

IV 特 論

千葉県下遺跡出土の製鉄関係遺物の分析調査

大 澤 正 己

i. はじめに

千葉県文化財センターが、発掘調査によって検出した15遺跡出土の製鉄関係遺物を、自然科学的手法を駆使して調査した報告である。調査対象材は、製錬滓・鍛冶滓・鉄塊・砂鉄であり、これらを光学顕微鏡、化学分析、X線回折等の手法を用いて、鉱物組成や金属組織の同定を行ない、製鉄原料を明らかにすると共に、製錬滓と鍛冶滓（精錬鍛冶滓：大鍛冶滓と鍛錬鍛冶滓：小鍛冶滓）の分類と、古代製鉄技術レベルの考察を試みた。

ii. 調査方法

千葉県下15遺跡出土の製錬滓、鍛冶滓、鉄塊、砂鉄等を供試材とした。それらの履歴を表8に示す。^{*}

1. 供試試料

1) 肉眼観察

2. 調査手法

2) 光学顕微鏡観察

各供試材は水道水で十分に洗浄後、二分割して、片方の中核部を検鏡試料とした。検鏡試料は、ベークライト樹脂に埋込んだ後、エメリー研磨紙（コランダム Al_2O_3 に磁鉄鉱を含んだ黒灰色の結晶の粉末砥粒を膠質の接着剤に塗布している）を使って荒研磨し、次にアルミナ（ Al_2O_3 ）粉末水溶液（アルミニウム塩の沈澱物を焼成して作られた六方晶形細粒粉末の水溶懸濁液）をバフ布に注ぎながら被検面を鏡面に仕上げ、構成鉱物の同定を行なった。

3) 化学分析

供試材は、検鏡試料の片割れを当てた。二酸化硅素（ SiO_2 ）、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、酸化カルシウム（ CaO ）、酸化マグネシウム（ MgO ）、酸化マンガン（ MnO ）、二酸化チタン（ TiO_2 ）、

* 編集者注……ここに示す試料の名称は、分析の結果明らかとなった性情にもとづいて本章執筆者が付したものである。このため、調査者が分析前に、肉眼観察の所見にもとづいて付した名称（写真図版11～25に記載）とは異なる場合があることを付記しておく。

Ⅳ 特 論

表 8 供試材の履歴

	遺 跡 名	遺 構 名	遺物番号	遺構の種類	遺 物 分 類	X線回折	注
1	花 前	73号製錬址	0830	製 錬 址	砂鉄付着製錬滓	○	②
2	"	"	1159	"	製 錬 滓		"
3	"	"	1363	"	"	○	"
4	"	"	0042	"	"	○	"
5	"	"	1390	"	含鉄製錬滓		"
6	"	"	0558	"	製 錬 滓		"
7	"	23号鍛冶址	0797	鍛 冶 址	鉄 塊		"
8	"	73号製錬址	前庭部一括	製 錬 址	"		"
9	"	23号製錬址	0452	精 錬 址	製錬滓（精錬素材として搬入）	○	"
10	"	"	0797	"	鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓）	○	"
11	"	"	0499	"	鉄塊（白鑄鉄）		"
12	取 香	7号製錬址		"	製 錬 滓		⑤
13	"	"		"	"	○	"
14	"	7号A製錬址		"	"		"
15	"	7号B製錬址		"	"	○	"
16	"	19号C製錬址		"	砂鉄付着製錬滓		"
17	"	"		"	製 錬 滓		"
18	"	"		"	"		"
19	"	"		"	"		"
20	"	"		"	"	○	"
21	"	6号鍛冶址	10771	竪穴鍛冶址	精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）	○	"
22	"	"	10772	竪穴鍛冶址	"	○	"
23	"	"	0919	"	"		"
24	御 幸 畑	18号製錬址 （作業場）		製錬作業場址	砂 鉄		⑤
25	"	11号製錬址		製 錬 址	製 錬 滓		"
26	"	"		"	鉄塊（白鑄鉄）		"
27	"	18号A製錬址		製 錬 址	製 錬 滓	○	"
28	"	"		"	"		"
29	"	18号B製錬址		"	"		"
30	"	"		"	"	○	"

千葉県下遺跡出土の製鉄関係遺物の分析調査

	遺跡名	遺構名	遺物番号	遺構の種類	遺物分類	X線回折	注
31	御幸畑	18号製錬址		製錬址	小鉄塊(亜共析鋼)		㊸
32	"	17号D製錬址			製錬滓		"
33	"	17号製錬址 (作業場)		製錬作業場址	銑鉄片(酸化している)		"
34	"	17号B製錬址		製錬址?	製錬滓		"
35	"	"		"	鉄塊(白鑄鉄)		"
36	"	17号C製錬址		製錬址	製錬滓	○	"
37	"	1号住居址	0383	竪穴住居址	"		"
38	観音塚	鍛冶址	No.1	竪穴鍛冶址	鍛錬鍛冶滓(小鍛冶滓)		㊹
39	"	"	No.3	"	鉄器片(器種不明)		"
40	稲城台	1地区24住居址	No.27	竪穴住居址	鍛錬鍛冶滓		㊺
41	戸張作	表土	0001		製錬滓		㊻
42	金楠台	3号住居址	0036	竪穴住居址	精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)		㊼
43	鴻ノ巣	25号住居址	335	竪穴鍛冶址	"		㊽
44	"	不明			ねずみ鑄鉄(酸化物)		"
45	日秀西	031-C住居址	0074	竪穴住居址	鍛錬鍛冶滓(小鍛冶滓)		㊾
46	"	029-E住居址	0034	"	亜共析鋼+鋳滓		"
47	村上	093住居址	0294	"	鍛錬鍛冶滓(小鍛冶滓)		㊿
48	"	134住居址	0006	"	鉄塊(白鑄鉄)		"
49	佐倉天辺	006住居址	一括	"	鍛錬鍛冶滓(小鍛冶滓)		㊽
50	江原台	151住居址	0009	竪穴住居址	"		㊾
51	木の根	成田層露頭			砂鉄		"
52	公津原LOC.05	003土壌	201	鍛冶址	鍛錬鍛冶滓(小鍛冶滓)		㊾
53	"	"	"	"	含鉄製錬滓		㊿
54	公津原LOC.14	002住居址	0208	竪穴住居址	鍛錬鍛冶滓	○	"
55	"下	019住居址	0201	"	"		"
56	"上	"	"	"	"		"
57	公津原LOC.16	043住居址	201	竪穴住居址	"		"
58	公津原LOC.20	077鍛冶址	"	鍛冶址	"		"
59	"	300掘立柱 建物跡	202	掘立柱建物跡	鉄塊(ねずみ鑄鉄)		"
60	阿玉台北	004P ₃ 土壌	0022	土壌	鉄塊(白鑄鉄)		㊽

注) (イ) 1~60の供試材は検鏡、分析全部実施。
(ロ) 遺物分類は調査データにもとづく結果である。

IV 特 論

バナジウム(V)、五酸化磷(P_2O_5)らについては蛍光X線法、全鉄分(Total Fe)、金属鉄(Metallic Fe)、酸化第1鉄(FeO)らは湿式法による化学分析、酸化第2鉄は計算値、硫黄(S)は燃焼容量法、炭素(C)は電気伝導法、クロム(Cr)は原子吸光光度法で測定を行なった。

4) 粉末X線回折

X線回折とは、「単結晶、または粉末試料にX線を照射すると、それぞれ固有のX線が回折する現象」をいう。X線回折分析法とは、この回折角と回折強度から物質を同定する方法である。この分析法の基本は状態分析法であることであり、物質中の構成元素を求めるものではなく、あくまでも形態とその量を知ることである。

試料調整は、分析用に粉碎した鉄滓の一部を、さらにメノウ乳鉢で細粒化(325メッシュの篩を通る程度)している。鉱物組成の同定には、ASTMカードと比較する方法をとった。ASTMカードは、ASTM X-ray Powder Data File と呼ばれ、ASTM (American Society for Testing Materials) から発行されている。^{注1)}

iii. 調査結果

1. 花前製鉄遺跡

遺跡は、柏市船戸字花前1438他に所在し、歴史時代の国分期(9世紀)に推定年代を比定されている。この遺跡の南側斜面部から製錬炉6基、(竪炉タイプ)、鍛冶炉2基(鍛造剥片散布)、炭窯9基(時期不明)、及び台地上の^{注2)}竪穴住居址28軒中17軒から、製鉄作業に拘る鉄滓や羽口片が出土し、鍛冶炉の検出もなされている。

このうち、今回の供試試料は、南側斜面部に位置する073号製錬炉出土の製錬滓や鉄塊と、台地上の鍛冶工房址とみられる023号竪穴住居址出土の鍛冶滓と鉄塊である。

1) 073号製錬炉出土炉壁スラグ付着砂鉄(図版11-1)

外観： 炉壁粘土付着のガラス質鉱滓上に堆積した半熔融状態の砂鉄粒子を試料とした。砂鉄は黒褐色を呈していた。砂鉄を付着した鉱滓表面はや、粗鬆で、従来みられるガラス質鉱滓と共に、普通鉱滓質が一部に存在する。鉱滓厚みは10mm前後であった。

なを、スサ入り炉材粘土は、熱影響を受けて赤色化し、鉱滓に接する個所は青灰色を呈している。炉内上部に位置する炉壁であろう。炉壁粘土こみで、 $109 \times 90 \times 19$ mmあり、重量は158.5gであった。

顕微鏡組織： 図版11-1に示す。鉱物組成は、原料鉱物の砂鉄粒子が半還元状態で残留しており、^{注3)}基地には灰白色盤状結晶であるファイヤライト(Fayalite: $2FeO \cdot SiO_2$) が認められる。

化学組成： 表9(その1)に示す。純然たる砂鉄粒子のみの分析ではなく、ガラス質鉱滓も混入しているので、鉄分は低目で造滓成分($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO$)が高目である。

全鉄分 (Total Fe) は19.1%であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.08%、酸化第1鉄 (FeO) が12.7%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) が13.1%の割合である。ガラス質鉍滓の混入で造滓成分は高目で、65.08%を示す。二酸化チタン (TiO₂) も低目で3.73%である。他の随伴微量元素もおしなべて低目傾向である。酸化マンガン (MnO) は0.34%、クロム (Cr) 0.02%、硫黄 (S) 0.01%、五酸化磷 (P₂O₅) 0.084%、バナジウム (V) 0.11%、銅 (Cu) 0.004%であった。

これらの成分値は、該装入砂鉄成分を示すのではなく、ガラス質鉍滓成分の影響を受けていることが指摘できる。

粉末X線回折： 図31と表10に示す。図31のX線回折図より同定された主要鉍物組成は、Magnetite (Fe₃O₄→ASTMカードでNo.19-629) と、Fayalite (Fe₂SiO₄→ASTMカードでNo.20-1139) であり、続いてWüstite (FeO→ASTMカードでNo.6-615) と、わずかながらHematite (α-Fe₂O₃→ASTMカードでNo.13-534) 及びDiopside (CaO・MgO・2SiO₂→ASTMカードでNo.3-860) がFayalite に重なり気味で検出される。

顕微鏡組織で観察した鉍物組成と、あまり差異のない結果である。なおDiopside (CaO・MgO・2SiO₂) の存在から、媒溶剤としての石灰石の使用の有無が、からんでくるが、強度として弱いので、炉材粘土からの天然産出物の現われと、みるのが妥当と考える。

2) 073号製錬炉出土鉍滓 (図版11-2)

外観： 表皮は淡褐色を呈し、やや粗鬆な肌を有する炉内残留滓である。炉内残留滓とは、炉操業停止時に炉内に残留した鉄滓で、原鉍 (砂鉄) が木炭より還元され、さらに釜土と反応して流出滓に変化してゆく過程の鉄滓であるから、炉内の残留個所により鉍物組成が異なり、非常に多様なものを含むと言われている。^{注4)}

裏面は小波状の小凹凸で黒褐色を呈し、鉄錆を局部的に発している。破面は黒褐色で小気泡がみられるが比重は大きい。サイズは、46×42×30mmで、重量は68.6gであった。

顕微鏡組織： 図版11-2に示す。多量の白色多角形のマグネタイト (Magnetite: Fe₃O₄)^{注5)} から白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO)^{注6)} へと、還元反応が進行する状態を示している。鉍物組成は他に、淡灰色のファイヤライト (Fayalite: 2FeO・SiO₂) の盤状結晶が認められる。ファイヤライトの成長状態からみて当鉍滓は徐冷を受けたことが推定され、炉内残留滓であることを裏付けている。

化学組成： 表9 (その1) に示す。製錬初期段階で生成した鉍滓なので、鉄分は高目で造滓成分は低目である。すなわち、全鉄分 (Total Fe) は54.8%あり、このうち未還元酸化鉄が多く残留していて、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) は多く41.7%あり、還元過程の酸化第1鉄 (FeO) は32.8%である。造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO) は少なく、12.03%であった。

IV 特 論

表 9 各種試料の化学分析結果 (その1)

符号	遺跡名	遺構名	区 分	全鉄分	金属鉄	酸化第1鉄	酸化第2鉄	二酸化珪素	酸化アルミニウム	酸化カルシウム	酸化マグネシウム
				(Total Fe)	(Metallic Fe)	(FeO)	(Fe ₂ O ₃)	(SiO ₂)	(Al ₂ O ₃)	(CaO)	(MgO)
1	花 前	73号製錬址	砂鉄 付着鉍滓	19.1	0.08	12.7	13.1	48.2	14.7	0.69	1.49
2	"	"	製錬滓	54.8	0.11	32.8	41.7	4.97	3.11	1.38	2.57
3	"	"	"	34.6	0.60	30.0	15.2	16.7	8.04	3.57	3.48
4	"	"	"	20.5	0.13	10.4	17.5	41.5	14.7	3.00	2.05
5	"	"	含鉄製錬滓	31.7	1.06	12.0	30.4	29.9	10.7	2.45	2.02
6	"	"	製錬滓	43.6	3.91	28.9	24.6	16.5	4.78	1.93	4.20
7	"	23号鍛冶址	鉄 塊	61.7	12.0	16.2	53.0	5.65	2.28	0.37	0.54
8	"	73号製錬址	"	52.8	0.92	19.6	52.3	6.82	3.36	0.95	1.55
9	"	23号精錬址	製錬滓	44.0	0.60	38.8	18.9	9.24	5.05	3.69	3.66
10	"	"	鍛錬鍛冶滓	54.0	3.16	34.0	34.8	15.3	5.50	0.82	0.91
11	"	"	鉄 塊 (白鑄鉄)	71.4	33.0	18.6	34.2	3.05	1.19	0.18	0.17
12	取 香	7号製錬址	製錬滓	43.8	0.54	23.7	35.5	10.1	3.38	1.64	3.00
13	"	"	"	45.1	5.47	26.6	27.1	8.60	3.47	1.51	3.39
14	"	7号A 製錬址	"	26.9	0.28	29.9	4.8	29.6	8.07	5.33	3.08
15	"	7号B 製錬址	"	31.5	0.19	37.2	3.4	25.0	6.93	5.42	3.24
16	"	19号C 製錬址	砂鉄 付着鉍滓	28.6	0.13	19.3	19.2	37.9	8.89	0.78	2.69
17	"	"	製錬滓	30.0	0.13	32.2	6.9	26.7	6.82	5.03	4.30
18	"	"	"	27.1	0.15	29.4	5.8	32.0	7.90	4.80	4.04
19	"	"	"	45.8	0.63	12.1	51.1	8.43	2.78	0.40	3.32
20	"	"	"	35.8	0.37	8.55	41.1	18.4	5.58	0.94	2.92
21	"	6号鍛冶址	精錬鍛冶滓	51.1	0.18	38.2	30.3	12.9	5.19	1.78	1.28
22	"	"	"	53.8	0.27	43.8	27.8	12.2	4.31	1.91	1.28
23	"	"	"	45.2	5.31	16.7	38.4	17.4	4.58	4.58	2.57
24	御幸畑	18号製錬 作業場址	砂 鉄	47.6	0.03	19.0	46.8	6.82	2.73	0.44	2.99
25	"	11号製錬址	製錬滓	31.0	0.73	29.9	10.0	24.2	6.05	5.00	3.53
26	"	"	鉄 塊 (白鑄鉄)	72.0	23.1	51.3	12.8	3.79	1.45	0.29	0.22
27	"	18号A 製錬址	製錬滓	22.9	0.12	23.6	6.3	29.0	7.14	7.75	4.95
28	"	"	"	37.2	1.15	14.2	35.7	16.6	3.68	1.76	5.35
29	"	18号B 製錬址	"	30.4	0.40	36.8	2.0	25.0	5.82	6.37	4.50
30	"	"	"	27.5	0.46	20.8	15.5	27.6	6.64	5.89	4.87

千葉県下遺跡出土の製鉄関係遺物の分析調査

酸化マンガン (MnO)	二酸化チタン (TiO ₂)	クロム (Cr)	硫黄 (S)	五酸化燐 (P ₂ O ₅)	炭素 (C)	バナジウム (V)	銅 (Cu)	造滓成分	造滓成分 Total Fe	TiO ₂ Total Fe	注
0.34	3.73	0.02	0.011	0.084	0.08	0.11	0.004	65.08	3.407	0.195	㉔
0.39	9.50	0.04	0.051	0.13	0.12	0.26	0.006	12.03	0.220	0.173	"
0.70	(19.62) 17.7	0.07	0.041	0.19	0.19	0.47	0.003	34.79	1.005	0.512	"
0.37	(7.66) 5.13	0.03	0.011	0.25	0.12	0.12	0.004	61.25	2.988	0.250	"
0.34	5.61	0.02	0.085	0.20	0.27	0.16	0.005	45.07	1.422	0.177	"
0.61	10.0	0.02	0.068	0.56	0.18	0.24	0.004	27.41	0.629	0.229	"
0.10	2.43	0.01	0.116	0.14	1.26	0.06	0.009	8.84	0.143	0.039	"
0.34	8.47	0.03	0.061	0.12	0.32	0.22	0.006	12.69	0.240	0.160	"
0.51	(11.98) 13.0	0.04	0.068	0.24	0.23	0.38	0.005	21.64	0.492	0.295	"
0.13	(2.30) 1.80	0.02	0.078	0.13	0.41	0.07	0.005	22.53	0.417	0.008	"
0.02	0.34	0.01	0.136	0.14	2.00	0.02	0.009	4.59	0.064	0.005	"
0.59	14.8	0.04	0.078	0.23	0.24	0.29	0.005	18.12	0.414	0.338	㉕
0.71	16.1	0.04	0.038	0.18	0.17	0.31	0.004	16.97	0.376	0.357	"
0.41	12.8	0.06	0.017	0.34	0.10	0.25	0.006	46.08	1.713	0.476	"
0.62	12.8	0.04	0.010	0.35	0.05	0.23	0.004	40.59	1.289	0.406	"
0.49	7.35	0.06	0.034	0.082	0.27	0.15	0.003	50.26	1.753	0.257	"
0.65	12.8	0.05	0.054	0.31	0.08	0.27	0.002	42.85	1.428	0.427	"
0.59	10.2	0.03	0.038	0.30	0.23	0.19	0.002	48.74	1.799	0.376	"
0.59	14.4	0.06	0.017	0.12	0.21	0.30	0.005	14.93	0.326	0.314	"
0.66	14.5	0.04	0.078	0.15	0.32	0.28	0.004	27.84	0.778	0.405	"
0.25	4.95	0.02	0.038	0.21	0.33	0.10	0.010	21.15	0.414	0.097	"
0.22	5.30	0.02	0.038	0.27	0.55	0.11	0.005	19.70	0.366	0.099	"
0.29	7.58	0.05	0.085	0.20	0.20	0.17	0.016	29.13	0.645	0.168	"
0.71	17.7	0.06	0.017	0.055	0.07	0.36	0.004	12.98	0.273	0.372	㉖
0.59	15.2	0.06	0.041	0.28	0.11	0.28	0.003	38.78	1.251	0.490	"
0.08	0.81	0.02	0.065	0.22	3.66	0.12	0.008	5.75	0.080	0.011	"
0.66	14.2	0.06	0.054	0.38	0.05	0.27	0.002	48.84	2.133	0.620	"
0.64	14.6	0.06	0.082	0.18	0.28	0.29	0.004	27.40	0.736	0.392	"
0.57	12.5	0.07	0.061	0.34	0.04	0.24	0.004	41.69	1.371	0.411	"
0.56	11.6	0.05	0.068	0.32	0.14	0.23	0.004	45.00	1.636	0.422	"

分析：川崎製鉄株式会社千葉分析センター ()内数字は日立金属にて再チェック分

IV 特 論

表 9 (その2)

符号	遺構名	遺跡名	区 分	全鉄分	金属鉄	酸化第1鉄	酸化第2鉄	二酸化硅素	酸化アルミニウム	酸化カルシウム	酸化マグネシウム
				(Total Fe)	(Metallic Fe)	(FeO)	(Fe ₂ O ₃)	(SiO ₂)	(Al ₂ O ₃)	(CaO)	(MgO)
31	御幸畑	18号製錬址	小鉄塊	47.2	7.15	7.47	48.9	15.8	4.00	2.23	1.36
32	"	17号D製錬址	製錬滓	31.1	0.27	35.9	4.1	25.8	6.14	4.17	3.96
33	"	17号製錬作業場址	鉄鉄片	74.8	25.6	59.8	3.8	5.39	2.34	0.18	0.17
34	"	17号B製錬址	製錬滓	35.4	0.31	18.4	29.7	16.5	6.88	3.78	2.43
35	"	"	鉄塊 (白鑄鉄)	79.4	55.2	12.6	34.6	2.57	0.98	0.13	0.10
36	"	17号C製錬址	製錬滓	39.2	19.8	6.61	20.4	27.1	7.84	1.84	1.59
37	"	1号住居址	"	41.8	3.64	29.5	21.7	16.1	4.34	2.60	2.99
38	観音塚	鍛冶址	鍛錬鍛冶滓	48.3	0.29	46.3	17.12	23.0	6.76	3.32	0.89
39	"	"	鉄器	99.4	98.9	0.58	0.067	0.15	0.08	0.01	0.02
40	稲城台	1地区24住居址	鍛錬鍛冶滓	43.5	0.19	30.6	27.9	21.4	10.0	2.77	1.36
41	戸張作	表土	製錬滓	46.4	1.79	29.5	30.9	11.2	3.74	0.93	4.09
42	金楠台	3号住居址	精錬鍛冶滓	48.9	0.65	48.6	14.9	15.1	3.55	2.16	3.96
43	鴻ノ巣	25号住居址	"	19.5	0.38	13.1	12.3	37.9	13.6	4.39	3.50
44	"	不明	ねずみ鑄鉄	71.6	23.8	42.1	21.5	2.14	0.74	0.15	0.20
45	日秀西	031-C住居址	鍛錬鍛冶滓	61.6	0.19	55.5	26.0	7.60	2.06	2.04	1.01
46	"	029-E住居址	含鉄鉛滓	45.0	4.69	34.3	19.5	11.3	5.26	2.81	2.46
47	村上	093住居址	鍛錬鍛冶滓	56.1	0.25	57.6	15.1	17.0	4.46	0.77	0.49
48	"	134住居址	鉄塊 (白鑄鉄)	88.8	75.1	5.07	13.9	0.45	0.19	0.10	0.07
49	佐倉天辺	006住居址	鍛錬鍛冶滓	53.8	0.20	37.8	34.6	15.4	3.74	1.06	0.63
50	江原台	151住居址	"	59.9	0.44	32.6	48.7	8.23	3.16	1.44	0.41
51	木の根	成田層露頭	砂鉄	22.8	0.04	6.32	25.5	43.2	6.34	2.71	9.95
52	公津原 LOC.05	003土壌	鍛錬鍛冶滓	48.9	0.25	49.2	14.8	21.7	7.70	0.96	0.71
53	"	"	含鉄製錬滓	48.4	12.0	32.2	16.2	5.02	2.71	1.55	3.79
54	公津原 LOC.14	002住居址	鍛錬鍛冶滓	48.1	0.22	44.8	18.6	25.5	6.46	0.65	0.33
55	公津原 LOC.14	019住居址	"下	55.8	0.29	42.1	32.5	13.4	5.00	1.03	0.58
56	公津原 LOC.14	"	"上	51.1	0.13	31.0	38.4	17.4	5.16	0.84	0.50
57	公津原 LOC.16	043住居址	"	56.5	0.19	53.3	21.2	14.1	4.38	1.21	0.62
58	公津原 LOC.20	077鍛冶址	"	53.4	0.12	46.1	24.9	15.9	5.70	1.22	0.77
59	"	300掘立柱建物跡	鉄塊 (ねずみ鉄)	91.8	89.1	1.15	2.6	0.09	0.02	0.01	0.01
60	阿玉台北	004P ₃ 土壌	鉄塊 (白鑄鉄)	84.6	71.8	8.26	9.10	2.61	0.91	0.25	0.12

千葉県下遺跡出土の製鉄関係遺物の分析調査

酸化マンガ (MnO)	二酸化チタン (TiO ₂)	クロム (Cr)	硫 黄 (S)	五酸化燐 (P ₂ O ₅)	炭 素 (C)	バナジウム (V)	銅 (Cu)	造 滓 成 分	造滓成分 Total Fe	TiO ₂ Total Fe	注
0.21	5.01	0.03	0.092	0.26	0.70	0.10	0.008	23.39	0.496	0.106	㊸
0.58	14.3	0.07	0.041	0.24	0.05	0.27	0.002	40.07	1.288	0.460	"
0.05	0.30	0.01	0.021	0.31	4.48	0.06	0.008	8.08	0.108	0.004	"
0.51	9.94	0.04	0.068	0.18	2.82	0.26	0.007	29.59	0.836	0.281	"
0.04	0.26	0.02	0.058	0.27	4.28	0.09	0.009	3.78	0.048	0.003	"
0.35	7.82	0.03	0.044	0.12	0.34	0.20	0.004	38.37	0.979	0.199	"
0.42	12.9	0.09	0.048	0.17	0.13	0.31	0.009	26.03	0.623	0.309	"
0.08	0.40	0.01	0.031	0.24	0.10	0.02	0.013	33.97	0.703	0.008	㊹
0.01	0.03	0.002	0.005	0.080	0.19	<0.01	0.018	0.26	0.003	0.000	"
0.14	0.7	0.01	0.065	0.37	0.17	0.03	0.030	35.53	0.817	0.016	㊺
0.61	12.9	0.04	0.048	0.19	0.23	0.27	0.004	19.96	0.430	0.278	㊻
0.36	8.41	0.02	0.048	0.20	0.08	0.21	0.009	24.77	0.507	0.172	㊼
0.41	(9.91) 8.06	0.04	0.041	0.20	0.17	(0.23) 0.22	0.003	59.39	3.046	0.413	㊽
0.04	0.49	0.02	0.163	0.40	3.02	0.06	0.010	3.22	0.045	0.007	"
0.12	2.24	0.01	0.034	0.27	0.11	0.06	0.011	12.71	0.206	0.036	㊾
0.36	(14.48) 13.4	0.04	0.102	0.21	0.10	(0.41) 0.39	0.009	21.83	0.485	0.298	"
0.05	0.36	0.01	0.048	0.084	0.04	0.01	0.012	22.72	0.405	0.006	㊿
0.01	0.17	0.01	0.046	0.30	2.72	0.04	0.012	0.81	0.009	0.002	"
0.06	0.27	0.01	0.078	0.17	0.29	0.01	0.015	20.83	0.387	0.005	㋀
0.04	0.28	0.01	0.061	0.15	0.38	0.02	0.010	13.24	0.221	0.005	㋁
0.49	3.68	0.01	0.017	0.087	0.01	0.09	0.003	62.2	2.728	0.161	"
0.09	0.48	0.01	0.075	0.18	0.08	0.02	0.009	31.07	0.635	0.001	㋂
0.49	(14.81) 18.4	0.17	0.044	0.12	0.10	(0.40) 0.46	0.007	13.07	0.270	0.380	"
0.06	0.26	0.01	0.007	0.057	0.03	0.01	0.009	32.94	0.685	0.005	㋃
0.06	0.52	0.01	0.054	0.090	0.32	0.02	0.007	20.01	0.359	0.009	"
0.06	0.42	0.01	0.227	0.075	0.36	0.02	0.008	23.90	0.468	0.008	"
0.07	0.52	0.01	0.105	0.14	0.11	0.02	0.010	20.31	0.360	0.009	"
0.07	0.36	0.01	0.024	0.16	0.22	0.02	0.009	23.59	0.442	0.007	"
0.01	0.01	0.004	0.046	0.45	3.50	0.01	0.015	0.13	0.001	0.000	"
0.01	0.03	0.001	0.129	0.14	3.25	<0.01	0.028	3.89	0.046	0.000	㋄

分析：川崎製鉄株式会社千葉分析センター () 内数字は日立金属にて再チェック分

IV 特 論

原料砂鉄の組成を示す二酸化チタン (TiO_2) は、9.5%を示し、前述した試料1より濃縮されていることを示している。また、バナジウム(V)も0.26%であった。他の随伴微量元素は、クロム(Cr) 0.04%、硫黄(S) 0.051%がや、高目であるが、他の酸化マンガン (MnO) 0.39%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.13%、銅(Cu) 0.006%と低目であった。

3) 073号製錬炉出土鉍滓(図版11-3)

外観： 表皮は淡茶褐色でなめらかな肌をもつ部分と、や、粗鬆な部分が存在する。裏面は小波状の凹凸を有し、黒褐色を呈する。破面は黒褐色で多孔質であり、製錬がよく進行したことを示している。大きさは $50 \times 45 \times 31\text{mm}$ で、重量は71.3gであった。

顕微鏡組織： 図版11-3に示す。鉍物組成は、白色多角形状のウルボスピネル(Ulvöspinel： $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)^{注7)}と、針状結晶のイルミナイト(Ilmenite： $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)^{注8)}、それにガラス質のスラグから構成されている。チタン分の高い鉍滓に現われる鉍物組織である。

化学組成： 表9(その1)に示す。全鉄分(Total Fe)は、還元反応がかなり進行していて少なく34.6%であり、このうち金属鉄(Metallic Fe)が0.60%、酸化第1鉄(FeO)は30.0%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)が15.2%である。造滓成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$)は、や、高目の34.79%であった。

二酸化チタン(TiO_2)は、高目で17.7%(再分析：19.63%)あり、バナジウム(V)が0.47%であった。他の随伴微量元素は、酸化マンガン(MnO) 0.70%、クロム(Cr) 0.07%と両者は高目であり、硫黄(S) 0.041%、五酸化磷(P_2O_5) 0.19%、銅(Cu) 0.003%と低目であった。

高チタン含有の鉍滓であるが、鉄収率はかなり良好であったと考えられる。

粉末X線回折： 図31と表10に示す。X線回折図(図31)より、主鉍物はUlvöspinel($3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードのNo.25-417)とIlmenite($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードのNo.3-781)の鉄-チタン酸化物であり、これにわずかのQuartz($\text{SiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.5-490)と、Hematite($\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.6-502)、Magnetite($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.19-629)、Goethite($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.8-97)らが認められる。

チタン含有量の高い製錬滓にみられる鉍物組成であり、これも顕微鏡観察と矛盾のない調査結果となっている。

4) 073号製錬炉出土鉍滓(図版11-4)

外観： 表皮は小豆色を呈し、粘稠質傾向の凹凸を有した流出滓である。流出滓とは、炉の操業中、排滓口から炉外に流出された鉍滓で低融点^{注9)}を特質とする。裏面は、一部に炉材粘土を付着し、小波状の凹凸や木炭痕をとどめており、局部に鉄錆を発している。破面は茶褐色に干渉色を混じ、鉄分の多い個所と少ない個所がみられ、気泡も大小が混在した不均質な鉍滓であ

る。大きさは、136×104×70mmで重量は800gであった。

顕微鏡組織： 図版11-4に示す。鉱物組成は、白色多角形状小結晶のマグネタイト(Magnetite: Fe_3O_4)と灰白色短柱状のファイヤライト(Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに地の暗黒色のガラス質から構成されている。なお、当顕微鏡組織には示していないが別視野には、砂鉄粒子が還元されてマグネタイトとファイヤライトに結晶分離してゆく個所も認められた。

化学組成： 表9(その1)に示す。当鉱滓も鉄分は少なく、造滓成分が多い。全鉄分(Total Fe)は20.5%であり、このうち、金属鉄(Metallic Fe)が0.13%、酸化第1鉄(FeO)が10.4%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)は17.5%であり、造滓成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$)は61.25%であった。

二酸化チタン(TiO_2)は低目で5.13%(再分析で7.66%)、バナジウム(V)が0.12%であった。他の随伴微量元素は低目で、酸化マンガン(MnO)0.37%、クロム(Cr)0.03%、硫黄(S)0.011%、五酸化燐(P_2O_5)0.25%、銅(Cu)0.004%であった。試料1に近似した教値である。

粉末X線回折： 図31と表10に示す。当製錬滓は鉄分が少なく、ガラス化が進んでいるので、図31のX線回折図にみられるように、シャープなピークが乏しいチャートとなっている。主要鉱物組成は、Kennedyite($\text{Fe}_2 \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ti}_3\text{O}_{10}$ →ASTMカードNo.13-353)とIlmenite($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ →ASTMカードNo.3-781)であり、他にわずかのMagnetite(Fe_3O_4 →ASTMカードNo.19-629)とQuartz(SiO_2 →ASTMカードNo.5-490)が同定されている。

5) 073号製錬炉出土含鉄鉱滓(図版12-5)

外観： 表皮は淡茶褐色を呈し、やや粗鬆さをもった鉱滓であるが、中核部は黒褐色で金属鉄の風化(酸化)した塊である。破面は黒色で小気泡が散在し、磁性を有する。鉱滓側には木炭を噛み込んでいる。大きさは60×64×42mmで重量は154.3gであった。

顕微鏡組織： 図版12-5に示す。組織写真の左側は鉱滓部分である。白色多角形結晶のマグネタイト(Magnetite: Fe_3O_4)と微小結晶のファイヤライト(Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)と、地の暗黒色のガラス質から構成されている。

組織写真右側は、錆鉄部分であり、この個所には金属鉄は残留せず、金属鉄の風化したゲーサイト(Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)^{注10)}と、炉材溶融物として混入した珪砂や長石が認められる。

化学組成： 表9(その1)に示す。全鉄分(Total Fe)は31.7%であり、このうち金属鉄(Metallic Fe)は1.06%、酸化第1鉄(FeO)が12.0%であり、酸化第2鉄(Fe_2O_3)が最も多くて30.4%であった。この酸化第2鉄は、金属鉄が風化作用を受けて酸化したものである。この供試材は、顕微鏡組織で確認したように鉱滓と金属鉄酸化物が混在するものであり、成分もこれを念頭において読む必要がある。

IV 特 論

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は45.07%、二酸化チタン (TiO_2) 5.61%、バナジウム (V) 0.16%、酸化マンガン (MnO) 0.34%、クロム (Cr) 0.02%、硫黄 (S) 0.085%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.20%、銅 (Cu) 0.005%である。炭素 (C) が0.27%と、や、高目傾向にあるのは噛み込み木炭の影響もあろう。

6) 073号製錬炉出土鉍滓 (図版12-6)

外観： 表裏共に赤褐色を呈し、左程粗鬆さを示さない炉内残留滓である。外見は赤錆を多く発しているため鉄塊に見間違えそうであるが、磁性は弱く金属鉄の錆とはや、異なる。破面は黒褐色と、約 $\frac{1}{3}$ の面積は赤褐色を示し、気泡がなく緻密な鉍滓である。大きさは90×55×55mmで、重量は279.7gであった。

顕微鏡組織： 図版12-6に示す。原鉍の砂鉄粒子が還元不十分のため残存し、金属鉄が凝集分離することなく留まっている。鉍滓組成は、砂鉄粒子の外にファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) とガラス質のスラグから構成されている。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は43.6%であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が3.91%残留し、酸化第1鉄 (FeO) は28.9%、未還元砂鉄粒子と、金属鉄の酸化物と考えられる酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が24.6%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{CaO}$) は27.41%で低目であり、還元製錬が十分に進行しなかったことを示している。二酸化チタン (TiO_2) は10.0%、バナジウム (V) は0.24%である。当鉍滓は酸化マンガン (MnO) 0.61%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.56%、硫黄 (S) 0.068%と高目であることが特徴的である。銅 (Cu) は普通レベルの0.004%であった。

7) 023号鍛冶工房址出土鉄塊 (図版12-7)

外観： 茶褐色を呈する鉄塊である。外皮は鉄錆に覆われているが、新しい破面をみると、銀白光玉鋼状を呈している。半熔融状態で製錬された鉄塊である。強磁性であり、大きさは57×49×19mmで、75.3gであった。

顕微鏡組織： 図版12-7に示す。金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 部分がかなり多いが、組織写真は金属鉄を3%ナイトール液で腐食 (etching) した組織を示す。この金属組織は、炭素 (C) 含有量が0.85%以上の鋼に現われる過共析鋼 (Hypereutectoid Steel) である。白い長柱状の部分は初析セメントイト (Proeutectoid Cementite^{注11)}) であり、白黒まだら模様は共析晶のパーライト (Pearlite^{注12)}) である。この鉄塊組織は、製錬炉内で高温度(900℃以上)状態から冷却過程でセメントイト (Cementite^{注13)}) がオーステナイト (Austenite^{注14)}) の粒界に網状に析出し、オーステナイト地はパーライトとなったのである。900℃以上の高温度下にさらされた為、熱影響を受けて、オーステナイト粒は粗大化傾向を示している。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は61.7%であり、このうち、金属鉄

(Metallic Fe) が12.0%残留し、金属鉄の酸化物である酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は53.0%、酸化第1鉄 (FeO) が16.2%であった。鉄塊中の炭素 (C) 含有量は、1.26%で検鏡でみられた組織と対応する。

この鉄塊は、製鉄炉に残されたままで、まだ精錬されていないので非金属介在物らの不純物を多く含有している。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が、8.84%あり、これらに随伴したと考えられる二酸化チタン (TiO_2) が2.43%、バナジウム (V) 0.06%である。また、酸化マンガン (MnO) が0.10%、クロム (Cr) が0.01%である。硫黄 (S) が0.116%と高目であるのは、酸化鉄の一般的傾向で、当鉄塊本来の含有量ではないものと考えられる。五酸化燐 (P_2O_5) は、0.14%でやや高目であり、また銅 (Cu) も鉄に随伴する元素であり、やや高目を示して0.009%であった。

8) 073号製鉄炉前庭部出土鉄塊 (図版12-8)

外観： 黒褐色を呈する小鉄塊である。7点あるが、いずれも表面からの錆化がかなり進んでいる。代表的なものを計測すると、 $31 \times 20 \times 17 \text{mm}$ で18.2gあった。

顕微鏡組織： 図版12-8に示す。当組織も金属鉄を3%ナイトール液で腐食 (etching) して現われたものである。白黒まだら模様はパーライト (Pearlite) であり、その周囲を白い結晶が発達しているのはフェライト (ferrite) ^{注16)} である。その粗大フェライトの中央をつらぬく様に白色長柱状の初析セメントイト (Proeutectoid Cementite) ^{注17)} が析出している。

当鉄塊は、還元直後は極低碳素鋼であったが、900℃以上の高温雰囲気中で木炭に周囲を囲まれてさらされ、発生すゆ一酸化炭素 (CO) ガスが鉄塊表面から浸入し、続いて浸入した炭素が拡散し、この様な炭素量の鉄塊になったのである。すなわち、浸炭現象が起って生成されている。

なお、組織写真に示していない別視野には、ガラス質のスラグ中にマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) とイルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の存在する個所も認められた。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は52.8%を示し、このうち金属鉄 (Metallic Fe) の残留は0.92%であり、金属鉄の風化による酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は52.3%であった。また、未還元鉄の酸化第1鉄 (FeO) は19.6%であり、造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は12.69%であった。鉄中の炭素 (C) 含有量は0.32%であり、浸炭による炭素量の増加である。

二酸化チタン (TiO_2) は8.47%と高目で、組織観察の写真に示していない個所にイルミナイトが晶出していて、チタン分が高目に出るのもうなずける。バナジウム (V) は0.22%であった。酸化マンガン (MnO) は、やや高目で0.34%、クロム (Cr) 0.03%、硫黄 (S) 0.061%、五酸化燐 (P_2O_5) 0.12%、銅 (Cu) 0.006%と、随伴微量元素もおしなべて高目であった。

9) 023号鍛冶工房址出土鉄滓 (図版13-9)

IV 特 論

表10 製鍊滓・鍛冶滓の粉末X線回折結果

符号	遺 跡 名	区 分	推定年代	Ulvöspinel	Ulvöspinel	Ilmenite	magnetite	Wüstite
				3FeO·Fe ₂ O ₃ ·TiO ₂	2FeO·TiO ₂	FeO·TiO ₂	Fe ₃ O ₄	FeO
				25-417	24-537	3-781	19-629	6-615
1	花 前	砂鉄附着製鍊滓	9~10C				◎	○
3	"	製 鍊 滓	"	◎		○	○	
4	"	"	"			○	○	
9	"	"	"	○			◎	○
10	"	鍛鍊鍛冶滓	"	△	△		◎	○
13	取 香	製 鍊 滓	8C前半	◎		○	○	○
15	"	"	"		○		◎	
20	"	"	"	○		◎	○	
21	"	精鍊鍛冶滓	"	○			◎	○
22	"	"	"	○			○	◎
27	御幸畑	製 鍊 滓	8C後半	◎			△	
30	"	"	"	○		◎	△	
36	"	"	"	△		△	○	
54	公津原	鍛鍊鍛冶滓						○
M-91	白須山たたら	製 鍊 滓	近 世		◎	○		
L-91	"	精鍊鍛冶滓	"					◎
Q-91	八幡平たたら	製 鍊 滓	"		◎		△	△
Q-92	"	"	"		◎	○		
L-901	小六たたら	"	"		◎	◎		△
8B-91	長門峡たたら	"	"			○	○	
8Y-912	尻高山たたら	"	"			◎		
K-901	塚 田	精鍊鍛冶滓	奈良時代後半					◎
C-811	八 熊	製 鍊 滓	奈良時代				○	◎
Mn	真名子鉄山	"	近 世				○	△
Y-1	田屋たたら	"	?				○	
2F-901	大蔵池南	"	6C後半~7C初		◎	○		
2J-902	"	精鍊鍛冶滓	"				△	○
2G-7	釜田1号墳	製 鍊 滓	7C後半		◎	○		
W-91	野路小野山	"	7C末~8C前半					

千葉県下遺跡出土の製鉄関係遺物の分析調査

Fayalite Fe ₂ SO ₄	Alpha Iron Fe	Hematite Fe ₂ O ₃	α-Quartz SiO ₂	Diopside CaO·MgO·2SiO ₂	Akermanite 2CaO·MgO·2SiO ₂	Kennedyite Fe ₂ MgTi ₃ O ₁₀	二酸化チタン TiO ₂	注
20-1139	6-696	13-534	5-490	3-860	4-681	13-353		
○				△			3.73	㉔
		○	○				17.7	"
			△			◎	5.13	"
				(Monticellite CaO·MgO·SiO ₂) 11-129 △			13.0	"
○							1.80	"
	○	△		○			16.1	㉕
○		△		△			12.8	"
	○					○	14.5	"
○							4.95	"
○	△						5.30	"
				○			14.2	㉖
○	△			○			11.6	"
	◎		○		○		7.82	"
◎			○		△		0.26	㉗
○							16.7	㉘
◎	△						2.2	"
○							15.3	㉙
	△						—	"
○							26.7	"
			○			◎	13.1	"
○			○				18.6	"
◎		△					2.6	㉚
○							3.5	㉛
◎			△				2.9	㉜
◎							28.5	"
	△						35.8	㉝
◎	△						5.6	"
							19.8	"
◎			○				0.81	"

(◎) >◎ >○ >○ >△
強 弱

IV 特論

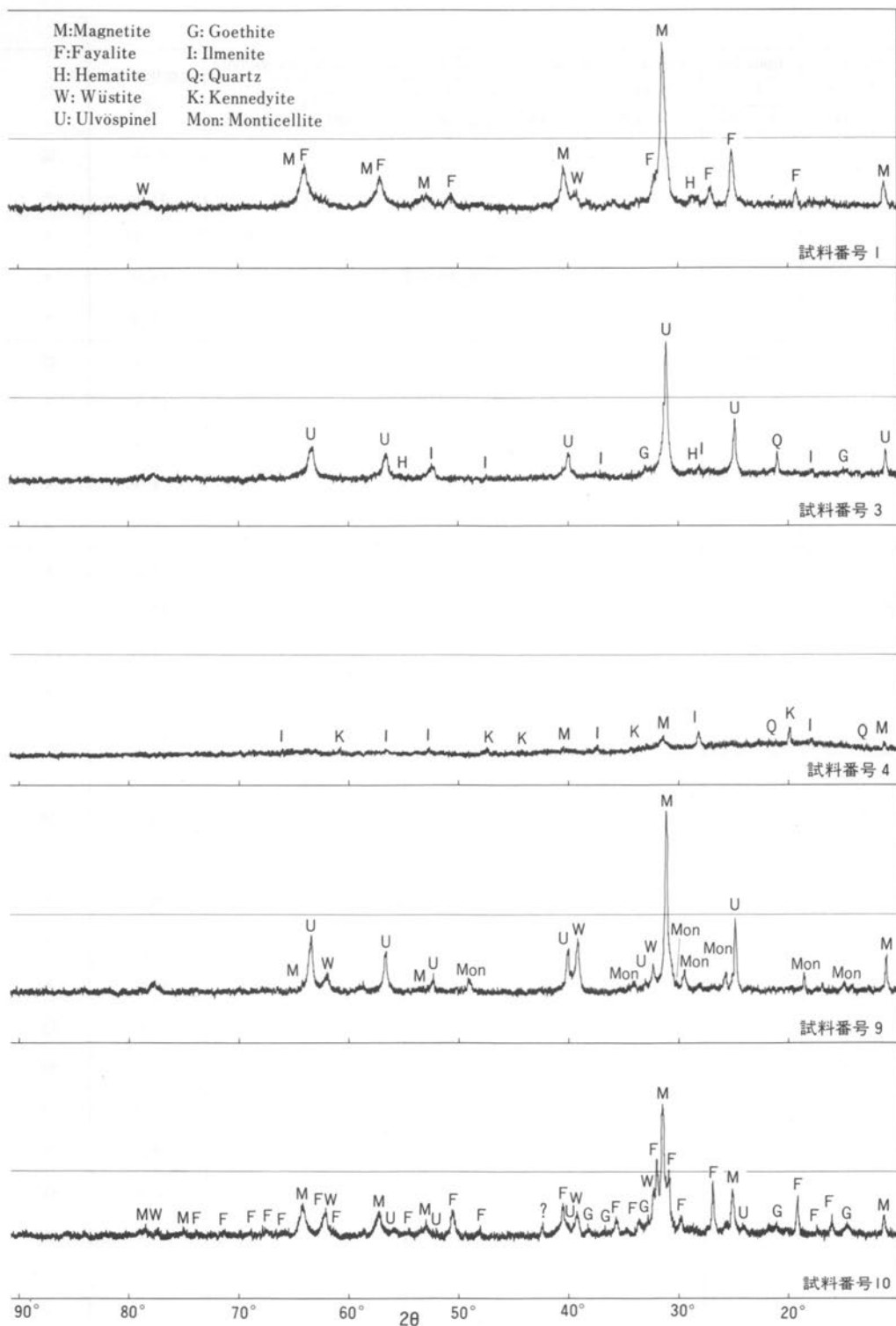


図31 花前製鉄遺跡出土の製鍊滓・鍛冶滓の粉末X線回折
(Target:Co.2KV)

IV 特論

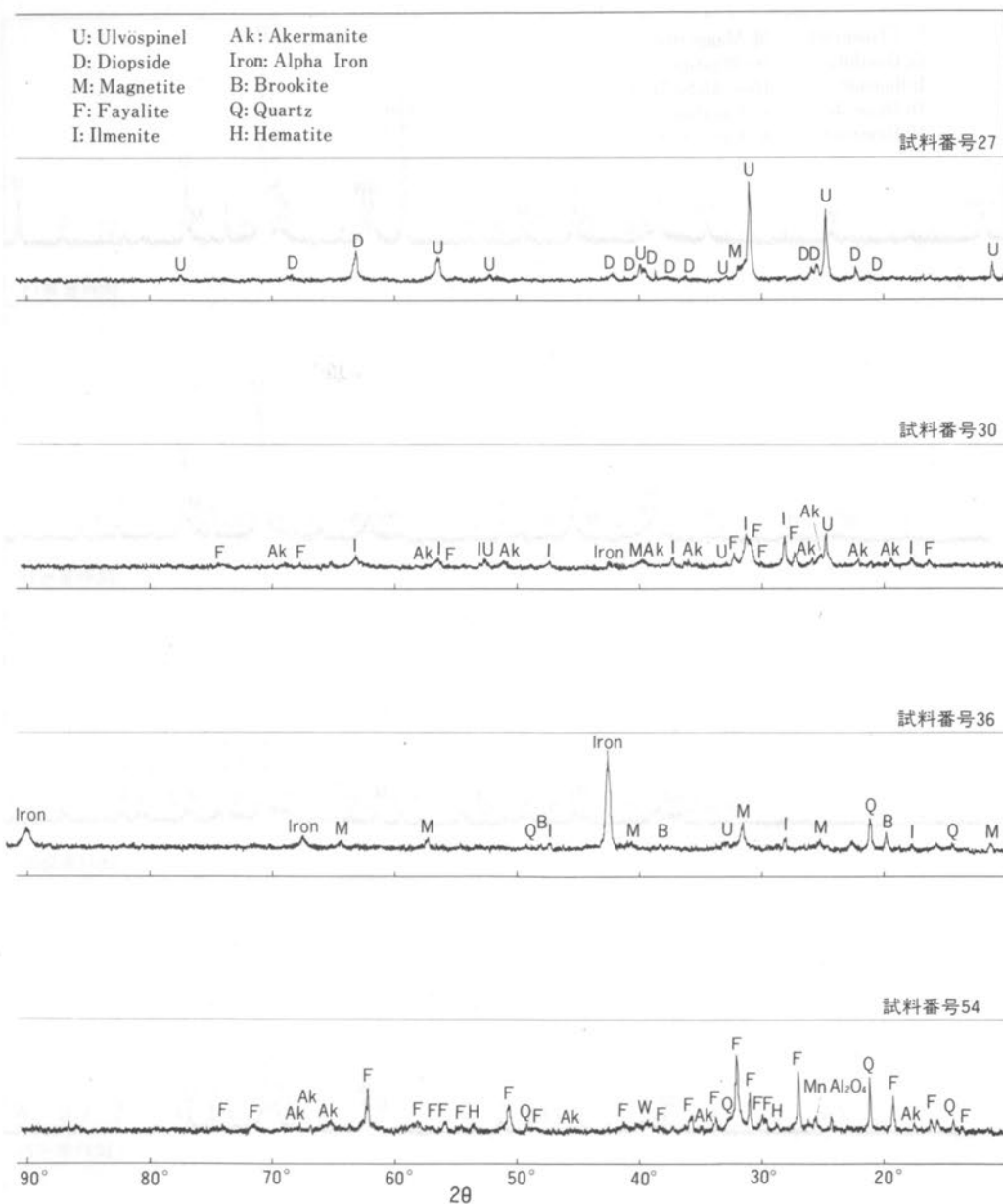


図33 御幸畑製鉄遺跡及び公津原遺跡出土の製鍊滓・鍛鍊鍛冶滓の粉末X線回折
(Target: Co. 2KV)

外観： 表皮は赤褐色を呈し、粗鬆で気泡の多い鉄滓である。裏面はカーブをもち、局部的に粘土を付着し、木炭痕を多数残している。破面は黒褐色に一部茶褐色を混じ、気泡が散在するが緻密で比重の大きい鉄滓である。鍛冶工房址の出土であるが、製鍊滓の炉内残留滓の可能性がある。大きさは62×55×40mmで、重量は141.6gであった。

顕微鏡組織： 図版13-9に示す。鉱物組成は、淡灰色多角形状のマグネタイト (Magnetite

: Fe_3O_4) に少量の淡灰色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO)、灰色短柱状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、白色不整形の金属鉄 (Metallic Fe)、それに地の暗灰色のガラス質から構成されている。

化学組成：表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は44.0%で、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.60%、酸化第1鉄 (FeO) の占める割合が38.8%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が18.9%であった。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は、21.64%であり、二酸化チタン (TiO_2) が13.0%、(分析再チェックで11.98%)、バナジウム (V) が0.38%で、この両者成分が高目で、これから判断すると製錬滓に分類される。

他の随伴微量元素も高目傾向で、酸化マンガン (MnO) が0.51%、クロム (Cr) 0.04%、硫黄 (S) 0.068%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.24%、銅 (Cu) 0.005%であった。

当鉄滓は、鍛冶工房址の出土であり、顕微鏡組織からみて精錬鍛冶滓に分類してもおかしくはないが、化学組織の二酸化チタンやバナジウム、また随伴微量元素の含有量レベルからは製錬滓に区分すべきである。精錬素材の含鉄鉱滓として、鍛冶工房に搬入されたが、含有鉄分が低くて放置されたのであろう。

10) 023号鍛冶工房址出土鍛錬鍛冶滓 (図版13-10)

外観：赤褐色の表皮を有し、気泡と木炭痕とで粗鬆さを示す椀形鍛冶滓である。裏面は表皮と同色を有するが、凸部中央に鉄錆を多く発生している。破面は気泡多く、コークス状の多孔質で局部には鉄錆が認められる。外観からみて鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) ^{注18)} の椀形滓とみうけられる。大きさは70×70×39mmで重量は172.2gであった。

粉末X線回折：図31と表10に示す。鉱物組成は、Magnetite ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow$ ASTMカード No.19-629)、Ulvöspinel ($3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)、Wüstite ($\text{FeO} \rightarrow$ ASTMカード No.6-615) らが主体をなし、これにわずかながらのMonticellite ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow$ ASTMカード No.11-129) が同定されている。

Ulvöspinel の強度が、Magnetite の次に強くでているので、鍛冶滓ではなく、製錬滓とみるべきであろう。

顕微鏡組織：図版13-10に示す。鉱物組成は、金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) が多く存在し、これに灰色粒状結晶のヴスタイト (Wüstite: FeO) と白色不整形の金属鉄 (Metallic Fe)、小結晶の多角形状のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) が少量と、それに地の暗黒色ガラス質から構成されている。

化学組成：表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は、54.0%と非常に高く、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が3.16%、酸化第1鉄 (FeO) が34.0%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が34

IV 特論

.8%であった。金属鉄の風化でゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) が増加しているの、酸化第2鉄が高目に存在するのであろう。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) はや、多い目で22.53%あり、二酸化チタン (TiO_2) 1.8% (再分析で2.30%)、バナジウム (V) 0.07%と低目である。また酸化マンガン (MnO) は0.13%、クロム (Cr) 0.02%、硫黄 (S) 0.078%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.13%、銅 (Cu) 0.005%と随伴微量元素は低目傾向で、これらを総合勘案すると、鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) に分類できる

粉末X線回折: 図31と表10に示す。鉱物組成は、Magnetite ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.19-629) とFayalite ($\text{Fe}_2\text{SiO}_4 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.20-1139) 及びWüstite ($\text{FeO} \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.6-615) らが主なるものであり、他に微量のUlvöspinel ($2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.24-537と、 $3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.25-417)、これに金属鉄の風化した Goethite ($\alpha \text{FeO}(\text{OH}) \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.3-249) が検出された。

当鍛冶滓からUlvöspinel のうち、 $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ と $3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ の2種が同定されている。

11) 023号鍛冶工房址出土白鑄鉄塊 (図版13-11)

外観: 茶褐色を呈する鉄塊である。全面が錆に覆われており、一部に木炭を附着している。強磁性であった。大きさは $50 \times 39 \times 25\text{mm}$ で、重量は60gあった。

顕微鏡組織: 図版13-11に示す。組織は金属鉄 (Metallic Fe) を、3%ナイトール液で腐食 (etching) したもので、白鑄鉄 (White cast iron) の亜共晶組織^{注19)}である。組織写真の白い部分は、セメントイト (Cementite)、黒い部分はオーステナイト (Austenite) より変化したパーライト (Pearlite)、蜂の巣状の部分はセメントイトとオーステナイトの共晶であるレデブライト^{注21)} (ledeburite) である。

白鑄鉄は別名白鉄ともいい、鉄鉄の1種で凝固冷却速度が速くなればセメントイトが晶出し、白鑄鉄となり、冷却速度がおそくなれば黒鉛が晶出して、ねずみ鑄鉄と呼んでいる。

化学組成: 表9 (その1) に示す。当鉄塊の全鉄分 (Total Fe) は71.4%であり、このうち金属鉄 (Metallic Fe) が33.0%残留し、金属鉄の風化した酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は34.2%であり、酸化第1鉄 (FeO) は18.6%である。炭素 (C) 含有量は2.00%含有され、顕微鏡組織で亜共晶の白鑄鉄であったことと矛盾しない。また二酸化チタン (TiO_2) は0.34%であり、砂鉄製錬で生成した鉄塊であることを示している。

この白鑄鉄のままでは、一般鉄器に加工しても、もろくて実用品として使用できないので、鍛冶炉で左下げ法^{注22)}により炭素量を減じて製品加工に供する素材にあてたのであろう。

随伴微量元素としては、酸化マンガン (MnO) 0.02%、硫黄 (S) 0.136%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.14%、銅 (Cu) 0.009%であった。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が非金属介在物と考えると、や、高目で、4.59%であった。

小 結

- 〈1〉 花前製鉄遺跡 073 製錬址（竖炉）から出土した鉱滓は、おおまかに分けて、低チタン系（TiO₂：5.13～13%、V：0.12～0.38%）と、高チタン系（TiO₂：17.7%、V：0.47%）が存在する。前者の鉱物組成は Magnetite を主体とし、後者は Ulvöspinel 及び Ilmenite である。
- 〈2〉 炉壁鉱滓に付着した砂鉄は、低チタン系に属する。原料砂鉄は複数以上の産地から供給されたと推定される。
- 〈3〉 製錬滓（073製錬炉）と鍛冶炉（023鍛冶工房）で、鉱物組成と化学組成の差異を示せば下表の如くなる。

試料	組成	鉱 物 組 成	化 学 組 成	
			TiO ₂	V
製 錬 滓		Magnetite Ulvöspinel Ilmenite + Fayalite	5.13～17.7%	1.2～0.47%
鍛錬鍛冶滓		Wüstite Goethite + Fayalite	1.8%	0.07%

- 〈4〉 073製錬炉で生成された鉄塊は、鋸に属する低炭素系（C：0.32%）^{注23)}と、銑に属する高炭素系（1.26%～2.0%）^{注24)}が存在する。製錬炉周辺では前者の低炭素系が、023 鍛冶工房址では後者の高炭素系が検出された。

後者は左下げ法により脱炭して鉄器鍛造素材になったと推定される。（ただし、073製錬炉は、吸炭機能をそなえた竖炉であり、操業生成物は高炭素系の銑が多かったと考えられる。今回採取の低炭素系は、竖炉で製造されたものであるが選別時にセレクトされたものと考えられる。）

- 〈6〉 023鍛冶工房址より検出された符号9 鉱滓は、外観及び化学組成からみて製錬滓である。023鍛冶工房址では、鍛錬鍛冶（小鍛冶）以外に精錬鍛冶（大鍛冶）的作業もなされたことを示唆するのであろう。
- 〈7〉 花前製鉄遺跡での製錬滓から鍛錬鍛冶滓・白鑄鉄塊の成分移行を示せば下表の如くなる。

		T.Fe	M.Fe	C	MnO	S	P ₂ O ₅	Cu	Cr	TiO ₂	V
073	製錬滓	34.6	0.60	0.19	0.70	0.041	0.19	0.003	0.07	17.7	0.47
023	製錬滓	44.0	0.60	0.23	0.51	0.068	0.24	0.005	0.04	13.0	0.38
	鍛錬鍛冶滓	54.0	3.14	0.41	0.13	0.078	0.13	0.005	0.02	1.80	0.07
	白鑄鉄	71.4	33.0	2.00	0.02	0.136	0.14	0.009	0.01	0.34	0.02

2. 取香製鉄遺跡

遺跡は成田市取香字和田戸 711 他に所在する。検出された遺構は、台地斜面に分布する製錬炉 3 基、大型炭窯 8 基、小型炭窯 3 基と台地上の堅穴住居址 6 軒で 8 世紀後半に比定される。^{注25)}

IV 特 論

このうち、今回調査に供した試料は、台地西端にある7号址A・B2基の箱型製錬炉から排出された鉱滓、及び南端の19号址に位置する竪型製錬炉出土の鉱滓である。又、台地上の竪穴住居址は、6軒すべてから鉄滓（製錬滓と鍛冶滓）を、3軒から砂鉄を出土しており、台地斜面遺構群との関連性を強めているが、このうち鍛冶工房と考えられる火窟遺構をもつ6号址から出土した精錬鍛冶滓の3点について調査を行なった。

12) 7号址（箱型製錬炉）出土鉱滓（図版13-12）

外観： 製錬炉内生成鉄片として採り上げられた小塊である。黒褐色を呈する不定形塊で37×30×32mm程度のもの14片を供試材にされていたが、実際に調査した塊は金属鉄残留の少ないものであったので、鉱滓に分類した。

顕微鏡組織： 図版13-12に示す。組織の大部分は、金属鉄が風化した酸化物のゲーサイト（Goethite： $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）で占められ、これにファイヤライト（Fayalite： $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ）やマグネタイト（Magnetite： Fe_3O_4 ）、一部炉材巻き込み夾雑物の硅砂らが認められた。

化学組成： 表9（その1）に示す。全鉄分（Total Fe）は43.8%であったが、このうち、金属鉄の酸化した酸化第2鉄（ Fe_2O_3 ）が多く含有されて35.5%あり、これに未還元鉄分の酸化第1鉄（FeO）が23.7%、金属鉄（Metallic Fe）は、わずかの0.54%であった。

造滓成分（ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$ ）は低目で18.12%であり、二酸化チタン（ TiO_2 ）は14.8%、バナジウム（V）0.29%であった。製錬滓の成分傾向を強く残しており、他の随伴微量元素は酸化マンガン（ MnO ）0.59%、クロム（Cr）0.04%、硫黄（S）0.078%、五酸化磷（ P_2O_5 ）0.23%、銅（Cu）0.005%であった。

13) 7号址（箱型製錬炉）出土鉱滓（図版14-13）

外観： 表皮は凹凸少なく、茶褐色を呈し、鉄塊を思わせる。裏面は表皮と同色で滴下状を有している。破面は気泡なく、黒褐色で局部的に銀白色の金属鉄部分が認められる。比重は大きく磁性を有す。大きさは91×59×31mmで重量は169.3gであった。

顕微鏡組織： 図版14-13に示す。鉱物組成は、四面体状結晶のイルミナイト（Ilmenite： $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ）がガラス質スラグ中に主体をなしている。この結晶の周辺は、白色を呈するヘマタイト（Hematite： Fe_2O_3 または $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ）^{注26)}が生じて薄層化している。前述のイルミナイト結晶の周辺に生じた二次ヘマタイト結晶は、新潟県真木山遺跡出土の鉱滓や、山口県長門峡たたら^{注27)}出土鉱滓でも確認されている。^{注28)}

化学組成： 表9（その1）に示す。全鉄分（Total Fe）が45.1%で、このうち金属鉄が5.47%、酸化第1鉄（FeO）が26.6%、酸化第2鉄（ Fe_2O_3 ）が27.1%の割合で存在する。造滓成分（ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$ ）は少なく16.97%である。二酸化チタン（ TiO_2 ）は高目で16.1%、バナジウム（V）が0.31%であった。随伴微量元素は酸化マンガン（ MnO ）0.71%、クロム

(Cr) 0.04%、硫黄 (S) 0.038%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.18%、銅 (Cu) 0.004%であった。

粉末X線回折： 図32と表10に示す。同定された主要鉱物は、Ulvöspinel ($3FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot TiO_2 \rightarrow$ ASTMカードNo.25-417)とAlpha Iron ($Fe \rightarrow$ ASTMカードNo.6-692)であり、他に微量のWüstite ($FeO \rightarrow$ ASTMカードNo.6-615)、Diopside ($CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2 \rightarrow$ ASTMカードNo.2-657)、Magnetite ($Fe_3O_4 \rightarrow$ ASTMカードNo.19-625)、Ilmenite ($FeO \cdot TiO_2 \rightarrow$ ASTMカードNo.3-781)、Goethite ($\alpha FeO(OH) \rightarrow$ ASTMカードNo.3-249)、Hematite ($Fe_2O_3 \rightarrow$ ASTMカードNo.6-502)らである。

14) 7号址A炉(箱型製錬炉)出土鉱滓(図版14-14)

外観： 青褐色を呈する流出滓である。裏面は小砂粒を付着し、大小の気泡を発している。破面は黒色緻密質で、磁性はほとんどない。大きさは $138 \times 125 \times 90$ mmで重量は2100gであった。

顕微鏡組織： 図版14-14に示す。鉱物組成は、白色スケルトン (Skeleton) 状のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4)と灰色木ずり状のファイヤライト (Fayalite: $2FeO \cdot SiO_2$)及び暗灰色のガラス質から構成されている。 SiO_2 濃度が高く比較的還元雰囲気中で晶出したマグネタイトである。

化学組成： 表9(その1)に示す。全鉄分 (Total Fe) は低く26.9%であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.28%、酸化第1鉄 (FeO) 29.9%、未還元酸化鉄の残留はほとんどなく、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は4.8%であった。鉄収率のよい鉱滓である。

二酸化チタン (TiO_2) 12.8%、バナジウム (V) 0.25%で、製錬滓としての傾向を示している。造滓成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO$) は46.08%含有され、このうち二酸化珪素 (SiO_2) の量が多く29.6%で、顕微鏡組織で示した SiO_2 濃度の高かったことを裏付ける。酸化マンガン (MnO) 0.41%、クロム (Cr) 0.06%、銅 (Cu) 0.006%らは、12、13の製錬滓と近似しているが、硫黄 (S) だけが低目で0.017%であった。還元剤木炭成分の影響であろう。

15) 7号址B炉(箱型製錬炉)出土鉱滓(図版14-15)

外観： 小豆色の表皮をもつ流出滓である。裏面は黒色で滴下状凹凸を有している。破面は黒色で気泡はほとんどなく緻密である。大きさは $83 \times 138 \times 142$ mmで重量は2225gの大塊であるが、破面を有している。

顕微鏡組織： 図版14-15に示す。白色多角形状のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4)と灰色木ずり状のファイヤライト (Fayalite: $2FeO \cdot SiO_2$)、地の暗灰色スラグ質から構成されている。 SiO_2 に富み、比較的還元雰囲気スラグ溶液下で晶出したマグネタイトとファイヤライトが共存している組織である。

化学組成： 表9(その1)に示す。全鉄分 (Total Fe) 31.5%でや、低目であり、金

IV 特 論

属鉄 (Metallic Fe) が0.19%、還元過程で残された酸化第1鉄 (FeO) は37.2%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) はわずかの3.4%である。造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO) は高目で40.59%であり、このうち、二酸化硅素 (SiO₂) は高目で25.0%である。

二酸化チタン (TiO₂) 12.8%、バナジウム (V) 0.23%であり、他の随伴微量元素は酸化マンガン (MnO) が0.62%と高目であるが、他はおしなべて低目で、クロム (Cr) 0.04%、硫黄 (S) 0.01%、五酸化磷 (P₂O₅) 0.35%、銅 (Cu) 0.004%であった。14と組織的に大差ない。

粉末X線回折： 図32と表10に示す。同定された主要鉱物組成は、Magnetite (Fe₃O₄→ASTMカードNo.19-629) とFayalite (Fe₂SiO₄→ASTMカードNo.20-1139) であり、他に少量のUlvöspinel (2FeO·TiO₂→ASTMカードNo.24-537) と、微量のDiopside (CaO·MgO·2SiO₂→ASTMカードNo.3-860)、Hematite (Fe₂O₃→ASTMカードNo.13-534) らである。

16) 19号址C炉 (豎型製錬炉) 出土砂鉄付着鉱滓 (図版14-16)

外観： 炉壁に溶着したスラグに焼結状に付着した砂鉄を掻き取り供試材とした。砂鉄粒子は赤褐色を呈し、粒状を残すものと熔融した個所がみられた。スラグ質も供試材に混入している。母材の大きさは41×24×26mmの塊状で、重量は19.40gであった。

顕微鏡組織： 図版14-16に示す。原鉱の砂鉄粒子がスラグ融液中で、マグネタイト (Magnetite: Fe₃O₄) に晶出ししかかっている。他の鉱物組成としては、灰色盤状結晶のファイヤライト (Fayalite: 2FeO·SiO₂) と暗黒色のスラグが認められる。

化学組成： 全鉄分 (Total Fe) は低目で28.6%である。このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.13%、還元反応で残留している鉄分の酸化第1鉄 (FeO) 19.3%、それに原鉱の未還元酸化鉄分としての酸化第2鉄 (Fe₂O₃) が19.2%である。

分析試料にスラグ質が混入しているため鉄分が低く、造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO) が高目で50.26%であった。二酸化チタン (TiO₂) が7.35%、バナジウム (V) 0.23%であるが、これらは砂鉄原鉱としての成分ではなく、スラグ質によってうすめられた値と理解すべきであろう。

他成分は、酸化マンガン (MnO) 0.49%、クロム (Cr) 0.06%、硫黄 (S) 0.034%、銅 (Cu) 0.003%で、他鉱滓成分と大差ないが、五酸化磷 (P₂O₅) が0.082%と低目であったのが特徴的である。花前製鉄遺跡073号製錬炉の鉱滓付着の砂鉄に似た傾向を示している。

17) 19号址C炉 (豎型製錬炉) 出土鉱滓 (図版15-17)

外観： 表皮は黒褐色で小ジワのよった流出滓である。裏面は小豆色を帯びた黒褐色で滴下状凹凸個所と、なめらかな個所があり、花崗岩粒子が付着する。破面は黒色と淡茶褐色部があり、微小気泡が多数発生しているが比重は大きい。サイズは102×58×31mmで、重量は278.3gであった。

顕微鏡組織： 図版15-17に示す。鉱物組成は、白色スケルトン (Skeleton) 状及び、樹枝状のマグネタイト (Magnetite : Fe_3O_4) と木ずり状のファイヤライト (Fayalite : $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) から構成されている。 SiO_2 濃度が高く、比較的還元雰囲気中で晶出したマグネタイト (Magnetite : Fe_3O_4) である。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は30.0%であり、このうち、大部分は酸化第1鉄 (FeO) が32.2%で、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は6.9%、金属鉄 (Metallic Fe) は0.13%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は42.85%、二酸化チタン (TiO_2) 12.8%、バナジウム (V) 0.27%である。また、酸化マンガン (MnO) 0.65%、クロム (Cr) 0.05%、硫黄 (S) 0.054%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.31%、炭素 (C) 0.08%らは他鉱滓と大差ないが、銅 (Cu) が0.002%と低目であった。

18) 19号址C炉 (豎型製錬炉) 出土鉱滓 (図版15-18)

外観： 表皮は淡茶褐色を呈し、肌は粗鬆ながらも局部的に飴状部分を有し、微細な砂粒子を付着している。裏面は本来面ではなく破面であり、茶褐色多孔質であるが比重は大きい。断面は表皮側は黒灰色を呈してガラス質であり、約 $\frac{1}{3}$ 以下より茶褐色鉱滓となる。羽口近くの高温域で生成された炉内残留滓であろう。

顕微鏡組織： 図版15-18に示す。鉱物組成は、白色スケルトン (Skeleton) 状のマグネタイト (Magnetite : Fe_3O_4) と少量の盤状結晶のファイヤライト (Fayalite : $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに暗黒色ガラス質スラグが多量に存在する。

化学組成： 全鉄分 (Total Fe) は低目で27.1%、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.15%、還元時に残留した鉄分としての酸化第1鉄 (FeO) は29.4%、未還元酸化鉄としての酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は5.8%と、製錬状態が良好で残留鉄分は少なかった。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は高目で48.74%、二酸化チタン (TiO_2) 10.2%、バナジウム (V) 0.19%である。随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.59%、クロム (Cr) 0.03%、硫黄 (S) 0.038%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.30%である。鉄取率が良好な鉱滓であるため、銅 (Cu) は低目の0.002%であった。

19) 19号址C炉 (豎型製錬炉) 出土鉱滓 (図版15-19)

外観： 茶褐色を呈して、鏽フクレをもつ台形状の塊である。大きさは $40 \times 34 \times 21\text{mm}$ で重量は29.7gであった。

顕微鏡組織： 図版15-19に示す。組織の大部分は金属鉄が風化したゲーサイト (Goethite : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) であり、これにイルミナイト (Ilmenite : $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) とガラス質スラグが混在する。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は45.8%で、このうち、金属

IV 特論

鉄の風化酸化物としての酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が多くて51.1%であり、酸化第1鉄 (FeO) 12.1%、金属鉄 (Metallic Fe) が0.63%である。顕微鏡組織でみたように、ガラス質スラグが存在しており、造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が14.93%、二酸化チタン (TiO_2) が高目で14.4%、バナジウム (V) 0.30%で、風化した鉄塊と鉍滓が共存する塊である。

随伴微量元素は大きな変動がなく、酸化マンガン (MnO) 0.59%、クロム (Cr) 0.06%、硫黄 (S) 0.017%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.12%、銅 (Cu) 0.005%であった。

20) 19号址C炉 (堅型製錬炉) 出土鉍滓 (図版15-20)

外観： 外皮は茶褐色を呈し、その面積の約半分には砂鉄粒子を付着している。破面は黒色部と赤褐色部があり、両者とも気泡はほとんど認められない。金属鉄の錆も共存する。大きさは $114 \times 53 \times 20\text{mm}$ で、重量は 124.9 g であった。当初、鉄片として採り上げられていた。

顕微鏡組織： 図版15-20に示す。鉍物組成は、組織写真対角線上に現われている金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) と白色葉片状のイルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) と暗黒色のガラス質から構成されている。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は、35.8%である。検鏡で金属鉄の風化したゲーサイトが多かったが、分析においても酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が多くて41.1%であり、酸化第1鉄 (FeO) は8.55%、金属鉄 (Metallic Fe) は0.37%であった。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は27.84%であり、二酸化チタン (TiO_2) が14.5%、バナジウム (V) 0.28%であり、鉍滓成分である。

随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) が0.66%、クロム (Cr) 0.04%、硫黄 (S) は酸化鉄が存在するせいか高目で0.078%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.15%、銅 (Cu) 0.004%であった。

粉末X線回折： 図32と表10に示す。主要鉍物組成は、Ilmenite ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo. 3-781)、Ulvöspinel ($3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)、Magnetite ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo. 19-629) であり、他に微量のGoethite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo. 8-97)、Alpha Iron ($\text{Fe} \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo. 6-696)、Kennedyite ($\text{Fe}_2 \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ti}_3\text{O}_{10} \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo. 13-353) らが同定された。

21) 6号址 (竪穴住居址) 出土椀形鍛冶滓 (図版16-21)

外観： 黒褐色を呈する椀形鍛冶滓である。表皮側は平坦であるが、やや粗鬆な肌である。裏面は滴下状の凹凸を有し、一部に炉材粘土を付着している。表裏共に木炭痕を有している。破面は黒褐色で小気泡を有する。大きさは $105 \times 96 \times 51\text{mm}$ で、重量は 423.5 g であった。

顕微鏡組織： 図版16-21に示す。鉍物組成は、白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) と多角形状マグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4)、灰色長柱状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに地の暗灰色ガラス質から構成されている。なお一部に、白色の金属鉄が残留する。

精錬鍛冶滓にヴスタイトとマグネタイトの共存する組織は時折確認されている。^{注29)}

化学組成：表9（その1）に示す。全鉄分（Total Fe）は、製錬滓に比べると高目となり51.1%、このうち、金属鉄（Metallic Fe）が0.18%、酸化第1鉄（FeO）38.2%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）30.3%である。

造滓成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO）は低目で21.15%、二酸化チタン（TiO₂）は4.95%、バナジウム（V）0.10%と、この二成分は製錬滓レベルとは異なって低目となっている。また他の随伴微量元素も全般的に低目傾向を示し、酸化マンガン（MnO）が0.25%、クロム（Cr）0.02%、五酸化燐（P₂O₅）0.21%であるが、銅（Cu）は鉄分の濃縮分だけ上昇して0.010%と高目を示している。

該品は精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）であり、製錬滓に比べると、鉄分が増加して造滓成分や二酸化チタン、バナジウムらは大幅に減少する。

粉末X線回折：図32と表10に示す。図32とX線回折図より同定された鉱物組成は、Magnetite（Fe₃O₄→ASTMカードNo.19-629）、Fayalite（Fe₂SiO₄→ASTMカードNo.20-1139）、Wüstite（FeO→ASTMカードNo.6-615）であり、微量としてUlvöspinel（3FeO・Fe₂O₃・TiO₂→ASTMカードNo.25-417）、Goethite（α-Fe₂O₃・H₂O→ASTMカードNo.8-97）であった。

顕微鏡観察結果にはほぼ、対応している。

22) 6号址（竪穴住居址）出土椀形鍛冶滓（図版16-22）

外観：淡茶褐色を呈する椀形鍛冶滓である。表面は粗鬆な肌で、局部的に鉄錆を発している。裏面は滴下状の凹凸を有し、木炭痕を残している。破面は黒褐色で、コークス状の気泡を有し、鉄錆で褐色に変じた木炭を噛み込んでいる。大きさは63×59×42mmで、重量は93.9gであった。

顕微鏡組織：図版16-22に示す。鉱物組成は白色粒状のヴスタイト（Wüstite：FeO）と灰色長柱状のファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）、それに地の暗灰色のガラス質から構成されている。

この組織の視野に現われていないが、やはり試料21と同じように、多角形状のマグネタイト（Magnetite：Fe₃O₄）が別視野で認められる。

化学組成：表9（その1）に示す。全鉄分（Total Fe）は53.8%であり、このうち、金属鉄（Metallic Fe）は0.27%、酸化第1鉄（FeO）が43.8%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）が27.8%である。顕微鏡組織でみたように、ヴスタイトが多量に晶出していた様に、酸化第1鉄の残留が多い。

造滓成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO）は19.70%と低目であり、二酸化チタン（TiO₂）が5.30%、バナジウム（V）0.11%と精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）レベルで、製錬滓と鍛錬鍛冶滓（小鍛冶

IV 特 論

滓)の中間の数値である。他の随伴微量元素も酸化マンガン(MnO) 0.22%、クロム(Cr) 0.02%、硫黄(S) 0.038%、五酸化磷(P_2O_5) 0.27%、銅(Cu) 0.005%であった。炭素(C)量が0.55%と高目であるのは、断面に木炭を噛み込んでいたので、その影響が出たものと考えられる。

前述の試料21と同じ精錬鍛冶滓であるが、該品は小型であり、鍛冶作業量が少ない段階で生成排出された滓と考えられる。

粉末X線回折： 図32と表10に示す。鉱物組成はWüstite($FeO \rightarrow$ ASTMカードNo.6-615)とMagnetite($Fe_3O_4 \rightarrow$ ASTMカードNo.16-629)を主体とし、これにFayalite($Fe_2SiO_4 \rightarrow$ ASTMカードNo.20-1139)とUlvöspinel($3FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot TiO_2$)、Alpha Iron($Fe \rightarrow$ ASTMカードNo.6-696)らが微量同定された。

23) 6号址(竪穴住居址)出土鍛冶滓(図版16-23)

外観： 表裏共に赤褐色を呈し、やや粗鬆さをもった鉄滓である。断面は中核部のみ黒褐色を示す鉄滓で、周縁部は鉄錆状塊である。磁性はほとんどない。大きさは $71 \times 44 \times 32$ mmの大きさで、重量は88.7gであった。

顕微鏡組織： 図版16-23に示す。白色不定形の塊は、残留した金属鉄(Metallic Fe)であり、その周辺を暗黒色の溶融スラグがとりまき、その中に樹枝状に晶出したマグネタイト(Magnetite： Fe_3O_4)が存在する。羽口直下の高温域での生成物であろう。

化学組成： 表9(その1)に示す。全鉄分(Total Fe)は45.2%であり、このうち、金属鉄(Metallic Fe)が5.31%、酸化第1鉄(FeO)が16.7%、金属鉄(Metallic Fe)の風化酸化物である酸化第2鉄(Fe_2O_3)が38.4%である。造滓成分($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO$)は29.13%、二酸化チタン(TiO_2)が7.58%、バナジウム(V) 0.17%であった。金属鉄を多く含有した鍛冶滓である。随伴微量元素は、酸化マンガン(MnO)が0.29%、クロム(Cr) 0.05%、硫黄(S) 0.085%、五酸化磷(P_2O_5) 0.20%であり、金属鉄と五酸化磷(P_2O_5) 0.20%であり、金属鉄と酸化鉄が高目であったので銅(Cu)が0.016%と高目になっている。

小 結

<1> 取香遺跡の製錬炉は、箱型炉と竪型炉^{*}の2種が存在する。両製錬滓は、成分的に大差なく、同系砂鉄を装入したのと考えられる。原料砂鉄は、二酸化チタンが5~8%含有のものが主体であったろう。

<2> 箱型炉と竪型炉から排出された製錬滓の鉱物組成は、マグネタイト(Magnetite： Fe_3O_4) + ファイヤライト(Fayalite： $2FeO \cdot SiO_2$)を基本とするが、二酸化チタン濃度が上昇した

* 編集者注……調査担当の西川は7号址B炉を箱形炉と断定することを避けているが(Ⅲ-2参照)、共同研究者の一人である山口は箱形炉とする見解をとっている(Ⅲ-4参照)。

ものにイルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が晶出する。

<3> 台地上の鍛冶工房址より出土した鉄滓は、精錬鍛冶碗形滓 (大鍛冶滓) である。製錬滓と鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) の中間的成分である。取香遺跡出土の鍛錬鍛冶滓の分析値がないので、これを除いて比較値を示せば次表のようになる。精錬鍛冶滓は製錬滓に比べると、二酸化チタン (TiO_2)、バナジウム (V)、酸化マンガン (MnO)、クロム (Cr) らは減少し、銅は逆に増加する。

成分(%)	TiO_2	V	MnO	Cr	Cu
精錬鍛冶滓	4.95~5.30	0.10~0.11	0.22~0.25	0.02	0.005~0.010
製錬滓	10.2~16.1	0.19~0.31	0.41~0.66	0.04~0.06	0.002~0.006

3. 御幸畑製鉄遺跡

遺跡は、成田市東峰字御幸畑89他に所在する。検出された遺構は、台地斜面の製錬炉、作業場、炭置場等が組合わさった遺構群3ヶ所で、製錬炉6基、製錬炉の痕跡1ヶ所、製錬炉の可能性のあるもの1ヶ所、炭窯6基、木炭を出土する浅い掘り込み2基、大型土壇及びピット群3ヶ所、溝1条等と、台地上の竪穴住居址4軒である。

11号址：製錬炉1基は、ソフトローム層中に直接粘土を貼って構築されており、裏込めはない。楕円形を呈し、壁内側の計測値は長さ60cm、幅25cmである。調査遺物は25の製錬滓と、26の鉄塊 (白鑄鉄) である。

17号址：製錬炉3基でU字の掘り込みの最奥部に55×50cmの円形焼あとが存在。竪炉であろう。調査遺物は、32の製錬滓、33の銑鉄片、34の製錬滓、35の鉄塊 (白鑄鉄)、36の製錬滓である。

18号址：等高線に直交して長い溝を掘り、溝内に裏込めを充填した後、2基の製錬炉を設置している。溝は長さ11.5m、幅1.5mから1.0m、深さは北端の最も深い所で1.56m、南端の最も浅い所で0.13mを測り、溝底に約4度南に傾斜している。横断面は鍋底状である。溝内の製錬炉下部は、特に入念な防温施設が認められた。溝の両側壁を2mから2.5mにわたって焼いた後、粉炭と思われる黒色層に、径10cm以上の木炭を多数並べながら厚さ15cm程敷きつめ、その上に小鉄滓を混じた黒褐色土をおき、炉の直下には厚さ約10cmの黒色の砂を敷いていた。

A炉は、長方形の炉底滓を残し、長さ96~70×巾60~61×厚み30cmで、炉形は箱状ないしは四角柱状と予想される。羽口は未検出。調査遺物は、27、28の製錬滓である。

B炉の炉底滓は、最大幅40cm、前後長さ45~50cmで排滓口の幅は8cmであり、炉形は円筒状に近いものが推定される。羽口は未検出。調査遺物は、29、30の製錬滓と、31の小鉄塊 (鋼)

IV 特 論

である。

なお、製錬作業場出土の砂鉄(24)の調査も行なった。

台地上竪穴住居址： 4軒中3軒から鉄滓が出土するが、各住居址とも床面から鍛冶遺構に相当するものは認められない。この鉄滓は製錬滓の外観をしている。また住居址群の南東5～10mの所には径7mほどの範囲に鉄滓が多量出土している。意識的に打ち割られており鉄分を多く含んだものもかなり在ることから選鉄を行なったと考えられる。

調査遺物は37の製錬滓である。

この遺跡の推定年代は、18号址が8世紀後半であり、台地上竪穴住居址が8世紀前半代であった。^{注30)}

24) 18号址製錬作業場址出土砂鉄 (図版16-24)

外観： 砂鉄は微細粒子で、やや青味がかかった黒褐色を呈している。Pit 出土のものを水洗してローム層を除き、供試材とした。磁選はしていない。

顕微鏡組織： 図版16-24に示す。150 γ 前後の粒子で不整な粒形を示している。

化学組成： 表9(その1)に示す。砂鉄の主成分は、鉄分と二酸化チタン、バナジウムである。全鉄分(Total Fe)は47.6%で、そのうち金属鉄(Metallic Fe)0.03%、酸化第1鉄(FeO)19.0%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)が46.8%の割合である。二酸化チタン(TiO₂)は砂鉄に必然的に含有されており、該品は高含有量で17.7%であった。バナジウム(V)は0.36%。

他の不純物としては、二酸化珪素(SiO₂)が6.82%、酸化アルミニウム(Al₂O₃)2.73%、酸化カルシウム(CaO)0.44%、酸化マグネシウム(MgO)2.99%であり、これらの成分値から塩基性砂鉄に分類できる。

なお、砂鉄で注意すべき微量成分は、五酸化燐(P₂O₅)0.055%、硫黄(S)0.017%、銅(Cu)0.004%、クロム(Cr)0.06%らであり、いずれも低含有量であった。

参考までに砂鉄の酸性・塩基性の分類を行なえば下表の如くなる。

砂鉄の分類^{注31)}

	酸 性 砂 鉄	塩 基 性 砂 鉄	24 : 砂 鉄
酸化チタン (TiO ₂)	0.2～6.5%	5 ～ 20%	17.7 %
珪 酸 (SiO ₂)	2 ～ 14	—	6.82 %
アルミナ (Al ₂ O ₃)	1 ～ 5	—	2.73
石 灰 (CaO)	—	0.7 ～ 2.5	0.44
マグネシヤ (MgO)	—	1.5 ～ 10	2.99
燐 (P)	0.005～0.2	0.05 ～ 0.78	0.022

25) 11号址出土鉾滓 (図版17-25)

外観： 表皮は黒褐色に小豆色を帯びた鉛状流出滓である。裏面は淡茶褐色で、折れ目状シワと小気泡が散在する。破面は茶褐色を呈し、小気泡が散在する。大きさは65×56×33mmで重量は124.6gであった。割れ口をもった破片である。

顕微鏡組織： 図版17-25に示す。鉾物組成は、白色多角形状のマグネタイト (Magnetite : Fe_3O_4) と灰色微細結晶のファイヤライト (Fayalite : $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに暗黒色地のガラス質から構成されている。樹枝状に晶出した小型のマグネタイトやファイヤライトの未発達具合からみて、当鉾滓は急冷されたものと推定される。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は31.0%で、このうち金属鉄 (Metallic Fe) が0.73%、還元反応の途中で残留した酸化第1鉄 (FeO) が29.9%、原鉾の未還元酸化鉄である酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は10.0%であった。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は、38.78%であり、このうち、酸化カルシウム (CaO) が5.00%と高目である。

二酸化チタン (TiO_2) 15.2%、バナジウム (V) 0.28%と両者高目で、原料砂鉄中のチタンも高目であったことがうかがわれる。随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.59%、クロム (Cr) 0.06%、硫黄 (S) 0.014%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.28%、銅 (Cu) 0.003%であった。

26) 11号址出土鉄塊 (白鑄鉄) (図版17-26)

外観： 黒褐色と赤褐色を混じた鉄塊で、蝶ネクタイ状に流出した塊である。表裏ともに鉄錆によるフクレと、木炭付着が認められる。新しい破面では銀白色を呈するので、白鑄鉄であることが判る。大きさは113×41×16mmで、重量は141.8gであった。

顕微鏡組織： 図版17-26に示す。金属鉄部分をナイトル (Nital) 腐食した組織で左側400倍、右側が100倍の撮影である。破面が銀白色を呈していたことから、白鑄鉄であることが判ったが、組織観察においても、それを裏付けた。組織は亜共晶組成 (C : 4.3%以下) の白鑄鉄である。白い部分はセメントイト (Cementite : Fe_3C)、黒い部分はオーステナイト (Austenite) が変化したパーライト (Pearlite)、蜂の巣状の部分はセメントイトとオーステナイトの共晶であるレデブライイト (Ledebulite) である。

鑄鉄は冷却速度と成分によって白鑄鉄と、ねずみ鑄鉄に分かれる。該品は冷却速度が比較的速かったので白銹化したのであろう。ただし、亜共晶白鑄鉄は炭素含有量が低い^{注32)}ため徐冷しても白銹化しやすい。一般に炭素 (C) 量2~3%程度、けい素 (Si) 1%程度では、徐冷しても白銹化するといわれている。

化学組成： 表9 (その1) に示す。炭素含有量は、3.66%の鑄鉄である。全鉄分 (Total Fe) は72.0%で、このうち金属鉄 (Metallic Fe) は比較的残りがよくて23.1%、酸化第1鉄 (FeO) が51.3%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は12.8%であった。

IV 特 論

鉄中の不純物としては、二酸化硅素 (SiO_2) 3.79%、酸化マンガン (MnO) 0.08%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.22%、硫黄 (S) 0.065%、銅 (Cu) 0.003%であり、砂鉄製錬の銑鉄として純度の高いものである。二酸化チタン (TiO_2) 0.81%、バナジウム (V) 0.12%であった。

当鉄塊は、砂鉄が木炭でもって還元されて低炭素の海綿鉄となり、これが炉内において高温にさらされ、木炭と接触して炭素が海綿鉄の内部へ拡散してゆき、滲炭が進んで銑鉄となったものである。炉外で急冷されて白鑄化している。製錬炉の生成物とみるべきであろう。

27) 18号址A炉流出滓 (図版17-27)

外観： 表皮が小豆色を呈し、なめらかな肌をもつ流出滓である。裏面は黒色で、やゝざらつく肌を有している。破面は黒色で気泡なく緻密である。細長く流出した滓で、途中で折損していた。大きさは、 $86 \times 44 \times 24 \text{mm}$ で重量は114.4gであった。

顕微鏡組織： 図版17-27に示す。鉱物組成は、白色針状に晶出したイルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) と、白色多角形状のウルボスピネル (Ulvöspinel: $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)、灰色木ずり状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それにガラス質から構成されている。

化学組成： 表9 (その1) に示す。全鉄分 (Total Fe) は少なく22.9%であり、その内訳は金属鉄 (Metallic Fe)が0.12%、酸化第1鉄 (FeO) 23.6%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 6.3%で、未還元酸化鉄が少ないことを特徴とする。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は高目で48.84%あり、当鉱滓も酸化カルシウム (CaO) が多くて7.75%を含有されている。

鉱物組成で、イルミナイトやウルボスピネルが検出された様に、二酸化チタン (TiO_2) も高目で14.2%あり、バナジウム (V) 0.27%であった。他の随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.66%、クロム (Cr) 0.06%、硫黄 (S) 0.054%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.38%、銅 (Cu) 0.002%と、おしなべて低目である。

粉末X線回折： 図33と表10に示す。鉱物組成の主体はUlvöspinel ($3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 \rightarrow \text{AS TMカードNo.25-417}$) であり、他にわずかながらDiopside ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{ASTMカードNo.11-654}$) とMagnetite ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{ASTMカードNo.19-629}$) らが同定された。

28) 18号址A炉内残留滓 (図版17-28)

外観： 表皮は青味がかかった黒褐色で、一部に小豆色を混じて、やゝ粗鬆な肌をもつ炉内残留滓である。裏面は黒褐色で滴下状の突起がみられる。破面は黒褐色を呈し、気泡はほとんど認められない。大きさは $51 \times 26 \times 8 \text{mm}$ で重量は20gであった。

顕微鏡組織： 図版17-28に示す。四面体結晶のイルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)が、結晶周縁を酸化されて白色を呈するヘマタイトに変じている。炉内残留滓として、かなりの時間酸化された状態を示している。他の鉱物組成は、灰色長柱状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) と、少量の金属鉄 (Metallic Fe) の残留、それにガラス質から構成されている。

化学組成： 表9（その1）に示す。全鉄分（Total Fe）は37.2%で、このうち、金属鉄（Metallic Fe）1.15%、酸化第1鉄（FeO）14.2%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）が35.7%である。酸化第2鉄の多いのは、顕微鏡組織と対応する。

造滓成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO）は27.40%であり、この鉍滓においても酸化カルシウム（CaO）が、やや高目で5.35%が認められる。二酸化チタン（TiO₂）14.6%、バナジウム（V）0.29%であり、他成分は酸化マンガン（MnO）0.64%、クロム（Cr）0.06%、硫黄（S）0.082%、五酸化燐（P₂O₅）0.18%、銅（Cu）0.004%であった。

試料27の流出滓と主成分は大差ない。

29) 18号址B炉出土流出滓（図版18-29）

外観： 小豆色のなめらかな肌を有する流出滓である。裏面は鉄錆を含んだ赤褐色で気泡がわずかに散在する。破面は黒色で気泡なく緻密である。大きさは57×38×35mmで、重量は79gであった。

顕微鏡組織： 図版18-29に示す。鉍物組成は、白色多角形状のマグネタイト（Magnetite：Fe₃O₄）と、灰色木ずり状のファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）、それに地の暗黒色のガラス質から構成されている。

化学組成： 表9（その1）に示す。全鉄分（Total Fe）は30.4%、そのうち、金属鉄（Metallic Fe）が0.40%、酸化第1鉄（FeO）が36.8%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）は2.0%で、原鉍の未還元酸化鉄はほとんど残留していない。

造滓成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO）は多くて41.69%あり、二酸化チタン（TiO₂）12.5%、バナジウム（V）0.24%であった。随伴微量元素は、酸化マンガン（MnO）0.57%、クロム（Cr）0.07%、硫黄（S）0.061%、五酸化燐（P₂O₅）0.34%、銅（Cu）0.004%であった。

30) 18号址B炉炉底下炉床滓（図版18-30）

外観： 表皮は灰色を呈し、小型椀形滓をおもわせる楕円形の鉍滓で中央部に鉄錆を発している。表側の周縁部は凹凸少なく、中央部のみ粗鬆さをもつ。裏面は全般に凹凸少なく、椀状のカーブをもち、小粒子の砂を付着している。破面は黒色で多孔質であるが、気泡は小型で黒色に光沢がなく、鍛冶滓とは趣を異にする。大きさは76×43×27mmで重量は56gであった。

顕微鏡組織： 図版18-30に示す。鉍物組成は、巨大結晶となった灰色多角状のウルボスピネル（Ulvöspinel：3FeO・Fe₂O₃）と、針状結晶のイルミナイト（Ilmenite：FeO・TiO₂）、それに金属鉄の風化したゲーサイト（Goethite：Fe₂O₃・H₂O）、金属鉄（Metallic Fe）、ガラス質から構成されている。

化学組成： 表9（その1）に示す。全鉄分（Total Fe）は低目で27.5%である。このうち、金属鉄（Metallic Fe）は0.46%、酸化第1鉄（FeO）は20.8%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）は15.5

IV 特 論

%であった。酸化第2鉄は、金属鉄の風化したものが多くを占めるものと考えられる。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は、45.00%であり、二酸化チタン (TiO_2) 11.6%、バナジウム (V) 0.23%、他の随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.56%、クロム (Cr) 0.05%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.32%、銅 (Cu) 0.004%であり、構成成分としてはA・B炉の流出滓や、炉内残留滓と差異がない。同系砂鉄原料を装入して、製錬反応もさほどかわらない。

粉末X線回折： 図33と表10に示す。同定された主体鉱物組成は、Ilmenite ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 \rightarrow \text{AS}$ TMカードNo.3-781)であり、他に少量のFayalite ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow 9-307$)、Diopside ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.3-860)、Ulvöspinel ($3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)らと微量のMagnetite ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.19-629)とAlpha Iron ($\text{Fe} \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.6-696)らが検出された。

31) 18号址B炉裏込め使用小鉄塊 (亜共析鋼) (図版18-36)

外観： や、青味がかかった黒褐色で光沢を有し、部分的に茶色を示す小鉄塊である。表裏ともに酸化を受けて錆のふくらみをみせている。大きさは $45 \times 30 \times 19\text{mm}$ で、重量は42.7gあった。

顕微鏡組織： 図版18-36に示す。金属鉄 (Metallic Fe) をナイトルで腐食 (etching) した組織である。白い部分はフェライト (ferrite)、黒または層状個所はパーライト (Pearlite) であり、このパーライトの占める面積から炭素 (C) 含有量が0.6%程度と推定される。(写真中央部の漆黒部は割れ目であり、パーライトではない)。フェライトは過熱のため粗大化している。

化学組成： 表9(その2)に示す。全鉄分 (Total Fe) が47.2%であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が7.15%、酸化第1鉄 (FeO) が7.47%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が48.9%で、金属鉄が風化を受けて含水酸化鉄 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) に大部分が変じている。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は23.39%と多く含有され、この影響から二酸化チタン (TiO_2) が5.01%、バナジウム (V) 0.10%であった。随伴微量元素としては、酸化マンガン (MnO) 0.21%、クロム (Cr) 0.03%らは低目であるが、硫黄 (S) は含水酸化鉄になっているので高目の0.092%、五酸化磷0.26%、銅 (Cu) は鉄分が高いため多い目で0.008%であった。

炭素 (C) 含有量は、0.70%の亜共析鋼であり、顕微鏡組織と若干のズレがあるのは酸化鉄が多く夾雑物を含有するからであろう。

32) 17号址D炉出土製錬滓 (図版18-32)

外観： 表皮の大部分は黒褐色で、部分的に小豆色を呈する流出滓である。裏面は灰色で小気泡が散在し、や、粗鬆である。破面は漆黒色で気泡少なく緻密であった。大きさは $69 \times 61 \times 27\text{mm}$ で、重量は181gであった。

顕微鏡組織： 図版18-32に示す。鉱物組成はマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) が大半を

占めている。明瞭な晶癖を示す少量の大結晶と、樹枝状の小結晶が多量に存在する。前者はスラグ融液中で溶解析出機構によって粒成長した結晶である。後者は冷却過程で晶出したものである。^{注33)} 鉱物組成はマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) の他に、ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) とガラス質が認められる。

化学組成: 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は31.1%あり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) 0.27%、酸化第1鉄 (FeO) が35.9%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は4.1%と少ない。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は40.07%であり、二酸化チタン (TiO_2) が14.3%、バナジウム (V) 0.27%である。随伴微量元素は酸化マンガン (MnO) 0.58%、クロム (Cr) 0.07%、硫黄 (S) 0.014%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.24%、銅 (Cu) 0.002%であった。11号址、18号址の鉱滓成分と、大差ない成分構成である。

33) 17号址製錬炉生成鉄片 (図版19-33)

外観: 黒褐色と茶褐色がまだら状に混じった三角形に近い形を示す鉄片である。局部的に錆ふくれが発生し、鉄片であることが判る。大きさは $49 \times 34 \times 4$ mmで、重量は18.6gであった。

顕微鏡組織: 図版19-33に示す。顕微鏡試料には、金属鉄 (Metallic Fe) が残留していないが、全組織が金属鉄風化物のゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) であった。

化学組成: 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は74.8%であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) は25.6%、酸化第1鉄 (FeO) が59.8%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が3.8%であった。顕微鏡観察用の試料は、酸化第2鉄が多くて、化学分析値と相反する結果となった。

この鉄片は、炭素 (C) 含有量が4.48%の銑鉄成分であり、二酸化チタン (TiO_2) 0.30%、バナジウム (V) 0.06%、銅 (Cu) 0.008%を示している。また、酸化マンガン (MnO) 0.05%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.021%と低目で、金属鉄部分の分析結果と考えられる。

34) 17号址B炉出土製錬滓 (図版19-34)

外観: 表皮は茶色を帯びた黒褐色を呈し、木炭を噛み込んだ粗鬆な肌をもつ炉内残留滓である。裏面はや、光沢をもつ灰色で、さざ波状の凹凸を有している。破面は黒褐色と茶褐色に分かれ、前者はや、多孔質気味であり、後者は緻密であった。大きさは $85 \times 79 \times 44$ mmで、重量は289gであった。

顕微鏡組織: 図版19-34に示す。鉱物組成は、白色多角形状のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) と、灰色長柱状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに暗黒色のガラス質から構成されている。

化学組成: 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は35.4%、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.31%、還元過程での酸化第1鉄 (FeO) が18.4%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が

IV 特 論

29.7%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が 29.59%、二酸化チタン (TiO_2) 9.94%、バナジウム (V) 0.26%、随伴微量元素は酸化マンガン (MnO) 0.51%、クロム (Cr) 0.04%、硫黄 (S) 0.068%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.18%、銅 (Cu) 0.007%であった。

35) 17号址B炉出土鉄塊 (白鑄鉄) (図版19-35)

外観： 表皮は茶褐色を呈し、錆化しているが粗鬆さがなく、新しい破面は銀白色を示す金属鉄が残留する。金属鉄は熔融状態を経て、冷却された銑鉄である。大きさは、 $74 \times 36 \times 26\text{mm}$ で、重量は 122.6 gであった。

顕微鏡組織： 図版19-35に示す。外観で破面が銀白色を示していたように白鑄鉄組織である。左側に自然腐食 (etching) を受けたところを、右側にナイトル腐食での組織を示す。いずれも 100 倍である。

この金属鉄は、過共晶組成の白鑄鉄である。白色板状結晶は、初晶のセメントイト (Cementite: Fe_3C) で、地はオーステナイト (Austenite)、常温ではパーライト (Pearlite) とセメントイトとの共晶、レデブライト (Ledebulite) である。当鉄塊は、完全熔融状態から急冷された熱履歴を経ていることが判る。

化学組成： 表9 (その2) に示す。炭素 (C) 含有量が4.28%を示す白鑄鉄である。全鉄分 (Total Fe) は、79.4%であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) の残留は55.2%と多い。酸化第1鉄 (FeO) は12.6%、風化された鉄の酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は34.6%であった。

二酸化硅素 (SiO_2) は2.57%、酸化マンガン (MnO) 0.04%と低く、五酸化磷 (P_2O_5) 0.27%、硫黄 (S) 0.0058%、銅 (Cu) 0.009%、二酸化チタン (TiO_2) 0.26%、バナジウム (V) 0.09%と純度の高い銑鉄であった。

36) 17号址C炉出土鉍滓 (図版19-36)

外観： 表皮は茶色で凹凸激しく割れ目にガラス質が露出する炉内残留滓である。裏面は粗鬆さはなく、灰黒色から暗赤色を呈している。破面は黒褐色でわずかに気泡が散在するが比重は大きい、サイズは $76 \times 73 \times 39\text{mm}$ で 295 gであった。

顕微鏡組織： 図版19-36に示す。鉍物組成は、灰白色の長柱状や針状に晶出したイルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) と、灰色木ざり状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、暗黒色ガラス質で構成されている。なお、不整形の金属鉄 (Metallic Fe) と、ゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) もかなり認められる。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は、39.2%であり、そのうち、金属鉄 (Metallic Fe) が19.8%、酸化第1鉄 (FeO) 6.61%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 20.4%である。酸化第2鉄は、ゲーサイトが大部分を占めると考えられる。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は 38.37%、二酸化チタン (TiO_2) はや、低目で7.82

%である。二酸化チタン (TiO_2) は、顕微鏡組織からみると、イルミナイトの晶出があることから、もう少し高目になるものと考えられるが、10%を割る値であった。試料間のバラツキであろうか。バナジウム (V) 0.2%、酸化マンガン (MnO) が若干低目で0.35%、クロム (Cr) 0.03%、硫黄 (S) 0.044%、五酸化燐 (P_2O_5) 0.12%、銅 (Cu) 0.004%であった。

粉末X線回折： 図33と表10に示す。図33とX線回折図から主体鉱物組成は Alpha Iron (Fe → ASTMカードNo.6-696) が同定され、他に Magnetite (Fe_3O_4 → ASTMカードNo.19-629) と Quartz (SiO_2 → ASTMカードNo.5-490) が少量と、Ilmenite ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ → ASTMカードNo.3-781)、Ulvöspinel ($3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ → ASTMカードNo.25-417)、Brookite (TiO_2 → ASTMカードNo.3-380) らが微量検出された。

粉末X線回折と顕微鏡観察では、IlmeniteやUlvöspinel に、量的な差異がみとめられた。試料内の偏析によるのであろう。

37) 1号址(竪穴住居址) 出土製錬滓 (図版20-37)

外観： 表皮は黒褐色に鉄錆を発生し、肌は粗鬆さをもった鉱滓である。裏面はサザ波状の凹凸を有し、赤褐色を呈している。破面は黒褐色で局部的に鉄錆がみられ、小気泡が散在する。磁性あり。大きさは $31 \times 25 \times 18\text{mm}$ で、重量は19.6gであった。

顕微鏡組織： 図版20-37に示す。鉱物組成は、灰色大型多角形状マグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) と、暗灰色地のガラス質であり、これらの粒界に金属鉄 (Metallic Fe) が不整形状に残留している。なお金属鉄の周縁部の一部はヘマタイト (Hemetite: $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 化している。

化学組成： 表9(その2)に示す。全鉄分 (Total Fe) はや、多い目の41.8%であり、そのうち、金属鉄 (Metallic Fe) が3.64%、酸化第1鉄 (FeO) 29.5%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 21.7%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は、26.03%であり、二酸化チタン (TiO_2) 12.9%、バナジウム (V) 0.31%、随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.42%、クロム (Cr) 0.09%、硫黄 (S) 0.048%、五酸化燐 (P_2O_5) 0.17%、銅 (Cu) は鉄分が高目のせいか多くて0.009%であった。

当鉱滓は、竪穴住居址から出土しているが、顕微鏡組織のマグネタイトの晶出や、化学組成の二酸化チタン (TiO_2) 12.9%、バナジウム (V) 0.31%と高目から製錬滓に分類できる。11号址、17号址、18号址のいずれかから運搬してきたのであろうが、三者ともに成分系は近似しており、どの遺構かの判定は難しい。

竪穴住居址で検出された鉱滓は、鉄分を多く含有しており、各製錬炉より運搬してきて精錬用^{注34)}に選別したのであろう。この選別作業を行なった鉱滓出土の住居址出土類例として、千葉県流山市の中の坪I遺跡^{注34)}があり、ここより出土した鉱滓の鉱物・化学組成は、御幸畑遺跡出土鉱

IV 特 論

滓に近似したものであった。

小 結

〈1〉 御幸畑遺跡の11号址に所在する製錬炉は、60×25cmの楕円形炉である。これより排出された鉍滓は、砂鉄を原料とし、鉍物組成はMagnetite+Fayalite で、化学組成は、TiO₂ 15.2%、V 0.28%の成分をとっている。同一炉より生成された銑鉄は白鑄鉄で炭素量は3.66%であった。

この白鑄鉄と鉍滓の随伴微量元素は、下表に示すような成分関係を示している。

サンプル		成分									
		T.Fe	M.Fe	C	MnO	S	P ₂ O ₅	Cu	Cr	TiO ₂	V
11号址	製錬滓	—	—	—	0.59	0.041	0.28	0.003	0.06	15.2	0.28
	白鑄鉄	72.0	23.1	3.66	0.08	0.065	0.22	0.008	0.02	0.81	0.12

〈2〉 17号址の製錬炉は、U字掘り込み最奥部に残存する55×50cmの焼け跡から竪炉が推定される。3基の製錬炉は、各々砂鉄を原料とし、鉍滓成分はTiO₂ 7.82~14.3%、V 0.20~0.27%である。鉍物組成は二基の鉍滓にMagnetite+Fayalite を晶出するが、1基(C炉)はIlmenite であった。

この竪炉検出の鉄塊は、高炭素含有量の銑鉄でCが2.82~4.48%あった。製錬滓と銑鉄の成分間の動きを示すと下表の如くなる。

サンプル		成分									
		T.Fe	M.Fe	C	MnO	S	P ₂ O ₅	Cu	Cr	TiO ₂	V
17号址	製錬滓	—	—	—	0.58	0.041	0.24	0.002	0.07	14.3	0.27
	銑鉄	74.8	25.6	4.48	0.05	0.021	0.31	0.008	0.01	0.30	0.06
17号址 B炉	製錬滓	—	—	—	0.51	0.068	0.18	0.007	0.04	9.94	0.26
	白鑄鉄	79.4	55.2	2.89	0.04	0.058	0.27	0.009	0.02	0.26	0.09

〈3〉 18号址のA炉は、炉底滓のサイズが、96~70×60×61で厚みが30cmあり、これから炉型を推定すると、箱状もしくは四角柱状となる。この炉から検出された流出滓、炉内残留滓は、ともに鉍物組成にIlmenite が晶出し、化学組成はTiO₂ が14.2~14.6%、Vが0.27~0.29%であることから、高チタン含有の砂鉄使用がうかがわれる。

B炉の炉底滓は、40×45~50cmで排滓口8cmをもつ形状で、炉型は円筒状が推定される。この炉の流出滓及び炉底下の炉床滓は、TiO₂ が11.6~12.5%、Vが0.23~0.24%で、同系成分である。鉍物組成は流出滓にMagnetite、炉床滓にUlvöspinel+Ilmenite が検出された。

なお、同炉の裏込め使用の小鉄塊は、金属鉄が7.15%と低目で、造滓成分が23.4%と鉍滓を多く含んでいるので、製錬滓との成分比較はできなかった。小鉄塊の金属組織は、亜共析

鋼で結晶粒は粗大化傾向を示していた。純鉄に近い海綿鉄が、滲炭雰囲気において、加炭されたものと考えられる。B炉は、主として海綿鉄が製造されたものと推定される。

18号址Pit 出土の砂鉄は、 TiO_2 が17.7%、Vが0.36%を示し、全鉄分が47.6%であった。18号址出土鉍滓の TiO_2 は11.6~14.6%であり、当砂鉄単独装入は考えられない。この砂鉄の単独装入であれば、鉍滓中の TiO_2 は30%前後の高いものになる筈である。

〈4〉 台地上竪穴住居址（1号址）出土の鉍滓は、 TiO_2 が12.9%、Vが0.31%からみて製錬滓であり、多くの金属鉄の残留が認められた。精錬鍛冶（大鍛冶）用に選別した鉍滓であろう。11号址、17号址、18号址のいずれから搬入されたか、さだかでないが、同一遺跡内のものであることは疑いない。

〈5〉 御幸畑遺跡内の製錬炉は、竪炉と箱炉（低炉）の存在が推定される。原料砂鉄は同一成分系のものが使用されたと考えられる。

炉の形態から機能を考えた場合、竪炉は高炭素量の銑鉄用で、箱炉（低炉）は低炭素含有量の海綿鉄製造が推定される。すなわち、竪炉は炉身が高いので長い還元帯をもち、炉内温度が上昇すると共にCOガスと砂鉄の接触時間が長くなる。これに送風風圧を上げると炉内温度が高くなり、生成された鉄中内部へ炭素が、より多く拡散し、滲炭が進んで銑鉄（C：1.7%以上）となる。出来た銑鉄は、硬くてもろいので、左下げ法で脱炭したり、低炭素材と混じて錬鉄素材としたものと考えられる。

また、箱炉は低温還元の原理を利用して炭素量をわずかしき含まない海綿鉄をつくり、材質的に軟らかく鍛造の容易な材料を供給したのであろう。

この高炭素含有量の銑鉄と、低炭素含有量の海綿鉄の二者を組合せて、精錬鍛冶（大鍛冶）作業を行ない、各種鉄器を製造したのであろう。

精錬鍛冶の原料を選別した所は、台地上竪穴住居址であり、住居址群の東南5~10mの所の径7mほどの多量鉍滓は、その残滓と^{*}考えられる。この遺構周辺には、精錬鍛冶遺構の存在も予測される。

4 観音塚遺跡

遺跡は千葉市千葉寺町720-8他に所在し、平安時代に比定されている。

検出された遺構は、住居址19、鍛冶址1、土塋15、貝を含む土塋1である。

このうち、鍛冶址は、長さ3.85m、幅2.2m、深さ0.25mの形状で、その中に炉址が30×40cmで確認された。この炉址周辺からは、椀形鍛冶滓、未成鉄器、鍛造剥片等が出土したので、前者2種の調査を行なった。なお、当遺跡では、埴塼片や羽口片が表面採取品として得られている。^{注35)}

* 編集者注……調査担当の西川は、竪穴住居内で精錬鍛冶原料が選別されたと考えることには慎重である。(II-3参照)。

IV 特 論

38) 鍛冶址出土鍛鍊鍛冶椀形滓 (図版20-38)

外観： 表皮は、や、青味を帯びた黒褐色に一部茶色を混じ、平坦な面にも若干の気泡と粗鬆さをもつ椀形鍛冶滓である。裏面は灰色に鉄錆を発し、凸レンズ状の形で中央部に気泡を多発する。破面は青味がかつた茶褐色で緻密質である。大きさは、 $85 \times 82 \times 26$ mmで、重量は 240 g あった。

顕微鏡組織： 図版20-38に示す。鉱物組成は白色粒状の多量のヴスタイト(Wüstite: FeO)と、長柱状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに地の暗黒色のガラス質から構成されている。

化学組成： 表9(その2)に示す。全鉄分 (Total Fe) は高目で48.3%、金属鉄 (Metallic Fe) は0.29%、酸化第1鉄 (FeO) が多くて46.3%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は 17.12% であった。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は 33.97%、二酸化チタン (TiO_2) は0.40%、バナジウム (V) 0.02%と両者とも低目である。また、酸化マンガン (MnO) 0.08%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.031%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.24%と、随伴微量元素はおしなべて低目となっているが、銅 (Cu) のみは 0.013%と高目である。

この鉄滓は、鍛冶滓でも製品加工時の鍛鍊鍛冶滓 (小鍛冶滓) であり、製鍊滓や精鍊鍛冶滓に比べて随伴微量元素は低目となっている。高目成分は、鉄分と銅 (Cu) である。

39) 鍛冶址出土未成鉄器 (図版20-39)

外観： 長さ45mm、最大幅16mm、高さ11mmの角棒状鉄器半製品である。表面は黒褐色の鉄錆に覆われているが、金属鉄の残留はよく、磁性も強い。重量は 22.05 g であった。

顕微鏡組織： 図版20-39に示す。角状鉄器の鍛伸方向に対して直角にサンプリングした組織で、ナイトル腐食 (etching) である。結晶粒は歪を受け齊粒となっていない。焼なまし^{注36)}を受けておらず、冷間加工段階で放置されたのであろう。組織写真の右側は表層近くで、脱炭され炭素含有量は低く純鉄組織である。写真左側は、や、黒味を帯びているが、これは炭素量が高目で、パーライト (Pearlite) が認められる。鉄器内部で炭素含有量が濃くなっている。鋼中の非金属介在物は少なく純度の高いものであった。

化学組成： 表9(その2)に示す。鉄分の残留は非常に良好であり、全鉄分 (Total Fe) が99.4%あり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) は98.9%を示す。あとは酸化第1鉄 (FeO) で0.58%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) で0.067%であった。

炭素 (C) 含有量は0.19%で軟鋼 (C: 0.13~0.20%) レベルである。二酸化硅素 (SiO_2) 0.15%、酸化マンガン (MnO) 0.01%、硫黄 (S) 0.005%とこれらは非常に低く、五酸化磷 (P_2O_5) 0.080%、銅 (Cu) 0.018%、二酸化チタン (TiO_2) 0.03%、バナジウム (V) 0.01%以下で

ある。原料素材は砂鉄製品と考えられる。

小 結

観音塚遺跡出土鉄滓は、製品加工の段階で排出された鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓）であり、鍛冶炉の火窟曲面を残す椀形滓であった。鉱物組成は Wüstite+Fayalite であり、化学組成は、鉄分48%代と多く、造滓成分は40%代、TiO₂ 0.40%、V 0.02% で両成分は精錬鍛冶滓に比較して約1/10以下の低目である。

観音塚鍛錬鍛冶滓は、取香、御幸畑両遺跡出土の精錬鍛冶滓とは明らかに構成成分が異なっている。

半成品の鉄器片は、結晶粒に歪が残っているところから、冷間加工過程で放置されたと推定される。炭素含有量は端部が脱炭を受け、内部に Pearliteを残して、これらの平均値で0.19%と軟鋼レベルであった。

鍛錬鍛冶滓と鉄器片の成分間の動きを示すと下表の如くなる。

サンプル		成分									
		T.Fe	M.Fe	C	MnO	S	P ₂ O ₅	Cu	Cr	TiO ₂	V
鍛 冶 址	鍛錬鍛冶滓	—	—	—	0.08	0.031	0.24	0.013	0.01	0.40	0.02
	鉄 器	99.4	98.9	0.19	0.01	0.005	0.080	0.018	0.002	0.03	<0.01

5. 稲城台遺跡 遺跡は千葉市東寺山町454～464番地に所在する。^{注37)}24住居址は鬼高期に属する。

40) 東寺山1地区24住居址出土鍛錬鍛冶椀形滓 (図版20-40)

外観： 表皮は淡茶褐色を呈し、粗鬆な部分と、平坦面を有する椀形滓である。裏面は灰褐色で小凹凸を有し、気泡多く砂の粒子を付着した部分も認められる。表裏ともに局部的に鉄錆が発生している。破面は、茶褐色で小気泡を発するが緻密である。大きさは、68×53×36mmで重量は118.7gであった。

顕微鏡組織： 図版20-40に示す。鉱物組成は、白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) と多量の盤状結晶のファイヤライト (Fayalite: 2FeO·SiO₂)、地の暗灰色ガラス質から構成されている。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は、43.5%、そのうち、金属鉄 (Metallic Fe) 0.19%、酸化第1鉄 (FeO) 30.6%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) 27.9%である。造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO) は35.53%であり、二酸化チタン (TiO₂) 0.71%とバナジウム (V) 0.03%とこの二者の含有量は低目である。

また、酸化マンガン (MnO) 0.14%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.065%、五酸化磷 (P₂O₅) 0.03%と、これら随伴微量元素は低く、銅 (Cu) は0.030%と高目であった。これらの構

IV 特 論

成分から、鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓）に分類される。

小 結

出土鉄滓は火窯の底面の曲率をもった形状の碗形滓であり、鉱物組成と化学組成からみて鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓）である。

6. 戸張作遺跡 注38) 遺跡は東寺山遺跡と同じく千葉市東寺山町に位置する。

41) 戸張作表土中出土鉱滓 (図版21-41)

外観： 表裏ともに暗黄褐色で、未還元砂鉄粒子を付着した炉内残留滓である。破面は黒褐色で、気泡皆無の個所と、黒色で小気泡を有する個所が混在し、一部に磁気が感じるところが認められる。大きさは $58 \times 45 \times 40$ mmで、重量は126.6gであった。

顕微鏡組織： 図版21-41に示す。鉱物組成は砂鉄粒子の未還元状態であるマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) と、盤状結晶のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) から構成されている。白色小塊状の金属鉄 (Metallic Fe) も一部に残留する。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分は46.4%で、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が1.79%、還元進行過程の酸化第1鉄 (FeO) が29.5%、金属鉄の風化した酸化鉄と原鉱の未還元酸化鉄の酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が30.9%である。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が19.96%と低目であり、二酸化チタン (TiO_2) は12.9%、バナジウム (V) 0.19%、銅 (Cu) 0.004%である。

製錬滓で、炉内残留中に砂鉄が投入され、これが未還元のまま付着している。

小 結

製錬滓であるが、精錬鍛冶用で選別用に搬入された鉱滓の可能性がある。

7. 金楠台遺跡 注39) 遺跡は松戸市紙敷西金楠台に所在する。7世紀末に比定される住居址より出土した鉄滓である。

42) 金楠台3号住居址出土精錬鍛冶滓 (図版21-42)

外観： 表皮は茶褐色を呈し、粗鬆な肌をもつ鉄滓である。鉄錆もかなり発生している。 $35 \times 30 \times 25$ mmで、重量は20gであった。4個あるうち、最も大きいものを供試材とした。

顕微鏡組織： 図版21-42に示す。鉱物組成は、や、小型白色粒状のウスタイト (Wüstite: FeO) と、灰色多角形状のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4)、灰色木ずり状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、地の暗黒色のガラス質から構成されている。わずかながら金属鉄 (Metallic Fe) も残留する。

化学組成：表9（その2）に示す。全鉄分（Total Fe）は高目の48.9%であり、このうち、金属鉄（Metallic Fe）は0.65%、酸化第1鉄（FeO）は48.6%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）は14.9%であった。造滓成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO）は24.77%、二酸化チタン（TiO₂）は鍛冶滓としては高目の8.41%、バナジウム（V）0.21%である。随伴微量元素は、酸化マンガン（MnO）0.36%、クロム（Cr）0.02%、硫黄（S）0.048%、五酸化燐（P₂O₅）0.20%、銅（Cu）は高目で0.009%であった。

小 結

該品は、鉱物組成及び化学組成からみて、製錬滓と鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓）の中間工程に当る精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）である。

8. 鴻ノ巣遺跡

遺跡は、柏市鴻ノ巣・西高野・花野井の地籍に含まれる地域に立地する。

B地区の24・25住居址より鉄滓及び小鉄塊が出土しているので、これらの調査を行なった。なお、24号住居址からは、土製馬形品と多量の鉄滓が出土しており、祭祀行為が行なわれたと推察されている。25号住居址は、鉄滓、鉄塊と炉址状遺構が検出されていることから鍛冶炉^{注40}と考えられる。

43) 鴻ノ巣25号住居址出土鉄滓(図版21-43)

外観：外皮は黒褐色を呈し、木炭痕と粗鬆な肌をもつ鉄滓である。破面は多量のガラス質部分と、コークス状に黒色で多孔質部分が存在する。大きさは51×49×45mmで、重量は89gであった。

顕微鏡組織：図版21-43に示す。鉱物組成は白色粒状のヴスタイト（Wüstite：FeO）と、灰色木ずり状のファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）、それに暗黒色ガラス質（写真中央に対角線状に存在する）から構成されている。

化学組成：表9（その2）に示す。破面外観で認められたように、ガラス質の多い鉄滓であり、全鉄分（Total Fe）は少なく、19.5%であり、そのうち、金属鉄（Metallic Fe）が0.38%、酸化第1鉄（FeO）13.1%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）12.3%である。

造滓成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO）は高く59.39%であり、このうち二酸化硅素（SiO₂）が高く73.9%を占める。二酸化チタン（TiO₂）は8.06%（再分析で9.91%）、バナジウム（V）0.22%（再分析0.23%）である。随伴微量元素は酸化マンガン（MnO）0.41%、クロム（Cr）0.04%、硫黄（S）0.041%、五酸化燐（P₂O₅）0.20%、銅（Cu）0.003%であった。

鉱物組成が Wüstite+Fayalite であるが、TiO₂ が8.06%と高目であり、これまでに類例をみない成分値であった。

44) 鴻ノ巣不明遺構出土鉄塊(図版21-44)

IV 特論

外観： 黒褐色の鉄錆を發し、表面は凹凸を有する小鉄塊である。新しい破面は黒褐色で、金属鉄を数点、点状に散在させる。大きさは、38×27×20mmで、18gあった。他に小片が6点存在する。

顕微鏡組織： 図版21-44に示す。金属鉄は風化を受けて、ほとんど残留せずゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) となっている。ただし、この酸化鉄にはグラファイト (Graphite) の痕跡が認められるところから、ねずみ銑鉄であったことがうかがわれる。

化学組織： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は71.6%であるが、金属鉄 (Metallic Fe) 23.8%、酸化第1鉄 (FeO) 42.1%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 21.5%である。検鏡組織では、金属鉄の残留は認められなかったが、分析値では23.8%が検出されており、試料間のバラツキであろう。

炭素 (C) 量は、3.02%で銑鉄成分である。二酸化硅素 (SiO_2) はや、高目で2.14%、酸化マンガン (MnO) 0.04%、硫黄 (S) 0.163%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.40%、銅 (Cu) 0.010%、二酸化チタン (TiO_2) 0.49%、バナジウム (V) 0.06%である。

砂鉄製錬素材を原料とした銑鉄で、鍛冶炉において左下げ法により脱炭後、製品化する錬鉄素材となるのであろう。

小 結

鴻ノ巣遺跡25号住居址出土鉄滓は、精錬鍛冶滓 (大鍛冶滓) に分類されるが、特異な成分系であった。鉱物組成は Wüstite + Fayalite で、ガラス質を多く含有しているが、通常の組織である。しかし、化学組織は造滓成分が高く59.39%あり、 TiO_2 8.06%、V 0.22%と、これも高目で他に類例をみない構成成分であった。

不明遺構出土の小鉄塊は、ねずみ銑で炭素含有量は3.02%であった。

精錬鍛冶滓とねずみ銑小塊の成分差を示せば下表の如くなる。

試料	成分	T.Fe	M.Fe	C	MnO	S	P_2O_5	Cu	Cr	TiO_2	V
		25号住居址	精錬鍛冶滓	—	—	—	0.41	0.041	0.20	0.003	0.04
不明遺構	ねずみ銑	71.6	23.8	3.02	0.04	0.163	0.40	0.010	0.02	0.49	0.06

9. 日秀西遺跡 遺跡は、我孫子市日秀西に所在する。古墳時代後期 (鬼高期) に属する住居址より出土した鉄滓の調査を行なった。^{注41)}

45) 日秀西遺跡031C住居址出土鍛錬鍛冶梔形滓 (図版22-46)

外観： 外皮は灰茶褐色を呈し、や、粗鬆さをもつ梔形鍛冶滓の約1/6の破片である。裏面は灰褐色で小気泡を有し、砂粒子を嚙んでいる。破面はコークス状の黒色多孔質である。大き

さは44×58×21mmで、重量は20.4gであった。

顕微鏡組織： 図版22-45に示す。鉱物組成は、巨大白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) と、その間隙にみられるファイヤライト (Fayalite: 2FeO・SiO₂) から構成されている。

化学組成： 全鉄分 (Total Fe) は61.6%と非常に高い含有量である。金属鉄 (Metallic Fe) が0.19%、酸化第1鉄 (FeO) が55.5%、酸化第2鉄が26.0%であった。造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO) は12.7%と逆に低目である。二酸化チタン (TiO₂) 2.24%、バナジウム (V) 0.06%で、鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) の成分である。

随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.12%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.034%、五酸化リン (P₂O₅) 0.27%と全般に低目で、銅 (Cu) は0.011%と高目であった。

46) 日秀西遺跡029-E 住居址出土含鉄鉱滓 (図版22-45)

外観： 茶褐色で角がとれ、鉄塊特有の割れ目の入った小塊である。破面は赤褐色で気泡がない個所が大部分で、局部的に黒色コークス状多孔質部分が混在する。50×41×30mmで、重量は124.7gであった。

顕微鏡組織： 図版22-46に示す。組織写真として示したのは、金属鉄 (Metallic Fe) をナイタル腐食 (etching) したところである。白い部分はフェライト (Ferrite)、黒または層状はパーライト (Pearlite) である。このパーライトの占める面積は、炭素含有量の増加にともなって増してくる。焼ならし状態で0.4%前後で約半分、0.77%で全部パーライトとなる。写真に示すパーライト量であれば、0.15%前後であろう。

なお、別視野には巨大マグネタイト (Magnetite: Fe₃O₄) が晶出しているが、スペースの関係で割愛した。製錬炉で生成された含鉄鉱滓で、選別用素材と考えられる。

化学組成： 全鉄分 (Total Fe) は45.0%であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が4.69%残留し、還元過程の酸化第1鉄 (FeO) が34.3%、金属鉄の風化した酸化第2鉄が19.5%であった。

鉄中の炭素 (C) 量は0.10%で、亜共析鋼である。二酸化硅素 (SiO₂) は、鉱滓共存なので高目で11.3%、酸化マンガン (MnO) 0.36%、硫黄 (S) 0.102%、五酸化リン (P₂O₅) 0.21%、銅 (Cu) 0.009%、クロム (Cr) 0.04%である。二酸化チタン (TiO₂) 13.4%、バナジウム (V) 0.39%。これらの成分からみて砂鉄を原料とするが、金属鉄と鉱滓のマグネタイト組織を合せても、二酸化チタンは高目傾向を示している。

小 結

日秀西遺跡031 C 竪穴住居址出土の鉄滓は、鉱物組成と化学組成から鍛錬鍛冶碗形滓 (小鍛冶滓) に分類できた。鉱物組成は、巨大 Wüstite+Fayalite で典型的晶癖を示した。化学組織は、全鉄分が61.6%と最高に高く、TiO₂ が2.24%と鍛錬鍛冶滓としては、多い目を示した。

IV 特 論

この種の鉄滓で TiO_2 が1%を超えるのは少ない。

同じく029-E住居址出土の含鉄鉍滓は、精錬鍛冶原料となる選別鉍滓と考えられる。全鉄分が45.0%金属鉄4.69%が残留し、炭素量は0.1%の亜共析鋼であった。 TiO_2 13.4%、V 0.39%であった。

遺跡は八千代市村上字込の内に所在する。歴史時代の国分期（9世紀）
10. 村上込の内遺跡 に当る住居址より出土した鉄滓と鉄塊の調査を行なった。^{注42)}

47) 村上込の内遺跡093住居址出土鍛錬鍛冶椀形滓 (図版22-47)

外観： 表皮は青灰色に鉄錆を混じ、木炭痕による凹凸をもつが、全体的に平坦な椀形鍛冶滓である。裏面は表皮と同色で、滴下状凹凸が木炭により圧縮されて角ばった形状になっている。気泡が散在する。破面は、コークス状で、黒色に鉄錆を混じ、多孔質であるが比重は大きい。サイズは、半欠であるが $56 \times 53 \times 34\text{mm}$ で、重量は141.2gであった。

顕微鏡組織： 図版22-47に示す。鉍物組成は、大きな白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) と、灰色盤状結晶のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) から構成されている。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は56.1%、そのうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.25%、酸化第1鉄 (FeO) が57.6%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が15.1%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が22.72%であり、二酸化チタン (TiO_2) 0.36%、バナジウム (V) 0.01%から鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) に分類できる。随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.05%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.048%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.084%と、おしなべて低目であり、銅 (Cu) は鉄分が高いので、随伴して多く0.012%あった。

鉄製品製造過程における最終排出物の滓である。

48) 村上込の内遺跡134住居址出土鉄塊 (白鑄鉄) (図版22-48)

外観： 茶褐色を呈し、鉄錆状の凹凸と、割れ目を有する鉄塊である。新しい破面は、銀白色を示し、白鑄鉄であることが判る。大きさは、 $69 \times 57 \times 50\text{mm}$ で重量は343.4gあった。

顕微鏡組織： 図版22-48に示す。ナイタル腐食 (etching) で、白い組織の部分がセメントタイト (Cementite: Fe_3C) であり、黒い部分はオーステナイト (Austenite) より変化したパーライト (Pearlite) である。白いセメントタイト中に黒色点が見えるのは、セメントタイトとオーステナイトの共晶であるレデブライト (Ledeburite) である。この鉄塊は、亜共晶組成の白鑄鉄である。この種の鉄塊は、冷却速度が左程速くなくとも、黒鉛を析出せずに、セメントタイトやパーライトが存在するのである。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) が88.8%で、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が75.1%、酸化第1鉄 (FeO) が5.07%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 13.9%である。

炭素 (C) 含有量は、2.72%で、亜共晶組成鋼に分類できる。二酸化硅素は、0.45%、酸化マンガン (MnO) 0.01%、硫黄 (S) 0.046%、五酸化磷 (P₂O₅) 0.30%、銅 (Cu) 0.012%、二酸化チタン (TiO₂) 0.17%、バナジウム (V) 0.04%と純度が高く、砂鉄を製錬した生成物といえる。

小 結

- 〈1〉 村上込の内跡出土鉄滓は、鍛錬鍛冶滓(小鍛冶滓)であった。鉱物組成はWüstiteが鍛冶滓特有の晶癖を示す。化学組成は、全鉄分が56.1%と高く、造滓成分は、22.72%と低目である。また、TiO₂ が0.36%で1%を割り、V が0.01%と小数2桁目の数字であった。
- 〈2〉 鉄塊は炭素量が2.72%の白鑄鉄である。含有微量元素も全般に低目で砂鉄を原料とする。該品も鍛冶炉において左下げ法を行ない、脱炭して成品化する素材と推定される。

試料		成分									
		T.Fe	M.Fe	C	MnO	S	P ₂ O ₅	Cu	Cr	TiO ₂	V
093-0294	鍛錬鍛冶滓	—	—	—	0.05	0.048	0.084	0.012	0.01	0.36	0.01
134-0006	白鑄鉄	88.8	75.1	2.72	0.01	0.046	0.30	0.012	0.01	0.17	0.04

11. 佐倉天辺内山遺跡

遺跡は、佐倉市天辺字内山 162 - 3 他に所在する。推定年代は、真間～国分期が考えられる。6号住居址出土の鉄滓を調査した。^(注43)

49) 佐倉天辺出土鍛錬鍛冶椀形滓(図版23-49)

外観： 外皮は灰褐色を呈し、サザ波の凹凸を有する椀形鍛冶滓の1/4程度の破片である。裏面も灰褐色で気泡が多く、木炭痕を有する。ただし裏面から表へかけての周縁部には気泡は発生していない。破面はコークス状で、黒色多孔質である。大きさは64×54×22mmで、重量は78.6gであった。

顕微鏡組織： 図版23 - 49に示す。鉱物組成は、白色粒状で樹枝状に晶出したヴスタイト (Wüstite : FeO) と、灰色長柱状のファイヤライト (Fayalite : 2FeO · SiO₂)、それに金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite : Fe₂O₃ · H₂O) から構成されている。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) が53.8%、そのうち、金属鉄 (Metallic Fe) 0.20%、酸化第1鉄 (FeO) 37.8%、金属鉄の風化した酸化第2鉄 (Fe₂O₃) が34.6%である。

造滓成分 (SiO₂ + Al₂O₃ + CaO + MgO) は20.83%、二酸化チタン (TiO₂) 0.27%、バナジウム (V) 0.01%と低目であり、鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) に分類される。随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.06%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.078%、五酸化磷 (P₂O₅) 0.17%と低目傾向にあり、銅 (Cu) が0.015%と高目である。

IV 特論

小 結

当鉄滓は、鉄成品鍛冶加工時に排出された滓で、製錬滓や精錬鍛冶滓とは、 TiO_2 や V が低目で二次滓であることが判る。

12. 江原台遺跡 遺跡は、佐倉市臼井田字江原台 505 番地他に所在する。歴史時代に比定される住居址より出土した鉄滓の調査を行なった。^{注4)}

50) 江原台151住居址出土鍛錬鍛冶椀形滓 (図版23-50)

外観： 茶褐色を呈する表皮で、肌は木炭痕を有し、やや粗鬆さをもつ椀形鍛冶滓である。中央部に黒褐色と、ひび割れを示す部分があり、鉄分残留の多い所である。裏面は滴下状寸前の凹凸と木炭痕を残し、茶褐色を有している。破面はコークス状の黒色多孔質部分と、黒褐色気泡部分にわかれる。後者は磁性を帯び、鉄分が残留している。大きさは $64 \times 45 \times 33\text{mm}$ で、133.1gであった。

顕微鏡組織： 図版23-50に示す。鉱物組成は、多量に晶出した白色粒状のヴスタイ (Wüstite: FeO) と、少量のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それにガラス質と金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) から構成されている。

化学組成： 全鉄分 (Total Fe) は59.9%と高目であり、このうち金属鉄 (Metallic Fe) が0.44%、酸化第1鉄 (FeO) 32.6%、金属鉄の風化した酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が48.7%である。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は低く13.24%、二酸化チタン (TiO_2) 0.28%、バナジウム (V) 0.02%、他の随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.04%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.061%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.15%らは低目で、鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) の成分構成である。なお、銅は0.010%と、やや高目であった。

小 結

江原台住居址出土鉄滓は、Wüstite の晶出、 TiO_2 が1%以下の0.26%、V 0.02%から鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) に分類される。

51) 木の根遺跡成田層霧頭天然砂鉄 (図版23-51)^{*}

外観： 0.5 mm以下の石英質砂鉄を多く含み黒色を呈する。磁性は弱い。砂鉄採取位置は、成田層上面より約70~80cm下。

顕微鏡組織： 23-51に示す。写真に示す組織は、マグネタイト (Magnetite) 粒子である。

* 編集者注……成田市木の根に所在する、新東京国際空港内No.6 遺跡を2分する形で設けられた、工事用道路の露頭に認められる天然砂鉄を試料とした。肉眼観察では、試料No.24の砂鉄ときわめて近似しており、両者の関係を調べるため分析を行ってみた。

写真視野外には、格子状組織をもつ粒子も散在する。各粒子ともに夾雑物をかなり含んでいる。

化学組成：表9（その2）に示す。磁選なしの採取品なので、砂粒をかなり含有し、その影響が分析値にもでている。全鉄分（Total Fe）が22.8%、そのうち、金属鉄（Metallic Fe）が0.04%、酸化第1鉄（FeO）が6.32%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）が25.5%である。二酸化珪素（SiO₂）は高く43.2%、酸化アルミニウム（Al₂O₃）6.34%、酸化カルシウム（CaO）2.71%、酸化マグネシウム（MgO）9.95%である。二酸化チタン（TiO₂）は低目で3.68%、バナジウム（V）0.09%であった。

小 結

該品のこのままの全鉄分では、鉄分不足で製錬効率が非常に悪くて生産にならない。例えば比重選鉱法のようなかたちで品位を上げて装入したものと考えられる。

13. 公津原遺跡 遺跡は下記に示す所に所在する。縄文時代と歴史時代の遺構が^{注45)}あった。

- 1) Loc. 05は成田市市台方、橋賀台に所在する。推定年代は一世紀頃である。
- 2) Loc. 14は成田市字中台及び同字南園護台で古墳時代（五領期～鬼高期）に比定される。
- 3) Loc. 16は成田市字郷部・堀尾で奈良～平安（真間～国分期）である。
- 4) Loc. 20は成田市山口字船塚台及び同字石塚、同字池之台の三地籍にわたる。奈良～平安時代^{注46)}である。この四遺構より出土した鍛冶滓と鉄塊の調査を行なった。

52) 公津原 Loc. 05 003土壌出土鍛錬鍛冶梔形滓（図版23-52）

外観：表皮は灰褐色を呈し、一部平坦面と木炭痕を有する凹凸が残留する。裏面は茶褐色を示し、滴下状凹凸と、これに高熱で青灰色に変色した炉材粘土を付着する。鉄錆と気泡も一部に残っていた。大きさは55×40×29mmで、重量は87.5gであった。

顕微鏡組織：図版23-52に示す。鉱物組成は、白色粒状で樹枝状に晶出したウスタイト（Wüstite：FeO）と、灰色長柱状で大きく成長したファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）、灰色多角形のヘーシナイト（Hercynite：FeO・Al₂O₃）^{注47)}、地の暗黒色ガラス質らが存在する。

化学組成：表9（その2）に示す。全鉄分（Total Fe）は48.9%と高目であり、このうち、金属鉄（Metallic Fe）が0.25%、酸化第1鉄（FeO）が多く49.2%、酸化第2鉄（Fe₂O₃）が14.8%である。

造滓成分（SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO）は31.07%、二酸化チタン（TiO₂）0.48%、バナジウム（V）0.02%と後者2成分は低目である。また、他の随伴微量元素も低目であり、酸化マンガ（MnO）0.09%、クロム（Cr）0.01%、硫黄（S）0.075%、五酸化燐（P₂O₅）0.18%、銅（Cu）0.009%であった。

二酸化チタンが1%以下、バナジウムが小数1桁目に数字がなく、低目であることから製錬

IV 特論

滓や精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）ではなく、鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓）に分類される。なお、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} = 8$ であるところから、ヘーシナイトの存在が予測されるが、顕微鏡組織でも確認できた。

53) 公津原 Loc. 05 003 土壤中上部出土含鉄鉍滓 (図版24-53)

外観： 外皮は黄褐色部分と、鉄錆の茶褐色部分があり、後者の一部に光沢部分が認められる。破面の鉍滓部分は、コークス状多孔質であり、含鉄部分は黒褐色で磁性を有する。57×41×31mmの大きさで、重量は40.4gであった。

顕微鏡組織： 図版24-53に示す。組織を示した個所は、残留金属をナイトル腐食(etching)している。全体の白い地は、フェライト (Ferrite) であり、黒く細い線はフェライト粒界を示す。結晶粒の粒度番号^{注48)}は5～6番である。この組織から炭素 (C) 量を推定すると、0.03%前後である。

なお、別視野には、マグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) の巨大粒が認められる。恐らく製錬炉で生成された鉄素材として搬入されたもので、まだ精錬鍛冶炉に入れる前の塊と考えられる。

化学組成：全鉄分 (Total Fe) は48.4%であり、金属鉄 (Metallic Fe) の残留は12.0%、酸化第1鉄 (FeO) が32.2%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が16.2%であった。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は少なく13.07%、二酸化チタンは偏析からか高目で18.4% (再チェック：14.81%)、バナジウム (V) 0.46% (再チェック：0.40%) であった。

他の随伴微量元素は、酸化マンガン (MnO) 0.49%、クロム (Cr) 0.17%、硫黄 (S) 0.044%、五酸化燐 (P_2O_5) 0.12%、銅 (Cu) 0.007%である。

化学組成からも該品が製錬炉から出てきた生成物で、鍛冶以前の塊であることが証明される。

54) 公津原 Loc. 14 002 住居址出土鍛錬鍛冶椀形滓 (図版24-54)

外観： 表皮は青灰褐色を呈し、や、なめらかな凹凸をもつ椀形滓である。裏面は鍛冶炉の炉底曲面を示すアールを示し、凹凸なく青灰色に変色した炉材粘土と砂粒を付着し、ところによって鉄錆を滲ませている。破片であるが大きさは90×64×35mmで、重量は262gであった。

顕微鏡組織： 図版24-54に示す。鉍物組成は、白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO)、灰色盤状結晶及び長柱状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、灰色多角形状のヘーシナイト (Hercynite: $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)、地の暗黒色ガラス質から構成されている。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は48.1%で、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.22%、酸化第1鉄 (FeO) が44.8%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が18.6%、造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が32.94%である。造滓成分のなかで $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} = 9.94$ となり、ヘーシナイトの存在が予測される。

二酸化チタン (TiO_2) は0.26%、バナジウム (V) 0.01%であり、他の随伴微量元素は酸化マンガン (MnO) 0.06%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.007%、五酸化燐 (P_2O_5) 0.057

％、銅 (Cu) 0.009％であった。二酸化チタン以下の各成分が低目であるところから、鍛錬鍛冶滓に分類される。

粉末X線回折： 図33と表10に示す。当鉄滓の鉱物組成の主なるものは、Fayalite ($\text{Fe}_2\text{SiO}_4 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.20-1139、同じく $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.9-307)であり、他にQuartz ($\text{SiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.5-490)、Wüstite ($\text{FeO} \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.6-615)が少量と、Hematite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.13-534)とAkermanite ($2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{ASTM}$ カードNo.4-681)らが微量同定された。

55) 公津原 Loc. 14 019住居址出土二段生成鍛錬鍛冶梘形滓 (下段部分) (図版24-55)

外観： 表皮は青灰褐色を呈し、粗鬆な肌で木炭痕を有する梘形滓である。裏面は表皮と同色で鉄錆を若干発生し、凹凸激しく木炭痕も多い。破面はコークス状の黒色多孔質で木炭の噛み込みが認められる。大きさは、2段重ねで、 $83 \times 80 \times 69\text{mm}$ あり、重量は442.6 gであった。

顕微鏡組織： 図版24-55に示す。写真視野は金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) とファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、ガラス質で占められているが、別視野では白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) と灰色木ずり状のファイヤライト、及びヘーシナイト (Hercynite: $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) と地の暗黒色のガラス質から構成されている。

化学組成： 全鉄分 (Total Fe) は55.8％と鍛冶滓特有の高目であり、このうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.29％、酸化第1鉄 (FeO) が42.1％、金属鉄の風化した酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が32.5％である。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は低目の20.01％であり、このうち $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ の比が4.85でヘーシナイト (Hercynite: $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) が存在する。二酸化チタン (TiO_2) は0.52％、バナジウム (V) 0.02％と両者低目である。他の随伴微量元素も全般的に低目であり、酸化マンガン (MnO) 0.06％、クロム (Cr) 0.01％、硫黄 (S) 0.054％、五酸化磷 (P_2O_5) 0.090％、銅 (Cu) 0.007％であった。

56) 公津原 Loc. 14 019住居址出土二段生成鍛錬鍛冶梘形滓 (上段部分) (図版24-56)

外観： 表皮は淡茶褐色を呈し、肌は凹凸を有するが、下段より平坦さをもつ梘形滓である。裏面は滴下状凹凸に木炭痕を残す。破面は、コークス状の黒色多孔質で、下段外観と大差ない。

顕微鏡組織： 図版24-56に示す。鉱物組成は白色粒樹枝状のヴスタイト (Wüstite: FeO) と灰色盤状結晶のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、灰色多角形状のヘーシナイト (Hercynite: $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)、金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、地の暗黒色のガラス質から構成されている。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) 51.1％で、このなかには、金属鉄 (Metallic Fe) が0.13％、酸化第1鉄 (FeO) 31.0％、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が38.4％、造滓成分

IV 特 論

($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が23.9%である。 $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaO} = 6.14$ からヘーシナイトが存在する。

二酸化チタン (TiO_2) 0.42%、バナジウム (V) 0.02%、他の随伴微量元素は酸化マンガン (MnO) 0.06%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) が高目の0.227%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.075%、銅 (Cu) 0.008%である。

試料55の下段椀形滓と、組織的にも成分的にも差異がほとんどなかった(但し硫黄含有量のみ差あり)。同一素材の鍛錬鍛冶を行なった際の排出物であり、下段排出の椀形滓を除くことなく、次の作業に入ったものと考えられる。

57) 公津原 Loc. 16 043住居址出土鍛錬鍛冶椀形滓 (図版25-57)

外観： 外皮は茶褐色を呈し、比較的平かつな肌をもつ椀形滓である。ただし椀形滓の周縁を欠失した中核部である。裏面は表皮と同色で凹凸があり、木炭痕を有する。破面はコークス状の黒色多孔質である。大きさは71×54×24mmで59.8gであった。

顕微鏡組織： 図版25-57に示す。鉱物組成は多量の白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) と、灰色長柱状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、地の暗黒色のガラス質から構成されている。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) が56.5%と高目であり、そのうち、金属鉄 (Metallic Fe) 0.19%、酸化第1鉄 (FeO) 53.3%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 21.2%である。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は20.31%と低目であり、二酸化チタン (TiO_2) 0.52%、バナジウム (V) 0.02%と少ない。他の随伴微量元素は酸化マンガン (MnO) 0.07%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.105%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.14%、銅 (Cu) 0.010%であった。硫黄の含有量が高目であるのは木炭樹種もしくは木炭組成のせいであろうか。この鉄滓も鍛錬鍛冶椀形滓である。

58) 公津原 Loc. 20 077鍛冶址出土鍛錬鍛冶椀形滓 (図版25-58)

外観： 表皮は灰茶褐色で、一部に凹凸があるが、ほぼ平な椀形滓である。端部の一部を欠失する。裏面は鍛冶炉底の曲面を示し、滴下状の凹凸で木炭噛み込みと、木炭痕を有する。色は黒褐色を呈し、鉄錆を発している。破面は、コークス状で黒色多孔質であった。大きさは76×69×30mmで重量は202.5gである。

顕微鏡組織： 図版25-58に示す。鉱物組成は白色粒状の多量のヴスタイト (Wüstite: FeO) と、その隙間に灰色盤状のファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、それに金属鉄の風化したゲーサイト (Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) が存在する。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は53.4%と高く、そのうち、金属鉄 (Metallic Fe) が0.12%であり、酸化第1鉄 (FeO) が46.1%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が24

.9%である。

造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は23.59%、二酸化チタン (TiO_2) 0.36%、バナジウム (V) 0.02%、他の随伴微量元素は酸化マンガン (MnO) 0.07%、クロム (Cr) 0.01%、硫黄 (S) 0.024%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.16%、銅 (Cu) 0.009%であった。

当鉄滓も鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) に分類できる。

59) 公津原 Loc.20 300掘立柱建物跡出土ねずみ銑鉄塊 (図版25-59)

外観： 全体が茶褐色で卵形を呈する鉄塊である。ひび割れ部と、小さくそば立ちをみせる肌は鉄酸化物特有のものである。金属鉄の破面は、金属光沢をもつ灰色で、ねずみ銑鉄であることが判る。

顕微鏡組織： 図版25-59に示す。金属組織は左側に腐食なし、右側にナイトル腐食 (etching) の結果を示す。炭素 (C) の大部分が片状黒鉛になっており、ねずみ銑鉄 (gray cast iron) と呼ばれる銑鉄である。腐食組織で片状黒鉛のまわりには、黒色のパーライト (Pearlite)、白い組織のフェライト (Ferrite) が析出している。当鉄塊は、銑鉄が冷却過程で徐冷を受けたことを示している。

化学組成： 表9 (その2) に示す。全鉄分 (Total Fe) は91.8%で、このうち金属鉄 (Metallic Fe) が89.1%と非常に残りが良い。酸化第1鉄 (FeO) 11.5%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 2.60%である。炭素 (C) 含有量は3.5%、二酸化硅素 (SiO_2) は0.09%、酸化マンガン (MnO) 0.01%、硫黄 (S) 0.046%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.45%、銅 (Cu) 0.015%、二酸化チタン (TiO_2) 0.01%、バナジウム (V) 0.01%、クロム (Cr) 0.004%と純度の高いねずみ銑鉄であった。

小 結

<1> 公津原遺跡の Loc.5、Loc.14、Loc.16、Loc.20 の各遺跡から出土した鉄滓は、鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) である。いずれも鉱物組成は、Wüstite を晶出し、化学組成の TiO_2 は1%以下で、0.36~0.52%、V が0.01~0.02%と低目である。又、全鉄分は48.1~55.8%と高目で、造滓成分は20~31%あった。小鍛冶を中心とした工房址と考えられる。

<2> 鍛錬鍛冶滓7個中4個から Hercynite が検出された。Hercynite は $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ の比が4以上の鉄滓で認められている。公津原遺跡での製錬及び精錬鍛冶素材の成分的特徴や、鍛冶作業での熱履歴の反映として注目される。

参考までに Hercynite 検出鉄滓の類例を示せば下表の如くである。

	注49)	注50)	注51)	注52)	注53)	
	公津原 椀形滓	千草山 椀形滓	中山遺跡 椀形滓	高岡庵寺 鉄滓	門田南側台地 鉄滓	大車田3号墳 鉄滓
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$	4.6, 6.1 8.0, 9.9	3.7	9.5	4.5	6.0	4.0

(注) Loc 5→8.0, Loc14→9.9, Loc14 2段重ね 下→4.9, 上→6.1

IV 特 論

- 〈3〉 Loc. 14出土の鍛錬鍛冶椀形滓は2段重ねであった。この類例としては千葉市教育委員会調査の荻生道遺跡^{注54)}出土品がある。
- 〈4〉 Loc. 5から出土した含鉄鋳滓は、TiO₂ が18.4%、V 0.46%で製錬滓成分である。含鉄中の金属鉄は12.0%であり、この金属組成は極低炭素鋼 (C:0.02%前後)であった。該品は精錬鍛冶用に搬入されたものと考えられる。
- 〈5〉 Loc. 20出土の鉄塊は、炭素含有量が3.50%の銑鉄であり、金属組織は冷却速度の遅い銑鉄に現われる片状黒鉛を析出したねずみ銑であった。鍛錬鍛冶(小鍛冶)における原料と考えられる。
- 〈6〉 公津原遺跡出土の製錬滓と鍛錬鍛冶滓と鉄塊の成分間の動きを示せば下表の如くなる。

サンプル		成分									
		T,Fe	M,Fe	C	MnO	S	P ₂ O ₅	Cu	Cr	TiO ₂	V
Loc 5	含鉄製錬滓	48.4	12.0	0.10	0.49	0.044	0.12	0.007	0.17	18.4	0.46
	鍛錬鍛冶滓	48.9	0.25	0.08	0.09	0.075	0.18	0.009	0.01	0.48	0.02
Loc 20	鍛錬鍛冶滓	53.4	0.12	0.22	0.07	0.024	0.16	0.009	0.01	0.36	0.02
	銑 鉄	91.8	89.1	3.50	0.01	0.046	0.45	0.015	0.004	0.01	0.01

14. 阿玉台北遺跡

遺跡は香取郡小見川町五郷内字立山に所在する。時期不明の土壤中より出土した鉄塊の調査を行なった。^{注55)}

60) 阿玉台北遺跡004P; 土壌出土白鑄鉄塊 (図版25-60)

外観： 全体的には黄褐色であるが、鉄錆の茶褐色部分が散在する。表側は中窪みがあるが平である。破面は銀白色の光沢があり、白鑄鉄であることが判る。大きさは66×55×29mmで、重量は241.6gと重たい。

顕微鏡組織： 図版25-60に示す。組織は金属鉄をナイトル腐食 (etching) したもので、亜共晶組成の白鑄鉄である。白い部分はセメントイト (Cementite: Fe₃C)、黒い部分はオーステナイト (Austenite) より変化したパーライト (Pearlite)、蜂ノ巣状の部分はセメントイトとオーステナイトの共晶でレデブライト (Ledeburite) である。

化学組成： 表9(その2)に示す。全鉄分 (Total Fe) は84.6%で、このうち金属鉄 (Metallic Fe) が71.8%、酸化第1鉄 (FeO) が8.26%、酸化第2鉄が9.10%である。金属鉄の残留状態は良好である。炭素 (C) 含有量は3.25%、二酸化珪素 (SiO₂) が2.61%、酸化マンガ (MnO) 0.01%、硫黄 (S) 0.129%、五酸化磷 (P₂O₅) 0.14%、銅 (Cu) は高目で0.028%である。二酸化チタン (TiO₂) 0.03%、バナジウム (V) 0.01%以下、クロム (Cr) 0.001%で

あった。

小 結

随伴微量元素が低く、純度の高い白鑄鉄である。鍛冶炉において脱炭し、鉄器製造の素材とするのであろう。

iv. まとめと 2・3 の問題

1. Ulvöspinel 組成式からみた製錬技術

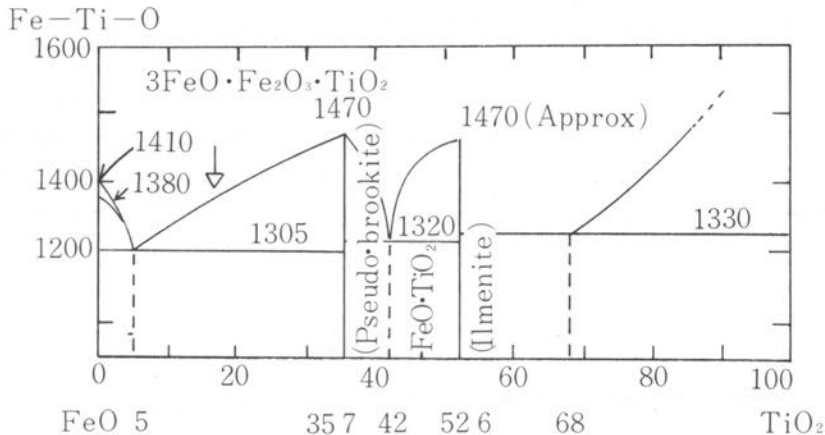
花前製鉄遺跡は、9～10世紀代の竪型製錬炉と鍛冶炉を、取香製鉄遺跡は8世紀前半代、御

幸畑製鉄遺跡は8世紀後半代で、この両遺跡からはいずれも竪型製錬炉と箱型製錬炉が検出された。

これらの製錬炉から採取された鉱滓は、砂鉄を原料としていて、二酸化チタン (TiO_2) が10%以上と高く(但し花前遺跡の一部を除く)、鉱物組成はUlvöspinel、Ilmenite、Magnetiteらで占められている。このうち、Ulvöspinelの組成式は $3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ タイプである。

これに対して、表10に示した西日本の近世たたらを中心に出土する鉱滓のUlvöspinelは、 $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ の組成式で示されるタイプである。房総半島型Ulvöspinelの $3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ と、西日本型Ulvöspinel $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ の溶融点を図34に示す $\text{FeO}-\text{TiO}_2$ 系状態図から類推すれば、前者は 1380°C 前後、後者は 1470°C となる。

この温度差を房総半島古代製錬炉(8～10世紀代)と、西日本近世たたら(18～19世紀代)との製錬技術レベルの格差としてとらえるのか、単なる地域差による原料砂鉄中の脈石の影響な



J.Grieve and J. White, J. Roy. Tech. Coll. (Glasgow), 4,444 (1939).

図34 $\text{FeO}-\text{TiO}_2$ 系状態図

IV 特 論

のかを追求することも、今後の重要な研究課題になるものと考えられる。

なんとすれば、鉍滓溶融温度が鉍物生成温度を全面的に律しないまでも、炉況傾向や炉内反応を押えるファクターとして検討すべき項目と考えられるし、また、西日本型Ulvöspinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ が、岡山県榑山遺跡群の6世紀後半から7世紀代の鉍滓の一部に検出されており、製鉄原料中に含有された不純物の脈石の影響も無視する訳にはいかない状況にある。^{注56)}

この様にUlvöspinelに存在する2種の組成式も、古代製鉄研究上の1つの問題点として提示しておく。

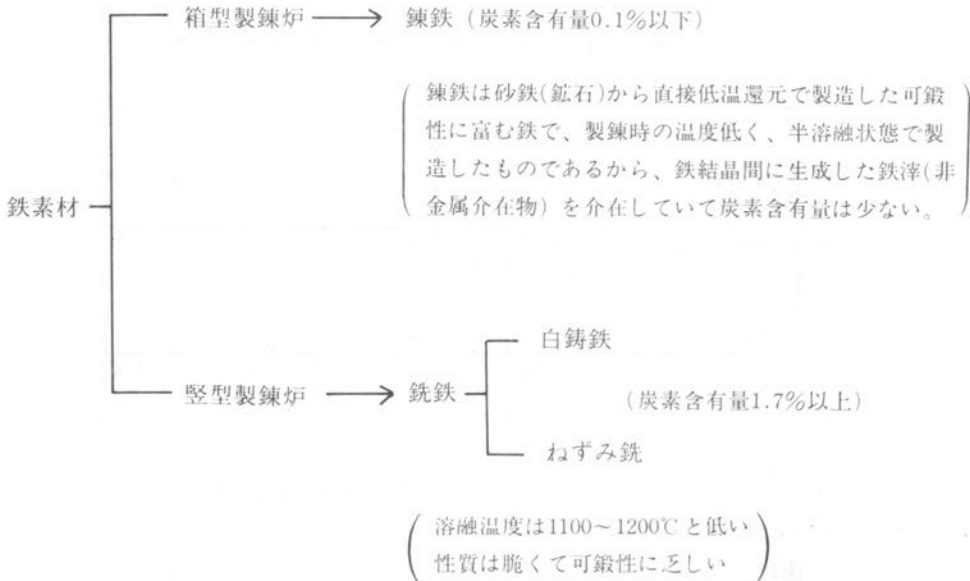
2. 箱型及び豎型製錬炉の共存理由

取香及び御幸畑の両遺跡には、箱型及び豎型の製錬炉が検出された。一つの遺跡において2タイプ製錬炉が存在する理由は何であろうか。これは生成される鉄素材の炭素含有量に係わる問題と考える。

鉄器に要求される性質は、用途に応じて種々あるが、最終的には工具、農具、武器共に鋭利性、強靱性、耐摩耗性等である。これらの性能を満たすには、鉄-炭素合金である鋼を製造することである。

鉄器製造の鉄素材を得る場合、次表に示すように、箱型製錬炉は炉の構造上、比較的低い温度(1,000℃前後)の半溶融状態での還元反応であるので、生成される鉄は極低炭素鋼であり、柔軟で可鍛性に富むが、そのままであれば焼入れはし難く、刃物としての鋭利性が乏しいものになる。これを改善するには、木炭と鉄素材を同時加熱して鍛打する滲炭という手間のかかる熱処理が必要となる。

これに対して、豎型製錬炉は炉断面に比べて炉高のたかいもので、炉の構造上からみて還元



帯が長い。最上部が予熱層となり装入原料は加熱乾燥され、次の還元層で砂鉄は殆んど還元されて金属鉄となる。ここでは、まだ溶融点まで達していないので海綿状を呈し、炉体の下層に至って、木炭と接触して炭素を吸収して溶融点が降下し、加炭層となり、溶解層において木炭の間を溶下する。その間には炭素を飽和して炉床に集積する。ここで生成された鉄は高炭素含有量となり、冷却速度の速い時は白鑄鉄となり、徐冷されたものはねずみ鉄となる。

この高炭素鋼の銑鉄は、そのままでは脆くて鍛造出来ないので、何らかの形で鍛造可能な鋼とする手法がとられたものと考えられる。最も古くから行なわれた方法は左下げ法であろうが、他の方法はなかったのであろうか。

『天工開物』^{注62)}によると、灌鋼という製鋼法があることを示している。鍊鉄と銑鉄を組合せた製鋼法である。この製鋼法は、低炭素含有量の鍊鉄を鍛打して指先の幅ほどの薄片を作り、長さを一寸半ばかりとする。この鉄片を束ねて強くしめ、銑鉄（生鉄）をその上におく。これを豎炉に入れて送風する。火力がまわると銑鉄がまず溶けて鍊鉄の中にしみこみ、両者はすっぽりまざりあう。とり出して打ち鍛え、さらに精鍊して、さらに打つ。一回ではすまない。こうして鍛造可能な鋼を製造するのである。

箱型製鍊炉で柔軟な低炭素鍊鉄素材を、豎炉で高炭素含有の脆くて硬い銑鉄を製造して複合精鍊したと考えられる。

以上のように箱炉と豎炉の同時操業において、灌鋼などの存在の可能性が考えられたのであるが、製鍊炉の推移動向からみると箱式炉が先行して、豎炉が後追した痕跡もみとめられる。^{注63)}製鍊技術の流れとして、箱炉から豎炉へ変換したのであれば、箱炉製鍊の鉄素材は柔軟で、鉄器性能を高めるには滲炭処理で手間どり、非能率で需要に追いつけないという問題も生じたものと考えられる。これにひきかえ、豎炉生成素材の銑鉄は、左下げ法で脱炭することにより、炭素量コントロールは容易で省力化となり、精鍊鍛冶技術も定着して東日本の高チタン砂鉄の豊富に産する地域において豎炉が主流となったものと推察される。

なお、豎炉で製鍊された銑鉄は、製鋼法として、左下げ法以外に、沙鋼も考えられる。中国大陸の戦国秦漢に開発された方法で、これは銑鉄（生鉄）を加熱溶解し、空气中で攪拌脱炭（酸化による）して鋼にする方法である。又、他に鑄鉄脱炭鋼という、製品に鑄込んだ後に脱炭して性能改善する方法もある。^{注64)}これらは、鉄製品の調査により、どの様な製鋼法がとられたか^{注65)}明らかになることであらう。

V. おわりに

花前、取香、御幸畑らの諸製鉄遺跡は、豎炉や箱炉の製鍊炉と共に黒炭製炭用窯が共伴し、かつ工房址や集落跡などが有機的な関係で捕えられた事例として、古代製鉄を研究する上で重要

IV 特 論

なところである。

今回、このような遺跡をはじめとして、千葉県下15遺跡より出土した原料砂鉄や鋳滓、また精錬鍛冶滓や鍛錬鍛冶滓及び鉄塊らについて、冶金学的基礎データの一部である鋳物組成と化学組成の所見を提出することができた。しかし、古代製鉄における冶金学的研究の究極の目的は、操業過程での炉内反応性まで考察すべきであろう。それには、原鋳、木炭、炉材粘土、鋳滓、生成された粗鉄、粗銑、鍛冶滓等の総合データが収集されて可能になるわけである。拙稿は、その一部の資料を、速報的に提示したもので、今後の研究発展にいささかでも寄与できたらと念ずる次第である。

末尾になったが、本稿発表の機会をもうけて頂いた千葉県文化財センターの沼澤豊氏と産業史研究所の穴澤義功氏に謝意を表します。

注

- 1 鎌田仁『最近の鉄鋼状態分析』アグネ社、昭45
 - 2 本書II-1 参照。
 - 3 ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)。斜方晶系に結晶する鉄ケイ化物のこと。融熔点 990°C 、比重 $4 \sim 4.2$ 。 $2\text{FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ の反応による生成物。
光学的性質; ファイヤライトは斜方晶系に属し、反射偏光を示す。屈折率 ($N_g = 1.886$) は酸化鉄鋳物に比べれば低く、マトリックスのけい酸塩の中では比較的高い。ファイヤライトは焼結中に現われる場合、スラグ中に、よく木ずり状となって晶出するため、この場合その特徴ある組織から他鋳物との識別は容易である。透過光では、開ニコルで無色であり、交差ニコルで淡黄色、黄緑色、黄橙色などを呈する。
微小硬度; 微小硬度は $600 \sim 700\text{Hv}$ 程度である。
 - 4 丸山益輝「鉄滓による“たたら”炉内反応の解析」『たたら研究第22号』たたら研究会、昭53
 - 5 マグネタイト (Magnetite; Fe_3O_4)。 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ でも表わされ、 FeO の2箇の Fe は、 Mg または Ni で置換され、また別に TiO_2 を含むこともある。立方晶で普通正八面体。
鋳物特性
光学的性質; マグネタイトは等軸晶系に属し、屈折率は $N_g = 2.42$ で、わずかに黄色を含む灰白色を呈し、反射光度は弱い。反射偏光を示さず、このことは屈折率の低いことと共にヘマタイトと明瞭に識別できる。マグネタイトは不規則塊状の大きい結晶を生成し、また往々にして樹枝状、四面体、八面体などで観察される。晶癖の面からヘマタイトとは異なる。透過光では不透明である。
腐食性; マグネタイトは王水により黄変するが、ヘマタイトは変化せず、ヘマタイトと識別される。また SnCl_2 飽和溶液^{*}によって侵されず、ウスタイトは $1 \sim 2$ min で暗灰色を呈するのでウスタイトと識別される。
微小硬度; $500 \sim 600\text{Hv}$ でヘマタイトとは相当の差異を有する。
- * 腐食液の SnCl_2 飽和アルコール溶液の代用として、 SnCl_2 の 1% HCl 飽和溶液を代用してもよい。

- 6 ヴスタイト (Wüstite: FeO)。Fe-O系二元状態図における鉄と酸素との固溶体のこと。FeO (O₂ 22%) は α Feに分かれる共析反応 (eutectoid reaction) をおこす。すなわち Wüstite 570°C Fe₃O₄ + α 鉄となる。

鉱物特性

光学的性質: マグネタイトと同様に等軸晶系に属し、反射偏光を示さない。屈折率もマグネタイトよりわずかに低く、色調もマグネタイトより灰色を帯びているが、その差はあまり大きくない。形状は一般に球状、樹枝状およびマグネタイトとの共晶の形で観察されるが、光学的性質だけではマグネタイトと識別しがたい。透過光ではマグネタイトと同様、不透明である。

腐食性: ヴスタイトの明確な識別は、エッチ・テストによるのがよく、SnCl₂ 飽和溶液により1~2 minで完全か、それに近い程度まで腐食されるのでマグネタイトと識別される。

- 7 ウルボスピネル (Ulvöspinel)。TiFe₂O₄なる尖晶石に産地 Ulvö Islands, Angermanland 群島 (北瑞典) に因んで与えられたものであるが含チタン磁鉄鉱の最も普通な成分で磁鉄鉱の(100)に平行に甚だ細かい溶離葉片をなすことが明らかになった。Fredrik Mogensen 1946; Paul Ramodohr, 1953。(鉱物としての説明)

- 8 イルミナイト (Ilmenite)。チタン鉄鉱 Menaccanite 又は Titanic Iron Ore とも言う。三菱面像、C軸=1.3846、結晶は通常厚板状; 鋭菱面体、薄板状又は葉片状をなすこと多し。塊状、緻密; 粒状、砂状、原子構造は鋼玉に同じくAl原子の半分をFeにて、又残りの半分をTiによって代表す。断面貝殻状、硬度5~6、比重4.5~5、亜金属光沢、鉄黒色、条痕亜金属質、粉末は黒色及至褐赤色、不透明、磁石に僅かに感ず。FeTiO₃=FeO、TiO₂即ちO 31.6、Ti 31.6、Fe 36.8=100時に(Fe、Ti)₂O₃とも書く。又FeをMgによって置換するものあり、Picrotitaniteと称し(Fe、Mg)O·TiO₂なる組成を有す。分析結果に差違あるは少なくともその一部は赤鉄鉱又は磁鉄鉱と密なる平行連晶を示すためなり。産地 Miask in the Ilmen Mts.に因みて命名さる。(以上は鉱石としての説明である、本稿では人工鉱物である)

- 9 丸山益輝前掲書4

- 10 ゲーサイト (Goethite: Fe₂O₃·H₂O)。褐鉄鉱の構成物質の一つで、Fe₂O₃=89.86%、H₂O=10.14%。一般に黄褐色、赤褐色をし、条痕は黄色で結晶質のものから土状の非晶質のものまである。硬さ5~5.5。比重4.23~3.3。熱することにより脱水し、赤鉄鉱に変化する。

- 11 初析セメントイト (Proeutectoid cementite: free cementite)。過共析鋼 (C 0.85%以上)においてAcm線上から析出するセメントイトをいう。このセメントイト(Fe₃C)はオーステナイトの結晶境界にそって析出し、その形状は網状を呈するので、網状セメントイトともいう。顕微鏡的には、ピクリン酸アルコール溶液で腐食すれば、白色の網状にでるので初析フェライトと区別しにくい、ピクリン酸ナトリウム溶液中で煮沸すると黒く出るので、初析フェライトと十分に区別することができる。

- 12 パーライト (Pearlite)。フェライトとセメントイトの共析晶 (eutectoid) をパーライトという。顕微鏡的にはフェライトとセメントイトの薄片(厚さ2.5/10,000~5/100,000 mm)が互いに層状になっており、斜光線を用いて検鏡すると、ちょうど真珠 (Pearl) のような光沢を呈するのでパーライトと名づけられた。パーライト組織はオーステナイト状態の鋼を徐冷(焼なまし)したときに得られる組織で、いわゆる焼なまし状態のものである。パーライト組織を加熱すればA₁変態(726°C)において全部オーステナイトに変化する。パーライトは硬さ、強さは小で磁性を有し、かつ比重はオーステナイトとマルテンサイトの間で鋼の組織中でもっとも安定である。従来のパーライトはフェライトとセメントイトとの機

IV 特 論

機械的混合物(混合比≠一定)に対して与えられた組織名のため、その混合形態に応じて、層状のものを層状パーライト(lamellar Pearlite)、球状パーライト(granular Pearlite)と名づけていたが、最近ではフェライトとセメントタイトとが層状になっているもののみをパーライトといい、その層間隔の大小によって普通パーライト(normal or coarse Pearlite)、中パーライト(medium Pearlite)、微細パーライト(fine Pearlite)の三つに分類している。

- 13 セメントタイト(Cementite)。Fe₃Cで示される正斜方晶の炭化鉄につけられた組織の名称。
- 14 オーステナイト(Austenite)(大洲田)。炭素を固溶しているγ鉄、すなわち固溶体(侵入型)をオーステナイトといい、焼き入れ鋼の組織の一つである。イギリス人 Sir Robert Austen 氏の偉大な研究を記念するために命令された。わが国においては本多博士が顕微鏡組織に関連させて大洲田と当て字された。結晶構造は面心立方晶系(facecentred-cubic)で、鋼を A₁ 変態点(726℃)以上に加熱したとき得られる組織である。炭素含有量に応じてオーステナイトは物理的および機械的性質を異にする。たとえば炭素量の多いオーステナイトほど硬さは大となる。オーステナイトは非磁性体(nonmagnetic)で電気抵抗は大である。硬さはマルテンサイトよりも小であるが、引張強さに比較して伸びが大である。また常温においては不安定な組織で、常温加工を施せばマルテンサイトに変化する。顕微鏡的には多角形の組織を示す。焼き入れ鋼におけるオーステナイトの量は高炭素の鋼ほど、また焼き入れ温度の高いものほど多く、その最大量は50~60%にも及ぶといわれている。
- 15 非金属介在物(non-metallic inclusion)。鉄鋼中に介在する固形体の非金属性不純物、すなわち鉄、マンガン、珪素および燐などの酸化物、硫化物、珪酸塩などを総称して非金属介在物という。脱酸生成物および製鋼炉での精錬過程で除去し得なかった非金属粒子、また出鋼時、造塊時に混入した耐火物または鋼滓粒子などがそのまま鋼中に内包されたものである。サンド・マーク(sand mark)もこの類に属する。
- 16 フェライト(ferrite)。α鉄を組織学上フェライトという。ラテン語の鉄(Ferrum)よりきた言葉である。その成分はほとんど純鉄に近いものである。0.85%C以下の鋼においては、いわゆる free ferrite(初析フェライト)として存在している。ピクリン酸または硝酸のアルコール溶液などで腐食するときは着色されず、白色の組織として現われるものである。フェライトはやわらかく、展延性が大きく、強磁性体である。しかし保磁力は小である。
- 17 析出(Precipitation)。固溶体から異相の結晶が分離成長する現象。
- 18 椀形滓「椀形滓は鍛冶滓の一種であり、直径12~18cmのや、楕円形を呈した浅い椀形の鉄滓である。鍛冶工房で大鍛冶や鍛え鍛冶にもなって発生するものと、小鍛冶の作業にもなって発生するものがあり、前者の表面はやや製錬滓に近い外観をしており、後者の方はや、小形で質も均一に粗鬆である。いずれも吹子直下の火床中に形成されるもので、鉄滓と薬灰、あるいは山土との焼結状態を呈している。」以上は窪田蔵郎『鉄の考古学』雄山閣、昭47
- 19 白鑄鉄(White cast iron)。別名白鉄(White pig iron)とも呼ぶ。破面が白色をしている鉄鉄を白鉄という。白鉄は鑄込み条件の差(冷却速度の違いの場合)などによって生じるもので、セメントタイトとパーライトよりなり、白色のセメントタイト部分がきわめて多いので白色を呈す。
- 20 亜共晶(Hypo-eutectic untereutectisch)。Fe-C 状態図において、共晶成分(C 4.3%)

- のものより低炭素の範囲組成のものを亜共晶組成という。この組成に相当するものは、初晶としてオーステナイトを晶出する。
- 21 レデブライト (ledeburite)。鉄-炭素合金におけるオーステナイトとセメンタイトとの共晶をレデブライトという。これは発見者 LEDEBOUR (独)の名をとったもので別名Wüstともよばれる。炭素量は4.3%、生成温度は1,140℃である。
- 22 左下げ法。和鉄または鋸を原料とし、これを加熱半融し、脱炭して鍛治し、錬鉄すなわち庖丁鉄を製造する方法。
- 23 鋸(けら)。日本古来の直接製鋼法ともいうべき鋸押し(和鋼製造法)における粗製品で、成分上は各種品質の鋼の集合体。たたら炉内から引き出した大塊は単に鋸塊とよばれるが、これが破碎選別されて各種の和鋼(ひはがね・みずはがね・つくりはがね等々)となるわけである。
- 24 銑(ずく)。一般に銑鉄、わけても鋳物銑のことを「ずく」と呼ぶが、歴史的には古来の砂鉄製錬法(たたら吹き)によって製出された和銑(わずく)をさす。生鉄(なまがね)とも呼ばれる。和銑はすべて白銑で赤目砂鉄を原料とした白銑は赤目白銑(あこめしろづく)、真砂砂鉄から製出されたものは真砂白銑(まさしろずく)という。往時は鉄びん・なべ・かまなど国内の日常鉄器の鑄造用原料としてひろく使われた。
- 25 本書II-2 参照
- 26 α -ヘマタイト (α -Hematite; Fe_2O_3)
- 鉱物特性
 光学的性質：六方晶系に属し、屈折率($N_g=3.22$)が非常に大きく、焼結鉱中に出現する鉱物のうちではもっとも明るく、青白色を呈し、さらに反射偏平を示して、マグネタイト、ウスタイトと識別される。一般にヘマタイトは、再結晶がほとんど均質に行なわれ、小結晶が無数に形成されて、それらの相互融着により大きい結晶へ生成していく傾向を有するため、焼結鉱中に生成するヘマタイトは再酸化によるものを含めて自形の結晶形をとることが多く、針状、板状、あるいは三角形から六角形まで種々の多角形の形で現われる。透過光でわずかに赤褐色を呈する。
- 腐食性：王水(塩酸3容、硝酸1容)により侵されず、マグネタイトは黄変し、ウスタイトは瞬時に黒変することにより識別される。
- 微小硬度：顕微鏡の視野一面がヘマタイトの場合、または微粒子で識別困難なときに、ヘマタイトは微小硬度約1,000Hvを示し、酸化鉄鉱物中もとても高い硬度を示すので識別の一助とする。
- γ -ヘマタイト (γ -Hematite, Fe_2O_3)
 光学的性質の中で、 α -ヘマタイトと偏光しない点だけ異なり、他は α -ヘマタイトと同様で、腐食性、微小硬度も変わらない。
- 27 大澤正己「真木山遺跡出土の鉄滓・鉄塊の調査」『真木山製鉄遺跡』(豊浦町文化財報告二)新潟県豊浦町教育委員会、昭56
- 28 大澤正己「山口県の製鉄遺跡出土の鉄滓調査」『生産遺跡分布調査報告書』〈採鉱・冶金〉(山口県埋蔵文化財調査報告書第67集)山口県教育委員会、昭57
- 29 精錬鍛冶滓と鍛錬鍛冶滓でマグネタイト(Magnetite: Fe_3O_4)が検出されているものとして14例がある。
- 大澤正己「寄居町中山遺跡1号住居跡出土鉄滓の調査」『中山遺跡』埼玉県埋蔵文化財調査事業団、昭57
- 30 本書II-3 参照。

IV 特 論

- 31 岩瀬慶三『砂鉄の研究』科学主義工業社（555頁）、昭17
- 32 宮崎勢四郎他『鑄鉄・鑄鋼』（鉄鋼工学講座9）朝倉書店（68頁）、昭45
- 33 湊秀雄・佐々木稔「タタラ製鉄鋳滓の鉍物組成と製錬条件について」『たたら研究第14号』、昭43
- 34 穴澤義功「千葉県流山市中ノ坪Ⅰ・Ⅱ製鉄遺跡」昭和56年度たたら研究会大会研究発表要旨、昭56。鋳滓の顕微鏡組織と分析結果は大澤提出データである。
- 35 本書Ⅱ-4 参照。
- 36 焼なまし（Annealing）。鉄鋼を適当な温度に保持したのち徐冷する操作。その目的は、内部応力の除去、かたさの低下、被削性の向上、冷間加工性の改善、結晶組織の調整あるいは所要の機械的、物理的または、その他の性質を得ることなどである。
- 37 丸子巨『千葉市東寺山遺跡群発掘調査報告書』（孔版）
- 38 千葉県文化財センター『京葉Ⅱ』（千葉市東寺山戸張作遺跡）、昭52
- 39 沼澤豊『松戸市金楠台遺跡』千葉県都市公社、昭49
- 40 古内茂・矢戸三男他『柏市鴻ノ巣遺跡』千葉県都市公社、昭49
- 41 千葉県教育委員会『千葉県我孫子市日秀西遺跡発掘調査報告書』千葉県文化財センター、昭55
- 42 天野努他『八千代市村上遺跡群』千葉県都市公社、昭49
- 43 矢戸三男・池田大助「佐倉市天辺内山遺跡」『パイプライン』千葉県文化財センター、昭56 窪田蔵郎『鉄の考古学』雄山閣（190頁）昭48
- 44 高田博他『佐倉市江原台遺跡発掘調査報告書Ⅰ』千葉県文化財センター、昭52 高田博他『佐倉市江原台遺跡発掘調査報告書Ⅱ』千葉県文化財センター、昭55
- 45 千葉県教育委員会『公津原Ⅰ』、昭50
- 46 千葉県教育委員会『公津原Ⅱ』、昭56
- 47 ヘーシナイト（Hercynite: $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ の比が大きい場合に多く認められる鉍物組成。Hercynite の形成は、鉍物組成中のアノルサイト（Anorthit: $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ）が CaO を満たすに十分な Al_2O_3 を取り上げ、残りは FeO と結びついて Spinel Hercynite になったのであろう。
- 48 フェライト粒度番号。JIS G 0552に準じて測定した。この規格は、主として炭素含有量 0.2%以下の炭素のフェライト結晶粒度を測定する試験方法について規定されている。粒度は鋼のフェライト結晶粒の大きさをいい、これを粒度番号であらわす。

顕微鏡 100 倍における25mm平方中の結晶粒の平均数	0.0625	0.1250	0.25	0.50	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512
粒 度 番 号	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- 49 大澤正己「千草山鍛冶遺構出土の鉄滓・スケール・鉄釘の調査」『千草山遺跡』千草山遺跡発掘調査団、昭54
- 50 大澤正己「寄井町中山遺跡1号住居跡出土鉄滓の調査」『中山遺跡』埼玉県埋蔵文化財調査事業団、昭57
- 51 大澤正己「高岡寺院跡出土の鉄滓・釘の分析調査」『高岡寺院跡発掘調査報告書』高岡寺院跡発掘調査会、昭53
- 52 大澤正己「門田遺跡出土鉄滓及び羽口先端溶着鉄滓の調査結果」『山陽新線関係文化財調査報告書（Ⅲ）』福岡県教育委員会、昭52

- 53 大澤正己「福岡平野を中心に出土した鉾滓の分析」『広石古墳群』福岡市教育委員会、昭52
- 54 萩生道遺跡出土2段重ね碗形滓は、薬師寺崇氏調査で空堀第2区より検出されている。
- 55 矢戸三男他『阿玉台北遺跡』千葉県土地開発公社、千葉県都市公社、昭50
- 56 北九州市小倉南区大字曾根に所在する潤崎遺跡において、5世紀後半に比定される祭祀ピットより、現在では列島内最古と考えられる製錬滓が多量に出土している。この鉾滓は、検鏡結果よりUlvöspinelが確認されている。また、長崎県南高来郡北有馬町今福字今福の今福遺跡において、13世紀代の鉾滓にUlvöspinelが晶出しており、これら2つの鉾滓の粉末X線回折の測定値が出てくれば、西日本型Ulvöspinelの組成式が、もう少し整理されてくると考えている。データは近日中に揃う予定。
- 57 大澤正己「白須山たたら製鉄関係遺物の調査」『白須山たたら製鉄遺跡』（山口県埋蔵文化財調査報告 第65集）山口県教育委員会、昭56
- 58 大澤正己「山口県下の製鉄遺跡出土の鉄滓調査」『生産遺跡分布調査報告書〈採鉾・冶金〉』（山口県埋蔵文化財調査報告書 第67集）山口県教育委員会、昭57
- 59 大澤正己「二丈町深江・塚田遺跡出土鉄滓の分析調査」『今宿バイパス関係埋蔵文化財調査報告 第7集』福岡県教育委員会、昭57
- 60 大澤正己「八熊遺跡出土鉾滓・砂鉄の分析調査と考察」『八熊製鉄遺跡・大牟田遺跡』（志摩町文化財調査報告書 第2集）志摩町教育委員会、昭57
- 61 大澤正己「大蔵池南製鉄遺跡を中心とする鉾滓・鍛冶滓の検討」『椋山遺跡群』IV岡山県久米開発事業に伴う文化財調査委員会、昭57
- 62 宋應星撰・藪内清沢注『天工開物』東洋文庫130 平凡社（271頁）
- 63 岡山県久米町所在の大蔵池南遺跡の製鉄炉床部は、短辺40cm、長辺80cmの箱型であり6世紀末から7世紀初頭に比定されている。6基検出。西日本では他に8～9世紀のものとして兵庫県西下野、岡山県キナザコ、石生天皇、石生天皇南、高本、福岡県糸島半島の八熊遺跡の箱式炉がある。竪炉は東日本を中心に8世紀代に入って出現する。
- 64 北京鋼鉄学院『中国冶金簡史』科学出版社、
- 65 列島内で鑄鉄脱炭鋼が東大阪市の鬼虎川遺跡で発見されている。弥生時代中期の鉄鏃とノミ状鉄器である。国内産ではなく、大陸製（中国もしくは朝鮮）の可能性が大きいと推定している。この様な製造技術が国内に定着したか否か今後の研究課題となる。
- 大澤正己「鉄鏃と鑿状鉄器の冶金学的調査」『鬼虎川の金属器関係遺物』（第7次発掘調査報告2）東大阪市文化財協会、昭57
- * 専門用語の解説は、鉄鋼新聞社『鉄鋼辞典』工業図書出版と、川口寛之編『金属材料辞典』、日刊工業新聞社『焼結鉾組織写真および識別法』昭43年、日本規格協会『JIS用語辞典（V.金属・化学・窯業編）』、木下亀城『岩石鉾物辞典』風間書房昭41等を主として使用しており、一部については筆者の加筆のあることをおことわりしておく。