

# 「鉄づくり」イベント産出鉄塊等の成分分析調査

川鉄テクノロジー株式会社 分析・評価事業部  
埋蔵文化財調査研究室

## 1 はじめに

まほろんイベント「鉄づくり」における復元炉の操業状態や鉄生産の実態を明らかにするための一環としてイベントで得られた鉄塊および鉄滓と、原料である砂鉄・燃料である木炭・炉材である粘土等の化学成分分析・顕微鏡組織観察を含む自然科学的観点での調査を依頼された。組成分析、マクロ的特徴観察、マイクロ組織観察、X線回折などを中心に調査した結果について報告する。

なお、この調査は提供された 57 頁の 11 資料について従来から当社で行っている遺跡出土品の分析項目にもとづき実施したもので操業条件を加味して検討したものではありません。操業との関連については次回操業に役立つかどうか不明ですが、充填層の特徴から気づいた点など 54～55 頁に付記しました。

## 2 調査項目および試験・観察方法

### 1) 調査項目

調査資料の注記および調査項目を 57 頁の表 1 に示す。

### 2) 調査方法

#### (1) 重量計測、外観観察および金属探知調査

資料重量は電子天秤を使用して計量し、少数点 2 位以下で四捨五入した。各種試験用試料を採取する前に、資料の外観を mm 単位まであるスケールを同時に写し込みで撮影した。資料の出土位置や資料の種別等は提供された資料に準拠した。

着磁力調査については、直径 30mm のリング状フェライト磁石を使用し、官能検査により「強・稍強・中・稍弱・弱」の 5 ランクで表示した。産出物中の金属の有無は金属探知機 (MC : metal checker) を用いて調査した。

#### (2) 化学成分分析

化学成分分析は鉄鋼に関する J I S 分析法に準じて行っている。

- ・全鉄 (T. Fe) : 三塩化チタン還元－二クロム酸カリウム滴定法。
- ・金属鉄 (M. Fe) : 臭素メタノール分解－EDTA 滴定法。
- ・酸化第一鉄 (FeO) : 二クロム酸カリウム滴定法。
- ・酸化第二鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : 計算。・化合水 (C. W.) : カールフィッシャー法。
- ・炭素 (C)、イオウ (S) : 燃焼－赤外線吸収法。
- ・ライム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化マンガン (MnO)、酸化ナトリウム (Na<sub>2</sub>O)、珪

素 (Si)、マンガン (Mn)、リン (P)、銅 (Cu)、ニッケル (Ni)、コバルト (Co)、アルミニウム (Al)、ヴァナジウム (V)、チタン (Ti) : ICP 発光分光分析法。

・シリカ (SiO<sub>2</sub>)、アルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>)、酸化リン (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、酸化カリウム (K<sub>2</sub>O) : ガラスビード蛍光 X 線分析法。但し CaO, MgO, MnO は含有量に応じて ICP 分析法またはガラスビード蛍光 X 線分析法を選択。

・酸化ナトリウム (Na<sub>2</sub>O) : 原子吸光法。

なお、鉄滓中成分は、18 成分 (全鉄 T. Fe、金属鉄 M. Fe、酸化第一鉄 FeO、酸化第二鉄 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、シリカ SiO<sub>2</sub>、アルミナ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ライム CaO、マグネシア MgO、酸化ナトリウム Na<sub>2</sub>O、酸化カリウム K<sub>2</sub>O、二酸化チタン TiO<sub>2</sub>、酸化マンガン MnO、酸化リン P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、コバルト Co、化合物 C. W.、炭素 C、ヴァナジウム V、銅 Cu) を化学分析している。分析は各元素について分析し、酸化物に換算して表示している。

粘土・炉壁は、13 成分 (全鉄 T. Fe、酸化鉄 FeO、シリカ SiO<sub>2</sub>、アルミナ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ライム CaO、マグネシア MgO、化合物 C. W.、灼熱減量 Ig. Loss、二酸化チタン TiO<sub>2</sub>、酸化マンガン MnO、酸化ナトリウム Na<sub>2</sub>O、酸化カリウム K<sub>2</sub>O、炭素 C、) を化学分析している。

鉄製品中成分の化学分析は、13 成分 (炭素 C、シリコン Si、マンガン Mn、リン P、イオウ S、銅 Cu、ニッケル Ni、コバルト Co、アルミニウム Al、ヴァナジウム V、チタン Ti、カルシウム Ca、マグネシウム Mg) を化学分析している。

### (3) 顕微鏡組織観察

資料の一部を切り出し樹脂に埋め込み、細かい研磨剤などで研磨 (鏡面仕上げ) する。炉壁・粘土などの鉱物性資料については顕微鏡で観察しながら代表的な鉱物組織などを観察し、その特徴から材質、用途、熱履歴などを判断する。滓関連資料も炉壁・羽口などと同様の観察を行うが特徴的鉱物組織から成分的な特徴に結びつけ製・精錬工程の判別、使用原料なども検討する。金属鉄はナイトール (5%硝酸アルコール液) で腐食後、顕微鏡で観察しながら代表的な断面組織を拡大して写真撮影し、顕微鏡組織および介在物 (不純物、非金属鉱物) の存在状態等から製鉄・鍛冶工程の加工状況や材質を判断する。原則として 100 倍および 400 倍で撮影を行う。必要に応じて実体顕微鏡 (5 倍～20 倍) による観察もする。

### (4) X 線回折測定

試料を粉砕して板状に成形し、X 線を照射すると、試料に含まれている化合物の結晶の種類に応じて、それぞれに固有な反射 (回折) された特性 X 線を検出 (回折) できることを利用して、試料中の未知の化合物を同定することができる。多くの種類の結晶についての標準データが整備されており、ほとんどの化合物が同定される。

測定装置 理学電気株式会社製 ロータフレックス (RU-300 型)、測定条件

使用 X 線 Cu- K α (波長 = 1.54178 Å)

② K β 線の除去 グラファイト単結晶モノクロメーター

③ 管電圧・管電流	55kV・250mA
④ スキャニング・スピード	4.0°/min
⑤ サンプリング・インターバル	0.020°
⑥ D.S. スリット	1°
⑦ R.S. スリット	0.15mm
⑧ S.S. スリット	1°
⑨ 検出器	シンチレーション・カウンター

### (5) 耐火度測定

耐火物及び耐火物原料の耐火度試験は、JIS R 2204（耐火物及び耐火物原料の耐火度試験方法）及びJIS R 8101（耐火度試験用標準コーン）に準拠して測定する。

資料を粉砕し、規定（量的に少量であるから寸法は第2種の小型：幅7mm、高さ27mm）のゼーゲルコーンを成型する。このゼーゲルコーンを傾斜80°で受台に装着し、毎分5℃で加熱する。コーンの先端が曲がり始め、受台に接触したときの温度を耐火度（溶倒温度）とする。

## 3 調査結果および考察

分析調査結果を図表にまとめて57頁～60頁に示す。表1に調査資料と調査項目をまとめた。表2～6は資料の化学成分分析結果を、表7は砂鉄の粒度分布の測定結果を、表8は耐火度測定結果をそれぞれ示す。

全資料の外観写真を61～68頁に、鋇のマクロ写真と顕微鏡ミクロ写真を64、65頁に、砂鉄の顕微鏡ミクロ組織写真を65、66頁に、流出滓の顕微鏡ミクロ組織を66頁に、炉壁胎土の顕微鏡ミクロ組織を66頁に、木炭のマクロ写真と顕微鏡写真を67、68頁に、X線回折チャートを68～70頁に示す。以下、資料の番号順に各資料の調査結果を述べ、最後に全体をまとめた。

### 1) 資料番号 No.1 鋇、着磁度：強、MC：有

**外観：**外観写真を61頁に示す。総重量は330.6g、長さ109mm×幅102mm×厚さ29mm。製鉄実験によって得られた大鋇塊を半割し、踏み鞆側の鋇塊をさらに長軸方向と短軸方向に切断し、うち鋇塊中央部（半割側）を化学分析対象とした。断面から、下部は黒色で硬いが、泡の表面に還元鉄が存在しているような形状である。上部は金属光沢を持つ鋇で、切断時粘りがあり軟らかい。炭素量がほとんどないようである。裏側は炉壁が溶けて一体化し、木炭片をかみ込んでいる。分析は上部と下部で別々に行った。

**鉄の顕微鏡組織：**鋇塊の下部で金属鉄が少なく滓が多い部分の5倍のマクロ写真と100倍、400倍の顕微鏡写真を64、65頁に示した。5倍の写真に見られるように熔融した金属鉄が網目状に連なって鉄滓中に懸濁しており、生成した鉄粒子が炉床に降下してきたものの滓の流動性が低く十分凝集できなかったことを示している。これは炉床に接する部分で温度が下がりやすく滓の流動性が低下していたためと考えられる。100倍、400倍の写真では鉄粒の凝集が進

みにくく元の鉄粒子の痕跡を残している。粒界と粒内には介在物が認められる。これらの介在物はおそらく鉄滓系の酸化物と思われるが特定できない。滓部分にはイルメナイト (Ilmenite:  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) とファイヤライト (Fayalite:  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) が非晶質スラグ中に晶出しているのが観察される。

鋤塊上部の5倍のマクロ写真と100倍、400倍の顕微鏡写真を64、65頁に示した。5倍の写真に見られるようにほとんどが金属鉄からなる鋤である。鋤塊の下部に比べ熱放散による温度低下が少ないためと思われるが鉄粒子の凝集が進んでいる。鉄粒子の凝集の様子は100倍の写真に見られるようにもとの鉄粒子の痕跡を残す圧着された状態になっており融けあった組織にはなっていない。鉄そのものの組織で見るとパーライト組織は認められず、Cの非常に低いフェライト組織のみになっておりCの低い鋤塊である。鉄粒子には介在物が多く観察される。

**滓の顕微鏡組織：**鉄滓部分の顕微鏡組織写真を66頁に示す。非晶質スラグに断裂した棒状、あるいは竜骨状にイルメナイトが分布し、その間を埋めるようにファイヤライトの微細な結晶が観察される。写真の視野にはないが一部にウルボスピネル (Ulvospinel:  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) も観察されている。これらは砂鉄を原料とした場合によく見られる組織である。

**化学成分：**分析結果を57頁の表2に示した。Cは0.17%と0.12%と低く浸炭はあまり進んでいない。顕微鏡組織がフェライトであったことと一致する。下部試料の場合、鉄以外の金属元素としてSi、Ti、Caをそれぞれ2.05%、0.91%、0.2%と比較的多く含んでおり、これらは分離されなかった滓成分が介在物として含まれるためと思われる。

これらの結果を総合的に見れば本資料は滓成分が介在物として含まれるCの含有量が0.12%から0.17%と低めの鋤塊といえることができる。

## 2) 資料番号 No. 2 砂鉄 (大信村隅戸川産)、着磁度：強、MC：無

**外観：**外観写真を61頁に示す。総重量は58.9 g、ややまとまった感じの砂鉄である。着磁力は強く磁選により採取されたもののように思われる。作業時の燃料やキラキラと輝く硅砂、大きめの石粒を含んでいる。

**顕微鏡組織：**断面の50倍と100倍の顕微鏡写真を65頁に示した。断面は硬質で滑らかな状態であるが内部に多量のガラス質様の微粒を含んでおり、一部には気孔が観察される。

**X線回折：**X線回折の結果を68頁に示す。マグネタイト (Magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) が最強強度を示し、イルメナイトが次の強度を示している。石英 (Quartz:  $\text{SiO}_2$ ) とこの高温型であるクリストバライトも認められる。粘土成分のひとつであるアノーサイト (Anorthite:  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ) がわずかに同定された。

**化学成分：**化学成分分析結果を57頁の表3に示した。全鉄57.7%でFeOは33.1%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ は45.7%で $\text{Fe}_2\text{O}_3$ とFeOの比率は42:58で $\text{SiO}_2$ は3.13%である。砂鉄に多量に含まれる $\text{TiO}_2$ は11.0%であった。59頁の図1に見られるように東北地方の砂鉄群の中では $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ は低いほうで $\text{V}/\text{TiO}_2$ は高い部類にあり、中国地方の赤目砂鉄に近い成分となっている。

**粒度分布：**砂鉄の粒度分布を58頁の表7に示す。0.5mmを超えるものはわずかに0.7%と少

なく 0.25mm 以上の粒子が約 73% を占める比較的粗い砂鉄で平均粒径は 0.378mm である。

### 3) 資料番号 No. 3 砂鉄 (相馬市古磯部浜産)、着磁度：稍強、MC：無

**外観：**外観写真を 61 頁に示す。総重量は 49.0 g、微粒子の砂鉄である。珪砂や貝殻の微小片が多く混入しており、資料 2 に比べ白っぽい。着磁力はやや強で精選された砂鉄に比べ磁着力は弱く砂が多く含まれている。

**顕微鏡組織：**断面の 50 倍と 100 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。資料 2 に比べ緻密で気孔やガラス質粒子は少ない。資料には多量の珪石が混入している。

**X線回折：**X線回折の結果を 69 頁に示す。フェロシライト (Ferrosilite:  $\text{FeO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ) が最強強度を示し、マグネタイトとイルメナイトが次の回折強度を示している。そのほかに石英が同定されている。

**化学成分：**化学成分分析結果を 57 頁の表 3 に示した。全鉄は 24.6% に過ぎず FeO は 7.17%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  は 27.2% で  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  と FeO の比率は 21 : 79 である。 $\text{SiO}_2$  は 41.4% と多量に含まれており、MgO も 14.2% と多量に含まれておりフェロシライトが最強強度で同定されたこととよく一致した結果である。59 頁の図 1 に見られるように東北地方海岸砂鉄とほぼ同じ成分である。

**粒度分布：**砂鉄の粒度分布を 58 頁の表 7 に示す。平均粒径は 0.224mm であった。0.5mm を超えるものはなく 0.25mm 以下で約 83% を占める。

### 4) 資料番号 No. 4 流出滓 (4 回目ノロ出し)、着磁度：弱、MC：無

**外観：**外観写真を 61 頁に示す。総重量は 195.7 g、長さ 72mm × 幅 63mm × 厚さ 34mm。三方に割欠面のある肉厚な流出滓である。上部は滑らかで平坦。凹部に土が固着している。破面は青鉄色で光沢があり、大きなガス孔や空洞が認められ、よく溶融しており緻密である。底部は白色の石英粒を含む床材が一面に付着している。床材部と空孔は避けてサンプリングした。

**滓の顕微鏡組織：**断面の 100 倍と 400 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。崩れた多角形状で内部に空孔や欠落部を持つ典型的なウルボスピネルと薄い暗褐色をした板状のファイヤライトで構成される組織である。また、ファイヤライトの間には樹脂状の小さなウスタイト (Wustite:  $\text{FeO}$ ) が観察される。これらは X線回折の結果とよく一致する組織である。金属鉄もわずかにみられる。この顕微鏡組織は砂鉄を製錬した際に見られる典型的な組織の一つである。

**X線回折：**X線回折の結果を 69 頁に示す。ウルボスピネル ( $\text{Ulvospinel} : 2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) が最強強度を示し、ファイヤライトが 2 番目の強度で明確に同定された。わずかに石英も同定されているがおそらく床材が混入したものと思われる。

**化学成分：**分析結果を 57、58 頁の表 4 に示した。全鉄 39.5% に対して金属鉄は 0.36% と少ない。また、FeO は 46.0%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  は 4.79% で  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  と FeO の比率は 9.4 : 90.6 で  $\text{SiO}_2$  は 25.3% である。56 頁に示した  $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  の 3 元系平衡状態図ではウスタイトと鉄の境界に近い組成である。図 2 は各地の遺跡から発掘された鉄滓について T.Fe と  $\text{TiO}_2$  の関係から製造工程を分類した図で、本資料は当然ながら砂鉄系製錬滓の領域にあり、やや Ti が低い位置に

ある。原料砂鉄の Ti が 11%であることを考慮すると造滓材が多い製錬をしたことを意味する。図 3 は同じく T. Fe と造滓成分量の関係から砂鉄系製錬滓、砂鉄系鍛冶滓・鉍石系製錬滓の判別を検討する図であるが本資料は T. Fe に対して造滓成分が多い製錬であったことを示している。すなわち、後述の木炭灰分は 1.7%と 1.9%で非常に少ないため木炭灰からの造滓成分の供給は少なく、また炉壁の耐火度も 1310℃、1340℃とあまり高くないため多量の炉壁粘土が侵食溶解されたことが化学成分の面から示されている。

#### 5) 資料番号 No.5 流出滓(7回目ノロ出し)、着磁度：弱、MC：無

**外觀：**外觀写真を 62 頁に示す。総重量は 104.5 g、長さ 61mm × 幅 48mm × 厚さ 25mm。割欠面が 4 面ある流出滓。上部は滑らかで平坦。破面は緻密で微細な発泡痕がある。底部は青鉄色の光沢のある表面に床材が付着している。床材の大きな石英粒や黒い石粒、木炭小片等をかみ込んでいる。床材を除去してサンプリングした。

**滓の顕微鏡組織：**断面の 100 倍と 400 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。組織はメタルと滓の境界部を調べた。崩れた多角形状で内部に空孔や欠落部を持つ典型的なウルボスピネルと薄い暗褐色をした板状のファイヤライトと非晶質ガラスで構成される組織である。これらは X 線回折の結果と完全に一致する組織で、典型的な砂鉄製錬滓の組織の一つである。

**X 線回折：**X 線回折の結果を 70 頁に示す。ウルボスピネルとファイヤライトのみが同定された。

**化学成分：**化学成分分析結果を 57、58 頁の表 4 に示した。全鉄 36.0%に対して金属鉄は 0.28%と少ない。また、FeO は 44.2%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は 1.89%で Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と FeO の比率は 4 : 96 で SiO<sub>2</sub> は 28.5%である。56 頁に示した FeO- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -SiO<sub>2</sub> の 3 元系平衡状態図ではウスタイトと鉄の境界に近い組成である。さらに使用している砂鉄原料の割には TiO<sub>2</sub> が 9.77%と低く、造滓成分が 42.48%と高い。図 2 は各地の遺跡から発掘された鉄滓について T. Fe と TiO<sub>2</sub> の関係から製造工程を分類した図であるが本資料は砂鉄系製錬滓の領域にあり、やや Ti が低い位置づけとなる。原料砂鉄の Ti が 11%であることを考慮すると造滓材が多い製錬をしたことを意味する。図 3 は同じく T. Fe と造滓成分量の関係から砂鉄系製錬滓、砂鉄系鍛冶滓・鉍石系製錬滓の判別を検討する図であるが本資料は T. Fe に対して造滓成分が多い製錬をしたことを示している。資料 4 と同様に炉壁粘土が多量に侵食溶解したと考えられる。表 3、表 4、表 5 の化学成分分析結果を用いて TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub> の物質収支から炉壁の溶損量を推算すると砂鉄 100 に対して 37 程度溶損したことになる。

資料 4 に比べ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と FeO の比率が 4 : 96 と FeO 側に来ていることは 4 回目に比べ 7 回目のノロ出しの方が酸素ポテンシャルがより還元側に変化したことを示している。

#### 6) 資料番号 No. 6 粘土(大信村産)、着磁度：無、MC：無

**外觀：**外觀写真を 62 頁に示す。総重量は 536.4 g 長さ 94mm × 幅 84mm × 厚さ 68mm。操業炉壁用の材料で明るい黄土色の粘土である。白色の石英粒や黒色の石粒等の混入が多い。手で触

ると崩れやすく脆い。

**化学成分：**分析結果を 58 頁の表 5 に示した。シリカは 78% と通常の粘土の約 60% よりかなり高く、アルミナは 11.9% と通常の粘土の約 15～18% よりも低い。これは外観観察で見られたように石英粒の混入が多いためと考えられる。一方、造滓成分 ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) 中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ) は 0.26% と低いものの、耐火度を低下させる  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  は 6.6% と高く化学成分的には耐火度はあまり高くないことを示唆している。この粘土を使用した炉壁 (資料 No. 8、9) の耐火度が 1310℃、1340℃ と比較的 low だったことと一致する。灼熱減量は 1.64%、結合水は 1.13% と粘土としては低い。

#### 7) 資料番号 No. 7 粘土 (鹿島町産)、着磁度：無、MC：無

**外観：**外観写真を 62 頁に示す。総重量は 71.1 g、長さ 67mm × 幅 53mm × 厚さ 28mm。平安時代の製鉄遺跡粘土採掘坑より採取した資料である。黄土色の粘土で軽い。資料 6 に比べ混入物は少なく、緻密である。植物根をかみ込み、微細な硅砂もわずかに含んでいるため、表面はキラキラしている。

**化学成分：**分析結果を 58 頁の表 5 に示した。シリカは 70.5% と通常の粘土の約 60% より高く、アルミナは 14.8% と通常の粘土の約 15～18% の低い側にある。一方、造滓成分 ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) 中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ) は 2.7% とやや高く、また耐火度を低下させる  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  も 2.5% と通常の範囲で化学成分的には耐火度としてはあまり高くないことを示唆している。灼熱減量は 4.8%、結合水は 3.7% で通常の粘土よりもやや低い。資料 6 に比べ褐色が濃いのは鉄分の違いによるものと思われる。

#### 8) 資料番号 No. 8 炉壁 (炉下部、羽口付近)、着磁度：強、MC：有 (黒色溶融部)

**外観：**外観写真を 62、63 頁に示す。総重量は 765.5 g、長さ 111mm × 幅 92mm × 厚さ 79mm。大きめの炉壁である。炉内側は厚さ 10mm 程度の黒色溶融部があり、石英粒が溶け込みゴマ塩状の光沢のあるガラス質となっている。端部は MC 反応があり、着磁力強である。砂鉄焼結塊と思われる。この部分の組織観察を行う。溶融部表面はガラス質滓の上に鮮やかな赤色が付着している。裏面の炉壁材は明るい橙色の部分の厚さ 20mm 程度残っている。炉材は脆く崩れやすく、石英粒を多くかみ込み、粘土と混合して作られた炉材である。被熱影響の比較的少ない橙色の部分から調査試料は採取した。

**顕微鏡組織：**断面の 100 倍と 400 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。顕微鏡組織は外観からも見られたように全面にガラス化しており発泡による球形の気泡を多量に内包している。一部に珪石の未溶融部分が観察される。400 倍の写真は溶融滓と接触したと思われる部分を観察しているがウルボスピネルと思われる組織がガラス質の中に観察され鉄滓と反応したことが分る。

**化学成分：**化学成分分析結果を 58 頁の表 5 に示した。シリカは 77.0% と通常の粘土の約 60% より高く、アルミナは 13.7% と通常の粘土の約 15～18% よりも低く耐火度的には不利

である。一方、造滓成分中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ) は 0.67% とやや低いものの耐火度を低下させる  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  は 6.58% と高い。化学成分的にはアルミナが低いことと  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  が高いため耐火度としては低くなることが示唆される。58 頁に示した耐火度が 1310℃ と低めであることと一致している。成分的には大信村の粘土に比べ Fe 分がやや高いのは自然物としての粘土の成分の変動と考えられる。

#### 9) 資料番号 No. 9 炉壁 (炉上部)、着磁度：稍弱、MC：無

**外観：**外観写真を 63 頁に示す。総重量は 391.7 g、長さ 95mm × 幅 59mm × 厚さ 83mm。上部は黒色の砂鉄がはり付き、茶色の微細な土も付着している。MC 反応なく、着磁力はやや弱である。裏面は淡橙色の部分があるものの、ほとんど熱影響を受けていない白っぽい黄土色の胎土が残っている。資料 8 と同様、大きめの石英粒を多量に含み、植物繊維痕も見られる。胎土は脆く崩れやすい。黄土色の部分をサンプリングした。

**化学成分：**化学成分分析結果を 58 頁の表 5 に示した。化学成分的には  $\text{SiO}_2$  が 74.6%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  が 15.2% で基本的には資料 6 と同じものである。一方、造滓成分中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ) は 0.77% と低く、耐火度を低下させる  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  は 7.06% と高い。58 頁に示した耐火度は 1340℃ と低めである。鉱物組織的にはムライト ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) と遊離した石英粒で構成されていると思われる。同定には X 線回折などの解析が必要となるが今回は実施していない。

#### 10) 資料番号 No.10 木炭 (マツ材)、着磁度：無、MC：無

**外観：**外観写真を 63、64 頁に示す。総重量は 52.9 g、長さ 134mm × 幅 58mm × 厚さ 44mm × 外径 60mm。作業時の燃料。年輪が鮮明で、表皮も残存している木炭である。全体に光沢があり、清浄な資料である。断面は緻密で詰まっており、しっかり焼かれている。

**顕微鏡組織：**横断面のマクロ写真 (5 倍) を 67 頁に示した。晩材部の 50 倍、100 倍、400 倍の顕微鏡写真を 67 頁に、早材部の 50 倍、100 倍、400 倍の顕微鏡写真を 67 頁に示した。疎な早材部と緻密な晩材部から構成される年輪がきれいに観察される。中央の白色に見える部分や右上部に見える白色部は減圧含浸させた樹脂である。晩材部の幅は狭く仮道管の早材部から晩材部への移行は緩やかである。孔圏部は 1～2 列である。晩材部の組織は緻密で整然としている。早材部の放射組織は破損したものが多い。

**化学成分：**化学成分と発熱量の測定結果を 58 頁の表 6 に示した。固定炭素は (F.C) は 81.8% である。揮発分 (V.M) は 16.3% で木炭としてはやや高く炭化が少ないようである。P、S はそれぞれ 0.006% で低い。灰分は 1.9% と非常に低く、発熱量は 7860cal/g で木炭としては高発熱量である。

#### 11) 資料番号 No.11 木炭 (コナラ)、着磁度：無、MC：無

**外観：**外観写真を 64 頁に示す。総重量は 62.7 g、長さ 112mm × 幅 46mm × 厚さ 48mm × 外径



120mm以上。年輪が鮮明で、表皮も残存している木炭片。資料10に比べて重量感がある。全体に光沢があり、横に大きく割れが入っている。砂礫の付着のない清浄な資料である。

**顕微鏡組織:**横断面のマクロ写真(5倍)を67頁に示した。年輪や維管束が明瞭に観察される。50倍、100倍、400倍の顕微鏡写真を68頁に示した。孔は丸みを帯びた環孔材で、孔圏部は2列である。維管束は火炎状に外部に向かって伸びている。この火炎状の孔圏の伸びからコナラと判断される。

**化学成分:**化学成分と発熱量の測定結果を58頁の表6に示した。固定炭素は(F.C)は89.5%である。揮発分(V.M)は8.8%である。P、Sはそれぞれ0.025%と0.024%で高い。発熱量は7860cal/gである。

## 4 まとめ

### (1) 鋳(資料番号1)

得られた産出物はCの含有量が0.12から0.17%と炭素が低めの鋳塊である。

### (2) 砂鉄(資料番号2、3)

大信村産の砂鉄は品位も高くマグネタイトとイルメナイトが主成分である。古磯浜産の砂鉄は東北地方の浜砂鉄と似た成分で夾雑物を非常に多く含む。

### (3) 流出滓(資料番号4、5)

砂鉄製錬の典型的な鋳物組織の一つであるFe、Tiの複合酸化物であるウルボスピネル、FeとSiの複合酸化物であるファイヤライトと非晶質ガラスで構成され、 $FeO-Fe_2O_3-SiO_2$ の3元系平衡状態図ではウスタイトと鉄の境界に近い組成である。炉壁粘土が多量に溶解したと考えられる。

### (4) 粘土(資料番号6、7)

大信村産の粘土は通常の粘土と比べ $SiO_2$ が高く、 $Al_2O_3$ が低く、 $Na_2O + K_2O$ の高い粘土で、資料番号8、9の耐火度からみて耐火度1300℃強の粘土である。鹿島町産の粘土は大信村産のものに比べ $SiO_2$ が低く、 $Al_2O_3$ が高い粘土で耐火度は大信村産に比べ高いと予想される。

### (5) 炉壁(資料番号8、9)

耐火度は1310℃、1340℃で、炉下部の炉壁は滓と反応し溶融している。

### (6) 木炭(資料番号10、11)

資料No.10の木炭は年輪が明確に分る晩材部の薄い松を原料とする炭で、資料No.11の木炭はコナラと判断される。いずれも灰分は2%弱で非常に低く、発熱量は7860cal/gと木炭としては高い。

## 付 記

以上、提供いただいた資料について解析できることを報告いたしましたが、以下に測定温度が高かった割に得られた鉤が必ずしも温度高く製錬された鉤でなかった要因について推定も交えて、1. ガス流れ分布と温度、2. 砂鉄の降下速度と還元反応、3. 送風量などの観点から考えを述べさせていただきます。

### (1) ガス流れ分布と温度

基本的にたたらのような充填層では層内をガスが流れることによって対流伝熱により熱が供給され装入物の温度が上がります。たたらのように粗い木炭と細かな砂鉄を供給しますと砂鉄のある部分はガス流れが阻害され砂鉄の存在する部分を避けるようにガスは上昇するため温度上昇が周りに比べ遅くなります。したがって砂鉄の存在する部分は炉の上から下まで温度が周りよりも低くなります。これはまったく避けようのない現象で、ある程度砂鉄の存在する部分にもガスが流れるようにして温度を上げ、さらに炉内の還元ガスと砂鉄の接触を図って酸化鉄の間接還元を進めることが必要です。あまり一度に、一箇所に砂鉄を供給するとこの部分にはガスが流れなくなり（還元ガスも供給されないことになる）温度上昇は伝導伝熱のみになり温度上昇は非常に遅くなるばかりでなく還元も非常に遅れる結果となります。当然、浸炭も少なく、Cの低い温度の低い鉄粒子が生成することになります。最悪の場合はほとんど還元されないうまま砂鉄が炉床に降下してしまう結果にもなります。

また、充填層の特徴として炉内のガスは壁際を多く流れる傾向があり、中央付近に砂鉄を集中させると周辺にばかりガスが流れ炉壁の過大な熔融を引き起こす結果となります。充填層の特徴として充填材（たたらの場合は木炭）の大きさを小さくすることは壁際での空隙を小さくするため、壁際のガス量を抑制するのに有効と考えられています。

### (2) 砂鉄の降下速度と還元反応

たたらにおいては砂鉄の降下速度は木炭の消費速度によってほぼ決まります（勿論、棚つりなどの異常降下が起こっていない場合です）。すなわち、羽口前で消費される分だけ木炭が下がり、これに伴って砂鉄も降下することになります。したがってあまり多量に送風をすると木炭と砂鉄は炉内を速い速度で降下することになり、伝熱や間接還元反応が追いつかなくなり当然還元が遅れて未還元のまま砂鉄は滓となり炉下部にたまることとなります。伝熱や間接還元反応は炉内を上昇するガス量には比例しませんので適正量以上の送風をすると必ず還元遅れ、昇温遅れが起こります。これに対処するには砂鉄と木炭の比率を下げる方向に操作しなければなりません。一度滓化してしまうとガスによる還元は期待できず直接還元反応しか進まず、しかもこの反応は大きな熱を奪う吸熱反応で木炭と滓の接触面積が小さいことから実質的には滓化した後は還元反応は起こらないこととなります。したがって、砂鉄の昇温遅れ、還元遅れが起こらない程度の送風をする必要があります。この現象も砂鉄が適切に装入されている場合でも起こるので上記1のようなガス流れの不均質が問題になるような状況では一層これは顕在

化するであろうとおもいます。

### (3) 送風量

炉壁の厚みなどが大幅に変化しない程度の時間内であればその時間での壁を通したり、炉床を通しての単位時間当たりの熱放散速度は一定と考えられます。したがって、送風量を上げれば時間当たりの熱発生量は送風量に比例して増えるのでその差としての温度は上昇し、理論的な燃焼温度に近づくことになり炉下部の温度を上げるには有利になります。しかし、上記しました1, 2のような状況が存在すると炉壁側の温度は十分高いのに砂鉄の存在する部分は温度が上がっておらず、温度が低く浸炭もあまり進んでいない鉄粒子が出来る結果になります。

### (4) 操業について

炉全体として温度が上がっても反応すべき砂鉄や出来た鉄粒子・鋳がそれほど温度が高くない場合があることを示しました。上記のいずれでも起こる現象と言えます。

今回の操業で測定された温度は1400℃、あるいは1500℃にも達したと伺っておりますがその割りに生成した鋳は温度が高いようには見えず、浸炭もあまり進んでいなかったこと、炉壁が多量に熔融したことなどは上に書きました要因が複合して起こったのではないかと思います。島根県吉田村の例で見ますと羽口の径は1 cmくらい、間隔は実質的に20 から30cmくらいになっているようです。一方、今回のイベントを見ますと羽口径は2.4cm、羽口間隔は10cm以下となっており相当大的な風量が入ったのではないかという気がいたします。(あくまで推察です)

また、吉田村でも毎年実施してもなかなか安定して来ないのは以上のような難しさがあるためではないかと考えております。

以上

## 5 参 考

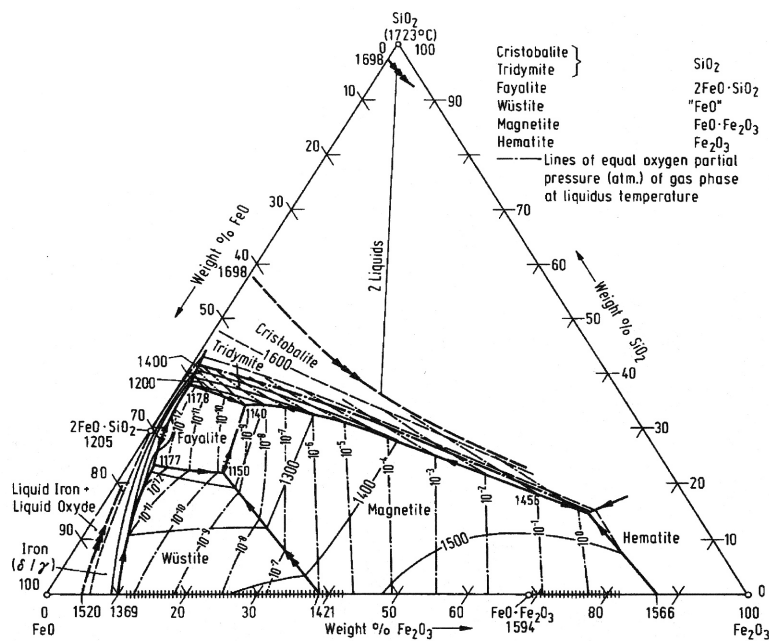
### (1) 鉄滓の顕微鏡組織について

鉄滓を構成する化合物結晶には、一般的に表A1のような鉱物組織がある。酸化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{FeO}$ )、二酸化ケイ素 (シリカ:  $\text{SiO}_2$ )、アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) および二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) を組み合わせた化合物 (固溶体) が多く、これら鉱物結晶は含有量にも依存するが、X線回折により検出され確認できる。鉄滓中の低融点化合物はガラス相 (非晶質) を形成する傾向があり、X線回折では検出されない場合が多い。

表 A 1 鉄滓の顕微鏡鉱物組織とその観察状況

鉱物組織名 (和)	鉱物名 (英)	化学式	偏光顕微鏡観察状況
ヘマタイト	Hematite	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	赤褐色～赤紫色
マーゲマイト	Maghemite	$\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	赤紫色～黒紫色
マグネタイト	Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	白青色、四角または多角盤状
ウスタイト	Wustite	FeO	灰白色、繭玉状または樹枝状
ファイヤライト	Fayalite	2FeO · SiO <sub>2</sub>	薄い青灰色、短冊状の長い結晶
ウルボスピネル	Ulvospinel	2FeO · TiO <sub>2</sub>	白色、四角～角形板状結晶
イルメナイト	Ilmenite	FeO · TiO <sub>2</sub>	白色、針状・棒状の長い結晶
シュードブルッカイト	Pseudobrookite	FeO · 2TiO <sub>2</sub>	白色、針状の結晶
ハロイサイト	Halloysite	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	X線で同定できたが組織は不明
ハーシナイト	Hercynite	FeO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ウスタイト中に析出、ごま粒状。
アカゲナイト	Akagenite	$\beta$ -FeOOH	X線で同定できたが組織は不明
ゲーサイト	Goethite	$\alpha$ -FeOOH	白～黄色、リング状が多い。

(2) 鉄滓の平衡状態図



FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>系状態図 (by Osborn and Muan): Slag Atlas [ドイツ鉄鋼協会] (1981) [Verlag Stahleisen] Düsseldorf, Fig. 106, p, 76

## 6 図表・写真

・調査資料と調査項目

表1 調査資料と調査項目（鉄づくりイベント産出鉄塊等）

資料 No	種別 位置等	重量 g	着磁度	M C 反応	化学成分	外観写真	マクロ写真	ミクロ写真	X線回折	耐火度	発熱量	粒度分布
1	鋇	330.6	○	○	○	○	○	○				
2	砂鉄 大信村：隅戸川産	58.9	○	○	○	○		○	○			○
3	砂鉄 相馬市：古磯部浜産	49.0	○	○	○	○		○	○			○
4	流出滓：4回目ノロ出し	195.7	○	○	○	○		○	○			
5	流出滓：7回目ノロ出し	104.5	○	○	○	○		○	○			
6	粘土：大信村	536.4	○	○	○	○						
7	粘土：鹿島町産	71.1	○	○	○	○						
8	炉壁（炉下部：羽口付近）	765.5	○	○	○	○		○		○		
9	炉壁（炉上部）	391.7	○	○	○	○				○		
10	木炭（松材）	52.9	○	○	○	○	○	○			○	
11	木炭（クヌギ・コナラ）	62.7	○	○	○	○	○	○			○	

・化学成分分析結果

表2 鉄塊（鋇）の化学成分分析結果（%）

資料 No.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Co	Al	V	Ti	Ca	Mg
1 上	0.17	0.038	0.002	0.255	0.012	0.010	0.002	0.034	0.017	0.006	0.044	0.007	0.007
1 下	0.12	2.05	0.24	<0.002	0.034	0.006	0.001	0.008	0.042	0.053	0.91	0.20	0.084

表3 砂鉄の化学成分分析結果（%）

資料 No.	T. Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	比率（%）	
										Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
2	57.7	33.1	45.71	3.13	2.06	0.50	1.49	0.06	0.05	42.0	58.0
3	24.6	7.17	27.2	41.4	1.65	2.71	14.2	0.12	0.04	20.86	79.14

資料 No.	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V	C.W.	TiO <sub>2</sub> /T.Fe	MnO/TiO <sub>2</sub>	V/TiO <sub>2</sub>	造滓成分%
2	11.0	0.58	0.346	0.24	0.24	0.19	0.010	0.0218	7.29
3	7.31	1.03	0.114	0.036	0.23	0.29	0.042	0.0049	60.12

C . W = 化合水、造滓成分 = SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O

表4 流失滓の化学成分分析結果（%）

資料 No.	T. Fe	M. Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	比率（%）	
											Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
4	39.5	0.36	46.0	4.79	25.3	6.97	1.63	1.58	0.72	1.36	90.57	9.43
5	36.0	0.28	44.2	1.89	28.5	8.01	1.95	1.82	0.8	1.40	95.90	4.10

「鉄づくり」イベント産出鉄塊等の成分分析調査

資料 No.	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Co	C.W.	C	V	Cu	TiO <sub>2</sub> /T.Fe	MnO/TiO <sub>2</sub>	造滓成分%
4	9.88	0.56	0.32	0.008	0.25	0.01	0.22	0.001	0.25	0.014	37.56
5	9.77	0.58	0.294	0.008	0.26	0.01	0.21	0.001	0.27	0.016	42.48

C.W = 化合物、造滓成分 = SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + MgO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O

表5 粘土・炉壁化学成分分析結果 (%)

資料 No.	T.Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	C.W.	灼熱減量
6	0.81	0.46	0.65	78.0	11.9	0.26	<0.1	1.13	1.64
7	2.82	0.54	3.43	70.5	14.8	1.86	0.89	3.72	4.81
8	1.34	0.21	1.68	77.0	13.7	0.46	0.21	0.37	0.43
9	1.49	0.57	1.50	74.6	15.2	0.52	0.26	0.6	0.64

資料 No.	TiO <sub>2</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C
6	0.17	0.03	2.18	4.44	0.08
7	0.73	0.06	1.51	1.02	0.53
8	0.28	0.03	2.45	4.13	0.03
9	0.31	0.04	2.67	4.39	0.03

表6 木炭の化学成分、発熱量 (%、cal/g)

資料 No	Ash	V.M	F.C	水分	P	S	発熱量
10	1.9	16.3	81.8	2.8	0.006	0.006	7860
11	1.7	8.8	89.5	3.5	0.025	0.024	7860

・砂鉄の粒度分布

表7 砂鉄の粒度分布 (%、μm)

資料 No.	-100	+100	+150	+250	+500	+1000	平均粒度
2	0.3	1.4	25.0	60.5	12.1	0.7	380
3	0.4	8.2	74.1	17.3	0.0	0.0	224

・耐火度

表8 粘土・炉壁の耐火度試験結果

資料番号	耐火度 SK番号	耐火度 (°C)
8	SK 10+	1310
9	SK 12-	1340

[備考] 試験方法：耐火煉瓦の耐火度の試験方法 (JIS R2204) に準拠  
 試験条件：酸素プロパン炉法  
 \*耐火温度：下表のゼーゲルコーン溶倒温度比較表を参照

ゼーゲルコーン溶倒温度比較表

温度 (°C)	コーン 番号	温度 (°C)	コーン 番号	温度 (°C)	コーン 番号	温度 (°C)	コーン 番号
600	022	960	07a	1,280	9	1,650	29
650	021	980	06a	1,300	10	1,670	30
670	020	1,000	05a	1,320	11	1,690	31
690	019	1,020	04a	1,350	12	1,710	32
710	018	1,040	03a	1,380	13	1,730	33
730	017	1,060	02a	1,410	14	1,750	34
750	016	1,080	01a	1,435	15	1,770	35
790	015a	1,100	1a	1,460	16	1,790	36
815	014a	1,120	2a	1,480	17	1,825	37
835	013a	1,140	3a	1,500	18	1,850	38
855	012a	1,160	4a	1,520	19	1,880	39
880	011a	1,180	5a	1,530	20	1,920	40
900	010a	1,200	6a	1,580	26	1,960	41
920	09a	1,230	7	1,610	27	2,000	42
940	08a	1,250	8	1,630	28		

註：コーンは正確な温度を測定するものではない。

耐火度の数値を概略の温度で示す場合にのみ上の温度表が使われる。

この表は J I S R 0 3 0 5 付表による。コーン番号 = S K 番号

## ・砂鉄の分類

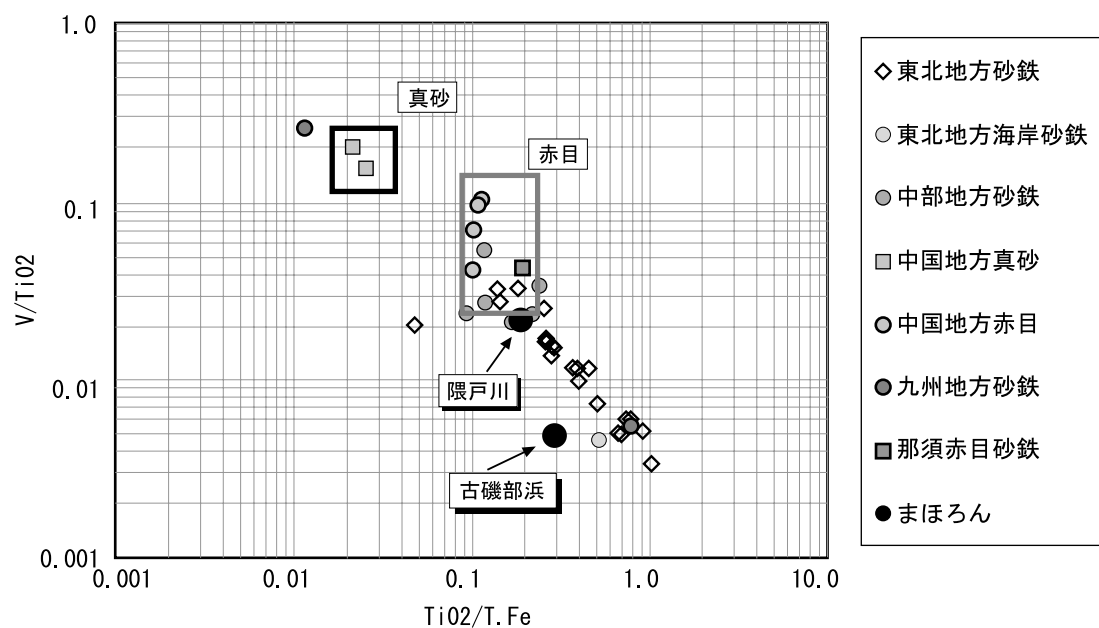


図 1 砂鉄中の酸化チタンとバナジウムの分布図





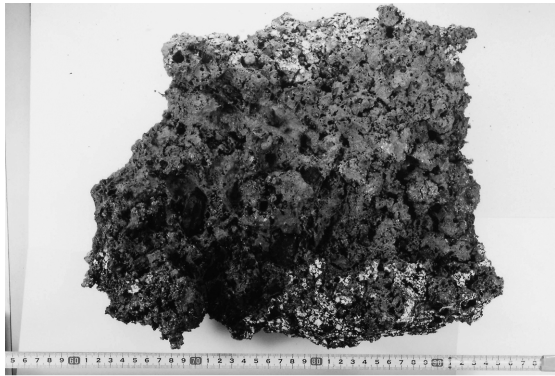


写真1 鉬塊 1



写真2 鉬塊 2

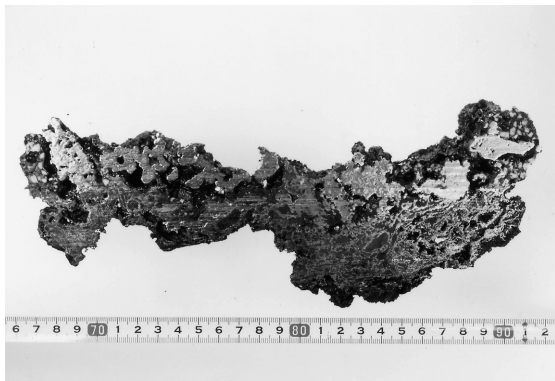


写真3 資料 No. 1 鉬塊 (切断面) 1



写真4 資料 No. 1 鉬塊 (切断面) 2

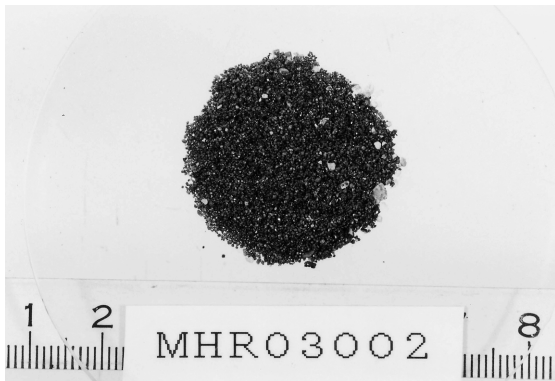


写真5 資料 No. 2 砂鉄 (大信村：隈戸川産)

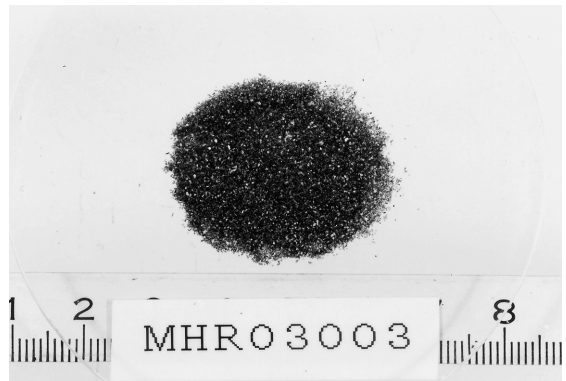


写真6 資料 No. 3 砂鉄 (相馬市：古磯部産)

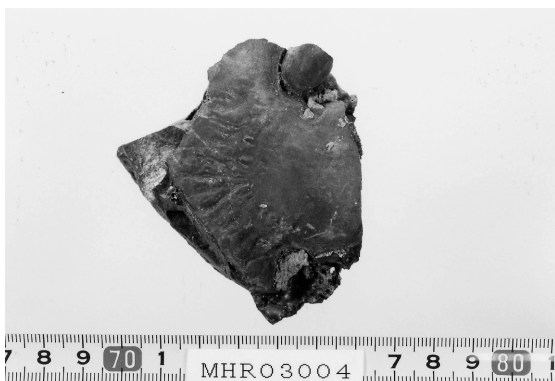


写真7 資料 No. 4 流出滓 (4回目ノ口出し) 1

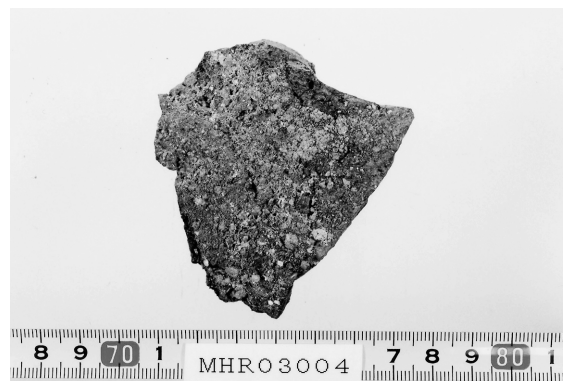


写真8 資料 No. 4 流出滓 (4回目ノ口出し) 2



写真9 資料 No. 5 流出滓 (7回目ノロ出し) 1



写真10 資料 No. 5 流出滓 (7回目ノロ出し) 2



写真11 資料 No. 6 粘土 (大信村産) 1



写真12 資料 No. 6 粘土 (大信村産) 2

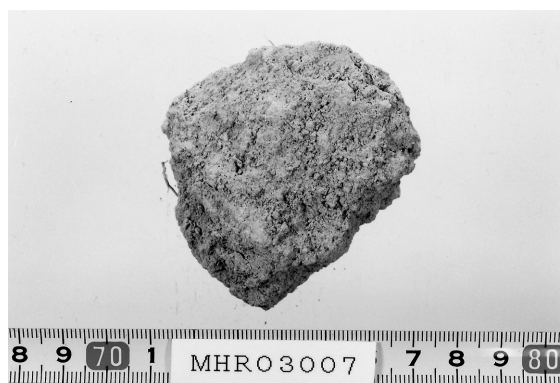


写真13 資料 No. 7 粘土 (鹿島町産) 1



写真14 資料 No. 7 粘土 (鹿島町産) 2

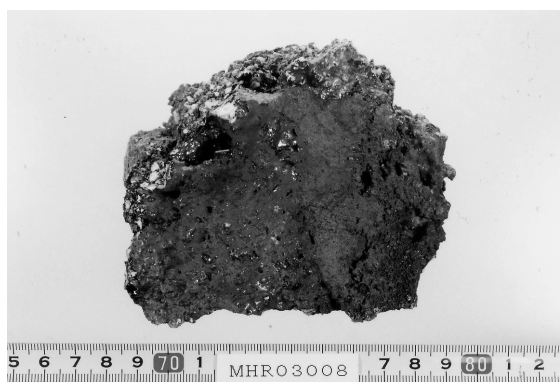


写真15 資料 No. 8 炉壁 (炉下部、羽口付近) 1



写真16 資料 No. 8 炉壁 (炉下部、羽口付近) 2



写真17 資料 No. 8 炉壁 (炉下部：羽口付近) 1

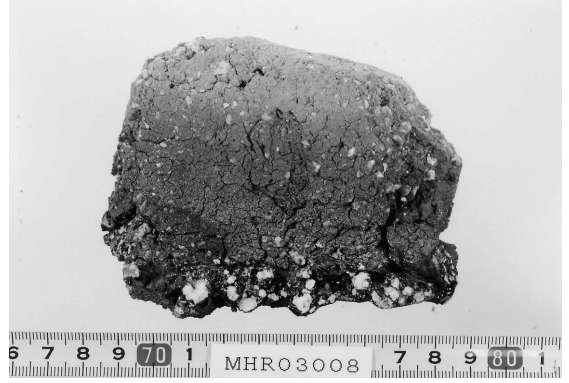


写真18 資料 No. 8 炉壁 (炉下部：羽口付近) 2

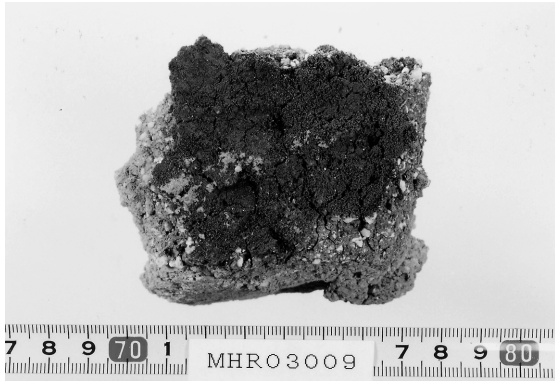


写真19 資料 No. 9 炉壁 (炉上部) 1



写真20 資料 No. 9 炉壁 (炉上部) 2

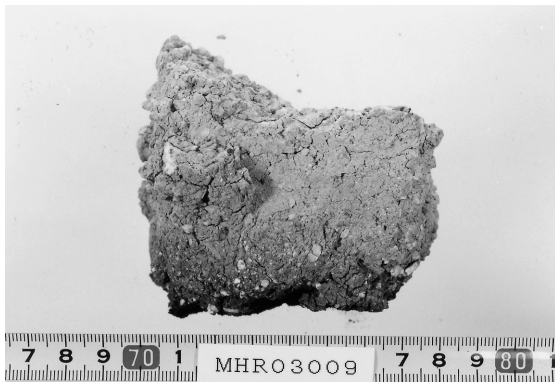


写真21 資料 No. 9 炉壁 (炉上部) 3

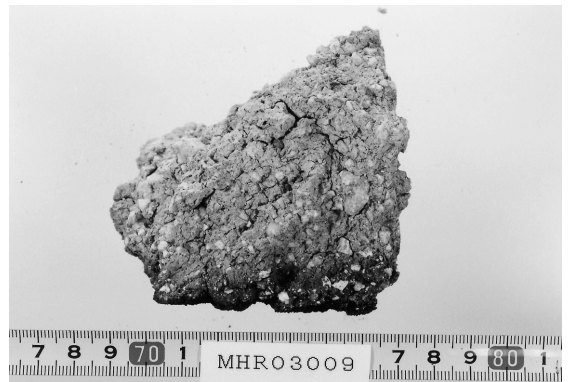


写真22 資料 No. 9 炉壁 (炉上部) 4



写真23 資料 No. 10 木炭 (松材) 1



写真24 資料 No. 10 木炭 (松材) 2



写真 25 資料 No. 10 木炭（松材） 3



写真 26 資料 No. 10 木炭（松材） 4



写真 27 資料 No. 11 木炭（コナラ） 1



写真 28 資料 No. 11 木炭（コナラ） 2



写真 29 資料 No. 11 木炭（コナラ） 3



写真 30 資料 No. 11 木炭（コナラ） 4

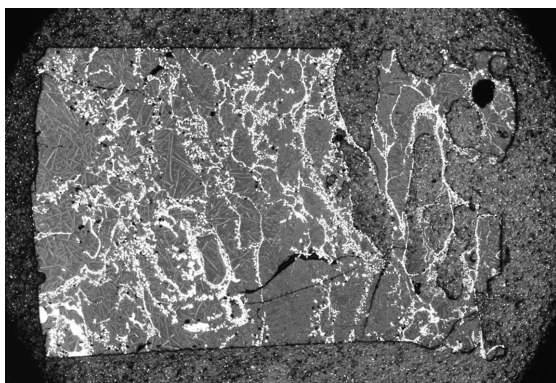


写真 31 資料 No. 1（鋳の下部） × 5

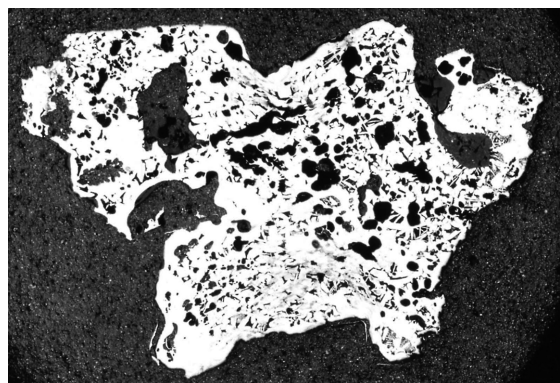


写真 32 資料 No. 1（鋳の上部） × 5

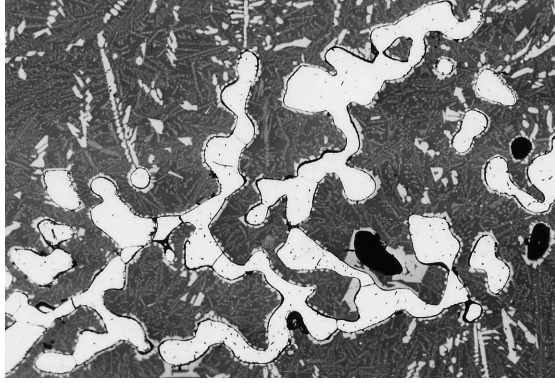


写真 33 資料 No. 1 鋤の下部 × 100

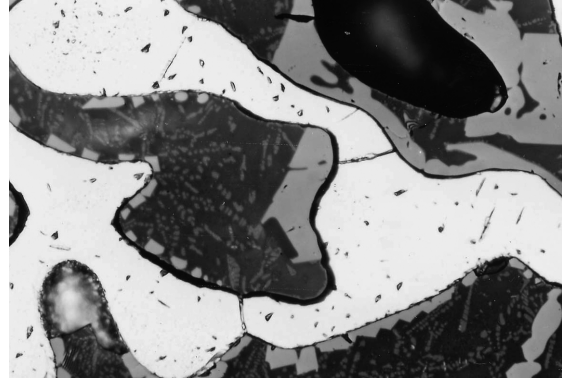


写真 34 資料 No. 1 鋤の下部 × 400

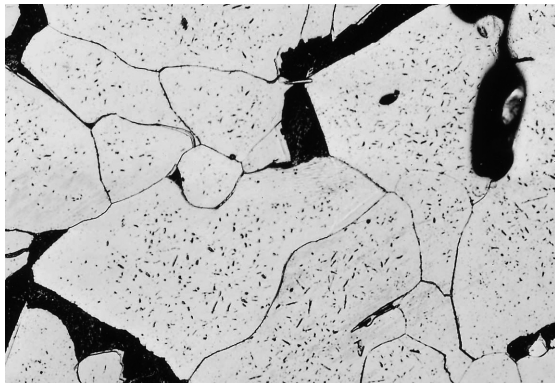


写真 35 資料 No. 1 鋤の上部 × 100

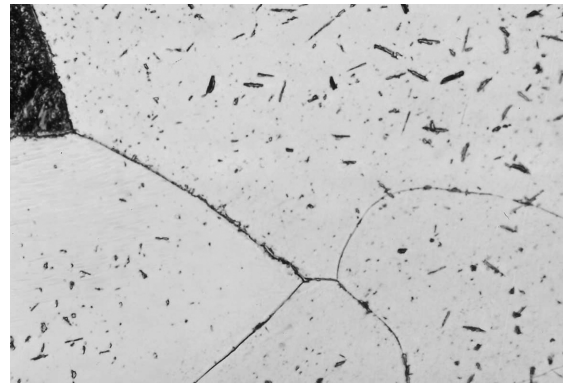


写真 36 資料 No. 1 鋤の上部 × 400



写真 37 資料 No. 1 鋤の下部 (滓部分) × 100

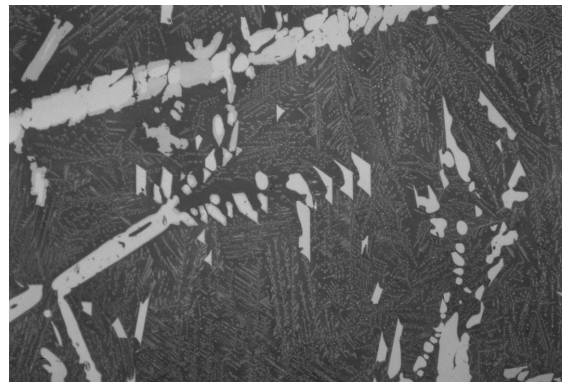


写真 38 資料 No. 1 鋤の下部 (滓部分) × 400

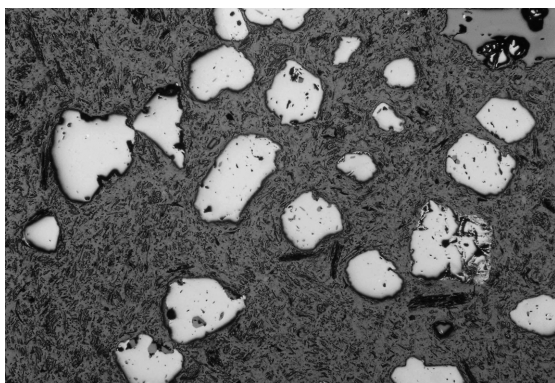


写真 39 資料 No. 2 砂鉄 (大信村: 隈戸川産) × 50

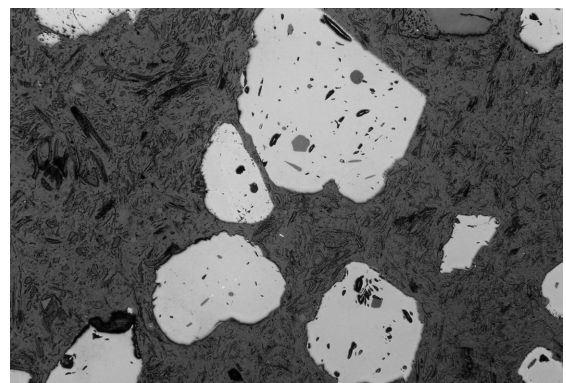


写真 40 資料 No. 2 砂鉄 (大信村: 隈戸川産) × 100

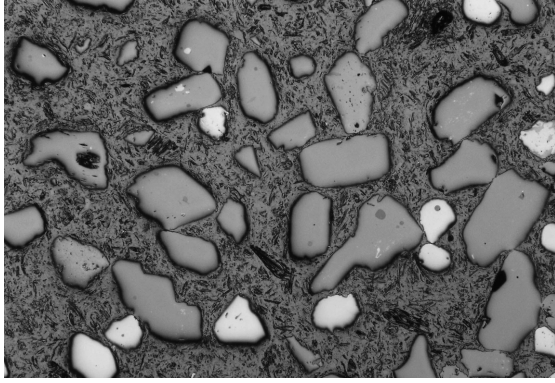


写真 41 資料 No. 3 砂鉄 (相馬市 : 古磯部産) × 50

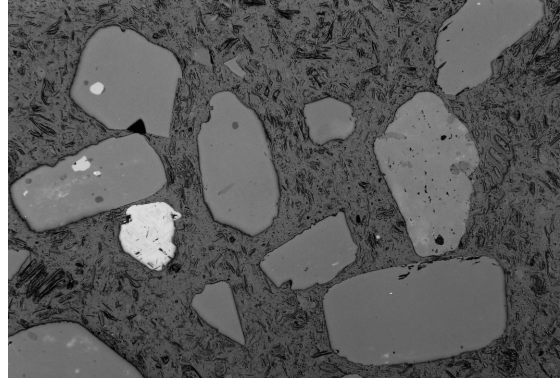


写真 42 資料 No. 3 砂鉄 (相馬市 : 古磯部産) × 100

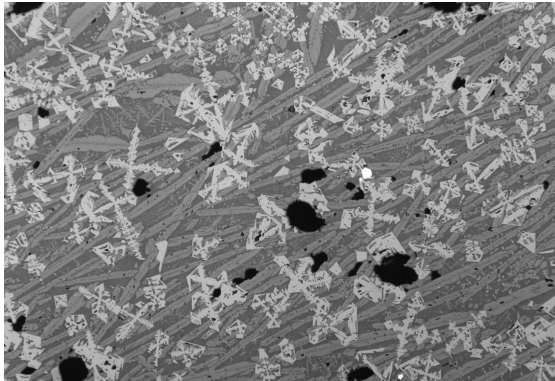


写真 43 資料 No. 4 流出滓 × 100

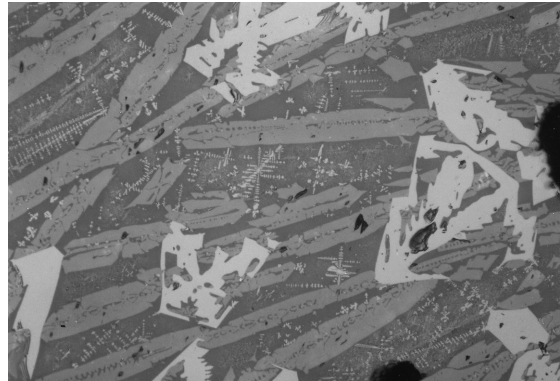


写真 44 資料 No. 4 流出滓 × 400

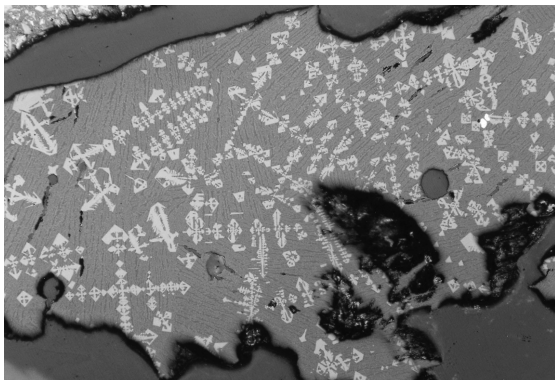


写真 45 資料 No. 5 流出滓 × 100

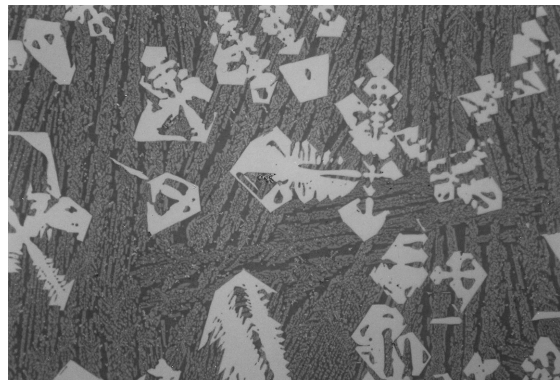


写真 46 資料 No. 5 流出滓 × 400

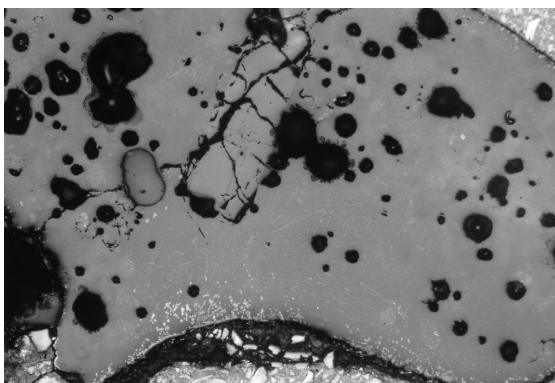


写真 47 資料 No. 8 炉壁 (炉下部 : 羽口付近) × 100

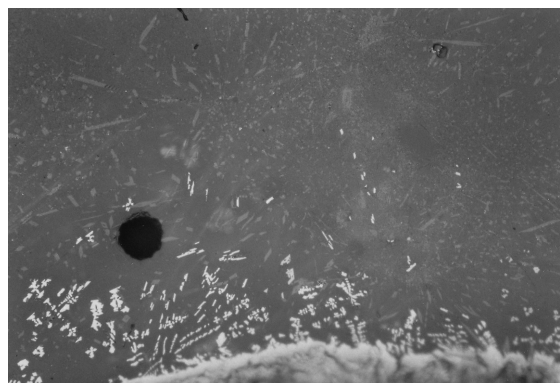


写真 48 資料 No. 8 炉壁 (炉下部 : 羽口付近) × 400



写真 49 資料 No. 10 木炭（マツ材 横断面）× 5

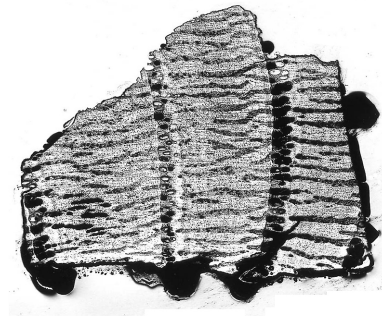


写真 50 資料 No. 11 木炭（コナラ）× 5

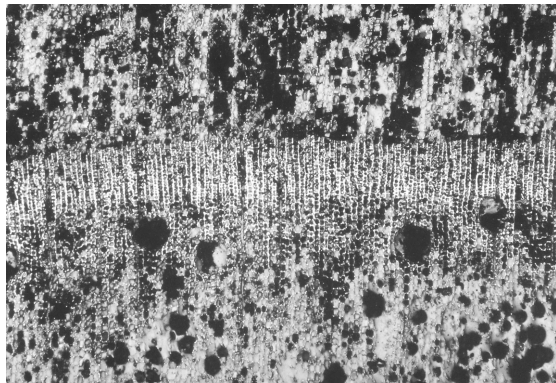


写真 51 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の晩材部分）× 50

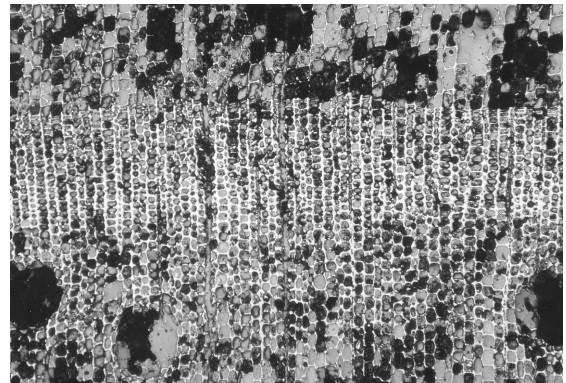


写真 52 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の晩材部分）× 100

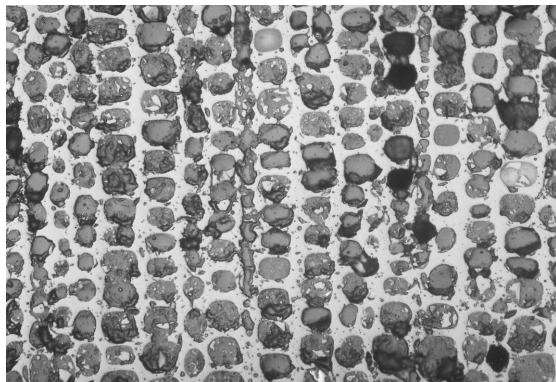


写真 53 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の晩材部分）× 400

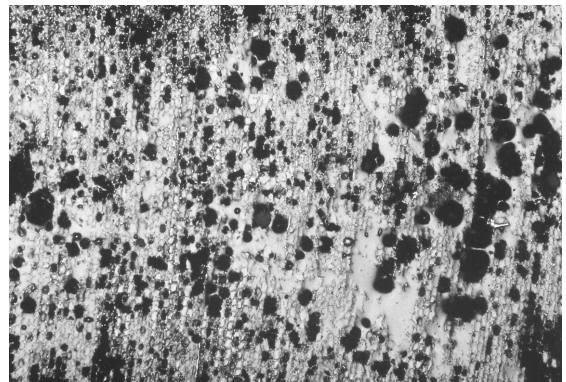


写真 54 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の早材部分）× 50

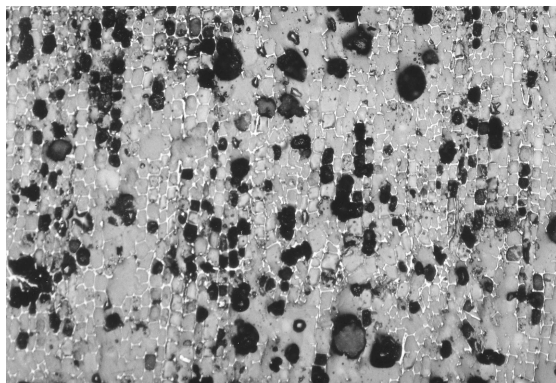


写真 55 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の早材部分）× 100

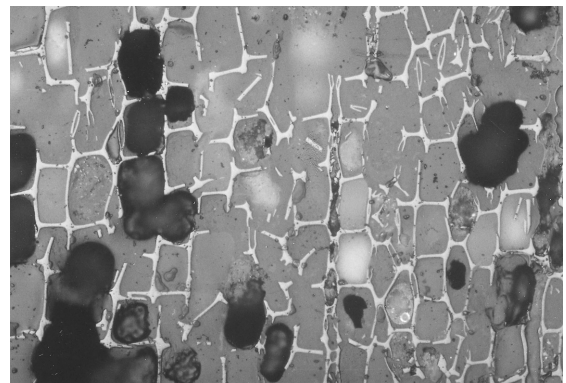


写真 56 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の早材部分）× 400

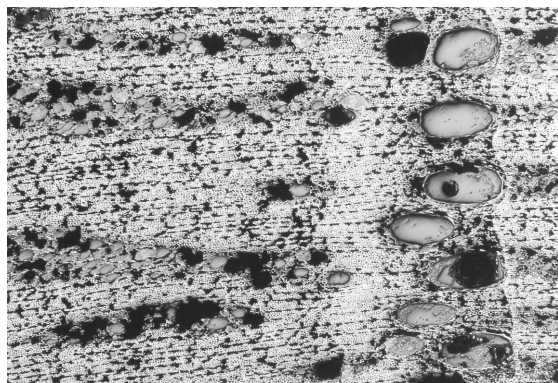


写真 57 資料 No. 11 木炭 (コナラ) × 50

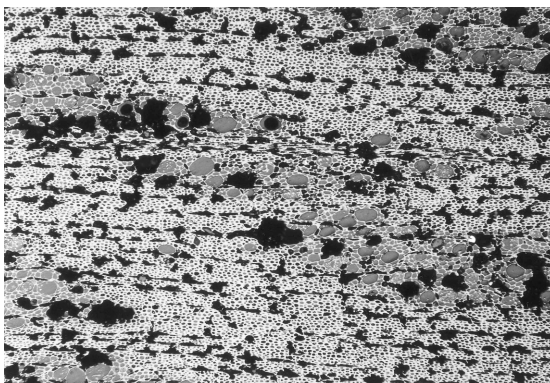


写真 58 資料 No. 11 木炭 (コナラ) × 100

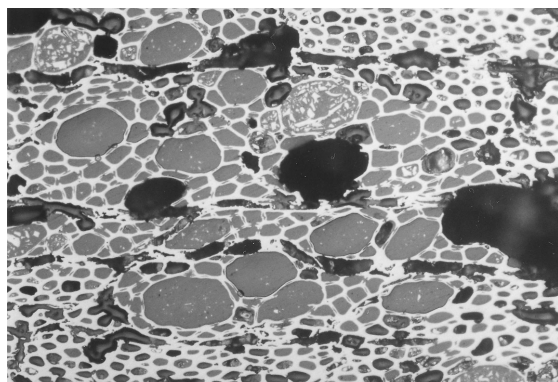


写真 59 資料 No. 11 木炭 (コナラ : 維管束部) × 400

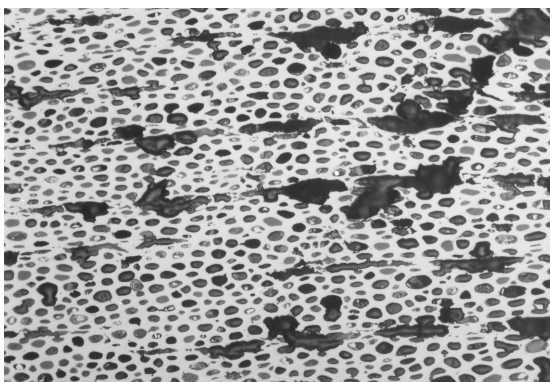


写真 60 資料 No. 11 木炭 (コナラ : 維管束部の外) × 400

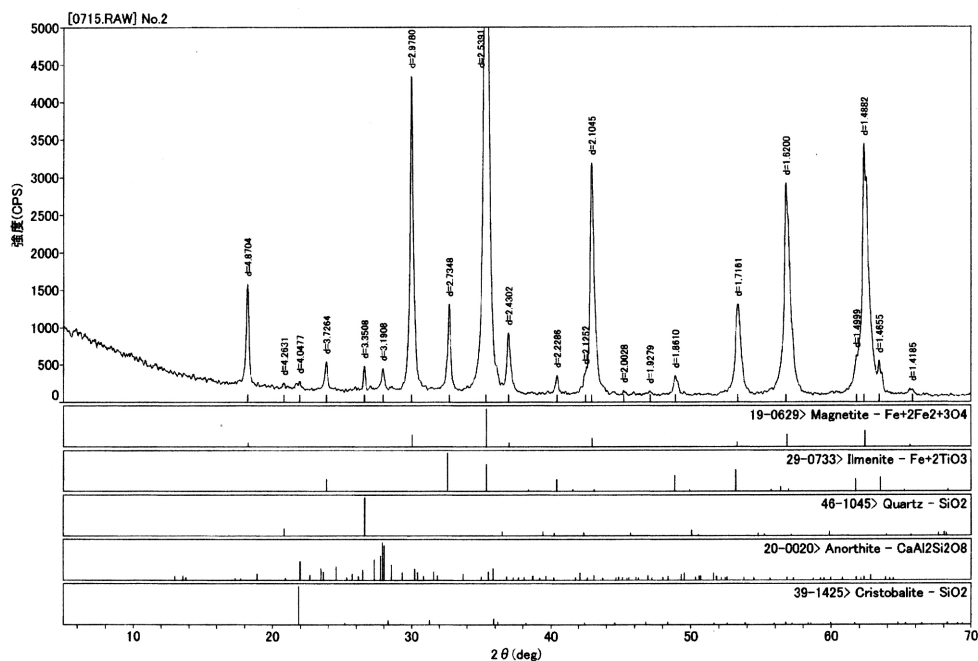
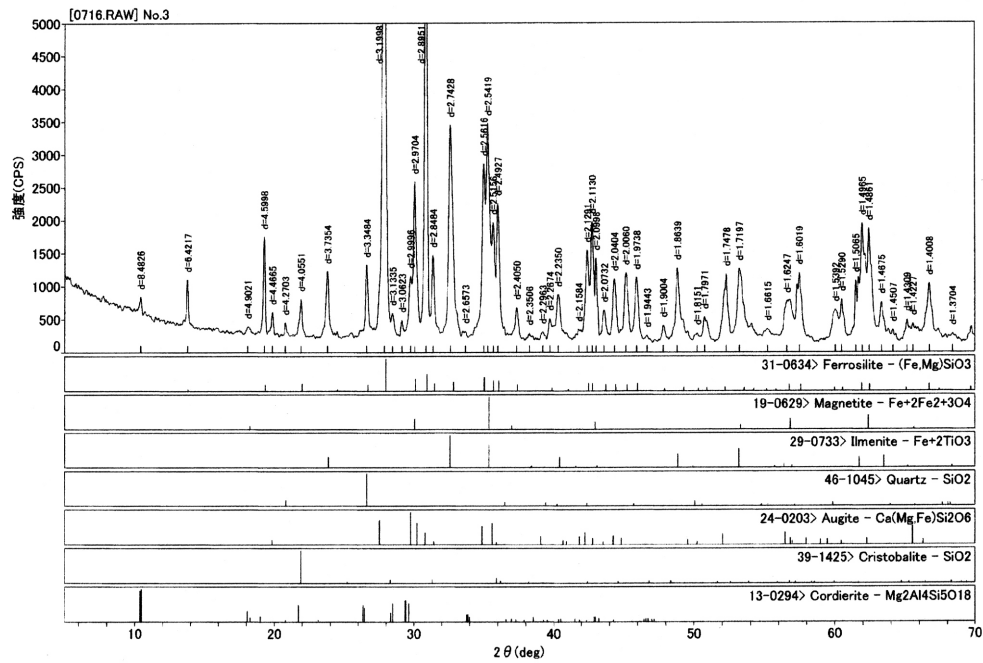


図 4 資料 No. 2 砂鉄 (大信村 : 隈戸川産)





「鉄づくり」イベント産出鉄塊等の成分分析調査

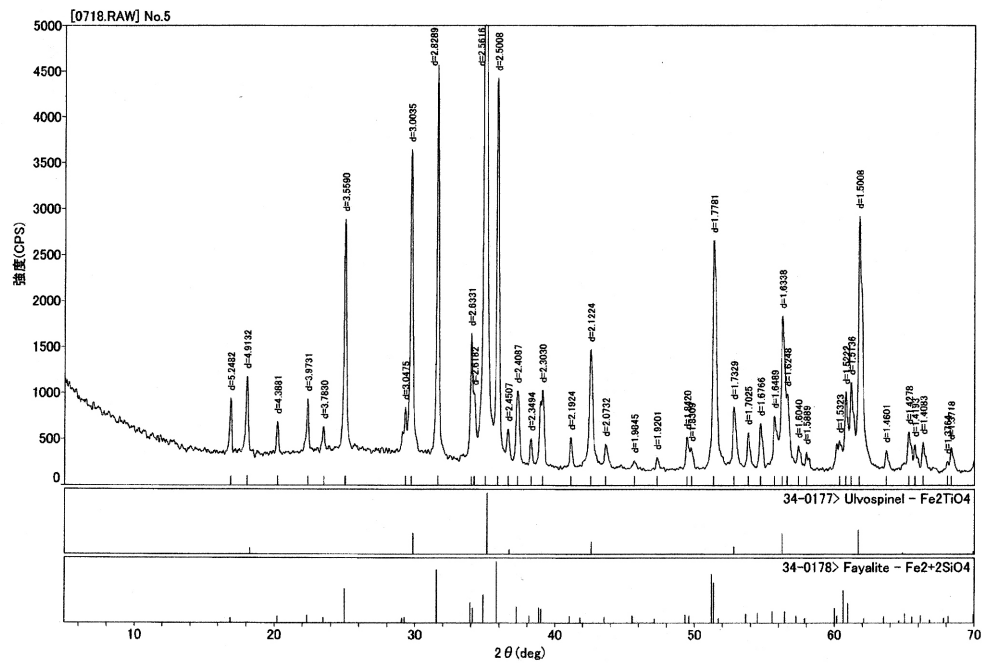


図7 資料 No. 5 流出滓 (7回目ノ口出し)