

後半の陶磁器が出土している。

4 試料

試料採取状況を次表に示す。鉄の影響を受けないデータを得るために、試料をできるだけ広い範囲から採取するように配慮した。定方位試料の採取法としては、整形した焼土塊に樹脂製ケース(24×24×24mm)を被せて隙間を石膏で充填し、ケース上面の走行と傾斜をクリノコンパスで測定する仕方をとっている。

試料の採取状況

@大槓遺跡

遺構	試料採取場所(個数)		備考	試料総数
製鉄炉	1号	本床東側長辺(10), 西側長辺(10), 床面(1)		21
	2号	本床北端(13), 同南端(11)	中央部の損壊大	24
鍛冶炉	1号	東長辺(7), 西長辺(7), 北短辺(3), 南短辺(3)		20
	2号	西長辺(14), 東長辺(4), 床面(2)	多量の鉄滓が残存	20
	3号	東長辺(10), 西長辺(5)		15
	4号	南側縁沿い(5)	遺存状態不良	5
	5号	南側縁沿い(6), 床面(9)	遺存状態不良	15

@丸山遺跡

遺構	試料採取場所(個数)		備考	試料総数
1号製鉄炉	5層(黒色上)(10)		木炭含み柔らかい	28
	8層(淡灰褐色粘質上の焼土)(7)		真砂を含む	
	9層(淡橙褐色粘土の焼土)(5)		縮まっている	
	11層(灰褐色粘土の焼土)(6)		固く縮まっている	

5 測定結果

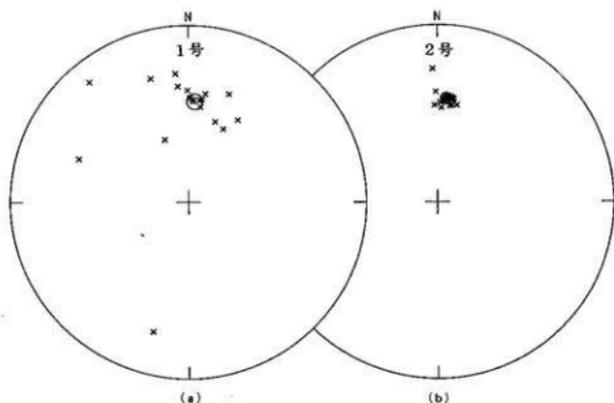
試料の残留磁気の方角をスピナー磁力計(Schonstedt社 Model SSM-1A)で測定した。自然残留磁気の方角データの分散を改善するために、各焼土跡から5ヶの試料を選び10,20,30,40mTの段階的交流消磁を試みたが、残留磁気の強度が約半減するものの、方角の集中度が増す傾向は認められなかった。そこで、自然残留磁気の方角の測定結果から、よく揃ったデータを選び、これらを元にして地磁気年代を求める。

@大槓遺跡

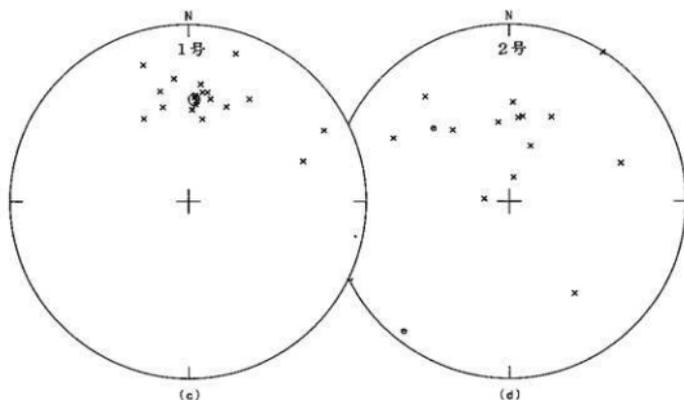
[1,2号製鉄炉]

1号製鉄炉の自然残留磁気の方角(図a)は全体に大きく分散しているが、少数のデータがまとも

っている。これに対して、2号製鉄炉のデータは集中度が非常に良好である(図b)。1号製鉄炉では本床の全域にわたって試料を採取している。中央部に近いところでは、鉄の影響を強く受け、その結果、ここでのデータの分散が大きくなっていると考えられる。一方、1号製鉄炉の集中データは本床の広い範囲からの採取試料の測定結果である。もし、これらが鉄の影響を受けているならば、鉄の影響は鉄からの方向と距離で変化するので、測定結果は分散するはずであるが、そうではなくまとまっている。したがって、1号製鉄炉の集中データは鉄の影響を受けていないと断言できる。一方、2号製鉄炉では、中央部が破壊されていたために、本床の両端部から試料を採取している。そのために、試料の残留磁気に対する鉄の影響がほとんどなく、データの集中度が大きいと考えら



大橋研一：製鉄炉の自然残留磁気の方角

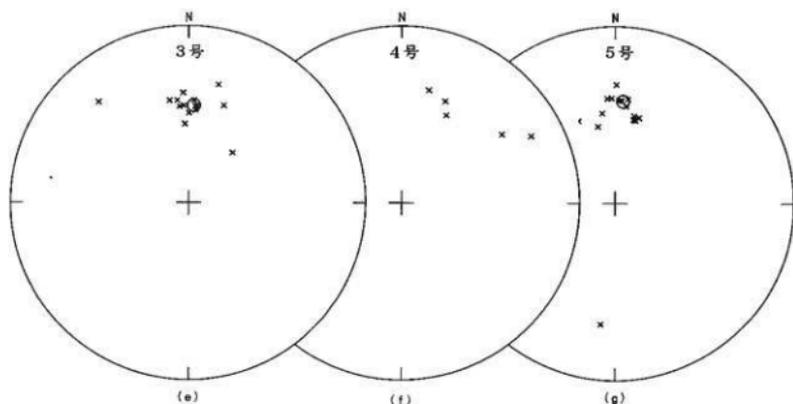


大橋研一：鑛冶炉の自然残留磁気の方角

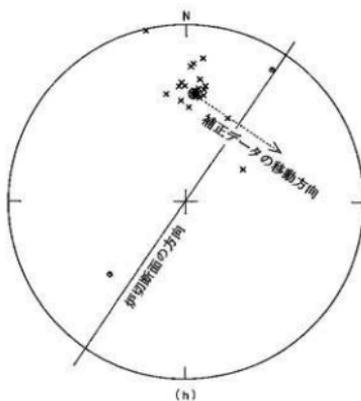
れる。各炉のデータから小円内の集中度の大きいデータを選択して、これらのデータを元にして地磁気年代を推定する。

[1,2,3,4,5号鍛冶炉]

1,2,3,4,5号鍛冶炉のデータを見ると、2,4号鍛冶炉（図d,f）では、データは大きく乱れており、集中しているものは見あたらない。しかし、1,3,5号鍛冶炉（図c,e,g）については、少数ではあるが、小円内の一部のデータに集中が認められる。これらのデータを元にして、地磁気年代を推定する。



大橋跡跡：鍛冶炉の自然残留磁気の方角



丸山遺跡：1号鍛冶炉の自然残留磁気の方角

@丸山遺跡

[1号製鉄炉]

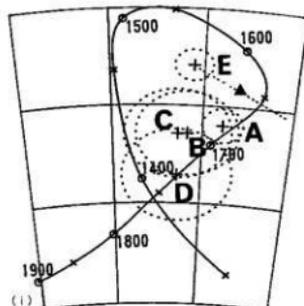
1号製鉄炉のデータは全体に大きく分散しているが、集中度のよい一群のデータが認められる。集中しているのは9.10層のデータであり、5.8層ではすべてのデータが分散した。小円内のさらによくまとまったデータを選択し、これらを元にして地磁気年代を推定する。

各焼土で選択した小円内のデータについて残留磁気の平均方向と誤差の目安となる数値の計算結果を表1に示す。kの値が大きく、 α_{95} の値が小さいほど、残留磁気の方がよく揃っていることを意味している。

表1 大横鉾跡と丸山遺跡の焼土の残留磁気の平均方向

遺 構		Im	Dm	k	α_{95}	n/N	
大横鉾跡	製鉄炉	1号	41.91	4.54	948	2.18	6/21
		2号	41.46	6.53	1525	0.89	18/24
	鍛冶炉	1号	41.95	4.01	1613	2.29	4/20
		2号	残留磁気の方散のため有意の平均なし				
		3号	44.09	4.01	1526	2.35	4/15
		4号	残留磁気の方散のため有意の平均なし				
		5号	残留磁気の方散のため有意の平均なし				
丸山遺跡	1号製鉄炉	38.39	4.79	4589	0.82	8/18	

Im: 平均伏角 k: Fisherの信頼度係数 n/N: 採用試料数/採取試料数
Dm: 平均偏角 α_{95} : 95%誤差角



A: 大横鉾跡1号製鉄炉
B: 大横鉾跡2号製鉄炉
C: 大横鉾跡1号鍛冶炉
D: 大横鉾跡3号鍛冶炉
E: 丸山遺跡1号製鉄炉
(▲は炉切断面の傾きを3度
としたときの補正方向)

(1) 残留磁気の平均方向と標準曲線

6 地磁気年代

図は大槓鉾跡と丸山遺跡の焼土の残留磁気の平均方向（+印）と誤差の範囲（点線の楕円）および、広岡による西南日本の地磁気永年変化曲線²⁾の一部である。各焼土の地磁気年代を求めるには、残留磁気の平均方向に近い点を永年変化曲線上に求めて、その点の年代を読みとればよい。同様にして、年代誤差も点線の楕円から評価できる。このようにして求めた地磁気年代を次の表にまとめる。丸山遺跡の1号製鉄炉³⁾について3つの地磁気年代値があげられているのは、残留磁気の平均方向がAD1400-1800の輪状の標準曲線の内側にあるために、標準曲線に対して3つの近接点が生じるからである。

大槓鉾跡と丸山遺跡の焼土の地磁気年代

遺 構		地 磁 気 年 代	
大槓鉾跡	製鉄炉	1号	AD1680 ± 20
		2号	AD1710 ± 30
	鍛冶炉	1号	AD1715 ± 30
		3号	AD1730 ± 30
		5号	AD1705 ± 40
丸山遺跡	1号製鉄炉	AD1580 ± 10, AD1675 ± 10, AD1450 ± 10	

7. 炉断面の傾動に対する考慮：丸山遺跡の1号製鉄炉の唯一の地磁気年代

丸山遺跡の1号製鉄炉は道路造成のためにN32Eの方向に切断されており、炉の地下構造の断面が道路脇に高さ1.7mの壁になって露出している。そして、地磁気年代の推定に使用した試料はこの断面から採取したものである。このように高い壁は傾く傾向をもつので、この効果による残留磁気の方角変化を考慮する必要がある。壁の傾動方向は道路に直交するS58Eの方向である。したがって、壁の傾動前の残留磁気の方角は図hの点線に沿って、測定データを傾動量に応じて矢印の方角に移動させたものになる。傾動量は正確に分からないが、図iに傾動量を3度と仮定した場合の補正方向（▲）を示している。この補正方向に対する地磁気年代値はAD1660 ± 10となる。

このように炉断面の傾動を考慮すると、4項で得られた3つの年代候補値のなかでAD1675 ± 10を選択するのが妥当になる。図hから分かるように、年代の中央値は傾動量に応じて古くなるがAD1650を越すことはない。結論として、丸山遺跡の1号製鉄炉の地磁気年代を1650 ± 10から1675までと推定できる。

8. 他の年代との比較

@大槓鉾跡

大槓鉾跡の製鉄炉と鍛冶炉の年代を他の年代と比較すると、遺物の年代、¹⁴C年代とはうまく整

合している。

遺物の年代：16世紀末～18世紀前半（1号製鉄炉の地下構造内から出土した磁器）

MC年代　：AD1770±60（1号製鉄炉地下構造の黒ボク上内の炭化物）

AD1830±60（2号製鉄炉の溝内の炭化物）

また、1号製鉄炉との切合いが示唆する年代順を地磁気年代と比較すると、年代の中央値の順序には異なるものがあるが、誤差の範囲を考慮すると、大きい矛盾は認められない。

@丸山遺跡

丸山遺跡では、I区から金鉄と近世前半頃の磁器碗が出土している。また、II区からは寛永通宝、近世後半の陶磁器が出土している。したがって、1650±10から1675までとした地磁気年代は遺物の年代とは大きく矛盾していない。

最後に、試料採取、考古学の情報提供についてお世話になった勝部智明氏をはじめとする島根県埋蔵文化財調査センターのスタッフの皆様へ厚く感謝する。

[文献]

- (1) 中島正志, 夏原信義　「考古地磁気年代推定法」考古学ライブラリー9
ニュー・サイエンス社
- (2) 広岡公夫 (1995)　「考古資料分析法」, 考古学ライブラリー, 65,
田口勇, 齊藤努編, ニュー・サイエンス社, 100-101
- (3) 広岡公夫 (1978)　考古地磁気および第四紀古地磁気の最近の動向
第4紀研究 15, 200-203

第3節 大槓跡出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査

九州テクノロジー・TACセンター

大澤正己・鈴木瑞穂

1 いきさつ

飯石郡志津見に所在する大槓跡は神戸川右岸の丘陵先端に位置する。I区からは製鉄炉の地下構造（1号炉・2号炉）2基、鍛冶炉5基、鍛冶炉様遺構（SX03）、鉄池状遺構、建物跡6棟などが検出された。それに伴い多数の製鉄・鍛冶関連遺物が出土したため、当遺跡における鉄生産の実態を検討する目的から金属学的調査を行なった。

2 調査方法

2-1 供試材

Table.1に示す。製鉄関連遺物計27点の調査を行なった。

2-2 調査項目

(1) 肉眼観察

発掘担当者側で作成した遺物観察表をもとに、筆者側の調査結果を加味して、加筆、省略してある。

(2) マクロ組織

本来は肉眼またはルーペで観察した組織であるが、本稿では顕微鏡埋込み試料の断面全体像を、投影機の10倍もしくは20倍で撮影したものを指す。当調査は、顕微鏡検査によるよりも広い範囲にわたって、組織の分布状態、形状、大きさなどの観察ができる利点がある。

(3) 顕微鏡組織

切り出した試料をベークライト樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000と順を追って研磨し、最後は被研磨面をダイヤモンド粒子の 3μ と 1μ で仕上げて光学顕微鏡観察を行った。なお、金属鉄は5%ナイトル（硝酸アルコール液）で、腐食（Etching）して現れた組織の観察を行なっている。

(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) CMA（Computer Aided X-Ray Micro Analyzer）調査

E PMA（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。

更に標準試料とX線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理してデータ解析を行う方法である。化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定が可能である。

(6) 化学組成分析

供試材の分析は次の方法で実施した。

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

炭素 (C)、硫黄 (S) : 燃焼容量法、燃焼赤外吸収法

二酸化珪素 (SiO₂)、酸化アルミニウム (Al₂O₃)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化カリウム (K₂O)、酸化ナトリウム (Na₂O)、酸化マンガン (MnO)、二酸化チタン (TiO₂)、酸化クロム (Cr₂O₃)、五酸化燐 (P₂O₅)、バナジウム (V)、銅 (Cu) : ICP (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer) 法 : 誘導結合プラズマ発光分光分析。

(7) 耐火度

耐火度の加熱に耐える温度とは、熔融現象が進行の途上で軟化変形を起こす状態の温度で表示することを定め、これを耐火度と呼んでいる。試験には三角コーン、つまりゼーゲルコーンが溶倒する温度と比較する方法を用いている。

(8) 木炭組織

調査破面 (木口、柘目、板目) の鋭利で円滑な面にカーボン蒸着を施し導電性を確保した後、走査型電子顕微鏡により撮影。走査型電子顕微鏡は真空中で試料面に電子線を照射し、発生する2次電子像の情報を画像処理するものである。

(9) 木炭の性状

水分、灰分、揮発分、固定炭素 : マイクロプロセッサ法。

硫黄 (S) : 燃焼赤外吸収法、灰分の燐 (P)、蛍光X線分析法、発熱量、カロリー計。

3 調査結果

OMK-1 炉壁 (砂鉄焼結)

① 肉眼観察 : 中釜と上釜のつなぎ目部分と推定される炉壁片である。側面4面と表面が破面である。内面は浮化、発泡気味。裏面上端寄りに厚く焼結砂鉄が認められる。砂鉄粒子は相互の融着が進んでいる。胎土は硬質で石英粒を多量に混和する。

② 顕微鏡組織 : Photo.1①~⑤に示す。①は焼結砂鉄を示す。格子組織を持つチタン鉄鉱 (Ilmenite : FeO·TiO₂) と白色の磁鉄鉱 (Magnetite : Fe₃O₄·FeO) が混在する。②③は半還元砂鉄粒子で周囲に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂) が晶出する。④は溶融暗黒色ガラス質中に微小析出物 (ヘーシナイト : Hercynite, FeO·Al₂O₃の可能性あり) が認められる。⑤は炉壁胎土部分で、鱗片状の粘土鉱物 (Crisite) 及び多量に混和された石英粒が認められる。

③ 化学組成分析 : Table.2に示す。強熱減量 (lg loss) 0.98%と低く、熱影響を受けて結晶構造水の大半が飛散した状態での分析となった。鉄分 (Fe₂O₃) 3.58%とあまり高くなく軟化性には問題ないと考えられる。また酸化アルミニウム (Al₂O₃) 19.35%と適度に含み、更に滓と鉄の分離を促す自媒剤となる塩基性成分 (CaO+MgO) 0.94%が低めで耐火性に有利に働く。胎土中には砂鉄はさほど含有してなくて二酸化チタン (TiO₂) は0.64%どまりであった。

④ 耐火度：胎土をゼーゲルコーンという三角錐の試験片に作り、1分間当たり10℃の速度で温度上昇させ、変化が起ると4℃に昇温速度をおとし、試験片が荷重なしに自重だけで軟化し崩れる温度が1455℃であった。該期の製鉄炉の炉壁としては一般的な性状といえる。

OMK-2 炉壁

① 肉眼観察：やや上下に長い、厚手の炉壁片である。側面4面と裏面が破面。内面は下半部は炉壁溶融物が厚く重なっている。胎土は石英粒子を多量に混和する砂質土で練りはやや甘い。元釜または中釜に相当する炉壁片と推定される。

② 顕微鏡組織：Photo.1⑥～⑧に示す。⑥は炉壁内面表層部分で、暗黒色ガラス質中に白色針状結晶イルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する。⑦も被熱により溶融ガラス質化した個所で中央は胎土中に混入した砂鉄粒子である。さらに白色針状結晶イルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、微小淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する。⑧は炉壁胎土部分で、鱗片状の粘土鉱物 (Cericite)、多量に混和された石英粒が認められる。なお細かいガラス質滓は局部的な溶融個所であろう。

③ 化学組成分析：Table.2に示す。該品も前述した炉壁 (OMK-1) と同様に、強熱減量 (Ig loss) 0.87%と低値で熱影響を受けて結晶構造水の大半が飛散した状態での分析となった。鉄分 (Fe_2O_3) は3.03%と低め傾向にあつて軟化性には有利である。一方酸化アルミニウム (Al_2O_3) は18.48%とやや低めであるが、滓と鉄の分離を促す自媒剤となる塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) は0.42%と低値で耐火性には有利となる。OMK-1と類似した成分系であるが該品の方が優位となる。

④ 耐火度：試験片が荷重なしに自重だけで軟化し崩れる温度が1495℃であった。該期の製鉄炉の炉壁としては優れた性状といえる。

OMK-3 砂鉄

① 肉眼観察：黒褐色の微細な砂鉄である。また僅かに滓片や鍛造剥片を含む。

② マクロ組織：Photo.19に示す。0.1～0.6mmと粒径にばらつきがあり、形状も角張ったものやや丸みを帯びたものが混在する。被熱砂鉄粒子がかなりの割合でみられ、さらに滓片が混入する。また剥片様の混入物が僅かに認められるが、鉄酸化物の層構造が確認されるものはなく、鍛造剥片ではない。

③ 顕微鏡組織：Photo.2に示す。①～③生砂鉄と被熱砂鉄が混在する。また白色の磁鉄鉱 (Magnetic: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$) と格子組織をもつチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が認められる。④⑤はTitanomagnetiteからの溶離組織を、⑥～⑨はチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) をそれぞれ示す。特に⑥⑦は被熱度が大きい。

④ 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分 (Total Fe) 61.92%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.28%、酸化第1鉄 (FeO) 25.70%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 59.57%の割合であった。ガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 6.79%で、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 0.88%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 5.93%、バナジウム (V) 0.34%で、また酸化マンガニン (MnO) 0.53%、銅 (Cu) 0.003%であった。塩基性砂鉄に分類される。鉄分高く脈石成分の低い値を示し、磁選の影響も考えられるが、高品位の砂鉄が原料として使用された可能性が考えられる。

OMK-4 砂鉄

① 肉眼観察：光沢を持った黒色の砂鉄が主体で、生砂鉄と考えられる。粒子に大小あるのは風化崩壊による分離であろう。

② マクロ組織：Photo.19に示す。0.1~0.4mmと粒径にばらつきがあり、形状は角張ったものとやや丸みを帯びたものが混在する。被熱砂鉄粒子も少量混在する。

③ 顕微鏡組織：Photo.3に示す。①~③白色の磁鉄鉱 (Magnetite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$) と格子組織をもつチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が認められる。特に②は大きな粒子に亀裂が入り分散直前の様相を留める。④⑤は被熱砂鉄を、⑥~⑧には格子組織をもつチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) を示す。

④ 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分 (Total Fe) 64.00%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.01%、酸化第1鉄 (FeO) 25.99%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 62.61%の割合であった。ガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 4.68%で、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 0.66%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 5.30%、バナジウム (V) 0.26%で、酸化マンガン (MnO) 0.49%、銅 (Cu) 0.004%であった。塩基性砂鉄に分類される。OMK-3とよく類似する成分系であった。

OMK-5 砂鉄混在物

① 肉眼観察：光沢を持った砂鉄粒子と茶褐色の酸化粒子が混在する。

② マクロ組織：Photo.20に示す。粒径は0.1~0.7mmとばらつきがあり、大小の差が著しい。形状も角張ったものとやや丸みを帯びたものが混在する。被熱砂鉄粒子がかなりの割合でみられる。微細な剥片様の混入物が認められるが、鉄酸化物の層構造が確認できず、鍛打作業で派生した鍛造剥片でないと考えられる。

③ 顕微鏡組織：Photo.4に示す。①~③生砂鉄と被熱砂鉄が混在する。また白色の磁鉄鉱 (Magnetite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$) と格子組織をもつチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が認められる。④⑤中央に被熱砂鉄を示す。特に⑤の粒内の微小白色部は晶出した微小金属鉄粒である。⑥⑦中央は格子組織をもつチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) である。⑧⑨は生砂鉄で粒内に白色点列状の遊離ヘマタイト (Hematite: Fe_2O_3) が析出する。鍛冶炉内の採取砂鉄であるが、明らかに鍛冶系の微細遺物は確認されなかった。たたら操業時の飛散砂鉄と考えられる。

④ 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分 (Total Fe) 63.14%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.15%、酸化第1鉄 (FeO) 25.03%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 52.24%の割合であった。ガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 5.46%で、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 0.91%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 5.72%、バナジウム (V) 0.33%で、酸化マンガン (MnO) は0.52%、銅 (Cu) 0.006%であった。塩基性砂鉄に分類される。

鍛冶炉内の採取試料であるが、近接する製鉄炉跡より採取されたOMK-3・4とほぼ近似する成分傾向を示した。

OMK-6 砂鉄混在物

① 肉眼観察：暗褐色の光沢のない砂鉄粒子が主体である。また角が取れて丸みを持った砂鉄粒

子の比率が高い。全体に色調がくすんでいるのは被熱粒子が多いためか、鍛冶炉周辺の土砂中の汚染によるものいずれかであろう。

② マクロ組織：Photo.20に示す。0.1~0.65mmと粒形にばらつきをもつが微小粒は比較的少ない。形状も角張ったものとやや丸みを帯びたものが混在する。また被熱砂鉄や半還元砂鉄、製錬滓片がかなりの割合で認められる。微細な剥片様の混入物が認められるが、前述したOMK-5試料と同様に鉄酸化物の層構造が確認できず、鍛造剥片でないと考えられる。

③ 顕微鏡組織：Photo.5に示す。①には白色の磁鉄鉱 (Magnetite: $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO}$) と格子組織をもつチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が認められる。更に②~⑤は中央に顕著に格子組織をもつチタン鉄鉱 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) を示す。⑥⑦は被熱砂鉄粒子で、周囲より淡褐色片状結晶シュードブルーカイト (Pseudobrookite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する。また砂鉄粒内には、現在は錆化しているが多数の微小金属鉄粒が晶出した痕跡を残す。⑧⑨暗黒色ガラス質滓中に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が凝集して晶出する。砂鉄製錬滓片である。

OMK-5砂鉄混在物と同様、鍛冶炉内の採取試料であるが明らかに鍛冶系の微細遺物は確認されず、むしろ半還元砂鉄、製錬滓片など製錬工程での微細遺物の痕跡の多い試料であった。該品も製錬時に派生した微細遺物の混在とみられよう。

④ 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分 (Total Fe) 61.78%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.24%、酸化第1鉄 (FeO) 21.86%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 63.70%の割合であった。ガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 6.06%で、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 0.98%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 6.25%、バナジウム (V) 0.13%で、酸化マンガン (MnO) は0.56%、銅 (Cu) 0.006%であった。OMK-3~5とはほぼ同様の成分傾向を示す。

OMK-7 炉外流出滓

① 肉眼観察：平面不整五角形をした炉外流出滓の破片である。側面5面と下面は破面。極めて多量のガスを含んで全体がスポンジ状を呈する。上面は内部のガス圧のため逆鐘状に膨らんだまま流動する。側面の気孔はやや横方向に連なる傾向を持つ。

② 顕微鏡組織：Photo.6①~③に示す。素地の暗黒色ガラス質滓中に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル ($2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、白色針状結晶イルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、淡灰色微細分岐状結晶ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が晶出する。高温操業での砂鉄製錬滓の晶癖である。

③ 化学組成分析：Table.2に示す。鉄分低く、脈石成分 (TiO_2 , V, MnO) やガラス質分の高い成分系であった。全鉄分 (Total Fe) 32.86%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.02%、酸化第1鉄 (FeO) 11.37%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 34.32%の割合であった。ガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 31.31%で、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 3.98%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 20.08%、バナジウム (V) 0.62%、また酸化マンガン (MnO) 1.37%と高い値を示した。銅 (Cu) は0.005%であった。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓に分類される。ただし前述したOMK-3~6砂鉄の二酸化チタン (TiO_2) より該品のチタン濃化が高いのは原料砂鉄が異なるのであろうか。

OMK-8 炉外流出滓

① 肉眼観察：平面不整形で、厚手のやや緻密な炉外流出滓である。側面全体が連続する小破面に覆われる。上面はきれいな流動状で、下面中央にごく小さな工具痕が認められる。破面では層状に気孔が残り、あまり時間をおかず、堆積形成されたものと考えられる。

② 顕微鏡組織：Photo.6④～⑧に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel： $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ）と白色点列状イルミナイト（Ilmenite： $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ）が暗黒色ガラス質滓中に晶出する。なお、ウルボスピネル結晶中にはチタン鉄鉱（Ilmenite： $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ）の格子組織痕跡（Titano-Hematiteか）が認められるものがある。該品も砂鉄製錬滓の晶癖である。

③ 化学組成分析：Table.2に示す。前述したOMK-7炉外流出滓に準じた成分系である。全鉄分（Total Fe）32.58%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.03%、酸化第1鉄（FeO）15.07%、酸化第2鉄（ Fe_2O_3 ）29.79%の割合であった。ガラス質成分（ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ）35.41%で、このうち塩基性成分（ $\text{CaO} + \text{MgO}$ ）5.13%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（ TiO_2 ）17.31%、バナジウム（V）0.50%、また酸化マンガン（MnO）1.33%と高値であった。また銅（Cu）0.006%である。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓の成分系である。

OMK-9 工具痕付着滓

① 肉眼観察：細い槌状の工具痕付着滓である。側面5面は破面。内面は半円形の横断面形を呈する滑らかな光沢をもつ面で、外面は一部流動状で、大半は地面との接触により砂粒が付着している。

② 顕微鏡組織：Photo.7①～③に示す。素地の暗黒色ガラス質滓中に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel： $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite： $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ）の微小結晶が晶出し、更にやや成長したウルボスピネル結晶も認められる。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓の晶癖である。工具に付着して炉外に引き出されたため冷却速度が速く、微小結晶が主体である。

③ ビッカース断面硬度：Photo.7③に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際痕を示す。硬度値は724Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイト（Hercynite： $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ）の混合組成が同定される（注1）。

OMK-10 炉底塊（含鉄）

① 肉眼観察：平面不整形多角形をした塊状の含鉄炉底塊片である。滓部は緻密で光沢を持った黒褐色を呈する。鉄部は塊状のものや散ったものなど一定しないが、全体的に比較的小さい可能性が高い。側面片側には砂質上がやや厚く固着する。

② マクロ組織：Photo.21に示す。滓にごく小さな鉄部が散在する。鉄部はほぼフェライト組織で占められる。

③ 顕微鏡組織：Photo.7④～⑧に示す。④は滓中に散在する微小金属鉄粒を示す。なお滓部は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel： $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ）が晶出する。⑤⑥はやや凝集した鉄部でフェライト組織であった。結晶は歪を帯びて斉粒ではない。滓は炉底塊なので保温が十分にゆきわたり結晶が大きく成長したウルボスピネルが晶出する。

④ ビッカース断面硬度：Photo.7⑦⑧に硬度測定の影響を示す。⑦は金属鉄（フェライト）組織で硬度値は167Hvであった。組織から予想されるより硬質の値を示す。歪と風化の影響であろうか。⑧は滓部の多角形結晶で硬度値は653Hvであった。ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO・TiO₂）に同定される。マクロ組織の項で指摘したように巨大粒である。

⑤ CMA調査：Photo.26のCOMP（反射電子像）に示す滓中の鉱物相の高速定性分析結果がFig.1である。A-Rankで検出された元素は鉄（Fe）、チタン（Ti）、ガラス質成分（Si+Al+Ca+Mg+K+Na）、燐（P）、硫黄（S）、酸素（O）、B-Rankで検出された元素はマンガン（Mn）であった。

また、特性X線像をみると多角形結晶は鉄（Fe）、チタン（Ti）、酸素（O）に白色輝点が集中する。ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO・TiO₂）に同定される。またその周囲に晶出する木ずれ状の微小結晶は鉄（Fe）、珪素（Si）、酸素（O）に白色輝点が集中し、ファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）に同定される。ウルボスピネルの検出は砂鉄原料を裏付ける。

⑥ 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）55.32%に対して、金属鉄（Metallic Fe）8.21%、酸化第1鉄（FeO）35.89%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）27.47%の割合で、製錬滓としては金属鉄部分を反映して鉄分の高い値を示した。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）は逆に12.98%と少なく、このうち塩基性成分（CaO+MgO）2.28%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）12.27%、バナジウム（V）0.73%、また酸化マンガン（MnO）0.70%、銅（Cu）0.005%であった。脈石成分が前述したOMK-7・8よりも少ないのは含鉄の影響であってこれも砂鉄製錬滓の成分系である。

OMK-11 炉内滓（含鉄）

① 肉眼観察：平面不整形をした盤状の含鉄炉内滓である。上面は平坦気味で、側面や破面は不規則な滓や破面からなる。

② マクロ組織：Photo.22に示す。上面平坦面側を中心にまとまった鉄部が存在する。炭素含有量は全体的に上面側が高く、下面側に漸次低い組織を呈する。また滓部では鉄部を取り囲むように発達したウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO・TiO₂）結晶が認められる。

③ 顕微鏡組織：Photo.8に示す。①白色部は金属鉄で、滓部では素地の暗黒色ガラス質滓中に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO・TiO₂）、白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite：FeO・TiO₂）が晶出する。②は鉄中非金属存在物を示す。地のガラス質滓中にFe-Ti系結晶が析出する。③～⑨は金属鉄を5%ナイトル（硝酸アルコール液）で腐食（Etching）して現れた組織である。③は下面側の低炭素域の鉄部でフェライト組織である。④⑤は亜共析組織で、また針状フェライトがウッドマンステッテン組織を早する過熱組織（Over heated structure）である。⑥も亜共析組織であるが④⑤よりパーライト組織の占める割合の高い個所である。また滓部では白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite：FeO・TiO₂）、淡褐色片状結晶シュードブルーカイト（Pseudobrookite：Fe₂O₃・TiO₂）の晶出が認められる。

④ ビッカース断面硬度：Photo.8⑦～⑨は炭素含有量の異なる金属鉄組織の硬度測定の影響を示す。⑦は初析フェライト部分の低炭素域で硬度値は148Hv、⑧も亜共析組織の低炭素域で硬度値は167Hv、⑨は高炭素域の全面パーライト組織部分で硬度値は224Hvであった。それぞれ組織に見

合った値といえる。

⑤ CMA調査：Photo.27のCOMP（反射電子像）に示す鉄中非金属介在物の高速定性分析結果がFig.2である。A-Rankで検出された元素は鉄（Fe）、チタン（Ti）、マンガン（Mn）、ガラス質成分（Si+Al+Ca+Mg+K）、酸素（O）、B-Rankで検出された元素は砂鉄特有元素の一つであるジルコニウム（Zr）であった。

また特性X線像をみると、介在物中の多角形結晶は鉄（Fe）、チタン（Ti）、酸素（O）に白色輝点が集中する。ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO₂）に同定されよう。また多角形結晶の周囲はガラス質成分（Si+Al+Ca+Mg+K）に白色輝点が集中する。珪酸塩である。これも砂鉄原料に基づく結晶の確認が取れた。

⑥ 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）48.22%に対して、金属鉄（Metallic Fe）16.96%、酸化第1鉄（FeO）19.20%、錆化鉄含みの酸化第2鉄（Fe₂O₃）23.36%の割合であった。金属鉄部分を反映して鉄分の高い値を示した。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）21.44%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）2.28%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）8.63%、バナジウム（V）0.54%、酸化マンガン（MnO）は0.56%、銅（Cu）0.006%であった。前述したOMK-10含鉄炉底塊と同様に製鉄系の含鉄鉄滓の成分系である。

OMK-12 鉄塊系遺物

① 肉眼観察：平面不整五角形をした塊状の鉄塊系遺物である。外観からははっきりした部部が確認されず、破面には直接鉄部が露出しており、鉄主体の遺物と考えられる。

② マクロ組織：Photo.21に示す。全面白錆組織を呈する鉄塊系遺物である。やや不定形の気孔が多数散在する。

③ 顕微鏡組織：Photo.9①～⑤に示す。①は僅かに付着する滓部で、暗黒色のガラス質滓中に微小析出物が認められる。②～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食（Etching）して現れた組織である。亜共晶組成白錆鉄であった。

④ ビッカース断面硬度：Photo.9③～⑤に炭化物の形態の異なる金属鉄組織の硬度測定印痕を示す。③はパーライト組織部分で硬度値は263HVであった。④は蜂の巣状のレデライト部分で硬度値は675HV、⑤は板状セメントイト部分で硬度値は780HVであった。それぞれ組織に見合った値である。

⑤ CMA調査：Photo.28のCOMP（反射電子像）に示す鉄中非金属介在物の高速定性分析結果がFig.3である。A-Rankで検出された元素は鉄（Fe）、硫黄（S）であった。特性X線像でも鉄（Fe）、硫黄（S）に白色輝点が集中し、硫化鉄（FeS）に同定される。

⑥ 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）56.83%に対して、金属鉄（Metallic Fe）23.44%、酸化第1鉄（FeO）13.51%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）32.73%の割合であった。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）17.08%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）0.43%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）0.17%、バナジウム（V）0.01%、酸化マンガン（MnO）0.02%、銅（Cu）0.010%であった。表皮スラグの付着がない鉄塊はこのように脈石成分の低い成分系となる。

OMK-13 鉄塊系遺物

① 肉眼観察：平面不整五角形をしたやや厚めの鉄塊系遺物である。全体に厚く酸化土砂に覆われており、側面の一部には放射割れがみられる。下面はやや歪んだ楕円気味。OMK-12鉄塊系遺物と類似した遺物である。

② マクロ組織：Photo.23に示す。全面亜共晶組成（C：4.23%以下）の白鑄鉄組織を呈する鉄塊系遺物である。表面部の滓の付着も認められない。

③ 顕微鏡組織：Photo.9⑥～⑧に示す。⑥は鉄中非金属介在物である。CMA調査の項で詳述する。⑦⑧は金属鉄を5%ナイトルで腐食（Etching）して現れた組織である。黒色網模様の初晶のオーステナイト（常温でパーライト）と地はレデブライトの亜共晶組成白鑄鉄であった。

④ ビッカース断面硬度：Photo.9⑦⑧に金属鉄組織の硬度測定の際の圧痕を示す。⑦はパーライト組織部分で硬度値は263Hvである。⑧はレデブライト部分で硬度値は615Hvであった。組織に対応する値といえる。

⑤ CMA調査：Photo.29のCOMP（反射電子像）に示す鉄中非金属介在物の高速定性分析結果がFig.4である。A-Rankで検出された元素は鉄（Fe）、燐（P）、硫黄（S）であった。特性X線像をみると中央の黄褐色微小異物は鉄（Fe）、硫黄（S）に白色輝点が集中する。硫化鉄（FeS）に同定される。その周囲の不定形異物は鉄（Fe）、燐（P）に白色輝点が集中し、Fe-Fe₃C-Fe₃P三元系共晶のステダイト（Steadite）が存在する。

⑥ 化学組成分析：Table.2に示す。鉄主体の成分系であった。全鉄分（Total Fe）75.99%に対して、金属鉄（Metallic Fe）50.93%、酸化第1鉄（FeO）17.65%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）16.22%の割合であった。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）4.98%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）0.34%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）0.14%、バナジウム（V）0.01%、酸化マンガン（MnO）0.01%、銅（Cu）0.008%であった。該品も表皮スラグや大型捲込みスラグが介在しないので脈石成分の低減した成分系となる。

OMK-14 鉄塊系遺物

① 肉眼観察：平面不整五角形をしたやや偏平で小振りの鉄塊系遺物である。表面全面に小さな瘤状の放射割れが並ぶ。また各表面ごく薄い木炭振様の凹みが残る。破面ははっきりせず完形品と考えられる。

② マクロ組織：Photo.23に示す。ほぼ全面亜共晶組成の白鑄鉄である。

③ 顕微鏡組織：Photo.10に示す。①は鉄塊の表面にごく薄く付着する滓部を示す。素地の暗黒色ガラス質洋中に砂鉄残骸及び針状のルチル（Rutile：TiO₂）が晶出する。鉱物相についてはCMAの項で後述する。②は鉄中非金属介在物で中央の微小黄褐色異物は硫化鉄（FeS）である。③～⑨は金属鉄を5%ナイトルで腐食して現れた組織である。組織は過共析鋼の名残を留めてパーライト基底に初析セメントタイトの痕跡の読み取れる亜共晶組成白鑄鉄組織であった。

④ ビッカース断面硬度：Photo.10⑦～⑨に金属鉄組織の硬度測定の際の圧痕を示す。⑦はパーライト部分で硬度値は262Hv、⑧はレデブライト部分で硬度値は646Hv、⑨は板状セメントタイト部分で863Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

⑤ CMA調査：Photo.30のCOMP（反射電子像）に示す滓部の鉱物相の高速定性分析結果が

Fig.5である。A-Rankで検出された元素は鉄 (Fe)、チタン (Ti)、ジルコニウム (Zr)、ガラス質成分 (Si+Al+Ca+Mg+K+Na)、酸素 (O)、B-Rankで検出された元素はマンガン (Mn) であった。

また特性X線像をみると晶出した片状結晶はチタン (Ti)、酸素 (O) に白色輝点が集中し、鉄 (Fe) では輝点の集中が認められないことから、ルチル (Rutile:TiO₂) が同定される。また球状の晶出物は鉄 (Fe)、酸素 (O) に白色輝点が集中しているため、錆化した鉄粒と考えられる。素地部分はガラス質成分 (Si+Al+Ca+Mg+K+Na) に白色輝点が集中する。ルチルの生成は高温操業の裏付けとなる。

⑥ 化学組成分析: Table.2に示す。鉄分主体の成分系である。全鉄分 (Total Fe) 80.79%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 61.10%、酸化第1鉄 (FeO) 12.78%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 13.95%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) 2.35%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) 0.18%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 0.13%、バナジウム (V) 0.01%、また酸化マンガン (MnO) 0.01%、銅 (Cu) 0.007%であった。これも不純物の少ない高品位鉄塊鋼の遺物に分類されよう。

OMK-15 鉄塊系遺物

① 肉眼観察: 平面不整五角形をした碗形で完形の鉄塊系遺物である。裏面を中心に粉炭を大量に含む酸化土砂を固着している。

② マクロ組織: Photo.24に示す。ほぼ全面が偏析のない亜共晶組成白鑄鉄組織の鉄塊である。鉄塊内に気孔がほとんど認められない。

③ 顕微鏡組織: Photo.11①~⑤に示す。①鉄塊の表層にごく薄く付着する洋部で、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvöspinel: 2FeO·TiO₂)、淡灰色水ずれ状結晶ファイヤライト (Fayalitic: 2FeO·SiO₂) が基地の暗黒色ガラス質中に晶出する。前述したOMK-14鉄塊系遺物より低温域での生成物である。②は鉄中非金属介在物を示す。CMA調査の項で詳述する。③~⑤は金属鉄を5%ナイトルで高食して現れた組織である。亜共晶組成白鑄鉄組織であった。

④ ビッカース断面硬度: Photo.11④⑤に金属鉄組織の硬度測定の際の圧痕を示す。④はパーライト部分で硬度値は332Hv、⑤はセメントイト部分で532Hvであった。組織に見合った値といえる。

⑤ CMA調査: Photo.31のCOMP (反射電子像) に示す鉄中非金属介在物の高速度分析結果がFig.6である。A-Rankで検出された元素は鉄 (Fe)、燐 (P)、硫黄 (S)、B-Rankで検出された元素はチタン (Ti) であった。特性X線像をみると中央の微小黄褐色異物では鉄 (Fe)、硫黄 (S) に白色輝点が集中する。硫化鉄 (FeS) に同定される。その周囲の不定形異物は鉄 (Fe)、燐 (P) に白色輝点が集中し、Fe-Fe₃C-Fe₃P三元系共晶のステダイト (Steadite) の存在が指摘される。なお硫化鉄中にもごく僅かであるがチタン (Ti) の両溶が窺われた。

⑥ 化学組成分析: Table.2に示す。全鉄分 (Total Fe) 43.55%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 2.58%、酸化第1鉄 (FeO) 6.87%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 50.94%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は表皮スラグに由来して高く23.80%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) 0.87%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 1.14%、バナジウム (V) 0.04%、また酸化マンガン (MnO) 0.07%、銅 (Cu) 0.006%であった。鉄部と表面に付着する

滓部の両者を反映する値となった。

OMK-16 鉄塊系遺物

① 肉眼観察：平面不整形をしたごく小さな豆粒状の鉄塊系遺物である。表面に厚く酸化土砂が付着し、下面側の土砂には粉炭が含まれる。鍛冶鉄塊系遺物であろうか。

② マクロ組織：Photo.21に示す。中央部は白鑄鉄組織で、その周囲は共晶状黒鉛（：D型片状黒鉛）が析出する共晶黒鉛鑄鉄（注2）である。さらに外周部は脱炭され、パーライト素地に初析セメントイトが析出する過共析組織であった。

③ 顕微鏡組織：Photo.11⑥～⑧に共晶黒鉛鑄鉄の組織を示す。素地は不完全球状セメントイトで、共晶温度（1150℃前後）で晶出したままの細かい黒鉛が析出する。製鉄炉内で熔融状態の鑄鉄が原料砂鉄に由来するチタン分（TiO₂）を含む熔融スラグに接触して生じた組織と推定される。

④ ビッカース断面硬度：Photo.11⑦⑧に金属鉄組織の硬度測定印痕を示す。⑦はフェライト地に析出したセメントイト部分で硬度値は232HVであった。また⑧は共晶黒鉛が析出する箇所硬度値は140HVであった。組織に見合った値である。

⑤ CMA調査：Photo.32のCOMP（反射電子像）に示す鉄中非金属介在物と黒鉛の高速定性分析結果がFig.7である。A-Rankで検出された元素は鉄（Fe）、燐（P）、硫黄（S）、酸素（O）、炭素（C）であった。特性X線像をみると黄褐色微小異物では鉄（Fe）、硫黄（S）に白色輝点が集出し、硫化鉄（FeS）に同定される。その周囲の不定形異物では鉄（Fe）、燐（P）に白色輝点が集出して、Fe-Fe₃C-Fe₃P三元系共晶のステダイト（Steadite）の存在が推定される。なお片状黒鉛には炭素（C）に白色輝点が集出して黒鉛と判る。

⑥ 化学組成分析：Table.2に示す。試料が少なく全元素を賄う量の確保ができなかった。全鉄分（Total Fe）70.75%。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）5.21%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）0.33%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）0.17%、バナジウム（V）0.01%と少ない。酸化マンガン（MnO）0.02%、銅（Cu）0.012%であった。脈石成分は低減されている。

OMK-17 再結合滓

① 肉眼観察：再結合滓とは製鉄炉近くの作業空間で生成鉄回収のために小割り選別を行なった際に形成された2次堆積層を指す。不規則に伸びた板状の再結合滓片である。流動滓の小破片や木炭粉を多量に含む、土砂の比率が極めて高い再結合滓である。上面は錆が付き、長軸片側ではやや大きな放射割れが生じている。ただし磁着は弱く錆の進んだものである。

② マクロ組織：Photo.25に示す。層状を呈する再結合滓である。生砂鉄や被熱砂鉄、製錬滓片、錆化鉄片、木炭粉などが土砂中に混入する。

③ 顕微鏡組織：Photo.12に示す。①は木炭片である。広葉樹の環孔材の組織を呈する。②③は製錬滓片の鉱物相を示す。②では淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO₂）、白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite：FeO·TiO₂）が晶出する。③では淡褐色片状結晶シュードブルーカイト（Pseudobrookite：Fe₂O₃·TiO₂）主体に少量の白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite：FeO·TiO₂）が認められる。④の中央には生砂鉄を示す。白色の磁鉄鉱粒子である。⑤

では多数の半還元砂鉄粒子が認められる。周囲には淡褐色片状結晶シュードブルーカイト (Pseudobrookite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する。⑥⑦は被熱を受けたチタン鉄鉱粒子 (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) を示す。格子組織が残存する。⑧⑨は錆化鉄片で白錆鉄組織痕跡が認められる。製錬工程での派生物からなる再結合体であった。

OMK-18 粒状滓様遺物

OMK-18-1 1.45mm径

① 肉眼観察：色調は光沢のある黒灰色で、やや歪な球状を呈する。表面凹凸があり小さな突起が2箇所認められる。

② マクロ組織：Photo.13①に示す。球体の外縁は錆化鉄となり、中心の白色部は遺存する金属鉄部分である。

③ 顕微鏡組織：Photo.13②～⑥に示す。②表層部に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) を晶出する滓部を付着した金属鉄粒で周囲は錆化していた。③④は金属鉄を5%ナイトルで腐食して現れた組織で、粒内に針状析出物が顕著なフェライトであった。⑤は表層の滓部で、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) にはチタン鉄鉱の格子組織が残存している。

④ ビッカース断面硬度：Photo.13⑥に金属鉄組織の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は79Hvであった。フェライト組織に見合った値である。

OMK-18-2 1.3mm径

① 肉眼観察：光沢のない茶褐色で歪な球状を呈する。表面はやや凹凸が顕著である。

② マクロ組織：Photo.13⑦に示す。中心の白色部は遺存する金属鉄部分である。外周から錆化が進行している。

③ 顕微鏡組織：Photo.13⑧～⑩に示す。⑧⑨は5%ナイトルで腐食して現れた、フェライト地にセメントタイトが析出する過共析組織である。

④ ビッカース断面硬度：Photo.13⑩に金属鉄組織の硬度測定の結果を示す。硬度値は369Hvであった。組織に見合った値である。

OMK-18-3 1.3mm径

① 肉眼観察：光沢のない黒灰色でやや歪な球状を呈する。表面は滑らかである。

② マクロ組織：Photo.14①に示す。中央部が大きく空洞化して外周部に鉱物相が晶出する。

③ 顕微鏡組織：Photo.14②～④に示す。微小樹枝状結晶及びやや発達した淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、淡灰色微小結晶ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が素地の暗黒色ガラス質中に晶出する。ウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) 結晶中にはチタン鉄鉱の格子組織が残存しているものがある。

OMK-18-4 1.06mm径

① 肉眼観察：光沢のない黒灰色で歪な球状を呈する。表面は凹凸が顕著である。

② マクロ組織：Photo.14⑤に示す。断面は表面張力による球体ではなくて不整形形状の錆化鉄 (Goethite: $\alpha\text{-FeO} \cdot \text{OH}$) 粒であった。金属鉄は遺存しない。

③ 顕微鏡組織：Photo.14⑥に示す。組織は鉱物相を持たない錆化鉄で、僅かにフェライト粒界

痕跡が認められる。また、暗黒色ガラス質中に白色針状結晶イルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) を晶出する捲込みスラグが存在する。

OMK-18-5 1.08mm径

- ① 肉眼観察：光沢のない黒灰色で歪な球状を呈する。表面は凹みがある。
- ② マクロ組織：Photo.14⑦に示す。断面は楕円状皮殻を形成した錆化鉄 (Goethite: $\alpha\text{-FeO} \cdot \text{OH}$) 粒であった。金属鉄は遺存しない。
- ③ 顕微鏡組織：Photo.14⑧~⑩に示す。組織は錆化鉄で、パーライト素地に片状黒鉛の析出する組織痕跡が確認でき、ねずみ鋳鉄に分類される。一方リング状隙間には捲込みスラグが入り込み、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、白色針状結晶イルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する。

小結

供試材とした5点の粒状滓様遺物のうち、粒状滓(注3)の可能性があるのはOMK-18-3のみであった。それもウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する砂鉄製錬滓の成分を反映する鉱物相で、鍛冶工程で派生する粒状滓と断定するには疑問が残る。粒状滓ならば不純物の多い鉄塊を処理した際の派生物と推測される。残る4点は金属鉄粒ないしはその錆化物であった。組織はフェライトからねずみ鋳鉄までが確認され、含有炭素量には大きなばらつきがある。なお鉄粒中に含まれる滓部はウルボスピネル (Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、イルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する砂鉄製錬滓の鉱物相であるため、これらの鉄粒は製錬工程の派生物と推定される。

OMK-19 鍛造剥片様遺物

OMK-19-1 厚み0.13mm

- ① 肉眼観察：表裏面に光沢のない黒灰色で、ほぼ平坦な剥片様遺物である。
- ② マクロ組織：Photo.15①に示す。ほぼ一定の厚みで平坦な試料である。
- ③ 顕微鏡組織：Photo.15②に示す。鍛打工程で派生する鍛造剥片(注4)で確認される鉄酸化物の3層構造は認められない。素地の淡灰白色はマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) で、白色の不定形模様はヘマタイト (Hematite: Fe_2O_3) と推測される。酸化膜片と考えられるが網目状亀裂が気掛りである。再加熱によるヘマタイト拡大であろうか。

OMK-19-2 厚み0.10mm

- ① 肉眼観察：表裏面共に光沢のない茶褐色で凹凸が認められる。
- ② マクロ組織：Photo.15③に示す。やや厚みの変動が認められるものの平坦気味の試料であった。
- ③ 顕微鏡組織：Photo.15④に示す。やや不明瞭ながら3層構造(外層ヘマタイト、中間層マグネタイト、内層ヴスタイト)を呈する。王水で腐食しても組織に変化は認められなかった。風化による劣化であろう。内層部分の非晶質化が進んでおり、鍛打工程で派生する鍛造剥片とすれば後半段階での派生物と考えられる。

OMK-19-3 厚み0.08mm

- ① 肉眼観察：薄手で表裏面共滑らかな試料である。表面は黒褐色で、裏面は青灰色を呈する。

② マクロ組織：Photo.15⑤に示す。薄手でほぼ一定の厚みの平坦な試料である。

③ 顕微鏡組織：Photo.15⑥に示す。王水で腐食しても組織に変化は認められない。白色部はマグネタイト（Magnetite：Fe₃O₄）、淡灰色部はヴスタイト（Wüstite：FeO）と考えられる。鍛打工程で派生する鍛造剥片とはやや異質の組織を呈する。自然腐食による材質変化であろうか。

OMK-19-4 厚み0.05mm

① 肉眼観察：薄手で表裏面共に青灰色を呈する。表面は滑らかで、裏面は僅かに凹凸がみられる。

② マクロ組織：Photo.15⑦に示す。非常に薄手で平坦な試料である。

③ 顕微鏡組織：Photo.15⑧に示す。王水腐食で鉄酸化物の3層構造が明瞭に現れる。中間層のマグネタイト（Magnetite：Fe₃O₄）が肥厚する傾向を示す。内層部分の非晶質化が進んでおり、鍛打工程で派生する鍛造剥片とすれば後半段階での派生物と考えられる。また、内層ヴスタイト（Wüstite：FeO）側の表層にもう1層認められるのは再加熱の痕跡と推測される。

OMK-19-5 厚み0.06mm

① 肉眼観察：薄手で表裏面共に滑らかな試料である。表面は黒褐色で、裏面は青灰色を呈する。

② マクロ組織：Photo.15⑨に示す。非常に薄手で平坦な試料である。

③ 顕微鏡組織：Photo.15⑩に示す。該品は王水腐食によっても変化しなかった。中央部は凝集したヴスタイト（Wüstite：FeO）で両表層はマグネタイト（Magnetite：Fe₃O₄）からなる。亀裂部の白色はヘマタイトで再加熱を受けた痕跡であろう。

小結

供試材とした5点の剥片様の試料から、鍛打工程で派生する鍛造剥片に類似する鉄酸化物の3層構造が確認されたのはOMK-19-2・4の2点のみであった。しかもOMK-19-2は層構造が不明瞭であり、OMK-19-4は外層・中間層が肥厚しており典型的な鍛造剥片とはやや異質な質感を呈する。剥片様の鉄酸化物ではあるが、鍛打工程の派生物としては疑問の残る試料群であった。

OMK-20 粒状滓様遺物

OMK-20-1 1.58mm径

① 肉眼観察：光沢のない黒褐色で重なる球状を呈する。表面には凹凸が認められる。

② マクロ組織：Photo.16①に示す。断面は気泡が全く発生してなくて全面が詰まった錆化鉄粒であった。金属鉄は遺存しない。

③ 顕微鏡組織：Photo.16②に示す。鉱物相の晶出がなく鉄の錆化物であった。ゲーサイト（Geothite： α -FeO·OH）である。錆化の進行により金属組織痕跡も不明瞭になる。

OMK-20-2 1.2mm径

① 肉眼観察：光沢のない黒褐色でやや重なる球状を呈する。表面にはやや凹凸が認められる。

② マクロ組織：Photo.16③に示す。腐食孔を持つ錆化鉄粒であった。表層部の一部にヘマタイトの痕跡らしきものがあるものの再加熱による酸化であって、積極的に粒状滓を証拠だてるものではない。

③ 顕微鏡組織：Photo.16④～⑥に示す。断面二重構造を持つ鉄粒の錆化物である。炭化物の痕跡はなく、炭素含有量は不明である。

小結

調査した2点は鍛冶工程で派生する粒状滓ではなく錆化鉄粒であった。

OMK-21 粒状滓様遺物

OMK-21-1 0.98mm径

- ① 肉眼観察：光沢のない黒褐色でやや歪な球状を呈する。表面には僅かに凹凸が認められる。
- ② マクロ組織：Photo.16⑦に示す。表層から内部に向かって亀裂を走らせる錆化鉄粒であった。金属鉄は遺存しない。
- ③ 顕微鏡組織：Photo.16⑧～⑩に示す。錆化の進行により金属組織痕跡はかなり不明瞭になっているが、かすかに網目状のフェライト粒界痕跡の残存する箇所がある。組織痕跡からは極低炭素鋼であったと推定される。

OMK-21-2 0.9mm径

- ① 肉眼観察：光沢のない黒褐色で歪な球状を呈する。表面に1箇所小さな突起が認められる。
- ② マクロ組織：Photo.17①に示す。表層は錆化鉄に囲まれた微小金属鉄粒であった。白色部は残存金属鉄部分である。
- ③ 顕微鏡組織：Photo.17②～⑥に示す。②③は腐食なし、④～⑥は5%ナイトルで腐食して現れた組織を示す。粒内に針状析出物が認められるフェライト結晶粒を持つ極低炭素鋼であった。
- ④ ビッカース断面硬度：Photo.17⑥に金属鉄組織の硬度測定の前痕を示す。硬度値は114Hvであった。硬度測定面積と微小析出物からみて妥当な値である。

OMK-21-3 0.75mm径

- ① 肉眼観察：光沢のない黒褐色で楕円状を呈する。表面に1箇所小さな突起が認められる。
- ② マクロ組織：Photo.17⑦に示す。錆化鉄粒であった。金属鉄は遺存しない。
- ③ 顕微鏡組織：Photo.17⑧～⑩に示す。錆化の進行により金属組織痕跡も不明瞭になっている。

小結

調査した3点は外観状は球状であるが、酸化物からなる粒状滓ではなく鉄粒であって、これの一部は金属鉄を残し、大部分は錆化鉄粒になっていた。

OMK-22 鍛造剥片様遺物

OMK-22-1 厚み0.26mm

- ① 肉眼観察：やや彎曲気味で、表裏面共に黒褐色を呈する。
- ② マクロ組織：Photo.18①に示す。断面は緻密度に欠け、厚みに変動をもちながら彎曲する試料である。
- ③ 顕微鏡組織：Photo.18②に示す。酸化膜片ではあるが風化を受けて膜構造は不明瞭である。外層ヘマタイトは何とか読み取れるが中間層マグネタイトは酷く侵されて空洞化し、内層グスタイトは凝集か非晶質か区別がし難い。亀裂や空隙部は再加熱（被熱）によりヘマタイトの析出がみられる。

OMK-22-2 厚み0.22mm

- ① 肉眼観察：表面の一部が光沢を持った青灰色と黒褐色の面が共存する。表面には凹凸が認め

られる。

② マクロ組織：Photo.18③に示す。該品も風化の影響を受けた剥片であるが酸化膜の雰囲気は有していた。ほぼ一定の厚みの試料である。

③ 顕微鏡組織：Photo.18④に示す。外層ヘマタイトは不明瞭であるが中間層の白色部はマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4)、その内側の淡灰色部は非晶質のヴスタイト (Wüstite: FeO) と考えられる。鍛打工程で派生する鍛造剥片とは中間層のマグネタイトが肥大してやや異質の組織を呈する。さらにマグネタイトの表層側は細かい凹凸が顕著であり、鍛打工程の派生物としては疑問が残る。

OMK-22-3 厚み0.09mm

① 肉眼観察：表裏面共茶褐色で、やや凹凸が認められる。

② マクロ組織：Photo.18⑤に示す。断面はほぼ一定の厚みの平坦な試料で、気泡をいくつか発生する。

③ 顕微鏡組織：Photo.18⑥に示す。中央の淡灰色部はヴスタイト (Wüstite: FeO)、その両側の層状の白色部はヘマタイトで空隙への喰い込みを持つ。マグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) の存在は定かではない。

OMK-22-4 厚み0.08mm

① 肉眼観察：表表面共茶褐色で、やや凹凸が認められる。

② マクロ組織：Photo.18⑦に示す。ほぼ一定の厚みで、一部付着物が認められる。断面の中央部の一部は巣状の空隙ができている。鉄酸化膜でなく錆化鉄片であった。

③ 顕微鏡組織：Photo.18⑧に示す。錆化鉄片 (Goethite: $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$) であった。

OMK-22-5 0.10mm厚み

① 肉眼観察：表表面共光沢のある青灰色で、平滑な試料である。

② マクロ組織：Photo.18⑨に示す。僅かに厚みの変動と反りをもつものの平坦気味の試料である。

③ 顕微鏡組織：Photo.18⑩に示す。鉄酸化物の3層構造が確認できる。外層ヘマタイト (Hematite: Fe_2O_3) や、中間層のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) が肥厚する傾向を示す。内層ヴスタイト (Wüstite: FeO) 部分の非晶質化が進んでおり、鍛打工程で派生する鍛造剥片とすれば後半段階での派生物と考えられる。

小結

供試材とした5点の剥片様の試料から、鍛打工程で派生する鍛造剥片に類似する鉄酸化物の3層構造が確認されたのはOMK-22-5のみで、外層・中間層が肥厚傾向にあり典型的な鍛造剥片とはやや異質な質感を呈する。剥片様の鉄酸化物ではあるが、鍛打工程の派生物としては疑問の残る試料群であった。

OMK-23 木炭

① 肉眼観察：供試材は広葉樹で細身の梁孔材である。送付試料のうちOMK-23-1・2を調査の対象とした。

② 走査型電子顕微鏡組織：Photo.33にOMK-23-1、Photo.34にOMK-23-2の組織を示す。

③ 性状調査：OMK-23-1・2を合せて分析に用いた。Table.3に示す。遺跡出土木炭は通常酸化土砂に汚染され固定炭素（F.C）が低く、灰分の多い傾向を呈する例が多い。純の消炭や木炭であれば固定炭素は85%台であるものが58.19%と低値であった。灰分は2%台が正常であるが汚染物質の影響から5.53%と高値で、揮発分も36.28%と高い値を示した。これらが原因となり発熱量も5910cal/gと本来の数値に達していない。本来は7000 cal/g以上は確保できる黒炭である。

しかし鉄に対して悪影響を及ぼす硫黄（T.S）は0.004%とごく低値であった。

OMK-24 木炭

① 肉眼観察：10年以上の広葉樹の環孔材である。送付試料のうちOMK-24-1・2を供試材とした。

② 走査型電子顕微鏡組織：Photo.35にOMK-24-1、Photo.36にOMK-24-2の組織を示す。

③ 性状調査：OMK-24-1・2を合せて分析に用いた。Table.3に示す。固定炭素（F.C）56.87%と低値で、灰分7.08%、揮発分36.05%と高く、前述のOMK-23木炭と同様の傾向を示した。そのため発熱量は5740cal/gと低値であった。

また硫黄（T.S）は0.004%、灰中燐（P）0.07%とともに低値となる。

OMK-25 木炭

① 肉眼観察：炭化の甘い10～15年の広葉樹の散孔材である。送付試料のうちOMK-25-1・2を供試材とした。

② 走査型電子顕微鏡組織：Photo.37にOMK-25-1、Photo.38にOMK-25-2の組織を示す。

③ 性状調査：OMK-25-1・2を合せて分析に用いた。Table.3に示す。固定炭素（F.C）60.30%と低めで、灰分4.48%、揮発分35.22%と高く、発熱量は6000cal/gと低値であった。有害元素の硫黄（T.S）は0.005%と低値で、OMK-23・24木炭と同様の傾向を示す。

OMK-26 木炭

① 肉眼観察：ほとんど同一樹種の細身の材をミカン割状に木取りしている。送付試料のうちOMK-26-1・2を供試材とした。

② 走査型電子顕微鏡組織：Photo.39にOMK-26-1、Photo.40にOMK-26-2の組織を示す。

③ 性状調査：OMK-26-1・2を合せて分析に用いた。Table.3に示す。固定炭素（F.C）57.16%と低く、灰分6.38%、揮発分36.16%と高く、発熱量は5730cal/gと低値であった。有害元素の硫黄（T.S）は0.008%と低値で、OMK-23～25木炭と同様の傾向を示す。

OMK-27 木炭

① 肉眼観察：炭化はいずれも甘く細身の材を用いている。送付試料のうちOMK-27-1・2・4を供試材とした。

② 走査型電子顕微鏡組織：Photo.41にOMK-27-1、Photo.42にOMK-27-2、Photo.43にOMK-27-4の組織を示す。

③ 性状調査：OMK-27-1・2・4を合せて分析に用いた。Table.3に示す。固定炭素（F.C）

53.53%と低く、灰分10.23%、揮発分36.24%と高く、発熱量は5420cal/gと低値であった。有害元素の硫黄(T.S)は0.006%と低値で、OMK-23~26木炭と同様の傾向を示す。

4 まとめ

(1) 大槓鉦は江戸時代後期に属する近世たたらである。出土製鉄関連遺物を調査した結果、出土砂鉄は二酸化チタン(TiO_2)を5.30~6.25%、バナジウム(V)0.26~0.35%、酸化マンガン(MnO)0.49~0.56%の値の塩基性砂鉄であった。この出土砂鉄と製錬滓の結びつきには若干の懸点があるものの塩基性砂鉄を原料とした操業であった。

製錬滓の鉱物組成はウルボスピネル($\text{Ulvöspinel: 2FeO}\cdot\text{TiO}_2$)、に加え高温生成物であるイルミナイト($\text{Ilmenite: FeO}\cdot\text{TiO}_2$)、シュードブルーカイト($\text{Pseudobrookite: Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$)、ないしはルチル(Rutile: TiO_2)の品出が認められる(注7)。操業時は高温が保持されたものと考えられる。

鉄塊系遺物は全てが鑄鉄主体の組織を示した。また、鉄中非金属系在物は高温生成物の硫化鉄(FeS)とリン共晶のステダイト(Steadite)がみられる。炉の操業としては銑鉄生産を志向したものであろう。一方、炉底塊(炉内滓)の含鉄部では未凝集のフェライトから共析鋼(C:0.77%)までの組織が確認され、やや含有炭素量の低い傾向を示す。金属鉄の凝集があまり進んでいないため排滓場に廃棄されたものと考えられる。

なお、炉壁胎土は鉄分や塩基性成分少なく、酸化アルミニウム(Al_2O_3)を一定量含有して耐火性の優れた性状のものが充当されていた。また、木炭は広葉樹系の黒炭が準備されており、同じ志津見建設予定地内で検出された下山遺跡の製鉄技術に近似した技術力であったと想定される(注8)。

(2) また、鍛冶炉内からの出土遺物として砂鉄混在物・粒状滓様遺物・鍛造剥片様遺物などの微細遺物の調査を行なった。

砂鉄混在物(OMK-5・6)は、生砂鉄と被熱砂鉄が主要構成物であった。製錬滓片の混入も認められる。なお剥片様の微細遺物が認められるものの、鍛打作業で派生する鍛造剥片の3層構造が認められるものはなかった。また、化学組成は製鉄炉より出土した砂鉄(OMK-3・4)と近似する傾をしめた。以上の点から製鉄炉周辺に散在した砂鉄が混入したものである可能性が高い。粒状滓様遺物(OMK-18・20・21)は1点を除き微小金属鉄粒ないしは錆化鉄粒であった。鉄粒中に含まれる滓部の鉱物相はウルボスピネル($\text{Ulvöspinel: 2FeO}\cdot\text{TiO}_2$)、イルミナイト($\text{Ilmenite: FeO}\cdot\text{TiO}_2$)が晶出する砂鉄製錬滓の晶癖であり、製錬工程での派生物と推定される。鍛造剥片様遺物(OMK-19・22)は、鍛打工程で派生する鍛造剥片にみられる鉄酸化物の3層構造に類似する試料も一部認められる。しかし層構造が不明瞭であったり、外層・中間層が肥厚するなど典型的な鍛造剥片とはやや異質な質感を呈する。鍛造剥片の可能性を完全に否定するものではないが、鍛打工程の派生物としては疑問の残る試料であった。その他の試料も剥片様の鉄酸化物ではあるが、鍛造剥片とはいえない。ここでも中原遺跡(注9)大鍛冶場でみた粒状滓や鍛造剥片のような鍛打作業をしっかりと裏付ける遺物との遭遇はできなかった。

以上述べてきたように調査試料からは明確な鍛冶関連遺物が確認できず、鍛冶工程に関する確実

な情報を得られなかった。当遺跡内における鍛冶作業を完全に否定しうるものではないが、再検討が望まれる結果となった。

(注)

- (1) 日刊工業新聞社「焼結鉾組織写真および識別法」1968 磁鉄鉾は530~600Hv、ヴスタイトは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。また、ウルボスピネルは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一している。
- (2) 山本科学工具研究所「標準顕微鏡組織 第1類炭素鋼・鑄鉄編 改訂6版」1987「共晶黒鉛鑄鉄 (Eutectic Graphite Cast Iron) はAFSが規定している黒鉛形状の分類によるとD型黒鉛に属し、素地組織はフェライトまたはフェライトとパーライトの混合したものがあ

る。この鑄鉄の製造法としては (イ) Se, Te, Bi, Tiなど特殊元素を添加する方法、(ロ) 真空状態に近い減圧のもとに溶解、鑄造する方法、(ハ) 鑄鉄浴中に特殊成分のスラッグ、例えばCaO, MgO, Al₂O₃, TiO₂などを接触させる方法、(ニ) 高温溶解による方法、(ホ) 急冷凝固させる方法などがある。」

- (3) 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。
- (4) 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 (注5)。

この鍛造剥片や粒状滓は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。通常は鍛冶跡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、秤量により分布状態を把握できれば、工房内の作業空間配置の手がかりとなりうる重要な遺物である (注6)。

鍛造剥片の酸化膜相は、外層は微厚のヘマタイト (Hematite: Fe₂O₃)、中間層マグネタイト (Magnetite: Fe₃O₄)、大部分は内層ヴスタイト (Wüstite: FeO) の3層から構成される。このうちのヘマタイト相は1450℃を越えると存在しなく、ヴスタイト相は570℃以上で生成されるのはFe-O系平衡状態図から説明される (注7)。

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: Fe₂O₃) は腐食しても侵されず、中間層マグネタイト (Magnetite: Fe₃O₄) は黄変する。内層のヴスタイト (Wüstite: FeO) は黒変する。

鍛打作業前半段階では内層ヴスタイト (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。

- (5) 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
- (6) 大澤正己「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 第13集)福岡県教育委員会 1991
森岡ら「鉄鋼腐食科学」『鉄鋼工学講座』11 朝倉書店 1975
- (7) J.B. Mac chesney and A. Murau : American Mineralogist, 46 (1961), 572
〔イルミナイト (Ilmenite : $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、シュードブルーカイト (Pseudobrookite : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)、ルチル (Rutile : TiO_2) の晶出はFe-TiO₂二元平衡状態図から高温化操業が推定される。〕
- (8) 大澤正己・鈴木瑞穂「下山遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」『下山遺跡(1)』(志津見ダム予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書7) 島根県教育委員会 2000
- (9) 大澤正己「中原遺跡大鍛冶関連遺物の金属学的調査」『中原遺跡』(志津見ダム予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書6) 島根県教育委員会 1999

Table.1 供試材の履歴と調査項目

符 号	製造名	出上位置	遺物名称	都庁年代	計測値		感光度	メタル度	査 査 項 目				備 考	
					大きさ(mm)	重量(g)			マイクロ風	顕微鏡組織	ヒカース装置測定	X線分析		CMA
OMK-1	大橋知雄	1号炉 南岸西	砂岩(砂岩部)	18c 初	126×110×53	408.4	5	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-2	大橋知雄	2号炉 本床	如壁	17c 末	160×147×94	1569.0	2	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-3	大橋知雄	1号炉 南岸東 C-4	砂岩(遺物)	18c 初	-	20.0	4	なし	○	○	-	-	○	-
OMK-4	大橋知雄	1号炉	砂鉄(遺物)	18c 初	-	20.0	5	なし	○	○	-	-	○	-
OMK-5	大橋知雄	4号遺物 炉内B区	砂鉄(遺物)	不明	-	20.0	5	なし	○	○	-	-	○	-
OMK-6	大橋知雄	5号遺物 炉内A区	砂鉄(遺物)	1705±40	-	20.0	4	なし	○	○	-	-	○	-
OMK-7	大橋知雄	2号炉 本床	如内底面層	17c 末	87×85×29	167.0	7	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-8	大橋知雄	2号炉 本床	如外底面層	17c 末	161×162×70	2051.2	4	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-9	大橋知雄	1号炉 南岸東 D-7	工具付砂岩	18c 初	41×30×4	10.3	2	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-10	大橋知雄	1号炉 北岸部層 D-7	如底層(各塊)	18c 初	144×128×90	1529.2	6	精L(☆)	○	○	○	-	○	-
OMK-11	大橋知雄	1号炉 北岸部層 D-6	如内層(各塊)	18c 初	87×52×25	144.2	7	精L(☆)	○	○	○	-	○	-
OMK-12	大橋知雄	2号炉 本床	如泥系遺物	17c 末	74×53×46	273.0	9	精L(☆)	○	○	○	-	○	-
OMK-13	大橋知雄	2号炉 本床	如泥系遺物	17c 末	57×48×25	108.3	7	精L(☆)	○	○	○	-	○	-
OMK-14	大橋知雄	2号炉 本床	如泥系遺物	不明	39×35×19	44.3	6	精L(☆)	○	○	○	-	○	-
OMK-15	大橋知雄	SK01	如泥系遺物	不明	87×76×32	353.5	6	精L(☆)	○	○	○	-	○	-
OMK-16	大橋知雄	如油坑遺物	如泥系遺物	1705±和	18×13×12	4.7	3	精L(☆)	○	○	○	-	○	-
OMK-17	大橋知雄	如油坑遺物	再結合層	不明	208×142×39	621.0	4	なし	○	○	-	-	○	-
OMK-18	大橋知雄	3号遺物	如枕状砂岩遺物	1730±30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMK-19	大橋知雄	3号遺物	如遺物片	1730±30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMK-20	大橋知雄	4号遺物	如枕状砂岩遺物	不明	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMK-21	大橋知雄	5号遺物	如枕状砂岩遺物	1705±40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMK-22	大橋知雄	5号遺物	如遺物片	1705±40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMK-23	大橋知雄	1号炉 南岸東	小豆	18c 初	-	16.9	1	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-24	大橋知雄	2号炉 北岸部層	水浸	18c 初	-	32.3	1	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-25	大橋知雄	SK01	水浸	不明	-	30.6	1	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-26	大橋知雄	SK04	水浸	不明	-	22.2	1	なし	-	○	-	-	○	-
OMK-27	大橋知雄	3号遺物 炉内	水浸	1705±40	-	12.3	1	なし	-	○	-	-	○	-

Table.2 供試材の化学組成

符 号	道 線 名	産 物 名	* * * * *																耐火炭素成分 Total Fe						
			全炭分 (Total C)	全鉄分 (Total Fe)	酸化鉄 第1種 (FeO)	酸化鉄 第2種 (Fe ₂ O ₃)	酸化 錳 (MnO)	酸化 亜鉛 (ZnO)	酸化 アルミ (Al ₂ O ₃)	酸化 シリカ (SiO ₂)	酸化 カルシウム (CaO)	酸化 マグネシウム (MgO)	酸化 カリウム (K ₂ O)	酸化 ナトリウム (Na ₂ O)	酸化 バリウム (BaO)	酸化 バリウム +ナトリウム (BaO+Na ₂ O)	酸化 バリウム +ナトリウム +カルシウム (BaO+Na ₂ O+CaO)	酸化 シリカ (SiO ₂)		酸化 五酸化 リン (P ₂ O ₅)	炭素 (C)	窒素 (N)	銅 (Cu)	耐火炭素成分 Total Fe	TKD Total Fe
OMK-1	大相川炭	野原(伊藤製炭)	3.16	0.03	0.81	3.58	69.31	19.35	6.44	0.59	3.37	0.67	0.14	0.61	0.04	0.01	0.10	#0.08	0.01	0.007	14.55	30.64	26.633	0.263	
OMK-2	大相川炭	打壁	2.22	0.02	0.10	3.03	72.15	18.85	0.12	0.20	3.82	0.37	0.10	0.45	0.04	0.01	0.11	#0.87	0.01	0.006	1.93	95.24	42.901	0.263	
OMK-3	大相川炭	砂丘(運搬)	61.92	0.28	25.70	39.37	3.47	2.01	0.43	0.45	0.24	0.19	0.53	3.93	0.05	0.01	0.11	0.19	0.34	0.003	-	6.79	0.110	0.096	
OMK-4	大相川炭	砂丘(運搬)	61.00	0.01	25.99	62.61	2.43	1.43	0.33	0.33	0.09	0.07	0.19	5.30	0.05	0.01	0.08	0.09	0.26	0.004	-	4.68	0.073	0.083	
OMK-5	大相川炭	砂丘(運搬)	63.14	0.15	25.03	52.24	2.74	1.70	0.15	0.46	0.59	0.02	0.32	5.72	0.05	0.01	0.07	0.11	0.33	0.006	-	3.46	0.096	0.091	
OMK-6	大相川炭	砂丘(運搬)	61.78	0.24	24.86	63.70	3.00	1.85	0.52	0.46	0.17	0.06	0.36	6.25	0.05	0.01	0.10	0.13	0.35	0.003	-	6.06	0.098	0.101	
OMK-7	大相川炭	伊外(川岸)	32.96	0.02	11.37	34.32	19.16	6.33	2.58	1.40	1.56	0.28	1.37	30.08	0.10	0.01	0.28	0.10	0.62	0.003	-	31.31	0.983	0.611	
OMK-8	大相川炭	伊外(川岸)	32.56	0.03	15.07	29.79	22.95	6.32	3.19	1.91	0.69	0.12	1.33	17.31	0.07	0.01	0.21	0.02	0.30	0.006	-	35.41	1.087	0.531	
OMK-10	大相川炭	伊外(高倉)	55.32	8.27	36.89	27.47	7.31	2.83	1.31	0.97	0.46	0.10	0.70	12.27	0.10	0.03	0.19	0.30	0.73	0.005	-	12.38	0.245	0.222	
OMK-11	大相川炭	伊内(高倉)	48.22	16.96	19.20	23.36	14.14	3.59	1.48	0.80	0.79	0.24	0.56	8.63	0.09	0.06	0.18	0.55	0.51	0.006	-	21.41	0.445	0.179	
OMK-12	大相川炭	伊内(高倉)	36.83	23.44	13.51	32.78	11.60	4.13	0.28	0.15	0.63	0.27	0.02	0.17	0.04	0.13	0.22	1.91	0.01	0.010	-	17.08	0.301	0.003	
OMK-13	大相川炭	伊内(高倉)	75.69	50.93	17.65	16.22	3.37	0.94	0.28	0.05	0.23	0.10	0.01	0.14	0.10	0.06	0.14	1.83	0.01	0.008	-	4.98	0.066	0.002	
OMK-14	大相川炭	伊内(高倉)	80.79	61.10	12.78	13.95	1.61	0.46	0.15	0.03	0.05	0.01	0.01	0.13	0.02	0.06	0.30	1.74	0.01	0.007	-	2.33	0.029	0.002	
OMK-15	大相川炭	伊内(高倉)	43.55	2.58	6.87	59.94	17.68	4.38	0.61	0.25	0.74	0.53	0.07	1.14	0.02	0.11	0.31	1.42	0.04	0.006	-	23.8	0.516	0.036	
OMK-16	大相川炭	伊内(高倉)	70.75	-	-	-	-	3.63	1.00	0.27	0.06	0.18	0.05	0.02	0.17	0.05	-	0.37	-	0.01	0.012	-	3.21	0.074	0.002

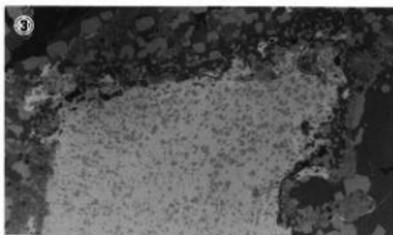
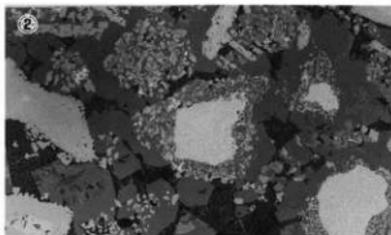
Table.3 木炭の性状

炭種番号	道 線 名	種 別	炭分	水分	FC	T.S	灰中P	炭素 (%)	
OMK-23	大相川炭	木炭	5.53	36.28	13.21	58.19	0.004	-	59.10
OMK-24	大相川炭	木炭	7.68	36.05	14.02	56.87	0.004	0.097	57.40
OMK-25	大相川炭	木炭	4.48	35.22	13.24	60.30	0.005	-	9.000
OMK-26	大相川炭	木炭	6.38	36.16	13.15	57.46	0.008	-	57.30
OMK-27	大相川炭	木炭	10.23	36.24	14.29	53.53	0.006	-	54.20

OMK-1

炉壁 (砂鉄焼結)

- ①×100 付着焼結砂鉄
中央格子組織
②×100 ③×400 半
還元砂鉄周囲ウルボスビ
ネル晶出
④×100 ガラス質スラ
グ中の微小析出物
⑤×50 被熱胎土：粘
土鉱物石英多量混和



OMK-2

炉壁

- ⑥×100 表層：容融ガ
ラス質スラグ中のイルミ
ナイト
⑦×100 ガラス質スラ
グ中の混入砂鉄。イルミ
ナイト
⑧×50 被熱胎土：粘土
鉱物石英粒多量混和

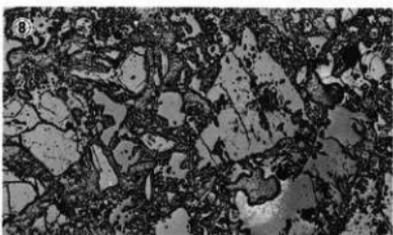
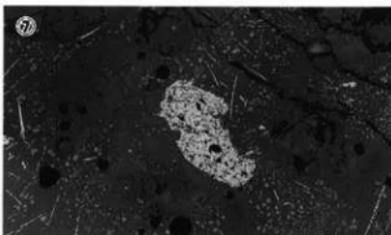
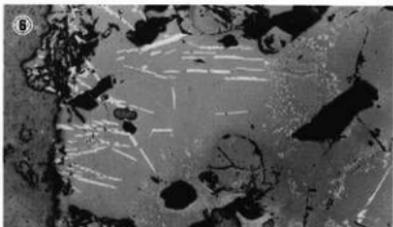


Photo.1 炉壁の顕微鏡組織

OMK-3

砂鉄

①×100 被熱砂鉄と生砂鉄

②×100 同上

③×400 中央被熱砂鉄

④×100 ⑤×400 被熱砂鉄

⑥×100 ⑦×400 被熱砂鉄

チタン鉄鉱：格子組織

⑧×100 ⑨×400 生砂鉄

チタン鉄鉱：格子組織

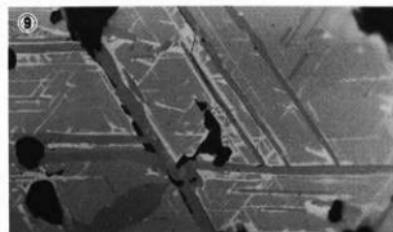
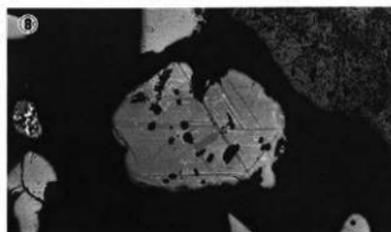
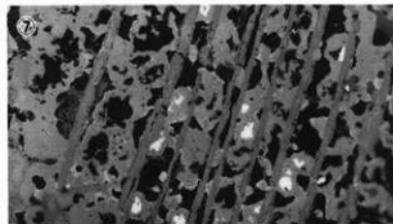
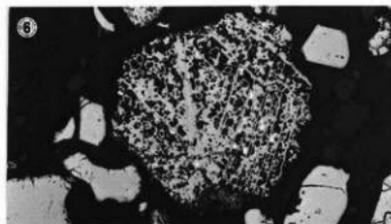
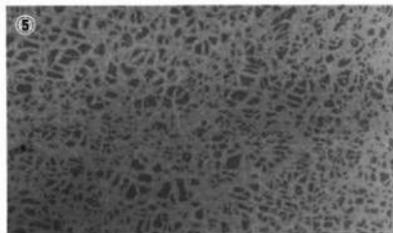
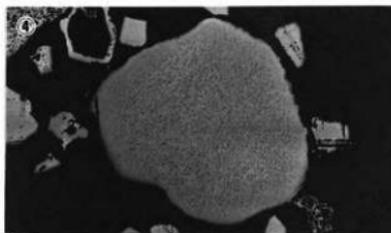
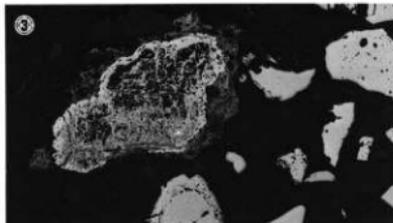
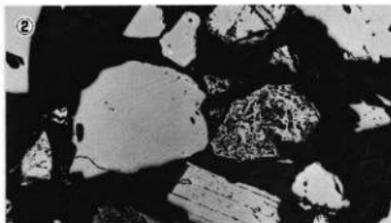
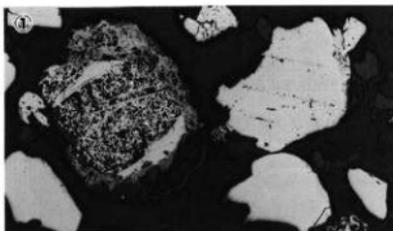


Photo.2 砂鉄（遺跡）の顕微鏡組織

OMK-4

砂鉄 (遺跡)

- ①×100 中央砂鉄、磁鉄鉱
- ②×100 同上
- ③×100 中央チタン鉄鉱：格子組織
- ④⑤×100 中央：被熱砂鉄
- ⑥×100⑦×400 チタン鉄鉱：格子組織
- ⑧×100⑨×400 同上

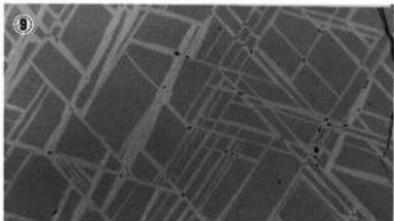
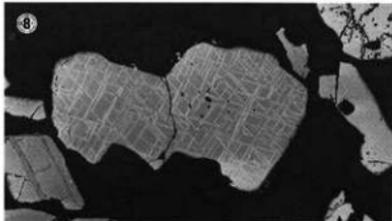
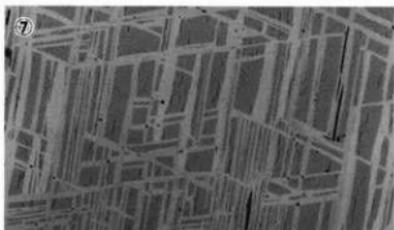
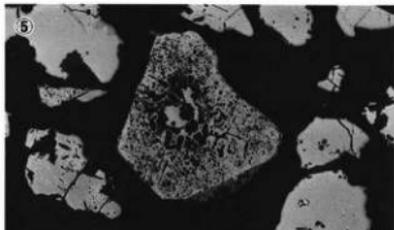
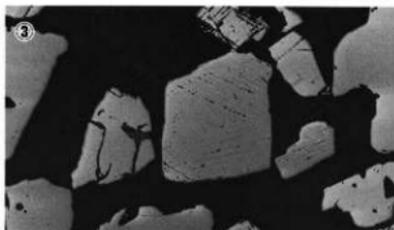
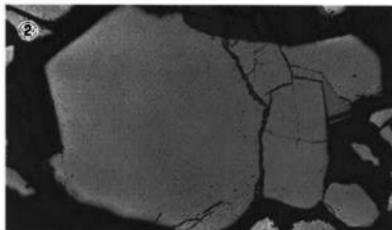
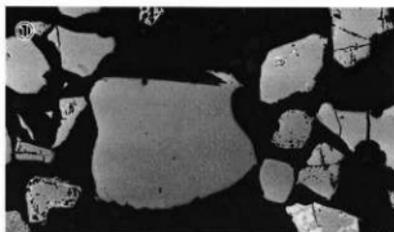


Photo.3 砂鉄 (遺跡) の顕微鏡組織

OMK-5

砂鉄混在物

①×100 中央生砂鉄、磁鉄鉱

②×100 同上

③×100 中央チタン鉄

鉱：格子組織

④⑤×100 被熱砂鉄

⑥×100⑦×400 チタン

鉄鉱：格子組織

⑧×100⑨×400 被熱砂鉄

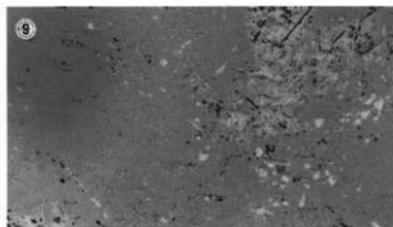
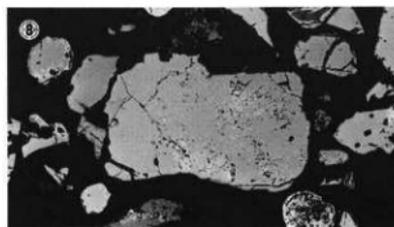
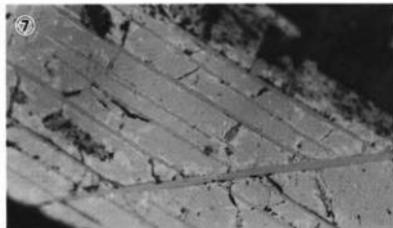
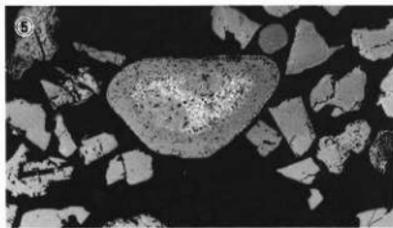
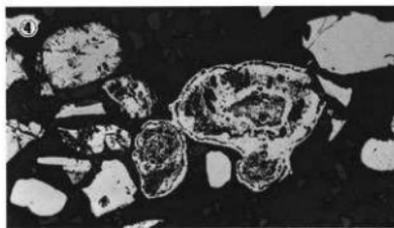
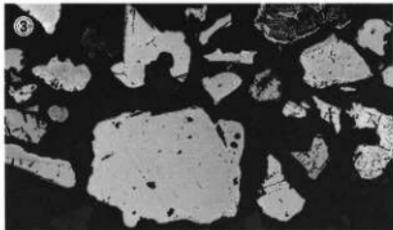
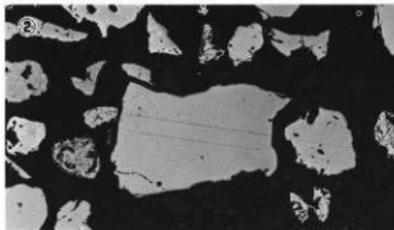
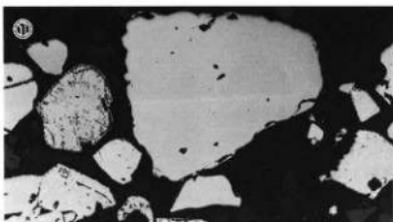


Photo.4 砂鉄（遺跡）の顕微鏡組織

OMK-6

砂鉄混在物

①×100 生砂鉄

②×100③×400 生砂鉄

中央チタン鉄鉱：格子組織

④×100⑤×400 被熱砂鉄

⑥×100⑦×400 同上

⑧×100⑨×400 薄片

未発達ウルボスピネル

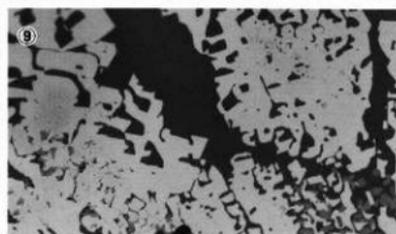
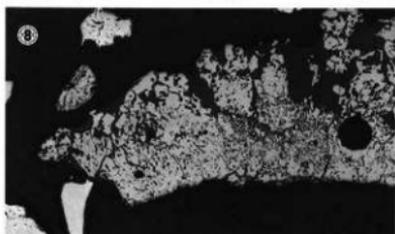
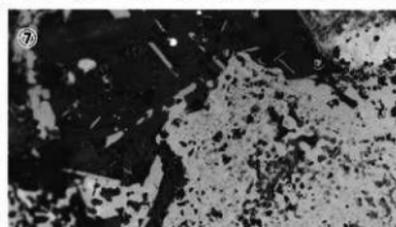
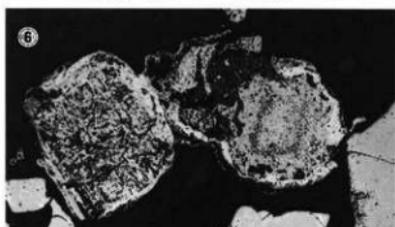
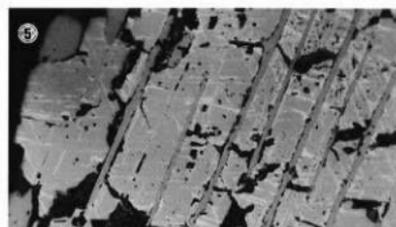
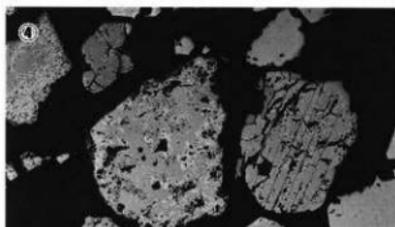
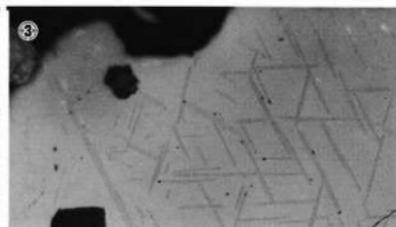
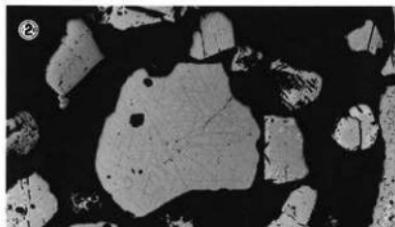
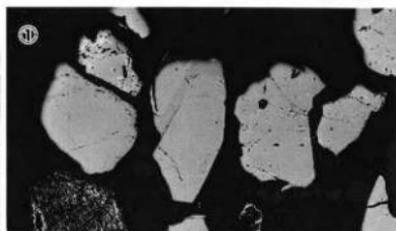


Photo.5 砂鉄（遺跡）の顕微鏡組織

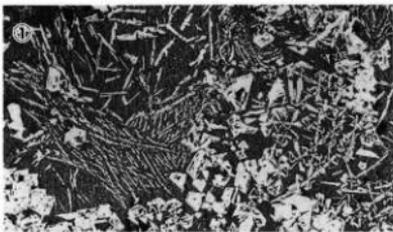
OMK-7

炉外流出滓

①~③×100 ウルボスピネル・イルミナイト・ファイヤライト



2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 3 4 5 6



OMK-8

炉外流出滓

④×100 ウルボスピネル・ファイヤライト

⑤×100 ⑥×400 ウルボスピネル(格子組織残存)

⑦×100 ⑧×400 同上



10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

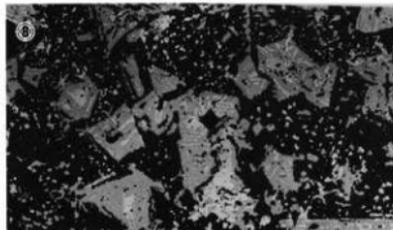
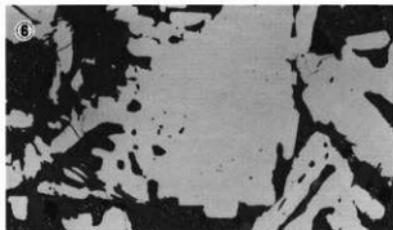
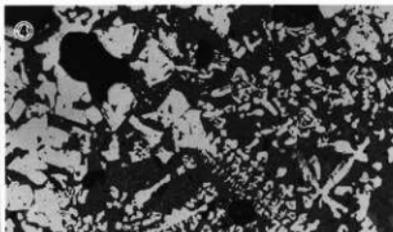


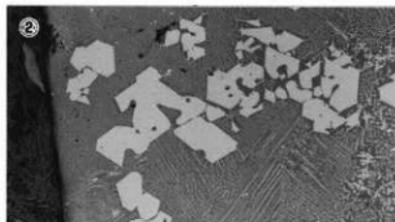
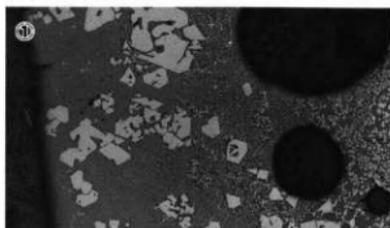
Photo.6 炉外流出滓の顕微鏡組織

OMK-9

工具付着層

①×50②×100 表層：
ウルボスピネル・ファイ
ヤライト

③×200 硬度圧痕：
724Hvウルボスピネル



OMK-10

炉底塊 (含鉄)

④~⑧ナイタルetch

④×100 金属鉄粒(フェ
ライト)散在、滓部：ウル
ボスピネル

⑤⑥×100 フェライト

⑦167Hv：フェライト

⑧653Hv：ウルボスピネル

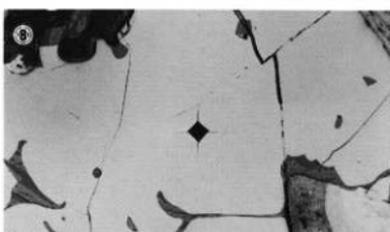
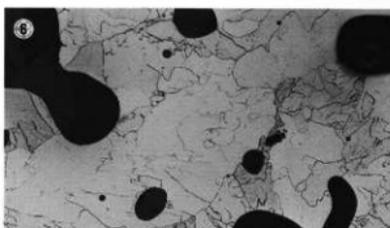
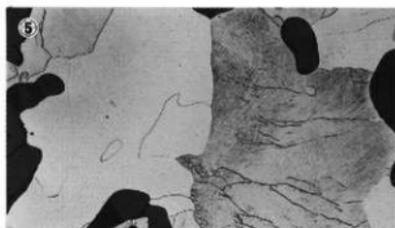
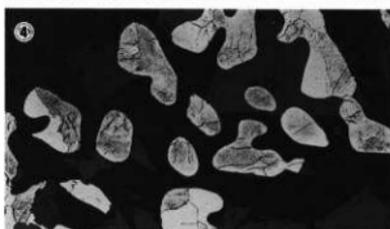


Photo.7 工具付着層・炉底塊 (含鉄) の顕微鏡組織

OMK-11

炉内洋 (含鉄)

①×100 洋部:ウルボスピ
ネル・イルミナイト

②×400 鉄中非金属介在物

③~⑨ナイタルetch

③×100 フェライト、④×
100.5:×400 フェライト・
パーライト⑥×100同左

⑦~⑨×200 硬度圧痕:⑦

148Hv⑧167Hv⑨224Hv

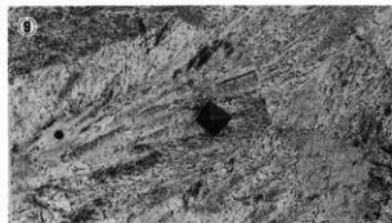
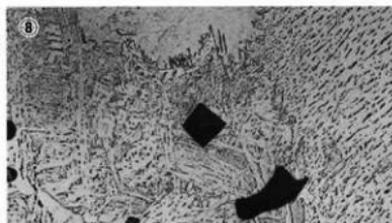
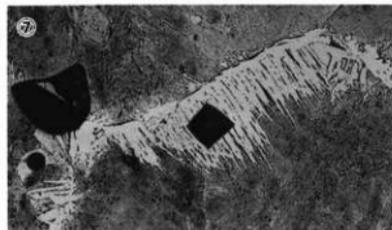
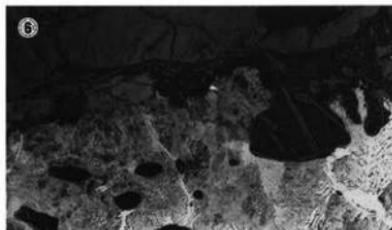
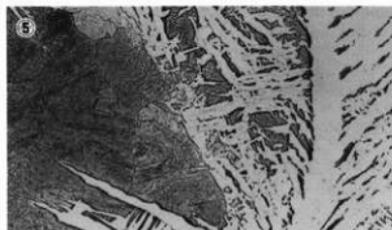
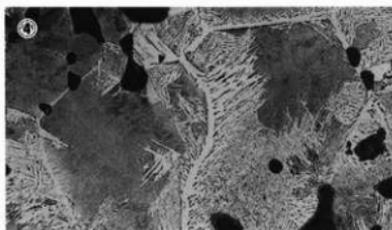
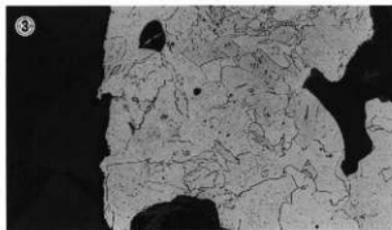


Photo.8 炉底塊 (含鉄) の顕微鏡組織

OMK-12

鉄塊系遺物

①×400 表皮スラグ：
ガラス質スラグ中の微小
析出物

②～⑤ナイタルetch

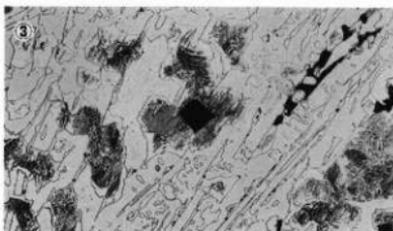
②×100 白鑄鉄

③～⑤×200 硬度圧痕：

③263Hv：パーライト

④675Hv：レデプライト

⑤780Hv：セメントライト



OMK-13

鉄塊系遺物

⑥×400 鉄中非金属介
在物：FeS及びビステナイト

⑦⑧×200

ナイタルetch、白鑄鉄

硬度圧痕

⑦263Hv：パーライト

⑧615Hv：レデプライト

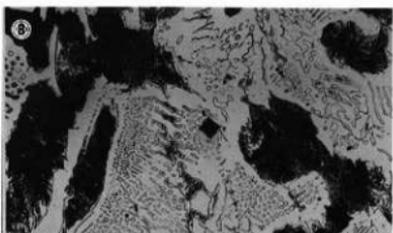


Photo.9 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

OMK-14

鉄塊系遺物

①×400 表皮スラグ：ルチ

ル 砂鉄残骸

②×400 非金属介在物：

FeS

③～⑨ナイタルetch

③×100 亜共晶組成白鑄鉄

④×100⑤×400⑥×100同上

⑦～⑨×200 硬度圧痕：⑦

262Hv⑧646Hv⑨863Hv

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 3 4 5 6

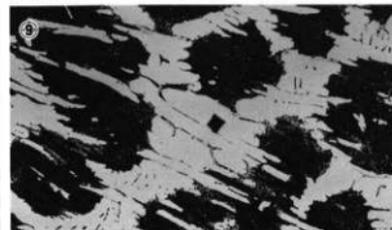
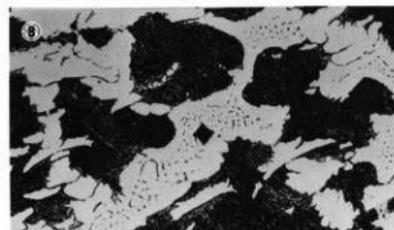
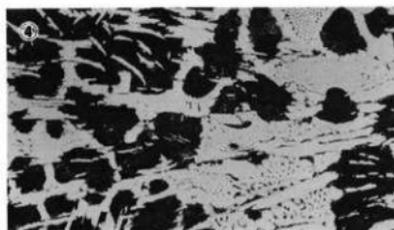
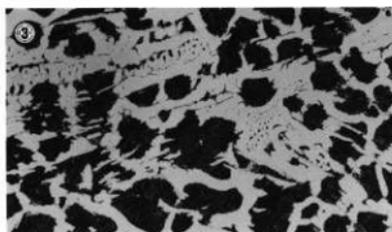
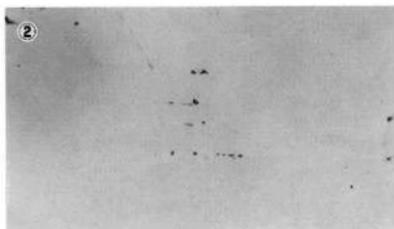
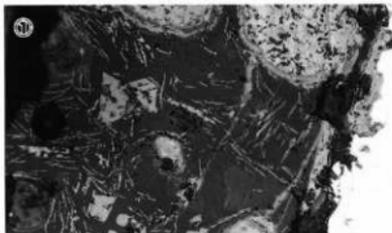


Photo.10 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

OMK-15

鉄塊系遺物

①×100 表皮スラグ：ウルボスピネル・ファイヤライト

②×400 鉄中非金属介在物：FeS・ステダイト

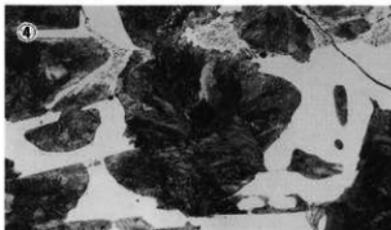
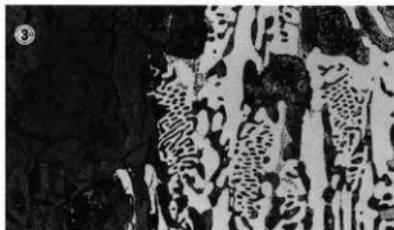
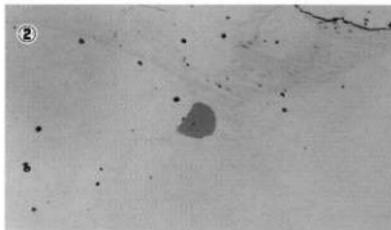
③～⑤ナイタルetch

③×100 錆化鉄

片状黒鉛十白鑄鉄

④⑤×200 硬度圧痕：

④332Hv⑤532Hv



OMK-16

鉄塊系遺物

⑦⑧ナイタルetch

⑥×100 共晶状黒鉛
不完全球状セメントライト

⑦⑧×200 硬度圧痕：

⑦232Hv；セメントライト
・フェライト

⑧140Hv；片状黒鉛

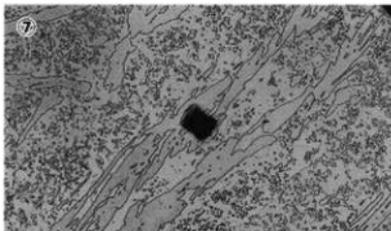
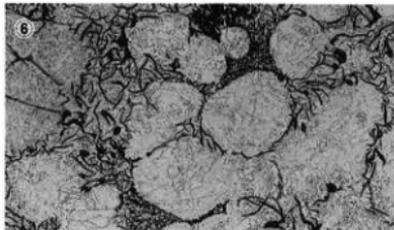
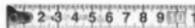


Photo.11 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

OMK-17

再結合滓

- ①×100 黒鉛化木炭
- ②×100 ウルボスピネル・イルミナイト
- ③×100 シュードブルーカイト
- ④×100 生砂鉄
- ⑤×100 半還元砂鉄
- ⑥×100⑦×400 被熱砂鉄
- ⑧×100⑨×400 錆化鉄；白鑄鉄組織残存

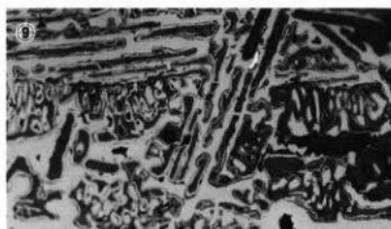
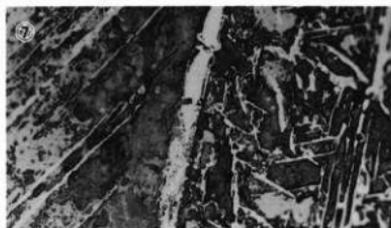
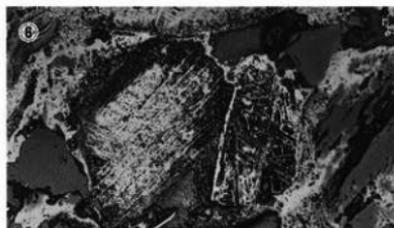
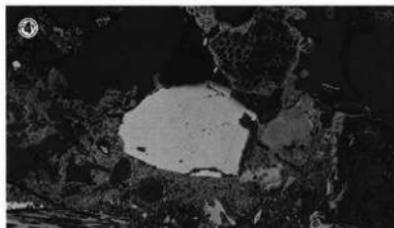
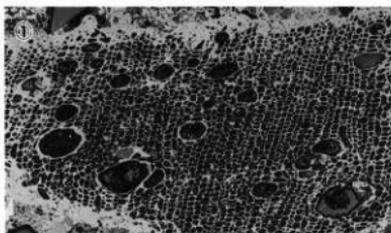


Photo.12 再結合滓の顕微鏡組織

OMK-18-1

微小金属鉄粒

①×20 ナイタルetch

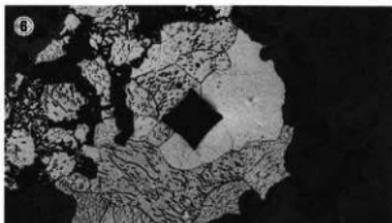
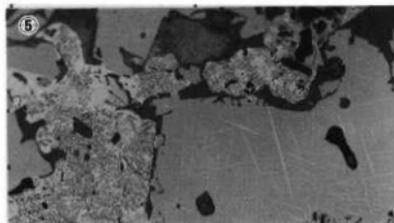
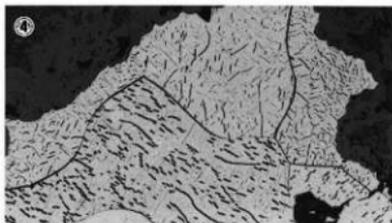
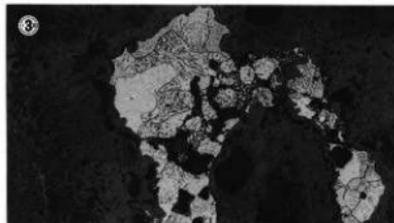
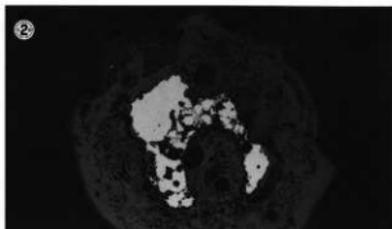
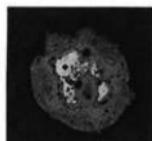
マクロ組織

②×50 no etch

③×100④×400 ナイタルetch、中央：金属鉄：フェライト

⑤×400 淬部：ウルボスピネル

⑥×200 硬度圧痕：79Hvフェライト



OMK-18-2

微小金属鉄粒

⑦~⑩ナイタルetch

⑦×20 マクロ組織

⑧×100⑨×400 中央金属鉄セメント・フェライト

⑩×200 硬度圧痕：369Hv

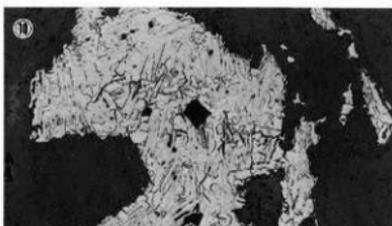
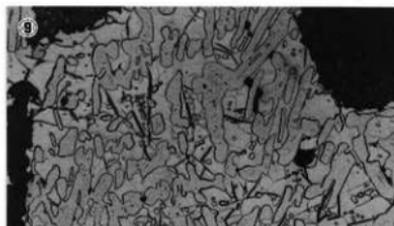
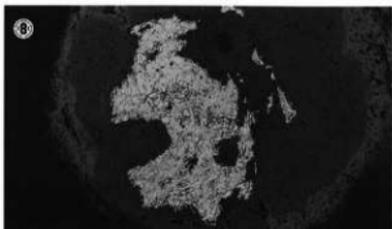
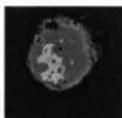
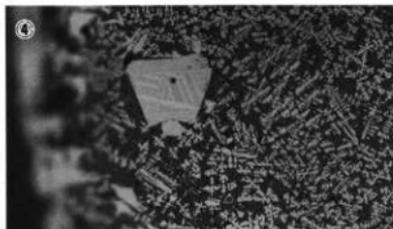
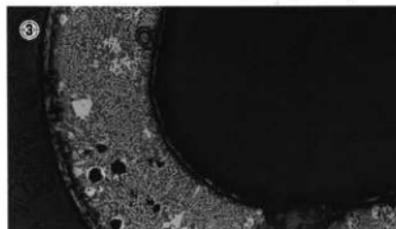
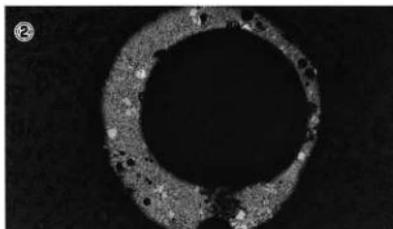


Photo.13 粒状滓様遺物の顕微鏡組織

OMK-18-3

粒状滓?

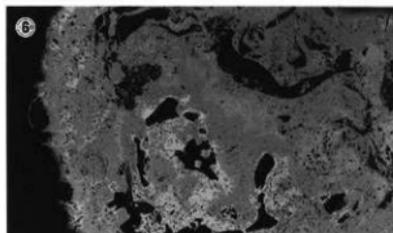
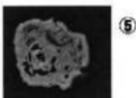
- ①×20 マクロ組織
②×50③×100④×400
ウルボスピネル (一部格子組織
残存)・ファイヤライト



OMK-18-4

錆化鉄粒

- ⑤×20 マクロ組織
⑥×100 錆化鉄(Geothite)
フェライト粒界痕跡
捲込みスラグ: ガラス質滓
イルミナイト



OMK-18-5

錆化鉄粒

- ⑦×20 マクロ組織
⑧×50⑨×100⑩×400 錆化
鉄(Geothite) 片状黒鉛・パー
ライト痕跡
捲込みスラグ: ウルボスピネ
ル イルミナイト

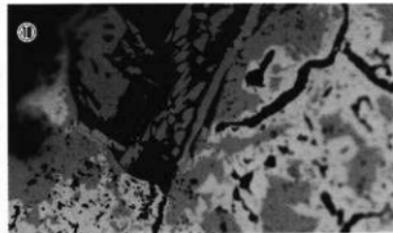
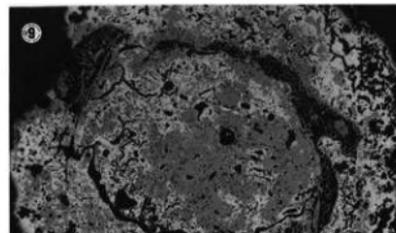
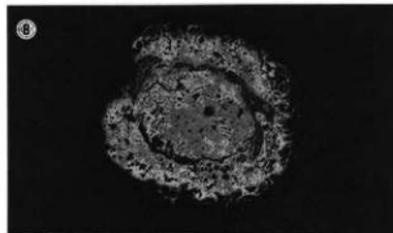
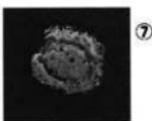


Photo.14 粒状滓様遺物の顕微鏡組織

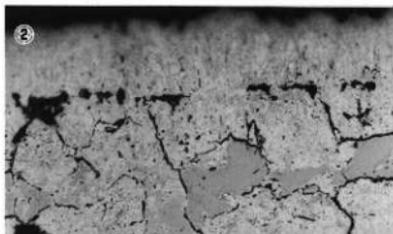
OMK-19-1

鍛造剥片様遺物

- ①② 王水etch
- ①×20 マクロ組織
- ②×400 3層構造不明
- 隙マグネタイト・不定形模様へマタイト



①



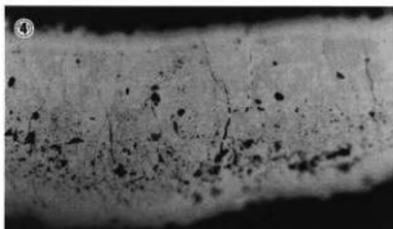
OMK-19-2

鍛造剥片?

- ③④ 王水etch
- ③×20 マクロ組織
- ④×400 3層分離型?
- 内層ヴスタイト非晶質化進行



③



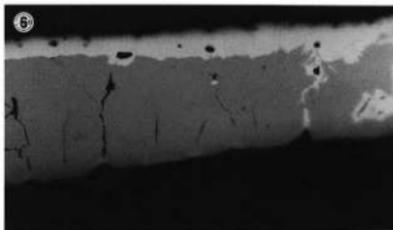
OMK-19-3

鍛造剥片様遺物

- ⑤⑥ 王水etch
- ⑤×20 マクロ組織
- ⑥×400 マグネタイト・ヴスタイト



⑤



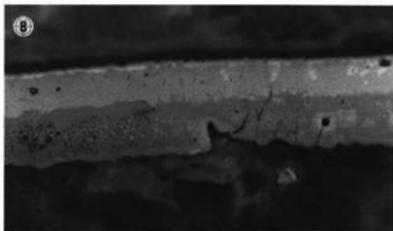
OMK-19-4

鍛造剥片?

- ⑦⑧ 王水etch
- ⑦×20 マクロ組織
- ⑧400 3層分離型
- 内層ヴスタイト凝集



⑦



OMK-19-5

鍛造剥片様遺物

- ⑨⑩ 王水etch
- ⑨×20 マクロ組織
- ⑩×400 マグネタイト・ヴスタイト



⑨



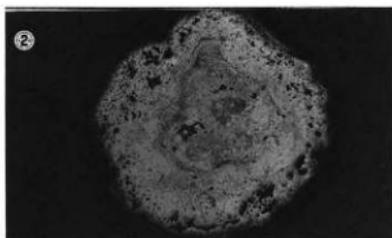
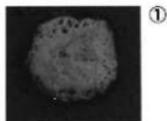
Photo.15 鍛造剥片様遺物の顕微鏡組織

OMK-20-1

銹化鉄粒

①×20 マクロ組織

②×50 銹化鉄

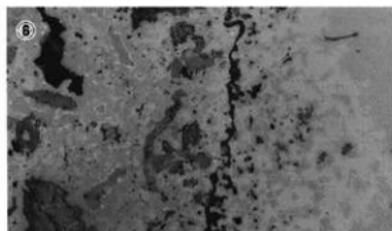
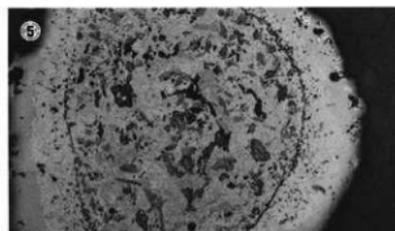
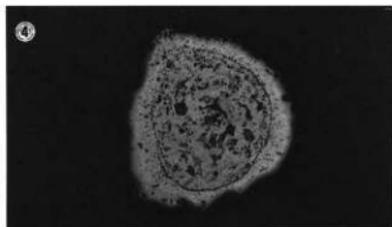
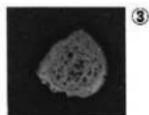


OMK-20-2

銹化鉄粒

③×20 マクロ組織

④×50 ⑤×100 ⑥×400 銹化鉄



OMK-21-1

銹化鉄粒

⑦×20 マクロ組織

⑧×50 ⑨×100 ⑩×400

銹化鉄 (Geothite)

フェライト粒界痕跡

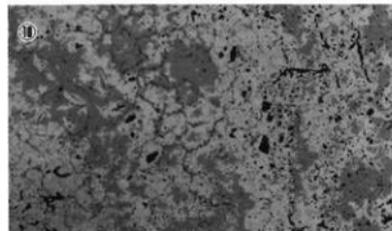
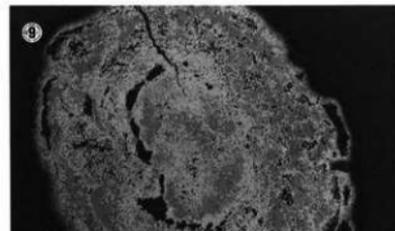
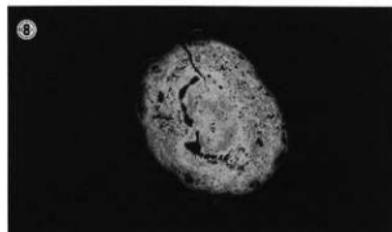
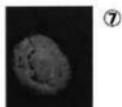


Photo.16 粒状滓様遺物の顕微鏡組織

OMK-21-2

微小金属鉄粒

①×20 ナイタルetch

マクロ組織

②×50③×100 no etch

④~⑥ ナイタルetch

④×100⑤×400 中央金属

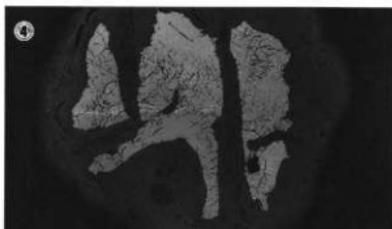
鉄：フェライト

⑥×200 硬度圧痕：114Hv

フェライト



①



OMK-21-3

錆化鉄粒

⑦×20 マクロ組織

⑧×50⑨×400⑩×400

錆化鉄 (Geothite)



⑦

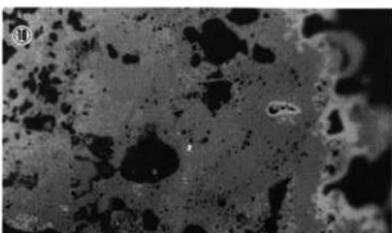
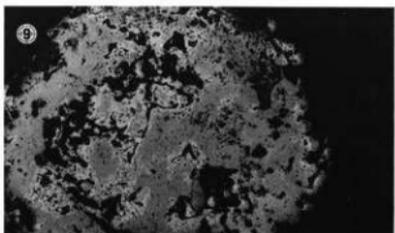
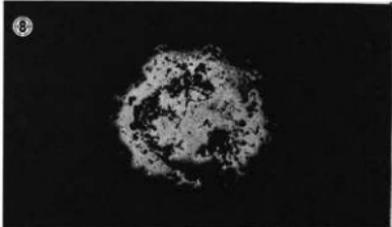


Photo.17 粒状滓様遺物の顕微鏡組織

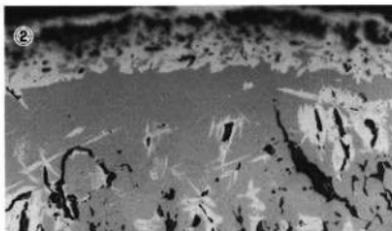
OMK-22-1

鍛造剥片様遺物

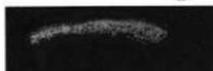
①×20 王水etch

マクロ組織

②×400 no etch、ヘマ
タイト、ヴスタイト



①



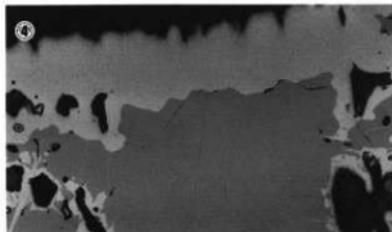
OMK-22-2

鍛造剥片様遺物

③④ 王水etch

③×20 マクロ組織

④×400 マグネタイト
・ヴスタイト



③

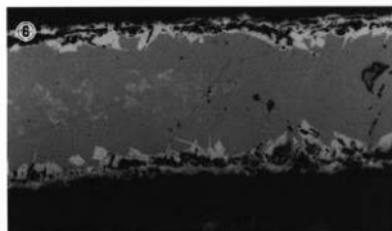


OMK-22-3

鍛造剥片様遺物

⑤×20 王水etch、マ
クロ組織

⑥×400 no etch、ヘ
マタイト・ヴスタイト



⑤

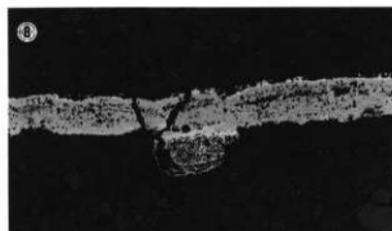


OMK-22-4

銹化鉄片

⑦×20 王水etch、マ
クロ組織

⑧×100 no etch、銹化
鉄



⑦



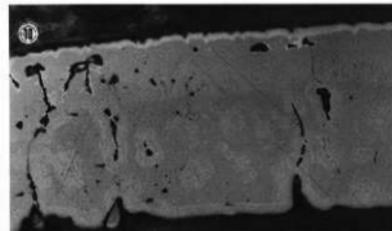
OMK-22-5

鍛造剥片?

⑨⑩ 王水etch

⑨×20 マクロ組織

⑩×400 3層分離型、
内層ヴスタイト非晶質



⑨



Photo.18 鍛造剥片様遺物の顕微鏡組織

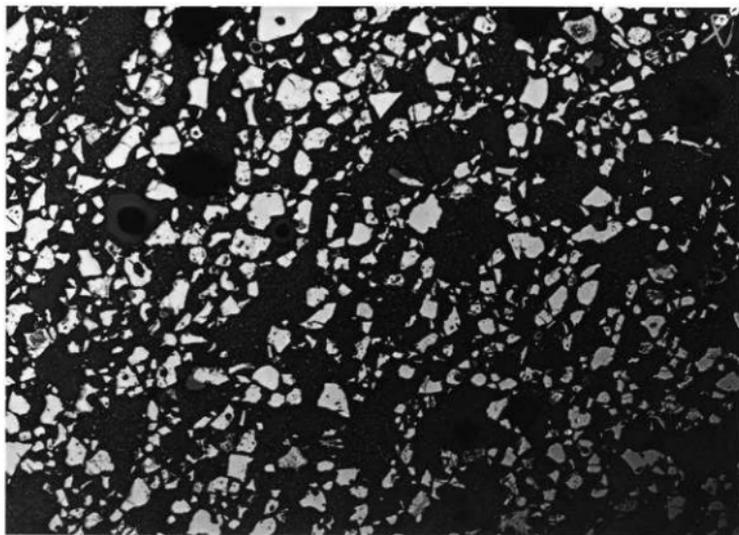
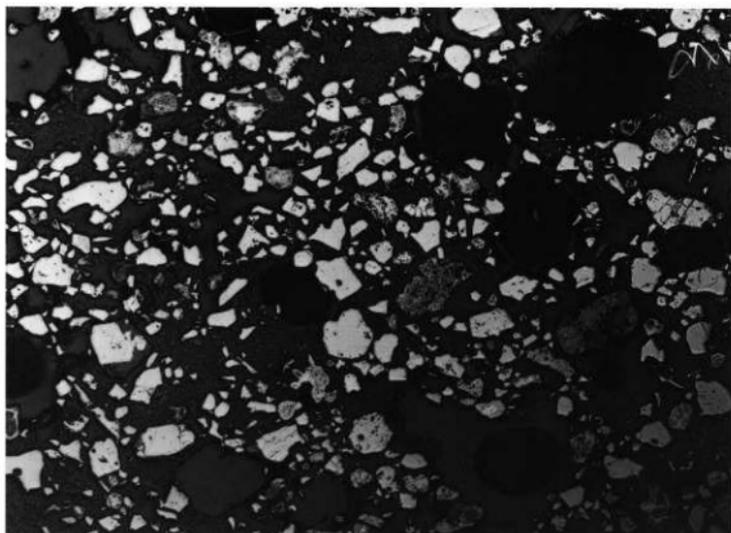


Photo.19 上段：砂鉄（遺跡）（OMK-3）のマクロ組織（ $\times 20$ ）

下段：砂鉄（遺跡）（OMK-4）のマクロ組織（ $\times 20$ ）

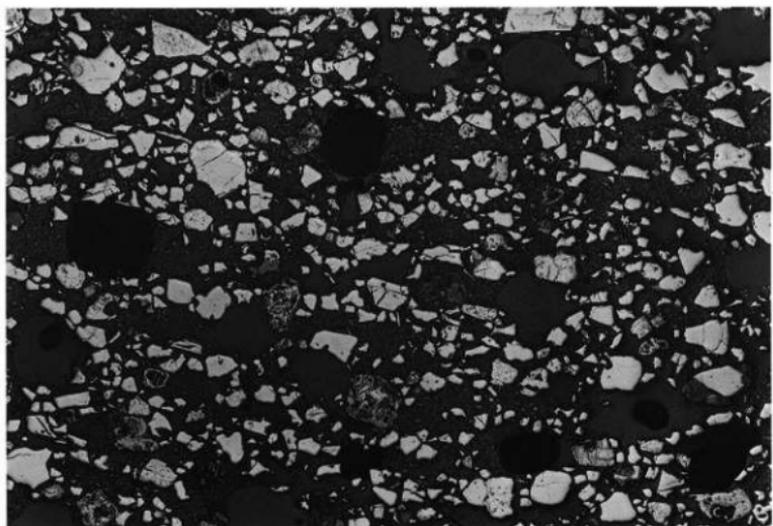
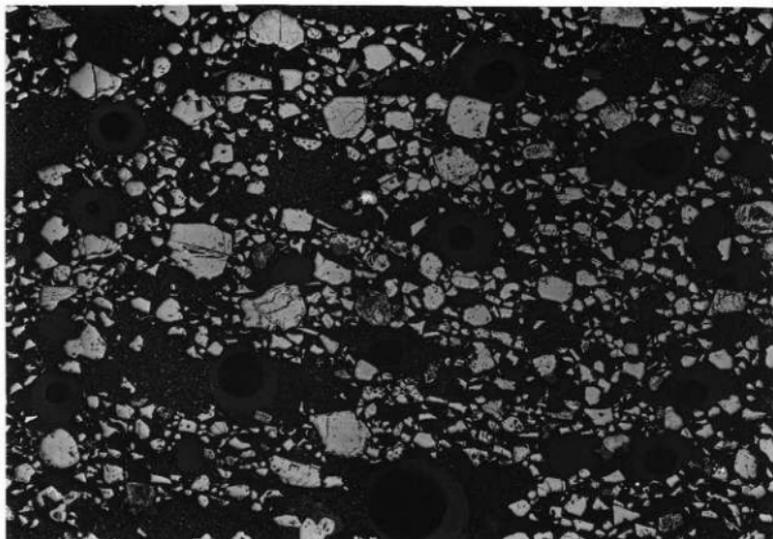


Photo.20 上段：砂鉄混在物（遺跡）（OMK-5）のマクロ組織（ $\times 20$ ）

下段：砂鉄混在物（遺跡）（OMK-6）のマクロ組織（ $\times 20$ ）

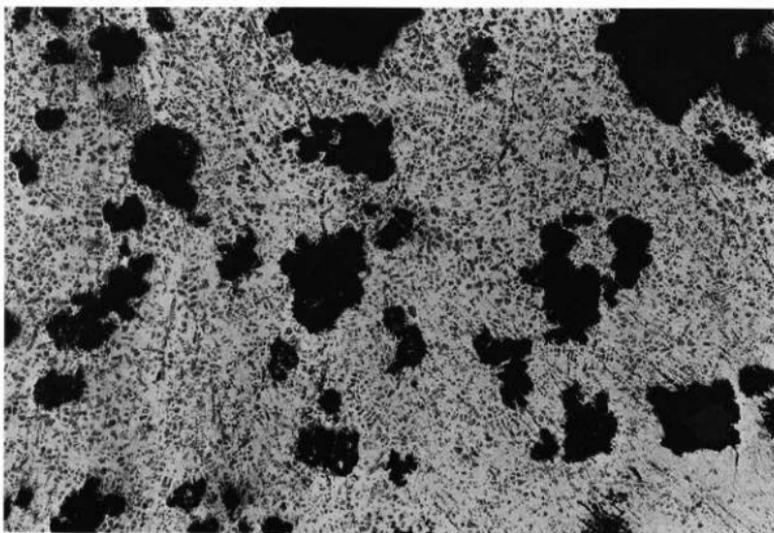
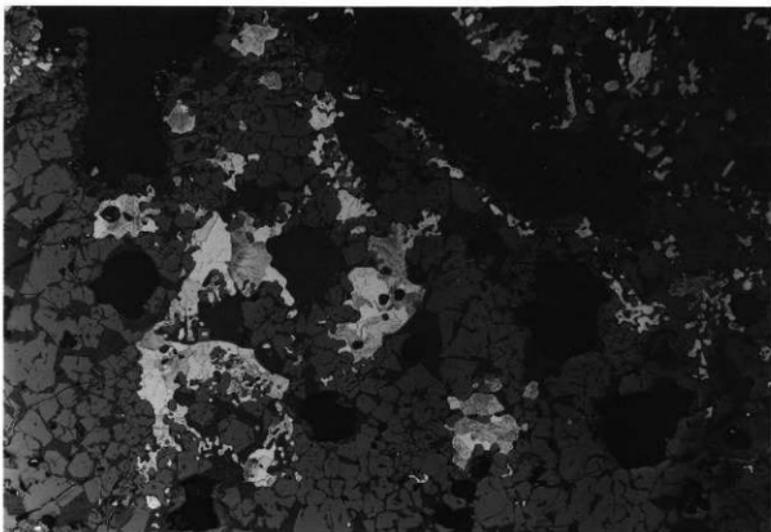


Photo.21 上段：炉底塊（含鉄）（OMK-10）のマクロ組織（×20）

下段：鉄塊系遺物（OMK-12）のマクロ組織（×20）

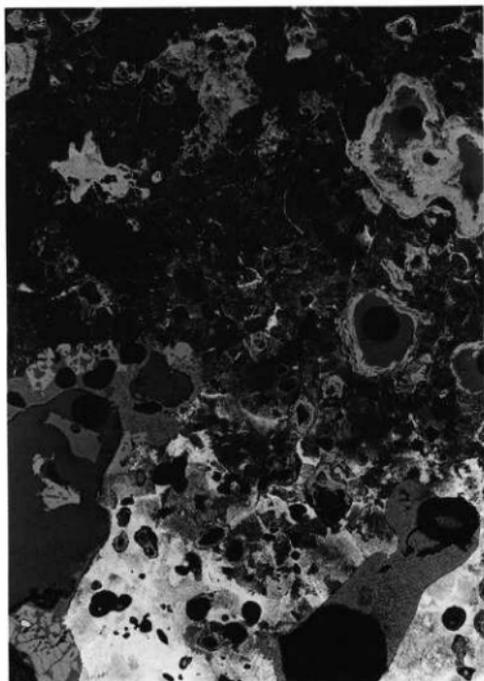
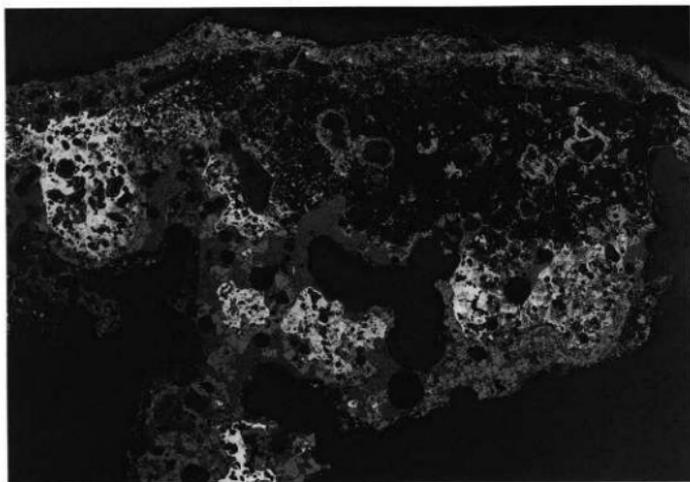


Photo.22 上段：炉内滓（含鉄）（OMK-11）のマクロ組織（×5）
下段：炉内滓（含鉄）（OMK-11）のマクロ組織（×20）

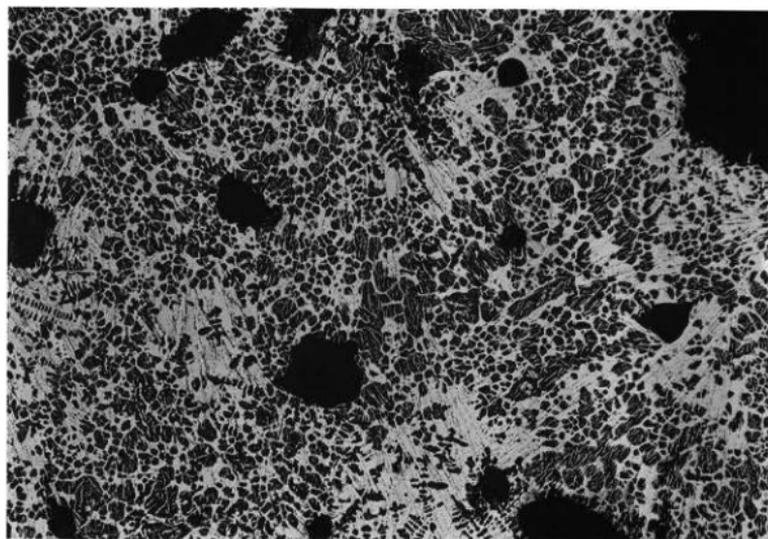
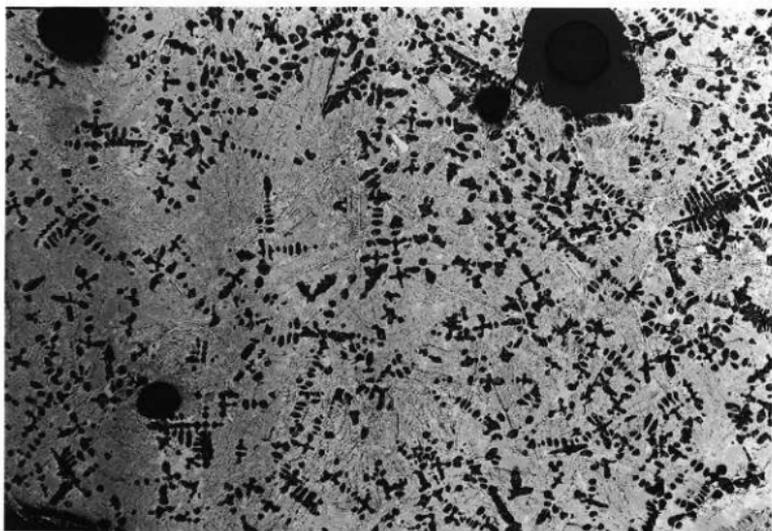


Photo.23 上段：鉄塊系遺物（OMK-13）のマクロ組織（×20）

下段：鉄塊系遺物（OMK-14）のマクロ組織（×20）

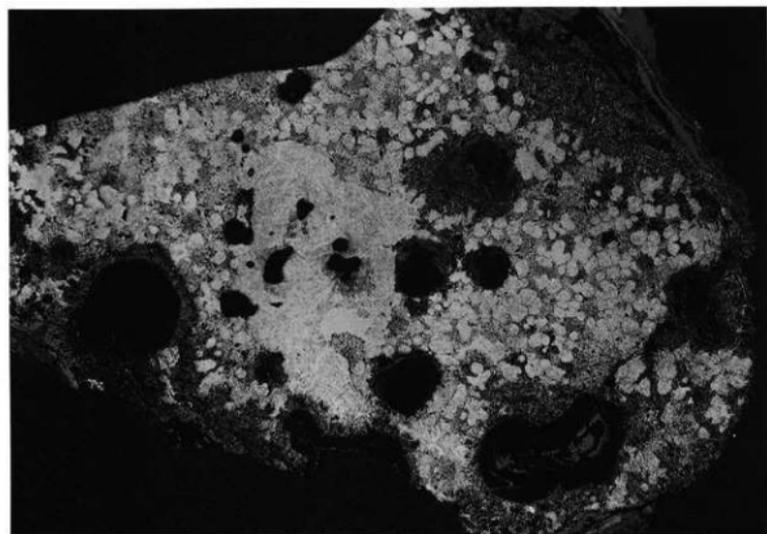
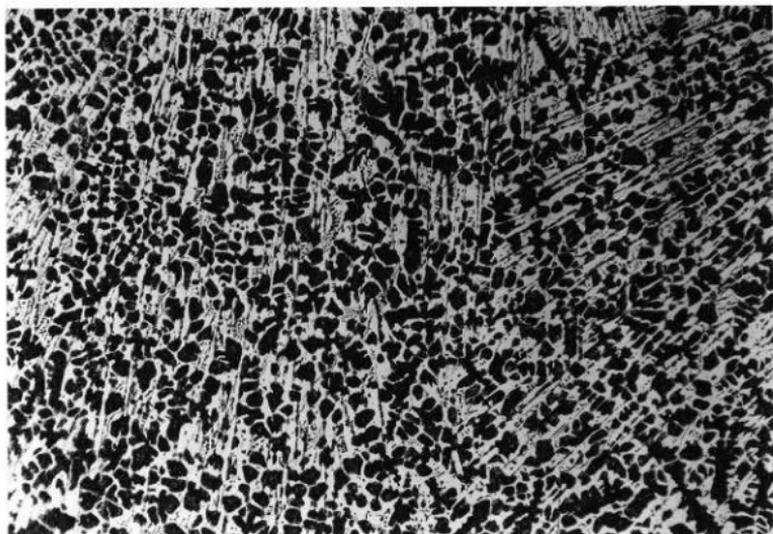


Photo.24 上段：鉄塊系遺物（OMK-15）のマクロ組織（×20）

下段：鉄塊系遺物（OMK-16）のマクロ組織（×20）

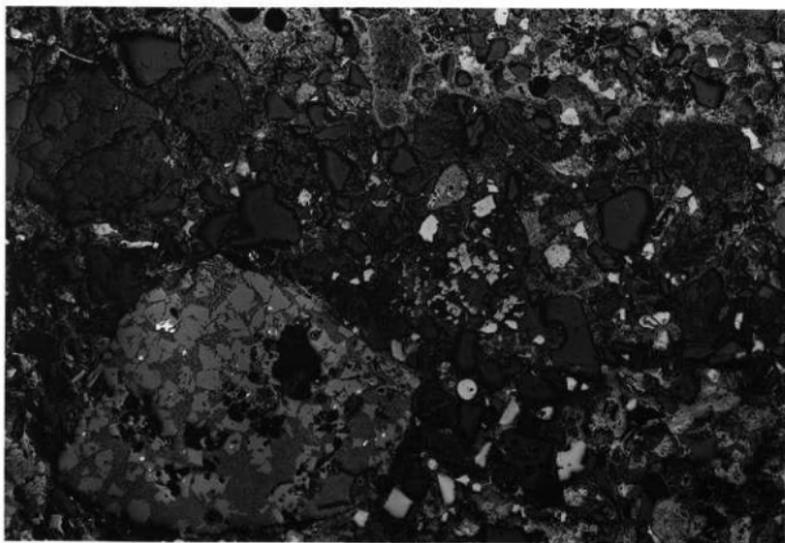
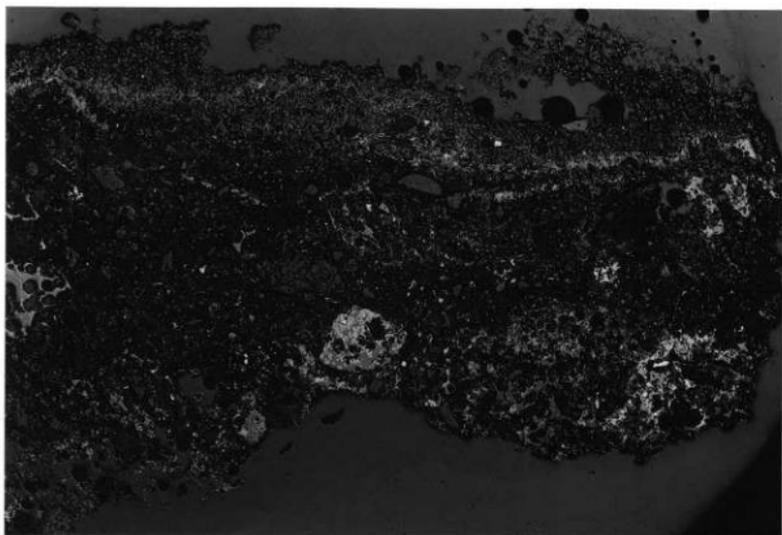


Photo.25 上段：再結合滓（OMK-17）のマクロ組織（×5）

下段：再結合滓（OMK-17）のマクロ組織（×20）

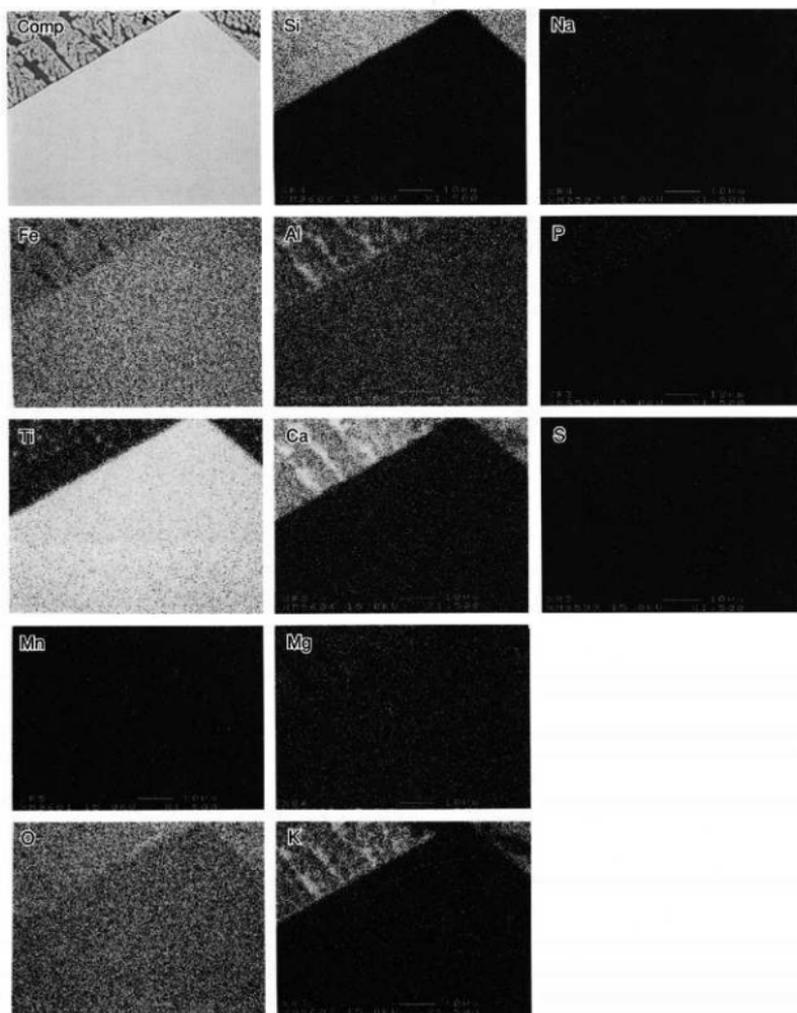
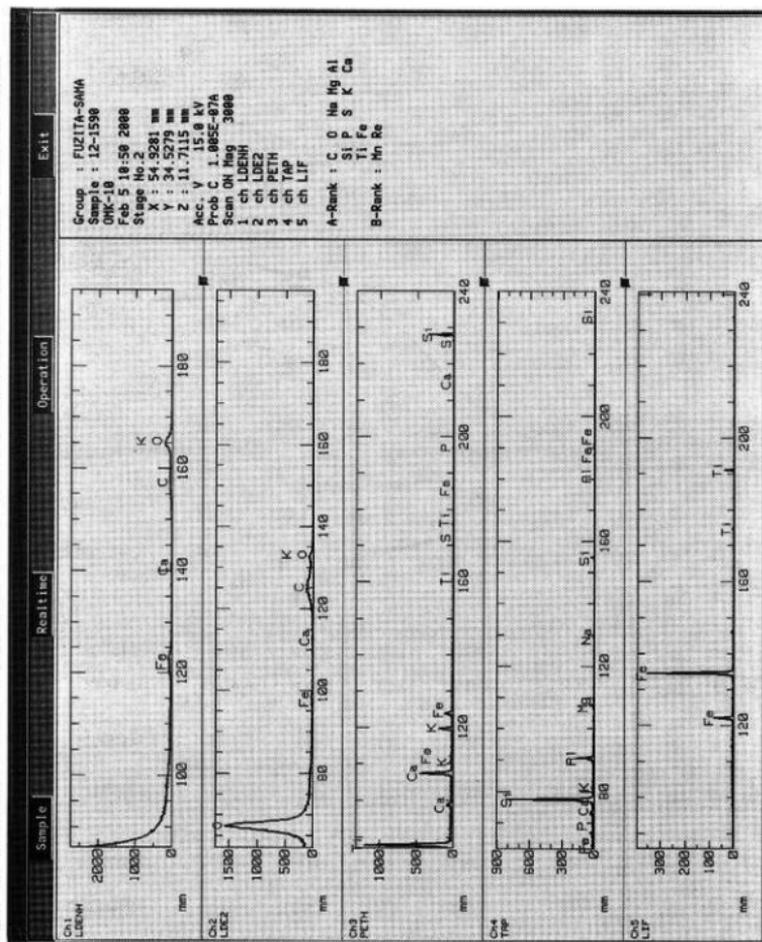


Photo.26 炉底塊（含鉄）（OMK-10）鉱物相の特性X線像

Fig.1 炉底塊 (含鉄) (OMK-10) 鉱物相のコンピュータプログラムによる高速定性分析結果 (Photo.26に対応)



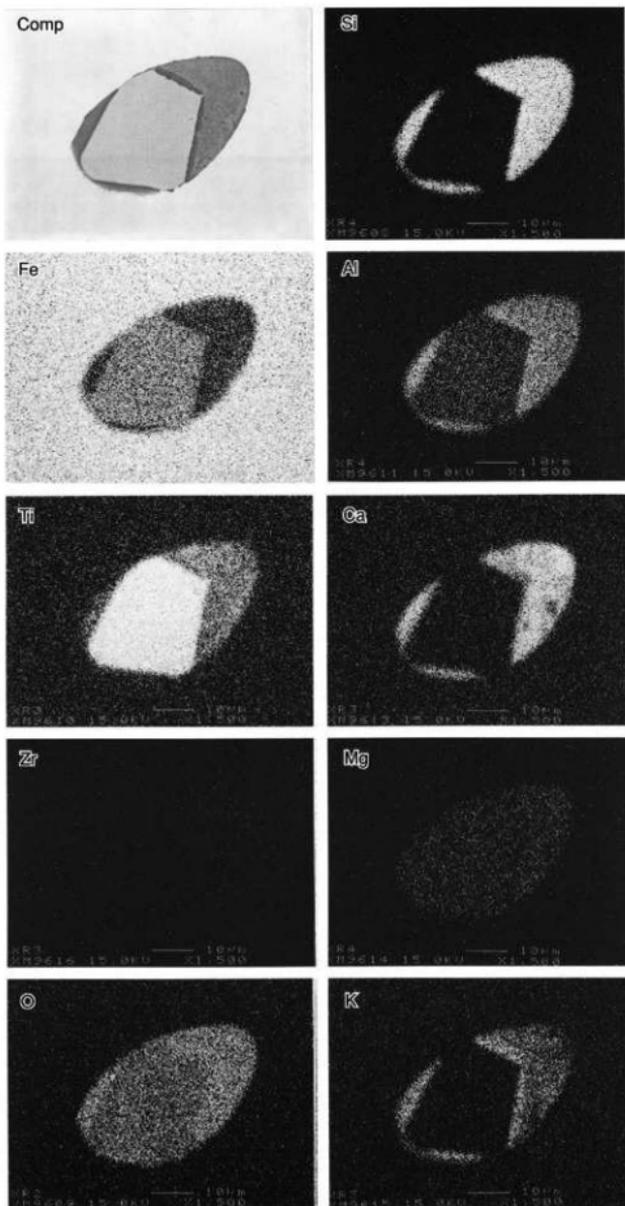
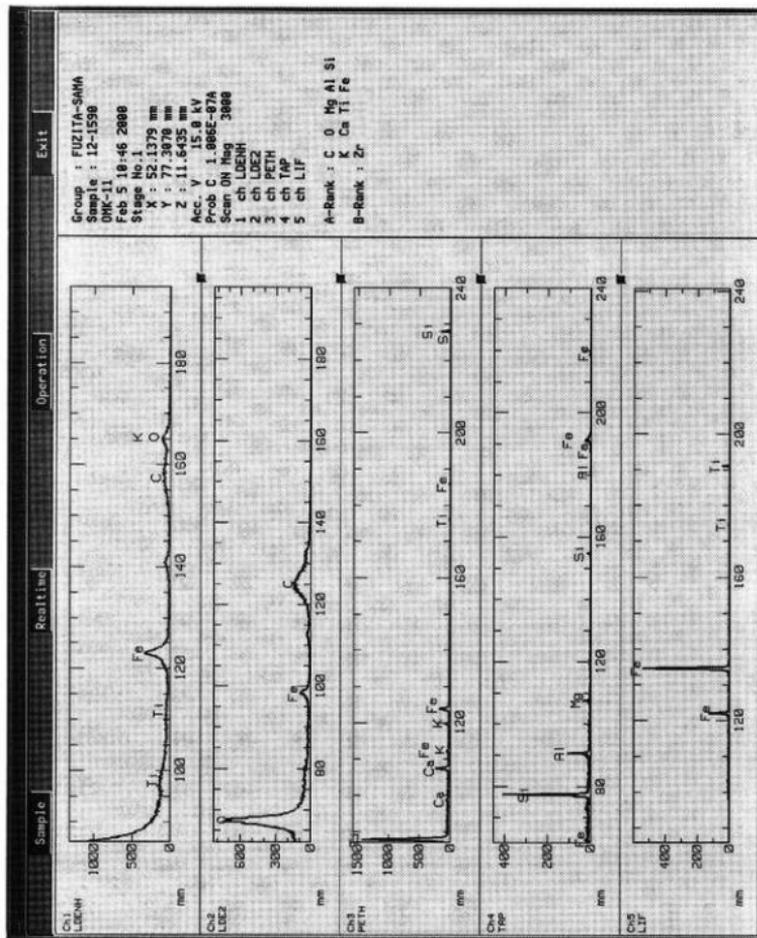


Photo.27 鉄塊系遺物 (OMK-11) 鉄中非金属介在物の特性X線像

Fig.2 塊系遺物 (OMK-11) 鉄中非金属介在物のコンピュータプログラムによる高速度定性分析結果 (Photo.27に対応)



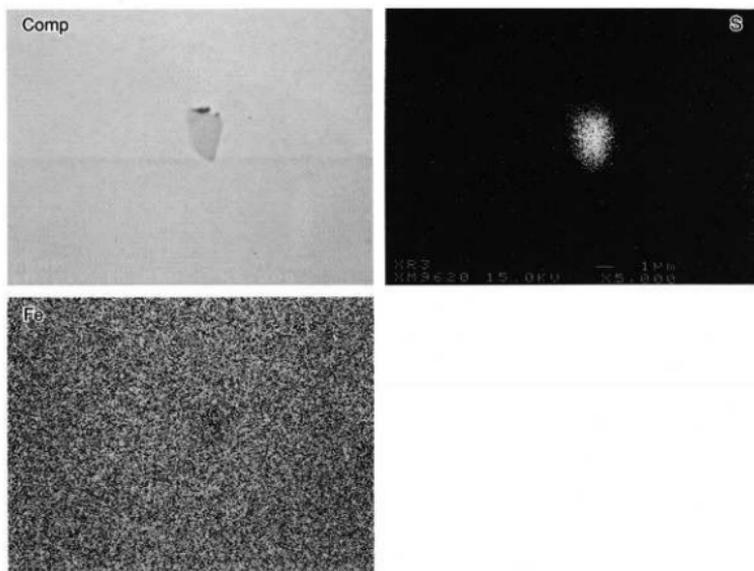


Photo.28 鉄塊系遺物 (OMK-12) 鉄中非金属介在物の特性X線像

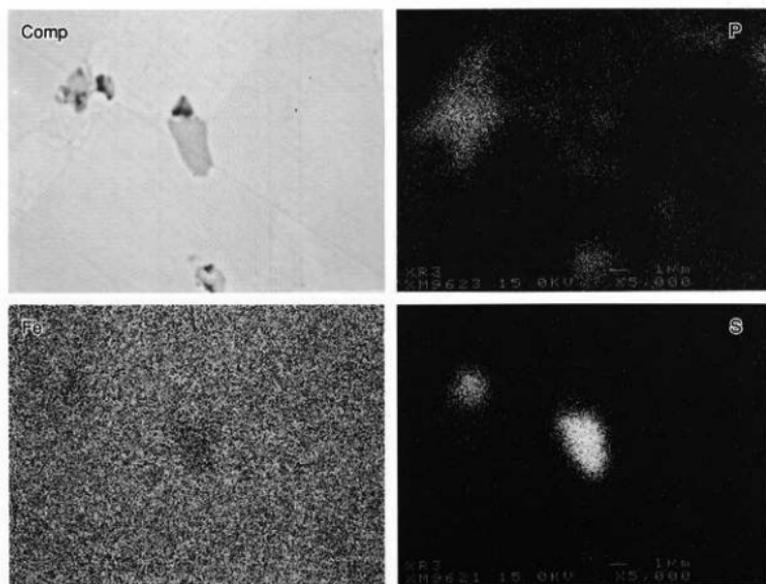


Photo.29 鉄塊系遺物 (OMK-13) 鉄中非金属介在物の特性X線像

Fig.3 鉄塊系遺物 (OMK-12) 鉄中非金属介在物のコンピュータプログラムによる高速定性分析結果 (Photo.28に対応)

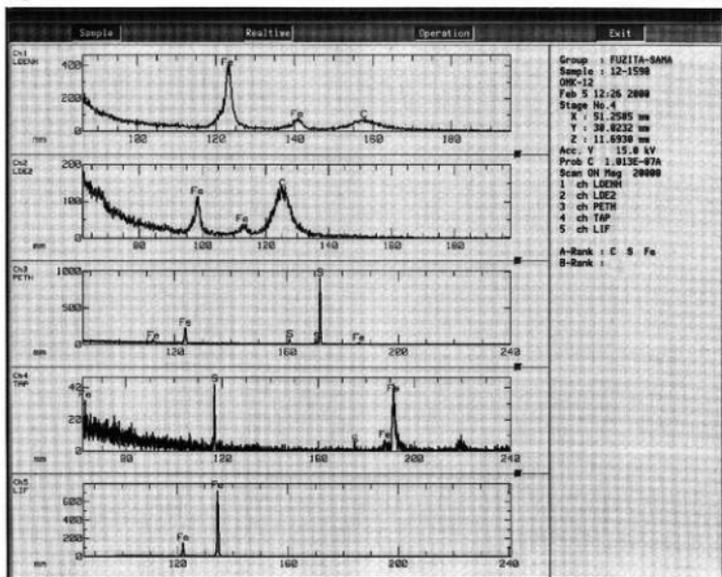
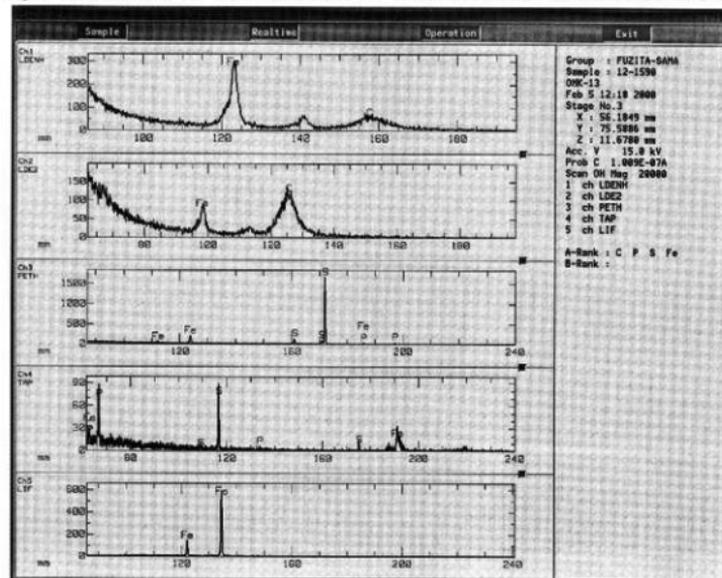


Fig.4 鉄塊系遺物 (OMK-13) 鉄中非金属介在物のコンピュータプログラムによる高速定性分析結果 (Photo.29に対応)



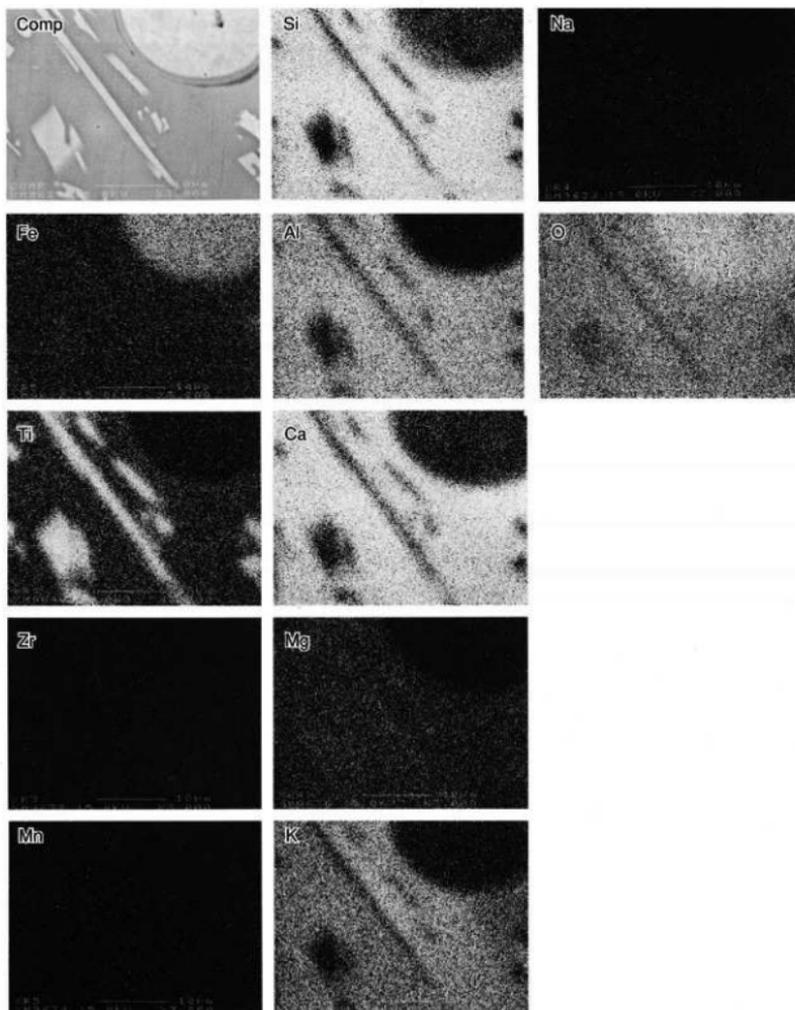


Photo.30 鉄塊系遺物表皮スラグ (OMK-14) の特性X線像

Fig.5 鉄機系遺物表皮スラグ (OMK-14) のコンピュータプログラムによる高速定性分析結果 (Photo.30に対応)

