

(付編)

長者原田迎遺跡出土鍛冶関連遺物の 金属学的調査

大 澤 正 己

〈概 要〉

長者原遺跡の奈良時代に属する鉄滓と、鉄器（鍛中子か？）及び、中世に比定される鉄滓、小鉄塊、鉄器らを調査して、次の事が明らかになった。

〈1〉奈良時代遺物（A区）

鍛冶炉の炉底に堆積した碗形状鉄滓の調査から、鉄器製作の鍛錬鍛冶作業が推定される。また、鍛冶に供された鉄素材は砂鉄系の可能性をもつ。一方、鉄器の鍛中子は、やはりチタン（Ti）含有量の高い塩基性砂鉄を始発原料とし、軟質極低碳素鋼が母材であるので、武具としての鋭利性を要求される矢じり側は靱性改善をねらって浸炭処理が施してある。鉄の性能を十分に把握した鍛冶技術が読みとれた。

〈2〉中世遺物（D区）

鉄器加工の鍛錬鍛冶作業を表明する碗形鉄滓と、铸铁（白铸铁）2点及び塩基性砂鉄を原料とする鉄器1点が検出された。铸铁塊は、下げ（脱炭）られて鍛鉄とされたか、または浸炭剤（なめかけ法）となったのか、定かでないが鍛冶原料と想定される。

1、いきさつ

長者原遺跡は、大分県日田市内河町に所在し、日田盆地の西部に位置した台地にある。発掘調査は、内河町原地区団体営ほ場整備事業を目的としてなされた。

当遺跡は、旧石器時代から縄文・弥生・古墳・奈良・中世と連綿と続く複合遺跡である。このうち、調査区西側の古墳時代末期から奈良時代にかけての竪穴住居跡11軒、高床式倉庫3棟が検出された。そのうちの7号竪穴住居跡から奈良時代の遺物といっしょに流れ込んだと考えられる鉄滓、1号土坑から鉄器が出土した。また、土坑から羽口破片も発見されている。

更に、調査区東部では16世紀代と見られる建物柱穴や溝、土壇から鉄滓や小鉄塊の铸铁、及び鉄器らと共に羽口破片らが出土した。これらの遺物を通して遺跡の性格を解明するために専門調査の依頼を日田市立博物館（日田市教育委員会）より要請された。なお、今回発見された鉄滓は、日田盆地で初例であって、これに続く遺跡として6世紀後半から7世紀前半に推定される西有田赤ハゲ遺跡（日田市三ノ宮町）がある。これについては、又別報告書を準備して触れる予定である。

Table.1 長者原遺跡出土鍛冶関連遺物の試料履歴と調査項目

符 号	出土位置	試 料	推定年代	計 測 値		調 査 項 目				調査区
				大きさ mm	重量 g	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	CMA	化学組成	
HRST-1	7号竪穴住居跡	鉄 滓 碗形扁平	8C中頃～後半	75×40×10	57	○	○		○	西 部
－2	区画溝	鉄 滓 碗 形 状	中 世	50×50×23	83	○	○		○	東 部
－3	区画溝	小鉄塊	中 世	23×23×13	15	○	○			〃
－4	円形土坑	铸铁片	中 世	83×23×10	10	○	○			〃
－5	円形土坑	鉄 器	中 世	7×4×45 長方形断面	7	○	○	○	○	〃
－6	1号土坑	鉄 器 (鉄中子)	8C後半	35×5×5	8	○	○	○	○	西 部

2、調査方法

2－1、供試材

Table . 1 に示す。西部調査区出土 2 点と東部調査区 4 点の計 6 点が供試材である。

2－2、調査項目

(1) 肉眼観察

(2) 顕微鏡組織

鉄滓、小鉄塊、鉄器らは、水道水でよく洗滌乾燥後、中核部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、#1,000 と順を追って研磨し、最後は被研面をダイヤモンドの 3μ と 1μ で仕上げている。なお、金属組織の炭化物はピクラル（ピクリン酸飽和アルコール液）腐食（Etching）、フェライト結晶粒はナイトル（5%硝酸アルコール液）で腐食している。

(3) ビッカース断面硬度

鉄滓の鉱物組成、金属鉄の組織及び炭素含有量の同定を目的として、ビッカース断面硬度計（Vickers Hardness Tester）を用いて硬度の測定を行なった。試験は鏡面琢磨した試料に 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。

(4) CMA(Computer Aided X-ray 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 線を分光後にとらえて画像化し、定性的な測定結果を得る方法である。この後、標準試料と X 線強度との対比から元素定量値を得ることができるコンピューター内蔵の新鋭器機である。定量分

析値の得られる前は、EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) とも、又はX線マイクロアナライザーとも呼ばれていた。本稿では、鉄器の鉄中非金属介在物（鉄の製造過程で金属鉄と分離しきれなかったスラグや耐火物の混じり物）の同定に用いている。

(5)化学組成

鉄滓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1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 法。ICP (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer)：誘導結合プラズマ発光分光分析。

3、試験結果

3-1、西部調査区出土品：奈良時代

(1) 鉄滓：HRST-1

① 肉眼観察

表裏共に淡茶褐色を呈し、滑らか肌で一部は鉛状を有し、木炭痕を残す。破面は黒色で気泡少なく緻密質であった。鍛冶炉の炉底に堆積して形成された偏平状の碗形鍛冶滓であった。

② 顕微鏡組織

Photo. 1 の①～③に示す。鉱物組成は、白色粒状のウスタイト(Wüstite:FeO)と、淡灰白色盤状結晶のファイヤライト($\text{Fayalite:2FeO,SiO}_2$)、それに基地の暗黒色ガラス質スラグから構成される。なお、ウスタイト粒内に黒色微小析出物のヘーシナイト ($\text{Hercynite:FeO,Al}_2\text{O}_3$)が少量認められる。以上の鉱物組成を有する鉄滓は、鉄器製作時の折り返し鍛接で鉄素材を高温加熱して鍛冶炉の炉底に堆積する鍛錬鍛冶滓に分類される。

③ ビッカース断面硬度

Photo. 1 の③に硬度測定時の圧痕写真を示す。ウスタイト粒の硬度値は、464Hvである。ウスタイトの文献硬度値が450～500Hvであるので^① 妥当な値と考えられる。

④ 化学組成

Table. 2 に示す。鉄分が多くてガラス質成分の少ない鍛錬鍛冶滓成分である。すなわち、全鉄分(Total Fe)は52.83%に対して、金属鉄(Metallic Fe)が0.09%、酸化第1鉄(FeO)49.04%、酸化第2鉄(Fe_2O_3)20.91%の割合である。ガラス質成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}$

Table.2 鉄滓の化学組成

試料番号	遺 跡 名 (地名)	出土位置	種 別	推定年代	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	酸化 ナトリウム	酸化 マンガン	二酸化 チタン	酸化 クロム	硫 黄	五酸化 珪素	炭 素	バナジウム	銅		遺滓成分	TiO ₂	注	
					(Total Fe)	(Metallic Fe)	(FeO)	(Fe ₂ O ₃)	(SiO ₂)	(Al ₂ O ₃)	(CaO)	(MgO)	(Na ₂ O)	(MnO)	(TiO ₂)	(Cr ₂ O ₃)	(S)	(P ₂ O ₅)	(C)	(V)	(Cu)	遺滓成分	Total Fe	Total Fe		
HRST-1	長 者 原	7号竪穴住居跡	鍛錬鍛冶滓	8 C 中～後半	52.83	0.09	49.04	20.91	18.29	6.76	0.94	0.73	0.428	0.322	0.10	0.52	0.01	0.031	0.20	0.08	0.01	0.006	27.47	0.520	0.010	①
HRST-2	"	区画溝	"	中 世	64.01	0.10	61.23	23.33	6.22	2.71	0.70	0.41	0.194	0.072	0.10	0.13	0.01	0.024	0.37	0.10	0.02	0.006	10.306	0.161	0.019	
A H-1	赤 ハ ケ	B区1号溝 No17	小 鉄 塊	6 C 後半 ～7 C 前半	58.09	11.55	14.59	50.33	6.86	2.16	0.30	0.15	0.17	0.047	0.05	0.11	0.30	0.128	0.13	1.38	0.001	0.008	9.687	0.167	0.002	②
A H-3	"	B区4号住居跡No11	鍛錬鍛冶滓	"	16.20	0.54	5.94	15.79	44.80	15.45	4.28	1.54	2.40	1.92	0.19	0.87	4.28	0.063	0.43	0.83	0.008	0.12	70.39	4.345	0.054	
L-901A	由井ヶ迫遺跡	1号炉前庭部	砂鉄製錬滓	12～13C 前後	37.8	—	7.83	45.3	14.04	5.48	1.12	1.99	0.10	0.01	0.51	14.04	0.03	0.015	0.23	0.43	0.20	0.026	22.74	0.602	0.371	③
L-901B	"	"	"	"	37.8	—	11.64	41.1	7.76	4.22	0.59	2.48	0.12	0.01	0.71	21.97	0.02	0.044	0.040	0.29	0.11	0.023	15.18	0.402	0.581	
L-902	"	2号遺構	"	"	45.9	—	47.0	13.36	12.06	5.39	1.37	2.28	0.44	0.20	0.58	14.99	0.03	0.036	0.21	0.09	0.22	0.025	21.74	0.474	0.327	
L-903	"	1号炉前庭部	"	"	43.6	—	16.67	43.8	12.10	5.41	0.94	1.62	0.01	0.01	0.43	11.72	0.03	0.024	0.33	0.59	0.17	0.027	20.09	0.461	0.269	
B-911	"	1号製鉄炉前庭部	砂鉄付着製錬滓	"	42.62	1.47	13.02	44.37	15.08	5.75	1.07	1.32	0.421	0.373	0.33	8.19	0.01	0.080	0.40	0.48	0.11	0.004	47.23	1.108	0.192	
B-912	"	"	含鉄鉄滓	"	73.99	41.20	17.44	27.50	1.65	0.66	0.18	0.18	0.057	0.035	0.05	0.66	0.03	0.178	0.67	1.91	0.01	0.005	2.762	0.037	0.009	
B-913A	"	"	砂鉄製錬滓	"	31.52	3.56	11.42	27.28	27.70	9.07	1.52	1.55	1.11	0.673	0.34	8.32	0.04	0.056	0.40	0.26	0.11	0.005	41.623	1.321	0.264	
B-913B	"	"	"	"	25.45	2.78	17.06	13.43	25.58	9.30	3.07	3.09	1.38	0.737	0.71	20.09	0.03	0.046	0.27	0.08	0.25	0.005	43.157	1.696	0.789	
YARA-1A	ワラミノ遺跡	2号製鉄炉炉底滓	砂鉄製錬滓	12～13C 前後	35.22	0.47	20.33	27.09	18.03	6.77	2.66	2.82	0.77	0.64	0.66	15.15	0.04	0.020	0.299	0.45	0.22	0.006	31.69	0.900	0.430	④
2	"	" 排滓坑	"	"	34.85	0.46	32.29	13.28	16.22	7.70	2.74	3.29	0.89	0.59	0.72	20.18	0.10	0.030	0.236	0.06	0.42	0.008	31.43	0.902	0.579	
3	"	2号遺構	"	"	38.57	0.43	41.12	8.83	18.81	6.38	2.79	3.43	1.31	0.54	0.71	14.40	0.02	0.030	0.404	0.07	0.14	0.006	32.63	0.846	0.373	
4	"	1号鍛冶炉炉底内	精錬鍛冶滓	"	53.05	0.42	48.13	21.76	8.06	3.88	1.14	1.81	0.38	0.16	0.42	10.96	0.03	0.041	0.299	0.11	0.19	0.006	15.48	0.292	0.196	
5	"	" 前庭部	"	"	43.88	0.13	33.13	25.73	20.25	7.20	1.84	1.35	0.44	0.69	0.21	4.94	0.02	0.035	0.350	0.18	0.09	0.006	31.77	0.724	0.113	
6A	"	"	"	"	47.73	0.28	49.27	13.09	19.72	6.78	2.13	1.46	0.69	0.44	0.20	4.34	0.02	0.027	0.246	0.06	0.08	0.006	31.22	0.654	0.091	
6B	"	"	"	"	62.45	0.15	46.00	37.95	7.48	1.89	0.44	0.36	0.14	0.084	0.06	0.85	0.01	0.031	0.189	0.25	0.02	0.008	10.394	0.159	0.014	
OOYM-1	大山神社	国東町大字大恩寺採取	砂鉄製錬滓	不 明	32.65	0.23	34.12	8.43	16.60	6.78	3.09	4.15	1.09	0.38	0.92	23.31	0.09	0.031	0.317	0.06	0.31	0.008	32.09	0.983	0.714	
B-194	浜崎寺山遺跡 C地点	C-2 Grid	砂鉄製錬滓	"	30.63	0.33	32.67	7.01	21.77	7.54	2.65	4.04	0.944	0.588	0.78	18.85	0.03	0.027	0.23	0.02	0.22	0.004	37.532	1.225	0.615	⑤
B-195	"	"	"	"	30.86	1.52	18.73	21.13	24.71	9.02	2.47	2.46	1.14	0.607	0.58	12.16	0.04	0.043	0.31	0.10	0.10	0.004	40.407	1.309	0.394	
W-881	重 藤 遺 跡	S E-3 SFY	砂鉄製錬滓	中 世	40.7	—	46.3	6.75	7.08	5.01	2.51	3.71	—	—	1.00	19.77	0.07	0.038	0.22	0.03	0.33	0.008	18.31	0.450	0.486	⑥
W-882	"	"	"	"	40.0	—	45.0	7.18	15.80	4.62	3.01	3.79	—	—	0.97	18.57	0.05	0.041	0.087	0.06	0.17	0.006	27.22	0.681	0.464	
W-883	"	"	"	"	50.0	—	48.7	17.36	7.72	3.07	1.46	2.87	—	—	0.80	16.03	0.08	0.037	0.24	0.05	0.33	0.011	15.12	0.302	0.321	
W-884	"	"	"	"	28.7	—	21.70	15.52	20.02	5.14	4.84	4.63	—	—	1.09	19.30	0.10	0.043	0.13	0.38	0.49	0.009	34.64	1.207	0.673	
W-885	"	"	"	"	41.0	—	34.6	20.17	16.50	4.68	2.79	2.64	—	—	0.79	15.03	0.08	0.064	0.36	0.15	0.33	0.005	26.61	0.649	0.367	
M-901	吉 木	国東町採取	砂鉄製錬滓	不 明	27.8	—	34.3	1.53	22.54	7.41	3.39	4.18	0.90	0.29	0.92	20.94	0.04	0.052	0.14	0.02	0.24	0.025	38.71	1.392	0.753	⑦
M-902	"	"	"	"	32.0	—	39.1	2.28	22.44	7.91	3.96	3.74	0.36	0.17	0.74	16.54	0.03	0.040	0.16	0.08	0.19	0.026	38.58	1.206	0.517	
L-904	網井海岸	浜 砂 鉄	砂 鉄	現 在	56.5	—	20.55	57.9	3.36	2.29	0.58	2.10	0.01	Nil	0.59	11.14	0.04	0.035	0.17	0.10	0.22	0.023	8.34	0.148	0.197	⑧
Z-881	安 平 遺 跡	土 拉2 No9	鍛錬鍛冶滓	14～15C 頃 中心	58.4	—	56.1	21.14	14.18	4.39	1.99	0.60	—	—	0.10	0.37	0.01	0.034	0.29	0.20	0.014	0.005	21.16	0.362	0.006	⑨
Z-882	"	" No10	"	"	53.9	—	55.8	15.17	19.42	5.36	1.24	0.63	—	—	0.15	0.63	0.01	0.021	0.18	0.09	0.011	0.004	26.65	0.494	0.012	
Z-883	"	" No14	"	"	54.9	—	44.9	28.6	16.50	4.54	1.70	0.80	—	—	0.07	0.35	0.01	0.040	0.16	0.12	0.006	0.005	23.54	0.429	0.006	
Z-884	"	土 拉3 No18	"	"	516	—	54.0	13.80	19.42	6.19	2.87	0.84	—	—	0.12	0.58	0.02	0.035	0.34	0.06	0.018	0.004	29.32	0.568	0.011	
Z-885	"	" No20	"	"	51.1	—	15.88	55.4	14.56	4.64	0.96	0.41	—	—	0.08	0.39	0.01	0.047	0.11	0.69	0.007	0.008	20.57	0.403	0.008	
A	石 丸	大田村採取(鉛状)	砂鉄製錬滓	不 明	42.17	0.34	43.18	11.82	18.28	6.70	2.19	2.82	0.96	0.60	0.57	11.14	—	0.023	—	—	0.160	—	31.55	0.748	0.264	⑩
B	石 丸	" (多孔質)	"	"	26.53	2.90	12.79	19.57	23.28	7.80	2.85	4.02	1.38	0.50	0.72	15.10	—	0.045	—	—	0.270	—	39.83	1.501	0.569	
C	諸 田	安岐町採取(鉛状)	"	"	41.33	0.42	47.85	5.32	16.91	5.86	2.36	3.24	0.88	0.64	0.70	13.40	—	0.050	—	—	0.206	—	29.89	0.723	0.324	
D	諸 田	" (多孔質)	"	"	22.34	0.64	17.36	11.38	30.75	13.80	3.76	3.00	1.34	1.80	0.50	10.87	—	0.028	—	—	0.164	—	54.45	2.437	0.487	
E	浜 崎	国東町採取(鉛状)	"	"	38.26	0.32	31.73	31.73	18.02	6.24	1.28	1.82	0.34	0.38	0.42	10.50	—	0.132	—	—	0.166	—	28.08	0.734	0.274	
F	浜 崎	" (多孔質)	"	"	34.35	0.11	19.23	19.23	20.43	7.64	2.60	3.12	0.60	0.60	0.76	14.46	—	0.034	—	—	0.186	—	34.99	1.019	0.421	

$2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)は27.47%を含む。砂鉄特有元素の二酸化チタン(TiO_2)0.52%、バナジウム(V)0.01%は低目であるが、砂鉄系の鍛錬鍛冶滓の成分系である。他の随伴微量元素は、酸化マンガン(MnO)0.52%、酸化クロム(Cr_2O_3)0.01%、硫黄(S)0.031%、五酸化燐(P_2O_5)0.20%、銅(Cu)0.006%であった。

(2) 鉄器 (鉄中子 ?) : HRST-6

① 肉眼観察

現存長さ36mmで先端部を欠損する。幅は11mmで厚みは9mmを計る。全体が錆化して赤褐色の鉄錆を覆われていて、断面は方形とみなされる。鉄の中子の可能性をもつが、身側が欠損して鉄の型式は不明。磁性を有し、金属鉄は残存する。

② 顕微鏡組織

Photo. 2 の③～⑦、Photo. 3、4、5に示す。供試材の試料採取要領は、Photo. 3の頁に略図と20倍のマクロ組織で表わしている。試料は、長さ方向の $\frac{1}{2}$ の個所で切断し、鍛伸方向を検鏡面として研摩した。

Photo. 3の①に示した20倍のマクロ組織の上部のA側と記した個所が $\frac{1}{2}$ の切断面であり、下部のC側が中子の最端部となる。上部のA側は、黒味がちであり、C側の下部は白い。上部の黒い方は、鉄中に炭素が多く含まれている。(炭素量は0.6%前後)黒または層状は、パーライト(Pearlite: フェライトとセメンタイトが交互に重なり合って構成された層状組織)であり、下部のC側は、白い基底がフェライト(Ferrite: α 鉄または純鉄で炭素含有量は0.01%以下)である。1本の鉄製品の中で、炭素含有量が、この様に大きく変動してる。該品の母材としての材質は、C側に示す純鉄に近い極低炭素鋼で軟質である。このままであれば攻撃用武器としての殺傷力は半減されるので鋭利性及び硬質化を計るため、加炭して焼入れ効果をあげ、強靱性を付与している。

以下、該品の材質について詳細に述べる。

Photo. 2 の⑥⑦は、鉄中に存在する非金属介在物である。製錬過程で捲込まれた異物であり、製鉄の履歴を語るものである。製鉄炉で還元された直後の小鉄塊中に包蔵された非金属介在物は溶解されて表面張力の関係から球状化しているが、これを鍛打加工すると帯状に延びる。介在物は鋼の靱性を害するので、量は少ない方がよい。該品の非金属介在物の量は多い。この非金属介在物の組成は、茶褐色の角ばったものが鉄(Fe)—チタン(Ti)化合物であり、それを取り囲む黒色介在物は硅酸塩系のガラス質である。この非金属介在物(Non-metallic inclusion)を分析調査することにより製鉄原料の推定が可能となる。詳しくは次項のCMAで述べる。

Photo. 3の②は、試料A部 (Photo. 3①の上部)の断面厚み方向をピクル腐食により表わした炭化物組織である。極低炭素鋼を木炭粉で包み、950℃前後の高温で加熱すると一酸化炭素(CO)ガスが鉄材表面に浸入し、この炭素が拡散によって内部へ浸透し、炭素の高い鋼に変化する。

黒もしくは層状部がパーライトである。このパーライトは、占める面積が炭素含有量の増加

POS. NO. 3
 COMMENT : HRST6-1
 ACCEL. VOLT. (KV) : 15
 PROBE CURRENT : 5.010E-08 (A)
 STAGE POS. : X 40000 Y 40000 Z 11000

CH (1) TAP				CH (2) PET				CH (3) LIF			
EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)
Y -1	6.45	246	*****	OT-k	2.75	684	*****	BI-1	1.14	89	*****
RE-m	6.73	263	*****	BA-1	2.76	137	*****	PB-1	1.18	86	*****
SR-1	6.86	173	*****	CS-1	2.89	122	*****	TL-1	1.21	81	*****
W -m	6.98	180	*****	SC-k	3.03	104	*****	HC-1	1.24	79	*****
@SI-k	7.13	430	*****	I -1	3.15	84	*****	AU-1	1.28	86	*****
TA-m	7.25	132	*****	TE-1	3.29	67	*****	PT-1	1.31	79	*****
RB-1	7.32	134	*****	OCA-k	3.36	450	*****	IR-1	1.35	79	*****
HF-m	7.54	113	*****	SB-1	3.44	70	*****	OS-1	1.39	79	*****
LU-m	7.84	109	*****	SN-1	3.60	56	*****	ZN-k	1.44	72	*****
YB-m	8.15	75	*****	OK -k	3.74	133	*****	CU-k	1.51	61	*****
OAL-k	8.34	362	*****	LN-1	3.77	47	*****	NI-k	1.66	43	*****
BR-1	8.37	124	*****	U -m	3.91	52	*****	TN-1	1.73	42	*****
ER-m	8.82	60	*****	CD-1	3.96	43	*****	CD-k	1.79	59	*****
SE-1	8.99	57	*****	TH-m	4.14	37	*****	@FE-k	1.91	9865	*****
HD-m	9.20	43	*****	AG-1	4.15	32	*****	GD-1	2.05	25	*****
DY-m	9.59	43	*****	PD-1	4.37	29	*****	MR-k	2.10	30	*****
AS-1	9.67	43	*****	RR-1	4.60	24	*****	EU-1	2.12	17	*****
OXG-k	9.84	126	*****	CL-k	4.73	32	*****	SN-1	2.20	16	*****
TB-m	10.00	28	*****	RU-1	4.85	18	*****	CR-k	2.29	16	*****
GE-1	10.44	28	*****	S -k	5.37	20	*****	ND-1	2.37	12	*****
GA-1	11.23	21	*****	MO-1	5.41	13	*****	PR-1	2.46	8	*****
NA-k	11.91	18	*****	NB-1	5.72	7	*****	V -k	2.50	35	*****
**	14.72	11	*****	ZR-1	6.07	9	*****	CE-1	2.56	9	*****
F -k	18.32	7	*****	OP -k	6.16	47	*****	LA-1	2.67	8	*****

RESULTS:

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT

MG AL SI P K CA TI FE - 検出なし

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT

S BR

Phot.7のSE (2次電子像) に示したウルボスピネル (Ulvospinel:2FeO·TiO₂)、ウスタイト (Wustite:FeO)、これを硫酸塩が取り囲む3層からなる非金属介在物の分析結果である。検出元素を強度順に並べると次の様になる。鉄 (Fe) 9,865, 硅素 (Si) 1,430, チタン (Ti) 684, カルシウム (Ca) 490, アルミ (Al) 362, カリウム (K) 133, マグネシウム (Mg) 1 2 6, 燐 (P) 47となる。此の非金属介在物からチタン (Ti) のCountが高く検出されるところから製鉄原料に砂鉄が使用されたことが判る。

Table.3 長者原遺跡出土鉄鏝 (HRST-6①) 中の非金属介在物のコンピュータプログラムによる高速定性分析結果

に伴って増し、焼ならし状態では0.4%前後で約半分、0.77%で全部がパーライトとなる。このパーライトが多くなるにしたがって硬さ、引張強さは増加し、逆に伸び、衝撃値などは減少する。なお、組織全体に網状の細く白い線がみえるのはフェライト結晶粒界である。又、該品は、重ね鍛えが施されていて、Photo. 3の①②共に鍛接ラインが認められた。

Photo. 4の①は、Photo. 3の②のパーライトとフェライトの拡大組織である。白い所はフェライト、黒と層状はパーライト、黒く細い線はパーライトコロニー(Pearlite Colony)と呼ぶ。低マンガン(Mn)材の空冷組織である。

次に、Photo. 4の④は、Photo. 3の試料採取要領図のDに示す浸炭度の低い個所の炭化物組織である。炭化物のパーライト量は、A側に比べると漸次減少してきて炭素含有量は0.1%前後となる。これが、中子の元のC側になると、更に炭素量は低減し0.01%レベルの極低炭素鋼となる。Photo. 4の⑤⑥に示す様に炭化物の量は激減し、パーライトはセメントイト(Cementite:Fe₃C)に変わって極く微量が結晶粒界に析出する。

Photo. 4の⑦は、浸炭されていない個所でC部相当のフェライト組織である。全体に白い基底はフェライト、黒くて細い線はフェライト粒界を示す。炭素はフェライトに溶け込み、固溶体であるフェライトの結晶粒と、その境界のみが現われる。フェライト結晶をとり囲む黒い線は粒界で、ここには不純物が集まりやすく、又、腐食されやすいので黒い線として現われる。フェライトは炭素含有量が低いため、高温に加熱して焼入れを行なっても硬化しない。しかし、冷間加工すると、少し硬くなり、焼なましを施すと軟化する。Photo. 4の⑦の結晶粒は、鍛打加工の歪が残っていて齊粒となっていない。

Photo. 5の①はB箇所、②はA箇所のナイトル腐食(Etching)時の組織を示す。BとCの距離は7mm程度であるが、A側は浸炭度が大きく、B側になると黒味が減少して炭素量が低減している様子が認められる。

以上の結果から、該品は950℃以上の温度で木炭粉で覆われて2時間以上浸炭させ、空中放冷されたと推定される。

③ ビッカース断面硬度

Photo. 2の③～⑤に炭素含有量の異なる個所での硬度測定での圧痕写真を示す。③は、浸炭を受けてない母材の極低炭素鋼での硬度値で、軟質の120Hvである。④はパーライトが0.3%前後の亜共析鋼レベルの個所で163Hv、⑤は共析鋼レベルの炭素量0.7%前後で245Hvであった。それぞれが低マンガン(Mn)材としての組織に見合った硬度値である。

④ CMA調査

鉄中の非金属介在物の組成分析を行なった。非金属介在物は大量に存在し、大別して二形態が認められた。その一つは、Photo. 7に示すウルボスピネル(Ulvospinel:2FeO,TiO₂)とウスタイト(Wüstite:FeO)を暗黒色ガラス質スラグの硅酸塩が取り囲むタイプであり、残りはPhoto. 8に示すウスタイト(粒内にウルボスピネル微小結晶析出)単独タイプである。

まず、ウルボスピネル、ウスタイト、硅酸塩の3層からなる介在物の分析結果から述べる。

コンピュータープログラムによる高速定性分析結果をTable. 3に示す、検出元素は、鉄(Fe)、
硅素(Si)、チタン(Ti)、カルシウム(Ca)、アルミ(Al)、カリウム(K)、マグネシウム(Mg)、
燐(P)らである。鉄(Fe)とチタン(Ti)はウルボスピネルの $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ となる構成成分である。他
はガラス質成分であり、硅酸塩を形成する元素である。

Photo. 7の特性X線像は、高速定性分析結果を視覚化したイメージ像である。分析元素の
存在は白色輝点の集中度によって読みとれる。例えば、SE(2次電子像)に1と番号を付した
茶褐色の角ばった結晶には、白色輝点が鉄(Fe)、チタン(Ti)、アルミ(Al)に認められる。此の
介在物はウルボスピネル系のスピネル介在物と同定できる。同じく2と番号をつけた淡灰白色
の粒状介在物は鉄(Fe)のみに白色輝点が集中してヴスタイト(FeO)と同定できる。3の番号個所
は、暗黒色ガラス質スラグであり、硅素(Si)、アルミ(Al)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)
カリウム(K)らのガラス質成分に白色輝点が集中する。これに燐(P)も加わる。

以上の結果の定量分析結果も併せてPhoto. 7に示してある。番号1のウルボスピネル系は
 $73.9\%\text{FeO}-23.2\%\text{TiO}_2-6.1\%\text{Al}_2\text{O}_3$ となり、番号2のヴスタイトは、 $94.9\%\text{FeO}-2.8\%\text{TiO}_2$ 、番号3の硅酸塩系は、 $47.5\%\text{FeO}-26.1\%\text{SiO}_2-9.5\%\text{CaO}-5.3\%\text{P}_2\text{O}_5-4.4\%\text{Al}_2\text{O}_3-2.1\%\text{K}_2\text{O}-1.4\%\text{MgO}$ となる。砂鉄特有元素の二酸化チタン(TiO_2)が23.2%と高く検出されるの
は、始発原料に高チタン含有の塩基性砂鉄(赤目系)が使用されているからである。産地同定
としては、国東半島あたりの製鉄遺跡が候補地に挙げられる。

次にヴスタイト系介在物の高速定性分析結果をTable. 4に示す。検出元素は、鉄(Fe)、チ
タン(Ti)、硅素(Si)、アルミ(Al)、コバルト(Co)らである。ヴスタイト(FeO)結晶粒内に茶褐色の
微小析出物が存在して、これからチタン(Ti)が検出されている。Photo. 8の特性X線像をみ
ると、この微小析出物には、鉄(Fe)とチタン(Ti)に白色輝点が集中して検出される。これもウ
ルボスピネル($2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$)系を推定できる。定量分析値は、 $98.1\%\text{FeO}-4.3\%\text{TiO}_2$ となってい
る。此のヴスタイト粒内にウルボスピネルの微小析出物がでる晶癖は、始発原料に塩基性砂鉄
を用いた精錬鍛冶滓でみかける例が多い。鉄中非金属介在物のヴスタイトから検出された例は
あまりなかった傾向である。

3-2、東部調査区出土品：中世

(1) 鉄滓：HRST-2

① 肉眼観察

表裏共に黄褐色を呈し、なめらか肌に木炭痕を残す隅丸方形碗形滓である。裏面もなめらか
肌に僅かの反応痕を有す。破面は黒く、局所に赤褐色錆を介在、気泡少なく緻密質である。

② 顕微鏡組織

Photo. 1の④～⑥に示す。鉱物組成は、成長した白色粒状のヴスタイトが大部分を占め、
その粒間の僅かの隙間をファイヤライトと暗黒色ガラス質スラグが認められる。これも鍛錬鍛
冶滓の晶癖である。

POS. NO.	NO.	1	CH (1)	TAP	CH (2)	PET	CH (3)	LIF			
COMMENT	:	HRST-5									
ACCEL. VOLT. (KV)	:	15									
PROBE CURRENT	:	5.000E-08 (A)									
STAGE POS.	:	X 54006 Y 40000 Z 11000									
EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)
Y -l	6.45	205	*****	⊙Ti-K	2.75	1489	*****+++++	Bi-l	1.14	63	*****
RE-m	6.73	166	*****	BA-l	2.78	97	*****	Pb-l	1.18	69	*****
SR	6.86	152	*****	CS-l	2.89	91	*****	Tl-l	1.21	67	*****
W -	6.98	155	*****	SC-k	3.03	74	*****	Hg-l	1.24	70	*****
OS-l	7.13	322	*****++	I -l	3.15	73	*****	Au-l	1.28	70	*****
TA -	7.25	135	*****	TE-l	3.29	61	*****	PT-l	1.31	65	*****
RB-l	7.32	118	*****	CA-k	3.36	60	*****	IR-l	1.35	71	*****+
HF-m	7.54	111	*****	SB-l	3.44	51	*****	OS-l	1.39	55	*****
LU-m	7.84	91	*****	SN-l	3.60	48	*****	ZN-k	1.44	55	*****
YB-m	8.15	83	*****+	K -k	3.74	43	*****	CU-k	1.54	43	*****
OAL-k	8.34	385	*****++	IN-l	3.77	41	*****	Ni-k	1.66	43	*****
BR-l	8.37	129	*****++	U -m	3.91	39	*****	Tm-l	1.73	36	*****
ER-m	8.82	49	*****	CD-l	3.96	34	*****	Co-k	1.79	47	*****
SE-l	8.90	52	*****	TH-m	4.14	23	*****	⊙Fe-k	1.94	6731	*****+++++
HO-m	9.20	40	*****	AG-l	4.15	29	*****	GD-l	2.05	20	*****
DY-m	9.50	37	*****+	PD-l	4.37	26	*****	MN-k	2.10	26	*****+
AS-l	9.67	34	*****	RH-l	4.60	17	*****	Fu-l	2.12	16	*****+
OMG-k	9.89	175	*****++	CL-k	4.73	29	*****+	SM-l	2.20	14	*****
TB-m	10.00	31	*****	RU-l	4.93	19	*****+	CR-k	2.29	20	*****+
GE-l	10.44	19	*****	S -k	5.37	13	*****	ND-l	2.37	8	*****
GA-l	11.29	22	*****	MO-l	5.41	13	*****+	PR-l	2.46	7	*****
NA-k	11.91	15	*****	NB-l	6.72	7	*****	V -k	2.50	35	*****
**	11.72	9	*****+	ZR-l	6.97	7	*****	CE-l	2.56	6	*****
F -k	16.32	10	*****+	P -k	6.16	5	*****	LA-l	2.67	5	*****
RESULTS :											
THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT											
Mg	Al	Si	Ti	Fe- 微量元素							
THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT											
F	Cl	V	Cr	Br	Ir						

Photo.6で示したSE (2次電子像) の非金属介在物の分析結果である。検出元素を強度 (Count) 順に並べると次の様になる。鉄 (Fe) 6731, チタン (Ti) 1489, アルミ (Al) 385, 硅素 (Si) 322, マグネシウム (Mg) 175となる。鉄 (Fe) とチタン (Ti) が強いところから非金属介在物はウルボスピネル (Ulvospinel:2FeO・TiO₂) と推定できる。始発製鉄原料は砂鉄系である。

Table.5 長者原遺跡出土鉄器 (鏃または鉈 : HRST-5) 中の非金属介在物のコンピュータプログラムによる高速定性分析結果

③ ビッカース断面硬度

Photo. 1 の⑥にウスタイト粒の硬度測定の写真を示す。硬度値は、445 Hv である。ウスタイトに同定できる。

④ 化学組成

Table. 2 に示す。検鏡結果により大量の凝集ウスタイトが晶出していたので鉄分多く、ガラス質成分の少ない成分系が予測できたが結果は、その通りである。全鉄分(Total Fe)が64.01%で、そのうち、酸化第1鉄(FeO)が61.23%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)は23.33%の割合である。ガラス質成分(SiO₂+AlO₃+CaO+MgO+K₂O+Na₂O)は10.306%といたって少ない。砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO₂)も0.13%、バナジウム(V)0.02%と低減され、鍛錬鍛冶作業の最終段階での排出滓である。随伴微量元素も少なく、酸化マンガン(MnO)0.10%、酸化クロム(Cr₂O₃)0.01%、硫黄(S)0.024%、五酸化燐(P₂O₅)0.37%、銅(Cu)0.006%であった。

(2) 小鉄塊：HRST-3

① 肉眼観察

表裏共に赤褐色鉄錆に覆われ、亀裂を走らせる球状鉄塊(28mmφ)である。磁性は弱く金属鉄の残存は望めない。

② 顕微鏡組織

Photo. 1 の⑦に示す。金属鉄の残存はなかったが、天然腐食(Etching)による白鑄鉄(White cast iron)の組織が確認できた。白鑄鉄は過共晶組成(C:4.3%以上)で、白色板状結晶は、セメンタイトで、地はオーステナイト(常温ではパーライトになる)とセメンタイトの共晶、すなわちレデブライト(Ledebulite)である。

鑄鉄とは炭素含有量が2.0%以上含有されて、白鑄鉄とねずみ鑄鉄(Gray cast iron)とがある。白鑄鉄には炭素がセメンタイトとして存在し、ねずみ鑄鉄には黒鉛として存在する。その差を生ずる主な因子は、冷却速度と成分である。冷却速度が早いときはセメンタイトが多く、遅いときは黒鉛が多い。又、成分としては炭素(C)と硅素(Si)が最も大きな影響を及ぼす。

該品は、冷却速度の早い急冷を受けた小鉄塊であり、製鉄炉から取り出された後、急冷されている。鍛冶炉内で酸化脱炭して鍛鉄素材にもなりうるし、逆に低碳素鋼を加熱して鍛冶炉中でなめかけして加炭する材料にも活用できる。

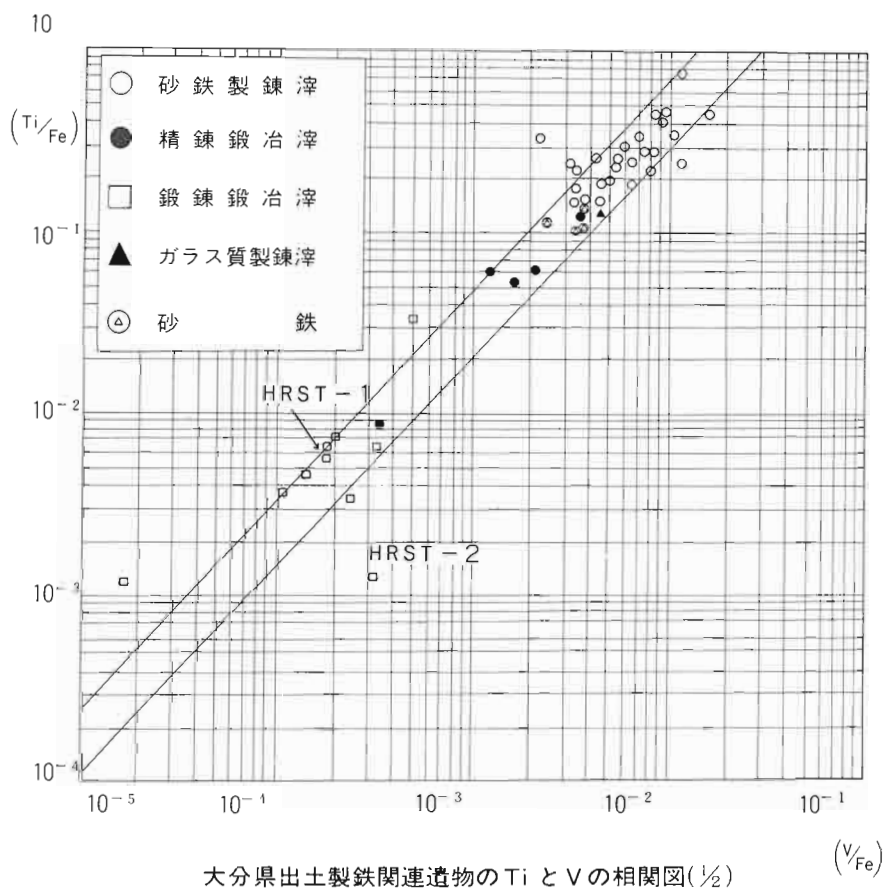
(3) 鑄鉄片：HRST-4

① 肉眼観察

わずかに内湾して鉄鍋破片の可能性をもつ。全体が赤褐色錆に覆われて一部に木炭痕を残す。破面も錆を発する。

② 顕微鏡組織

Photo. 2 の①に示す。これも金属鉄の残留はなく、天然腐食で白鑄鉄の組織を残す。白鑄鉄は、共晶組成で黒色はパーライト、白色はセメンタイトである。該品は肉厚が6mm前後の板状製品であり型に鑄込まれた時点で急冷されて白鑄鉄となっている。



(4) 鉄器：HRST-5

① 肉眼観察

残存長さ45mmで両端部を欠損する。最大断面は 7×4 mmの長方形で芯部は腐食を受けて巣となる。鍍か鉋であろう。赤褐色の鉄錆で覆われて金属鉄は存在しない。

② 顕微鏡組織

Photo. 2の②に示す。該品は鍛造品であり茶褐色楕円形の非金属介在物は加工を受けて伸びている。金属鉄はなく、鉄はゲーサイト(Goethite: α -FeO-OH)となっていた。

③ CMA調査

Photo. 6のSE(2次電子像)に示した楕円状非金属介在物の分析結果である。検出元素はTable. 5の高速定性分析結果に示す如く、鉄(Fe)、チタン(Ti)、アルミ(Al)、珪素(Si)、マグネシウム(Mg)らである。これを視覚化した特性X線像をPhoto. 6に示す。非金属介在物に白色輝点が集中するのは、鉄(Fe)とチタン(Ti)に強く、他にアルミ(Al)とマグネシウム(Mg)が弱く検出される。定量分析値は、59.1%FeO-28.9%TiO₂-8.1%Al₂O₃-5.8%MgOとなる。非金属介在物の組成は、ウルボスピネル(Ulvöspinel: 2FeO.TiO₂)系で、これも塩基性砂鉄を始発原料とする鉄素材であった。

4、まとめ

長者原遺跡から奈良時代と中世の鍛冶工房の存在が想定できる 梶形鍛冶滓と小鉄塊、鉄器らが出土した。

鉄滓は、鉄器加工鍛接時の作業が推定されるウスタイト晶出の鉱物組成と鉄分多く随伴微量元素の少ない成分系であった。鍛冶に供された鉄素材は砂鉄系である。Fig.1には、古代に鉄生産の盛んであった国東半島を中心に出土した鉄滓のTi/T.Fe,V/T.Feの相関図を示す。鉄生産の一貫作業で排出される鉄滓は、精錬鍛冶（成分調整）、鍛錬鍛冶（製品製作）と作業工程を経るに従って、砂鉄特有元素のチタン(Ti)とバナジウム(V)は濃度減少傾向をきたす。この傾向は、45度の直線上に分布しながら、ある傾向を示すものである。奈良時代の鍛錬鍛冶梶形滓(HRST-1)は、45度の直線上にシフトするところから、鉄素材は国東半島産の可能性が伺われるが、中世鉄滓のHRST-2は、45度直線から外れて分布する。国東半島以外の鉄産地搬入品の疑いも出てくる成分系であった。鑄造がらみで今後の研究課題としておきたい。

次に鉄器は、奈良・中世共に高チタン含有塩基性砂鉄を始発原料としていて、非金属介在物にウルボスピネル(Ulvöspinel:2FeO.TiO₂)が検出された。国東半島産の鉄が候補地にのぼる^②。鉄器で注目されたのは、奈良時代に軟質鋼の材質改善をはかって浸炭処理が施された点である。鉄鎌という消耗品で、殺傷力を要求される鎌身側に木炭粉をまぶし、950℃以上の高温で2時間以上加熱することにより母材の炭素量0.01%レベルから0.6%前後の共析鋼に近い材質を得ている。炭素量付加により靱性の優れた鉄に改善した技術は高く評価される。

なお、中世の長者原遺跡の鍛冶作業は、白鑄鉄を用いた下げ（脱炭）による鍛鉄製造から、逆になめかけ法による浸炭もあったと想定される。幅広い技術力であった。この時の原料は、製鉄炉から取り出したばかりで水中冷却された小鉄塊の白鑄鉄(HRST-3)や、鉄器破損品(HRST-5)の転用がなされたと考えられる。

(注)

① 日刊工業新聞社『焼結鉱組織写真および識別法』1968

符 号	硬 度 測 定 対 象 物	硬 度 実 測 値	文献硬度値※1
	Fayalite(2FeO.SiO ₂) ※2	560,588	600~700 H v
	磁 鉄 鉱 ※2	513,506	530~600 H v
	マルテンサイト ※2	641	633~653 H v
	Wüstite(FeO) ※3	481,471	450~500 H v
	Magnetite(Fe ₃ O ₄) ※4	616,623	500~600 H v
	白 鑄 鉄 ※5	563,506	458~613 H v
	亜共析鋼(C:0.4%) ※6	175	160~213 H v

※1 日刊工業新聞社『焼結鉱組織写真および識別法』1968他。

※2 滋賀県草津市野路小野山遺跡出土遺物 7 C 末~8 C 初

- ※ 3 兵庫県川西市小戸遺跡出土鍛冶滓 4 C 後半
- ※ 4 新潟県豊栄市新五兵衛山遺跡出土砂鉄製鍊滓 Ulvöspinel 平安時代
- ※ 5 大阪府東大阪市西之辻16次調査出土鑄造鉄斧 古墳時代前期
- ※ 6 埼玉県大宮市御蔵山中遺跡鉄鋳 5 C 中頃

- ② 藤本啓二、大澤正己「国東半島における古代・中世の鉄生産について」『九州史学会大会研究発表要旨』1991. 12. 九州大学

Table.2 の注

- ① 大澤正己「長者原遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『長者原遺跡』日田市教育委員会、日田市博物館 1992
- ② 大澤正己「西有田赤ハゲ遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『西有田赤ハゲ遺跡』日田市教育委員会、日田市博物館 1992
- ③ 国東町教育委員会『国東地区遺跡群発掘調査概報Ⅰ』（1990）
- ④ 国東町教育委員会“ほ場整備に伴う調査”1991. 8～1991～10
- ⑤ 国東町教育委員会“ほ場整備に伴う調査”1990. 9～1991. 1
- ⑥ 国東町教育委員会「重藤遺跡」(『重藤遺跡・下平遺跡』、1991)
- ⑦⑧ 大澤正己表面採取
- ⑨ 大分県教育委員会「安平遺跡」(『中津市伊藤田地区遺跡群』、1987)
- ⑩ 結城明泰「国東半島の製鉄と鍛冶の遺跡」『国東半島』～自然・社会・教育～大分大学教育学部 1983. 3. 31

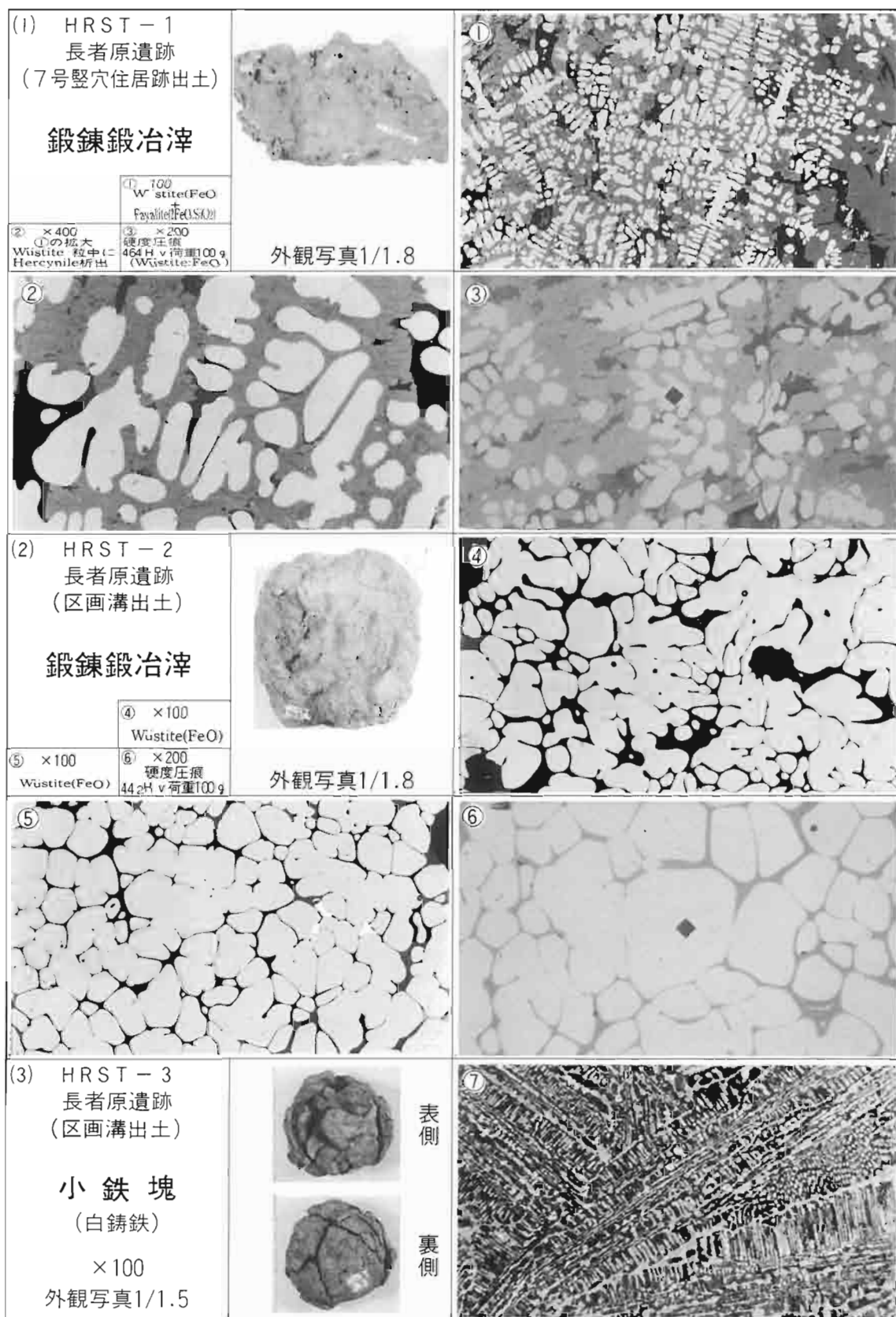


photo. 1 鉄滓・鉄塊の顕微鏡組織

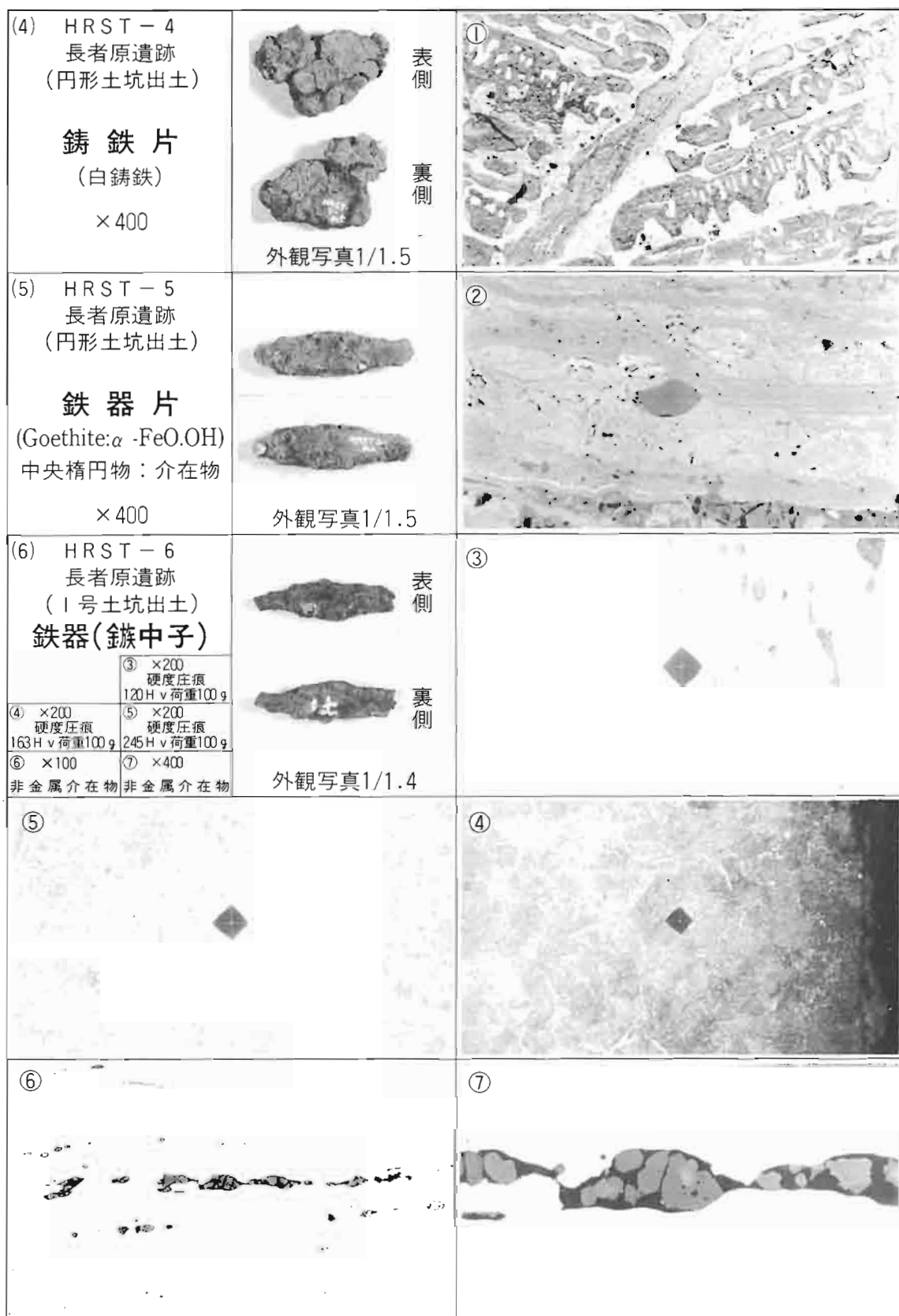


photo. 2 鑄鉄片、鉄器の顕微鏡組織

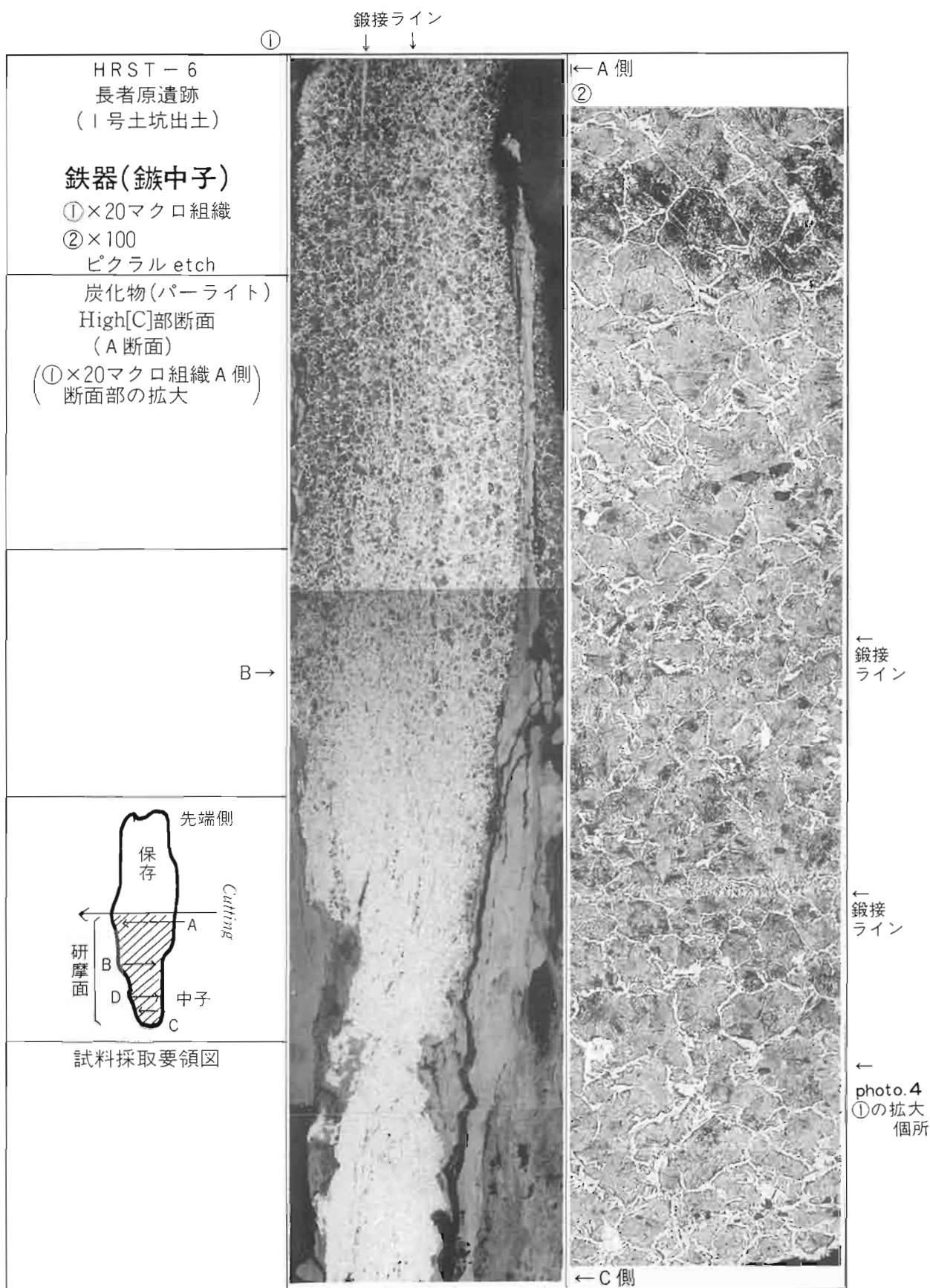


photo. 3 鉄器のマクロ組織と顕微鏡組織

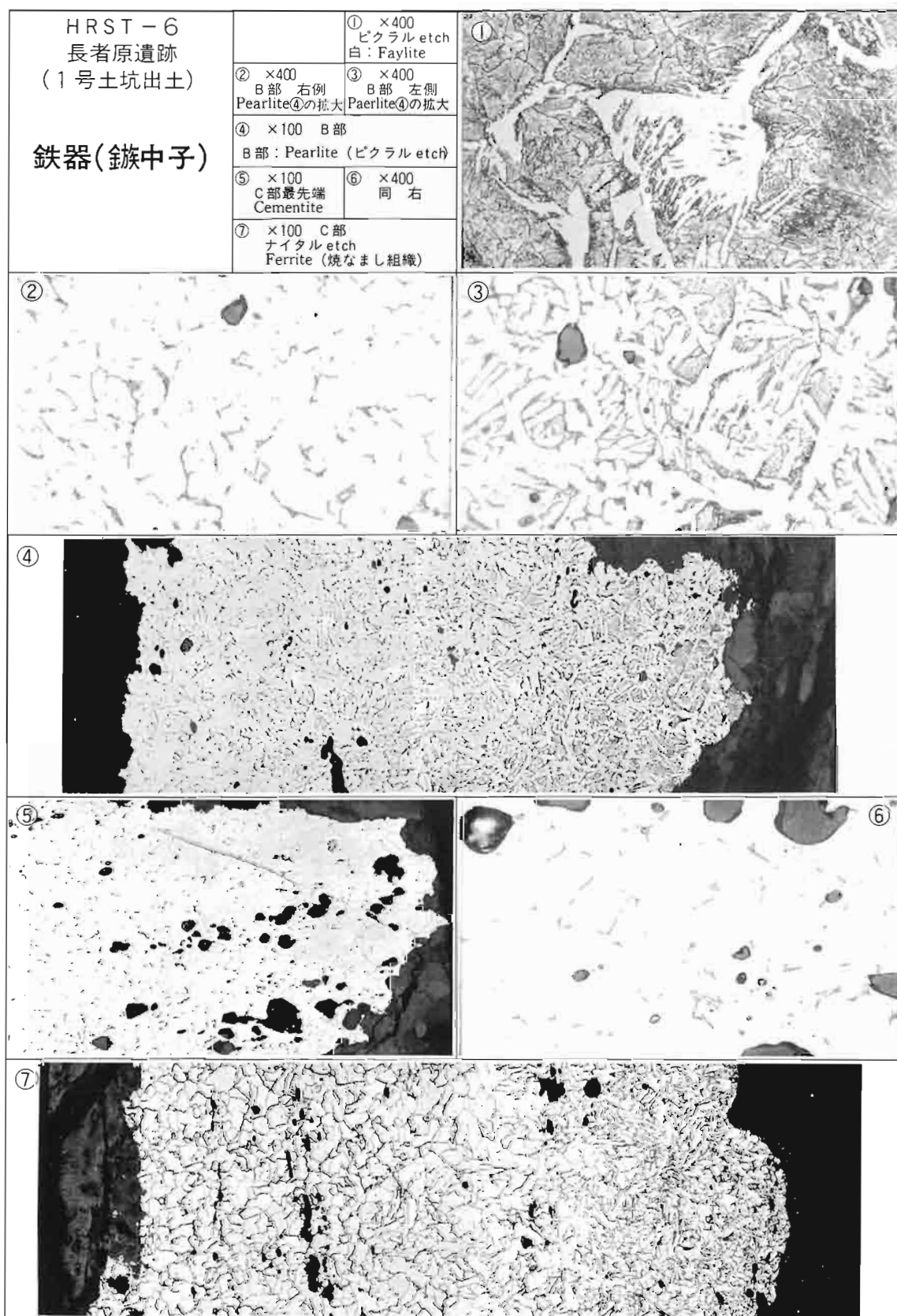


photo. 4 鉄器の顕微鏡組織

①

B 断面

②

A 断面

HRST-6
長者原遺跡
(1号土坑出土)

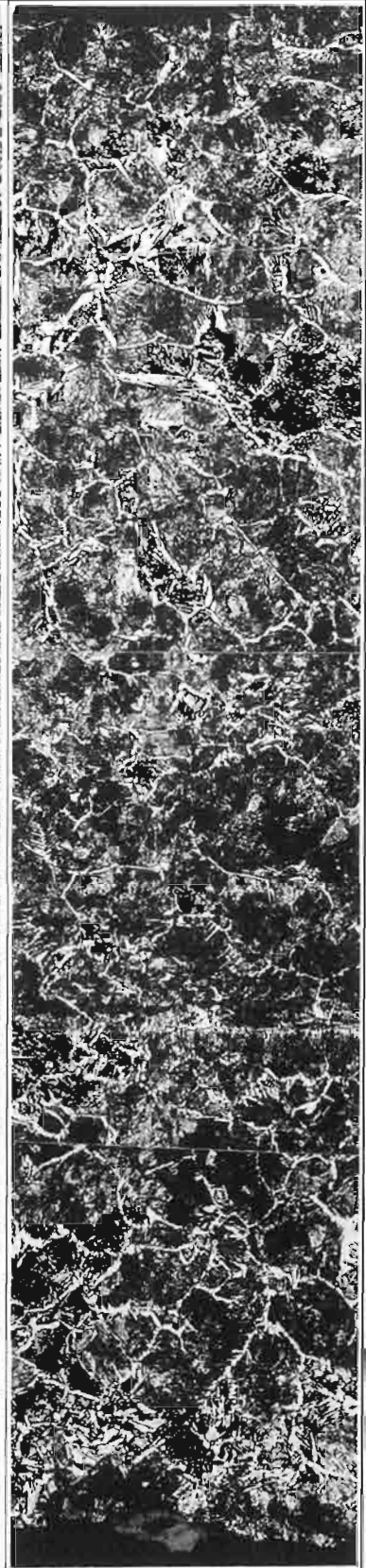
鉄器(鏃中子)

ナイタル etch

×100

① photo. 3×20
マクロ組織の
B 側の断面

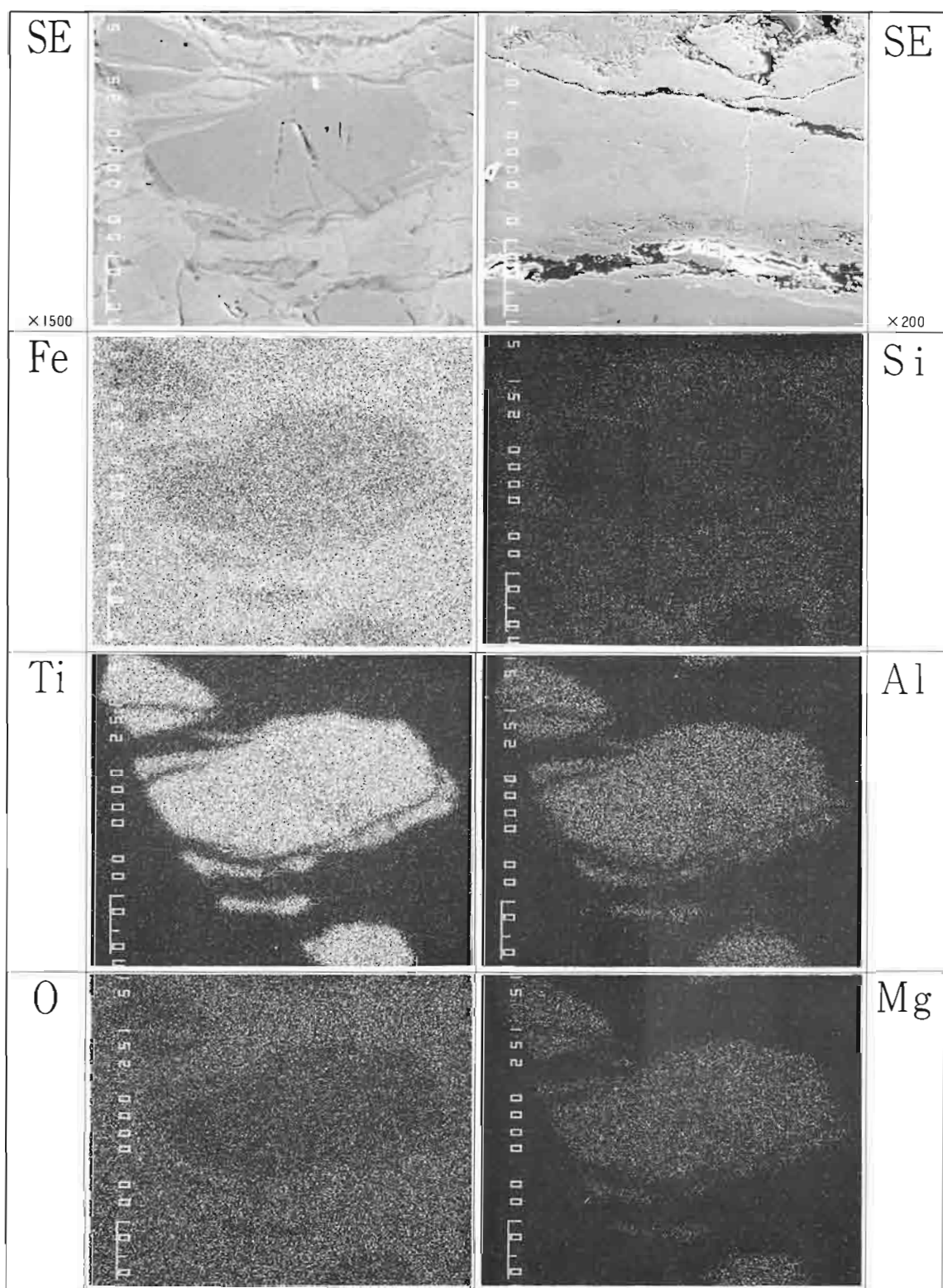
② photo. 3×20
マクロ組織の
A 側の断面



←
鍛接
ライン

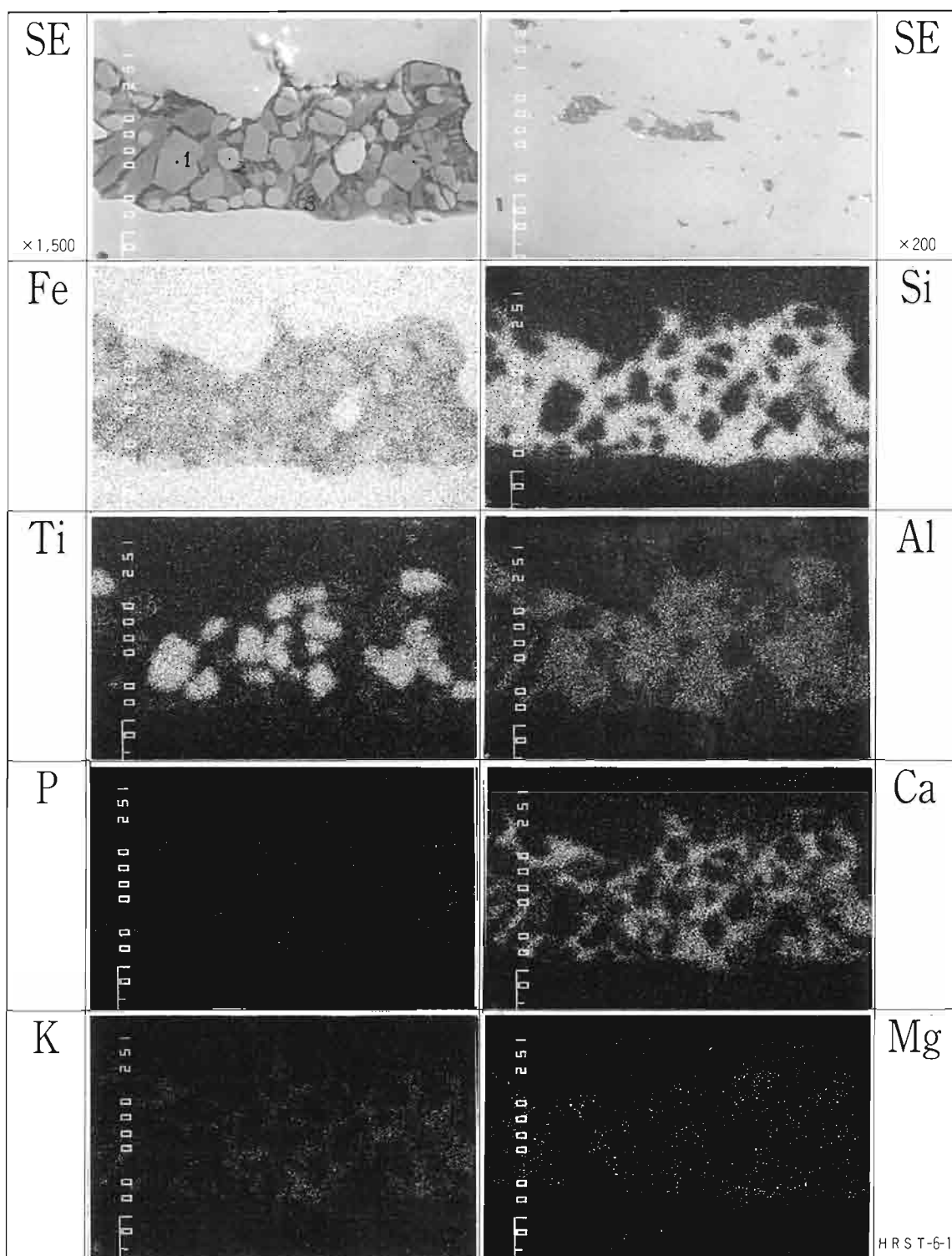
←
鍛接
ライン

photo. 5 鉄器の顕微鏡組織



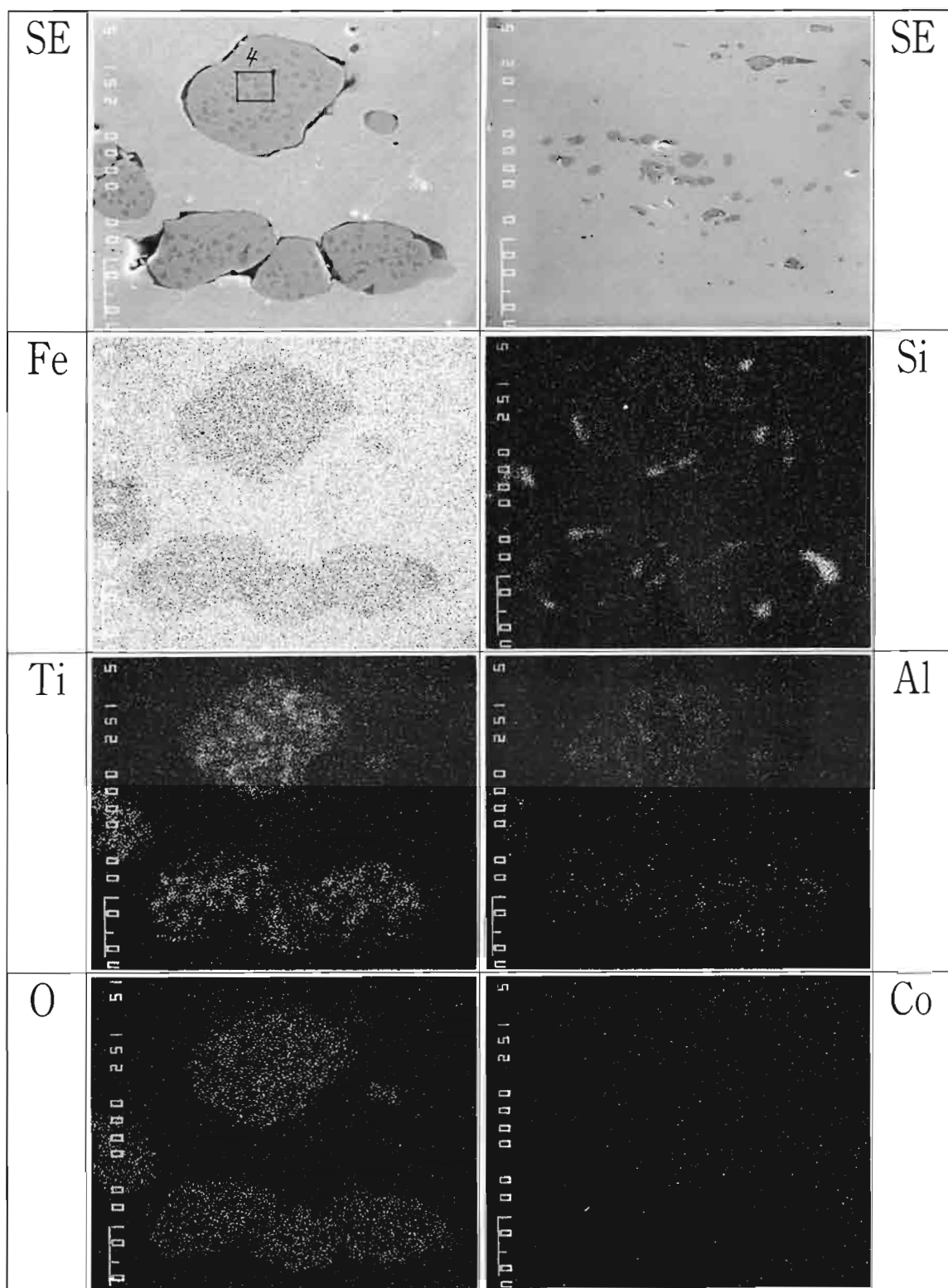
SiO2	CaO	FeO	F	Al2O3	K2O	MnO	MgO	S	TiO2	Na2O	ZrO2	Cr2O3	TOTAL
0.000	0.000	59.069	0.085	8.062	0.000	0.493	5.801	0.000	28.874	0.000	0.074	1.092	103.514

Photo. 6 長者原遺跡出土鉄器(HRST-5)中非金属介在物の特性X線像と定量分析値
 —109—
 ×1,500 (縮小0.6)



	SiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	S	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	F	ZrO ₂	TiO ₂	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TOTAL
1	0.122	0.310	0.000	0.000	6.089	73.862	0.044	0.987	0.000	0.000	0.072	23.196	0.000	0.004	104.686
2	1.445	0.188	0.205	0.000	1.380	94.910	0.038	0.290	0.026	0.000	0.074	2.835	0.000	0.000	101.392
3	26.052	0.420	5.251	0.109	4.425	47.537	9.489	1.384	0.663	0.000	0.076	0.639	2.045	0.000	98.090

Photo. 7 長者原遺跡出土鉄器 (HRST-6①) 中非金属介在物の特性 X 線像と定量分析値
 ×1,500(縮小0.6)



	SiO2	MNO	P 2O5	S	AL2O3	FEO	CAO	MGO	NA2O	F	ZRO2	TiO2	K 2O	CR2O3	TOTAL
4	0.293	0.182	0.031	0.000	1.057	98.124	0.000	1.140	0.018	0.000	0.000	4.258	0.000	0.026	105.128

Photo. 8 長者原遺跡出土鉄器(HRST-6②)中非金属介在物の特性X線像と定量分析値