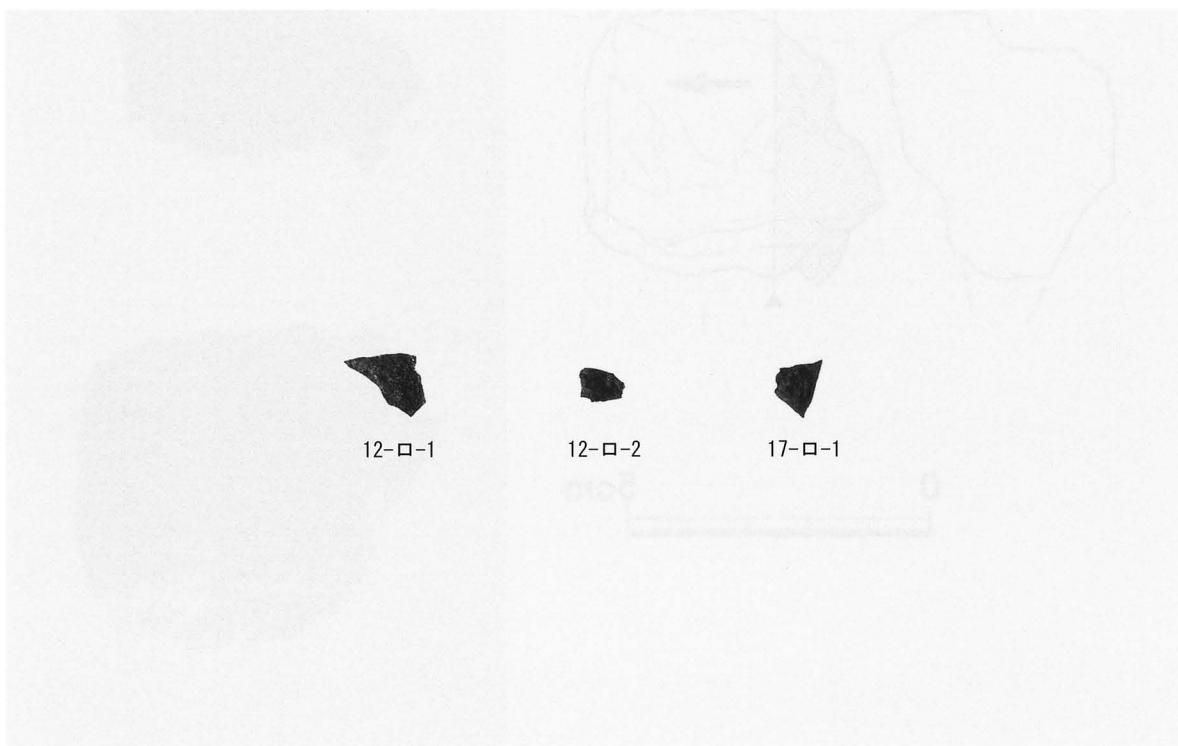


資料番号 17

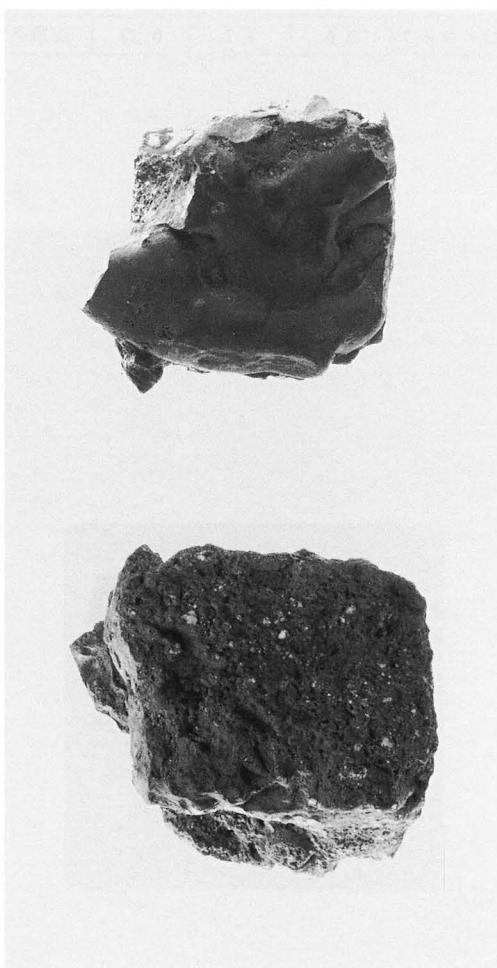
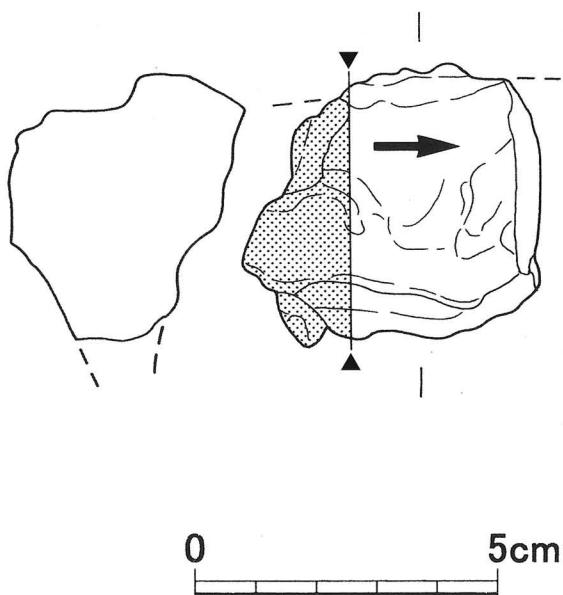
出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	1 4 3			分析	項目	滓	メタル
	出土位置	S X 0 2 (C 区)		時期・根拠	中世?	遺構形態			マクロ	○	
試料記号	検鏡: KAI-17	法量	長さ 幅 厚さ	— cm — cm — cm	色調	表: 地:	遺存度 破面数	— —	検鏡	○	
	化 学: —		磁着度	—		前含浸	—		硬度		
	放射化: —		重量	— g		メタル度	なし	—	C M A		
遺物種類 (名称)	鍛造剥片様物 (1点)								X線回折		
観察所見	S X 0 2 の長軸を基準に4分割するように設けた任意のメッシュにより取り上げた土砂を、水洗いして回収された鍛造剥片様遺物である。母資料が極めてわずかで、滓片やガス質の滓の表皮破片を取り除いた後に、わずかに鍛造剥片の可能性のあるものとして残されたものが本資料である。磁着の強弱により検討した結果、磁着は強で、これを分析資料 No. 17-ロ-1とした。しかし、はつきりと鍛造剥片と言えるレベルの遺物ではなく、かなり疑問点のある遺物である。										
分析部分	必要品を選択し、鍛造剥片様遺物として分析に用いる。残材返却。										
備 考	遺構が道路により半裁されていたためか、遺構自体の作業内容のためか、母資料が極端に少なく、残された1点も疑問点のある遺物であった。そのため遺物名を鍛造剥片様遺物としている。滓片の可能性もあり、分析の結果によっては遺構そのものの性格の見直しが必要であろう。										

番 号	長軸 (mm)	短軸 (mm)	厚さ (mm)	色 調	表	裏	磁 着	気 孔
17-ロ-1	2.6	1.7	0.29	灰黒色	平滑である。光沢なし。	平滑である。光沢なし。	強	な し



資料番号 18

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	1 6 4			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	S I O 1 (F 1 区)		時期・根拠	中世?	遺構形態					
試料記号	検鏡:KAI-18	法 量	長さ 幅 厚さ	4.2 cm 4.3 cm 3.4 cm	色調 地:	表: 青黒色～紫紅色 地: 黒褐色～銀色	遺存度 破面数	破片			
	化 学:KAI-18							6			
	放射化: -					磁着度 メタル度	3 なし	前含浸 断面樹脂	- -		
遺物種類 (名称)	流動滓		重量	132.4 g							
観察所見	平面、不整五角形をした流動滓の破片である。上下面が生きており、上手側面の一部を除き、側面全面がシャープな破面である。破面の結晶が大きく成長しやや銀色に光っているのが特色である。上面は1～2cm程のきれいな流動滓が重層し、ごく一部に木炭痕が残されている。滓は黒みが強くわずかに光沢をもつもので、木炭痕の一部や滓端部は紫紅色である。上手側面は上半部が破面で、中層に気孔の多いガス質の滓をかみ込んでいる。上下の滓は緻密で下半部の滓は肩部が丸みを持ち、表面に炉壁粉が点在する。それ以外の側面は上下方向に結晶が肥大した光沢をもった面で、気孔はわずかである。滓単位が併走したり重層したりしたためか、破面にもわずかにその痕跡を残している。下面は浅い皿形の面で、小ぶりな木炭痕や炉壁粉の固着が認められる。色調は表面が青黒色で、わずかに紫紅色の酸化色を持ち、地は黒褐色から銀色である。										
分析部分	軸端部1/3を直線状に切断し、滓部を分析に用いる。残材返却。										
備 考	一見、流出溝滓のように見えるが、破面に現れる結晶の肥大は明瞭で、上面の流動滓の色調も酸化部は少なく、流出孔滓の可能性が大きいものと考えられる。滓の重層のあり方や一部の特色が分析資料No.13と共通した特色を持つもので、製錬系か鍛冶系か判断が難しい資料である。途冷されて結晶が発達している点を重視すれば、製錬段階でも比較的早い段階の流出孔滓の可能性があろう。										



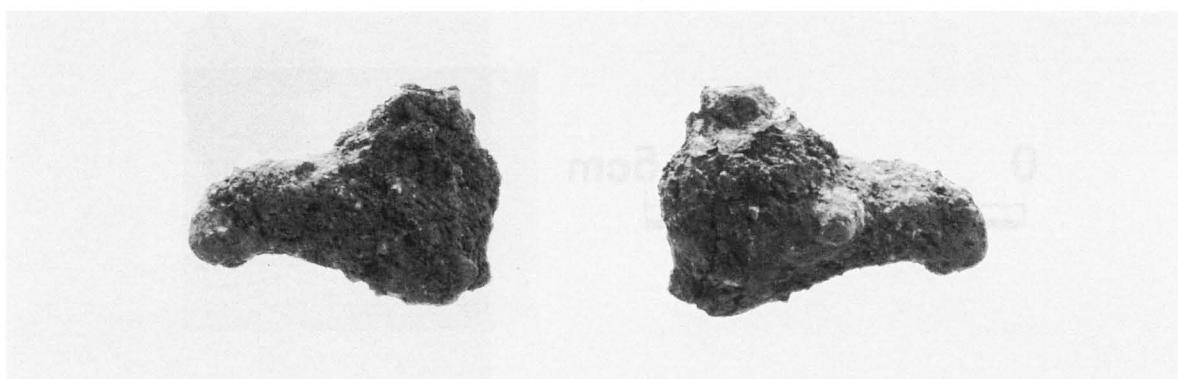
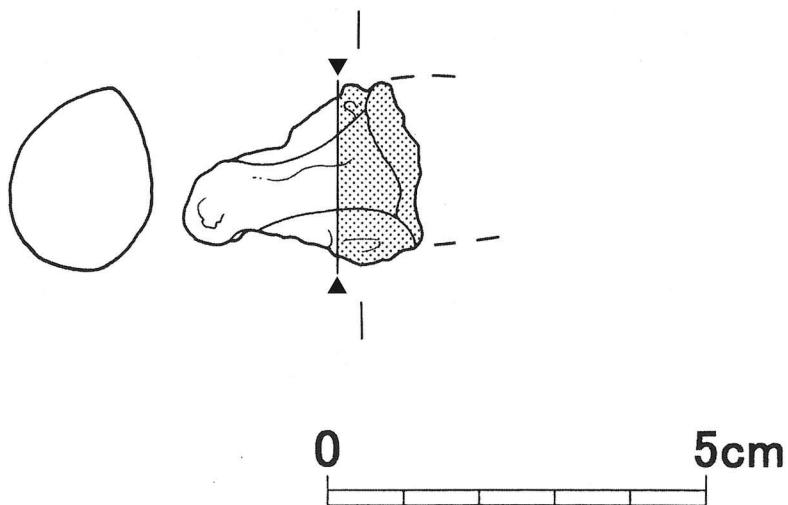
資料番号 19

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	187			分析	項目	滓	メタル
	出土位置	S I O 1 (B2 区)		時期・根拠	中世?	遺構形態			マクロ	○	◎
試料記号	検鏡: KAI-19	法 量	長さ	3.1 cm	色調	表: 茶褐色～ 黒褐色	遺存度	破片?			
	化学: -		幅	2.4 cm		地: 黒褐色		1			
	放射化: -		厚さ	2.0 cm		磁着度	7	前含浸	-		
遺物種類 (名称)	鉄塊系遺物		重量	20.1 g		メタル度	L (●)	断面樹脂	○		

観察所見 平面、不整三角形をした小ぶりの鉄塊系遺物である。左側部は突出したように長くのびている。右側部が破面と考えられ、破面数は1としておく。各面とも弧状で縦断面形は楕円形気味である。右側の塊状の部分はほぼ全体が鉄部であり、表層は錆化して放射割れや黒錆がにじんでいる。上手側の側部は錆ぶくれの欠けが広がり、明褐色の酸化物が残されている。色調は表面が茶褐色から黒褐色、地は黒褐色である。

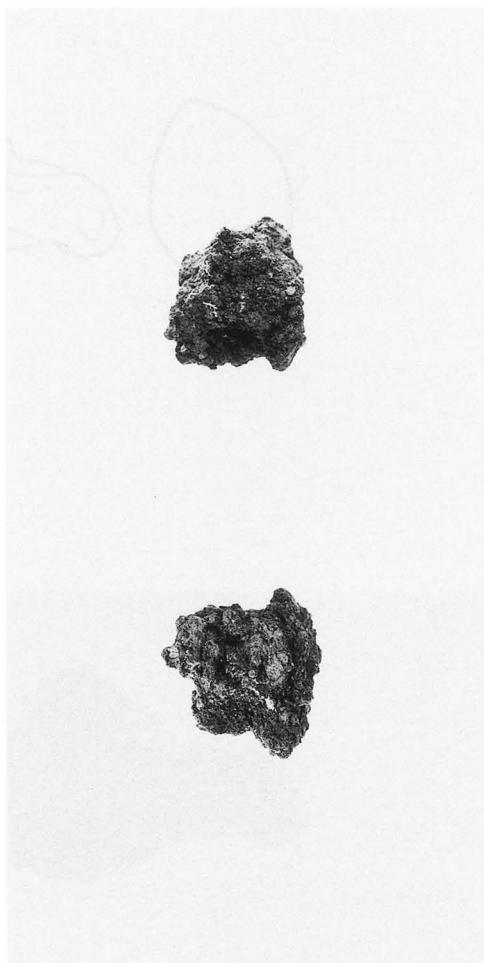
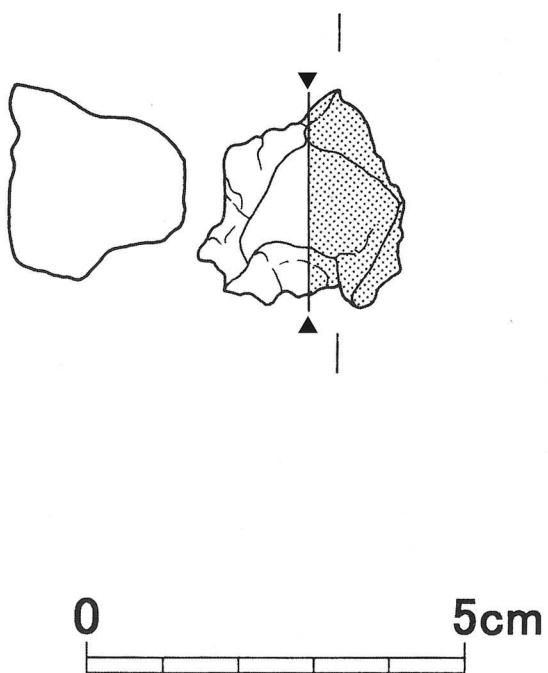
分析部分 長軸端部1/3を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。

備考 やや流動気味のようにも見える鉄塊系遺物である。透過X線像で見ると右側は塊状の鉄部で、その中央の短軸方向に錆化による割れのためか、黒い筋が入っている。



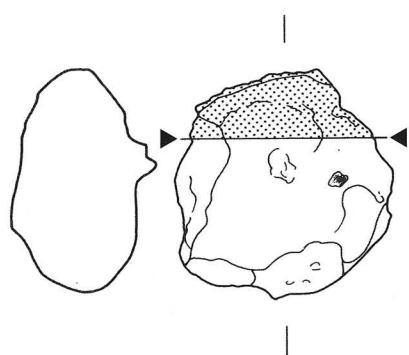
資料番号 20

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	188			分析	項目	滓	メタル
	出土位置	S I O 1 (F3区)		時期・根拠	中世?	:	遺構形態		マクロ	○	○
試料記号	検鏡: KAI-20	法量	長さ	2.9 cm	色調	表: 茶褐色～黒褐色	遺存度		硬度		
	化 学: -		幅	2.9 cm		地: 黒褐色	破面数	3?	C M A		
放射化: -	放 射 化: -	量	厚さ	2.3 cm		磁着度	7	前含浸	X線回折		
	遺物種類 (名称)		重量	27.5 g		メタル度	L (●)	断面樹脂	化 学		
遺物種類 (名称)	鉄塊系遺物								耐火度		
観察所見	平面、不整五角形をした小塊状の鉄塊系遺物である。表面が酸化土砂に覆われており分かれにくい点も多いが、少なくとも側面3面は破面と考えられる。各端部や表面には小さなこぶ状の鋲ぶくれが数多く、一部は表面が欠落して貝殻状になっている。上下面是小さな木炭痕を持ちながらもやや平坦気味である。各面とも鋲ぶくれや酸化土砂に加えて木炭痕が残り、見かけより磁着が強い。色調は茶褐色から黒褐色、地は黒褐色である。										
分析部分	長軸端部2/5を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布、残材返却。										
備 考	製・精錬のどちらにもあり得る外観の鉄塊系遺物である。出土位置が S I O 1 壓穴とした2号製鉄炉に接近した地点で、出土位置のみから言えば製錬系の鉄塊系遺物の可能性が高そうである。しかし、調査時点での各遺構のセット関係の判断から言えば、S X O 1 に関わる精錬系の鉄塊系遺物の可能性も捨てきれない。										



資料番号 21

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	194			分	項目	滓	メタル
	出土位置	S I O 1 (C4 区)		時期・根拠	中世?	： 遺構形態			マクロ	○	
試料記号	検鏡: KAI-21	法 量	長さ 幅 厚さ	3.9 cm 4.1 cm 2.6 cm	色調	表：茶褐色～ 黒褐色	遺存度	破片	検鏡	○	
	化 学： -		磁着度	8		地：黒褐色	破面数	3?	硬度	○	
	放射化： -		メタル度	特 L (☆)		断面樹脂	○	CMA	○		
遺物種類 (名称)	炉内滓 (含鉄)		重量	59.8 g				X線回折	○		
観察所見	平面、不整円形をした板状の含鉄の炉内滓である。上面には炉壁粉や粉炭を多量に含む酸化土砂が多量に付着し、表面状態が分かりにくい部分が多い。上面は生きていると見られ、裏面は剥離面様である。少なくとも側面の内3面は破面で、破面数は3としておく。上面は緩やかな山形に盛り上がり、その頂部から錆ぶくれが生じている。肩部沿いは小さな木炭痕を持つ流動状の滓部が確認される。右側面中央部に極小範囲ながら炉壁土の痕跡を残す。下面是不規則な皿形で右端部寄りか錆ぶくれのため突出し、放射割れも生じはじめている。色調は表面が茶褐色から黒褐色で、地は黒褐色である。										
分析部分	短軸端部 1 / 4 を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布、残材返却。										
備 考	形状や右側面に残る炉壁土から見て、炉壁表面に貼り付くように形成された含鉄の炉内滓と考えられる。その意味では分析資料 No. 7 や分析資料 No. 22 に類似する資料と推定される。透過X線像から見ても内部に微細な隙間を持つ、成長途中の鉄部と判断される。										

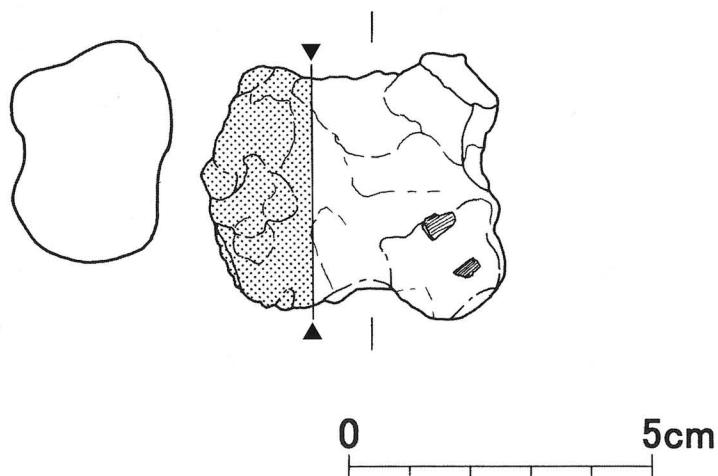


0 5cm



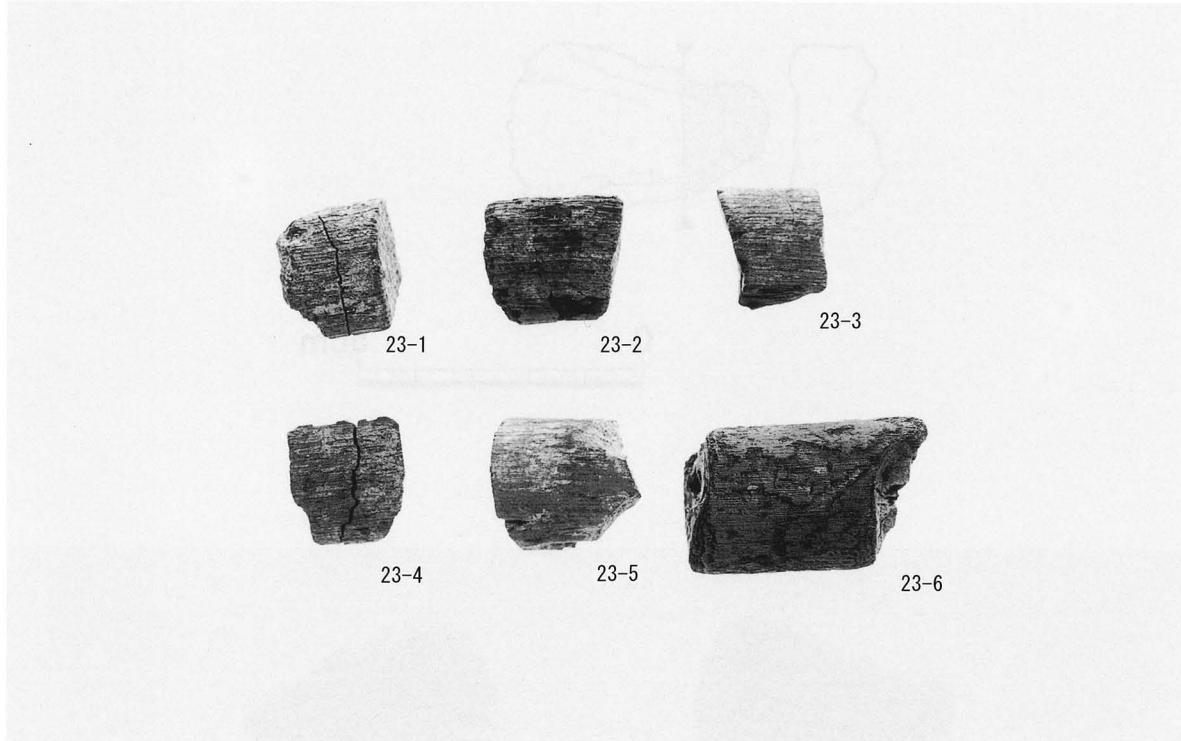
資料番号 22

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	196			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	S I O 1 (C3 区)		時期・根拠	中世?	： 遺構形態			マクロ	○	◎
試料記号	検鏡:KAI-22	法量	長さ	5.0 cm	色調	表：茶褐色～黒褐色	遺存度	破片	検鏡		
	化學:KAI-22		幅	4.4 cm		地：黒褐色	破面数	6	硬度	○	
	放射化：－		厚さ	2.7 cm		磁着度	9	前含浸	－	C M A	○
遺物種類 (名称)	炉内滓 (含鉄)	重量	98.0 g	メタル度	特L(☆)	断面樹脂	○	X線回折 化學 耐火度 カロリー 放射化 X線透過		○	
観察所見	平面、不整長方形をした含鉄の炉内滓の破片である。全体形状はやや楕形を示し、側部は破面となっている。破面数は少なくとも6面を数える。表面全体に酸化土砂が厚く分かりにくい点も多い。上面は皿形に凹み鋆ぶくれが発達している。一部にのぞく滓部は気孔が密集し、部分的に砂鉄焼結塊様の場所も認められる。側部も上面と同様酸化土砂の合間に内部がのぞいている。下面は楕形で、1cm大の木炭痕やこぶ状の鋆ぶくれが目立つ。また、放射割れも生じはじめている。磁着は全体がほぼ均等である。表面の酸化土砂中には木炭片の混入が目立つ。色調は表面が茶褐色から黒褐色、地は黒褐色である。										
分析部分	長軸端部1/4を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布、残材返却。										
備考	一見楕形で、鍛冶滓様にも見えるが、透過X線像ではやや密度の低い鉄部が均等に広がっている。S I O 1 壘穴出土品の一つで、分析資料 No. 19～21 や非分析の資料の情報を加味すると、製錬系の鉄主体の含鉄の炉内滓と推定される。鉄部の広がりの違いはあるものの、生成位置としては分析資料 No. 21 と同様、炉壁に接した位置で形成された可能性が高いとみておく。										



資料番号 23

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	197-1~6			分 析	項目	木炭	
	出土位置	S I 0 1 (D2 区外)		時期・根拠	中世?	遺構形態					
試料記号	検鏡:KAI-23	法 量	長さ 幅 厚さ 小計	cm cm cm cm	表:黒色 色調 地:黒色	遺存度 破面数	— —		マクロ		
	化 学:KAI-23								検鏡	○	
	放射化: —								硬度		
遺物種類 (名称)	木炭 (6点)		重量	24.8 g	磁着度 メタル度	1 なし	前含浸 断面樹脂	— —	CMA X線回折 化 学 耐火度 カロリー 放射化 X線透過	○	
観察所見	<p>S I 0 1 壓穴の中央寄りに設けられた 50 cm 四方のメッシュ D 2 · D 3 · F 5 出土の木炭である。いずれも黒炭で、比較的年輪数の少ない若木を用いている共通点を持つ。以下個別に記録する。23-3、5、6 の端部に見られる工具痕は鈍角で、鋸の可能性をもつ。</p> <p>23-1 (D2 区出土) 長さ 2.2 × 幅 2.3 × 厚さ 1.7 cm、重量 3.8 g。広葉樹の環孔材。年輪数は 9 本を数え、最終年輪は前年の 7 割方で伐倒されている。木取りは丸のまま炭化はやや不良で菊割れやあり。木口部に土砂が薄く残る。黒炭。</p> <p>23-2 (D3 区出土) 長さ 2.3 × 幅 2.2 × 厚さ 1.5 cm、重量 4.2 g。広葉樹の環孔材。年輪数は 1 9 本を数え、分析資料の中では最も年数を経た材である。木取りは半割で炭化はやや不良である。右端部に 2 方向又は 3 方向からの斜めの工具痕が残る。表面に薄く土砂が残る。黒炭。</p> <p>23-3 (D3 区出土) 長さ 1.5 × 幅 2.0 × 厚さ 1.4 cm、重量 2.6 g。広葉樹の環孔材。やや粗い年輪間隔で年輪数 10 本を数える。木取りは縦ミカン割りで径のほぼ 1/4 である。炭化はやや不良で菊割れなし。表面には薄いながらも土砂が残る。黒炭。</p> <p>23-4 (D3 区出土) 長さ 2.5 × 幅 2.2 × 厚さ 1.8 cm、重量 3.0 g。広葉樹の環孔材。年輪数 11 本を数える。木取りは縦ミカン割りで径の 1/4 強である。炭化はやや不良で右側部には鈍角の工具痕が残る。表面にはやや土砂が目立つ。黒炭。</p> <p>23-5 (F5 区出土) 長さ 2.5 × 幅 2.2 × 厚さ 1.5 cm、重量 2.8 g。広葉樹の環孔材。年輪数 14 本を数える。木取りは縦ミカン割りで前者に似る。炭化は不良で菊割れなし。右端部には鈍角の工具痕が残る。表面は薄く土砂が残る。黒炭。</p> <p>23-6 (D3 区出土) 長さ 4.5 × 幅 2.7 × 厚さ 2.5 cm、重量 8.4 g。広葉樹の環孔材。年輪数 12 本を数える。木取りは縦ミカン割りで径の 1/3 である。炭化はやや不良で右側部には鈍角の工具痕が残る。表面にはやや土砂が目立つ。黒炭。</p> <p>必要品を選択し、木炭として分析に用いる。残材返却。</p> <p>樹種としては 3 種類が混在している。23-1、23-2、23-3~6 が同一樹種と考えられる。炭化は全般にやや悪く 23-1 と 2 にはわずかに菊割れが確認されるが、木炭としての炭化度は低めである。材は年輪数 9 ~ 19 本を数え 10 本前後のものが主体である。工具痕には 2 種類あり、23-2 は炭材の加工段階、23-3、5、6 は炭化後の可能性をもつ。23-1 以外は製鉄用の木炭としては小ぶりで、精鍊鍛冶用の木炭サイズに近い。ただし S I 0 1 壓穴が炭置き場的な機能も兼ねていたとすれば、使い残りの木炭となり、製・精鍊用の区別は出来ない。</p>										
分析部分 備 考											



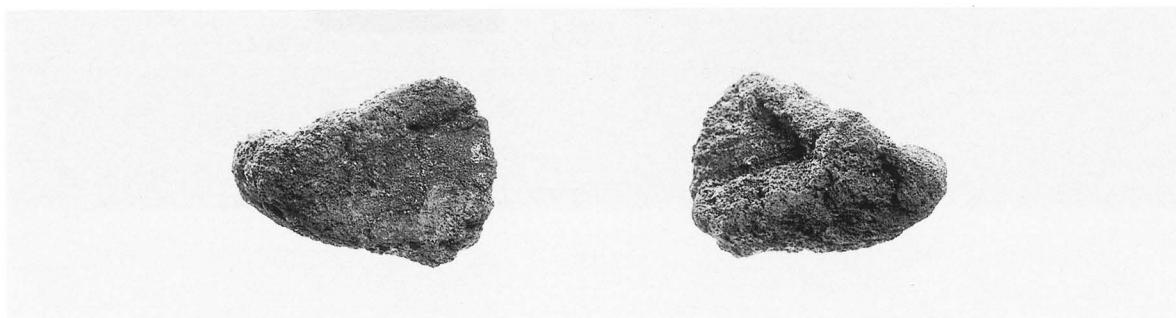
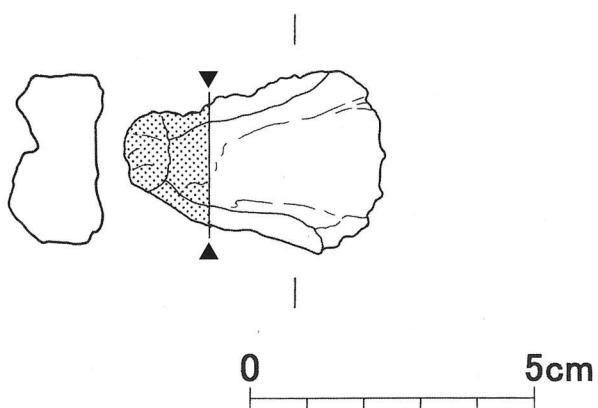
資料番号 24

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	222			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1 トレンチ（排溝場）		時期・根拠	中世？	： 遺構形態			マクロ	○	
試料記号	検鏡: KAI-24	法 量	長さ	4.6 cm	色調	表: 濃茶褐色～ 黒褐色	遺存度	破片 6	検鏡	○	
	化 学: -		幅	3.3 cm		地: 暗褐色～ 黒褐色	破面数		硬度		
	放射化: -		厚さ	2.5 cm		磁着度	4		C M A		
遺物種類 (名称)	砂鉄焼結塊	重量	32.8 g	メタル度	4 鉄化(△)	前含浸	-	X線回折 化 学 耐火度 カロリー 放射化 X線透過	X線回折		
						断面樹脂	-		化 学		

観察所見 平・断面形とも不整三角形をした砂鉄焼結塊である。上下面には3cm大前後の木炭痕が残り、部分的に鉄化して酸化液に覆われている。表面はそのほとんどが破面とみられ、現状で破面数6を数える。上面は自然面の可能性を持つ。磁着は4と弱く、砂鉄の焼結から還元がかなり進んでいることを窺わせる。大半の粒子が被熱してややふくらみを持っており、本来の粒径を示すは少な目である。かろうじてルーペで読み取れる砂鉄粒子は径0.13mm大前後で、島根県下としては比較的細かい砂鉄と言える。一部に小さな錆ぶくれも生じている。色調は表面が濃茶褐色から黒褐色、地は暗褐色から黒褐色である。

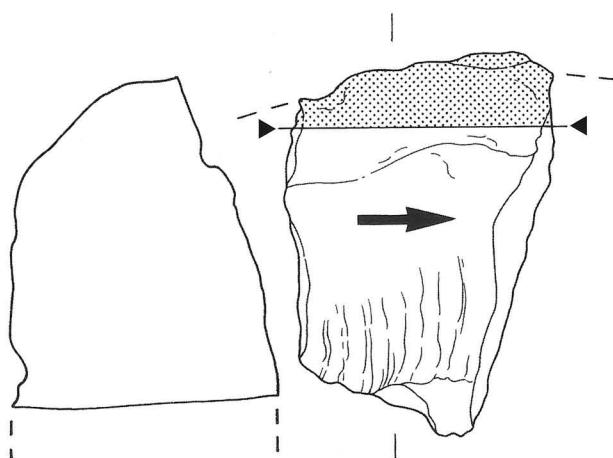
分析部分 長軸端部1/4を直線状に切断し、砂鉄焼結部を分析に用いる。残材返却。

備 考 砂鉄焼結塊に厚みがあり、表裏面とも木炭痕を残す等の特色から、炉壁表面に焼結したものというよりも、炉底塊の上皮付近で生成された可能性もある。本遺跡出土資料の内、元の砂鉄性状を残す焼結部が殆どなく、検鏡用に用いるのみという条件で選択された資料である。



資料番号 25

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	259			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1トレンチ(排溝場)		時期・根拠	中世?	：遺構形態					
試料記号	検鏡:KAI-25	法 量	長さ 幅 厚さ	4.1 cm 5.9 cm 4.6 cm	色調	表:紫紅色～ 青黒色	遺存度	破片			
	化 学:KAI-25					地:青黒色	破面数	5			
	放射化: -					磁着度	2	前含浸	-		
遺物種類 (名称)	流出溝滓		重量	281.1 g		メタル度	なし	断面樹脂	-		
観察所見	平面、不整合形をした分厚い流動滓の破片である。上面には流動単位と滓表皮のしわが生じている。上下面と上手側側面の一部が生きており、側面を中心にして5面の破面を数える。破面はいずれもシャープで、殆ど気孔の無い密度の高い滓である。上手側側面はやや弧状で、平坦気味の上面に至る。底面は土砂の圧痕に覆われて青光りしている。色調は表面が紫紅色から青黒色、地は青黒色である。										
分析部分	短軸端部1/5を直線状に切断し、滓部を分析に用いる。残材返却。										
備 考	平坦な幅広い流出溝に、たっぷりと流動性の非常に良い滓が流れて形成されたものである。ガスも良く抜けて均質のために破面もシャープとなっている。製錬炉の流出溝滓と考えられ、炉況の極めて良い操業段階の滓とみられる。										

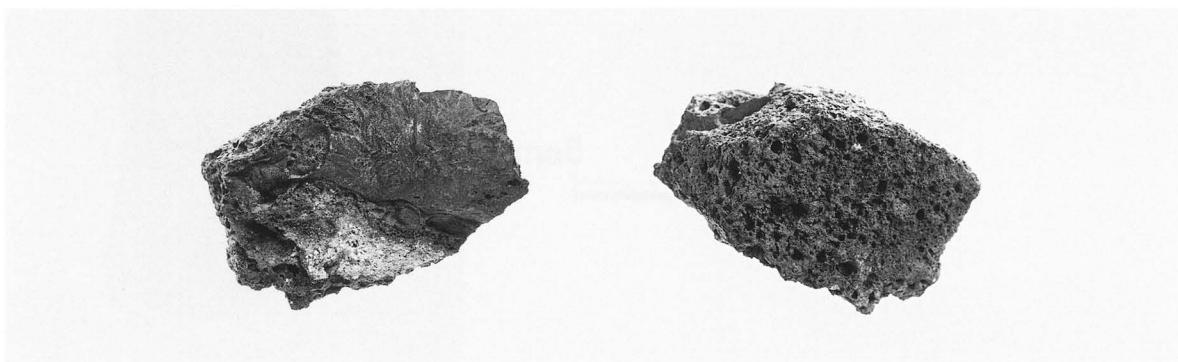
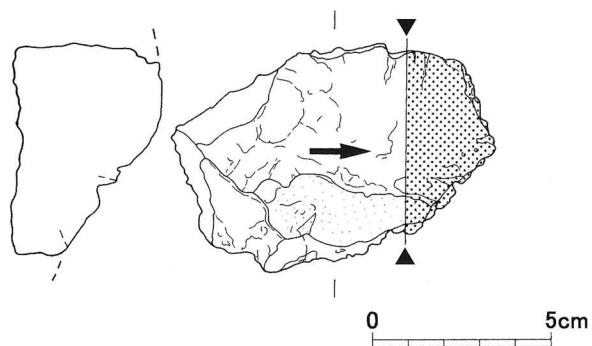


0 5cm



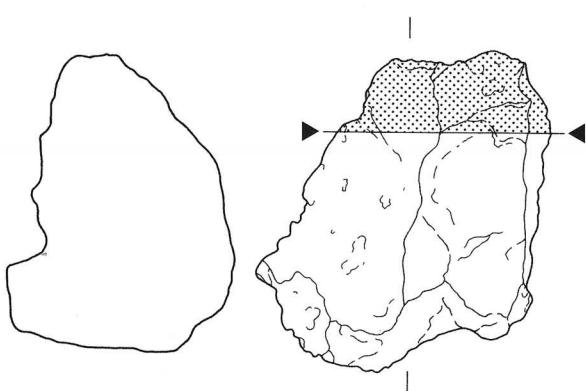
資料番号 26

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	280			分 析	項目	滓	メタル					
	出土位置	1 トレンチ (排溝場)		時期・根拠	中世?	: 遺構形態			マクロ							
試料記号	検鏡:KAI-26	法量	長さ	9.1 cm	色調	表: 黒褐色～暗褐色・褐色	遺存度	破片	検鏡	○						
	化 学:KAI-26		幅	5.3 cm		地: 青黒色・褐色	破面数		硬度	○						
	放射化: -		厚さ	4.7 cm		磁着度	2		C M A							
遺物種類 (名称)	流动滓	重量	200.1 g	メタル度	なし	前含浸	-	X線回折	化 学	○						
						断面樹脂	-		耐火度							
観察所見	平面、不整梢円形をしたガス質の流动滓の破片である。上面の一部のみ生きており、他の側面や下面は全面が破面である。破面数は9を数える。上面の滓は流动状ではあるものの、不定方向に微細なチリメン状のしわが寄っており、手前側には炉壁土をかみ込んでいる特色をもつ。炉壁土は石英質の砂粒を1/3程混えるもので、土質的には分析資料No.1や4に似ている。被熱は弱めで、側面や下面の破面に現れる滓には不定形な気孔が無数にあり、側部の破面を中心に結晶が肥大して、部分的に銀色に輝いている。下面は一部がガス圧により持ち上げられた中空部の天井部にあたる。この面にはわずかながら微細な錆ぶくれが確認できる。色調は表面が黒褐色から暗褐色、炉壁土部分は褐色である。地は滓部が青黒色で、炉壁土が褐色である。															
	分析部分															
	長軸端部1/4を直線状に切断し、滓部を分析に用いる。残材返却。															
	備 考															
上面の色調や表皮のチリメン状のしわ、さらには炉壁土の巻き込み等に加えて滓の結晶の発達が激しく、炉内流动滓の可能性をもつ資料である。そのため、操業終了時に炉底塊の上皮の一部に残った、炉内流动滓の破片の可能性が大きいと考えられる。																

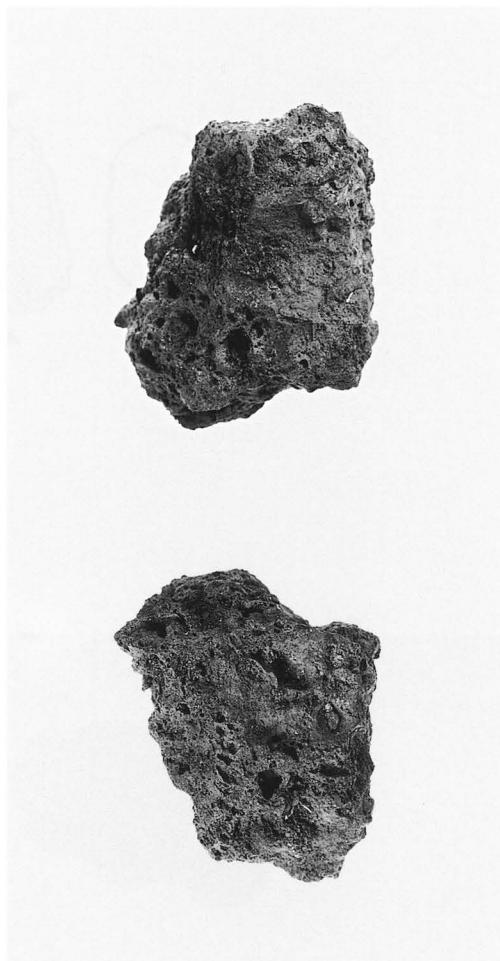


資料番号 27

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	297			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1トレンチ(排溝場)		時期・根拠	中世?	: 遺構形態					
試料記号	検鏡: KAI-27	法 量	長さ 幅 厚さ	7.7 cm 6.8 cm 5.5 cm	色調	表: 濃茶褐色～ 黒褐色	遺存度	破片	マクロ		
	化学: KAI-27		磁着度	4		地: 青黒色～ 黒褐色	破面数	9	検鏡	◎	
	放射化: -		メタル度	鉄化(△)					硬度	○	
遺物種類 (名称)	炉内滓 (含鉄)	重量	322.6 g						CMA	○	
観察所見	平面、不整五角形をした含鉄の炉内滓の破片である。鉄部はわずかで完全に鉄化している。上面のごく一部を除けば全面が小破面に覆われており、破面数は9を数える。部分的に結晶の肥大が顕著である。上面は左右方向に向かいわずかに瘤状で、それ以外の面は中小の不規則な気孔や1cm大以下の木炭痕の混在する破面に覆われている。小さな鉄ぶくれや黒鉄のにじみに加えて酸化土砂の固着も部分的に多い。結晶が肥大してキラキラと輝いている部分もある。右側面肩部にはわずかながら打痕と推定される平坦面が残る。この面は炉底塊を割り分けたおりの痕跡であろう。色調は表面が濃茶褐色から黒褐色、地は光沢をもった銀色や青黒色から黒褐色である。										
分析部分	短軸端部1/4を直線状に切断し、滓部を中心に分析に用いる。残材返却。										
備考	上面の瘤みや周辺の流動滓の形状は、炉底塊の肩部に残されることの多い、通風孔前面の瘤みに相当する可能性が高い。なおこの瘤みの幅は現状で2.8cm程度で、本遺跡の通風孔の径を類推することができる。この場合本資料は、炉底塊の肩部の表層にあたることになる。結晶の発達が明瞭な典型的な製錬系の炉内滓である。										

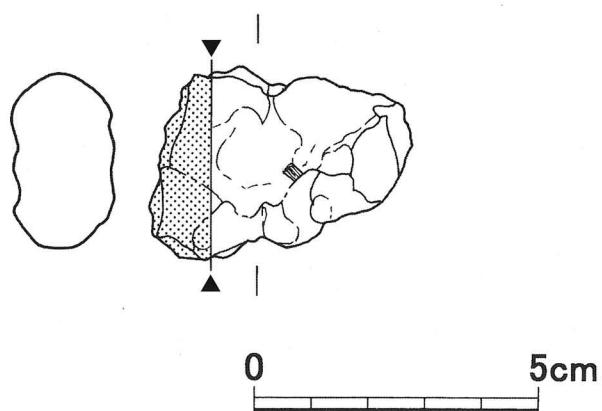


0 5cm



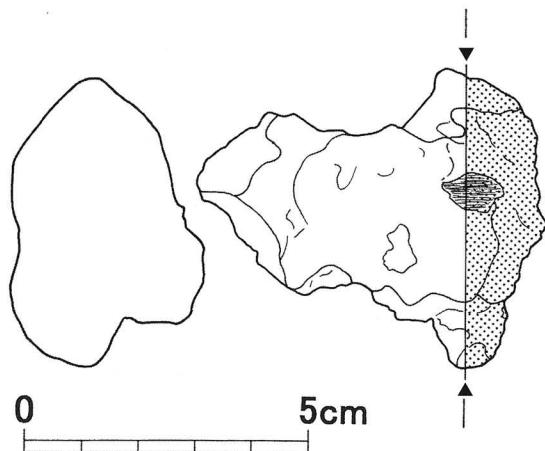
資料番号 28

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	336			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1 トレンチ（排溝場）		時期・根拠	中世？	： 遺構形態			マクロ	○	◎
試料記号	検鏡: KAI-28	法 量	長さ	4.4 cm	色調	表: 濃茶褐色～ 黒褐色	遺存度	破片？	検鏡		
	化 学: -		幅	3.3 cm		地: 青黒色～ 黒褐色	破面数	2	硬度	○	
	放射化: -		厚さ	1.8 cm	磁着度	7	前含浸	-	C M A		
遺物種類 (名称)	炉内滓 (含鉄)		重量	62.1 g	メタル度	L (●)	断面樹脂	○	X線回折		
観察所見	平面、不整合形をした板状で含鉄の炉内滓の破片である。上下面是生きている可能性が高く、側面2面は確実な破面である。鉄部主体で外周部に滓部が広がる。底面がやや椀形で、やや小さな含鉄の椀形鍛治滓を思わせる形状である。表面は全体に茶褐色の酸化土砂に覆われている。右側部にわずかながら元の滓の表面が確認でき、急激に立ち上がる表面には微細な木炭痕が広がっている。磁着は左寄りが強く右寄りは弱い。これは放射割れの位置などから見て銹化によるためであろう。色調は表面が濃茶褐色から黒褐色、地は青黒色から黒褐色である。										
分析部分	長軸端部 1 / 4 を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。										
備 考	一応、含鉄の炉内滓としているが、鉄塊系遺物のようにもあるいは含鉄の椀形鍛治滓の側部破片のようにも見える。底面や右側面の形状を重視すれば、後者の可能性も残りそうである。本遺跡では製錬炉と鍛冶炉とされる遺構が2基づつ検出されており、トレンチには様々な遺物が混入している可能性が高い。従って製錬系・鍛冶系の両者が混在する可能性がある。										



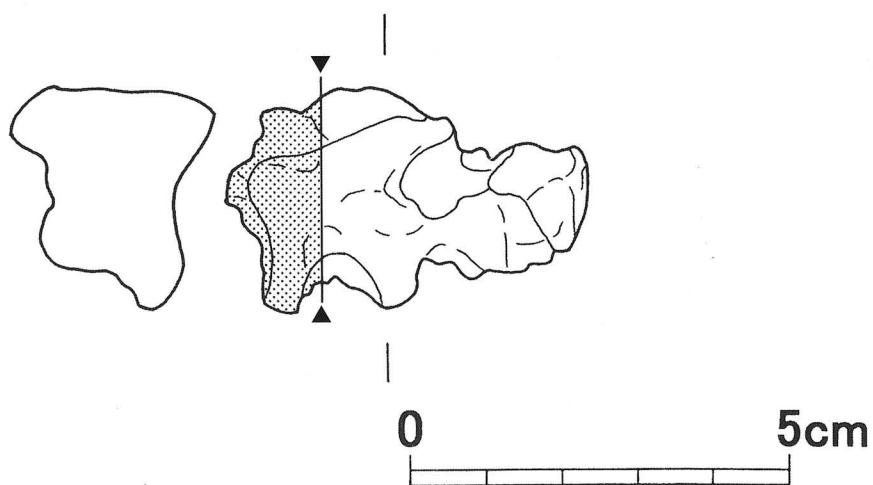
資料番号 29

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	339			分 析	項目	滓	メタル	
	出土位置	1トレンチ(排溝場)		時期・根拠	中世?	: 遺構形態						
試料記号	検鏡: KAI-29	法 量	長さ 幅 厚さ	6.2 cm 4.9 cm 3.4 cm	色調	表: 茶褐色～濃茶褐色	遺存度	破片	マクロ	○	○	
	化 学: KAI-29		地: 濃茶褐色～黒褐色	検鏡		○	○					
	放射化: -		磁着度	7	破面数	6	硬度	○				
遺物種類 (名称)	炉内滓 (含鉄)		重量	130.4 g	メタル度	L (●)	前含浸	-	C M A			
観察所見	平面、不整多角形をしたやや厚板状の、含鉄の炉内滓の破片である。上面の一部は生きていると考えられ、側面から下面は破面となっている。破面数は6を数える。上下面を中心によく酸化土砂が固着しており、部分的に再結合気味である。上面はほぼ平坦な再結合滓である。側面は不規則な凹凸が連続し、破面とも木炭痕とも区別しにくい部分がある。破面の下面もやや似ており、全体的には椀形ながら不規則な窪みも残る。椀形となる表面も炉壁土の圧痕様の小さな窪みが連続する。表面に固着する酸化土砂中にはガス質の流動滓や粉炭が目立つ。色調は表面が茶褐色から濃茶褐色、地は濃茶褐色から黒褐色である。											
分析部分	長軸端部1/4を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。											
備 考	透過X線像で見ると鉄部の比較的しっかりとした資料である。側部の破面も純粋の滓の破面ばかりではなく、鉄部の破面も混在しているものと考えられる。そのためか、錆ぶくれや放射割れも生じている。上面の平坦な部分は再結合気味の酸化土砂に覆われていて、不明ながら鉄部の上面の平坦さを反映している可能性もある。											



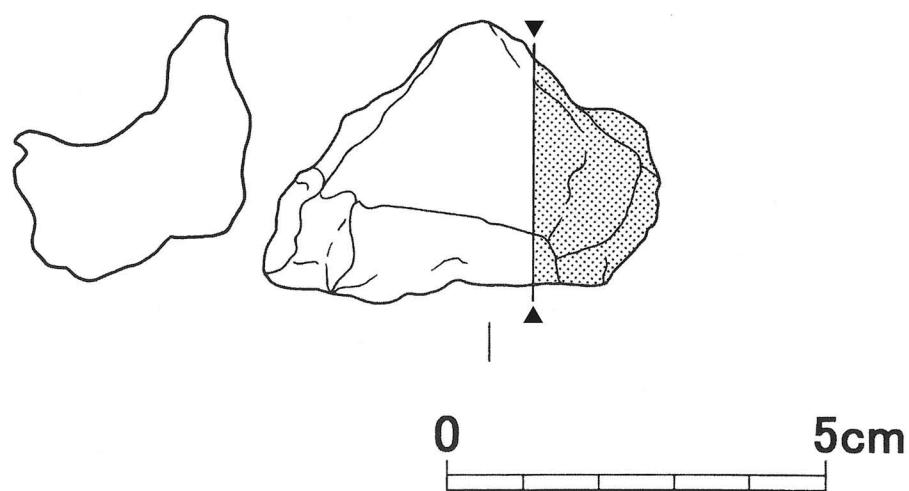
資料番号 30

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	346			分 析	項目	滓	メタル		
	出土位置	1 トレンチ（排溝場）		時期・根拠	中世？	： 遺構形態			マクロ	○	○		
試料記号	検鏡: KAI-30	法 量	長さ	4.8 cm	色調	表: 濃茶褐色～ 黒褐色	遺存度	完形	検鏡	○	○		
	化學: -		幅	3.0 cm		地: 濃茶褐色～ 黒褐色	破面数	0	硬度				
	放射化: -		厚さ	3.0 cm	磁着度	7			CMA				
遺物種類 (名称)	鉄塊系遺物	重量	53.3 g		メタル度	特L(☆)	断面樹脂	○	X線回折				
観察所見	端部が不定方向に伸びた、木炭痕に囲まれた鉄塊系遺物の小片である。表面が薄い酸化物に覆われているが、鉄部主体で、明瞭な破面は確認できない。そのため一応、完形品と見ておく。各面とも2cm大前後の木炭痕に覆われ、一部はくい込む様な形で木炭痕が残されている。鋸ぶくれや鋸ぶくれの欠けに加えて黒錆の滲みも顕著である。鉄部は左側が主体で、右斜め上に伸びる部分は錆化が進んでいる。色調は表面・地とも濃茶褐色から黒褐色である。												
分析部分	長軸端部1/4を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。												
備考	木炭の隙間に挟まる様な形で生成された鉄塊系遺物である。表面全体が薄く錆で覆われていることから明瞭な破面は確認できない。形状的には製・精鍊系のどちらでもあり得る形である。しかし透過X線像からの鉄部の印象では、製鍊系の鉄塊系遺物の可能性が高そうである。												



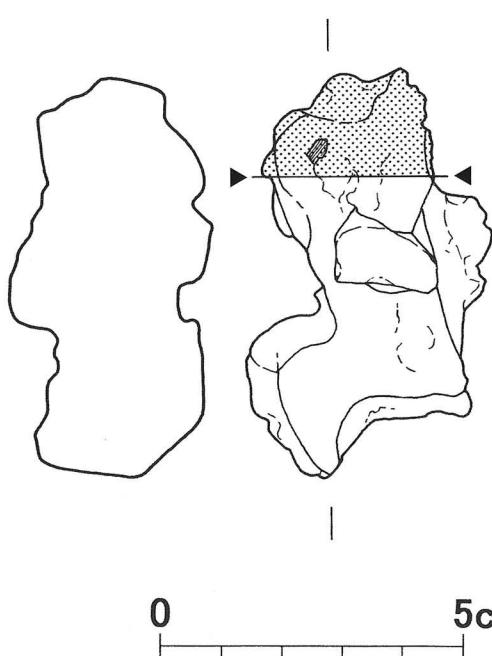
資料番号 31

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	348			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1 トレンチ（排滓場）		時期・根拠	中世？	： 遺構形態			マクロ	○	◎
試料記号	検鏡: KAI-31	法 量	長さ	5.2 cm	色調	表 : 茶褐色～濃茶褐色	遺存度	破片	検鏡		
	化 学: 一		幅	3.8 cm		地 : 濃茶褐色～黒褐色	破面数	7	硬 度	○	
	放射化: 一		厚さ	3.3 cm	磁着度	8	前含浸	—	C M A		
遺物種類 (名称)	炉内滓 (含鉄)	重量	84.2 g	メタル度	特 L (☆)	断面樹脂	○	X線回折			
観察所見	平面、不整五角形をした含鉄の炉内滓の破片である。表面は酸化土砂が厚く、左側部には2cm大の滓片を固着させている。上面は緩やかな山形で、自然面の様にも剥離面のようにも見える。この部分を除けば側面・下面ともが全面破面である。破面数は7を数える。破面は不規則で鋸ぶくれや黒錆の滲みが目立ち、磁着傾向は部位によりかなり差が激しい。特に上面の山形の部分は滓主体と考えられる。表面に固着する酸化土砂中には中小の滓片や粉炭が多量に含まれている。色調は表面が茶褐色から濃茶褐色で、地は濃茶褐色～黒褐色である。										
分析部分	長軸端部1/3を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。										
備 考	炉壁表面で生成された含鉄の炉内滓の可能性があり、比較的類似する資料としては、分析資料No.7, 21, 22等がある。表裏逆の可能性もあり。										



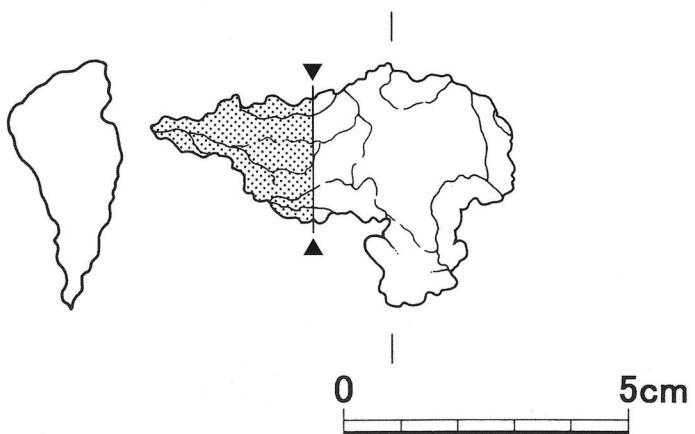
資料番号 32

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	350			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1トレンチ(排滓場)		時期・根拠	中世?	: 遺構形態					
試料記号	検鏡: KAI-32	法 量	長さ 幅 厚さ	4.1 cm 6.8 cm 3.5 cm	色調	表: 茶褐色～濃茶褐色	遺存度	破片		○	◎
	化 学: -					地: 濃茶褐色～黒褐色	破面数	2?			
	放射化: -				磁着度	8					
遺物種類 (名称)	炉内滓(含鉄) (工具付着滓 付)		重量	108.6 g	メタル度	特 L(☆)	前含浸	-		○	X線透過
観察所見	平面、不整多角形をした含鉄の炉内滓の破片である。全体に酸化土砂に覆われており、上面中央部には工具付着滓が固着している。酸化土砂が激しく、はっきりしない点も多いが、少なくとも側面2面は破面と考えられ、さらに多い可能性もある。各面とも個々に見ると3cm大以下の木炭痕が確認され、遺物の形状にも影響を与えていることが分かる。上手の下面是やや弧状で炉壁土の痕跡を残す。各面とも錆ぶくれの欠けや黒錆の滲みが見られ、鉄部が比較的全体に広がっている印象である。ただし錆化のためか磁着には強弱がある。上面に固着する工具付着滓は厚さ6mm程度のやや表面がガス質で、丸棒状の工具痕を残す付着滓である。酸化土砂中には粉炭も目立つ。色調は表面が茶褐色から濃茶褐色、地は濃茶褐色から黒褐色である。										
分析部分	短軸端部1/4を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。										
備 考	木炭痕が比較的大きく、各面ともに見られるという特色と、上手側下面に残る炉壁土の痕跡から判断して、炉壁沿いで生成された含鉄の炉内滓と推定される。形状はやや異なるが、分析資料No.30、31等と共通する遺物群である。またこうした鉄部の成長が甘い個体が排滓場に炉壁や滓片とともに投棄されている現象は、精錬鍛冶に向かないためなのか、さらにまとまりの良い鉄部を回収した残片なのが問題点として残されよう。										



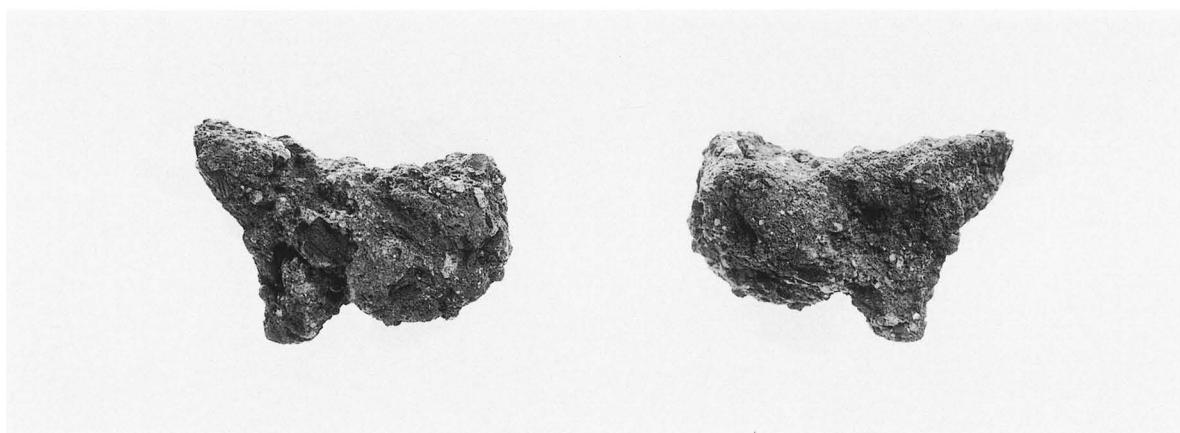
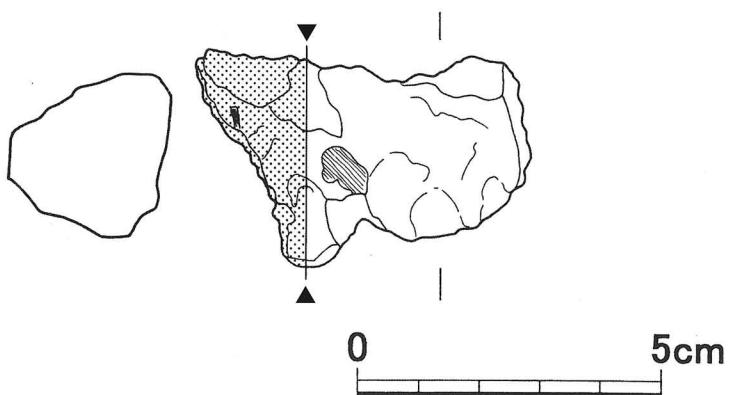
資料番号 33

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	355			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1トレンチ(排溝場)		時期・根拠	中世?	遺構形態					
試料記号	検鏡:KAI-33	法 量	長さ	6.3 cm	色調	表:茶褐色～濃茶褐色	遺存度	破片		○	○
	化 学:KAI-33		幅	4.2 cm		地:濃茶褐色～黒褐色	破面数	1?			
	放射化: -		厚さ	2.1 cm		磁着度	8	-			
遺物種類 (名称)	鉄塊系遺物		重量	63.4 g		メタル度	特L(☆)	断面樹脂	○		
観察所見	平面、不整多角形をした、やや薄い椀形断面を持つ鉄塊系遺物である。上面は生きており、側面から下面全体が剥離したような破面となっている。はっきりとした滓部ではなく、全体にすき間の多い含鉄部である。各面とも錆ぶくれや錆ぶくれの欠けが激しく、放射割れも発達しかけている。上面は緩やかに反り返りもとの形状を残している。表面に固着する酸化土砂中にはガラス質の滓片や木炭粉が数多い。色調は表面が茶褐色から濃茶褐色、地は濃茶褐色から黒褐色である。										
分析部分	長軸端部1/3を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。										
備 考	炉壁表面に貼り付いた砂鉄焼結部がそのまま還元が進み、鉄部がスポンジ状に生成している資料である。その意味では含鉄の炉内滓とも言えるが、滓部の少なさから鉄塊系遺物としておく。上面の緩やかな弧状は炉壁のカーブに沿っている可能性が大である。										



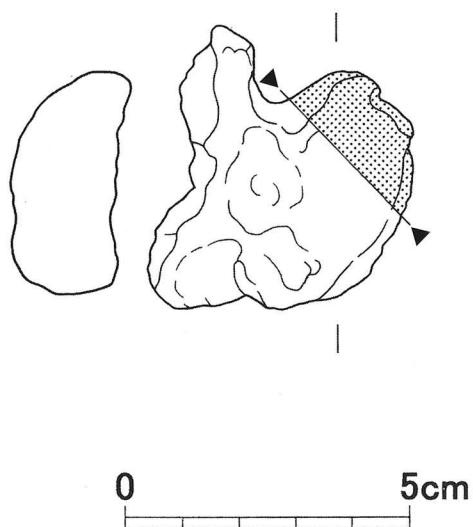
資料番号 34

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	356			分 析	項目	滓	メタル		
	出土位置	1トレンチ(排滓場)		時期・根拠	中世?	: 遺構形態							
試料記号	検鏡: KAI-34	法	長さ	5.6 cm	色調	表: 茶褐色～濃茶褐色	遺存度	破片	マクロ	○			
	化 学: -		幅	3.6 cm		地: 濃茶褐色～黒褐色	破面数		検鏡	◎			
遺物種類 (名称)	放射化: -	量	厚さ	2.7 cm	磁着度	8	前含浸	5?	CMA				
			重量	71.1 g	メタル度	特L(☆)	断面樹脂		X線回折				
観察所見	平面、不整六角形をした鉄塊系遺物である。上面は再結合滓に覆われており、側面から下面是破面と考えられる。破面数は5を数える。酸化土砂や再結合滓に覆われているため表面状態が分かりにくい資料である。側面から下面の左半分にかろうじて表面状態が分かる部分がある。いづれも3cm大以下の木炭痕の残る部分で、錆ぶくれや放射割れも認められる。全体形状もごつごつしており、酸化土砂に覆われながらも木炭痕の影響を読みとることができる。上面の再結合滓部には粉炭を主体に、粒状のガラス質滓や工具付着滓様の小片が含まれている。色調は表面が茶褐色から濃茶褐色、地は濃茶褐色から黒褐色である。												
分析部分	長軸端部1/3を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。												
備 考	分析資料No.29～33等と同様、製錬系の鉄塊系遺物と考えられる。滓部が多めのものを含む炉内滓としているが、透過X線像的には鉄塊系遺物としたものと鉄部そのものの方は似ている。また1トレンチ出土品は表面が再結合気味のものが多く、かなり鉄系の遺物がまとめて投棄されていた可能性があろう。												



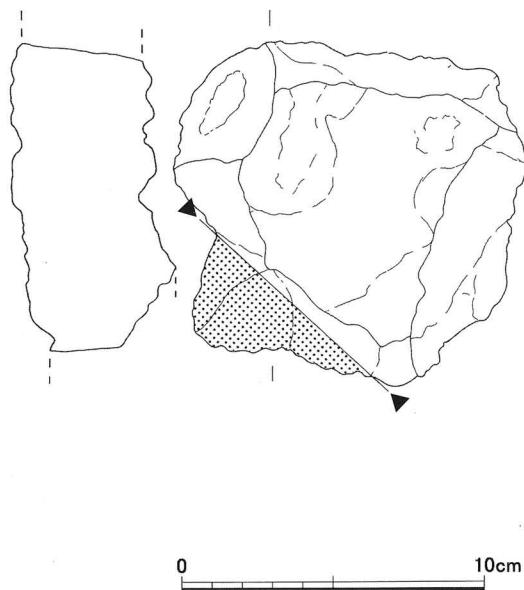
資料番号 35

出土状況 試料記号	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	357			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	1トレンチ(排溝場)		時期・根拠	中世?	:	遺構形態				
	検鏡:KAI-35 化 学:KAI-35 放射化: -	法 量	長さ 幅 厚さ 重量	4.0 cm 5.0 cm 1.9 cm 86.1 g	色 調	表:濃茶褐色～ 黒褐色 地:濃茶褐色～ 黒褐色	遺存度 破面数	ほぼ 完形 1?			
遺物種類 (名称)	鉄塊系遺物		磁着度	8		前含浸	-				
			メタル度	特L(☆)	断面樹脂	○					
観察所見	やや流動状の外觀を持つ鉄塊系遺物である。端部が丸みを持ち全体的に小さな楕形の断面形である。左上手側部が突出し、その先端部のみが破面となっている。破面数は1を数える。外観的には滓部がほとんどなく全体が鉄部である。内部に気孔が点在するためか磁着は見かけ程は強くない。また錆化部もあり、その影響も考えられる。上面は皿形に壅み下面のカーブとほぼ一致している。微細な木炭痕に覆われており、表面には薄く酸化土砂が固着している。酸化土砂中には粉炭のみが確認できる。色調は表面・地とも濃茶褐色から黒褐色である。										
分析部分	長軸端部1/4を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。										
備 考	粉炭層の隙間に潜り込んだ様な銑鉄塊と考えられる。1トレンチ出土品の中でこうした形状のものは少な目で、分析資料No.28~34の中ではやや特異な資料である。他の資料は部分的に銑鉄化している部分があったとしても、主体は中低炭素の鉄塊あるいは含鉄の炉内滓である。こうした傾向はトレンチの出土品のみに言えるものなのか、遺跡そのものの生成品全体に及ぶものなのかが注目される点である。										



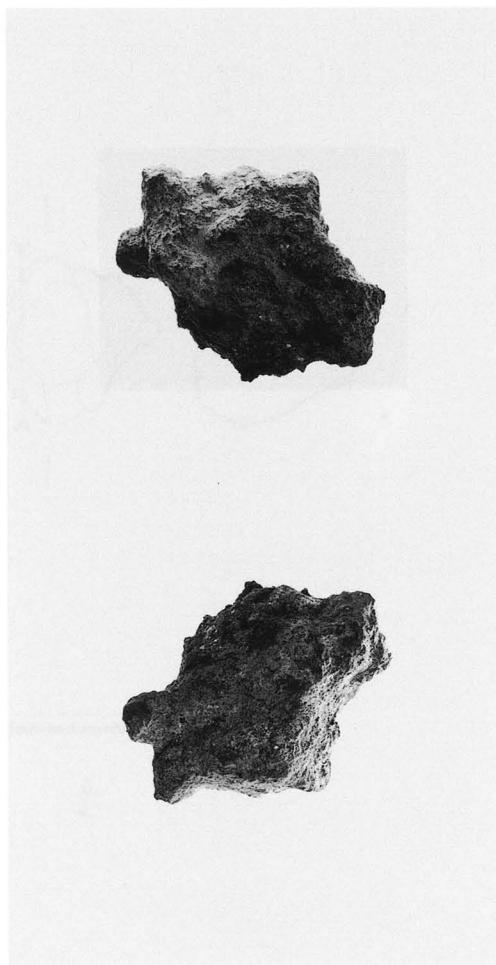
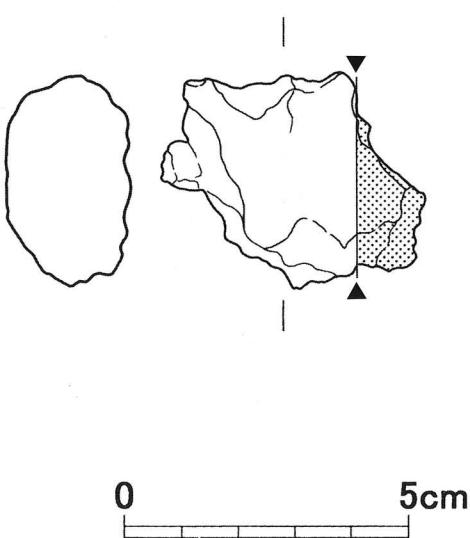
資料番号 36

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	375			分 析	項目	滓	メタル
	出土位置	2トレンチ		時期・根拠	中世?	: 遺構形態					
試料記号	検鏡:KAI-36	法 量	長さ 幅 厚さ	18.0 cm 12.0 cm 69.0 cm	色調 地 磁着度 メタル度	表: 濃茶褐色～ 黒褐色・淡黄 褐色 地: 黒褐色・ 褐色 4 なし	遺存度 破面数 前含浸 断面樹脂	破片 11 — —	マクロ 検鏡 硬度 CMA X線回折 化學 耐火度 カロリ 放射化 X線透過		
	化學:KAI-36										
	放射化: —										
遺物種類 (名称)	炉底塊										
観察所見	平面、不整多角形をした炉底塊の破片である。上面のみ生きており、側面には比較的シャープな小破面が連続する。破面数は11を数える。下面は炉床土が全面に固着している。含鉄部は全くなく、やや結晶の発達した炉底塊である。上面は粗い波状で、各へこみの内面にもイガイガした突出部が面をなしている。右手方向は厚みを持っている。これは右側面の破面に炉床土と滓層が上下2枚あることと関係するものと考えられる。側面の破面は中小の気孔が目立ち、部分的に結晶がキラキラと輝いている。気孔には精粗があり、左側部の上半寄りには横方向に連なった気孔が確認される。これは位置的に、右側面が重層しているのと対応するものと考えられる。滓は緻密である。破面は側部がやや立ち気味の皿状である。最大1cm程度の厚みで、被熱の弱い炉床土が面的に貼り付いている。炉床土の色調は淡緑色から褐色である。また胎土は石粒をかなり含む粗いもので、小さな亀裂が走る程度の練りの甘いものである。色調は表面の滓部が濃茶褐色から黒褐色、炉壁の部分は前記のとおりである。地は滓部が黒褐色で炉壁土の部分は褐色ベースである。										
分析部分	長軸端部1/4を直線状に切断し、滓部を分析に用いる。残材返却。										
備 考	最大厚み 6.9 cm程度の炉底塊の破片である。注目されるのは右側部の破面に残る炉壁土と滓層の重層である。これは操業を一旦中断した後、部分的に炉床の補修を行い、続けて操業を行ったものか、あるいは流出孔等から不自然な力により部分的に炉床が浮き上がったかどちらかである。次に注目される点は下面全体に固着している褐色ベースの炉壁土である。箱形炉の炉床は近世には基本的に粉炭を叩き締めた灰スラシに統一されるが、古代から中世には粉炭床と粘土を船底状に貼り込んだ両者があり、本遺跡の1・2号製鉄炉の何れかが後者のタイプであったことを物語るものである。なお、炉床土の被熱は弱く、この特色も分析資料No. 1 や 4 の炉壁片に共通する特色である。										



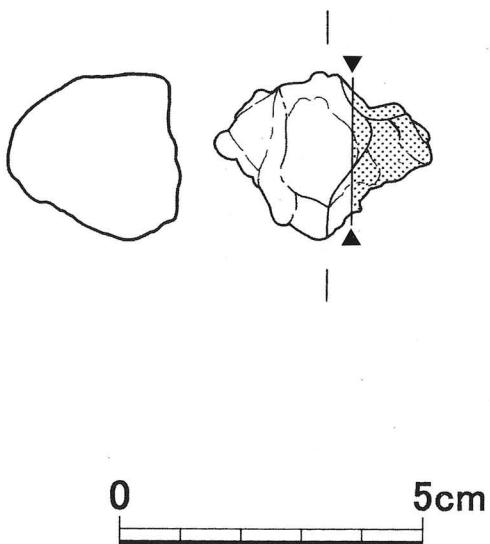
資料番号 37

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	416			分 析	項目	滓	メタル	
	出土位置	3トレンチ(2号製鉄炉周辺?)	時期・根拠	中世?	：遺構形態							
試料記号	検鏡:KAI-37	法 量	長さ	3.8 cm	色調	表:茶褐色～ 黒褐色	遺存度	ほぼ 完形		○	◎	
	化 学:KAI-37		幅	3.5 cm		地:濃褐色～ 黒褐色	破面数	1?				
	放射化: -		厚さ	2.2 cm	磁着度	8	前含浸	-		○		
	遺物種類 (名称)		重量	91.5 g	メタル度	特L(☆)	断面樹脂	○			○	
観察所見	平面、不定多角形をした厚板状の鉄塊系遺物である。上面は生きており、側面から下面の大半は自然面か破面かはっきりしない。右側上手肩部は欠け落ちたような破面で、破面数は1としておく。比重が高くしかりとした鉄塊である。上面は緩やかな山なりで、かすかに木炭痕様の痛みを散在させる。側面はやや丸みを持ち餅状の部分が多い。下面是左右方向に伸びる浅い溝状で左側部中央から棒状の鉄部が突出している。わずかに錆ぶくれや黒錆の滲みが見られるが、基本的には面のきれいな鉄塊系遺物ある。上手側部には酸化土砂が固着している。色調は表面が茶褐色から黒褐色、地は濃褐色から黒褐色である。											
分析部分	長軸端部1/4を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。											
備 考	透過X線像から見ても滓部をほとんど持たない鉄塊系遺物である。側部が欠け落ちた様な部分が多く、内部には気孔が認められる。全体が銑鉄化しているのかは不明ながら、ある程度炭素量の高い部位の広い鉄塊系遺物と推測される。生成域については壁際ではなく、現在の上面がもとの上面と考えられる。											



資料番号 38

出土状況	遺跡名	貝谷遺跡		遺物 No.	456			分 析	項目	滓	メタル
		出土位置	5トレンチ (SI01 南西側)		時期・根拠	中世?	: 遺構形態				
試料記号	検鏡: KAI-38	法 量	長さ	3.5 cm	色調	表: 茶褐色～濃茶褐色	遺存度 破片?	1?	マクロ	○	○
	化 学: -		幅	2.6 cm		地: 濃茶褐色～黒褐色			検鏡	○	○
	放射化: -		厚さ	2.6 cm		磁着度	7		C M A	○	○
遺物種類 (名称)	鉄塊系遺物	重量	42.4 g	メタル度	特 L (☆)	断面樹脂	○		X線回折	○	○
観察所見	平面、不整菱形をした小塊状の鉄塊系遺物である。やや厚みがあり鋸ぶくれのためか左右の側端部が突出している。表面に酸化土砂が厚く、破面の状況が分かりにくい。上手側部一面は明らかな破面で、場合により上面以外は全面破面となる可能性もある。上面は狭い波状の面で、側部は比較的急に立ち上がっている。下半寄りの端部には三方に向かい鋸ぶくれが伸び、放射割れが認められる。磁着は強めで、鋸ぶくれ部と上面がやや弱い。表面の薄い酸化土砂中には粉炭が主に確認できる。色調は表面が茶褐色から濃茶褐色、地は濃茶褐色から黒褐色である。										
分析部分	長軸端部 2 / 5 を直線状に切断し、メタル部を中心に分析に用いる。断面樹脂塗布。残材返却。										
備 考	小塊状の鉄塊系遺物で、表面の酸化土砂のため製錬系か鍛冶系かの区別は難しい。5トレンチ出土品は位置的に S I O 1 壘穴に関わる遺物の可能性が高い。										



第7章 自然化学分析

はじめに

貝谷遺跡においては中世の製鉄関連遺構及び遺物について、その性格と年代を解明するために自然科学分野の分析を依頼した。そしてその成果については、本章で各研究者及び研究機関からその成果を報告いただき掲載している。

これらの成果の詳細については各節の記述を読んでもらいたい。ここでは各成果について簡単に整理しておきたい。

第1節の製鉄関連遺物の金属学的な分析は、検出遺構でどのような操業が行われていたのかを明らかにするために必要な分析であった。特に精錬鍛冶炉と想定していたSX01・02で鍛冶工程の遺物が存在していることを確認することは考古学的には限界があった。分析の結果によって、鍛冶系の遺物が存在しないことが判明し、また貝谷遺跡検出遺構での鉄生産の内容について詳細を明らかにすることができた。

今回の分析に際して、製鉄炉に伴う砂鉄の採取、製鉄炉共伴遺物の特定の点に関して現地調査時の認識が甘い部分があり課題として残った。

第2節の地磁気年代測定の成果は1号製鉄炉と2号製鉄炉から得られた採取試料によるものである。これによって各製鉄炉の地磁気年代が判明し、また地磁気の方向のデータもまとまっているものであった。さらに各製鉄炉の地下構造の焼成度の違いも判明した。

今回の分析に際して、SX01・02の地磁気年代の測定を実施しなかったことが反省点として残った。この2つの遺構は現地調査の期間的な問題と、当初鍛冶炉として認識していたことから鉄の影響を受けやすい遺構である点も考えて対象からは外していた。

第3節の放射性炭素年代測定値の成果は現地調査時に採取した炭化材の測定結果である。測定値は4点ともほぼ同時期の値が出ているが、地磁気年代と異なる年代値が出たことから、結果的に遺構の詳細な年代決定を下すことは困難になった。

第1節 貝谷遺跡出土製鉄・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

貝谷遺跡は島根県飯石郡頓原町志津見に所在する。発掘調査により製鉄炉2基が検出された。1号製鉄炉は本床状遺構のみ、2号製鉄炉は本床状遺構の両脇に小舟状遺構を配する地下構造が確認されている。さらに精錬鍛冶炉の可能性がある遺構2基、作業場1基、敷石遺構1基及び排滓場が検出されており、狭い範囲内で製鉄から鍛冶工程が連続して行われたと予想されている。遺跡内の鉄生産の実態を詳細に検討する目的から、金属学的調査を実施する運びとなった。

2. 調査方法

2-1. 供試材

Table. 1に示す。製鉄・鍛冶関連遺物計38点の調査を行った。

2-2. 調査項目

(1) 肉眼観察

遺物の肉眼観察所見である。これらの所見をもとに分析試料採取位置を決定する。

(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、エメリーリング紙の#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) EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) 調査

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 (SiO_2) 、酸化アルミニウム (Al_2O_3) 、酸化カルシウム (CaO) 、酸化マグネシウム (MgO) 、酸化カリウム (K_2O) 、酸化ナトリウム (Na_2O) 、酸化マンガン (MnO) 、二酸化チタン (TiO_2) 、酸化クロム (Cr_2O_3) 、五酸化磷 (P_2O_5) 、バナジウム (V) 、銅 (Cu) 、: ICP (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer) 法 : 誘導結合プラズマ発光分光分析。

(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。胎土をゼーゲルコーンという三角錐の試験片を作り、1分間当たり 10°C の速度で 1000°C まで温度上昇させ、以降は 4°C 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を示している。

(8) 木炭組織

調査破面（木口、柾目、板目）を#1,000のサンドペーパーで研磨して平滑な面を出し、十分に乾燥する。次に調査面にカーボン蒸着を施し導電性を確保した後、走査型電子顕微鏡で組織を撮影する。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次電子線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、灰分の磷 (P) 、蛍光X線分析法、発熱量、カロリー計。

3. 調査結果

3-1. 1号製鉄炉出土遺物

KAI-1 : 炉壁

(1) 肉眼観察：内面が溶融ガラス質化した炉壁片である。上下面には一部、築炉時の粘土塊の接合面が残る。胎土は石英質の砂粒をまばらに含む。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 1 ①～⑤に示す。①は被熱胎土部分である。熱影響が強く、粘土鉱物は加熱変化を受けて非晶質化している。しかし胎土中の石英・長石粒の多くは形状を保つ。ただし石英に高温クラックが発生する。②～⑤は内面表層の溶融ガラス化部分である。②③はガラス質中の半還元砂鉄粒子である。内部にはチタン鉄鉱 ($\text{Ilmenite} : \text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の格子組織が確認される。また⑤⑥はより溶融済化が進んだ個所で、半還元砂鉄粒子の周囲には淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル ($\text{Ulvöspinel} : 2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) 、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト ($\text{Fayalite} : 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が晶出する。

(3) 化学組成分析：Table. 2 に示す。強熱減量 (Ig Loss) は 0.60% であった。熱影響が強く、結晶構造水ほとんどが飛散した状態での分析となった。鉄分 (Fe_2O_3) は 1.51% と低く、酸化アルミニウム (Al_2O_3) は 18.38% と通常レベル。塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) が 0.51% と低値で耐火性に有利な成分系である。胎土中の二酸化チタン (TiO_2) の混入は少なく 0.39% に留まる。

(4) 耐火度： 1527°C であった。耐火性の高い性状である。

KAI-2 : 砂鉄焼結塊

(1) 肉眼観察：板状の砂鉄焼結塊である。裏面には僅かに炉壁胎土が固着し、炉壁内面表層で

生じた破片。砂鉄粒子は全体に焼結、滓化が進行している。粒径は0.13mm程で比較的細粒である。

(2) マクロ組織: Photo. 22に示す。砂鉄粒子の原形を残すものは少なく、全体的に還元が進んだ砂鉄焼結塊である。晶出した金属鉄粒はほとんどが銹化しており、砂鉄粒子痕跡を取り巻く銹化鉄層や、微小金属鉄粒が剥落した黒色点状の痕跡が広範囲で確認される。

(3) 顕微鏡組織: Photo. 1 ⑥～⑧に示す。砂鉄粒子は還元が進み、鉄と滓が分離しつつも砂鉄粒子痕跡を留めるものが多数点在する。点状の黒色部は晶出した微細な金属鉄粒が銹化、剥落した痕跡である。その周囲には微細な淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル及び、発達した淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。

KAI-3: 流動滓

(1) 肉眼観察: 平面不整六角形を呈する流動滓片で、流出孔滓の可能性が高い。滓の色調は黒褐色である。上下面と側面の一部が生きていて、破面は各面とも気孔が多数残存する。上面表層は流動状を呈し、樋状の工具付着滓が斜めに遺存する。下面には木炭痕が残る。

(2) 顕微鏡組織: Photo. 2 ①～③に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度: Photo. 2 ①の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は647Hvであった。ウルボスピネルに同定される。^(注1)

(4) EPMA調査: Photo. 33の1段目に滓部鉱物相の反射電子像 (COMP) を示す。22の番号をつけた淡茶褐色多角形結晶の定量分析値は62.8%FeO-32.7%TiO₂-3.8%Al₂O₃-2.0%MnO-1.8%V₂O₃であった。ウルボスピネル (Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂) に同定される。更にAl, Mn, Vを微量固溶する。23の番号をつけた淡灰色結晶の定量分析値は59.7%FeO-32.6%SiO₂-7.0%MgO-3.6%MnOであった。ファイヤライト (Fayalite : 2FeO·SiO₂) に同定される。更にMg, Mnを微量固溶する。また素地のガラス質部分の定量分析値は51.9%SiO₂-13.6%Al₂O₃-5.2%CaO-1.1%MgO-4.4%K₂O-22.6%FeO-1.1%TiO₂-1.6%MnOであった。珪酸塩に微細なファイヤライトが析出するのであろう。

(5) 化学組成分析: Table. 2 に示す。全鉄分 (Total Fe) 29.54%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.52%、酸化第1鉄 (FeO) 31.52%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 6.46%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) 41.71%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は5.46%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 13.27%と高値で、バナジウム (V) は0.37%であった。また酸化マンガン (MnO) も1.98%と高い。銅 (Cu) は<0.01%であった。塩基性砂鉄を原料とした製鍊滓の成分系である。

小 結

〈1〉 製鉄原料は塩基性砂鉄と推定される。志津見ダム建設に伴って調査された、近世たたらの出土砂鉄中のTiO₂量はほぼ5%前後であるが、1号製鉄炉出土遺物は類似した成分の砂鉄を想定して矛盾のない鉱物組成であった。

〈2〉 炉壁片の耐火度は1527°Cであった。周辺地域の近世たたらの炉壁片と比較しても、耐火性の高い粘土が選択されている。

3-2. 2号製鉄炉出土遺物

KAI-4: 炉壁

(1) 肉眼観察: 内面が溶融ガラス化した炉壁片である。上面には築炉時の粘土塊の接合痕が残

る。内面表層は酸化雰囲気に曝されたためか紫紅色を呈する。また小範囲であるが磁着の強い鋸部が確認される。胎土は石英質の粒子を混和している。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 2④～⑥に示す。②は内面表層のガラス質層である。晶出する多角形結晶はマグネタイト（Magnetite : Fe₃O₄）ないしはウルボスピネルである。また⑤⑥は被熱胎土部分を示す。熱影響が強く粘土鉱物のセリサイトは非晶質化が進んでいる。また白色部は胎土中に混在する半還元された砂鉄粒子である。やはり熱影響が強く、微細なマグネタイト結晶が晶出している。

(3) 化学組成分析：Table. 2に示す。強熱減量（Ig Loss）は1.14%と低値である。熱影響が強く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）2.05%と低く軟化性に有利である。酸化アルミニウム（Al₂O₃）は18.50%と一般レベルで、耐火性に問題はない値である。該品にも砂鉄の混合はあまりなく二酸化チタン（TiO₂）は0.44%に留まる。

(4) 耐火度：1500°Cであった。耐火性の高い性状である。

KAI-5：流動滓

(1) 肉眼観察：平面不整多角形をした炉内流動滓と推測される。上下面是生きており、側面の4個所に小破面を残す。滓の地の色調は黒褐色である。上面表層は光沢が強い青黒色で、きれいな流動状を呈する。下面には灰白色の炉壁粉が固着する。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 2⑦に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴァタイト（Wüstite : FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質中に晶出する。酸性砂鉄を原料とする製錬滓の晶癖である。

(3) ビックアース断面硬度：Photo. 2⑦の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は746Hvであった。ウルボスピネル（Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂）とヘーシナイト（Hercynite : FeO·Al₂O₃）の固溶体^(注2)である。

(4) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分（Total Fe）48.75%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.38%、酸化第1鉄（FeO）54.89%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）9.04%の割合であった。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）は28.71%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）は2.32%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）は6.12%、バナジウム（V）0.33%であった。また酸化マンガン（MnO）は0.80%、銅（Cu）<0.01%である。酸性砂鉄を始発原料とした砂鉄製錬滓に分類される。炉底塊の特徴であり、やや酸化雰囲気の強い排滓孔周辺で生じた滓の可能性が高い。

KAI-6：再結合滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：盤状で大型（8.5kg）の含鉄再結合滓である。平面は不整六角形状を呈する。上面は全体に平坦気味で基本的に生きており、鉄床石の可能性も言及される。また肩部には2個所打痕が残り、側面3面は破面で下面は剥離面である。表面には鋸が点在し、鉄部が複数存在する。さらに滓片や木炭粉、炉壁粉等が再結合される。

(2) マクロ組織：Photo. 22に示す。試料採取位置で最もまとまった金属鉄が存在する個所を観察したところ、亜共晶組成白鉄組織主体の鉄塊が確認された。周囲には微細な製錬滓片が複数固着している。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 3①～⑧に示す。①②は再結合滓部分である。①では被熱砂鉄粒子、木炭片に加えて、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する製錬滓片である。②も製錬滓片である。白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite : FeO·TiO₂）或

いは淡褐色片状結晶ルチル (Rutile : TiO₂) といった高温下で晶出する鉄チタン酸化物^(注3)が晶出する。さらに滓中に散在する微小金属鉄粒は5%ナイタルで腐食したところパーライト基地に初析セメンタイトを析出した過共析組織 (>0.77%C) が現われた。

③～⑧は鉄塊部分である。③は鉄中非金属介在物を示す。微小黄褐色異物は硫化鉄 (FeS) である。また④～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。④⑤に示すように亜共晶組成 (<4.23%C) 白鋳鉄組織が主体であるが、表層に片状黒鉛が析出する。

主に製鉄関連遺物で構成される再結合滓であった。

(4) ビッカース断面硬度 : Photo. 3 ⑥～⑧に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑥のパーライト部分の硬度値は229Hv、⑦のレデブライト部分の硬度値は344Hv、⑧のセメンタイト部分の硬度値は420Hvであった。⑦⑧は風化による異常値で、実際は600Hv以上を呈する筈である。

(5) 化学組成分析 : Table. 2 に示す。酸化物定量である。表皮スラグを含めての分析とした。全鉄分 (Total Fe) 39.01%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 19.42%、酸化第1鉄 (FeO) 8.61%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 18.44%の割合であった。再結合滓中の鉄部を反映した値である。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) 49.75%は土砂等の影響を受けた数値で大きい。また原料砂鉄中の脈石成分に由来する二酸化チタン (TiO₂) は2.54%、バナジウム (V) 0.11%、酸化マンガン (MnO) は0.52%であった。さらに銅 (Cu) は<0.01%である。前述KAI-5 流動滓に傾向としては近い。

KAI-7 : 炉内滓 (含鉄)

(1) 肉眼観察 : 1.2cm厚みで薄板状の含鉄炉内滓である。表層に薄く砂鉄粒子が確認されるが、2次的な固着の可能性が高い。また外観からは明確な滓部が確認されず、鉄塊系遺物としたほうが適当かもしれない。特殊金属探知器のL (●) で反応があるため、比較的まとまった金属鉄が遺存する。

(2) マクロ組織 : Photo. 23に示す。薄板状の白鋳鉄組織の鉄塊である。暗色部は錆化が進み自然腐食を受けた個所である。また断面を観察すると、複数の銑鉄が溶着していることが分かる。なお表層に付着する酸化土砂中には多数の砂鉄粒子が混在する。

(3) 顕微鏡組織 : Photo. 4 ①～⑤に示す。①の写真上側は試料表層に付着する酸化土砂中の砂鉄粒子である。表層に滓部ではなく、鉄表面は薄く酸化膜が形成され、ここに層状のパーライト組織痕跡が残存する。②は鉄中非金属介在物である。組成に関してはEPMA調査の項で詳述する。③～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。レデブライト主体でパーライトの面積率はごく僅かの共晶組成に近い亜共晶組成白鋳鉄が確認された。

(4) ビッカース断面硬度 : Photo. 4 ④⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示した。④はパーライト部分で硬度値は220Hv、⑤はレデブライト部分で硬度値は645Hvである。それぞれ組成に対応した値であった。

(5) EPMA調査 : Photo. 33の2段目に鉄中非金属介在物の反射電子像 (COMP) を示す。1の番号をつけた黄褐色微細異物の定量分析値は86.0%FeO-35.8%Sであった。硫化鉄 (FeS) に同定される。

またもう1視野、表層滓部の可能性がある個所を調査した。しかし定量分析値をみると2が96.0%FeO、3が60.9%FeO、4が95.2%FeOであった。何れも減衰した値を示し、錆化鉄部と推定され

る。始発原料の同定や、どの工程の派生物か判断する手がかりとなる滓部は確認されなかった。

小 結

〈1〉 流動滓 (KAI-5) は2号製鉄炉の共伴遺物である。酸性砂鉄を原料として脈石成分 (Ti, V, Mn) がやや低値の製錬滓であった。操業時に1号製鉄炉よりチタン含有量の低い砂鉄を使用した可能性が高い。また比較的低温・低還元雰囲気で操業し、滓中に酸化鉄 (FeO) を多く残すことで、滓の流動性を確保した可能性が考えられる。こうした操業で派生する滓は鍛冶滓と類似する鉱物組成、化学組成となるため両者の区分は困難となる。

これに対して、含鉄再結合滓 (KAI-6) には複数の製錬滓片中に、イルミナイトないしはルチルなど高温下で晶出する鉄チタン酸化物が確認された。鉄床石の代用に他所からの搬入の可能性はなかろうか。これらが確実に2号製鉄炉に伴う遺物であれば、操業中少なくとも通風孔近傍は高温・高還元雰囲気であったと推測される。製鉄炉の操業中の炉内雰囲気は、操業回や炉内の位置の違いで、大きくばらつきていた可能性が高い。

〈2〉 含鉄再結合滓 (KAI-6)、炉内滓 (含鉄) (KAI-7) では共に鉄塊が確認された。これも前述した高温・高還元雰囲気の炉内空間の存在を裏付ける遺物といえる。

〈3〉 出土炉壁片 (KAI-4) の耐火度は1500°Cであった。1号製鉄炉と同様に耐火性の高い粘土が選択されている。

3-3. SXO1 (精錬鍛冶炉?) 出土遺物

KAI-8 : 流出孔滓

(1) 肉眼観察：平面は不整台形を呈する流出孔滓片である。上下面と側面2面が生きているが、残る側面5面は破面である。上面は流動状であるが、1cm以下の木炭痕が数多く残る。横断面形は下面が比較的平坦で、側面は急激に立ち上がっている。破面には大きな不定形の気孔が散在するが、滓自体は緻密で鉱物の巨晶化が窺える。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 4⑥～⑧に示す。鉱物組成は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。

(3) ビッカース断面硬度：Photo. 4⑦⑧に硬度測定の圧痕を示す。⑦中央の白色粒状結晶の硬度値は416Hvであった。ヴスタイトの文献硬度値よりもやや軟質の値となったが、結晶粒の面積がごく狭いため誤差が生じたのであろう。ヴスタイトと同定される。また⑧の淡茶褐色多角形結晶の硬度値は736Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が高い。

(4) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 50. 25%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.19%、酸化第1鉄 (FeO) 56.43%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 8.86%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) 27.33%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は1.99%を含む。また砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) は4.11%、バナジウム (V) は0.28%と低めであった。また酸化マンガン (MnO) は0.51%、銅 (Cu) < 0.01%である。当試料は鉄分高く、始発原料の砂鉄由来の脈石成分 (Ti, V, Mn) は低めであった。また鉱物組成はヴスタイトの晶出があつてウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体、ファイヤライトが加わる。高チタン含有塩基性砂鉄を始発原料とした製錬系鉄塊の不純物除去で生じた精錬鍛冶滓と想定して矛盾のない試料である。ただし、低チタン含有砂鉄を原料とした製錬滓に分類できぬ事もない。1点の調査結果のみから製錬滓か、精錬

鍛治滓かを区別するのは難しい問題をもつ。更にヴスタイトの晶出具合が小さく鍛治の酸化雰囲気派生物とは異なるようである。

KAI-9：含鉄鉄滓

(1) 肉眼観察：小型（28 g 弱）の塊状を呈する含鉄鉄滓である。表面は数mm大の木炭痕が残り、内部には木炭粉の噛み込みが観察される。

(2) マクロ組織：Photo. 23に示す。中央にまとまった鉄部が存在する。中心が高炭素域でねずみ鉄組織を呈し、表層側は共析～過共析組織を呈する。この鉄部は滓で囲まれる。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 5 ①～⑨に示す。①～③は滓部である。①は微小金属鉄粒及び白色針状結晶イルミナイトが暗黒色ガラス質滓中に晶出する。また②③は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する個所である。更に②の写真下側には砂鉄粒子の痕跡が残存する。これらの鉱物組成から、当試料は製錬系含鉄滓に分類される。精錬鍛冶炉で不純物を除去する前の鍛冶原料の可能性が高い。

また④～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。④⑧⑨はパーライト素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織、⑤は中心部の片状黒鉛が析出するねずみ鉄組織、⑥⑦はほぼ全面パーライトの共析組織を示した。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 5 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668Hvであった。ウルボスピネルに同定される。またPhoto. 5 ⑦～⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑥は共析組織部分で硬度値は320Hvであった。硬質の値を示すため、比較的冷却速度が速かったと推定される。また⑧は過共析組織のパーライト部分で硬度値は275Hv、⑨は過共析組織の針状セメンタイトの析出個所で硬度値は315Hvであった。組織に対応した値である。

(5) EPMA調査：Photo. 33の4段目に滓部鉱物相の反射電子像（COMP）を示す。16の番号をつけた素地の暗黒色ガラスの定量分析値は46.8%SiO₂–12.0%Al₂O₃–6.2%CaO–1.9%K₂O–28.9%FeO–3.4%TiO₂–1.0%MnOであった。珪酸塩に微細ファイヤライトの析出であろう。また17の番号をつけた淡灰色片々状結晶の定量分析値は53.3%FeO–39.2%SiO₂–5.1%Al₂O₃–1.6%CaO–1.8%MgO–1.7%K₂O–1.5%MnOであった。結晶はファイヤライト（Fayalite : 2FeO·SiO₂）に同定される。ただし測定値は周囲のガラス質成分も含んだ値である。18の番号をつけた淡茶褐色多角形結晶の定量分析値は68.2%FeO–24.0%TiO₂–5.8%Al₂O₃–4.0%V₂O₃であった。ウルボスピネル（Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂）に同定される。更に微量Al, Vを固溶する。また19の番号をつけた淡灰色盤状結晶の定量分析値は69.0%FeO–31.6%SiO₂–3.6%MgO–1.5%MnOであった。ファイヤライト（Fayalite : 2FeO·SiO₂）に同定される。更に微量Mg, Mnを固溶する。もう1視野、Photo. 33の5段目に滓部鉱物相の反射電子像（COMP）を示す。20の番号をつけた素地ガラスの定量分析値は61.2%SiO₂–14.0%Al₂O₃–5.9%CaO–1.7%MgO–3.6%K₂O–1.2%Na₂O–6.9%FeO–3.2%TiO₂–1.9%MnOであった。珪酸塩である。また21の番号をつけた淡褐色針状結晶の45.4%TiO₂–32.2%FeO–4.6%MnO–1.1%V₂O₃であった。イルミナイト（Ilmenite : FeO·TiO₂）に近い組成である。また11.0%SiO₂–2.8%Al₂O₃–3.8%MgOは周囲のガラス質分の影響を受けている。

KAI-10：含鉄鉄滓

(1) 肉眼観察：小塊状（28 g 弱）の含鉄鉄滓である。表面は黒褐色の滓に覆われ、細かい木炭痕が散在する。特殊金属探知器のL（●）で反応があるため、比較的まとまった金属鉄が遺存する。

(2) マクロ組織：Photo. 24に示す。中央にまとまった鉄部が存在する。ただし内部には中小の気孔や腐食孔が目立つ。中心はほぼ全面ペーライトの共析組織である。また鉄部表層はやや脱炭されて、針状フェライトが析出する亜共析組織を残す。さらに外周には滓が固着している。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 6 ①～⑤に示す。①は鉄中非金属介在物である。硫化鉄(FeS)である。また②③は表層部で、写真左側は滓部である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地のガラス質滓中に晶出する。この鉱物組成のみから精錬鍛冶作業前の鉄塊か中途の鉄塊かを判断することは難しい。しかし精錬鍛冶滓は鍛冶炉内で再加熱されるため、通常は表層の金属鉄が酸化してヴスタイトが晶出する。当試料はヴスタイト結晶がみられないため、精錬鍛冶作業前の製錬系含鉄鉄滓の可能性が高い。更に②～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食している。②④はペーライト素地に針状フェライトが析出する亜共析組織、③⑤はほぼ全面ペーライトの共析鋼組織を示した。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 6 ④⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④の亜共析組織の硬度値は185Hv、⑤は共析組織の硬度値で231Hvであった。組織に見合った値である。

KAI-11：粒状滓様遺物KAI-11-イ-1 1.8mm径

(1) 肉眼観察：黒褐色半光沢で気孔の発生がなく磁着度の弱い端正な球状遺物である。

(2) マクロ組織：Photo. 6 ⑥に示す。周縁部は風化されて鉱物相を欠落し、中央部にのみ白色鉱物を残す。断面表層側に直径0.01～0.15mm程の気孔が多数散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 6 ⑦に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。低チタン砂鉄を原料とする製錬滓、ないしは砂鉄を始発原料とする精錬鍛冶滓と同じ組成である。鍛打で派生する粒状滓^(注4)ではなく、製錬滓か精錬鍛冶滓片が高温を受け表面張力の関係から球状化した遺物である。

KAI-11-イ-2 1.2mm径

(1) 肉眼観察：前述遺物KAI-11-イ-1よりも僅かに小型で外觀はほぼ同類である。

(2) マクロ組織：Photo. 6 ⑧に示す。断面には白色多角形結晶が点在し、内部に気孔はほとんどなく緻密である。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 6 ⑨に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、及び微細なファイヤライト結晶が素地のガラス質滓中に晶出する。砂鉄製錬滓と同類の鉱物組成であり、微細な粒状の製錬滓である。

KAI-11-イ-3 0.7mm径

(1) 肉眼観察：該品も前述遺物に準じた小型品である。

(2) マクロ組織：Photo. 7 ①に示す。断面内の鉱物相はほぼ結り、その中に直径0.01～0.05mm程の気孔が少量散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 7 ②に示す。白色粒状結晶ヴスタイトで、微細な淡褐色結晶はウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が高い。更に比較的発達した淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。微細な粒状の製錬滓か精錬鍛冶滓粒である。

KAI-11-ロ-1 1.8mm径

(1) 肉眼観察：光沢質灰黒色で、気孔なくやや歪な球状遺物である。磁着をもつ。

(2) マクロ組織 : Photo. 7 ③に示す。断面の外縁部は僅かに風化を受けるが、鉱物相は全面を埋める。その中を直径0.01~0.3mm程の気孔が多数散在する。

(3) 顕微鏡組織 : Photo. 7 ④に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴァタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。KAI-11-イー-1と同様の組成である。やはり微細な粒状の製鍊滓か精鍊鍛冶滓粒である。

KAI-11-ロ-2 1.2mm径

(1) 肉眼観察 : 色調は光沢のない黒褐色で、きれいな球状を呈する。

(2) マクロ組織 : Photo. 7 ⑤に示す。断面中央に白色大型鉱物相を留める。粒状滓には見られぬ傾向である。直径0.01~0.1mm程の気孔が多数散在する。

(3) 顕微鏡組織 : Photo. 7 ⑥に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、及び微細な白色樹枝状結晶ヴァタイトとファイヤライト結晶が素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。KAI-11-イー-1、ロ-1と同様の鉱物組成である。当試料も微細な製鍊滓か精鍊鍛冶滓片の球状化遺物である。

S X 0 1 から出土した粒状滓様遺物は何れも、低チタン砂鉄（酸性砂鉄）を原料とする製鍊滓、ないしは砂鉄を始発原料とする精鍊鍛冶滓と同じ鉱物組成が確認された。鍛打工程で派生する粒状滓ではなく、微細な製鍊滓、ないしは精鍊鍛冶滓の粒状滴下物と判断される。なお、磁着度の強弱は断面表層の風化の差異が大きく影響するのと、KAI-11-イー-2の鉱物相にみられるガラス質基地の多さが効いていた。

KAI-12 : 鍛造剥片様遺物 KAI-12-ロ-1 3.6×1.8×0.15mm

(1) 肉眼観察 : 無光沢で灰黒色の剥片である。表面は平滑で裏面はやや凹凸をもつ。磁着度は強い。

(2) マクロ組織 : Photo. 7 ⑦に示す。薄手で比較的平坦な試料である。

(3) 顕微鏡組織 : Photo. 7 ⑧に示す。断面には鍛打によって派生する鍛造剥片^(注5)の外層ヘマタイト、中間層マグネタイト、内層ヴァタイトに対応する鉄酸化膜の3層構造が確認された。ただし内層部分には白色のヴァタイトと共に褐色不定形結晶が晶出する。これはウルボスピネル (Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂) ないしはヘーシナイト (Hercynite : FeO·Al₂O₃) 、或いは両者を端成分とする固溶体と推測される。また黒色部には微細なファイヤライトが晶出する。上記の鉱物組成から当試料は鍛造剥片ではなく、鉄滓の皮もしくは製鍊生成物の剥片とみるべきであろう。

KAI-12-ロ-2 2.3×1.4×0.09mm

(1) 肉眼観察 : 無光沢の灰黒色剥片である。表裏面共に平滑で磁着度は強い。

(2) マクロ組織 : Photo. 7 ⑨に示す。薄手で僅かに彎曲する試料である。

(3) 顕微鏡組織 : Photo. 7 ⑩に示す。当試料も製鐵原料の砂鉄が熱影響を受けて凝集したものでマグネタイト系遺物に類似した鉱物相を呈する。明色部はよりマグネタイト (Magnetite : FeO·Fe₂O₃) に近い組成で、暗色部はややチタン (Ti) を固溶してMag-Ilmeniteの溶離組織であろう。

調査を実施した鍛造剥片様遺物は、2点とも鍛打作業で生じる鍛造剥片ではなく、製鍊工程での派生物の可能性が高い。

小 結

精鍊鍛冶炉の可能性が指摘されているS X 0 1 から出土した遺物を調査した結果、次の点が明らかになった。

〈1〉出土鉄滓（KAI-8）は鉄分高く、始発原料の砂鉄由来の脈石成分（Ti, V, Mn）は低めであった。また鉱物組成もウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体、ファイヤライトに加えてヴスタイトの晶出が確認された。高チタン含有塩基性砂鉄を始発原料とした製錬系鉄塊の不純物除去で生じた精錬鍛治滓の可能性はあるが、チタン含有量が低い砂鉄を原料とした製錬滓の可能性もある。分析結果のみから製錬滓か、精錬鍛治滓かを区分するのは難しい試料であった。また顕微鏡組織で指摘したがヴスタイトの形態が小さく製錬系をとるべきであろう。ただし含鉄鉄滓（KAI-9・10）は、表層に固着した滓の鉱物組成をみると、鍛治作業が行われる前の製錬工程で派生した含鉄鉄滓と推測される。更に粒状滓様遺物（KAI-11）・鍛造剥片様遺物（KAI-12）はどちらも鍛打工程で生じた派生物でないと判断される。

これらの状況を総合すると、当遺構は鍛冶炉でなく、出土遺物も全て製鉄関連遺物である可能性が高い。

〈2〉含鉄鉄滓はどちらも小型であるが、まとまりのある鉄部主体の遺物であった。製鉄炉の操業後、炉内生成物から比較的小型の鉄塊まで割り取っていたとの推測される。金属組織はKAI-9が共析組織（C: 0.77%）主体、KAI-10は過共析組織（C: >0.77%）～ねずみ鉄主体であり、炭素含有量にはややばらつきを持つものの高炭素志向の結果が表れている。

3-4. SXO2（精錬鍛治炉？）出土遺物

KAI-13：流動滓

（1）肉眼観察：平面不整五角形を呈する流出孔滓片である。上下面は生きており、側面は破面。滓は全体に緻密で気孔は僅かである。上面では細い流動滓が複数堆積した状態が確認される。表面の一部には皺状の凹凸がみられる。下面は樋状を呈する。また表面には複数の製錬滓片が付着している。これは2回目以降の排滓のため、それ以前に排出された滓片が複数残るなかを流れたためと推測される。

（2）顕微鏡組織：Photo. 8 ①～③に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。低チタン砂鉄を原料とする製錬滓、ないしは精錬鍛治滓の晶癖である。しかし、ヴスタイトの成長具合が小型を呈し酸化雰囲気派生と異なるので製錬滓とみるべきであろう。

（3）ビッカース断面硬度：Photo. 8 ①の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は750Hvである。ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体鉱物である。

（4）化学組成分析：Table. 2 に示す。全鉄分（Total Fe）49.37%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.20%、酸化第1鉄（FeO）54.66%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）9.56%の割合であった。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）26.51%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）は2.73%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）6.41%、バナジウム（V）0.31%であった。また酸化マンガン（MnO）0.66%、銅（Cu）<0.01%である。2号製鉄炉出土流動滓（KAI-5）とよく似た組成である。当試料の化学組成は砂鉄製錬滓としては鉄分が高めで、チタン含有量は低めである。鉱物組成もウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体、ファイヤライトに加えてヴスタイトの晶出が確認された。分析値のみでは製錬滓か、精錬鍛治滓かの区分が難しい試料である。製錬滓の場合、低チタン含有砂鉄を原料としたと推定される。脈石成分（特にV, Mn）が高めであって製錬滓とみるべきであろう。

KAI-14：炉内滓

(1) 肉眼観察：平面は不整台形で、断面楕形を呈する炉内滓片である。表面は酸化土砂で厚く覆われるため、地の観察が困難である。上下面の一部は生きているが側面は全面破面と推測される。部分的に1～2cm大の木炭痕や、黒錆の滲みが観察される。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 8④～⑧に示す。淡褐色多角形結晶及び白色粒状結晶内の微細な晶出物は、スピネル類の鉱物でマグнетイト、ウルボスピネル、ヘーシナイトを端成分とする固溶体である（EPMA調査結果を参照）。更に白色粒状結晶ヴスタイトと淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。なお⑤⑥中の不定形の白色部は、滓化が進行するものの僅かに砂鉄粒子痕跡を留めている。また⑦⑧のヴスタイトやスピネル鉱物中の微細な白色部は金属鉄（Metallic Fe）で、黒色の空隙は金属鉄が銹化、剥落した痕跡を残す。このため当試料は製錬の還元初期の様相を留める、低チタン砂鉄を原料とした製錬滓と判断される。

(3) ビッカース断面硬度：Photo. 8④の白色粒状結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は504Hvであった。ヴスタイトの文献硬度値を僅かに上回るが、粒内に晶出する微細なウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体鉱物のため、硬質の値となった。

(4) EPMA調査：Photo. 34の1段目に滓部の反射電子像（COMP）を示す。25の番号をつけた白色粒状結晶の定量分析値は101.5%FeOであった。100%Feの金属鉄（Metallic Fe）に同定される。また26の番号をつけた白色結晶内の微小晶出物の定量分析値は73.0%FeO-14.7%TiO₂-12.9%Al₂O₃である。同じく27の番号をつけた淡褐色多角形結晶の定量分析値も酷似した組成で76.8%FeO-14.8%TiO₂-9.4%Al₂O₃であった。ともにウルボスピネル（Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂）、ヘーシナイト（Her-cynite:FeO·Al₂O₃）、マグネットイト（Magnetite : FeO·Fe₂O₃）を端成分とする固溶体に同定される。28の番号をつけた暗色部の定量分析値は59.4%FeO-5.1%TiO₂-38.1%Al₂O₃であった。27よりチタン（Ti）が低減し、アルミナ（Al）成分が増加した組成となっている。さらに29の番号をつけた素地のガラス質滓の定量分析値は50.2%FeO-21.3%Al₂O₃-2.3%CaO-8.3%K₂O-1.8%Na₂O-8.3%FeOであった。珪酸塩に極く微量のファイヤライトの析出がある。また30の番号をつけた淡灰色木ずれ状結晶の定量分析値は73.0%FeO-31.2%SiO₂であった。ファイヤライト（Fayalite : 2FeO·SiO₂）に同定される。

(5) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分（Total Fe）49.84%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.16%、酸化第1鉄（FeO）40.78%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）25.71%の割合であった。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）は27.81%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）は1.10%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）1.81%、バナジウム（V）0.12%と低く、また酸化マンガン（MnO）も0.19%低値であった。銅（Cu）は<0.01%である。低チタン含有酸性砂鉄を原料とする製錬滓の成分系である。

KAI-15：含鉄鉄滓

(1) 肉眼観察：平面不整六角形をした小塊状（43g）の含鉄鉄滓である。表面は流動状の滓部に覆われ、微細な木炭痕が顕著である。部分的に錆膨れや黒錆の滲みが生じている。

(2) マクロ組織：Photo. 24に示す。小型のまとまった鉄部が確認された。高炭素系に属し、共析組織から亜共晶組成白铸鐵組織まで分布する。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 9①～⑨に示す。①は表層に付着した滓部である。淡茶褐色多角形結

晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。鉱物組成のみでは製鍊滓か精鍊鍛冶滓かの判断は困難である。②③は鉄中の非金属介在物である。組成に関してはEPMA調査の項で詳述する。④～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。④⑦⑧はペ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、⑤⑨は蜂の巣状のレデブライトが晶出する白鑄鉄組織、⑥はほぼ全面ペーライトの共析組織個所を示した。

(4) ビッカース断面硬度: Photo. 9 ⑥～⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示した。⑥は共析組織部分で硬度値は302Hvであった。比較的冷却速度が速かったためか、やや硬質の値を示した。また⑦⑧は過共析組織で、⑦のペーライト部分の硬度値は263Hv、⑧の針状セメンタイトが析出する個所の硬度値は331Hvであった。また⑨のレデブライトの硬度値は677Hvである。それぞれ組織に見合った値である。

(5) EPMA調査: Photo. 34の2段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。31の番号つけた5μm平方範囲内の定量分析値は61.0%SiO₂–14.8%Al₂O₃–4.2%CaO–1.4%MgO–4.0%K₂O–1.1%Na₂O–11.2%TiO₂–3.2%FeO–1.1%MnOであった。非晶質珪酸塩系の介在物である。原料砂鉄の脈石成分を反映して、Ti, Mnを固溶する。更にもう1視野、Photo. 34の3段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。32の番号をつけた微小黄褐色異物の定量分析値は102.9%FeO–23.8%Sであった。硫化鉄(FeS)に同定される。更にごく微量Pを固溶する。

KAI-16: 粒状滓様遺物 KAI-16-イー1 2.8mm径

(1) 肉眼観察: 無光沢の灰黒色で磁着度の弱いやや歪な球状遺物である。

(2) マクロ組織: Photo. 10①に示す。微細な金属鉄粒が複数点在するなかに鉱物相を断面全面に晶出する。内部には直径0.01～0.2mm程の気孔が多数散在する。

(3) 顕微鏡組織: Photo. 10②に示す。中央の白色部は微小金属鉄粒である。また周囲には微細な白色樹枝状ヴスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。低チタン砂鉄を原料とする製鍊滓、ないしは砂鉄を始発原料とする精鍊鍛冶滓と同等組成である。鍛打で派生する粒状滓ではなく、球状製鍊滓か精鍊鍛冶滓の滴下物と推定される。

KAI-16-イー2 1.8mm径

(1) 肉眼観察: 半光沢灰黒色で、磁着度の弱いやや歪な球状遺物である。

(2) マクロ組織: Photo. 10③に示す。断面周縁部は風化で鉱物相の一部は侵され、その内側に鉱物相を析出している。直径0.01～0.25mm程の気孔が多数散在する。

(3) 顕微鏡組織: Photo. 10④に示す。中央の淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネル、その周囲の暗色結晶はヘーシナイトと推測される。更に微細な白色樹枝状ヴスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが晶出する。やはり鍛打で派生する粒状滓ではなく、製鍊滓か精鍊鍛冶滓の滴下物の可能性が高い。前者の製鍊派生物とみるべきであろう。

KAI-16-イー3 1mm径

(1) 肉眼観察: 半光沢灰黒色で磁着度弱く、きれいな球状遺物である。

(2) マクロ組織: Photo. 10⑤に示す。断面全面に微小鉱物相で占められる。その中に直径0.01～0.1mm程の気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織: Photo. 10⑥に示す。内部に晶出する多角形結晶はウルボスピネルないしはマ

グネタイト、またその周囲に晶出する微細な粒状結晶はヴスタイトである。ウルボスピネル・ヴスタイト組成であればやはり低チタン砂鉄を原料とする球状製鍊滓ないしは精鍊鍛冶滓片に類似する。なおファイヤライト結晶が確認されないのは、粒径が小さく冷却速度が速いためと推測される。

(4) ビッカース断面硬度：紙面の都合上写真は割愛したが、多角形結晶2個所の硬度を測定した。硬度値は681Hv、720Hvと硬質の値を示し、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が高い。

KAI-16-ロ-1 1.8mm径

- (1) 肉眼観察：半光沢灰黒色で、磁着度の強いやや歪な球状遺物である。
- (2) マクロ組織：Photo. 10⑦に示す。直径0.01～0.65mm程の気孔が多数散在するが断面全体に白色鉱物相が占めて磁着度に影響している。
- (3) 顕微鏡組織：Photo. 10⑧に示す。内部に晶出する多角形結晶はウルボスピネルないしはマグネタイトである。また素地のガラス質部分には非常に微細なファイヤライト結晶が晶出する。ウルボスピネル、ファイヤライト組成であれば、砂鉄製鍊滓と同様の鉱物組成であり、当試料は製鍊滓の可能性が高い。

(4) ビッカース断面硬度：紙面の都合上写真は割愛したが、多角形結晶2個所の硬度を測定した。硬度値は508Hv、578Hvとばらつきがある。この値からはマグネタイトとチタンを固溶したチタノマグネタイト^(注6)が混在する可能性が考えられる。

KAI-16-ロ-2 1.2mm径

- (1) 肉眼観察：半光沢灰黒色で、磁着度の強いやや歪な球状遺物である。
- (2) マクロ組織：Photo. 10⑨に示す。断面の外周部がしっかりと縁とられた球状遺物である。中心部に直径0.01～0.05mm程の微細な気孔が点在する。マグネタイト系結晶が全面を埋めるので強磁性を呈するのであろう。
- (3) 顕微鏡組織：Photo. 10⑩に示す。内部に晶出する多角形結晶はウルボスピネルとマグネタイトの混合組成の可能性が高い。またその周囲に晶出する微細な粒状結晶はヴスタイトである。KAI-16-イ-3と酷似した鉱物組成であった。ウルボスピネル、ヴスタイト組成であれば、低チタン砂鉄を原料とする製鍊滓片ないしは精鍊鍛冶滓片に類似する。なお当試料にもファイヤライト結晶が確認されないのは、粒径が小さく冷却速度が速いためと考えられる。S X O 2から出土した粒状滓様遺物はS X O 1の粒状滓様遺物と同様に、低チタン砂鉄を原料とする球状製鍊滓、ないしは砂鉄を始発原料とする精鍊鍛冶滓と同じ鉱物組成が形成される。これらは微細な製鍊滓、ないしは精鍊鍛冶滓の粒状滴下物と判断される。通常鍛打工程で派生する、内部が大きく空洞化した粒状滓は一点も確認されず、当遺構で鍛打作業が行われた可能性はきわめて低いと考えられる。

(4) ビッカース断面硬度：紙面の都合上写真は割愛したが、多角形結晶2個所の硬度を測定した。硬度値は689Hv、734Hvであった。KAI-16-イ-3と同様に、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が高い。

KAI-17-イ-1：鍛造剥片様遺物（製鍊滓片） 2.6×1.7×0.29mm

- (1) 肉眼観察：無光沢の灰黒色で、強磁着度をもち表裏面とも平滑な剥片である。
- (2) マクロ組織：Photo. 11①に示す。写真左側端部が厚手で、右側端部に向かって徐々に厚みを減じる剥片である。最表層は白く厚みをもち、鉄滓の皮の様相を呈する。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 11②に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイアライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の鉱物組成である。このため鍛打で派生する鍛造剥片ではなく、製鍊滓の表層部破片と推定される。

小 結

精鍊鍛冶炉の可能性が指摘されている SXO 2 から出土した遺物を調査した結果、次の点が明らかになった。

（1）出土鉄滓のうち、流動滓（KAI-13）は2号製鉄炉出土鉄滓（KAI-5）と酷似した鉱物組成・化学組成であった。また炉内滓（KAI-14）には滓化した砂鉄粒子の痕跡が多数確認された。ともに低チタン砂鉄（酸性砂鉄）を原料とする製鍊滓に分類される。

また出土粒状滓様遺物（KAI-11）・鍛造剥片様遺物（KAI-12）も鍛打工程での派生物ではなかつた。

このため SXO 1 と同様に当遺構も鍛冶炉ではなく、出土遺物は製鉄関連遺物の可能性が高い。また鉄滓の組成は、前述のように2号製鉄炉の出土遺物と類似する。

（2）含鉄鉄滓（KAI-15）は小型であるが、まとまりのある鉄部主体の遺物であった。金属組織は共析組織～亜共晶組成白鉄組織で、部位により炭素含有量にはばらつきをもつものの高炭素鋼志向の産物であった。

3-5. SI01（作業場）出土遺物

KAI-18：流動滓

（1）肉眼観察：平面不整五角形をした流動滓の破片である。上下面と側面の一部が生きているが、側面の大半は破面である。細い流動滓が複数堆積しており、上面は滑らかな流動状である。また下面是浅い皿状を呈する。

（2）顕微鏡組織：Photo. 11②に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイアライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。また微細な金属鉄が少量散在する。

（3）ビッカース断面硬度：Photo. 11②の淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネルの硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は704Hvであった。700Hvを僅かに超える値のため、ウルボスピネルとヘシナイトの固溶体の可能性が考えられる。

（4）化学組成分析：Table. 2 に示す。全鉄分（Total Fe）42.07%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.16%、酸化第1鉄（FeO）49.52%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）4.89%の割合であった。ガラス質成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O）は27.66%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）は3.11%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO₂）7.68%、バナジウム（V）0.21%であった。また酸化マングン（MnO）は1.31%、銅（Cu）<0.01%であった。脈石成分多くて製鍊滓に分類される。

KAI-19：鉄塊系遺物

（1）肉眼観察：平面不整三角形をした小型（20 g）の鉄塊系遺物である。一部は流動気味で、吸炭の進んだ鉄塊となっていると考えられる。表面は茶褐色の酸化土砂に覆われ、放射割れや黒錆が覗いている。明瞭な滓部は確認されない。

（2）マクロ組織：Photo. 25に示す。まとまりのある小鉄塊が確認された。中心部は過共析組織で、外周はより吸炭が進み亜共晶組成白鉄組織を呈する。

(3) 顕微鏡組織 : Photo. 11④～⑦に示す。④の中央は球状の鉄中非金属介在物である。非晶質珪酸塩系の介在物で、成分の違いによる明暗2相をもつ。⑤～⑦は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。写真左側は表層部で、黒色のオーステナイト（常温でパーライトになる）の初晶と、地の蜂の巣状のレデブライトか晶出する亜共晶組成白鑄鉄組織である。また内側はパーライト素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織である。当試料は表層に滓部が固着していないため、鉱物組成からどの作業工程での派生物か推定することはできない。しかし鉄塊表層側がより高炭素域で、白鑄鉄組織を呈することから、鍛冶炉で加熱を受ける前の製錬系鉄塊である可能性が高い。

(4) ビッカース断面硬度 : Photo. 11⑥⑦の金属組織に硬度測定の圧痕を示す。⑥のレデブライト部分の硬度値は696Hv、⑦の過共析組織部分の硬度値は262Hvである。組織に見合った値である。

KAI-20 : 鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察 : 平面不整五角形をした小塊状（28g弱）の鉄塊系遺物である。表面には瘤状の鋸膨れが多い。また小さな木炭痕が残存する。

(2) マクロ組織 : Photo. 25に示す。金属鉄はほぼフェライト単相の組織で、中小の気孔が多数散在する。また内部に還元中途のヴスタイト(FeO)が多数巻き込まれている。

(3) 顕微鏡組織 : Photo. 12①～⑨に示す。①は試料表層の滓部である。淡褐色片状結晶シードブルーカイト(Pseudobrookite : Fe₂O₃·TiO₂)ないしはルチル(Rutile : TiO₂)及び両者間の固溶体と推定される。鉱物組成に関してはEPMA調査の項で詳述する。また②の黒色斑点をもつ明色粒は複数の被熱砂鉄粒子が融着したものである。③は金属鉄表層に厚く固着する滓部である。白色粒状結晶ヴスタイトが凝集する。さらに淡褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が高い。④は滓部表層である。鍛造剥片様の鉄酸化物の3層構造が確認される。当試料の滓部は写真③に代表されるような、凝集したヴスタイト結晶が広範囲で確認される。当試料は低チタン砂鉄を原料とした製錬滓であり、製鉄炉内が比較的低温・低還元雰囲気であったため、鉄分の多くが酸化物(FeO)の形で滓中に留まったと判断される。こうした状況下では、写真①のような高温下で晶出する鉄チタン酸化物がごく狭い範囲で共存した可能性は低く、2次的な付着物であろう。また写真④の表層滓部は、S X O 1出土の鍛造剥片様遺物(KAI-12)と類似した鉄酸化物の層が確認された。当遺跡出土の鍛造剥片様遺物は、こうした低チタン砂鉄を原料とする製錬滓の表層部破片の可能性が高い。⑤～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。フェライト単相の組織であった。また⑤～⑦の個所のフェライト粒内には変形双晶が発生していた。これは製鉄炉の操業後、炉内生成物から鉄塊を割り取って選別した際の打撃痕の可能性が考えられる。

(4) ビッカース断面硬度 : 紙面の構成上、圧痕の写真を割愛したが、金属組織(フェライト単相)の硬度を測定した。硬度値は120Hvである。フェライトとしてはやや硬質の値であった。

(5) EPMA調査 : Photo. 34の4段目に鉄中非金属介在物の反射電子像(COMP)を示す。5の番号をつけたガラス質の素地部分の定量分析値は65.8%SiO₂−13.8%Al₂O₃−2.1%CaO−5.2%K₂O−1.5%Na₂O−9.5%FeO−1.1%MnOであった。珪酸塩に微量のファイヤライトを析出する。6の番号をつけた淡茶褐色不定形結晶の定量分析値は57.0%FeO−27.2%TiO₂−8.8%V₂O₃−4.0%MnO−3.2%Al₂O₃−1.5%MgOであった。ウルボスピネル(Ulvöspinel : 2FeO·TiO₂)結晶に同定される。なおV, Mn, Al, Mgを微量固溶する。Photo. 34の5段目には表層付着滓の反射電子像(COMP)を示す。7の番号を

つけた素地のガラス質部分の定量分析値は $46.3\% \text{SiO}_2 - 9.9\% \text{Al}_2\text{O}_3 - 6.5\% \text{CaO} - 2.5\% \text{MgO} - 3.3\% \text{K}_2\text{O}$ $- 24.8\% \text{FeO} - 1.8\% \text{MnO}$ であった。8の番号をつけた片状結晶外周部の定量分析値は $33.9\% \text{FeO} - 44.9\% \text{TiO}_2 - 4.1\% \text{V}_2\text{O}_3 - 2.4\% \text{MnO} - 12.0\% \text{SiO}_2 - 3.5\% \text{Al}_2\text{O}_3 - 2.0\% \text{MgO} - 1.2\% \text{K}_2\text{O}$ であった。また9の番号をつけた片状結晶内部の定量分析値は $24.2\% \text{FeO} - 26.2\% \text{TiO}_2 - 2.2\% \text{V}_2\text{O}_3 - 1.6\% \text{MnO} - 29.9\% \text{SiO}_2 - 7.9\% \text{Al}_2\text{O}_3 - 1.5\% \text{MgO} - 3.9\% \text{K}_2\text{O}$ であった。いずれも FeO より TiO_2 が高い割合を示すことから、シュードブルーカイト ($\text{Pseudobrookite : Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$) ルチル (Rutile : TiO_2) 間の固溶体と推定される。ただし外周のほうが Ti 量の多い組成となっている。なお Si , Al , Mg , K は周囲のガラス質成分の影響を受けていた。

KAI-21：炉内滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：平面不整円形をした板状の含鉄炉内滓である。表面には炉壁粉や粉炭を多量に含む酸化土砂が付着する。肩部には流動状の滓部が残る。

(2) マクロ組織：Photo. 26に示す。表層に薄く滓が固着するが、不規則な板状の鉄部からなる試料である。鉄部は過共析組織～白鋳鉄組織を呈し、内部には中小の気孔が散在する。なお下面の突出部は付着土砂である。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 13①～③に示す。①は試料表面に付着する滓部である。白色針状結晶イルミナイト、淡褐色片状結晶シュードブルーカイトないしルチルが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。②③は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。②はパライド素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織、③は亜共晶組成白鋳鉄組織を示した。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 13②③の金属組織の硬度を測定した。中央はその圧痕である。②の過共析組織の硬度値は253Hv、③の亜共晶組成白鋳鉄組織の硬度値は429Hvであった。

KAI-22：炉内滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：平面不整長方形をした含鉄炉内滓片である。表面全体に酸化土砂が固着しており地の観察は困難であるが、僅かに覗く滓部は気孔が密で、一部焼結砂鉄が付着する。また下面是1cm大の木炭痕や瘤状の錆膨れが顕著である。

(2) マクロ組織：Photo. 26に示す。内部に多数散在する気孔から錆化が進んでいるが、比較的まとまりのある鉄部が確認された。なお上面側表層には滓が薄く固着する。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 13④～⑧に示す。④の写真左側は表層に固着する滓部である。白色針状結晶イルミナイトが暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。④～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食している。冷却速度が比較的速いため、針状フェライトが発達して晶出する。素地は下部ベイナイト（フェライトの地の中に分散した微細なセメンタイトで構成された組織）に近い組織である。金属組織からは製鉄炉の操業後炉温がある程度下がった状態（600度前後）で、炉内生成物を取り出して放冷ないしは水冷した熱履歴が指摘できる。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 13⑥⑧の金属組織の硬度を測定した。中央はその圧痕である。⑥は比較的炭素含有量の多い個所で硬度値は180Hv、⑧はやや少炭素域の個所で硬度値は116Hvであった。この値からは炭素含有量の多い個所でも0.15%強の軟鋼レベルである。また当硬度値は低温度の恒温変態で生成したベイナイト組織の影響が強かろう。

(5) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分（Total Fe）51.96%に対して、金属鉄（Metallic Fe）2.23%、酸化第1鉄（FeO）19.25%、酸化第2鉄（ Fe_2O_3 ）49.71%の割合であった。錆化鉄主体の

成分系といえる。またガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) は13.07%で、このうち塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) は0.41%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) 0.26%と低値で、バナジウム (V) 0.01%であった。また酸化マンガン (MnO) も0.06%と低い。更に銅 (Cu) は0.01%であった。含鉄試料 (錆化鉄) のため鉄分高く、ガラス質成分と脈石成分は低めである。砂鉄製鍊系であるが、含鉄のため成分が顕著な特徴として表面に現われてこない。

KAI-23: 木炭

(1) 肉眼観察: 23-6 を供試材として選択している。広葉樹の環孔材を用いた黒炭で、炭化はやや不良である。

(2) 顕微鏡組織: Photo. 36に木炭組織を示す。上から木口、柾目、板目である。

(3) 性状調査: 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。固定炭素 (F.C) は汚染されていない木炭であれば通常85%台であるものが57.44%に留まった。また灰分は2%以下が正常であるところが5.35%と多い。このため発熱量も5610cal/gと低値であった。本来は7000 cal/g程度は確保できるはずである。^(注7)なお揮発分は37.21%でこれも多い。鉄製鍊で有害元素となる硫黄 (T.S) は0.01%、灰中磷 (P) は0.080%であった。

小 結

〈1〉 SI01 (作業場) 出土鉄滓 (KAI-18) は鉱物組成、化学組成から比較的チタン含有量の低い砂鉄を原料とした製鍊滓に分類される。

〈2〉 含鉄鉄滓・鉄塊系遺物 (KAI-19~22) は何れも小型のまとった鉄部が確認された。これらは表層に固着する滓の鉱物組成などから、製鉄炉の操業後、炉内生成物から小割りされた鉄塊である。またほぼフェライト単相の組織の鉄塊から、過共析組織～亜共晶組成白鉄組織の鉄塊まで存在するので、操業回や炉内生成位置の違いなどによって生成鉄塊の炭素含有量には大きなバラツキがあったと考えられる。

3-6. 1トレンチ (排滓場) 、2、3、5トレンチ出土遺物

KAI-24: 砂鉄焼結塊

(1) 肉眼観察: 小塊状 (約33 g) の砂鉄焼結塊である。表面は全面破面である。上下面には3 cm大の木炭痕が残るため、炉壁内面に沿って生成したのではなく、木炭の隙間もしくは炉底塊の上皮付近で生じた可能性が高い。また表面には部分的に黒錆の滲みがみられる。砂鉄粒子は熱影響を受け大半が膨張している。

(2) マクロ組織: Photo. 27に示す。砂鉄粒子の形状は晶出錆化鉄で囲まれて旧形を留めつつも、熱影響を受けて滓化、融着の状況下にある。

(3) 顕微鏡組織: Photo. 14①~⑤に示す。①の中央は被熱砂鉄粒子である。粒内の格子模様はチタン鉄鉱 ($\text{Ilmenite} : \text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の痕跡である。また②③の中央は半還元砂鉄粒子で、還元の進んだ外周部は風化している。内部の明色部はマグネタイト ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) 、暗色部はチタンを固溶する個所で、ウルボスピネル ($2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) ないしはチタノマグネタイトと推定される。さらに④⑤の中央は2粒子が融着した半還元砂鉄である。外周の白色部はヘマタイト (Fe_2O_3) 、暗色部はマグネタイト ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) ないしはチタノマグネタイトの可能性が高い。

当試料の化学組成分析は実施していないが、これらの砂鉄粒子の外観からチタン含有量はあまり

高くないと考えられる。

KAI-25：流出溝滓

(1) 肉眼観察：厚手の流出溝滓片である。上下面と側面の一部が生きている。残る側面5面は破面でほとんど気孔はみられない。上面は流動状で、表面は酸化雰囲気による紫紅色を呈し、皺状の凹凸が残る。下面は青光りしている。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 14⑥に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、および極微細なファイアライト結晶が素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：Photo. 14⑥の淡茶褐色多角形結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は653Hvである。ウルボスピネルに同定される。

(4) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 34.77%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.37%、酸化第1鉄 (FeO) 33.02%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 12.49%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は36.36%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は3.57%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) は13.44%、バナジウム (V) は0.47%と高値であった。酸化マンガン (MnO) も1.45%と高い。また銅 (Cu) は<0.01%であった。砂鉄製鍊滓の成分系である。当遺跡の出土鉄滓の中では、1号製鉄炉出土流動滓 (KAI-3) と類似する成分系で、最も鉄分低く、Ti, Mnが高い一群に分類される。比較的チタン含有量の高い砂鉄を用いて派生した製鍊滓である。

KAI-26：流動滓

(1) 肉眼観察：炉内流動滓の破片の可能性が高い。上面の一部のみ生きており、他は全面破面である。上面は流動状で、不定方向に微細な皺が寄っている。また一部、石英粒を混和した炉壁土が固着する。側面や下面の破面には不定形の気孔が無数に存在する。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 14⑦に示す。淡褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が高い。また発達した淡灰色盤状結晶ファイアライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：Photo. 14⑦の淡褐色多角形結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は776Hvであった。ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体に固定される。

(4) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 37.25%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.16%、酸化第1鉄 (FeO) 43.94%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 4.20%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は39.06%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は3.98%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 6.82%、バナジウム (V) 0.31%であった。また酸化マンガン (MnO) は1.53%と高値であり、銅 (Cu) は<0.01%であった。当遺跡の出土鉄滓の中では、2号製鉄炉出土流動滓 (KAI-5) と類似する成分系で、チタン含有量は低めの製鍊滓である。

KAI-27：炉内滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：平面不整五角形をした含鉄炉内滓片である。鉄部は僅かで完全に錆化している。上面のごく一部を除き全面が破面である。また上面の凹みから、生成位置は通風孔前面の可能性が考えられる。破面は中小の気孔や1cm以下の木炭痕が多数散在する。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 15①に示す。写真中央は滓化しつつある半還元砂鉄粒子である。粒内に極く微細な金属鉄粒が複数晶出する。また滓全体にも微細な金属鉄粒が散在しているが、まとま

りのある鉄部は存在しない。なお、津中の淡褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体である。これに発達した淡灰色盤状結晶ファイヤライトが晶出する。砂鉄製鍊津の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：紙面の構成上圧痕の写真は割愛したが、淡褐色多角形結晶の硬度を測定した。硬度値は691Hvであった。ウルボスピネルであるか、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体か判断するには微妙な値である。後述する化学組成の値をみると4.22%TiO₂と5.61%Al₂O₃があり、後者の可能性が高い。

(4) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 45.36%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.17%、酸化第1鉄 (FeO) 44.08%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 15.62%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) 31.66%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は1.78%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 4.22%、バナジウム (V) 0.20%とやや低めで、酸化マンガン (MnO) は0.60%であった。また銅 (Cu) は<0.01%である。チタン含有量の低めの砂鉄を原料とした製鍊津の成分系である。

KAI-28：炉内滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：板状の含鉄炉内滓片である。上下面是生きている可能性が高く、側面2面は明瞭な破面である。表面は茶褐色の酸化土砂に覆われる。内部は鉄部主体で、外周に滓が固着する。また表面には微細な木炭痕を留める。

(2) マクロ組織：Photo. 27に示す。まとまりのある鉄部主体の遺物である。金属組織は亜共析組織から過共析組織まで存在し、部位により炭素含有量にばらつきをもつ。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 15②～⑧に示す。②は表層に付着する滓部である。白色粒状結晶ヴスタイト、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。また③は鉄中非金属介在物である。左側は非晶質珪酸塩系の球状介在物を示す。写真右端ではガラス質の素地中に淡褐色片状結晶ルチルが晶出する。なお付着滓及び介在物の鉱物組成に関してはEPMA調査の項で詳述する。

④～⑧は金属鉄を5%ナитアルで腐食した組織である。④⑦はほぼ全面ペーライトの共析組織、⑤⑧はペーライト素地に針状セメンタイトが析出する過共析組織、⑥は針状フェライトが析出する亜共析組織を示した。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 15⑥～⑧の金属組織の硬度を測定した。⑥の亜共析組織の硬度値は136Hv、⑦の共析組織の硬度値は223Hv、⑧の過共析組織の硬度値は248Hvであった。炭素含有量の変動について硬度値も上昇し、相対比較ができる。

(5) EPMA調査：Photo. 35の1段目に鉄中非金属介在物の反射電子像 (COMP) を示す。10の番号をつけた淡褐色片状結晶の定量分析値は65.3%TiO₂-12.9%V₂O₃-10.8%Al₂O₃であった。V, Alを多く固溶するルチル (Rutile : TiO₂) 系鉱物相が同定される。また11の番号をつけた素地の暗黒色ガラス質部分の定量分析値は54.4%SiO₂-23.6%Al₂O₃-5.8%CaO-2.9%MgO-4.0%K₂O-3.3%MnO-2.8%TiO₂-2.0%FeOであった。珪酸塩である。更にもう1視野Photo. 35の2段目に表層付着滓の反射電子像 (COMP) を示す。12の番号をつけた白色粒状結晶の定量分析値は95.1%FeO-3.9%TiO₂-1.5%Al₂O₃であった。ヴスタイト (Wüstite : FeO) ないしはマグнетサイト (Magnetite : Fe₃O₄) に同定される。またTi, Alが微量検出された。13の番号をつけた淡灰色木ずれ状結晶の定量分析値は68.6%FeO-30.5%SiO₂-1.6%MgOであった。ファイヤライト (Fayalite : 2FeO·SiO₂) に同定される。こ

れには微量のMgを固溶する。また14の番号をつけた、白色粒状結晶の外周に晶出する淡褐色結晶の定量分析値は $68.2\% \text{FeO} - 20.1\% \text{TiO}_2 - 7.4\% \text{Al}_2\text{O}_3 - 2.4\% \text{V}_2\text{O}_3$ であった。ウルボスピネル (Ulvöspinel : $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$) とヘーシナイト (Hercynite : $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) の固溶体に同定される。このため中央の白色結晶も同じスピネル鉱物のマグнетタイト (Magnetite : Fe_3O_4) の可能性が高い。還元初期の鉱物組成を留めた個所といえよう。更に15の番号をつけた暗黒色ガラス質スラグは $41.4\% \text{SiO}_2 - 16.7\% \text{Al}_2\text{O}_3 - 9.2\% \text{CaO} - 6.2\% \text{K}_2\text{O} - 22.9\% \text{FeO}$ であった。珪酸塩に微細なファイアライトを析出するのであろう。鉄中非金属介在物及び表層付着滓の鉱物組成から、当試料は製錬系鉄塊に分類される。原料砂鉄のチタン含有量はやや低め傾向が想定できる。

KAI-29：炉内滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：やや厚手 (3.4cm) の含鉄炉内滓片である。上面の一部は生きているが、側面から下面は破面である。外周には流動滓片や粉炭を含む酸化土砂が厚く固着する。表面は鎧膨れや放射割れが生じている。また全体に重量があり、鉄部主体の試料と推測される。

(2) マクロ組織：Photo. 28に示す。金属組織は過共析組織主体で、まとまりのある鉄部主体の遺物である。表層にはごく薄く滓が固着し、視野左上で被熱砂鉄粒子の付着部分を残す。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 16①～③に示す。①の上側は試料表層に固着する滓部である。白色針状結晶イルミナイト、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル及び微細な淡灰色木ずれ状結晶ファイアライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製錬滓の晶癖である。②の表層部には多数の被熱砂鉄粒子が付着する。②③は金属鉄を5%ナイタルで腐食している。②はほぼ全面パーライトの共析組織、③は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る。

(4) ビックカース断面硬度：Photo. 16③の過共析組織の硬度を測定した。中央はその圧痕である。硬度値は238Hvであった。セメンタイト・フェライト域であり組織に対応した値とみてよからう。

(5) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 45.61%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 2.58%、酸化第1鉄 (FeO) 18.07%、錆化鉄を反映して酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は41.77%と高値であった。またガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) は20.45%である。これは外周の付着物による汚染も含む値の可能性が高い。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO_2) は1.62%、バナジウム (V) 0.08%、また酸化マンガン (MnO) は0.20%であった。銅 (Cu) は<0.01%である。表皮スラグの量が少ないので脈石成分 (Ti, V, Mn) の値は低めに表われている。

KAI-30：鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察：端部が不定方向に流動する小型 (53g) で完形の鉄塊系遺物である。表面には全面2cm大の木炭痕が残り、木炭の隙間で生じた形跡を残す。表面は錆化による鎧膨れや剥落、黒鎧の滲みが著しい。

(2) マクロ組織：Photo. 28に示す。まとまりのある鉄部が確認された。ただし内部には気孔が多く、その周囲から錆化が進んでいる。また外周の一部に低炭素域がみられる。表層が酸化雰囲気に曝されて僅かに酸化、脱炭が窺われる。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 16④～⑧に示す。⑤⑥の写真上側は表層に付着する滓部である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴスタイトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。この鉱物組成から低チタン砂鉄を原料とする製錬滓である。

また④～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食している。④は炭素含有量が低く、フェライト主体の

組織である。また⑤の白色部は上部ベイナイト、⑥は下部ベイナイトに近い組織になる。金属組織はKAI-22含鉄炉内滓と類似する。やはり製鉄炉の操業後、炉温がある程度下がった状態（600度前後）で、炉内生成物を取り出して放冷ないしは水冷した可能性が考えられる。

（4）ビッカース断面硬度：Photo. 16の⑦⑧の金属組織の硬度を測定した。中央はその圧痕で⑦の硬度値は111Hvである。また⑧の硬度値は172Hvであった。この硬度値から、炭素含有量は高い個所でも0.15%強と推定される。

KAI-31：炉内滓（含鉄）

（1）肉眼観察：平面不整五角形をした含鉄炉内滓の破片である。上面は自然面を残し、滓主体であった。その他の面は全面破面で、錆膨れや黒錆の滲みが目立つ。また表層に付着する酸化土砂中には滓片や粉炭が混在する。

（2）マクロ組織：Photo. 29に示す。下面側にやや偏平なまとまりのある鉄部が残存してた。写真は鉄部を中心に示す。白鋳鉄と局部的にねずみ鋳鉄の部分が混在する。斑鋳鉄までの表現はとれない鉄塊である。

（3）顕微鏡組織：Photo. 17①～⑨に示す。①は試料上面側に付着する滓部である。淡茶褐色多角形ウルボスピネルの大小の結晶が素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄系製錬滓の晶癖である。②は鉄中非金属介在物を示す。中央の微小黄褐色異物は硫化鉄（FeS）、③～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。③⑥はパーライト基地に片状黒鉛が析出するねずみ鋳鉄組織、④⑤⑦～⑨は亜共晶組成白鋳鉄組織の個所である。

（4）ビッカース断面硬度：Photo. 17⑥～⑨の鋳鉄組織の硬度を測定した。中央はその圧痕である。⑥のねずみ鋳鉄の硬度値は168Hvであった。また⑦～⑨の白鋳鉄組織は、⑦のパーライトの硬度値が180Hv、⑧のレデブライトの硬度値が617Hv、⑨のセメンタイトの硬度値が588Hvであった。白鋳鉄の硬度値は幾分低め傾向に表われた。腐食組織は健全そうに見えても風化の影響が出ているのだろう。

KAI-32：炉内滓（含鉄）

（1）肉眼観察：平面不整多角形をした含鉄炉内滓片である。全面に3cm以下の木炭痕が残り、錆膨れや黒錆の滲みがみられる。また上面中央には工具付着滓が固着する。この滓には丸棒状の工具痕が残り、表面には気孔が多数散在する。下面是一部炉壁土が付着している。

（2）マクロ組織：Photo. 29に示す。内部に多数の気孔が散在するが、まとまりのある鉄部が確認された。表層部がより低炭素域でフェライト単相の組織である。内部は僅かにパーライト組織が表われて炭素含有量が高め傾向にある。炭素含有量は0.2%以下の軟鋼である。

（3）顕微鏡組織：Photo. 18①～⑤に示す。①②は滓部である。白色不定形結晶はマグネタイト（ Fe_3O_4 ）である。粒内にはやや明度差がみられるが、暗部はよりTiを固溶する個所であろう。更に周囲にはごく微細なファイヤライト結晶が晶出する。低チタン砂鉄の還元初期の様相を留めた滓である。KAI-20含鉄炉内滓と類似する鉱物組成で、当試料も低温、低還元雰囲気で生じた可能性をもつ。

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。③は試料表層部で、粒界にごく微量のパーライトとセメンタイトが析出するが、ほぼフェライト結晶からなる組織である。また④⑤は試料内部で、フェライト素地に少量層状のパーライトが析出する。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 18①の白色不定形結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は401Hvであった。マグネタイトの文献硬度値を大幅に下回る値となつたが、結晶粒は風化を受け多数の亀裂が存在するなど、悪条件下での測定のための異常値である。

KAI-33：鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察：平面不整多角形をした鉄塊系遺物である。表面にははつきりとした津部を残さない。全体に隙間が多く、銹化による錆膨れや表層部の剥落が著しい。

(2) マクロ組織：Photo. 30に示す。4mm径の気孔が目につくがまとまりのある白鑄鉄組織主体の鉄部が遺存する。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 18⑥～⑧に示す。⑥は表層に固着する津部である。白色針状結晶イルミナイト、淡褐色片状結晶シュードブルーカイトないしはルチルが、素地の暗黒色ガラス質津中に晶出する。砂鉄製鍊津の晶癖である。また鉱物組成から当試料は高温、高還元雰囲気で生成した鉄塊である。⑦⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。黒色のオーステナイト（パーライト）の初晶と地はレデブライトの亜共晶組成白鑄鉄組織が表わされた。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 17⑧のレデブライト部分の硬度を測定した。中央はその圧痕で硬度値は621Hvであった。

(5) 化学組成分析：Table. 2に示す。酸化物定量である。炭素量(C)は有機物含みで2.47%であった。全鉄分(Total Fe) 72.46%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 35.51%、酸化第1鉄(FeO) 21.68%、酸化第2鉄(Fe₂O₃) 28.73%の割合であった。ガラス質成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は3.13%と低値である。また砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO₂) 0.15%、バナジウム(V) 0.01%であった。また酸化マンガン(MnO)は0.02%、銅(Cu) <0.01%であった。鉄分主体であり、ガラス質成分や脈石成分は共に低減した成分系となる。銑鉄系は表わしている。

KAI-34：鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察：平面不整六角形をした鉄塊系遺物である。上面は再結合津様の付着物に覆われる。また側面から下面は破面となる。木炭痕による凹凸がみられ、銹化による錆膨れや放射割れが顕著である。

(2) マクロ組織：Photo. 30に示す。内部に気孔が多数散在するが、まとまりのある鉄部が残る。表層側が過共析組織を呈し、内部は広範囲でねずみ鑄鉄組織となる。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 19①～⑤に示す。①は試料表層に固着する津部である。白色針状結晶イルミナイト、淡褐色片状結晶シュードブルーカイトないしはルチルが、素地の暗黒色ガラス質津中に晶出する。砂鉄製鍊津の晶癖であり、当試料は高温下で生成している。②は鉄中非金属介在物を示す。中央の黄褐色異物は硫化鉄(FeS)で、その周囲にはFe-Fe₃C-Fe₃P三元系共晶のステタイト(Steadite)が広がる。

③～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食したねずみ鑄鉄組織である。③の中央の黒色部は片状黒鉛、④は素地のパーライト、⑤の中央には板状セメンタイトを示した。

(4) ビッカース断面硬度：Photo. 19③～⑤のねずみ鑄鉄の硬度を測定した。中央はその圧痕で③の硬度値は217Hv、④は168Hv、⑤は907Hvであった。④のパーライト域の168Hvは低値であり、正常な値ではない。異常原因は何であろうか。風化の影響が大きかろう。

KAI-35：鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察：流動状で横断面は小さな椀形を呈する鉄塊系遺物である。表面は微細な木炭痕がみられ、滓部はほとんど付着しない。

(2) マクロ組織：Photo. 31に示す。まとまりのある過共析組織～白鋳鉄組織の鉄塊である。1～2mm径の気孔が目につき滓部はほとんど存在しない。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 19⑥～⑧に示す。⑥の写真左側は表層僅かに固着する滓部である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色木ずれ状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。砂鉄製鍊滓の晶癖である。

⑦⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。⑦は過共析組織、⑧は亜共晶組成白鋳鉄組織を示した。

(4) ピッカース断面硬度：Photo. 19⑦⑧の金属組織の硬度を測定した。中央はその圧痕で、⑦の板状セメンタイトの硬度値は906Hv、⑧のレデブライトの硬度値は622Hvであった。組織に対応した値である。

(5) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 62.01%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 21.47%、酸化第1鉄 (FeO) 22.70%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 32.74%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は8.22%であるが、これは錆化による汚染物質も含んだ値である。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) 3.30%、バナジウム (V) 0.05%であった。更に酸化マンガン (MnO) は0.27%、銅 (Cu) <0.01%である。鉄分主体であり、炭素 (C) 量は2.53%を含みガラス質成分や脈石成分は共に低減した銑鉄の成分系であった。

KAI-36：炉底塊

(1) 肉眼観察：平面不整多角形をした大型 (1.3kg) の炉底塊片である。鉄部は全く残存しない。上下面是生きているが、側面は全面破面である。破面には中小の気孔が目立つが、全体的に緻密な滓である。下面には全面炉床土が付着する。

(2) 顕微鏡組織：Photo. 20①～③に示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、白色粒状結晶ヴスタイト、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライトが素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。低チタン砂鉄を原料とする製鍊滓の晶癖である。

(3) ピッカース断面硬度：Photo. 20②③の鉱物結晶の硬度を測定した。中央はその圧痕である。②の白色粒状の硬度値は501Hvであった。ヴスタイトの文献硬度値に収まろう。粒内に微細な鉄チタン酸化物結晶が析出する。また③の淡茶褐色多角形結晶の硬度値は698Hvであった。ウルボスピネルに同定される。

(4) 化学組成分析：Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 42.92%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.09%、酸化第1鉄 (FeO) 48.05%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 7.84%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は38.55%と高値で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) は2.04%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) は3.40%、バナジウム (V) が0.21%であった。また酸化マンガン (MnO) は0.36%、銅 (Cu) <0.01%であった。化学組成からは低チタン砂鉄を原料とした製鍊滓に分類される。

KAI-37：鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察：厚板状の鉄塊系遺物である。上面は生きているが、他の面は自然面か破面か不明瞭である。滓部は殆んど残さない。重量感のある鉄塊である。

(2) マクロ組織: Photo. 31に示す。まとまりのある過共析組織～白鑄鉄組織の鉄部が遺存する。断面周囲から滓部はほとんど見当らない。気孔が多く大きいものは4mmを測る。

(3) 顕微鏡組織: Photo. 20④～⑧に示す。④は試料の表層に僅かに固着する滓部である。発達した淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネルが、素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。

⑤は鉄中非金属介在物を示す。中央の黄褐色異物は硫化鉄 (FeS) で、その周囲にはFe-Fe₃C-Fe₃P三元系共晶のステダイト (Steadite) が広がる。また⑥～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織である。⑥は未発達の亜共晶組成白鑄鉄、⑦⑧は過共析組織の個所である。

(4) ビッカース断面硬度: Photo. 20⑦⑧の過共析組織の硬度を測定した。中央はその圧痕である。⑦の盤状セメンタイトの硬度値は434Hv、⑧のパーライトの硬度値は224 Hvであった。盤状セメンタイトの値は低値である。その原因は不明瞭。

(5) 化学組成分析: Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) 54.07%に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.23%、酸化第1鉄 (FeO) 45.11%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 26.85%の割合であった。ガラス質成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O) は22.22%で、このうち塩基性成分 (CaO+MgO) 2.18%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン (TiO₂) は0.76%、バナジウム (V) 0.01%であった。また酸化マンガン (MnO) は0.06%、鉄塊系遺物であり脈石成分は少ない値となる。銅 (Cu) 0.01%であった。

KAI-38: 鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察: 42 g 強の小塊状の鉄塊系遺物である。酸化土砂の付着が著しく、表面の状況が分かり辛い。また表面は錆化による錆膨れや放射割れを起こしている。

(2) マクロ組織: Photo. 32に示す。組織は過共析組織主体で、一部白鑄鉄組織をもつ、まとまりのある鉄塊である。

(3) 顕微鏡組織: Photo. 21①～⑨に示す。①は試料の表層に僅かに固着する滓部である。白色針状結晶イルミナイト、淡褐色片状結晶シュードブルーカイトないしはルチルが、素地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。また鉱物組成から当試料は高温、高還元雰囲気で生成した鉄塊と指摘できる。②の中央は非晶質珪酸塩系の鉄中非金属介在物である。また③～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食した組織を示す。③～⑤は未発達の亜共晶組成白鑄鉄組織、⑥～⑨は過共析組織の個所である。

(4) ビッカース断面硬度: Photo. 21③⑧⑨の金属組織の硬度を測定した。中央はその圧痕である。③のレデブライトの硬度値は433Hv、⑧のパーライトの硬度値は225Hv、⑨の板状セメンタイトの硬度値は547Hvであった。③⑨は何に起因するのか低値傾向にある。やはり風化の影響であろうか。

小 結

1～3・5トレンチの出土遺物を調査した結果、明確な鍛冶関連遺物は確認されなかった。ほぼ製鉄関連遺物で構成される試料群と判断される。

〈1〉 出土鉄滓のチタン含有量にはばらつきがみられた。高チタン含有滓 (KAI-25: 13.44% TiO₂) は1号製鉄炉出土鉄滓 (KAI-3: 13.27% TiO₂) とほぼ同等のチタン含有量であった。これに対して低チタン含有滓 (KAI-26・27・29: 1.62～6.82% TiO₂) はS X O 1～2号製鉄炉出土鉄滓 (KAI-5・8・13・14: 1.81～6.41% TiO₂) とほぼ同等のチタン含有量であった。両者が炉の操業

法や、生成鉄塊の炭素含有量の違いを反映した可能性は考えられるが、各遺構に共伴する製鍊滓の分析試料数が少ないため判断は難しい。ただし当遺跡全体として、チタン含有量の異なる複数の原料砂鉄を何らかの形で使い分けていた可能性は高い。原料事情に変調を來したのであろうか。

〈2〉含鉄鉄滓・鉄塊系遺物 (KAI-28~35・37・38) には、何れも小型のまとまった鉄部が存在する。また金属組織を観察したところ、炭素含有量は各個体や部位によるバラツキが大きく、軟鉄から鉄塊までが遺存する。

4. まとめ

中世に比定される貝谷遺跡の出土遺物を調査した結果、製鍊工程主体の操業であり、明瞭な鍛冶関連遺物は確認されなかった。また製鉄原料は塩基性砂鉄と酸性砂鉄の装入が想定される。1号製鉄炉の地下構造は本床のみで塩基性砂鉄を、2号製鉄炉は本床・小舟を設けて酸性砂鉄を使用しているが、この防湿設備と原料砂鉄の相違が何に起因するのか現在のところ不明瞭である。当遺跡から出土した砂鉄、砂鉄焼結塊の化学分析は実施していないが、砂鉄粒子の断面顕微鏡組織から、前者は同じ志津見ダム建設に伴って調査された近世たたらの出土砂鉄（例えば大槻鉢^(注8)）と同等のチタン含有量 (TiO_2 : 5.3~5.9%)、後者は中世前期の戸井谷遺跡^(注9)と同等のチタン含有量 (TiO_2 : 1~2%程度) レベルであろう。更に1号製鉄炉とS X O 1~2号製鉄炉の出土鉄滓にはチタン含有量に差があり、何らかの使い分けがなされた可能性が考えられる。これらの砂鉄の使用実態に関しては、該期の製鉄技術と近世たたらとの関連を検討するうえでも、重要な課題といえる。

出土した含鉄鉄滓・鉄塊系遺物の滓部の鉱物組成や、鉄中の炭素含有量は非常にばらつきをもつ。各炉ないしは操業回数の違い、或いは炉内の生成位置の相違などによって、炉内温度や還元雰囲気が大きく異なるのは明らかである。また含鉄鉄滓・鉄塊系遺物はまとまりのある鉄部主体の遺物であったが、何れも比較的小型の鉄塊であった。このため、製鉄炉内に安定した大きな鉄塊が生成したのではなく、操業後炉内の鉄と滓が混在する成果物から、小型の鉄塊を丹念に割り取り回収した可能性をもつ。

1号製鉄炉・2号製鉄炉から出土した炉壁片の耐火度はどちらも大台の1500°C台であった。在地の高耐火性粘土を選択している。

(注)

(1) 日刊工業新聞社『焼結鉱組織写真および識別法』1968

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の硬度値範囲の明記はないが、マグネタイトにチタン (Ti) を固溶するので、600Hv以上であればウルボスピネルと同定している。それにアルミナ (Al) が加わり、ウルボスピネルとヘーシナイトを端成分とする固溶体となると更に硬度値は上昇する。このため700Hvを超える値では、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が考えられる。

(2) 黒田吉益・諏訪兼位『偏光顕微鏡と造岩鉱物 [第2版]』共立出版株式会社 1983

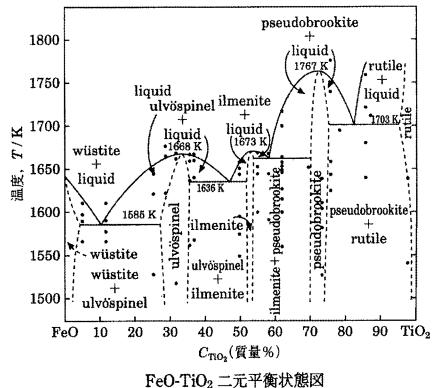
第5章 鉱物各論 D. 尖晶石類・スピネル類 (Spinel Group) の記載に加筆

尖晶石類の化学組成の一般式は XY_2O_4 と表記できる。Xは2価の金属イオン、Yは3価の金属イオンである。その組み合わせでいろいろの種類のものがある。(略)スピネル (Spinel : $MgAl_2O_4$)、ヘーシナイト [鉄スピネル] (Hercynite : $Fe^{2+}Al_2O_4$)、マグネタイト [磁鐵鉱] (Magnetite : Fe^{2+}

Fe^4O_4) , クロム磁鉄鉱 (Chromite : FeCr_2O_4) , マグネシオクロマイト (Magnesiochromite : MgCr_2O_4) , ウルボスピネル (Ulvöspinel : $\text{TiFe}_2^{3+}\text{O}_4$) 。またこれらを端成分とした固溶体をつくる。

(3) J. B. Mac chesney and A. Murau : American Mineralogist, 46 (1961) , 572

イルミナイト (Ilmenite : $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$) 、ルチル (Rutile : TiO_2) の晶出は $\text{FeO}-\text{TiO}_2$ 二元平衡状態図から高温化操業が推定される。



(4) 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。

(5) 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、飛散したものを目指す。俗に鉄肌（金肌）やスケールとも呼ばれる。鍛冶工程の進行により、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10)

鍛造剥片の酸化膜相は、外層は微厚のヘマタイト (Hematite : Fe_2O_3) 、中間層マグнетイト (Magnetite : Fe_3O_4) 、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°Cを越えると存在しなく、ヴスタイト相は570°C以上で生成されるのは $\text{Fe}-\text{O}$ 系平衡状態図から説明される。^(注11)

鍛造剥片を王水（塩酸3：硝酸1）で腐食すると、外層ヘマタイト (Hematite : Fe_2O_3) は腐食しても侵されず、中間層マグネット (Magnetite : Fe_3O_4) 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。

(6) 前掲注 (2)

第5章 鉱物各論 E. 磁鉄鉱 (magnetite) 磁鉄鉱は広義のスピネル類に属し、 $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ の理想組成を持っているが、多くの場合 Ti をかなり多く含んでいる。（中略）ウルボスピネル (Ulvöspinel : $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$) と連続固溶体をつくり、この固溶体の中間組成のものをチタン磁鉄鉱 (Titanomagnetite) とよぶ。

(7) 大澤正己「大山遺跡を中心とした埼玉県下出土の製鉄関連遺物分析調査」『大山』

（埼玉県遺跡発掘調査報告書第23集）埼玉県教育委員会1979

(8) 大澤正己、鈴木瑞穂「大槻鉱出土製鉄関連遺物の金属学的調査」『丸山遺跡・大槻鉱跡』

(志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書10)

建設省中国地方建設局・島根県教育委員会2001. 3

(9) 大澤正己・鈴木瑞穂「戸井谷遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」『戸井谷遺跡』

(志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書19)

建設省中国地方整備局・島根県教育委員会2003. 3

(10) 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

(11) 森岡ら「鉄鋼腐食科学」『鉄鋼工学講座』11 朝倉書店 1975

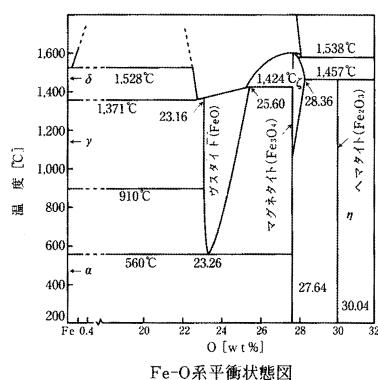


Table. 1 供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	遺構名	遺物名称	推定年代	計測値			調査項目				
					大きさ(mm)	重量(g)	磁着度	マクロ 顕微鏡 組織 組織	ビカース 断面硬度 X線回折	EPMA	化学分析	耐火度 加熱一 備考
KAI-1	貝谷	(炉床)	炉壁	中世?	120×51×61	317.3	5 なし	- ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-2	貝谷	1号製鉄炉	砂鉄錆結塊	"	44×42×12	20.0	6 誘化(△)	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-3	貝谷	下層粘め物	流動津	"	74×70×48	230.0	3 なし	- ○	○ ○	○ ○	- ○	-
KAI-4	貝谷	(北側溝)	炉壁	"	105×95×90	719.2	5 なし	- ○	- ○	- ○	○ ○	-
KAI-5	貝谷	2号製鉄炉	流動津	"	76×49×28	136.4	2 なし	- ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-6	貝谷	南西	再結合津(含鉄)	"	230×218×12	8560.0	10 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-7	貝谷	焼土付近	炉内津(含鉄)	"	30×31×12	27.1	6 L(●)	○ ○	○ ○	○ ○	- ○	-
KAI-8	貝谷	S×O1(C2区)	流出孔津	"	64×42×35	188.3	2 なし	- ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-9	貝谷	(精鍛鍊冶炉?)	含鉄錆牢	"	31×22×19	27.5	7 L(●)	○ ○	○ ○	○ ○	- ○	-
KAI-10	貝谷	貝谷	含鉄錆牢	"	33×21×20	27.5	6 L(●)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-11	貝谷	貝谷	粒状津(含鉄)	"	-	-	- なし	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-12	貝谷	貝谷	鍛造剥片(含鉄)	"	-	-	- なし	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-13	貝谷	S×O2(C区)	流出孔津	"	39×57×44	168.6	5 なし	- ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-14	貝谷	(精鍛鍊冶炉?)	炉内津	"	55×41×32	78.4	6 誘化(△)	- ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-15	貝谷	貝谷	含鉄錆牢	"	35×26×26	43.1	5 L(●)	○ ○	○ ○	○ ○	- ○	-
KAI-16	貝谷	貝谷	粒状津(含鉄)	"	-	-	- なし	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-17	貝谷	S101 (作業場)	鍛造剥片(含鉄)	"	-	-	- なし	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-18	貝谷	(B2区)	流動津	"	42×43×34	132.4	3 なし	- ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-19	貝谷	(F3区)	錫塊系遺物	"	31×24×20	20.1	7 L(●)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-20	貝谷	(C4区)	錫塊系遺物	"	29×29×23	27.5	7 L(●)	○ ○	○ ○	○ ○	- ○	-
KAI-21	貝谷	(C3区)	炉内津(含鉄)	"	39×41×26	59.8	8 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-22	貝谷	(D2区)	炉内津(含鉄)	"	50×44×27	98	9 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-23	貝谷	木炭	"	-	小計	24.8	1 なし	- ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-24	貝谷	1トレンチ(発津場)	砂鉄錆結塊	"	46×33×25	32.8	4 誘化(△)	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-25	貝谷	流出溝津	"	41×59×46	281.1	2 なし	- ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-26	貝谷	流動津	"	91×53×47	200.1	2 なし	- ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-27	貝谷	炉内津(含鉄)	"	77×68×35	322.6	4 誘化(△)	- ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-28	貝谷	炉内津(含鉄)	"	44×33×18	62.1	7 L(●)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-29	貝谷	炉内津(含鉄)	"	62×49×44	130.4	7 L(●)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-30	貝谷	錫塊系遺物	"	48×30×30	53.3	7 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-31	貝谷	炉内津(含鉄)	"	52×38×33	84.2	8 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-32	貝谷	炉内津(含鉄)	"	41×68×35	108.6	8 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-33	貝谷	錫塊系遺物	"	63×42×21	63.4	8 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-34	貝谷	錫塊系遺物	"	56×36×27	71.1	8 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-35	貝谷	錫塊系遺物	"	40×50×19	86.1	8 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	- ○	-
KAI-36	貝谷	2トレンチ	炉底塊	"	180×120×69	1313.6	4 なし	- ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-37	貝谷	3トレンチ(2号製鉄炉周辺?)	錫塊系遺物	"	38×35×22	91.5	8 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	-
KAI-38	貝谷	5トレンチ(S101南西側)	錫塊系遺物	"	35×26×26	42.4	7 特L(☆)	○ ○	○ ○	- ○	- ○	-

Table. 2 供試材の化学組成

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	全鉄分										#IG loss	$\Sigma *$									
					Total Fe	Metallic Fe	第1鉄 (FeO)	第2鉄 (Fe ₂ O ₃)	酸化カルシウム (CaO)	酸化カルシウム (MgO)	酸化カルシウム (K ₂ O)	酸化カルシウム (Na ₂ O)	二酸化チタン (TiO ₂)	二酸化チタン (Cr ₂ O ₃)	硫酸 (MnO)	硫酸 (P ₂ O ₅)	銅 (Cu)	耐火度 °C	造済成分 Total Fe	TiO ₂ Total Fe	注				
KAI-1	貝谷	1号製鉄炉	炉壁	中世?	1.87	0.08	0.94	1.51	74.06	18.38	0.14	0.37	2.91	0.23	0.15	0.02	<0.01	0.15	#0.60	<0.01	15.27	96.09	51.385	0.203	
KAI-3	貝谷	流動滓	"		29.54	0.52	31.52	6.46	25.52	8.30	4.10	1.36	2.03	0.40	1.98	13.27	0.03	0.02	0.12	0.12	0.37	<0.01	41.71	1.412	0.449
KAI-4	貝谷	炉壁	"		2.10	0.15	0.66	2.05	72.52	18.50	0.09	0.25	2.92	0.19	0.12	0.44	<0.01	0.19	1.14	<0.01	<0.01	1.500	94.47	44.986	0.210
KAI-5	貝谷	2号製鉄炉	流動滓	"	48.75	0.38	54.89	9.04	18.91	6.05	1.50	0.82	0.93	0.50	0.80	6.12	0.04	0.02	0.07	0.04	0.33	<0.01	26.71	0.589	0.126
KAI-6	貝谷	再結合滓(含鉛)	"		39.01	19.42	8.61	18.44	35.14	9.27	2.49	0.65	1.47	0.73	0.52	2.54	0.02	0.03	0.17	1.11	0.11	<0.01	49.75	1.275	0.065
KAI-8	貝谷	SX01	流出孔滓	"	50.25	0.19	56.43	8.86	19.19	4.85	1.44	0.55	1.02	0.28	0.51	4.11	0.03	0.03	0.09	0.08	0.28	<0.01	27.33	0.544	0.082
KAI-13	貝谷	SX02	流出孔滓	"	49.37	0.20	54.66	9.56	17.64	4.73	1.80	0.93	1.12	0.29	0.66	6.41	0.05	0.02	0.12	0.10	0.31	<0.01	26.51	0.537	0.130
KAI-14	貝谷	炉内滓	"		49.84	0.16	40.78	25.71	20.41	4.86	0.75	0.35	1.11	0.33	0.19	1.81	0.03	0.07	0.09	0.19	0.12	<0.01	27.81	0.558	0.036
KAI-18	貝谷	S101	流動滓	"	42.07	0.16	49.52	4.89	17.22	5.89	2.33	0.78	1.23	0.21	1.31	7.68	0.03	0.03	0.17	0.14	0.21	<0.01	27.66	0.657	0.183
KAI-22	貝谷	炉内滓(含鉛)	"		51.86	2.23	19.25	49.71	9.51	2.47	0.32	0.09	0.44	0.24	0.06	0.26	0.02	0.13	0.11	1.83	0.01	0.01	13.07	0.252	0.005
KAI-25	貝谷	1トレンチ	流出清滓	"	34.77	0.37	33.02	12.49	23.62	7.11	2.61	0.96	1.69	0.37	1.45	13.44	0.04	0.02	0.11	0.05	0.47	<0.01	36.36	1.046	0.387
KAI-26	貝谷	流動滓	"		37.25	0.16	43.94	4.20	26.11	6.98	3.07	0.91	1.74	0.25	1.53	6.82	0.03	0.07	0.25	0.14	0.31	<0.01	39.06	1.049	0.183
KAI-27	貝谷	炉内滓(含鉛)	"		45.36	0.17	44.08	15.62	22.88	5.61	1.21	0.57	1.13	0.26	0.60	4.22	0.02	0.05	0.13	0.13	0.20	<0.01	31.66	0.698	0.093
KAI-29	貝谷	炉内滓(含鉛)	"		45.61	2.58	18.07	41.44	14.77	3.75	0.63	0.26	0.62	0.42	0.20	1.62	0.02	0.09	0.14	1.87	0.08	<0.01	20.45	0.448	0.036
KAI-33	貝谷	鉄塊系遺物	"		72.46	35.51	21.68	28.73	2.26	0.56	0.07	0.02	0.13	0.09	0.02	0.15	0.03	0.13	0.14	2.47	0.01	<0.01	3.13	0.043	0.002
KAI-35	貝谷	鉄塊系遺物	"		62.01	21.47	22.70	32.74	5.19	2.14	0.38	0.16	0.26	0.09	0.27	3.30	0.03	0.11	0.08	2.53	0.05	<0.01	8.22	0.133	0.053
KAI-36	貝谷	2トレンチ	炉底垢	"	42.92	0.09	48.05	7.84	27.96	6.77	1.47	0.57	1.40	0.38	0.36	3.40	0.03	0.01	0.10	0.12	0.21	<0.01	38.55	0.898	0.079
KAI-37	貝谷	3トレンチ	鉄塊系遺物	"	54.07	0.23	45.11	26.85	13.68	4.67	1.46	0.72	1.06	0.63	0.06	0.76	0.02	0.04	0.40	0.36	0.01	0.01	22.22	0.411	0.014

Table. 3 木炭の性状

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	灰分	揮発分	水分	固定炭素	硫黄	発熱量	灰中 P
KAI-23	貝谷	S101	木炭	中世?	5.35	37.21	13.96	57.44	0.01	5.610	0.080

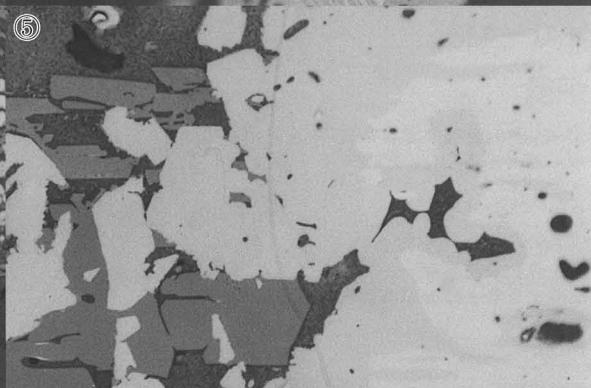
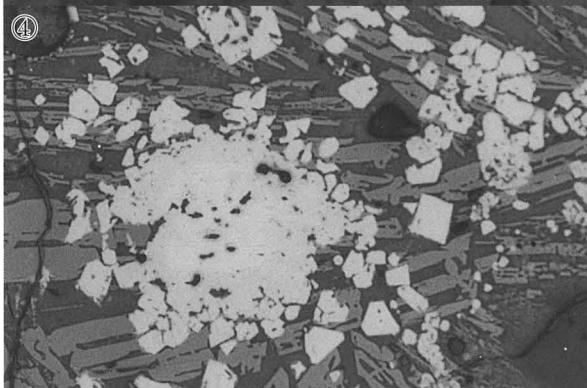
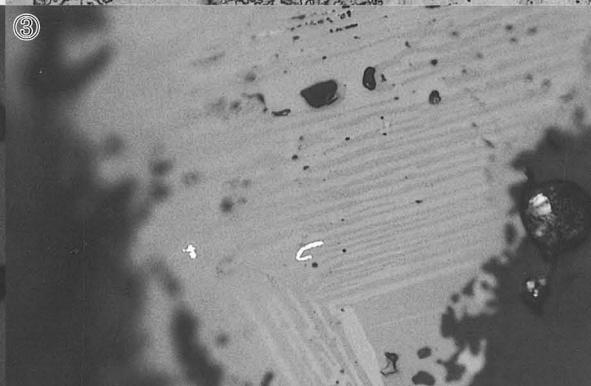
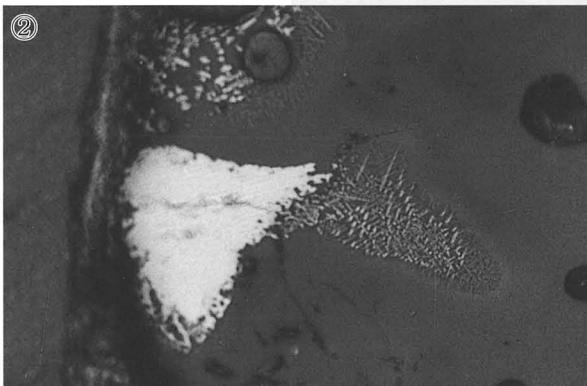
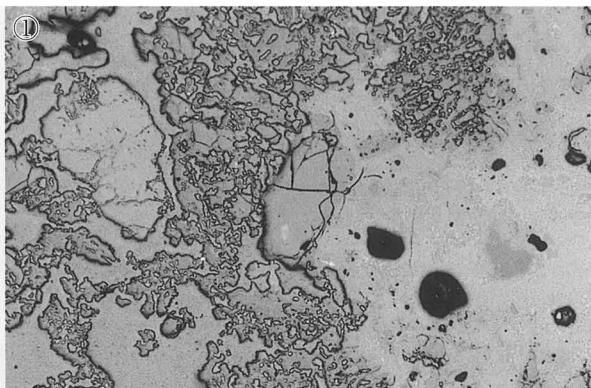
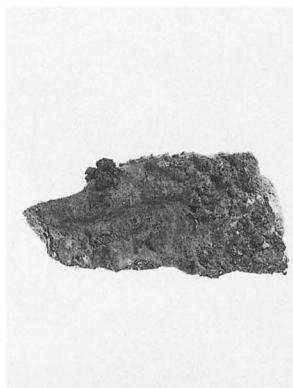
Table. 4 出土遺物の調査結果のまとめ

符号	遺跡名	遺構名	遺物名称	推定年代	顕微鏡組織	調査項目						所見	
						Total Fe	Fe2O3 基性 成分	TiO2	V	MnO	ガラス質 成分		
KAI-1	貝谷	(炉床)	炉壁	中世?	胎土溶融化、U+H晶出、半還元砂鉄、被熱胎土	1.87	1.51	0.51	<0.01	0.15	96.09	<0.01 耐火度1527°C、耐火性的高い性状	
KAI-2	貝谷	1号 (炉床)	砂鉄錠塊	中世?	砂鉄粒子痕跡、墨金属鉄粒錠化割離、U+H	—	—	—	—	—	—	津化が進行した砂鉄錠塊(比較的T量高めか)	
KAI-3	貝谷	製鉄炉	下層詰め物	流動層	中世?	U+H	29.54	6.46	5.46	13.27	0.37	1.98	41.71 <0.01 砂鉄系製錠津(原料は高基性砂鉄)
KAI-4	貝谷	(北側溝)	炉壁	中世?	胎土カラシ化、U+H晶出、被熱胎土中に砂鉄粒子混在	2.10	2.05	0.34	0.44	<0.01	0.12	94.47 <0.01 耐火度1500°C、KAI-1と同等の耐火性	
KAI-5	貝谷	2号 (西側溝)	流動層	中世?	U+Hの固溶体+W+F	48.75	9.04	2.32	6.12	0.33	0.80	28.71 <0.01 砂鉄系製錠津(原料は高基性砂鉄)	
KAI-6	貝谷	製鉄炉 南西	再結合層(含鉄)	中世?	砂鉄粒子、製錠津片(U+H,IoR)、木炭粉、金属鉄:亜共晶組成	39.01	18.44	3.14	2.54	0.11	0.52	49.75 <0.01 製鐵闊運遺物からなる含鉄再結合津	
KAI-7	貝谷	燒土付近	炉内層(含鉄)	中世?	砂鉄粒子付着(2次的)、共晶組成に近い白鉄錠	—	—	—	—	—	—	— 鋳鉄塊(高炭素含有)、製錠系鉄塊か	
KAI-8	貝谷	SX01(C2区) (精錬鍛冶炉?)	流出孔津	中世?	W+U+F	50.25	8.86	1.99	4.11	0.28	0.51	27.33 <0.01 酸性砂鉄を原料とする製鍛津	
KAI-9	貝谷	含鉄鉢?	含鉄鉢?	中世?	津部U+H+F、金属鉄:共析組織～ねずみ鉄組織	—	—	—	—	—	—	— 製錠系鉄塊の可能性が高い	
KAI-10	貝谷	含鉄鉢?	含鉄鉢?	中世?	津部U+H+F、金属鉄:亜共析組織～共析組織	—	—	—	—	—	—	— 製錠系鉄塊の可能性が高い	
KAI-11	貝谷	粒状率様遺物	中世?	U+H+F	—	—	—	—	—	—	—	— 粒状の製鍛津ないし精錬鍛冶津、鍛打工程の派生物ではない	
KAI-12	貝谷	鍛造剥片様遺物	中世?	1.M+W(U+H)凝集、2.M+W凝集	—	—	—	—	—	—	—	— 遺元初期の製鍛津片(マグネナイト系遺物、鉱物相類似)	
KAI-13	貝谷	SX02(C区) (精錬鍛冶炉?)	流出孔津	中世?	U+H+F	49.37	9.56	2.73	6.41	0.31	0.66	26.51 <0.01 酸性砂鉄を原料とする製鍛津	
KAI-14	貝谷	炉内層	炉内層	中世?	砂鉄粒子痕跡、M+U+Hの固溶体、W+F	49.84	25.71	1.10	1.81	0.12	0.19	27.81 <0.01 酸性砂鉄を原料とする製鍛津	
KAI-15	貝谷	含鉄鉢?	含鉄鉢?	中世?	津部U+W+F、金属鉄:共析組織～白鉄錠組織	—	—	—	—	—	—	— 酸性砂鉄を原料とする製鍛津	
KAI-16	貝谷	粒状率様遺物	中世?	I-1.W+F、I-2.H+U+WF、I-3.口-2.Mo+U+H	—	—	—	—	—	—	—	— 粒状の製鍛津ないし精錬鍛冶津、鍛打工程の派生物ではない	
KAI-17	貝谷	金告剥片様遺物	中世?	U+H	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛津	
KAI-18	貝谷	S101 (作業場)(B2区)	流動層	中世?	U+H	42.07	4.89	3.11	7.68	0.21	1.31	27.66 <0.01 砂鉄系製鍛津(比較的T量低い)	
KAI-19	貝谷	鐵塊系遺物	中世?	金属鉄:過共析組織～亜共晶組成白鉄錠(表面高炭素域)	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛津	
KAI-20	貝谷	(F3区)	鐵塊系遺物	中世?	津部U+R、W凝集+U、金属鉄:フェライト単相	—	—	—	—	—	—	—	— 鉄塊系鉄塊の可能性が高い
KAI-21	貝谷	(C4区)	炉内層(含鉄)	中世?	津部U+R、金属鉄過共析組織～亜共晶組成白鉄錠組織	—	—	—	—	—	—	—	— 鉄塊系鉄塊(比較的低温下で生成)
KAI-22	貝谷	(G3区)	炉内層(含鉄)	中世?	津部U+R、金属鉄ベイナイト(C: max 0.15%強)	51.96	49.71	0.41	0.26	0.01	0.06	13.07	0.01 製鍛系鉄塊(比較的高温下で生成)、放冷なしし水冷痕跡
KAI-23	貝谷	(D2区)	木炭	中世?	広葉樹、環孔材	—	—	—	—	—	—	—	— 56.10cal/g、土砂等の汚染の影響大
KAI-24	貝谷	1トレーナ(糠滓場)	砂鉄錠塊	中世?	半還元砂鉄粒子(粒外周部透化鉄帶が取り除せ)	—	—	—	—	—	—	—	— や津化した砂鉄錠塊(比較的T量低め)
KAI-25	貝谷	流出溝?	中世?	U+微細F	—	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛系鉄塊(堆積性砂鉄)
KAI-26	貝谷	流動層	中世?	U+Hの固溶体+H	37.25	4.20	3.98	6.82	0.31	1.53	39.06	0.01 砂鉄系製鍛津(比較的T量低い)	
KAI-27	貝谷	炉内層(含鉄)	中世?	砂鉄粒子痕跡、微小金属鉄粒、U+Hの固溶体+H	45.36	15.62	1.78	4.22	0.20	0.60	31.66	0.01 砂鉄系製鍛津(比較的T量低い)	
KAI-28	貝谷	炉内層(含鉄)	中世?	津部U+H+F、介在物U+金属鉄:過共析組織～過共析組織	—	—	—	—	—	—	—	— 低T製鍛系ないしは精鍛鍛冶津	
KAI-29	貝谷	炉内層(含鉄)	中世?	津部U+H+F、金属鉄:亜共晶組成白鉄錠組織	45.61	41.44	0.89	1.62	0.08	0.20	20.45	0.01 製鍛系鉄塊(比較的高温下で生成)	
KAI-30	貝谷	鐵塊系遺物	中世?	津部U+H+N、金属鉄ベイナイト(C: max 0.15%強)	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛系鉄塊か? 放冷なしし水冷痕跡	
KAI-31	貝谷	炉内層(含鉄)	中世?	津部U+H+N、金属鉄:白鉄錠、ねずみ鉄組織	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛系鉄塊	
KAI-32	貝谷	2号鍛錠屑廻り?	中世?	津部M凝集+微細F、金属鉄:過共析組織～亜共晶組成白鉄錠組織	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛系鉄塊(比較的低温下で生成)	
KAI-33	貝谷	鐵塊系遺物	中世?	津部U+R、金属鉄過共析組織～亜共晶組成白鉄錠組織	72.46	28.73	0.09	0.15	0.01	0.02	3.13	<0.01 製鍛系鉄塊(比較的高温下で生成)	
KAI-34	貝谷	鐵塊系遺物	中世?	津部U+R、金属鉄過共析組織～ねずみ鉄組織	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛系鉄塊(比較的高温下で生成)	
KAI-35	貝谷	鐵塊系遺物	中世?	津部U+H+N、金属鉄過共析組織～亜共晶組成白鉄錠組織	60.01	32.74	0.54	3.30	0.05	0.21	8.22	<0.01 製鍛系鉄塊(高炭素系)	
KAI-36	貝谷	2トレーナ	炉底塊	中世?	U+H+F	42.92	7.84	2.04	3.40	0.21	0.36	38.35	<0.01 酸性砂鉄を原料とする精鍛鍛冶津
KAI-37	貝谷	3トレーナ2号鍛錠屑廻り?	中世?	津部U+R、金属鉄:過共析組織～亜共晶組成白鉄錠組織	54.07	26.85	2.18	0.76	0.01	0.06	22.22	0.01 製鍛系鉄塊(比較的高温下で生成)	
KAI-38	貝谷	5トレーナ(S10)南西側	鐵塊系遺物	中世?	津部U+R、金属鉄過共析組織～亜共晶組成白鉄錠組織 / FeO-Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ / TiO ₂ / Rutile (TiO ₂) / Magnetite (Fe ₃ O ₄)	—	—	—	—	—	—	—	— 製鍛系鉄塊(比較的高温下で生成)

KAI-1

炉壁

- ①×50 被熱胎土：粘土鉱物
ガラス質化、石英・長石粒の
外周部溶融
- ②×100 ③×400 内面表層：半
還元砂鉄
チタン鉄鉱格子組織残存
- ④×100 ⑤×400 内面表層：半
還元砂鉄
周囲ウルボスピネル晶出
ファイヤライト



KAI-2

砂鉄焼結塊

- ⑥×100 半還元砂鉄粒子
砂鉄粒子痕跡 粒状黑色部
晶出金属鉄の鎌化・剥落痕跡
ウルボスピネル・ファイヤラ
イト
- ⑦×100 ⑧×400 同上

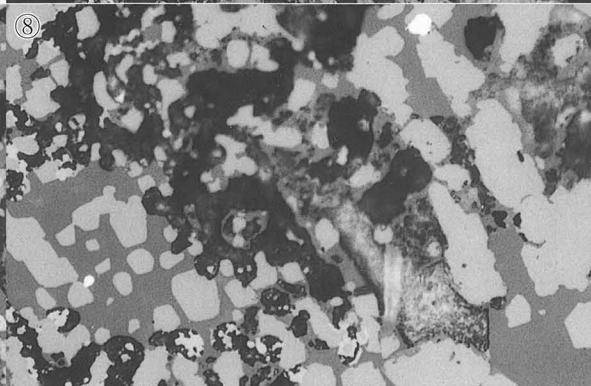
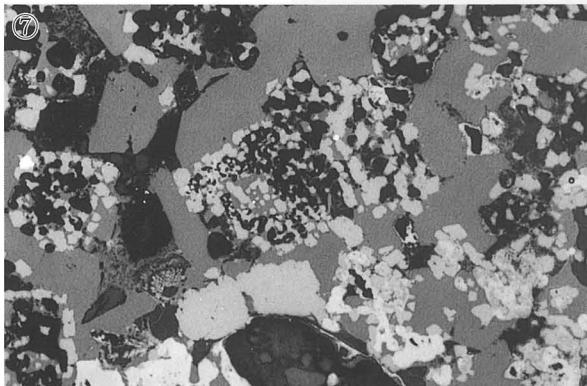
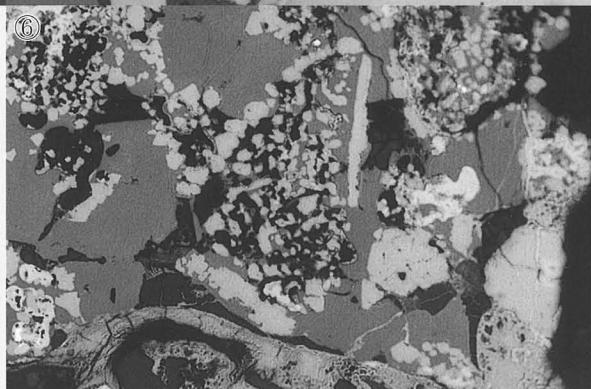
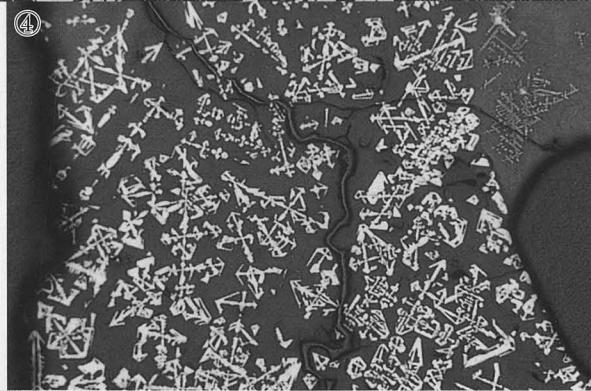
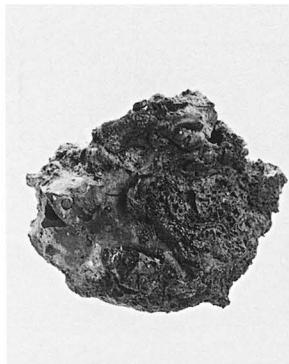


Photo. 1 炉壁・砂鉄焼結塊の顕微鏡組織

KAI-3

流動津

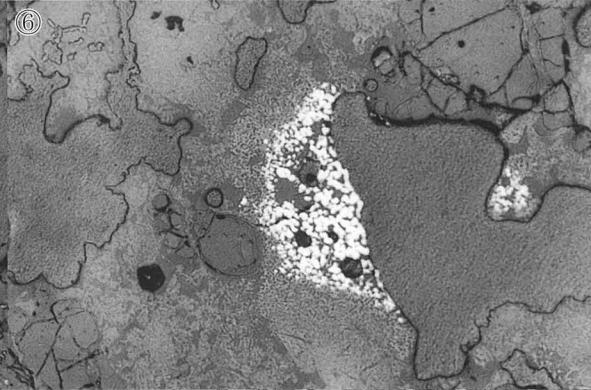
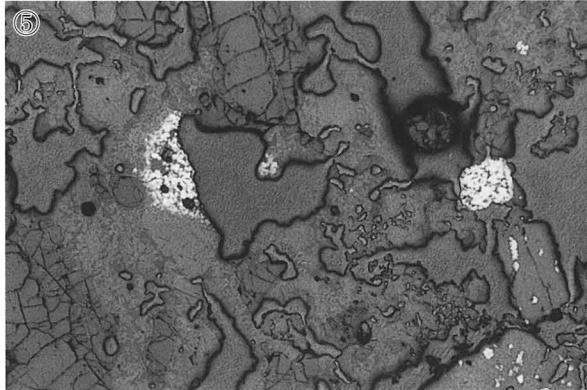
- ①×200硬度圧痕：647Hv
ウルボスピネル
②×100中央白色部：金属鉄
ウルボスピネル・ファイヤ
ライト
③×100 ウルボスピネル・
ファイヤライト



KAI-4

炉壁

- ④×50内面表層：ガラス質滓
ウルボスピネルないしはマグ
ネタイト
晶出
⑤×50⑥×100被熱胎土：
粘土鉱物非晶質化
石英・長石・砂鉄等の混入鉱
物
外周から溶融



KAI-5

流動津

- ⑦×200硬度圧痕：746Hv
ウルボスピネルとヘーシナイ
トの固溶体か
+ヴスタイト・ファイヤライ
ト

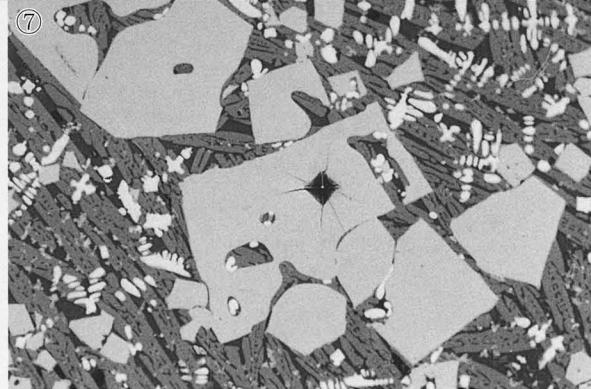


Photo. 2 流動津・炉壁の顕微鏡組織

KAI-6

再結合滓（含鉄）

- ①×100 中央：被熱砂鉄
 製鉄滓：ウルボスピネル・
 ファイヤライト
 ②×100製鉄滓：イルミナイ
 トないしルチル
 ③～⑧鉄部:③×400非金属介在物
 ④～⑧ナイタルetch④×100⑤×400
 白鑄鉄(表層:片状黒鉛析出)
 ⑦～⑨×200硬度圧痕:⑦229Hv
 ⑧349Hv⑨420Hv

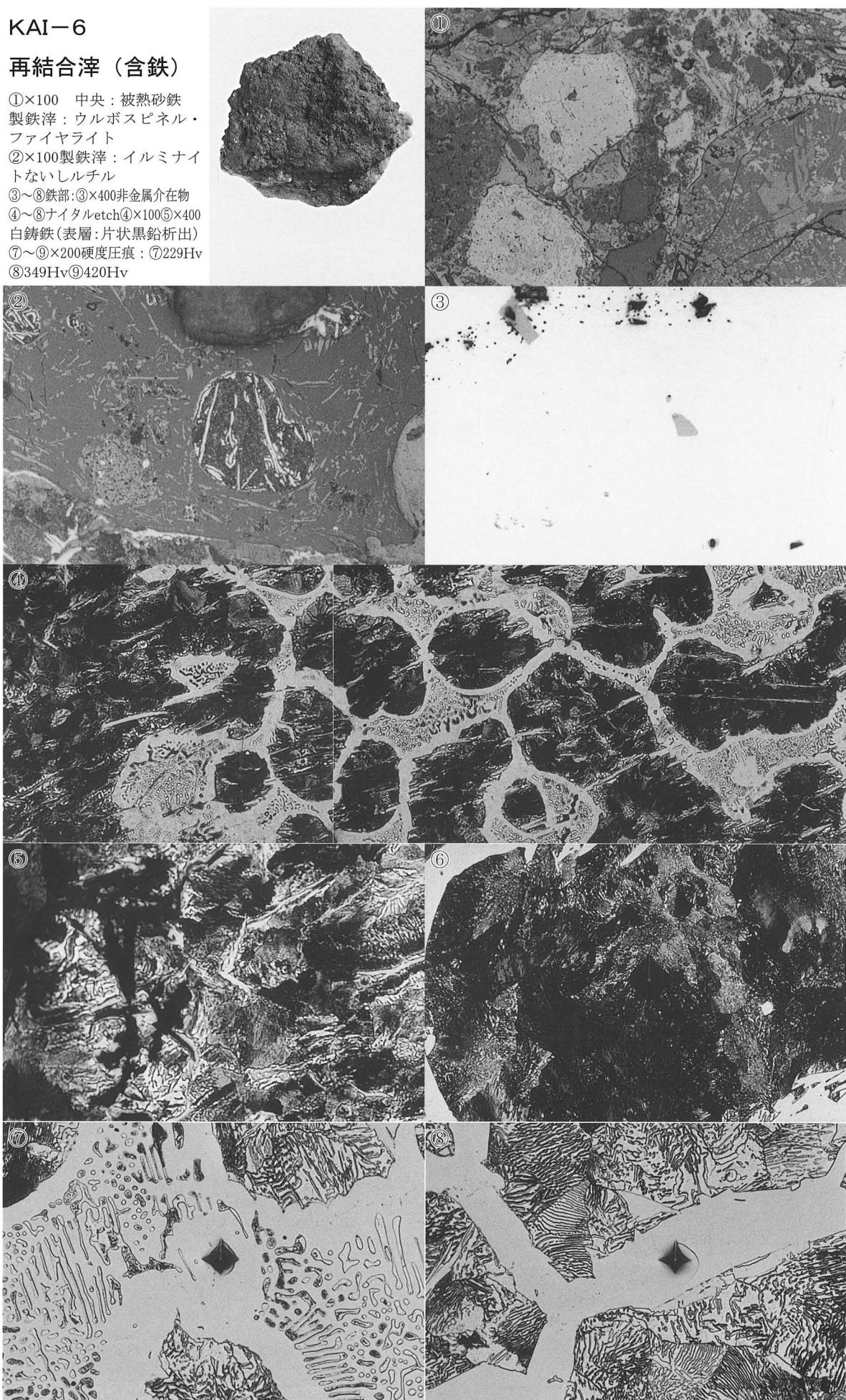


Photo. 3 再結合滓（含鉄）の顕微鏡組織

KAI-7

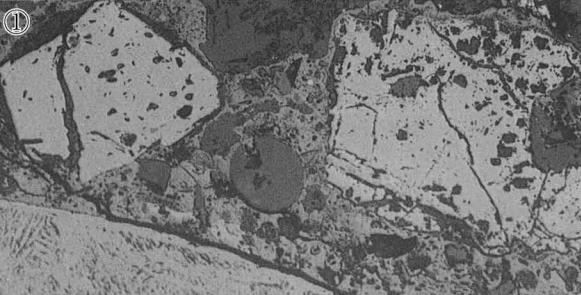
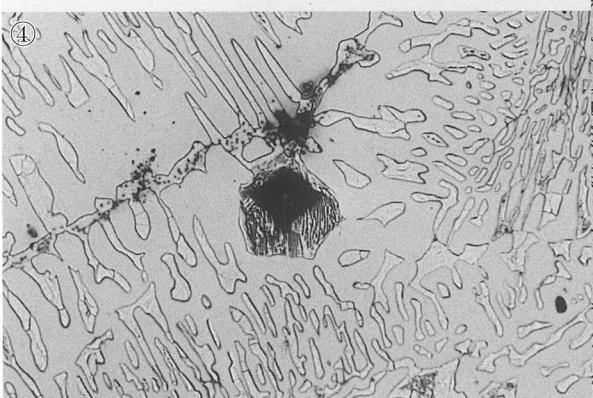
炉内滓（含鉄）

- ①×100表層酸化土砂中の
混入砂鉄粒子
鉄部表層：脱炭層パーライト
組織痕跡
②×400鉄中非金属介在物
③～⑤ナイタルetch
③×100亜共晶組成白鑄鉄
④⑤×200硬度圧痕：④220Hv
⑤647Hv

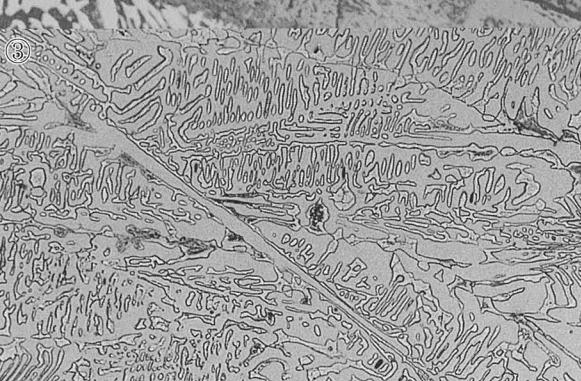
②



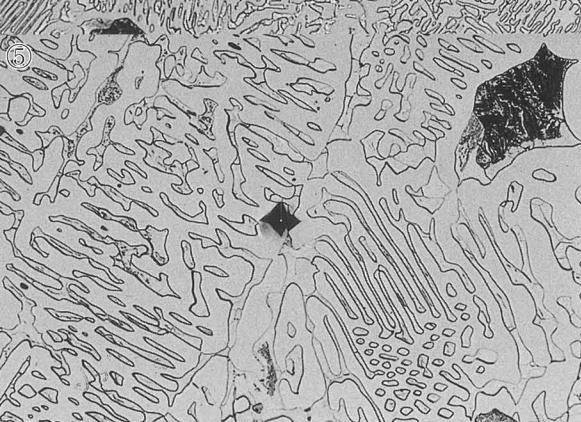
④



③



⑤

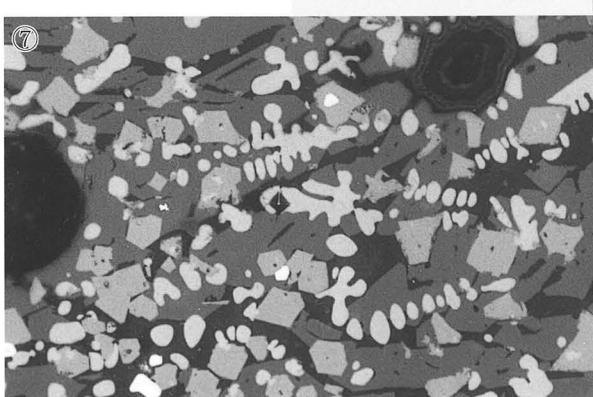


KAI-8

流出孔滓

- ⑥×100ウルボスピネル・ヴ
スタイト
・ファイヤライト
⑦⑧×200硬度圧痕：
⑦416Hv ヴスタイトか
⑧736Hv ウルボスピネルと
ヘーシナイトの固溶体か

⑦



⑥



⑧

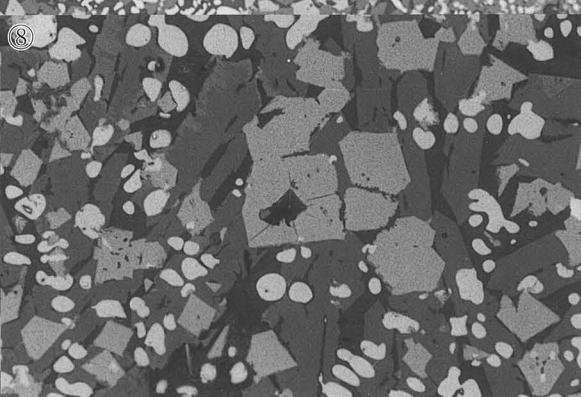


Photo. 4 炉内滓（含鉄）・流出孔滓の顕微鏡組織

KAI-9

含鉄鉄滓

- ①×200淬部：微小金属鉄粒・
イルミナイト
②×100③×200淬部：微小金
属鉄粒・
ウルボスピニル・ファイヤナイト
③硬度圧痕:668Hv ウルボスピニル
④～⑨ナイタルetch④×100過共析組織
⑤×100ねずみ鉄⑥×100共析組織
⑦～⑨×200硬度圧痕：⑦320Hv
⑧275Hv⑨315Hv

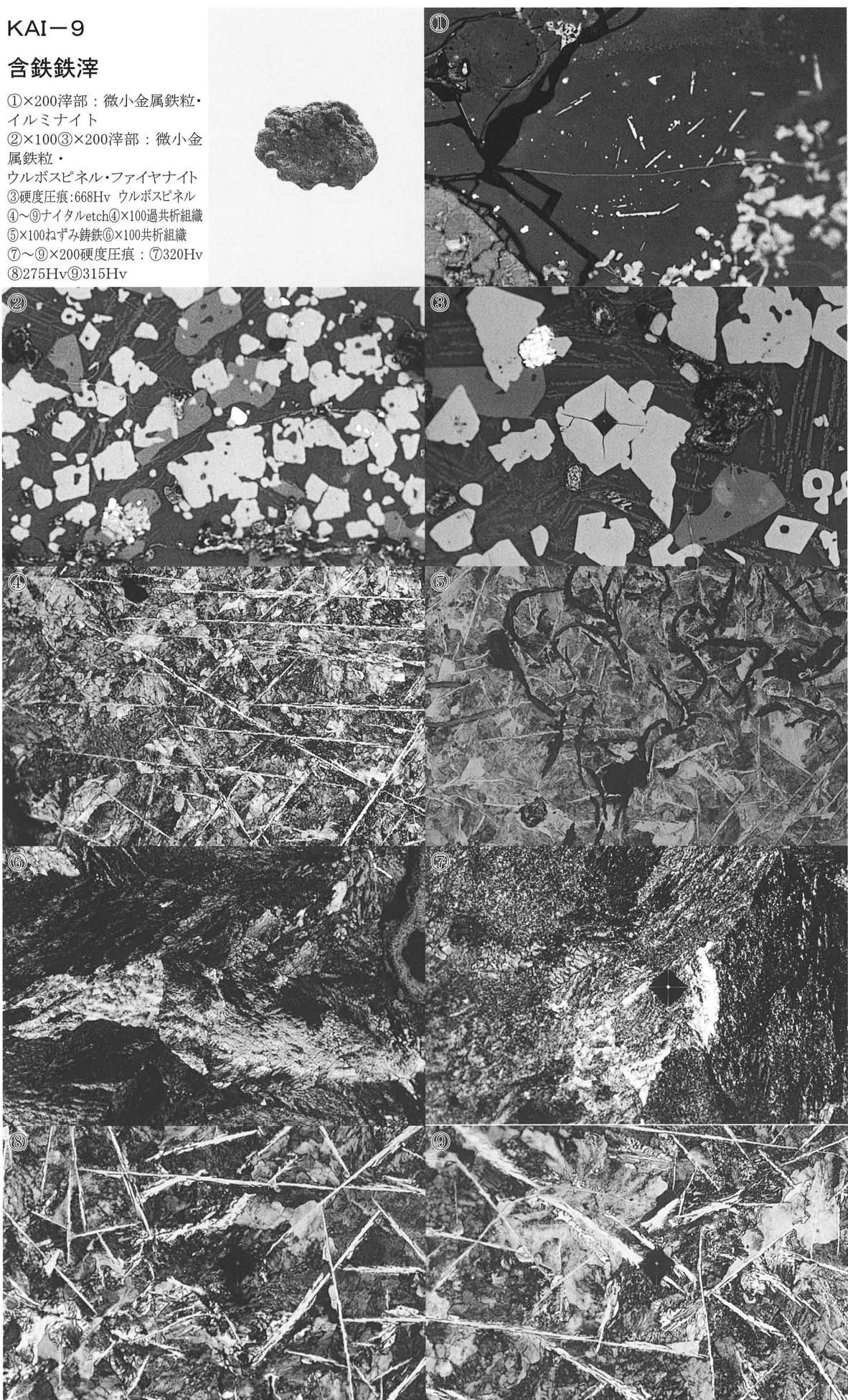
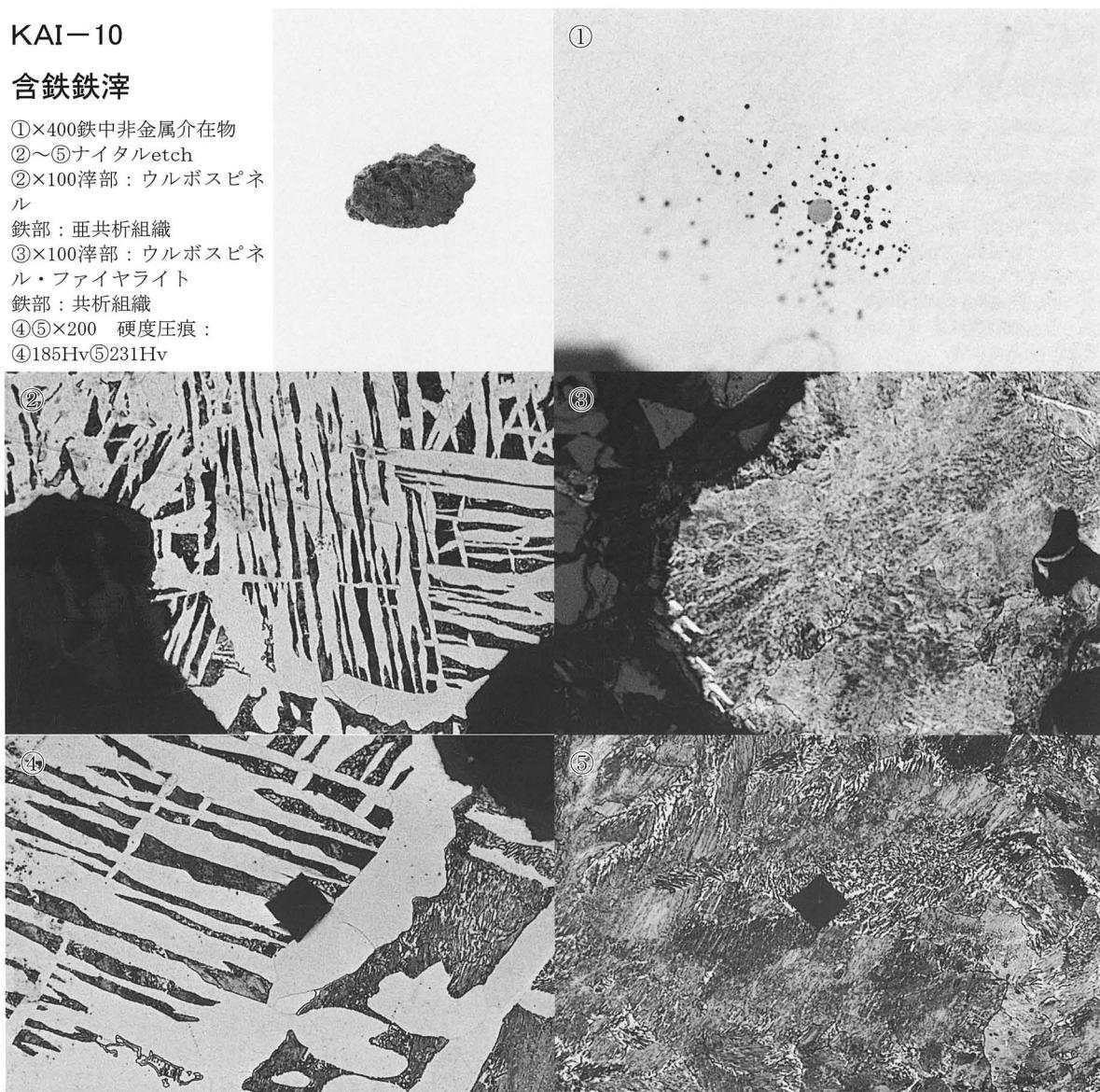


Photo. 5 含鉄鉄滓の顕微鏡組織

KAI-10

含鉄鉄滓

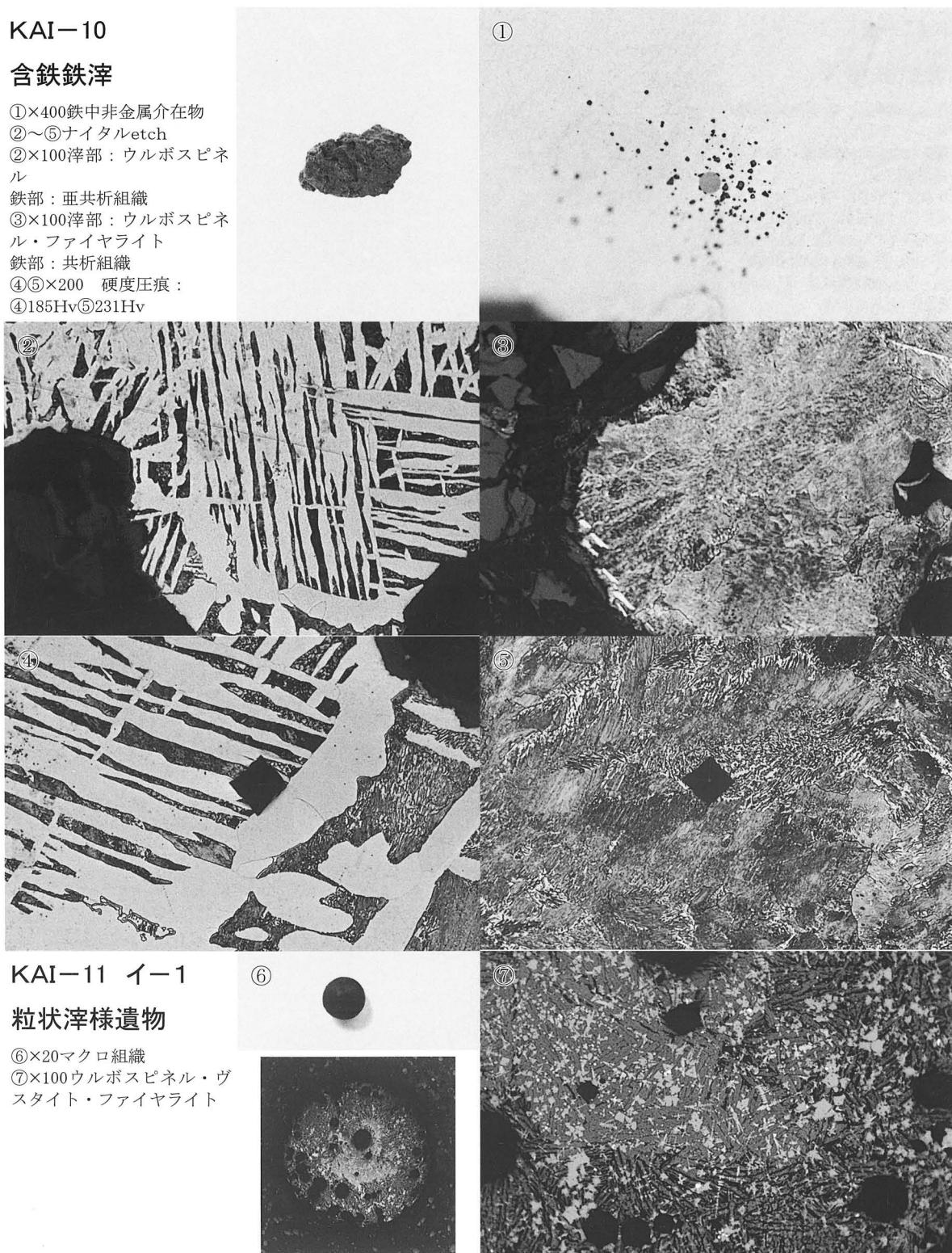
- ①×400 鉄中非金属介在物
 ②～⑤ナイタルetch
 ②×100 淬部：ウルボスピネル
 鉄部：亜共析組織
 ③×100 淬部：ウルボスピネル・ファイアライト
 鉄部：共析組織
 ④⑤×200 硬度圧痕：
 ④185Hv ⑤231Hv



KAI-11 イー1

粒状滓様遺物

- ⑥×20マクロ組織
 ⑦×100 ウルボスピネル・ヴァサイト・ファイアライト



KAI-11 イー2

粒状滓様遺物

- ⑧×20マクロ組織
 ⑨×400 ウルボスピネル・微細ファイアライト

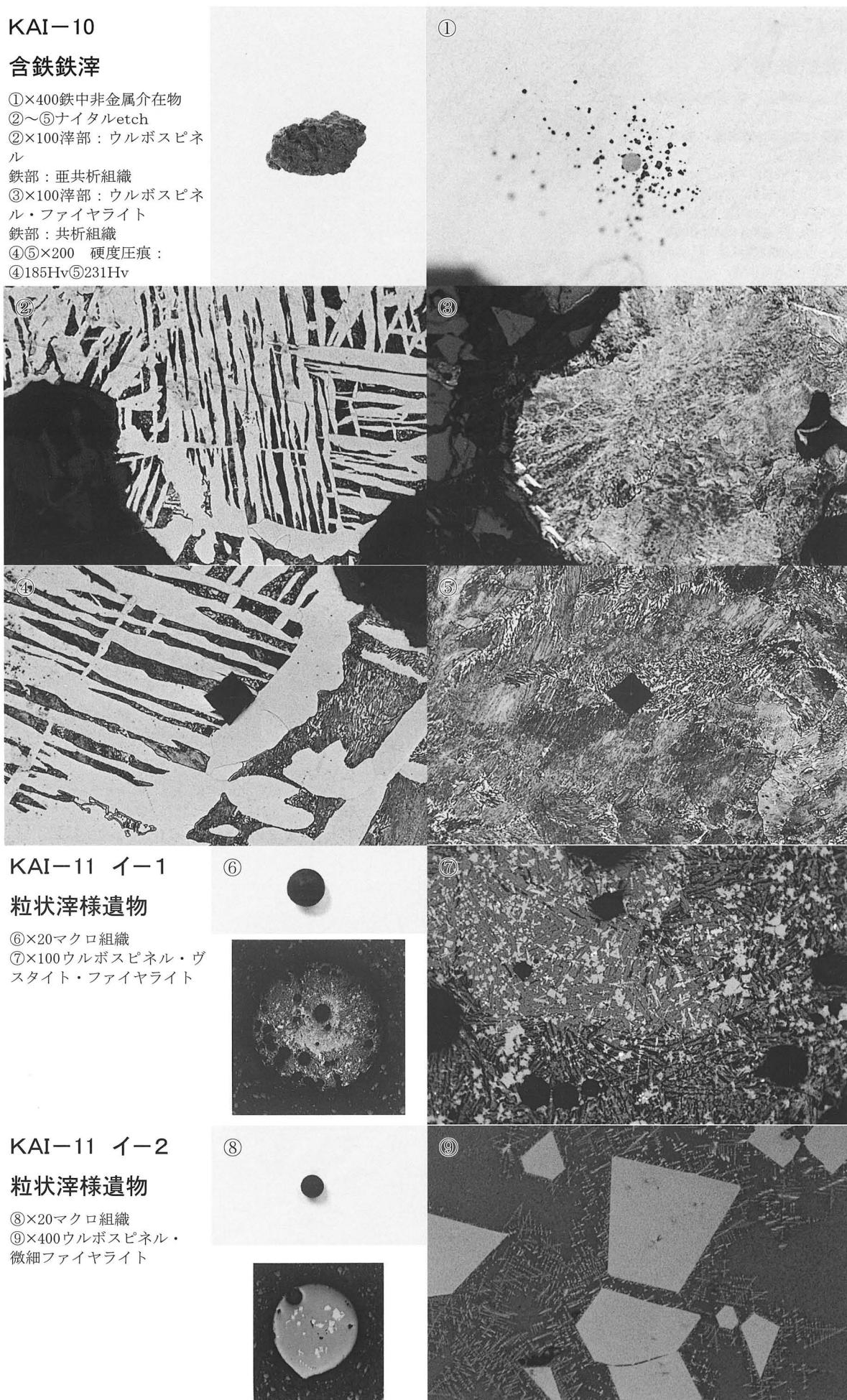
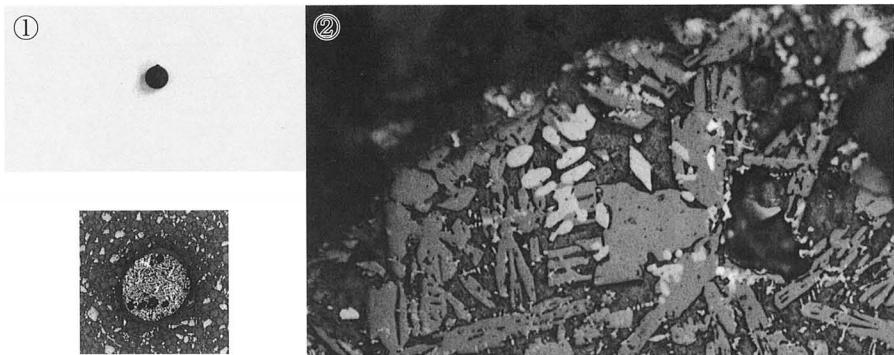


Photo. 6 含鉄鉄滓・粒状滓様遺物の顕微鏡組織

KAI-11 イー3

粒状滓様遺物

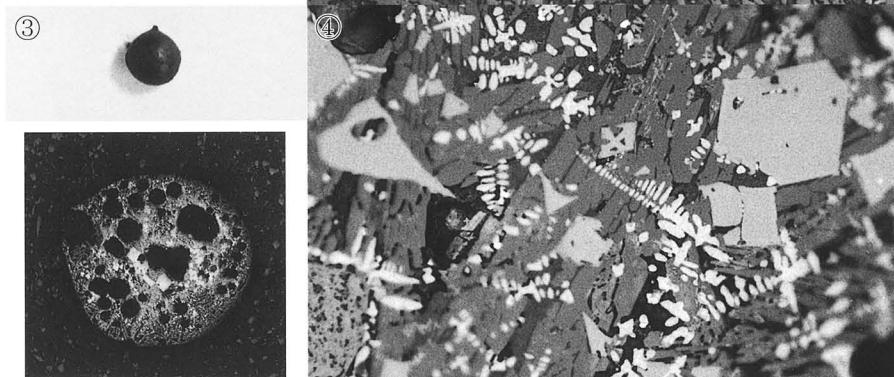
①×20マクロ組織
 ②×400 ヴスタイト・ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体・ファイヤライト



KAI-11 ロー1

粒状滓様遺物

③×20マクロ組織
 ④×400 ウルボスピネル・ヴズタイト・ファイヤライト



KAI-11 ロー2

粒状滓様遺物

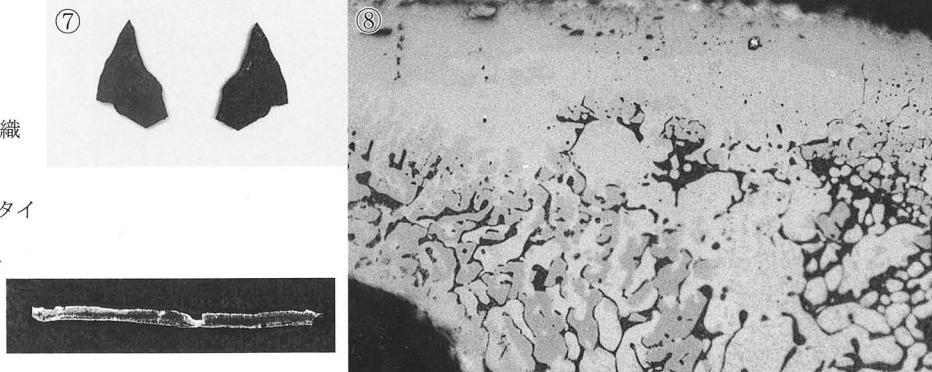
⑤×20マクロ組織
 ⑥×400 ウルボスピネル・ヴズタイト・微細ファイヤライト



KAI-12 ロー1

鍛造剥片様遺物

⑦×20王水etchマクロ組織
 ⑧×400 no etch
 3層分離型?
 内層部分明色部:マグネタイト
 ト
 暗色部:ウルボスピネル
 黒色部:ガラス質滓
 微細ファイヤライト



KAI-12 ロー2

鍛造剥片様遺物

⑨×20王水etchマクロ組織
 ⑩×400 no etch
 マグネタイト凝集か

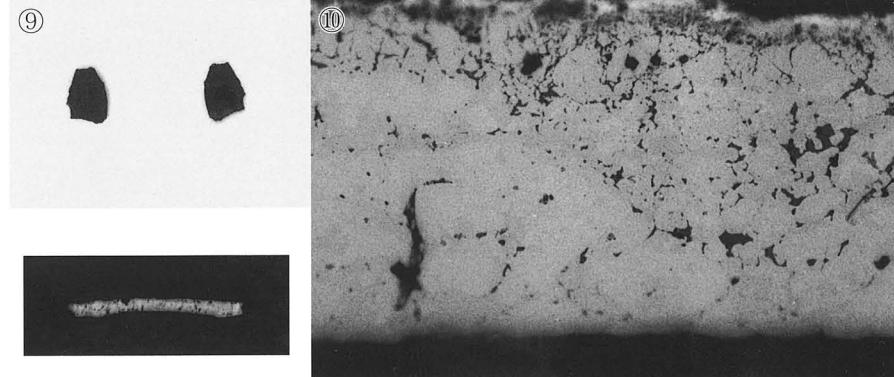
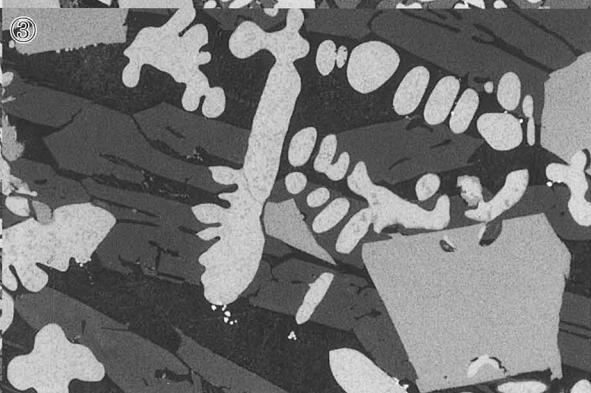
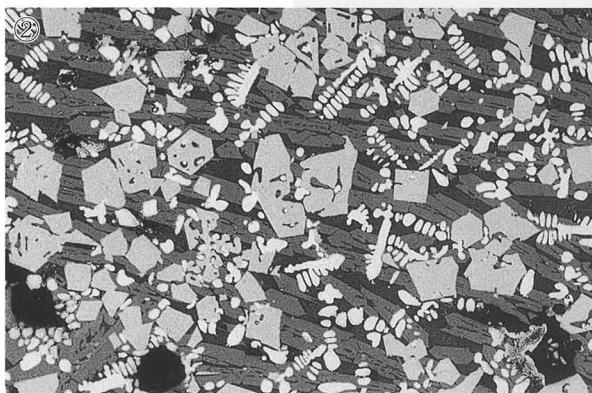
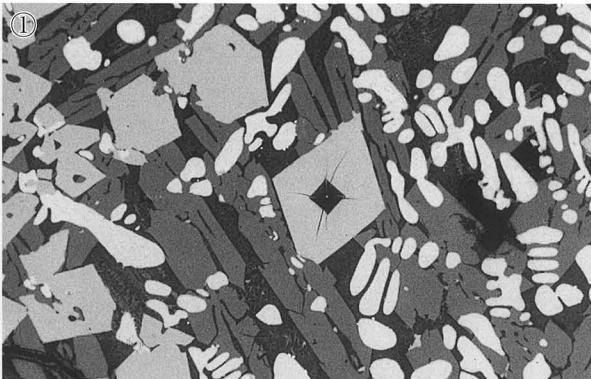
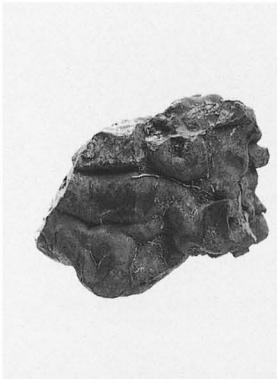


Photo. 7 粒状滓様遺物・鍛造剥片の顕微鏡組織

KAI-13

流出孔津

- ①×200硬度圧痕：750Hv
ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体か
②×100③×400ウルボスピネル・ヴスタイト（粒内微小晶出物あり）・ファイヤライト



KAI-14

炉内津

- ④×200硬度圧痕：504Hv
ヴスタイト（粒内微小晶出物あり）か
⑤×100⑥×400砂鉄粒子痕跡
・ヴスタイト（粒内微小析出物あり）
・微小ヘーシナイト・ファイヤライト
⑦×100⑧×400中央：マグネタイト・ヘーシナイト・ウルボスピネルの固溶体

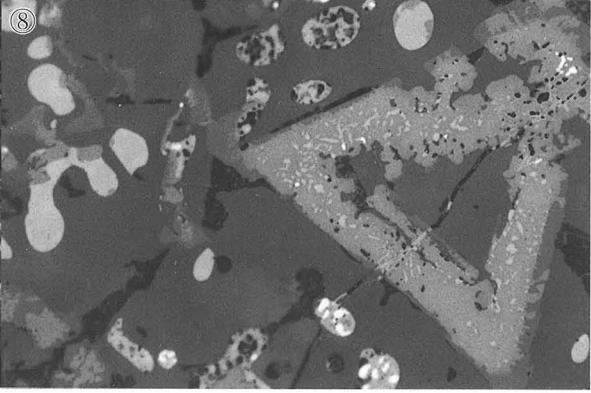
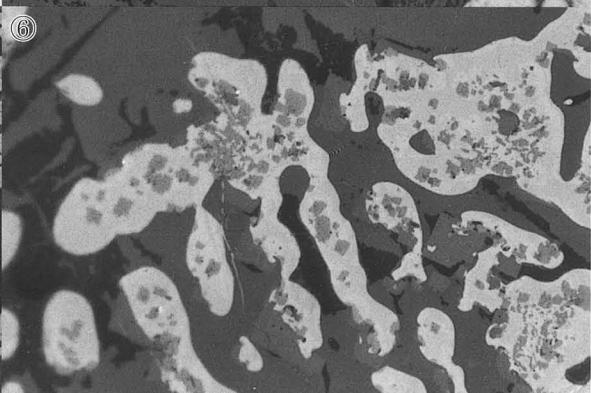
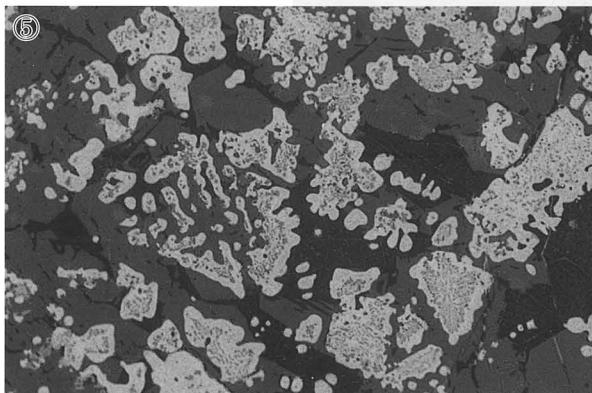
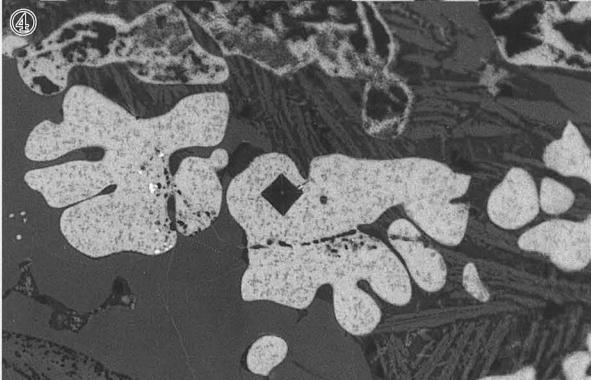
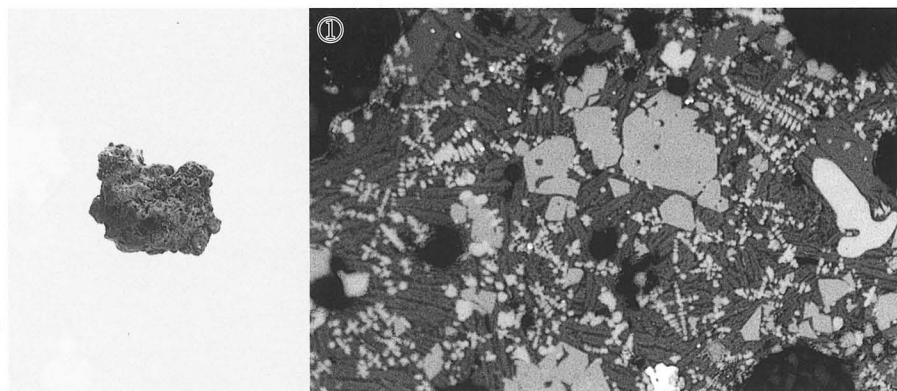


Photo.8 流出孔津・炉内津の顕微鏡組織

KAI-15

含鉄鉄滓

- ①×100滓部：ウルボスピネル・ヴァサイト・ファイヤライト
②③×400鉄中非金属介在物
④～⑨ナイタルetch
④×100過共析組織
⑤×100亜共晶組成白鑄鉄
⑥～⑨×200硬度圧痕：⑥302Hv⑦263Hv⑧331Hv⑨677Hv



②

③

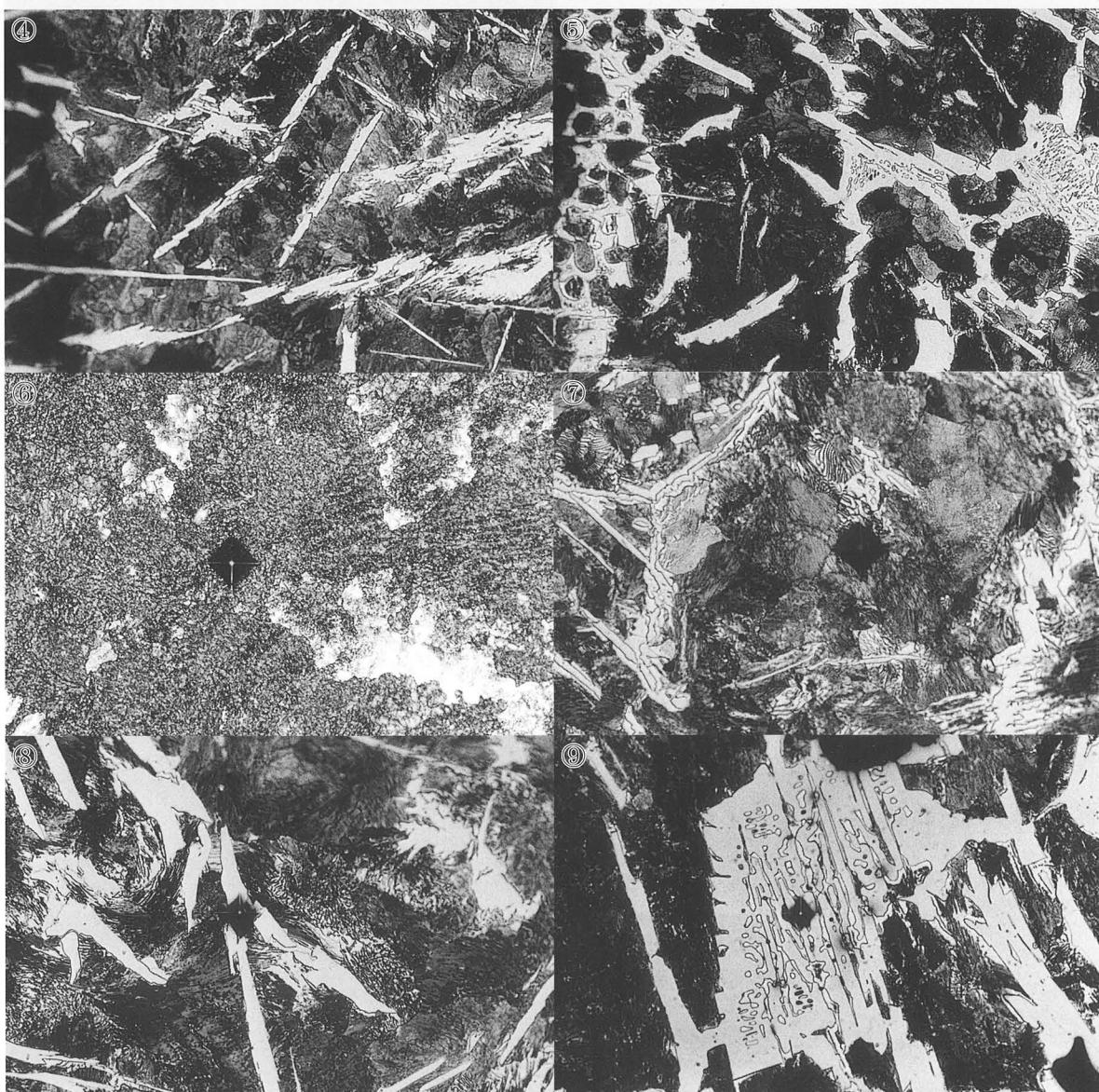


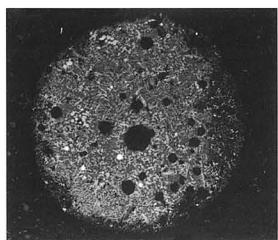
Photo. 9 含鉄鉄滓の顕微鏡組織

KAI-16 イー1

粒状津様遺物

①×20マクロ組織

②×400白色部：金属鉄粒
ヴスタイト・ファイヤライト

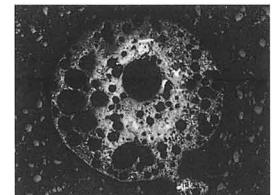
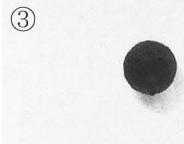


KAI-16 イー2

粒状津様遺物

③×20マクロ組織

④×400ウルボスピネル・
ヘシナイト・ヴスタイト・
ファイヤライト

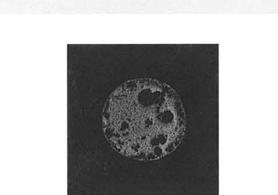


KAI-16 イー3

粒状津様遺物

⑤×20マクロ組織

⑥×400マグネタイトないし
はウルボスピネル・ヴスタイ
ト

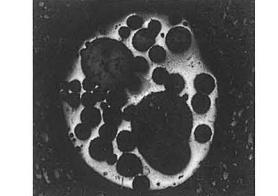
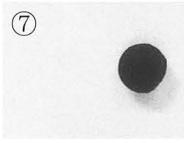


KAI-16 ロー1

粒状津様遺物

⑦×20マクロ組織

⑧×400マグネタイトないし
はウルボスピネル
微細ファイヤライト



KAI-16 ロー2

粒状津様遺物

⑨×20マクロ組織

⑩×400マグネタイトないし
はウルボスピネル

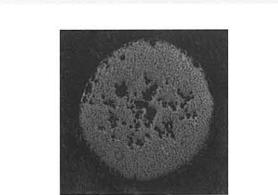
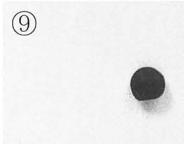
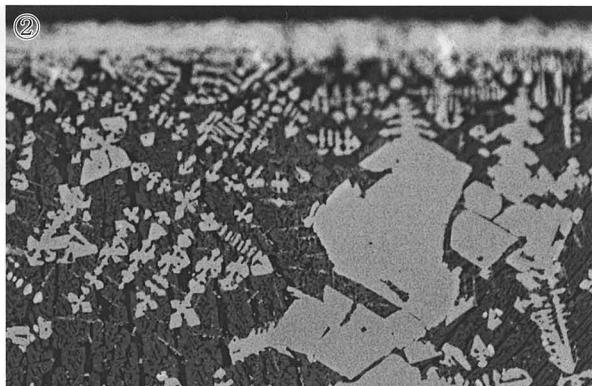


Photo. 10 粒状津様遺物の顕微鏡組織

KAI-17 イー1 ①

鍛造剥片様遺物(製錬滓片)

①×20マクロ組織
②×400表層：マグネタイト？
内部：ウルボスピネル・ファイアライト



KAI-18

流動滓

③×200硬度圧痕：708Hv
ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体か
+ファイアライト



KAI-19

鉄塊系遺物

④×400鉄中非金属介在物
⑤～⑦ナイタルetch
⑤×50表層側：亜共晶組成
白鑄鐵～内側：過共析組織
⑥⑦×200硬度圧痕：⑥696Hv
v⑦262Hv

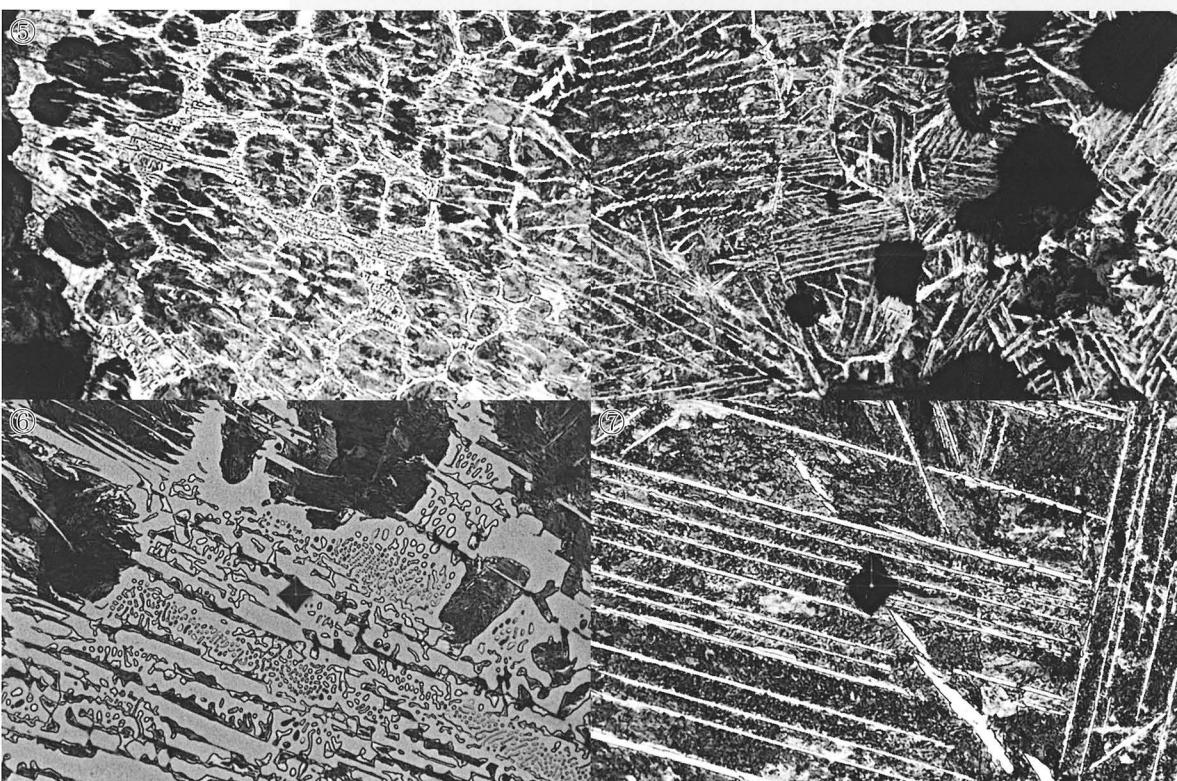
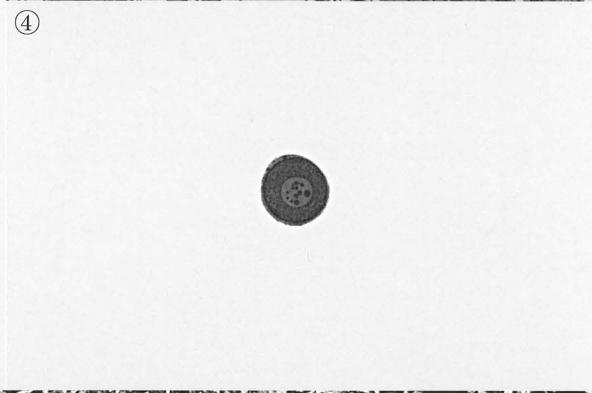
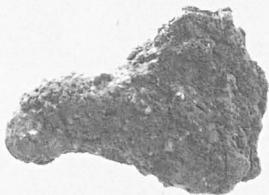


Photo.11 鍛造剥片様遺物・流動滓・鉄塊系遺物の顕微鏡組織

鉄塊系遺物

- ①～④ $\times 100$: 淚部
 ①シードブルーカイ
 ないしルチル晶出 2次的な付着津
 ②砂鉄粒子痕跡 ③④ナイタルetch
 ③ガストサイト凝集・ウルボスピネル
 ④表層: ヘマタイト・マグネタイト・ガ
 スタイトか
 ⑤～⑨ナイタルetch 金属鉄: フェライト
 ⑤ $\times 100$ ⑥ $\times 100$ ⑦ $\times 400$ 双晶痕跡
 ⑧ $\times 1000$ ⑨ $\times 400$

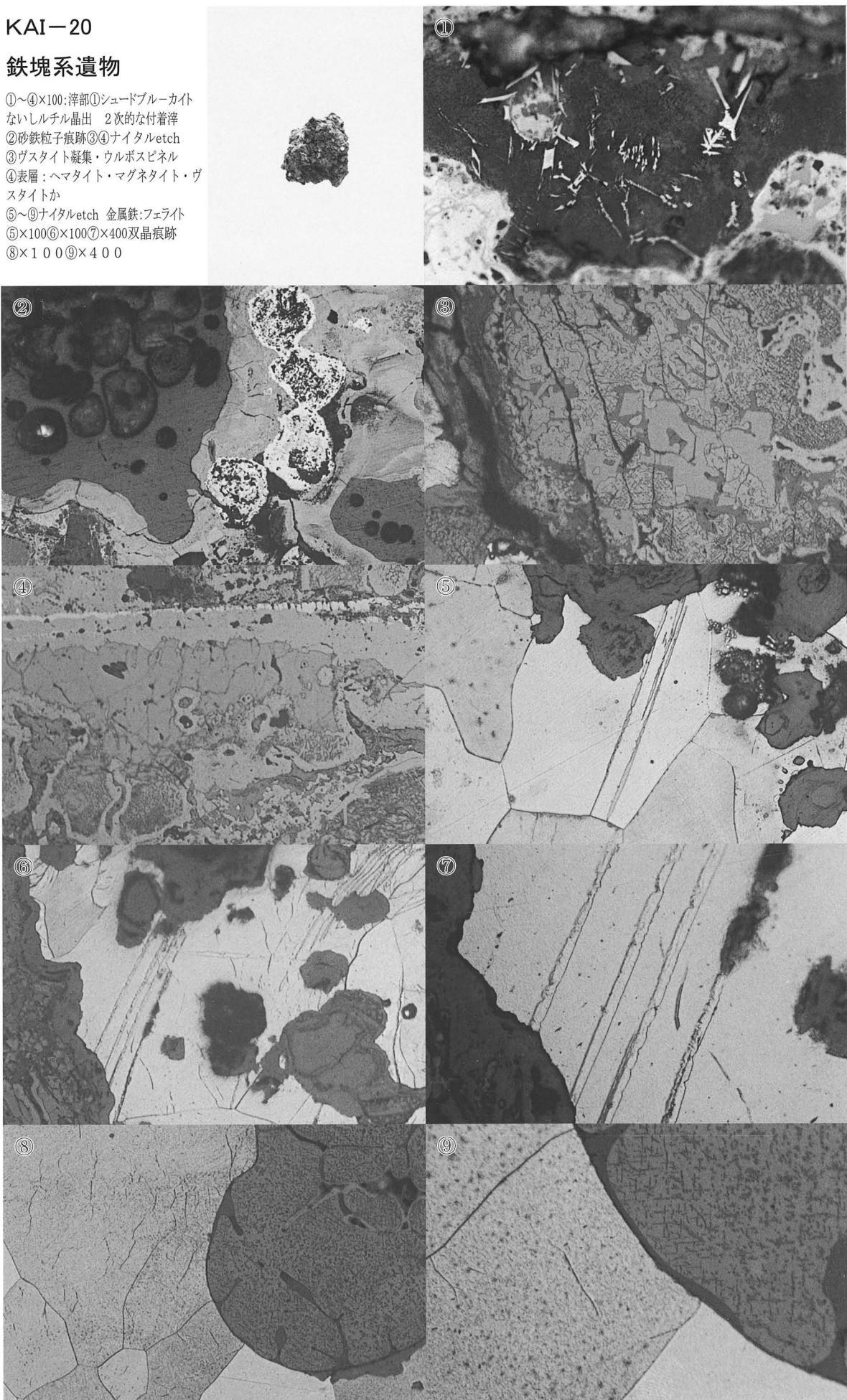
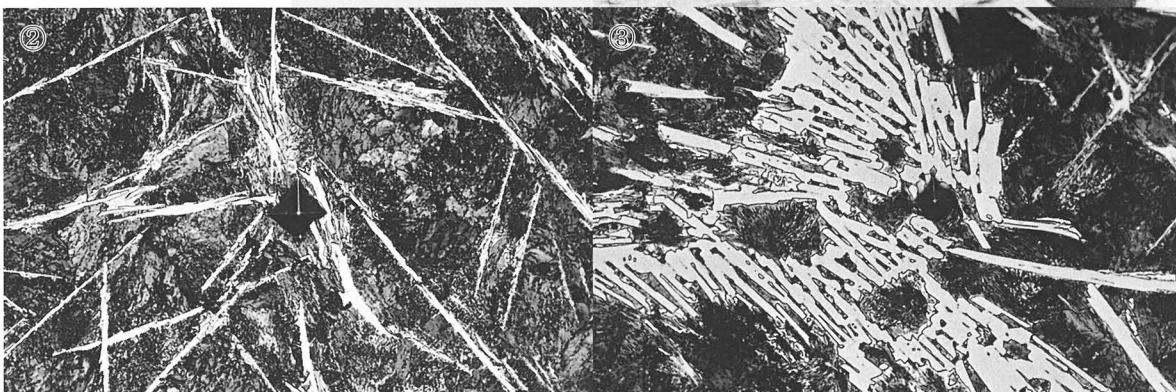
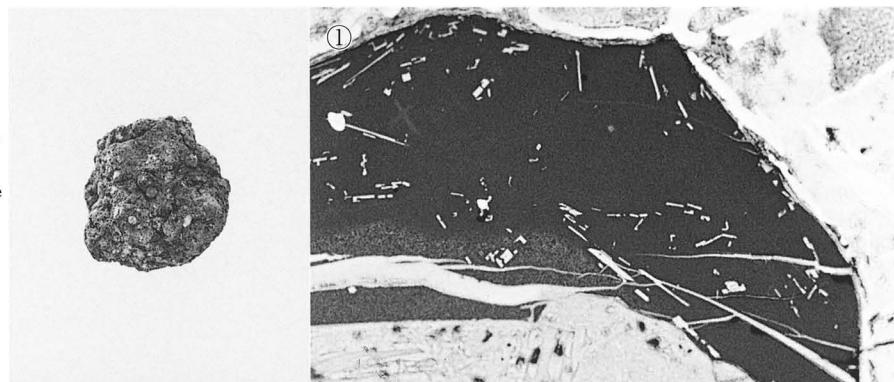


Photo. 12 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

KAI-21

炉内滓（含鉄）

- ①×200滓部：イルミナイトないしルチル
②③×200金属鉄：ナイタルetch
②253Hv 過共析組織
③429Hv 亜共晶組成
白鉄
白鉄鉄



KAI-22

炉内滓（含鉄）

- ④～⑧ナイタルetch
④×100⑤×400表層滓部：イルミナイト
鉄部：白色部上部ベイナイト
地：下部ベイナイト
⑥×200硬度圧痕：180Hv
⑦×100同上
⑧×200硬度圧痕：116Hv

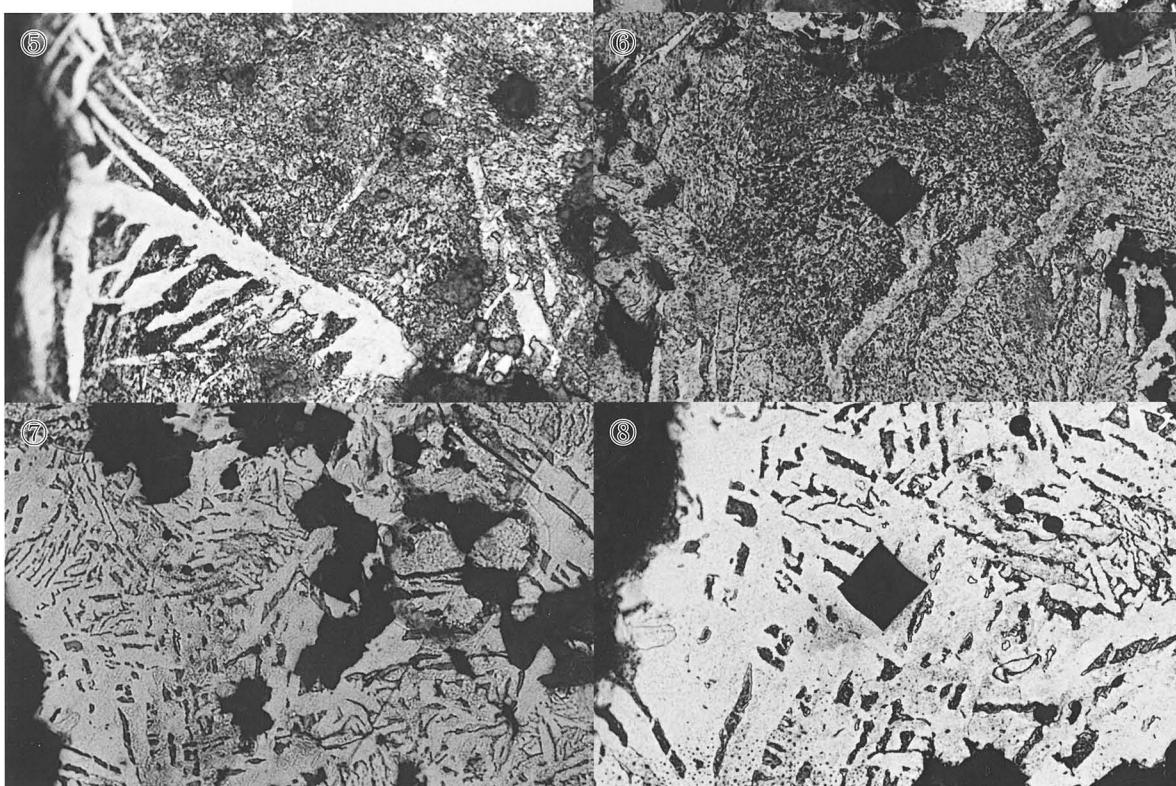
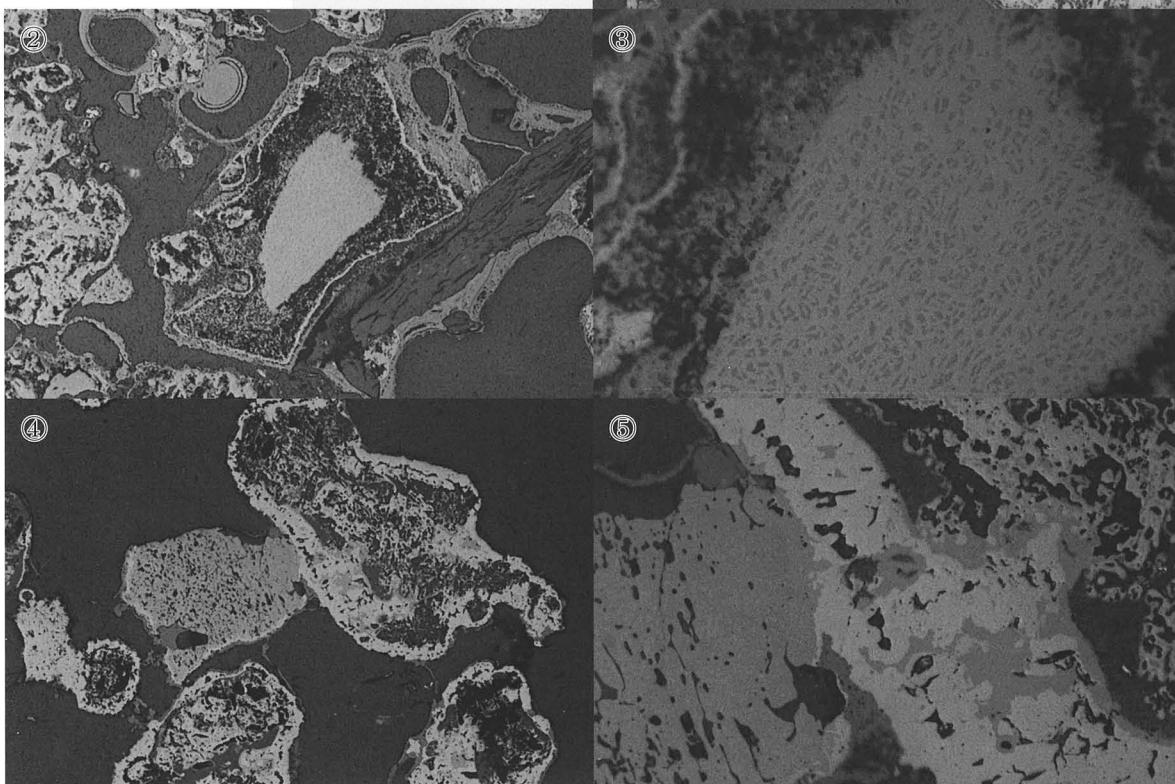


Photo.13 炉内滓（含鉄）の顕微鏡組織

KAI-24

砂鉄焼結塊

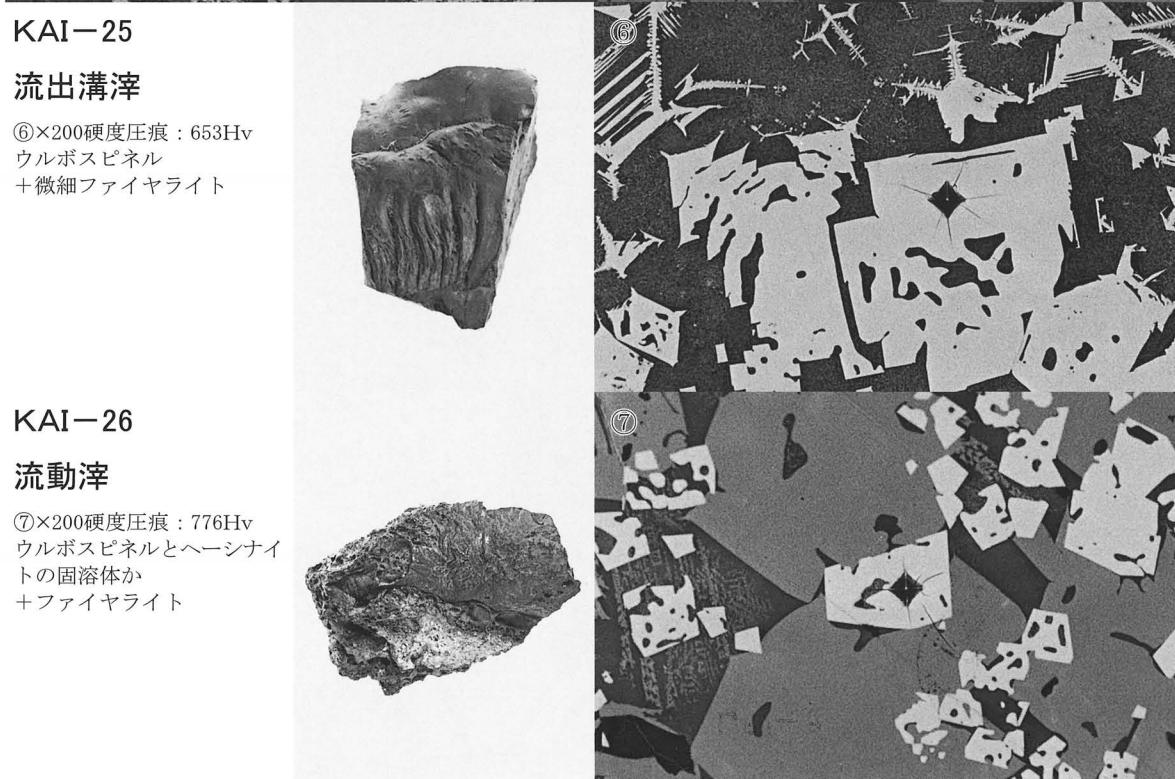
①×100被熱砂鉄・チタン鉄鉱
格子組織痕跡残存
②×100③×400 中央：半還元
砂鉄粒子、内側白色部：マグネタイト
ト暗色部：ウルボスピネルないしは
チタノマグネタイト
④×100⑤×400白色部：ヘマタイト
イト
暗色部：マグネタイトか



KAI-25

流出溝滓

⑥×200硬度圧痕：653Hv
ウルボスピネル
+微細ファイアライト



KAI-26

流動滓

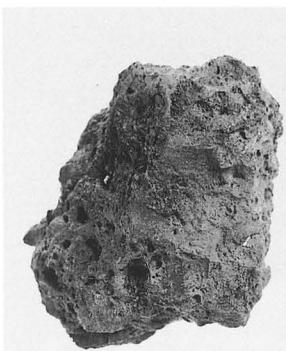
⑦×200硬度圧痕：776Hv
ウルボスピネルとヘーシナイ
トの固溶体か
+ファイアライト

Photo. 14 砂鉄焼結塊・流出溝滓・流動滓の顕微鏡組織

KAI-27

炉内滓（含鉄）

①×100中央：砂鉄粒子痕跡
粒内微小白色粒：金属鉄
ウルボスピネルとヘシナイトの固溶体・ファイヤライト



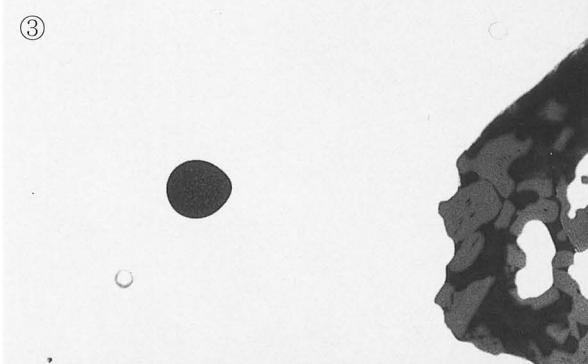
KAI-28

炉内滓（含鉄）

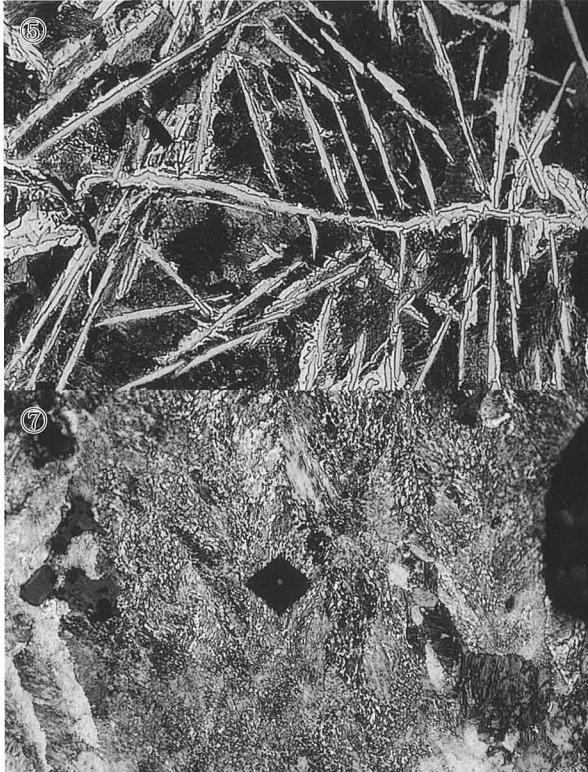
②×400滓部：ウルボスピネル・ヴスタイト・ファイヤライト
③×400鉄中非金属介在物
④～⑧ナイタルエッチ
④×100共析組織
⑤×100過共析組織
⑥～⑧×200硬度圧痕：⑥136 Hv
⑦223Hv⑧248Hv



③



⑤



⑦

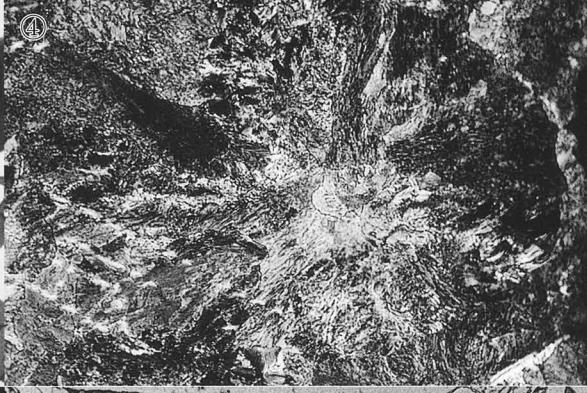
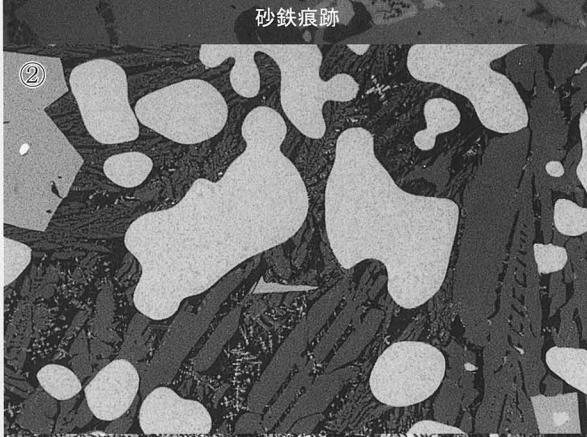
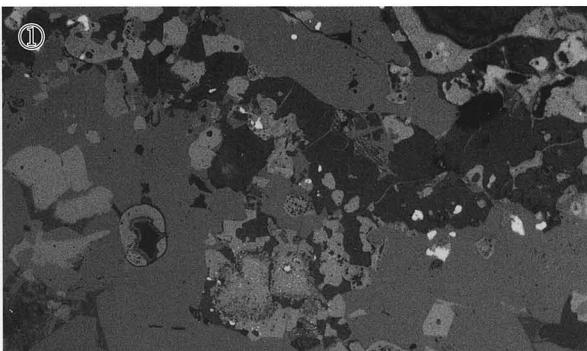
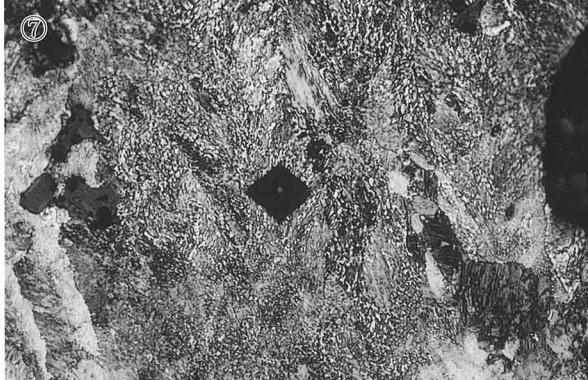
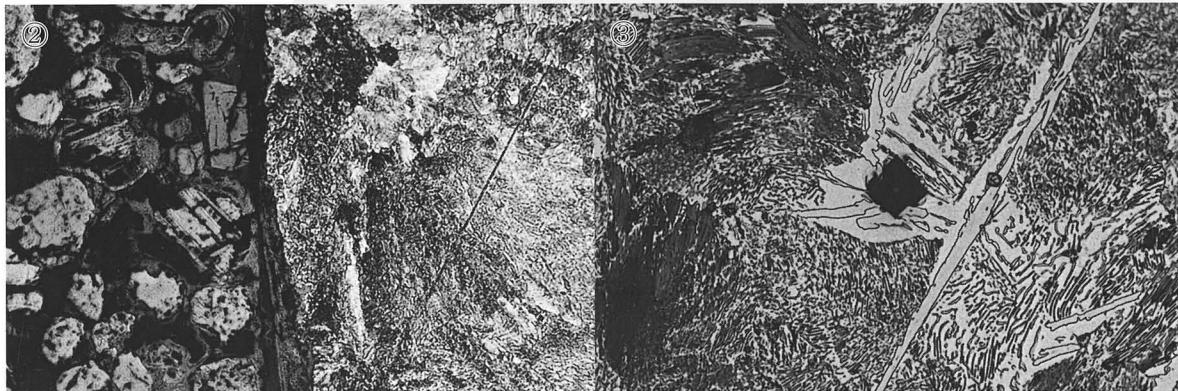
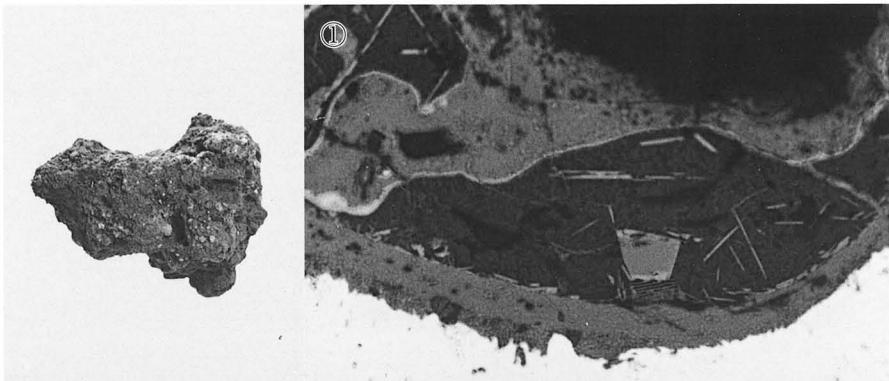


Photo. 15 炉内滓（含鉄）の顕微鏡組織

KAI-29

炉内滓 (含鉄)

- ①×200 淋部：イルミナイト・ウルボスピネル・微細ファイアライト
- ②③ナイタルetch
- ②×100表層：被熱砂鉄付着鉄部：共析組織
- ③×200硬度圧痕：238Hv
過共析組織



KAI-30

鉄塊系遺物

- ④～⑧ナイタルetch
- ④×100フェライト主体
- ⑤×100淋部：ウルボスピネル
淋部：白色部 上部ペイナイト
- ⑥×100淋部：ウルボスピネル・ヴスタイト 鉄部：下部
ペイナイト
- ⑦⑧×200硬度圧痕：⑦111H
v⑧172Hv

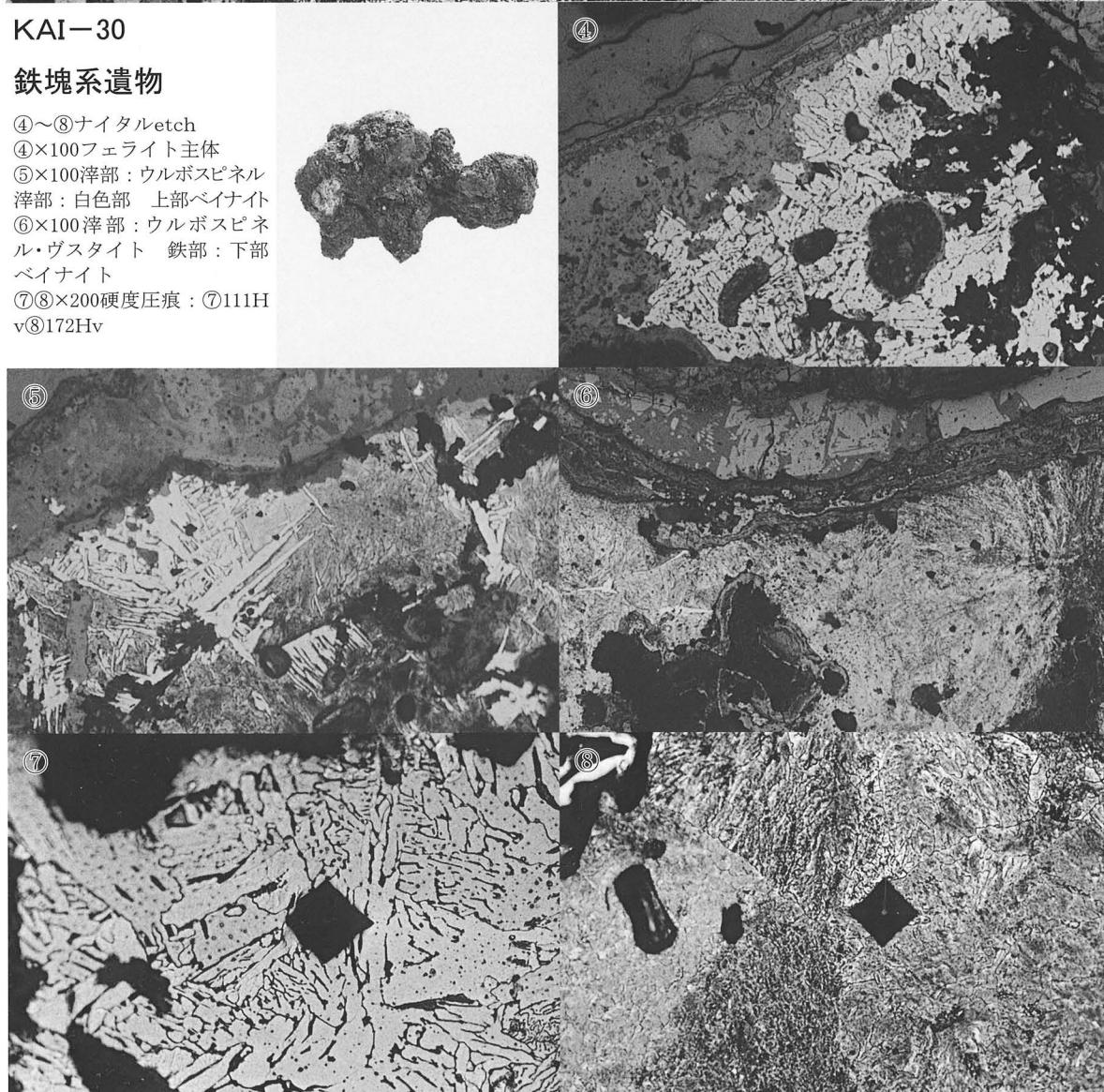


Photo. 16 炉内滓(含鉄)・鉄塊系遺物の顕微鏡組織

KAI-31

炉内滓（含鉄）

- ①×200滓部：ウルボスピネル
- ②×400鉄中非金属介在物
- ③～⑨ナイタルetch
- ③×100ねずみ鑄鉄
- ④×50⑤×100亜共晶組成白鑄鉄
- ⑥～⑨×200硬度圧痕：
- ⑥168Hv⑦180Hv
- ⑧617Hv⑨588Hv

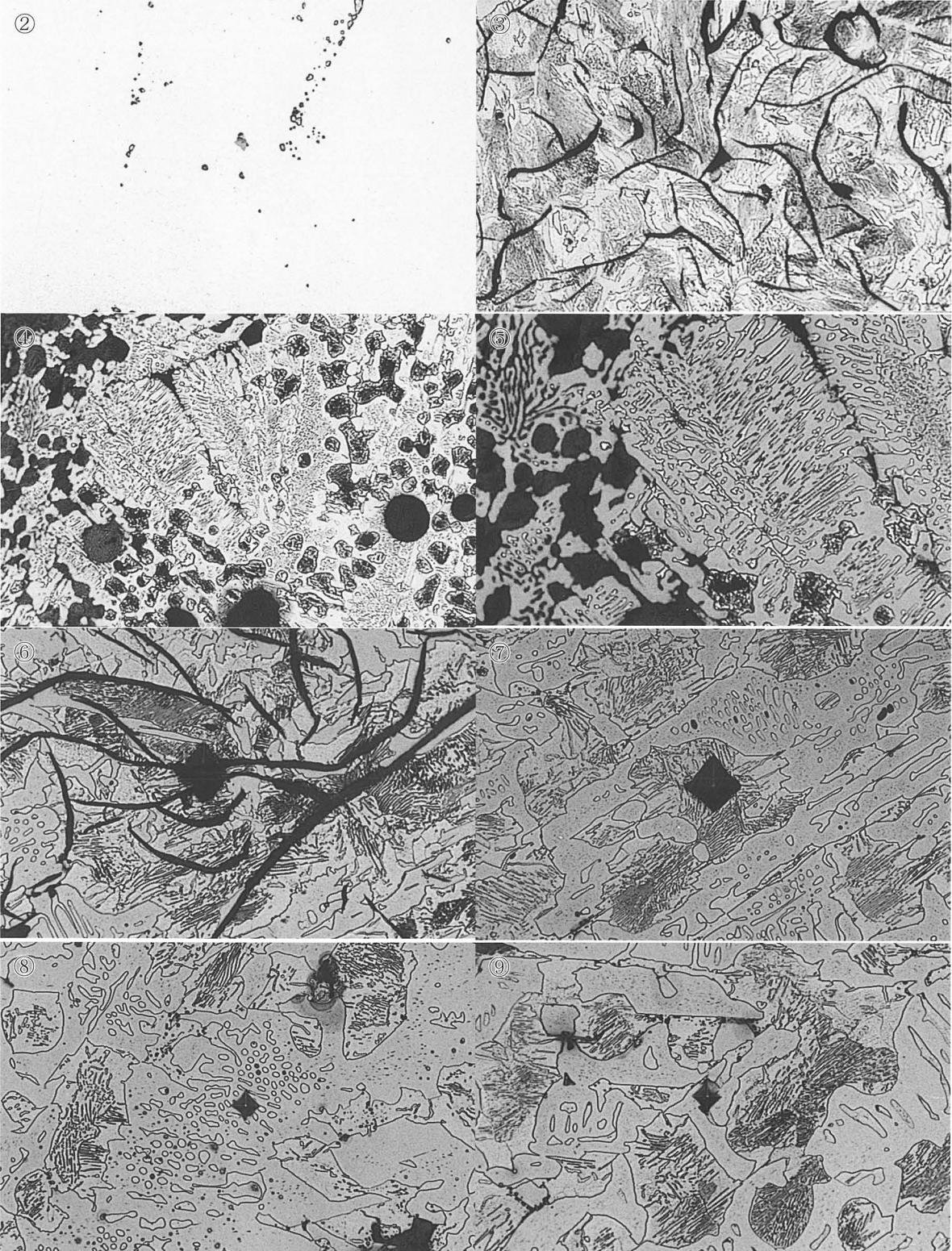
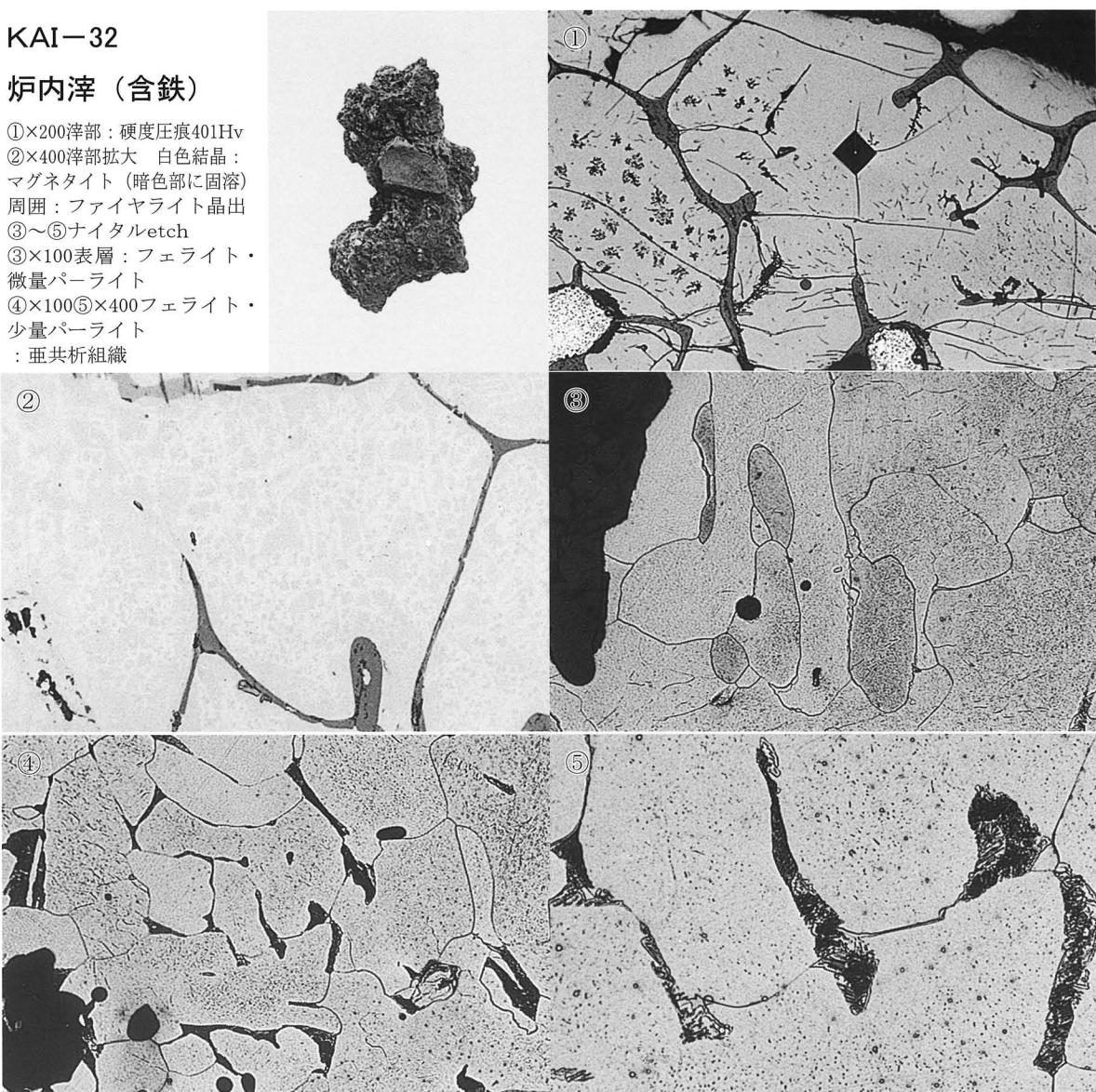


Photo. 17 炉内滓（含鉄）の顕微鏡組織

KAI-32

炉内滓 (含鉄)

- ①×200淬部：硬度圧痕401Hv
- ②×400淬部拡大 白色結晶：マグネタイト（暗色部に固溶）
- 周囲：ファイアライト晶出
- ③～⑤ナイタルetch
- ③×100表層：フェライト・微量パーライト
- ④×100⑤×400フェライト・少量パーライト
- ⑥～⑧：亜共析組織



KAI-33

鉄塊系遺物

- ⑥×100表層淬部：微小金属
鉄粒
- イルミナイトないしルチル
- ⑦⑧ナイタルetch
- ⑦×100亜共晶組成白鑄鐵
- ⑧×200硬度圧痕：621Hv

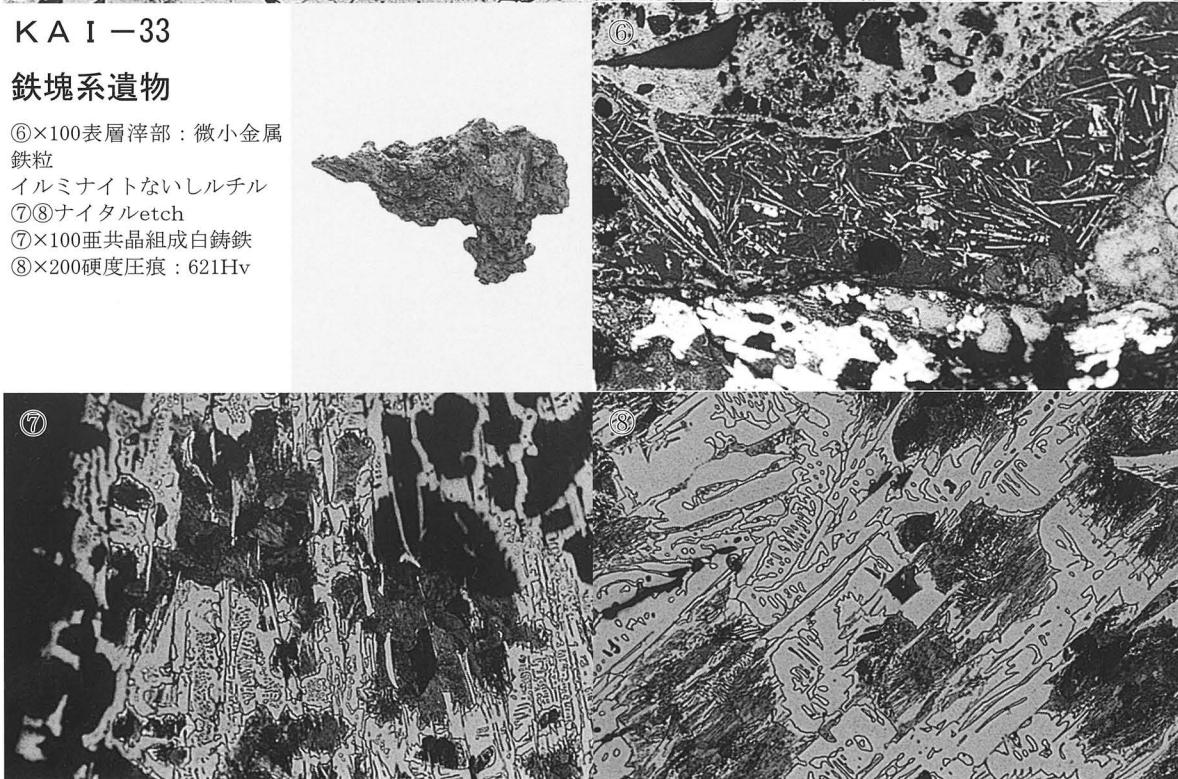
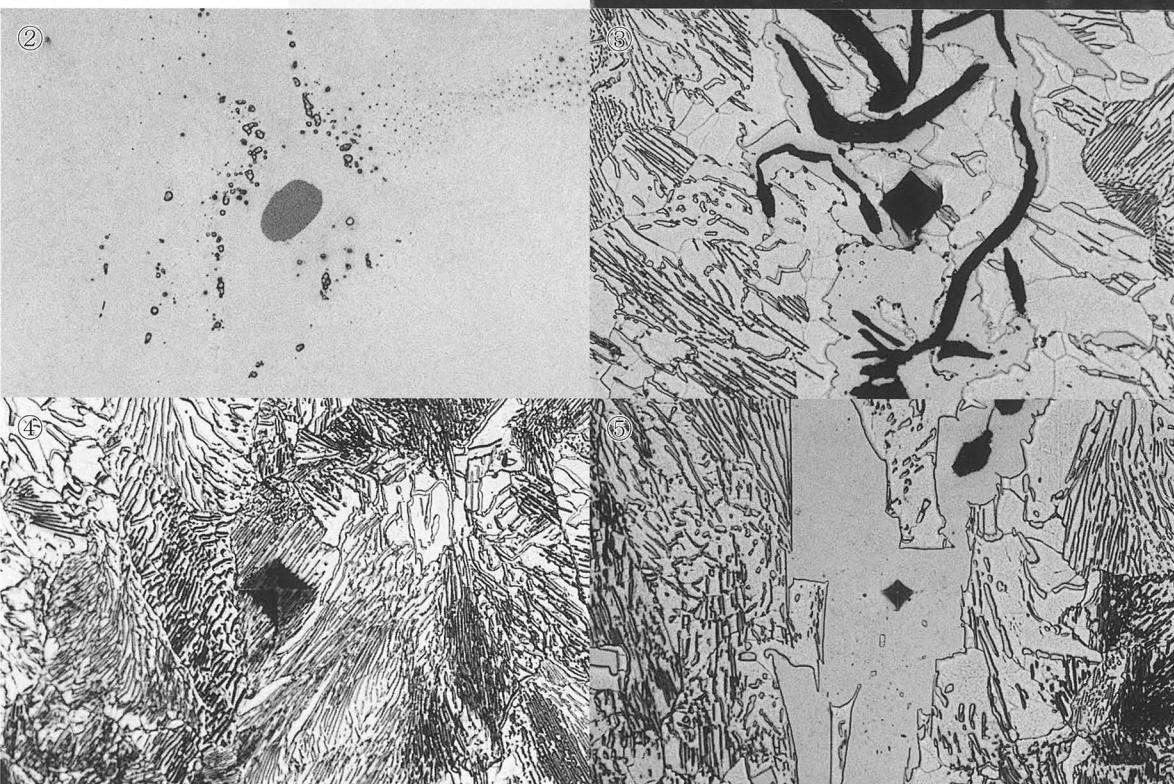


Photo. 18 炉内滓 (含鉄)・鉄塊系遺物の顕微鏡組織

KAI-34

鉄塊系遺物

- ①×100表層滓部：微小金属
鉄粒・イルミナイトないしル
チル
- ②×400鉄中非金属介在物
- ③～⑤×200ナイトルetch
硬度圧痕：ねずみ鑄鉄
③片状黒鉛・フェライト
217Hv
- ④ペーライト 168Hv
- ⑤セメンタイト 907Hv



KAI-35

鉄塊系遺物

- ⑥×100表層滓部：ウルボス
ピネル・ファイヤライト 白
色部：金属鉄
- ⑦⑧×200ナイトルetch硬度
圧痕：⑦過共析組織（セメン
タイト）906Hv
- ⑨亜共晶組成白鑄鉄
(レデブライト) 622Hv

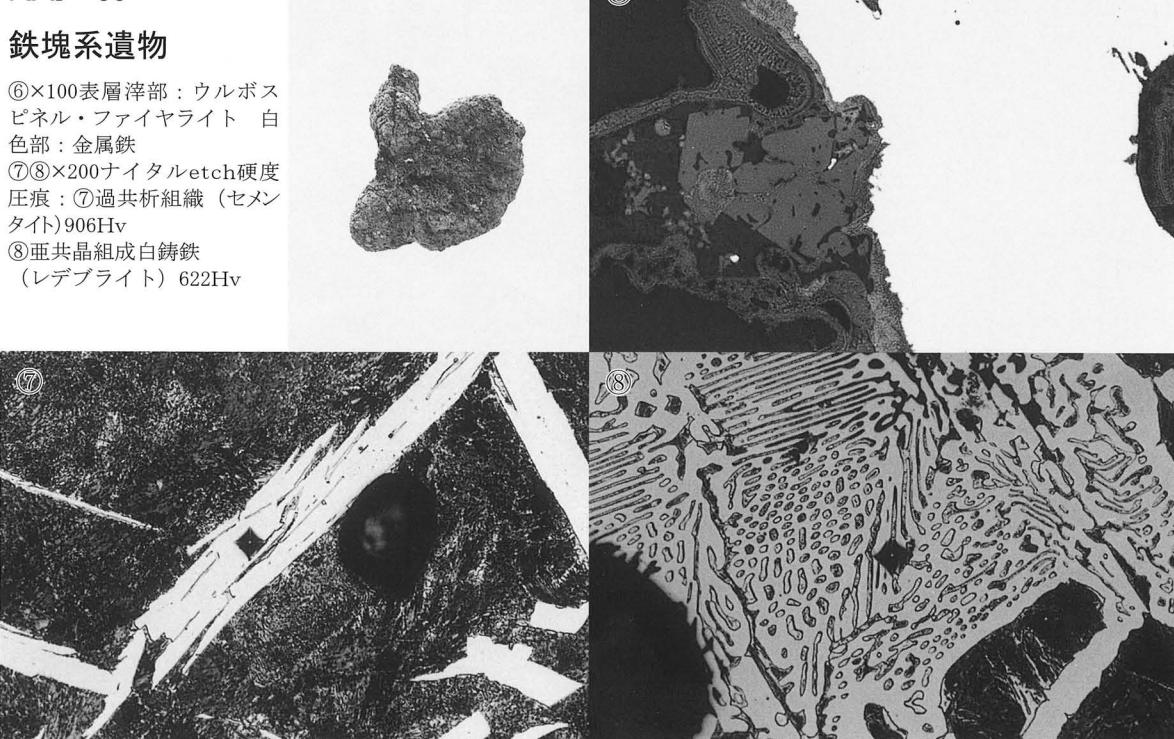
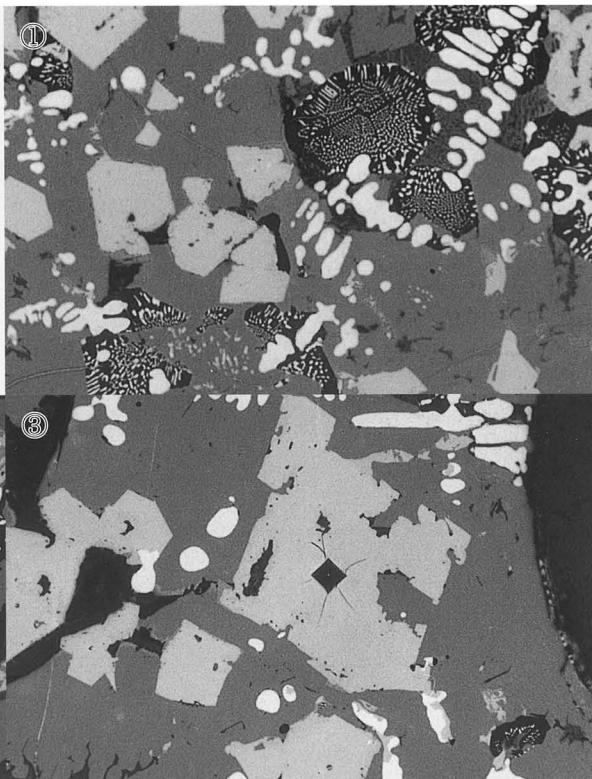


Photo.19 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

KAI-36

炉底塊

- ①×100ウルボスピネル・
ヴスタイト・ファイヤライト
- ②③×200硬度圧痕：
- ②501Hv ヴスタイトか
③698Hv ウルボスピネル



KAI-37

鉄塊系遺物

- ④×100滓部：ウルボスピネル
- ⑤×400鉄中非金属介在物
- ⑥～⑧ナイタルetch
- ⑥×100亜共晶組成白鑄鐵
- ⑦⑧×200硬度圧痕：
⑦434Hv⑧224Hv
過共析組織

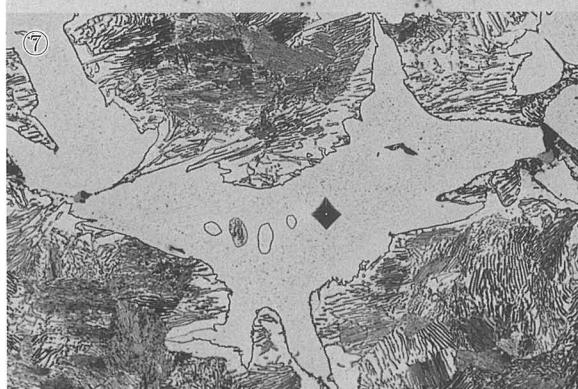
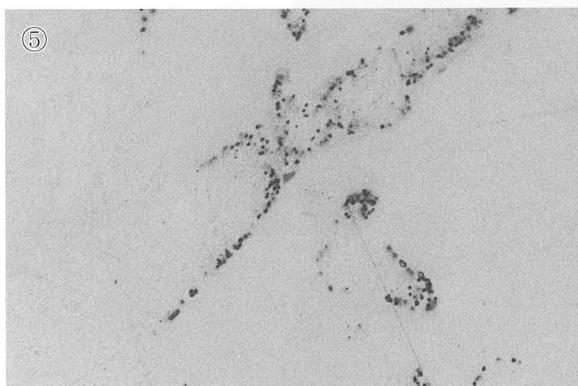
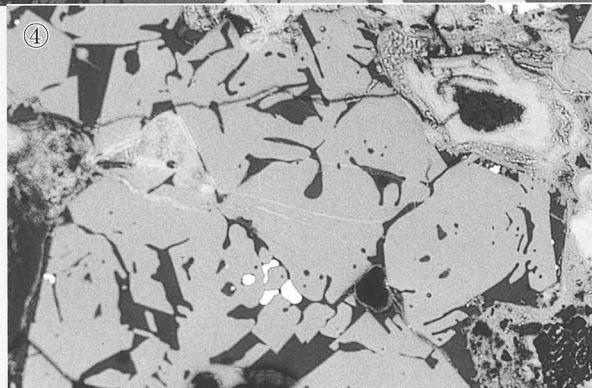


Photo. 20 炉底塊・鉄塊系遺物の顕微鏡組織

鉄塊系遺物

- ①×100 淋部：イルミナイト
ないしルチル
②×400 鉄中非金属介在物
③～⑨ ナイタル etch
④×100 ⑤×400 亜共晶組成白
鉄
⑥×100 ⑦×400 過共析組織
⑧⑨×200 硬度圧痕：
③433Hv
⑧225Hv ⑨547Hv

②

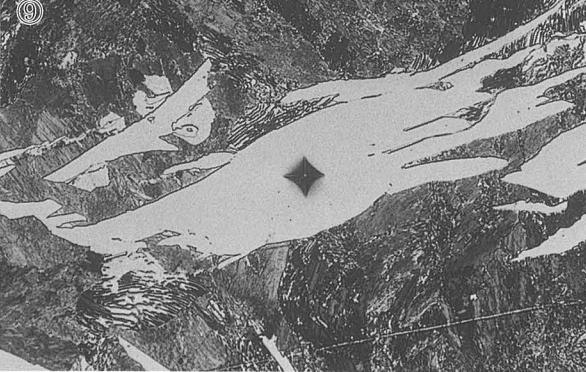
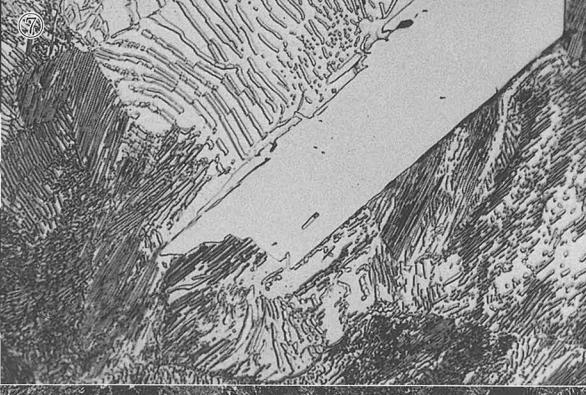
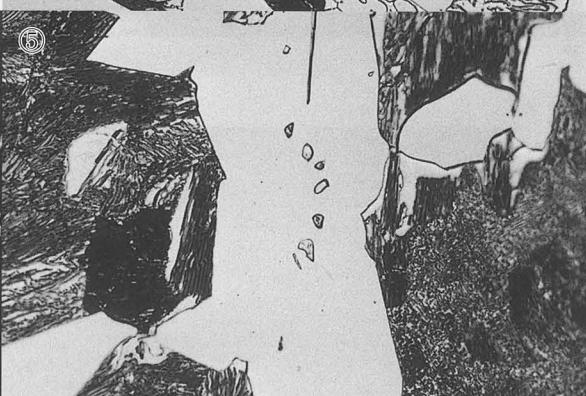
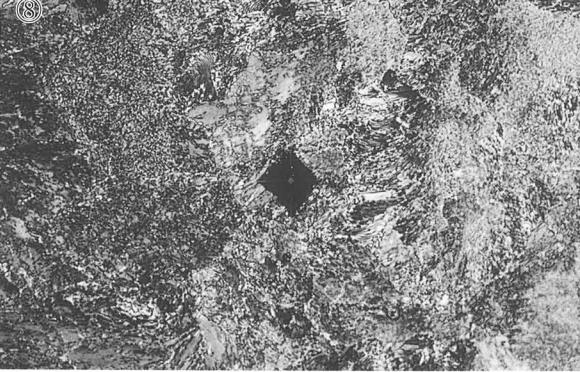
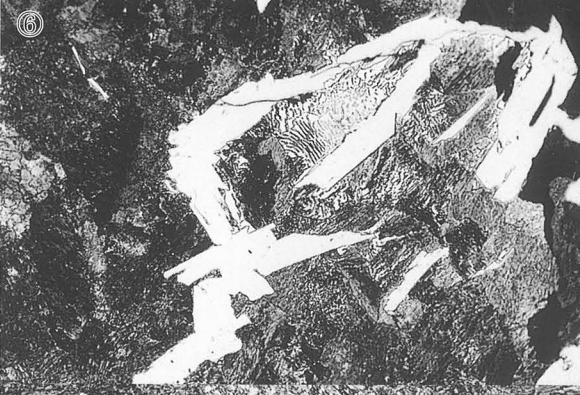
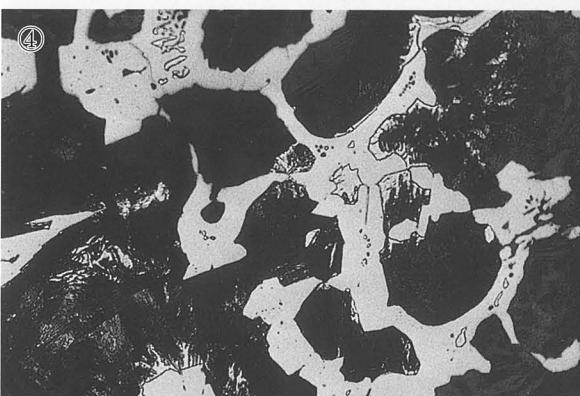


Photo. 21 鉄塊系遺物の顕微鏡組織