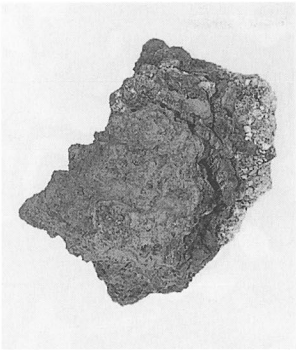
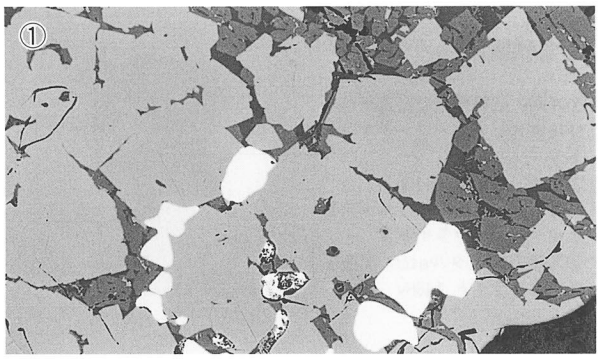
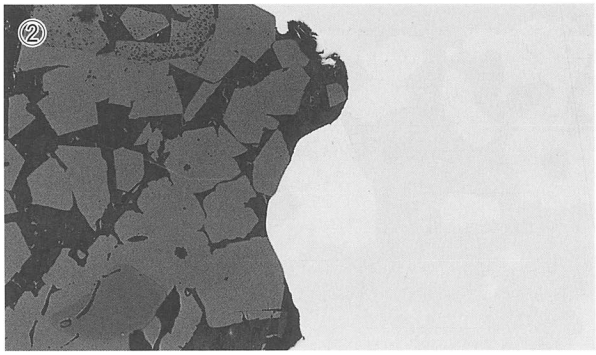
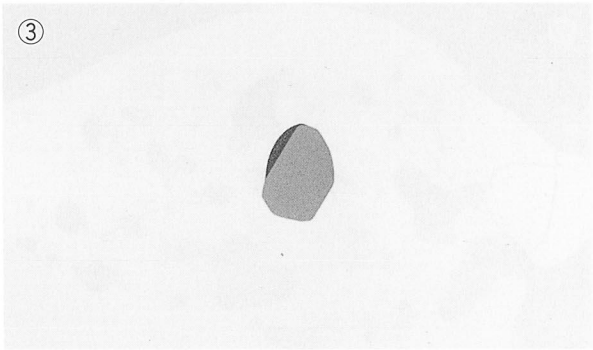
IRI-7
炉底塊（含鉄）

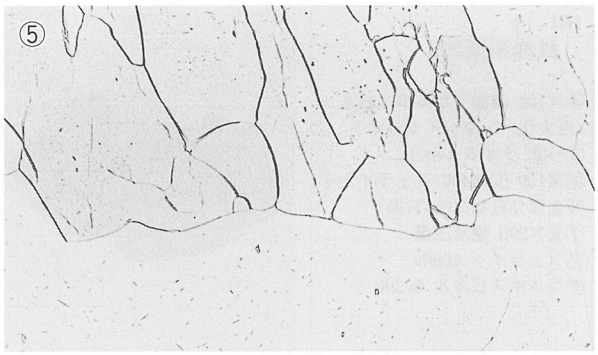
①×100 ウルボスピネル・ファイヤライト
②×100 滓部：ウルボスピネルと金属鉄
③×400 非金属介在物（Ti系）
④～⑨ ナイタルetch.
④×100 ⑤×400 フェライト
⑥×100 ⑦×400 パーライト少量析出
⑧⑨×200硬度 ⑧153Hv ⑨176Hv

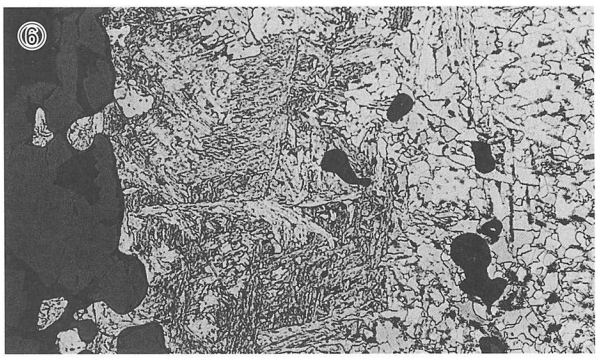


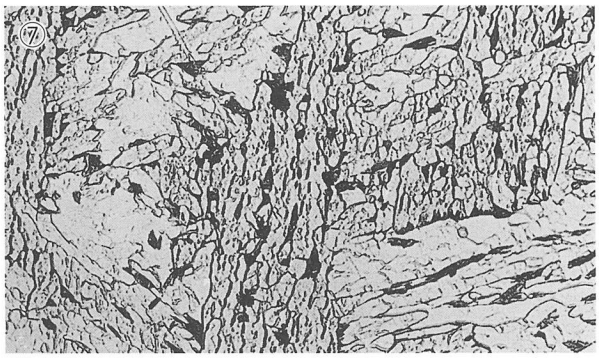


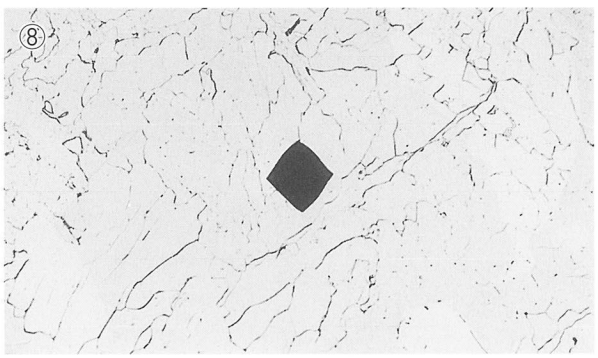












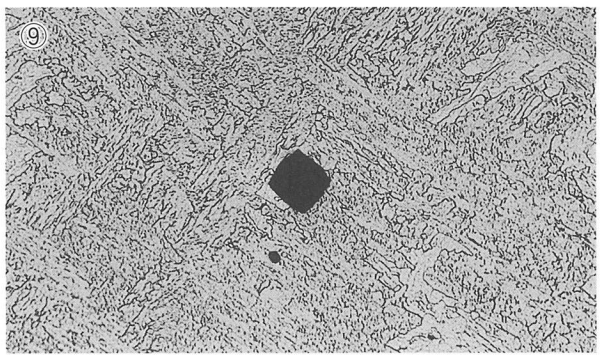
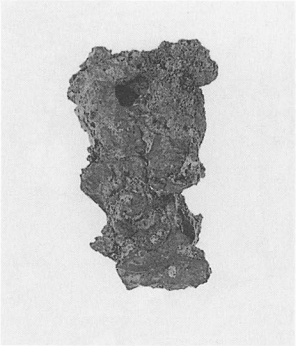
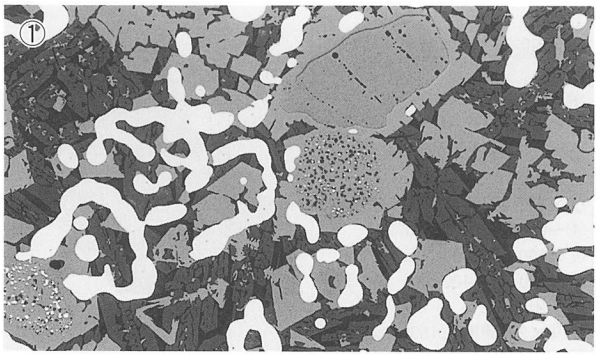


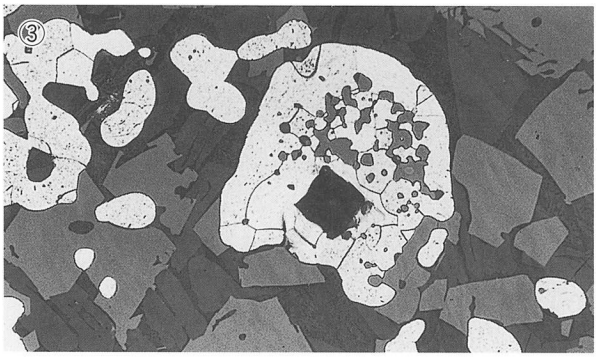
Photo.4　炉底塊（含鉄）の顕微鏡組織

IRI-8
含鉄鉄滓

①×400 砂鉄残骸と金属鉄粒
ウルボスピネル・ファイヤライト
②×400 ナイタルetch
鉄部：フェライト十ウルボスピネル・ファイヤライト
③×200 ナイタルetch 硬度圧痕：フェライト 148Hv

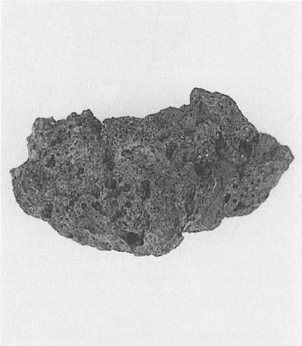


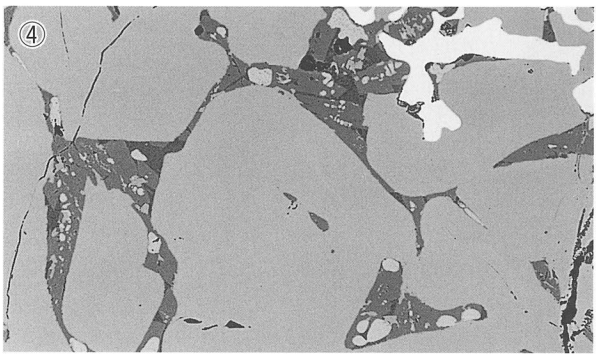


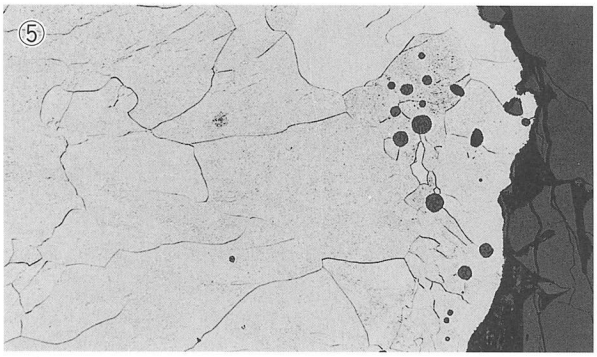


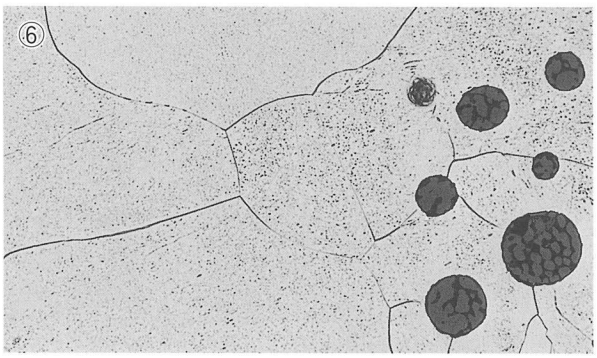
IRI-11
鉄塊系遺物

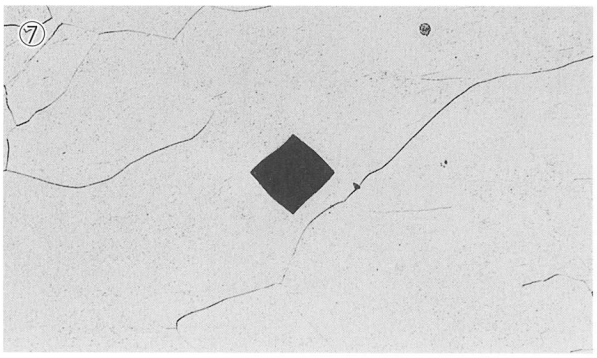
④×100 滓部：ウルボスピネル（巨大化）・ファイヤライト
⑤～⑧ ナイタルetch
④×100 ⑤×400 フェライト十非金属介在物（Fe-Ti系）
⑦⑧×200 硬度圧痕
⑦フェライト 106Hv
⑧ウルボスピネル 803Hv











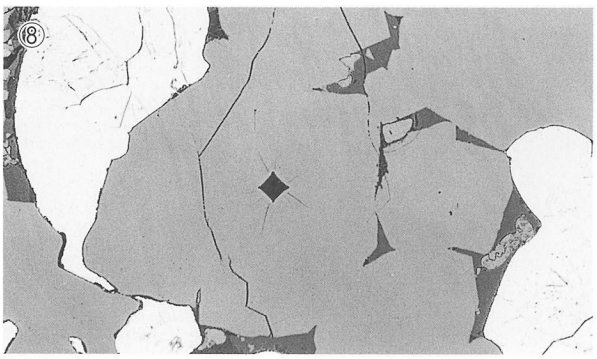
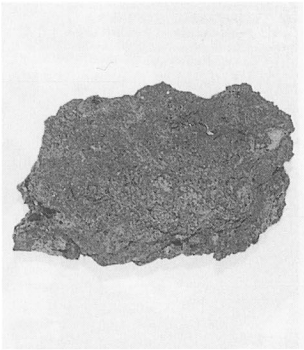
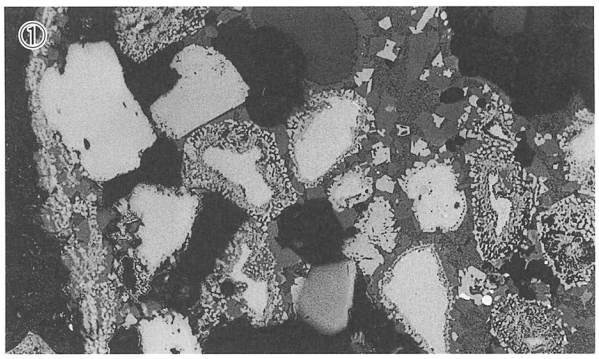


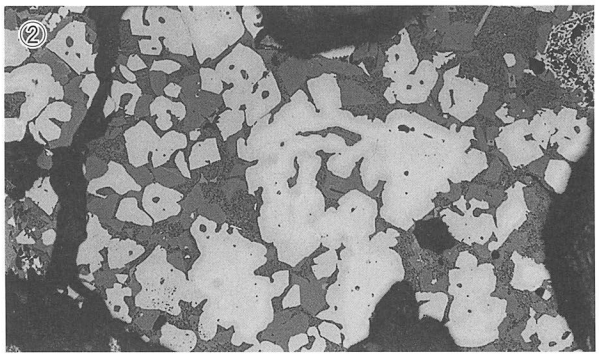
Photo.5　含鉄鉄滓・鉄塊系遺物の顕微鏡組織

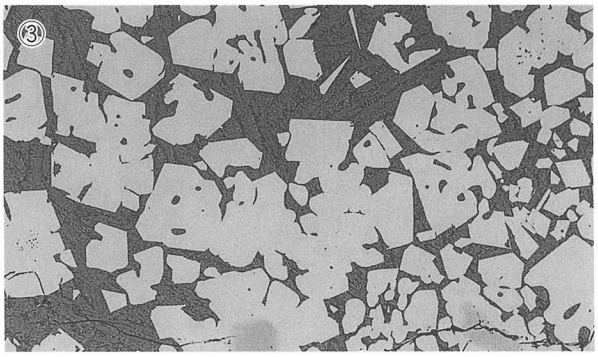
IRI-9
炉内滓

①×100 半還元砂鉄
②×100 砂鉄残骸 ウルボスピネル・ファイヤライト
③×100 ウルボスピネル結晶化ファイヤライト



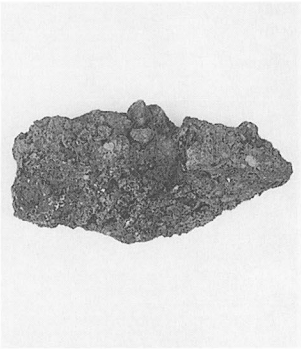


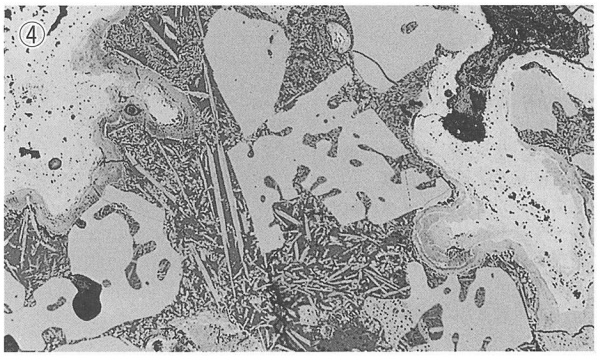


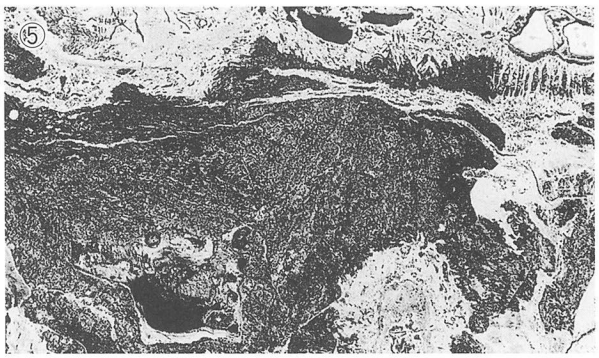


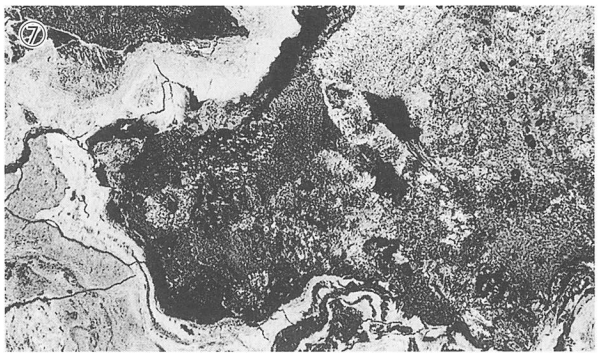
IRI-12
鉄塊系遺物

④×100 表皮スラグ：ウルボスピネル・イルミナイト
⑤～⑧ ナイタルetch
⑤×100 ⑥×400 パーライト
⑦×100 パーライト
⑧×200 硬度圧痕：パーライト 371Hv









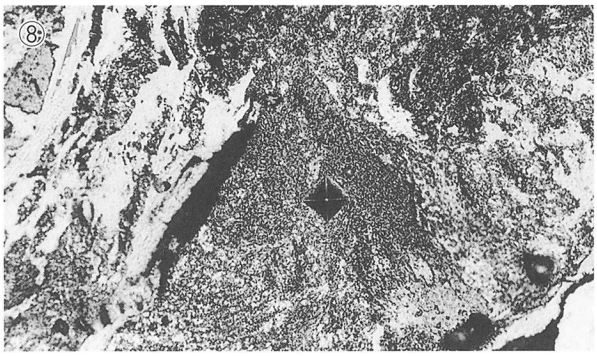
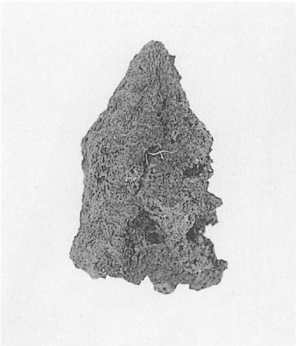
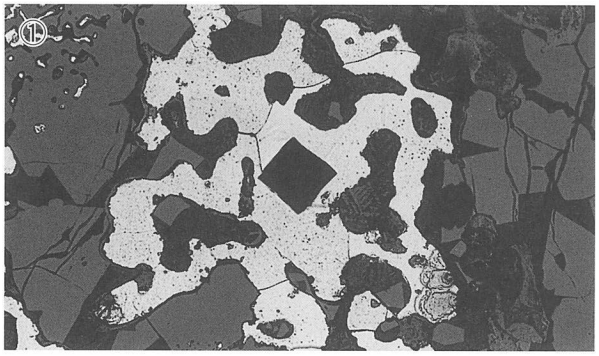


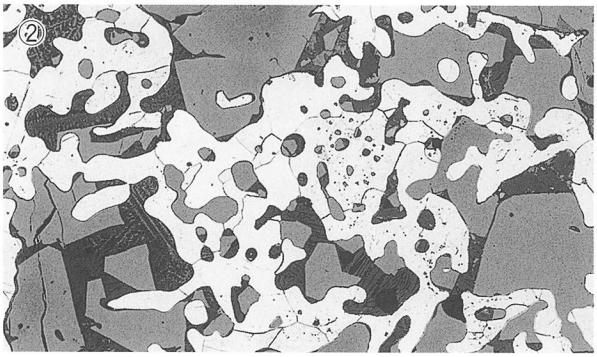
Photo.6　炉内滓・鉄塊系遺物の顕微鏡組織

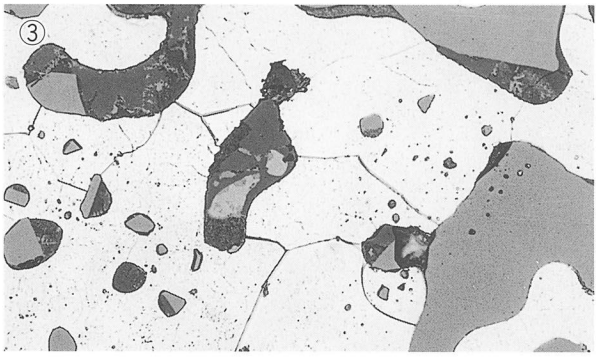
IRI-10
炉内滓（含鉄）

①～③ナイタルetch
①×200 硬度圧痕：フェライト 120Hv
②×100 ③×400 海綿鉄．フェライト十滓部 ウルボスピネル



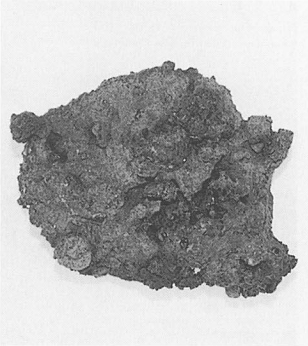


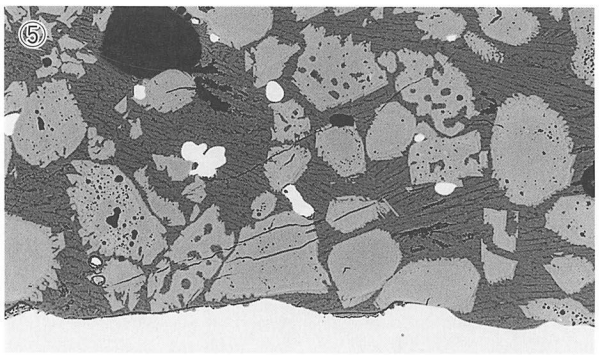


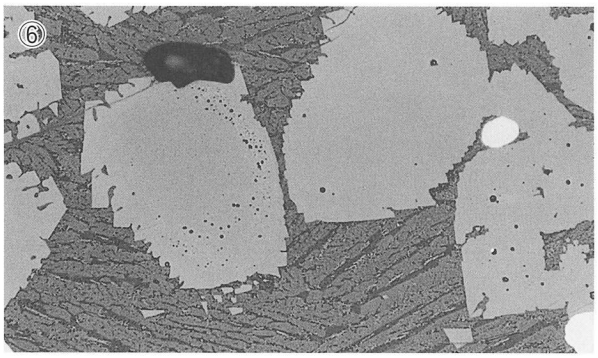


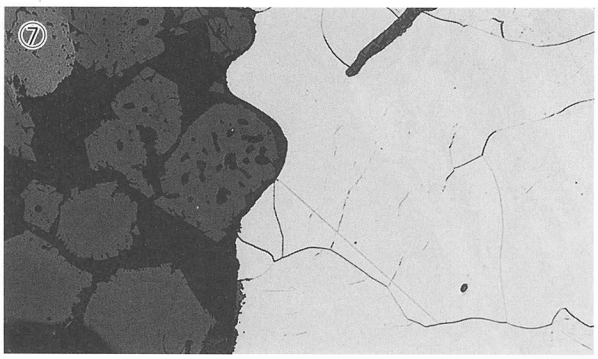
IRI-13
鉄塊系遺物

④×100 滓部：ウルボスピネル イルミナイト
⑤×100 ⑥×400 半還元砂鉄十ファイヤライト十金属鉄
⑦×100 ⑧×400 ナイタルetch フェライト
硬度圧痕（写真割愛）
フェライト：102Hv
ウルボスピネル 883Hv









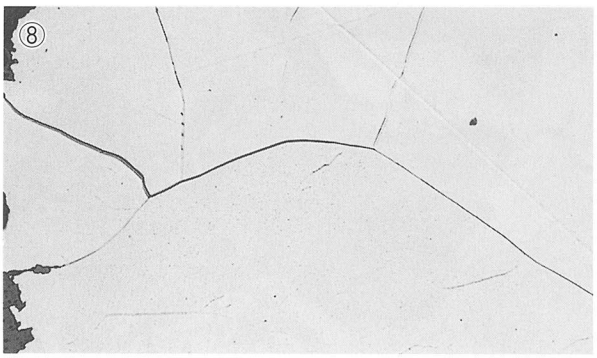
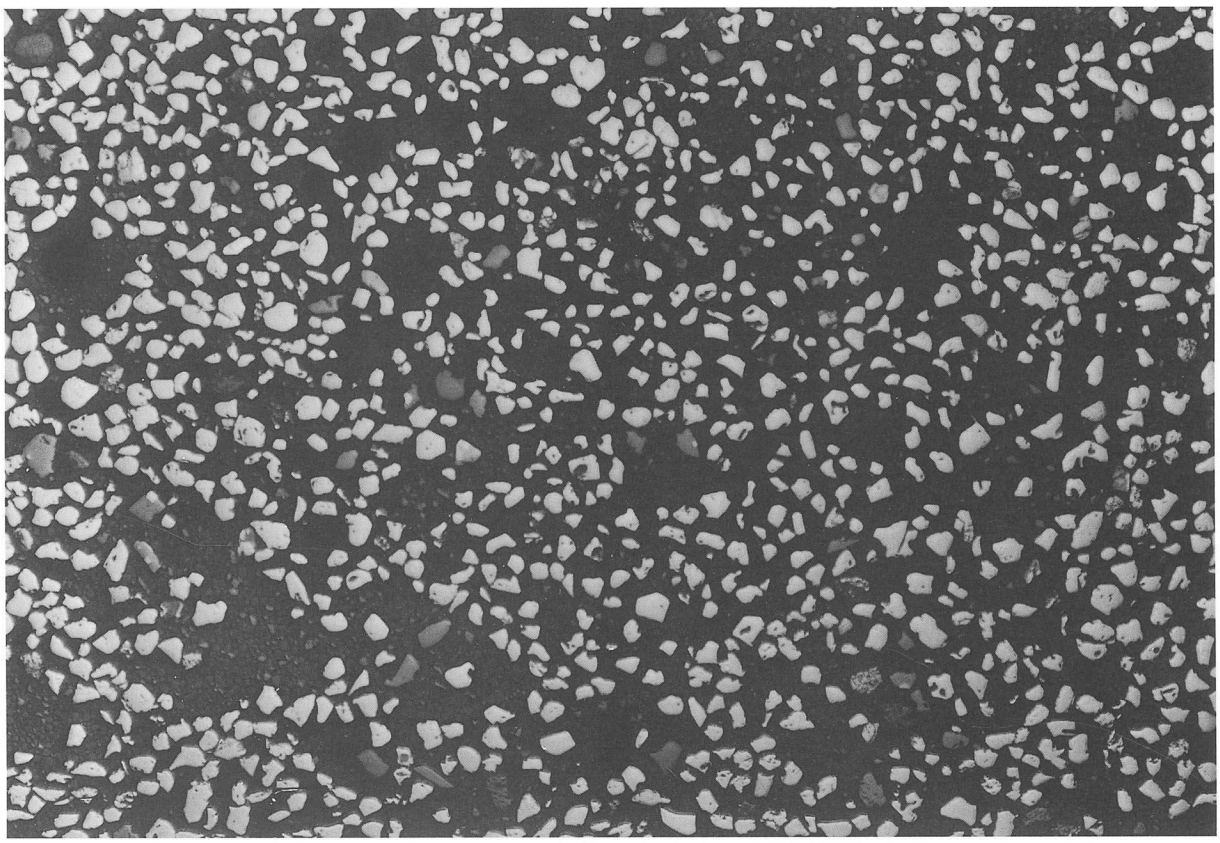
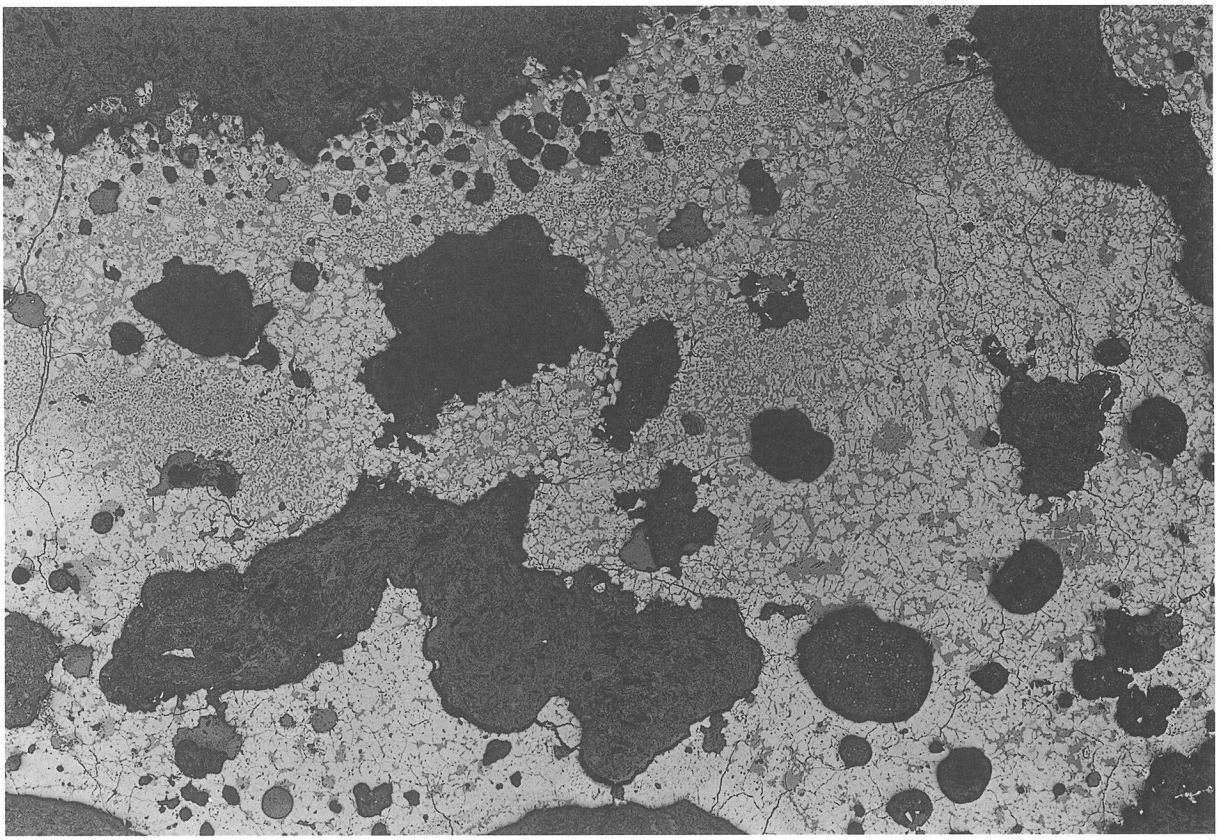


Photo.7　鉄塊系遺物の顕微鏡組織

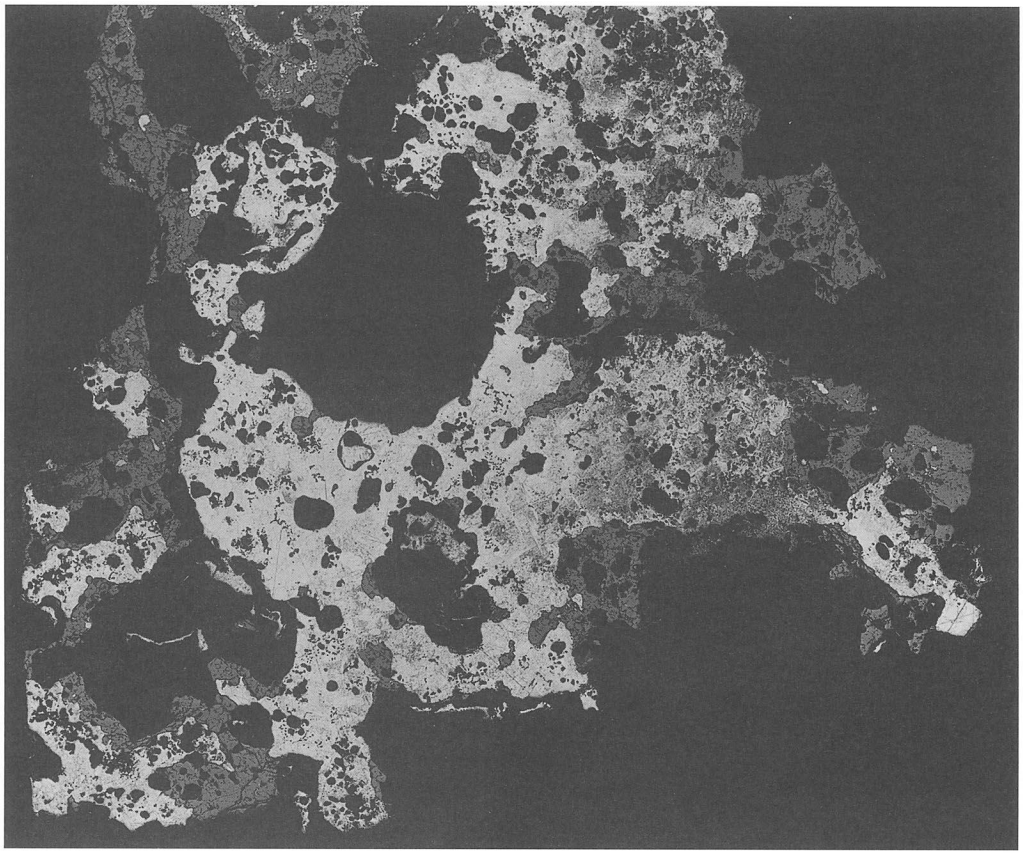


IRI-2×20

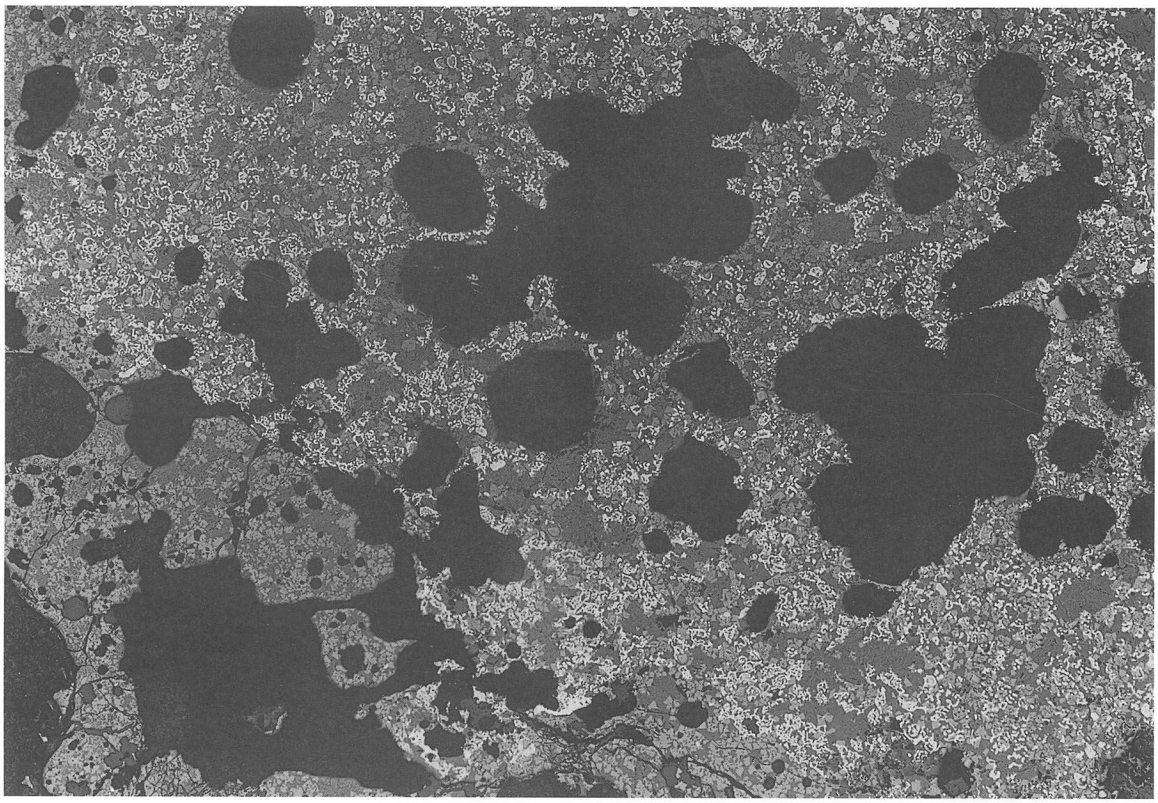


IRI-3×10

Photo. 8　砂鉄（IRI-2）のマクロ組織（×20）
炉内滓（IRI-3）のマクロ組織（×10）

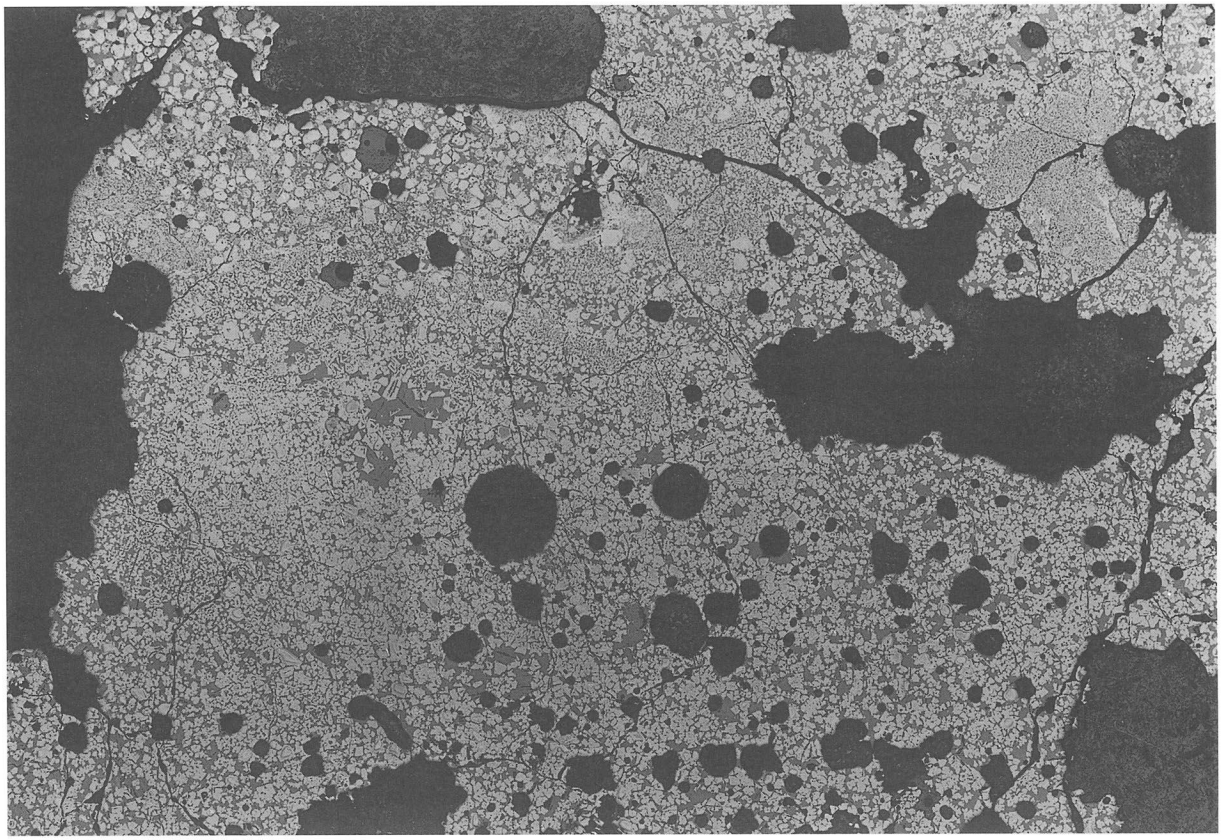


IRI-7×5

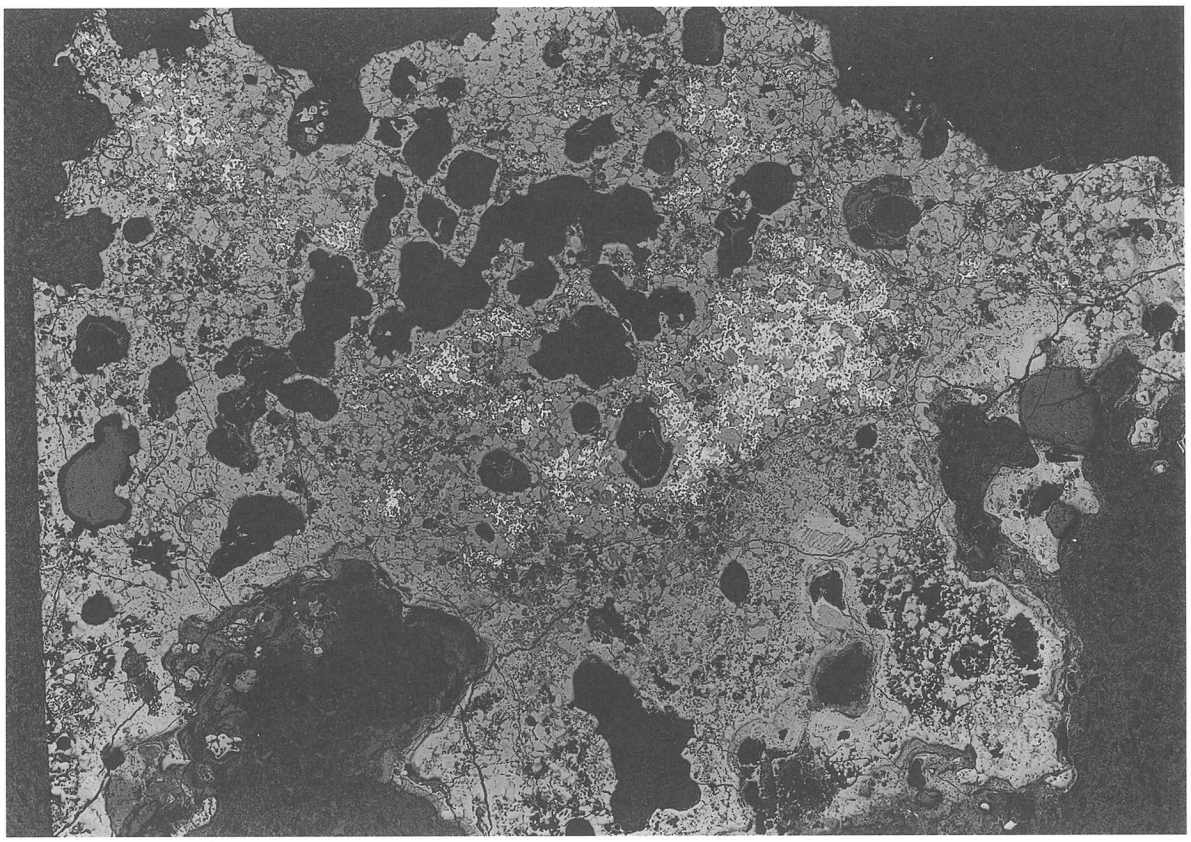


IRI-8×10

Photo.9　炉底塊（含鉄）（IRI-7）のマクロ組織（×5）
含鉄鉄滓（IRI-8）のマクロ組織（×10）

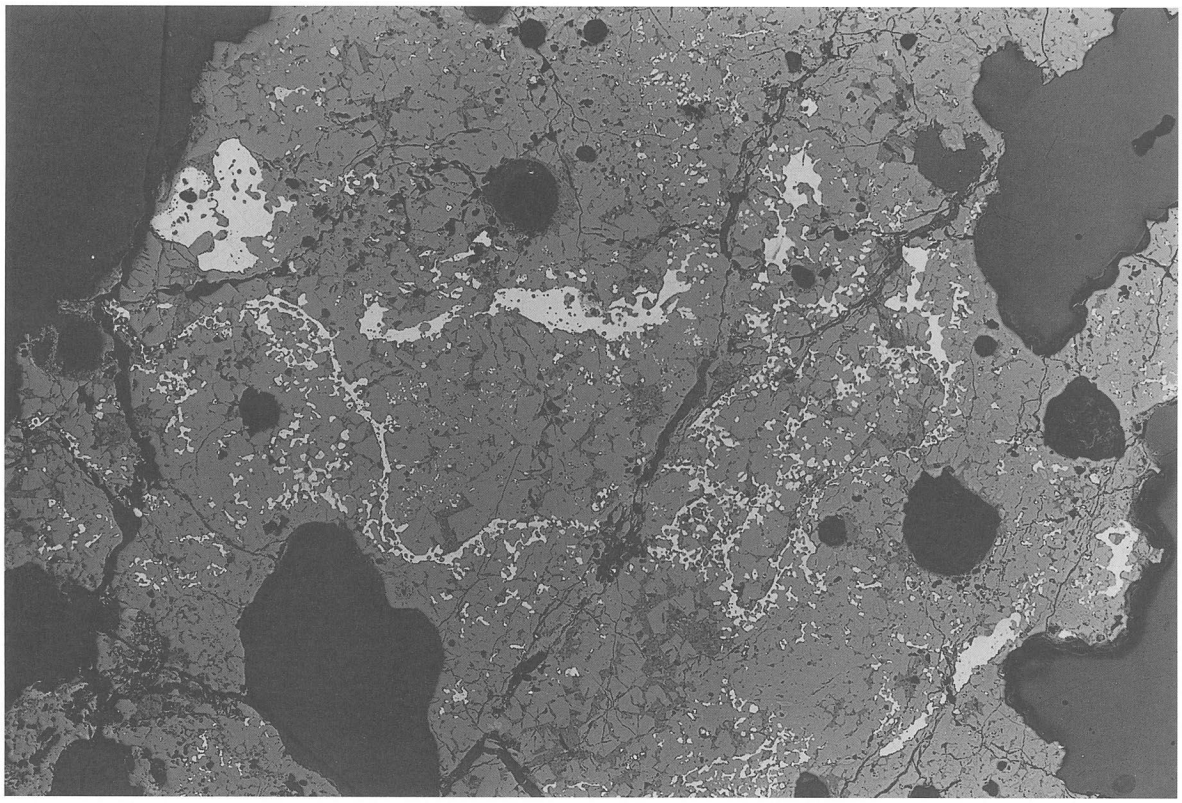


IRI-9×10

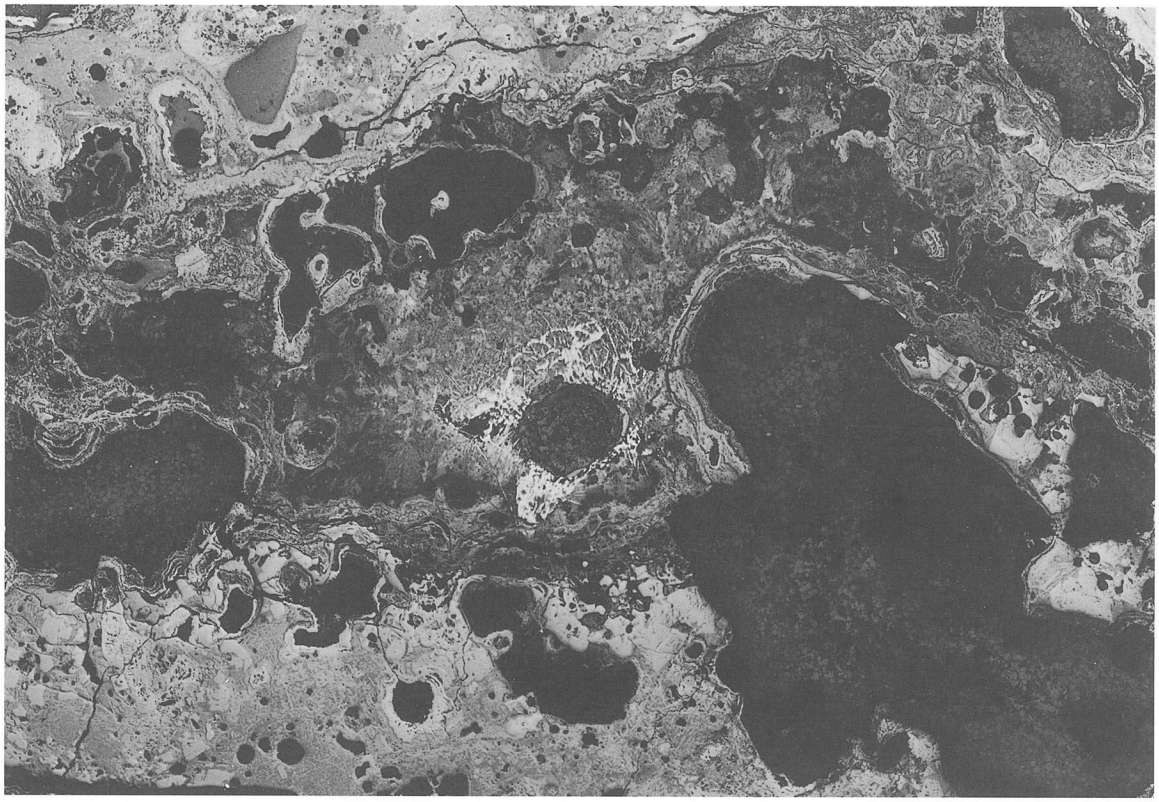


IRI-10×10

Photo. 10　炉内滓（砂鉄焼結）（IRI-9）のマクロ組織（×10）
炉内滓（IRI-10）のマクロ組織（×10）

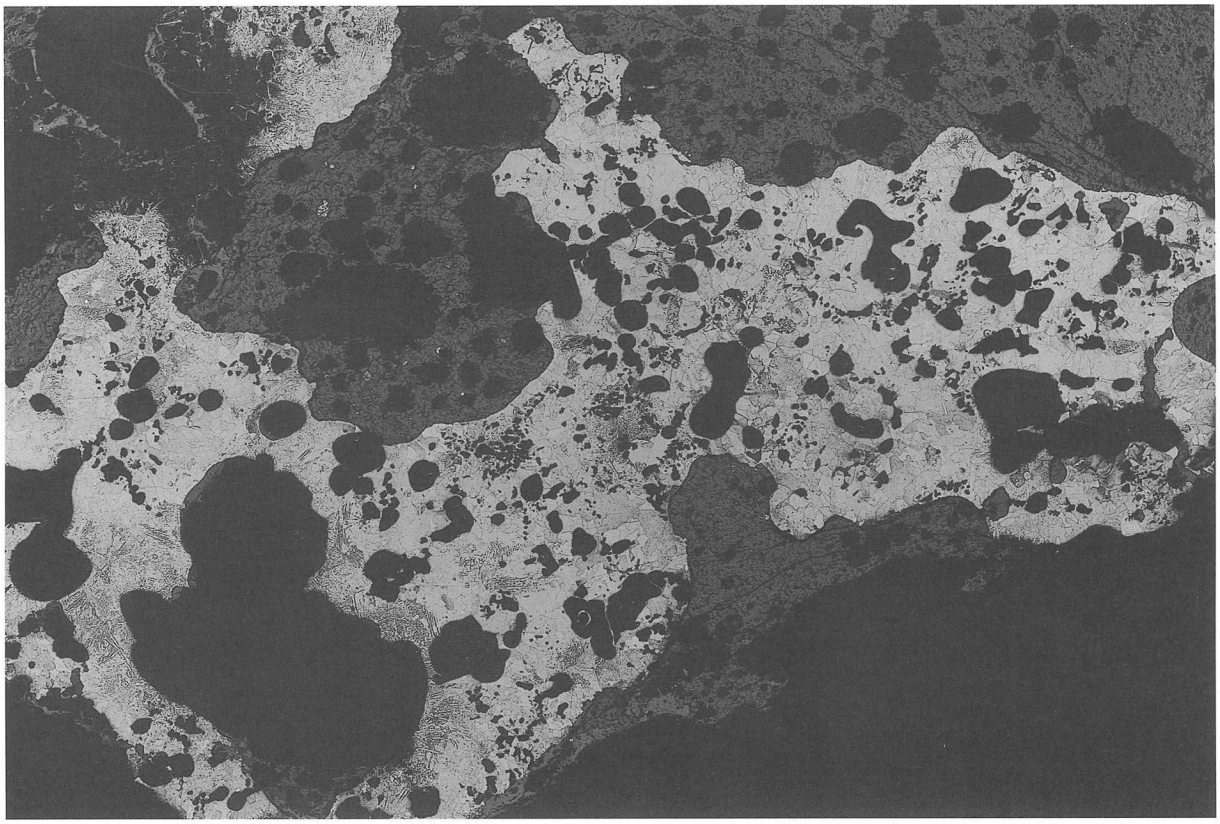


IRI-11×10



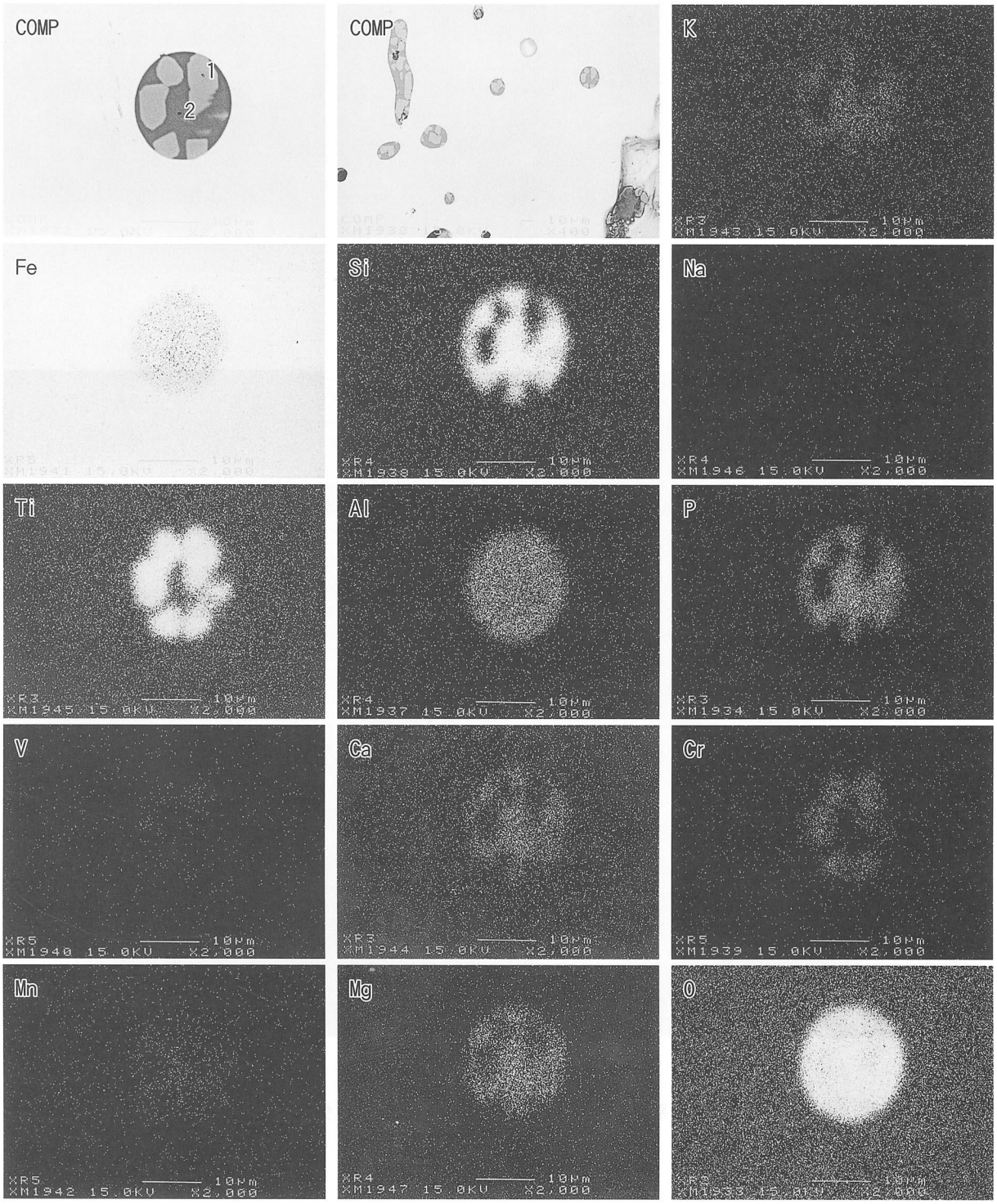
IRI-12×20

Photo.11　鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）（IRI-11）のマクロ組織（×10）
鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）（IRI-12）のマクロ組織（×20）



IRI-13×5

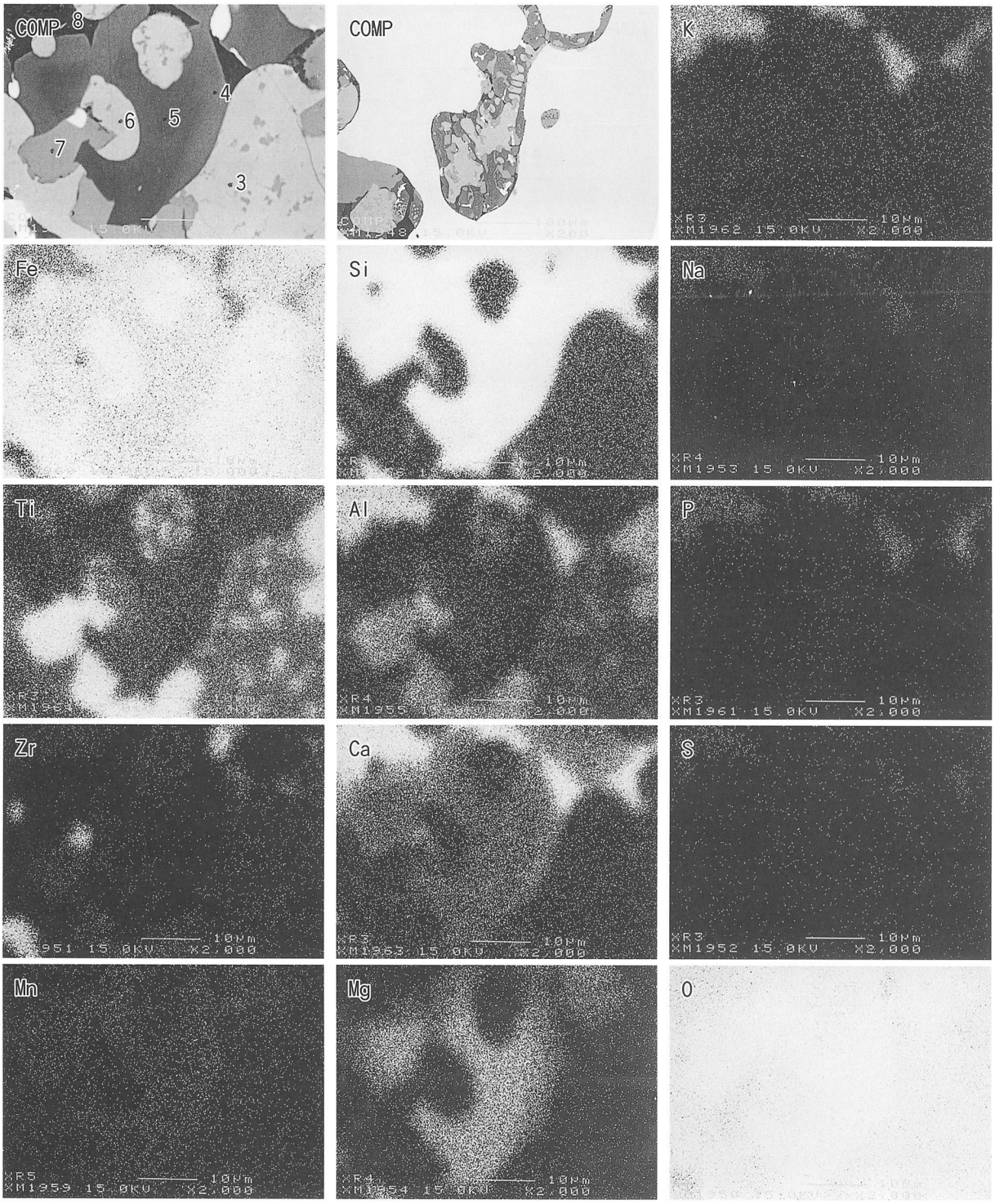
Photo.12　鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）（IRI-13）のマクロ組織（×5）



IRI-7

Element	1	2
Na2O	0.024	0.083
MgO	0.941	3.614
Al2O3	3.315	2.513
SiO2	0.353	22.164
P2O5	0.088	7.561
S	0.003	0.054
K2O	0.002	0.313
CaO	-	0.474
TiO2	10.473	0.452
MnO	0.410	1.138
FeO	62.633	50.889
V2O3	0.842	0.088
Cr2O3	5.760	0.109
N	-	-
ZrO2	0.258	1.027
Total	85.102	90.479

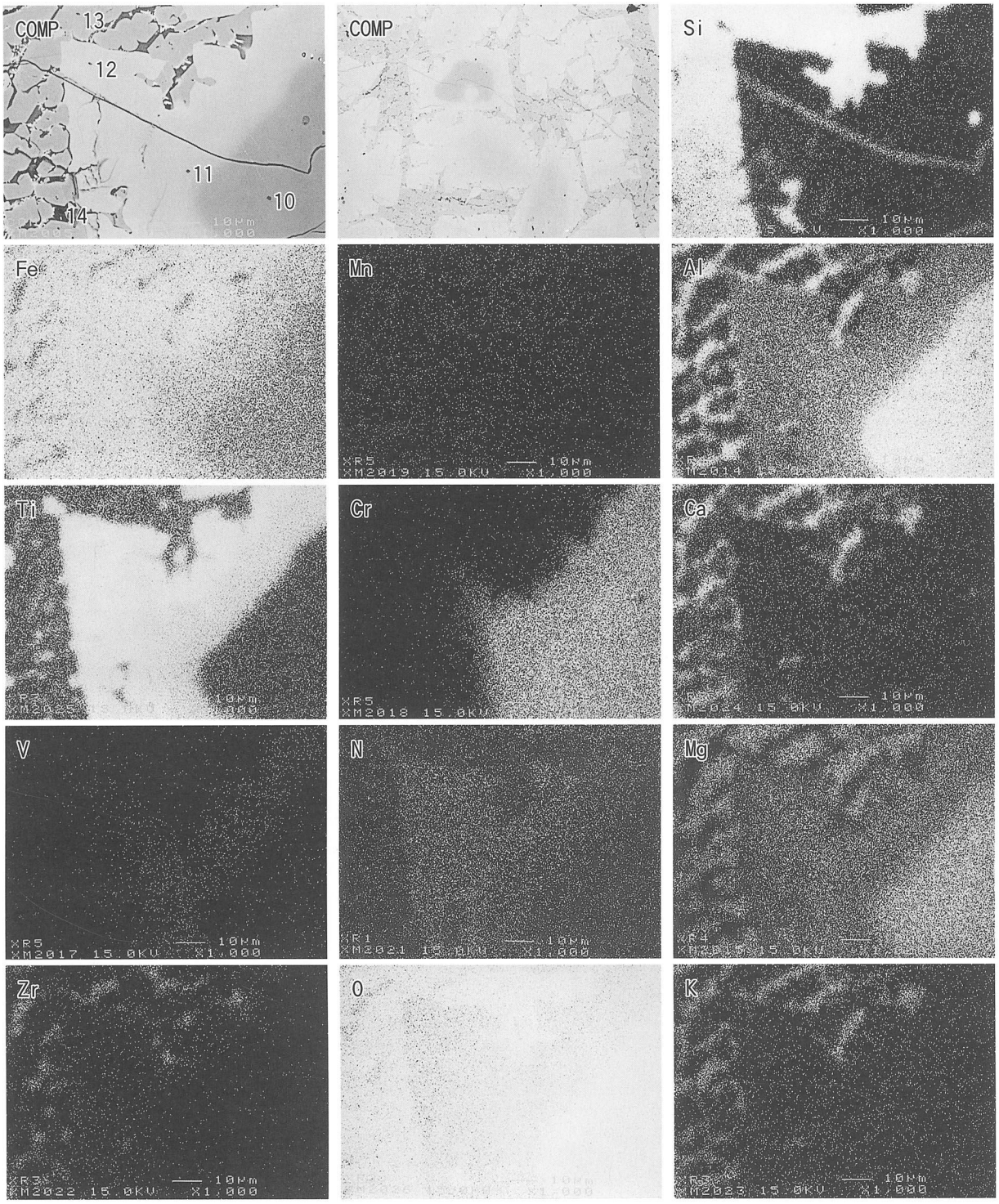
Photo.13　炉底塊（含鉄）（IRI-7）鉄中非金属介在物の特性X線像と定量分析値



IRI-11

Element	3	4	5	6	7
Na2O	-	0.051	-	0.009	0.008
MgO	0.183	1.983	8.359	0.217	0.415
Al2O3	0.809	0.591	0.288	0.604	4.399
SiO2	0.705	31.670	32.136	0.642	0.195
P2O5	0.005	0.211	0.104	0.011	-
S	0.001	0.004	0.003	0.012	-
K2O	-	0.032	-	-	-
CaO	-	0.812	0.251	-	-
TiO2	0.981	0.127	0.218	0.719	8.848
MnO	0.503	1.649	1.684	0.545	0.712
FeO	98.936	65.476	60.872	101.032	69.708
V2O3	-	0.013	-	-	0.120
Cr2O3	-	-	-	-	0.009
N	-	-	-	-	-
ZrO2	0.386	0.023	0.081	0.316	1.527
Total	102.509	102.642	103.996	104.107	85.941

Photo.14　鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）（IRI-11）
巻込みスラグの特性X線像と定量分析値



IRI-13

Element	10	11	12	13	14
Na2O	0.103	-	-	-	0.327
MgO	10.567	3.617	2.656	5.605	0.059
Al2O3	20.816	12.041	2.952	0.337	14.054
SiO2	-	0.069	0.125	31.211	25.945
P2O5	0.009	0.009	0.023	0.112	0.546
S	0.007	0.002	-	0.005	0.265
K2O	0.003	0.001	0.002	-	0.525
CaO	-	-	-	0.124	1.354
TiO2	0.112	3.645	12.791	0.391	1.183
MnO	0.282	0.550	0.777	1.248	0.168
FeO	23.647	40.227	64.027	65.799	31.690
V2O3	0.314	1.557	0.359	0.052	0.063
Cr2O3	45.932	37.809	0.192	0.004	0.014
N	-	-	0.155	-	-
ZrO2	-	0.034	0.253	0.180	3.688
Total	101.792	99.561	84.312	105.068	79.881

Photo.15　鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）（IRI-13）
鉱物相の特性X線像と定量分析値

附属編　第3章　高知県内製鉄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

高知県香美郡土佐山田町に所在する入野南山ノ陰遺跡の近世に比定される出土製鉄関連遺物の金属学的調査を平成11年度に実施した。更に当地域における該期の鉄・鉄器生産の実態を検討する目的で、比較試料として近接地域の春野町芳原鍛冶屋敷遺跡・中村市森沢風指遺跡より表面採取した製鉄関連遺物の金属学的調査を行う運びとなった。

2. 調査方法

2-1　供試材

Table.1に示す。芳原鍛冶屋敷遺跡採取試料3点・森沢風指遺跡5点、総計8点の調査を行った。

2-2　調査方法

(1) 肉眼観察

発掘調査担当者側作成の遺物観察表をもとに、改めて遺物の肉眼観察を行い、加筆・省略している。

(2) マクロ組織

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

(3) 顕微鏡組織

切り出した試料をベークライト樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000と順を追って研磨し、最後は被研磨面をダイヤモンドの3μと1μで仕上げて光学顕微鏡観察を行った。なお、金属鉄のパーライトとフェライト結晶粒はナイタル(5%硝酸アルコール液)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(Vickes Hardness Tester)を用いて硬さの測定を行った。試験は鏡面研磨した試料に136°の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた窪みの面積をもって、その荷重を除した商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用した。

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

ＥＰＭＡ(Electron Probe Micro Analyzer)にコンピューターを内蔵させた新鋭分析機器である。旧式装置は別名Ｘ線マイクロアナライザーとも呼ばれる。分析の原理は、真空中で試料面(顕微鏡試料併用)に電子線を照射し、発生する特性Ｘ線を分光後に画像化し、定性的な結果を得る。更に標準試料とＸ線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理してデータ解析を行う方法である。化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定が可能である。

(6) 化学組成分析

供試材の分析は次の方法で実施した。

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

炭素(C)、硫黄(S)、：燃焼容量法、燃焼赤外吸収法

二酸化硅素(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)、五酸化燐(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度の温度で表示することを定め、これを耐火度と呼んでいる。試験には三角コーン、つまりゼーゲルコーンが溶倒する温度と比較する方法を用いている。

する温度と比較する方法を用いている。

3. 調査結果

(1) 芳原鍛冶屋敷遺跡採取試料

IRI-15　炉壁(砂鉄焼結)

①　肉眼観察：平面不整台形状の炉壁片である。炉壁内面の上側⅓には砂鉄が最大厚さ1.2cm程焼結する。灰黒色から茶褐色の極微細な砂鉄粒子で、部分的に滓化が進んでいる。炉壁の上下面と側面1面の一部は築炉時のブロック状の粘土単位の剥離面である。側面の大半と裏面は破面。胎土は5mm以上の大きさの小礫を多量に含む山土で練りは極めて荒くひび割れや鬆が多く認められる。

②　マクロ組織：Photo.8に示す。写真左側が砂鉄焼結部である。砂鉄粒子の還元の度合はまちまちで、ほとんど生砂鉄から変化のみられないものから粒内に微小金属粒を晶出するものまで認められる。また薄い層状の明色部は炉壁内面表層の溶融ガラス質部分である。Fe-Ti系結晶や微小金属鉄粒の晶出する個所がみられる。右側は炉壁胎土で角張った形状の砂粒が多数混和されている。

③　顕微鏡組織：Photo.1に示す。①～⑦は焼結砂鉄部分である。②③中央はMag-Ilmeniteの溶離組織をもつ粒子で、④⑤の中央は格子組織を持つチタン鉄鉱(Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$)である。⑥⑦には反応が進行して、砂鉄粒子痕跡内にごく微細な金属鉄粒が晶出する個所を示した。⑧は炉壁内面表層のガラス質滓部分で、半還元砂鉄粒子及び淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル(Ulvospinel：$2FeO \cdot TiO_2$)、淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite：$Fe_2O_3 \cdot TiO_2$)が晶出する。⑨は炉壁胎土部分で鱗片状の粘土鉱物(Cerisite)が熱影響を受けて非晶質化が進んでいる。また多数混和された角張った形状の石英が認められる。

④　化学組成分析：Table.2に示す。胎土部分の調査である。強熱減量(Ig loss)は0.34%と熱影響を強く受けて結晶構造水の多くが飛散した状態での分析となる。鉄分(Fe_2O_3)3.80%で高くはなく軟化性にはあまり問題ないと考えられるが、酸化アルミニウム(Al_2O_3)は19.05%と低めで耐火性にはやや不利となる。また滓と鉄の分離を促す自媒剤となる塩基性成分(CaO＋MgO)1.78%と適度に含む。ただし、耐火度に対しては不利となる。

⑤　耐火度：胎土をゼーゲルコーンという三角錐の試験片に作り、1分間当り10℃の速度で温度上昇させ、1000℃に達すると4℃に昇温速度をおとし、試験片が荷重なしに自重だけで軟化し崩れる温度が1320℃であった。近世の製鉄炉の炉壁片としてはやや低めの耐火性といえる。

IRI-16　流動滓(含鉄工具痕付)

①　肉眼観察：平面不整五角形をした含鉄の流動滓の破片である。下面端部よりに樋状の工具痕が残る。上下面の一部は生きており、側面は全面破面。上面は半流動状で一部に1cm大の木炭痕がみられる。下面は非常に不規則で土砂を固着する。ガスをやや多く含み内部に小さな含鉄部が散在する。色調は淡い紫紅色でやや流動性の悪い滓である。

②　マクロ組織：Photo.8に示す。滓中にごく小さな不定形の鉄部が散在する。組織的には亜共析～過共析組織であった。また滓中にも中小の気孔がやや密に認められる。特に上面側に大きな気孔がみられる。

③　顕微鏡組織：Photo.2に示す。①は滓部で、暗黒色ガラス質滓中に淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite：$Fe_2O_3 \cdot TiO_2$)、白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$)、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル(Ulvospinel：$2FeO \cdot TiO_2$)が晶出する。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓の晶癖である。②は複数球状の鉄中非金属介在物が認められる個所である。色調の異なる2相の珪酸塩系の介在物と、珪酸塩系の素地中にFe-

Ti系の結晶が晶出するものが認められる。③～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。③はパーライト素地に初析セメンタイトを析出する過共析組織である。④⑤はほぼ全面パーライト組織からなる共析組織である。

④　ビッカース断面硬度：Photo.2⑥～⑨に金属鉄組織の硬度測定の圧痕を示す。⑥はパーライト素地にフェライトが析出する個所で硬度値は259Hv、⑦は全面パーライト部分で硬度値は254Hvであった。また⑧は過共析組織のパーライト部分で硬度値は261Hv、⑨はセメンタイト部で硬度値は427Hvであった。⑥は圧痕がイビツになっているために数値が高め傾向になっている。

⑤　化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分(Total Fe)25.58%に対して、鉄部を反映して金属鉄(Metallic Fe)1.66%、酸化第1鉄(FeO)20.53%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)11.38%の割合であった。ガラス質成分($SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$)41.16%と高値で、このうちに塩基性成分(CaO＋MgO)3.65%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO_2)16.67%、バナジウム(V)0.14%と高く、酸化マンガンも(MnO)0.97%であった。銅(Cu)は0.002%である。また他の元素では酸化クロム(Cr_2O_3)が1.61%と高値で特徴的である。鉄分低くガラス質分や脈石成分(TiO_2、V、MnO)が高い成分系で、塩基性砂鉄を原料とした製錬滓に分類される。

IRI-17　炉内滓(含鉄)

①　肉眼観察：平面不整台形をした盤状の炉内滓である。ほぼ全面が破面で、表面には気孔が密集する。一部木炭痕が認められる。磁石が強く鉄部を内包すると推測される。

②　マクロ組織：Photo.9に示す。滓中にやや未凝集の鉄部が認められる。鉄部は不定形で気孔が多い。組織的にはフェライトのみの組織から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(0.77%C以上)までが認められる。

③　顕微鏡組織：Photo.3に示す。①は滓部で、中央には外周部に淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル(Ulvospinel：$2FeO\cdot TiO_2$)系が晶出しかけた半還元砂鉄粒子を示す。また周囲にはルチル(Rutile：TiO_2)系の結晶が晶出する。鉱物相についてはCMAの項で詳述する。②は滓中に散在する微小金属鉄を示す。③は球状の鉄中非金属介在物である。鉱物相についてはこれもCMAの項で述べる。④～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。④はフェライト組織である。捲込みスラグが多く認められる。⑤はパーライト素地に針状フェライトを析出する亜共析組織(0.77%C以下)である。過熱組織(Over heated structure)を呈する。操業後、炉内生成物は徐冷されたと考えられる。

④　ビッカース断面硬度：Photo.3⑥～⑨に硬度測定の圧痕を示す。⑥～⑧は鉄部で、⑥はフェライト部分で硬度値は110Hv、⑦はパーライト素地に針状フェライトを析出する個所で硬度値は170Hvであった。⑧はパーライト素地に針状セメンタイトを析出する個所で261Hvであった。⑨は滓部の淡茶褐色多角形結晶で硬度値は782Hvであった。硬質でありウルボスピネル(Ulvospinel：$2FeO\cdot TiO_2$)とヘーシナイト(Hercynite：$FeO\cdot Al_2O_3$)の混合組成に同定される。

⑤　ＣＭＡ調査：Photo.11に滓部の鉱物相の特性Ｘ線像と定量分析値をを示す。COMP(反射電子像)下側に位置する2相の異なる色調を呈する半還元砂鉄粒子の中央部に9の、外周部に10の番号をつけた。定量分析値は９が24.9%FeO－43.3%Cr_2O_3－18.5%Al_2O_3－14.4%MgOはマグネシオ・クロマイト(Magnesio Chromite：$(Mg\cdot Fe)O\cdot(Cr\cdot Al)_2O_3$)あたりに同定される。10は40.6%FeO－31.9%Cr_2O_3－17.2%TiO_2－5.2%Al_2O_3－3.5%MgOであった。こちらはクロマイト(Chromite：$Cr_2O_3\cdot FeO$)とウルボスピネルもしくはイルミナイト($FeO\cdot TiO_2$)の混合組成に類似した鉱物相の可能性をもつ。外周部にチタン(Ti)が濃化して、Fe-Ti系結晶が晶出しかかった状態を留めている。また11の番号をつけた片状結晶の定量分析値は69.1%TiO_2－19.4%FeO－3.1%Cr_2O_3－2.2%Al_2O_3－3.4%MgOであった。ルチル(Rutile：TiO_2)系の結晶といえよう。12は素地部分で53.3%SiO_2－10.5%Al_2O_3－2.8%CaO－4.3%MgO－21.4%FeO－4.0%TiO_2であった。珪酸塩に近い鉱物相である。13の番号をつけた多角形結晶は40.4%FeO－32.1%Cr_2O_3－18.9%TiO_2－5.3%Al_2O_3－3.5%MgOで、10と酷似する値となった。クロムとチタンこれに鉄

酸化物が加わった複合酸化物のスピネル構造をとる鉱物であった。

またPhoto.12に鉄中非金属介在物の特性X線像と定量分析値をを示す。8の番号をつけた5μmエリアの定量分析値は23.4%FeO－19.2%TiO_2－2.8%Cr_2O_3－33.5%SiO_2－10.6%Al_2O_3－1.2%CaO－6.4%MgOであった。珪酸塩系の素地中にFe-Ti系の微細な結晶が晶出するものと推定される。これにもクロムがしっかりと固溶されている。

⑥　化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分(Total Fe)48.26%%に対して、鉄部を反映して金属鉄(Metallic Fe)は14.35%、酸化第1鉄(FeO)18.88%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)27.50%の割合であった。ガラス質成分(SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O)18.39%で、このうちに塩基性成分(CaO＋MgO)2.12%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO_2)8.72%、バナジウム(V)0.12%、また酸化マンガン(MnO)0.42%、銅(Cu)0.003%であった。酸化クロム(Cr_2O_3)は2.60%とやはり高値を示した。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓(含鉄鉄滓)の成分系である。また高クロム(Cr)は当地方の特徴といえる。

(2) 森沢風指遺跡遺跡採取試料

IRI-18　炉壁

①　肉眼観察：平面五角形状の炉壁片である。内面は被熱により溶融し黒色ガラス質化する。築炉時のブロック状の粘土単位の痕跡が上下面と側面1面に認められる。一部指頭痕も残る。胎土は小礫や5mm大の角礫を含む粗い質感で、一部滓片が混入する。

②　顕微鏡組織：Photo.4①～⑤に示す。①は内面ガラス質滓の表層部分で白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite：FeO・TiO_2)、淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite：Fe_2O_3・TiO_2)が晶出する。②は砂鉄粒子の形状を僅かに留める個所である。滓化して未発達のウルボスピネル(Ulvospinel：2FeO・TiO_2)結晶となっている。④もガラス質滓中に晶出する淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite：Fe_2O_3・TiO_2)、淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル(Ulvospinel：2FeO・TiO_2)である。⑤は被熱胎土部分で熱影響が強く粘土鉱物が非晶質化している。

③　化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量(Ig loss)は0.75%と低く熱影響を強くうけて結晶構造水の多くが飛散した状態での分析であった。鉄分(Fe_2O_3)は4.72%と若干高めで軟化性にやや不利である。また酸化アルミニウム(Al_2O_3)が17.17%と低めで、耐火性も高めは望めない成分系である。滓と鉄の分離を促す自媒剤となる塩基性成分(CaO＋MgO)1.06%であった。なお、胎土中には砂鉄が少々混入しており、二酸化チタン(TiO_2)は1.00%が検出される。

④　耐火度：試験片が荷重なしに自重だけで軟化し崩れる温度は1340℃であった。芳原鍛冶屋敷遺跡の炉壁(IRI-15)と近似する数値であった。やはり近世の製鉄炉の炉壁片としてはやや低め傾向の耐火性であろう。

IRI-19　炉外流出滓(溝滓)

①　肉眼観察：厚みのある炉外流出滓片である、上下面と側面のごく一部が生きている。上面はきれいな流動状で全体に淡い紫紅色を呈する。破面の気孔は極めて少なく中段上位に大きくまとまって横方向にのびるものが目立つ。また光沢の強い肥大化した結晶が確認できる。

②　顕微鏡組織：Photo.4⑥～⑧に示す。⑥の中央に滓中に晶出する金属鉄粒を示す。⑦は淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite：Fe_2O_3・TiO_2)が基地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓の晶癖である。

③　ビッカース断面硬度：Photo.4⑧に淡褐色片状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は706Hvであった。シュードブルーカイトの硬度値として妥当なところであろう。

④　化学組成分析：Table.2に示す。鉄分低く、ガラス質分及び脈石成分(TiO_2、V、MnO)の高い成分系であった。全鉄分(Total Fe)21.16%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.47%、酸化第1鉄(FeO)17.24%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)10.42%の割合であった。ガラス質成分(SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O)44.46%と高く、このうちに塩

基性成分(CaO＋MgO)は多くて9.49%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO_2)25.13%、バナジウム(V)0.19%と高く、酸化マンガン(MnO)も1.28%と高値であった。銅(Cu)は0.006%、また酸化クロム(Cr_2O_3)は0.58%であった。クロムは春野町鉄滓よりも低め傾向である。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓に分類される。

IRI-20　炉外流出滓(含鉄)

①　肉眼観察：平面不整三角形をしたやや厚みのある炉外流出滓である。下面以外は破面。上面側には1cm大の鉄部が認められる。流動のため変形した気孔が多く認められるが滓は緻密である。炉壁粉や砂鉄を固着する個所が認められる。

②　マクロ組織：Photo.9に示す。大小の気孔が散在する試料である。滓中に微細な金属鉄粒が散在するが、まとまりのある鉄部は確認できなかった。鉱物相はシュードブルーカイトがほぼ均等に晶出する。

③　顕微鏡組織：Photo.5に示す。白色針状結晶イルミナイト(Ilmenite：FeO･TiO_2)、淡褐色片状結晶で2層構造をもつシュードブルーカイト(Pseudobrookite：Fe_2O_3･TiO_2)が基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。また滓中にごく微細な金属鉄が散在する。②～⑧に金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織を示す。②③は不定形のフェライト、④はパーライト素地に一部セメンタイトが析出する組織である。⑤外周部に薄くパーライトが析出し、中央の白色部はセメンタイトである。⑥はフェライト基地に球状セメンタイトが析出する組織であった。以上のように含有炭素量の差がある組織が確認されたが、セメンタイトを析出する鉄粒が最も多く認められた。

④　ビッカース断面硬度：Photo.5⑦～⑨に硬度測定の圧痕を示す。⑦フェライト組織の金属鉄粒の硬度値は140Hv、⑧のフェライト地にセメンタイトが析出する金属鉄粒の硬度値は301Hvであった。⑨の盤状結晶の硬度値は672Hvであった。イルミナイト(Ilmenite：FeO･TiO_2)の結晶であるが低め傾向にある。亀裂などの誤差要因が発生している。

⑤　化学組成分析：Table.2に示す。鉄分低く、脈石成分の高い成分系であった。全鉄分(Total Fe)28.24%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.48%、酸化第1鉄(FeO)30.32%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)5.99%の割合であった。ガラス質成分(SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O)26.74%で、このうちに塩基性成分(CaO＋MgO)2.55%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO_2)33.41%、バナジウム(V)0.17%と高く、酸化マンガン(MnO)も1.62%と高値であった。銅(Cu)は0.001%、 酸化クロム(Cr_2O_3)は0.24%であった。塩基性砂鉄を原料とする製錬滓に分類される。マンガン高めが特徴的である。クロムはさほど多くない。

IRI-21　炉底塊(含鉄)

①　肉眼観察：分厚い大型(18.5kg)の含鉄炉底塊である。上面の一部と側面一部が生きているが、他は破面と推定される。上半部には幅7cm、高さ4cm程の半円形の窪みが2個所にみられ送風痕跡である可能性がある。これから通風孔の芯々間隔は12cm前後と推測される。底面には2～3cm大の木炭痕と木炭の噛み込みが認められ、木炭層の上にのる形で堆積生成したと考えられる。表面は全体に茶褐色の酸化物で覆われ、気孔が多く認められるが緻密な滓である。特殊金属探知器の反応は特L(☆)である。

②　マクロ組織：Photo.10に示す。切断面の比較的鉄部がまとまった個所を選択して組織観察を行っている。鉄部は不定形で多くの気孔が認められる。まとまりのある個所は炭素含有量にやや変動がみられるが(C：0.2～0.5%前後)亜共析組織である。その周囲に不定形のほぼフェライト組織からなる微細な鉄部が散在する。また滓部でも細かい気孔が多く認められる。

③　顕微鏡組織：Photo.6に示す。①は滓部で淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite：Fe_2O_3・TiO_2)が基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。②③は鉄中非金属介在物を示す。②球状の介在物が多数散在する。珪酸塩系で中にはFe-Ti 系の結晶が晶出するものもある。③はルチル系(Rutile：TiO_2)結晶の介在物である。CMA調査の項で詳述する。④～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織であ

る。パーライト基地に針状フェライトが析出する過熱組織(Over heated structure)を呈している。芳原鍛冶屋敷遺跡採取含鉄炉内滓(IRI-17)と同様、自然に冷却するのを待って炉内生成物を取り出した可能性が考えられる。

④　ビッカース断面硬度：Photo.6⑦～⑨に硬度測定の圧痕を示す。⑦は亜共析組織のフェライト部で硬度値は162Hv、⑧はパーライト部分で205Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。⑨の不定形結晶の硬度値は854Hvであった。チタン濃度の高まったルチル系の鉱物相であろう。

⑤　ＣＭＡ調査：Photo.13に鉄中非金属介在物の特性Ｘ線像と定量分析値を示す。チタン(Ti)、アルミニウム(Al)、マグネシウム(Mg)、酸素(O)に白色輝点が集中し、定量分析値は81.4%TiO_2－8.0%FeOであった。ルチル系(Rutile：TiO_2)の結晶と推定される。またアルミニウム(Al)、マグネシウム(Mg)、クロム(Cr)などが検出されている。

⑥　化学組成分析：Table.2に示す。滓部主体に調査を行った。鉄分低く、脈石成分の高い成分系である。全鉄分(Total Fe)29.00%に対して、鉄部を反映して金属鉄(Metallic Fe)は3.79%、酸化第1鉄(FeO)13.95%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)20.54%の割合であった。ガラス質成分(SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O)25.63%で、このうちに塩基性成分(CaO＋MgO)4.73%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO_2)29.92%、バナジウム(V)0.21%、酸化マンガン(MnO)も1.30%と高値であった。銅(Cu)は0.003%、また酸化クロム(Cr_2O_3)が1.00%と高い値を示した。塩基性砂鉄を原料とする成分系であった。

IRI-22　鉄塊系遺物

①　肉眼観察：小さな鉄塊系遺物(3.3ｇ)である。上下面に1cm大の木炭痕が残り、左右の側部が破面である。全体に錆に覆われ滓部は確認できない。大半が鉄部と推定される。

②　マクロ組織：Photo.10に示す。まとまりのある断面椀形を呈する小さな銑鉄塊である。組織的には写真左側端部はパーライト基地に片状黒鉛が析出するねずみ鋳鉄、中央から右側は白鋳鉄組織で、双方が混在する斑鋳鉄の領域も認められる。鉄塊内には中小の気孔が散在する。

③　顕微鏡組織：Photo.7に示す。①は表層に僅かに固着する滓部で、淡褐色片状結晶シュードブルーカイト(Pseudobrookite：Fe_2O_3・TiO_2)が基地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。また、微小金属鉄粒が晶出する。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。黄褐色微小異物は硫化鉄(FeS)で、周囲にFe－Fe_3C－Fe_3P三元系共晶のステダイト(Steadite)が存在する。③は鉄中に析出した片状黒鉛を示す。④～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。④⑤は白鋳鉄部分で、白色部は板状セメンタイト、黒色部はオーステナイトから変化したパーライト、蜂の巣状の部分はセメンタイトとオーステナイトの共晶のレデブライトである。⑥⑦片状黒鉛が析出する斑鋳鉄部分を示す。

④　ビッカース断面硬度：Photo.7⑦～⑨に金属鉄組織の硬度測定の圧痕を示す。⑦は片状黒鉛の析出個所で硬度値は190Hv、⑧はパーライト部分で270Hv、⑨はセメンタイト部で920Hvであった。それぞれの組織に対応した硬度値である。

⑤　化学組成分析：Table.2に示す。鉄分主体の成分系である。全鉄分(Total Fe)88.07%に対して、金属鉄(Metallic Fe)77.11%、酸化第1鉄(FeO)12.77%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)1.48%の割合であった。ガラス質成分(SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O)2.05%で、このうちに塩基性成分(CaO＋MgO)0.20%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO_2)0.79%、バナジウム(V)0.01%、また酸化マンガン(MnO)0.05%、銅(Cu)0.014%であった。酸化クロム(Cr_2O_3)は0.05%であった。鉄主体の分析なので脈石成分の低減は当然のことである。

４．まとめ

〈1〉　芳原鍛冶屋敷遺跡・森沢風指遺跡ともに製鉄原料として比較的チタン含有量の多い塩基性砂鉄を使用している。さらに前回入野南山ノ陰遺跡出土製鉄関連遺物の調査で、酸化クロム(Cr_2O_3)を多く含有する在地賦存の砂鉄を原料としていることが明らかになったが、今回芳原鍛冶屋敷遺跡採取鉄滓1.61～2.60%、森沢風指遺跡

採取鉄滓0.24～1.00%と同様に酸化クロムの高値傾向が確認された。

〈2〉 今回調査を行った鉄滓はいずれもイルミナイト(Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$)、シュードブルーカイト(Pseudobrookite：$Fe_2O_3 \cdot TiO_2$)、ルチル(Rutile：TiO_2)などFe-Ti系の高温操業での派生物(注1)が確認された。両遺跡では安定した高温操業が行われていたと推測される。これに対し、入野南山ノ陰遺跡出土鉄滓は一部イルミナイト(Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$)、シュードブルーカイト(Pseudobrookite：$Fe_2O_2 \cdot TiO_2$)の晶出がみられるがウルボスピネル(Ulvospinel：$2FeO \cdot TiO_2$)主体の鉱物組成であった。さらに半還元砂鉄の残存傾向がみられるなど、炉内温度が充分上がらず操業不調の様相を呈していた。

化学組成をみると芳原鍛冶屋敷遺跡採取鉄滓は全鉄分(Total Fe)25.58%、二酸化チタン(TiO_2)16.67%、バナジウム(V)0.14%、酸化マンガン(MnO)0.97%。また森沢風指遺跡採取鉄滓は(Total Fe)21.16～29.00%、二酸化チタン(TiO_2)25.13～33.41%、バナジウム(V)0.17～0.21%であった。これに対し入野南山ノ陰遺跡出土鉄滓では全鉄分(Total Fe)37.00～44.20%、二酸化チタン(TiO_2)10.07～22.48%、バナジウム(V)0.14～0.37%、酸化マンガン(MnO)0.89～1.20%である。芳原鍛冶屋敷遺跡・森沢風指遺跡採取鉄滓の方が鉄分低く、脈石成分の高い傾向を示す。高温化操業に従って入野南山ノ陰遺跡より鉄と滓の分離がうまくいったものと考えられる。

〈3〉 芳原鍛冶屋敷遺跡・森沢風指遺跡の含鉄炉内滓は、どちらも滓中にあまりまとまりのよくないフェライト～亜共析組織の鉄部が確認された。また森沢風指遺跡の鉄塊系遺物は鋳鉄塊であった。滓中に炉内生成位置などにより含有炭素量にばらつきを持った鉄塊が生じており、小割り・選別が行われたと考えられる。また、入野南山ノ陰遺跡では調査した含鉄鉄滓・鉄塊系遺物の大半が凝集の進んでいないフェライトであった。今回調査した2遺跡より鉄部の凝集・吸炭が進んでいない状態であったと推測される。

残余材の調査であるが、生成鉄においても鉄滓の調査結果から指摘した操業時の炉内温度の差を反映した状況が認められる。

〈4〉 芳原鍛冶屋敷遺跡採取炉壁の耐火度は1320℃、森沢風指遺跡採取炉壁の耐火度は1340℃と近似する値を示した。成分的にも大きな差異はみられない。近世の製鉄炉の炉壁としてはやや低めの値といえるが、滓と鉄の分離を促す塩基性成分(CaO＋MgO)を適度に含む。また入野南山ノ陰遺跡出土炉壁の耐火度は1560℃と非常に高い値を示した。その一方で塩基性成分(CaO＋MgO)が0.27%と低値のため造滓性に問題があり、操業不調の要因となった可能性があると推測された。

それぞれ炉壁は1点のみの調査であり、入野南山ノ陰遺跡と芳原鍛冶屋敷・森沢風指遺跡の両者間に、炉壁胎土の選択性の差異があるか判断するのは困難である。更に当地域の製鉄炉炉壁胎土の成分的な特徴については今後の検討課題といえる。

〈5〉 四国に賦存する砂鉄は概してクロム(Cr)が高め傾向にあることが最近の調査で認識できてきた(注2)。これは、製錬滓にも反映されるし、更に鉄中の非金属介在物にでも発言できよう。例えば芳原鍛冶屋敷採取含鉄炉内滓(IRI-17)の鉄滓からはクロム(Cr)、チタン(Ti)と鉄酸化物との複合酸化物(スピネル構造物)が検出されるし、また、鉄中非金属介在物から19%TiO_2－2.8%Cr_2O_3－1.0%MnO－組成がみられた。このような結果は、当地方の鉄製品の産地同定への一つの指針となり得る。今後の資料の積重ねで更なる精度の高い情報へと発展しよう。

(注)

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

〔イルミナイト(Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$)、シュードブルーカイト(Pseudobrookite：$Fe_2O_3 \cdot TiO_2$)、ルチル(Rutile：TiO_2)の晶出はFe-TiO_2二元平衡状態図から高温化操業が推定される。〕

(2) 大澤正己・鈴木瑞穂「矢野遺跡出土鉄製品・砂鉄等の金属学的調査」『矢野遺跡～徳島南環状道路建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告～』(徳島県埋蔵文化財センター調査報告書第33集) 徳島県教育委員会・(財)徳島県埋蔵文化財センター・建設省四国建設局 2001

Table.1　供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	出土位置	遺物No.	遺物名称	推定年代	計測値		磁着度	メタル度	調査項目								備　考
						大きさ(mm)	重量(g)			マクロ組織	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	X線回折	CMA	化学分析	耐火度	カロリー	
IRI-1	入野南山ノ陰	B区	1	炉壁（砂鉄焼結）	近世	167×155×72	1184.3	2	なし		○				○	○		
IRI-2	－	平野海岸砂海	4	砂鉄（自然）	近世	－	20.0	5	なし	○	○				○			
IRI-3	入野南山ノ陰	B区	5	炉内滓（砂鉄焼結）	近世	61×58×50	164.1	4	なし	○	○	○			○			
IRI-4	入野南山ノ陰	B区	7	流動滓（ガス質）	近世	101×92×78	589.8	2	なし		○	○			○			
IRI-5	入野南山ノ陰	B区	16	流動滓（炉外流出滓・緻密質）	近世	66×57×25	152.9	3	なし		○	○			○			
IRI-6	入野南山ノ陰	B区	19	流動滓（炉外流出滓・緻密質）	近世	130×113×55	865.3	3	なし		○	○			○			
IRI-7	入野南山ノ陰	B区	28	炉底塊（含鉄）	近世	186×153×159	3450.0	7	特L（☆）	○	○	○		○	○			
IRI-8	入野南山ノ陰	B区	29	含鉄鉄滓	近世	117×69×49	330.6	6	L（●）	○	○	○			○			
IRI-9	入野南山ノ陰	B区	30	炉内滓（砂鉄焼結）	近世	65×44×39	143.5	4	なし	○	○							
IRI-10	入野南山ノ陰	B区	33	炉内滓	近世	98×62×56	337.7	6	L（●）	○	○	○			○			
IRI-11	入野南山ノ陰	B区	34	鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）	近世	67×38×36	97.0	6	L（●）	○	○	○		○				
IRI-12	入野南山ノ陰	B区	42	鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）	近世	69×35×17	37.2	6	L（●）	○	○	○						
IRI-13	入野南山ノ陰	B区	41	鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）	近世	71×57×40	226.2	8	特L（☆）	○	○	○		○	○			
IRI-14	入野南山ノ陰	B区	49	木炭（4点）	近世	－	2.6（小計）	1	なし						○		○	
IRI-15	芳原鍛冶屋敷	斜面表採	1	炉壁（砂鉄焼結）	近世	192×128×128	1420.0	4	なし	○	○				○	○		
IRI-16	芳原鍛冶屋敷	斜面表採	2	流動滓（含鉄工具痕付）	近世	125×136×84	720.0	7	L（●）	○	○	○			○			
IRI-17	芳原鍛冶屋敷	斜面表採	3	炉内滓（含鉄）	近世	39×46×25	58.0	3	L（●）	○	○	○		○	○			
IRI-18	森沢風指	斜面表採	1	炉壁	近世	54×138×109	1330.0	5	なし		○				○	○		
IRI-19	森沢風指	斜面表採	2	炉外流出滓（溝滓）	近世	93×147×62	910.0	3	なし		○	○			○			
IRI-20	森沢風指	斜面表採	3	炉外流出滓（含鉄）	近世	131×92×84	514.0	5	L（●）	○	○	○			○			
IRI-21	森沢風指	谷底表採	4	炉底塊（含鉄）	近世	365×261×217	18500.0	7	特L（☆）	○	○	○		○	○			
IRI-22	森沢風指	斜面表採	5	鉄塊系遺物	近世	33×52×18	33.0	6	特L（☆）	○	○	○			○			

Table.2　供試材の化学組成

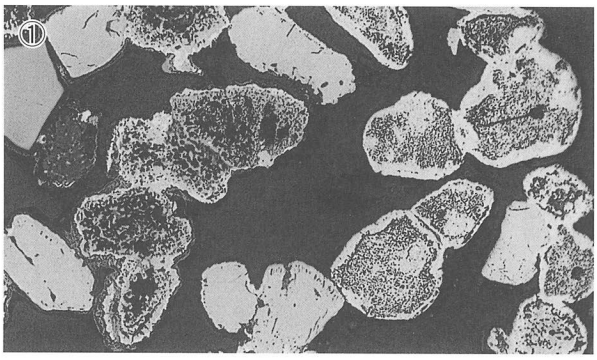
符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	全鉄分 (Total Fe)	金属鉄 (Metallic Fe)	酸化第1鉄 (FeO)	酸化第2鉄 (Fe_2O_3)	* 二酸化珪素 (SiO_2)	* 酸化アルミニウム (Al_2O_3)	* 酸化カルシウム (CaO)	* 酸化マグネシウム (MgO)	* 酸化カリウム (K_2O)	* 酸化ナトリウム (Na_2O)	酸化マンガン (MnO)	二酸化チタン (TiO_2)	酸化クロム (Cr_2O_3)	硫黄 (S)	五酸化燐 (P_2O_5)	炭素 (C)	♯:Igloss バナジウム (V)	銅 (Cu)	耐火度	Σ* 造滓成分	造滓成分 Total Fe	Ti02 Total Fe
IRI-1	入野南山ノ陰	B区	炉壁（砂鉄焼結）	2.16	0.17	0.31	2.50	84.55	5.39	0.01	0.26	0.54	0.027	0.21	0.29	0.11	0.01	0.09	♯0.74	0.01	0.006	1560	90.777	42.026	0.134
IRI-2	－	平野海岸砂海	砂鉄（自然）	47.20	0.10	27.30	37.00	11.19	3.39	1.07	2.96	0.15	0.22	0.67	12.36	1.75	0.02	0.16	0.03	0.21	0.002	－	18.98	0.402	0.262
IRI-3	入野南山ノ陰	B区	炉内滓（砂鉄焼結）	43.82	0.17	34.09	24.52	9.43	3.47	0.50	2.62	0.16	0.13	0.89	14.84	5.73	0.01	0.14	0.14	0.20	0.002	－	16.31	0.372	0.339
IRI-4	入野南山ノ陰	B区	流動滓（ガス質）	37.00	0.26	43.52	4.16	27.46	5.06	1.73	1.84	0.81	0.22	1.04	10.07	0.81	0.01	0.26	0.21	0.27	0.002	－	37.12	1.003	0.272
IRI-5	入野南山ノ陰	B区	流動滓（炉外流出滓・緻密質）	43.92	0.94	51.49	4.23	21.12	4.40	1.47	1.95	0.71	0.14	0.93	10.72	1.26	0.01	0.25	0.03	0.26	0.002	－	29.79	0.678	0.244
IRI-6	入野南山ノ陰	B区	流動滓（炉外流出滓・緻密質）	42.26	0.48	49.34	4.90	18.34	4.03	1.18	2.51	0.55	0.10	1.06	15.43	0.78	0.01	0.22	0.02	0.14	0.002	－	26.71	0.632	0.365
IRI-7	入野南山ノ陰	B区	炉底塊（含鉄）	49.13	7.01	40.91	14.76	6.22	3.01	0.44	2.49	0.17	0.059	0.85	16.25	4.60	0.03	0.16	0.37	0.37	0.004	－	12.389	0.252	0.331
IRI-8	入野南山ノ陰	B区	含鉄鉄滓	55.56	12.10	36.62	21.44	11.87	2.98	0.93	1.53	0.41	0.095	0.74	9.10	1.34	0.06	0.24	0.15	0.21	0.003	－	17.815	0.321	0.164
IRI-10	入野南山ノ陰	B区	炉内滓	44.23	5.89	33.17	17.95	5.15	3.11	0.67	3.17	0.12	0.048	1.20	22.48	2.92	0.04	0.13	0.11	0.22	0.002	－	12.268	0.277	0.508
IRI-11	入野南山ノ陰	B区	鉄塊系遺物（含鉄鉄滓）	53.36	15.34	27.05	24.30	9.36	2.96	0.40	1.76	0.19	0.046	0.49	7.71	7.16	0.03	0.17	0.16	0.19	0.004	－	14.716	0.276	0.144
IRI-15	芳原鍛冶屋敷	斜面表採	炉壁（砂鉄焼結）	4.95	0.04	2.90	3.80	67.36	19.05	0.12	1.66	3.05	0.33	0.10	0.94	0.07	0.01	0.16	♯0.34	0.02	0.004	1320	91.57	18.499	0.190
IRI-16	芳原鍛冶屋敷	斜面表採	流動滓（含鉄工具痕付）	25.58	1.66	20.53	11.38	30.17	6.22	0.96	2.69	0.71	0.41	0.97	16.67	1.61	0.01	0.08	0.14	0.14	0.002	－	41.16	1.609	0.652
IRI-17	芳原鍛冶屋敷	斜面表採	炉内滓（含鉄）	48.26	14.35	18.88	27.50	12.64	3.12	0.77	1.35	0.33	0.18	0.42	8.72	2.60	0.04	0.25	0.59	0.12	0.003	－	18.39	0.381	0.181
IRI-18	森沢風指	斜面表採	炉壁	4.19	0.03	1.10	4.72	70.34	17.17	0.20	0.86	2.90	0.59	0.15	1.00	0.03	0.01	0.11	♯0.75	0.02	0.003	1340	92.06	21.971	0.239
IRI-19	森沢風指	斜面表採	炉外流出滓（溝滓）	21.16	0.47	17.24	10.42	27.86	5.72	5.43	4.06	0.85	0.54	1.28	25.13	0.58	0.01	0.13	0.03	0.19	0.006	－	44.46	2.101	1.188
IRI-20	森沢風指	斜面表採	炉外流出滓（含鉄）	28.24	0.48	30.32	5.99	17.38	3.91	2.47	2.08	0.59	0.31	1.62	33.41	0.24	0.01	0.11	0.07	0.17	0.001	－	26.74	0.947	1.183
IRI-21	森沢風指	谷底表採	炉底塊（含鉄）	29.00	3.79	13.95	20.54	15.93	4.11	2.06	2.77	0.53	0.23	1.30	29.92	1.00	0.13	0.18	2.16	0.21	0.003	－	25.63	0.884	1.032
IRI-22	森沢風指	斜面表採	鉄塊系遺物	88.07	77.11	12.77	1.48	1.42	0.33	0.11	0.09	0.08	0.02	0.05	0.79	0.05	－	0.75	－	0.01	0.014	－	2.05	0.023	0.009
I-1	具同中山	－	鉄滓	53.83	0.18	59.60	10.47	19.02	4.24	1.70	0.57	0.94	0.42	0.09	0.54	0.03	0.02	0.46	0.09	0.04	0.002	－	26.89	0.500	0.010
I-2	具同中山	－	砂鉄（自然）	53.84	0.16	29.35	44.13	4.65	2.48	0.37	2.90	0.09	0.12	0.58	12.10	1.76	0.02	0.13	0.04	0.24	0.002	－	10.61	0.197	0.225

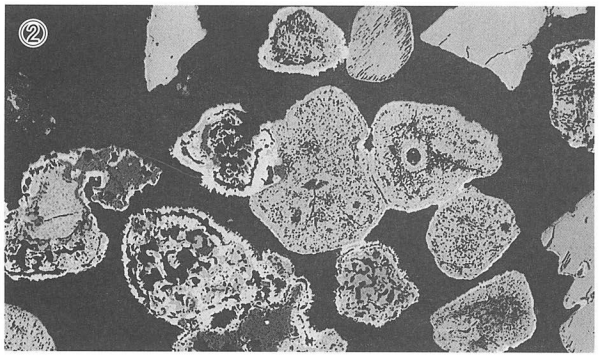
Table.3　木炭の性状

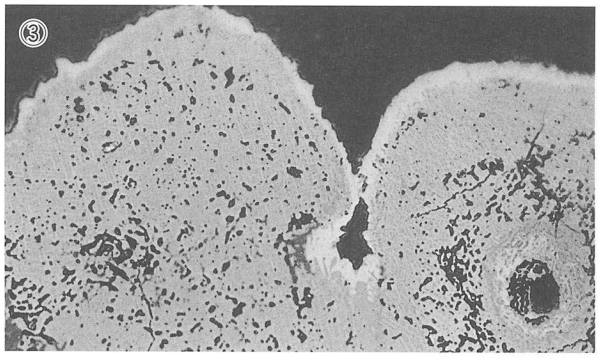
符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	灰分	揮発分	水分	F.C	T.S	灰中.P	発熱量(カロリー)
IRI-14	入野南山ノ陰	B区	木炭(4点)	9.66	53.13	13.10	55.21	0.05	－	5470

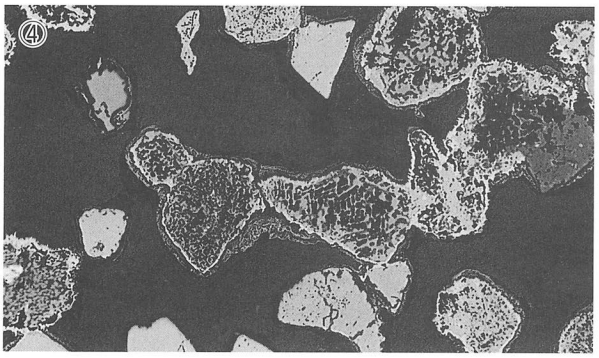
IRI-15
炉壁（砂鉄焼結）

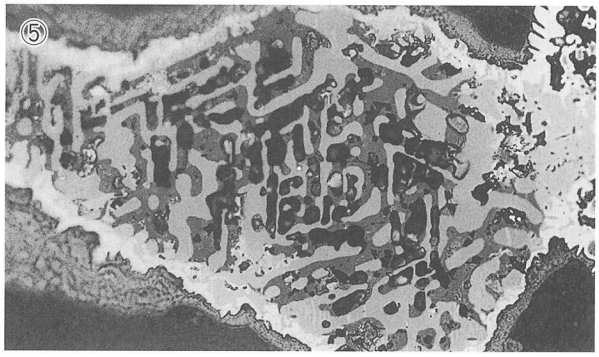
①×100 焼結砂鉄
②×100 ③×400　同上、中央砂鉄粒子：格子組織
④×100 ⑤×400　同上
⑥×100 ⑦×400 半還元砂鉄微小金属鉄粒晶出
⑧×100 滓部：シュードブルーカイト
⑨×50 被熱胎土

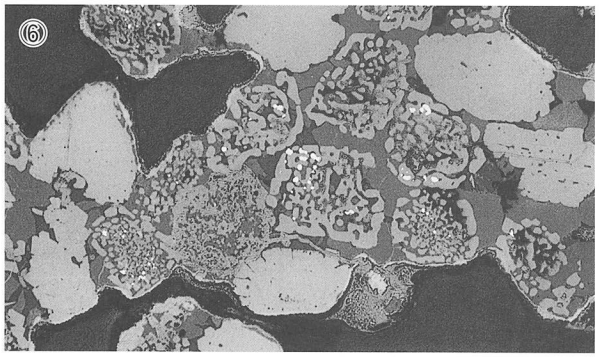


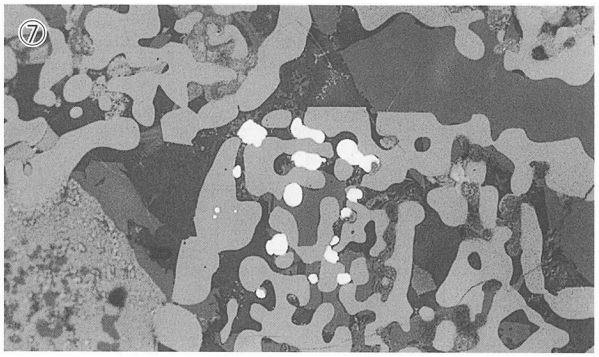


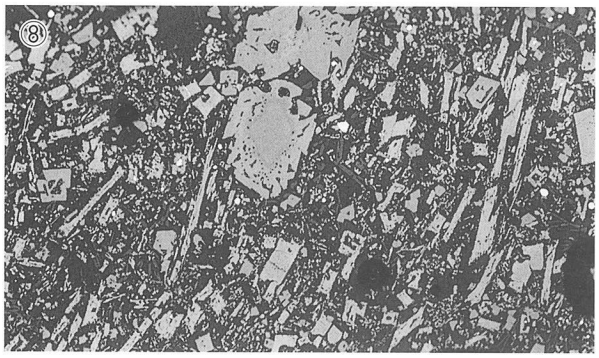












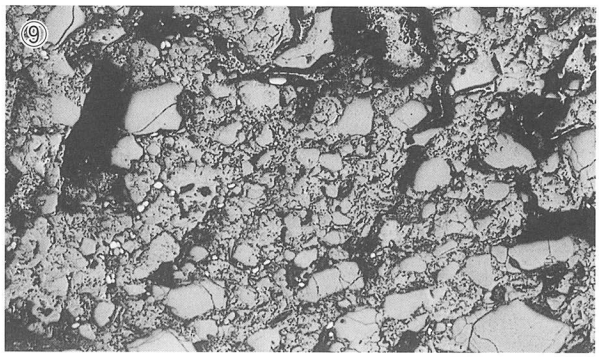
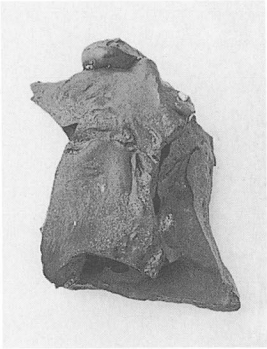
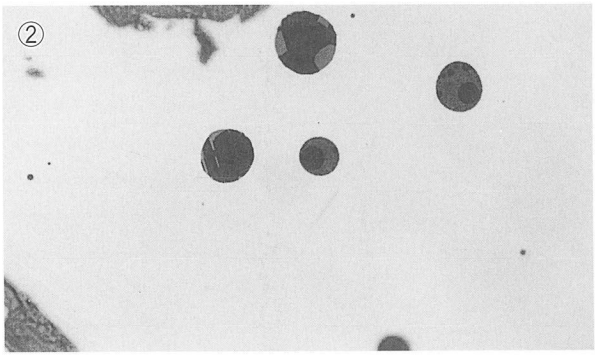


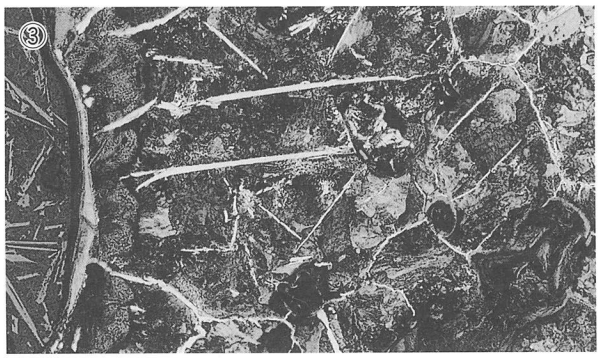
Photo.1　炉壁（砂鉄焼結）顕微鏡組織

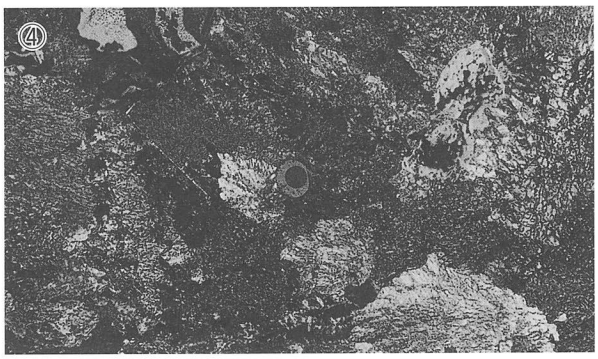
IRI-16
流動滓

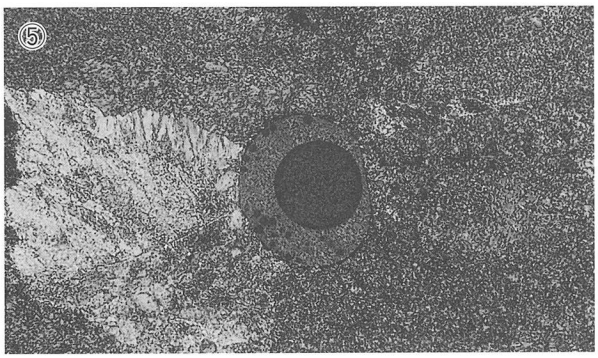
①×100 滓部：シュードブルーカイト
②×400 鉄中非金属介在物
③～⑨ ナイタルetch
③×100 過共析組織
④×100 ⑤×400 共析組織
⑥～⑨×200 硬度圧痕：
⑥259Hv. ⑦254Hv
⑦261Hv. ⑧427Hv

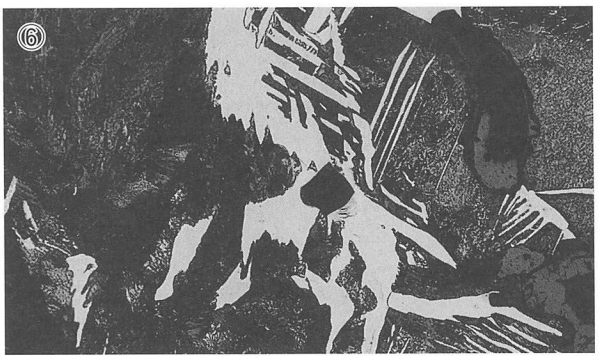


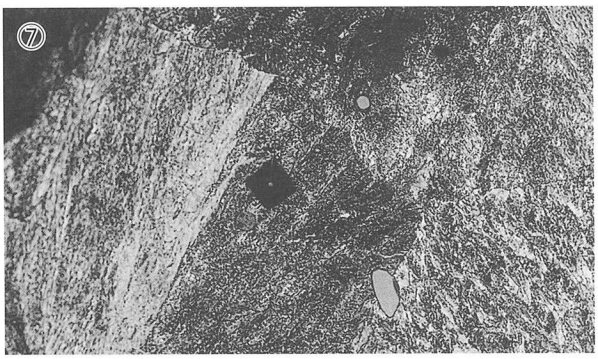


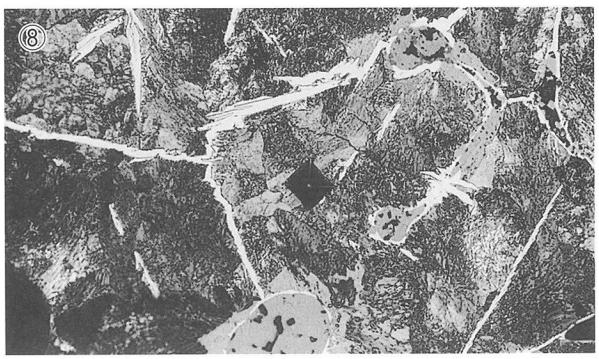












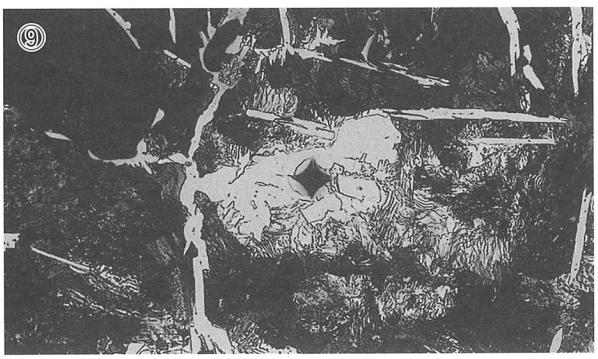
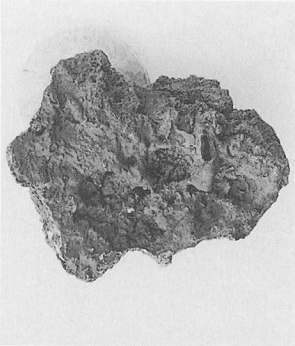
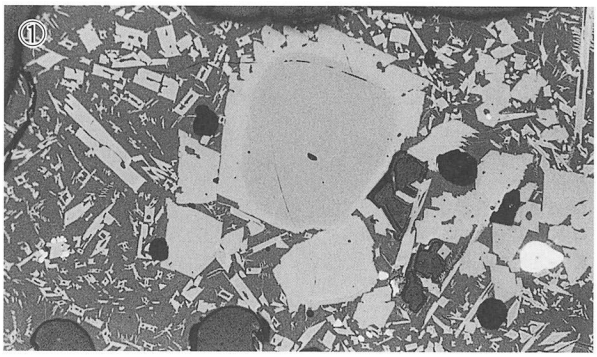


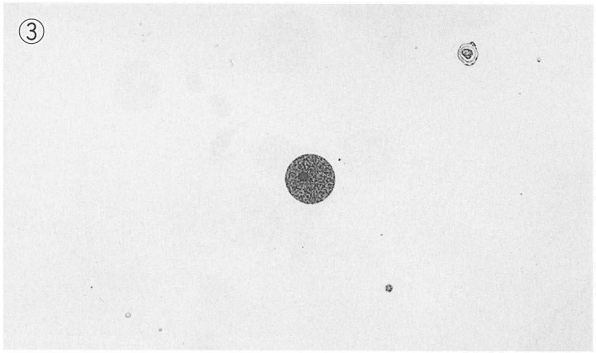
Photo.2　流動滓（含鉄工具痕付）の顕微鏡組織

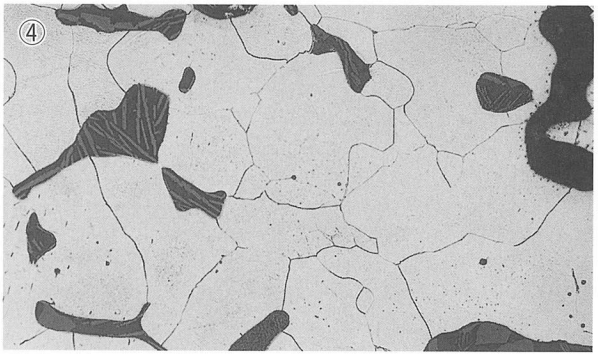
IRI-17
炉内滓

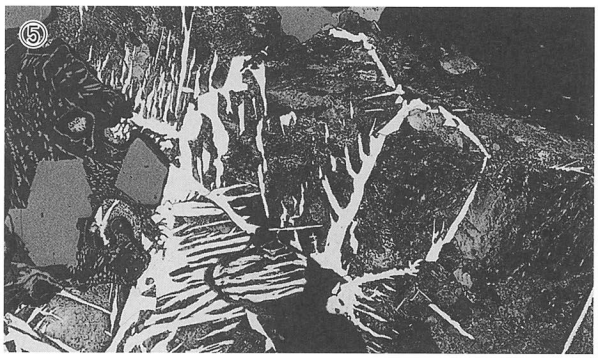
①②×100 滓部：ウルボスピネル．ルチル．イルミナイト
③×400 鉄中非金属介在物
③～⑦ ナイタルetch
④×100 フェライト
⑤×100 亜共析組織
⑥～⑨×200 硬度圧痕：
⑥110Hv
⑦170Hv．⑧261Hv．⑨782Hv

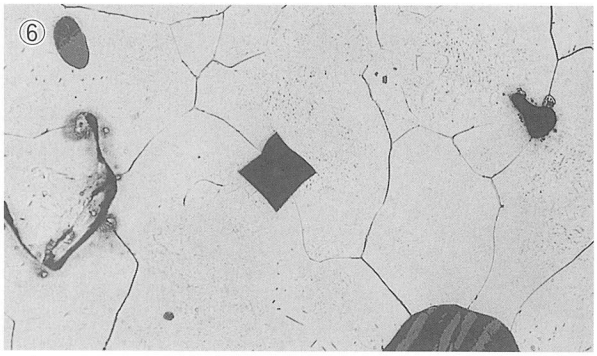


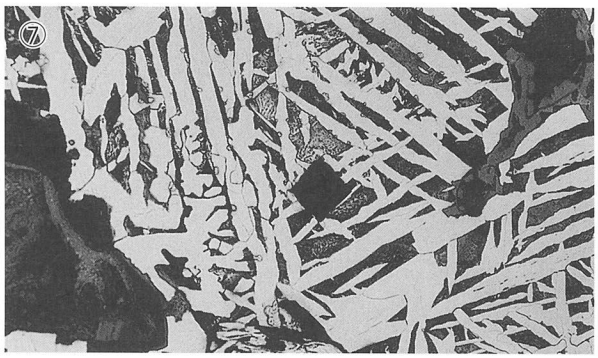












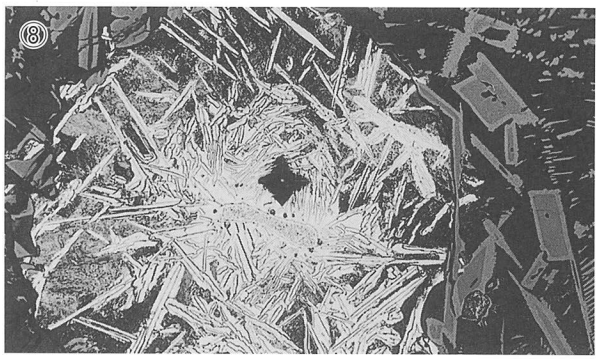
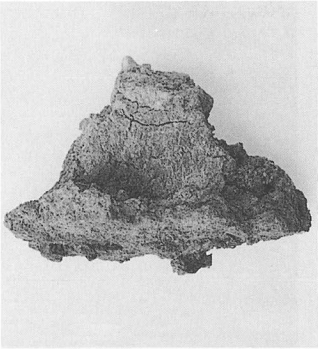
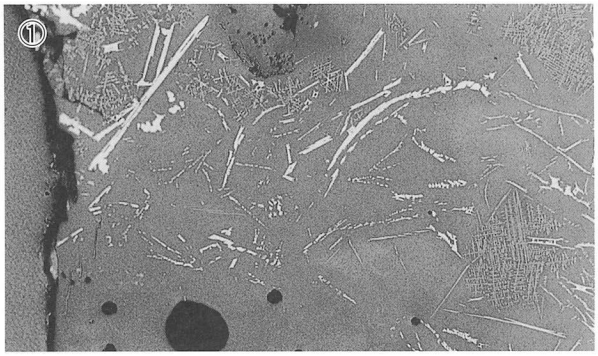


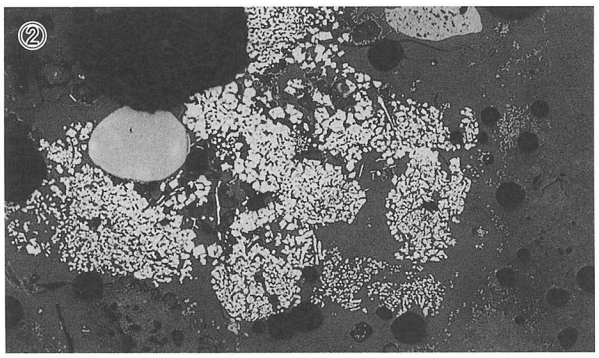
Photo. 3　炉内滓（含鉄）の顕微鏡組織

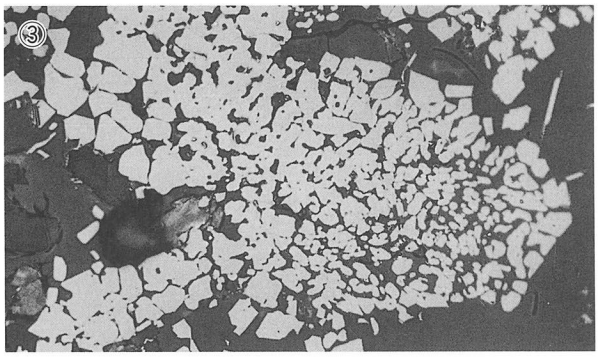
IRI-18
炉壁

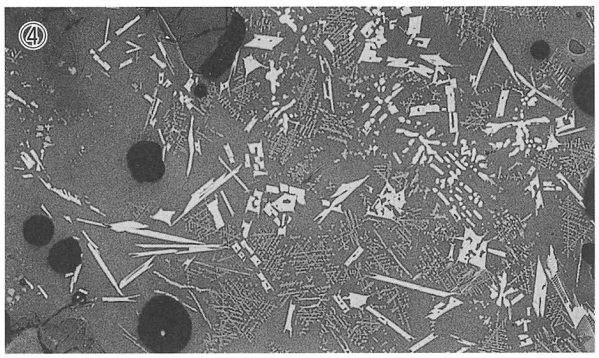
①×400 内面表層：暗黒色ガラス質滓中にイルミナイト晶出
②×100 ③×400 砂鉄残骸
④×100 ガラス質滓中のシュードブルーカイト
⑤×50 被熱胎土：粘土鉱物非晶質化

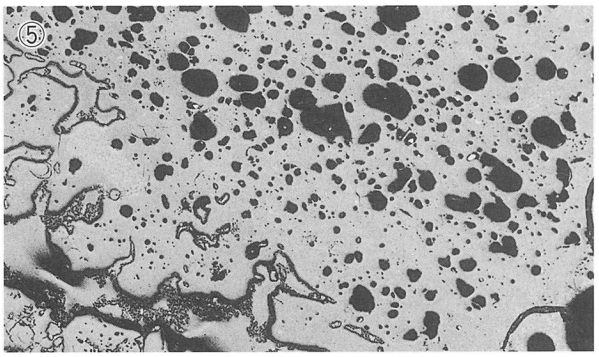






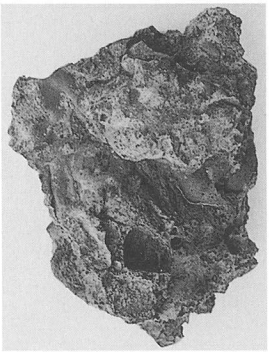


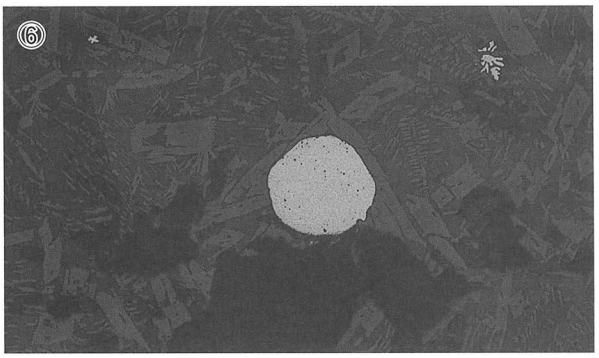


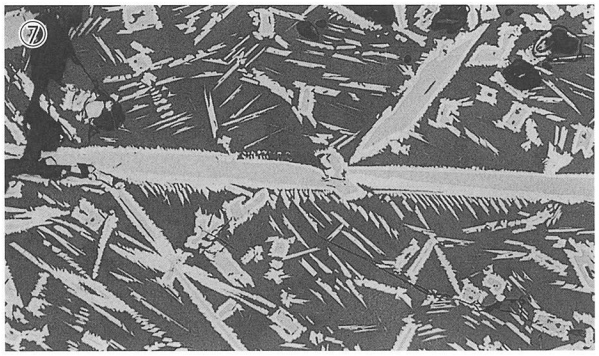


IRI-19
炉外流出滓

⑥×100 中央：微小金属鉄粒晶出．周囲：シュードブルーカイト
⑦×100 シュードブルーカイト
⑧×200 硬度圧痕：706Hv







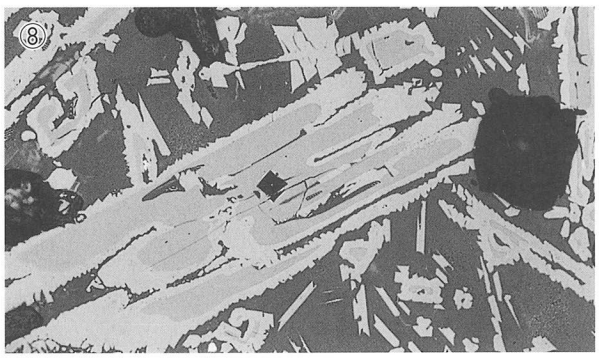
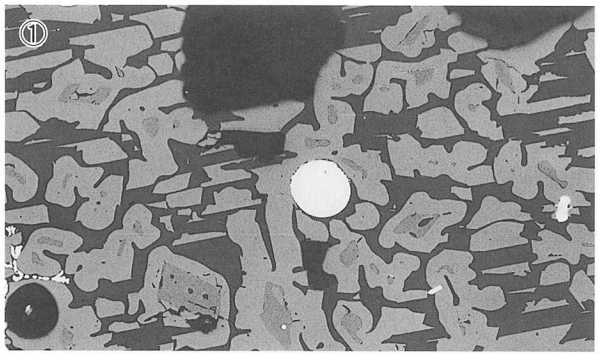
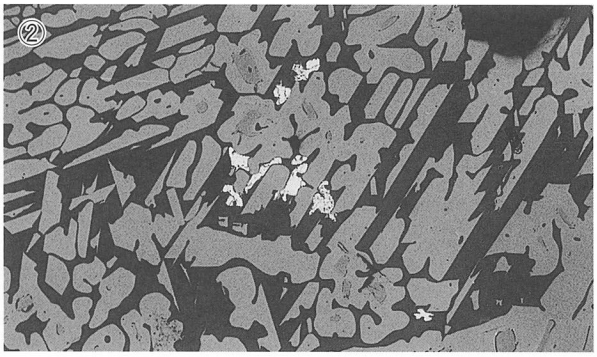


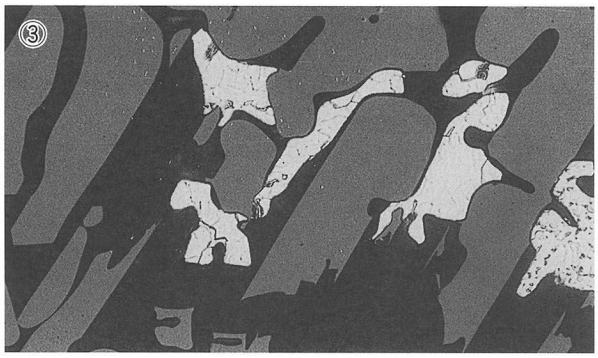
Photo.4　炉壁．炉外流出滓の顕微鏡組織

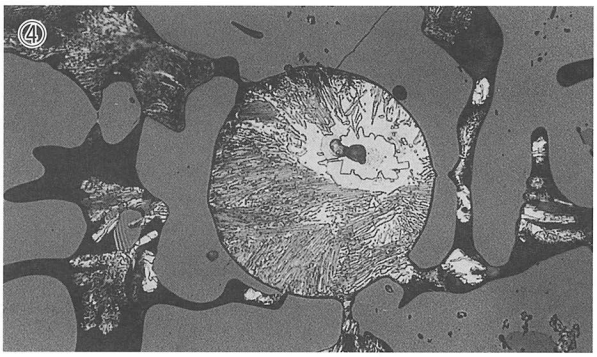
IRI-20
炉外流出滓

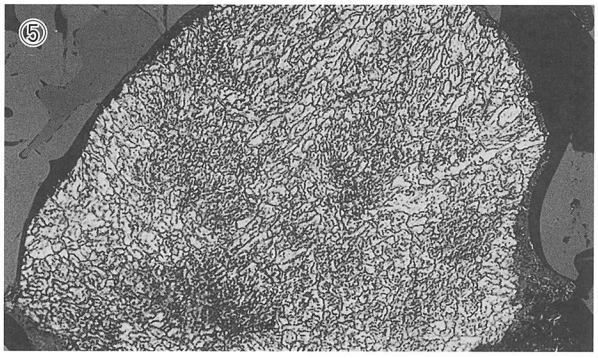
①×100 中央：微小金属鉄粒
周囲：イルミナイト晶出
②～⑧ ナイタルetch
②×100 ③×400 金属鉄：フェライト
④×400 金属鉄：過共析組織
⑤⑥×400 白色部：セメンタイトか
⑦～⑨×200 硬度圧痕：⑦140Hv
⑧301Hv. ⑨672Hv

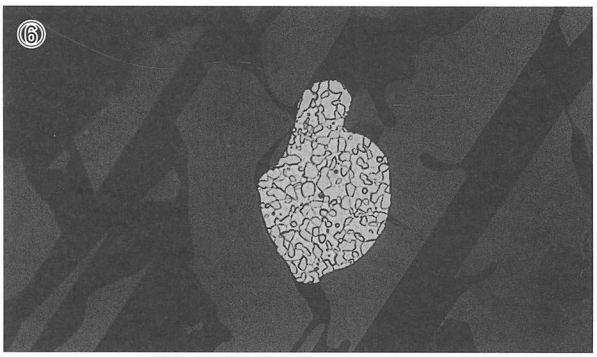


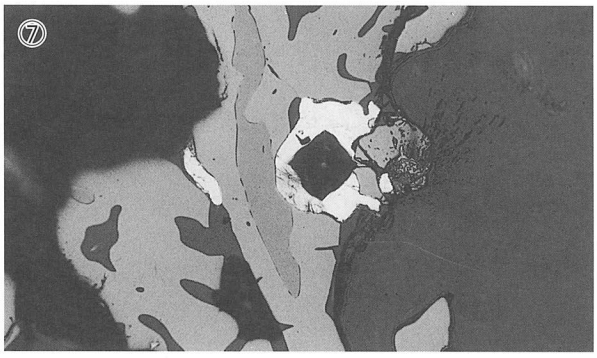


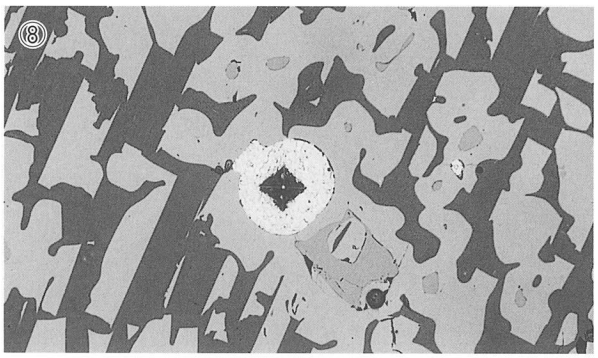












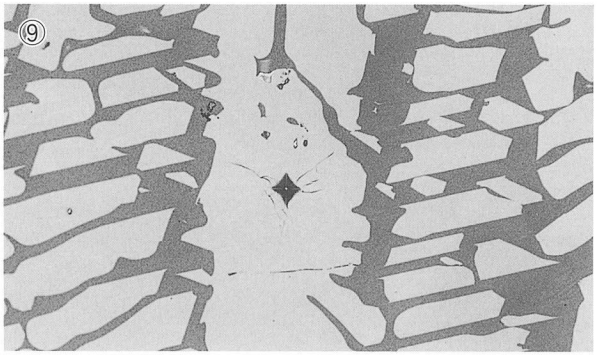
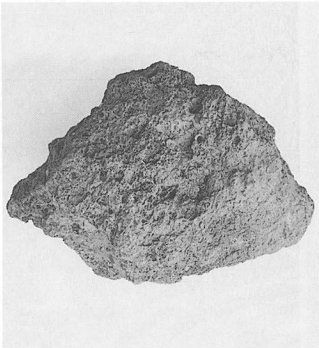
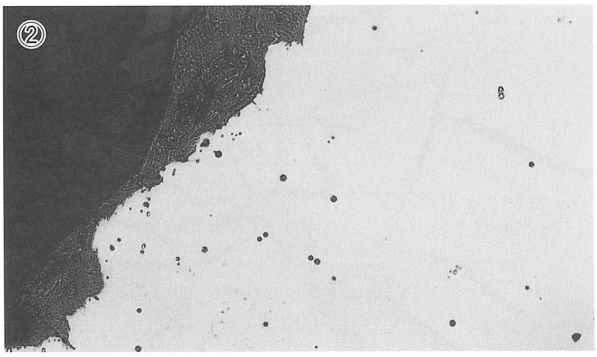


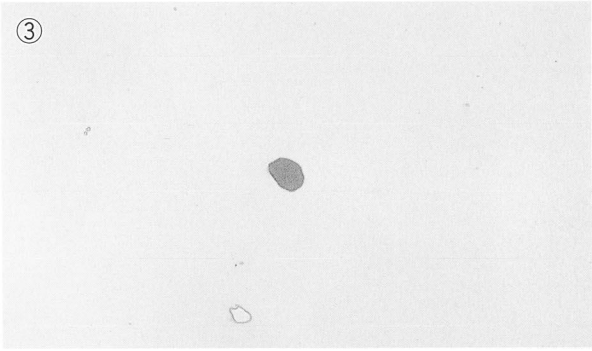
Photo.5　炉外流出滓の顕微鏡組織

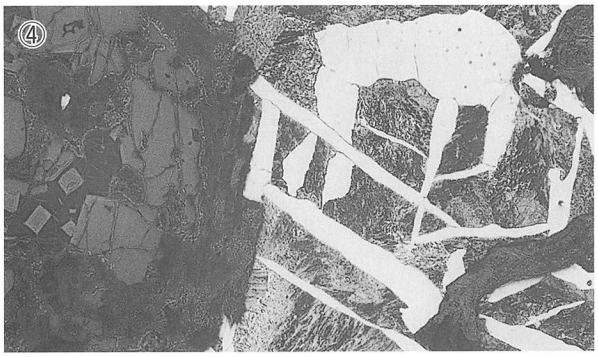
IRI-21
炉底塊

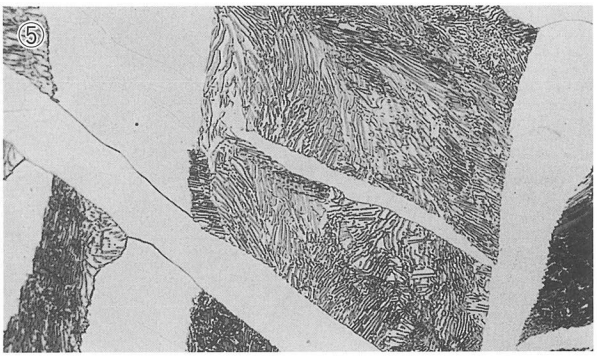
①×100 滓部：シュードブルーカイト
②×100 鉄中非金属介在物
③×400 同上
④～⑧ ナイタルetch
④×100 ⑤×400 亜共析組織
⑥×100 同上
⑦～⑨×200 硬度圧痕：⑦162Hv
⑧205Hv. ⑨854Hv

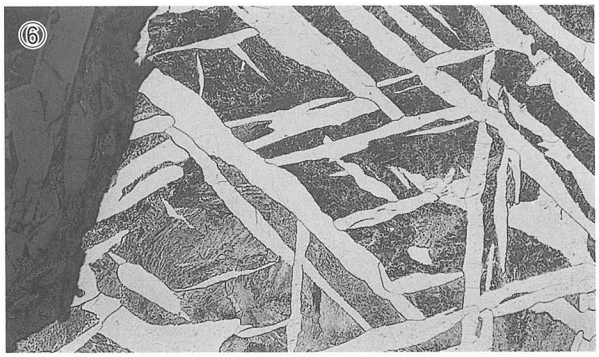


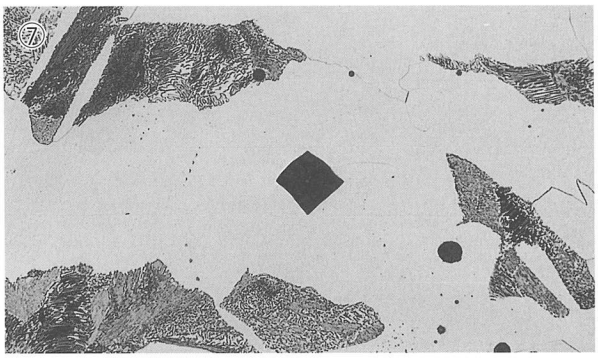


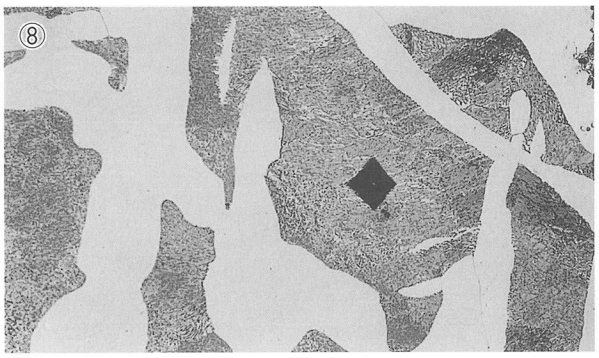












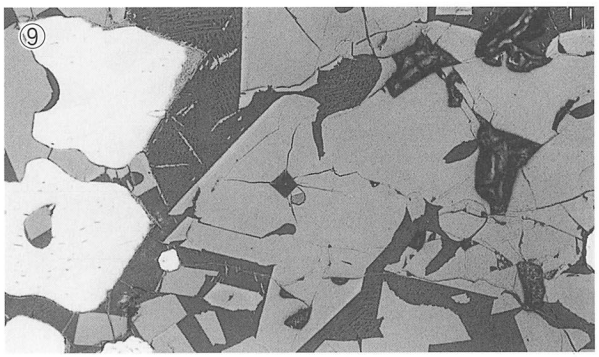
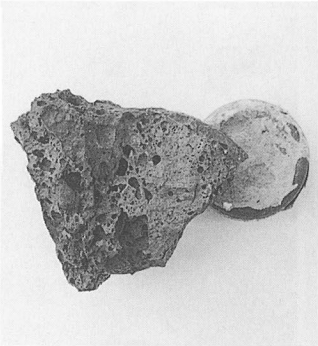
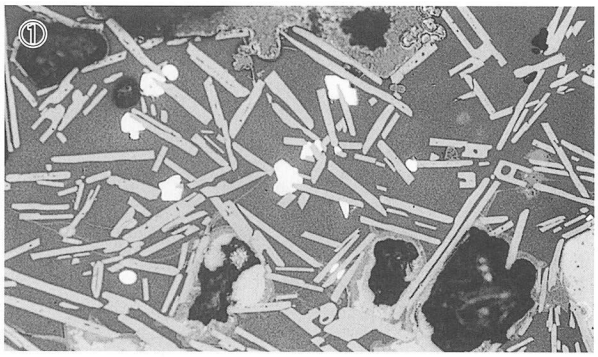


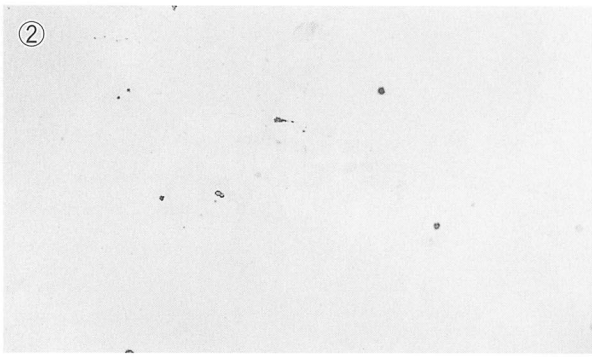
Photo.6　炉底塊（含鉄）の顕微鏡組織

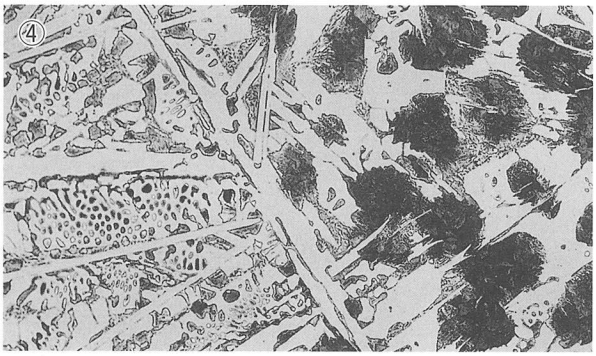
IRI-22
鉄塊系遺物

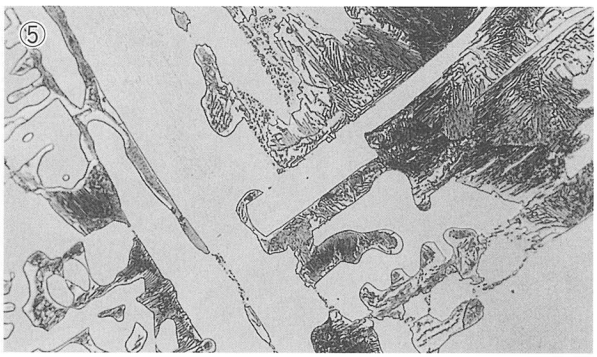
①×200 表皮スラグ：シュードブルーカイト．微小金属鉄粒晶出
②×400 鉄中非金属介在物
③×400 塊状黒鉛
③～⑨ ナイタルetch ④×100
⑤×400 亜共晶組成白鋳鉄
⑥×100 局部的黒鉛析出
⑦～⑨×200 硬度
⑦190Hv．⑧270Hv．⑨920Hv

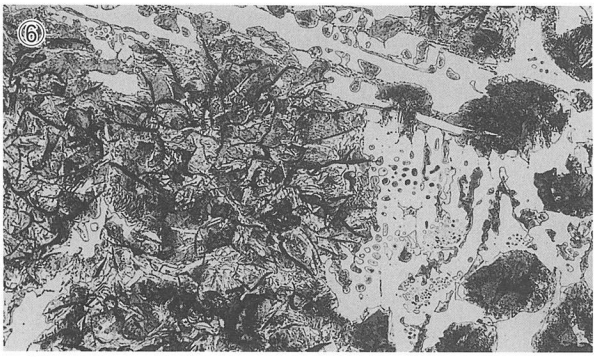


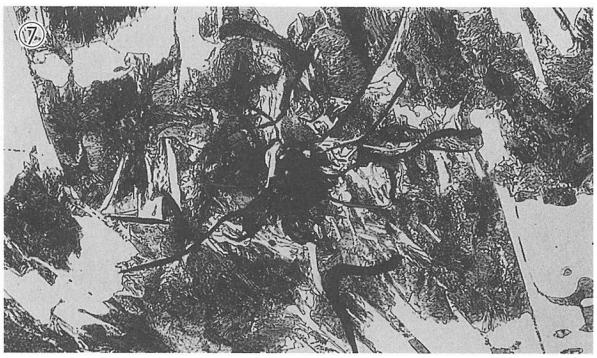


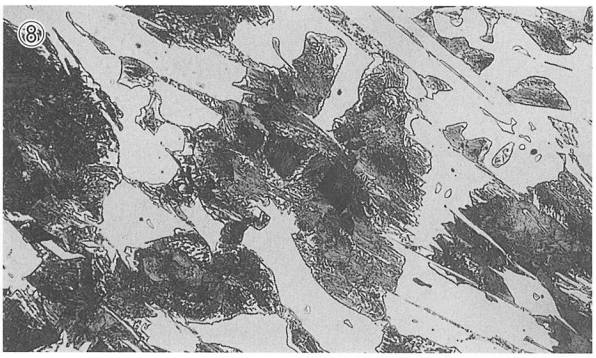












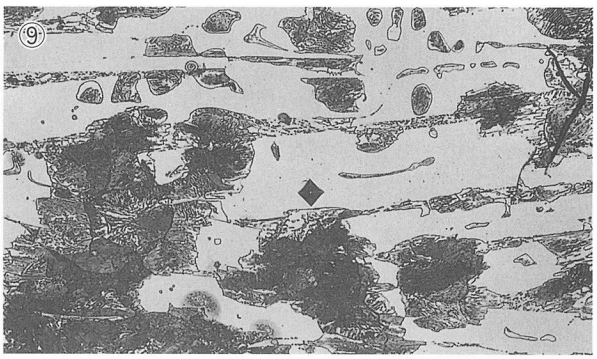
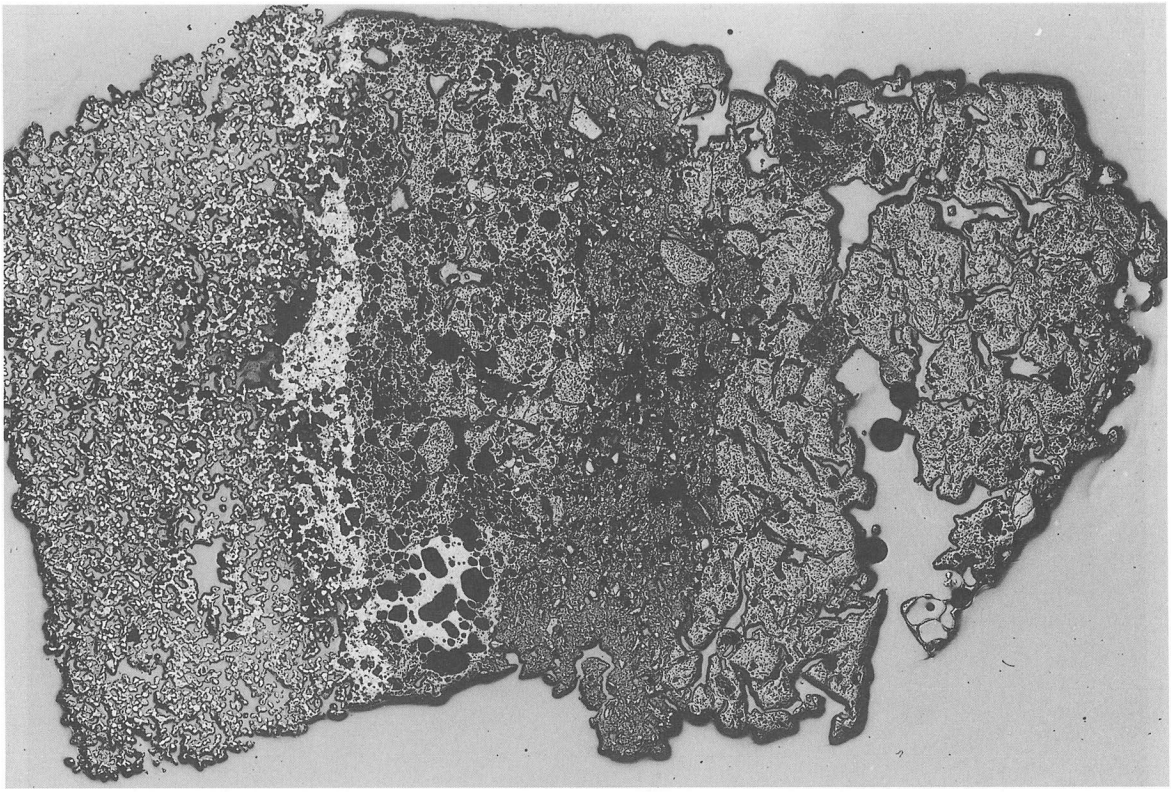
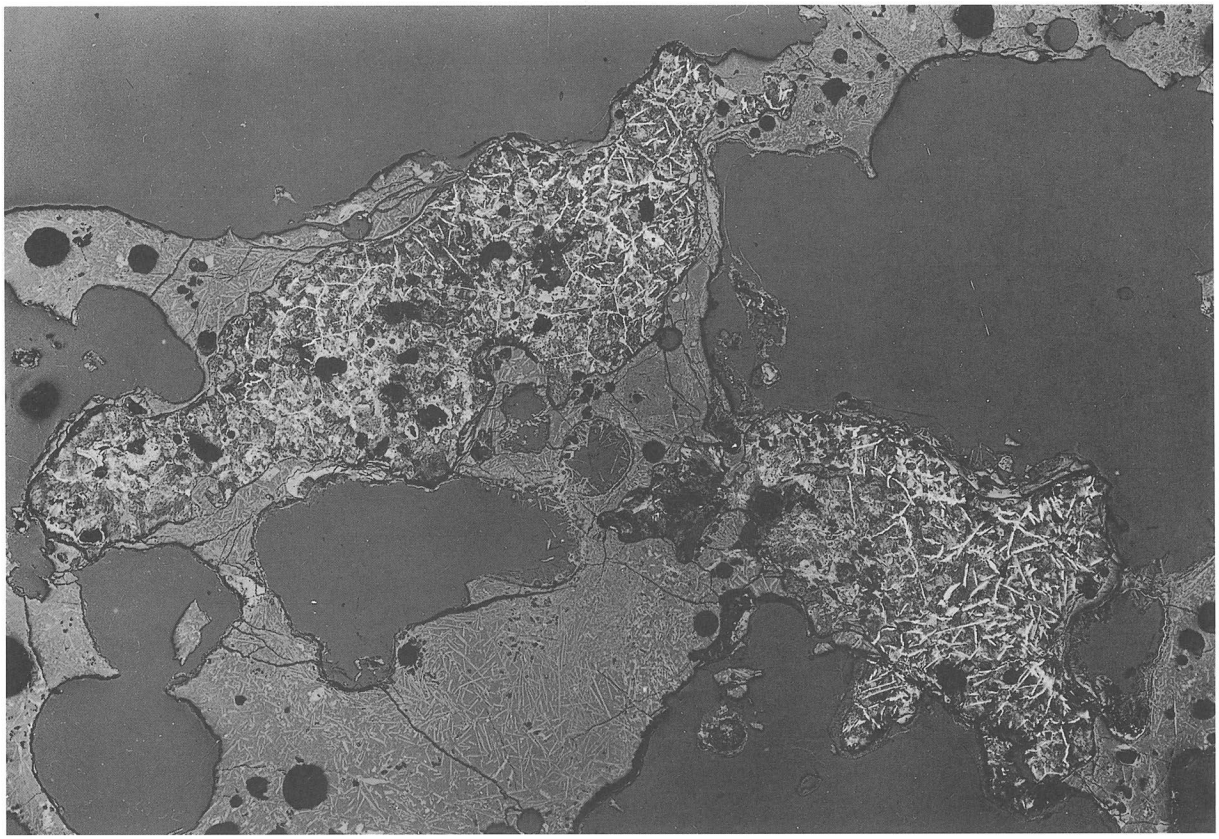


Photo.7　鉄塊系遺物の顕微鏡組織



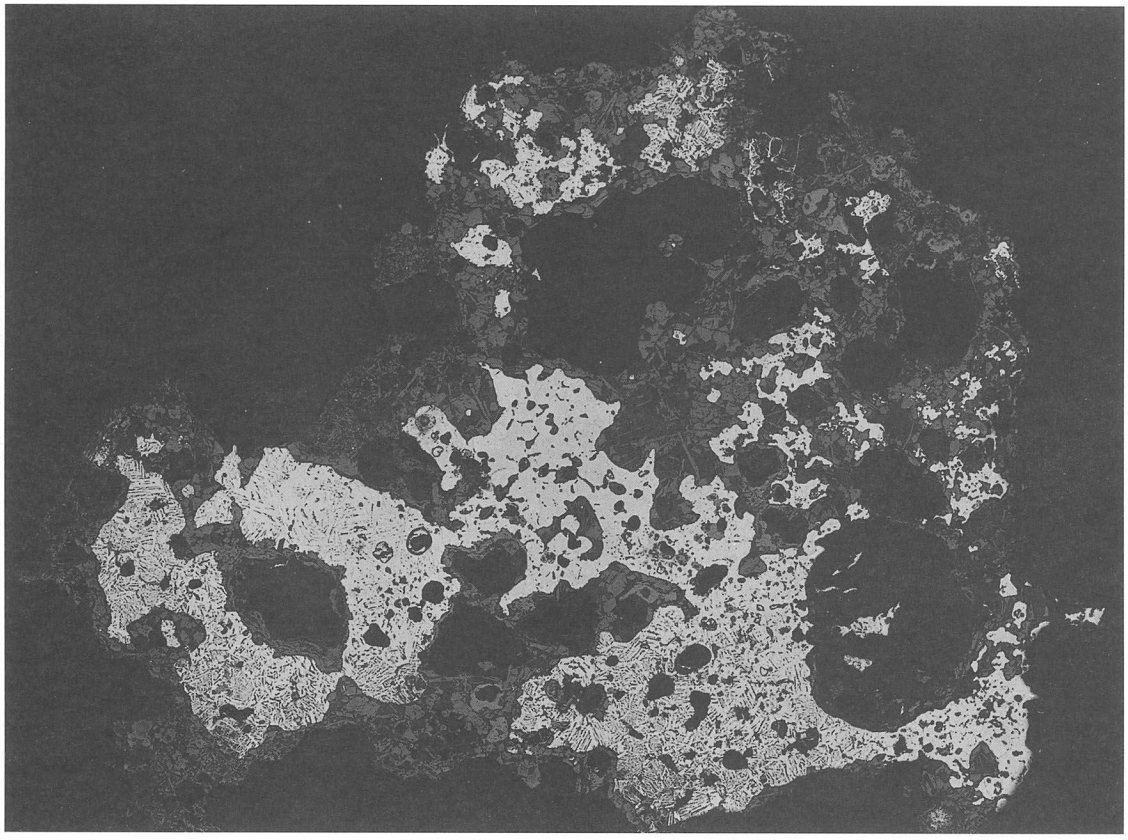
←砂鉄焼結部→

IRI-15×15

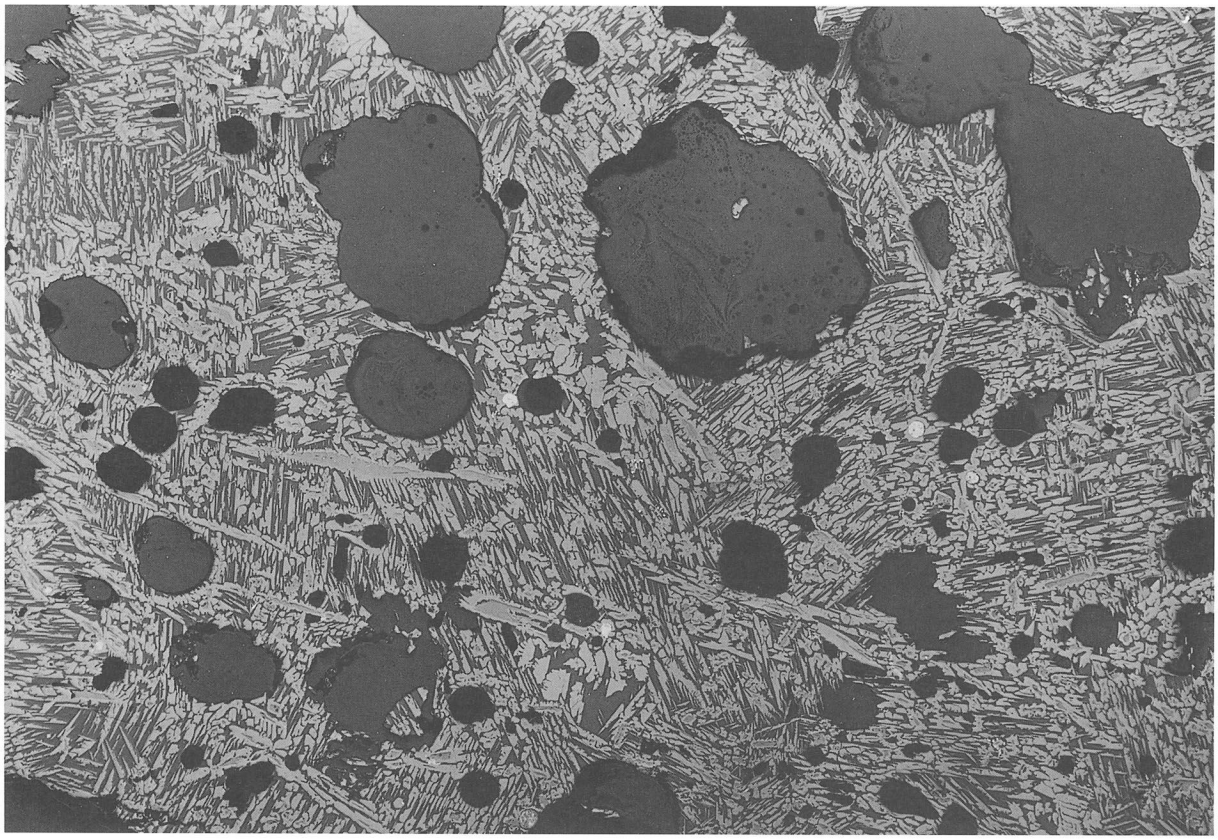


IRI-16×20

Photo. 8　上段：炉壁（砂鉄焼結）（IRI-15）のマクロ組織（×5）
下段：流動滓（含鉄工具痕付）（IRI-16）のマクロ組織（×20）



IRI-17×10



IRI-20×20

Photo.9　上段：炉内滓（含鉄）（IRI-17）のマクロ組織（×10）
下段：炉外流出滓（含鉄）（IRI-20）のマクロ組織（×20）