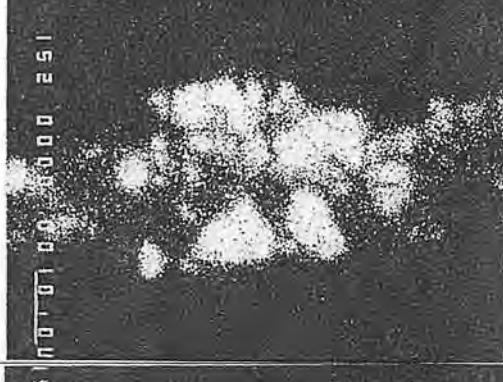
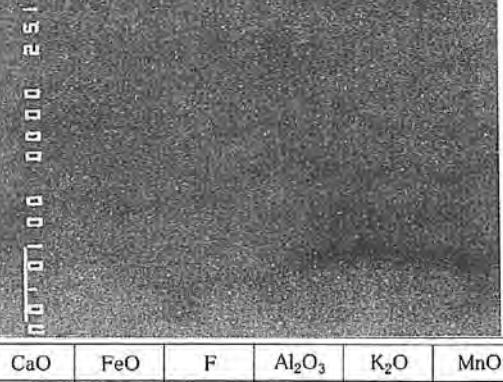
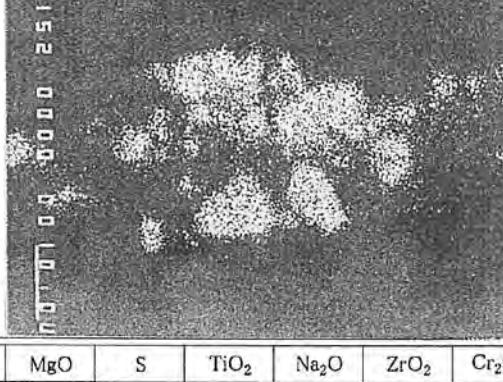
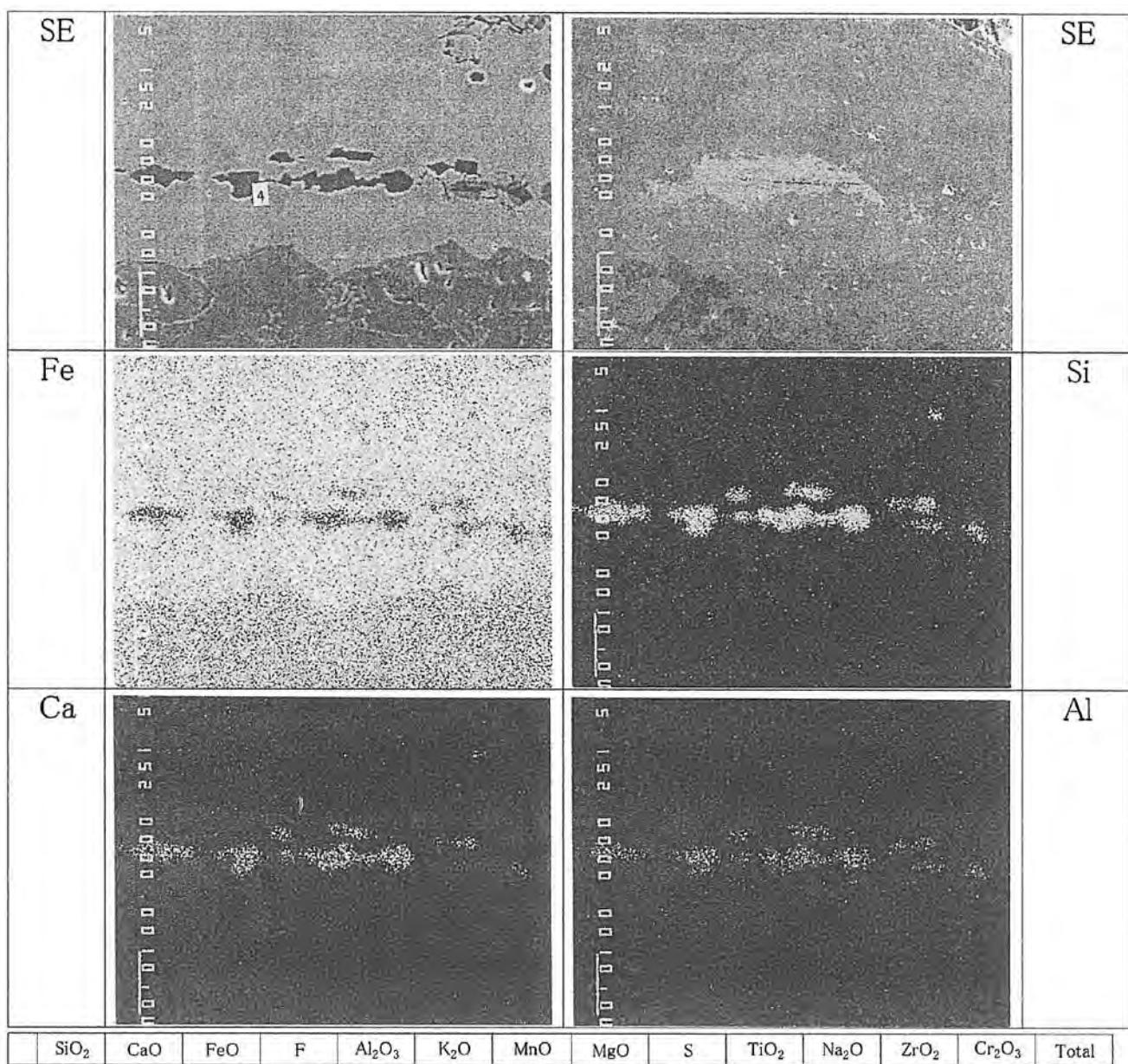
SE			SE
Fe			Si
K			Al
Mg			Ca

Photo.19 無茎鐵(No.5) 鉄中非金属介在物の特性X線像

SE			SE
Fe			Si
Ti			Al
P			Ca
S			Mg

	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	F	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	MgO	S	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
3	0.258	0.004	8.976	0.064	66.026	0.000	1.234	24.660	0.019	0.721	0.059	0.130	0.351	102.475

Photo.20 有茎鐵(No.7) 鉄中非金属介在物の特性X線像と定量分析値



	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	F	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	MgO	S	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
4	33.950	14.292	36.307	0.000	7.115	1.328	0.303	2.714	0.181	0.701	0.031	0.011	0.000	96.933

Photo.21 不明鉄器(No.9)鉄中非金属介在物の特性X線像と定量分析値

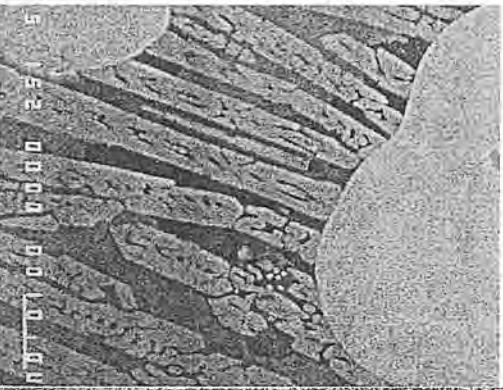
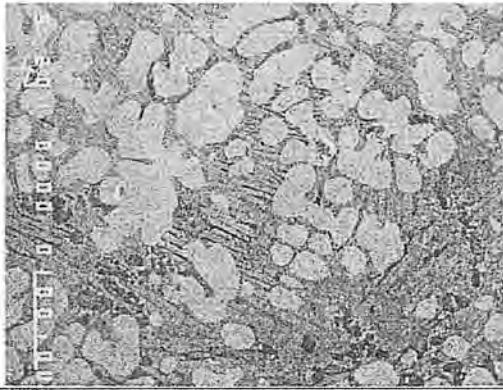
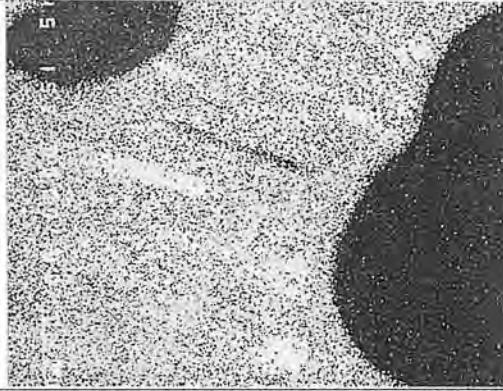
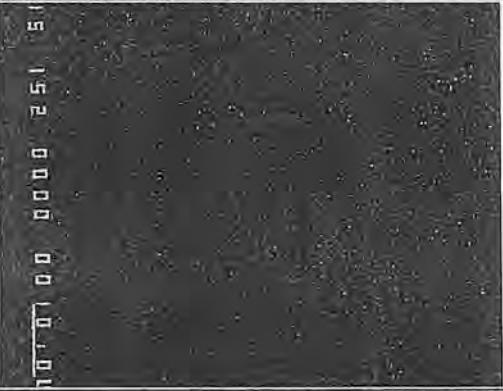
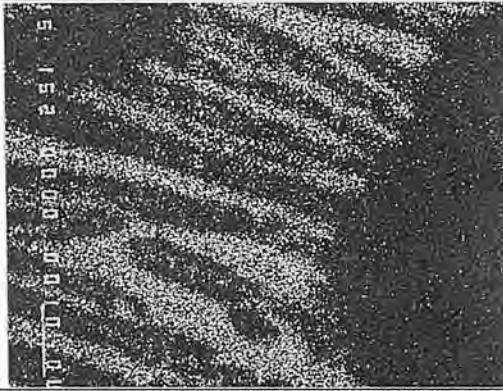
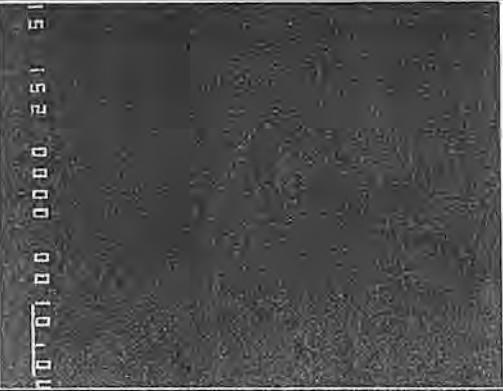
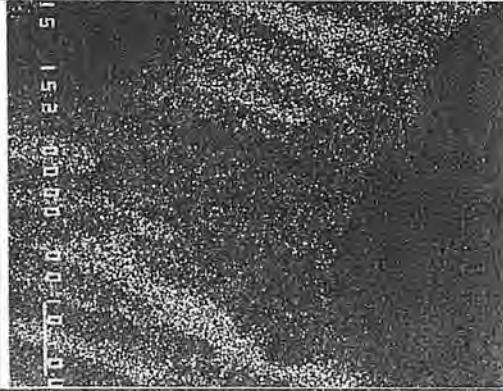
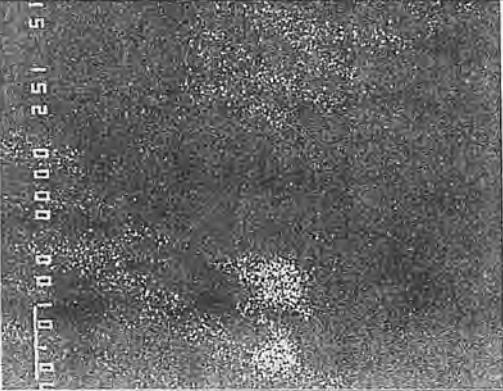
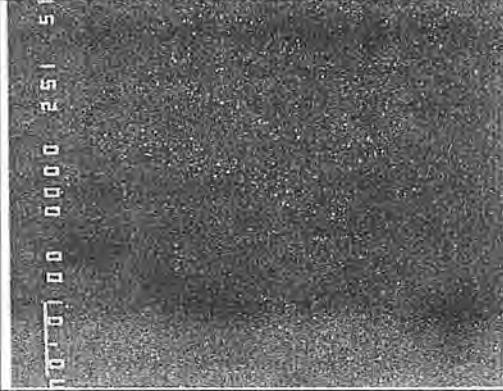
SE			SE
Fe			Si
Ti			Al
S			Ca
K			Mg

Photo.22 鉄滓(No.10)鉱物相の特性X線像

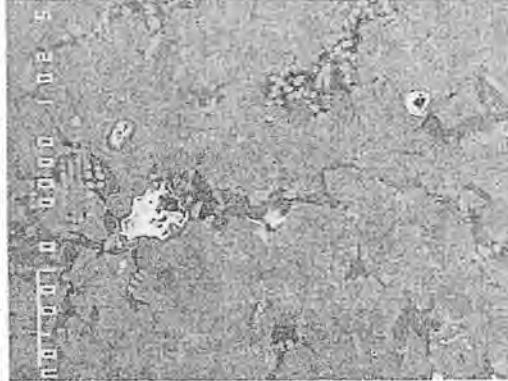
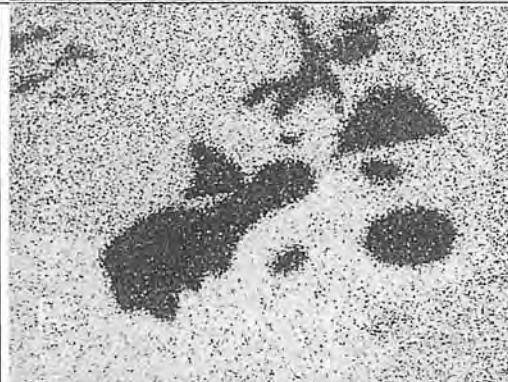
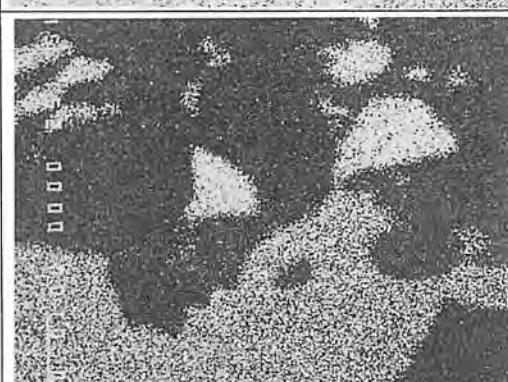
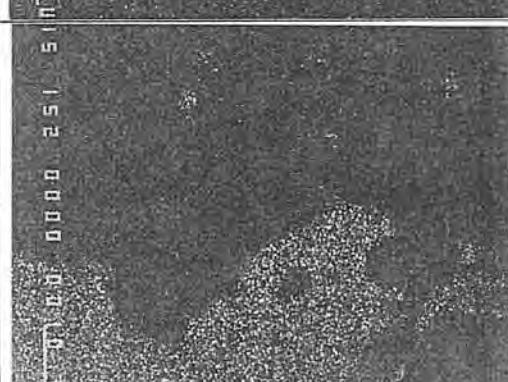
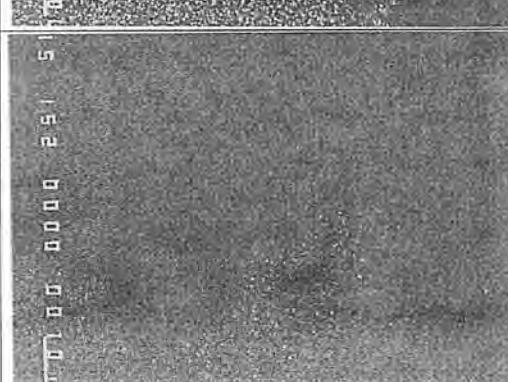
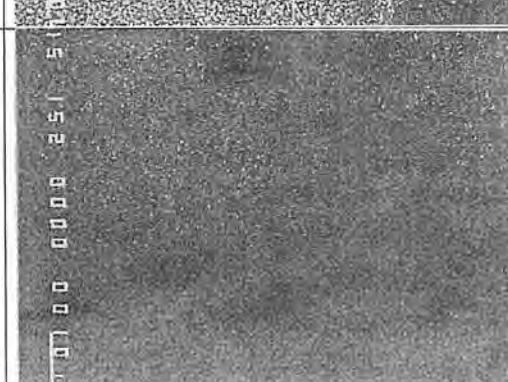
SE			SE
Fe			Si
Ti			Al
K			Ca
Na			Mg

Photo.23 鉄滓(No.12)鉱物相の特性X線像

SE			SE
Fe			Si
Ti			Al
S			Ca
K			Mg

Photo.24 鉄滓(No.13)鉱物相の特性X線像

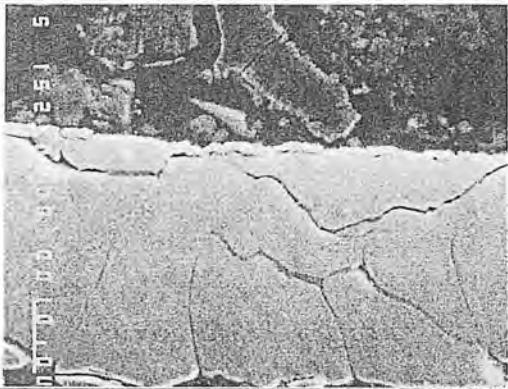
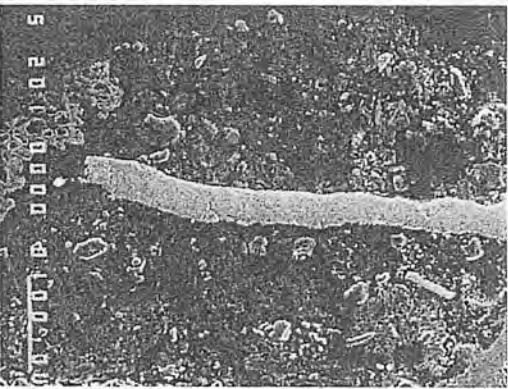
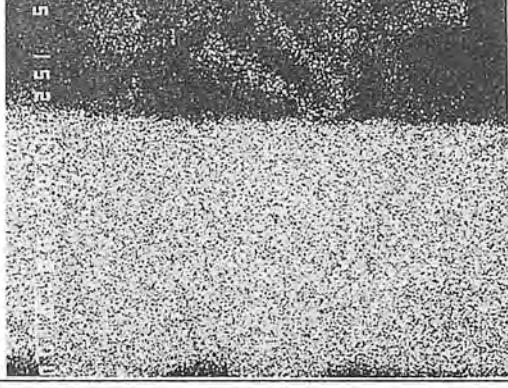
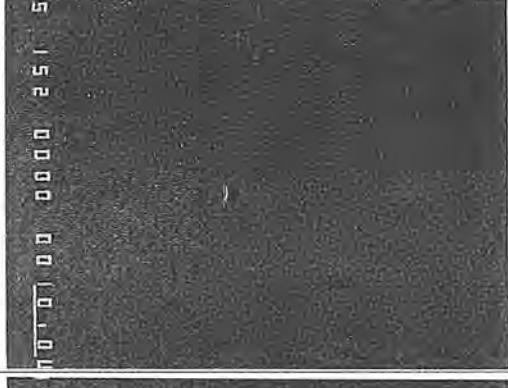
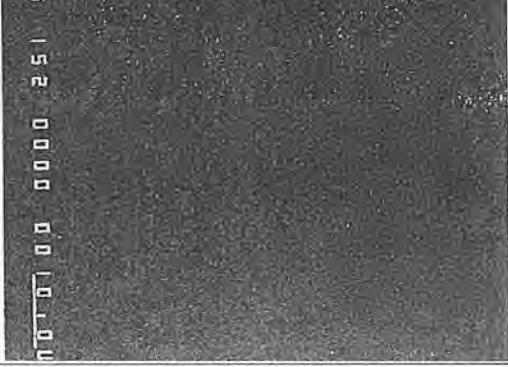
SE			SE
Fe			Si
Mn			Al
Na			Mg

Photo.25 鉄滓(No.13)付着鍛造剥片の特性X線像