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

@大槙遺跡

遺	構	試料採取場所(個数)	備考	試料総数
制杂店	1号	本床東側長辺(10), 西側長辺(10), 床面(1)		21
爱妖炉	2号	本床北端(13),同南端(11)	中央部の損壊大	24
	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
鍛冶炉	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
		5層(黒色土)(10)	木炭含み刻	柔らかい	
1 旦得	制杂动	8層(淡灰褐色粘質土の焼土)(7)	真砂を含む	٦	00
上方法	爱	9層(淡橙褐色粘土の焼土)(5)	締まってい	いる	28
		11層(灰褐色粘土の焼土)(6)	固く締まく	っている	

5 測定結果

試料の残留磁気の方向をスピナー磁力計(Schonstedt社 Model SSM-1A)で測定した。自然残留 磁気のデータの分散を改善するために、各焼土跡から5ケの試料を選び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、方向の集中度が増す傾向は認められなか った。そこで、自然残留磁気の方向の測定結果から、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。

@大槙鈩跡

[1,2号製鉄炉]

1号製鉄炉の自然残留磁気の方向(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ま

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



大槙鈩跡:鍛冶炉の自然残留磁気の方向

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。



丸山遺跡:1号製鉄炉の自然残留磁気の方向

@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、 α₉₅の値が小さいほど,残留磁気の方向がよく揃っていること を意味している。

遺	構		Im	Dm	k	lpha 95	n/N
	生日本中小三	1号	41.91	4.54	948	2.18	6/21
	聚跃炉	2号	41.46	6.53	1525	0.89	18/24
		1号	41.95	4.01	1613	2.29	4/20
大槙鈩跡		2号	残留磁気	の方向分	散のため	有意の平	均なし
	鍛冶炉	3号	44.09	4.01	1526	2.35	4/15
		4号	残留磁気	〔の方向矢	か散のため	の有意の平	草均なし
		5号	残留磁気	〔の方向分	が散のため	っ有意の平	☑均なし
丸山遺跡	1号製銀	失炉	38.39	4.79	4589	0.82	8/18

表1 大槙鈩跡と丸山遺跡の焼土の残留磁気の平均方向

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 α₉₅:95%誤差角



 A:大積鈩跡1号製鉄炉
 B:大積鈩跡2号製鉄炉
 C:大積鈩跡1号鍛冶炉
 D:大積鈩跡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)

6 地磁気年代

図iは大槙鈩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³⁰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。

遺	構		地磁気年代
	街口な牛小司	1号	AD1680 ± 20
	爱妖炉	2号	AD1710±30
大槙鈩跡		1号	AD1715±30
	鍛冶炉	3号	AD1730±30
		5号	AD1705±40
丸山遺跡	1号製銀	失炉	$AD1580 \pm 10$, $AD1675 \pm 10$, $AD1450 \pm 10$

大槙鈩跡と丸山遺跡の焼土の地磁気年代

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 の方向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向は図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向 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

@大槙鈩跡

|大槙鈩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)

¹⁴C年代 : AD1770±60(1号製鉄炉地下構造の黒ボク土内の炭化物)

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区から金鋏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に厚く感謝する。

[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、斉藤努編、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 大槙鈩跡出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査

九州テクノリサーチ・TACセンター

大澤正己・鈴木瑞穂

1 いきさつ

飯石郡志津見に所在する大槙鈩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%ナイタル(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。 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

二酸化硅素 (SiO₂)、酸化アルミニウム (Al₂O₃)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化カリウム (K₂O)、酸化ナトリウム (Na₂O)、酸化マンガン (MnO)、二酸化チタン (TiO₂)、酸化クロム (Cr₂O₃)、五酸化燐 (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、溶融現象が進行の途上で軟化変形を起こす状態度の温度で表示 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、柾目、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ー法。

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

3 調査結果

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面と裏面が破面である。内面は滓化、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:Fe2O3·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滓中に微小析出物(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(Cerisite)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(Ig 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%で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、暗黒色ガラス質滓中に白色 針状結晶イルミナイト(Ilmenite:FeO·TiO2)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: FeO·TiO2)、微小淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO2)が晶出する。⑧ は炉壁胎土部分で、鱗片状の粘土鉱物(Cerisite)、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 (Fe2O3)は3.03%と低め傾向にあって軟化性には有利である。一方酸化アルミニウム(Al2O3)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(CaO+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と やや丸みを帯びたものとが混在する。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
 (Magnetite: Fe2O3·FeO)と格子組織をもつチタン鉄鉱(Ilmenite: FeO·TiO2)が認められる。

 ④⑤はTitano-Magnetiteからの溶離組織を、⑥~⑨はチタン鉄鉱(Ilmenite: FeO·TiO2)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(Fe2O3) 59.57%の割合であった。ガラス質成分(SiO2+Al2O3+CaO+MgO+K2O+Na2O) 6.79%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO) 0.88%
 を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO2) 5.93%、バナジウム(V) 0.34%で、また酸化マンガン(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とが混在する。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: Fe2O3·FeO)と格子組織を もつチタン鉄鉱(Ilmenite: FeO·TiO2)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: FeO· TiO2)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(Fe2O3) 62.61%の割合であった。ガラス質成分(SiO2+Al2O3+CaO+MgO+K2O+Na2O) 4.68%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO) 0.66%
 を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO2) 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、大小の落差が著しい。 形状も角張ったものとやや丸みを帯びたものとが混在する。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:Fe2O3·FeO)と格子組織をもつチタン鉄鉱(Ilmenite:FeO·TiO2)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:FeO·TiO2)である。⑧⑨は生砂鉄で粒内に白色点列状の遊離へマタイト(Hematite:Fe2O3)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(Fe2O3) 52.24%の割合であった。ガラス質成分(SiO2+Al2O3+CaO+MgO+K2O+Na2O) 5.46%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO) 0.91%
 を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO2) 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とが混在する。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:Fe2O3·FeO)と格子組織を もつチタン鉄鉱(Ilmenite:FeO·TiO2)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:FeO·TiO2)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:Fe2O3·TiO2)が晶出する。また砂鉄粒内には、現在は 銹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:2FeO·TiO2)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(Fe2O3) 63.70%の割合であった。ガラス質成分(SiO2+Al2O3+CaO+MgO+K2O+Na2O) 6.06%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO) 0.98%
 を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO2) 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%あった。OMK-3~5とほぼ同様の成分傾向を示す。

OMK-7 炉外流出滓

 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樋状に膨らんだまま 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(Ulvöspinel: 2FeO・TiO2)、白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite: FeO・TiO2)、淡灰 色微細分散状結晶ファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO2)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(TiO₂、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(Fe2O₃)34.32%の割合であった。ガラス質成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+ MgO+K₂O+Na₂O)31.31%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO)3.98%を含む。砂鉄特有成 分の二酸化チタン(TiO₂)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(TiO₂)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:平面不整台形で、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: 2FeO·TiO₂)と白色点列状イルミナイト(Ilmenite: FeO·TiO₂)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: FeO·TiO₂)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(Fe2O3) 29.79%の割合であった。ガラス質成分(SiO2+Al2O3+CaO+MgO+K2O+Na2O) 35.41%で、このうちに塩基性成分(CaO+MgO) 5.13%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO2) 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:細い樋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:2FeO·TiO₂)、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト(Fayalite:2FeO· SiO₂)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.7 ③に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は 724Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイト(Hercynite: FeO・Al2O3)の混合組成が同定される(注1)。

OMK-10 炉底塊(含鉄)

 肉眼観察:平面不整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。側面片側には砂質土がやや厚く固着する。

② マクロ組織: Photo.21に示す。滓中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:2FeO·TiO2)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充分に 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に硬度測定の圧痕を示す。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、このうちに塩基性成分(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:平面不整台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は鉄中非金属介在物を示す。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%ナイタル(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イッドマンステッテン組織を呈する過熱組織(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圧痕を 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%、銹化鉄含みの酸化第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、このうちに塩基性成分(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錬系の含鉄鉄滓の成分系である。

OMK-12 鉄塊系遺物

 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滓部が 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。全面白鋳鉄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。 亜共晶組成白鋳鉄であった。

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の圧痕 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は蜂の巣状のレデブライト部分で 硬度値は675Hv、⑤は板状セメンタ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、このうちに塩基性成分(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。下面はやや歪んだ椀形気味。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)の白鋳鉄組織を呈する鉄 塊系遺物である。表層部の滓の付着も認められない。

③ 顕微鏡組織:Photo.9 ⑥~⑧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%ナイタルで腐食(Etching)して現れた組織である。黒色縞模様の初晶の 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鋳鉄であった。

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。鉄分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、このうちに塩基性成分(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

 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 瘤状の錆膨れが並ぶ。また各表面ごく薄い木炭痕様の凹みが残る。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鋳鉄である。

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 色ガラス質滓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%ナイタ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 ライト基地に初析セメンタイトの痕跡の読み取れる亜共晶組成白鋳鉄組織であった。

④ ビッカース断面硬度:Photo.10⑦~⑨に金属鉄組織の硬度測定の圧痕を示す。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、銹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、このうちに塩基性成分(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側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椀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鋳鉄組織の鉄塊である。 鉄塊内に気孔も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滓部で、淡茶褐色多 角形結晶ウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO2)、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト (Fayalite:2FeO·SiO2)が基地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。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%ナイタルで腐食して現れた組織である。亜共晶組成白鋳鉄組織であった。

④ ビッカース断面硬度:Photo.11④⑤に金属鉄組織の硬度測定の圧痕を示す。④はパーライト 部分で硬度値は332Hv、⑤はセメンタイト部分で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定性分析結果 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)の固溶が窺われた。

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、このうちに塩
 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:平面不整台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.24に示す。中央部は白鋳鉄組織で、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鋳鉄(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 セメンタ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に共晶黒鉛鋳鉄の組織を示す。素地は不完全球状セメンタイト 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。製鉄炉内で溶融状態の鋳鉄 が原料砂鉄に由来するチタン分(TiO2)を含む溶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の圧痕を示す。⑦はフェライト 地に析出したセメンタ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個所で硬 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)に白色輝点が集中し、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)に白色輝点が集中して、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)に白色輝点が集中して黒鉛と判る。

⑥ 化学組成分析: Table. 2 に示す。試料が少なくて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
 のうちに塩基性成分(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。上面は銹が浮き、長軸片側ではやや大きな放射割れが生じている。ただし磁着は弱く銹化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、 銹化鉄片、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:Fe2O3·TiO2)が晶出する。⑥⑦は被熱を受けたチタン鉄鉱粒子(Ilmenite: FeO·TiO2)を示す。格子組織が残存する。⑧⑨は銹化鉄片で白鋳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滓であった。

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個所に認められる。

② マクロ組織:Photo.13①に示す。球体の外縁は銹化鉄となり、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:2FeO·TiO2)を晶出する滓部を付着した金属鉄粒で周囲は銹化していた。③④は金 属鉄を5%ナイタ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:2FeO·TiO2)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。外周から銹化 が進行している。

③ 顕微鏡組織: Photo.13⑧~⑩に示す。⑧⑨は5%ナイタルで腐食して現れた、フェライト地 にセメン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圧痕を示す。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:2FeO·TiO2)、淡灰色微小結晶ファイヤライト(Fayalite:2FeO·SiO2)が素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。ウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO2)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方形状の銹化鉄 (Geothite: α – FeO·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銹化鉄で、僅かにフェライト粒界

痕跡が認められる。また、暗黒色ガラス質滓中に白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite:FeO・ TiO2)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。表面は凹凸がある。

 ② マクロ組織: Photo.14⑦に示す。断面は楕円状皮殻を形成した銹化鉄(Geothite: α - FeO・ 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。組織は銹化鉄で、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:2FeO・TiO2)、白色針状結晶イルミナイト (Ilmenite:FeO・TiO2)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)の可能性かあるのはOMK-18-3の みであった。それもウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO·TiO2)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銹化物であった。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:2FeO·TiO2)、イルミナイト(Ilmenite:FeO· TiO2)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:表裏面共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:Fe3O4)で、白色の不定形模様はヘマタイト(Hematite:Fe2O3)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(外層へマタイト、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 (Wistite: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歪な球状を呈する。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銹化鉄粒 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銹化物であった。ゲーサイト
 (Geothite: α - FeO·OH)である。銹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歪な球状を呈する。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。腐食孔を持つ銹化鉄粒であった。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銹化物である。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銹化鉄粒であった。

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銹化鉄粒であった。 金属鉄は遺存しない。

③ 顕微鏡組織:Photo.16⑧~⑩に示す。銹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個所がある。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個所小さな突起が認められる。

② マクロ組織:Photo.17①に示す。表層は銹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%ナイタルで腐食して現 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圧痕を示す。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個所小さな突起が認められる。

② マクロ組織:Photo.17⑦に示す。銹化鉄粒であった。金属鉄は遺存しない。

③ 顕微鏡組織:Photo.17⑧~⑩に示す。銹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、大部分は銹化鉄粒ちなっていた。

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。 外層へ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、内層ヴスタイ 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)によりへ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:Fe3O4)、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(Wustite: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:Fe3O4)の存在は定かではない。

OMK-22-4 厚み0.08mm

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.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 部の一部は巣状の間隙ができている。鉄酸化膜でなく銹化鉄片であった。

③ 顕微鏡組織:Photo.18⑧に示す。銹化鉄片(Geothite: α – FeO·OH)であった。

OMK-22-5 0.10mm厚み

① 肉眼観察: 表裏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。外層へマタイト (Hematite:Fe2O3) や、中間層のマグネタイト(Magnetite:Fe3O4)が肥厚する傾向を示す。内 層ウスタイト(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環孔材である。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)
 57.46%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。

 ぜ状調査: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〉大槙鈩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(TiO2)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難 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 (Ulvöspinel:2FeO・TiO2)、に加え高温生成物であるイル ミナイト (Ilmenite:FeO・TiO2)、シュードブルーカイト (Pseudobrookite:Fe2O3・TiO2)、ない しはルチル (Rutile:TiO2) の晶出が認められる (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鋳鉄主体の組織を示した。また、鉄中非金属介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(Al2O3)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 似する値をしめした。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銹化鉄粒であった。鉄粒 中に含まれる滓部の鉱物相はウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO・TiO2)、イルミナイト (Ilmenite:FeO・TiO2)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『焼結鉱組織写真および識別法』 1968 磁鉄鉱は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定している。
- (2) 山本科学工具研究社『標準顕微鏡組織 第1類炭素鋼・鋳鉄編 改訂6版』 1987「共晶黒 鉛鋳鉄(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とが ある。

この鋳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、鋳造する方法、(ハ)鋳鉄溶湯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。通常は鍛冶趾の床面の土砂を水洗することにより検出される。鍛冶 工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、外層へマタイト(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:FeO・TiO2)、シュードブルーカイト (Pseudobrookite: Fe2O3・TiO2)、ルチル (Rutile:TiO2)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

	備考																											
	ー(ロ⊄	1	I		I	1	-	rea	I	l	I	I	I	_		I	Ι	-			1	I	I	0	0	0	0	0
ш	耐火度	0	0	I	I	I	I	I	I	I	I	I	1	-	I	1	I	I	-	-	I	I	I	1	I	I	I	I
	化学分析	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	1	I	I	Sa a	I	I	0	0	0	0	0
茰	CMA	I	Ι	I	I	I	1	I	I	1	0	0	0	0	0	0	0	I	1	I	I	I	-		I	I	-	1
漸	X線回折																											
	ビッカース断面硬度	I	I	I	I	I	I	1	I	0	0	0	0	0	0	0	0	ļ	1	Ι	I	I	1	I	I	I	I	1
	顕碳鏡 織	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ある	I	I	0	0	0	0	I	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		-	Ameri	-	-
	メタル度	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特L(公)	特L(公)	なし	なし	なし	なし	なし	tsL	なし	tsL	なし	ರ್ಜಿ	tel (
	磁着废	5	2	4	5	5	4	7	4	2	9	7	6	7	9	6	3	4	1	I	1	I		1	1	1	1	1
		8.4	6.6	0.0	0.0	20.0	20.0	57.0	54.2	10.3	59.2	14.2	78.0)8.3	14.3	55.5	4.7	21.0						6.6	2.5	30.6	2.2	12.3
	<u>[</u> 重]	408	154	2	2	57	. ,	1(205		155	1	27	Ĕ	7.	3		9						1(3	(r)	0	
計測値	mm) 重量(g	1×53 408	×94 154	2	5	5		< 29 16	2×70 200	<4	8×90 150	< 29 1 ₄	< 46 27	< 25 10	¢ 19	< 32 31	< 12	2×39 6	I	I	-	1	-	16	3		7	
計測値	大きさ(mm) 重量(g	$126 \times 110 \times 53$ 408	$160 \times 147 \times 94$ 154	- 2	-	-	1	$87 \times 85 \times 29$ 1($161 \times 162 \times 70$ 209	$41 \times 20 \times 4$	$144 \times 128 \times 90$ 15	$87 \times 52 \times 29$ 1 ⁴	$74 \times 53 \times 46$ 27	$57 \times 48 \times 25$ 10	39×35×19	$87 \times 76 \times 32$ 31	$18 \times 13 \times 12$	$208 \times 142 \times 39$ 6		1	-	-	_	- 1(- 3	1	- 2	I
計測値	推定年代 大きさ(mm) 重量(g	18 c $\frac{1}{60}$ 126 × 110 × 53 408	17 c 末 160×147×94 154	18 c 初 - 2	18 c 初 - 2	不明 - 2	1705 ± 40 -	17 c $\#$ 87 × 85 × 29 16	17 c \mp 161 × 162 × 70 20	18 c 初 41×20×4	18 c 初 144×128×90 155	18 c 40 87 × 52 × 29 14	17 c 末 74×53×46 27	17 c 末 57×48×25 10	不明 39×35×19 4	不明 87×76×32 31	1705 ± 40 $18 \times 13 \times 12$	不明 208×142×39 6	1730 ± 30	1730 ± 30	不明	1705 ± 40	1705 ± 40	18 c 初 - 16	18 c 初 - 3	不明 - 3	不明 - 2	1705 ± 40 -
計測値	遺物名称 推定年代 大きさ(mm) 重量(g	炉壁(砂鉄焼結) 18 c 初 126×110×53 405	炉壁 17 c 末 160×147×94 154	砂鉄(遺跡) 18 c 初 - 2	砂鉄(遺跡) 18 c 初 - 2	砂鉄混在物 不明 - 2	砂鉄混在物 1705±40 -	炉外流出滓 17 c 末 87×85×29 16	炉外流出滓 17 c 末 161×162×70 20	工具付着淬 18 c 初 41×20×4	炉底塊(含鉄) 18 c 初 144×128×90 15	炉内滓(含鉄) 18 c 初 87×52×29 14	鉄塊系遺物 17 c 末 74×53×46 27	鉄塊系遺物 17 c 末 57×48×25 10	鉄塊系遺物 不明 39×35×19 4	鉄塊系遺物 不明 87×76×32 31	鉄塊系遺物 1705±40 18×13×12	再結合達 不明 208×142×39 6	粒状蓉様遺物 1730±30	锻造剥片 1730±30 - −	粒状滓樣遺物 不明	粒状滓様遺物 1705±40	锻造剥片 1705±40	木炭 18 c 初 - 1(木炭 18 c 初 - 3	本炭 不明 - 3	木炭 不明 - 2	木炭 1705±40 -
計測値	出土位置 遺物名称 推定年代 大きさ(mm) 重量(g	1号炉 南跡坪 炉壁(砂鉄铣結) 18 c 初 126×110×53 405	2号炉 本床	1号炉 南跡坪 C-4 砂鉄(遺跡) 18 c 初 - 2	1号炉 砂鉄(遺跡) 18 c 初 - 2	4号鍛冶炉 炉内B区 砂鉄混在物 不明 - 2	5号鍛冶炉 炉内A区 砂鉄混在物 1705±40 -	2号炉 本床	2号炉 本床 炉外流出滓 17 c 末 161×162×70 200	1号炉 南跡坪 D-7 工具付着浴 18 c 初 41×20×4	1号炉 北排滓場 D-7 炉底塊(含鉄) 18 c 初 144×128×90 150	1号炉(2号炉北排滓場 F-6) 炉内滓(含鉄) 18 c 初 87×52×29 14	2号炉 本床 鉄塊系遺物 17.c 末 74×53×46 27	2号炉本床 鉄塊系遺物 17 c 末 57×48×25 10	SX02 鉄塊系遺物 不明 39×35×19 4	SX04 鉄塊系遺物 不明 87×76×32 33	5号鍛冶炉 炉内D区	鉄池状遺構 再結合溶 不明 208×142×39 6	3号鍛冶炉 粒状滓様遺物 1730±30	3号鍛冶炉 銀造剥片 1730±30	4号鍛冶炉	5号鍛冶炉 - 2号鍛冶炉	5号鍛冶炉 銀造剥片 1705±40	1号炉南跡坪 木炭 18c初 - 16	2号炉北排滓場 木炭 18 c 初 - 3	SX01 木炭 不明 - 3	SX04 木炭 不明 - 2	5号鍛冶炉 炉内 木炭 1705±40 -
11111111111111111111111111111111111111	遺跡名 出土位置 遺物名称 推定年代 大きさ(mm) 重量(g	大模鈩跡 1号炉 南跡坪 炉锉(砂鉄焼結) 18 c 初 126×110×53 405	大積鈩跡 2号炉 本床	大積鈩跡 1号炉 南跡坪 C-4 砂鉄(遺跡) 18 c 初 - 2	大積鈩跡 1号炉 - 2 砂鉄(遺跡) 18 c 初 - 2	大穗鈩跡 4号鍛冶炉 炉内B区 砂鉄混在物 不明 - 2	大横鈩跡 5号鍛冶炉 炉内A区 , 砂鉄混在物 1705±40 -	大模鈩跡 2号炉 本床	大模鈩跡 2号炉 本床	大槙鈩跡 1号炉 南跡坪 D-7 工具付着滓 18 c 初 41×20×4	大積鈩跡 1号炉 北排滓場 D-7	大積鈩跡 1号炉 (2号炉 北排滓場 F-6) 炉内滓(含鉄) 18 c 初 87×52×29 1	大模鈩跡 2号炉 本床 鉄塊系遺物 17 c 末 74×53×46 27	大模鈩跡 2号炉 本床 鉄塊系遺物 17 c 末 57×48×25 10	大模鈩跡 SX02 鉄塊系遺物 不明 39×35×19 4	大検鈩跡 SX04 鉄塊系遺物 不明 87×76×32 33	大模鈩跡 5号鍛冶炉 炉内D区 鉄塊系遺物 1705±40 18×13×12	大模鈩跡 鉄池状遺構 再結合溶 不明 208×142×39 6	大模鈩跡 3号銀冶炉	大槙鈩跡 3号鍛冶炉 2730±30	大模爭跡 4号鍛冶炉	大槙鈩跡 5号鍛冶炉	大棟鈩跡 5号鍛冶炉 銀造剥片 1705±40	大積鈩跡 1号炉 南跡坪 木炭 18 c 初 - 16	大槙鈩跡 2号炉 北排滓場 本炭 18 c 初 - 3	大槙鈩跡 SX01 木炭 不明 - 3	大槇鈩跡 SX04 木炭 不明 - 2	大棋鈩跡 5号鍛冶炉 炉内 木炭 1705±40 -

Table.1 供試材の履歴と調査項目

Г	a l e	3	33	96	3	-	1	-	=	23	6	33	2	2	9	52
	TiO: Total F	0.20	0.20	0.09	0.08	0.09	0.10	0.61	0.53	0.22	0.17	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
	尚 一 Total Fe	29.633	42.901	0.110	0.073	0.086	0.098	0.953	1.087	0.235	0.445	0.301	0.066	0.029	0.546	0.074
	造成译分	93.64	95.24	6.79	4.68	5.46	6.06	31.31	35.41	12.98	21.44	17.08	4.98	2.35	23.8	5.21
Σ *	耐火度	1455	1495	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	1
	銅 (Cu)	0.007	0.006	0.003	0.004	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.010	0.008	0.007	0.006	0.012
	۱ [°] †シِ [°] †ム (V)	0.01	0.01	0.34	0.26	0.33	0.35	0.62	0.50	0.73	0.54	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01
	版 (C) 業	#0.98	#0.87	0.19	0.09	0.11	0.13	0.10	0.02	0.30	0.55	1.91	1.83	1.74	1.42	1
#:Igloss	石 行 緊 梁 (P2O5)	0.10	0.10	0.11	0.08	0.07	0.10	0.28	0.24	0.19	0.18	0.32	0.14	0.30	0.31	0.37
	號 (S)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06	0.15	0.06	0.06	0.11	I
	酸 化	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.10	0.07	0.10	0.09	0.04	0.10	0.02	0.02	0.05
	二酸化 + タン((TiO2)	0.64	0.45	5.93	5.30	5.72	6.25	20.08	17.31	12.27	8.63	0.17	0.14	0.13	1.14	0.17
	媛 化 マンカ・ソ (MnO)	0.14	0.10	0.53	0.49	0.52	0.56	1.37	1.33	0.70	0.56	0.02	0.01	0.01	0.07	0.02
*	酸 化 書	0.67	0.37	0.19	0.07	0.02	0.06	0.28	0.12	0.10	0.24	0.27	0.10	0.01	0.53	0.05
*	後 化 書	3.37	3.82	0.24	0.09	0.09	0.17	1.56	0.69	0.46	0.79	0.63	0.23	0.06	0.74	0.18
*	後 化 書	0.50	0.30	0.45	0.33	0.46	0.46	1.40	1.94	0.97	0.80	0.15	0.06	0.03	0.26	0.06
×	変 化 青 りルシウム マ CaO) ((0.44	0.12	0.43	0.33	0.45	0.52	2.58	3.19	1.31	1.48	0.28	0.28	0.15	0.61	0.27
×	変 イビ 曹 ルミニウム : Al2O3) ((19.35	18.48	2.01	1.43	1.70	1.85	6.33	6.52	2.83	3.99	4.15	0.94	0.46	4.58	1.00
~	二酸化 置 % 1 酸化 SiO2)(69.31	72.15	3.47	2.43	2.74	3.00	19.16	22.95	7.31	14.14	11.60	3.37	1.64	17.08	3.65
*	変化 1223 1233 1233 133 133 133 133	3.58	3.03	59.57	62.61	52.24	63.70	34.32	29.79	27.47	23.36	32.73	16.22	13.95	50.94	
	及 第1第 FeO) ((0.81	0.10	25.70	25.99	25.03	21.86	11.37	15.07	35.89	19.20	13.51	17.65	12.78	6.87	1
	C属鉄 層 A	0.03	0.02	0.28	0.01	0.15	0.24	0.02	0.03	8.21	16.96	23.44	50.93	61.10	2.58	1
	全鉄分 ≰ (Total (, Fe)	3.16	2.22	61.92	64.00	63.14	61.78	32.86	32.58	55.32	48.22	56.83	75.99	80.79	43.55	70.75
芦組成	物名称	(砂鉄焼結)		(遺跡)	(遺跡)	混在物	混在物	流出滓	流出滓	塊(含鉄)	滓(含鉄) ≱	杀遺物	系遺物	系遺物	系遺物	系遺物
01 L		炉壁(炉壁	砂鉄	砂鉄	砂鉄	砂鉄	师外	: 炉外	炉底	炉内	: 鉄塊	: 鉄塊	: 鉄塊	: 鉄塊	: 鉄塊
供試材	遍 游	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡	大槙鈩跡
Table.2	夺	OMK-1	OMK-2	OMK - 3	OMK-4	OMK-5	OMK - 6	OMK-7	OMK-8	OMK - 10	OMK - 11	OMK - 12	OMK-13	OMK - 14	OMK - 15	OMK-16

Table.3 木炭の性状

試料番号	遺跡名	種別	灰分	揮発分	水分	F.C	T.S	灰中.P	発熱量 (カロ)-)
OMK – 23	大槙鈩跡	木炭	5.53	36.28	13.21	58.19	0.004	I	5910
OMK - 24	大槙鈩跡	木炭	7.08	36.05	14.02	56.87	0.004	0.07	5740
OMK - 25	大槙鈩跡	木炭	4.48	35.22	13.24	60.30	0.005		6000
OMK – 26	大槙鈩跡	木炭	6.38	36.16	13.15	57.46	0.008	1	5730
OMK - 27	大槙鈩跡	木炭	10.23	36.24	14.29	53.53	0.006	-	5420

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ピ 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

Photo.2 砂鉄(遺跡)の顕微鏡組織

OMK-4 砂鉄(遺跡) 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 中央:被熱 砂鉄 ⑥×100⑦×400 チタン 鉄鉱:格子組織 ⑧×100⑨×400 同上

3

۵.

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

Photo.5 砂鉄(遺跡)の顕微鏡組織

OMK-7 炉外流出滓

Photo.6 炉外流出滓の顕微鏡組織

Photo.7 工具付着滓・炉底塊(含鉄)の顕微鏡組織

OMK-11 炉内滓(含鉄) ①×100 滓部: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× 100⑤×400 フェライト・ パーライト⑥×100同左 ⑦~⑨×200 硬度圧痕:⑦ 148Hv⑧167Hv⑨224Hv

Ð

8

234567891123456

Photo.8 炉底塊(含鉄)の顕微鏡組織

8

R. T.

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 亜共晶組成白鋳鉄 ④×100⑤×400⑥×100同上 ⑦~⑨×200 硬度圧痕:⑦ 262Hv⑧646Hv⑨863Hv

1

5

234567891123456

0

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 銹化鉄 片状黒鉛+白鋳鉄 ④⑤×200 硬度圧痕: ④332Hv⑤5532Hv

8

5

OMK-16 鉄塊系遺物 ⑦⑧ナイタルetch ⑥×100 共晶状黒鉛 不完全球状セメンタイト ⑦⑧×200 硬度圧痕: ⑦232Hv:セメンタイト ・フェライト ⑧140Hv:片状黒鉛

1.

Photo.11 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

Photo.12 再結合滓の顕微鏡組織

Photo.13 粒状滓様遺物の顕微鏡組織

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 瞭マグネタイト・不定 形模様へマタイト

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

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

Photo.15 鍛造剥片様遺物の顕微鏡組織

Photo.16 粒状滓様遺物の顕微鏡組織

Photo.17 粒状滓様遺物の顕微鏡組織

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(×20)

 下段:砂鉄(遺跡)
 (OMK-4)のマクロ組織(×20)

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

 下段:砂鉄混在物(遺跡) (OMK-6)のマクロ組織(×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

(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) 炉底塊(含鉄) Fig.1

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

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定性分析結果(Photo.27に対応) Fig.2

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

鉄塊系遺物表皮スラグ(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) Fig.5

