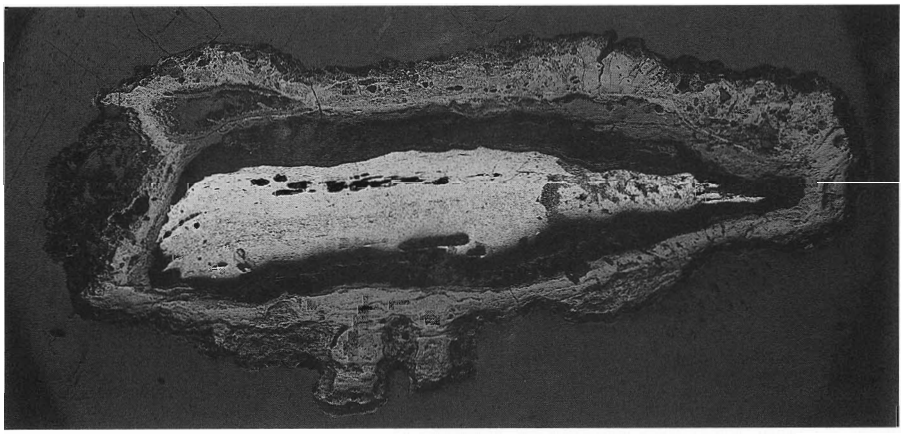
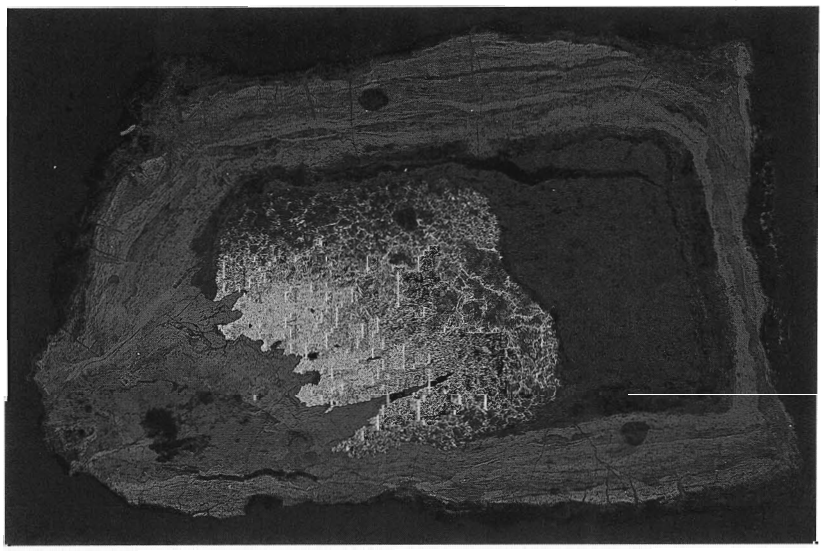
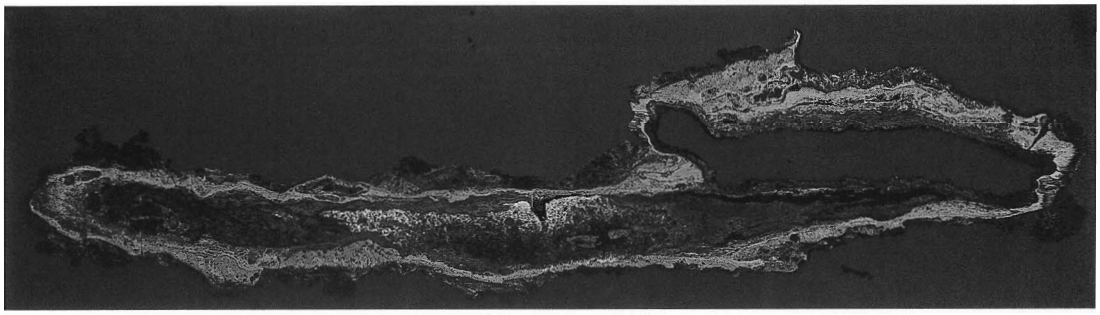


TER－16 ×5

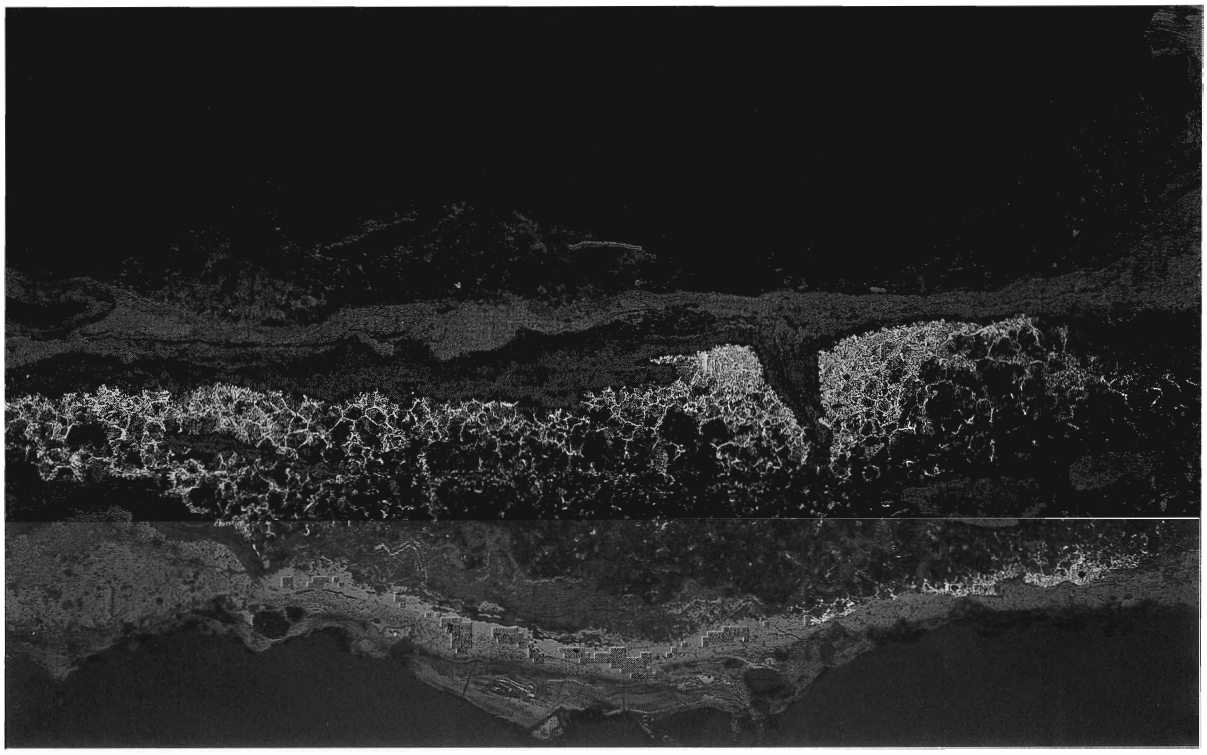


TER－17 ×10

Photo.26　上段：鉄器（刃器）（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

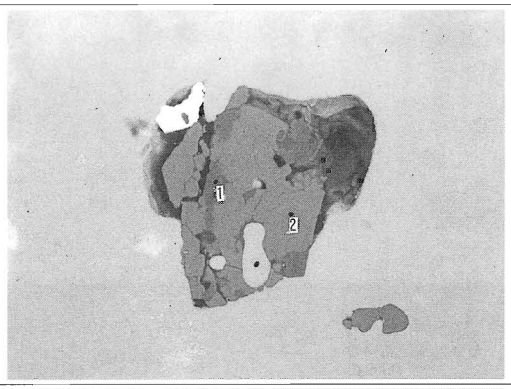


TER−18 ×10

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

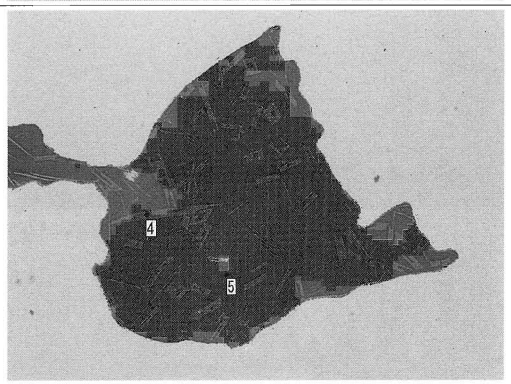
TER-10-1



Element	1	2
F	-	-
Na2O	0.028	-
MgO	13.302	3.845
Al2O3	58.379	6.374
SiO2	0.493	0.054
P2O5	-	-
S	-	-
K2O	0.003	0.006
CaO	0.015	0.034
TiO2	3.186	68.221
Cr2O3	0.577	0.487
MnO	3.456	1.226
FeO	17.209	7.953
ZrO2	-	0.013
CuO	-	-
V2O3	3.898	10.890
As2O5	0.237	0.110
Total	100.783	99.213

COMP
×500

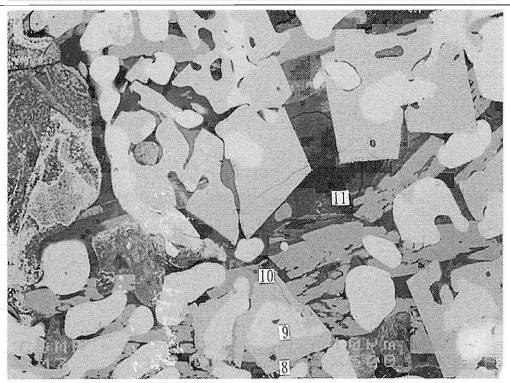
TER-10-2



Element	4	5
F	-	0.045
Na2O	0.032	0.962
MgO	6.674	3.340
Al2O3	2.309	9.766
SiO2	0.587	36.546
P2O5	-	0.032
S	-	0.002
K2O	0.066	3.808
CaO	0.789	13.322
TiO2	71.451	17.444
Cr2O3	0.250	-
MnO	1.023	2.119
FeO	10.276	12.368
ZrO2	0.054	0.066
CuO	-	0.011
V2O3	6.638	0.181
As2O5	0.100	-
Total	100.249	99.993

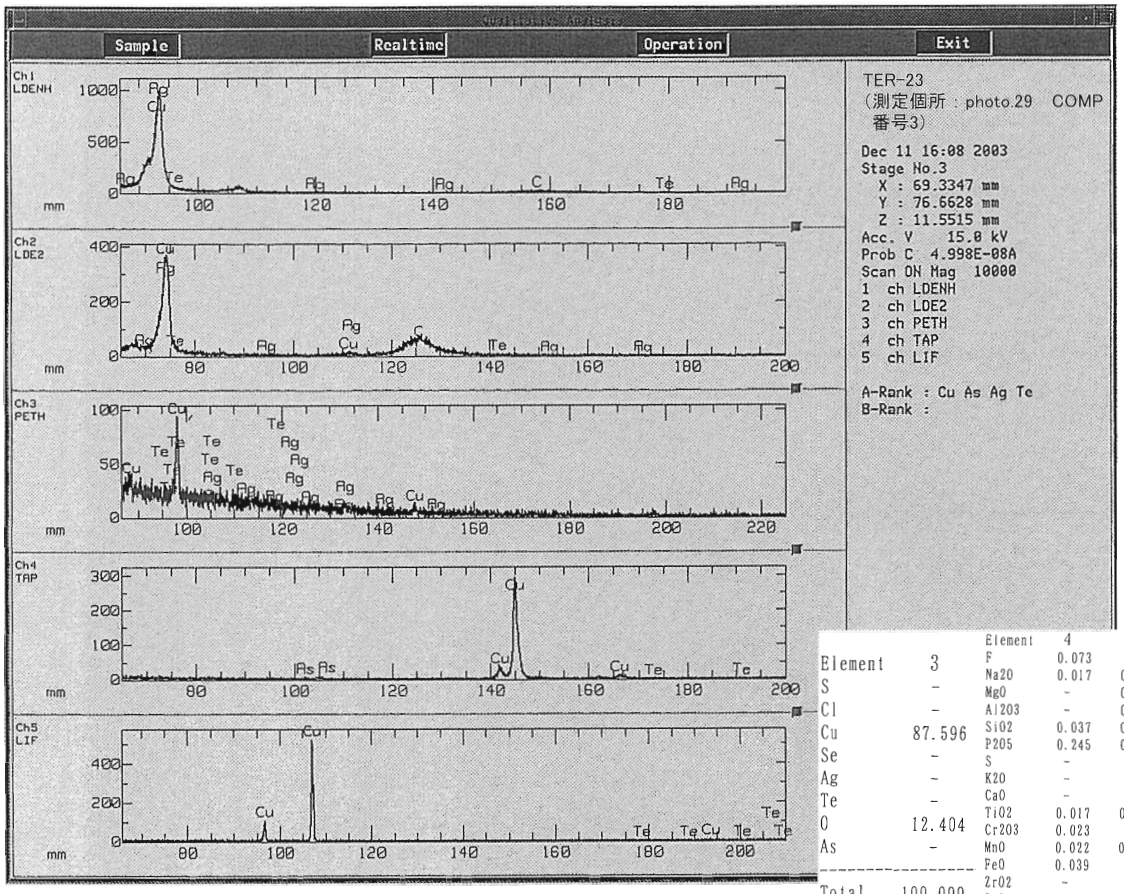
COMP
×500

TER-23-1



Element	8	9	10	11
F	-	-	-	-
Na2O	0.041	0.032	-	0.233
MgO	0.611	0.448	3.167	0.335
Al2O3	4.611	0.518	0.077	16.357
SiO2	0.121	0.176	32.669	58.222
P2O5	-	-	0.039	0.143
S	-	-	0.004	0.013
K2O	0.027	-	0.001	0.594
CaO	0.002	-	4.084	1.761
TiO2	8.479	0.724	0.129	0.583
Cr2O3	0.052	0.008	0.101	0.027
MnO	0.715	0.464	1.698	0.102
FeO	69.106	100.269	61.403	12.690
ZrO2	-	0.025	-	0.139
SrO	-	-	-	-
V2O3	1.247	0.232	0.010	-
CuO	0.007	-	0.017	0.486
As2O5	-	0.018	0.046	-
SnO2	-	0.007	-	-
Ag2O	0.045	0.021	0.067	-
Total	85.064	102.942	103.511	91.682

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



Element	3
S	-
Cl	-
Cu	87.596
Se	-
Ag	-
Te	-
O	12.404
As	-
Total	100.000

Element	4	5	6	7
F	0.073	-	-	0.158
Na2O	0.017	0.027	-	-
MgO	-	0.018	-	-
Al2O3	-	0.059	0.024	0.354
SiO2	0.037	0.045	0.021	-
P2O5	0.245	0.187	0.213	0.045
S	-	-	-	-
K2O	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-
TiO2	0.017	0.008	0.043	0.020
Cr2O3	0.023	-	0.005	0.059
MnO	0.022	0.035	0.006	-
FeO	0.039	-	0.095	-
ZrO2	-	-	-	0.027
SrO	-	-	-	-
V2O3	0.044	-	-	-
CuO	111.925	112.339	111.303	10.157
As2O5	0.034	0.023	0.049	0.120
SnO2	-	-	0.038	0.114
Ag2O	-	-	0.031	94.685
Total	112.445	112.741	111.828	105.672

Fig.1　高速定性分析結果

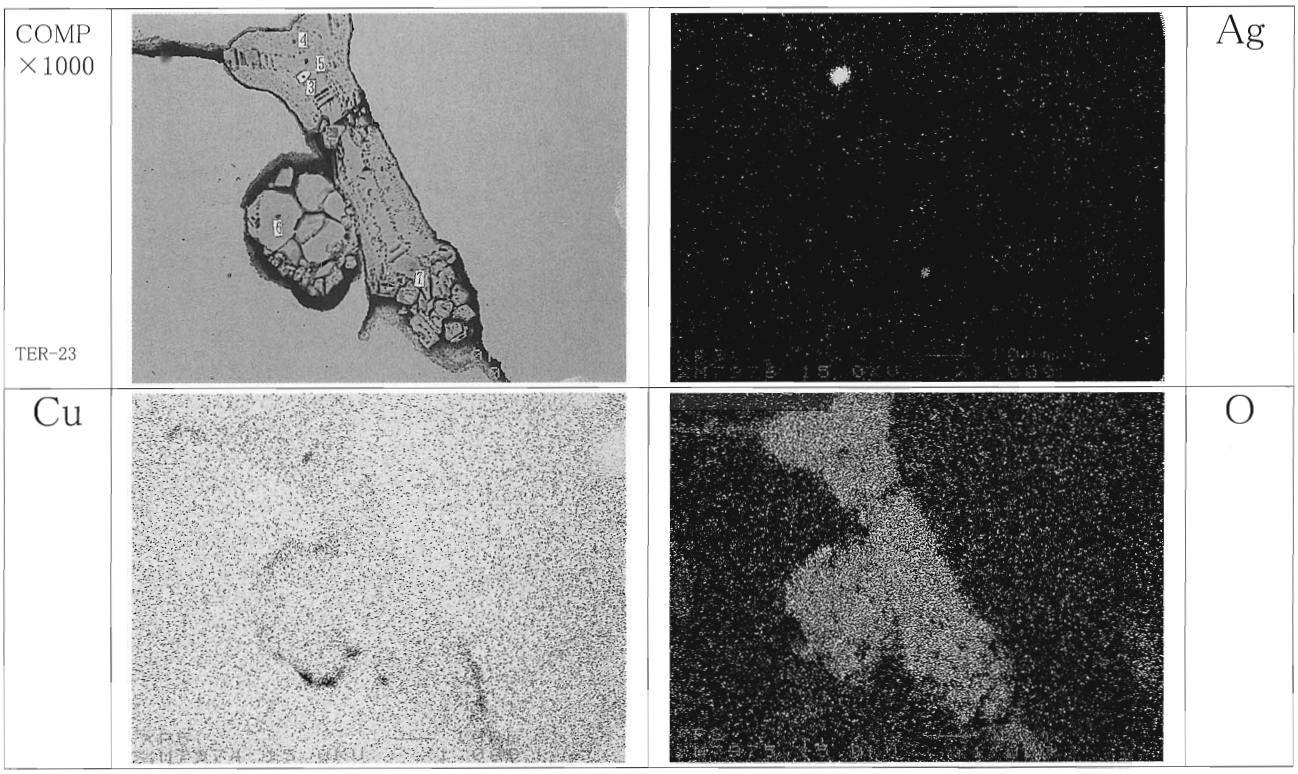


Photo.29　反射電子像と特性X線像（70%縮小）及び定量分析値

鍛冶滓表層付着銅粒（TER－23）のEPMA調査結果①

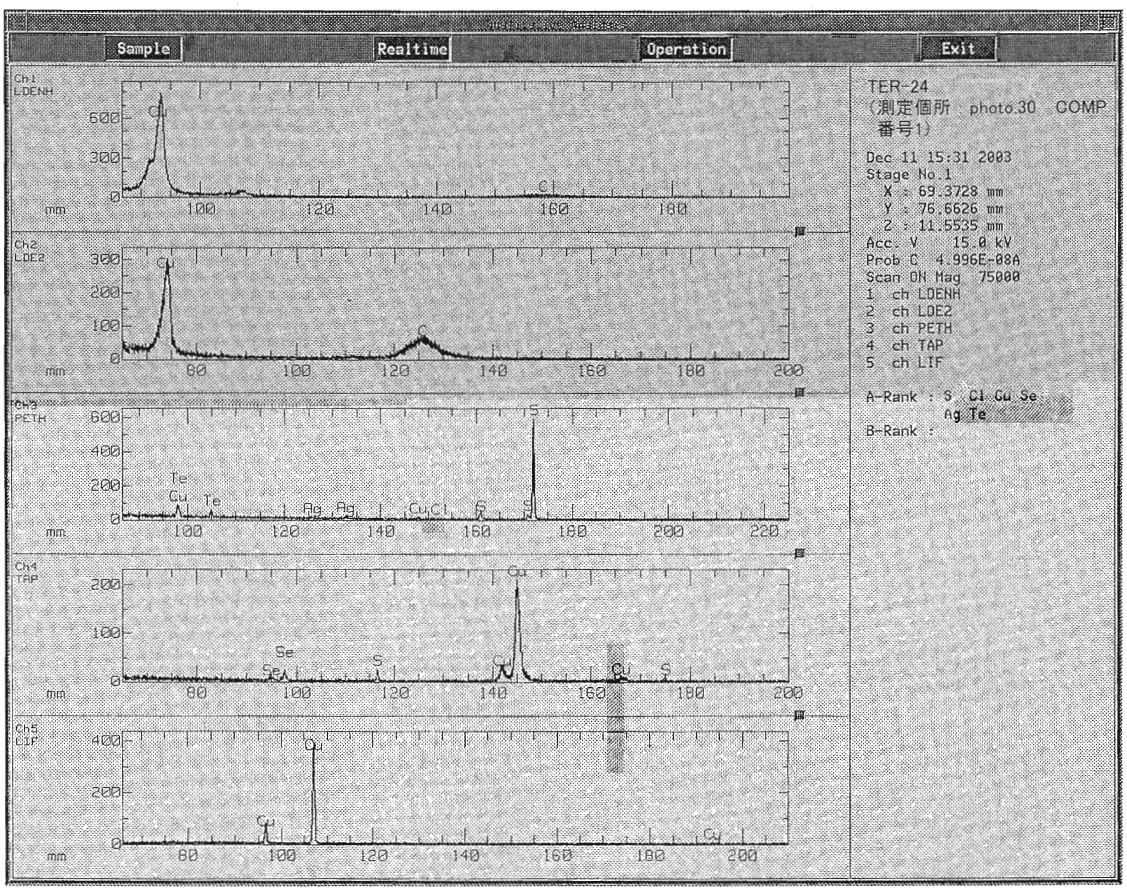


Fig.2　高速定性分析結果

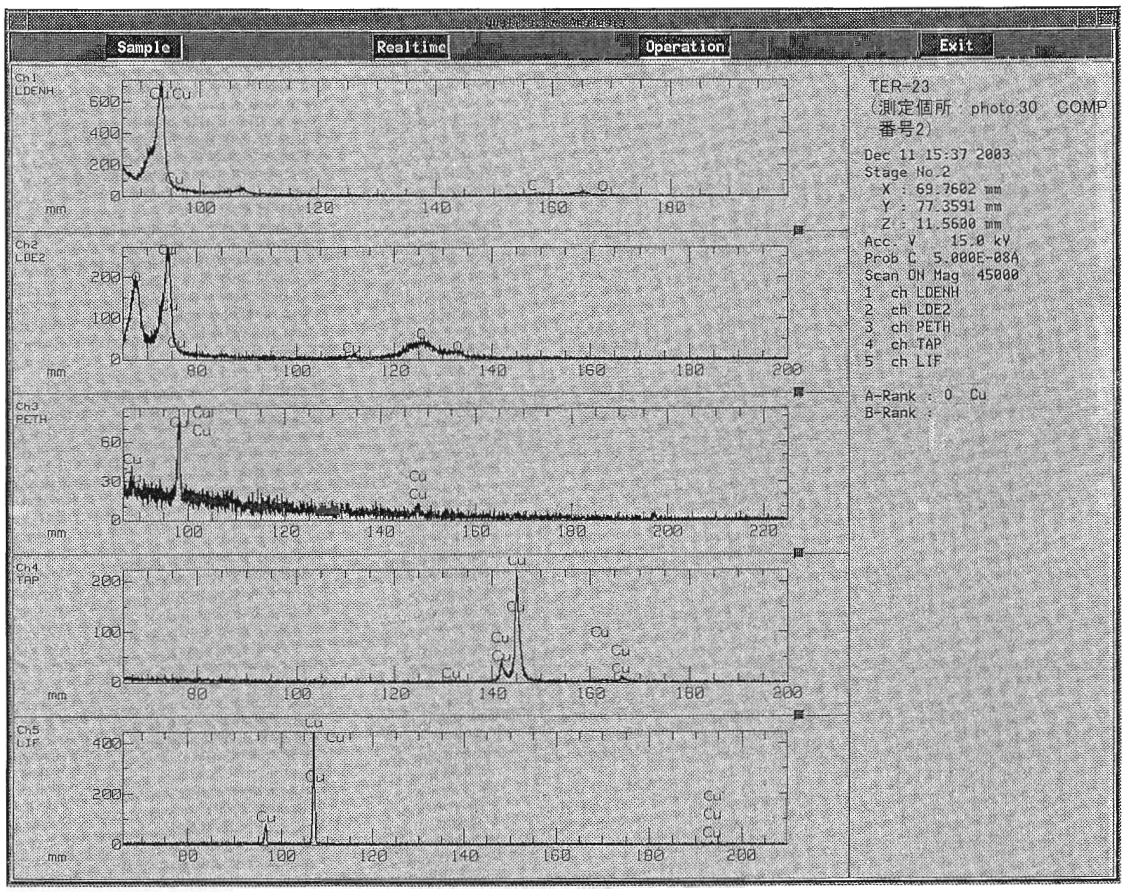
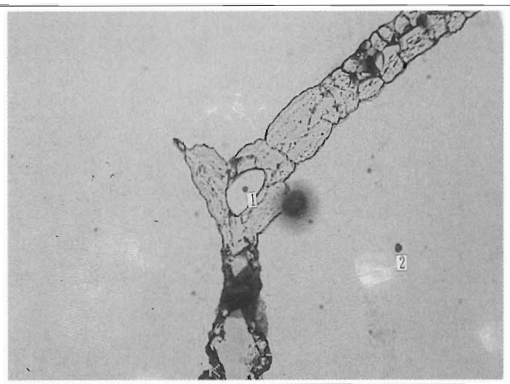


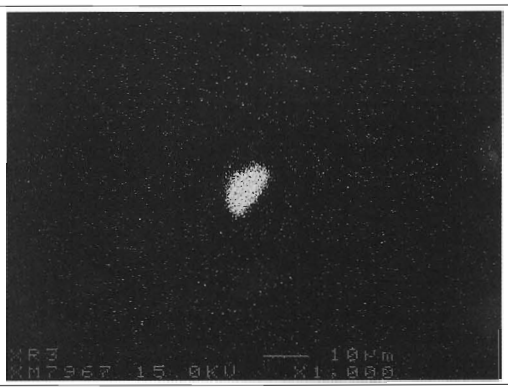
Fig.1　高速定性分析結果

鍛冶滓表層付着銅粒(TER－23)のEPMA調査結果②

COMP
×1000

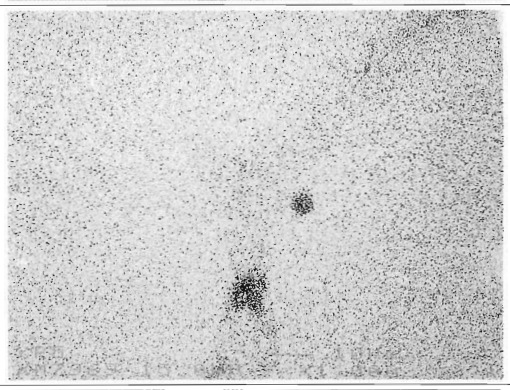
TER-23





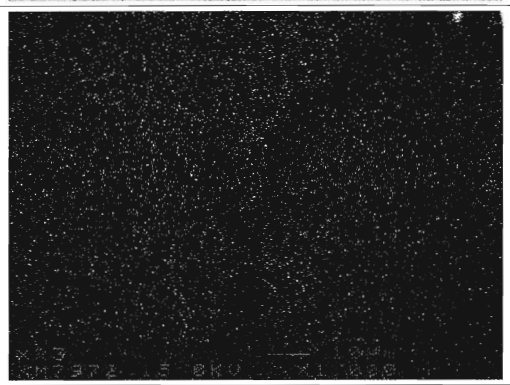
S

Cu



Se

Ag



Element	1	2
S	21.772	-
Cl	0.292	-
Cu	71.428	96.418
Se	3.256	-
Ag	1.134	0.695
Te	2.117	0.655
O	-	-
As	-	2.232
Total	99.999	100.000

As

Photo.30　反射電子像と特性X線像(70%縮小)及び定量分析値

鍛冶滓表層付着銅粒(TER−23)のEPMA調査結果③

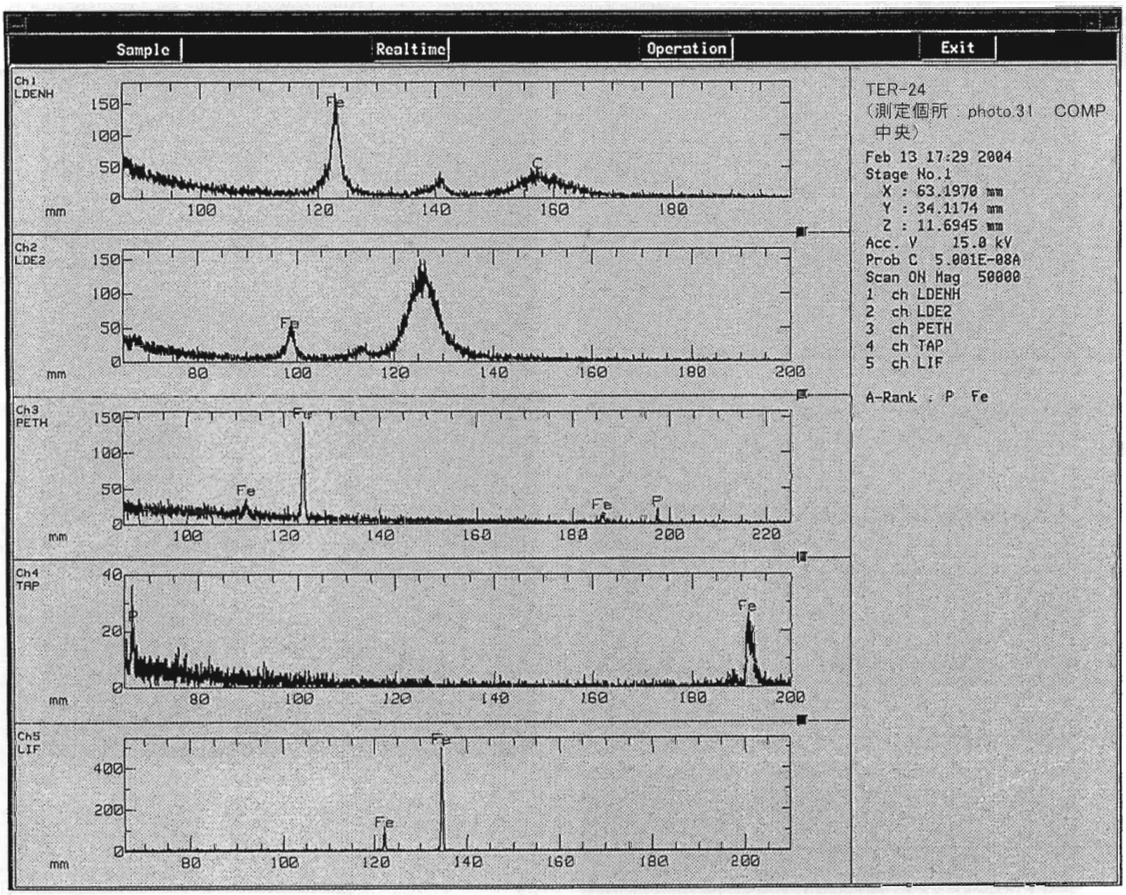


Fig.4　高速定性分析結果

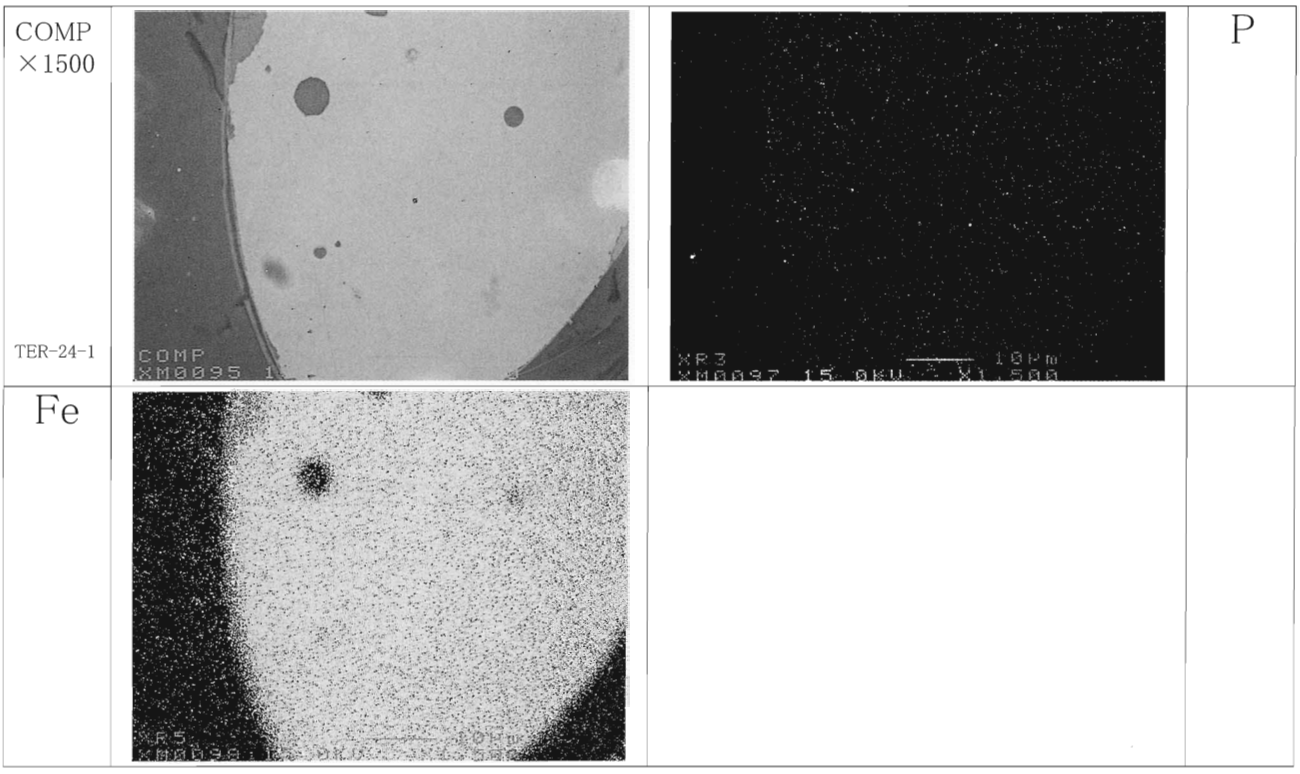


Photo.31　反射電子像と特性X線像（70%縮小）

羽口外面ガラス質滓中の微小金属鉄粒（TER−24）のEPMA調査結果

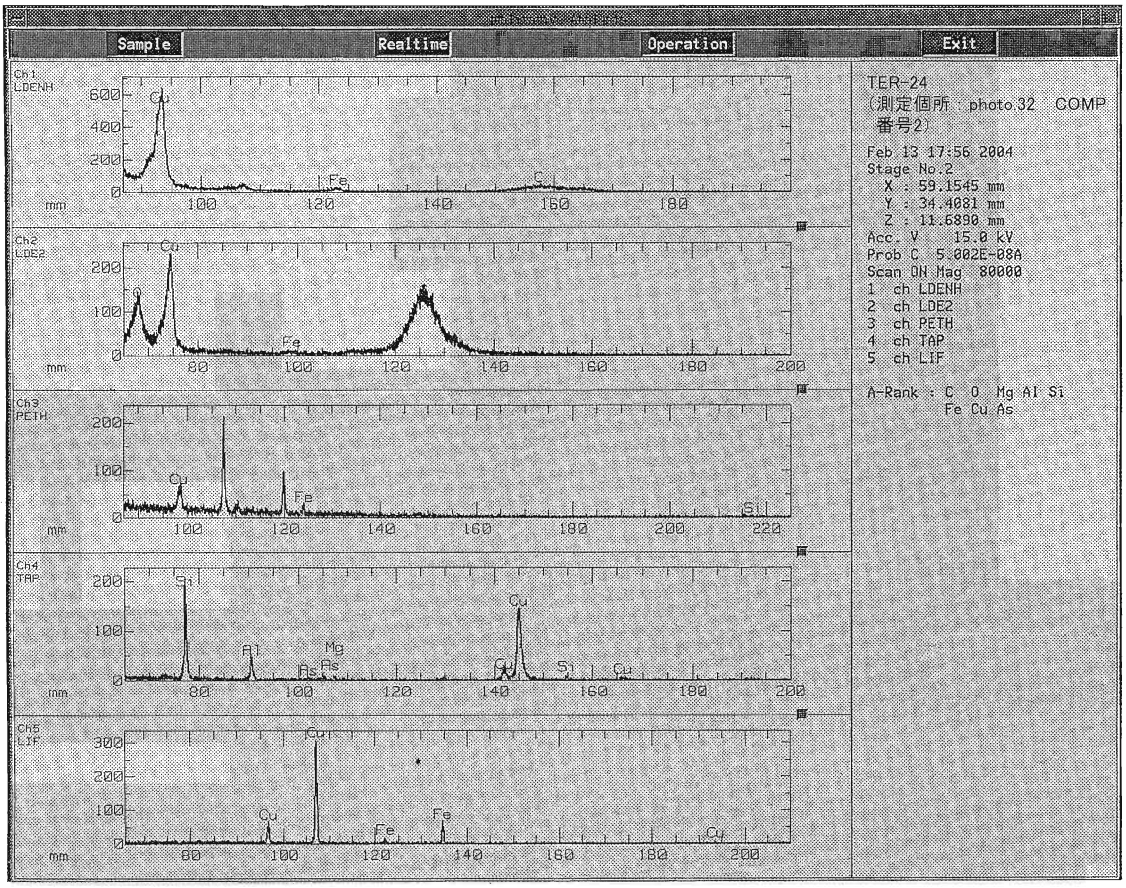


Fig.5　高速定性分析結果

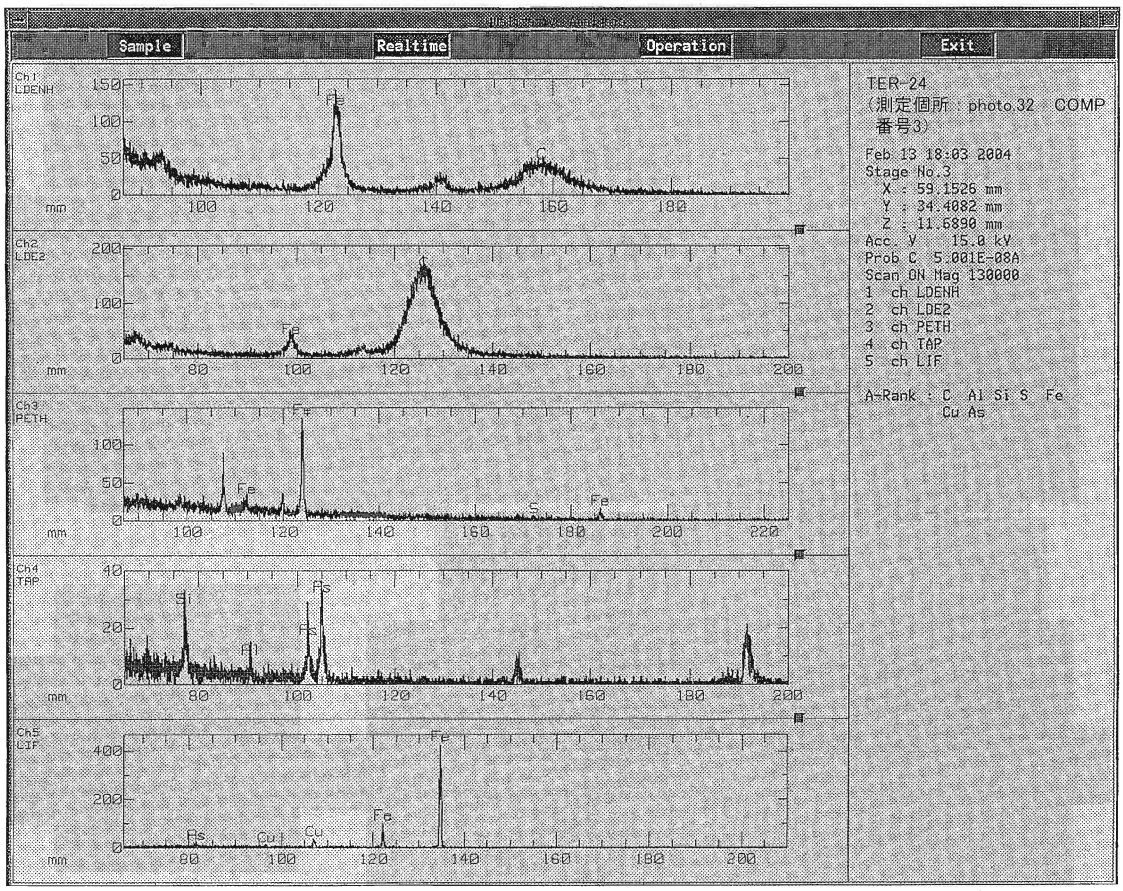
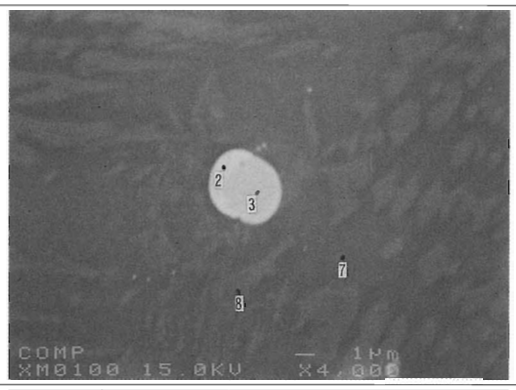


Fig.6　高速定性分析結果

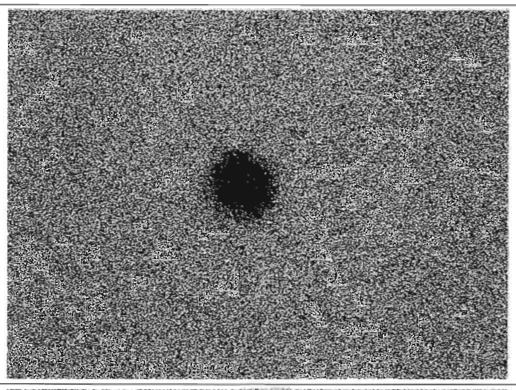
羽口外面ガラス質滓中の微小金属鉄粒（TERー24）のEPMA調査結果①

COMP
×4000

TER-24-2

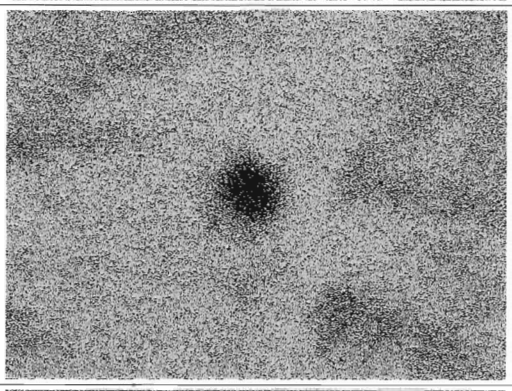


Si

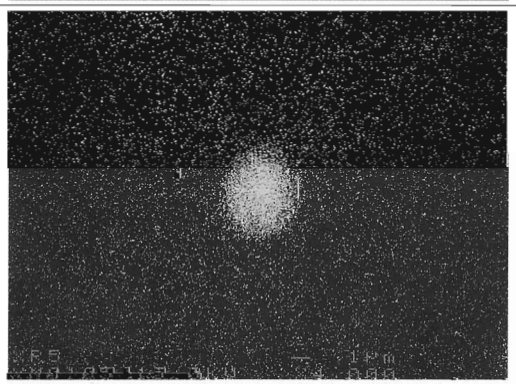


Cu

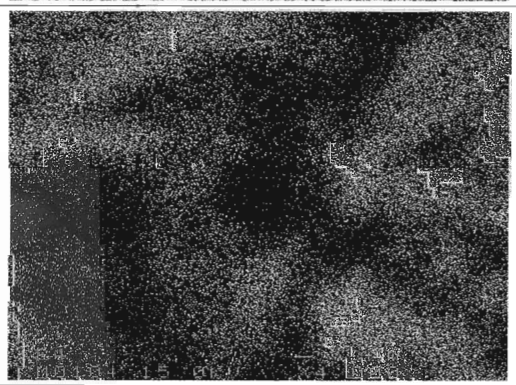
Al



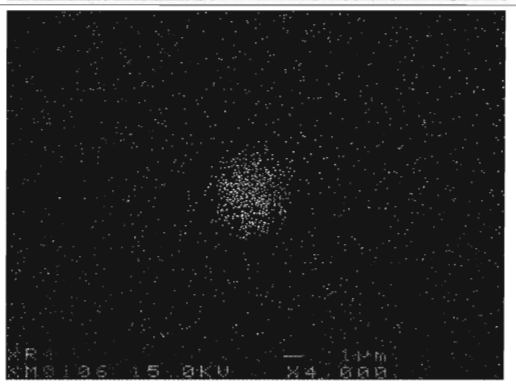
Fe



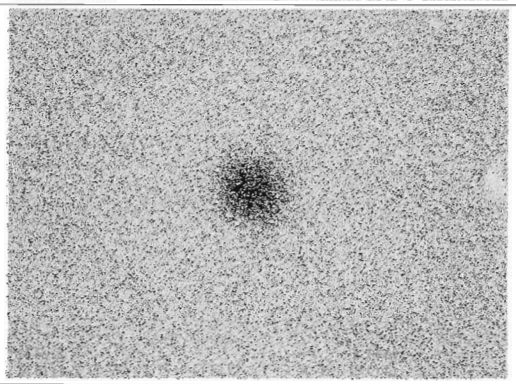
Mg



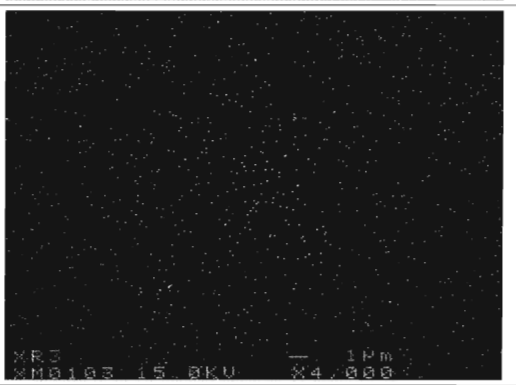
As



O



S



Element	2	3
O	9.792	-
Mg	1.015	-
Al	3.008	0.827
Si	7.588	1.242
Fe	11.126	81.413
Cu	64.649	8.828
As	2.823	7.419
S	-	0.270
Total	100.001	99.999

Element	7	8
F	0.106	0.152
Na2O	2.159	0.507
MgO	1.429	12.912
Al2O3	16.863	5.191
SiO2	60.891	55.281
P2O5	0.204	0.195
S	0.002	0.006
K2O	5.649	0.723
CaO	8.550	19.707
TiO2	0.327	0.550
Cr2O3	0.089	-
MnO	0.521	0.539
FeO	3.194	3.797
ZrO2	0.009	-
CuO	0.261	0.074
V2O3	-	-
As2O5	0.089	0.127
Total	100.298	99.696

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

第３節　寺田Ｉ遺跡２区の土壌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壌との関係について、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区出土鉄製品に関して調査を行った。

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100㎜程度の撮像が可能である。空間分解能は0.5㎜、スライス厚は0.4㎜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、鉄器が出土した土壌と近隣から採取した湧水を対象に測定を実施した。土壌の評価因子は、土壌抵抗率、pH、水分含有量、及び塩化物イオン（CI^-）、硫酸イオン（$SO4^{2-}$）、硫化物イオン（S^{2-}）、チタン（Ti）、鉄（Fe）の各濃度である。土壌は温水抽出し、抽出液を対象に、S^{2-}はJIS K 0101、CI-と$SO4^{2-}$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（Ca^{2+}）、マグネシウムイオン（Mg^{2+}）の各濃度を測定した。

pHはJIS K 0101、CI-とSO42-はイオンクロマトグラフィー、Ca^{2+}とMg^{2+}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～後葉に属する鏨の鉄器を調査した。資料の大きさは幅約30㎜×長さ約70㎜で表面は黒褐色を呈しており、Ｘ線ＣＴ撮像の結果、内部に最大厚さ約８㎜×幅約20㎜×長さ約60㎜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ピ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５×10^3kg/m^3の内層（厚さ１～２㎜）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、外側は土壌成分であったが、内側にはマグネタイトが主に検出された。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線回析強度が弱く、非晶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。この層は土壌抵抗率が高く、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。地下水は中性の軟水であるが、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、鏨に関しては実際の表面から約0.5㎝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。遺跡の土壌は、腐食性イオン濃度が低く土壌抵抗率が高い。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

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	*Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc*	ノグルミ	1
2	２区	C-5	粘土下	*Castanea crenata Sieb. et Zucc.*	クリ	1
3	２区	C-5	炭焼き遺構底	*Castanea crenata Sieb. et Zucc.*	クリ	2
4	２区	C-7	炭焼き跡	*Castanea crenata Sieb. et Zucc.*	クリ	2
5	２区	C-7	炭焼き遺構中層	*Castanea crenata Sieb. et Zucc.*	クリ	1
6	２区	D-4	炭焼き遺構南端	*Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc*	ノグルミ	1
7	２区	D-5	炭焼き遺構底	*Castanea crenata Sieb. et Zucc.*	クリ	3
8	２区	D-6	炭焼き遺構中層	*Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc*	ノグルミ	1
9	２区	D-7	炭焼き跡A	*Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc*	ノグルミ	2
10	２区	D-7	炭焼き跡B	*Stewartia*	ナツツバキ属	4
11	２区	F-9	炭溜まり	*Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc*	ノグルミ	4
				Ostrya japonica Sarg.	アサダ	2
				Quercus sect. Prinus	コナラ属コナラ節	5
12	２区		小炭焼き南	*Platycarya strobilacea Sieb. et Zucc*	ノグルミ	4
				Castanea crenata Sieb. et Zucc.	クリ	2

た小道管が、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。軸方向柔細胞が接線状に配列する。

放射断面：道管の穿孔は単穿孔である。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、マッチ軸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：道管の穿孔は単穿孔で、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：道管の穿孔は単穿孔である。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。

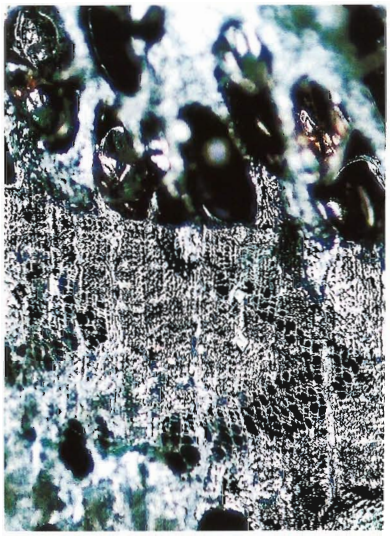
コナラ属コナラ節　*Quercus sect. Prinus*　ブナ科　**図版４**

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：道管の穿孔は単穿孔で、放射組織は平伏細胞からなる。

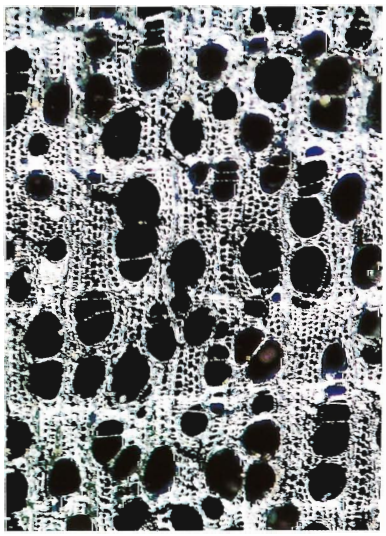
接線断面：放射組織は同性放射組織型で、単列のものと大型の広放射組織からなる複合放射組織である。

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



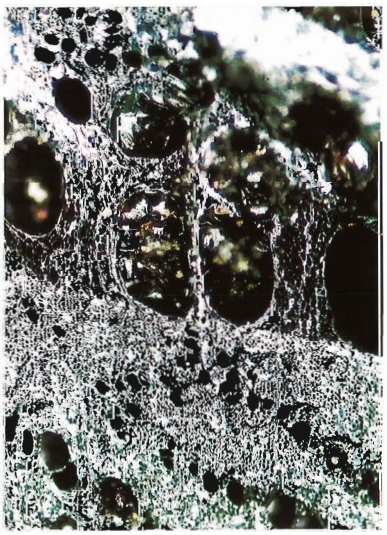
横断面 ——————：0.4㎜　放射断面 ——————：0.2㎜　接線断面 ——————：0.2㎜

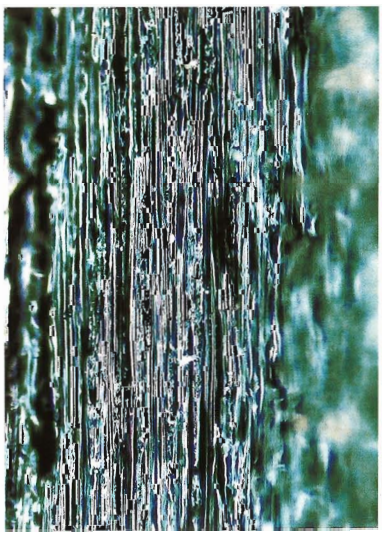
1．ノグルミ



横断面 ——————：0.4㎜　放射断面 ——————：0.2㎜　接線断面 ——————：0.2㎜

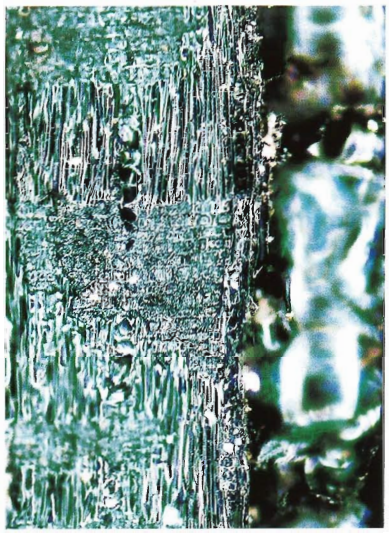
2．アサダ





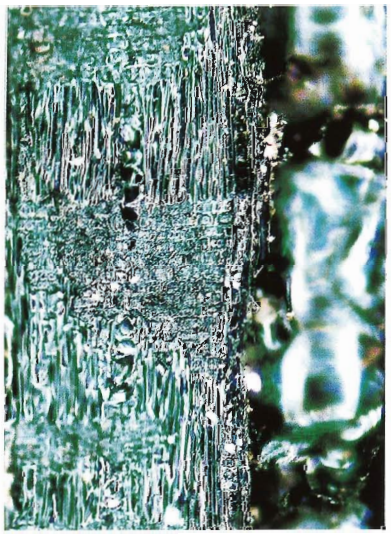
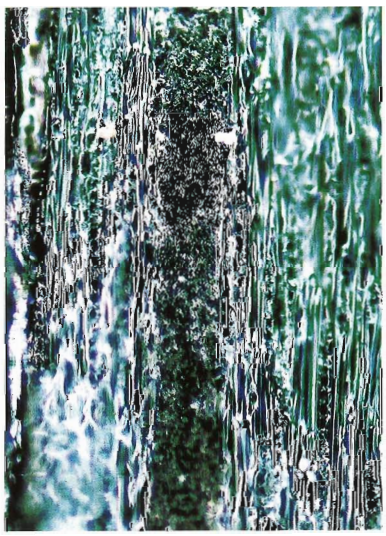
横断面 ——————：0.4㎜　放射断面 ——————：0.2㎜　接線断面 ——————：0.2㎜

3．クリ



横断面 ——————：0.4㎜　放射断面 ——————：0.2㎜　接線断面 ——————：0.2㎜

4．コナラ属コナラ節

横断面 ——————：0.4㎜　放射断面 ——————：0.2㎜　接線断面 ——————：0.2㎜

5．ナツツバキ属

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らなり、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、ヒメシャラなどがあり、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。材は強靱、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、寺田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区土壌内の花粉分析

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、一部土壌中に留まり、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、堆積盆単位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、２区（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、0.5㎜の篩で礫などの大きな粒子を取り除き、沈澱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、氷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）再び氷酢酸を加えた後、水洗を行う。
６）沈渣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、上澄みを捨てるという操作を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・亜科や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・表層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－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、タンポポ亜科、キク亜科、ヨモギ属

〔シダ植物胞子〕

単条溝胞子、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）
学名	和名	遺構面直下（谷部）
Arboreal pollen	樹木花粉	
Cryptomeria japonica	スギ	1
Ulmus-Zelkova serrata	ニレ属－ケヤキ	1
Mallotus japonicus	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	タンポポ亜科	2
Asteroideae	キク亜科	5
Artemisia	ヨモギ属	11
Fern spore	シダ植物胞子	
Monolate type spore	単条溝胞子	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	花粉総数	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示唆される。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）　日本産花粉の標徴．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.

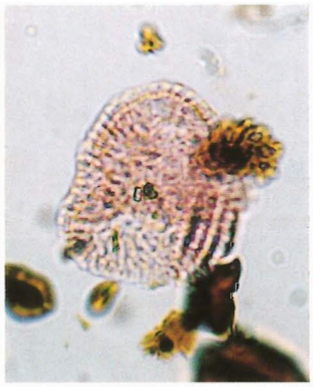
1　スギ

2　ニレ属－ケヤキ

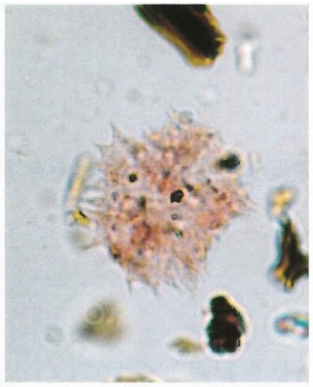
3　アカメガシワ

4　イネ科

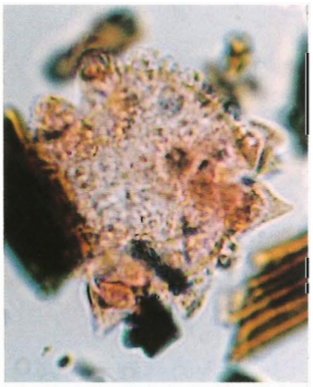
5　イネ科



6　アブラナ科



7　タンポポ亜科



8　キク亜科

9　キク亜科

10　ヨモギ属

11　ヨモギ属

12　シダ植物単条溝胞子

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遺跡は木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、本稿では顕微鏡埋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％ナイタル（硝酸アルコール液）を腐食（Etching）に用いた。

（４）ビッカース断面硬度

ビ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属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、その時に生じた窪みの面積をもって、その荷重を除した商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用し、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（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）、二酸化ジルコニウム（ZrO_2）：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、試料を焼き入れ粉砕後、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

硅素（Si）、マンガン（Mn）、燐（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分間当り10℃の速度で温度1000℃まで上昇させ、以降は4℃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・柾目・板目の3断面の割断面を製作し、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、灰分の燐（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。上下面は築炉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. 1①～③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タイト（Magnetite：Fe_3O_4）、またはウルボスピネル（Ulvo spinel：$2FeO \cdot TiO_2$）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・滓化している。

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、結晶構造水の多くが飛散した状態での分析である。鉄分（Fe_2O_3）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（CaO+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℃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：流動滓

肉眼観察　複数の細い流動滓が溶着してできた、薄板状の鉄滓破片である。表層部は酸化雰囲気に曝されて暗黒色を呈しており、上面には細かい皺状の凹凸が顕著である。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. 1④～⑥に示す。ごく微細な淡茶褐色多角形結晶はウルボスピネルとヘーシナイト（Hercynite：$FeO \cdot Al_2O_3$）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晶出する。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滓の特徴である。

ビッカース断面硬度　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_2O_3）5.80％の割合であった。造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O$）は38.24％と高値であるが、このうち塩基性成分の割合は（CaO+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％、二酸化ジルコニウム（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滓に分類される。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（Zircon：$ZrSiO_4$）[注4]起源の二酸化ジルコニウム（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錆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。胎土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. 2①②に示す。内面表層の黒色ガラス質滓部分である。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、腐食したところ亜共析（＜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（Ig loss）1.50％と低値であった。強い熱影響を受けて、結晶構造水の多くが飛散した状態での分析であった。鉄分（Fe_2O_3）は1.84％と低値であるが、酸化アルミニウム（Al_2O_3）が13.26％と低いため、耐火性が懸念される。

耐火度　1240℃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疇に入る。当資料は造滓剤としての役割（製錬滓へのSiO_2、Al_2O_3分の供給）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。また横断面は浅い椀形で、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晶癖といえる。

ビッカース断面硬度　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、ウルボスピネルとヘーシナイトを主な端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_2O_3）4.27％の割合であった。造滓成分（SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO＋K_2O＋Na_2O）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（８㎝）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。炉壁胎土中に混和された石英・長石粒が溶融しきらず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・滓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ネ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ヤライトが晶出する。これも低チタン砂鉄製錬滓の晶癖である。

ビッカース断面硬度　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、ファイヤライトである。

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. 3①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. 3②～⑩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ヤライトも晶出する。

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）素地に白色針状のフェライト（Ferrite：α鉄）が晶出する。

ビッカース断面硬度　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）も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。

当資料も滓部の鉱物組成から、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%程度の）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。上下面は本来の資料表面で、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滓部がみられず、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噛みこんでいる。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（側面上側）

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。また黒色点状のステダイト（Steadite：Fe－Fe_3C－Fe_3P）や黄褐色粒状の硫化物など、燐（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。砂鉄製錬滓の晶癖である。

化学組成分析　Table. 2 に示す。炭素（C）は0.82%であった。また燐（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。砂鉄製錬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、網目状にステダイトが分布する。さらに硫化物も多数確認されるなど、燐（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錬を示唆する[注5]晶出物といえる。

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）、燐（P）に強い反応がみられる。定量分析値は128.7%FeO－18.1%P_2O_5であった。ステダイト（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％V_2O_3－37.1％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％V_2O_3－2.3％TiO_2－2.1％MnO－1.7％Cr_2O_3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、付着滓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％TiO_2－7.2％V_2O_3－2.9％MgO－2.9％ZrO_2であった。チタニア（TiO_2）主体で、ルチル（Rutile：TiO_2）に近い組成の結晶である。さらに14のガラス質滓部分の定量分析値は57.5％SiO_2－12.4％Al_2O_3－9.1％CaO－2.3％MgO－5.3％K_2O－1.4％Na_2O－7.3％TiO_2－2.7％ZrO_2－2.0％MnOであった。主に炉材や木炭灰に由来する造滓成分（SiO_2、Al_2O_3、CaO、MgO、K_2O、Na_2O）に加え、砂鉄起源の元素〔TiO_2、ZrO_2、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。また内部には燐化鉄共晶（α＋Fe_3P）、および黄褐色の硫化物が多数分布しており、燐（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。燐（P）、硫黄の影響は表層側と比較すると少ないが、やはり燐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、22㎜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が考えられる。〕

また燐（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、燐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滓に由来するものと考えられる。

当試料の付着滓中には、ルチル（Rutile：TiO_2）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（TiO_2：

10％弱～20％程度）を製鉄原料とする遺跡群で確認される。また金属鉄中の燐（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(注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を測り平面が不整楕円状を呈する、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。表層は黒灰色の滓部と推測されるが、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。さらに淡灰色柱状結晶ファイヤライトも晶出する。低チタン砂鉄製錬滓の晶癖である。

ビッカース断面硬度　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、燐（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。

当資料は滓部の鉱物組成から、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。還元雰囲気の弱い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。一部黒錆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、微細な木炭破片や滓が若干固着するが、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鋳鉄、内側の暗色部はねずみ鋳鉄を呈する鋳鉄塊であった。

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。年輪界に沿って大道管が２～３列並んで孔圏部を形成し、孔圏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滓部が点在する。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。砂鉄製錬滓の晶癖である。

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ト（ledeburite）が晶出する、亜共晶組成（＜4.23％C）白鋳鉄組織部分、⑦⑧および⑨⑩は片状黒鉛が析出するねずみ鋳鉄組織部分の拡大である。

ビッカース断面硬度　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。白鋳鉄レデブライト部分の硬度値は582Hv、633Hvと非常に硬質で、ねずみ鋳鉄黒鉛・パーライト部分は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：$FeO\cdot Fe_2O_3$）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：FeS_2）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％TiO_2－29.6％SiO_2であった。チタナイト〔Titanite：$CaTiO(SiO_4)$〕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％TiO_2－8.0Al_2O_3－4.9％V_2O_3であった。ウルボスピネル（Ulvospinel：$2FeO\cdot TiO_2$）とヘーシナイト（Hercynite：$FeO\cdot Al_2O_3$）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の淡灰色盤状結晶の定量分析値は73.4％FeO－1.1％MgO－30.8％SiO_2であった。ファイヤライト（Fayalite：$2FeO\cdot SiO_2$）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％K_2O－1.3％Na_2O－62.3％SiO_2－25.4％Al_2O_3であった。正長石（Orthoclase：$KAlSi_3O_8$）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％SiO_2－33.3％Al_2O_3－10.5％FeOであった。非晶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、流動状の鋳鉄塊（流れ銑）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ー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ヤライトが晶出する。また後者には、暗黒色ガス中に淡褐色片状結晶シュ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鉄原料の砂鉄のチタン（TiO_2）含有量の違い、あるいは製鉄炉の操業温度や、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_2）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、これは素地の土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。炉底塊の荒割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70㎜強の幹材を製炭した黒炭である。炭化が良好で菊割れは強い。

顕微鏡組織　Photo.12⑧～⑩に示す。左から順に木口、柾目、板目面である。年輪界に沿って大道管が並んで孔圏部を形成し、孔圏外の小道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7000cal/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、当試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低めにある。観察表に指摘されるように近世のＢ区いちじく型窯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、製鉄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。

なお雲南市木次町に所在する、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、上垣内たたら(注7)（砂鉄：1.85％、鉄滓：3.46～8.20％）、枯木ヶ谷鈩(注8)（鉄滓：1.33～1.85％）、家ノ前鈩(注9)（砂鉄：0.90％、鉄滓：0.91～6.45％）、槙ヶ垰遺跡(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。地域の花こう岩帯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た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、浸炭の進んだ鋳鉄塊（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入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℃、TERV－3：1240℃）。上述したような複数の砂鉄種に対応して、炉壁胎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粘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、より造滓剤としての役割を考慮した胎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－4、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・諏訪兼位『偏光顕微鏡と造岩鉱物［第2版］』共立出版株式会社　1983

第5章　鉱物各論　E．磁鉄鉱（magnetite）

磁鉄鉱は広義のスピネル類に属し、$FeO \cdot Fe_2O_3$の理想組成をもっているが、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、この中間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_2O_4と表記できる。Xは2価の金属イオン、Yは3価の金属イオンである。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『焼結鉱組織写真および識別法』1968

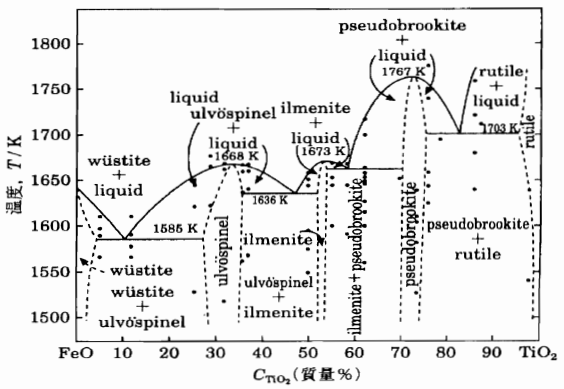
ウスタイトは450～500Hv、マグネタイトは500～600Hv、ファイヤライトは600～700Hvの範囲が提示されている。ウルボスピネルの硬度値範囲の明記はないが、マグネタイトにチタン（Ti）を固溶するので、600Hv以上であればウルボスピネルと同定している。それにアルミナ（Al）が加わり、ウルボスピネルとヘーシナイトを端成分とする固溶体となると更に硬度値は上昇する。このため700Hvを超える値では、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が考えられる。

（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、とくに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：$FeO \cdot TiO_2$）、シュードブルーカイト（Pseudobrookite：$Fe_2O_3 \cdot TiO_2$）、ルチル（Rutile：TiO_2）の晶出は$FeO－TiO_2$二元平衡状態図から高温化操業が推定される。〕



FeO-TiO_2二元平衡状態図

（6）新井宏「古代日本に間接製錬法があったか」『ふぇらむ』Vol.5（2000）No.10

5鉄滓・銑・鋼間のP分配理論

製錬工程で鉄滓と溶銑の間に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の配分には温度の影響が極めて大きく、1250℃以下では鉄滓に、1300℃以上では溶銑に配分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団　和鋼博物館　日立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遺跡出土鉄滓等の分析報告書」『上垣内たたら跡　北原Ⅰ遺跡　茶屋の廻遺跡』　島根県木次町教育委員会　1999

(8)(財)安来市体育文化振興財団　和鋼博物館「枯木ヶ谷鈩遺跡出土遺物の科学分析調査報告『枯木ヶ谷鈩遺跡』建設省斐伊川神戸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・鈴木瑞穂「家ノ前鈩跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」『家ノ前鈩跡　谷口遺跡　宮サコ遺跡（付編）』国土交通省斐伊川神戸川総合開発工事事務所　島根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・鈴木瑞穂「槙ヶ垰遺跡出土製鉄関連遺物の金属学的調査」『槙ヶ垰遺跡』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）」『主要地方浜田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)鈴木瑞穂「日本の前近代製鉄炉の変遷と出土製錬滓の組成変化」『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・鈴木瑞穂「1～3区出土鍛冶関連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　島根県教育委員会　2005

(14)門間改三『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		磁着度	メタル度	調査項目								備考
					大きさ(mm)	重量(g)			マクロ組織	顕微鏡組織	ﾋﾞｯｶｰｽ断面硬度	X線回折	EPMA	化学分析	耐火度	ｶﾛﾘｰ	
TRAV-1	寺田Ⅰ	排滓場周辺	炉壁	平安～鎌倉	90×110×50	602.0	3	なし		○				○	○		
TRAV-2	（5区）	ｻﾝﾌﾟﾙﾄﾚﾝﾁ	流動滓		70×55×12	88.0	2	なし		○	○			○			
TRAV-3		排滓場周辺一括	炉壁		18×12×55	1200.0	3	なし		○				○	○		
TRAV-4			流出溝滓		115×100×50	710.0	2	なし		○	○			○			
TRAV-5			流出溝滓		120×130×80	1400.0	2	なし		○	○			○			
TRAV-6			炉底塊(含鉄)			16000.0	8	特L(☆)	○	○	○			○			
TRAV-7			炉底塊(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(☆)	○	○	○			○			
TRAV-9		A区	鉄塊系遺物		180×35×20	497	8	特L(☆)	○	○	○		○	○			
TRAV-10		排滓場周辺一括	再結合滓		135×95×40	746	3	なし		○				○			
TRAV-11		B区炭窯脇　炭溜	木炭	中世～近世	100×72×40	66	1	なし		○				○		○	

＊21個所測定実施

Table. 2　供試材の化学組成

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	全鉄分 (Total Fe)	金属鉄 (Metallic Fe)	酸化第1鉄 (FeO)	酸化第2鉄 (Fe_2O_3)	*二酸化珪素 (SiO_2)	*酸化アルミニウム (Al_2O_3)	*酸化カルシウム (CaO)	*酸化マグネシウム (MgO)	*酸化カリウム (K_2O)	*酸化ナトリウム (Na_2O)	酸化マンガン (MnO)	二酸化チタン (TiO_2)	酸化クロム (Cr_2O_3)	硫黄 (S)	五酸化燐 (P_2O_5)	炭素 (C)	バナジウム (V)	銅 (Cu)	二酸化ジルコニウム (ZrO_2)	耐火度 (℃)	Σ*造滓成分	造滓成分 / Total Fe	TiO_2 / Total Fe
TRAV-1	寺田Ⅰ	排滓場周辺	炉壁	平安～鎌倉	1.96	0.12	0.43	2.15	70.73	18.30	0.10	0.29	4.15	0.48	0.06	0.33	<0.01	0.006	0.04	Igloss 1.61	<0.01	<0.01	0.02	1530	94.05	47.985	0.168
TRAV-2	（5区）	サンプントレンチ	流動滓		43.82	<0.01	51.16	5.80	25.55	7.03	2.79	0.91	1.72	0.24	0.97	2.06	0.06	0.058	0.22	0.05	0.25	<0.01	0.97	–	38.24	0.873	0.047
TRAV-3		排滓場周辺	炉壁		1.59	0.08	0.29	1.84	74.21	13.26	0.30	0.30	4.35	1.66	0.08	0.18	<0.01	0.012	0.05	Igloss 1.50	<0.01	<0.01	0.02	1240	94.08	59.170	0.113
TRAV-4		一括	流出溝滓		35.27	<0.01	41.53	4.27	33.48	8.32	2.09	0.78	2.09	0.63	0.68	3.47	0.04	0.058	0.18	0.04	0.30	<0.01	0.49	–	47.39	1.344	0.098
TRAV-5			流出溝滓		32.77	<0.01	38.94	3.58	37.14	8.34	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	0.079
TRAV-6			炉底塊（含鉄）		52.70	1.97	28.88	40.44	14.82	2.86	0.72	0.29	0.92	0.20	0.17	0.52	0.05	0.089	0.13	0.27	0.07	<0.01	0.14	–	19.81	0.376	0.010
TRAV-10			再結合滓		29.64	0.07	7.90	33.50	34.58	7.44	0.76	0.35	1.91	0.78	0.33	1.20	0.05	0.032	0.10	Igloss 11.67	0.09	<0.01	0.25	–	45.82	1.546	0.040

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	炭素 (C)	珪素 (Si)	ﾏﾝｶﾞﾝ (Mn)	燐 (P)	硫黄 (S)	銅 (Cu)	ｸﾛﾑ (Cr)	ﾁﾀﾝ (Ti)	ﾊﾞﾅｼﾞｳﾑ (V)	砒素 (As)	ｺﾊﾞﾙﾄ (Co)
TRAV-7①（側面上側）	寺田Ⅰ	排滓場周辺	炉底塊（鉄塊）	平安～鎌倉	0.82	0.02	0.049	0.066	0.006	0.007	0.015	0.002	0.038	<0.001	–
TRAV-7③（側面下側）	（5区）	一括			0.27	0.02	0.023	0.255	0.028	0.006	0.014	0.003	0.060	<0.001	–
TRAV-8			鉄塊系遺物		0.024	0.17	0.034	0.009	0.016	0.007	0.004	0.018	0.007	<0.001	0.009
TRAV-9		A区	鉄塊系遺物		3.33	0.02	0.028	0.005	0.030	0.005	0.004	0.020	0.008	<0.001	0.007

Table. 3　木炭の性状

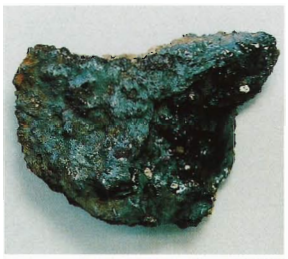
符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	灰分 Ash	揮発分 VM	水分 MS	固定炭素 FC	硫黄 TS	発熱量 cal/g	灰中P
TRAV-11	寺田Ⅰ（5区）	B区炭窯脇 炭溜り	木炭（黒炭）	中世～近世	3.72	42.52	12.68	53.76	0.004	6150	0.09

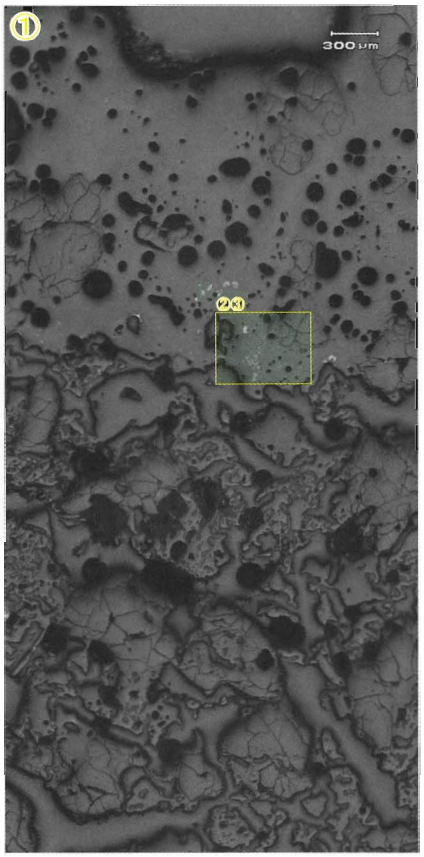
Table. 4　出土遺物の調査結果のまとめ

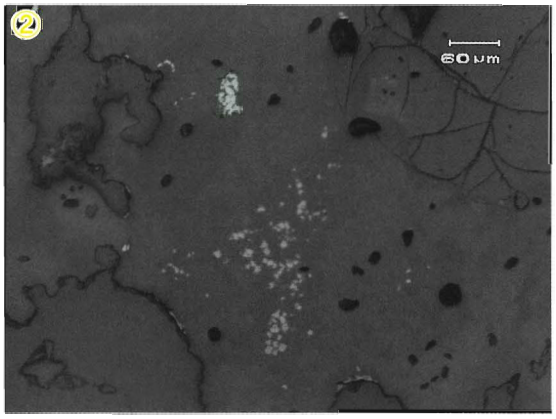
符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	顕微鏡組織	化学組成(%)								所見
						Total Fe	Fe_2O_3	塩基性成分	TiO_2	V	MnO	造滓成分	Cu	
TRAV-1	寺田Ⅰ	排滓場周辺	炉壁	平安～鎌倉	内面:黒色ｶﾞﾗｽ質滓、M晶出	1.96	2.15	0.39	0.33	<0.01	0.06	94.05	<0.01	耐火度:1530℃、非常に耐火性の高い性状
TRAV-2	(5区)	ｻﾝﾌﾟﾙﾄﾚﾝﾁ	流動滓		被熱砂鉄粒子、滓部:UとHの固溶体+F	43.82	5.80	3.70	2.06	0.25	0.97	38.24	<0.01	製錬滓(製鉄原料:花こう岩起源の低ﾁﾀﾝ砂鉄)
TRAV-3		排滓場周辺一括	炉壁		内面:黒色ｶﾞﾗｽ質滓、 微小錆化鉄・金属鉄粒(亜共析組織)	1.59	1.84	0.60	0.18	<0.01	0.08	94.08	<0.01	耐火度:1240℃、耐火性の低い性状、 (造成剤の役割を期待した可能性が考えられる)
TRAV-4			流出溝滓		木炭片:広葉樹材、滓部:UとHの固溶体+F	35.27	4.27	2.87	3.47	0.30	0.68	47.39	<0.01	製錬滓(製鉄原料:花こう岩起源の低ﾁﾀﾝ砂鉄)
TRAV-5			流出溝滓		被熱砂鉄粒子、滓部:UとHの固溶体+F	32.77	3.58	3.25	2.59	0.23	0.79	51.79	<0.01	製錬滓(製鉄原料:花こう岩起源の低ﾁﾀﾝ砂鉄)
TRAV-6			炉底塊(含鉄)		木炭片:広葉樹環孔材、ｸﾇｷﾞか、 滓部:W＋UとHの固溶体+F、金属鉄:亜共析組織	52.70	40.44	1.01	0.52	0.07	0.17	19.81	<0.01	製錬時の炉内生成物(製鉄原料:花こう岩起源の低ﾁﾀﾝ砂鉄か)、 金属鉄部:0.3～0.4%Cの鋼(16kg表層の情報)
TRAV-7			炉底塊(鉄塊)		付着滓:R、 金属鉄:ﾌｪﾗｲﾄ単相～過共析組織、P,S偏析顕著	C0.82 0.27	Si0.02 0.02	Mn0.049 0.023	P0.066 0.255	S0.006 0.028	Cu0.007 0.006	Ti0.002 0.003	V0.038 0.060	製錬生成鉄(製鉄原料:火山岩起源の高ﾁﾀﾝ砂鉄、高温製錬の可能性が高い)、C偏析が大きく、P,Sの影響も著しい
TRAV-8			鉄塊系遺物		滓部:W＋UとHの固溶体+F、金属鉄:ﾌｪﾗｲﾄ単相	C0.024	Si0.17	Mn0.034	P0.009	S0.016	Cu0.007	Ti0.018	V0.007	製錬生成鉄(製鉄原料:花こう岩起源の低ﾁﾀﾝ砂鉄か)、 ほとんど浸炭していない軟鉄塊
TRAV-9		A区	鉄塊系遺物		木炭片:広葉樹環孔材、ｺﾅﾗ、滓部:U+F、 金属鉄:亜共晶組成白鋳鉄+ねずみ鋳鉄	C3.33	Si0.02	Mn0.028	P0.005	S0.030	Cu0.005	Ti0.020	V0.008	製錬生成鉄(製鉄原料:砂鉄か)、吸炭の進んだ鋳鉄塊
TRAV-10		排滓場周辺一括	再結合滓		砂鉄粒子、製錬滓:W＋UとHの固溶体+F、Ps or R、 木炭片:広葉樹材	29.64	33.50	1.11	1.20	0.09	0.33	45.82	<0.01	砂鉄製錬に伴う微細遺物群を含む再結合滓、 炉底塊荒割り派生物の可能性
TRAV-11		B区炭窯脇 炭溜り	木炭	中世～近世	広葉樹環孔材	–	–	–	–	–	–	–	–	ｺﾅﾗの幹材を用いた黒炭

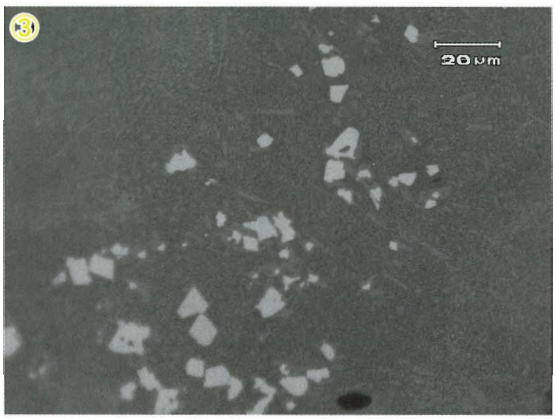
M:Magnetite(Fe_3O_4)、U:Ulvöspinel($2FeO \cdot TiO_2$)、H:Hercynite($FeO \cdot Al_2O_3$)、F:Fayalite($2FeO \cdot SiO_2$)、W:Wustite(FeO)、R:Rutile(TiO_2)、Ps:Pseudobrookite($Fe_2O_3 \cdot TiO_2$)

TERⅤ－1
炉壁
①試料内面:黒色ガラス質滓
炉壁胎土中の石英・長石
粒残存
②③①の拡大
マグネタイト晶出

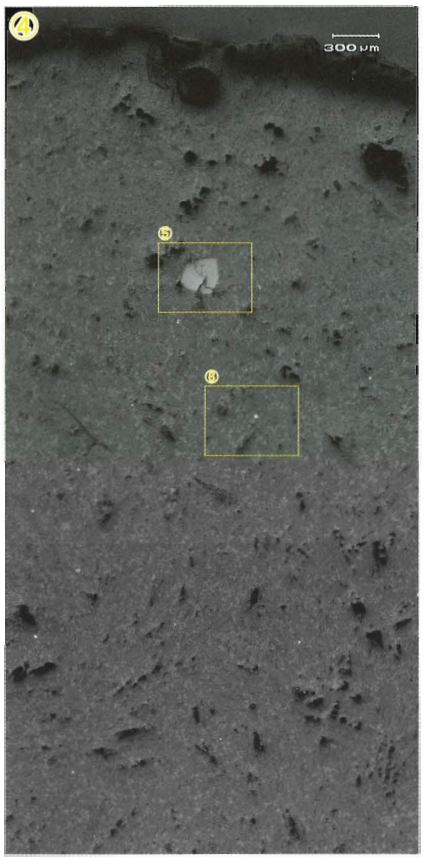


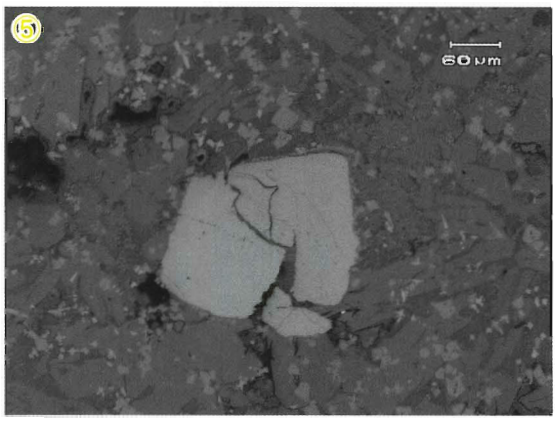






TERⅤ－2
流動滓
④灰褐色粒:被熱砂鉄
分解・滓化進行
明白色粒:微小金属鉄、
ナイタルetch変化なし、
フェライト結晶か
滓部：ウルボスピネルと
ヘーシナイトの固
溶体・ウスタイト・
ファイヤライト
⑤被熱砂鉄拡大
⑥微小金属鉄粒拡大





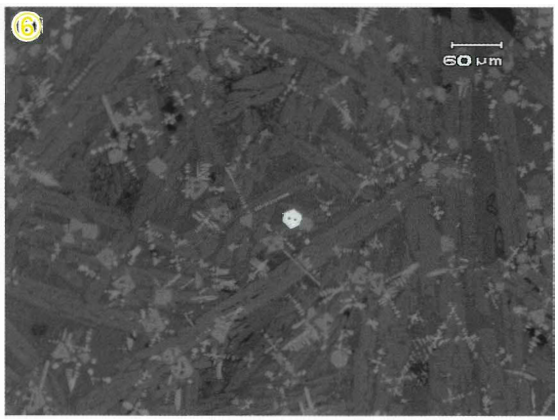
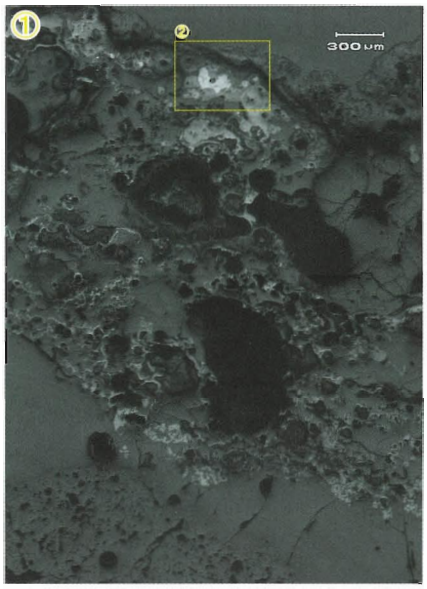
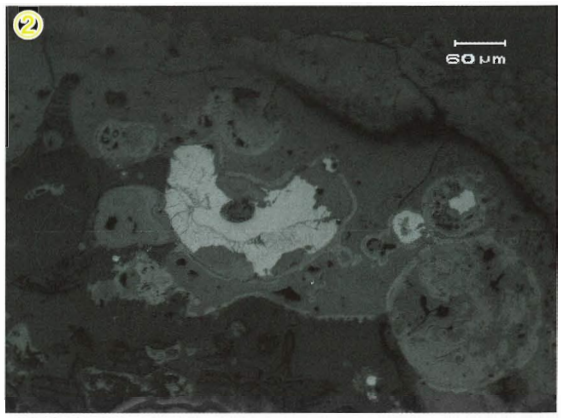


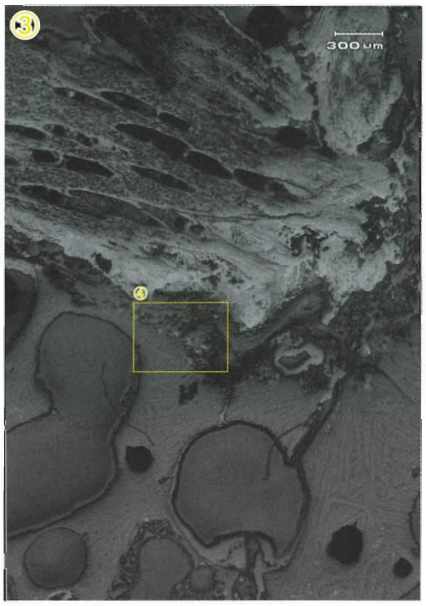
Photo.1　炉壁・流動滓の顕微鏡組織

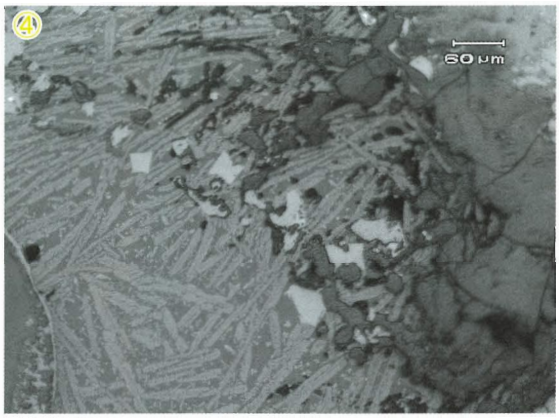
TERⅤ－3
炉壁
①試料内面表層、微小金属鉄・錆化鉄散在
素地：黒色ガラス質滓
②金属鉄部拡大
ナイタルetch亜共析組織



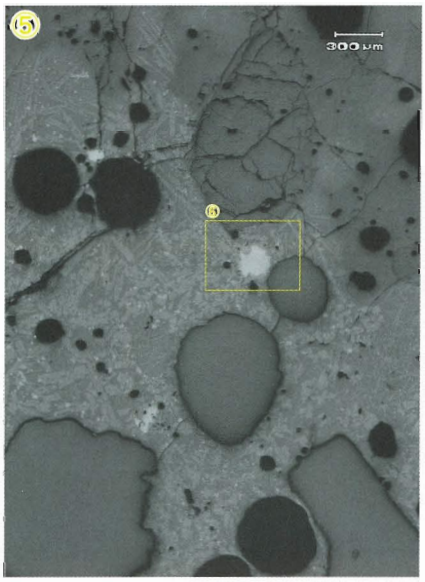


TERⅤ－4
流出溝滓
③上側：木炭破片、広葉樹材
下側：滓部：ウルボスピネル・ファイヤライト
④滓部拡大





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
ウルボスピネル・ファイヤライト
⑥中央：被熱砂鉄、分解・滓化進行



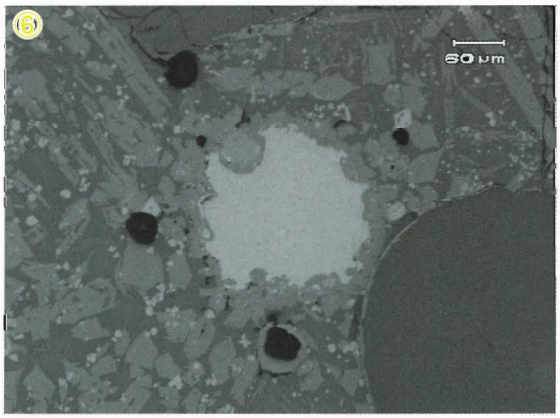
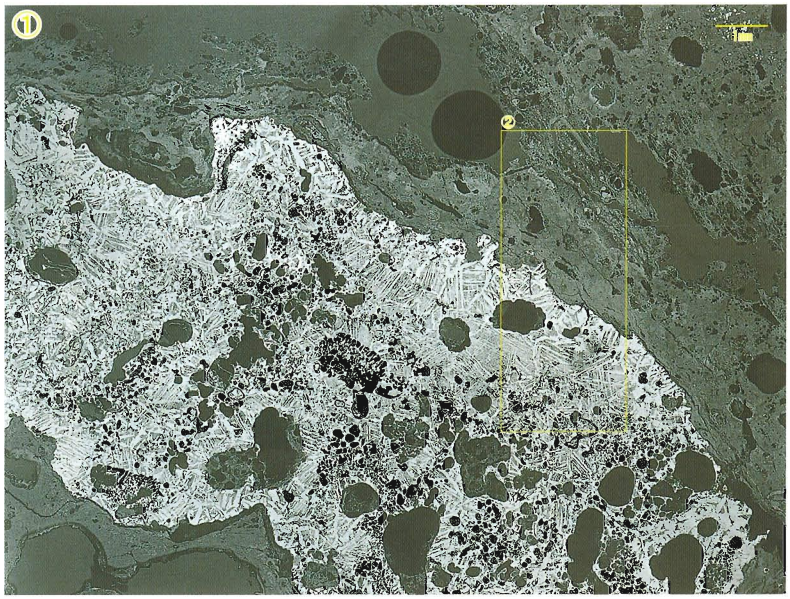
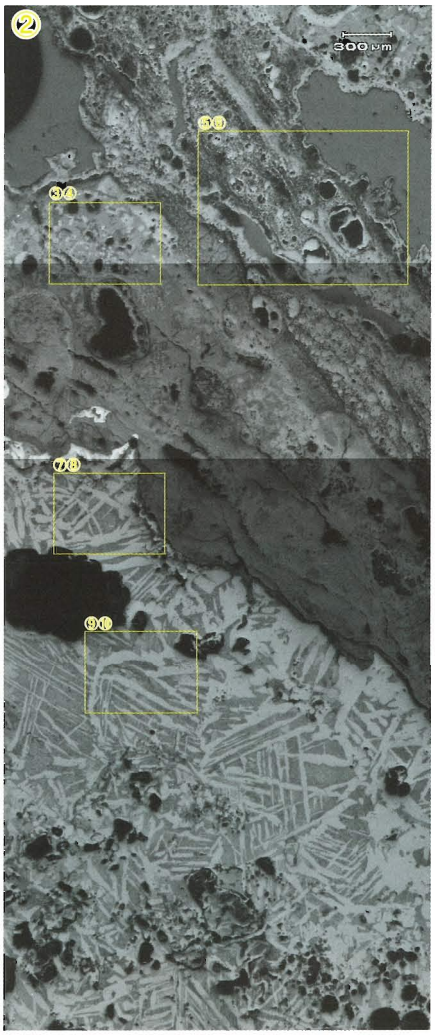


Photo.2　炉壁・流出溝滓の顕微鏡組織

TERⅤ－6
炉底塊（含鉄）
①マクロ組織
②①の拡大、暗色部：製錬滓
　明色部：金属鉄、ナイタルetch
　亜共析組織
③～⑩ ③の拡大
③④滓部：ウスタイト･微小ウルボスピネル･ファイヤライト
⑤⑥木炭破片､木口面
　広葉樹環孔材、クヌギ
⑦⑧金属鉄部:亜共析組織
⑨⑩同上





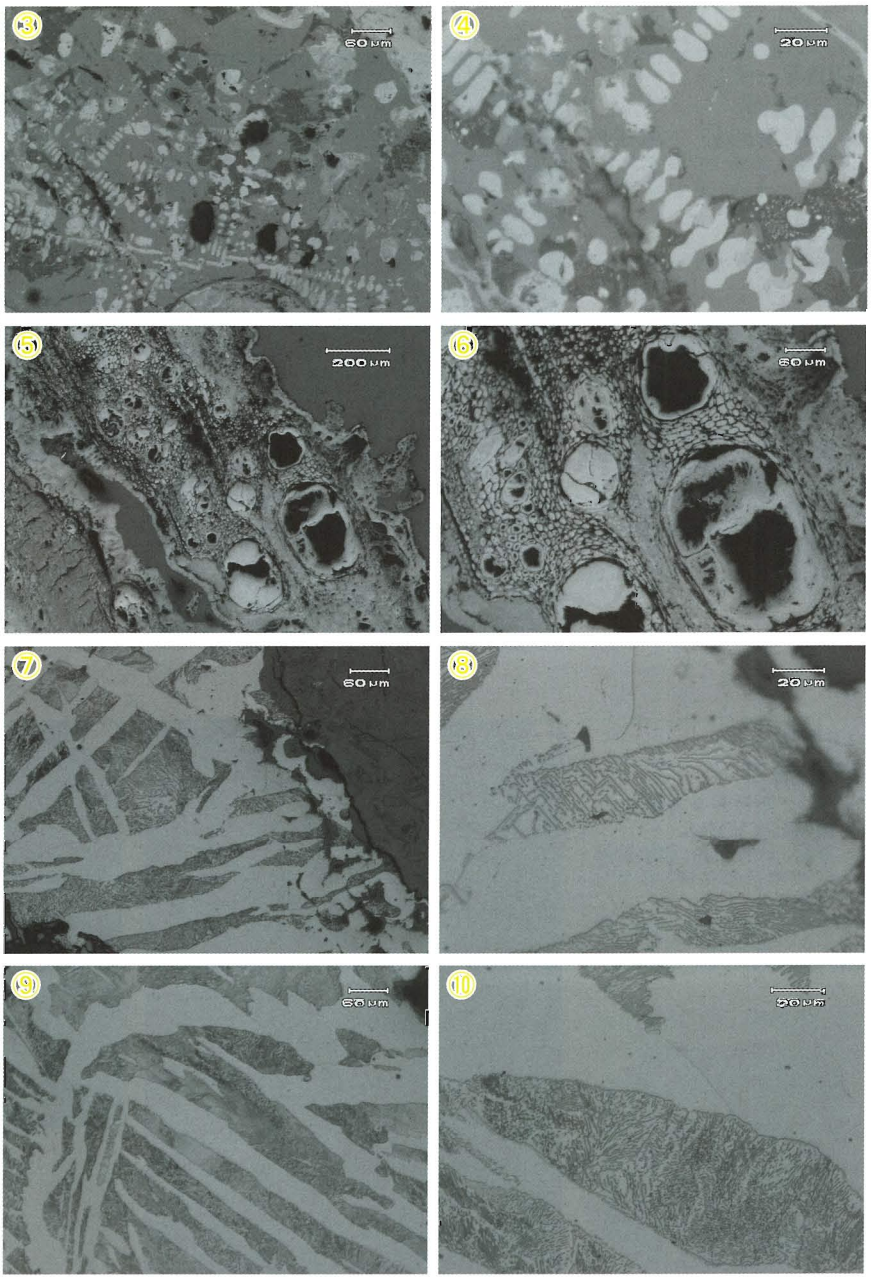
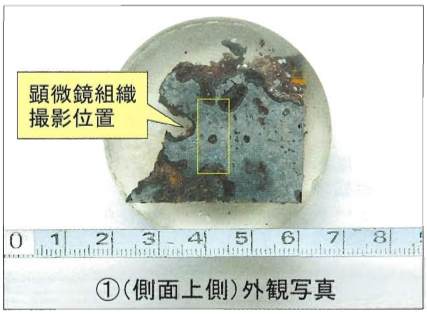
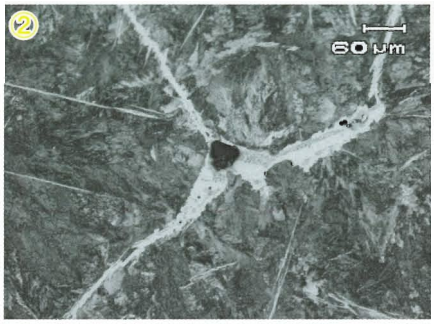


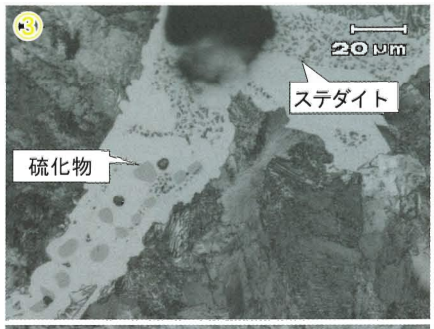
Photo.3　炉底塊の顕微鏡組織

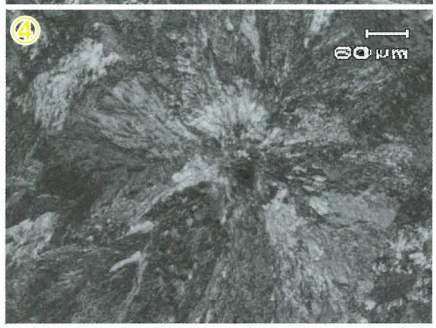
TERⅤ－7①
炉底塊（側面上側）
①断面連続写真
金属鉄部：ナイタルetch
過共析組織～フェライト単相
②③過共析組織拡大
④⑤共析組織拡大
⑥⑦亜共析組織拡大
⑧⑨同上
⑩⑪フェライト単相拡大
（滓部：ウルボスポネル晶出）

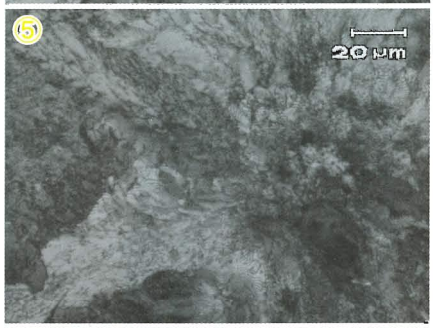


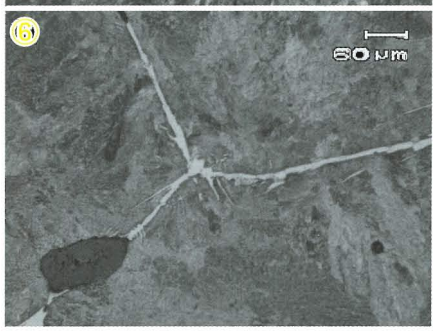
①（側面上側）外観写真

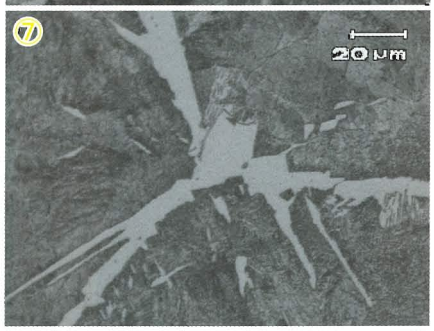


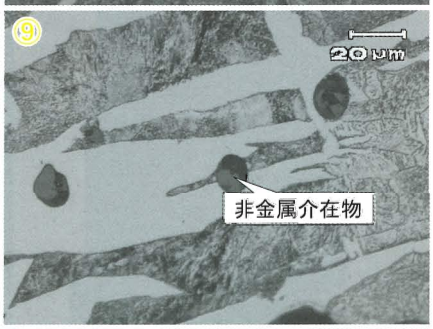


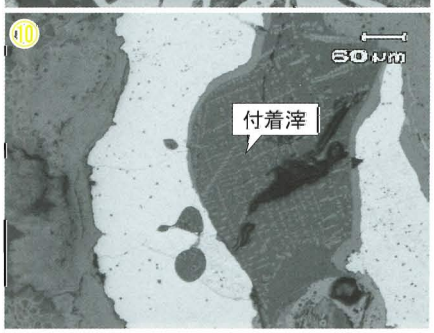












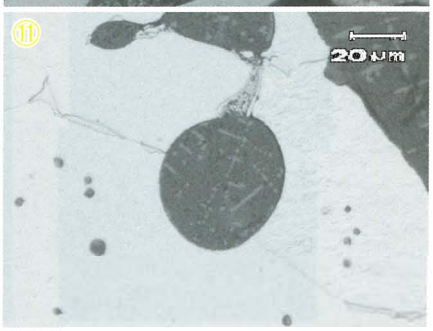
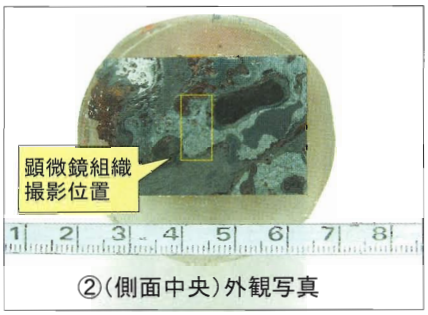


Photo.4　炉底塊の顕微鏡組織

TERⅤ－7②
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滓部：シュードブルーカイトないしルチル晶出
⑧⑨過共析組織拡大
⑩⑪同上



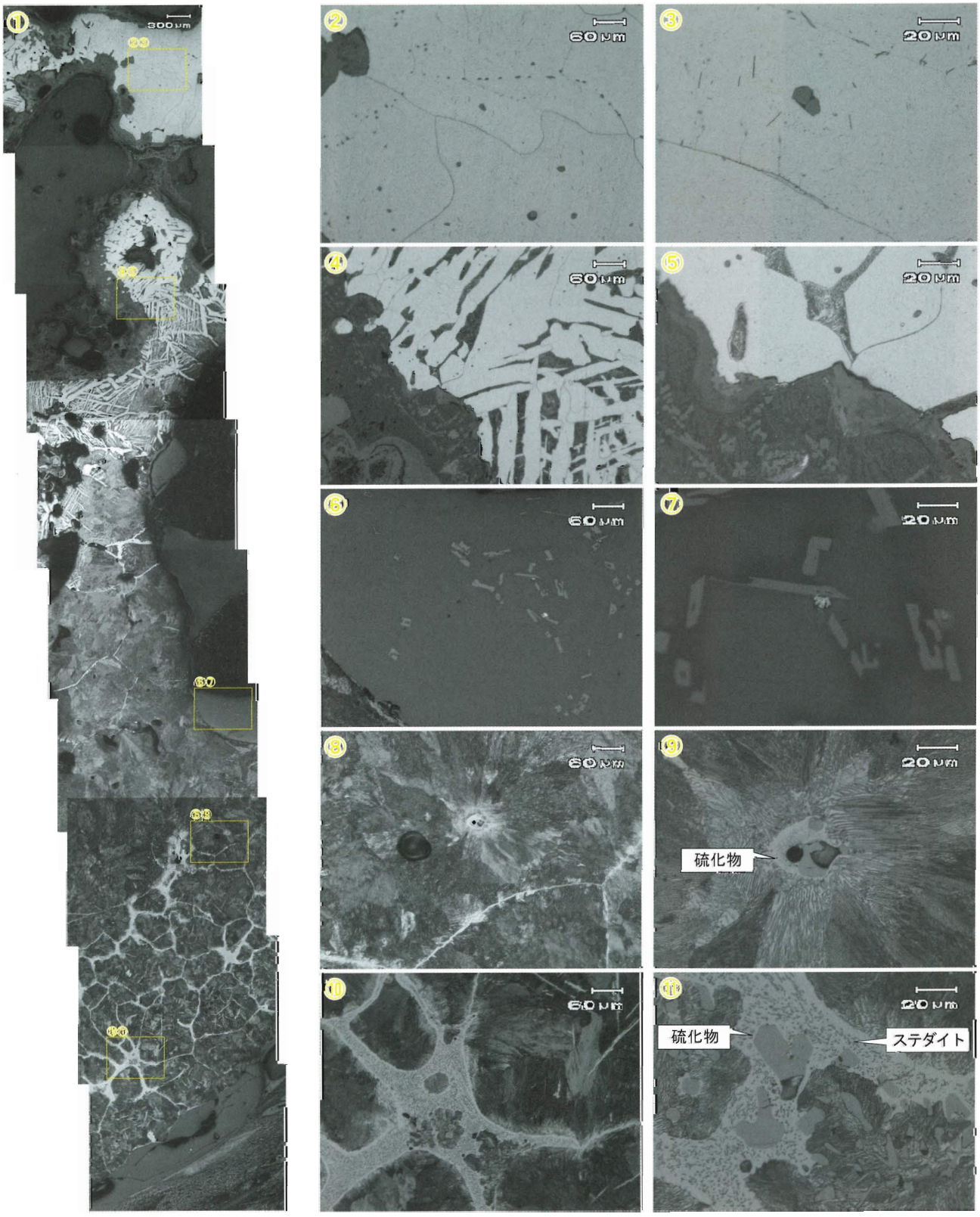
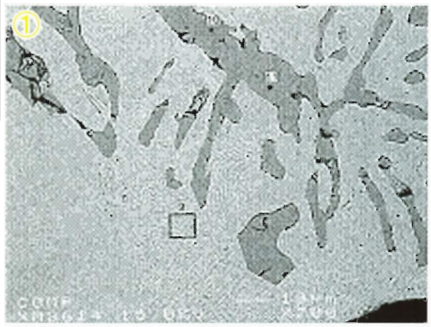
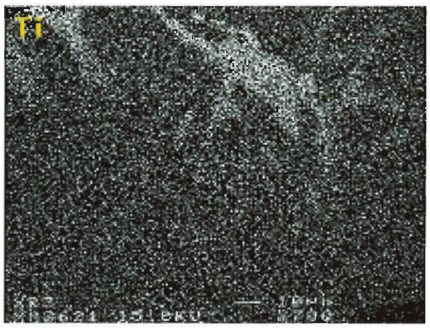
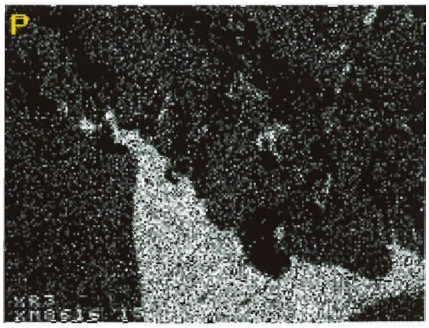
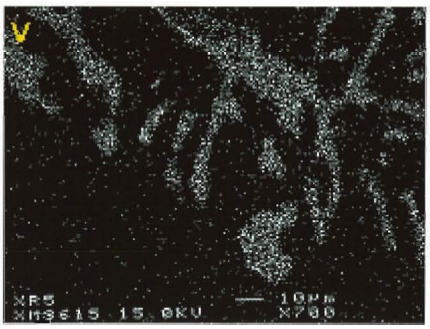


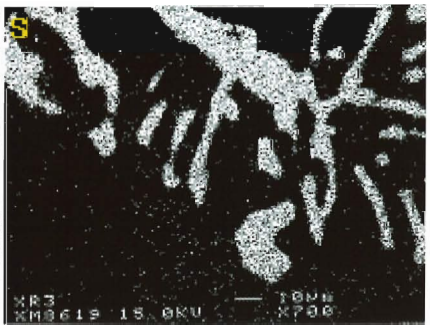
Photo.5　炉底塊の顕微鏡組織

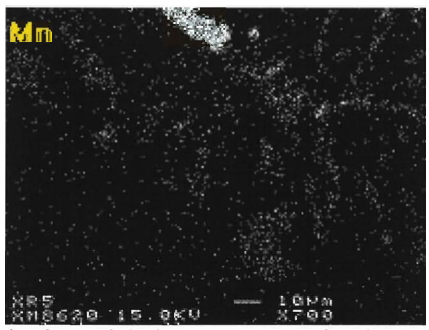






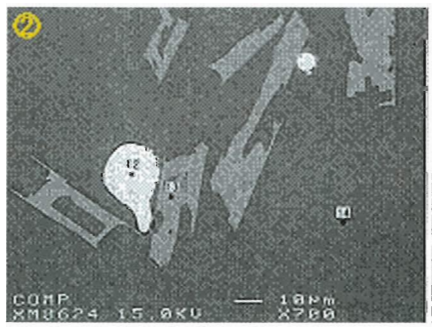


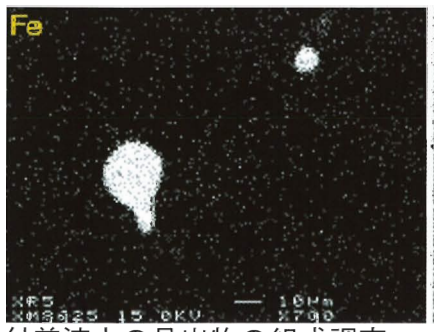


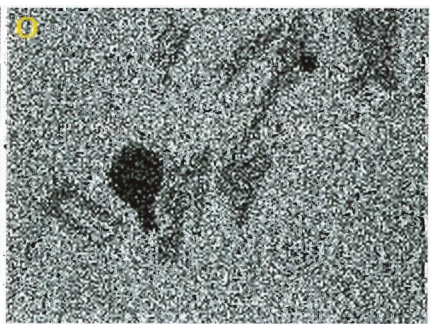


Element	9	10	11
F	–	–	–
Na_2O	–	–	–
MgO	–	0.009	0.041
Al_2O_3	–	–	0.004
SiO_2	0.051	0.014	–
K_2O	–	–	–
CaO	–	–	–
S	0.275	37.119	39.942
P_2O_5	18.058	–	–
TiO_2	0.064	0.093	2.267
Cr_2O_3	–	0.426	1.719
MnO	–	52.450	2.053
FeO	128.734	23.984	57.185
ZrO_2	0.241	–	–
CuO	0.026	0.663	0.118
V_2O_3	0.561	3.319	22.958
As_2O_5	0.043	–	–
Total	147.984	108.815	116.320

鉄中の燐化鉄共晶および硫化物の組成調査





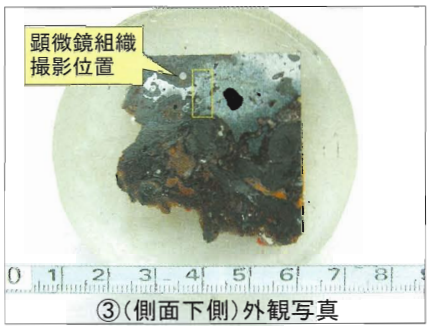


Element	12	13	14
F	–	–	–
Na_2O	–	0.037	1.430
MgO	–	2.912	2.338
Al_2O_3	0.022	1.253	12.386
SiO_2	0.005	0.183	57.477
K_2O	0.038	0.103	5.259
CaO	–	0.178	9.082
S	–	–	0.191
P_2O_5	0.511	–	0.039
TiO_2	0.680	89.866	7.301
Cr_2O_3	–	0.192	0.018
MnO	0.042	0.948	2.017
FeO	142.426	0.514	0.356
ZrO_2	0.023	2.907	2.655
CuO	–	0.013	–
V_2O_3	0.143	7.228	0.102
As_2O_5	0.082	0.049	–
Total	143.972	106.383	100.603

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

TERV－7③
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
②③滓部：ウルボスピネル晶出
④～⑦亜共析組織拡大
硫化鉄（FeS）
燐化鉄共晶（α+Fe3P）



③(側面下側)外観写真

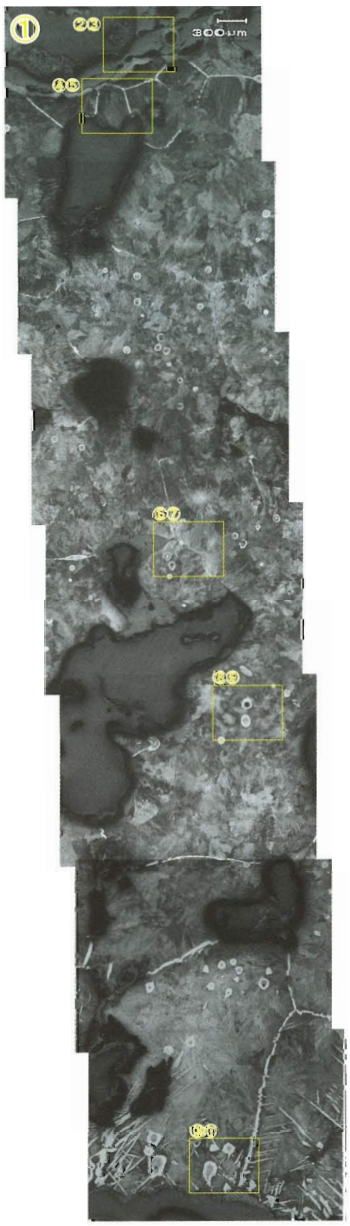
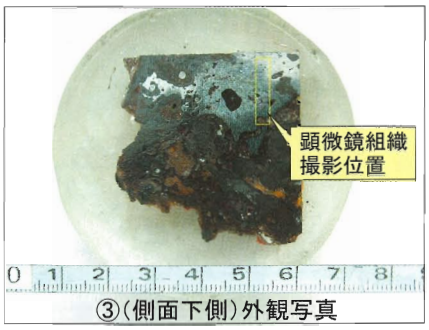


Photo.7　炉底塊の顕微鏡組織

TERⅤ－7③
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

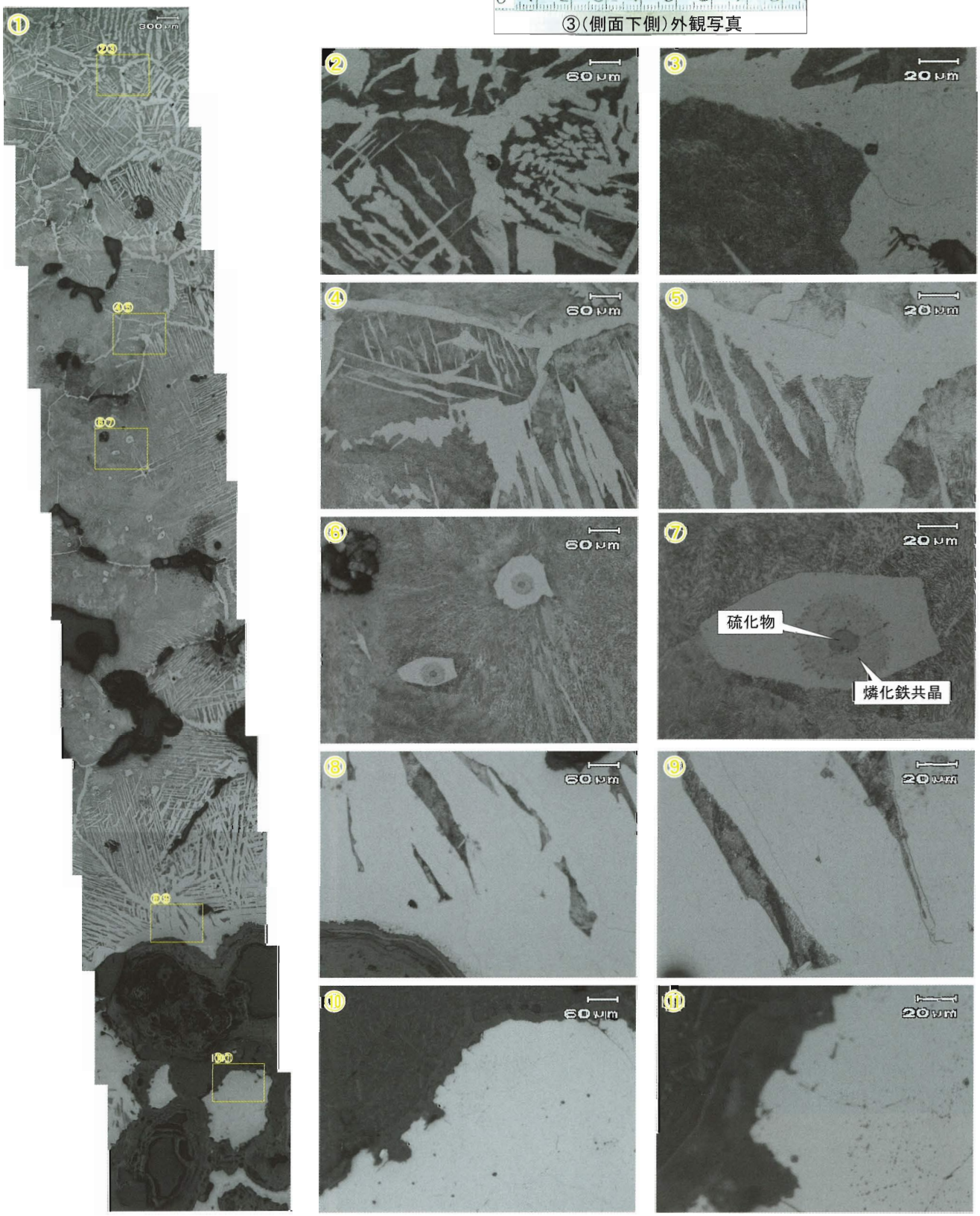
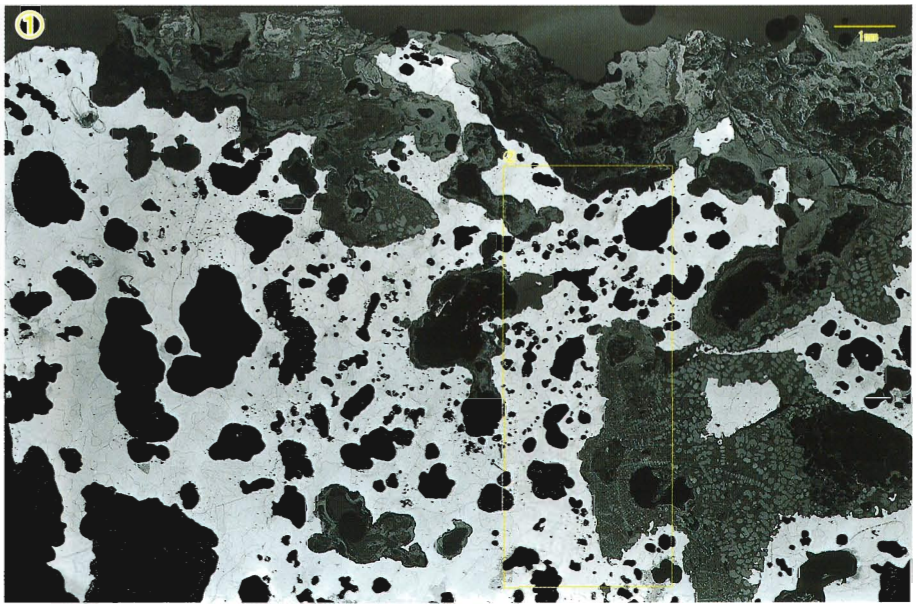


Photo.8　炉底塊の顕微鏡組織

TERⅤ－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
③～⑩ ②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･微小ウルボスピネル･ファイヤライト



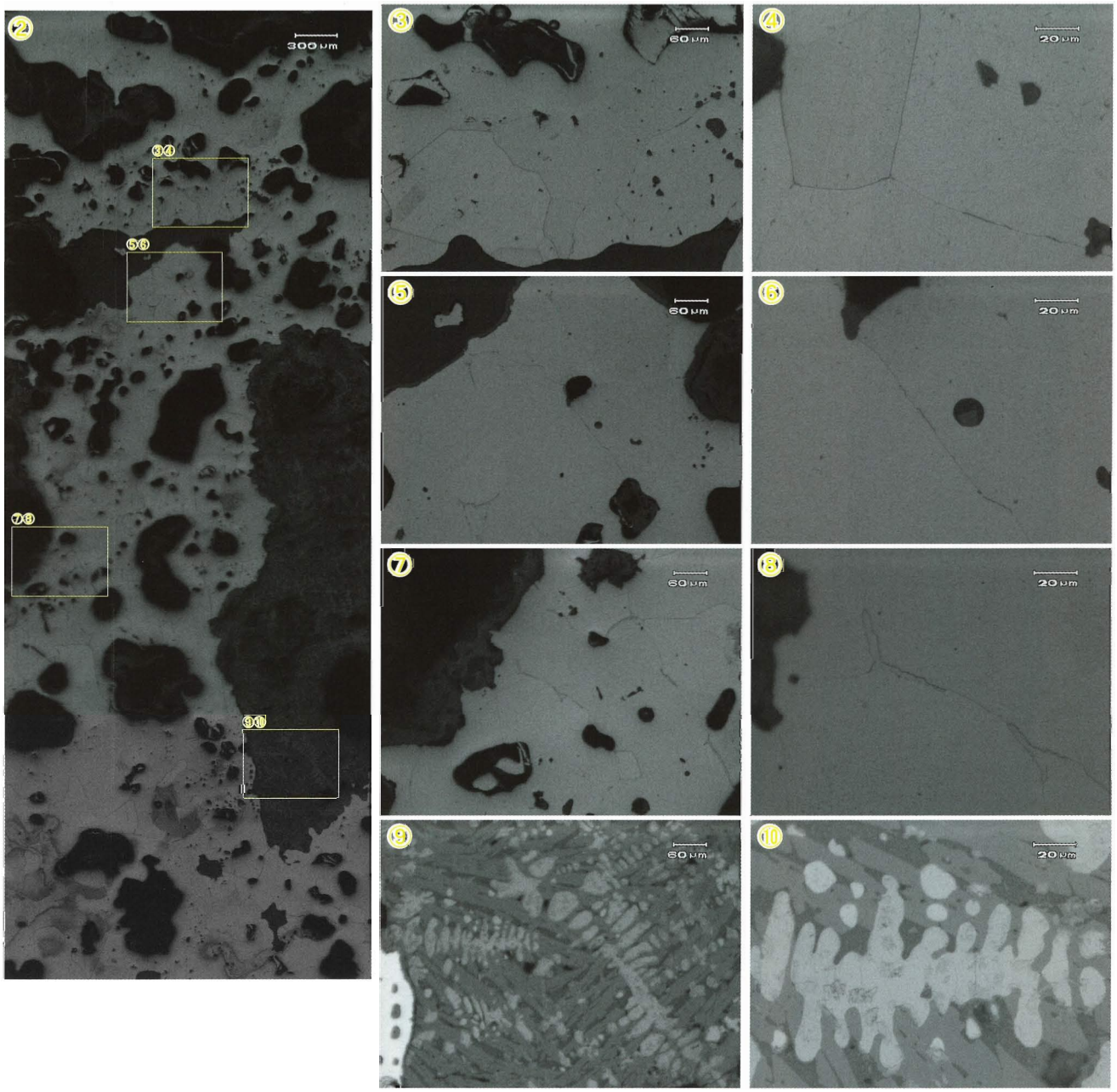
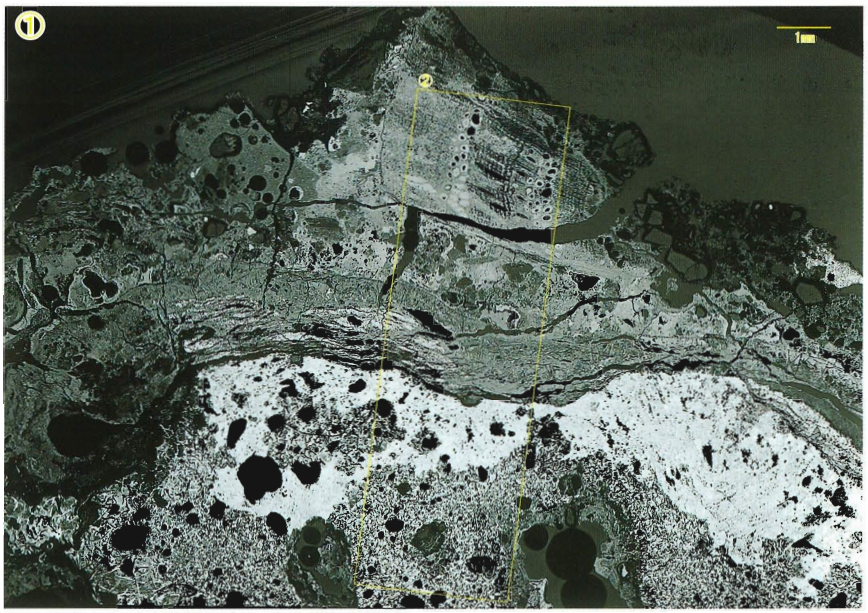
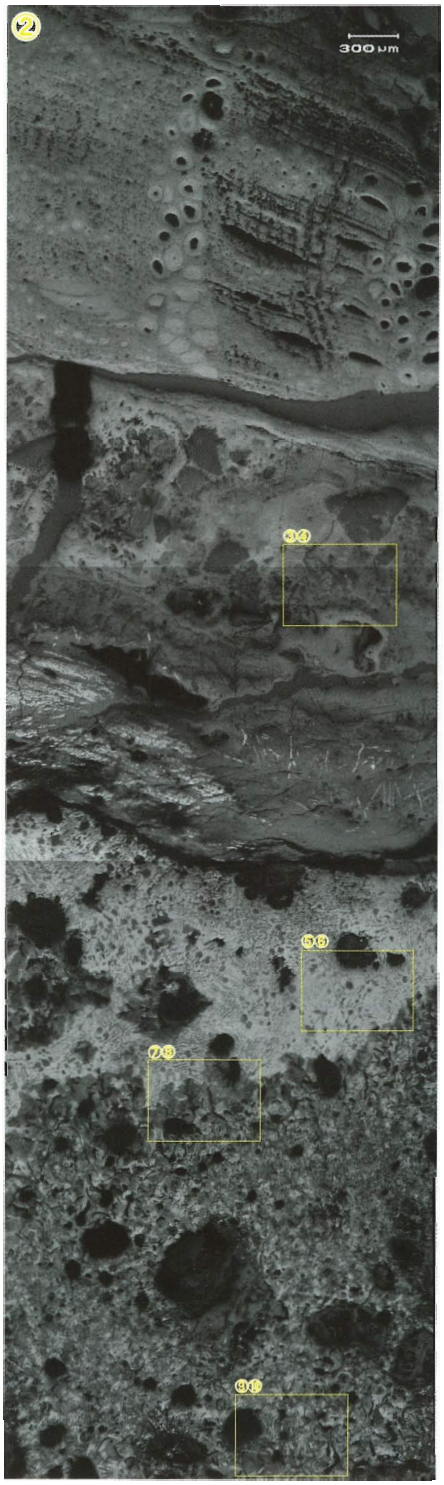


Photo.9　鉄塊系遺物の顕微鏡組織

TERⅤ－9
鉄塊系遺物
①マクロ組織
②①の拡大、暗色部：製錬滓
白色部：金属鉄、ナイタルetch、
フェライト単相
③～⑩ ②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
ボスピネル・ファイヤライト





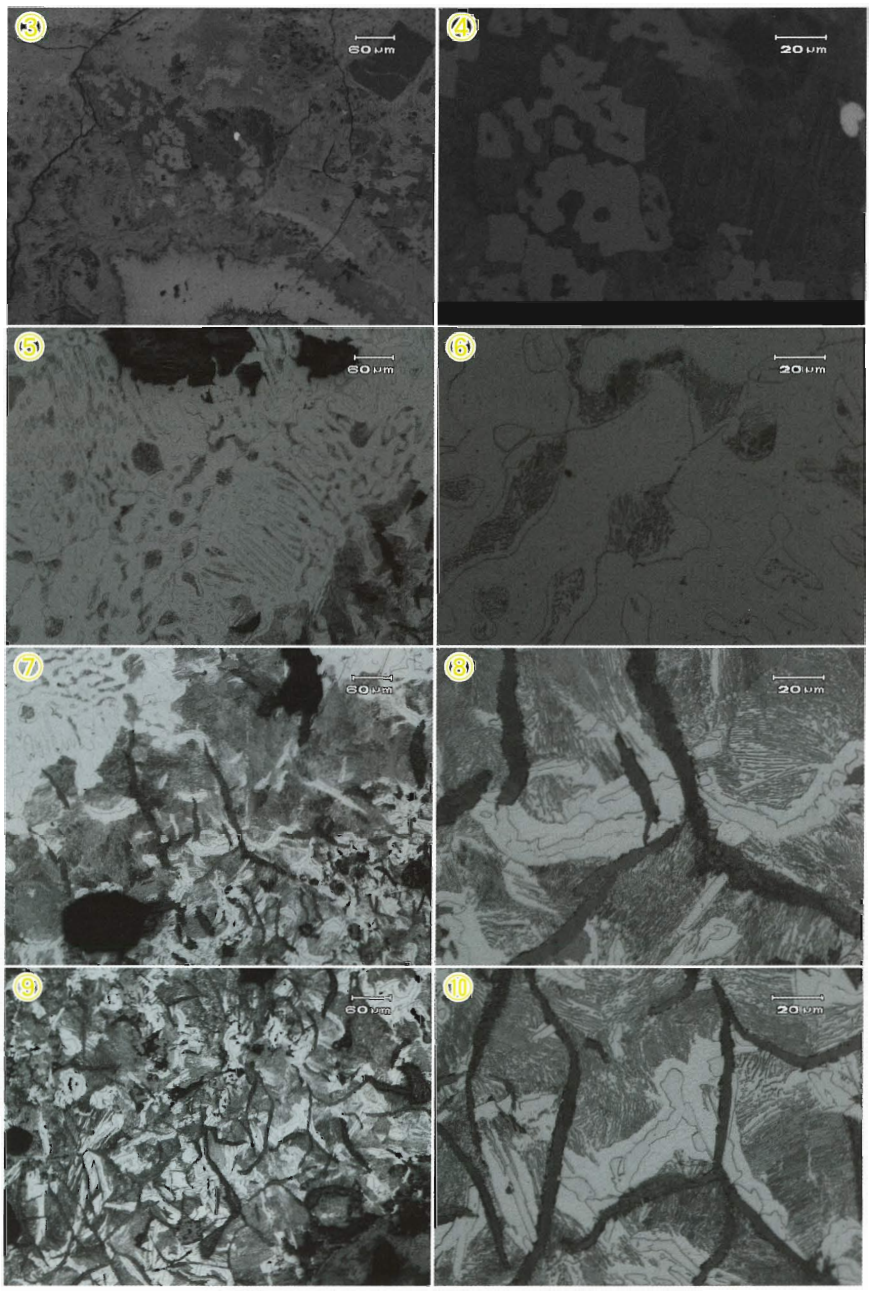
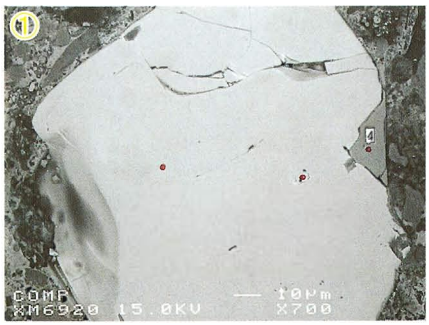
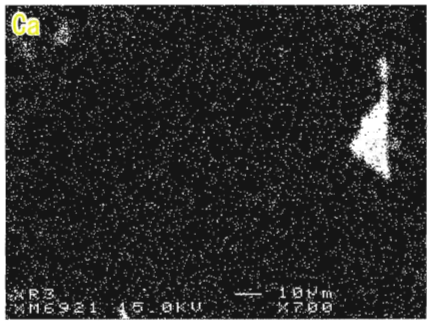
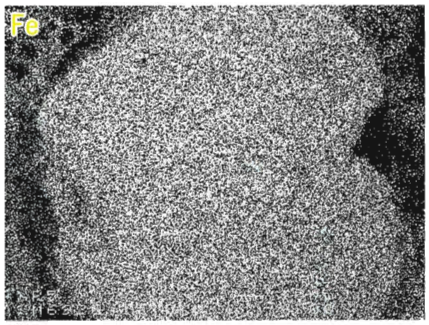
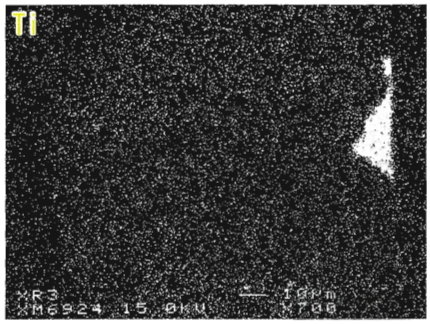


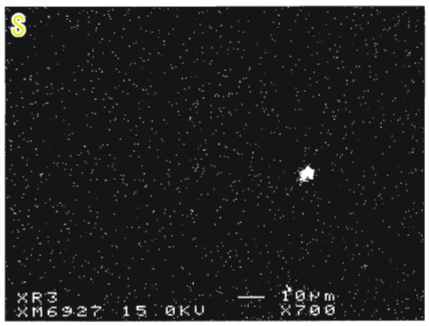
Photo.10　鉄塊系遺物の顕微鏡組織

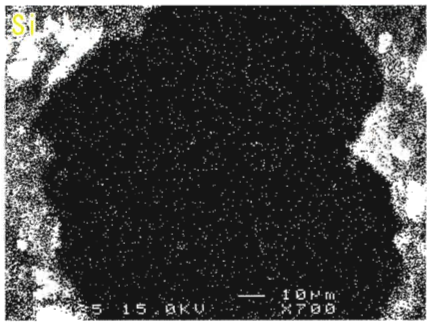






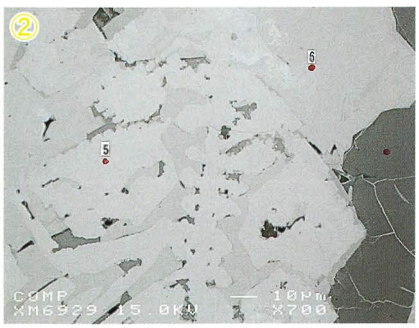


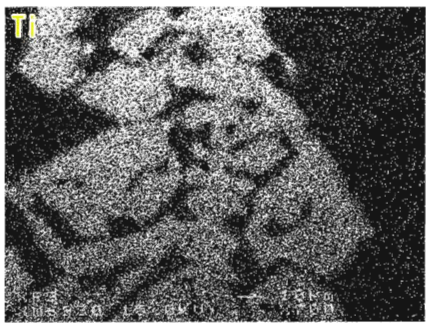




Element	2	3	4
F	–	–	0.140
Na_2O	0.775	–	0.059
MgO	–	–	0.006
Al_2O_3	0.077	–	1.296
SiO_2	–	–	29.615
K_2O	–	–	–
CaO	–	–	25.020
S	–	49.184	–
P_2O_5	–	–	0.044
TiO_2	0.042	0.081	36.705
Cr_2O_3	0.091	–	0.012
MnO	0.175	0.013	0.089
FeO	94.152	61.718	2.786
ZrO_2	0.089	–	0.077
CuO	0.039	–	–
V_2O_3	0.347	0.079	0.304
As_2O_3	–	–	–
Total	95.787	98.802	96.094

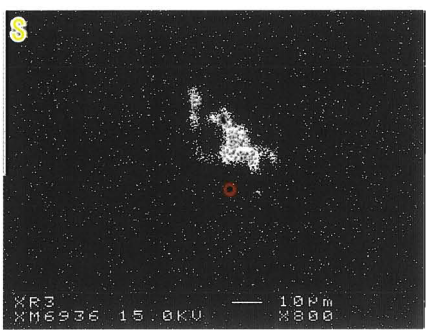
付着砂鉄の鉱物組成調査





Element	5	6	7
F	–	–	0.177
Na_2O	0.258	–	1.259
MgO	0.389	1.132	–
Al_2O_3	8.048	0.232	25.394
SiO_2	0.194	30.797	62.262
K_2O	–	–	19.915
CaO	–	0.067	–
S	0.005	–	0.002
P_2O_5	0.064	0.110	–
TiO_2	20.525	0.480	0.089
Cr_2O_3	0.530	–	–
MnO	0.325	0.849	–
FeO	68.680	73.360	0.970
ZrO_2	0.198	–	–
CuO	–	–	0.040
V_2O_3	4.880	0.137	0.082
As_2O_3	–	–	0.057
Total	104.095	107.164	110.172

付着砂鉄の鉱物組成調査



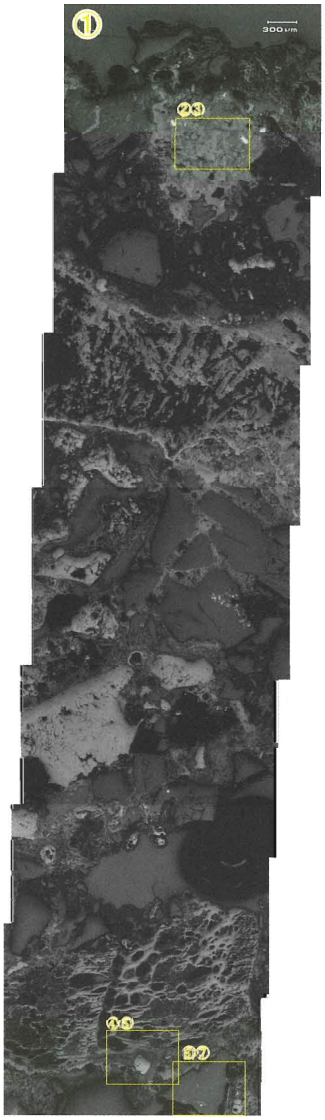
Element	7
S	33.603
Fe	63.897
Mn	0.031
Cu	0.118
Total	97.649

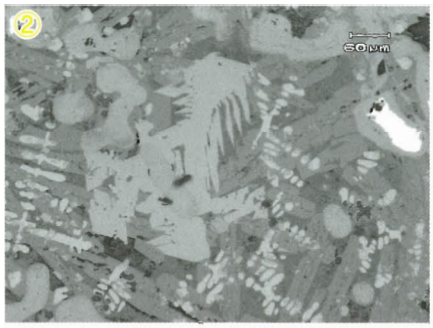
Element	8
F	–
Na_2O	–
MgO	1.161
Al_2O_3	33.289
SiO_2	42.054
K_2O	0.080
CaO	0.019
S	0.099
P_2O_5	0.256
TiO_2	0.593
Cr_2O_3	0.029
MnO	0.014
FeO	10.493
ZrO_2	0.038
CuO	0.083
V_2O_3	0.029
As_2O_3	0.024
Total	88.236

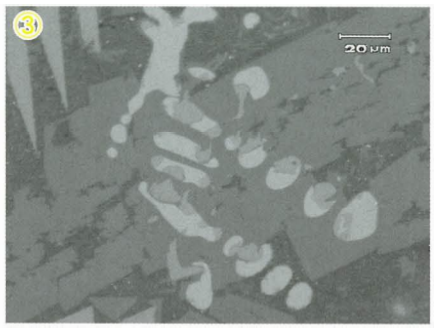
鉄中非金属介在物の組成調査

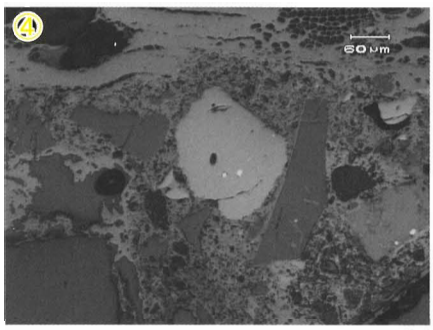
Photo.11　鉄塊系遺物（TERⅤ－9）のEPMA調査結果

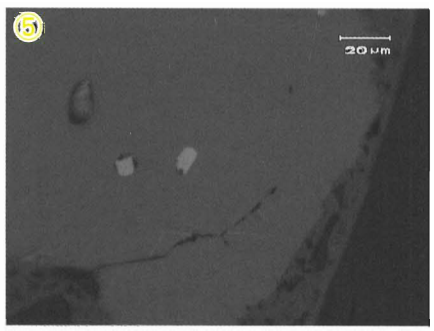
TERⅤ－10
再結合滓
①断面連続写真
②③製錬滓：ウルボスピネル・ウスタイト・ファイヤライト
④⑤砂鉄粒子
⑥⑥製錬滓：シュードブルーカイトないしルチル

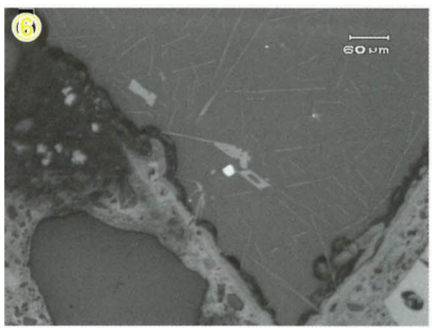


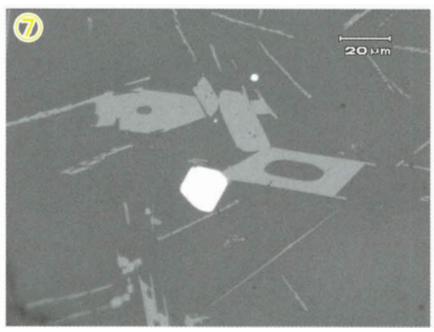












TERⅤ－11
木炭
⑧木口、⑨柾目、⑩板目面
広葉樹環孔材、コナラ

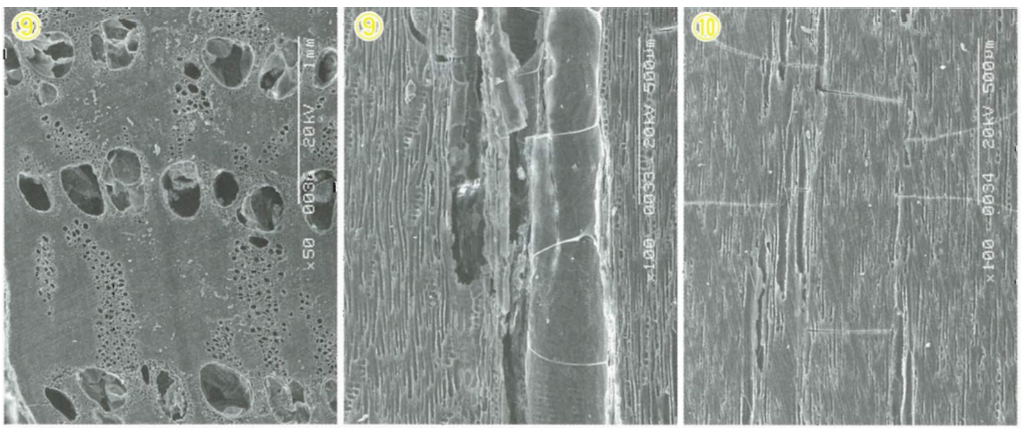


Photo.12　再結合滓・木炭の顕微鏡組織

雲南市埋蔵文化財調査報告書2

ゴマボリ遺跡・寺田Ⅰ遺跡

—尾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 市 教 育 委 員 会
印 刷　松 栄 印 刷 有 限 会 社