TON-31
鉄塊系遺物
①×100 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
③×50④×100⑤×400 亜共晶組成白鋳鉄
⑥×100⑦×400 同上
⑧⑨×200 硬度圧痕：⑧672Hv、⑨208Hv

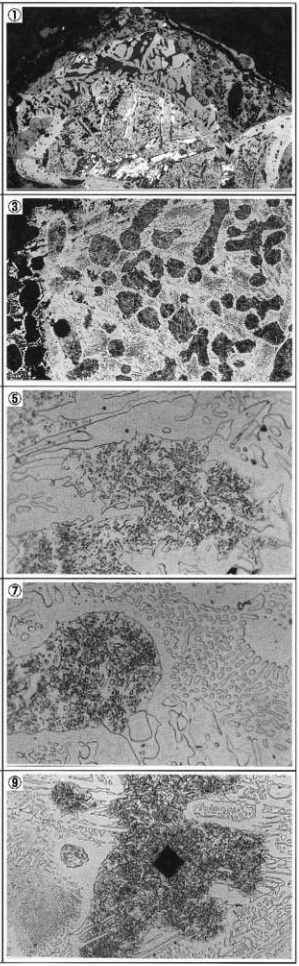
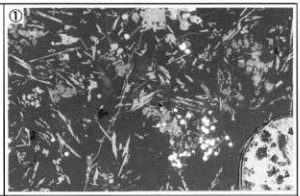
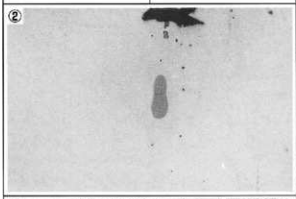


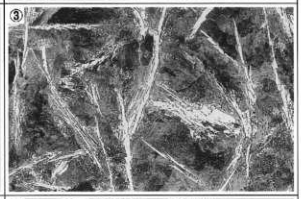
Photo.22 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

TON-32
鉄塊系遺物
①×200 滓部：微小金属鉄粒散在、イルミナイト・ルチル
②×400 鉄中非金属介在物
③～⑨ ナイタルetch
⑤×100 セメンタイト・パーライト
④×100⑤×400 同上
⑥×100⑦×400 ねずみ鋳鉄
⑧⑨×200 硬度：⑧283Hv、⑨281Hv

×0.5







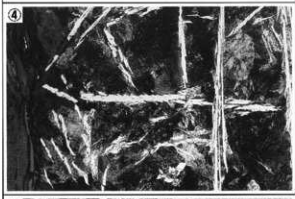


Photo.23 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

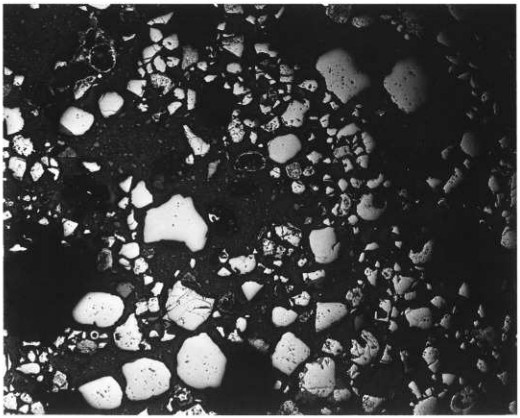
TON-33
鉄塊系遺物
①×400 鉄中非金属介在物
②③ ナイタルetch
②×50 共晶組成白鋳鉄
③×200 硬度圧痕；552Hv

×0.5

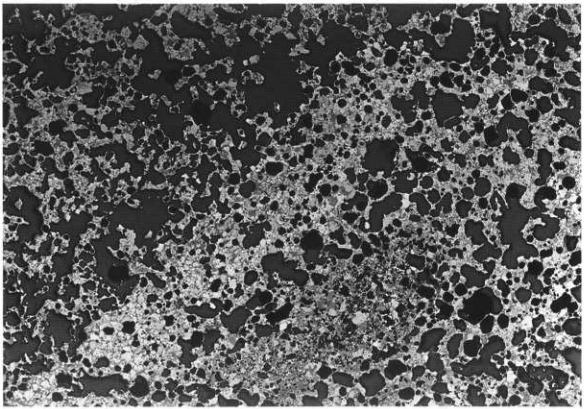
TON-34
鉄塊系遺物
④×400 滓部；金属鉄粒散在、イルミナイト・ルチル
⑤×400 鉄中非金属介在物
⑥～⑧ ナイタルetch
⑥×50 左側；ねずみ鋳鉄、右側；亜共晶組成白鋳鉄
⑦⑧×200 硬度圧痕；⑦241Hv、⑧640Hv

×0.5

Photo.24　鉄塊系遺物の顕微鏡組織

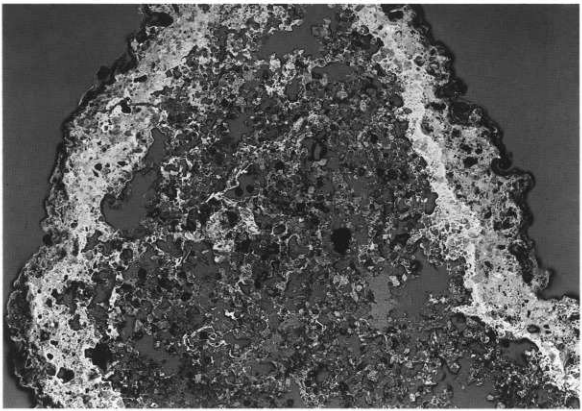


TON-3×25

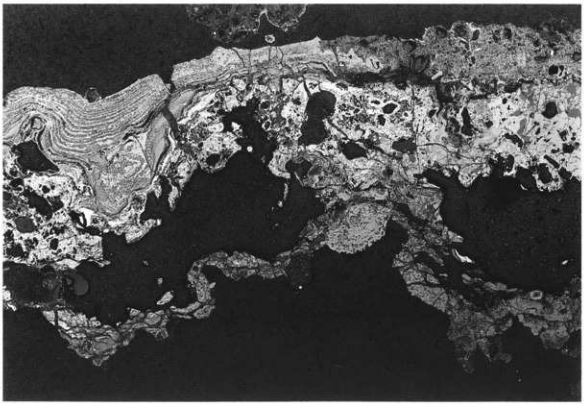


TON-4×10

Photo.25　上段：砂鉄（TON-3)のマクロ組織（×25）
　　下段：砂鉄焼結塊（TON-4）のマクロ組織（×10）

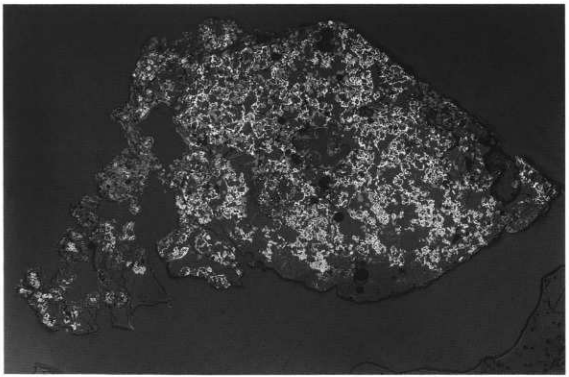


TON-12×10

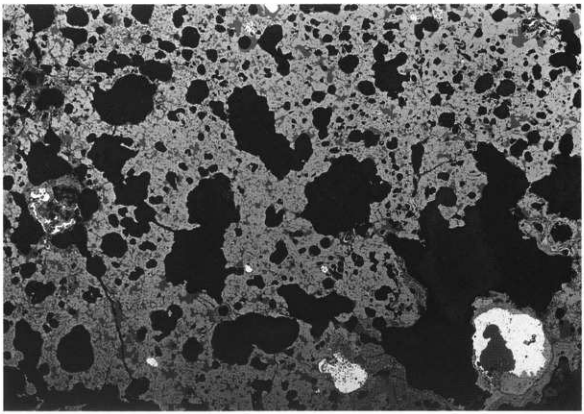


TON-13×10

Photo.26　上段：炉内滓（含鉄銹化）（TON-12）のマクロ組織（×10）
下段：炉内滓（含鉄）（TON-13）のマクロ組織（×10）

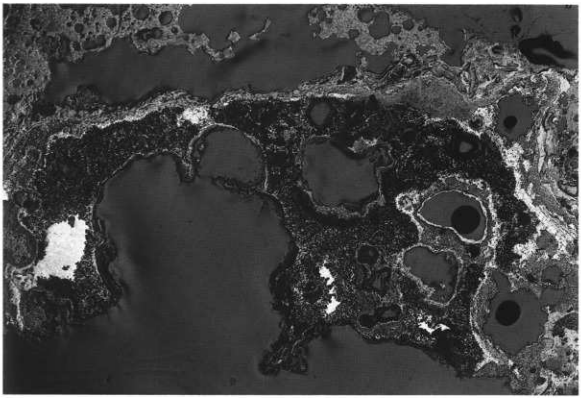


TON-14×10

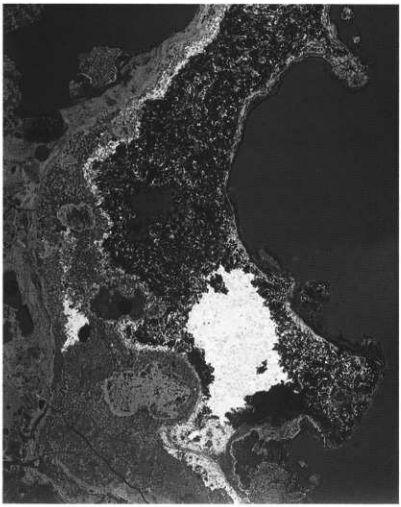


TON-15×10

Photo.27　上段：炉内滓（含鉄・炉壁付着）（TON-14）のマクロ組織（×10）
下段：炉内滓（含鉄）（TON-15）のマクロ組織（×10）

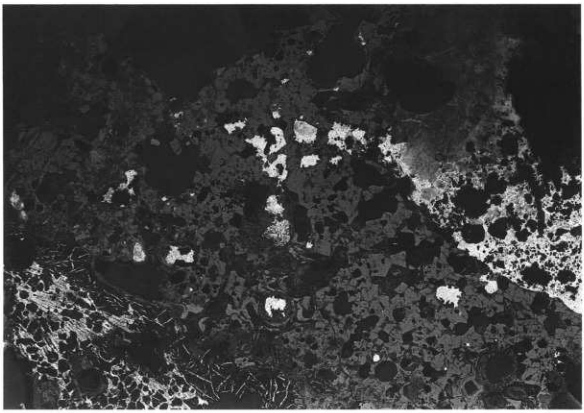


TON-16×5

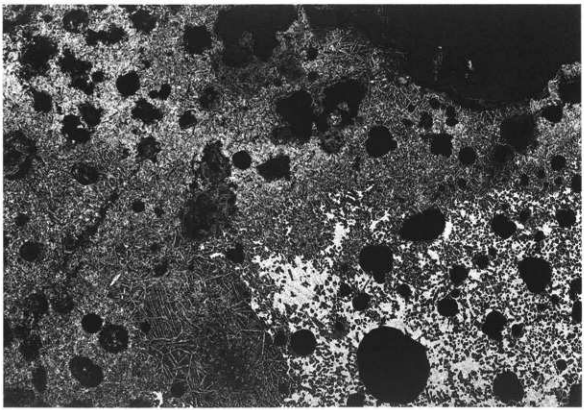


TON-16×10

Photo.28　炉内滓（含鉄）（TON-16)のマクロ組織　　上段：（×5）　下段：（×10）

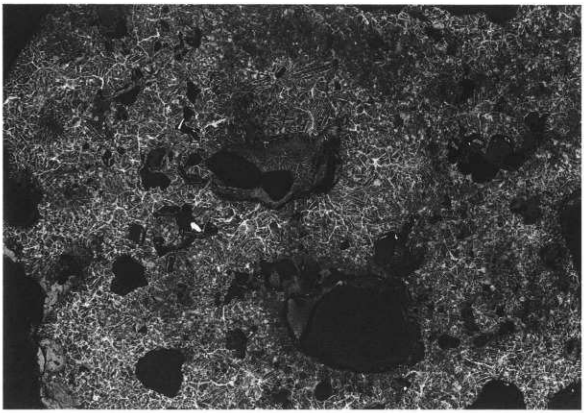


TON-17×10

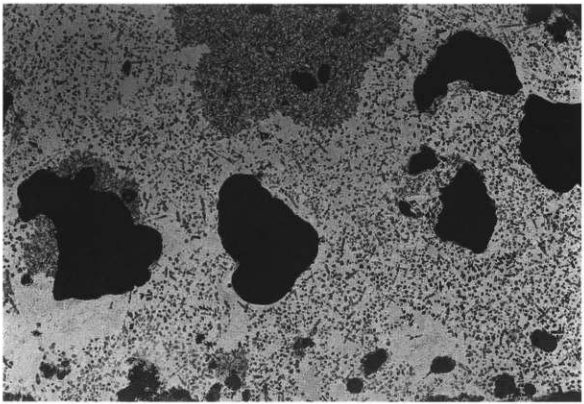


TON-18×10

Photo.29　上段：炉内滓（含鉄）（TON-17）のマクロ組織（×10）
　　下段：鉄塊系遺物（TON-18）のマクロ組織（×10）

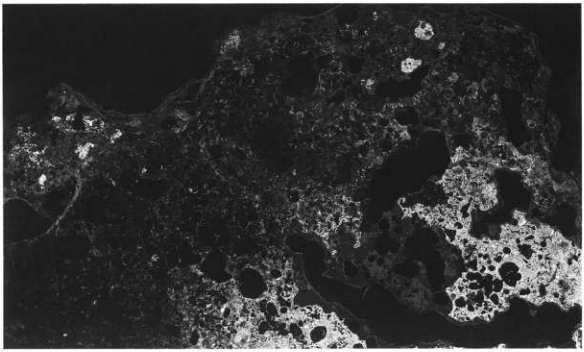


TON-19×10

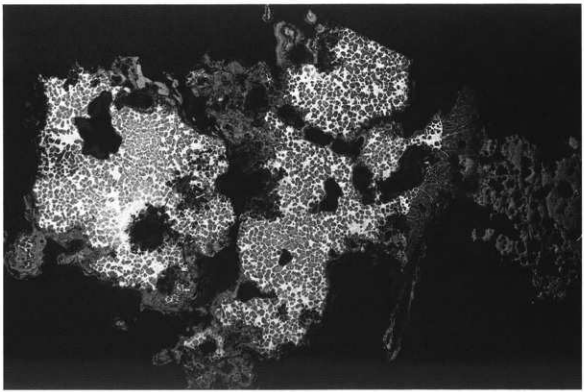


TON-20×10

Photo.30　上段：鉄塊系遺物（TON-19）のマクロ組織（×10）
下段：鉄塊系遺物（TON-20）のマクロ組織（×10）

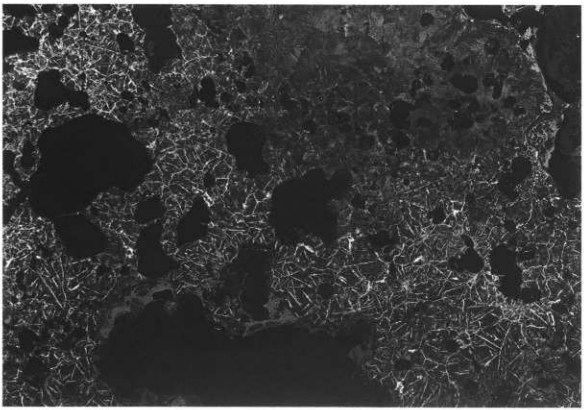


TON-21×10

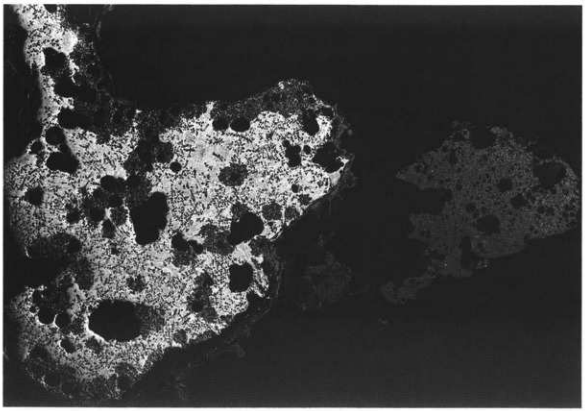


TON-22×10

Photo.31　上段：鉄塊系遺物（TON-21）のマクロ組織（×10）
　　下段：鉄塊系遺物（TON-22）のマクロ組織（×10）

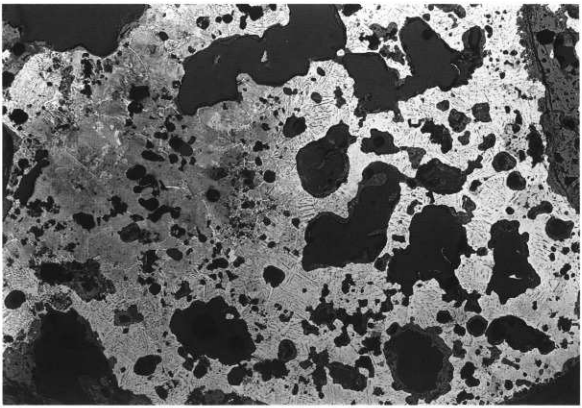


TON-23×10

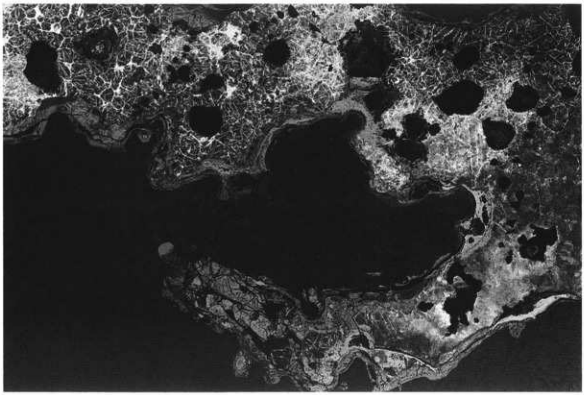


TON-24×10

Photo.32　上段：鉄塊系遺物（TON-23）のマクロ組織（×10）
下段：鉄塊系遺物（TON-24）のマクロ組織（×10）

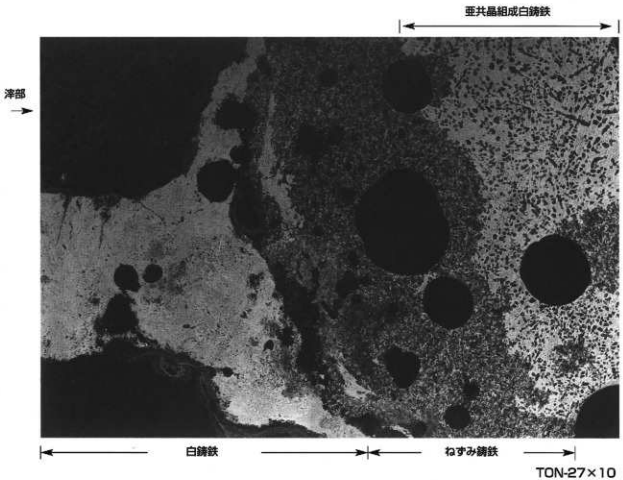


TON-25×10

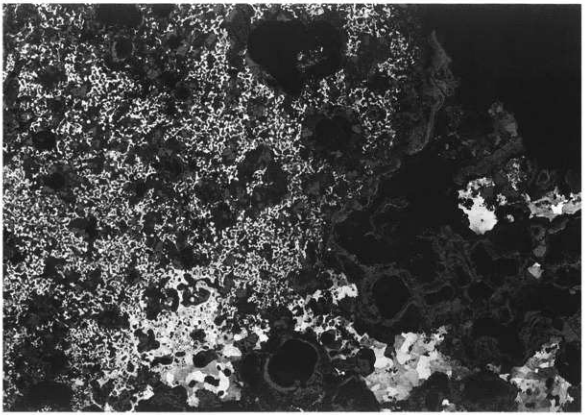


TON-26×10

Photo.33　上段：鉄塊系遺物（TON-25）のマクロ組織（×10）
　　下段：鉄塊系遺物（TON-26）のマクロ組織（×10）

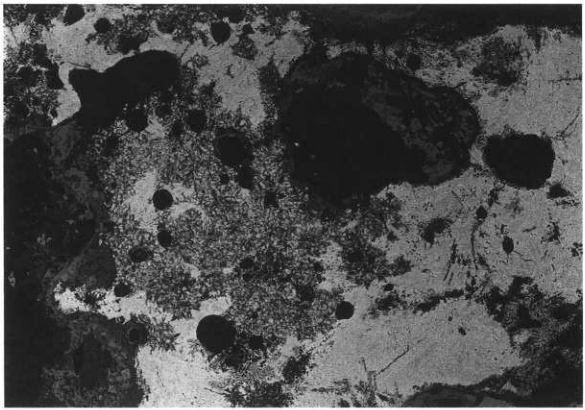


TON-27×10

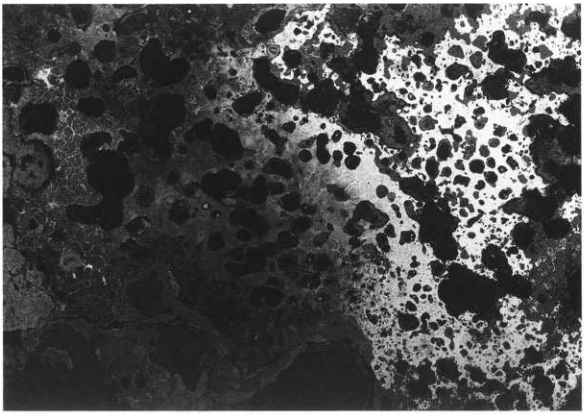


TON-28×10

Photo.34　上段：鉄塊系遺物（TON-27）のマクロ組織（×10）
下段：鉄塊系遺物（TON-28）のマクロ組織（×10）

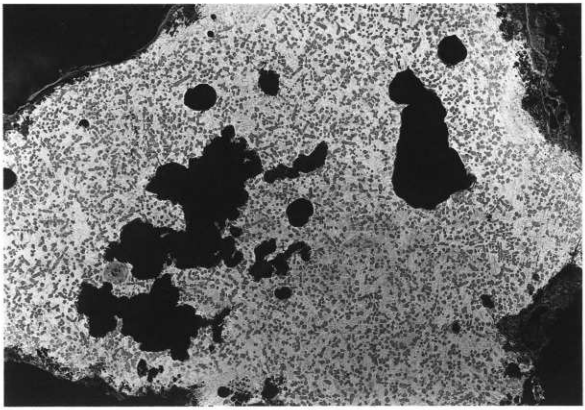


TON-29×10

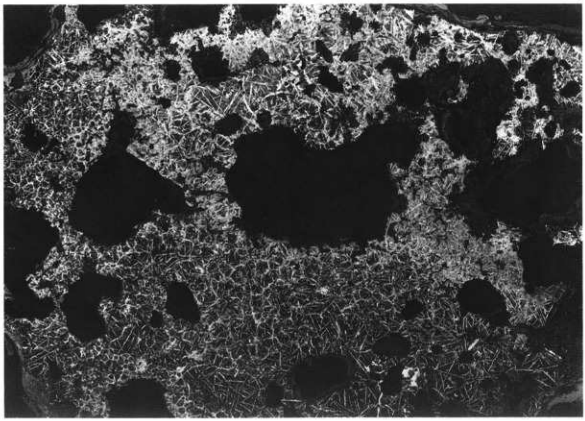


TON-30×10

Photo.35　上段：鉄塊系遺物（TON-29）のマクロ組織（×10）
　　下段：鉄塊系遺物（TON-30）のマクロ組織（×10）

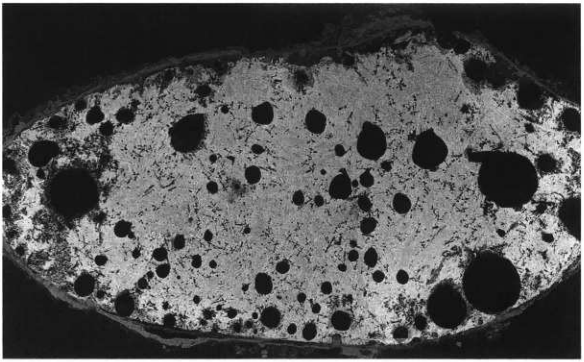


TON-31×10

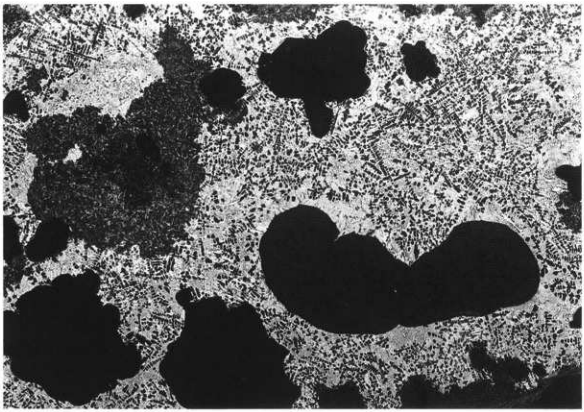


TON-32×10

Photo.36　上段：鉄塊系遺物（TON-31）のマクロ組織（×10）
下段：鉄塊系遺物（TON-32）のマクロ組織（×10）



TON-33×10

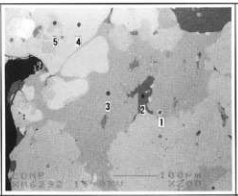


TON-34×10

Photo.37　上段：鉄塊系遺物（TON-33）のマクロ組織（×10）
　　下段：鉄塊系遺物（TON-34）のマクロ組織（×10）

COMP
×200

TON-4

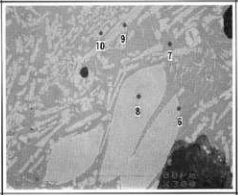


Element	1	2	3	4	5
F	–	0.230	–	–	–
NaO	0.658	0.568	0.076	0.017	–
MgO	0.178	–	1.479	0.253	0.109
Al_2O_3	0.652	23.196	0.134	0.758	3.441
SiO_2	0.511	18.990	23.345	0.456	0.761
P_2O_5	0.274	0.024	0.102	–	0.002
S	–	0.003	0.006	0.004	–
K$_2$O	–	10.417	–	0.006	–
CaO	–	–	0.190	–	–
TiO_2	2.439	0.004	0.173	3.620	23.179
Cr_2O_3	0.324	–	0.101	0.641	0.078
MnO	0.473	0.019	1.162	0.903	0.491
FeO	97.097	1.425	63.850	95.401	71.086
SrO	–	0.145	0.112	–	–
ZrO_2	0.166	0.039	–	–	0.048
BaO	0.143	0.089	–	0.038	0.101
Nb_2O_5	0.021	–	–	0.218	0.032
VO_2	0.141	0.068	–	0.339	1.396
Total	102.436	104.162	91.275	101.159	98.226

TON-4

COMP
×300

TON-6

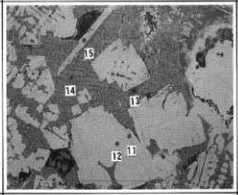


Element	6	7	8	9	10
F	–	–	–	–	–
NaO	–	0.349	–	–	–
MgO	0.089	1.009	1.203	0.947	1.137
Al_2O_3	0.603	22.600	3.051	0.753	3.405
SiO_2	0.203	40.942	0.085	0.111	0.252
P_2O_5	–	0.065	0.124	0.091	0.017
S	0.003	0.003	0.026	0.002	–
K$_2$O	0.055	2.142	–	0.091	0.086
CaO	0.043	4.240	–	0.048	0.054
TiO_2	59.533	3.986	86.811	91.259	82.334
Cr_2O_3	0.085	0.060	0.215	0.205	0.284
MnO	1.180	1.733	0.037	1.486	0.352
FeO	41.326	20.697	17.194	41.231	26.397
SrO	0.073	0.261	–	–	–
ZrO_2	0.076	0.157	0.045	0.063	–
BaO	0.179	0.191	0.499	0.363	0.479
Nb_2O_5	–	–	0.263	–	–
VO_2	0.454	0.149	9.086	4.858	6.721
Total	100.124	91.730	101.961	101.290	100.149

TON-6

COMP
×300

TON-7



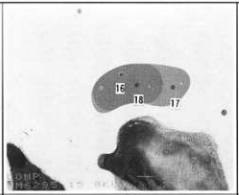
Element	11	12	13	14	15
F	–	–	–	–	0.081
NaO	0.042	0.059	2.184	0.253	–
MgO	1.481	0.373	–	5.039	0.462
Al_2O_3	0.596	4.763	20.479	5.307	0.152
SiO_2	0.027	0.126	61.096	66.859	0.034
P_2O_5	–	0.034	0.029	–	0.011
S	0.003	–	0.001	–	0.003
K$_2$O	0.007	–	10.961	9.459	–
CaO	0.018	–	2.166	15.135	0.166
TiO_2	48.800	23.941	0.630	1.536	50.897
Cr_2O_3	0.151	0.449	0.033	0.368	0.620
MnO	2.220	1.044	0.097	1.786	2.950
FeO	43.601	36.760	1.391	39.797	43.719
SrO	–	0.267	0.581	0.186	0.041
ZrO_2	0.180	–	0.035	0.178	0.422
BaO	0.462	0.035	0.210	–	0.377
Nb_2O_5	0.052	0.164	–	0.063	–
VO_2	3.268	7.457	0.091	0.071	0.325
Total	100.925	97.676	102.259	97.820	99.286

TON-7

Photo.38　滓部鉱物相の反射電子像と定量分析値

COMP
×700

TON–21

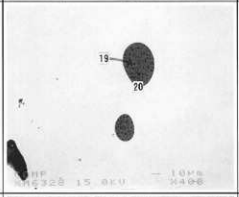


Element	18	17	16	19	20
F	–	–	–	–	–
NaO	0.559	0.177	0.818	0.720	0.401
MgO	4.172	3.887	1.894	1.848	2.030
Al_2O_3	8.818	7.833	13.344	10.662	7.130
SiO_2	29.675	21.467	39.174	45.200	28.121
P_2O_5	–	0.000	–	0.000	0.150
S	0.036	0.000	–	0.016	0.055
CaO	1.149	0.227	2.036	1.945	1.285
TiO	2.687	4.726	3.134	3.231	2.879
Cr_2O_3	44.777	45.682	10.567	15.775	39.34x
CoO_3	0.027	0.016	0.059	–	0.147
MnO	3.051	3.264	1.209	1.348	1.575
FeO	14.555	14.801	4.809	8.646	26.50x
NiO	0.089	0.163	0.062	0.262	0.132
ZrO_2	0.497	0.454	0.080	0.137	0.205
BaO	0.413	0.254	0.145	0.695	0.142
Na_2O_3	0.326	–	0.053	0.674	–
V_2O_5	0.695	1.015	0.267	0.430	1.129
Total	100.515	99.675	98.959	95.824	101.078

TON–21
①

COMP
×400

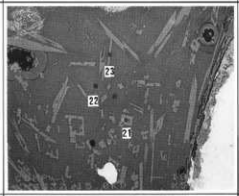
TON–21



TON–21
②

COMP
×500

TON–23

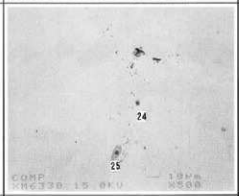


Element	21	22	23	24	25
F	0.045	–	–	–	–
NaO	0.023	0.105	–	–	–
MgO	3.306	2.746	3.277	0.351	0.615
Al_2O_3	3.242	12.039	2.495	–	0.639
SiO_2	0.171	46.389	0.345	0.399	0.615
P_2O_5	0.038	0.102	–	29.991	0.033
S	0.003	0.161	0.031	0.285	35.921
EO	0.073	2.168	0.033	–	–
CaO	0.269	7.782	0.335	0.406	–
TiO	61.603	4.680	67.461	0.015	1.220
Cr_2O_3	0.113	–	0.291	0.076	0.159
MnO	0.586	1.942	0.259	–	0.633
FeO	17.452	10.389	17.903	119.669	76.316
SrO	0.063	0.756	0.045	–	–
ZrO	0.251	0.329	0.278	0.126	0.039
BaO	0.594	0.117	0.307	0.076	–
Nb_2O_5	0.031	–	–	0.031	0.036
V_2O_5	8.857	0.057	7.259	0.309	4.145
Total	100.923	91.886	100.331	144.918	125.337

TON–23
①

COMP
×500

TON–23

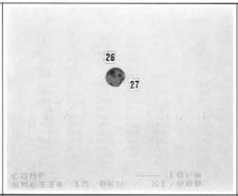


TON–23
②

Photo.39　滓部鉱物相及び鉄中非金属介在物の反射電子像と定量分析値

COMP
×1000

TON–25

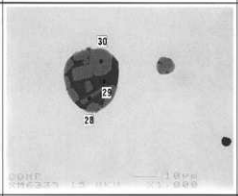


Element	26	27	28	29	30
F	0.244	–	0.262	–	–
MgO	0.167	0.514	1.457	1.216	0.804
Al_2O_3	1.323	1.573	4.131	1.194	1.163
SiO_2	20.617	12.636	18.501	25.598	10.873
SiO_2	35.452	2.743	13.621	37.176	0.841
FeO	–	–	0.007	0.045	–
S	0.612	–	–	–	–
K_2O	0.469	0.325	1.903	4.347	0.817
CaO	1.823	0.087	3.233	9.363	0.693
TiO2	8.261	62.286	13.733	5.825	74.894
Cr_2O_3	0.042	0.242	–	–	0.052
MnO	0.146	0.096	0.224	0.147	0.097
FeO	14.643	19.582	8.251	4.386	9.829
SrO	0.295	0.361	0.077	0.248	–
ZrO_2	0.648	0.315	0.185	0.176	0.258
BaO	0.097	0.100	0.448	0.108	0.641
Nb_2O_5	–	0.242	–	0.248	–
VOn	0.240	4.088	0.445	0.393	0.817
Total	88.964	101.382	104.770	100.939	101.880

TON–25
①

COMP
×1000

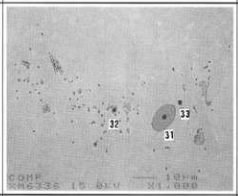
TON–25



TON–25
②

COMP
×1000

TON–30

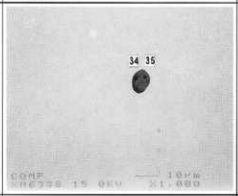


Element	31	32	33	34	35
F	–	–	–	1.005	0.133
MgO	0.023	0.306	–	1.164	2.467
Al_2O_3	–	0.262	0.627	26.505	15.269
SiO_2	–	1.346	0.193	36.548	4.641
FeO	0.014	1.176	15.285	0.322	0.627
S	36.913	0.322	7.282	0.167	–
K_2O	–	–	–	4.426	0.481
CaO	–	–	–	7.179	0.888
TiO2	1.279	–	0.608	16.735	71.893
Cr_2O_3	0.268	0.169	–	–	0.627
MnO	1.874	0.320	0.105	0.134	0.650
FeO	79.713	131.941	121.305	6.648	3.644
SrO	0.031	0.302	–	0.268	0.626
ZrO_2	0.012	0.106	–	0.253	0.471
BaO	–	–	–	0.187	0.610
Nb_2O_5	–	0.338	0.423	–	0.653
VOn	2.736	0.206	0.043	0.111	0.430
Total	117.626	154.506	138.172	101.755	109.354

TON–30
①

COMP
×1000

TON–30



TON–30
②

Photo.40　鉄中非金属介在物の反射電子像と定量分析値

Photo.41　木炭組織（TON-35-1）上から木口（×100）柾目（×150）板目（×150）

第4節　獅子谷遺跡出土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

獅子谷遺跡は島根県飯石郡頓原町大字角井に所在する。当遺跡では近世以降3時期にわたる大鍛冶場跡が良好な遺存状態で確認されている。これに伴い多様な鍛冶関連遺物が出土しているため、遺跡内での作業の実態やその変遷、地域の鉄生産の流れを検討する目的から、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。遺物計51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。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、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000と順を追って研磨し、最後は被研磨面をダイヤモンド粒子の3μと1μで仕上げて光学顕微鏡観察を行った。なお、金属鉄の炭化物は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）、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。

(8) 木炭の性状

水分、灰分、揮発分、固定炭素：マイクロプロセッサー法。

硫黄（S）：燃焼赤外吸収法。

灰分の燐（P）：蛍光X線分析法。

発熱量：カロリー計。

(9) 木炭組織

調査破面（木口、柾目、板目）を＃1,000のサンド水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。

3．調査結果

〈1〉I期（17世紀後半～18世紀前半）出土遺物

SIS－1：炉壁

(1) 肉眼観察：表裏面の剥離痕が残る鍛冶炉の炉壁片である。胎土は粘土質で練りは甘い。石粒や褐色の有機物が僅かに混入している。

(2) 顕微鏡組織：Photo.1①～③に炉壁胎土を示す。①は鱗片状の粘土鉱物中に石英や長石類の混入鉱物が散在する。②③は粘土鉱物が熱影響を受けてやや非晶質化した個所である。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）8.95％と高めである。熱影響を受けず、結晶構造水が保持された状態での分析である。鉄分（Fe_2O_3）3.75％とあまり多くはなくて、酸化アルミニウム（Al_2O_3）が20.22％と高いため耐火性に有利な成分系といえる。また塩基性成分（CaO＋MgO）は1.03％であった。胎土中には僅かに砂鉄の混入があるのか二酸化チタン（TiO_2）は0.76％を含む。

(4) 耐火度：胎土をゼーゲルコーンという三角錐の試験片に作り、1分間当り10℃の速度で1000℃まで温度上昇させ、それ以降は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1460℃であった。耐火性の高い性状であった。

SIS－2：炉壁

(1) 肉眼観察：内面が滓化した鍛冶炉の炉壁片である。内面には褐色の酸化物が全面に付着する。胎土は1cm以下の石粒や1mm以下の炭粉を多量に含む。

(2) 顕微鏡組織：Photo.1④～⑧に示す。④⑤は炉壁内面に固着する微細遺物である。④は粒状滓を示す。写真左下の粒状滓は白色多角形結晶、右上の粒状滓は白色粒状結晶ヴスタイト（W"ustite：FeO）が晶出する。なお当試料の内面付着土砂中には、微細な粒状滓が多数内蔵されるが鍛造剥片はごく僅かであった。⑤は錆化鉄粒である。白銹鉄組織の痕跡が残存する。炉壁内面には微細な錆化鉄粒も多数固着する。金属組織の痕跡を残すものは僅かであるが、他にも複数銑鉄粒が確認された。

⑥⑦は炉壁内面側のガラス質化した個所である。微細な金属鉄が散在するが、ほぼフェライト単相の組織であった。⑥では中央に0.2mm径の金属鉄粒を、また⑦では散在する未凝集金属鉄を示した。⑦の多角形結晶の鉱物相はマグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）の可能性が高い。更に微細なファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）結晶も晶出する。⑧は被熱胎土部分である。粘土鉱物は熱影響の度合は低くさほど非晶質化は進んでいない。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）2.69%と低めである。熱影響を受けて結晶構造水の多くが飛散した状態での分析となった。検鏡結果と若干のズレがある。鉄分（Fe_2O_3）8.18%と高値である。ただしこれは胎土中の鉄分のみの数値でなく、鍛冶炉で処理された金属鉄や滓中の鉄分の影響を受けた可能性もある。酸化アルミニウム（Al_2O_3）は17.36%でSIS－1炉壁のそれと比較すると低値であった。また塩基性成分（CaO＋MgO）は1.82%とやや高めである。

(4) 耐火度：1050℃であった。成分系を反映してか、SIS－1炉壁よりかなり耐火性の低い性状であった。

SIS－3：椀形鍛冶滓

(1) 肉眼観察：全体に木炭痕が顕著で隙間が多く、比重の大きい鍛冶滓である。滓中に残る木炭は広葉樹材と針葉樹材が混在するが、後者が圧倒的に多い。一部小さな膨れが残るが、完全に錆化している。

(2) 顕微鏡組織：Photo.2①～③に示す。①の個所では非常に大きく発達した淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。また色調の異なる2相の多角形結晶はヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）とウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）の固溶体(注1)である。もう1視野の②③は白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡褐色多角形結晶ヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）、淡灰色盤状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する個所である。なお当試料の鉱物相に関しては、更にEPMA調査の項で詳述する。不純物除去の精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.2①に淡灰色木ずれ状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は596Hvであった。ファイヤライトの文献硬度値の下限を、僅かに下回る値となったが誤差の範囲内といえよう。(注2)

(4) EPMA調査：Photo.53の1段目にPhoto.2①の顕微鏡写真と同視野の反射電子像（COMP）を示す。1の番号つけた暗色多角形結晶の定量分析値は54.2%FeO－38.5%Al_2O_3－5.3%TiO_2であった。更にその周囲に晶出する2の番号をつけた明色結晶の定量分析値は68.4%FeO－17.2%TiO_2－13.6%Al_2O_3であった。ヘーシナイト（Hercynite：FeO·Al_2O_3）とウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO_2）の固溶体に同定される。また3の番号をつけた木ずれ状結晶の外周の暗色部の定量分析値は19.1%CaO－45.7%FeO－32.7%SiO_2であった。オリビン（Olivine：（CaO·Fe）O·SiO_2）系鉱物であろう。外周部ではファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO_2）のFe^{2+}の一部がCaで置換され、Caに富む鉱物組成となる。[2][3] これに対して4の番号をつけた木ずれ状結晶の中心部の定量分析値は68.4%FeO－31.2%SiO_2－1.1%CaOであった。ファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO_2）に同定される。木ずれ状結晶の外周と中心部の色調差は、FeとCaの含有率の違いである。また5の番号をつけた素地のガラス質部分の定量分析値は15.5%K_2O－23.6%Al_2O_3－62.1%SiOであった。カリ長石（K_2O·Al_2O_3·6SiO_2）の類であろう。

更にもう1視野、Photo.2②③と対応する組成を持つ個所の調査を行った。Photo.53の2段目に反射電子像（COMP）を示す。6の番号をつけた白色樹枝状結晶の定量分析値は100.3%FeOであった。ヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。また7の番号をつけた白色結晶内の多角形晶出物の定量分析値は70.1%FeO－14.9%TiO_2－11.7%Al_2O_3であった。ヘーシナイト（Hercynite：FeO·Al_2O_3）とウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO_2）の固溶体に同定される。8の番号をつけた結晶の定量分析値は68.7%FeO－30.6%SiO_2－1.8%CaOであった。ファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO_2）に同定される。また9の番号をつけた結晶の定量分析値は54.4%FeO－44.8%Al_2O_3－3.1%TiO_2であった。ヘーシナイト（Hercynite：FeO·Al_2O_3）に同定される。また素地のガラス質部分の定量分析値は31.4%FeO－18.7%Al_2O_3－23.2%SiO_2－1.7%CaO－3.7%K_2O－1.0%Na_2O－4.9%P_2O_5であった。ヘーシナイト含みでガラス溶融物であろうか。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fc）46.00%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.11%、酸化第1鉄（FeO）34.19%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）27.62%の割合であった。ガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）は30.75%と高めで、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）は2.26%であった。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は1.04%、バナジウム（V）は0.05%であった。また酸化マンガン（MnO）は0.15%、銅（Cu）は<0.01%であった。製鉄原料の砂鉄に由来する成分（Ti、V、Mn）はかなり低減する傾向にある。

滓中の鉱物組成にチタン（Ti）化合物が検出されたことと、化学組成の値から精錬鍛冶（大鍛冶）作業の末期に派生した滓に分類される。

SIS－4：鉄製品（箸摺止め釘）

(1) 肉眼観察：足部先端が欠損した箸摺止め釘である。横断面は偏平な長方形状を呈する。鉄器表面の錆化が進み、一部は剥落する。試料のほぼ中央の側面から、斜め2方向に切り込み三角柱状に供試材を採取した。切断面のうち金属鉄の面積が広い側を観察面に選択している。

(2) マクロ組織：Photo.39に示す。5%ナイタルで腐食している。試料の上半部は黒色を呈する高炭素域で、下半部は白色を呈する低炭素域であった。薄板状の炭素含有量の異なる材料2枚を鍛接成形している。また写真右側の側面端部に向かって、鍛接線や介在物の流れがほぼ水平から斜

め下方向に変化する。これは上から鏨切断で成形した痕跡であろう。

(3) 顕微鏡組織：Photo.2④～⑦・3①～⑤に示す。試料は5%ナイタルで腐食した。Photo.2の④は試料上半部の高炭素域に、⑤は下半部の低炭素域に存在する介在物である。高炭素域の介在物ではルチル（Rutile TiO_2）が晶出している。(EPMA調査結果を参照)。これに対して低炭素域の介在物では淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）が晶出する。さらに白色短冊状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）や、微細なファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）結晶が晶出するものも多い。この鉱物組成の違いは製錬工程での炉内の温度差を反映しており、上半部の方が高温で生成された製錬系鉄塊の高炭材を鉄素材にしたと推定される。[注4]

Photo.2⑥と⑦の写真左側はマクロ組織の上面側にあたる。この個所ではマルテンサイト及び微細パーライトが分布する。この組織から当試料はオーステナイトに変態が起こり、一部パーライトが生成する中途の温度域（700℃以下）から水冷されたことが分かる。また⑦では中央部に鍛接線と拡散層が確認される。下面側はほぼフェライト単相の低炭素組織であった。炭素含有量の異なる鉄素材2枚を鍛接成形した後、水焼き入れを施して硬さと粘りを兼ね備えるよう意図したものと推定される。

さらにPhoto.3①には試料の上端から下端までを連続して示した。上端表層部でも焼戻し痕跡は確認できず、箸摺止め釘使用時の鍛冶作業に伴う熱履歴は認められなかった。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.3②～⑤に硬度測定の圧痕を示す。②③は試料上半部のマルテンサイト及び微細パーライト組織個所である。②のマルテンサイト組織の硬度値は642Hv、③の微細パーライト組織の硬度値は370Hvであった。④は試料中央部のパーライト素地に網目状にフェライトが析出する個所で、硬度値は224Hvであった。更に⑤は試料下半部のフェライト単相部分で、硬度値は99Hvであった。それぞれの組織に対応した硬度値である。

(5) EPMA調査：Photo.53の3段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。これはPhoto.2④の顕微鏡写真と同じ組成の介在物である。11の番号をつけたガラス溶融物中の片状結晶の定量分析値は81.5%TiO_2－6.7%SiO_2－5.4%Al_2O_3－5.4%MgO－1.9%FeO。また13の番号をつけた結晶の分析値も88.0%TiO_2－5.7%Al_2O_3－4.9%MgO－1.7%%FeOであった。ともにルチル（Rutile TiO_2）に同定される。他の微量元素は結晶内に固溶するものか、ないしは周囲のガラス質滓の影響を受けた可能性が高い。更に12の番号をつけたガラス質の素地部分の定量分析値は56.0%SiO_2－18.2%Al_2O_3－8.2%CaO－2.3%MgO－5.1%K_2O－5.3%TiO_2－1.2%FeOであった。非晶質の珪酸塩である。

介在物の組成から、本試料は高チタン（Ti）含有砂鉄を始発原料として生成された鉄塊が鉄素材であったと推定される。当大鍛冶場に搬入された鉄塊を原料に製作したと想定しても矛盾のない鉱物相である。

SIS－5：鍛冶滓

(1) 肉眼観察：薄手で緻密な鍛冶滓片である。表面は流動状を呈する。また下面側には、粉炭を混和した灰色の鍛冶炉炉床土が固着する。

(2) 顕微鏡組織：Photo.3①に示す。白色粒状結晶ウスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。なおヴスタイト粒内に晶出物はみら

れない。鉄素材の繰返し折り曲げ鍛接の高温作業で排出された鍛錬鍛冶滓の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.3①に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は516Hvであった。ヴスタイトの文献硬度値の上限を僅かに上回るが、測定時の亀裂などの影響による誤差の可能性が高い。

(4) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）59.94%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.20%、酸化第1鉄（FeO）67.34%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）10.58%の割合であった。ガラス質成分（SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O）は20.33%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）は1.63%であった。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.74%、バナジウム（V）0.06%と低減した値を示し、また酸化マンガン（MnO）0.10%であった。銅（Cu）は<0.01%であった。鉄分高く、脈石成分（Ti、V、Mn）の低減した成分系であった。

鉱物組成でチタン（Ti）を含む晶出物が認められず、当試料は鉄器製作の鍛錬鍛冶工程で派生した可能性が高い。ただし当遺跡から出土した鍛冶滓は全体に脈石成分の数値が低く、高純度鉄塊が鍛冶原料として搬入されたと推定される。このため当試料も精錬鍛冶滓である可能性も否定できない。

SIS－6：椀形鍛冶滓

(1) 肉眼観察：含鉄椀形鍛冶滓片である。全面に微細な木炭痕が残る。外周は滓部で、側面では鋪膨れや放射割れが僅かに生じている。

(2) マクロ組織：Photo.39に示す。滓中に微細な金属鉄が広く散在する。組織は金属鉄の最もまとまりのよい個所を示した。金属組織はフェライト単相と亜共析組織が確認される。

(3) 顕微鏡組織：Photo.4②～⑧に示す。②は滓部である。素地の暗黒色ガラス質中に白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：2FeO･SiO_2）が晶出する。③④は腐食なしの状態で、やや歪な球状を呈する非金属介在物を示す。介在物は鍛打を受けていないので展伸性をもたない。介在物中の鉱物相についてはEPMA調査の項で詳述する。⑤～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。⑤はフェライト単相の個所、⑥はフェライト素地に少量パーライトが析出する個所、⑦はパーライト素地に針状フェライトが析出する個所である。鉄中の炭素量は僅かながらも偏析がある。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.1⑧に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。フェライト素地に少量パーライトが析出する個所で、硬度値は103Hvであった。組織に見合った値である。

(5) EPMA調査：Photo.53の4段目に球状介在物の反射電子像（COMP）を示す。15の番号をつけた柱状結晶の定量分析値は78.2%FeO－5.4%Al_2O_3－2.1%TiO_2－11.9%SiO_2であった。16の番号をつけた粒状結晶の定量分析値は94.8%FeO－1.8%Al_2O_3－4.7%SiO_2である。共にFeO主体の組成で鉄酸化物の結晶と考えられる。両者はヴスタイト（Wüstite：FeO）とみてよかろう。さらに珪素（Si）、アルミニウム（Al）、チタン（Ti）などが微量検出されたが、微細な結晶のため周囲のガラス質成分も影響した数値の可能性がある。また17の番号をつけた素地部分の定量分析値は33.9%FeO－38.2%SiO_2－10.8%Al_2O_3－9.5%CaO－4.1%K_2Oであった。素地のガラス質と微細なファイヤライト結晶を合せた数値と判断される。

またもう1視野5段目に球状介在物の反射電子像（COMP）を示す。18の番号をつけた枠内の定

量分析値は50.3%FeO－30.9%SiO_2－9.6%Al_2O_3－3.4%CaO－2.2%K_2O－1.4%TiO_2であった。ガラス質中に微細なファイヤライト結晶が晶出する鉱物相である。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）55.90%に対して、金属鉄（Metallic Fe）12.61%、酸化第1鉄（FeO）37.83%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）19.85%の割合であった。試料中の微細な金属鉄を反映する値となった。ガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）は25.77%で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）は3.58%であった。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.60%、バナジウム（V）0.04%と低めである。酸化マンガン（MnO）は0.14%、銅（Cu）＜0.01%であった。

滓中に微細な金属鉄が多数散在する状態から、精錬鍛冶工程の派生物である可能性が高い。また化学組成をみると、製錬工程由来の脈石成分（Ti、V、Mn）が低値であるため、あまり製錬滓が固着していない鉄塊を処理して生じた滓と推測される。

SIS－7：鍛冶滓

(1) 肉眼観察：表面は滑らかな流動状を呈する滓である。細い流動単位の滓が上方から垂下して生じたと推測される。また下面に固着する胎土は、鍛冶炉表面によく用いられる粉炭を混和したものである。このため、鍛冶炉内の羽口先と逆方向で生成された滓の可能性がある。

(2) 顕微鏡組織：Photo.5①～③に示す。多角形結晶はウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO_2）とヘーシナイト（Hercynite：FeO·Al_2O_3）の固溶体鉱物で、他に白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO_2）が基地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。不純物除去の精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）の品癖である。なお鉱物相についてはEPMA調査の項で詳述する。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.5①に多角形結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は872Hvであった。

(4) EPMA調査：Photo.54の1段目に滓部鉱物相の反射電子像（COMP）を示す。19の番号をつけた白色粒状結晶の定量分析値は99.4%FeO－1.2%TiO_2であった。ヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。なお粒内に微量Tiを固溶する。更に粒状結晶内の晶出物に20の番号をつけて定量分析を行った。71.6%FeO－17.7%TiO_2－8.1%Al_2O_3であった。次に23の番号をつけた多角形結晶も62.3%FeO－13.6%TiO_2－16.8%Al_2O_3と類似する組成であった。共にウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO_2）とヘーシナイト（Hercynite：FeO·Al_2O_3）の固溶体鉱物に同定される。21の番号をつけた淡灰色木ずれ状結晶の定量分析値は68.9%FeO－30.6%SiO_2であった。ファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO_2）に同定される。22の番号をつけた素地のガラス質部分の定量分析値は42.9%SiO_2－20.0%Al_2O_3－8.8%CaO－7.0%K_2O－2.3%Na_2O－1.7%P_2O_5－16.8%FeOであった。非晶質の珪酸塩である。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）50.22%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.39%、酸化第1鉄（FeO）57.46%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）7.39%の割合であった。ガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）は31.23%で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）2.53%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）2.43%、バナジウム（V）0.18%と比較的高めであった。また酸化マンガン（MnO）は0.26%、銅（Cu）は＜0.01%であった。鉱物・化学組

成双方の特徴から精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）に分類される。

〈2〉Ⅱ期（18世紀末～19世紀中葉）出土遺物

SIS－8：炉壁

(1) 肉眼観察：3号鍛冶炉の炉壁内面を採取した試料である。表面は熱影響を受けて黒色ガラス質化する。特に上端部よりのガラス質化は顕著で2.5cmにも達する。胎土は木炭粉を多量に混和しており、僅かに滓片や石粒も含まれる。

(2) 顕微鏡組織：Photo.5④～⑥に示す。④は炉壁内面の付着土砂である。鍛冶炉廃棄直後の付着物であり、混入する微細鍛冶関連遺物は炉の作業内容を反映するものと推測される。中にはごく微細な粒状滓が混在している。紙面の構成上割愛したが、拡大写真（×400）では白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）の晶出が確認された。⑤⑥は炉壁内面表層部分である。胎土は溶融し暗黒色ガラス質中に微細な金属鉄粒及び多角形結晶が晶出する。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）が0.59％と低値である。熱影響を受けて結晶構造水がほとんど飛散した状態での分析となった。鉄分（Fe_2O_3）6.30％と高く、酸化アルミニウム（Al_2O_3）は16.50％と低めで耐火性には不利な成分系といえる。また塩基性成分（CaO＋MgO）1.81％であった。

(4) 耐火度：1100℃であった。成分系を反映してか、耐火性の低い性状となる。被熱溶融物で粘土本来の耐火性を表わす数値ではなく、参考値とすべきであろう。

SIS－9：羽口

(1) 肉眼観察：3号鍛冶炉の最終操業面に原位置を保って出土した羽口である。装着角度は緩やかな下向きで、羽口先端部もそれに対応して下側が抉れるように溶損し、またガラス質滓も先端部側から通風孔内部に逆流している。胎土は緻密な粘土質で、細い繊維質の混和物を含む。

(2) 顕微鏡組織：Photo.5⑦に示す。胎土は鱗片状の粘土鉱物を残して被熱の影響は比較的に少ない。混入鉱物（微細な石英や長石の類）が散在する。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）が6.95％である。熱影響は僅かで、結晶構造水の一部が飛散した状態での分析である。鉄分（Fe_2O_3）3.84％と塩基性成分（CaO＋MgO）0.96％などは比較的低値で軟化性・耐火性に有利に働くが、酸化アルミニウム（Al_2O_3）が16.44％とさほど多くはなく、高耐火性は望めまい。

(4) 耐火度：1330℃であった。同じ3号炉の炉壁片（SIS－8）より高値傾向を示した。羽口の先端の溶損孔ずまりを配慮しての胎土成分の差異の表われであろうか。羽口の鉄分や塩基性成分は炉壁よりも低めであって、これが有利に働いたとも考えられる。

SIS－10：炉床再結合滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：3号鍛冶炉内に遺存した再結合滓である。再結合の母体は木炭屑と酸化土砂の集合体で形成される。微細な鍛冶関連遺物が混在するが、明確な鍛造剥片は検出されなかった。更に錆化した銑鉄粒も含まれている。

(2) マクロ組織：Photo.40に示す。再結合滓は鍛冶工房内で、鍛打作業中に派生した微細遺物が酸化土砂と混じり合って形成された2次堆積層である。今回は特に細かい錆化鉄粒が多く含まれている。他に木炭片、粒状滓、鍛造剥片、滓片等が確認された。

(3) 顕微鏡組織：Photo.6①～⑨に示す。①の中央は微細な粒状滓である。鉱物相は白色粒状結晶のヴスタイトが晶出する。また②の中央はごく微細な鍛造剥片様の遺物を示す。どちらも周囲には錆化鉄粒、木炭片、鍛冶滓片が存在する。③中央は片状黒鉛の痕跡が残存する、ねずみ鋳鉄の錆化鉄粒である。④⑤の中央には滓片を示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO2）、白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite：FeO·TiO2）が晶出する。製錬滓片である。当鍛冶場に搬入された鍛冶原料（＝製錬系鉄塊）中に付着した滓部の破片の可能性が高い。また、⑥～⑨はいずれもヴスタイト（Wüstite：FeO）・ファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO2）組成の鍛冶滓片である。検出遺物の鉱物相は、いずれも鍛冶作業の派生物を明瞭に表わしている。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.6⑧⑨に鍛冶滓片中に晶出する白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。⑧の硬度値は541Hv、⑨の560Hvであった。いずれもヴスタイトの文献硬度値より硬質であった。結晶の面積がごく狭いことや、測定時の亀裂による誤差などの可能性が考えられるが、マグネタイト（Magnetite：Fe3O4）の可能性もある。大鍛冶場の作業を想定すると後者の鉱物相もさほど問題はなさそうである。

SIS－11：鉄製品（茎摺止め釘）

(1) 肉眼観察：3号鍛冶炉の原位置に残された茎摺止め釘である。頭部には片側に黒褐色の滓が固着する。こちらを鍛冶炉側に向けて装着していた可能性が高い。また径1.4cmほどの円形の孔が穿たれており、その下側から面が直角になるよう捩れている。試料先端を横方向に切断して、断面を観察している。

(2) マクロ組織：Photo.40に示す。全面フェライト単相の組織であった。大型介在物を内蔵する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.7①～③に示す。①は鉄中の非金属介在物を示す。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO2）と、その周囲には僅かに白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。また素地の暗黒色ガラス質滓中には、微細なファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO2）結晶も存在する。これらの鉱物組成から、当試料は塩基性砂鉄を始発原料とする鉄素材を用いて作製されたと判断される。

②③は5%ナイタルで腐食して現れた組織である。フェライト単相の組織である。当釘はほとんど炭素を含有しない極軟鉄を用いて製作されている。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.7③に金属組織（フェライト）の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は103Hvであった。焼きなまされた組織にしては若干高め傾向にある。

SIS－12：木炭

(1) 肉眼観察：広葉樹の環孔材を用いた黒炭である。SIS－12－2・4の2点を供試材に選択した。大鍛冶場としての選択樹種であろうか。

(2) 顕微鏡組織：Photo.57・58に示す。上から木口、柾目、板目の断面組織である。

(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58.97%に留まった。また灰分は2%以下が正常であるが、(ホルダ) 4.72%とかなり高値傾向を示した。また発熱量は5830cal/gと低値であった。本来は7000 cal/g程度確保できるはずである。なお揮発分は36.31%とこれも多い。更に有害元素となる硫黄（T.S）は<0.01%、灰中燐（P）は0.069%と低値であった。

SIS－13：椀形鍛冶滓

(1) 肉眼観察：平面半円状の含鉄椀形鍛冶滓である。上面中央は流動状の鉄部で、外周部は不規則な凹凸のある滓部である。

(2) マクロ組織：Photo.41に示す。外周部は滓で形成されるが、内部には比較的まとまりが良い金属鉄が存在する。このため写真には金属鉄を中心に示した。金属組織は、ほぼフェライト単相に近い個所から共析組織（0.77%C）まで偏析がある。鉄中には不定形の気孔が多数散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.7④～⑧に示す。④は下面表層側である。外周に付着する滓部では白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。鍛冶滓の晶癖が読みとれた。また金属鉄部は針状フェライトが発達した亜共析（0.77%C以下）組織である。このため当試料は鍛冶作業の完了と共に炉外へ出されて空冷されたと推定される。⑤⑥はどちらもパーライト素地に針状フェライトが析出する組織を示す。⑥の方が炭素含有量は高く、フェライトの析出はごく僅かである。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.7⑦⑧に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑦は針状フェライトに少量パーライトが析出する個所で硬度値は111Hv、⑧はほぼ全面パーライト組織に近い個所で硬度値は207Hvであった。組織に見合った値である。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。滓の割合が高い上面側を供試材とした。全鉄分（Total Fe）57.63%に対して、金属鉄（Metallic Fe）11.26%、酸化第1鉄（FeO）17.10%、錆化鉄を多く含んで酸化第2鉄（Fe_2O_3）47.30%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は9.48%と低値で、このうちに塩基性成分（$CaO+MgO$）は0.73%である。錆化鉄主体の供試材なので砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.19%、バナジウム（V）0.01%と低値であった。また酸化マンガン（MnO）0.03%、銅（Cu）<0.01%であった。金属鉄部を反映して鉄分高く、ガラス質成分や脈石成分の割合の低い成分系を呈する。

鉱物組成ではチタンを含む晶出物は確認されず、化学組成分析でも砂鉄に由来する脈石成分（Ti、V、Mn）は非常に低値であった。多分に錆化鉄由来からの成分であろう。これらの特徴からは精錬鍛冶滓の可能性は低い。一方金属鉄には鍛打の痕跡が全くないため、精錬鍛冶（大鍛冶）工程末期の派生物の可能性が高い。下げ滓にしては高純度である。本場滓であろうか。

SIS－14：再結合滓

(1) 肉眼観察：上面の一部が生きているが、その他は全面破面の再結合滓片である。粉炭や微細な滓片、粒状滓や鍛造剥片などが混在する。鉄床石の周辺で形成された可能性をもつ。

(2) マクロ組織：Photo.41に示す。酸化土砂中に滓片や、粒状滓、鍛造剥片、細かい木炭片などが

散在する。前述した炉床再結合滓に比べて鍛造剥片の多さが眼につく。

(3) 顕微鏡組織：Photo.8①～⑨に示す。①～⑦は鍛冶作業で派生する微細遺物である。①は木口面が観察でき、発達した道管が環状に並ぶ、広葉樹材の木炭片であった。木炭に鉄が置換する。②③は粒状滓を示す。白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）が晶出する。④は微細な鍛造剥片が複数集中する個所を示す。⑤は④の右下側の剥片の拡大である。鉄酸化膜の3層構造が確認でき、外層ヘマタイトは微厚で、中間層は薄く、内層ヴスタイトは凝集痕跡を残しつつも非晶質化が進んでいる。⑥⑦は鍛冶滓片である。素地の暗黒色ガラス質滓中に白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。

⑧⑨は共に製錬滓片である。⑧は淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）、ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。これに対して⑨は白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$）、淡褐色片状結晶シュードブルーカイト（Pseudobrookite：$Fe_2O_3 \cdot TiO_2$）が晶出し、高温操業での派生物と推定される。これらの製錬滓片は鍛冶原料の鉄塊に付着した炉内滓片であろう。鉄床石上で鍛冶原料鉄の調整も時には実施するのであろうか。

SIS－15：鉄床石付着鉄塊

(1) 肉眼観察：平面長楕円形をした厚板状の鉄塊である。上下面はやや波状を呈するが、一定の厚みに整えられている。また側面も軽く整形痕を残す。表面には微細な錆化割れが起きはじめている。また表面の酸化土砂中には多量の滓片や粒状滓、鍛造剥片、粉炭などが混在する。

(2) マクロ組織：Photo.42に示す。粗い鍛打を施した鉄塊系遺物である。内部に複数、大形の滓を捲込んでいる。金属組織にはほぼフェライト単相の個所から共析（0.77%C）組織まで偏析がみられる。

(3) 顕微鏡組織：Photo.9①～⑨に示す。①の白色部は金属鉄で、写真右上の部分は鉄中に捲込まれた滓部である。素地の暗黒色ガラス質滓中に白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。なお、ヴスタイトの粒内にはFe－Ti析出物を含むので精錬鍛冶（大鍛冶）系の鉄塊とみてよかろう。鉱物相に関してはEPMA調査の項で詳述する。②～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。②③はフェライト素地にパーライトが析出する個所、④⑤はパーライト素地で、僅かに針状フェライトが析出する個所、⑥はフェライト単相の個所を示した。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.9⑦～⑨に炭素含有量の異なる金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑦はフェライト単相の個所である。硬度値は85Hvであった。⑧はフェライト素地にパーライトが析出する個所で硬度値は150Hv、⑨はほぼ全面パーライトに近い個所で硬度値は242Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

(5) EPMA調査：Photo.54の2段目に滓部鉱物相の反射電子像（COMP）を示す。24の番号をつけた個所の定量分析値は62.7%FeO－24.5%SiO_2－7.6%Al_2O_3－2.1%CaO－1.4%K_2O－3.2%TiO_2であった。ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）と周囲のガラス質部分を合せた測定値と推測される。更に27の番号をつけた個所の定量分析値は41.5%FeO－36.2%SiO_2－10.7%Al_2O_3－4.9%CaO－3.7%K_2O－1.0%TiO_2であった。24と成分比が異なるものの主な元素が共通するため、こ

ちらもファイヤライトと周囲のガラス質部分を合せた測定値とみられよう。

また白色粒状結晶に25・26の番号をつけて分析を行った。25の定量分析値は96.7%FeO－2.5%TiO_2、26の定量分析値は92.8%FeO－5.4%TiO_2－1.7%Al_2O_3であった。ともに白色粒状結晶はヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。なお僅かにチタン（Ti）、アルミニウム（Al）を固溶する。チタン（Ti）が検出されたことから、砂鉄を原料とする鉄塊である。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。酸化物定量である。全鉄分（Total Fe）55.10%に対して、金属鉄（Metallic Fe）11.74%、酸化第1鉄（FeO）14.87%、錆化鉄含みで酸化第2鉄（Fe_2O_3）が多くて45.47%の測合であった。ガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）は16.54%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）は0.72%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.67%、バナジウム（V）0.04%であった。また酸化マンガン（MnO）0.07%、銅（Cu）＜0.01%である。原料砂鉄に由来する脈石成分（Ti、V、Mn）は捲込みスラグが影響しガラス質成分などを多く含む状態の鉄塊系である。

SIS－16：鉄塊系遺物

(1) 肉眼観察：椀形を呈する鉄塊の破片と考えられる。鉄部上面はやや波状で、側面から下面にかけては木炭痕のような凹みが散在するが椀形を呈する。外周部に再結合滓が固着する以外、明確な滓部は認められない。

(2) マクロ組織：Photo.42に示す。全面亜共晶組成（4.23%C以下）の白鋳鉄組織の鉄塊であった。内部には球状の気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.10①～⑤に示す。①は鉄中非金属介在物で、中央の黄褐色異物は硫化鉄（FeS）である。組成に関してはEPMA調査の項で詳述する。②～⑤は5%ナイタルで腐食して現れた組織を示す。黒色はパーライト（オーステナイト）の初晶と地はレデブライトで全面亜共晶組成の白鋳鉄であった。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.10③～⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。③はパーライト部分で硬度値は217Hv、④のレデブライト部分の硬度値は659Hv、⑤のセメンタイト部分の硬度値は1028Hvであった。それぞれ組織に見合った値である。

(5) EPMA調査：Photo.54の3段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。28の番号をつけた黄褐色異物の定量分析値は81.2%FeO－35.4%Sであった。硫化鉄（FeS）に同定される。また29の番号をつけた個所の定量分析値は120.4%FeO－18.9%P_2O_5であった。Fe－FeS－Fe_3P三元系共晶のステダイトに同定される。なお、120.4%FeOは、100%Feとみなされる。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）87.60%に対して、金属鉄（Metallic Fe）72.26%、酸化第1鉄（FeO）19.47%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）0.29%の測合であった。酸化物定量であるが炭素（C）量は3.86%の亜共晶組成である。またガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）は2.17%と低値で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）は0.12%である。銑鉄なので表皮スラグや介在物は少なくて、砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.05%、バナジウム（V）は0.01%など極く微量である。また酸化マンガン（MnO）0.03%、銅（Cu）は0.01%であった。鉄分主体で、ガラス質成分、脈石成分とも僅かである。砂鉄系であっても銑鉄になるとチタン（Ti）分の検出はこのように難しい場合もありうる。該品は流し銑の可能性をもつ。

〈3〉Ⅲ期（19世紀中葉～）出土遺物

SIS－17：炉壁

(1) 肉眼観察：7号鍛冶炉（新）の内貼り炉壁片である。内面は熱影響を受けてガラス質化しており、発泡気味である。胎土は粘土質で、1cm以下の木炭片を多量に混和している。混和された木炭片は広葉樹材が多そうである。

(2) 顕微鏡組織：Photo.10⑥～⑧に示す。⑥は内面表層部分である。表面に付着した土砂中には粒状滓が複数混在する。粒状滓の鉱物相はマグネタイトであろう。また紙面の構成上掲愛したが、表層の付着物中には細かい木炭片も多数含まれていた。内面表層は完全にガラス質化しており、錆化鉄粒や微細な金属鉄粒が多数散在する。⑦⑧は炉壁胎土である。熱影響を受けて粘土鉱物は非晶質化が進んでいる。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）は2.38%であった。熱影響をうけて結晶構造水の多くが飛散した状態での分析となった。鉄分（Fe_2O_3）12.79%と非常に高値である。しかし金属鉄（Metallic Fe）が0.13%と高いため、鍛冶炉内で処理した鉄塊からの鉄分も含んだ数値と推定される。本来の胎土中の鉄分はもっと低いものと考えられる。酸化アルミニウム（Al_2O_3）は17.46%とやや低めで、また塩基性成分（CaO＋MgO）は1.54%と高めで耐火性にはやや不利な成分系である。該品は鉄分が侵入していて本来の成分系から外れている。

(4) 耐火度：1080℃であった。Ⅰ期（17世紀後半～18世紀前半）の炉壁（SIS－1）と比較すると耐火性は低く、Ⅱ期（18世紀末～19世紀中葉）炉壁（SIS－8）とほぼ同等の耐火性である。

SIS－18：羽口

(1) 肉眼観察：7号鍛冶炉に原位置を保った状態で残存した羽口である。先端面は斜めに溶損する。またガラス質部の周縁部は当試料を鍛冶炉へ装着した痕跡が破面となって残存する。羽口内径3.6cmで胎土中には粉炭を含む。

(2) 顕微鏡組織：Photo.11①～③に示す。①は炉壁胎土中に混在する粒状滓である。数は少ないが他にも粒状滓が確認される。こうした微細な鍛冶関連遺物の混在が起こりうる場所で、羽口が製作されたことを示すものといえよう。②③はともに羽口胎土部分を示す。鱗片状の粘土鉱物中に微細な混入鉱物（万英・長石の類）が散在する。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）は9.02%と高値である。あまり熱影響を受けず結晶構造水の多くが保持された状態での分析である。鉄分（Fe_2O_3）5.16%と高値である。また酸化アルミニウム（Al_2O_3）が17.65%とやや低値で、塩基性成分（CaO＋MgO）は2.56%とこちらも多くて、耐火性には不利な成分系といえる。

(4) 耐火度：1100℃であった。Ⅱ期の羽口（SIS－8）より耐火性が低く、同じ7号鍛冶炉の炉壁（SIS－17）とほぼ同等の値であった。

SIS－19：鍛冶滓

(1) 肉眼観察：楕状の外観を呈する鍛冶滓片で、長軸の両端が破面である。滓の色調は黒褐色。破面の気孔は大小様々で向きも一定しない。表面には炉壁粉や、光沢のある粒状滓様の付着物が点在する。

(2) 顕微鏡組織：Photo.11④～⑧に示す。素地の暗黒色ガラス質滓中に白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。ヴスタイト粒内には微細な淡茶褐色結晶が多数晶出する。これはウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）とヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）の固溶体である。精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）の晶癖である。また⑦⑧には滓中に捲込まれた粒状滓様遺物を示す。⑧の鉱物相に近似して気泡の発生がない。ヴスタイトの粒内の析出物や、ファイヤライトの成長具合からみて、鉄滓片の球状化した遺物とみるべきであろう。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.11④に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は502Hvであった。ヴスタイトの文献硬度値の上限を僅かに上回る値となったが、粒内析出物の影響を受けて硬質の値を示すが、ヴスタイトに同定される。

(4) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）が51.13%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.08%、酸化第1鉄（FeO）53.89%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）13.10%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は28.76%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）3.31%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は2.27%、バナジウム（V）0.15%など少量含む。また酸化マンガン（MnO）0.27%、銅（Cu）は<0.01%であった。精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）の成分系である。鉄滓屑の球状化をみると本場滓よりも下げ滓の可能性に分がありそうである。

SIS－20：鉄製品

(1) 肉眼観察：出土鉄製品の表層が剥離した薄板状の破片である。7号鍛冶炉内から出土している。上面は本来の表面で、ごく緩やかなへこみは鍛打痕の可能性も考えられる。また表裏面とも黒褐色の錆の一部が赤色に酸化している。当試料が鍛冶炉内で2次的な酸化を受けた結果と推測される。錆化が進行し金属鉄は遺存していない。

(2) 顕微鏡組織：Photo.12①～③に示す。全体に錆化が進行しており、金属組織の痕跡もほとんど残存しない。層状の剥離痕跡が顕著である。丹念に繰り返し折り曲げ鍛接を施した製品である。材質は0.3%前後のパーライトの塊状組織らしき痕跡が③より読みとれて軟鋼レベルの板状製品の可能性を提示しておく。

SIS－21：粒状滓[注6]

SIS－21－イ－1 3.0mm径

(1) 肉眼観察：色調は暗褐色で光沢はない。やや歪な球状を呈する。弱磁性で気泡なし。

(2) マクロ組織：Photo.12④に示す。白色樹枝状鉱物は少量で弱磁性につながる。最大で0.3mm程の気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.12⑤に示す。微細な白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色盤状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。なおヴスタイト粒内には微細な析出物が点在する。これはウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）とヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）の固溶体である。

SIS－21－イ－2 2.4mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢のある黒褐色である。きれいな球状を呈する。表面には小さな突起が1個所存在する。弱磁性で気泡を発す。

(2) マクロ組織：Photo.12⑥に示す。断面には強磁性となる白色鉱物相の晶出がなく、これも弱磁性傾向を呈する。最大で0.4mm程の気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.12⑦に示す。褐色の多角形結晶はウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO2）とヘーシナイト（Hercynite：FeO·Al2O3）の固溶体である。また白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）と、淡灰色不定形状結晶ファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO2）が晶出する。

SIS－21－イ－3 1.3mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢のある黒褐色である。きれいな球状を呈する。弱磁性で気泡の発生はない。

(2) マクロ組織：Photo.12⑧に示す。0.2mm前後の肉厚で球体は支えられ、内部は大きく空洞化する。磁性物体は極く僅少である。

(3) 顕微鏡組織：Photo.12⑨に示す。鉱物組成は白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe3O4）が晶出する。

SIS－21－ロ－1 3.7mm径

(1) 肉眼観察：色調は黒褐色で光沢はない。歪な球状を呈する。強磁性で気泡を発生。

(2) マクロ組織：Photo.13①に示す。断面の外縁部は風化気味で、その内側に白色鉱物相が存在する。その内部に2つの気孔がつながった、不定形の空洞が中心に発生する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.13②に示す。鉱物組成はガラス質基地に白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。

SIS－21－ロ－2 2.2mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢のある黒褐色である。やや歪な球状を呈する。表面には小さな突起が2個所存在する。強磁性で気泡の発生はない。

(2) マクロ組織：Photo.13③に示す。外周部は白色鉱物相が密に分布し、その内側に最大0.2mm程の気孔が散在する。比較的大きな気孔が中心部に複数存在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.13④に示す。外層部に白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe3O4）が、内側に白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。また微細なファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO2）も晶出している。強磁性はヴスタイトの存在でる。

SIS－21－ロ－3 1.2mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢のある黒褐色である。きれいな球状を呈する。強磁性で気泡はない。

(2) マクロ組織：Photo.13⑤に示す。全体に白色鉱物相が晶出し最大0.2mm程の気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.13⑥に示す。白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe3O4）が晶出す

る。断面には最大0.2mm程の気孔が散在する。

SIS－21－イ－1・2は精錬鍛冶滓と同様の鉱物組成であり、微細な粒状の精錬鍛冶滓である可能性が高い。SIS－21－イ－3、SIS－21－ロ－1、2、3は粒状滓と見做されよう。

SIS－22：鍛造剥片(注7)

SIS－22－イ－1 3.5×2.7×0.28mm

(1) 肉眼観察：色調は表裏面とも光沢のある黒褐色である。表面は平滑で、裏面にはやや凹凸がある。弱磁着で気泡の発生はない。

(2) マクロ組織：Photo.13⑦に示す。厚手で平坦度を保つ鍛造剥片である。

(3) 顕微鏡組織：Photo.13⑧に示す。王水腐食により、僅かに鉄酸化膜の3層構造が確認できた。外層ヘマタイトは微厚白色が辛じて認められ、中間層マグネタイトは明度を残し、内層ヴスタイトは僅かに暗灰白色となり凝集する。鍛打中間段階の派生物である。弱磁性は風化の影響であろう。

SIS－22－イ－2 2.6×2.0×0.12mm

(1) 肉眼観察：色調は黒褐色。表面はやや光沢があり平滑である。裏面は光沢質で僅かに凹凸を呈す。弱磁性で気泡はない。

(2) マクロ組織：Photo.13⑨に示す。平坦性をもつ剥片である。一端は厚みがあり、中央部からもう一端にかけて徐々に厚みを減じる。鍛打時の片寄りであろうか。

(3) 顕微鏡組織：Photo.13⑩に示す。王水腐食により、弱く鉄酸化膜の3層構造が検出できた。内層ヴスタイトは凝集する。該品も風化のために弱磁性となる。

SIS－22－イ－3 2.7×2.3×0.06mm

(1) 肉眼観察：色調は黒褐色。表面は光沢があり平滑である。裏面には光沢はなく凹凸がある。弱磁着で気泡はない。

(2) マクロ組織：Photo.14①に示す。小片ながら緻密な剥片である。平坦度は良好。一端は比較的薄手で、もう一端に向って徐々に厚みが増す。

(3) 顕微鏡組織：Photo.14②に示す。前述した2つの剥片に近似して僅かに王水腐食により、鉄酸化膜の3層構造が確認できた。内層ヴスタイトは凝集する。該品も腐食液に対して反応が鈍く風化性をもつために弱磁性であろう。

SIS－22－ロ－1 3.8×3.0×0.15mm

(1) 肉眼観察：表裏面共に若干の光沢をもち黒褐色で、凹凸を有する。強磁着で気泡はない。

(2) マクロ組織：Photo.14③に示す。僅かに表裏面の凹凸による厚みの変動があるが、ほぼ平坦な剥片である。

(3) 顕微鏡組織：Photo.14④～⑥に示す。鉄酸化物の層構造が水平方向には不明瞭である。薄膜状の鉄酸化物であり、⑥の拡大組織を詳細に観察すると鍛造剥片とみてよかろう。もっとも外層ヘマタイトが不鮮明である。王水腐食の侵され具合は、前述した3片の剥片より良好で、風化の程

度は軽く強磁性となる。

SIS－22－ロ－2 3.3×2.5×0.08mm

(1) 肉眼観察：表裏面共やや光沢のある黒褐色で、凹凸性をもつ。強磁着で気泡はない。

(2) マクロ組織：Photo.14⑦に示す。一端が軽く反っているが、ほぼ平坦な剥片である。干水腐食がきつく、3層の膜構造が不明瞭となる。

(3) 顕微鏡組織：Photo.14⑧～⑩に示す。鉄酸化膜の3層構造が確認できた。外層ヘマタイトは微厚のために不明瞭であるが、中間層マグネタイトは黄変するが健全で、内層ヴスタイトは黒変して凝集具合が観察できる。

5片の剥片は、外層ヘマタイト、中間層マグネタイト、内層ヴスタイトの3層をもつ鍛造剥片である。いずれも内層ヴスタイトは粒状結晶粒の痕跡を残し、非晶質化した剥片は確認されなかった。このことから鍛打の後半段階の作業は否定される。さりとて、完全なる鍛打の前半でもなくて、中頃の派生品と見做される。

SIS－23：炉壁

(1) 肉眼観察：7号鍛冶炉（古）の炉壁地貼りと推定される部分から採取された炉壁片である。上面は水平気味で、炉の上端部にあたる。胎土は明褐色の山土を練ったもので石片を含んでいる。また鉄滓や微細な粉炭を混入している。

(2) 顕微鏡組織：Photo.15①に示す。鱗片状の粘土鉱物セリサイトの中に多数の微細な石英や長石の類が散在する。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）は7.65%と高めである。あまり熱影響を受けず結晶構造水がある程度保持された状態での分析となった。鉄分（Fe_2O_3）は6.40%と高く軟化性に不利であるが、酸化アルミニウム（Al_2O_3）が19.66%とやや高めで耐火性に有利になりそうであるが、塩基性成分（CaO＋MgO）が1.73%と多くてさほどの改善は望めない。

(4) 耐火度：1270℃であった。成分系を反映して、同じ7号鍛冶炉（新）の炉壁（SIS－17）よりも鉄分（Fe_2O_3）が約1/2なので耐火性の高い性状が得られた。

SIS－24：炉壁

(1) 肉眼観察：8号鍛冶炉の内貼り片である。胎土は粘土質で、1cm以下の粉炭が多量に混和される。また粒状滓も含まれている。

(2) 顕微鏡組織：Photo.15②～④に示す。②は胎土内部に混入した鉄滓層である。白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、微細な淡灰色不定形状結晶ファイヤライト（Fayalite：2FeO·SiO_2）が晶出する。また僅かに晶出する微細な多角形結晶はウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO_2）とヘーシナイト（Hercynite：FeO·Al_2O_3）の固溶体と推測される。②③は炉壁胎土部分である。④の中央には胎土中に混入した粒状滓を示している。鉱物相はヴスタイトを晶出する。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）は17.83%と高値である。熱影響を受けずに結晶構造水が保持された状態での分析となった。鉄分（Fe_2O_3）7.59%と高く、酸化アルミニウム（Al_2O_3）が16.68%と低めで、また塩基性成分（CaO＋MgO）は0.96%であった。

耐火性に不利な成分系である。

(4) 耐火度：1100℃であった。成分系を反映してやや耐火性の低い性状である。SIS－17炉壁と耐火度は近似する。鉄分は格差をもつが同系胎土であろうか。

SIS－25：羽口

(1) 肉眼観察：8号鍛冶炉（新）の原位置に残された羽口の基部側の破片である。胎土は粘土質で小さな石片や僅かに金雲母を含む。また粉炭や粒状滓が混在する。

(2) 顕微鏡組織：Photo.15⑤～⑦に示す。羽口胎土は、鱗片状の粘土鉱物で被熱影響はなく、微細な石英や長石の類が混在する。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）は9.25%であった。熱影響をあまり受けず、比較的結晶構造水が保持された状態での分析となった。鉄分（Fe_2O_3）は3.97%と比較的低めで軟化性はさほど問題はないが、酸化アルミニウム（Al_2O_3）が17.85%とやや低めで、また塩基性成分（CaO＋MgO）が2.53%と比較的高く、耐火性には不利である。

(4) 耐火度：1100℃であった。7号鍛冶炉の羽口と同値で、耐火性の低い性状であった。SIS－18羽口に化学組成は近似して、耐火度も同レベルを呈した。

SIS－26：鍛冶滓（含鉄鋳化）

(1) 肉眼観察：長楕円形の椀形鍛冶滓の長軸端部破片と考えられる。表面は7mm以下の木炭痕や木炭の噛み込みが全体にみられ、凹凸が顕著である。表面に付着する酸化土砂中には粉炭と粒状滓が含まれている。

(2) 顕微鏡組織：Photo.16①～⑤に示す。①～③は滓部で、①は白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が凝集気味に晶出する個所である。また②③の微細な多角形結晶はウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）とヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）の固溶体で、これに白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）と淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が共存する。なおこの個所のヴスタイト粒内にもウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）とヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）の微細固溶体が晶出する。精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）の晶癖である。④⑤は滓中の鋳化鉄である。僅かにパーライト痕跡が残存する。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.16①に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は545Hvであった。結晶粒の面積が小さいため誤差の大きい数値となった。

(4) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）51.49%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.12%、酸化第1鉄（FeO）43.93%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）24.63%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O$）は24.59%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）1.43%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は2.68%、バナジウム（V）が0.21%など、やや高め傾向にある。また酸化マンガン（MnO）も同様に0.22%と多い。銅（Cu）が<0.01%であった。精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）の成分系である。

椀形鍛冶滓の類似試料にSIS－3、6を挙げているが、チタン（Ti）、マンガン（Mn）、は該品が多くて下げ滓的傾向が強く感じられる。ただし滓内の偏析もあって分析値も絶対的ではない。

SIS－27：粒状滓

SIS－27－イ－1 1.9mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢質の黒褐色である。きれいな球状で、表面には小さな突起が2個所存在する。弱磁着で気泡をもつ。

(2) マクロ組織：Photo.16⑥に示す。鉱物相は密に詰まるが写真右下に0.6mm径の大きな気孔が存在する。他にもより細かい気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.16⑦に示す。白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。僅かのガラス地である。弱磁性は気泡の影響であろうか。

SIS－27－イ－2 1.4mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢をもつ黒褐色である。やや歪な球形で、表面には小さな突起が1個所存在する。弱磁着で気泡を発する。

(2) マクロ組織：Photo.17①に示す。2個の粒状滓の溶着もしくは分離前であろうか。最大0.3mm程の気孔が大きく2点が占める。また外周部の約1/3は風化を受ける。弱磁着の理由はこの辺にあろう。

(3) 顕微鏡組織：Photo.17②に示す。鉱物組成は白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。

SIS－27－イ－3 1.2mm径

(1) 肉眼観察：色調はやや光沢のある黒褐色である。やや歪な球状を呈する。弱磁着で気泡がある。

(2) マクロ組織：Photo.17③に示す。外周は気泡で占められ、かつ、内部の鉱物相はガラス質で磁性を帯びるものは少ない。

(3) 顕微鏡組織：Photo.17④に示す。基地は粘土汁由来のガラスで、これに少量の微細な白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、及びウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）とヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）の固溶体が晶出する。また微細な金属鉄粒が散在する。

SIS－27－ロ－1 1.6mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢質の黒褐色である。やや歪な球状を呈する。強磁着で気泡はない。

(2) マクロ組織：Photo.17⑤に示す。断面全体に白色鉱物相が詰まり0.3mm径の気孔が1個所存在する。他に気孔はほとんど発生しない。

(3) 顕微鏡組織：Photo.17⑥に示す。鉱物組成は僅かのガラス質基地に白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）が晶出する。強磁着は密なるマグネタイトの存在にある。

SIS－27－ロ－2 1.3mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢のある黒褐色である。やや歪な球状を呈する。強磁着で気泡は発生しない。

(2) マクロ組織：Photo.17⑦に示す。0.2～0.5mm径の気孔が複数散在するが白色鉱物相は密であ

る。

(3) 顕微鏡組織：Photo.17⑧に示す。鉱物組成は少量のガラス基地に白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）が晶出する。密集するマグネタイトが強磁性につながる。

SIS－27－ロ－3 0.8mm径

(1) 肉眼観察：色調は光沢質の黒褐色である。端正な球状で強磁着をもち、気泡の発生はない。

(2) マクロ組織：Photo.17⑨に示す。内部に気孔はなく白色鉱物相が密に占める。

(3) 顕微鏡組織：Photo.17⑩に示す。鉱物組成は樹枝状の白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）が晶出する。これもマグネタイトの大量晶出が強磁着となる。

SIS－28：鍛造剥片

SIS－28－イ－1 2.4×1.7×0.2mm

(1) 肉眼観察：色調は表裏面共光沢質で黒褐色を呈する。また表面は平滑で、裏面はやや凹凸がある。弱磁着で気泡はない。

(2) マクロ組織：Photo.18①に示す。表裏面は凹凸による厚みの変動をもつが、ほぼ平坦な剥片である。

(3) 顕微鏡組織：Photo.18②に示す。外層ヘマタイトは不明瞭であるが、中間層マグネタイト、内層ヴスタイトの2層は粒状化が著しい。内層ヴスタイトの粒状は凝集気味である。特異な酸化膜である。王水腐食（etch）で侵されず、風化のために弱磁着となる。

SIS－28－イ－2 2.8×2.0×0.1mm

(1) 肉眼観察：前述剥片に近似して色調は表裏面共光沢をもつ黒褐色である。また表面は平滑で、裏面は僅かに凹凸がある。弱磁着で気泡なし。

(2) マクロ組織：Photo.12③に示す。断面の表裏面は凹凸により厚み変動がある。

(3) 顕微鏡組織：Photo.12④に示す。外層ヘマタイトは不明瞭であるが、中間層マグネタイト、内層ヴスタイト2層は区別できる。内層ヴスタイトは非晶質化が進むが凝集痕跡を残す。該品も王水腐食（etch）の効果が表われぬ風化酸化膜である。弱磁着の理由は風化にある。

SIS－28－ロ－1 4.1×2.6×0.4mm

(1) 肉眼観察：色調は表裏面共鈍い光沢質の黒褐色である。表面は平滑肌で、裏面は凹凸がある。強磁着で気泡なし。

(2) マクロ組織：Photo.12⑤に示す。断面は王水腐食（etch）で侵される。厚手で、主に裏面側の凹凸が厚み変動に効いている。

(3) 顕微鏡組織：Photo.12⑥～⑧に示す。内層ヴスタイトが3層に分かれた特異な剥片である。ヴスタイトは凝集するが、粒状の結晶粒の痕跡を残す。更に中間層マグネタイトも連続性を欠き、厚み不同で単層ではない。錆色の強さが指摘されているのは、複数層分れにも原因があるのだろうか。

SIS－28－ロ－2 3.5×2.4×0.35mm

(1) 肉眼観察：色調は表裏面共光沢のある黒褐色である。また表面は平滑であるが、裏面は凹凸がある。強磁着で気泡の発生はみられない。

(2) マクロ組織：Photo.12②に示す。中央部が肥厚し、両端がやや薄手の剥片である。該品は王水腐食（etch）で侵される。強磁着は風化なしの表われであろう。

(3) 顕微鏡組織：Photo.12⑩に示す。王水腐食により鉄酸化鉄の3層構造が明瞭に現れた。外層ヘマタイトは白色微厚で、中間層マグネタイトは黄変するが不均一、内層ヴスタイトは黒変する。また裏面側にもマグネタイト層が認められる。鍛打によって飛び散った剥片が鍛冶炉内に入って、再加熱を受けた痕跡の可能性が考えられる。内層ヴスタイトは凝集するが、粒状の結晶痕跡が残存する。

調査を行った試料4点のうち3点で、粒状のヴスタイト結晶痕跡が明瞭に確認された。残る1点もヴスタイト層の非晶質化が進んでいるが、凝集タイプで僅かにヴスタイト結晶粒の痕跡が残存する。鍛打作業の前半段階の派生物が主体で、一部後半段階に差し掛かった段階の派生物と推定される。但し、内層ヴスタイト粒の不均一や層分れなど特異な傾向を呈する剥片群であった。前述したように通常の鍛造剥片は青灰色を呈するものが多いが、該品は錆色の強い色調が一つの特徴でもあった。

SIS－29：再結合滓

(1) 肉眼観察：水場遺構周辺で生成された再結合滓片である。破面では4層構造が確認される。最下層から礫片と粉炭を主体とする層、鍛造剥片様の微細遺物及び粉炭を含む微細な筋状の層、小さな滓片や粒状滓・礫片などを含む層、そして最上層は鉄滓様に再結合した層である。

(2) マクロ組織：Photo.43に示す。多数の鍛冶滓片、鍛造剥片、細かい木炭片が混在する。また僅かに粒状滓も確認される。

(3) 顕微鏡組織：Photo.19①～⑨に示す。①の中央には鍛造剥片を2点示す。どちらも内層ヴスタイトは非晶質化している。鍛打工程の後半段階の派生物と推定される。②③には粒状滓を示す。粒内には白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）が晶出する。④は木口面が確認できる木炭片を示した。発達した道管を持つ広葉樹材である。木炭といっても鉄が置換した黒鉛化木炭である。⑤は製錬滓片である。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）がガラス基地中に晶出する。また⑥⑦は錆化鉄中のガラス質粒状滓を示す。暗黒色ガラス質滓中に微細な金属鉄粒及び片状結晶が晶出する。⑧⑨はいずれも鍛冶滓片である。⑧は白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）と粒内にFe－Ti析出物を内蔵し、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：2FeO･SiO_2）が晶出する。⑨はヴスタイトのみでファイヤライトは溶け込んでいる。

Ⅱ期（18世紀末～19世紀中葉）の再結合滓（SIS－14）とほぼ同様の微細遺物が混在する。

〈4〉近世－金屋子石組遺構周辺出土遺物

SIS－30：椀形鉄塊

(1) 肉眼観察：椀形の鉄塊である。上面から側面にかけて丸棒状の工具痕が多数残る。上面の一部

は黒褐色の滓である。鉄部は不規則な隙間を持つ個所や、密度の高い個所などがあり、部位によって性質に差があることが予想される。

(2) マクロ組織：Photo.43に示す。大部分が金属鉄で表層や内部に滓部が僅かに存在するのみである。鉄中に捲込まれた滓部を写真中央に示す。表層に付着する滓部と異なり、鉄中の滓部には非常に発達したヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。また滓部の周囲の金属鉄は脱炭されて、ごく薄く亜共析組織が確認される。しかし鉄塊全体をみると過共析組織～白鋳鉄組織が主体である。左下鉄にはなりきっていない下げ初期の未脱炭鉄塊である。供試材は長軸端部1/10の位置からの採取である。

(3) 顕微鏡組織：Photo.20①～⑨に示す。①は上面表層に付着する滓部である。白色粒状結晶、ヴスタイト（Wüstite：FeO）が主体で、極く少量の淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。鍛冶滓の晶癖である。②は鉄中非金属介在物を示す。硫化鉄（FeS）とステダイトであるが詳細な組成に関してはEPMA調査の項で述べる。③～⑨は金属鉄部分を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。③の写真左端は滓部である。この滓部に沿って針状フェライトが析出する亜共析組織の脱炭層が生じている。④は試料下端部の金属組織を示した。写真右側が表層部である。パーライト素地に網目状にセメンタイトが析出する脱炭組織の過共析域（0.77%C以上）であった。④の写真左側及び⑤は鉄塊内部の全体組織の主体をなす亜共晶組成白鋳鉄組織である。

以上から、当試料は銑鉄塊の下げ（脱炭）中途の椀形鉄塊である。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.20⑥～⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑥は亜共析組織個所で硬度値は164Hv、⑦は共析組織個所で硬度値は220Hv、⑧は過共析組織個所で硬度値は296Hvであった。また⑨は亜共晶組成白鋳鉄の板状セメンタイト部分である。硬度値は989Hvであった。それぞれは炭素含有量に対応した硬度値であった。

(5) EPMA調査：Photo.54の4段目に滓部鉱物相の反射電子像（COMP）を示す。30の番号をつけた暗黒色ガラス質素地部分の定量分析値は19.0%SiO_2－6.4%Al_2O_3－13.2%CaO－2.3%K_2O－1.6%Na_2O－34.7%FeO－19.4%P_2O_5であった。素地のガラス質部分の面積が狭いため、周囲のファイヤライト結晶も含めた分析値となった。さらに燐（P）が非常に高い値を示し注目される。31の番号をつけた淡灰色木ずれ状結晶の定量分析値は65.8%FeO－24.2%SiO_2－7.3%P_2O_5であった。ここでも燐が検出され、珪酸（SiO_2）の一部に燐酸（PO_4）が置き換わったファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）と推定される。また32の番号をつけた粒状結晶の定量分析値は99.0%FeOであった。ヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。

またもう1視野Photo.54の5段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。33の番号をつけた黄褐色異物の定量分析値は98.4%FeO－24.0%S－2.6%P_2O_5であった。硫化鉄（FeS）に同定される。更に34の番号をつけた個所の定量分析値は117.6%FeO－14.4%P_2O_5－8.0%Sであった。Fe－FeSC－Fe3P三元系共晶のステダイト（steadite）に同定される。117.6%FeOは100%Feで金属鉄を表わす。

前述した滓部の高燐傾向も、鍛冶工程で金属鉄が酸化されたときに、鉄中に含まれる燐分も酸化されて滓中に移行した結果の可能性が高い。このことからも製錬時高温下で生成された銑鉄の脱炭処理中途の鉄塊と推測される。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。鉄塊主体の成分系となる。全鉄分（Total Fe）75.54%に対して、金属鉄（Metallic Fe）30.98%、酸化第1鉄（FeO）29.51%、錆化鉄が含まれて酸化第2鉄（Fe_2O_3）30.92%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は少なくて3.21%で、このうち塩基性成分（CaO＋MgO）は0.31%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）が0.16%、バナジウム（V）は0.01%など僅少値であった。また酸化マンガン（MnO）も同様に少なくて0.03%、銅（Cu）は<0.01%である。一方、五酸化燐（P_2O_5）は0.38%とやや高めで、硫黄（S）は0.04%と低値であった。

SIS－31：鉄塊

(1) 肉眼観察：細い流動状の銑鉄が2条重なった鉄塊である。基部側は破面である。

(2) マクロ組織：Photo.44に示す。全面白鋳鉄組織の鉄塊である。小単位の流動状の銑鉄が炉外に流れ出して急冷された組織で、結晶が微細である。鉄部には球状の気孔が散在する。金屋子神に奉納された初花の一種であろう。

(3) 顕微鏡組織：Photo.21①～③に示す。①は鉄中非金属介在物である。微細な黄褐色異物は硫化鉄（FeS）である。②③は5%ナイタルで腐食して現れた組織を示す。黒色のオーステナイトの初晶と地はレデブライトで構成されて亜共晶組成白鋳鉄であった。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.21②③に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。②はレデブライト部分で硬度値は697Hv、③はオーステナイト（パーライト）部分で硬度値は343Hvであった。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）93.31%に対して、金属鉄（Metallic Fe）85.64%、酸化第1鉄（FeO）8.18%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）1.88%の割合であった。炭素（C）量は、3.89%と亜共晶組成で夾雑物は少なく高純度の銑鉄である。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は0.48%と非常に低値であった。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.01%、バナジウム（V）<0.01%、酸化マンガン（MnO）は0.02%、そして銅（Cu）<0.01%である。二酸化珪素（SiO_2）も0.26%と少ない。ただし、該品は酸化クロム（Cr_2O_3）が0.72%と高値を特徴とする。砂鉄系鉄塊でも表皮スラグが付着しないと砂鉄特有成分のTi、Vはほとんど検出されない。

SIS－32：鉄塊

(1) 肉眼観察：半面が不整半円形で偏平な鉄部の中央から、不規則な棒状の鉄部が伸びる鉄塊である。下面の肩部2個所に青灰色の滓が固着する。初花を用いて作ったろうそく立てで、金屋子に供えられたものである可能性が高い。

(2) マクロ組織：Photo.44に示す。前述したSIS－31鉄塊に近似した組織で結晶はやや成長した傾向を呈した全面白鋳鉄組織の鉄塊である。鉄部には気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.21④～⑧に示す。ミクロ組織も前述したSIS－31に準ずる結果であった。④は鉄中非金属介在物である。微細な黄褐色異物は硫化鉄（FeS）である。⑤～⑧は5%ナイタルで腐食して現れた組織を示す。亜共晶組成白鋳鉄であった。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.21⑦⑧に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑦はパーライト部分で硬度値は208Hv、⑧はレデブライト部分で硬度値は658Hvであった。硬度値もSIS－31に近似

する。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）91.14%に対して、金属鉄（Metallic Fe）84.02%、酸化第1鉄（FeO）7.51%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）1.83%の割合であった。該品も炭素（C）量は3.79%とSIS－31と大差ない。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は1.37%と低値である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.30%、バナジウム（V）が<0.01%であった。また酸化マンガン（MnO）は0.05%、銅（Cu）が0.01%である。若干の夾雑物の混入があるが前述SIS－31と同系である。酸化クロム（Cr_2O_3）は0.61%と該品も高いところが炭付けデータとなる。

SIS－33：鉄製品

(1) 肉眼観察：厚板状の鉄製品の端部破片である。一方、見方を変えれば率納用の包丁鉄様形状を留める。表面は錆化が進行して、層状の剥離を起こしている。表面はある程度平坦になっているが、鍛打整形は非常に粗い。

(2) マクロ組織：Photo.45に示す。基部側のなた状柄側より供試材を切り出している。軟鉄を用いて粗く鍛打成形した鉄製品である。中央に逆「く」の字状の鍛接痕が明瞭に残る。

(3) 顕微鏡組織：Photo.22①～⑤に示す。①②は鍛打により展伸状態の鉄中非金属介在物である。暗黒色ガラス質滓中に淡褐色片状結晶のチタン酸化物が晶出する。鉱物相についてはEPMA調査の項で詳述する。③～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。③は上面側がフェライト単相の組織であり。下面側はフェライト素地に少量パーライトが析出する微細結晶亜共析組織である。2種の鋼種の鍛接線が明瞭に表われている。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.④⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④はフェライト単相の個所で硬度値は129Hv、⑤はフェライト素地に少量パーライトが析出する個所で硬度値は147Hvであった。絶対値としては、若干高め傾向にあるが、炭素量の差は表われている。

(5) EPMA調査：Photo.55の1段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。COMP中の淡褐色片状結晶2個所に35・37の番号をつけて定量値を測定した。35の定量分析値は64.2%TiO_2－19.1%FeO－3.6%V_2O_3であった。また37の定量分析値は67.3%TiO_2－17.6%FeO－4.8%V_2O_3であった。淡褐色片状結晶は、ルチル（Rutile：TiO_2）系組成に近い成分である。少量の鉄分は周囲からの影響が多分に利いていよう。また36の番号をつけた素地のガラス質部分の定量分析値は45.0%SiO_2－15.4%Al_2O_3－3.8%CaO－2.2%MgO－2.3%K_2O－22.6%FeO－10.6%TiO_2であった。こちらは珪酸塩に同定される。鉄分の影響はこちらからも窺われた。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）67.38%に対して、金属鉄（Metallic Fe）4.97%、酸化第1鉄（FeO）19.10%、錆化鉄が多くて酸化第2鉄（Fe_2O_3）68.01%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は6.03%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）は0.28%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.13%、バナジウム（V）が0.01%であった。また酸化マンガン（MnO）は0.02%、銅（Cu）が0.01%であった。なお、錆化鉄中の有機物が多い所為か炭素（C）量は1.51%であった。この数値は採用できない。金属組織から推定した炭素量は0.2%以下であろう。酸化クロム（Cr_2O_3）の0.11%は前述したSIS－31、32の下げによる同系母材と見做すことができよう。

〈5〉近世－遺構外出土遺物

SIS－34：羽口

(1) 肉眼観察：羽口先端部の破片である。先端には楕形気味のガラス質滓が固着する。羽口胎土は粘土質で、僅かに石粒が含まれる。

(2) 顕微鏡組織：Photo.23①～⑤に示す。①は表層のガラス質滓部分を示す。白色多角形結晶マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）が晶出する。②③はガラス質滓中の錆化鉄部を示す。どちらもパーライト素地にセメンタイトが析出する過共析組織の痕跡が残存する。④⑤は羽口胎土部分である。鱗片状の粘土鉱物（セリサイト）中に石英や長石の類の混入鉱物が散在する。

(3) 化学組成分析：Table.2に示す。強熱減量（Ig loss）は6.40%であった。やや熱影響を受けた状態での分析である。鉄分（Fe_2O_3）が6.60%、塩基性成分（CaO＋MgO）は2.41%で耐火性には不利であるが、酸化アルミニウム（Al_2O_3）は20.14%と高く成分的に不利な条件を幾分緩和する。

(4) 耐火度：1100℃であった。Ⅲ期（19世紀中葉）の羽口（SIS－18・24）と同等の耐火性である。

SIS－35：工具付着滓

(1) 肉眼観察：小さな破片状の工具付着滓である。内外面は生きており、側面は全面破面で微細な気孔が散在する。滓の色調は黒褐色である。外面には木炭痕が目立つ。

(2) 顕微鏡組織：Photo.23⑥～⑧に示す。暗黒色ガラス質滓中に白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、微細な淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。ガラス分の少ない高粘性の滓であって鍛冶滓の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.23⑥に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は574Hvであった。マグネタイトの文献硬度値に対応する値となった。白色粒状結晶がヴスタイトとすれば結晶粒の面積がごく狭いため誤差が生じた可能性が高くなる。急冷を受けてヴスタイトが充分に成長しきっていないので硬度測定が難しい試料である。

SIS－36：楕形鍛冶滓

(1) 肉眼観察：ほぼ完形に近い中型（3500ｇ）の楕形鍛冶滓である。上面に平坦な工具痕が斜めに残る。鉄とよく分離された試料で磁着は低い。

(2) 顕微鏡組織：Photo.24①～③に示す。白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が基地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。なおヴスタイト粒内には微小析出物が極く微量認められる。下げ滓の晶癖とみるべきであろう。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.24①に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は426Hvであった。ヴスタイトの文献硬度値の下限を僅かに下回る値となったが、ヴスタイトに同定される。測定時の亀裂等による誤差の可能性が高い。

(4) 化学組成分析：Table.2に示す。全鉄分（Total Fe）49.04%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.20%、酸化第1鉄（FeO）54.19%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）9.61%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O$）は32.35%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）2.24%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.87%、バナジウム（V）0.05%とやや低値

である。酸化マンガン（MnO）は0.15%、銅（Cu）＜0.01%であった。

鉱物組成ではヴスタイト粒内にチタン（Ti）を固溶する析出物が少量ながら確認された。その一方、化学組成は脈石成分（Ti、V、Mn）の低減傾向を示すが、ただし、前述SIS－13、30よりも脈石成分は高めであった。精錬鍛冶末期に派生した滓の下げ滓に分類すべきであろう。

SIS－37：椀形鍛冶滓

(1) 肉眼観察：平面不整楕円形をした小振り（465ｇ）の椀形鍛冶滓である。ほぼ完形に近い。表面や内部にも木炭痕が密集する。比重はやや大きい。

(2) 顕微鏡組織：Photo.24④に示す。白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、及び僅かに淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）と、淡灰色盤状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。精錬鍛冶滓（下げ）の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.24③に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は595Hvであった。マグネタイト結晶の混在の可能性もあるがヴスタイトとすれば、結晶粒の面積がごく狭く、測定時の亀裂などの原因による誤差を配慮しなければならぬ。

(4) EPMA調査：Photo.55の2段目に滓部鉱物相の反射電子像（COMP）を示す。素地のガラス質部分に38・39の番号をつけて定量値の測定を行った。ただし38の方は淡灰色針状結晶を含むところの定量分析値で33.8%SiO_2－7.6%Al_2O_3－11.3%CaO－1.5%K_2O－1.2%Na_2O－44.0%FeOである。また39の定量分析値は37.3%SiO_2－15.4%Al_2O_3－11.8%CaO－3.2%K_2O－1.9%Na_2O－23.6%FeOであった。共にガラス質の珪酸塩と微細なファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）結晶を合せた値である。また40の番号をつけた白色粒状結晶の定量分析値は100.0%FeO－1.5%TiO_2であった。ヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。更に41の番号をつけた結晶の定量分析値は66.3% FeO－17.0%TiO_2－15.0%Al_2O_3であった。ウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）とヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）の固溶体鉱物に同定される。42の番号をつけた暗色多角形結晶の定量分析値は50.2%FeO－46.4%Al_2O_3－3.2%TiO_2であった。ヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）に同定される。いずれも砂鉄特有成分のチタン分を固溶する。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。鉄分高めで、夾雑成分含みの成分系である。全鉄分（Total Fe）50.48%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.21%、酸化第1鉄（FeO）49.36%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）17.02%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は26.72%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）2.13%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は1.44%、バナジウム（V）は0.07%などやや多めであり、かつ酸化マンガン（MnO）は0.17%とこれも僅かに高く、銅（Cu）が＜0.01%であった。一方、五酸化燐（P_2O_5）も0.44%は高め傾向にある。

鉱物組成・化学組成の脈石成分（Ti、V、Mn）の数値から小型ながら精錬鍛冶滓（下げ滓）と分類される。

SIS－38：椀形鍛冶滓

(1) 肉眼観察：6900ｇを測る平面不整楕円形をしたほぼ完形の椀形鍛冶滓である。場所により質感が異なり、木炭痕が密集する個所と密度の高い流動気味の個所が混在する。側面から底面にかけ

ては丸棒状の工具痕が残る。なお特殊金属探知器のH（○）反応があるためごく微細な鉄部を含有すると推測される。

(2) 顕微鏡組織：Photo.14⑤～⑦に示す。鉱物組成は白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色不定形状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。また⑥⑦中央には滓中の微細な金属鉄粒を残す。5%ナイタルで腐食したところ、フェライト単相の組織が確認された。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.14⑤⑦に硬度測定の圧痕を示す。⑤は白色粒状結晶で硬度値は463Hvであった。ヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。また⑦の金属鉄部分のフェライトの硬度値は94Hvであった。組織に見合った値であった。

(4) 化学組成分析：Table.2に示す。鉄分高めで夾雑成分低めの成分系である。全鉄分（Total Fe）53.37%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.16%、酸化第1鉄（FeO）55.00%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）14.95%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は25.93%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）1.55%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.46%、バナジウム（V）0.04%、また酸化マンガン（MnO）は0.11%、銅（Cu）が<0.01%であった。脈石成分の低減した値で鍛冶原料鉄となる銑鉄の純度の良さである。下げ滓とすべきか本場滓とみるべきか判断に苦しむ成分系である。滓の重量からみると前者となろうか。供試材の採取位置が椀形滓の端部であるのが少々気掛りである。

SIS－39：椀形鍛冶滓（含鉄）

(1) 肉眼観察：平面が不整五角形気味の含鉄椀形鍛冶滓である。ほぼ完形に近く、5000ｇを測る。表面全体は木炭痕が顕著に残る。また瘤状の鉄部が突出する個所があり、この個所は磁着が強い。放射割れも発達しかけている。

(2) マクロ組織：Photo.45に示す。滓中に未凝集不定形の金属鉄が散在する。金属鉄組織はフェライト単相～亜共析組織が確認される。全体に炭素含有量の低い軟鉄であった。

(3) 顕微鏡組織：Photo.25①～③に示す。試料は5%ナイタルで腐食している。①は滓中に散在する微細な金属鉄粒（フェライト）を示す。また滓部は白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が晶出する。なおヴスタイト粒内には微細な晶出物が存在し、その粒界が黒く腐食を受けている。②はまとまりのある金属鉄部分で、フェライト素地に少量パーライトが析出する。③は全面パーライト組織の金属鉄部分である。局部的に比較的炭素含有量の高い金属鉄部が認められる。マクロ組織でみたように共析鋼クラスは極く微量である。下げ滓の晶癖である。

(4) ビッカース断面硬度：紙面の構成上、硬度測定を行った圧痕の写真は割愛したが、フェライト結晶粒の硬度値を測定した。硬度値は93Hvで、組織に見合った値であった。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。含鉄部分と滓の分析であり、脈石成分は幾分薄まった値となる。全鉄分（Total Fe）61.10%に対して、金属鉄（Metallic Fe）11.10%、酸化第1鉄（FeO）39.19%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）27.38%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は17.56%で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）は1.33%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は1.02%、バナジウム（V）が0.06%、また酸化マンガン

（MnO）は0.13%、銅（Cu）が<0.01%であった。脈石成分の数値から精錬鍛冶滓（下げ滓）に分類される。

SIS－40：不定形鉄塊

(1) 肉眼観察：黄褐色の酸化土砂が表面全体に分厚く固着した、不定形の鉄塊である。屑部の一部が流動気味である。

(2) マクロ組織：Photo.46に示す。まとまりのある金属鉄部が残存する。芯部は漸次高炭素域で、外周部ほど低炭素域となる。このため当試料は下げ（脱炭処理）が施された鉄塊と推測される。錆化による小ピット状の腐食孔を多く発生する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.25④～⑧に示す。試料は5%ナイタルで腐食している。④の写真左側は表面に付着する滓部である。白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。鍛冶系鉄塊の晶癖である。金属鉄部分はフェライト単相の組織であった。⑤は④より内側で、フェライト素地に少量パーライトが析出する亜共析組織である。⑥は更に内側の部分である。写真左側では発達した針状フェライトが析出しているため、当試料は空冷されたと判断される。また写真右側はパーライト主体の高炭素組織である。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.25⑦⑧に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑦はフェライト単相の個所で硬度値は71Hvであった。⑧は針状フェライトが析出する個所で、硬度値は139Hv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。鉄分は多いが酸化物定量である。全鉄分（Total Fe）74.10%に対して、金属鉄（Metallic Fe）48.13%、酸化第1鉄（FeO）7.21%、錆化鉄も含んで酸化第2鉄（Fe_2O_3）29.12%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は4.79%と低値で、砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.08%、バナジウム（V）0.01%など少なく、かつ酸化マンガン（MnO）0.02%も低値である。銅（Cu）が<0.01%であった。鉄分主体の成分系である。ただし、酸化クロム（Cr_2O_3）0.17%は高めで、かつ、高温脆性の原因となる硫黄（S）が0.17%と多い。

SIS－41：含鉄鉄滓

(1) 肉眼観察：平面は不整六角形をした含鉄鉄滓である。表面は滓部主体で、気孔や微細な木炭痕が確認できる。また表面に微細な放射割れが数多く入りはじめている。

(2) マクロ組織：Photo.46に示す。金属組織は過共析組織から白鋳鉄組織が確認された。まとまりのある鉄塊であった。外周部は酸化土砂の割合が高く、滓の付着は少ない。写真は金属鉄を中心に示している。鉄中にはやや歪な気孔が散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.26①～③に示す。①は表層に付着する滓部である。素地の暗黒色ガラス質滓中に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。製錬滓の晶癖である。このため、当試料は製鉄遺跡から搬入された鍛冶原料の鉄塊と推定される。②の中央は鉄中非金属介在物の硫化鉄（FeS）である。③は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織を示す。過共析組成（0.77%C以上）から亜共晶組成白鋳鉄になりかけの組織である。

(4) ビッカース断面硬度：紙面の構成上、硬度測定を行った圧痕の写真は割愛したが過共析組織2個所の硬度値を測定した。パーライト部分は277Hv、セメンタイト部分は427Hvであった。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。酸化物定量である。全鉄分（Total Fe）56.62%に対して、金属鉄（Metallic Fe）47.09%、酸化第1鉄（FeO）11.22%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）1.57%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は13.06%で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）を0.31%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.67%、バナジウム（V）0.03%と少量検出され、酸化マンガン（MnO）も0.67%と多い。銅（Cu）が<0.01%であった。金属鉄を多く含有する。その割に脈石成分（Ti、V、Mn）が高値で、かつ、炭素（C）量も1.61%と鉱物組成と金属組織を反映していた。なお、該品も0.19%Sなど高め傾向にある。

SIS－42：含鉄鉄滓

(1) 肉眼観察：平面が不整五角形をした小型（142 g）の含鉄鉄滓である。表面には酸化土砂や小石が固着するが、その中には粒状滓が混在する。試料全体は椀形気味で、滓はやや緻密で光沢を持つ。

(2) マクロ組織：Photo.47に示す。断面は、まとまった金属鉄が確認されたが、写真右上側に大きな滓を捲込んでいる。金属組織はほぼフェライト単相の個所から共析組織までの偏析をもつ。

(3) 顕微鏡組織：Photo.26④～⑧に示す。④は滓部である。鉱物組成は白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO\cdot SiO_2$）が晶出する。鍛冶滓の晶癖である。⑤～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。⑤は針状フェライトが析出する亜共析組織個所、⑥はパーライト主体で、旧オーステナイト粒界に僅かに針状フェライトが析出する共析鋼に近い領域である。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.26⑦⑧に硬度測定の圧痕を示す。⑥はフェライト素地に少量パーライトが析出する個所で硬度値は91Hv、⑨は亜共析組織のパーライト部分で硬度値は184Hvであった。組織に対応した値である。

SIS－43：不定形鉄塊

(1) 肉眼観察：全面厚い酸化土砂に覆われた686 gの不定形鉄塊である。表面の酸化土砂は放射状に割れを起こしている。

(2) マクロ組織：Photo.47に示す。白色針状組織を呈する過共析組織から黒色楕円状組織をもつ白鋳鉄組織の鉄塊である。しかし写真左上の捲込みスラグに沿って、亜共析～共析組織の脱炭個所を局部的に残す。

(3) 顕微鏡組織：Photo. 27①～⑨に示す。①は鉄塊表面に周縁する滓である。表層部の滓はいずれも暗黒色ガラス質で微細な金属鉄粒や錆化鉄が散在する。発達した鉱物結晶が晶出していない。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）である。また周囲にはFe－FeS－Fe$_3$C－Fe$_3$P三元系共晶のステダイト（Steadite）が広がる。③～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食している。③は鉄中捲込みスラグと周囲の金属鉄を示す。写真左側の滓には淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO\cdot TiO_2$）、淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO\cdot SiO_2$）が晶出する。また周囲の金属鉄は脱炭され、滓に沿って針状フェライトが析出する。

ただし、この脱炭は製鉄炉内の反応である。④はほぼ全面パーライトに近い共析組織、⑤は亜共晶組成白鋳鉄組織である。

鉄中の捲込みスラグにヴスタイトが晶出していないこと、鉄塊表層部では脱炭層が確認されないことなどから当試料は製錬系鉄塊の可能性が高い。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.27⑥～⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑥は針状フェライトが析出する亜共析組織で硬度値は111Hv、⑦は過共析組織のパーライト部分で硬度値は275Hv、⑧は白鋳鉄組織のセメンタイト部分で硬度値は392Hv、⑨は同じく白鋳鉄組織のレデブライト部分で硬度値は722Hvであった。⑧の392Hvは異常値である。本来は2倍近い数値を呈すると考えられる。原因は不明。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。鉄分主体の成分系で、錆化鉄の割合が高い。有機物含みであるが炭素量は2.90％と銑鉄成分である。全鉄分（Total Fe）68.75%に対して、金属鉄（Metallic Fe）18.03%、酸化第1鉄（FeO）13.23%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）58.72%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）9.94%で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）0.64%を含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.10%、バナジウム（V）が0.01%、また酸化マンガン（MnO）は0.02%、銅（Cu）が0.01%であった。酸化クロム（Cr_2O_3）0.43%、硫黄（S）0.25%など高めで、前述したSIS－41含鉄鉄滓に近似する。

SIS－44：不定形鉄塊

(1) 肉眼観察：小型（112ｇ）の不定形鉄塊の破片である。全体的には椀形を呈する。上面や側面は1cm大前後の木炭痕が散在し、破面中央では木炭が遺存する。長軸端部の球状化傾向にあるがこちら側からのサンプリングではない。

(2) マクロ組織：Photo.48に示す。まとまりのある鉄塊で、滓は表層に僅かに固着するのみである。金属組織は外周部の方が高炭素組織を呈する。製鉄炉内で表面側から吸炭が進んだものと考えられる。鉄中には不定形の気孔が多数散在する。

(3) 顕微鏡組織：Photo.28①～⑨に示す。①は表面に固着する滓部である。暗黒色ガラス質滓中に白色針状結晶イルミナイト（Ilmenite：FeO･TiO_2）が晶出する。製錬滓の晶癖である。②～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。②③は試料中心部である。発達した針状フェライトに少量のパーライトが析出する。この組織から、当試料は製鉄炉内でゆっくり徐冷されたのではなく、ある程度炉が冷えたところで取り出し空冷されたと推定される。また④⑤はパーライト素地に針状フェライトが析出した組織、⑥⑦は表層部でパーライト素地に針状セメンタイトが析出した組織である。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.28⑧⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑧はフェライト基地に少量パーライトが析出した組織で硬度値は112Hv、⑨はパーライト組織で187Hvであった。組成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がチタン分を僅かに含有する成分系であり、炭素量は1.60％と過共析鋼クラスである。全鉄分（Total Fe）73.45%に対して、金属鉄（Metallic Fe）52.35%、酸化第1鉄（FeO）13.75%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）14.89%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は7.37%で、このうち塩基性成分

(CaO+MgO) は0.51%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.15%、バナジウム（V）0.01%、また酸化マンガン（MnO）は0.03%、銅（Cu）0.01%であった。また、酸化クロム（Cr_2O_3）0.43%は前述SIS-43に近似する。該品の炭素量は低めであったが、球状化傾向をもつ個からのサンプル採取であれば、炭素量も高めの銑鉄レベルになったと推定される。

SIS-45：鉄塊

(1) 肉眼観察：粉炭や鉄滓片を含んだ酸化土砂に覆われた、厚手の鉄塊である。側面2面は直線状で破面の可能性が高い。楕形の鉄塊の破片と推定される。

(2) マクロ組織：Photo.48に示す。断面全体が片状黒鉛と、基地は白色に淡灰色のまだら模様を呈する。白色は脱炭されてフェライトとセメンタイト組織から構成される。製鉄炉内での偶発的な脱炭か。内部は緻密で気孔もほとんど認められない。

(3) 顕微鏡組織：Photo.29①～⑨に示す。①は表面に付着する酸化土砂中の鍛造剥片である。鉄酸化膜の3層構造が確認でき、内層ヴスタイトは凝集する。②は鉄中に析出する片状黒鉛を、③は鉄中非金属介在物の硫化鉄（FeS）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は片状黒鉛が析出する個所で、素地はフェライト・パーライトである。なおパーライト組織の層間が非常に粗いため、当試料は製鉄炉内で脱炭雰囲気に曝され、操業後炉内でゆっくり冷却された可能性が高い。すなわち、オーステナイトはフェライトと黒鉛に分解されている。⑥⑦の中央の網目状の組織は、Fe－Fe_3C－Fe_3P三元系共晶のステダイト（Steadite）である。更に共晶組織中には微細な硫化鉄（FeS）が多数散在する。組成に関してはEPMA調査の項で詳述する。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.29⑧⑨に鋳鉄脱炭組織の硬度測定の圧痕を示す。⑧の中央白色部の硬度値は116Hvであった。オーステナイト分解のフェライトに同定される。⑨の中央淡灰白色部の硬度値は946Hvであった。セメンタイトである。

(5) EPMA調査：Photo.55の3段目に共晶組織の反射電子像（COMP）を示す。COMP中の微小黄褐色異物に43・44の番号をつけ、定量値を測定した。43の定量分析値は113.0%FeO－7.5%S－20.2%P_2O_5、44の定量分析値は110.1%FeO－11.5%S－18.1%P_2O_5であった。共に硫化鉄（FeS）であり、黄褐色異物の面積がごく狭いため周囲の燐化鉄（Fe_3P）も含んだ測定値となった。

また共晶組織の45の番号をつけた点状相部分の定量分析値は140.8%FeO－4.3%P_2O_5、46の番号をつけた素地部分定量分析値は145.7%FeO－16.2%P_2O_5であった。組織から点状相部分がセメンタイト、基地部分はFe_3CとFe_3Pの混合組成に想定される。なお硫化鉄・ステダイトとも酸化物定量で測定したため、鉄は100%を越える値となっている。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。脱炭組織のフェライト基地鉄を含むが錆化鉄がらみで炭素量は3.69%含有される。全鉄分（Total Fe）59.58%に対して、金属鉄（Metallic Fe）11.47%、酸化第1鉄（FeO）29.51%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）35.99%の割合である。ガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）は9.88%で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）を0.23%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.15%、バナジウム（V）が0.01%など砂鉄系の痕跡を僅かに留める。また酸化マンガン（MnO）は0.02%、銅（Cu）が0.01%であった。さらに五酸化燐（P_2O_5）は0.25%、硫黄（S）が0.26%とやや高値であり、酸化クロム（Cr_2O_3）は0.10%と低値で

あった。製鉄時に錆、硫黄などの有害元素が鉄中に移行しやすい高温下で生成した銑鉄塊と推定される。

SIS－46：鉄塊

(1) 肉眼観察：平面が不整五角形を呈する鉄塊である。側面2面は破面と推定される。全体に流動状を呈し、銑鉄塊の先端部破片を想定させる外観をもつ。

(2) マクロ組織：Photo.49に示す。試料表面の酸化土砂中には粒状滓・鍛造剥片などの微細な鍛冶関連遺物が多数混在する。試料自体はまとまりのある鉄塊で、ごく表層を除き滓部はほとんど存在しない。金属組織は亜共析組織から過共析組織までの偏析鉄塊である。更に外周部は小ビットを中心に低炭素組織であるため、表層から脱炭された痕跡をもつ。外観流動状の銑鉄傾向と本質とは結び付かなかった。

(3) 顕微鏡組織：Photo.30①～⑨に示す。①は表層部の付着酸化土砂中の微細遺物である。粒状滓と微細な鍛造剥片が多数混在する。鍛造剥片は内層ヴスタイトの結晶粒の痕跡が残存するものから、非晶質化が進んだものまで確認される。鉄器製作までの一連の鍛練鍛冶作業での派生物と推測される。

②は試料表面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（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）、白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、淡灰色微細状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）が基地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。製錬滓の晶癖である。③は鉄中非金属介在物で硫化鉄（FeS）とステダイトを示す。また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。④はパーライト素地に針状フェライトが析出する亜共析組織、⑤は全面パーライトの共析組織である。また⑥⑦は球状の介在物を核にセメンタイトが析出する過共析組織である。亜共晶組成になりかけ寸前の組織である。介在物組成についてはEPMA調査の項で詳述する。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.30⑧⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑧はパーライト素地に針状フェライトが析出する個所で硬度値は149Hv、⑨は介在物を核にセメンタイトが析出する個所で硬度値は263Hvであった。組織に対応した硬度値である。

(5) EPMA調査：Photo.55の4段目に非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。47の番号をつけた暗褐色の結晶の定量分析値は40.4%FeO－37.5%Al_2O_3－13.7%S、その周囲の48の番号をつけた黄褐色異物の定量分析値は49.8%FeO－36.6%Al_2O_3－22.4%Sと成分比は異なるものの類似した組成を示した。中央の微細な結晶はヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）、周囲の微小黄褐色異物は硫化鉄（FeS）であり、共に面積がごく狭いため両者の混合した測定値となった。更にもう1視野、56の番号をつけた黄褐色異物の定量値は87.1%FeO－34.5%Sで、硫化鉄（FeS）に同定される。

また介在物の周囲のセメンタイト部分に57の番号を、フェライト部分に58の番号をつけて定量値を測定した。その結果、セメンタイト部分では1.3%P_2O_5と燐を含むことが確認された。これに対して周囲のフェライト部分は0.1%P_2O_5でごく微量の検出にと留まった。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。炭素（C）量は1.37%と銑鉄にはなり得ない数値である。全鉄分（Total Fe）67.60%に対して、金属鉄（Metallic Fe）33.50%、酸化第1鉄（FeO）13.53%、錆

化鉄含みで酸化第2鉄（Fe_2O_3）33.72%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は5.98%で、このうちに塩基性成分（$CaO+MgO$）を0.14%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（$TiO_2$）は0.16%、バナジウム（V）が0.01%など僅かに表皮スラグの影響を残す。また酸化マンガン（MnO）は0.02%、銅（Cu）が0.01%であった。更に酸化クロム（Cr_2O_3）は0.10%とさほど多くはなかったが、五酸化燐（P_2O_5）は0.14%で、硫黄（S）は0.33%と高値であった。

SIS－47：小割鉄

(1) 肉眼観察：厚板状の小割り鉄片である。上面は平坦気味で下面は緩やかな湾状を呈する。短軸の両端部は僅かに斜めに整形されるが、側面が全面整で切り落とされているかは判然としない。鍛打による整形の可能性も考えられる。

(2) マクロ組織：Photo.47に示す。写真右上部分は表面に付着した石である。左下側が試料本体部分で、コーナーはほぼ直角に成形された痕跡をもつ。金属組織は白色低炭素域から黒色高炭素域があって亜共析組織～共析組織の偏析が指摘できる。

(3) 顕微鏡組織：Photo.31①～⑨に示す。①は表面に沿って薄く付着する滓部を示す。白色粒状結晶はヴスタイト（Wüstite：FeO）である。また微細な多角形結晶はヘーシナイト（Hercynite：$FeO\cdot Al_2O_3$）、あるいはウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO\cdot TiO_2$）との固溶体とも考えられる。さらに微細な淡灰色木ずれ状結晶ファイヤライト（Fayalite：$2FeO\cdot SiO_2$）も晶出する。なお、鉄中非金属介在物は珪酸塩系が分布していたが紙面の都合で割愛した。

②～⑨は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。②③はほぼ全面パーライト組織の個所、④⑤はパーライト素地で僅かに針状フェライトが析出する個所、⑥は最もフェライトの面積率が高く炭素含有量の低い個所である。マクロ組織で述べたように偏析をもつ。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.31⑦～⑨に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑦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146Hv、⑧はパーライト素地にフェライトが網目状に析出する個所で硬度値は227Hv、⑨は全面パーライト組織で硬度値は290Hvであった。それぞれ炭素含有量に対応した硬度値である。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。錆化鉄がらみであるが炭素（C）量は0.85%と共析鋼クラスの可能性をもつ。全鉄分（Total Fe）59.08%に対して、金属鉄（Metallic Fe）22.18%、酸化第1鉄（FeO）6.47%、錆化鉄が多くて酸化第2鉄（Fe_2O_3）45.57%の割合であった。ガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は14.60%で、このうちに塩基性成分（$CaO+MgO$）を0.29%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（$TiO_2$）は0.12%、バナジウム（V）が<0.01%、また酸化マンガン（MnO）は0.02%、銅（Cu）が0.01%であった。該品は酸化クロム（Cr_2O_3）が高くて0.64%、さらに五酸化燐（P_2O_5）は0.22%、硫黄（S）は0.15%であった。

SIS－48：小割鉄

(1) 肉眼観察：板状の小割鉄の可能性がある遺物である。全体は平坦気味に整形されるが、下面は緩やかな弧状を呈する。側面は僅かに傾斜した平担面である。

(2) マクロ組織：Photo.50に示す。表層の錆化鉄部と残存金属鉄部との間に空隙がみられるため、

当試料は錆化による膨脹れで変形していることが判る。また残存金属鉄中には展伸した介在物が存在し、ごく粗く鍛打されたと推定される。金属組織は上面側が白くフェライト単相の組織で、下面側は僅かに黒色を帯びて亜共析組織である。

(3) 顕微鏡組織：Photo.32①～⑤に示す。①は鍛打により偏かに展伸した形状の非金属介在物である。鍛造比の低い加工が窺われる。鉱物組成についてはEPMA調査の項で詳述する。②～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。②の試料上側1/3程はほぼフェライト単相の組織で、下面側は亜共析組織である。下面表層が最も炭素含有量の高い組織を呈する。③は下面表層側の拡大である。この個所には不規則の空隙が多数存在するが、これらは鍛冶原料の鉄塊中の気泡を起点に腐食が発生した結果であろう。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.32④⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④は試料上面側のフェライト組織で硬度値は109Hv、⑤は試料下面側の亜共析組織で硬度値は129Hvであった。組織に対して若干硬質気味の値である。風化の影響が出ているのだろうか。

(5) EPMA調査：Photo.55の5段目に非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。49の番号をつけた白色粒状結晶の定量分析値は98.2%FeOであった。ヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。また50の番号をつけた針状結晶の定量分析値は84.2%FeO－10.7%SiO_2－5.5%Al_2O_3－1.8%TiO_2で、鉄酸化物主体の結晶と推測される。さらに51の番号をつけた個所の定量分析値は52.9%FeO－31.2%SiO_2－8.8%Al_2O_3－4.7%CaO－2.7%K_2Oであった。素地の暗黒色ガラス質滓と微細なファイヤライト結晶（Fayalite：2FeO·SiO_2）を合わせた値である。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。錆化鉄主体の成分系で組織に対して炭素量が1.93%と高めなのは、有機物がらみの結果であろう。全鉄分（Total Fe）53.59%に対して、金属鉄（Metallic Fe）1.48%、酸化第1鉄（FeO）5.95%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）67.89%の割合であった。またガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）は7.97%で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）を0.14%含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.09%、バナジウム（V）が<0.01%、また酸化マンガン（MnO）は0.01%、銅（Cu）は0.01%であった。酸化クロム（Cr_2O_3）は0.31%で決して低い値ではない。さらに五酸化燐（P_2O_5）は0.19%、硫黄（S）が0.26%であった。

SIS－49：鉄製品

(1) 肉眼観察：断面円形の棒状の鉄製品である。鍛冶具の突き棒の一種と推定される。基部と先端部が屈曲するが、使用に伴う曲がりである可能性がある。また表面の一部に泮が固着している。供試材は、長軸先端部より採取した。

(2) マクロ組織：Photo.50に示す。断面芯金部分の情報である。折り返し曲げ鍛接が丁寧に施された鍛造品。中央部は比較的炭素含有量が高く、端部は炭素含有量の低い組織であった。

(3) 顕微鏡組織：Photo.33①～⑤・34①～③に示す。①は鍛打により展伸状を呈する非金属介在物である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO·TiO_2）、白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が暗黒色ガラス中に晶出する。この鉱物組成から塩基性砂鉄を始発原料とする鉄素材を用いた製作である。なお鉱物相についてはEPMA調査の項でも詳述する。

②～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。上面側1/3程がフェライト単相の組織である。最表層部は錆化消滅で内層からの情報になるが、やや結晶粒が粗大化しているのは

鍛冶具の使用に伴う熱影響の痕跡であろうか。また下側2/3程は亜共析組織である。中央部がパーライト組織（黒色部）の面積が最も多い高炭素域で、下側表層に向かって漸次炭素含有量は減少する。表層部は突き棒使用で脱炭されたためであろうか。なお中央部では結晶の細粒化が顕著である。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.34①～③に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。①は試料上面のフェライト単相部分で硬度値は131Hv、②は試料中央の亜共析組織で硬度値は185Hv、③は試料下面側の②よりも低炭素域の亜共析組織で硬度値は151Hvであった。炭素量の違いと硬度値の関係がよく表われている。

(5) EPMA調査：Photo.56の1段目に鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示す。52の番号をつけた暗黒色ガラスの定量分析値は36.4％SiO_2－11.6％Al_2O_3－8.4％CaO－4.4％K_2O－1.2％Na_2O－33.0％FeO－1.6％TiO_2－1.9％P_2O_5であった。素地の珪酸塩と周囲の微細なファイヤライト（Fayalite：2FeO･SiO_2）結晶を含んだ測定値である。また53の番号をつけた淡灰色木ずれ状結晶の分析値は56.1％FeO－33.2％SiO_2で、ファイヤライト（Fayalite：2FeO･SiO_2）に同定される。54の番号をつけた白色粒状結晶は99.0％FeO－2.2％TiO_2であった。ヴスタイト（Wüstite：FeO）に同定される。更に55の番号をつけた淡茶褐色多角形結晶は66.9％FeO－22.1％TiO_2－6.9％Al_2O_3であった。ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO･TiO_2）とヘーシナイト（Hercynite：FeO･Al_2O_3）の固溶体鉱物に同定される。チタン分の検出は、砂鉄原料の鉄素材を証明する。

(6) 化学組成分析：Table.2に示す。錆化鉄主体の成分系である。鉄錆ながら酸化物定量とした。全鉄分（Total Fe）53.30％に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.36％、酸化第1鉄（FeO）7.88％、酸化第2鉄（Fe_2O_3）66.94％の割合であった。またガラス質成分（SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O）8.28％で、このうちに塩基性成分（CaO＋MgO）を0.26％含む。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.10％、バナジウム（V）0.01％など僅かに砂鉄原料傾向が窺われる。酸化マンガン（MnO）0.04％、銅（Cu）0.01％であった。該品も高クロム系で酸化クロム（Cr_2O_3）は0.84％を示す。さらに五酸化燐（P_2O_5）は0.19％、硫黄（S）が0.12％であった。なお、錆化鉄中には多くの有機物を含有するのか炭素（C）量は1.93％と高値であってパーライト析出量とは大きく矛盾する。

SIS－50：鉄製品

(1) 肉眼観察：不整方形（1.9×2.2cm）の横断面形を持つ、棒状の鉄製品の破片である。鍛冶具の破片ないしは細身の庖丁鉄破片の可能性がある。

(2) マクロ組織：Photo.51に示す。展伸状の大型介在物が多数散在する鍛造品である。全面フェライト単相の組織であった。また写真右側の側面端部に向かって、介在物の流れがやや下面側に変化する。これは上面から鏨で斜めに切断した痕跡の可能性が高い。庖丁鉄に歩がある。

(3) 顕微鏡組織：Photo.34④～⑦に示す。④は展伸状の大型介在物である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：2FeO･TiO_2）、白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）、および微細なファイヤライト（Fayalite：2FeO･SiO_2）結晶が基地の暗黒色ガラス質滓中に晶出する。この鉱物組成から塩基性砂鉄を始発原料とする鉄素材を用いて製作されたと推定される。

⑤～⑦は5％ナイタルで腐食している。フェライト単相のほぼ純鉄組織である。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.34⑦にフェライト組織の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は84Hvであった。組織に見合った値である。

(5) 化学組成分析：Table.2に示す。該品も鉄製品ながら錆化鉄主体なので酸化物定量とした。全鉄分（Total Fe）59.51%に対して、金属鉄（Metallic Fe）1.62%、酸化第1鉄（FeO）6.32%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）75.75%の割合であった。錆化鉄主体の成分系である。またガラス質成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は5.34%で、このうちに塩基性成分（CaO+MgO）は0.20%であった。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）は0.17%、バナジウム（V）が0.02%、また酸化マンガン（MnO）は0.04%、銅（Cu）が0.01%であった。有機物の混入があって炭素（C）量は1.24%と高い数値となった。さらに五酸化燐（P_2O_5）は0.25%、硫黄（S）は0.38%とやや高値となる。また、酸化クロム（Cr_2O_3）は0.6%とこれも多い値を呈した。

SIS－51：鉄製品

(1) 肉眼観察：偏平な棒状の鉄製品の破片である。表面は粒状滓や粉炭を含む酸化土砂に覆われる。芯部に薄く鉄部が残り、表面は皮状に錆化している。

(2) マクロ組織：Photo.51に示す。断面錆化鉄の輪郭線は幅2.5cm、厚み0.5～0.8cmのテーパーをもち丁寧に整形されて中核部に金属鉄を残す。鍛打により展伸した大型介在物が点列状に並ぶ鍛造品である。残存金属鉄の大部分はフェライト組織で、僅かに右上側角部に沿って薄くパーライト組織が残る。浸炭痕跡ともみられる。

(3) 顕微鏡組織：Photo.35①～⑨に示す。①は鉄中の非金属介在物である。白色結晶はヴスタイト（Wüstite：FeO）とその粒内や外周部には微細なウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO\cdot TiO_2$）が晶出する。鉱物組成から塩基性砂鉄を始発原料とする鉄素材を用いた鉄製品である。

②～④は試料表面の錆化鉄部である。②③は上面錆で、パーライト素地に網目状の初析フェライトないしはセメンタイトの痕跡が残存する。④⑤は下面側で、フェライト素地に少量パーライトが残存する。⑥～⑧は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。⑥⑦はマクロ写真の左側端部にあたる。写真左側が試料上面側である。最表に薄く共析組織層があり、錆化鉄の層をはさんでまた共析組織及び拡散層がある。更にその内側はフェライト単相の母材組織である。最表層の共析組織層は異材鍛接の痕跡であり、その内側の高炭素域は試料表面を木炭粉で塗し、加熱した浸炭処理の痕跡の可能性がある。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.35⑦⑧に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。⑦は表層の高炭素域で硬度値は292Hv、⑧は内部のフェライト単相部で硬度値は98Hvであった。炭素量に対応した硬度値である。

SIS－52：板状鉄製品

(1) 肉眼観察：僅かに反りを持つ板状の鉄製品である。側面は短軸側の1面が破面である。この破面に向って徐々に厚みを減じ、楔状の外観を呈する。

(2) マクロ組織：Photo.52に示す。高・低炭素量の異なる鉄塊の沸し痕跡を留める板状製品である。場所によりフェライト単相の個所から亜共析組織（C：最大0.6%程）まで偏析がみられる。鉄素材（鉄塊）中の炭素の偏析を反映したものであろうか。

(3) 顕微鏡組織：Photo.36①～⑤・37①～④に示す。Photo.36は試料中央厚み方向縦断面の金属組織である。上面側から、局部的にマルテンサイト素地に針状フェライトが析出する個所～ほぼ多角形のフェライト結晶粒単相の個所～フェライト素地に少量パーライトが析出する亜共析組織個所～ほぼ多角形のフェライト結晶粒単相の個所と変化する。

Photo.37①は塊状の介在物である。鉱物相は白色粒状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が凝集して晶出する。また②はマクロ写真左側の厚み方向縦断面の金属組織である。中央部が高炭素域で、やはりマルテンサイト素地に網目状の初析フェライトおよび微細パーライトが析出する。このため当試料はパーライトが析出しかけた状態から水冷されたと判断できる。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.37④⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④はフェライト素地に少量パーライトが析出する個所で硬度値は149Hv、⑤はマルテンサイト素地に網目状の初析フェライトおよび微細パーライトが析出する個所で硬度値は549Hv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。該品も錆化鉄中心の酸化物定量となる。全鉄分（Total Fe）51.85%に対して、金属鉄（Metallic Fe）0.15%、酸化第1鉄（FeO）5.05%、酸化第2鉄（Fe_2O_3）68.31%の割合であった。錆化鉄主体の成分系である。ガラス質成分（SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O）11.38%で、このうち塩基性成分（CaO+MgO）は0.19%である。砂鉄特有成分の二酸化チタン（TiO_2）0.12%、バナジウム（V）<0.01%など僅かに砂鉄系の痕跡を留める。また酸化マンガン（MnO）0.03%、銅（Cu）0.01%であった。炭素量は1.47%と過共析鋼レベルの数値を呈している。さらに五酸化燐（P_2O_5）は0.26%、硫黄（S）は0.11%である。また、酸化クロム（Cr_2O_3）も0.37%と通常レベルよりは高め傾向にあった。

SIS－53：鉄製品

(1) 肉眼観察：逆S字状に曲がった鉄製品で、横断面は方形の鉄釘の可能性が高い。全体に捩れた状態であるのは使用時ないしは抜きとった際の変形と推測される。また足部先端は欠損し、頭部の折り返しも認められない。先端部から供試材の採取である。

(2) マクロ組織：Photo.52に示す。切出し口の横断面形はきれいな方形で約18mm平方を呈する。軟鉄を鍛打整形した鍛造品である。

(3) 顕微鏡組織：Photo.38①～⑤に示す。①②は鍛打により展伸状を呈する非晶質珪酸塩系の介在物である。鍛接部に残存する粘土汁山来ののものである。③～⑤は金属鉄を5%ナイタルで腐食して現れた組織である。フェライト素地で粒界に沿って不完全球状セメンタイトが少量確認される。700℃前後の温度で一定時間保持された後徐冷されたものと推定される。

(4) ビッカース断面硬度：Photo.38④⑤に金属組織の硬度測定の圧痕を示す。④のフェライト結晶粒の大きい方の硬度値は軟質の81Hv、⑤のフェライト結晶粒の小さい方の硬度値は102Hvと若干硬質である。組織に対応した値を呈する。

SIS－54：工具付着滓

(1) 肉眼観察：薄板状の工具付着滓の小破片である。内外面は生きていて、側面全面は破面である。内面には丸棒状（直径約2cm）の工具痕が残る。外面は流動状を呈する

(2) 顕微鏡組織：Photo.37⑨⑥に示す。素地の暗黒色ガラス質滓中に白色樹枝状結晶ヴスタイト（Wüstite：FeO）が晶出する。また微細な金属鉄粒が散在する。鍛冶滓の晶癖である。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.37⑤に白色樹枝状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は564Hvであった。ヴスタイトの文献硬度値の上限を大きく上回る数値となったが、結晶粒の面積がごく狭いことや、測定時の亀裂などによる誤差の可能性がある。またマグネタイトの可能性も看過できまい。

4．まとめ

獅子谷遺跡の近世以降3期にわたる大鍛冶場から出土した、鍛冶関連遺物を調査した結果、いずれの時期でも精錬鍛冶から鍛錬鍛冶工程の遺物が確認され、一貫した生産体制が推定されて、次の点が明らかになった。

〈1〉獅子谷遺跡から出土した鍛冶滓は、各期とも始発原料の砂鉄に由来する脈石成分（Ti、V、Mn）の低値傾向が顕著である。二酸化チタン（TiO_2）の数値は0.19～2.68%であった。このため当遺跡では、不純物をあまり含まない製錬系鉄塊が鍛冶原料として搬入されたものと推定される。

同じ志津見ダム建設予定地内の近世後期の鍛冶遺跡と比較すると、中原遺跡[注8]（19世紀前後）出土鍛冶滓はTiO_2：1.35～4.00%、戸井谷尻遺跡[注9]（18C末～19C前半）出土鍛冶滓はTiO_2：1.21～5.56%、神原Ⅱ遺跡[注10]（18C半ば）出土鍛冶滓はTiO_2：1.99～11.44%である。以上のような出土鍛冶滓中の脈石成分の差は、原料供給元の鉧で生成された鉄塊の性質を反映したものと推測される。

〈2〉出土鉄塊系遺物・含鉄鉄滓中のうち、製錬系に分類されるSIS－41・43・44は滓の付着がごく少なく、過共析組織～白銹鉄組織主体で炭素含有量の高い鉄塊であった。更に滓の付着がみられない銑鉄塊のSIS－16(流し銑)・45も鍛冶原料の製錬系鉄塊と推定される。このため当遺跡には、滓との分離や吸炭の進んだ鉄塊が主に搬入されたと推定される。

また鍛冶系の鉄塊のうち、表層に脱炭層が存在するSIS－30・40は、左下（銑鉄を再溶解して脱炭し左下鉄を作る）作業中途の鉄塊と推定される。更に粗い鍛打が施されたSIS－15は、本場（左下鉄を加熱・鍛打して錬鉄（庖丁鉄）をつくる）作業に入った段階の鉄塊と推定される。

〈3〉鍛打の初期段階で派生する粒状滓は各期で確認された。特に炉壁内面に銹化鉄粒や細かい木炭片とともに粒状滓が付着する例が多くみられ、大鍛冶場の作業内容を示すものとして注目される。

また鍛造剥片はⅡ～Ⅲ期で確認できた。再結合滓中の鍛造剥片も含め、内層ヴスタイトが完全に非晶質化したものはごく少ない。このため鉄器製作は遺跡内で使用する道具を自作するなどごく補助的な位置付けであった可能性が高い。

〈4〉当遺跡から出土した炉壁片・羽口の耐火度は1050～1460℃とばらつきが大きい。周辺地域の該期の鍛冶炉炉壁・羽口の耐火度にもやはりバラツキが認められる。[注13]しかし製鉄炉炉壁片の耐火度は通常1400℃以上を示すため両者の耐火性の違いは明らかである。

また、鍛冶炉の炉壁土中に一部塩（NaCl）を練りこんだとの伝承が存在するため、分析時に注意する旨の指摘があった。しかし炉壁片のNa_2Oが0.35～1.12%に対して、羽口のNa_2Oは0.35～

1.54％で両者のナトリウム含有量に差は認められなかった。なお同じ志津見ダム建設予定地内の近世後期に比定される鍛冶遺跡の炉壁片のNa2Oは1.77～1.97％、製鉄遺跡の炉壁片のNa2Oは0.28～0.76％である。該期の製鉄炉より鍛冶炉の炉壁のほうが、ナトリウム含有量はやや高めである。しかし製鉄と鍛冶では当然異なる胎土が選択された可能性が高いため、意図的な塩の混入を証明するものとはいえない。

〈5〉鉄製品・工具の非金属介在物中には、Fe－Ti系の結晶が確認できるものが多い。これらの始発原料は砂鉄と推定される。遺跡内に搬入された製錬系鉄塊を用いて製作された鉄素材・鉄製品と仮定して矛盾しない鉱物組成であった。

当遺跡で出土した鍛冶具のうち、1号鍛冶炉（Ⅰ期）から出土した箸摺止め釘SIS－4は炭素含有量の異なる素材を鍛接、合せ鍛えしたうえで水焼入れを施している。これに対して、3号鍛冶炉（Ⅱ期）から出土したSIS－11はフェライト単相の軟鉄であった。試料の採取個所が異なるため、単純な比較は難しいが異なる様相を示した。今まで周辺地域の鍛冶遺跡から出土した箸摺止め釘の調査事例（戸井谷尻遺跡・神原Ⅱ遺跡：各1点）では、比較的炭素含有量の少ない鉄素材を用いており、ベイナイト組織が確認されている。箸摺の使用時に加わる力に配慮して、鉄器製作時に熱処理を施す場合、決まった製作方法をとるのでなはく、調達した鉄素材等に応じて製作技法を選択した可能性が考えられる。

また棒状工具SIS－49の先端部の金属組織は、鍛冶具の使用に伴う熱影響の痕跡が確認された。以上のような鍛冶具の出土例・金属調査とも未だ事例が少ないため、製作技法や使用時の熱影響の痕跡について、詳細な検討が可能となるよう調査例の蓄積が望まれる。

〈6〉金屋子神の石組遺構周辺から初花やローソク立て、更には同系統鉄からの下げ鉄が想定できる奉納用庖丁鉄までが検出された。これらは成分的に砂鉄原料の傾向をもち、高クロム（Cr）系特質を有して、共通素材が推測できる。

〈7〉今回調査の近世Ⅲ期以降の鉄塊や半製品に高クロム（0.3～0.84％Cr_2O_3）が9点存在する。砂鉄原料の近世たたら操業において、このような高クロム材の存在は過去には言及されていない問題である。クロム（Cr）の融点は1615℃で鉄より高い。高温操業の表われであろう。福岡平野の低チタン（Ti）含有砂鉄を原料とした古墳時代から古代における製鉄においても、クロム系スピネルの析出と滓中の高クロム傾向が最近判明しつつある。(注14) これらも併せて、今後の古代製鉄研究の課題として明記しておきたい。

(注)

(1) 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）
スピネル（Spinel：$MgAl_2O_4$）ヘーシナイト［鉄スピネル］（Hercynite：$Fe^{2+}Al_2O_4$）、ウルボスピネル（Ulvöspinel：$Fe^{2+}TiO_4$）、マグネタイト［磁鉄鉱］（Magnetite：$Fe^{2+}Fe^{3+}O_4$）はすべてスピネル［尖晶石］類（Spinel group）に分類される鉱物である。スピネル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。また、スピネル類は互いに固溶体鉱物をつくる。

(2) 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、ウルボスピネルは硬度値範囲の明記はないが、マグ

ネタイトにチタン（Ti）を固溶するので、600Hv以上であればウルボスピネルと同定している。

(3) 前掲注1　第4章　主要な造合鉱物　4．7かんらん石類（Olivine Group）

かんらん石類はX_2SiO_4で表される。XにはMg^{2+}、Mn^{2+}、Caなどがはいる。このXの位置は2個のイオンだけで占められ、AlやFe^{3+}のような3価の金属イオンはほとんど存在しない。Siの位置をAlが置換することもない。

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

〔イルミナイト（Ilmenite：FeO·TiO2）、シュードブルッカイト（Pseudobrookite：Fe2O3·TiO2）、ルチル（Rutile：TiO2）の晶出はFe－TiO2二元平衡状態図から高温化挿業が推定される。

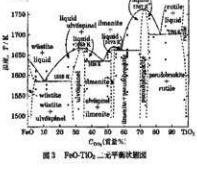


図3　FeO-TiO2二元平衡状態図

(5) 大澤正己「大山遺跡を中心とした埼玉県下製鉄関連遺物分析調査」『大山』（埼玉県立がんセンター堀蔵文化財発掘調査報告）（埼玉県遺跡調査報告第23集）埼玉県教育委員会1979

(6) 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。

(7) 鍛造剥片とは鉄素材を大気中で加熱、鍛打したとき、表面酸化膜が剥離、飛散したものを指す。俗に鉄肌（金肌）やスケールとも呼ばれる。鍛冶工程の進行により、色調は黒褐色から青味を帯びた銀色（光沢を発する）へと変化する。粒状滓の後続派生物で、鍛打作業の実証と、鍛冶の段階を押える上で重要な遺物となる。（注11）

鍛造剥片の酸化膜相は、外層は厚厚のヘマタイト（Hematite：Fe2O3）、中間層マグネタイト（Magnetite：Fe3O4）、大部分は内層ヴスタイト（Wüstite：FeO）の3層から構成される。このうちのヘマタイト相は1450℃を越えると存在しなく、ヴスタイト相は570℃以上で生成されるのはFe－O系平衡状態図から説明される。（注12）

鍛造剥片を王水（塩酸3：硝酸1）で腐食すると、外層ヘマタイト（Hematite：Fe2O3）は腐食しても侵されず、中間層マグネタイト（Magnetite：Fe3O4）は黄変する。内層のヴスタイト（Wüstite：FeO）は黒変する。鍛打作業前半段階では内層ヴスタイト（Wüstite：FeO）が粒状化を早し、鍛打止り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。

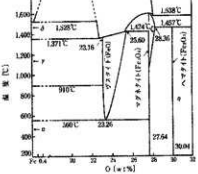
(8) 大澤正己・鈴木瑞穂「中原遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書6 中原遺跡』建設省中国地方建設局 島根県教育委員会 1999

(9) 大澤正己・寺本瑞穂「長者畑・戸井谷尻遺跡出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査」『志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書9 戸井谷尻遺跡・長者畑遺跡』国土交通省中国地方整備局 島根県教育委員会 2001.3

(10) 大澤正己「神原Ⅱ遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書13 神原Ⅱ遺跡』国土交通省中国地方整備局 島根県教育委員会 2002.3

(11) 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

(12) 森岡ら「鉄鋼腐食科学」『鉄鋼工学講座』11 朝倉書店 1975



Fe-O系平衡状態図

(13) 志津見ダム関連製鉄・鍛冶遺跡（近世）の炉材粘土の耐火性

	製鉄炉炉壁（℃）	鍛冶炉炉壁・羽口（℃）
長老畑遺跡	1420	1240
口弁谷尻遺跡	1360	1130、1360
下山遺跡	1520、1530	
大槇釿跡	1455、1495	
檜原遺跡	1420、1445	
神原Ⅱ遺跡		1185、1190、1250、1125
中原遺跡		1535、1320

(14) (イ)大澤正己「大宰府史跡（政庁跡・衣木地区）出土鉄滓と鋳造関連遺物の金属学的調査」『大宰府史跡発掘調査報告書Ⅱ）九州歴史資料館2002.3

(ロ)大澤正己「桑原石ケ元古墳群出土鉄滓の金属学的調査」『九州大学統合移転用地内埋蔵文化財発掘調査報告書2』～元岡・桑原遺跡群発掘調査～福岡市教育委員会2003予定原稿

Table.1 供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	推定年代	出土位置		遺物名称	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	EPMA	化学分析	耐火度	カロリー	
SIS-1	獅子谷	I期 17c後半～18c前半	1号鍛冶炉		炉壁	95×68×30	140.0	2	なし	—	○	—			○	○		
SIS-2	獅子谷				炉壁	193×113×39	320.0	3	なし	—	○	—		—	○	○	—	
SIS-3	獅子谷				椀形鍛冶滓	138×190×114	720.0	2	△		○	○		○	○	—	—	
SIS-4	獅子谷				鉄製品	186×175×100	200.0	7	特L(☆)	○	○	○		○			—	
SIS-5	獅子谷		2号鍛冶炉	(新)	鍛冶滓	84×53×23	160.2	1	なし	—	○	○			○		—	
SIS-6	獅子谷			(新)	含鉄椀形鍛冶滓	137×106×88	1121.0	6	特L(☆)	○	○	○		○	○	—	—	
SIS-7	獅子谷			地下構造	鍛冶滓	114×122×52	832.8	3	なし		○	○		○	○	—	—	
SIS-8	獅子谷	II期 18c末～19c中葉	3号鍛冶炉		炉壁	279×170×56	1620.0	3	なし	-	○			—	○	○	—	
SIS-9	獅子谷				羽口	196×85×35	980.0	7	なし	—	○	—		—	○	○		
SIS-10	獅子谷				炉床再結合滓	105×65×41	260.0	5	△	○	○	○		—	—	—		
SIS-11	獅子谷				鉄製品	157×30×21	310.0	8	特L(☆)	○	○	○		—	—	—	—	
SIS-12	獅子谷				木炭	—	小計61.1	1	なし		○			—	○	—	○	
SIS-13	獅子谷		4号鍛冶炉	埋め戻し土	含鉄椀形鍛冶滓	227×196×100	2500.0	7	特L(☆)	○	○	○		—	○			
SIS-14	獅子谷		鉄床2		再結合滓	102×101×43	365.3	4	△	○	○	—						
SIS-15	獅子谷		II期大鍛冶場作業面		鉄本石付着鉄塊	167×84×51	1320.0	8	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-16	獅子谷		SK03		鉄塊系遺物	169×120×69	2500.0	6	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-17	獅子谷	III期 19c中葉～	7号鍛冶炉	(新)	炉壁	102×124×2.9	209.8	2	なし		○				○	○	—	
SIS-18	獅子谷				羽口	261×118×96	1596.7	3	なし	—	○				○	○	—	
SIS-19	獅子谷				鍛冶滓	80×46×30	113.0	4	H(○)	—	○	○		—	○			
SIS-20	獅子谷				鉄製品	73×65×30	79.7	4	△	—	○	—		—	—	—	—	
SIS-21	獅子谷				粒状滓	—	—		なし	○	○	—		—	—	—	—	
SIS-22	獅子谷				鍛造剥片	—	—	—	なし	○	○	-				—	—	
SIS-23	獅子谷			(古)	炉壁	83×60×49	140.0	2	なし	—	○	—			○	○		
SIS-24	獅子谷		8号鍛冶炉	(新)	炉壁	50×50×30	75.0	2	なし	—	○	—		—	○	○		
SIS-25	獅子谷				羽口	—	300.0	1	なし		○	—		—	○	○	—	
SIS-26	獅子谷				鍛冶滓	61×118×34	180.0	5	△		○	○		—	○	—	—	
SIS-27	獅子谷		II期大鍛冶場作業面		粒状滓	—	—		なし	○	○			—	—	—	—	
SIS-28	獅子谷				鍛造剥片	—	—	—	なし	○	○	—						
SIS-29	獅子谷		永場遺構		再結合滓	182×151×73	1400.0	8	H(○)	○	○	—						
SIS-30	獅子谷	近世	金屋子石組遺構周辺		椀形鉄塊	143×167×97	3300.0	8	特L(☆)	○	○	○		○	○	—	—	
SIS-31	獅子谷				鉄塊	115×32×16	134.2	7	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-32	獅子谷				鉄塊	71×48×45	137.1	7	特L(☆)	○	○	○			○	—	—	
SIS-33	獅子谷				鉄製品	109×36×22	331.0	7	特L(☆)	○	○	○		○	○			
SIS-34	獅子谷	近世	遺構外	E 7	羽口	75×72×36	144.0	2	なし	—	○	—		—	○	○	—	
SIS-35	獅子谷			表土	工具付着滓	32×32×12	9.4	1	なし		○	○		—	—	—	—	
SIS-36	獅子谷			H−8	椀形鍛冶滓	183×204×118	3500.0	4	なし	—	○	○			○		—	
SIS-37	獅子谷			K−6	椀形鍛冶滓	105×89×60	465.0	3	△	—	○	○		○	○			
SIS-38	獅子谷			S4, E6	含鉄椀形鍛冶滓	287×220×137	6900.0	4	H(○)	—	○	○		—	○	—	—	
SIS-39	獅子谷			N2, E6	含鉄椀形鍛冶滓	222×180×131	5000.0	5	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-40	獅子谷			F−9	不定形鉄塊	80×79×37	451.7	7	特L(☆)	○	○	○			○	—	—	
SIS-41	獅子谷			G−9	含鉄鉄滓	97×72×62	445.6	9	特L(☆)	○	○	○			○		—	
SIS-42	獅子谷			N2, W2	含鉄鉄滓	59×54×37	141.8	6	特L(☆)	○	○	○		—	—			
SIS-43	獅子谷			表土	不定形鉄塊	96×87×73	686.2	6	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-44	獅子谷			表土	不定形鉄塊	58×43×37	112.1	7	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-45	獅子谷			H−6	鉄塊	78×65×30	848.6	8	特L(☆)	○	○	○		○	○		—	
SIS-46	獅子谷			G−8	鉄塊	98×82×57	729.5	10	特L(☆)	○	○	○		○	○			
SIS-47	獅子谷			N2, E4	小鉄塊	66×48×25	492.9	6	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-48	獅子谷			J−6	小鉄塊	74×57×27	217.3	4	特L(☆)	○	○	○		○	○	—	—	
SIS-49	獅子谷			F−8	鉄製品	382×27×33	1218.3	7	特L(☆)	○	○	○		○	○	—	—	
SIS-50	獅子谷			G−8	鉄製品	117×22×19	181.9	7	特L(☆)	○	○	○		—	○			
SIS-51	獅子谷			H 9	鉄製品	74×24×6	95.3	6	特L(☆)	○	○	○		—	—	—		
SIS-52	獅子谷			J−6	板状鉄製品	90×36×18	179.3	6	特L(☆)	○	○	○		—	○	—	—	
SIS-53	獅子谷			S2, W6	鉄製品	54×5×5	19.3	6	L(●)	○	○	○		—	—	—	—	
SIS-54	獅子谷			1トレンチ	工具付着滓	31×24×7	3.5	1	なし		○			—	—	—	—	

Table. 2 供試材の組成

＊: Al_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, MnO　#: Igloss　Σ＊: 造滓成分

符号	遺跡名	推定年代	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)	バナジウム (V)	銅 (Cu)	耐火度 ℃	造滓成分	造滓成分/Total Fe	TiO_2/Total Fe	注
SIS 1	獅子谷	Ⅰ期	1号鍛冶炉	炉壁	4.00	0.01	1.76	3.75	60.65	20.22	0.32	0.71	2.00	0.35	0.07	0.76	<0.01	0.02	0.09	#8.95	0.01	<0.01	1460	84.25	21.063	0.190	
SIS 2	獅子谷	17c後半～		炉壁	10.18	0.01	5.72	8.18	57.77	17.36	0.92	0.90	2.68	0.79	0.15	0.82	<0.01	0.01	0.19	#2.69	0.02	<0.01	1050	80.42	7.900	0.061	
SIS 3	獅子谷	18c前半		椀形鍛冶滓	46.00	0.11	34.19	27.62	20.26	6.36	1.59	0.67	1.50	0.37	0.15	1.04	0.01	0.02	0.40	0.64	0.05	<0.01		30.75	0.668	0.023	
SIS 5	獅子谷		2号鍛冶炉(新)	鍛冶滓	59.94	0.20	67.34	10.58	13.61	4.09	1.16	0.47	0.80	0.20	0.10	0.74	0.06	0.02	0.21	0.06	0.06	<0.01		20.33	0.339	0.012	
SIS 6	獅子谷			含鉄椀形鍛冶滓	55.90	12.61	37.83	19.85	15.92	4.98	2.91	0.67	1.10	0.19	0.14	0.60	0.03	0.04	0.30	0.35	0.04	<0.01		25.77	0.461	0.011	
SIS 7	獅子谷		〃地下構造	鍛冶滓	50.22	0.39	57.46	7.39	20.73	6.40	1.68	0.85	1.20	0.37	0.26	2.43	0.04	0.03	0.34	0.04	0.18	<0.01		31.23	0.622	0.048	
SIS 8	獅子谷	Ⅱ期	3号鍛冶炉	炉壁	9.39	0.02	6.39	6.30	63.05	16.50	1.17	0.64	1.80	1.12	0.20	0.96	<0.01	0.01	0.12	#0.59	0.03	<0.01	1100	84.28	8.976	0.102	
SIS 9	獅子谷	18c末～		羽口	2.93	0.05	0.30	3.84	67.38	16.44	0.38	0.58	2.69	0.35	0.05	0.60	<0.01	<0.01	0.06	#6.95	0.01	<0.01	1330	87.82	29.973	0.205	
SIS 13	獅子谷	19c中葉	4号鍛冶炉	含鉄椀形鍛冶滓	57.63	11.26	17.10	47.30	6.26	1.89	0.35	0.18	0.41	0.19	0.03	0.19	0.17	0.06	0.18	0.84	0.01	<0.01		9.48	0.164	0.003	
SIS 15	獅子谷		Ⅲ期大鍛冶場作業面	鉄床石付着鉄塊	55.10	11.74	14.87	45.47	11.95	3.30	0.47	0.25	0.40	0.17	0.07	0.67	0.01	0.11	0.13	1.26	0.04	<0.01		16.54	0.300	0.012	
SIS 16	獅子谷		SK03	鉄塊系遺物	87.60	72.26	19.47	0.29	1.41	0.48	0.08	0.04	0.10	0.06	0.03	0.05	0.31	0.03	0.14	3.86	0.01	0.01		2.17	0.025	0.001	
SIS-17	獅子谷	Ⅲ期	7号鍛冶炉(新)	炉壁	11.27	0.13	2.82	12.79	56.58	17.46	0.71	0.83	1.80	0.35	0.36	1.15	<0.01	0.02	0.15	#2.38	0.03	<0.01	1080	77.73	6.897	0.102	
SIS-18	獅子谷	19c中葉		羽口	4.44	0.03	1.03	5.16	59.63	17.65	1.20	1.36	2.14	1.37	0.16	0.7	0.04	0.01	0.08	#9.02	0.01	<0.01	1100	83.35	18.773	0.158	
SIS-19	獅子谷	～		鍛冶滓	51.13	0.08	53.89	13.10	18.22	5.49	2.45	0.86	1.48	0.26	0.27	2.27	0.02	0.07	0.26	0.15	0.15	<0.01		28.76	0.562	0.044	
SIS-23	獅子谷		〃(古)	炉壁	5.03	0.04	0.66	6.4	59.29	19.66	0.93	0.8	1.96	0.9	0.15	0.7	0.10	0.03	0.12	#7.69	0.01	<0.01	1270	83.54	16.608	0.139	
SIS-24	獅子谷		8号鍛冶炉	炉壁	9.61	0.03	3.50	7.59	45.62	16.68	0.39	0.57	1.59	0.29	0.41	0.90	0.01	0.07	0.17	#17.83	0.02	<0.01	1100	65.14	6.778	0.094	
SIS-25	獅子谷		(新)	羽口	4.16	0.01	1.77	3.97	59.46	17.85	1.13	1.40	2.30	1.42	0.19	0.70	0.04	<0.01	0.10	#9.25	0.01	<0.01	1100	83.56	20.087	0.168	
SIS-26	獅子谷			鍛冶滓	51.49	0.12	43.93	24.63	16.90	5.25	0.87	0.56	0.83	0.18	0.22	2.68	0.04	0.08	0.29	0.68	0.21	<0.01		24.59	0.478	0.052	
SIS-30	獅子谷	近代	金屋子石組遺構周辺	椀形鉄塊	75.54	30.98	29.51	30.92	2.00	0.71	0.21	0.10	0.12	0.07	0.03	0.16	0.03	0.04	0.38	1.30	0.01	<0.01		3.21	0.042	0.002	
SIS-31	獅子谷			鉄塊	93.31	85.64	8.18	1.88	0.26	0.06	0.04	0.02	0.05	0.05	0.02	0.01	0.72	0.01	0.14	3.89	<0.01	<0.01		0.48	0.005	0.000	
SIS-32	獅子谷			鉄塊	91.14	84.02	7.51	1.83	0.90	0.25	0.08	0.03	0.06	0.05	0.05	0.30	0.61	0.01	0.20	3.79	<0.01	0.01		1.37	0.015	0.003	
SIS-33	獅子谷			鉄製品	67.38	4.97	19.10	68.01	4.26	1.15	0.24	0.04	0.25	0.09	0.02	0.13	0.11	0.02	0.16	1.51	0.01	0.01		6.03	0.089	0.002	
SIS-34	獅子谷	近世	E-7	羽口	6.79	0.04	2.75	6.60	54.72	20.14	1.32	1.09	1.79	1.54	0.05	0.71	0.13	0.02	0.26	#6.40	0.02	0.01	1110	80.60	11.870	0.105	
SIS-36	獅子谷	遺構外	H-8	椀形鍛冶滓	49.04	0.20	54.19	9.61	21.31	7.05	2.09	0.15	1.52	0.23	0.15	0.87	0.07	0.02	0.35	0.20	0.05	<0.01		32.35	0.660	0.018	
SIS-37	獅子谷		K-6	椀形鍛冶滓	50.48	0.21	49.36	17.02	17.17	5.74	1.96	0.17	1.30	0.25	0.17	1.44	0.10	0.04	0.44	0.74	0.07	<0.01		26.79	0.531	0.029	
SIS-38	獅子谷		S4, E6	含鉄椀形鍛冶滓	53.37	0.16	55.00	14.95	17.17	5.71	1.44	0.11	1.33	0.17	0.11	0.46	0.03	0.06	0.35	0.19	0.04	<0.01		25.93	0.486	0.009	
SIS-39	獅子谷		N2, E6	含鉄椀形鍛冶滓	61.10	11.10	39.19	27.38	11.36	3.77	1.20	0.13	0.96	0.14	0.13	1.02	0.08	0.07	0.28	0.40	0.06	<0.01		17.56	0.287	0.017	
SIS-40	獅子谷		F-9	不定形鉄塊	74.10	48.13	7.21	29.12	3.33	1.01	0.14	0.02	0.21	0.08	0.02	0.08	0.17	0.17	0.16	0.93	0.01	<0.01		4.79	0.065	0.001	
SIS-41	獅子谷		G-9	含鉄鉄滓	56.62	47.09	11.22	1.57	9.36	2.81	0.24	0.07	0.46	0.12	0.07	0.67	0.19	0.29	0.21	1.61	0.03	<0.01		13.06	0.231	0.012	
SIS-43	獅子谷		表土	不定形鉄塊	68.75	18.03	13.23	57.82	7.24	1.82	0.32	0.02	0.32	0.22	0.02	0.10	0.43	0.25	0.27	2.90	0.01	0.01		9.94	0.145	0.001	
SIS-44	獅子谷		表土	不定形鉄塊	73.45	52.35	13.75	14.89	4.90	1.48	0.48	0.03	0.25	0.23	0.03	0.15	0.43	0.10	0.19	1.60	0.01	0.01		7.37	0.100	0.002	
SIS-45	獅子谷		H-6	鉄塊	59.58	11.47	29.51	35.99	7.09	1.93	0.21	0.02	0.43	0.20	0.02	0.15	0.10	0.26	0.25	3.69	0.01	0.01		9.88	0.166	0.003	
SIS-46	獅子谷		G-8	鉄塊	67.60	33.50	13.53	33.72	4.30	1.18	0.12	0.02	0.28	0.08	0.02	0.16	0.10	0.33	0.14	1.37	0.01	0.01		5.98	0.088	0.002	
SIS-47	獅子谷		N2, E4	小割鉄	59.08	22.18	6.47	45.57	10.89	2.68	0.27	0.02	0.53	0.21	0.02	0.12	0.64	0.15	0.22	0.85	<0.01	0.01		14.60	0.247	0.002	
SIS-48	獅子谷		J-6	小割鉄	53.59	1.48	5.95	67.89	5.94	1.49	0.13	0.01	0.30	0.10	0.01	0.09	0.31	0.26	0.19	1.93	<0.01	0.01		7.97	0.149	0.002	
SIS-49	獅子谷		F-8	鉄製品	53.30	0.36	7.88	66.94	5.85	1.71	0.22	0.04	0.32	0.14	0.04	0.10	0.84	0.12	0.19	1.93	0.01	0.01		8.28	0.155	0.002	
SIS-50	獅子谷		G-8	鉄製品	59.51	1.62	6.32	75.75	3.78	1.03	0.16	0.04	0.26	0.07	0.04	0.17	0.60	0.38	0.25	1.24	0.02	0.01		5.34	0.090	0.003	
SIS-52	獅子谷		J-6	板状鉄製品	51.85	0.15	5.05	68.31	8.09	2.45	0.16	0.03	0.50	0.15	0.03	0.12	0.37	0.11	0.26	1.47	<0.01	0.01		11.38	0.219	0.002	

Table. 3 木炭の性状

符号	遺跡名	推定年代	出土位置	遺物名称	灰分	揮発分	水分	F.C	T.S	発熱量 (cal/g)	灰中P
SIS-12	獅子谷	Ⅱ期	3号鍛冶炉	木炭	4.72	36.31	14.12	58.97	<0.01	5830	0.069

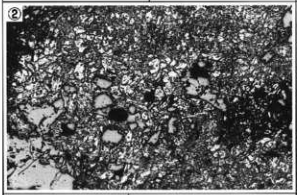
Table. 4　出土遺物の調査結果のまとめ

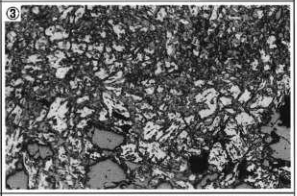
符号	遺跡名	推定年代	出土位置		遺物名称	顕微鏡組織	Total Fe	Fe_2O_3	塩基性成分	TiO_2	V	MnO	ガラス質成分	Cu	所見
SIS-1	獅子谷	I期	1号鍛冶炉		炉壁	粘土鉱物、混入鉱物	4.00	3.75	1.03	0.76	0.01	0.07	84.25	<0.01	耐火度1460℃、耐火性の高い性状
SIS-2	獅子谷	17c後半			炉壁	付着物：粒状滓、銹化鉄粒、炉壁内面：ガラス質滓中に金属鉄粒・微小析出物、被熱胎土	10.18	8.18	1.82	0.82	0.02	0.15	80.42	<0.01	耐火度1050℃、耐火性の低い性状
SIS-3	獅子谷	～18c前半			椀形鍛冶滓	W+U+H+F	46.00	27.62	2.26	1.04	0.05	0.15	30.75	<0.01	砂鉄系精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)
SIS-4	獅子谷				鉄製品	上側：マルテンサイト・微細パーライト、下側：フェライト単相	—	—	—	—	—	—	—	—	異材鍛接合せ鍛え、水焼入れ(始発原料：塩基性砂鉄)
SIS-5	獅子谷		2号鍛冶炉	(新)	鍛冶滓	W+F	59.94	10.58	1.63	0.74	0.06	0.10	20.33	<0.01	鍛錬鍛冶滓か(小鍛冶滓)か?
SIS-6	獅子谷			(新)	含鉄椀形鍛冶滓	滓部：W+F、金属鉄：フェライト単相～亜共析組織	55.90	19.85	3.58	0.60	0.04	0.14	25.77	<0.01	鍛打作業前、本場滓工程の派生物か?
SIS-7	獅子谷			地下構造	鍛冶滓	W+U+H+F	50.22	7.39	2.53	2.43	0.18	0.26	31.23	<0.01	精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)
SIS-8	獅子谷	II期	3号鍛冶炉		炉壁	付着物：粒状滓、炉壁内面：ガラス質滓中に金属鉄粒・微小析出物散在	9.39	6.30	1.81	0.96	0.03	0.20	84.28	<0.01	耐火度1110℃、耐火性の低い性状
SIS-9	獅子谷	19c末			羽口	粘土鉱物、混入鉱物	2.93	3.84	0.96	0.60	0.01	0.05	87.82	<0.01	耐火度1330℃、耐火性の高い性状
SIS-10	獅子谷	～19c中葉			炉床再結合滓	粒状滓・鍛造剥片・銹化鉄粒・製錬滓片(I+U)・鍛冶滓片(WorM+F)	—	—	—	—	—	—	—	—	精錬鍛冶～鍛錬鍛冶工程で派生する微細遺物
SIS-11	獅子谷				鉄製品	残存金属鉄：フェライト単相	—	—	—	—	—	—	—	—	極軟鋼を鍛打成形(始発原料：塩基性砂鉄)
SIS-12	獅子谷				木炭	広葉樹環孔材	—	—	—	—	—	—	—	—	5830cal/g、夾雑物混入で発熱量は低下、P・Sは低値
SIS-13	獅子谷		4号鍛冶炉	埋め戻し土	含鉄椀形鍛冶滓	滓部：W+F、鉄部：亜共析～共析組織	57.63	47.30	0.73	0.19	0.01	0.03	9.48	<0.01	鍛打作業前、本場滓か
SIS-14	獅子谷		鉄床2		再結合滓	木炭破片・粒状滓・鍛造剥片・製錬滓片(U+F、I+Ps)・鍛冶滓片(W+F)	—	—	—	—	—	—	—	—	鉄床周辺で鍛造剥片多い
SIS-15	獅子谷		III期大鍛冶場作業面		鉄床石付着鉄塊	滓部：W+F、鉄部：フェライト単相～共析組織	55.10	45.47	0.72	0.67	0.04	0.07	16.54	<0.01	精錬鍛冶(大鍛冶)工程の鉄塊系遺物
SIS-16	獅子谷		SK03		鉄塊系遺物	亜共晶組成白鋳鉄	87.60	0.29	0.12	0.05	0.01	0.03	2.17	0.01	鋳鉄塊、(製錬系鉄塊：鍛冶原料か)、流し銑の可能性
SIS-17	獅子谷	III期	7号鍛冶炉	(新)	炉壁	酸化土砂に粒状滓付着、粘土鉱物セリサイト溶融、粒状滓、被熱胎土	11.27	12.79	1.54	1.15	0.03	0.36	77.73	<0.01	耐火度1080℃、耐火性が低いのは胎土に鉄分の侵入
SIS-18	獅子谷	19c中葉			羽口	粘土鉱物、混入鉱物、胎土中に粒状滓混在	4.44	5.16	2.56	0.7	0.01	0.16	83.35	<0.01	耐火度1110℃、耐火性の低い性状
SIS-19	獅子谷	～			鍛冶滓	W(U+H)+F、(一部滓の球状化)	51.13	13.10	3.31	2.27	0.15	0.27	28.76	<0.01	精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)、下げ滓か
SIS-20	獅子谷				鉄製品	銹化鉄：層状剥離(組織痕跡は少量のパーライト)、点列状介在物痕跡	—	—	—	—	—	—	—	—	鍛造鉄器、繰り返し折り曲げ鍛接、軟鋼レベル
SIS-21	獅子谷				粒状滓	イ-1：W(U+H)+F、イ-2：W+U+H+F、イ-3・ロ-2・3：M、ロ-1：W凝集	—	—	—	—	—	—	—	—	鍛打作業初期段階の派生物(微細な鍛冶滓混在)
SIS-22	獅子谷				鍛造剥片	3層分離型(内層W凝集)	—	—	—	—	—	—	—	—	鍛打作業中間段階の派生物
SIS-23	獅子谷			(古)	炉壁	粘土鉱物、セリサイトに微細石英・長石の類混入	5.03	6.4	1.73	0.7	0.01	0.15	83.54	<0.01	耐火度1270℃、耐火性中程度の性状
SIS-24	獅子谷		8号鍛冶炉	(新)	炉壁	付着滓：W+U+H+F、炉壁胎土：粘土鉱物、混入鉱物、胎土中に粒状滓混在	9.61	7.59	0.96	0.90	0.02	0.41	65.14	<0.01	耐火度1110℃、耐火性の低い性状、付着滓：精錬鍛冶滓
SIS-25	獅子谷				羽口	粘土鉱物、鱗片状セリサイトに微細石英・長石の類混入	4.16	3.97	2.53	0.70	0.01	0.19	83.56	<0.01	耐火度1110℃、SIS−18に性状近似
SIS-26	獅子谷				鍛冶滓	W+U+H+F、銹化鉄(極軟鋼)	51.49	24.63	1.43	2.68	0.21	0.22	24.59	<0.01	精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)
SIS-27	獅子谷		III期大鍛冶場作業面		粒状滓	イ-1・2：W凝集、イ-3：ガラス基地にW+U+H、ロ1～3：M	—		—	—	—	—	—	—	鍛打作業初期段階の派生物(微細な鍛冶滓混在)
SIS-28	獅子谷				鍛造剥片	イ-1・ロ-1・2：3層分離型(内層W凝集)、イ-2：3層分離型(内層Wやや非晶質化)	—	—	—	—	—	—	—	—	鍛打作業前半～中間段階の派生物
SIS-29	獅子谷		水場遺構		再結合滓	木炭破片・粒状滓・鍛造剥片・製錬滓片(I)・鍛冶滓片(W+F)	—	—	—	—	—	—	—		精錬鍛冶～鍛錬鍛冶工程で派生する微細遺物
SIS-30	獅子谷	近世	金屋子石組遺構周辺		椀形鉄塊	滓部：W+F、鉄部：亜共析～白鋳鉄(表層のみ脱炭痕跡)	75.54	30.92	0.31	0.16	0.01	0.03	3.21	<0.01	下げ(脱炭)処理中途の鉄塊系遺物
SIS-31	獅子谷				鉄塊	亜共晶組成白鋳鉄(C：3.89%)、0.72%Cr_2O_3特徴的成分	93.31	1.88	0.06	0.01	<0.01	0.02	0.48	<0.01	鋳鉄塊、金屋子神奉納初花か
SIS-32	獅子谷				鉄塊	亜共晶組成白鋳鉄(C：3.79%)、0.61%Cr_2O_3は前述SIS−31と同系	91.14	1.83	0.11	0.30	<0.01	0.05	1.37	0.01	鋳鉄塊、金屋子神奉納ローソク立状銑鉄
SIS-33	獅子谷				鉄製品	上側：フェライト単相～下側：亜共析組織、介在物ルチル(TiO_2)系、0.11%Cr_2O_3	67.38	68.01	0.28	0.13	0.01	0.02	6.03	0.01	SIS−31、32の下げ材の可能性あり
SIS-34	獅子谷	近世	遺構外	E-7	羽口	表層：ガラス質滓、M晶出、銹化鉄粒：過共析組織痕跡、羽口胎土：粘土鉱物、混入鉱物	6.79	6.60	2.41	0.71	0.02	0.06	80.60	0.01	耐火度1110℃、耐火性の低い性状
SIS-35	獅子谷			表土	工具付着滓	W+F、Wは未発達結晶	—	—	—	—	—	—	—	—	鍛冶滓(急冷組織で工具付着で炉外へ)
SIS-36	獅子谷			H-8	椀形鍛冶滓	W(U+H)+F	49.04	9.61	2.24	0.87	0.05	0.15	32.35	<0.01	精錬鍛冶滓(下げ滓)
SIS-37	獅子谷			K-6	椀形鍛冶滓	W+U+H+F	50.48	17.02	2.13	1.44	0.07	0.17	26.79	<0.01	精錬鍛冶滓(下げ滓)
SIS-38	獅子谷			S4, E6	含鉄椀形鍛冶滓	滓部：W+F、金属鉄粒：フェライト	53.37	14.95	1.55	0.46	0.04	0.11	25.93	<0.01	下げ滓の可能性、原料鉄は高純度銑鉄
SIS-39	獅子谷			N2, E6	含鉄椀形鍛冶滓	滓部：W(U+H)+F、鉄部：未凝集フェライト～局部共析組織	61.10	27.38	1.33	1.02	0.06	0.13	17.56	<0.01	精錬鍛冶滓(含鉄)、下げ滓
SIS-40	獅子谷			F-9	不定形鉄塊	滓部：W、鉄部：フェライト単相～共析組織(表層脱炭組織)	74.10	29.12	0.16	0.08	0.01	0.02	4.79	<0.01	脱炭処理中途の鉄塊系遺物(下げ処理)
SIS-41	獅子谷			G-9	含鉄鉄滓	滓部：I+Ps、鉄部：過共析～亜共晶組成白鋳鉄組織	56.62	1.57	0.31	0.67	0.03	0.07	13.06	<0.01	製錬系含鉄鉄滓
SIS-42	獅子谷			N2, W2	含鉄鉄滓	滓部：W+F、鉄部：フェライト単相～共析組織	—	—	—	—	—	—	—	—	鍛冶系含鉄鉄滓、鍛冶原料鉄の一種か
SIS-43	獅子谷			表土	不定形鉄塊	表層滓部：ガラス質滓、捲き込みスラグ：U+F、鉄部：亜共析組織～白鋳鉄	68.75	57.82	0.34	0.10	0.01	0.02	9.94	0.01	製錬系鉄塊、SIS−41と近似してCr、Sが高い
SIS-44	獅子谷			表土	不定形鉄塊	滓部：I、鉄部：亜共析～過共析組織	73.45	14.89	0.51	0.15	0.01	0.03	7.37	0.01	製錬系鉄塊、1.6%CであるがCrはSIS−43と同じ
SIS-45	獅子谷			H-6	鉄塊	付着鍛造剥片、脱炭ねずみ鋳鉄：片状黒鉛、フェライト・セメンタイト	59.58	35.99	0.23	0.15	0.01	0.02	9.89	0.01	鋳鉄塊、(製鉄炉内で局部脱炭を受ける)
SIS-46	獅子谷			G-8	鉄塊	付着粒状滓・鍛造剥片、滓部：U+W+F、鉄部：亜共析～過共析組織	67.60	33.72	0.14	0.16	0.01	0.02	5.98	0.01	製錬系鉄塊(銑鉄になりきっていない鉄塊)
SIS-47	獅子谷			N2, E4	小割鉄	表層付着滓：W+U+H+F、鉄部：亜共析～共析組織	59.08	45.57	0.29	0.12	<0.01	0.02	14.60	0.01	粗い鍛打を施した鉄素材か(高Cr系)、共析鋼レベル
SIS-48	獅子谷			J-6	小割鉄	上側：フェライト単相～下側：亜共析組織、介在物：FeO、2FeO・SiO_2	53.59	67.89	0.14	0.09	<0.01	0.01	7.97	0.01	粗い鍛打を施した鉄素材か、亜共析鋼レベル
SIS-49	獅子谷			F-8	鉄製品	上側：フェライト単相～下側：亜共析組織(芯部：比較的高炭素域)、介在物：U+W	53.30	66.94	0.26	0.10	0.01	0.04	8.28	0.01	鍛冶具軟鋼充当(原料：塩基性砂鉄)
SIS-50	獅子谷			G-8	鉄製品	フェライト単相、介在物：U+W	59.51	75.75	0.20	0.17	0.02	0.04	5.34	0.01	極軟鋼(原料：塩基性砂鉄)、庖丁鉄の可能性あり
SIS-51	獅子谷			H-9	鉄製品	外周部：亜共析～過共析組織、内部：フェライト単相、介在物W粒内U	—	—	—	—	—	—	—	—	異材鍛接合せ鍛えと浸炭処理の可能性あり(始発原料：塩基性砂鉄)
SIS-52	獅子谷			J-6	板状鉄製品	フェライト単相～初析フェライト・微細パーライト・マルテンサイト、介在物：W	51.85	68.31	0.19	0.12	<0.01	0.03	11.38	0.01	鍛打成形後水焼入れ(始発原料：塩基性砂鉄)、農工具の一種か
SIS-53	獅子谷			S2, W6	鉄製品	フェライト・少量不完全球状セメンタイト、介在物：鍛接線に非晶質珪酸塩	—		—	—	—	—	—	—	極軟鋼の鍛造製品
SIS-54	獅子谷			1トレンチ	工具付着滓	W+ガラス質	—	—		—	—	—	—	—	鍛冶滓(急冷組織：微小結晶粒)

W：Wüstite(FeO)、U：Ulvöspinel(2FeO・TiO_2)、H：Hercynite(FeO・Al_2O_3)、F：Fayalite(2FeO・SiO_2)、I：Ilmenite(FeO・TiO_2)、Ps：Pseudobrookite(Fe_2O_3・TiO_2)、M：Magnetite(Fe_3O_4)

SIS-1
炉壁
①×50 炉壁黏土：粘土鉱物、泥入鉱物
②×50③×100 同上

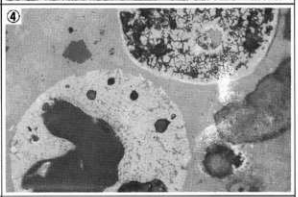
×0.3

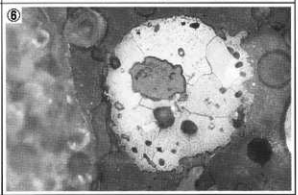


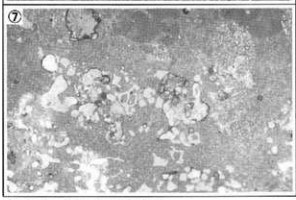


SIS-2
炉壁
④×400 内面付着粒状滓
⑤×400 内面付着銹化鉄粒白鋳鉄組織状態
⑥⑦ ナイタルetch
⑥×200 ガラス質滓中の金属鉄粒；フェライト
⑦×200 フェライト結晶粒最在
⑧×50 内側：被熱黏土

×0.2







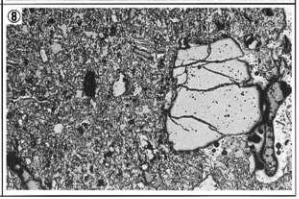
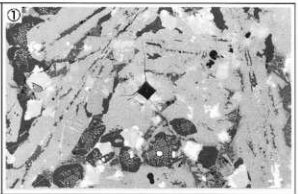
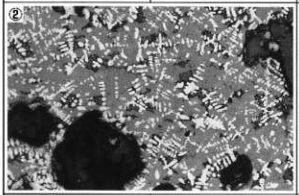
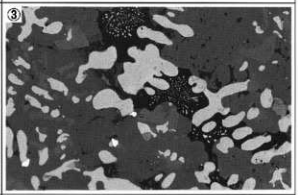


Photo.1　炉壁の顕微鏡組織

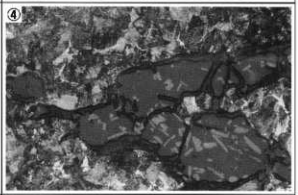
SIS-3
椀形鍛冶滓
①×200 硬度圧痕：506Hv
ファイヤライト+ヘーシナイト・ウルボスピネル
②×100③×400 ヴスタイト（粒内析出物あり）・ヘーシナイト・ファイヤライト

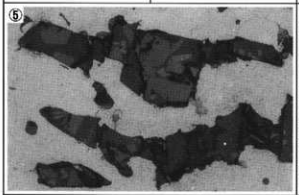


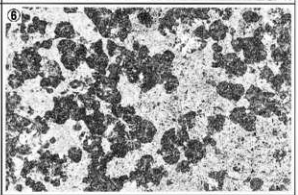




SIS-4(1)
鉄製品(箸揖止め釘)
④～⑦ ナイタルetch
④⑤×400 鉄中非金属介在物
⑥×100 試料上面側：マルテンサイト・微細パーライト
⑦×50 左側：試料上面側マルテンサイト・パーライト～鍛接線～中央：亜散堺フェライト・パーライト～右側：試料下面側フェライト







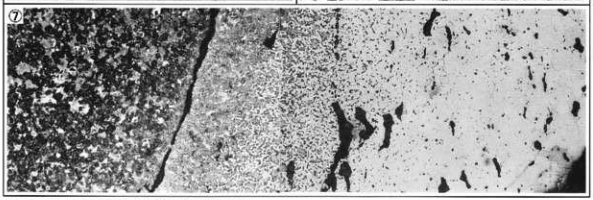


Photo.2　椀形鍛冶滓・鉄製品の顕微鏡組織

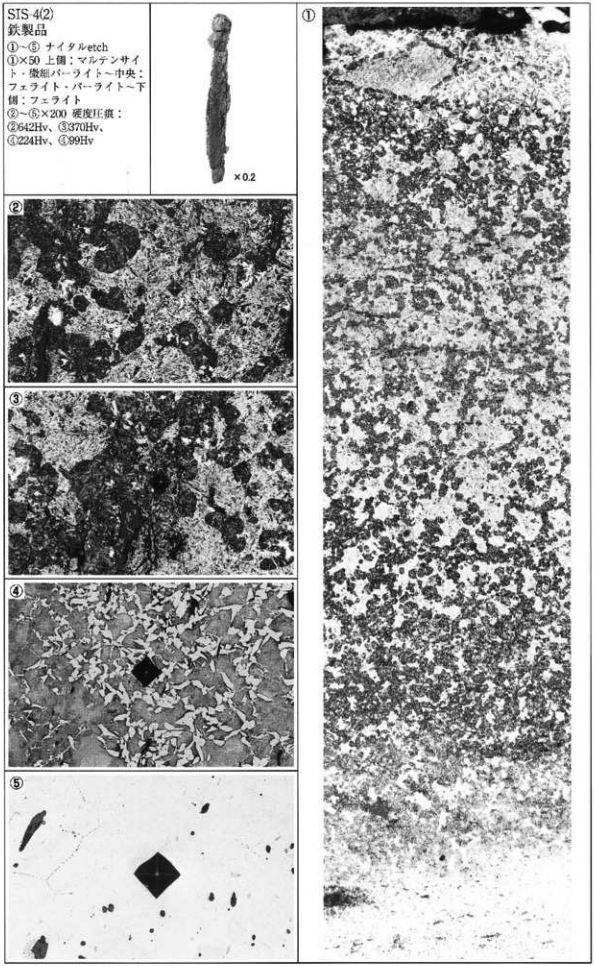
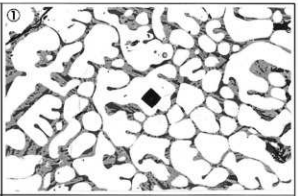


Photo.3　鉄製品の顕微鏡組織

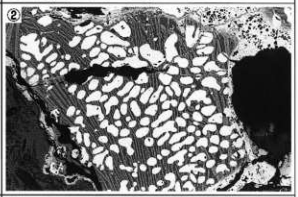
SIS-5
鍛冶滓
①×200 硬度圧痕：516Hv
ヴスタイト＋ファイヤライト

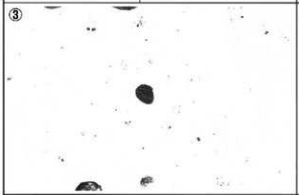
×0.4

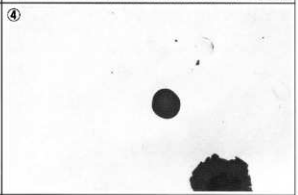


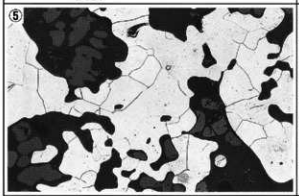
SIS-6
椀形鍛冶滓（含鉄）
②×100 滓部：ヴスタイト・ファイヤライト
③①×400 鉄中非金属介在物
⑤～⑧ ナイタルetch
⑤×100 フェライト
⑥×100 フェライト・少量パーライト
⑦×100 針状フェライト
⑧×200 硬度圧痕：103Hv

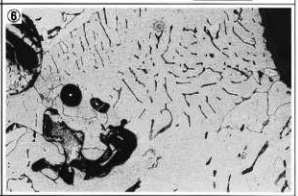
×0.3

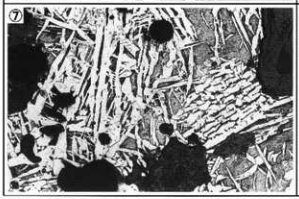












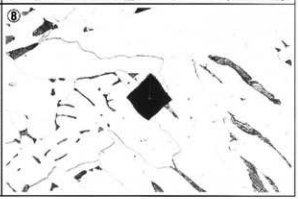
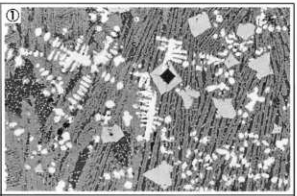
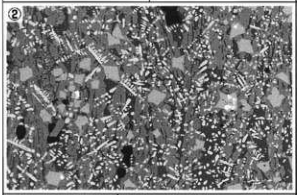
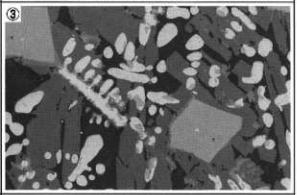


Photo.4　鍛冶滓・椀形鍛冶滓（含鉄）の顕微鏡組織

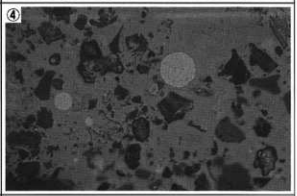
SIS-7
鍛冶滓
②×200 硬度圧痕：872Hv
ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体
②×100③×400 ヴスタイト（粒内析出物あり）・ウルボスピネル・ヘーシナイト・ファイヤライト

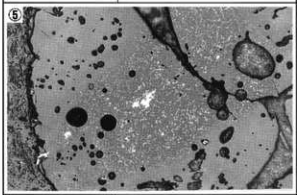


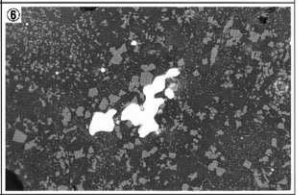




SIS-8
炉壁
④×100 内面表層付着土砂：微細粒状溶散在
⑤×100⑥×400 内面表層：ガラス質滓中に微小金属鉄及び微小析出物散在







SIS-9
羽口
⑦×50 羽口粘土：粘土鉱物、混入鉱物

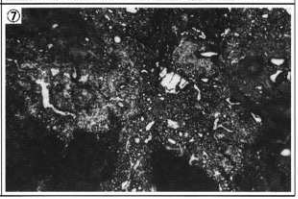


Photo.5　鍛冶滓・炉壁・羽口の顕微鏡組織

SIS-10
炉床再結合滓（含鉄）
①×50 中央：粒状滓
②×100 鍛造剥片　③×100 酸化鉄殻：たずみ鋳鉄
④×100⑤×400 中央：塩基滓片イルミナイト・ウルボスピネル　⑥×100 鍛冶滓片、ヴスタイト・ファイヤライト
⑦×100 同上
⑧⑨×200 硬度圧痕：⑧541Hv、⑨560Hv

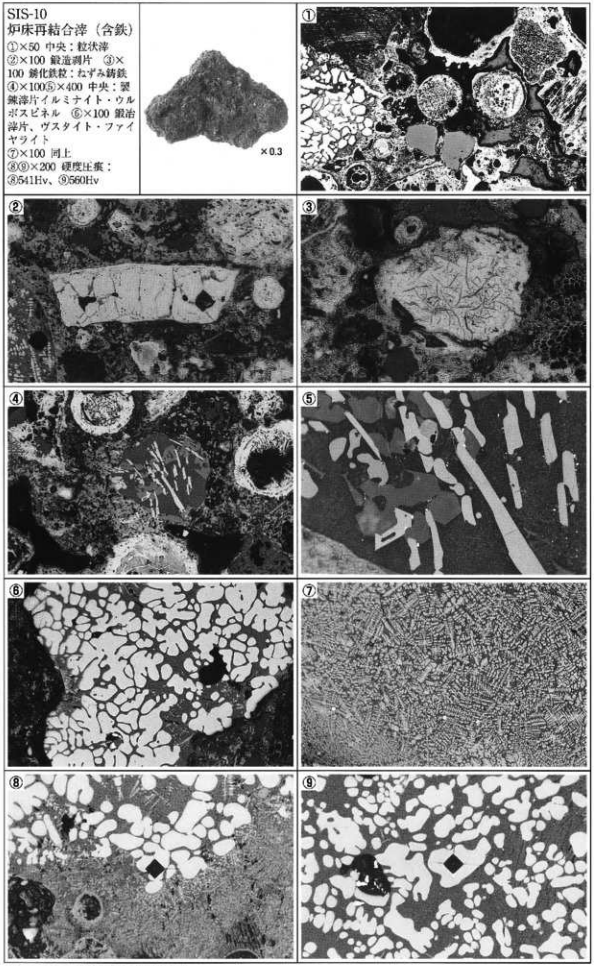
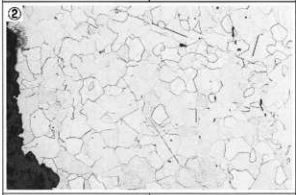
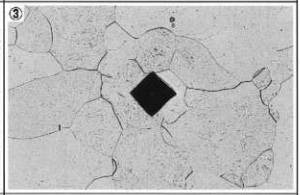


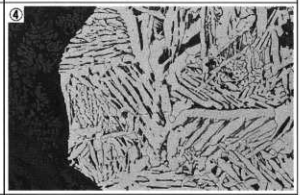
Photo.6　再結合滓の顕微鏡組織

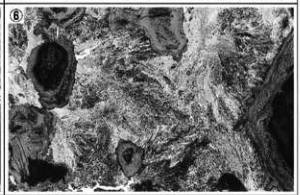
SIS-11
鉄製品(箸揖止め釘)
①×400 鉄中非金属介在物
②③ ナイタルetch
②×50 フェライト単相
③×200 硬度圧痕：103Hv

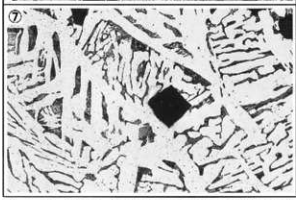




SIS-13
椀形鍛冶滓（含鉄）
④～⑧ ナイタルetch
④×100 左側：滓部、ヴスタイト・ファイヤライト、金属鉄：針状フェライト・少量パーライト
⑤×100 針状フェライト・パーライト
⑥×100 少量初析フェライト・パーライト
⑦⑧×200 硬度圧痕：
⑦111Hv、⑧207Hv







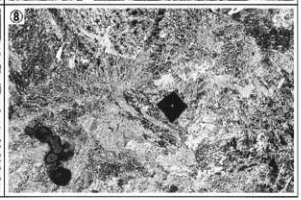
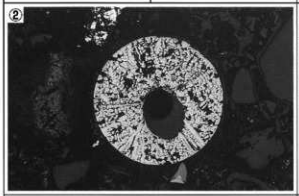


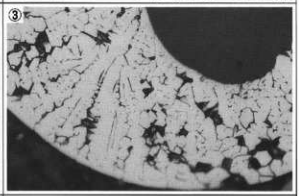
Photo.7　鉄製品・椀形鍛冶滓（含鉄）の顕微鏡組織

SIS-14
再結合滓
①×50 木炭片：広葉樹材
②×100③×400 粒状滓：マグネタイト
④×50⑤×100 鍛造剥片
⑥×100⑦×400 鍛冶滓片、ヴスタイト・ファイヤライト
⑧×100 製錬滓片か、ウルボスピネル・ファイヤライト
⑨×200 製錬滓片、イルミナイト・シュードブルーカイト

×0.3

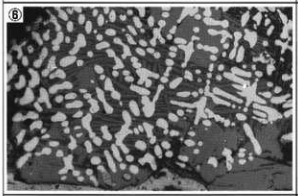
①

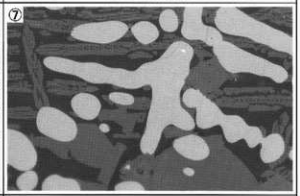

②

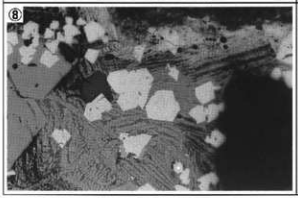

③

④

⑤


⑥


⑦


⑧

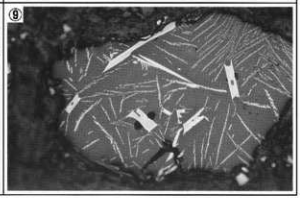

⑨

Photo.8　再結合滓の顕微鏡組織

SIS-15
鉄床石付着鉄塊
①×100 鉄中の捲込みスラグ、ヴスタイト・微細ファイヤライト
②～③ ナイタルetch
②×100 ③×400 フェライト・少量パーライト
④×100 ⑤×400 ほぼ全面パーライト
⑥×100 フェライト単相
⑦～⑨×200 硬度圧痕：
⑦85Hv、⑧150Hv、
⑨242Hv

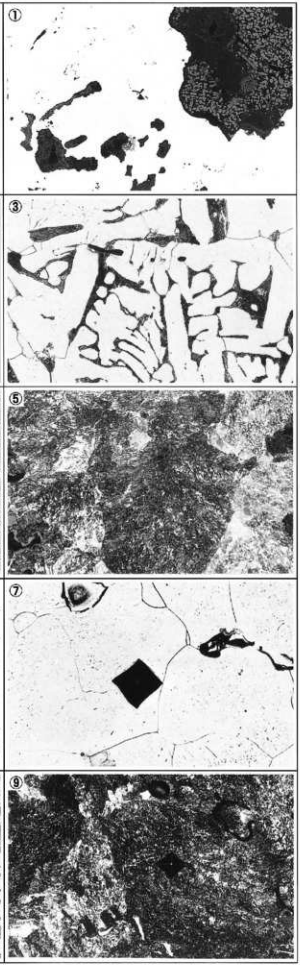
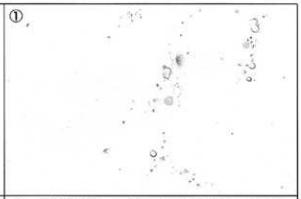
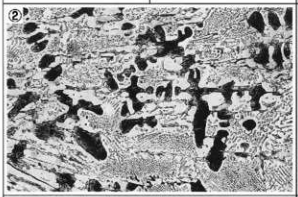
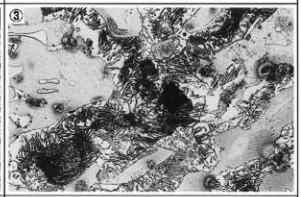


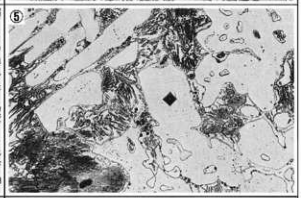
Photo.9　鉄石付着鉄塊の顕微鏡組織

SIS-16
鉄塊系遺物
①×400 鉄中非金属介在物
②～⑤ ナイタルetch
②×100 亜共晶組成白鋳鉄
③～⑤×200 硬度圧痕：
③217Hv：パーライト
④659Hv：レデブライト
⑤1028Hv：セメンタイト

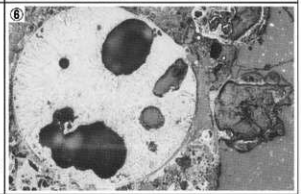


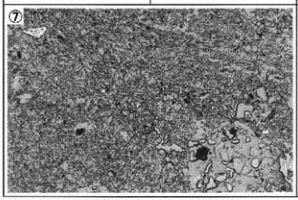






SIS-17
炉壁
⑥×100 炉壁内面付着土砂中粒状溶混在
炉壁内面：黒色ガラス質溶化、酸化鉄・微小金属鉄粒散在
⑦×50⑧×100 被熱胎土、粘土鉱物非晶質化





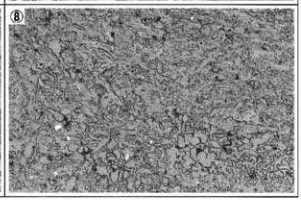
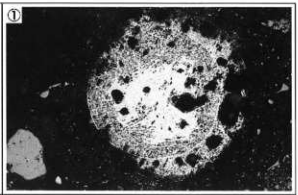
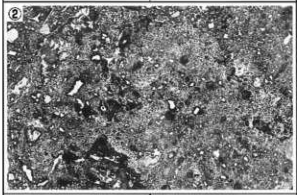


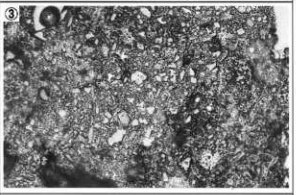
Photo.10　鉄塊系遺物・炉壁の顕微鏡組織

SIS-18
羽口
①×50 羽口胎土
中央：混入粒状滓か
微細マグネタイト・ファイヤライト
②×100 羽口胎土
粘土鉱物・混入鉱物
③×100 同上

×0.1

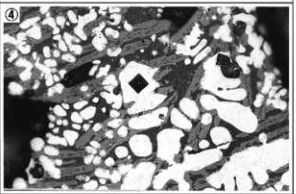

①

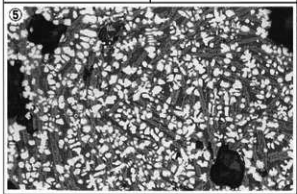

②

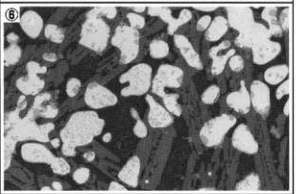

③

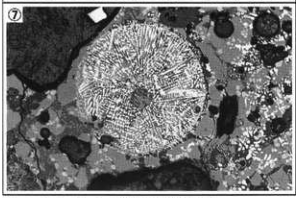
SIS-19
鍛冶滓
④×200 硬度圧痕：502Hv
ヴスタイト(粒内析出物あり)
⑤×100⑥×400 ヴスタイト(粒内析出物あり)・ファイヤライト
⑦×100⑧×400 中央：粒状滓混入か、粒状部：ヴスタイト(粒内析出物あり)・ファイヤライト、周囲：微小ウルボスピネル・ヘーシナイト

×0.3


④


⑤


⑥


⑦

⑧

Photo.11　羽口・鍛冶滓の顕微鏡組織