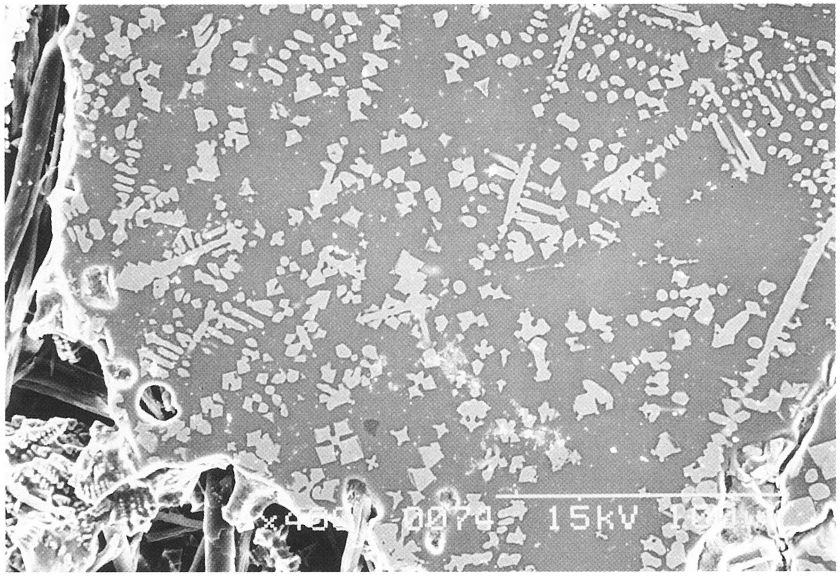
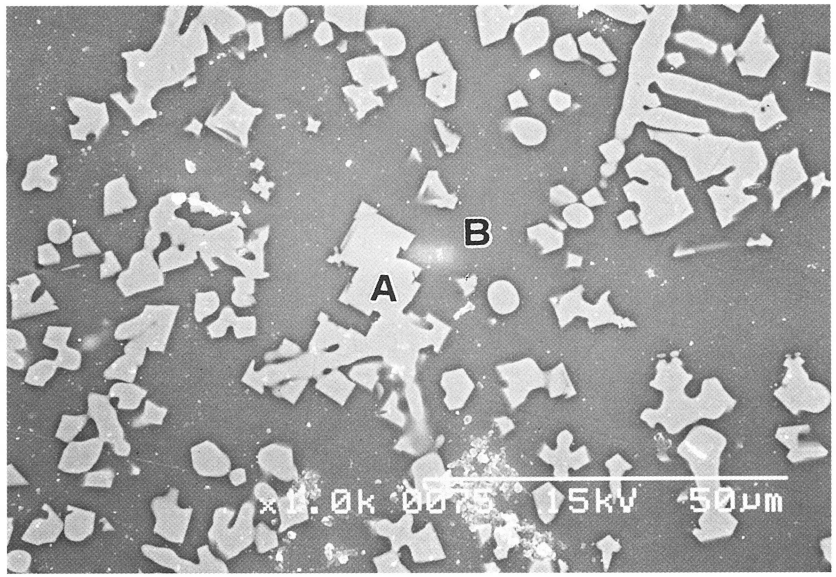
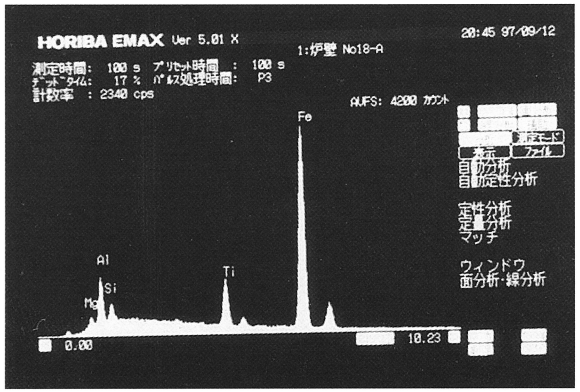
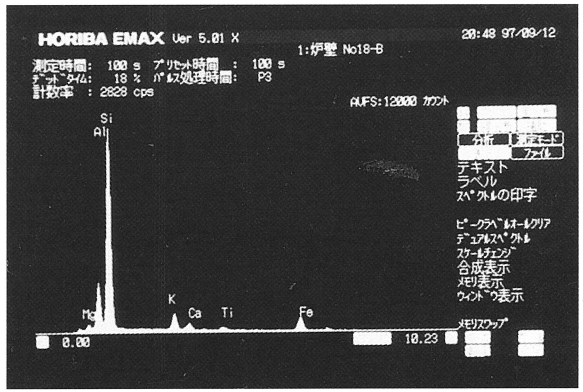






A部　Fe-Al-Ti系



B部　基　地

写真57　資料No.18炉壁溶融部のＳＥＭ像とＥＤＸ分析

5．考　　察

大沢正己氏[1]が調査された古墳出土鉄滓の化学組成および構成相のまとめを参考に本資料をまとめると表4のようになる。

表4によって本資料が製錬滓か鍛冶滓か、あるいは使用原料が砂鉄か鉱石(岩鉄)かについて考察してみる。

表4　資料の化学組成と鉱物組織

組成＼資料		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
化学組成	全鉄分 (T.Fe)	36.52	59.92	52.88	52.70	42.74	43.10	50.70	58.45	44.75	40.53
	造滓成分	36.64	17.10	16.95	19.83	30.20	30.40	26.18	17.16	26.36	30.76
	二酸化チタン (TiO_2)	8.35	2.26	4.16	3.87	5.33	6.70	0.40	2.51	7.98	7.73
	バナジウム (V)	0.448	0.118	0.134	0.151	0.207	0.241	0.022	0.095	0.330	0.252
鉱物組織		F+U	F+M+W	F+M+W	F+M+W	F+U	F+U	F+L+W	F+W	F+U	F+U

注：造滓成分 (SiO_2 +CaO+MgO+Al_2O_3)

(1)　資料No.1、No.5、No.6、No.9、No.10鉄滓について

鉄分36.52%～44.75%、造滓成分26.36～36.64、及びTiO_2量5.33%～8.35%、V量0.207%～0.448%、それに顕微鏡組織およびＳＥＭ微細組織をみると、鍛冶滓の特徴であるヴスタイト結晶がみられないことと、生成鉱物組織はウルボスピネルおよびファイヤライトであることから鍛冶滓ではなく製錬滓と判断される。またTiO_2量、V量とも高いことから、砂鉄が原料に用いられたものと推定される。次に操業の技術レベルを検討するために、本資料のSiO_2、FeO、TiO_2を100%に換算した構成比と組織の関係を示したものを表5に、これをプロットしたものを図11に示す。資料No.1は鉄分の回収が良く、SiO_2比も高いことから炉壁の溶け込みもあり炉温は高かったものと思われる。また流動性の流出滓であることから操業技術は高かったことが推定される。

資料No.5、6、9、10は鉄分比はやや高いが同位置付近に位置していることから安定した操業が行なわれているものと推定される。

表5　本資料精錬滓の組成構成比と組織の関係

番号	資料名	組成構成比				組織
		SiO_2	Feo	TiO_2	FeO/SiO_2	
No.1	五反田遺跡Ⅰ区加工段5～9鉄滓	36	54	10	1.5	U+F
No.5	五反田遺跡Ⅲ区建物14鉄滓	31	62	7	2.0	U+F
No.6	五反田遺跡Ⅲ区西側斜面鉄滓	30	61	9	2.0	U+F
No.9	岩屋口南遺跡Ⅲ区1号穴鉄滓	27	63	10	2.3	U+F
No.10	岩屋口南遺跡2号穴鉄滓	30	60	10	2.0	U+F

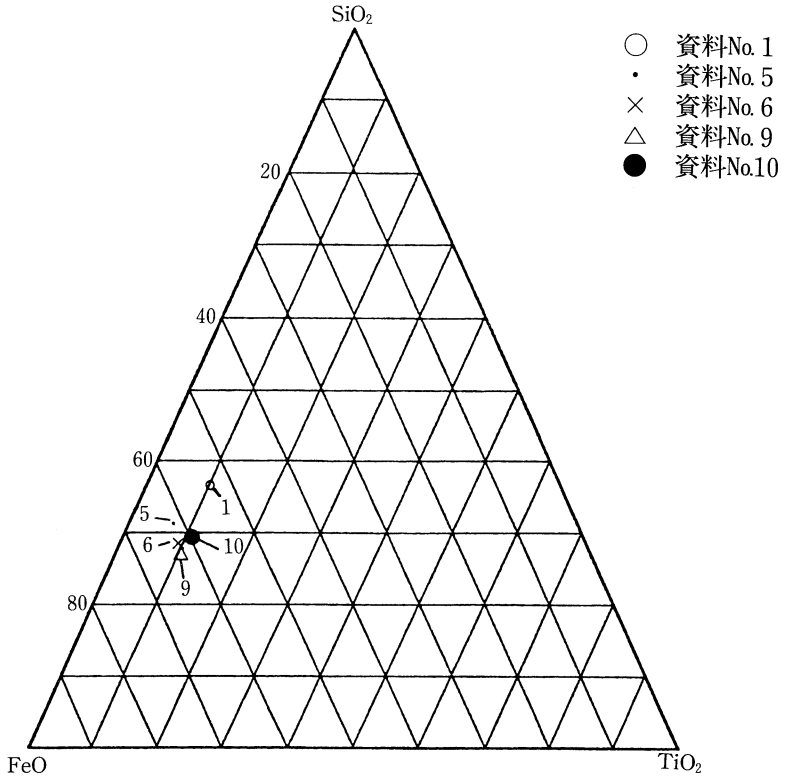


図11　組成と組織の関係

(2)　資料No. 2 、No. 3 、No. 4 、No. 7 、No. 8 鉄滓について

鉄分50.70%～59.92%と高く、造滓成分16.95～26.18と低いことが認められること、また顕微鏡組織およびＳＥ－Ｍ－ＥＤＸ分析それにＸ線回折の総てに鍛冶滓の特徴であるヴスタイト結晶が大きく発達していることから製錬滓ではなく鍛冶滓である。しかし鍛錬鍛冶滓にしては鉄分低く、造滓成分高いこと。それにTiO_2量0.40%～4.16%[2]と高いことから鍛錬鍛冶滓ではなく、砂鉄が原料に用いられた製錬鍛冶滓と推定される。

(3)　資料No.11、No.13、No.14鍛造剥片について

本資料は表２の化学組成ではＣ量0.086%～0.25%、T.Fe47.69%～55.64%、それに写真31、33、34のミクロ組織は、写真50、52、53のＳＥＭ－ＥＤＸ分析によると Fe の酸化物であることから本資料は鍛造剥片と判断される。またTiO_2 量0.38%～1.72%、Ｖ量0.017%～0.073%は砂鉄系原料を用いたことを示すものである。

(4)　資料No.12粒状滓について

粒状滓の化学組成を表２でみると、鉄分49.05%、造滓成分14.56は低く鍛冶滓の分類範囲を示している。これを写真32ミクロ写真では発達した白色結晶は写真51のＳＥＭ－ＥＤＸ分析によるとヴスタイトであることから鍛冶滓と判断される。またTiO_2 量3.69%、Ｖ量0.17%は鍛錬鍛冶滓にしては高く従って本資料は砂鉄を原料に用いた精錬鍛冶時に飛散した粒状鉄滓と判断される。

(5)　資料No.15、No.16、No.17、No.18炉壁について

本炉壁資料を(A)、(B)に分けて試料採取した。(A)は炉壁外側の粘土部分、(B)は炉内高温側で黒色状のガラス化している部分からである。粘土部(A)に対する黒色部(B)の鉄分富化率を各資料でみると、No.15は$\frac{T.Fe(B)}{T.Fe(A)}=\frac{3.56}{3.82}=0.93$と逆に少なくなっているがこれは炉の上部の方に用いられた炉壁と思われる。No.16は9.31、No.17は2.66、No.18は5.83である。従来調査した製錬炉壁の鉄分富化

率は2.37～3.06であったが本炉壁のNo.16、No.18はそれより高くかなり富化されているのが認められる。また本炉壁と従来調査した釜土の化学組成比較を表6に示す。本炉壁のSiO_2量61.92%～63.18%、Al_2O_3量18.36%～19.61%は、製錬炉釜土のSiO_2量64.44%～77.16%、Al_2O_3量13.12%～18.63%よりSiO_2量やや低く、Al_2O_3量やや高いが、これを鍛冶炉用粘土および羽口粘土組成からみると、本炉壁はそれよりSiO_2量高く、Al_2O_3量低いことが分かる。また(A)に対する(B)のTiO_2増加率をみると、3.19～6.07倍と高くなっていることから本炉壁は砂鉄製錬炉に用いられた炉壁と推定される。

表6　各種釜土の化学組成比較（重量%）

種　　類	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	T.Fe	Al_2O_3/SiO_2
No.15島田池炉壁粘土部(A)	61.92	18.84	0.71	0.14	0.25	3.82	0.304
No.16五反田炉壁粘土部(A)	63.18	18.36	0.42	0.13	0.43	1.76	0.291
No.17岩屋口1号炉壁粘土部(A)	60.97	18.38	0.63	0.20	0.50	3.88	0.301
No.18岩屋口2号炉壁粘土部(A)	62.81	19.61	0.35	0.29	0.49	1.45	0.312
砥波たたら釜土(製錬炉)　(1)	65.59	18.63	—	0.23	Tr	3.37	0.284
石見国価谷たたら釜土(製錬炉)　(1)	77.16	14.19	—	0.03	Tr	1.91	0.193
靖国たたら釜土(製錬炉)　(2)	68.54	13.12	—	0.25	0.26	3.10	0.191
(製錬炉)　(3) 日本鉄鋼協会復元たたら釜土	64.44	13.60	—	0.20	0.38	2.83	0.211
(鍛冶炉)　(4) 鳥上作刀鍛錬場火床羽口取付粘土	54.28	19.10	0.89	1.17	1.33	4.62	0.352
(鍛冶炉)　(5) 島根県大東町塩田中新田羽口粘土	56.00	24.60	0.15	0.26	1.20	3.54	0.439
庄原市則清遺跡鍛冶炉壁(6)	55.30	19.13	0.14	1.00	0.95	7.07	0.346

注　(1)　俵国　一　：　古来の砂鉄製錬法　丸善　1933
　　(2)　小塚寿吉　：　古来の砂鉄製錬法“たたら”について　鉄と鋼第52年第12号
　　(3)　日本鉄鋼協会　：　たたら製鉄の復元とその鉧について　昭和46年2月27日
　　(4)　和鋼記念館　：　鳥上作刀鍛錬場鍛冶滓の調査　昭和63年6月30日
　　(5)　和鋼博物館　：　塩田中新田製鉄遺跡出土鉄滓の調査　平成5年12月15日
　　(6)　和鋼記念館　：　庄原市則清遺跡出土鉄の調査　平成5年1月13日

(6)　出土木炭について

出土木炭の化学組成を表7に示す。また従来調査した中世～近世初期ごろの若林製鍛遺跡木炭と、近世後期～近代前期ごろの黒導遺跡出土木炭とそれに現代木炭の化学組成を表8に示す。本資料木炭は、これをみると中世～近代前期ごろの木炭組成とほぼ同程度の炭と推定される。

また、資料木炭の破断面を走査型電子顕微鏡で観察し、材質の分っている木炭の破断面と比較して、原木材質の推定を行なった。資料木炭の破断面拡大写真を写真58～60に示す。その結果資料No.19は不明、No.20は「みずなら」と推定した。

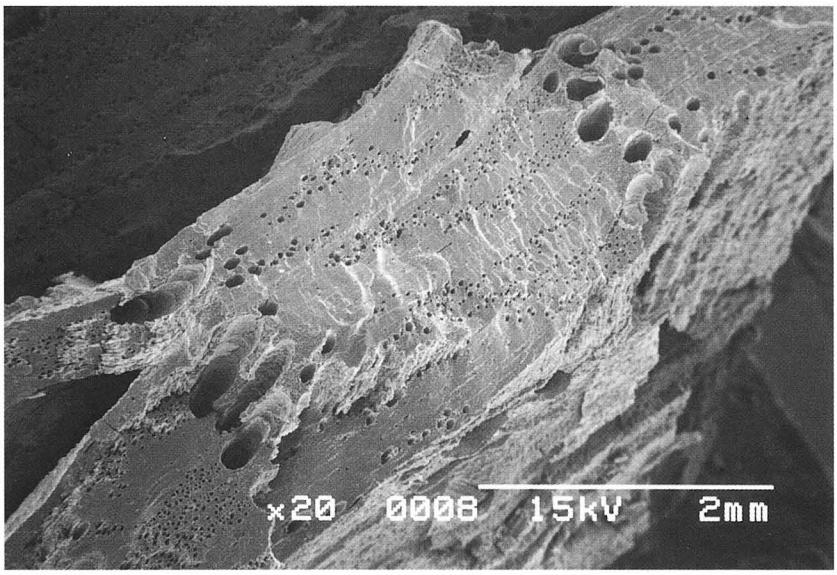
表7　出土木炭の化学組成（重量%）

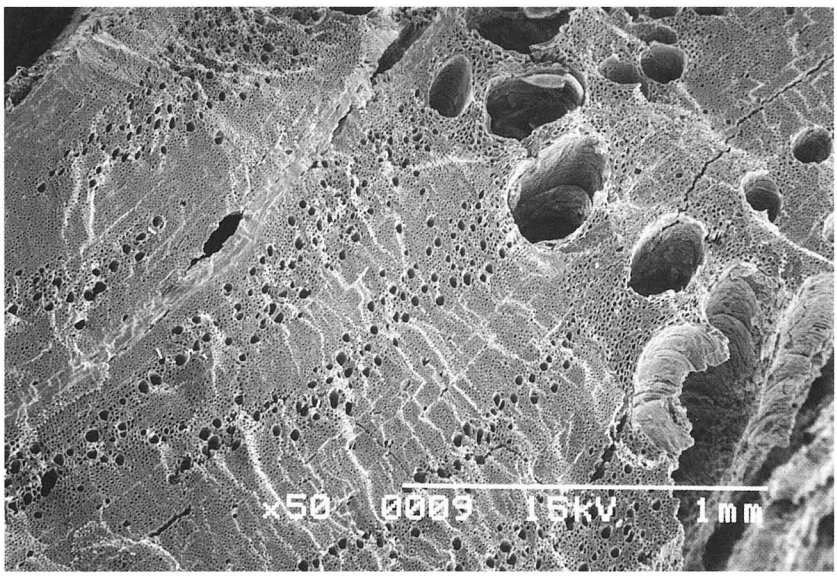
番号	資　料　名	水　分	揮発分	固定炭素	灰　分
No.19	五反田遺跡出土木炭 Ⅰ区土坑9	13.79	32.76	47.21	6.24
No.20	五反田遺跡出土木炭 土坑10	14.23	33.04	44.82	7.91

表8　各種木炭の化学組成比較（重量%）

資　料　名	水　分	揮発分	固定炭素	灰　分
若林製鉄遺跡中央部出木炭(3)	15.99	34.10	44.35	5.56
若林製鉄遺跡窯焚口付近木炭(3)	12.99	29.29	41.29	16.43
工　業　炭　雑　(1)	6.21	26.91	65.46	1.42
工　業　炭　栗　(1)	4.46	34.34	59.20	2.00
工　業　炭　樫　(1)	4.82	24.75	68.77	1.66
大朝町黒尊遺跡炉1．木炭(2)	12.67	34.59	45.11	7.63
大朝町黒尊遺跡炉2．木炭(2)	12.58	36.09	45.03	6.30

注　(1)　日本鉄鋼協会　：　たたら製鉄の復元とその鋼についてより引用　昭和46年2月27日
　　(2)　和鋼博物館　：　広島県山県郡黒尊遺跡出土鉄滓、羽口、木炭の調査より引用
　　平成6年10月1日
　　(3)　和鋼博物館　：　広島県豊年町若林製鉄遺跡出土鉄滓および砂鉄、木炭の調査
　　平成7年4月28日





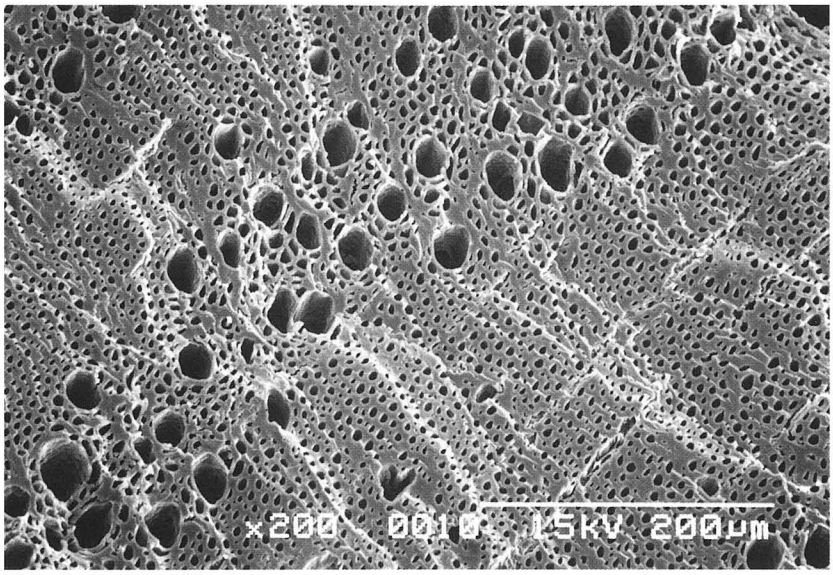
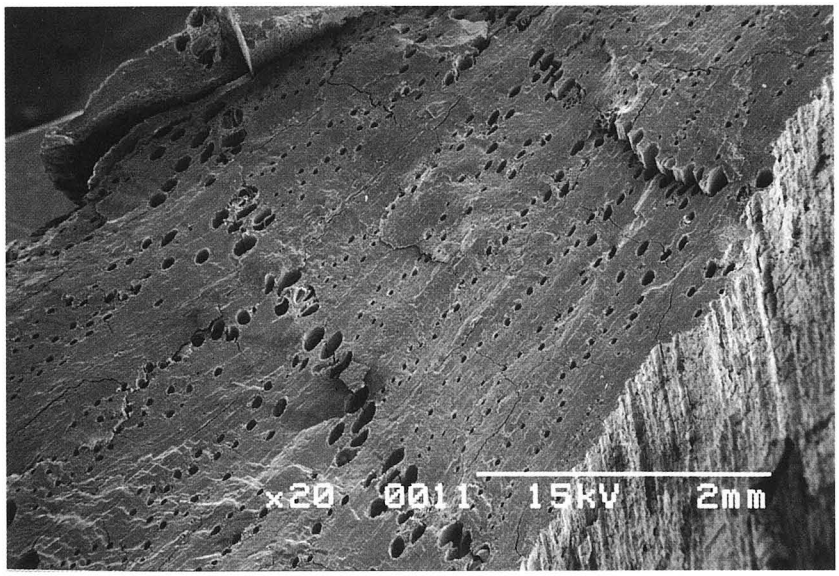
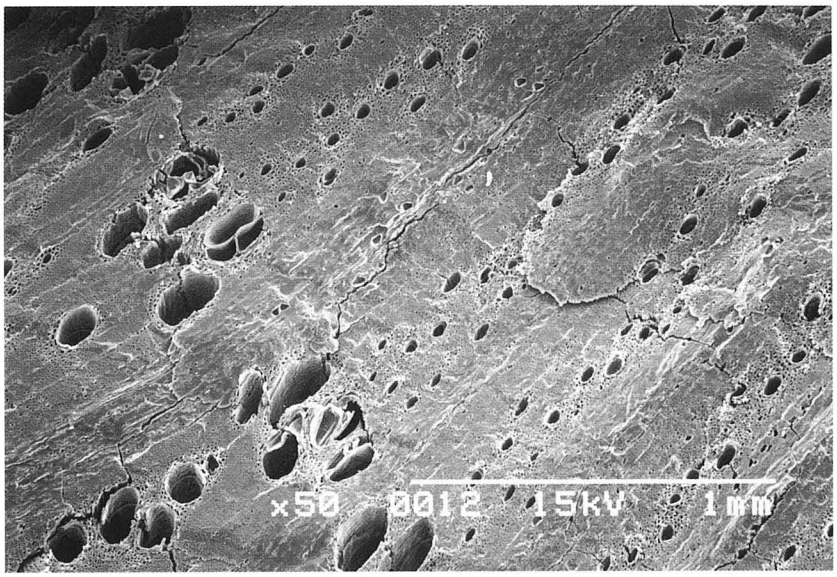


写真58　資料No.19





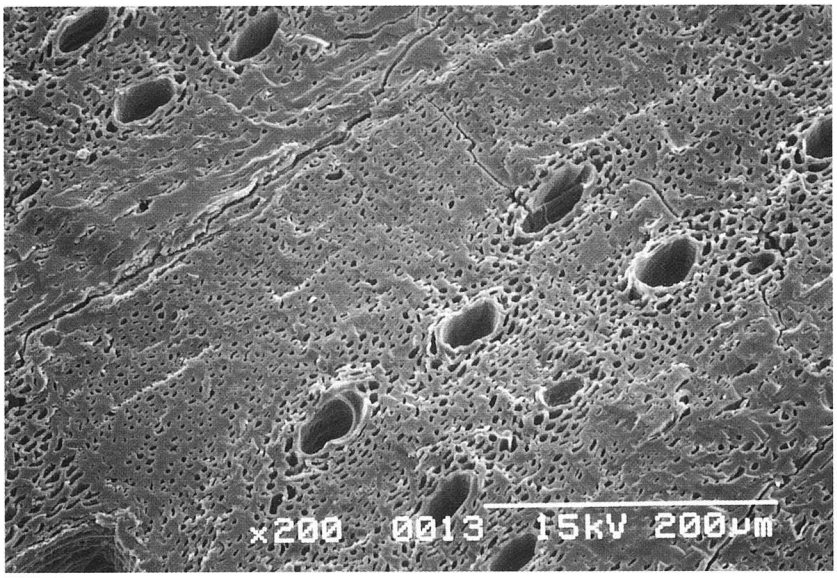
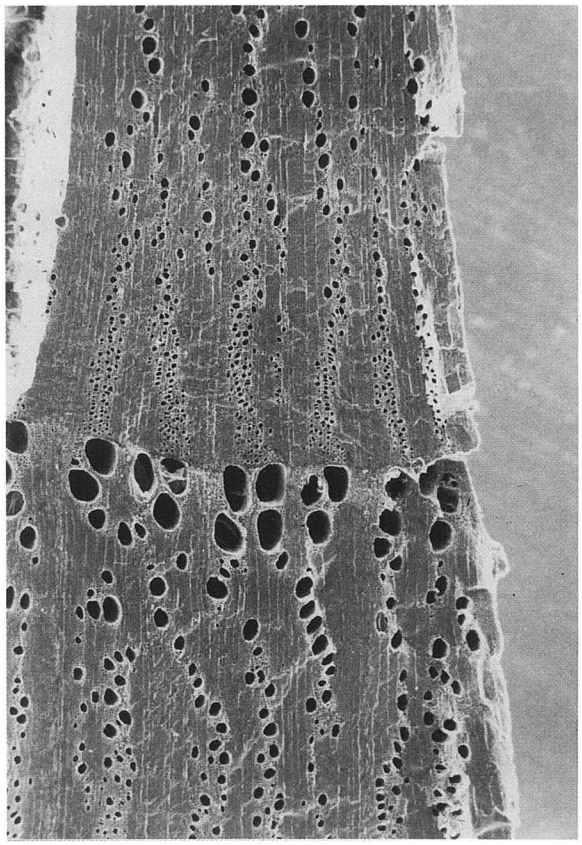
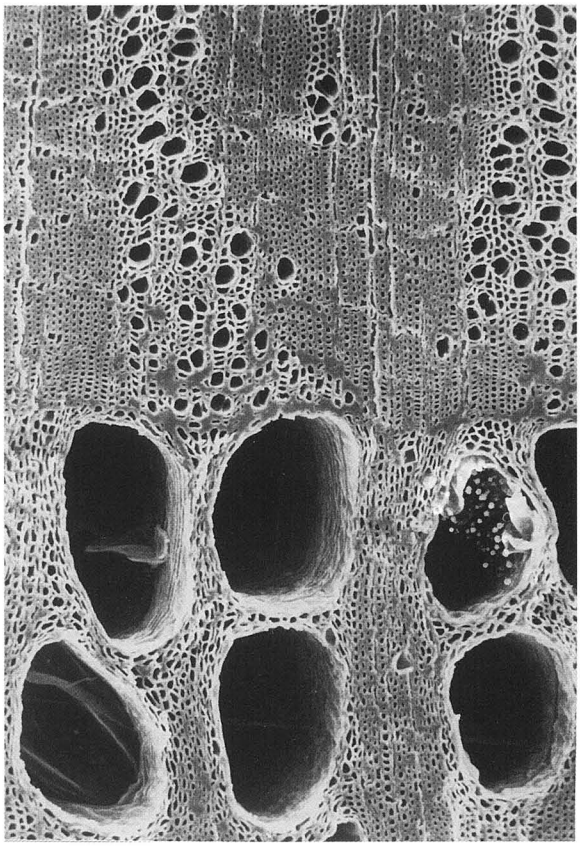


写真59　資料No.20



(X 20)



(X 100)

写真60　みずなら炭の見本

6．結　　言

安来道路内各遺跡より出土した鉄滓、鍛造剥片、炉壁、木炭について調査を行なった。結果を要約すると次の通りである。

(1)　資料No.１、No.５、No.６、No.９、No.10鉄滓は砂鉄を原料に用いた製錬滓と推定した。

(2)　資料No.２、No.３、No.４、No.７、No.８鉄滓は砂鉄を原料とした精錬鍛冶滓と推定した。

(3)　資料No.11、No.13、No.14は砂鉄を原料とした鍛造剥片と推定した。

(4)　資料No.12は砂鉄を用いた精錬鍛冶中に飛散した粒状滓と推定した。

(5)　資料No.15、No.16、No.17、No.18炉壁は砂鉄を原料にした製鉄炉に用いられた炉壁と推定した。

(6)　資料No.19、No.20木炭は中世～近代前期ごろの木炭組成と同程度の木炭と推定した。以上の調査は日立金属株式会社冶金研究所で実施し、日立金属テクノクス清永主管コンサルタントに御指導頂いた。

参考文献

(1)　大沢正己：古代出土鉄滓からみた古代製鉄：日本製鉄史論集119Ｐ(たたら研究会 1984)

(2)　和鋼記念館：鳥上作刀鍛錬場鍛冶滓の調査　昭和63年６月30日

第２節　五反田遺跡他出土の羽口の調査

一般国道９号(安来道路)建設予定地内の事前発掘調査が島根県埋蔵文化財調査センターによって行なわれた。その結果御見津遺跡五反田遺跡より羽口が出土した。遺跡年代は６世紀末～８世紀初頃と考えられている遺跡で、出土羽口について分析調査の依頼があったので金属学的調査を行なった。その結果と若干の考察を加えたので併せて報告する。

１．資　　料

資料の明細および外観をそれぞれ表１、写真１～３に示す。

表１　各資料の明細

番号	資　料　名	明　　細	重　量(g)
No.1	御見津遺跡Ⅲ区 第１ 加工段羽口６世紀末頃	約20mmφの穴径がある粘土色をした羽口。内側より外側が熱を受けたように赤みが消えやや白色を呈す	15 15
No.2	五反田遺跡Ⅰ区建物８ 羽口　　７世紀初	約20mmφの穴径がある羽口、外側はやや黒く固く焼結状が一部あり、内側はやや白くなった粘土色を呈す	240
No.3	五反田遺跡Ⅰ区建物６ 羽口　７世紀末～８世紀初	約20mmφの穴径がある羽口、炉内側と思われる先端部は黒色溶融状を呈す。内側はやや白色状の粘土	52

２．化学組成

各資料から試料を採取し化学分析を行った。各資料の化学組成を表２に示す。このうち炭素および硫黄は堀場製作所ＥＭＩＡ－1200型Ｃ・Ｓ同時定量装置による赤外線吸収法により、その他の元素は島津製作所高周波誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICPV-1012型)により定量した。

表２　各羽口の化学組成（重量%）

番号	資　料　名	C	SiO_2	MnO	P	S	Cr_2O_3	K	CaO	MgO	V_2O_5	TiO_2	Al_2O_3	T.Fe
No.1	御見津Ⅲ区第１ 加工段羽口粘土部	0.33	65.93	0.012	0.020	0.17	0.01	0.70	0.10	0.08	0.015	0.57	18.50	1.15
No.2	五反田Ⅰ区建物８ 羽口粘土部	0.18	68.16	0.023	0.067	0.075	0.01	0.97	0.13	0.44	0.032	1.07	17.81	4.17
No.3	五反田Ⅰ区建物６ 羽口粘土部(A)	0.15	70.59	0.024	0.026	0.049	0.01	0.68	0.13	0.33	0.017	0.57	15.67	1.97
No.3	五反田Ⅰ区建物６ 羽口黒色溶融部(B)	0.035	69.61	0.096	0.071	0.012	0.02	2.24	1.90	0.29	0.021	0.57	11.28	4.19

３．顕微鏡組織

No.3羽口黒色溶融部の顕微鏡組織を写真４に示す。

白色結晶はマグネタイト(Fe_3O_4)、基地のガラス質はシリカ(S_iO_2)系と認められる。

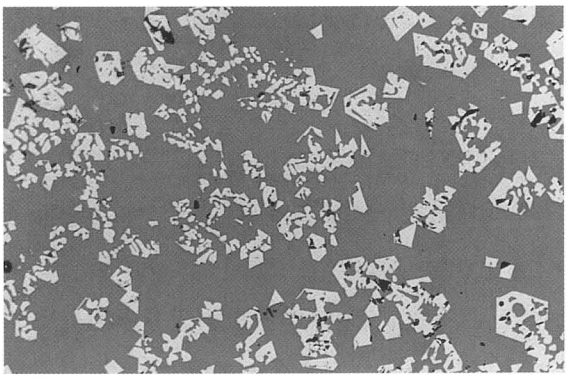
４．構成相の解析

前項で観察した試料を用いて走査型電子顕微鏡(ＳＥＭ)による微細組織の観察ならびにＥＤＸ(エネルギー分散型Ｘ線分析)による局部的な定性分析を行なった。結果を写真５に示す。ＳＥＭ写真には白色の結晶が認められる。これがＥＤＸ分析には Fe のピークで示されるが図１に示すＸ線回折によるとマグネタイトが主体であることから白色結晶はマグネタイトと推定される。

写真１　資料No. 1 羽口の外観

写真２　資料No. 2 羽口の外観

写真３　資料No. 3 羽口の外観



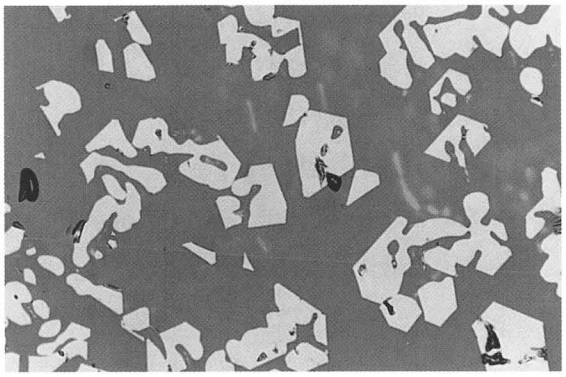


写真4　No.3 五反田遺跡羽口溶融部（X 100）　（X 400）
白色結晶はマグネタイト

また基地のガラス質は主としてシリカ(SiO_2)であり、それにアルミナ(Al_2O_3)、カルシア(CaO)のピークが認められる。

5．考　　察

本資料羽口と従来調査の各種釜土との化学組成比較によって本羽口が鍛冶炉に使用されていたのかを考察してみる。

(1)　No.1、2、3羽口について

本羽口と従来調査の各種釜土の化学組成比較を表3に示す。表3によると、製錬炉釜土のAl_2O_3/SiO_2 比は0.191～0.284であり、鍛冶炉羽口では0.352～0.563と大きく即ちSiO_2 量低く、Al_2O_3 量の多い炉材が用いられていることが分かる。これに対し本羽口では0.222～0.281と製錬炉釜土に近い比率を示し。また鉄分も釜土よりも低く平均で2.43%あることから良質な炉材を選ぶ技術は高かったものと推定される。

表3　各種釜土の化学組成の比較（重量%）

種　　類	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	T.Fe	Al_2O_3/SiO_2
No.1 安来道路御見津遺跡羽口粘土部	65.93	18.50	0.57	0.10	0.08	1.15	0.281
No.2 安来道路五反田遺跡羽口粘土部	68.16	17.81	1.07	0.13	0.44	4.17	0.261
No.3 安来道路五反田遺跡羽口粘土部	70.59	15.67	0.57	0.13	0.33	1.97	0.222
砥波たたら釜土（製錬炉）(1)	65.59	18.63	－	0.23	Tr	3.37	0.284
石見国価谷たたら釜土（製錬炉）(1)	77.16	14.19	－	0.03	Tr	1.91	0.193
靖国たたら釜土（製錬炉）(2)	68.54	13.12	－	0.25	0.26	3.10	0.191
日本鉄鋼協会復元たたら釜土(製錬炉)(3)	64.44	13.60	－	0.20	0.38	2.83	0.211
鳥上作刀鍛錬場火床羽口取付粘土(4)	54.28	19.10	0.89	1.17	1.33	4.62	0.352
島根県大東町塩田中新田羽口粘土部(5)	56.00	24.60	0.15	0.26	1.20	3.54	0.439
広島県大朝町門前遺跡フイゴ羽口(赤色)(6)	56.90	31.66	0.61	0.06	0.23	3.30	0.556
広島県大朝町門前遺跡フイゴ羽口(白色)(6)	55.05	30.99	0.98	0.27	0.46	1.91	0.563
島根県大田市円城寺前遺跡土坑出土羽口(7)	53.09	23.78	0.28	0.32	0.61	4.40	0.448

注　(1)　俵　国一　：　古来の砂鉄製錬法　丸善 1933
(2)　小塚寿吉　：　古来の砂鉄精錬法“たたら”について　鉄と鋼第52
(3)　日本鉄鋼協会　：　たたら製鉄の復元とその鈩について　昭和46年2月27日
(4)　和鋼記念館　：　鳥上作刀鍛錬場鍛冶滓の調査　昭和63年6月30日
(5)　和鋼博物館　：　塩田中新田製鉄遺跡出土鉄滓の調査　平成5年12月15日
(6)　和鋼記念館　：　広島県大朝町門前遺跡出土鉄滓の調査　平成3年6月10日
(7)　和鋼博物館　：　太田市円城寺前遺跡出土鉄滓の調査　平成6年3月31日

なお、別に調査を行なった五反田遺跡壁土の組成とこの羽口の組成はほぼ同じであり、壁土粘土を用いて羽口を製作したものと思われる。表3に示す他の遺跡のフイゴ羽口と比べると SiO_2 が高く Al_2O_3 は低い。

(2) No.3羽口黒色溶融部について

本羽口試料を(A)、(B)に分けて分析試料を採取した。(A)は外側の粘土部から、(B)羽炉内高温側の黒色ガラス化している部分からである。粘土部(A)に対する黒色部(B)の鉄分富化率[1]をみると $\frac{T.Fe(B)}{T.Fe(A)}=\frac{4.19}{1.97}=2.13$ であり、従来調査した製錬炉釜土の鉄分富化率2.37～3.06より本羽口はやや低いことと、写真5の白色結晶は、図1のX線回折像によるとマグネタイトが主体であり、ガラス質の基地中に晶出している状態から鍛冶炉に用いられた羽口と推定される。またヴスタイト(FeO)が僅かであることから鍛冶はやや還元雰囲中でおこなわれたものと推定される。

6．結　　言

6世紀末から8世紀初頃といわれる御見津遺跡および五反田遺跡から出土した羽口について調査を行なった。結果を要約すると次の通りである。

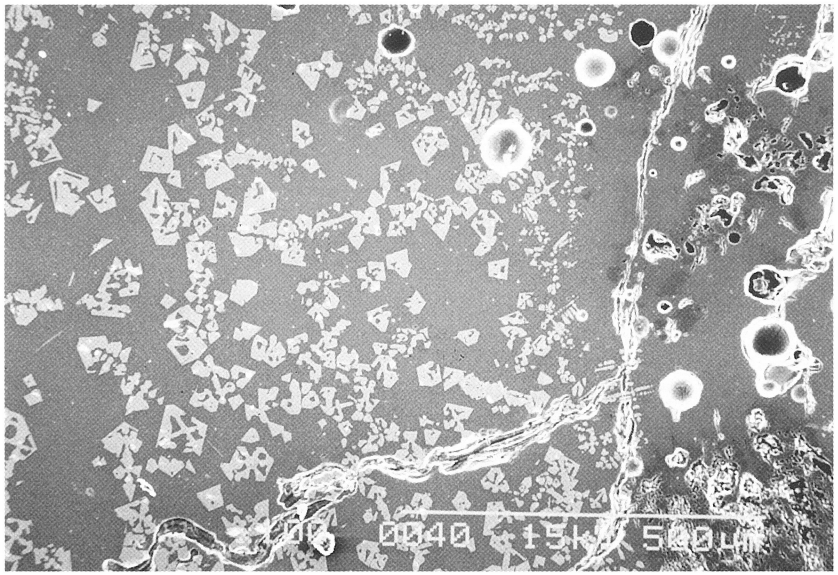
(1) No.1、2、3羽口とも近代製鉄炉釜土と同等の良質な炉材を用いたと推定した。

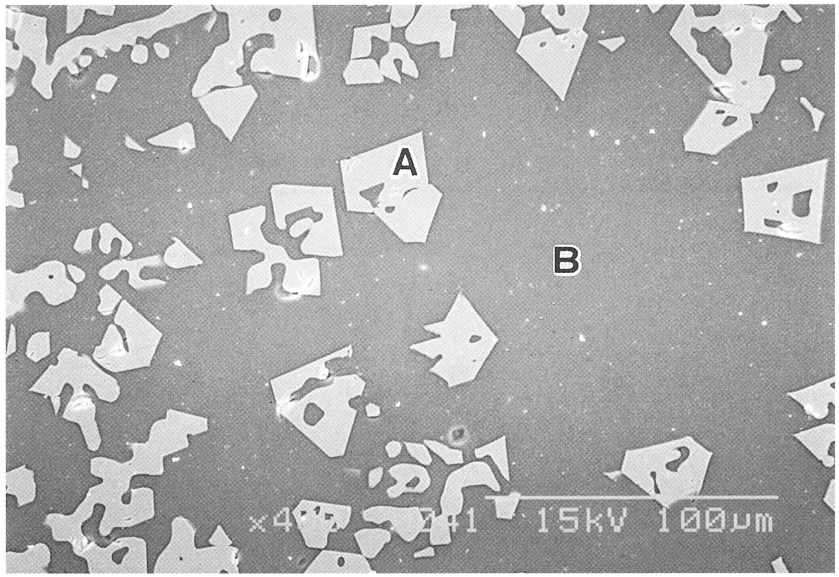
(2) No.3羽口黒色溶融部から鍛冶炉に用いられた羽口と推定した。

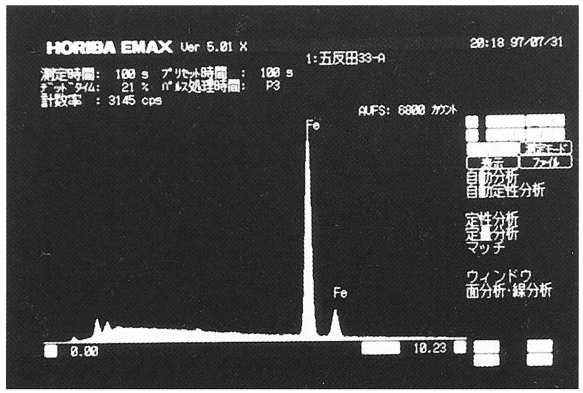
以上の調査は島根県埋蔵文化財調査センターの依頼により、日立金属株式会社冶金研究所で実施し、日立金属テクノクス清永主管コンサルタントに御指導を頂いた。

参考文献

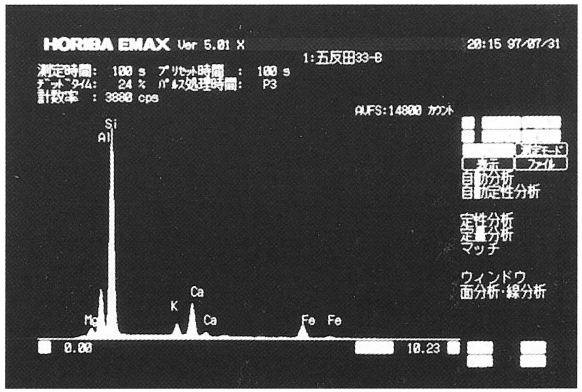
(1) 清永欣吾：瑞穂町田所下稲迫および清造山製鉄遺跡鉄滓の調査　平成2年6月30日







A部　マグネタイト



B部　基　地

写真５　資料No.３羽口黒色溶融部のＳＥＭとＥＤＸ分析

サンプル名 ： 五反田遺跡 S1-03 ［平滑化 ］ 方法 ： 加重平均　　平滑化点数 ： 7
ファイル ： 博物館.1528 ［バックグラウンド除去 ］
コメント ： S1-03 羽口 溶融部
測定日 ： 30-Sep-97 09:43 ［Kα2除去 ］
測定者 ： dmax ［ピークサーチ ］

ピーク幅しきい値 ： 0.50
ピーク強度しきい値 ： 50.000

安来道路五反田遺跡 N O 3

○	Fe_3O_4	19－0629
×	SiO_2	38－0471
▲	SiO_2	39－1425
●	FeO	06－0615

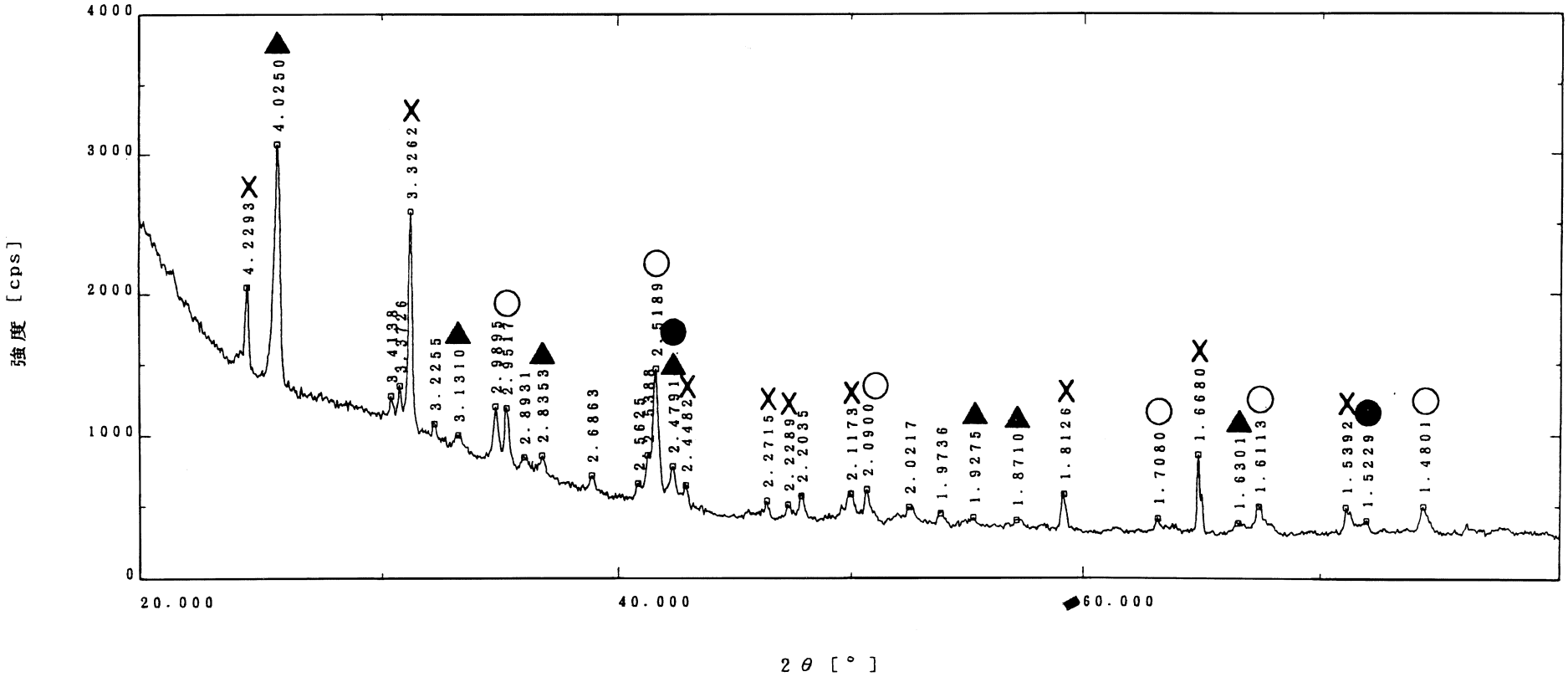
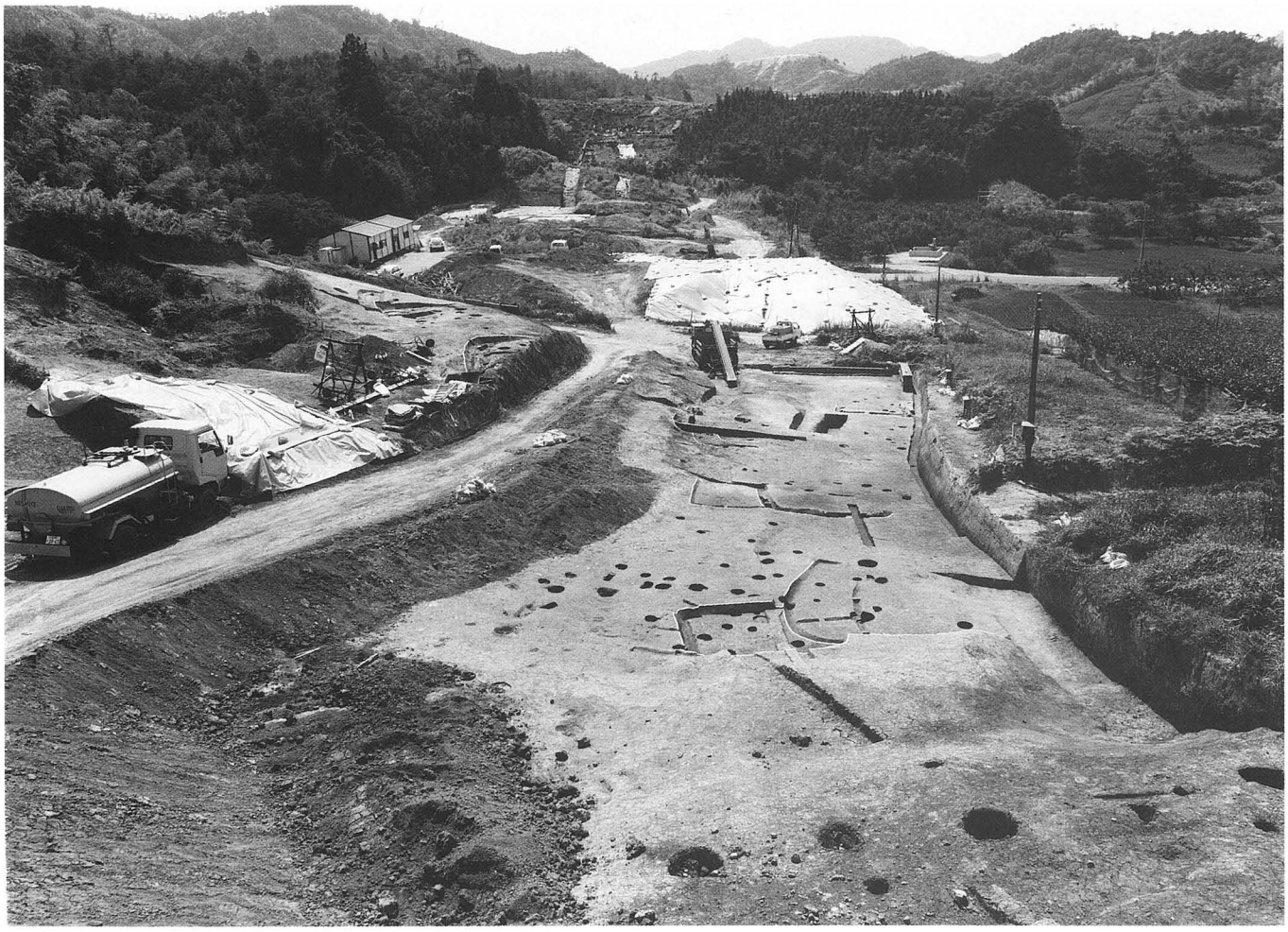


図1　資料No.3 炉壁溶融部のX線回折像

図　版

主要部全景（東から）

調査前全景（南東から）



周辺部（東から）

谷部全景（東から）

同上（西から）

建物１（東から）

同上遺物出土状況

建物１・２（東から）

建物２（東から）

建物 3 （南西から）

同上検出状況（北東から）

建物４・５（南西から）

同上（北東から）

建物 5 床面（南西から）

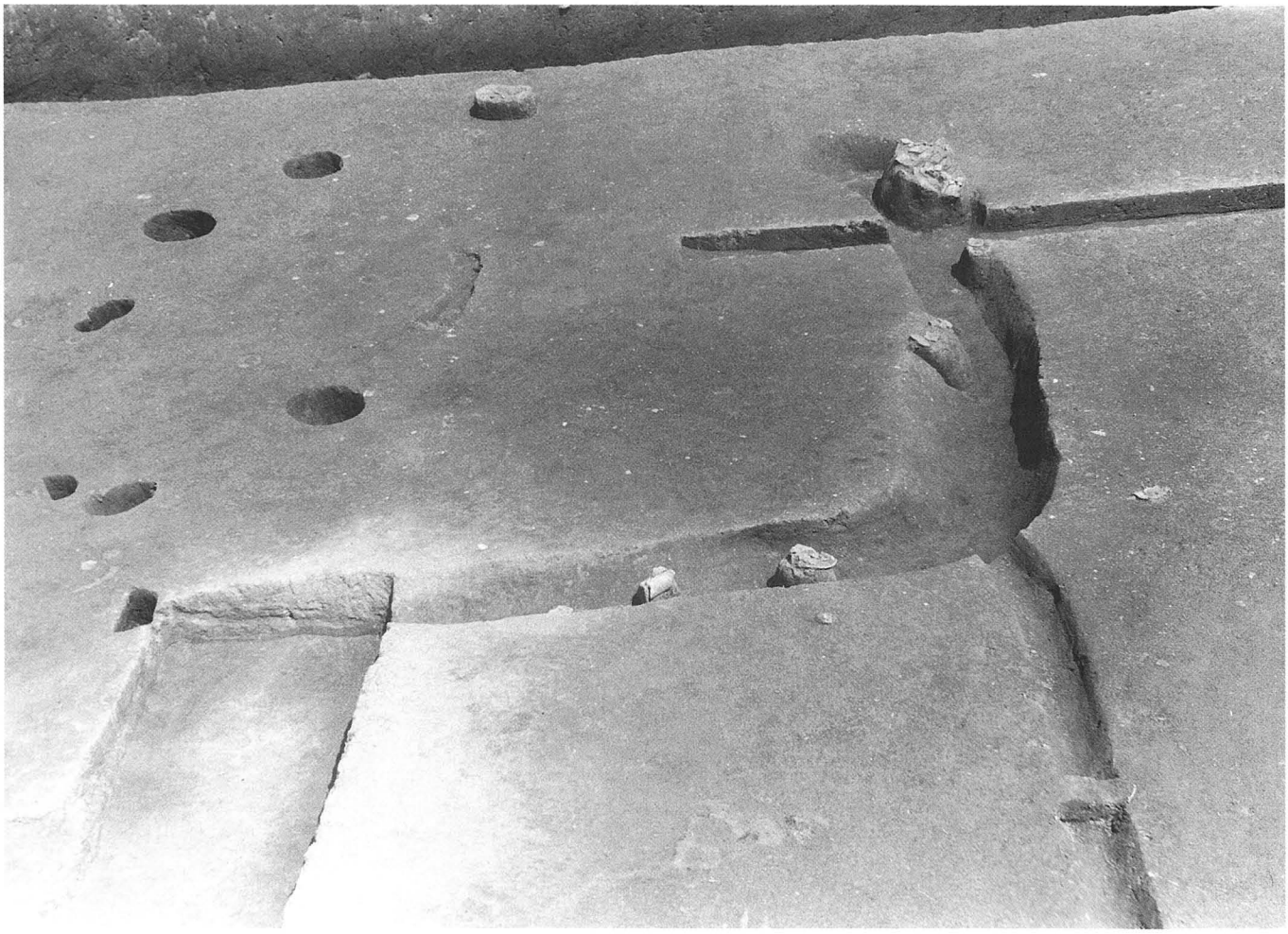
同上（南西から）

建物 6 （西から）

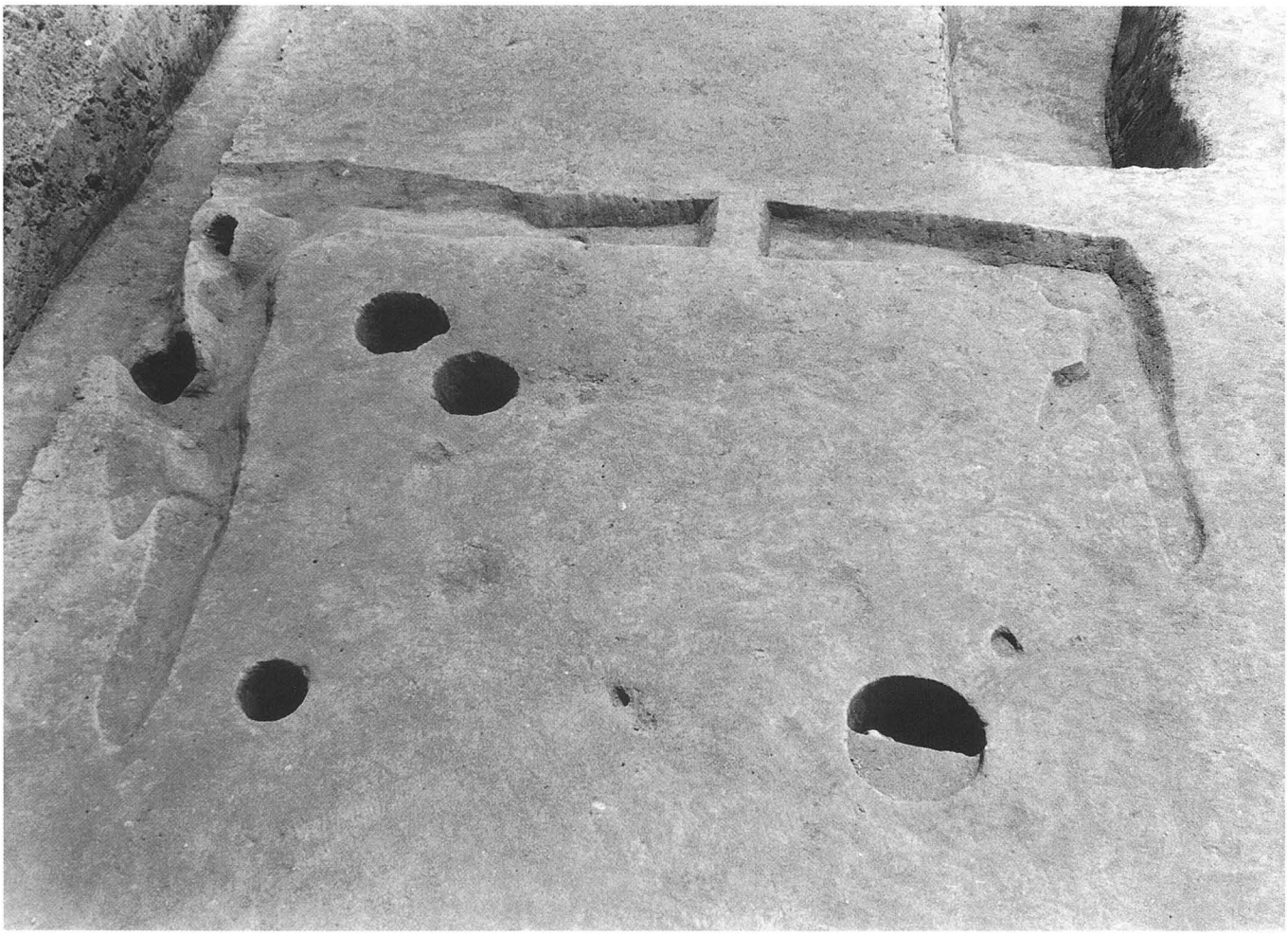
同上堆積土層（南から）

建物７（北西から）

段状遺構１（東から）



段状遺構２～４（南から）



段状遺構５（西から）

段状遺構６・７（南西から）

段状遺構８（東から）

段状遺構10（東から）

土器溜まり（北から）