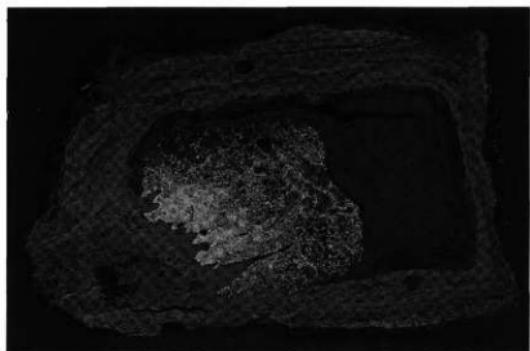
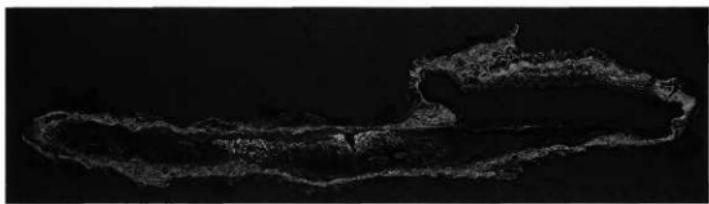


TER-16 ×5

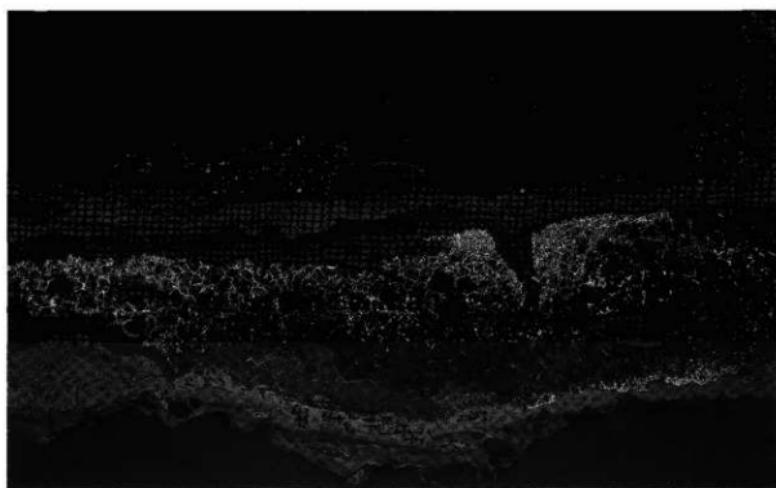


TER-17 ×10

Photo.26 上段：鉄器(刀器)(TER-16)のマクロ組織(×5)
下段：鉄器(角棒状)(TER-17)のマクロ組織(×10)



TER-18×5



TER-18 ×10

Photo.27 鉄素材(板状未製品)(TER-18)のマクロ組織
上段:(×5) 下段:(×10)

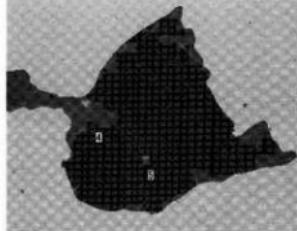
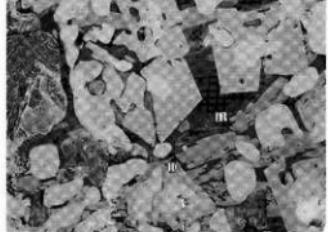
COMP ×1000		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mg2O</td> <td>0.025</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>MgO</td> <td>12.302</td> <td>3.845</td> </tr> <tr> <td>Al2O3</td> <td>58.379</td> <td>6.374</td> </tr> <tr> <td>SiO2</td> <td>0.492</td> <td>0.954</td> </tr> <tr> <td>TiO2</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>R2O</td> <td>0.003</td> <td>0.006</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td>0.015</td> <td>0.034</td> </tr> <tr> <td>TiO2</td> <td>3.186</td> <td>68.221</td> </tr> <tr> <td>Cr2O3</td> <td>0.577</td> <td>0.487</td> </tr> <tr> <td>MnO</td> <td>3.456</td> <td>1.726</td> </tr> <tr> <td>FeO</td> <td>17.209</td> <td>7.953</td> </tr> <tr> <td>ZrO2</td> <td>-</td> <td>0.013</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>V2O3</td> <td>3.499</td> <td>0.050</td> </tr> <tr> <td>As2O5</td> <td>0.337</td> <td>0.110</td> </tr> </tbody> </table> <p>Total: 100.783 99.213</p>	Element	1	2	F	-	-	Mg2O	0.025	-	MgO	12.302	3.845	Al2O3	58.379	6.374	SiO2	0.492	0.954	TiO2	-	-	Zr	-	-	R2O	0.003	0.006	CaO	0.015	0.034	TiO2	3.186	68.221	Cr2O3	0.577	0.487	MnO	3.456	1.726	FeO	17.209	7.953	ZrO2	-	0.013	CaO	-	-	V2O3	3.499	0.050	As2O5	0.337	0.110																																																			
Element	1	2																																																																																																									
F	-	-																																																																																																									
Mg2O	0.025	-																																																																																																									
MgO	12.302	3.845																																																																																																									
Al2O3	58.379	6.374																																																																																																									
SiO2	0.492	0.954																																																																																																									
TiO2	-	-																																																																																																									
Zr	-	-																																																																																																									
R2O	0.003	0.006																																																																																																									
CaO	0.015	0.034																																																																																																									
TiO2	3.186	68.221																																																																																																									
Cr2O3	0.577	0.487																																																																																																									
MnO	3.456	1.726																																																																																																									
FeO	17.209	7.953																																																																																																									
ZrO2	-	0.013																																																																																																									
CaO	-	-																																																																																																									
V2O3	3.499	0.050																																																																																																									
As2O5	0.337	0.110																																																																																																									
TER-10-1		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F</td> <td>-</td> <td>0.046</td> </tr> <tr> <td>Mg2O</td> <td>0.035</td> <td>0.042</td> </tr> <tr> <td>MgO</td> <td>6.574</td> <td>2.142</td> </tr> <tr> <td>Al2O3</td> <td>2.309</td> <td>0.746</td> </tr> <tr> <td>SiO2</td> <td>0.587</td> <td>26.546</td> </tr> <tr> <td>P2O5</td> <td>-</td> <td>0.032</td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>-</td> <td>0.002</td> </tr> <tr> <td>R2O</td> <td>0.006</td> <td>2.800</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td>0.789</td> <td>13.722</td> </tr> <tr> <td>TiO2</td> <td>71.920</td> <td>17.444</td> </tr> <tr> <td>Cr2O3</td> <td>-</td> <td>0.210</td> </tr> <tr> <td>MnO</td> <td>1.013</td> <td>2.119</td> </tr> <tr> <td>FeO</td> <td>10.276</td> <td>12.388</td> </tr> <tr> <td>ZrO2</td> <td>0.054</td> <td>0.466</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td>-</td> <td>0.011</td> </tr> <tr> <td>V2O3</td> <td>6.538</td> <td>0.194</td> </tr> <tr> <td>As2O5</td> <td>0.100</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Total: 100.249 99.933</p>	Element	4	5	F	-	0.046	Mg2O	0.035	0.042	MgO	6.574	2.142	Al2O3	2.309	0.746	SiO2	0.587	26.546	P2O5	-	0.032	Zr	-	0.002	R2O	0.006	2.800	CaO	0.789	13.722	TiO2	71.920	17.444	Cr2O3	-	0.210	MnO	1.013	2.119	FeO	10.276	12.388	ZrO2	0.054	0.466	CaO	-	0.011	V2O3	6.538	0.194	As2O5	0.100	-																																																			
Element	4	5																																																																																																									
F	-	0.046																																																																																																									
Mg2O	0.035	0.042																																																																																																									
MgO	6.574	2.142																																																																																																									
Al2O3	2.309	0.746																																																																																																									
SiO2	0.587	26.546																																																																																																									
P2O5	-	0.032																																																																																																									
Zr	-	0.002																																																																																																									
R2O	0.006	2.800																																																																																																									
CaO	0.789	13.722																																																																																																									
TiO2	71.920	17.444																																																																																																									
Cr2O3	-	0.210																																																																																																									
MnO	1.013	2.119																																																																																																									
FeO	10.276	12.388																																																																																																									
ZrO2	0.054	0.466																																																																																																									
CaO	-	0.011																																																																																																									
V2O3	6.538	0.194																																																																																																									
As2O5	0.100	-																																																																																																									
TER-10-2		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>TiO2</td> <td>0.041</td> <td>0.032</td> <td>-</td> <td>0.323</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>0.011</td> <td>0.048</td> <td>3.167</td> <td>0.239</td> </tr> <tr> <td>Al2O3</td> <td>0.011</td> <td>0.048</td> <td>0.077</td> <td>0.277</td> </tr> <tr> <td>SiO2</td> <td>0.721</td> <td>0.176</td> <td>22.643</td> <td>18.733</td> </tr> <tr> <td>P2O5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0.693</td> <td>0.143</td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0.604</td> <td>0.030</td> </tr> <tr> <td>R2O</td> <td>0.027</td> <td>-</td> <td>0.034</td> <td>0.014</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td>0.005</td> <td>-</td> <td>4.944</td> <td>1.781</td> </tr> <tr> <td>TiO2</td> <td>0.479</td> <td>0.724</td> <td>0.125</td> <td>0.583</td> </tr> <tr> <td>Cr2O3</td> <td>0.052</td> <td>0.088</td> <td>0.101</td> <td>0.037</td> </tr> <tr> <td>MnO</td> <td>0.011</td> <td>0.014</td> <td>0.014</td> <td>0.011</td> </tr> <tr> <td>FeO</td> <td>45.38</td> <td>100.249</td> <td>81.162</td> <td>12.490</td> </tr> <tr> <td>ZrO2</td> <td>-</td> <td>0.015</td> <td>-</td> <td>0.175</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>TiO2</td> <td>1.247</td> <td>0.232</td> <td>0.016</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Cr2O3</td> <td>0.007</td> <td>-</td> <td>0.017</td> <td>0.048</td> </tr> <tr> <td>As2O5</td> <td>-</td> <td>0.038</td> <td>0.948</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SiO2</td> <td>-</td> <td>0.307</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Al2O3</td> <td>0.048</td> <td>0.021</td> <td>0.047</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Total: 45.064 102.542 182.121 91.482</p>	Element	8	9	10	11	F	-	-	-	-	TiO2	0.041	0.032	-	0.323	Mg	0.011	0.048	3.167	0.239	Al2O3	0.011	0.048	0.077	0.277	SiO2	0.721	0.176	22.643	18.733	P2O5	-	-	0.693	0.143	Zr	-	-	0.604	0.030	R2O	0.027	-	0.034	0.014	CaO	0.005	-	4.944	1.781	TiO2	0.479	0.724	0.125	0.583	Cr2O3	0.052	0.088	0.101	0.037	MnO	0.011	0.014	0.014	0.011	FeO	45.38	100.249	81.162	12.490	ZrO2	-	0.015	-	0.175	CaO	-	-	-	-	TiO2	1.247	0.232	0.016	-	Cr2O3	0.007	-	0.017	0.048	As2O5	-	0.038	0.948	-	SiO2	-	0.307	-	-	Al2O3	0.048	0.021	0.047	-
Element	8	9	10	11																																																																																																							
F	-	-	-	-																																																																																																							
TiO2	0.041	0.032	-	0.323																																																																																																							
Mg	0.011	0.048	3.167	0.239																																																																																																							
Al2O3	0.011	0.048	0.077	0.277																																																																																																							
SiO2	0.721	0.176	22.643	18.733																																																																																																							
P2O5	-	-	0.693	0.143																																																																																																							
Zr	-	-	0.604	0.030																																																																																																							
R2O	0.027	-	0.034	0.014																																																																																																							
CaO	0.005	-	4.944	1.781																																																																																																							
TiO2	0.479	0.724	0.125	0.583																																																																																																							
Cr2O3	0.052	0.088	0.101	0.037																																																																																																							
MnO	0.011	0.014	0.014	0.011																																																																																																							
FeO	45.38	100.249	81.162	12.490																																																																																																							
ZrO2	-	0.015	-	0.175																																																																																																							
CaO	-	-	-	-																																																																																																							
TiO2	1.247	0.232	0.016	-																																																																																																							
Cr2O3	0.007	-	0.017	0.048																																																																																																							
As2O5	-	0.038	0.948	-																																																																																																							
SiO2	-	0.307	-	-																																																																																																							
Al2O3	0.048	0.021	0.047	-																																																																																																							
TER-23-1																																																																																																											

Photo.28 出土鍛冶関連遺物のEPMA調査結果
反射電子像(70%縮小)及び定量分析値

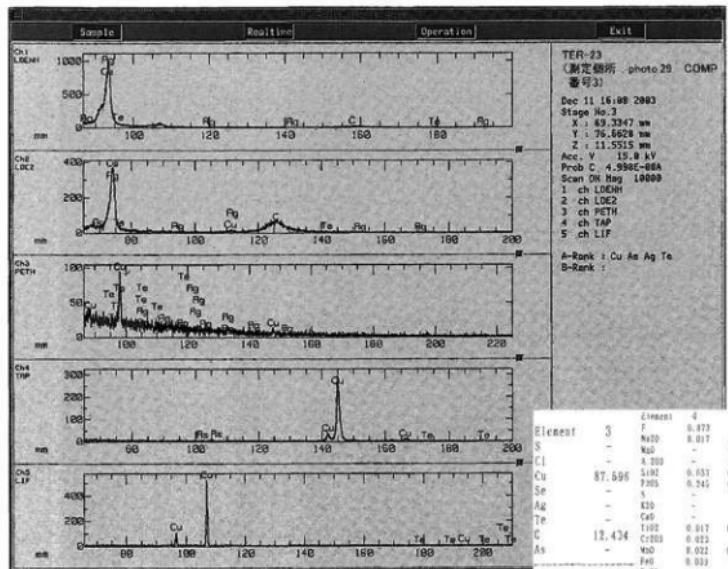


Fig.1 高速定性分析結果

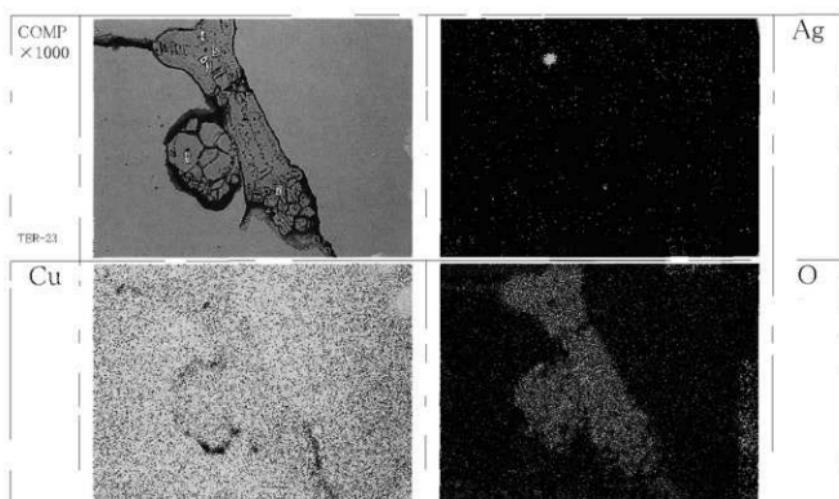


Photo.29 反射電子像と特性X線像(70%縮小)及び定量分析値

銅治済表層付着銅粒 (TER-23) のEPMA調査結果①

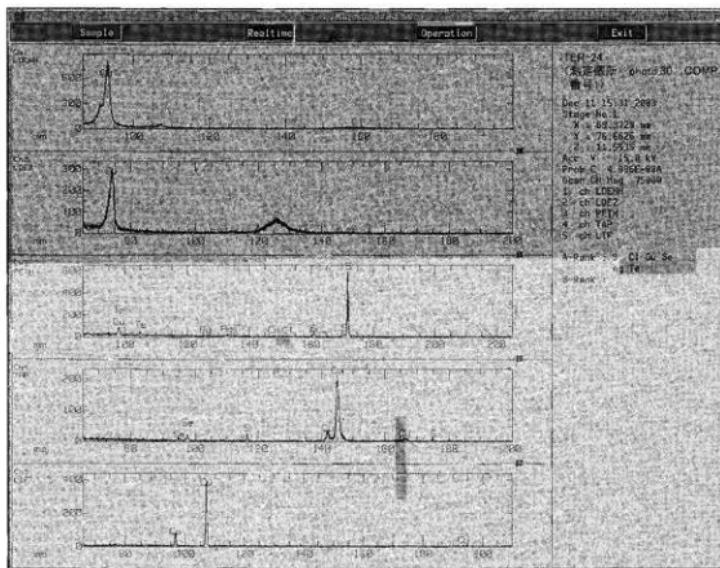


Fig.2 高速定性分析結果

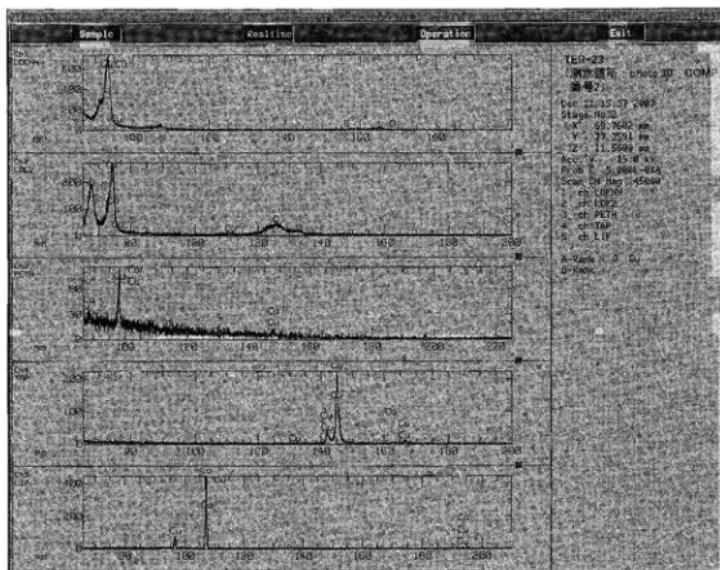


Fig.1 高速定性分析結果

銀治済表層付着銅粒(TER-23)のEPMA調査結果②

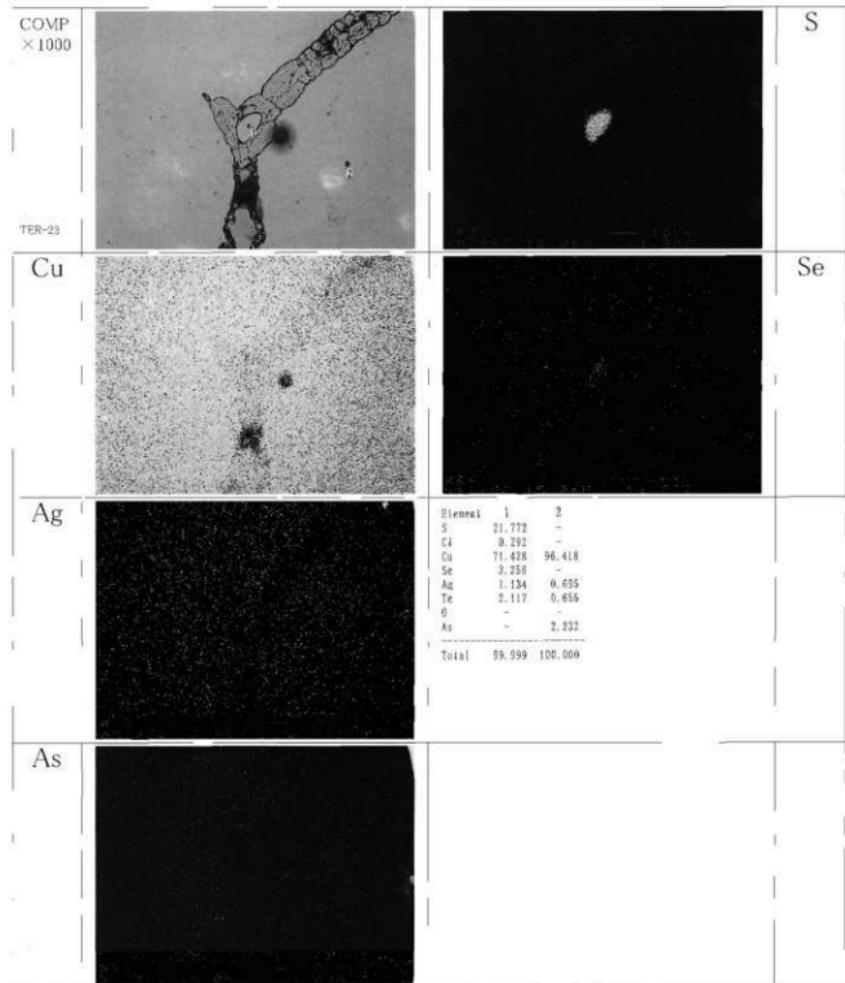


Photo.30 反射電子像と特性X線像(70%縮小)及び定量分析値

銅治浮表面付着銅粒(TER-23)のEPMA調査結果③

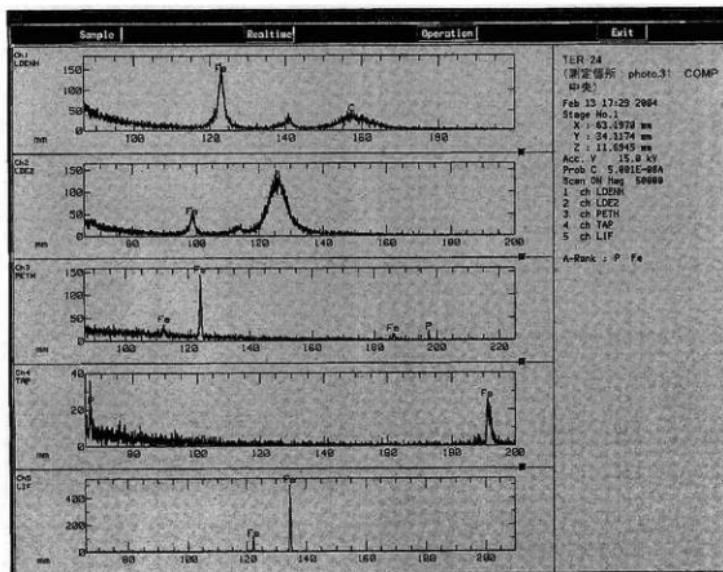


Fig.4 高速定性分析結果

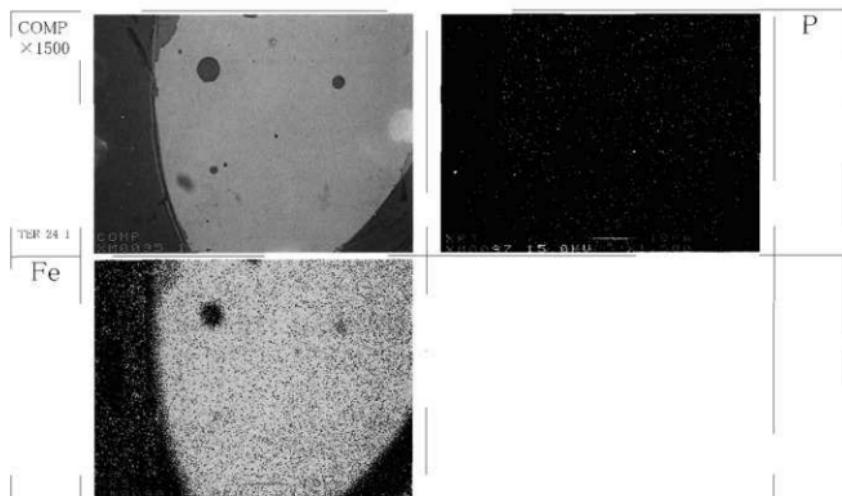


Photo.31 反射電子像と特性X線像(70%縮小)

羽口外面ガラス質済中の微小金属鉄粒(TER-24)のEPMA調査結果

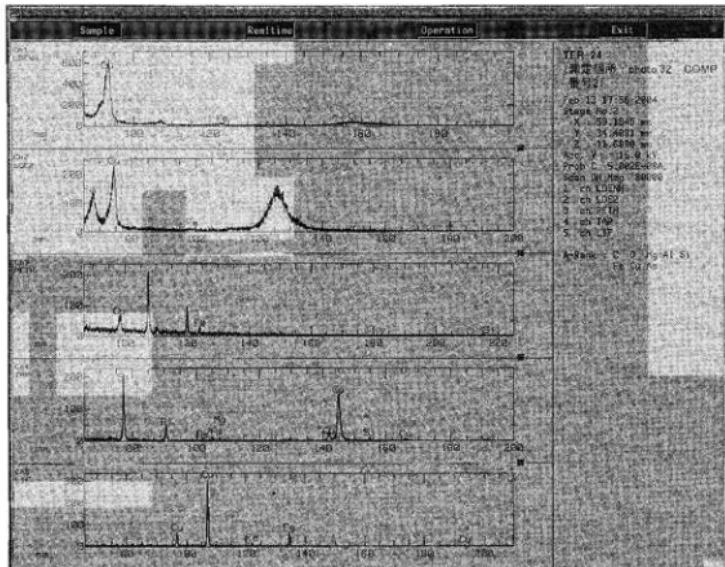


Fig.5 高速定性分析結果

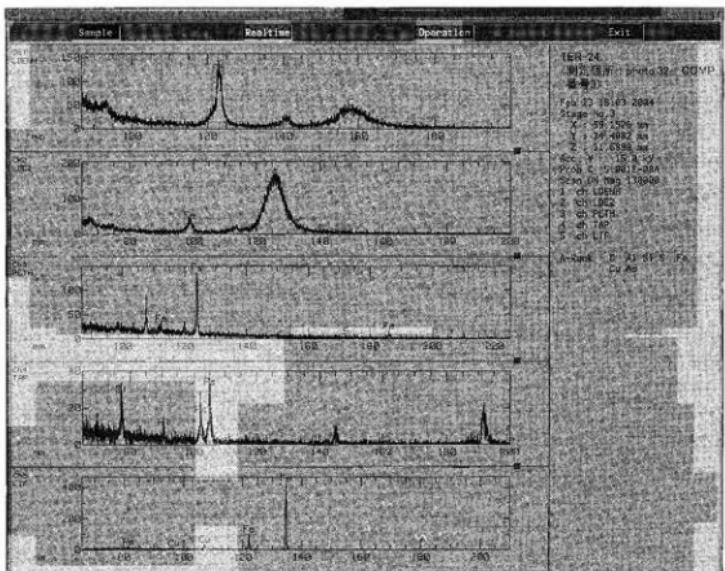


Fig.6 高速定性分析結果

羽口外面ガラス質滓中の微小金属鉄粒(TER-24)のEPMA調査結果①

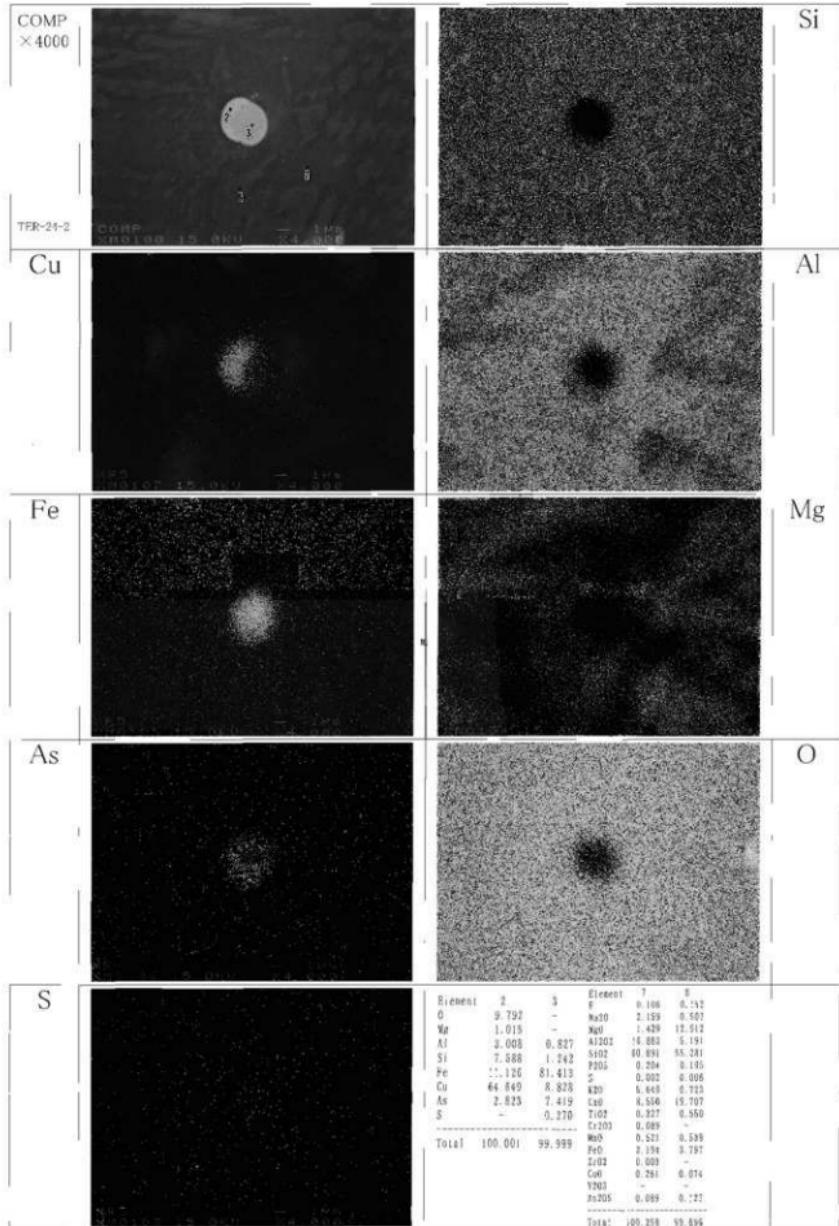


Photo.32 反射電子像と特性X線像(70%縮小)及び定量分析値
羽口外面ガラス質漬中の微小金属鉄粒(TER-24)のEPMA調査結果②

第3節 寺田I遺跡2区の土壤環境と鉄器の遺存状況の対応関係について

愛媛大学法文学部
村上恭通

1.はじめに

遺跡から出土する鉄製品の錆による劣化と土壤との関係について、愛媛大学考古学研究室ではここ数年調査を実施してきた。今回、雲南市教育委員会の協力を得て、寺田I遺跡2区出土鉄製品に関する調査を行った。

鉄器の内部構造を非破壊で調べるには、考古学分野ではX線透過がよく用いられており、この方法は非破壊分析の代表的なものといえる。しかしX線を鉄器に用いた場合には、錆とメタルとの分離が難しく定量的な把握ができない。そこで、本調査では高エネルギーのX線CTを用いた。

X線CTは物質の内部構造及び密度分布を非破壊で定量評価できる特長をもつ。X線の透過力は数MeV領域で最大となる。したがって、鉄のように高密度の試料を対象とする場合には、このエネルギー領域のX線を用いることが望ましい。しかし、高エネルギーのX線は透過力が強いために、検出が難しくなる。本調査で用いた装置は、電子線線形加速器（LINAC）で発生するX線をシリコン半導体検出器で検出する方式のものである。

鉄製品の分析は㈱日立エンジニアリングで行い、装置は日立製HiXCT-1Mを用いた。この装置ではX線源とX線検出器が対向して配置されており、その間に資料を回転走査するターンテーブルを設置してある。最大のX線エネルギーは1MeVで、鉄換算厚さで100mm程度の撮像が可能である。空間分解能は0.5mm、スライス厚は0.4mmである。

また、資料表面に付着する錆は微量を採取して、形態を粉末X線回析により調べ、化学組成はFe、V、Cu、Tiについては溶解後にICP-AES（高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法）により、Pについては吸光光度法により求めた。

2.埋蔵環境について

埋蔵環境の腐食性を評価するため、鉄器が出土した土壤と近隣から採取した湧水を対象に測定を実施した。土壤の評価因子は、土壤抵抗率、pH、水分含有量、及び塩化物イオン（Cl⁻）、硫酸イオン（SO₄²⁻）、硫化物イオン（S²⁻）、チタン（Ti）、鉄（Fe）の各濃度である。土壤は温水抽出し、抽出液を対象に、S²⁻はJIS K 0101、Cl⁻とSO₄²⁻はイオンクロマトグラフィー、TiはICP-AES、Feは原子吸光光度法（JIS G 1257）により求めた。地下水については、pH及び塩化物イオン、硫酸イオン、カルシウムイオン（Ca²⁺）、マグネシウムイオン（Mg²⁺）の各濃度を測定した。

pHはJIS K 0101、Cl⁻とSO₄²⁻はイオンクロマトグラフィー、Ca²⁺とMg²⁺はICP-AESにより求めた。

なお、環境の腐食性は西独ガス水道協会が提案する方法【DVGW GW9 DIN-50 929-Teil 3 (1985)】に基づいて評価した。

3. 寺田 I 遺跡 2 区の資料の検討

寺田 I 遺跡 2 区の資料としては 8 世紀中葉～後葉に属する櫛の鉄器を調査した。資料の大きさは幅約 30mm × 長さ約 70mm で表面は黒褐色を呈しており、X 線 C T 撮像の結果、内部に最大厚さ約 8mm × 幅約 20mm × 長さ約 60mm のメタルが残っている。また、一部には孔食によると思われるビットが形成されている。付着層は 2 層だが、鉄密度の外層は少ない。断面の物質密度分布をみると、密度約 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ の内層（厚さ 1 ~ 2 mm）とメタルとの界面に形成された空洞が観察される。

また資料表面を覆う層の形態等を調べた結果、外側は土壤成分であったが、内側にはマグнетイドが主に検出された。したがって、この資料は弱酸化雰囲気に埋蔵されていたと考えられる。なお、この内層は X 線回折強度が弱く、非品質成分を多く含んでいる。

鉄器が出土した土層は第 II 層の黒色土層である。この層は土壤抵抗率が高く、水分含有量が少ない。また、腐食性イオン濃度はいずれも極めて低い。地下水は中性的軟水であるが、腐食性イオン濃度は低く、総じて環境の腐食性は「ほとんどなし」と評価される。

4. 結言

寺田 I 遺跡 2 区で出土した鉄製品は遺存状態が良く、鑿に関しては実際の表面から約 0.5cm 内部にはメタルが認められ、芯はほとんどメタルであることが確認できた。遺跡の土壤は、腐食性イオン濃度が低く土壤抵抗率が高い。また、地下水も腐食性イオン濃度が低く、総じて腐食性がほとんどない環境である。こういった環境が良好な鉄製品の遺存状態を生み出したと考えられる。

第4節 寺田I遺跡2区出土木材の樹種同定

環境考古研究会

1. はじめに

木材は、セルロースを骨格とする木部細胞の集合体であり、その構造は年輪が形成され針葉樹材や広葉樹材で特徴ある組織をもつ。そのため、解剖学的に概ね属レベルの同定が可能となる。木材は大型の植物遺体であるため移動性が少なく、堆積環境によっては現地性の森林植生の推定が可能になる。考古学では木材の利用状況や流通を探る手がかりになる。

2. 試料

試料は、寺田I遺跡において、2区より出土した炭化材35点である。

3. 方法

試料は、割折して新鮮な基本的三断面（木材の横断面、放射断面、接線断面）を作製し、落射顕微鏡によって50～1000倍で観察した。同定は解剖学的形質および現生標本との対比によって行った。

4. 結果

結果は表1に示し、主要な分類群の顕微鏡写真を示す。以下に同定根拠となった特徴を記す。

ノグルミ *Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc.* クルミ科

図版1

横断面：年輪のはじめに、やや大型の道管が1～数列配列する環孔材である。晩材部では角張った

表1 寺田I遺跡における樹種同定結果

No.	出土地区	遺構	結果 (学名/和名)	点数
1	2区	C-4 小炭焼き跡	<i>Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc.</i> ノグルミ	1
2	2区	C-5 粘土下	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i> クリ	1
3	2区	C-5 炭焼き遺構底	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i> クリ	2
4	2区	C-7 炭焼き跡	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i> クリ	2
5	2区	C-7 炭焼き遺構中層	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i> クリ	1
6	2区	D-4 炭焼き遺構南端	<i>Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc.</i> ノグルミ	1
7	2区	D-5 炭焼き遺構底	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i> クリ	3
8	2区	D-6 炭焼き遺構中層	<i>Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc.</i> ノグルミ	1
9	2区	D-7 炭焼き跡A	<i>Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc.</i> ノグルミ	2
10	2区	D-7 炭焼き跡B	<i>Stewartia</i> ナツツバキ属	4
11	2区	F-9 炭滲まり	<i>Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc.</i> ノグルミ <i>Ostrya japonica Sarg.</i> アサダ	4 2
			<i>Quercus sect. Prinus</i> コナラ属コナラ節	5
12	2区	小炭焼き南	<i>Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc.</i> ノグルミ <i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i> クリ	4 2

小道管が、複合して斜線状に配列する。早材部から晩材部にかけて、道管の径は急激に減少する。輪方向柔細胞が接線状に配列する。

放射断面：道管の穿孔は單穿孔である。放射組織は平伏細胞と方形細胞からなる異性である。

接線断面：放射組織は、異性放射組織型で1～4細胞幅である。

以上の形質よりノグルミに同定される。ノグルミは、本州（東海地方以西）、四国、九州に分布する落葉高木で、通常高さ20m、径60cm程度である。現在では建築、器具、経木、薪炭、マッチ棒木などに用いられる。

アサダ *Ostrya japonica* Sarg. カバノキ科

図版2

横断面：小型で丸い道管が、単独あるいは2～5個放射方向に複合してややまばらに散在する散孔材である。

放射断面：道管の穿孔は單穿孔で、道管の内壁には微細ならせん肥厚が存在する。放射組織は、ほとんどが平伏細胞であるが上下の縁辺部には方形細胞が現れる。

接線断面：放射組織は、上下の縁辺部が方形細胞からなる異性放射組織型で、1～3細胞幅である。

以上の形質よりアサダに同定される。アサダは、北海道、本州、四国、九州に分布する。落葉の高木で、高さ15m、径60cmに達する。材は耐朽性および保存性は中庸で、建築、家具、器具、土木、船舶、車両などに用いられる。

クリ *Castanea crenata* Sieb. et Zucc. ブナ科

図版3

横断面：年輪のはじめに大型の道管が、数列配列する環孔材である。晩材部では小道管が、火炎状に配列する。早材から晩材にかけて、道管の径は急激に減少する。

放射断面：道管の穿孔は單穿孔である。放射組織は平伏細胞からなる。

接線断面：放射組織は単列の同性放射組織型である。

以上の形質よりクリに同定される。クリは北海道の西南部、本州、四国、九州に分布する。落葉の高木で、通常高さ20m、径40cmぐらいであるが、大きいものは高さ30m、径2mに達する。耐朽性強く、水湿によく耐え、保存性の極めて高い材で、現在では建築、家具、器具、土木、船舶、彫刻、薪炭、椎茸ほだ木など広く用いられる。

コナラ属コナラ節 *Quercus sect. Prinns* ブナ科

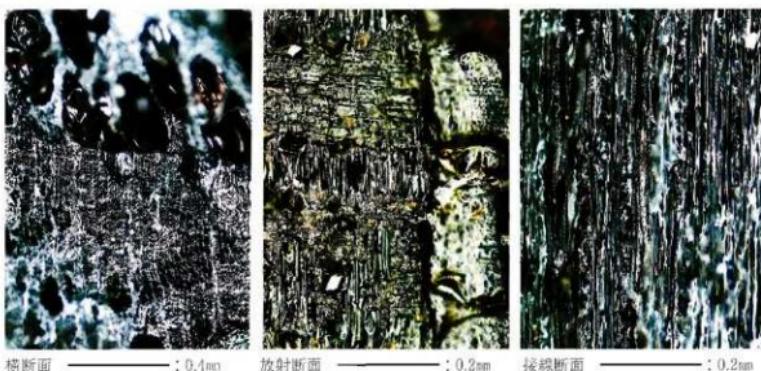
図版4

横断面：年輪のはじめに大型の道管が、1～2列配列する環孔材である。晩材部では薄壁で角張った小道管が、火炎状に配列する。早材から晩材にかけて道管の径は急激に減少する。

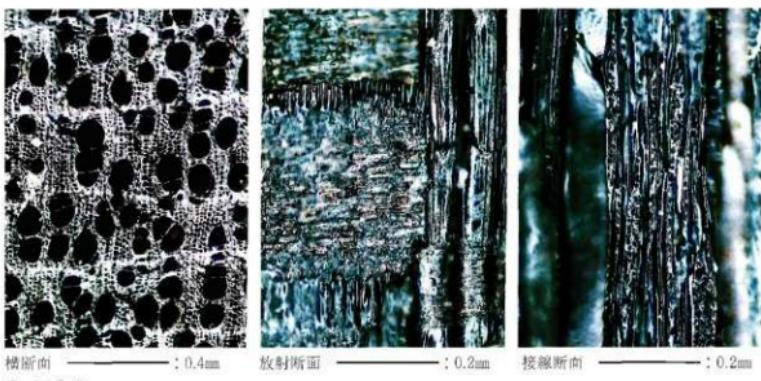
放射断面：道管の穿孔は單穿孔で、放射組織は平伏細胞からなる。

接線断面：放射組織は同性放射組織型で、単列のものと大型の広放射組織からなる複合放射組織である。

以上の形質よりコナラ属コナラ節に同定される。コナラ属コナラ節にはカシワ、コナラ、ナラガシワ、ミズナラがあり、北海道、本州、四国、九州に分布する。落葉高木で、高さ15m、径60cmぐ



1. ノグルミ



2. アサダ



3. クリ



横断面 ━━━━ : 0.4mm

放射断面 ━━━━ : 0.2mm

接線断面 ━━━━ : 0.2mm

4. コナラ属コナラ節



横断面 ━━━━ : 0.4mm

放射断面 ━━━━ : 0.2mm

接線断面 ━━━━ : 0.2mm

5. ナツバキ属

らいに達する。材は強靭で弾力に富み、建築材などに用いられる。

ナツツバキ属 *Stewartia* ツバキ科

図版5

横断面：小型で丸い道管が、ほぼ単独で散在する散孔材である。早材部から晩材部にかけて道管の径はゆるやかに減少する。

放射断面：道管の穿孔は階段穿孔板からなる多孔穿孔で、階段の数は20~30本ぐらいである。放射組織は異性である。道管と放射組織との壁孔は階段状である。

接線断面：放射組織は異性放射組織型で、上下端の1~3細胞ほどが直立細胞かなり、1~4細胞幅である。

以上の形質よりナツツバキ属に同定される。ナツツバキ属にはナツツバキ、ヒメシヤラなどがあり、本州（福島県、新潟県以西）、四国、九州に分布する。落葉の高木である。材は強靭、堅硬で、現在では建築（特に皮付床柱）、器具、彫刻、旋作、薪炭などに用いられる。

5. 所見

同定の結果、寺山I遺跡の炭化材は、ノグルミ13点、アサダ2点、クリ11点、コナラ属コナラ節5点、ナツツバキ属4点であった。比較的多く検出されたノグルミは林縁に多く、クリやコナラ属コナラ節はやや乾燥した環境に生育し二次林要素でもある。いずれも温帯に広く分布し遺跡周辺地域に生育し利用されたとみられる。

【参考文献】

佐伯浩・原田浩（1985）針葉樹材の細胞、木材の構造、文永堂出版、p.20~48.

佐伯浩・原田浩（1985）広葉樹材の細胞、木材の構造、文永堂出版、p.49~100.

島地謙・伊東隆夫（1988）日本の遺跡出土木製品総覧、雄山閣、p.296

山田昌久（1993）日本列島における木質遺物出土遺跡文献集成、植生史研究特別第1号、植生史研究会、p.242

第5節 寺田I遺跡2区土壤内の花粉分析

環境考古研究会

1.はじめに

種子植物やシダ植物等が生産する花粉・胞子は分解されにくく堆積物中に保存される。花粉は空中に飛散する風媒花植物と虫媒花植物等があり、虫媒花植物に対し風媒花植物は非常に多くの花粉を生産する。花粉は地表に落下後、一部土壤中に留まり、多くは雨水や河川で運搬され水域に堆積する。堆積物より抽出した花粉の種類構成や相対比率から、地層の対比を行ったり、植生や土地条件の古環境や古気候の推定を行う。普通、比較的広域に分布する水成堆積物を対象として、堆積盆地などのやや広域な植生や環境と地域的な対比に用いられる。考古遺跡では堆積域の狭い遺構などの堆積物も扱い、局地的な植生や環境の復元にも用いられている。

2.試料

試料は、寺田I遺跡において、21X（奈良時代）の遺構面直下（谷部）より採取された試料（暗黒色土：シルト混）1点である。

3.方法

花粉粒の分離抽出は、基本的には中村（1973）を参考にして、試料に以下の物理化学処理を施して行った。

- 1) 5%水酸化カリウム溶液を加え15分間湯煎する。
- 2) 水洗した後、0.5mmの篩で礫などの大きな粒子を取り除き、沈殿法を用いて砂粒の除去を行う。
- 3) 25%フッ化水素酸溶液を加えて30分放置する。
- 4) 水洗した後、冰酢酸によって脱水し、アセトリシス処理（無水酢酸9：濃硫酸1のエルドマン氏液を加え1分間湯煎）を施す。
- 5) 再び冰酢酸を加えた後、水洗を行う。
- 6) 沈液に石炭酸フクシンを加えて染色を行い、グリセリンゼリーで封入しプレパラートを作製する。

以上の物理・化学の各処理間の水洗は、遠心分離（1500rpm、2分間）の後、上澄みを捨ててという操作を3回繰り返して行った。

検鏡はプレパラート作製後直ちに、生物顕微鏡によって300~1000倍で行った。花粉の同定は、島倉（1973）および中村（1980）をアトラスとして、所有の現生標本との対比で行った。結果は同定レベルによって、科・亜科・属・亜属・節および種の階級で分類した。複数の分類群にまたがるものはハイフン（-）で結んで示した。なお、科・亜科・属の階級の分類群で一部が属や節に細分できる場合はそれらを別の分類群とした。イネ属に関しては、中村（1974、1977）を参考にして、現生標本の表面模様・大きさ・孔・表壙断面の特徴と対比して分類しているが、個体変化や類似種があることからイネ属型とした。

4. 結果

(1) 分類群

出現した分類群は、樹木花粉3、草本花粉5、シダ植物胞子2形態の計10である。これらの学名と和名および粒数を表1に示す。主要な分類群は写真に示した。また、寄生虫卵についても観察したが検出されなかった。

以下に出現した分類群を記す。

〔樹木花粉〕

スギ、ニレ属一ケヤキ、アカメガシワ

〔草本花粉〕

イネ科、カヤツリグサ科、アブラナ科、タンポボ亞科、キク亜科、ヨモギ属

〔シダ植物胞子〕

单条溝胞子、三条溝胞子

表1 寺田I遺跡における花粉分析結果

分類群		2区(奈良時代) 遺構面直下(谷部)
学名	和名	
Arboreal pollen	樹木花粉	
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	1
<i>Ulmus-Zelkova serrata</i>	ニレ属一ケヤキ	1
<i>Mallotus japonicus</i>	アカメガシワ	1
Nonarboreal pollen	草本花粉	
Gramineae	イネ科	10
Cruciferae	アブラナ科	1
Lactucoideae	タンポボ亜科	2
Asteroideae	キク亜科	5
<i>Artemisia</i>	ヨモギ属	11
Fern spore	シダ植物胞子	
Monolate type spore	单条溝胞子	9
Trilate type spore	三条溝胞子	1
Arboreal pollen	樹木花粉	3
Arboreal · Nonarboreal pollen	樹木・草本花粉	0
Nonarboreal pollen	草本花粉	29
Total pollen	花粉总数	32
Unknown pollen	未同定花粉	1
Fern spore	シダ植物胞子	10
Helminth eggs	寄生虫卵	(-)
	明らかな消化残渣	(-)

(2) 花粉群集の特徴

1) 2区（奈良時代）の遺構面直下（谷部）

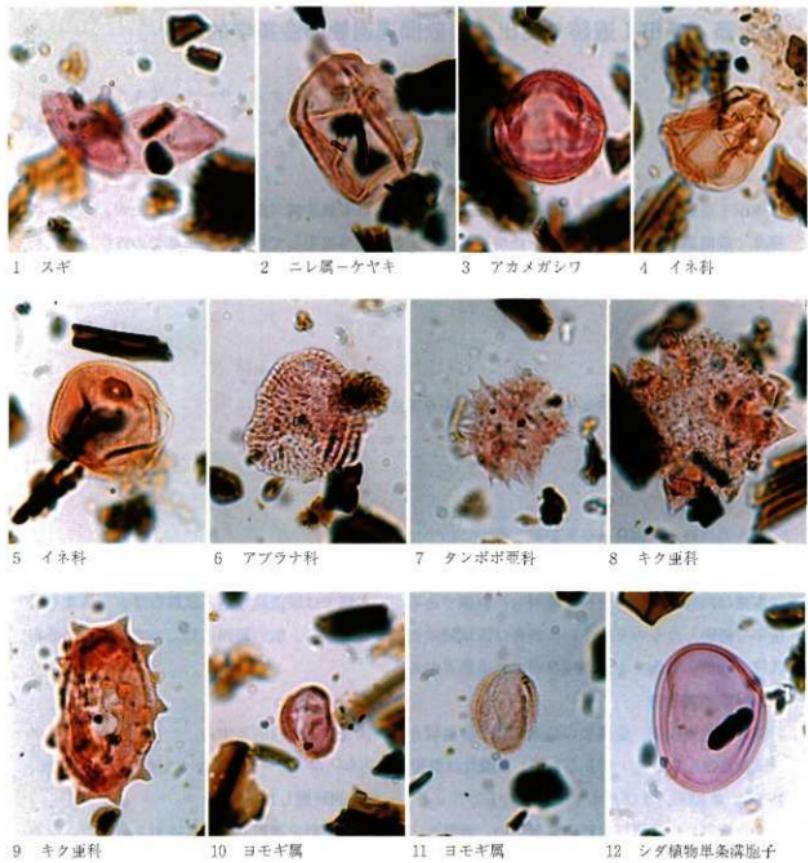
花粉密度が非常に低く、イネ科、ヨモギ属が主に出現する。

5. 花粉分析から推定される植生と環境

花粉はほとんど検出されず、花粉などの有機質遺体が分解されるような乾燥あるいは乾湿を繰り返すような堆積環境か、堆積速度が速かったなどが考えられる。イネ科、ヨモギ属の草本が多く生育し、陽当たりの良いやや乾燥した環境が小喫される。谷部であるが、流路は狭くこれらの草本が生育するやや乾燥した開地が分布していたと考えられる。

【参考文献】

- 中村純 (1973) 花粉分析、古今書院、p.82-110.
- 金原正明 (1993) 花粉分析法による古環境復原、新版古代の日本第10巻古代資料研究の方法、角川書店、p.248-262.
- 島倉巳三郎 (1973) 日本植物の花粉形態、大阪市立自然科学博物館収蔵目録第5集、60p.
- 中村純 (1980) 日本産花粉の標識、大阪自然史博物館収蔵目録第13集、91p.
- 中村純 (1974) イネ科花粉について、とくにイネ (*Oryza sativa*) を中心として、第四紀研究、13、p.187-193.
- 中村純 (1977) 稲作とイネ花粉、考古学と自然科学、第10号、p.21-30.



— 10 μm

第6節 寺田I遺跡5区出土製鉄関連遺物の金属学的調査

九州テクノリサーチ・TACセンター

大澤正己・鈴木瑞穂

1. いきさつ

寺田I遺跡は本次町下布施地内に所在する。V区では製鉄炉跡は確認されなかったが、炉壁・製錬滓・鉄塊系遺物など、多数の製鉄関連遺物がまとまって出土している。当遺跡での鉄生産の実態を検討する目的から、金属学的調査を行う運びとなった。

2. 調査方法

2-1. 供試材

Table. 1 に示す。製鉄関連遺物11点の調査を実施した。

2-2. 調査項目

(1) 肉眼観察

遺物の外観上の観察所見を記載した。

(2) マクロ組織

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

(3) 顕微鏡組織

鉱滓の鉱物組成、金属部の組織観察や非金属介在物調査などを目的とする。

試料観察面を設定・切り出し後、試験片は樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000、及びダイヤモンド粒子の3μと1μで鏡面研磨した。

また観察には金属反射顕微鏡を用い、特徴的・代表的な視野を選択して写真撮影を行った。なお金属鉄部の調査では3%ナイトル（硝酸アルコール液）を腐食（Etching）に用いた。

(4) ピッカース断面硬度

ピッカース断面硬度計（Vickers Hardness Tester）を用いて、滓中の晶出物および金屬鉄部の硬さ測定を実施した。

試験は鏡面研磨した試料に136°の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた深みの面積をもって、その荷重を除した商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用し、荷重は200gfで測定した。

(5) EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) 調査

鉱滓中の鉱物組成や、非金属介在物などの組成調査を目的とする。

試料面（顕微鏡試料併用）に真空中で電子線を照射し、発生する特性X線を分光後に画像化し定性的な結果を得る。更に標準試料とX線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理してデータ解析を行う方法である。

反射電子像（COMP）は、調査面の組成の違いを明度で表示するものである。重い元素で構成される金属や鉱滓中の晶出物ほど明るく、軽い元素で構成される晶出物ほど暗い色調で示される。これをを利用して組成の違いを確認後、定量分析を実施している。

さらに、各元素の分布状態を把握するため、反射電子像に加えて適宜特性X線像の撮影も行った。

（6）化学組成分析

供試材の分析は次の方法で実施した。

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

炭素（C）、硫黄（S）：燃焼容量法、燃焼赤外吸収法

二酸化硅素（SiO₂）、酸化アルミニウム（Al₂O₃）、酸化カルシウム（CaO）、酸化マグネシウム（MgO）、酸化カリウム（K₂O）、酸化ナトリウム（Na₂O）、酸化マンガン（MnO）、二酸化チタン（TiO₂）、酸化クロム（Cr₂O₃）、五酸化磷（P₂O₅）、バナジウム（V）、銅（Cu）、二酸化ジルコニウム（ZrO₂）：ICP（Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer）法：誘導結合プラズマ発光分光分析。

また金属鉄主体の遺物（TER-7、8、9）は、試料を焼き入れ粉碎後、磁選して不純物を除去し、次の方法で化学分析を行った。

炭素（C）、硫黄（S）：燃焼容量法、燃焼赤外吸収法

珪素（Si）、マンガン（Mn）、磷（P）、銅（Cu）、クロム（Cr）、チタン（Ti）、バナジウム（V）、

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

（7）耐火度

炉材の性状調査を目的とする。耐火度は、溶融現象が進行の途上で軟化変形を起こす状態度の温度で表示される。胎土をゼーゲルコーンという三角錐の試験片に作り、1分間当たり10°Cの速度で温度1000°Cまで上昇させ、以降は4°Cに昇温速度を落し、試験片が荷重なしに自重だけで軟化し崩れる温度を示している。

（8）樹種同定

燃料材の樹種同定を目的とする。試料を自然乾燥した後、木口・柵目・板目の3断面の削断面を作成し、走査型電子顕微鏡を用いて木材組織を観察し、その特徴から樹種を同定する。

（9）木炭の性状

供試材の分析は次の方法で実施した。

水分、灰分、揮発分、固定炭素：マイクロプロセッサー法。

硫黄（S）：燃焼赤外吸収法、灰分の磷（P）、蛍光X線分析法、発熱量、カロリー計。

3. 調査結果

TERV-1：炉壁

肉眼観察 熱影響を受けて、内面が黒色ガラス質化した炉壁片である。上下面は焼却時の粘土塊の接合面で、側面には1個所通風孔部が残存する。また胎土部分の色調は黄褐色から赤褐色で、真砂（花こう岩の風化砂）を多量に混和している。

顕微鏡組織 Photo. 1 ①～③に示す。①は内面表層部の連続写真である。素地の粘土鉱物はガラ

ス質化しているが、炉壁胎土中に混和された石英は高温クラックを発生しながら、長石粒と共に残存している。

またごく微細な多角形結晶はマグネット (Magnetite : Fe_3O_4)、またはウルボスピニル (Uvö spinel : $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) ないしその中間組成の固溶体と推定される^(注1)。②③はその拡大である。製鉄原料の砂鉄が、熱影響を受けて分解・津化している。

化学組成分析 Table. 2 に示す。強熱減量 (Ig loss) は 1.61% と低値であった。強い熱影響を受け、結晶構造の多くが飛散した状態での分析である。鉄分 (Fe_3O_4) は 2.15% と低めで軟化性に富み、酸化アルミニウム (Al_2O_3) は 18.30% と高く、塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) は 0.39% と少なく耐火性に優れた成分系といえる。

耐火度 1530°C であった。古代～中世の製鉄炉の炉材としては、非常に耐火性に優れた性状である。

TERV-2：流動津

肉眼観察 複数の細い流動津が溶着してできた、薄板状の鉄津破片である。表層部は酸化雰囲気に曝されて暗黒色を呈しており、上面には細かい波状の凹凸が顯著である。破面は緻密で、表層付近に微細な気孔が点在する。

顕微鏡組織 Photo. 1 ④～⑥に示す。ごく微細な淡茶褐色多角形結晶はウルボスピニルとヘーシナイト (Hercynite : $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) を主な端成分とする固溶体^(注2)と推測される。また白色樹枝状結晶ウスタイトに加えて、発達した淡灰色柱状結晶ファイヤライトが品出する。また若干灰褐色の被熱砂鉄粒子が残存する。⑤はその拡大である。

これはチタン (TiO_2) 含有率が低い砂鉄原料の製錬津の特徴である。

ピッカース断面硬度 紙面の構成上、硬度を測定した圧痕の写真を割愛したが、淡灰色柱状結晶の調査を行った。硬度値は 600HV、608HV であった。ファイヤライトの文献硬度値^(注3) 600～700HV の範囲内であり、ファイヤライトと同定される。

化学組成分析 Table. 2 に示す。全鉄分 (Total Fe) 43.82% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) <0.01%、酸化第1鉄 (FeO) 51.16%、酸化第2鉄 (Fe_3O_4) 5.80% の割合であった。造津成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) は 38.24% と高値であるが、このうち塩基性成分の割合は ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 3.70% と低値であった。製鉄原料の砂鉄起源の二酸化チタン (TiO_2) は 2.06%、バナジウム (V) が 0.25% と低めである。また酸化マンガン (MnO) は 0.97%、二酸化ジルコニア (ZrO_2) も 0.97 と高値傾向を示す。銅 (Cu) は <0.01% と低値であった。

以上の鉱物・化学組成から、当資料は低チタン砂鉄製錬津に分類される。特に珪長質深成岩（花こう岩）起源の砂鉄によく濃集する、ジルコン ($\text{Zircon} : \text{ZrSiO}_4$)^(注4) 起源の二酸化ジルコニア (ZrO_2) が高値であった。このため、製鉄原料は周辺地域の花こう岩を母岩とする砂鉄の可能性が高いと考えられる。

TERV-3：炉壁

肉眼観察 内面表層が茶褐色の鉄鎔化物で広く覆われた炉壁片である。また熱影響を受けており、内面側は薄く黒色ガラス質化している。胎上部分の色調は灰白色で、真砂が多量に混和されている。

顕微鏡組織 Photo. 2 ①②に示す。内面表層の黒色ガラス質部分である。ごく微細な不定形の

錆化鉄や、金属鉄が散在する。②は微小金属鉄粒の拡大である。3%ナイタルで、腐食したところ並共析($<0.77\%C$)組織が確認された。炭素含有量が0.1%前後の軟鉄と推定される。

化学組成分析 Table. 2 に示す。強熱減量(lg loss) 1.50%と低値であった。強い熱影響を受け、結晶構造水の多くが飛散した状態での分析であった。鉄分($Fe_{2}O_{3}$)は1.84%と低値であるが、酸化アルミニウム($Al_{2}O_{3}$)が13.26%と低いため、耐火性が懸念される。

耐火度 1240°Cであった。製鉄炉の炉壁片としては、かなり耐火性の低い範囲に入る。当資料は造洋剤としての役割(製錬滓への SiO_{2} 、 $Al_{2}O_{3}$ の供給)を重視して、胎土の選択を行った可能性が考えられる。

TERV-4: 流出溝滓

肉眼観察 やや大型で偏平な流出溝滓の破片である。上面は緩やかな流動状で、下面は全面細かい土砂や炉壁粉が固着する。また横断面は浅い楕円形で、上半部に細かい気孔が集中する。下半部は非常に緻密で、全体に重量感のある滓である。

顕微鏡組織 Photo. 2 ③④に示す。③の上側は、滓中の微細な木炭破片である。発達した道管が多数分布しており、広葉樹材の黒炭と判断される。

下側は滓部で、④はその拡大である。ごく少量晶出する淡茶褐色多角形結晶品は、ウルボスピニルとヘーシナイトを主な構成成分とする固溶体と推測される。また発達した淡灰色柱状結晶ファイヤライトが試料全面に観察される。これも低チタン砂鉄製錬滓の特徴といえる。

ピッカース断面硬度 紙面の構成上、硬度を測定した圧痕の写真を割愛したが、淡茶褐色多角形結晶の調査を実施した。硬度値は733Hv、736Hvと硬質であり、ウルボスピニルとヘーシナイトを主な構成成分とする固溶体と推定される。

さらに淡灰色柱状結晶の硬度値は616Hvであった。ファイヤライトに同定される。

化学組成分析 Table. 2 に示す。全鉄分(Total Fe) 35.27%に対して、金属鉄(Metallic Fe) $<0.01\%$ 、酸化第1鉄(FeO) 41.53%、酸化第2鉄($Fe_{2}O_{3}$) 4.27%の割合であった。造洋成分(SiO_{2} + $Al_{2}O_{3}$ + CaO + MgO + $K_{2}O$ + $Na_{2}O$)は47.39%と非常に高値であるが、塩基性成分(CaO + MgO)の割合は2.87%と低い。製鉄原料の砂鉄起源の二酸化チタン(TiO_{2})は3.47%、バナジウム(V)が0.30%と低めであった。また酸化マンガン(MnO)は0.68%、二酸化ジルコニウム(ZrO_{2})も0.49%とやや高めである。銅(Cu)は $<0.01\%$ と低値であった。

以上の鉱物組成から、当資料も花こう岩起源の低チタン砂鉄を原料とする製錬滓に分類される。

TERV-5: 流出溝滓

肉眼観察 1.4kgと大型で厚手(8cm)の流出溝滓の破片である。上面表層は細かい気孔が多数点在したガス質が重層し、緩やかな流動状を呈する。下面には広い範囲で、細かい土砂や炉壁粉が固着する。破面では黒色ガラス質滓部分と、黒灰色の製錬滓部分とが不規則に入り混じっている。

顕微鏡組織 Photo. 2 ⑤⑥に示す。⑤の右上は黒色ガラス質滓部分である。が整胎土中に混和された石英・長石粒が溶融しきらばに加熱クラックを生じて残存する。

また下側は製錬滓部で、⑥はその拡大である。中央の灰褐色部は、熱影響を受けて分解・液化が進んだ砂鉄粒子である。その周囲には、淡茶褐色多角形状のウルボスピニルとヘーシナイトを主な

端成分とする固溶体と、淡灰色柱状結晶ファイアライトが晶出する。これも低チタン砂鉄製錬滓の品癖である。

ピッカース断面硬度 紙面の構成上、硬度を測定した圧痕の写真を割愛したが、淡茶褐色多角形結晶の調査を実施した。硬度値は733Hvと硬質で、ウルボスピネルとヘーシナイトを主な端成分とする固溶体に同定される。さらに淡灰色柱状結晶の硬度値は623Hvで、ファイアライトである。

化学組成分析 Table. 2 に示す。全鉄分 (Total Fe) 32.77% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) <0.01%、酸化第1鉄 (FeO) 38.94%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 3.58% の割合であった。また造滓成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) は51.79% と非常に高値であった。炉壁溶融物 (黒色ガラス質滓) の影響を受けた値と推定される。なお塩基性成分 ($CaO + MgO$) は3.25% と低値であった。製鉄原料の砂鉄起源の二酸化チタン (TiO_2) は2.59%、バナジウム (V) が0.23% と低めである。また酸化マンガン (MnO) は0.79%、二酸化ジルコニウム (ZrO_2) は0.70% と高値傾向を示す。銅 (Cu) は<0.01% と低い。

以上の調査の結果、当資料も低チタン砂鉄を原料とする製錬滓に分類される。

TERV-6: 炉底塊 (含鉄)

肉眼観察 表面全体が黄褐色の酸化土砂で覆われた、16kgと大型の炉底塊破片である。上半部は特殊金属探知機の特L (☆) で反応があり、ある程度まとまった金属鉄部が遺存する。また下半部は暗灰色の緻密な滓部で、横断面は深い椀形を呈する。

マクロ組織 Photo. 3 ①に示す。暗色部は製錬滓である。また明色部は金属鉄で、3%ナイタルで腐食した組織を示した。観察面では、ほぼ全面亜共析組織が確認された。炭素含有量が0.3~0.4%程度の鋼と判断される。なお表層部は芯部より若干炭素量が低めである。

顕微鏡組織 Photo. 3 ②~⑩に示す。②の右上暗色部は滓部で、③④はその拡大である。白色粒状結晶はウスタイト、その周囲のごく微細な淡茶褐色不定形結晶はウルボスピネルとヘーシナイトを主な端成分とする固溶体である。さらに淡灰色盤状結晶ファイアライトも晶出する。

⑤⑥は滓中の微細な木炭破片の拡大で、木口面が観察される。年輪界に沿って大道管が、また放射方向に小道管が分布する。木材組織の特徴からは、広葉樹環孔材 (クヌギ) の黒炭と推測される。

また②の下半部は金属鉄部で、⑦⑧および⑨⑩はその拡大である。ともに黒色層状のパーライト (Pearlite) 荫地に白色針状のフェライト (Ferrite: α 鉄) が晶出する。

ピッカース断面硬度 紙面の構成上、硬度を測定した圧痕の写真を割愛したが、白色粒状結晶の調査を実施した。硬度値は528Hv、532Hvであった。ウスタイトの文献硬度値450~500Hvを上回る値であったが、粒内及び外周部の淡茶褐色不定形結晶の影響を受けた可能性が高いと考えられる。

さらに金属鉄部 (亜共析組織) の調査を実施した。硬度値は84.9Hv、94.9Hvと軟質で、組織に見合った値といえる。

化学組成分析 Table. 2 に示す。全鉄分 (Total Fe) 52.70% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 1.97%、酸化第1鉄 (FeO) 28.88%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 40.44% の割合であった。かなり、錆化鉄部を含む値と推測される。また造滓成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) は19.81% と低めで、塩基性成分 ($CaO + MgO$) も1.01% と低値である。砂鉄起源の二酸化チタン (TiO_2) は0.52%、バナジウム (V) も0.07% と低値傾向が著しい。さらに酸化マンガン (MnO) 0.17%、二

酸化ジルコニウム (ZrO_2) 0.14%、銅 (Cu) も <0.01% と低値であった。

当資料も津部の鉱物組成から、低チタン砂鉄を製鉄原料とする炉底塊と推定される。また端部の分析調査位置では、比較的均質な (C: 0.3~0.4% 程度) 鋼が確認された。

TERV-7: 炉底塊 (鉄塊)

肉眼観察 表面が黄褐色の土砂に覆われた、11kgと大型で厚手 (11cm) の鉄塊である。上下面是本来の資料表面で、側面は破面と考えられる。特殊金属探知機の特L (☆) で反応があり、鉄主体の遺物と推定される。

なお供試材を採取した切断面では明瞭な津部がみられず、非常にまとまりのよい大型の鉄塊と確認された。ただし内部には多数木炭を嗜みこんでいる。木炭の木口面には道管が年輪界に沿って分布している。製鉄には、広葉樹の環孔材を原料とした黒炭が用いられたと判断される。

なお断面の金属組織の状態を広く観察するため、側面端部をさらに上面、中央、下面側の3つに分割して（各顕微鏡試料外観写真参照）調査を実施した。

TERV-7① (側面上面)

顕微鏡組織 Photo. 4 ①～⑪に示す。上面表層 (①上側) が高炭素域で、過共析組織 (C: >0.77%) を呈する (②③)。この金属組織から最大1.2%程度の炭素含有量と推測される。また黑色点状のステタイト (Steadite: $Fe - Fe_3C - Fe_3P$) や黄褐色粒状の硫化物など、磷 (P)、硫黄 (S) の影響がみられる。

試料内側では広い範囲で共析組織 (C: 0.77%) が観察される (④⑤)。さらに資料下側 (側面表層部: ①下側) は低炭素域で、亜共析組織 (C: <0.77%、⑥～⑨) からほとんど炭素を含まないフェライト (Ferrite: α -鉄) 単相の組織 (⑩⑪) まで確認される。

なお試料下面側の非金属介在物や付着滓中には、淡茶褐色多角形、樹枝状のウルボスピネル (Ulvospinel: $2FeO \cdot TiO_2$) が晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。

化学組成分析 Table. 2 に示す。炭素 (C) は 0.82% であった。また磷 (P) は 0.066%、硫黄 (S) 0.006% と低めである。さらに珪素 (Si) は 0.02%、マンガン (Mn) 0.049%、チタン (Ti) 0.002%、バナジウム (V) が 0.038% であった。これらは主に非金属介在物や付着滓に由来すると判断される。砂鉄製鍊の鉄塊であっても砂鉄特有元素のチタン (Ti) バナジウム (V) が極低値であることは注目すべきである。

TERV-7② (側面中央)

顕微鏡組織 Photo. 5 ①～⑪に示す。試料上面 (①上側) は低炭素域で、フェライト単相 (②③)、亜共析組織が確認される。これに対して下面側は高炭素域で、過共析組織 (⑧～⑪) を呈する。また高炭素域には旧オーステナイト粒界に沿って、網目状にステタイトが分布する。さらに硫化物も多數確認されるなど、磷 (P)、硫黄 (S) の影響が著しい。

また付着滓 (⑥⑦) 中には、淡褐色片状結晶ルチル (Rutile: TiO_2) が晶出する。これは砂鉄の高温製鍊を示唆する⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 品出物といえる。

EPMA調査 Photo. 6 ①に金属鉄部 (試料下面側: 高炭素域) の反射電子像 (COMP) を示す。9 の共晶組織部分は、特性X線像では鉄 (Fe)、磷 (P) に強い反応がみられる。定量分析値は 128.7 %FeO 18.1%P₂O₅ であった。ステタイト (Steadite: $Fe - Fe_3C - Fe_3P$) に同定される。(なお酸

化物定量で測定したため、総計が100%を大きく越える値となっている。)

また10の青灰色部は、特性X線像をみるとマンガン（Mn）、硫黄（S）に反応が集中しており、定量分析値は52.5% MnO-24.0% FeO-3.3% V₂O₅-37.1% Sであった。硫化マンガン（MnS）と硫化鉄（FeS）の固溶体と推定される。これに対して11の淡黄色部は、反射電子像では青灰色部とほとんど明度差がないが、特性X線像をみると、チタン（Ti）、バナジウム（V）、硫黄（S）に反応が集中する。定量分析値は57.2% FeO-23.0% V₂O₅-2.3% TiO₂-2.1% MnO-1.7% Cr₂O₃であった。青灰色部と同じく硫化物であるが組成は異なり、バナジウム（V）の割合が非常に高いことが明らかとなった。

さらにもう1視野、付着津部の調査も実施した。Photo. 6②に反射電子像（COMP）を示す。12の明白色粒状部は、特性X線像をみると鉄（Fe）に強い反応があり、定量分析値は142.4% FeOであった。酸化物定量での分析のため、100%を大きく超える値となったが、金属鉄（Metallic Fe）と同定される。

また13の淡褐色片状結晶は、特性X線像をみるとチタン（Ti）に強い反応があり、定量分析値は89.9% TiO₂-7.2% V₂O₅-2.9% MgO-2.9% ZrO₂であった。チタニア（TiO₂）主体で、ルチル（Rutile : TiO₂）に近い組成の結晶である。さらに14のガラス質津部分の定量分析値は57.5% SiO₂-12.4% Al₂O₃-9.1% CaO-2.3% MgO-5.3% K₂O-1.4% Na₂O-7.3% TiO₂-2.7% ZrO₂-2.0% MnOであった。主にか材や木炭灰に由来する造津成分（SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O）に加え、砂鉄起源の元素[TiO₂、ZrO₂、MnO、(MgO)]も固溶している。

TERV-7③（側面下側）

顕微鏡組織 Photo. 7①～⑪に側面表層寄りの組織を示す。ほぼ黒色層状のパーライト（Pearlite）素地に白色針状のフェライトが晶出する、亜共析組織を呈する（④～⑪）。鉄中の炭素含有量は0.5～0.7%程度と推測される。また内部には焼化鉄共晶（ α +Fe₃P）、および黄褐色の硫化物が多数分布しており、磷（P）、硫黄（S）影響が著しい（⑥～⑪）。

またPhoto. 8①～⑪には内面寄りの組織を示した。こちらは表層寄りと比較して炭素含有量が低い。亜共析組織（②～⑨）から、ほとんど炭素を含まないフェライト単相の組織（⑩⑪）まで確認された。炭素含有量は最大で0.6%程度と推測される。磷（P）、硫黄の影響は表層側と比較すると少ないが、やはり焼化鉄共晶や硫化物が確認される。

化学組成分析 Table. 2に示す。炭素（C）は0.27%であった。上面側（TERV-7①）と比較すると低値であった。〔なお当試料（下面側：TERV-7③）の金属組織と比較すると、化学分析値の炭素量は若干低めである。試料短軸に平行するように、22mm程の厚さで切断した供試材（TERV-7①～③）を二分割して、断面観察と化学分析を実施した（Photo. 4上段参照）ため、両試料に炭素の偏析があった可能性を考えられる。〕

また磷（P）は0.255%、硫黄（S）が0.028%で、上面側（TERV-7①）と比較すると高値である。金属組織観察で確認された、焼化鉄共晶や硫化物を反映したものといえる。さらに珪素（Si）は0.02%、マンガン（Mn）0.023%、チタン（Ti）0.003%、バナジウム（V）0.060%であった。これらはやはり非金属介在物や付着津に由来するものと考えられる。

当試料の付着津中には、ルチル（Rutile : TiO₂）に近い組成の結晶が確認された。上述したように、これは砂鉄を高温製錬した際に生じるもので、古代～中世には通常中～高チタン砂鉄（TiO₂：

10%弱～20%程度)を製鉄原料とする遺跡群で確認される。また金属鉄中の磷(P)、硫黄(S)の偏析が顕著な点も、火山岩起源の高チタン砂鉄を製鉄原料とする遺跡によくみられる特徴である⁽⁴⁾⁽⁶⁾。製錬滓(TERV-2, 4, 5)や炉底塊(TERV-6)と異なり、高チタン砂鉄を製鉄原料に用いた可能性を考慮する必要があろう。

TERV-8: 鉄塊系遺物

肉眼観察 478gを測り平面が不整椎円状を呈する、厚手の鉄塊系遺物である。表面は全面茶褐色の酸化土砂に厚く覆われる。表層は黒灰色の洋部と推測されるが、特殊金属探知機の特L(☆)で反応があり、内部にはまとまった金属鉄部が存在する可能性が高い。

マクロ組織 Photo. 9①に示す。明色部は金属鉄で、3%ナイタルで腐食した組織を示している。観察面では、ほぼ全面フェライト単相の組織が確認された。また暗色部は製錬滓である。

顕微鏡組織 Photo. 9②～⑩に示す。②の不定形明白白色部は金属鉄で、③～⑧はその拡大である。いずれもフェライト単相の組織を呈する。

また②暗色部は製錬滓で、⑨⑩はその拡大である。発達した白色樹枝状結晶はウスタイトで、粒内の微細な淡褐色結晶はウルボスピニルとヘーシナイトを主な端成分とする固溶体である。さらに淡灰色柱状結晶ファイアライトも品出する。低チタン砂鉄製錬滓の品癖である。

ピッカース断面硬度 気面の構成上、硬度を測定した圧痕の写真を剖面したが、白色粒状結晶の調査を実施した。硬度値は598HVであった。ウスタイトの文献硬度値450～500HVを上回る値であったが、粒内及び外周部の淡茶褐色不定形結晶の影響を受けた可能性が高いと考えられる。

さらに金属鉄部(フェライト)の調査を実施した。硬度値は69.9HV、76.0HVと非常に軟質で、フェライト粗大結晶組織に見合った値である。

化学組成分析 Table. 2に示す。炭素(C)は0.024%と非常に低値であった。組織に見合った値といえる。また鍛造加工時の鍛接不良や製品の脆化等の要因となる、磷(P)は0.009%、硫黄(S)が0.016%と低値であった。地金原料(軟鉄材)としては、良好な性状といえる。また珪素(Si)0.17%、マンガン(Mn)0.034%、チタン(Ti)0.018%、バナジウム(V)0.007%などは、製錬滓部分の影響を受けた値と判断される。

当資料は洋部の鉱物組成から、低チタン砂鉄を製鉄原料とした製錬生成鉄(鉄塊系遺物)と推定される。また金属鉄部はほとんど吸炭していない、フェライト単相の組織を呈する軟鉄塊であった。還元雰囲気の崩れ個所で生じた遺物の可能性が考えられる。

TERV-9: 鉄塊系遺物

肉眼観察 細長い流動状の鉄塊系遺物である。表面は全体が黄褐色の酸化土砂で覆われる。一部黒鉄の滲みや放射割れがみられ、特殊金属探知機の特L(☆)で反応があり、金属鉄が良好に遺存する。

マクロ組織 Photo. 10①に示す。写真上側の資料表層部分には、微細な木炭破片や洋が若干固着するが、まとまりのよい鉄主体の遺物であった。写真下側は金属鉄部で、5%ナイタルで腐食した組織を示した。表層側の明色部は白鉄鉄、内側の暗色部はねずみ鉄を呈する鉄塊であった。

顕微鏡組織 Photo. 10②～⑩に示す。②の上側は試料表層に付着した木炭破片で、木口面が観察

される。半輪界に沿って大道管が2～3列並んで孔圈部を形成し、孔圈外の小道管は火炎状に配列している。以上の特徴から、広葉樹の環孔材（コナラ）の黒炭と推定される。

そのすぐ下側には微細な淬部が点在する。③④はその拡大である。淡茶褐色多角形結晶ウルボスピネル、淡灰色柱状結晶ファイヤライトが晶出する。砂鉄製鍊滓の晶癖である。

さらに②の下半部は金属鉄部である。また⑤⑥は白色蜂の巣状のレデブライ特（ledeburite）が晶出する、亜共晶組成(<4.23%C)白鉄鉄組織部分、⑦⑧および⑨⑩は片状黒鉄が析出するねずみ鉄組織部分の拡大である。

ピッカース断面硬度 紙面の構成上、硬度を測定した圧痕の写真を割愛したが、淡茶褐色多角形結晶の調査を実施した。硬度値は646Hv、677Hvで、ウルボスピネルと判別がつく。

さらに金属鉄部の調査を実施した。白鉄鉄レデブライ特部分の硬度値は582Hv、633Hvと非常に硬質で、ねずみ鉄黒鉄・バーライト部分は151Hv、166Hv、169Hvと比較的軟質であった。それぞれ組織に見合った値といえる。

EPMA調査 Photo. 11①に、試料表層付着砂鉄の反射電子像（COMP）を示す。2の素地部分は鉄（Fe）にのみ強い反応があり、定量分析値は94.2%FeOであった。磁鉄鉱（Magnetite: FeO·Fe₂O₃）に同定される。3の微細な淡黄色結晶は、硫黄（S）に強い反応があり、定量分析は61.7%FeO-49.2%Sであった。黄鉄鉱（Pyrite: FeS₂）と推定される。4の暗色結晶はカルシウム（Ca）、チタン（Ti）、珪素（Si）に強い反応があり、定量分析値は25.0%CaO-36.7%TiO₂-29.6%SiO₂であった。チタナイト[Titanite: CaTiO₃（SiO₄）]に同定される。

またPhoto. 11②には付着滓部分の反射電子像（COMP）を示した。5の淡茶褐色多角形結晶の定量分析値は、68.7%FeO-20.5%TiO₂-8.0Al₂O₃-4.9%V₂O₃であった。ウルボスピネル（Ulvö spinel: 2FeO·TiO₃）とヘーシナイト（Hercynite: FeO·Al₂O₃）を主な端成分とする固溶体と推定される。さらにバナジウム（V）も微量固溶する。6の淡灰色鑿状結晶の定量分析値は73.4%FeO-1.1%MgO-30.8%SiO₂であった。ファイヤライト（Fayalite: 2FeO·SiO₂）に同定される。また7の暗黒色不定形結晶の定量分析値は19.9%K₂O-1.3%Na₂O-62.3%SiO₂-25.4%Al₂O₃であった。正長石（Orthoclase: KAlSi₃O₈）に同定される。炉壁胎土に混和された長石粒に起因する鉱物相と考えられる。

さらに、Photo. 11③には鉄中非金属介在物の反射電子像（COMP）を示した。7の不定形黄褐色異物は、特性X線像をみると硫黄（S）に強い反応があり、定量分析値は63.9%Fe-33.6%Sであった。硫化鉄（FeS）に同定される。また8の粒状暗色部の定量分析値は42.1%SiO₂-33.3%Al₂O₃-10.5%FeOであった。非品質珪酸塩系の介在物といえる。

化学組成分析 Table. 2に示す。炭素（C）は3.33%と高値であった。金属組織に見合った値といえる。燐（P）は0.005%と非常に低値である。これに対して硫黄（S）は0.030%とやや高めである。また珪素（Si）0.02%、マンガン（Mn）0.028%、チタン（Ti）0.020%、バナジウム（V）0.008%などは、付着滓の影響が大きいものと推測される。

当資料も付着滓の鉱物組成から、製鉄原料は砂鉄と判断される。また吸炭の進んだ、流動状の鈍鉄塊（流れ鉄）であった。燐（P）、硫黄（S）の影響は炉底塊（鉄塊）（TER-7）と比較すると少なく、より品位の高い砂鉄が原料であった可能性が考えられる。

TERV-10：再結合滓

肉眼観察 平面不整半円状で、比較的大型の再結合滓の破片である。素地部分は黄褐色の土砂で、微細な鉄滓や木炭片が含まれる。

顕微鏡組織 Photo. 12①～⑦に示す。①は断面の連続写真である。製錬滓や炉壁溶融物（黒色ガラス質滓）の小破片、さらに木炭片（広葉樹材）や砂鉄粒子が確認される。

②③および⑥⑦は製錬滓片の拡大である。前者の淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘシナイトを主な端成分とする固溶体、さらに白色樹枝状結晶ウスタイト、淡灰色柱状結晶ファイライドが晶出する。また後者には、暗黒色ガラス中に淡褐色片状結晶シードブルーカイトないしルチルが晶出する。どちらも砂鉄製錬滓であるが、鉱物組成の違いは製錬原料の砂鉄のチタン (TiO_2) 含有量の違い、あるいは製錬炉の操業温度や、還元雰囲気の異なりを反映した結果と推測される。

また④⑤は砂鉄粒子の拡大である。粒内の微小淡黄色鉱物は黄鉄鉱 (Pyrite : FeS) と推測される。

化学組成分析 Table. 2 に示す。全鉄分 (Total Fe) 29.64% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.07 %、酸化第1鉄 (FeO) 7.90%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 33.50% の割合であった。造滓成分 ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) は 45.82% と高値であるが、これは素地の上砂部分を高い割合で含むものと推定される。砂鉄や製錬滓に由来する二酸化チタン (TiO_2) は 1.20%、バナジウム (V) 0.09% と低値であった。また酸化マンガン (MnO) は 0.33%、二酸化ジルコニウム (ZrO_2) 0.25% と低めである。さらに銅 (Cu) も <0.01% と低値であった。

当資料は製錬工程に伴う微細遺物群（砂鉄・木炭・製錬滓）を含む、再結合滓であった。炉底塊の荒剤で派生した可能性が高く感じられる。

TERV-11：木炭

肉眼観察 直径70mm強の幹材を製炭した黒炭である。炭化が良好で腐剤は強い。

顕微鏡組織 Photo. 12⑧～⑩に示す。左から順に木口、柵目、板口面である。年輪界に沿って大造管が並んで孔眼部を形成し、孔眼外の小造管は火炎状に配列している。

性状調査 Table. 3 に示す。通常、遺跡から出土した木炭は土砂の影響を受けて、固定炭素 (F.C) は低く、灰分が多い。固定炭素 (F.C) は通常 85% 台であるものが、当資料は 53.76% と低値であった。灰分は 2% 以下が正常であるが、3.72% と高めで、発熱量も 6150cal/g とやや低い。本来は 7000 cal/g 程度確保できるはずである。なお揮発分は 42.52% でこれも多い。また鉄製錬で金属鉄中に移行すると悪影響を及ぼす、硫黄 (T.S) は 0.004% と低値であるが、灰中燐 (P) は 0.09% と高めであった。

上述した木炭組織の特徴から、当資料は広葉樹の環孔材（コナラ）の黒炭と推定される。

なお、灰分の 3.72% は古代や中世の炭よりも低めにある。観察表に指摘されるように近世の B 区いぢじく煙窓からの出土品の可能性は妥当であろう。

4.まとめ

寺田 I 遺跡 V 区から出土した、製錬関連遺物を調査した結果、次の点が明らかになった。

〈1〉分析調査を実施した鉄滓 3 点 (TERV-2, 4, 5) は、いずれも花こう岩起源の低チタン砂

鉄を原料とする製錬滓である。チタン含有率 (TiO_2 : 2.06~3.47%) が低く、ジルコニウムが高値傾向 (ZrO_2 : 0.49~0.97%) を示すなど、珪長質深成岩起源の砂鉄の特徴が著しい。さらに炉底塊（含鉄）(TERV-6) や、鉄塊系遺物 (TERV-8) も、滓部の鉱物組成から、低チタン酸性砂鉄が製鉄原料であった可能性が高いと考えられる。

なお雲南省本次町に所在する、他の製鉄遺跡（古代~中世）から出土した砂鉄、製錬滓のチタン含有率は、上坪内たら^(注7)（砂鉄: 1.85%、鉄滓: 3.46~8.20%）、枯木ヶ谷鉛^(注8)（鉄滓: 1.33~1.85%）、家ノ前鉛^(注9)（砂鉄: 0.90%、鉄滓: 0.91~6.45%）、楨ヶ坪遺跡^(注10)（砂鉄: 1.36、鉄滓: 1.06~12.20%）である。当遺跡と同様、低チタン酸性砂鉄 (TiO_2 : 1%前後) を製鉄原料とする事例が多い。地域の花こう岩帶で採取された砂鉄が、主原料となったものと推測される。

〈2〉その一方、炉底塊（鉄塊）(TERV-7) は、火山岩起源の高チタン砂鉄が製鉄原料の製錬生成鉄の可能性が高いと考えられる。付着滓中のルチル（Rutile: TiO_2 ）の晶出や、金属鉄中の燐（P）、硫黄（S）の影響が著しいなどの特徴は、チタン含有率の高い砂鉄を高温製錬した遺跡群に多くみられるものである。

このため当遺跡では、目的とする生成鉄の性状によって、チタン含有率の異なる砂鉄を使い分けている可能性が考えられる。島根県下の中世の製鉄遺跡では、こうした状況が推察される遺跡は他にも散見される^(注11・12)。

周辺地域でも、鍛冶遺跡からの出土遺物も含めて考えると、北原本郷遺跡から出土した製錬鉄塊系遺物には、チタン (TiO_2) の割合の高い晶出物が確認されており、高チタン砂鉄が原料であった可能性がある^(注13)。当地域で中~高チタン塩基性砂鉄が製鉄原料に用いられていたか、今後も分析調査事例を蓄積して検討する必要がある。

〈3〉炉底塊 (TERV-6, 7)・鉄塊系遺物 (TERV-8, 9) の断面金属組織観察の結果、ほとんど吸炭していない軟鉄塊 (TERV-8) から、浸炭の進んだ鎔鉄塊 (TERV-9) まで確認された。当遺跡では様々な炭素含有量の鉄塊ができていたものと推定される。

また炉底塊 (TERV-7) は、ほぼ金属鉄からなる非常に大型の鉄塊であるが、部位により炭素量の偏析が大きく（亜共析組織～過共析組織）、燐（P）、硫黄（S）の影響が顕著であった。これらは不純物として鋼中にいると悪影響を及ぼす元素であり、当資料を鍛冶原料鉄とした場合、鍛冶加工時の鍛接不良や製品（鍛造鉄器）の脆化などが懸念される^(注14)。

〈4〉分析調査を実施した炉壁2点は、耐火性に大きなばらつきがみられた (TERV-1: 1530°C、TERV-3: 1240°C)。上述したような複数の砂鉄種に対応して、炉壁耐火土も使い分けられていた可能性が考えられる。

高チタン砂鉄を原料とする場合、原料中の（鉄）チタン酸化物が製錬滓となる。しかし低チタン砂鉄が原料の場合は、原料中の鉄分が炉壁耐火土と反応して生じるファイヤライト ($2FeO \cdot SiO_2$) が主成分となるため、より造渣剤としての役割を考慮した耐火土の選択がなされたものと推察される。

〈5〉分析調査を実施した製鉄関連遺物には、ごく微細な木炭破片が複数 (TERV-1, 6, 9, 10) 観察された。これらから当遺跡の製鉄燃料・還元剤には、広葉樹材の黒炭が用いられたことが明らかになった。特にクヌギ・コナラなど、落葉ナラ類の環孔材が確認でき、木炭の材料は主に二次林から得ていた可能性が高いと考えられる。

なお日本国内の近代以前の製鉄遺跡から出土する木炭は、ほぼ広葉樹材の黒炭であり、クヌギ・

コナラといった、二次林に代表的な材が確認される事例は多い。伐採・再利用を繰り返す山林利用の様相を反映していよう。

また中世から近世に推定される炭窯脇から出土した、大型の木炭破片(TERV-11)も、木炭組織の特徴から広葉樹の環孔材(コナラ)の黒炭と推定される。

註

- (1) 黒田吉益・源坊兼位『偏光顯微鏡と造鉱鉱物』第2版、共立出版株式会社 1983
第5章 鉱物各論 E. 磁鉄鉱 (magnetite)
磁鉄鉱は広義のスピネル類に属し、 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の理想組成をもつていて、多くの場合Tiをかなり含んでいる。(中略) ウルボスピネル (Ulvospinel) と連続固溶体をつくり、この中间組成のものをチタン磁鉄鉱 (titanomagnetite) とよぶ。
- (2) 前掲注(1)
第5章 鉱物各論 D. 尖晶石類・スピネル類 (Spinel Group) の記載に加筆
尖晶石類の化学組成の一般式は XY_3O_4 と表記できる。Xは2価の金属イオン、Yは3価の金属イオンである。その組み合わせでいろいろの種類のものがある。
- (3) 日刊工業新聞社『焼結鉱組成写真および識別法』1968
ウスタイトは450~500 Hv、マグネタイトは500~600 Hv、ファイヤライトは600~700 Hvの範囲が提示されている。ウルボスピネルの硬度値範囲の明記はないが、マグネタイトにチタン (Ti) を固溶するので、600 Hv以上であればウルボスピネルと同定している。それにアルミニウム (Al) が加わり、ウルボスピネルとヘーシナイトを端成分とする固溶体となると更に硬度値は上昇する。このため700 Hvを超える値では、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が考えられる。
- (4) 前掲注(1) 第5章 鉱物各論 D. ジルコン (zircon)
産状: ジルコンは副成分鉱物として、すべての火成岩に含まれる。火成岩のなかでも深成岩に多く、ときにNaに富む深成岩(閃長岩、花こう岩など)に多い。
- (5) J.B. Mac chesney and A. Murau: American Mineralogist, 46 (1961), 572
(イルミナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、シードブルーカイト (Pseudobrookite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)、ルチル (Rutile: TiO_2) の晶出は $\text{FeO} - \text{TiO}_2$ 二元平衡状態図から高温化操業が推定される。)
-
- FeO-TiO₂二元平衡状態図

- (6) 新井宏『古代日本に耐接鉄鋳法があったか』「ふえらむ」Vol.5 (2000) No.10

5 鉄滓・純・銅鋼のP分配理論

製錬工程で鉄滓と溶銅の間にPがどのように分配されるか、Turkdoganの方法を用いて熱力学的に検討した結果、Pの分配には温度の影響が極めて大きく、1250°C以下では鉄滓に、1300°C以上では溶銅に分配されることを明らかにした。

さらに生成鉄が製鉄炉内で溶融状態の銑鉄であったか、固相の γ （オーステナイト）鉄であったかでPの固溶状態は異なり、 γ 鉄では銑鉄に比べ1/3程度しかPを固溶しないことを指摘している。

- (7) 安来市体育文化振興財團 和鋼博物館 II.IV.金属株式会社冶金研究所 村川義行「上垣内たたら跡および茶屋の廻遊跡出土鉄滓等の分析報告書」『上垣内たたら跡 北原I遺跡 茶屋の廻遊跡』島根県木次町教育委員会 1999
- (8) (財)安来市体育文化振興財團 和鋼博物館「枯木ヶ谷鉢遺跡出土遺物の科学分析調査報告『枯木ヶ谷鉢遺跡』建設省斐伊川神川総合開発工事事務所 大原郡木次町教育委員会 2000
- (9) 九州テクノリサーチ・TACセンター 大澤正己・鈴木瑞徳「家ノ前鉢跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」「家ノ前鉢跡 谷口遺跡 宮サコ遺跡(付録)」国土交通省斐伊川神戸川総合開発工事事務所 岩手県木次町教育委員会 2004
- (10) 九州テクノリサーチ・TACセンター 大澤正己・鈴木瑞徳「横ヶ井遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」「横ヶ井遺跡」島根県教育委員会 2004
- (11) 新日本製鉄八幡製鉄所 大澤正己「今左屋山遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査(概要)」「主要地方浜山八重可部線特殊工事に伴う埋蔵文化財調査報告書」島根県教育委員会 1991
- (12) 鈴木瑞徳「日本の前近代製鉄炉の変遷と出土製鉄滓の組成変化」『日本鉄鋼協会 社会鉄鋼部会「鉄の歴史 その技術と文化」』フォーラム第6回公開研究発表会講演論文集』(社)日本鉄鋼協会 社会鉄鋼部会「鉄の歴史—その技術と文化—」フォーラム 2004
- (13) 九州テクノリサーチ・TACセンター 大澤正己・鈴木瑞徳「1~3区出土鐵治關遺物の金属学的調査」「北原本郷遺跡1~1~3・6区の調査」国土交通省中国地方整備局 岩手県教育委員会 2005
- (14) 間間改三『鉄鋼材料学 改訂版』実教出版株式会社 1981

Table.1 供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	計測値		調査項目					備考	
					大きさ(mm)	重量(g)	磁着度	メタル度	アクリ 相機	張数機 相機	断面変度	X線回折	
TRAV-1	寺田1 排水溝周辺	炉壺		平安～鎌倉 90×110×50	602.0	3なL	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-2 (5区)	サブホトシチ	洗面溝		70×55×12	88.0	2なL	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-3	排水溝周辺一括	炉壺		18×12×55	1200.0	3なL	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-4		汚出溝洋		115×100×50	710.0	2なL	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-5		汚出溝洋		120×130×80	1400.0	2なL	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-6		炉底焼(含銅)		16000.0	8特L(☆)	○	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-7		炉底焼(鉄塊)		205×190×110	11000.0	9特L(☆)	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-8		鉄塊系遺物		100×65×50	478.0	7特L(☆)	○	○	○	○	○	○	○
A区	鉄塊系遺物			180×35×20	497	8特L(☆)	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-9	排水溝周辺一括	瓦結合率		135×95×40	746	3なL	○	○	○	○	○	○	○
TRAV-10													
TRAV-11	B区要塞塀 炭屑・木炭	中世～近世 100×72×40		66	1なL	○	○	○	○	○	○	○	○

*21個所測定実施

Table. 2 供試材の化学組成

符号	通称名	出土位置	測定年	標準名	全量分				金属分				硫化物				二酸化チタン				二酸化イモリ				鐵				二酸化マanganese				$\Sigma *$
					Total	Mn	Fe	Ca	(MnO)	(FeO)	(CaO)	(Al ₂ O ₃)	(Na ₂ O)	(K ₂ O)	(MgO)	(TiO ₂)	(V)	(P ₂ O ₅)	(SiO ₂)	(MnO ₂)	(V)	(CaO)	(MnO ₂)	(ZnO)	(MnO ₂)	(ZnO)	(MnO ₂)	(ZnO)	Total Fe	Total Mn			
TRAV-1 田中 1号室	田中塗装柱 柱頭	平安～鎌倉	1.95	0.12	0.43	2.15	70.73	16.30	0.10	0.79	4.15	0.48	0.06	0.33	<0.01	0.005	0.04	1.61	<0.01	<0.01	0.02	1530	94.05	47.905	0.645	47.905	0.645						
TRAV-2 (5区) 天井梁	天井梁	平安～鎌倉	43.82 (0.01)	51.16	5.80	29.55	7.03	2.79	9.1	1.72	0.24	0.97	2.06	0.06	0.058	0.22	0.05	0.25	<0.01	0.97	-	36.24	0.873	0.047	-	-	-						
TRAV-3 柱頭漆面 柱頭	柱頭漆面	平安～鎌倉	1.59	0.08	0.29	1.84	74.21	13.26	0.30	4.35	1.96	0.06	0.18	<0.01	0.012	0.05	1.90	<0.01	<0.01	0.02	1246	94.03	59.170	0.113	-	-							
TRAV-4 柱	柱	平安～鎌倉	35.27 (0.01)	41.53	4.77	29.45	6.32	0.20	0.76	2.06	0.83	0.06	3.67	0.04	0.058	0.18	0.04	0.36	<0.01	0.46	-	47.39	1.344	0.098	-	-	-						
TRAV-5 柱頭漆面	柱頭漆面	平安～鎌倉	32.77 (0.01)	36.84	3.56	37.14	6.34	2.36	0.89	2.31	0.75	0.79	2.59	0.07	0.055	0.36	0.03	0.23	<0.01	0.70	-	51.79	1.580	0.076	-	-	-						
TRAV-6 柱頭漆面 (5区)	柱頭漆面	平安～鎌倉	52.70 (0.01)	19.7	26.88	40.44	1.62	2.68	0.72	0.29	0.92	0.20	0.17	0.52	0.05	0.069	0.13	0.27	0.07	<0.01	0.14	-	18.91	0.376	0.010	-	-	-					
TRAV-10 柱頭漆面	柱頭漆面	平安～鎌倉	26.64 (0.01)	7.60	33.50	34.56	7.44	0.76	0.35	1.91	0.78	0.33	1.20	0.05	0.032	0.10	1.67	0.09	<0.01	0.25	-	45.82	1.546	0.040	-	-	-						
符号	通称名	出土位置	測定年	標準名	全量分	Mn	Fe	Ca	硫素	Al ₂ O ₃	磷	鐵素	鈣	鉄	鉄素	磷	鈣	鉄	鉄素	鉄	鉄素	鉄	鉄素	鉄	鉄素	鉄	鉄素	鉄	過剰分				
TRAV-11 (5区) 伊見塗	伊見塗	平安～鎌倉	0.12	0.52	0.49	0.066	0.006	0.007	0.015	0.002	0.038	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
TRAV-12 (5区) 伊見塗	伊見塗	平安～鎌倉	0.27	0.52	0.23	0.255	0.028	0.006	0.014	0.003	0.065	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
TRAV-8 柱頭漆面	柱頭漆面	平安～鎌倉	0.024	0.17	0.54	0.059	0.016	0.007	0.004	0.018	0.001	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
TRAV-9 柱頭漆面	柱頭漆面	平安～鎌倉	3.33	0.02	0.28	0.075	0.030	0.005	0.004	0.020	0.006	<0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

Table. 3 木炭の性状

符号	通称名	出土位置	測定年	標準名	全量分	碳素	水份	固定炭素	硫素	氮素	灰分
TRAV-11 (5区) 伊見塗	伊見塗	平安～鎌倉	3.72	43.22	12.68	53.76	0.004	6150	0.001	-	-

Table. 4 出土遺物の調査結果のまとめ

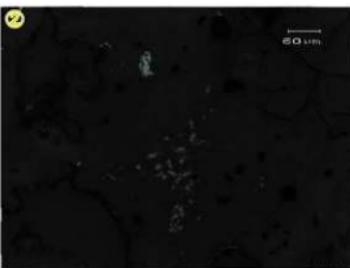
符号	遺跡名	出土位置	遺物名	推定年代	開拓範囲		化学組成(%)				所見	
					Total	Fe ₂ O ₃ / MnO	V	MnO	鐵 鐵分	Cu		
TRAV-1	寺田1 (1区)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鉄塊	平安～鎌倉	1.96	2.15	0.39	0.33	<0.01	0.06	94.05	<0.01 鋼火度 150°C、素盞、耐火性の高い火鉢
TRAV-2	津波砂層 (1区)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	43.82	5.80	3.70	2.05	0.25	0.97	38.24	<0.01 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-3	津波砂層 (1区)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	1.59	1.84	0.80	0.18	<0.01	0.06	94.08	<0.01 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-4	津波砂層 (1区)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	35.22	4.21	2.87	3.47	0.30	0.68	47.29	<0.01 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-5	津波砂層 木戸戸 (1区)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	32.77	3.98	3.75	2.19	0.23	0.76	51.79	<0.01 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-6	津波砂層 付帯津R. 付帯堀(鉄鉢)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	52.70	40.44	1.01	0.52	0.07	0.17	19.81	<0.01 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-7	津波砂層 付帯堀(鉄鉢)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	CO.82	SD.02	Mn.048	PD.066	SD.006	Ca.007	Td.002	0.028 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-8	津波砂層 木戸戸 (1区)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	CO.024	SD.17	Mn.045	PD.009	SD.016	Ca.007	Td.018	0.007 ほんの少し溶けた鐵塊
TRAV-9	津波砂層 付帯堀(鉄鉢)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	C3.33	SD.02	Mn.028	PD.005	SD.020	Ca.005	Td.020	0.008 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-10	津波砂層 付帯堀(鉄鉢)	津波砂層 内面、黒色かげ質層、M盤出	鐵塊	平安～鎌倉	29.64	33.50	1.11	1.26	0.09	0.33	45.82	<0.01 鋼火度 150°C、耐火性の高い火鉢
TRAV-11	付帯堀(鉄鉢)	中世～近世 付帯堀(鉄鉢)	鐵塊	—	—	—	—	—	—	—	—	付帯堀(鉄鉢)の跡跡

M=Magnetite (Fe₃O₄) , UD=Magnetite (Fe₃O₄-TiO₂) , HM=Magnetite (Fe₃O₄-TiO₂) , F=Fayalite (Fe₂O₃-MnO₂) , FF=Hemimorphite (Fe₂O₃-SiO₂) , WW=Weit熙 (Fe₂O₃-SiO₂) , RR=Rutille (Fe₂O₃) , PR=Pseudobrookite (Fe₂O₃-TiO₂)

TERV-1

炉壁

- ①試料内面: 黒色ガラス質津
炉壁粘土中の石英・長石
粒残存
- ②③④の拡大
マグネタイト晶出



TERV-2

流動津

- ④灰褐色粒被熱砂鉄
分解・津化進行
明白白色粒微小全鐵
、ナイトルetch変化なし、
フェライト結晶か
津部: ウルボスピニエルと
ヘーシナイトの固
溶体・ウスタイト、
ファイヤライト
- ⑤被熱砂鉄拡大
- ⑥微小金属鉄粒拡大

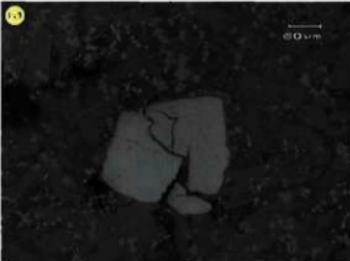
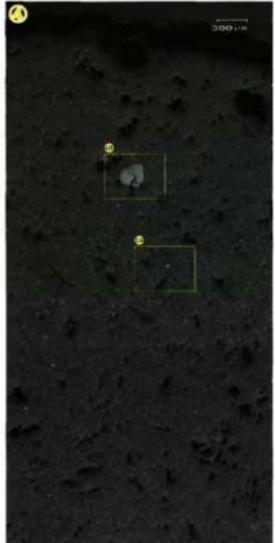
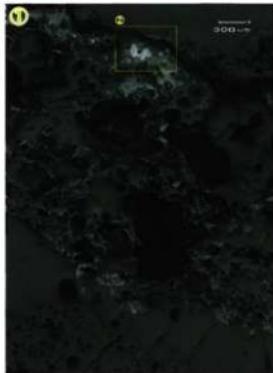


Photo.1 炉壁・流動津の顕微鏡組織

TERV-3

炉壁

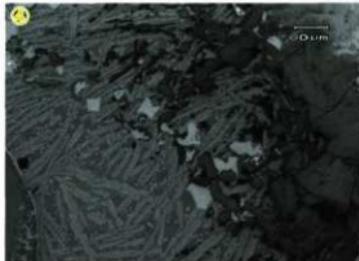
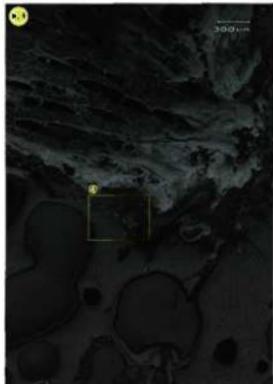
- ①試料内面表層、微小金属
鉱、誘化鉄鉱在
素地：黒色ガラス質滓
②金属鉄部拡大
ナイタルetch亜共析組織



TERV-4

流出溝滓

- ③上側：木炭被片、広葉樹材
下側：滓部：ウルボスピ
ニル・ファイセラ
イト
④滓部拡大



TERV-5

流出溝滓

- ⑤右上：黒色ガラス質滓
被熱石英粒残存
滓部：灰褐色粒、被熱砂鉄
ウルボスピニル・ファイ
ヤライト
⑥中央：被熱砂鉄、分解・津
化進行

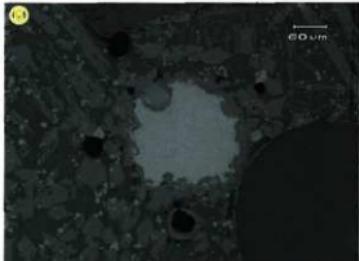
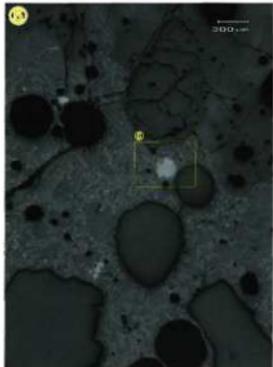


Photo.2 炉壁・流出溝滓の顯微鏡組織

TERV-6

炉底塊（含鉄）

- ①マクロ組織
- ②①の拡大、暗色部：製鍊滓
明色部：金属鉄、ナイタルetch
亜共析組織
- ③～⑨ ③の拡大
④～⑥ 淬部：ウスタイト・微小ウルボスピネル・
ファイアライト
- ⑤～⑦ 木炭被片、木口面
広葉樹根孔材、クヌギ
- ⑧～⑩ 金属鉄部：亜共析組織
- ⑪同上

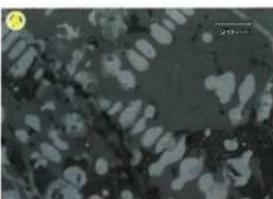
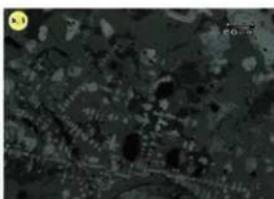
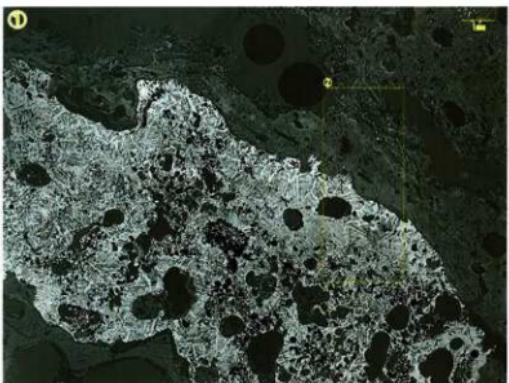


Photo.3 炉底塊の顕微鏡組織

TERV-7①
炉底塊（側面上側）

- ①断面連続写真
金属鉄部：ナイタルetch
過共析組織～フェライト単相
- ②③過共析組織拡大
- ④⑤共析組織拡大
- ⑥⑦共析組織拡大
- ⑧⑨同上
- ⑩⑪フェライト単相拡大
(津部：ウルボスボネル晶出)

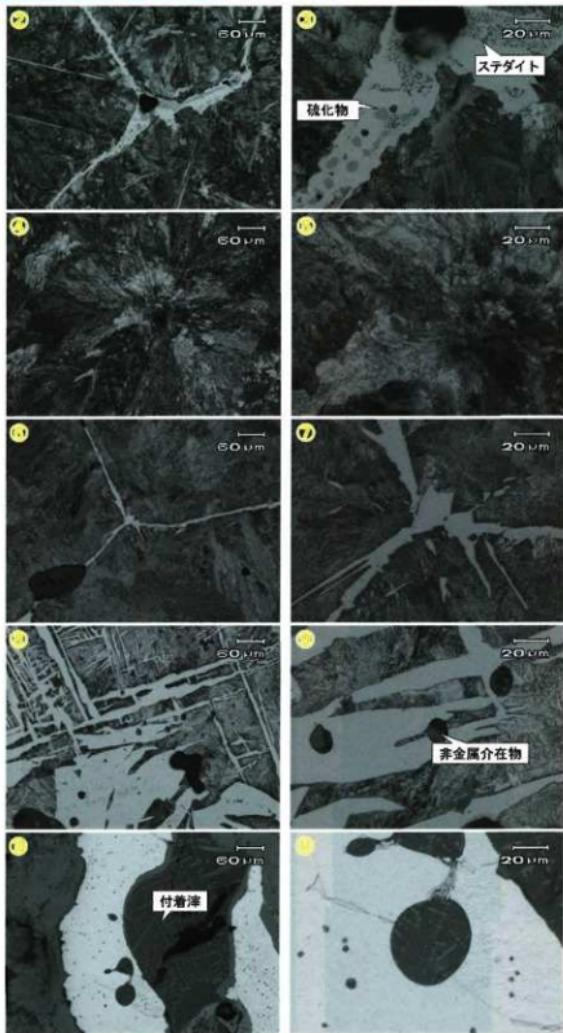
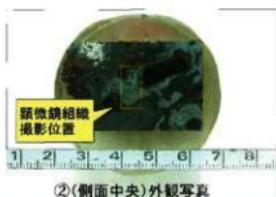


Photo.4 炉底塊の顕微鏡組織

TERV-7(2)
炉底塊（側面中央）

- ①断面連続写真
金属鉄部：ナイタルetch、フェライト単相～過共析組織
- ②③フェライト単相
- ④⑤亜共析組織拡大
- ⑥⑦溶部：ショードブルーカイトないしルチル晶出
- ⑧⑨過共析組織拡大
- 10Ti上



②(側面中央)外観写真

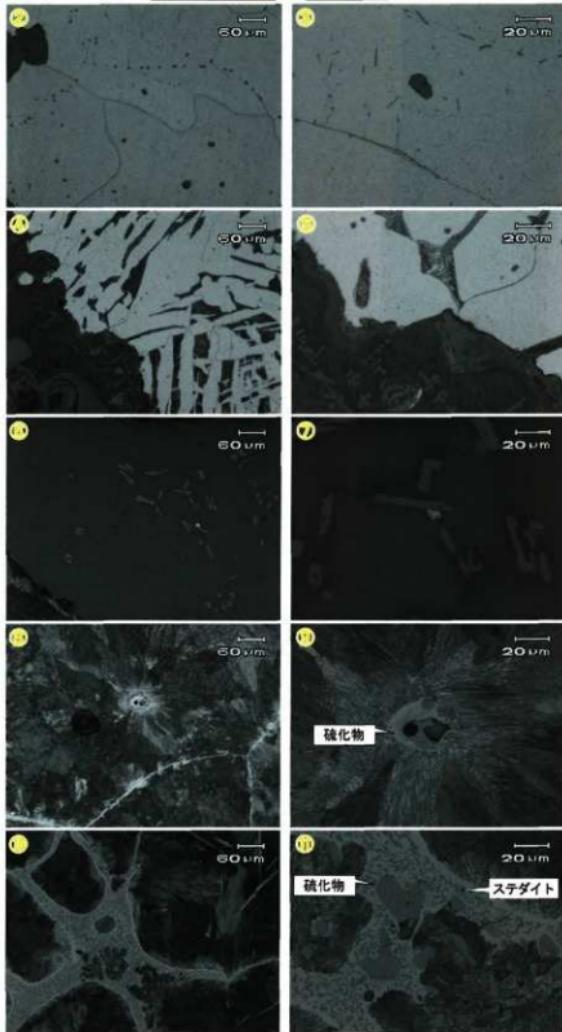
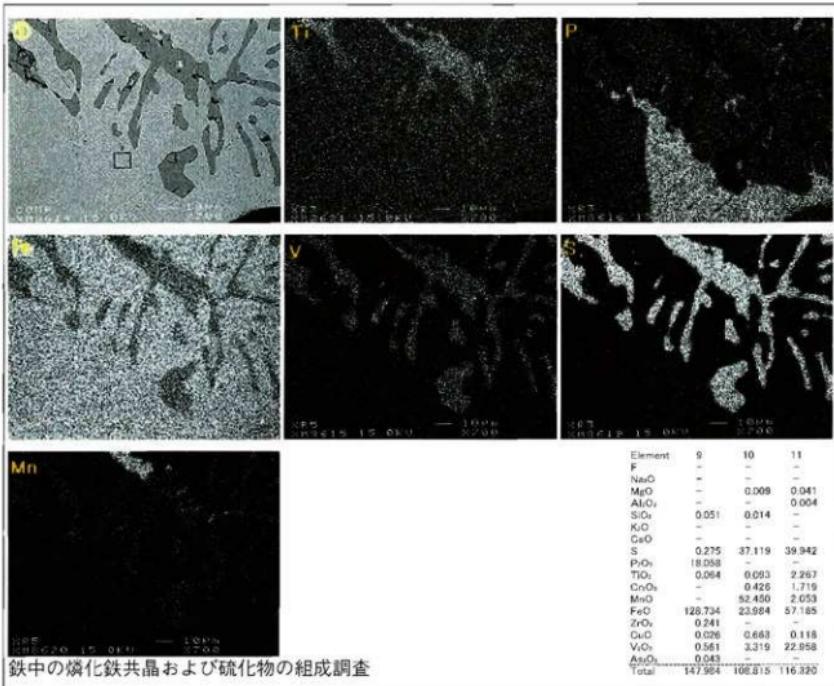
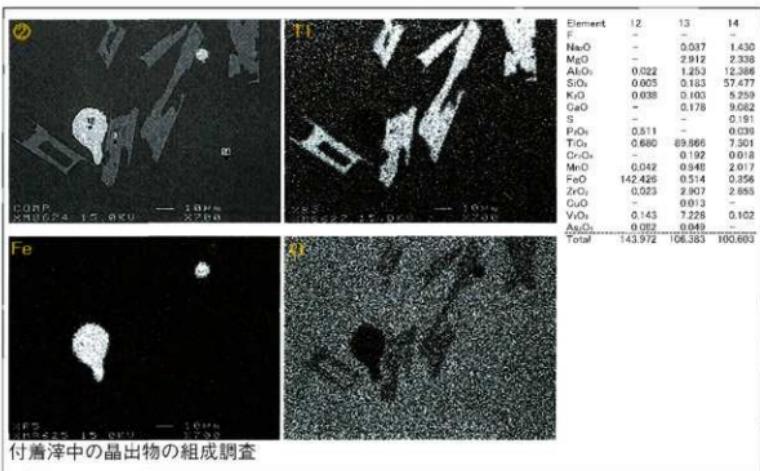


Photo.5 炉底塊の顕微鏡組織



鉄中の燐化鉄共晶および硫化物の組成調査



付着滓中の晶出物の組成調査

Photo.6 炉底塊 (②:側面中央) のEPMA調査結果

TER V - 7③
炉底塊側面下側

- ①断面連続写真
全層鉄部：ナイタルetch
亜共析組織
- ②③溶部：ウルボスピニエル晶出
- ④～⑦亜共析組織拡大
硫化鉄 (FeS)
焼化鉄共晶 ($\alpha + Fe3P$)



③(側面下側)外観写真

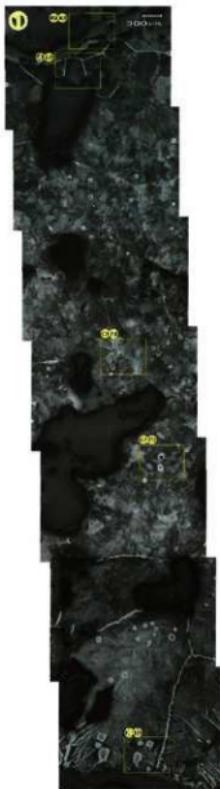
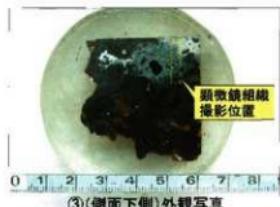


Photo.7 炉底塊の顕微鏡組織

TERV-7(3)

炉底塊側面下側

- ①断面連続写真
- 金属鉄部：ナイタルetch
- 亜共析組織～フェライト単相
- ②～⑦亜共析組織拡大
- ⑧⑨フェライト単相



③(側面下側)外観写真

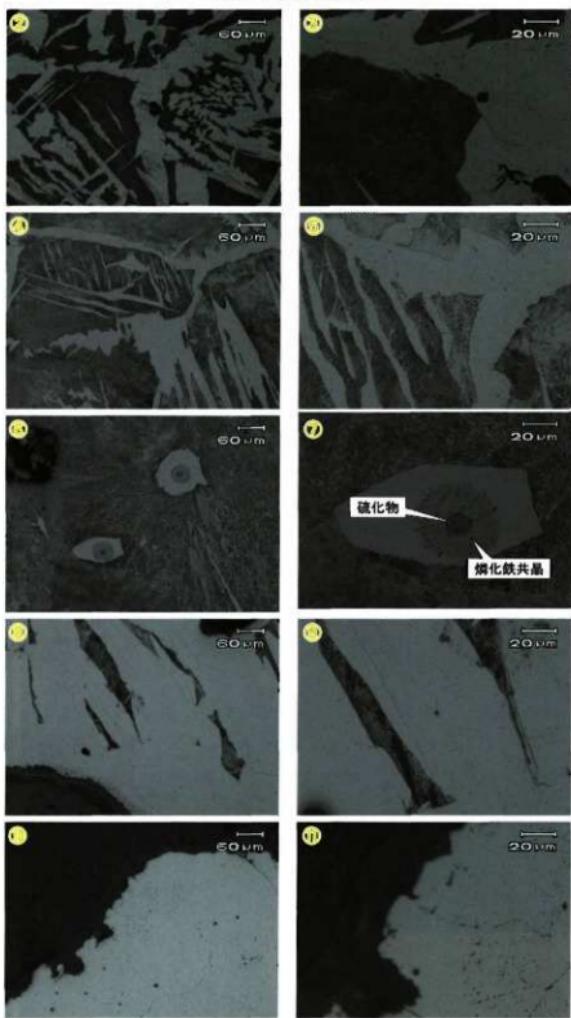


Photo.8 炉底塊の顕微鏡組織

TER V - 8
鉄塊系遺物

- ①マクロ組織
- ②①の拡大、暗色部：製錬滓
白色部：金属鉄、ナイタ
ルetch、フェライト単相
- ③～⑩②の拡大
- ③④金属鉄部、フェライト
単相
- ⑤⑥および⑦⑧同上
- ⑨⑩滓部：ウスタイト・微小
ウルボスピニル・ファイア
ライト

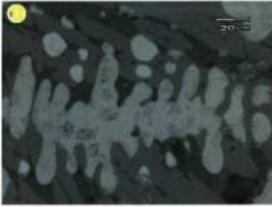
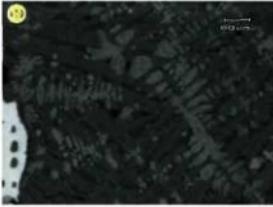
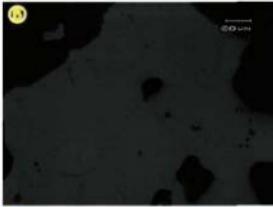
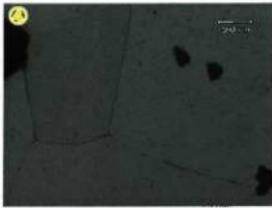
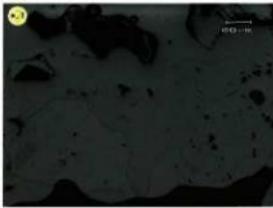


Photo.9 鉄塊系遺物の顕微鏡組織

TERV-9

鉄塊系遺物

- ①マクロ組織
- ②①の拡大、暗色部：製鍊滓
白色部：金属鉄、ナイタルetch、
フェライト単相
- ③～⑩②の拡大
- ③④金属鉄部、フェライト単相
- ⑤⑥および⑦⑧同上
- ⑨⑩滓部：ウスタイト・微小ウル
ボスピニル・ファイアライト

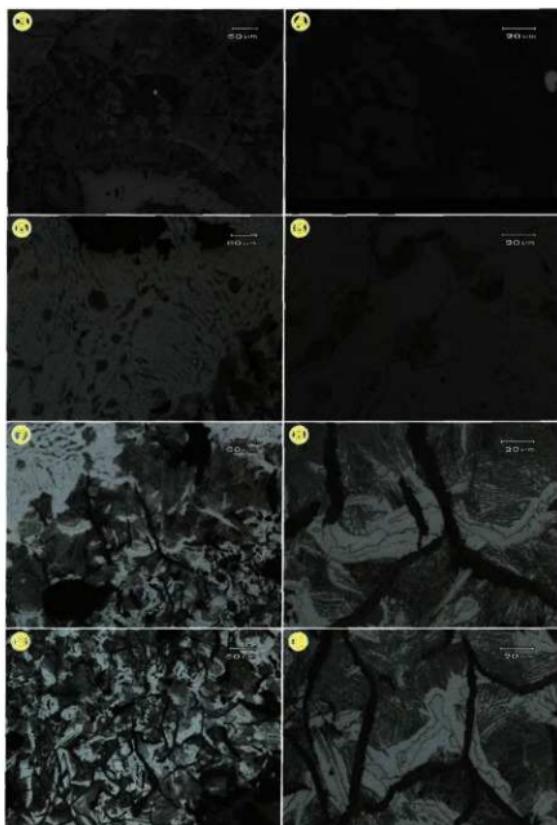
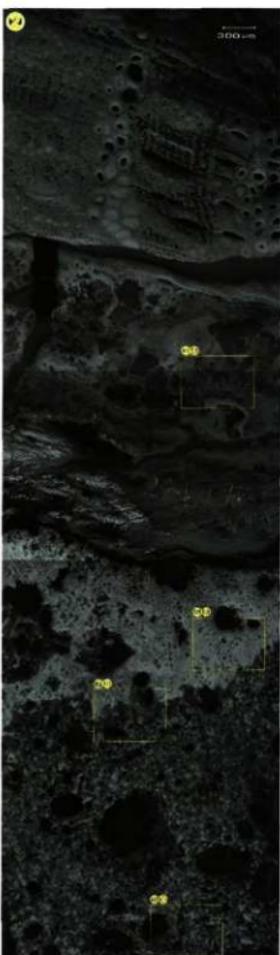
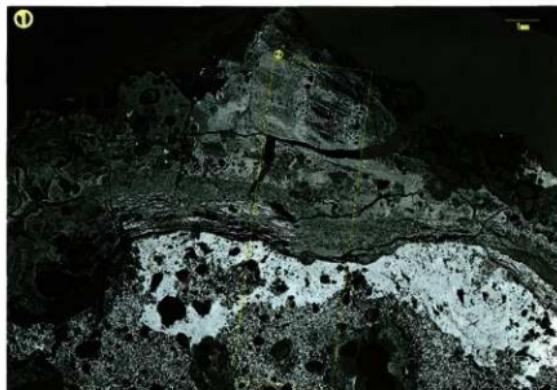


Photo.10 鉄塊系遺物の顯微鏡組織

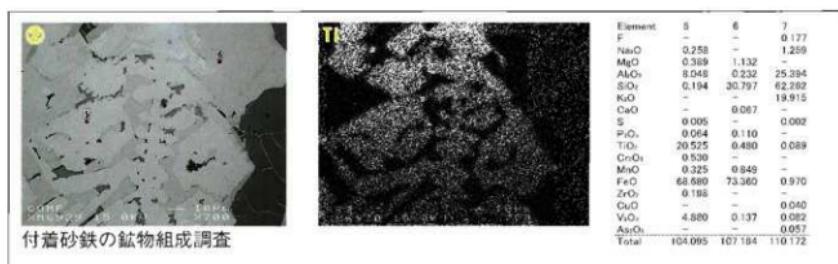
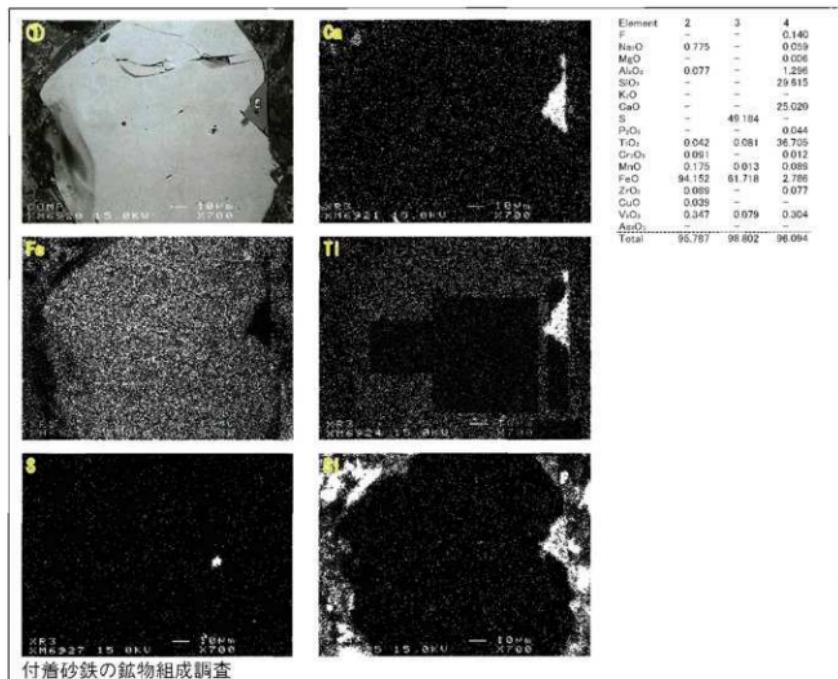
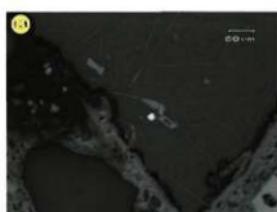
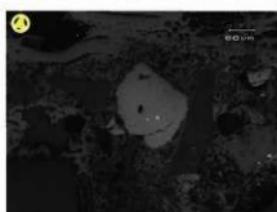
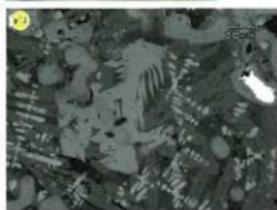


Photo.11 鉄塊系遺物 (TERV-9) のEPMA調査結果

TERV - 10

再結合滓

- (1)断面連続写真
- (2)(3)製鍊滓：ウルボスピニル・ウスタイト・ファイヤライト
- (4)(5)砂鉄粒子
- (6)(7)製鍊滓：シードフルーカイトないしルチル



TERV - 11

木炭

- (8)木口、(9)極目、(10)板目面
広葉樹環孔材、コナラ

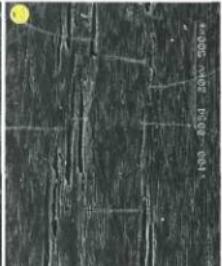
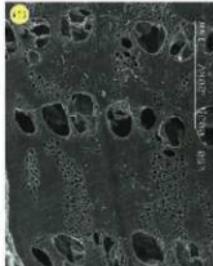


Photo.12 再結合滓・木炭の顕微鏡組織

雲南省埋蔵文化財調査報告書2

ゴマボリ遺跡・寺田I遺跡

—尼原ダム建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書7—

第2分冊

2007(平成19)年3月

発行者 国土交通省斐伊川・神戸川総合開発工事事務所
雲南省教育委員会
印刷 松栄印刷有限公司