

付 編 自然科学分析

1 煙石F遺跡、煙石A遺跡における放射性炭素年代(AMS測定)

株式会社加速器分析研究所

1 測定対象試料

煙石F遺跡は、福島県石川郡平田村大字西山字煙石256(北緯37°12'34", 東経140°32'11")に所在し、阿武隈高地南部の丘陵斜面に立地する。次の煙石A遺跡と同丘陵上にあり、直線距離で120mほど離れる。測定対象試料は、1号製鉄炉跡出土木炭(FBAM09.019:IAAA-91179, FBAM09.020:IAAA-91180), 1号廃滓場出土木炭(FBAM09.021:IAAA-91181), 1号木炭窯跡出土木炭(FBAM09.022:IAAA-91182, FBAM09.023:IAAA-91183, FBAM09.024:IAAA-91184), 2号平場作業場出土木炭(FBAM09.025:IAAA-91185), 1号土坑出土木炭(FBAM09.026:IAAA-91186), 11号土坑出土木炭(FBAM09.027:IAAA-91187), 13号土坑出土木炭(FBAM09.028:IAAA-91188), 合計10点である。

煙石A遺跡は、福島県石川郡平田村大字西山字煙石256(北緯37°12'33", 東経140°32'05")に所在し、阿武隈高地南部の丘陵斜面谷部に立地する。測定対象試料は、1号土坑出土木炭(FBAM09.029:IAAA-91189), 2号土坑出土木炭(FBAM09.030:IAAA-91190), 合計2点である。

2 測定の意義

遺構の年代と遺構間の年代関係を明らかにする。

3 化学処理工程

(1) メス・ピンセットを使い、根・土等の表面のな不純物を取り除く。

(2) 酸処理。アルカリ処理、酸処理(AAA: Acid Alkali Acid)により内面的な不純物を取り除く。最初の酸処理では1Nの塩酸(80℃)を用いて数時間処理する。その後、超純水で中性になるまで希釈する。アルカリ処理では1Nの水酸化ナトリウム水溶液(80℃)を用いて数時間処理する。なお、AAA処理において、アルカリ濃度が1N未満の場合、表中にAaAと記載する。その後、超純水で中性になるまで希釈する。最後の酸処理では1Nの塩酸(80℃)を用いて数時間処理した後、超純水で中性になるまで希釈し、90℃で乾燥する。希釈の際には、遠

心分離機を使用する。

(3) 試料を酸化銅と共に石英管に詰め、真空中で封じ切り、500℃で30分、850℃で2時間加熱する。

(4) 液体窒素とエタノール・ドライアイスの温度差を利用し、真空ラインで二酸化炭素(CO₂)を精製する。

(5) 精製した二酸化炭素から鉄を触媒として炭素のみを抽出(水素で還元)し、グラファイトを作製する。

(6) グラファイトを内径1mmのカソードに詰め、それをホイールにはめ込み、加速器に装着する。

4 測定方法

測定機器は、3MVタンデム加速器をベースとした¹⁴C-AMS専用装置(NEC Pelletron 9SDH-2)を使用する。測定では、米国国立標準局(NIST)から提供されたシュウ酸(HOxII)を標準試料とする。この標準試料とバックグラウンド試料の測定も同時に実施する。

5 算出方法

(1) 年代値の算出には、Libbyの半減期(5568年)を使用する(Stuiver and Polash 1977)。

(2) ¹⁴C年代(Libby Age; yrBP)は、過去の大気中¹⁴C濃度が一定であったと仮定して測定され、1950年を基準年(0yrBP)として遡る年代である。この値は、 $\delta^{14}\text{C}$ によって補正された値である。¹⁴C年代と誤差は、1桁目を四捨五入して10年単位で表示される。また、¹⁴C年代の誤差($\pm 1\sigma$)は、試料の¹⁴C年代がその誤差範囲に入る確率が68.2%であることを意味する。

(3) $\delta^{14}\text{C}$ は、試料炭素の¹⁴C濃度(¹⁴C/¹²C)を測定し、基準試料からのずれを示した値である。同位体比は、いずれも基準値からのずれを千分偏差(‰)で表される。測定には質量分析計あるいは加速器を用いる。加速器により¹⁴C/¹²Cを測定した場合には表中に(AMS)と注記する。

(4) pMC (percent Modern Carbon)は、標準現代炭素に対する試料炭素の¹⁴C濃度の割合である。

(5) 暦年較正年代とは、年代が既知の試料の¹⁴C

濃度を元に描かれた較正曲線と照らし合わせ、過去の ^{14}C 濃度変化などを補正し、実年代に近づけた値である。暦年較正年代は、 ^{14}C 年代に対応する較正曲線上の暦年代範囲であり、1標準偏差($1\sigma = 68.2\%$)あるいは2標準偏差($2\sigma = 95.4\%$)で表示される。暦年較正プログラムに入力される値は、下一桁を四捨五入しない ^{14}C 年代値である。なお、較正曲線および較正プログラムは、データの蓄積によって更新される。また、プログラムの種類によっても結果が異なるため、年代の活用にあたってはその種類とバージョンを確認する必要がある。ここでは、暦年較正年代の計算に、IntCal04データベース(Reimer et al 2004)を用い、OxCalv4.1較正プログラム(Bronk Ramsey 1995 Bronk Ramsey 2001 Bronk Ramsey, van der Plicht and Weninger 2001)を使用した。

6 測定結果

煙石F遺跡出土試料の ^{14}C 年代は、FBAM09.019が $420 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.020が $320 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.021が $360 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.022が $340 \pm$

30yrBP 、FBAM09.023が $300 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.024が $340 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.025が $300 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.026が $560 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.027が $150 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.028が $440 \pm 30\text{yrBP}$ である。1号製鉄炉跡出土の2点の試料では、 $\ell 14$ から出土したFBAM09.019が $\ell 1$ から出土したFBAM09.020よりやや古い値を示した。1号木炭窯跡 $\ell 10$ 出土の3点は、誤差(1σ)の範囲で重なり合い、ほぼ同年代を示している。

煙石A遺跡出土試料の ^{14}C 年代は、FBAM09.029が $420 \pm 30\text{yrBP}$ 、FBAM09.030が $200 \pm 30\text{yrBP}$ である。

煙石F遺跡と煙石A遺跡は年代が近い部分をもつと考えられる。

暦年較正年代(1σ)で見ると、15~16世紀頃の確率が高いものが多い。

炭素含有率はいずれも60%を超える十分な値で、化学処理、測定上の問題は認められない。なお、最外年輪部を確認できない木炭試料については、伐採年が測定結果よりも下る可能性を考慮する必要がある。

表1 測定結果

測定番号	試料名	採取場所	試料形態	処理方法	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS)	$\delta^{13}\text{C}$ 補正あり	
						Libby Age (yrBP)	pMC (‰)
IAAA-91179	FBAM09.019	煙石F遺跡 1号製鉄炉跡 $\ell 14$	炭化材	AAA	-25.47 ± 0.59	420 ± 30	94.93 ± 0.34
IAAA-91180	FBAM09.020	煙石F遺跡 1号製鉄炉跡 $\ell 1$	炭化材	AAA	-24.84 ± 0.53	320 ± 30	96.04 ± 0.34
IAAA-91181	FBAM09.021	煙石F遺跡 1号喫煙場 $\ell 2$	木炭	AAA	-26.02 ± 0.41	360 ± 30	95.64 ± 0.33
IAAA-91182	FBAM09.022	煙石F遺跡 1号木炭窯跡 $\ell 10$	木炭	AAA	-23.70 ± 0.39	340 ± 30	95.84 ± 0.37
IAAA-91183	FBAM09.023	煙石F遺跡 1号木炭窯跡 $\ell 10$	木炭	AAA	-25.61 ± 0.45	300 ± 30	96.32 ± 0.34
IAAA-91184	FBAM09.024	煙石F遺跡 号木炭窯跡 $\ell 10$	木炭	AAA	-23.79 ± 0.36	340 ± 30	95.86 ± 0.33
IAAA-91185	FBAM09.025	煙石F遺跡 2号平場作業場 $\ell 4$	木炭	AAA	-25.44 ± 0.66	300 ± 30	96.32 ± 0.38
IAAA-91186	FBAM09.026	煙石F遺跡 1号土坑 $\ell 1$	木炭	AAA	-24.86 ± 0.65	560 ± 30	93.32 ± 0.35
IAAA-91187	FBAM09.027	煙石F遺跡 11号土坑 $\ell 1$	木炭	AAA	-23.87 ± 0.64	150 ± 30	98.20 ± 0.37
IAAA-91188	FBAM09.028	煙石F遺跡 13号土坑 $\ell 3$	木炭	AaA	-27.00 ± 0.46	440 ± 30	94.61 ± 0.37
IAAA-91189	FBAM09.029	煙石A遺跡 1号土坑 $\ell 3$	木炭	AaA	-26.81 ± 0.33	420 ± 30	94.96 ± 0.35
IAAA-91190	FBAM09.030	煙石A遺跡 2号土坑 $\ell 1$	木炭	AAA	-27.54 ± 0.66	200 ± 30	97.56 ± 0.36

[# 3135, 3136]

表2 暦年校正

測定番号	$\delta^{13}\text{C}$ 補正なし		暦年校正用 (yrBP)	1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
	Age (yrBP)	pMC (%)			
IAAA-91179	430 ± 30	94.84 ± 0.32	418 ± 28	1439AD - 1476AD (68.2%)	1429AD - 1514AD (88.8%) 1600AD - 1618AD (6.6%)
IAAA-91180	320 ± 30	96.08 ± 0.32	324 ± 28	1516AD - 1597AD (55.8%) 1618AD - 1636AD (12.4%)	1481AD - 1644AD (95.4%)
IAAA-91181	370 ± 30	95.44 ± 0.32	358 ± 27	1469AD - 1522AD (38.4%) 1575AD - 1584AD (5.1%) 1590AD - 1625AD (24.7%)	1452AD - 1529AD (47.4%) 1543AD - 1634AD (48.0%)
IAAA-91182	320 ± 30	96.10 ± 0.36	341 ± 30	1490AD - 1525AD (23.3%) 1558AD - 1603AD (30.3%) 1609AD - 1631AD (14.6%)	1469AD - 1640AD (95.4%)
IAAA-91183	310 ± 30	96.21 ± 0.32	300 ± 28	1522AD - 1575AD (46.5%) 1584AD - 1590AD (3.9%) 1625AD - 1646AD (17.8%)	1491AD - 1603AD (69.8%) 1613AD - 1653AD (25.6%)
IAAA-91184	320 ± 30	96.10 ± 0.33	339 ± 28	1491AD - 1526AD (22.8%) 1557AD - 1603AD (31.1%) 1610AD - 1632AD (14.3%)	1471AD - 1640AD (95.4%)
IAAA-91185	310 ± 30	96.23 ± 0.35	301 ± 31	1522AD - 1575AD (45.2%) 1583AD - 1591AD (4.7%) 1623AD - 1646AD (18.3%)	1488AD - 1604AD (69.7%) 1609AD - 1654AD (25.7%)
IAAA-91186	550 ± 30	93.35 ± 0.32	555 ± 29	1325AD - 1345AD (28.2%) 1393A D - 1418AD (40.0%)	1310AD - 1360AD (44.6%) 1386AD - 1431AD (50.8%)
IAAA-91187	130 ± 30	98.43 ± 0.35	145 ± 30	1675AD - 1697AD (10.1%) 1726AD - 1778AD (24.3%) 1799AD - 1814AD (7.3%) 1836AD - 1845AD (3.7%) 1851AD - 1877AD (10.7%) 1917AD - 1942AD (12.2%)	1668AD - 1710AD (16.3%) 1717AD - 1782AD (29.1%) 1797AD - 1891AD (33.6%) 1909AD - 1948AD (16.4%)
IAAA-91188	480 ± 30	94.22 ± 0.36	444 ± 31	1429AD - 1458AD (68.2%)	1415AD - 1489AD (94.6%) 1604AD - 1608AD (0.8%)
IAAA-91189	450 ± 30	94.60 ± 0.34	415 ± 29	1440AD - 1482AD (68.2%)	1430AD - 1517AD (86.5%) 1595AD - 1619AD (8.9%)
IAAA-91190	240 ± 30	97.05 ± 0.33	198 ± 29	1661AD - 1681AD (18.4%) 1764AD - 1801AD (35.6%) 1939AD - 1952AD (14.2%)	1647AD - 1689AD (24.5%) 1730AD - 1810AD (52.2%) 1926AD - 1955AD (18.6%)

[参考値]

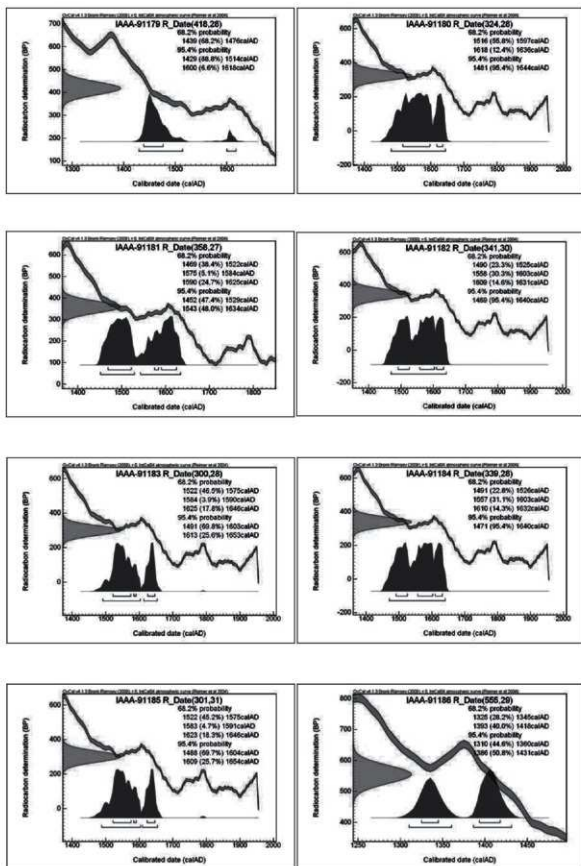


図 1 暦年較正年代グラフ (1)

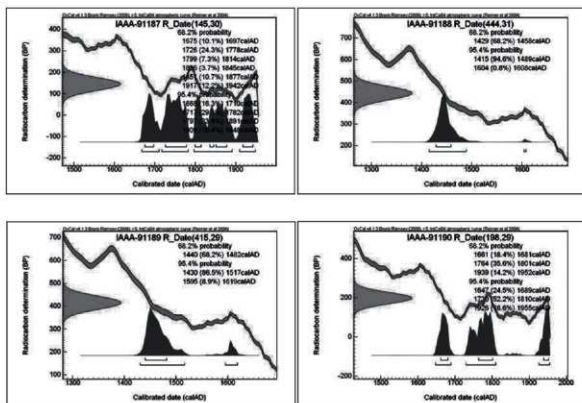


図2 暦年較正年代グラフ (2)

参考文献

- Stuiver M. and Polash H.A. 1977 Discussion: Reporting of ^{14}C data, *Radiocarbon* 19, 355-363
- Bronk Ramsey C. 1995 Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the OxCal Program, *Radiocarbon* 37(2), 425-430
- Bronk Ramsey C. 2001 Development of the Radiocarbon Program OxCal, *Radiocarbon* 43(2A), 355-363
- Bronk Ramsey C., van der Plicht J., and Weninger B. 2001 'Wiggle Matching' radiocarbon dates, *Radiocarbon* 43(2A), 381-389
- Reimer, P.J. et al. 2004 IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26cal kyr BP, *Radiocarbon* 46, 1029-1058

2 煙石A・F遺跡出土炭化材の樹種

バリノ・サーヴェイ株式会社

はじめに

煙石A遺跡と煙石F遺跡は同一の丘陵の北面に位置し、煙石A遺跡が谷底に、煙石F遺跡は尾根の東斜面に立地している。今回の発掘調査の結果、煙石A遺跡では土坑や焼土遺構、煙石F遺跡では製鉄炉や付随する廃滓場、木炭窟、土坑等が検出されている。

今回の分析調査では、出土した炭化材を対象として木材利用を明らかにするために樹種同定を実施する。

1 試料

試料は、煙石F遺跡の1号製鉄炉跡、1号廃滓場、1号木炭窟跡、2号平場作業場、1号土坑、11号土坑、13号土坑から出土した炭化材8点(FB, AM09019, 021-023, 025-028)と煙石A遺跡の1号土坑から出土した炭化材1点(FB, AM09019, 029)の合計9点である。

2 分析方法

各試料について、木口(横断面)・柀目(放射断面)・板目(接線断面)の3断面の断面を作製し、実体顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用いて木材組織の種類や配列を観察し、その特徴を現生標本および独立行政法人森林総合研究所の日本産木材識別データベースと比較して種類を同定する。

なお、木材組織の名称や特徴については、島地・伊東(1982)やWheeler他(1998)を参考にする。また、日本産木材の組織配列については、林(1991)や伊東(1995, 1996, 1997, 1998, 1999)を参考にする。

3 結果

樹種同定結果を表1に示す。炭化材は、全て落葉広葉樹で、3分類群(カバノキ属・ブナ属・クリ)に同定された。各分類群の解剖学的特徴等を記す。

・カバノキ属 (*Betula*) カバノキ科

散孔材で、道管は単独または2-4個が放射方向に複合して散在し、年輪界に向かって径を漸減

させる。道管は階段穿孔を有し、壁孔は対列状~交互状に配列する。放射組織は同性、1-4細胞幅、1-30細胞高。

・ブナ属 (*Fagus*) ブナ科

散孔材で、管孔は単独または放射方向に2-3個が複合して散在し、年輪界付近で径を減ずる。道管の分布密度は高い。道管は単穿孔および階段穿孔を有し、壁孔は対列状~階段状に配列する。放射組織はほぼ同性、単列、数細胞高のものから複合放射組織までである。

・クリ (*Castanea crenata* Sieb. et Zucc.) ブナ科クリ属

環孔材で、孔圈部は3-4列、孔圏外で急激に管径を減じたのち、漸減しながら火炎状に配列する。道管は単穿孔を有し、壁孔は交互状に配列する。放射組織は同性、単列、1-15細胞高。

4 考察

炭化材は、製鉄炉および廃滓場、木炭窟、作業場、土坑から出土している。1号製鉄炉跡から出土した炭化材は、落葉広葉樹のカバノキ属、1号製鉄炉に付随する1号廃滓場から出土した炭化材は、落葉広葉樹のブナ属であった。これらの木材は、製鉄時の燃料材として利用されたことが推定される。いずれも重硬で強度が高い材質を有しており、強度の高い木材を選択した可能性がある。ブナ属とカバノキ属は、1号木炭窟跡から出土した炭化材にも認められることから、1号木炭窟跡で製炭された木炭が1号製鉄炉跡の原料として利用された可能性がある。

一方、煙石F遺跡の1号土坑、11号土坑、13号土坑、煙石A遺跡の1号土坑は、いずれも木炭焼成土坑と考えられており、出土した炭化材は全てクリであった。このことから、木炭焼成土坑ではクリの木炭を焼成していたことが推定される。クリは、1号木炭窟跡や1号製鉄炉跡では認められないことから、別の目的に利用された可能性がある。クリの木材は重硬で強度・耐朽性が高いが、木炭にすると柔らかい炭になり、民俗事例ではマツ炭と共に鍛冶燃料材として利用される(岸本・杉浦、

1980；窪田, 1987)。これらのことを考慮すると、クリの木炭は、鍛冶燃料材等に利用された可能性もある。今後、鍛冶遺構における燃料材の木材料

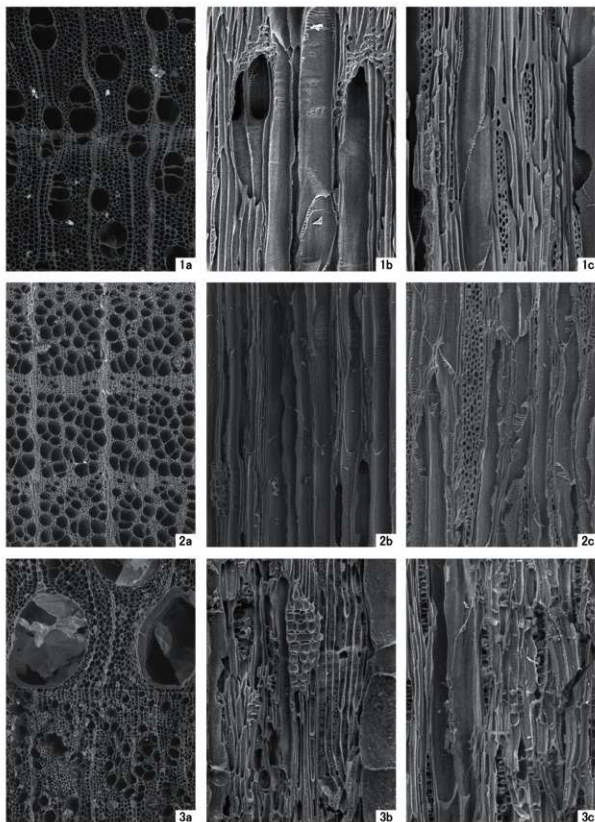
用についても明らかにし、比較検討することがのぞまれる。

表 1 樹種同定結果

試料番号	遺跡	遺構	層位	種別	樹種
FBAM09-019	燧石 F	1号製鉄炉跡 (SW01)	ε 14	炭化材	カバノキ属
FBAM09-021	燧石 F	1号砲座場 (SW01H)	ε 2	木炭	ブナ属
FBAM09-022	燧石 F	1号木炭窯跡 (SC01)	ε 10	木炭	ブナ属
FBAM09-023	燧石 F	1号木炭窯跡 (SC01)	ε 10	木炭	カバノキ属
FBAM09-025	燧石 F	2号平場作業場	ε 4	木炭	クリ
FBAM09-026	燧石 F	1号土坑 (SK01)	ε 1	木炭	クリ
FBAM09-027	燧石 F	11号土坑 (SK11)	ε 1	木炭	クリ
FBAM09-028	燧石 F	13号土坑 (SK13)	ε 3	木炭	クリ
FBAM09-029	燧石 A	1号土坑 (SK01)	ε 3	木炭	クリ

引用文献

- 林 昭三, 1991, 日本産木材 顕微鏡写真集, 京都大学木質科学研究所.
- 伊東 隆夫, 1995, 日本産広葉樹材の解剖学的記載Ⅰ, 木材研究・資料, 31, 京都大学木質科学研究所, 81-181.
- 伊東 隆夫, 1996, 日本産広葉樹材の解剖学的記載Ⅱ, 木材研究・資料, 32, 京都大学木質科学研究所, 66-176.
- 伊東 隆夫, 1997, 日本産広葉樹材の解剖学的記載Ⅲ, 木材研究・資料, 33, 京都大学木質科学研究所, 83-201.
- 伊東 隆夫, 1998, 日本産広葉樹材の解剖学的記載Ⅳ, 木材研究・資料, 34, 京都大学木質科学研究所, 30-166.
- 伊東 隆夫, 1999, 日本産広葉樹材の解剖学的記載Ⅴ, 木材研究・資料, 35, 京都大学木質科学研究所, 47-216.
- 岸本 定吉・杉浦 銀治, 1980, 日曜炭やき師入門, 総合科学出版, 250p.
- 窪田 藏郎, 1987, 改訂 鉄の考古学, 雄山閣, 308p.
- 島地 謙・伊東 隆夫, 1982, 国産木材組織, 地球社, 176p.
- Wheeler E.A., Bass P. and Gasson P.E. (編), 1998, 広葉樹材の識別 IAWAによる光学顕微鏡的特徴リスト, 伊東 隆夫・藤井 智之・佐伯 浩 (日本語版監修), 海青社, 122p. [Wheeler E.A., Bass P. and Gasson P.E. (1989) *IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification*].



1. カバノキ属 (FB.AM09.023)
 2. プナ属 (FB.AM09.021)
 3. クリ (FB.AM09.026)
 a: 木口, b: 椀目, c: 板目

図 1 炭化材の木材組織

3 煙石F遺跡出土製鉄遺物の化学分析調査

JFE テクノリサーチ株式会社千葉分析・材料事業部
埋蔵文化財調査研究室

1 はじめに

(財)福島県文化振興事業団から、あぶくま南道路遺跡発掘調査から出土した煙石F遺跡製鉄遺物について、学術的な記録と今後の調査のための一環として化学成分分析調査を依頼された。調査の観点として、出土製鉄遺物の化学成分分析、顕微鏡組織観察、X線回折測定、耐火度測定、外観観察等に基づき、試料の製造工程(製錬・精錬・鍛冶)上の位置づけ、及びその始発原料等を中心に調査した。

2 調査項目および試験・観察方法

(1) 調査項目

調査試料の記号、出土遺構・注記および調査項目を表3に示す。

(2) 調査方法

(i) 重量計測、外観観察および金属探知調査

試料重量の計量は電子天秤を使用し、少数点2位で四捨五入した。各種試験用試料を採取する前に、試料の外観をmm単位までであるスケールを同時に写し込みで撮影した。試料の出土位置や試料の種別等は提供された試料に準拠した。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、6mmを1単位として35cmの高さから吊した磁石が動きは始める位置を着磁度として数値で示した。

遺物内の残存金属の有無は金属探知機(MC: metal checker)を用いて調査した。金属検知にあたっては参照標準として直径と高さを等しくした金属鉄円柱(1.5mmφ x 1.5mm H, 2.0mmφ x 2.0mm H, 5mmφ x 5mm H, 10mmφ x 10mm H, 16mmφ x 16mm H, 20mmφ x 20mm H, 30mmφ x 30mm H)を使用し、これとの対比で金属鉄の大きさを判断した。

(ii) 化学成分分析

化学成分分析は鉄鋼に関するJIS分析法に準じて行っている。

・全鉄(T.Fe): 三塩化チタン還元-ニ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): ニクロム酸カリウム滴定法。

・酸化第二鉄(Fe₂O₃): 計算。

・化合物(C.W.): カールフィッシャー法。

・炭素(C)、イオウ(S): 蒸焼-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(Na₂O)、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)、バナジウム(V)、チタン(Ti)
: ICP発光分光分析法。

・シリカ(SiO₂)、アルミナ(Al₂O₃)、酸化カルシウム(CaO)、酸化マグネシウム(MgO)、二酸化チタン(TiO₂)、酸化リン(P₂O₅)、酸化カリウム(K₂O)
: 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(Na₂O): 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Fe₂O₃、シリカSiO₂、アルミナAl₂O₃、ライムCaO、マグネシウムMgO、酸化ナトリウムNa₂O、酸化カリウムK₂O、二酸化チタンTiO₂、酸化マンガンMnO、酸化リンP₂O₅、コバルトCo、化合物C.W.、炭素C、バナジウム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。

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、バナジウム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。

(iii) 顕微鏡組織観察

試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。金属鉄はナイタール(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)による観察も行う。

(iv) 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: 理学電機株式会社製 ロータフレックス(RU-300型)

測定条件:

- ① 使用X線 Cu-K α (波長=1.54178Å)
- 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 スキャンング・スピード 4.0°/min
- ⑤ サンプリング・インターバル 0.020°
- ⑥ DSスリット 1°
- ⑦ RSスリット 0.15mm
- ⑧ SSスリット 1°
- ⑨ 検出器 シンチレーション・カウンター

(v) 耐火度試験

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。

遺物試料を粉砕し、規定(量的に少量であるから)法は第2種の小型:幅7mm、高さ27mm)のゼーグルコーンを成型する。このゼーグルコーンを傾斜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とする。

3 調査結果および考察

調査試料と調査項目を表3に、表4~表6に、試料の化学成分分析結果を、表7に炉壁・羽口の耐火度測定結果を、表8にX線回折結果をそれぞれ示した。全試料の外観写真・切断面位置を図9に、鉄塊切断面写真・マクロ組織を図10・11に、金属

鉄の顕微鏡組織は図12に、鉄滓の顕微鏡組織は図13~15に、X線回折の結果を図6~8に、鉱物組織の英文、化学式は一括して5.参考に示した。

各試料の調査結果をまとめて最も確からしい推定結果を文末の表1にまとめた。

試料番号FBAM09.001 鉄塊系遺物、着磁度:4~5、メタル反応:10mmよりやや大

外観観察:長さ399mm×幅29.5mm×厚さ25.0mm。試料の重量は35.3gである。ズングリとした不整多角形の鉄塊系遺物で、全面が茶褐色の酸化土砂に覆われている。角状の突起が4ヶ所あり、試料全体が破面である。図9に示した写真中央下部には3×7mm大の木炭が観察される。写真上部の突起部と右端部には錆化亀裂が認められる。全体に10mmを超えるメタル反応が有る。

切断面・マクロ組織:切断面写真、20倍のマクロ写真を図10に示す。小さな金属鉄の粒子が分散しており、鉄塊にまでは十分に成長していない。金属鉄がまとまる過程の網目状金属鉄を含む滓と思われる。

顕微鏡組織:滓の顕微鏡組織を図13に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel:2FeO・TiO₂)と未凝集の砂鉄の還元で生成した高状のメタルが混じる組織(2~4)が大部分で、還元途中の砂鉄粒子(1)も明確に観察される。

化学成分:滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)が4.43%と多く含まれている。化合物(C,W)も2.12%と多く含まれておりゲーサイト(Goetite: α -FeOOH)などの錆化鉄が多く含まれる。このため滓の分析結果は鉄分と錆化鉄を補正した4-2に基づき記述する。全鉄27.8%に対してFeOは21.6%、Fe₂O₃は15.8%、SiO₂は20.0%、Al₂O₃は3.74%で造滓成分量が33.1%である。TiO₂は26.4%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeOは44.7%、SiO₂は23.8%、TiO₂は31.5%となる。図11に示すFeO-SiO₂-TiO₂系の平衡状態図では、イルメナイト(Imenite:FeO・TiO₂)の境界付近にありイルメナイトやウルボスピネル等の高TiO₂鉱物が晶出すると想定される。顕微鏡組織は完全には一致しないが高TiO₂鉱物のウルボスピネルが主体に観察される。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の生成位置等を検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製錬滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、本試料は高TiO₂砂鉄を始発原料とする製錬工程で生成した鉄の凝集が十分でない含鉄製錬滓と推察される。

試料番号FBAM09.002 鉄塊系遺物、**着磁度**: 5、**メタル反応**: 16mmより大

外観観察: 長さ81.4mm×幅58.8mm×厚さ32.0mm。試料の重量は150.2gである。不定形な鉄塊系遺物で、全体に暗褐色の錆が染みている。上面は中央部が椀形滓の上面のように窪み、溶融表面であるのに対して側面、下面ともに果粒状で、小さな液滴が堆積した感がある。全体的に小さく発泡し、粗鬆である。重量感があり、図9の写真の右2/3に16mmを超えるメタル反応がある。錆化亀裂等はない。炉底付近の滓にメタル粒が沈降したように見える。

切断面・マクロ組織: 切断面写真、20倍のマクロ写真を図10に示す。メタル中には気泡も多数観察されるが、試料FBAM09.001と比べてメタルの合体が相当進んでいる。メタルの結晶粒は大きく、浸炭はあまり進んでいない。

顕微鏡組織: メタルの顕微鏡組織を図12に示す。炭素濃度が低い白色のフェライト組織(C<0.02%)が観察される。混在している滓の部分にはウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)、及びイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)組織が観察されることから始発原料は砂鉄と思われる。

化学成分: 化学成分は金属鉄について行った。分析結果を表5に示した。Cは0.13%で亜共析鋼(C<0.8%)組成の範囲にある。顕微鏡組織に比べC濃度はやや高い。滓の分離が不十分で、Siが0.15%、Tiが0.10%、Alが0.048%含まれている。

以上の結果を総合すると、本試料は始発原料を砂鉄とする製錬工程で生成した炭素が0.13%の鉄塊を含むの鉄塊系遺物である。

試料番号FBAM09.003 鉄塊系遺物、**着磁度**: 6、**メタル反応**: 16mmより大

外観観察: 長さ81.7mm×幅54.1mm×厚さ41.5mm。試料の重量は242.9gである。椀形滓の中央部分の小片のような形状で厚みがあり、重量感のある含鉄滓である。暗褐色を呈し、茶褐色のサビが上面に4ヶ所染み出している。側面と下面は全て破面で上面のみがやや湾曲して窪んでいる。滓は黒

色で、上面の露出部ではキラキラと雲母状に輝く微小鉱物が観察される。破面には1mm以上の気孔から5mm大の気孔まで多数の孔が存在する。

断面・マクロ組織: 切断面写真、10倍のマクロ写真を図10に示す。試料FBAM09.001と同様に、鉄は十分に成長しておらず網目状を呈しており、金属鉄がまとまる過程の鉄を含む滓である。中央部に見える滓中にはイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)組織が観察される。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図13に示す。針状のイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)組織が圧倒的に多く、次いでウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)、及び背後に薄くファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)等が観察されている((1)1~4、(2)-1~4)。FBAM09.001と同様、砂鉄粒子の還元で生成した島状メタルも観察される((1)-1~4、(2)-3)。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)は0.25%、化合水(C.W)は0.46%と少ない。ゲーサイト(Goethite: a-FeOOH)などの錆化鉄はあまり含まれていないが滓の分析結果は鉄分と錆化鉄を補正した表4-2に基づき記述する。全鉄32.4%に対してFeOは22.4%、Fe₂O₃は21.4%、SiO₂は18.6%、Al₂O₃は4.71%で造滓成分量が31.7%である。TiO₂は23.3%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO・SiO₂・TiO₂の3成分系に換算するとFeOは51.1%、SiO₂は21.7%、TiO₂は27.2%となる。図1に示すFeO・SiO₂・TiO₂系の平衡状態図では、イルメナイトの領域にあり平衡状態図上の位置と顕微鏡観察結果は一致する図2、3は滓の成分の特徴から製鉄工程の位置づけ等を検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製錬滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、本試料は高TiO₂砂鉄を始発原料とする製錬工程で生成した鉄の凝集が十分でない含鉄製錬滓と推察される。

試料番号FBAM09.004 鉄塊系遺物、**着磁度**: 5、**メタル反応**: 12mmよりやや大

外観観察: 長さ33.1mm×幅31.2mm×厚さ15.6mm。試料の重量は230gである。大きな液滴が垂下固結したような形状の鉄塊で、全体が暗褐色で小形の割に重量感がある。表面は全体に1~2mm大の果粒状である。

断面・マクロ組織: 切断面写真、10倍のマクロ写

真を図10に示す。錆化は表層で止まり、金属鉄は良好な状態にある。鉄塊は十分に成長し、白色のセメントイト(炭化鉄, Cementite: Fe₃C)組織と灰黒色のパーライト組織(フェライトとセメントイトが層状構造をなす組織、参考のFe-C状態図を参照)が観察される。

顕微鏡組織: メタルの顕微鏡組織を図12に示す。白色のセメントイト(炭化鉄, Cementite: Fe₃C)組織と灰黒色のパーライト組織からなる過共析組織が観察される。

化学成分: 化学成分は金属鉄について行った。分析結果を表5に示した。Cは1.62%で過共析組成の範囲にある。滓が少量混じり、Siが0.32%、Tiが0.15%、Alが0.19%含まれている。

以上の結果を総合すると、本試料は炭素が1.62%の過共析組成の鉄塊系遺物と思われる。出土状況から砂鉄製錬時の生成物と想定されるが断定は出来ない。

試料番号FBAM09.005 鉄塊系遺物,

着磁度: 6, メタル反応: 16mmより大

外観観察: 長さ37.4mm×幅33.0mm×厚さ32.0mm。

試料の重量は58.6gである。上面がおにぎり型の鉄塊で、酸化土砂が薄く付着している。側面3方は破面で、中間部に気泡が集中している。下面側には小さな木炭が付着し、木炭痕も観察される。上側半分は滓が多く観察される。メタルの遺存は良好で16mmを超えるメタル反応があり、着磁度は6を示す。

切断面・マクロ組織: 切断面写真、20倍のマクロ写真を図11に示す。メタルの遺存は良好な状態にある。鉄塊は十分に成長し、白色のフェライト組織の結晶粒界に灰黒色のパーライトが析出している組織が観察される。

顕微鏡組織: メタルの顕微鏡組織を図12に示す。白色のフェライト組織の結晶粒界に灰黒色のパーライトが析出している組織が観察される。混在している滓の部分(3)にはウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO·TiO₂)、イルメナイト(Ilmenite: FeO·TiO₂)組織が観察されることから始発原料は砂鉄と思われる。

化学成分: 分析結果を表5に示した。Cは0.14%で亜共析組成の範囲にある。

以上の結果を総合すると、本試料は砂鉄を始発

原料とする、炭素が0.14%の亜共析組成の製錬工程で生成した鉄塊系遺物と思われる。

試料番号FBAM09.006 炉底滓, 着磁度: 4,

メタル反応: 8mmよりやや大

外観観察: 長さ305mm×幅234mm×厚さ178mm。試料の重量は7025.0gである。肉厚の羽口が張り付いた炉底滓である。熱間状態で炉底滓上に羽口が置かれたものと思われる。最終操業の滓であろう。上面は激しい凹凸があり、羽口の吸気側が見られる部分には炉底の白色の石英粒を多量に含む粘土が見られ、その下に黒色の滓がもぐり込んでいる。下部には炉底の粒状石英や長石類が多量に付着している。また、茶褐色に錆化したメタル粒が多数観察される。滓は良好に溶融している。羽口の先端側は滓化溶融し、錆たメタル粒が無数に見られる。吸気側は良好な円形に成形されている。外径は125mm、内径は30~35mmと肉厚で粒状鉱物は少ない。メタル粒の付着により各所にメタル反応があり、最大は8mmをやや超えるこの部分で着磁度は4である。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図13に示す。龍骨状のイルメナイト(Ilmenite: FeO·TiO₂)組織と骸骨状ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO·TiO₂)組織がほぼ同程度観察され、背後には薄くファイヤライト(Fayalite: 2FeO·SiO₂)組織も観察されている(1)。ウルボスピネル組織ではかなり微細なものも観察されている(2×400)。

X線回折: 結果を表8と図6回折チャート1に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO·TiO₂)の回折線が最強度、次いでイルメナイト(Ilmenite: FeO·TiO₂)の回折線とファイヤライト(Fayalite: 2FeO·SiO₂)の回折線が中強度に認められる。顕微鏡組織と一致する。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)は0.33%、化合物(C.W)は0.12%と少なく、ゲーサイト(Goettite: α-FeOOH)などの錆化鉄はあまり含まれていない。表4-2に基づき記述する。全鉄31.1%に対してFeOは20.7%、Fe₂O₃は21.4%、SiO₂は27.4%、Al₂O₃は5.99%で造滓成分量が42.4%である。TiO₂は16.6%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO_n-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeO_nは48.9%、SiO₂は31.8%、TiO₂は19.2%となる。108頁の図1に示すFeO_n-SiO₂-TiO₂系の平衡状態図

ではイルメナイトとウルボスピネルの境界に近いクリストバライトの位置にある。クリストバライトが初晶として晶出することはなく、ウルボスピネル、イルメナイトが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではウルボスピネルとイルメナイトが主体の組織が検出されており、平衡状態図の解析結果と一致する。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製錬滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、製錬工程の炉底滓と思われる。

試料番号FBAM09.007 炉底滓, **着磁度**: 0~1, **メタル反応**: なし

外観観察: 長さ382mm×幅256mm×厚さ114mm。試料の重量は1239.25gである。長辺側の端部がおおよそ半分に割れた炉底滓である。上面は送風により滓が波立凝固している。長石粒や石英が表面に噛み込んでいる。木炭痕は少なく、3ヶ所のみである。破面でもと均質であるが気孔が多量にあり、粗粒な滓である。下面側はゆるやかに湾曲し、白色の鉱物粒が多量に付着し、下面右側には木炭痕が多量観察される。メタル粒や錆化メタルは検出されない。メタル反応はなく、上面側には着磁はなく、下面側は1以下の弱い着磁がある。端部の割欠部を調査する。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図13に示す。試料全体がウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)組織で覆われており、小さなウルボスピネル組織(1)とやや大きいウルボスピネル(2)が観察されている。背後には薄くファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)組織も観察される。

X線回折: 結果を表8と図6回折チャート2に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)の回折線が最強度。次いでファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)の回折線が弱強度に、僅かながらシリカ(Quartz: SiO₂)の回折線も認められる。顕微鏡観察と基本的に一致している。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)は0.18%, 化合水(C.W)は0.23%と少なく、ゲーサイト(Goetite: α-FeOOH)などの錆化鉄はあまり含まれていない。表4-2に基づき記述する。全鉄37.8%に対してFeOは36.5%, Fe₂O₃は13.5%,

SiO₂は18.9%, Al₂O₃は4.63%で滓成分量が30.4%である。TiO₂は18.8%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO・SiO₂・TiO₂の3成分系に換算するとFeOは57.1%, SiO₂は21.5%, TiO₂は21.4%となる。108頁の図1に示すFeO-SiO₂-TiO₂系の平衡状態図では、ウルボスピネルの領域にあり平衡状態図上の位置は顕微鏡観察やX線回折結果と一致する。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製錬滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、本試料は高TiO₂砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉底滓と思われる。

試料番号FBAM09.008 炉底滓, **着磁度**: 0~6, **メタル反応**: 16mmより大

外観観察: 長さ131.5mm×幅107.2mm×厚さ102.4mm。試料の重量は1249.4gである。大きなメタルを含む含鉄炉底滓である。上面は激しくしわが寄り、木炭痕も認められ、1~2mm前後の白色の長石粒や石英粒が多く噛み込んでいる。錆が染みている写真裏側の左には炉底胎土が付着している。側面の3方向は破面で、黒色の滓である。気孔の量は位置により異なる。図9写真左上には16mmを超えるメタル反応がある。この部分で着磁度は6を示すが、滓部分には着磁はない。下面中央はおこし状に激しく発泡し、黒錆色を呈する。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図13に示す。主要な組織はウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)で、背後のファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)組織には僅かながらイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)組織も観察されている(1、2)。砂鉄粒子の裏跡や砂鉄から生成した小粒のメタルも観察される(3、4)。

X線回折: 結果を表8と図7回折チャート3に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)の回折線が最強度。次いでファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)の回折線が高強度に、僅かながらイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)の回折線も認められる。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)は0.01%, 化合水(C.W)は0.12%と少なく、ゲーサイト(Goetite: α-FeOOH)などの錆化鉄はあまり含まれていない。表4-2に基づき記述する。全鉄31.1%に対してFeOは24.6%, Fe₂O₃は17.1%,

SiO₂は31.1%, Al₂O₃は5.93%で造滓成分量が46.3%である。TiO₂は12.5%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO・SiO₂・TiO₂の3成分系に換算するとFeOは48.9%, SiO₂は36.4%, TiO₂は14.6%となる。108頁の図1に示すFeO・SiO₂・TiO₂系の平衡状態図ではウルボスピネルの境界に近いクリストバライトの位置にある。クリストバライトが初晶として晶出することなく、ウルボスピネルが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではウルボスピネルが主体の組織が検出されており、平衡状態図の解析結果と一致する。図2, 3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、製錬滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、本試料は砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉底滓と思われる。

試料番号FBAM09.009 炉底滓, **着磁度**: なし,

メタル反応: なし

外観観察: 長さ280mm×幅120mm×厚さ120mm。試料の重量は2359.6gである。炉底側コーナー部の炉底滓である。背面には炉底粘土が張り付いている。図9に示した写真左には数cm大の木炭の差込痕が多数あり、この部分では鋭い凹凸がある。他の部分では大小の粒状物が堆積した状態である。破面で見ると滓のみの部分は少なく、黒色のガラス質の中に長石や石英などの粒状鉱物が未溶融で巻き込まれている。張り付いている炉底粘土は黒色砂鉄で、石英粒が多量に含まれている。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図13に示す。試料の大部分はイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)組織、ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)組織、及びファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)組織で構成されており、メタル粒や砂鉄の痕跡等も観察される(1, 2)。胎土が溶けてガラス化している様子(3)や鉱物粒子(4)等も散見される。

X線回折: 結果を表6と図7の回折チャート4に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)の回折線が最強度、次いでイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)の回折線、ファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)の回折線、シリカ(Quartz: SiO₂)の回折線が弱強度に認められる。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)は0.59%, 化合物(C.W)は0.34%と少ない。表4-2に基づき記述する。全鉄28.3%に対してFeO

は21.9%, Fe₂O₃は16.1%, SiO₂は27.6%, Al₂O₃は6.79%で造滓成分量が42.2%である。TiO₂は19.7%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO・SiO₂・TiO₂の3成分系に換算するとFeOは44.6%, SiO₂は32.4%, TiO₂は23.1%となる。図1に示すFeO・SiO₂・TiO₂系平衡状態図ではウルボスピネルとイルメナイトの境界に近いクリストバライトの領域にある。クリストバライトが初晶として晶出することなく、ウルボスピネルが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではウルボスピネルが最も多く、イルメナイトも検出されており、平衡状態図の解析結果とはほぼ一致する。図2, 3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、製錬滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、本試料は高TiO₂砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉底滓と思われる。

試料番号FBAM09.010 炉内滓, **着磁度**: 2~3,

メタル反応: 3mm大

外観観察: 長さ829mm×幅566mm×厚さ45.2mm。

試料の重量は187.9gである。全体に錆の暗褐色を呈する炉内滓である。上面の半分は薄皮状に溶融しており、半分はこの薄皮がはがれている。断面の3方向は破面で、板状や棒状の物が噛み込んだ痕跡がある。中央付近には3mm大のメタル反応がある。下面は荒れており、木炭痕もみられる。滓は黒色で小さな気孔を多く含んでいる。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図14に示す。

試料の大部分はイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)組織、ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)組織、及びファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)組織で構成され、メタル粒が点在し(1, 2)、砂鉄粒子の痕跡も散見される(2, 3)。

X線回折: 結果を表6と図7の回折チャート5に示す。イルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)の回折線が最強度、ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)の回折線が中強度に、次いでファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)とゲーサイト(Goethite: α-FeOOH)の弱い回折線が認められる。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)が3.63%と多く含まれている。化合物(C.W)も2.07%と多く含まれておりゲーサイト(Goethite: α-FeOOH)などの錆化鉄が多く含まれる。滓の分析結果は鉄分と錆化鉄を補正した表4-2に基づき

記述する。全鉄17.9%に対してFeOは11.0%、Fe₂O₃は13.5%、SiO₂は30.0%、Al₂O₃は5.36%で造滓成分量が48.9%である。TiO₂は24.2%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeOは31.1%、SiO₂は38.2%、TiO₂は30.8%となる。図1に示すFeO-SiO₂-TiO₂系平衡状態図ではイルメナイトの境界に近いクリストバライトの領域にある。クリストバライトが初晶として晶出することなく、イルメナイトが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではイルメナイトが最も多く検出されており、平衡状態図の解析結果と一致する。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製錬滓の位置にある。

以上の結果から、本試料は高TiO₂を砂鉄始発原料とする製錬工程で生成した炉内滓と思われる。

試料番号FBAM09011 炉内滓、**着磁度**: 5~6、**メタル反応**: 8~10mm大

外観観察: 長さ73.8mm×幅70.4mm×厚さ34.3mm。

試料の重量は154.7gである。滓が染みた暗褐色の不定形な滓で、一部茶褐色を呈する。比較的大きな気孔や空隙が多く、大きな木炭灰や木炭が深く侵入した痕が観察される。炉底近くに生成したと思われる。滓そのものは黒色である。図9の写真右上部に8~10mm大の比較強いメタル反応があり、重量感はこのためであろう。着磁は強く5~6を示す。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図14に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO·TiO₂)が主体の滓で(3)、イルメナイト(Ilmenite: FeO·TiO₂)、ファイヤライト(Fayalite: 2FeO·SiO₂)、ゲーサイト(Goethite: α-FeOOH)、メタル粒や砂鉄の痕跡等も観察される(1、2)。

X線回折: 結果を表6と図7回折チャート6に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO·TiO₂)の回折線が最強度に、次いでイルメナイト(Ilmenite: FeO·TiO₂)回折線が中強度に、ゲーサイト(Goethite: α-FeOOH)の回折線が弱強度に認められ、僅かながらファイヤライト(Fayalite: 2FeO·SiO₂)の回折線も認められる。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)が4.42%と多く含まれている。化合水(C.W)も2.70%と多く含まれておりゲーサイト(Goethite:

α-FeOOH)などの酸化鉄が多く含まれる。このため滓の分析結果は鉄分と酸化鉄を補正した表4-2に基づき記述する。全鉄26.9%に対してFeOは15.2%、Fe₂O₃は21.5%、SiO₂は19.6%、Al₂O₃は5.18%で造滓成分量が33.8%である。TiO₂は26.3%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeOは44.5%、SiO₂は23.7%、TiO₂は31.8%となる。図1に示すFeO-SiO₂-TiO₂系平衡状態図ではシュードブルッカイトとイルメナイトの境界に近いクリストバライトの領域にある。クリストバライトが初晶として晶出することなく、シュードブルッカイトとイルメナイトが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではウルボスピネルが主体に検出されており、平衡状態図の解析結果と一致しない。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製錬滓の位置にある。

以上の結果から、本試料は高TiO₂を砂鉄始発原料とする製錬工程で生成した炉内滓と思われる。

試料番号FBAM09012 炉内滓、**着磁度**: 0~4、**メタル反応**: 8mm大

外観観察: 長さ148.6mm×幅114.2mm×厚さ74.6mm。

試料の重量は909.8gである。外観写真を図9に示す。炉底排滓孔付近に生成したと思われる滓で、図9写真上部はカマボコを上下に反転したような溝のような形状を残している。全体に暗褐色で、上面の一部は溶融面である。下面側には小さな木炭灰が多数認められ、白色の長石粒も噛み込んでいる。滓そのものは黒灰色で気孔が多い。部分的には溶融が十分ではなく、鍛治滓のように黒サビ気味に発泡している部分もある。写真上部破面の左下部には8mm大のメタル反応があり、写真左斜め中央には6mm大のメタル反応がある。メタル反応の割に着磁度は小さく4を示し、その他の部分では着磁はない。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図14に示す。試料の大部分はウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO·TiO₂)組織、イルメナイト(Ilmenite: FeO·TiO₂)組織、及びファイヤライト(Fayalite: 2FeO·SiO₂)組織で構成され(1、2、3)、メタル粒や砂鉄の痕跡等も観察される(2)。

X線回折: 結果を表6と図8回折チャート7に示す。ウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO·TiO₂)と

イルメナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の回折線が最強度に、次いでファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) の回折線が中強度に認められる。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄 (M.Fe) は0.32%、化合水 (C.W) は0.42%と少なく、ゲーサイト (Goethite: $\alpha\text{-FeOOH}$) などの錆化鉄はあまり含まれていない。表4-2に基づき記述する。全鉄30.8%に対してFeOは23.6%、 Fe_2O_3 は17.9%、 SiO_2 は26.3%、 Al_2O_3 は5.18%で造滓成分量が40.4%である。 TiO_2 は17.9%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeOn-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeOnは48.4%、 SiO_2 は30.7%、 TiO_2 は20.9%となる。108頁の図1に示すFeOn-SiO₂-TiO₂系平衡状態図ではイルメナイトの境界に近いクリストバライトの領域にある。クリストバライトが初晶として晶出することなく、イルメナイトが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではイルメナイトとウルボスピネルが多く検出されており、平衡状態図の解析結果と一致する。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製錬滓の位置にある。

以上の結果から、本試料は高TiO₂を砂鉄始発原料とする製錬工程で生成した炉内滓と思われる。

試料番号FBAM09.013 **炉内滓**、**着磁度:** 4、**メタル反応:** 3mm大

外觀観察: 長さ49.3mm×幅27.4mm×厚さ20.1mm。

試料の重量は28.4gである。茶褐色の酸化土砂が付着した不整形なまゆ形の炉内滓である。図9写真下部中央には3~8mm大の木炭が噛み込んでいる。写真の上端突き出し部分には錆び影れの剝離痕が認められ、この部分で3mm大のメタル反応があり、着磁度は4を示す。その他の部分では、着磁度は1である。滓は黒色で小さな気孔が多い。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図14に示す。全体的に風化しているように見えるが、試料の大部分はウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) 組織(1、2)で構成され、イルメナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) 組織、及びファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) 組織も観察される(3)。

X線回折: 結果を表6と図8回折チャート8に示す。ウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の回折線が最強度、イルメナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)

とシリカ (Quartz: SiO_2) の回折線が中強度に、次いでゲーサイト (Goethite: $\alpha\text{-FeOOH}$) の回折線が弱強度に、僅かながらファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) の回折線も認められる。

化学成分: 滓の分析結果を108頁の表4-1に示した。金属鉄 (M.Fe) が0.11%と少ないが、化合水 (C.W) は3.58%と多く含まれており、ゲーサイト (Goethite: $\alpha\text{-FeOOH}$) などの錆化鉄が多く含まれる。このため滓の分析結果は鉄分と錆化鉄を補正した表4-2に基づき記述する。全鉄25.5%に対してFeOは20.9%、 Fe_2O_3 は13.2%、 SiO_2 は29.6%、 Al_2O_3 は6.85%で造滓成分量が44.2%である。 TiO_2 は17.4%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeOn-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeOnは42.1%、 SiO_2 は36.5%、 TiO_2 は21.4%となる。図1に示すFeOn-SiO₂-TiO₂系平衡状態図ではイルメナイトの境界に近いクリストバライトの領域にある。クリストバライトが初晶として晶出することなく、イルメナイト、ウルボスピネルが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではイルメナイトとウルボスピネルが多く検出されており、平衡状態図の解析結果と一致する。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、製錬滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、本試料は砂鉄を始発原料とする製錬工程で生成した炉内滓と思われる。

試料番号FBAM09.014 **流出滓**、**着磁度:** 0~1、**メタル反応:** なし

外觀観察: 長さ87.1mm×幅69.0mm×厚さ66.4mm。試料の重量は434.8gである。典型的な厚みのある流出滓で、上に小さな流動が2条乗っている。側面は全て破面で4を数える。滓は黒色でよく溶融しているが、大小の気孔や空洞が観察される。鉄錆部分が3ヶ所あり、メタル反応はないが1の弱い着磁がある。小さなメタルが錆化したものであろう。

顕微鏡組織: 滓の顕微鏡組織写真を図14に示す。ほぼ全面が骸晶状のウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) 組織で構成されているが、1は少し大きい目で2は小さい目である。

X線回折: 結果を表6と図8回折チャート9に示す。ウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の回折線が最強度に、次いでイルメナイト (Ilmenite:

FeO・TiO₂)とファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)の回折線が弱強度に、シリカ(Quartz: SiO₂)の弱い回折線も認められる。

化学成分: 滓の分析結果を表4に示した。金属鉄(MFe)は0.12%、化合水(C.W)は0.12%と少ない。表2-2に基づき記述する。全鉄32.6%に対してFeOは22.0%、Fe₂O₃は22.2%、SiO₂は24.1%、Al₂O₃は5.32%で造滓成分量が38.0%である。TiO₂は18.5%であり始発原料は砂鉄と判断される。FeO_n-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeOnは50.9%、SiO₂は27.8%、TiO₂は21.3%となる。図1に示すFeO_n-SiO₂-TiO₂系平衡状態図では、ウルボスピネルとイルメナイトの境界領域付近にあり、顕微鏡観察やX線回折結果と一致する。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、高TiO₂砂鉄の製鉄滓の位置にある。

以上の結果を総合し、高TiO₂を砂鉄始発原料とする製鉄工程で生成した流出滓と思われる。

試料番号FBAM09.015 流出滓、**着磁度:** なし、**メタル反応:** なし

外観観察: 長さ225mm×幅130mm×厚さ150mm。試料の重量は5138.41gである。厚さ約15cmの厚い流出滓で上面には長さ10~25mmの流動単位が認められるが、内部は流動痕跡が消えている。良好な流動であったと思われる。側面は全て破面で、大きな気孔が多く見られる。下面には炉底と同じ粒状の石英、長石類を多量に含んだ砂質粘土が付着している。また1~2cm大の木炭痕も多く観察される。**顕微鏡組織:** 滓の顕微鏡組織写真を図14に示す。試料の大部分はウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)組織とイルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)組織で構成され、背後にはファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)組織も観察される(1、2)。

X線回折: 結果を表6と図8回折チャート10に示す。イルメナイト(Ilmenite: FeO・TiO₂)の回折線が最強度に、次いでウルボスピネル(Ulvospinel: 2FeO・TiO₂)とファイヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO₂)の回折線が中強度に認められる。

化学成分: 滓の分析結果を表4-1に示した。金属鉄(MFe)は0.01%、化合水(C.W)は0.13%と少なく、ゲーサイト(Goetite: α-FeOOH)などの錆化鉄はあまり含まれていないが表4-2に基づき記述する。全鉄29.3%に対してFeOは17.5%、Fe₂O₃は

22.5%、SiO₂は27.3%、Al₂O₃は5.68%で造滓成分量が42.1%である。TiO₂は19.0%であり始発原料は砂鉄と判断される。

FeO_n-SiO₂-TiO₂の3成分系に換算するとFeOnは46.4%、SiO₂は31.6%、TiO₂は22.0%となる。図1に示すFeO_n-SiO₂-TiO₂系平衡状態図ではイルメナイトの境界に近いクリストバライト領域にある。クリストバライトが初晶として晶出することはなく、イルメナイトとウルボスピネルが主体の鉱物組織になると想定される。顕微鏡観察やX線回折結果ではイルメナイトとウルボスピネルが多く検出されており、平衡状態図の解析結果と一致する。図2、3は滓の成分的特徴から製鉄工程の位置づけを検討する図であるが、製鉄滓の位置にある。

以上の結果を総合すると、本試料は砂鉄を始発原料とする製鉄工程で生成した流出滓と思われる。

試料番号FBAM09.016 炉壁、**着磁度:** 0~1、**メタル反応:** なし

外観観察: 長さ114.6mm×幅108.3mm×厚さ54.5mm。試料の重量は538.0gである。不整五角形の炉壁片で、炉内側は左側の砂鉄焼結部と右下の溶融部とがある。断面方向では砂鉄焼結部や溶融部は1~3mmの厚さで3cm位まで黒変し、それより外側は赤褐色である。胎土には1~3mm程度の石英粒や長石粒が多量に混和されている。これら粒状鉱物の混和は本遺跡における炉壁や炉底胎土の特徴である。メタル反応はない。着磁度は炉内側で1、炉壁側では着磁はない。砂鉄焼結部と溶融部→胎土部を検査する。耐火度、分析試料は熱影響の少ない部分から採取する。

顕微鏡組織: 炉壁の顕微鏡組織を図15に示す。砂鉄焼結部には金属鉄が生成した元の砂鉄の形態を残したままの砂鉄、還元があまり進んでいない砂鉄粒子などが溶融した滓の素地に観察される。溶融ガラス化している部分(2-1、2-2)では未溶融の鉱粒も観察される。

化学成分: 炉壁の分析結果を表6に示す。強熱減量は0.65%、化合水(C.W)は0.32%といずれも低く、熱影響を強く受けている。SiO₂は68.0%と通常の粘土より高いが、耐火度に有利に作用するAl₂O₃は17.4%と通常の粘土並みである。軟化性を持つアルカリ土類成分(CaO+MgO)は2.11%で通常に比べてやや高く、耐火度を低下させるアルカリ成分の

Na₂O+K₂Oは5.3%とかなり高目である。軟化成分であるT.Feは4.07%と通常範囲である。以上より炉壁材料としてはやや低目の耐火度を示す成分系のように思われる。

耐火度：耐火度測定の結果を表7に示す。1120℃であり、成分系を反映して炉壁材料としてはやや低目の耐火度である。

以上から本試料は、SiO₂が68.0%、Al₂O₃が17.4%、T.Feが4.07%でアルカリ成分が高い特徴を持つ耐火度が1120℃の炉壁材料としてはやや低い耐火度の炉壁である。

試料番号FBAM09.017 **炉壁、着磁度：**なし、

メタル反応：なし

外観観察：長さ57.3mm×幅59.5mm×厚さ28.7mm。

試料の重量は86.9gである。炉内側が溶融ガラス化している羽口装着用粘土である。ガラス化部は漆黒で、未溶融の粒状物も観察される。胎土部分は淡灰褐色から淡褐色で、羽口に接した面には粒状物は観察されないが、破面で見ると少量の粒状物が見られる。特に変わった胎土ではない。萌も少量混和されている。被熱の少ない部分から試料採取する。

顕微鏡組織：炉壁の顕微鏡組織を図15に示す。通常の胎土組織で、溶融した形跡は見られない。全面がほぼ均質で粗大な鉱物粒は少なく、長石や石英粒子は大部分が0.1mm以下である。

化学成分：炉壁の分析結果を表6に示す。強熱減量は4.98%、化合水(C.W)は3.12%といずれも高く、強熱の影響は小さい。SiO₂が60.4%と通常の粘土並み、耐火度に有利に作用するAl₂O₃は24.4%と通常の粘土と比べてかなり高い方である。軟化性を持つアルカリ土類成分(CaO+MgO)は1.40%で低い。耐火度を低下させるNa₂O+K₂Oも3.51%とやや高い。軟化成分であるT.Feは3.19%とやや低い。炉壁材料として高目の耐火度を示す成分系でFBAM09.016とは別物と思われる。

耐火度：耐火度測定の結果を表7に示す。1500℃であり、成分系を反映して炉壁材料としては高目の耐火度である。

以上から本試料は、Al₂O₃が24.4%と高く、アルカリ土類成分が1.40%と低い特徴を持つ耐火度が1500℃と高い羽口装着用の粘土である。

試料番号FBAM09.018 **羽口、着磁度：**なし、

メタル反応：なし

外観観察：長さ81.7mm×幅56.2mm×厚さ41.8mm。

試料の重量は134.0gである。先端が溶融ガラス化している羽口先端の小片である。還元炎に曝されたためか、胎土は淡灰色を呈す。外面は整形されなめらかで、長手方向に装着時についたと思われる線状痕がある。内面は確認できず厚みは41.8mm以上で厚手の羽口である。胎土には多量の石英や長石粒が観察される。先端の滓が鉛直方向に付着していると仮定すると羽口の取り付け角度は下向き約30°である。被熱の少ない部分から試料採取する。

顕微鏡組織：羽口の顕微鏡組織を図15に示す。全面がほぼ均質で生地も締まって緻密に見える。粗大な鉱物粒は少なく、長石や石英粒子は大部分が0.1mm以下である。

化学成分：羽口の分析結果を表6に示す。強熱減量は0.47%、化合水(C.W)は0.81%といずれも低く、強熱の影響を受けている。SiO₂は63.9%と通常の粘土に比べると高いが、耐火度に有利に作用するAl₂O₃は20.9%で羽口としてはあまり高い方ではない。軟化性を持つアルカリ土類成分(CaO+MgO)は3.0%とやや高く、耐火度を低下させるNa₂O+K₂Oも3.47%とやや高い。軟化成分であるT.Feは5.50%とやや高い。以上から羽口としては高い耐火度が期待できない成分系で、特に胎土を厳選したようには思えない。

耐火度：耐火度測定の結果を表7に示す。耐火度は1250℃で、成分系を反映して羽口としてはやや低目である。

以上から本試料は、耐火度1250℃で、羽口材料としてはやや低目の耐火度の羽口である。

4 まとめ

(1) 遺跡の性格

煙石F遺跡から出土した鉄滓15試料は、鉄塊系遺物5試料、炉底滓4試料、炉内滓4試料、流出滓2試料と分類され、これらの鉄滓は滓の成分的特徴からいずれも製鉄炉の製錬工程において生成した鉄滓と判断された。

(2) 始発原料

本調査で得られた鉄滓15試料中の14試料から、TiO₂鉱物のウルボスピネルやイルメナイトが観察

されていることから、始発原料は砂鉄と判断された。図4、図5はTiO₂とMnO、Vの関係をT.Feで規格化し、還元過程から砂鉄の出所を検討する図であるが、煙石F遺跡から出土した鉄滓は、青井沢・草場遺跡に近いが、青井沢J・草場A遺跡とややずれた様にも見え、同質の砂鉄が使用されたか否か判断が難しい。可能性としては考えられる。

(3) 炉壁、羽口

炉壁は耐火度が1120℃でやや低めであったが羽口装着粘土は高耐火度を意図した成分系で耐火度

は1500℃あった。しかし、羽口そのものは胎土が厳選されておらず、耐火度も1250℃とあまり高くない。

(4) 鉄塊試料

鉄塊に成長していない網目状メタルが4試料で鉄塊も0.13%~1.6%Cと幅広い。

(5) 流出滓と炉底滓

炉底側壁部を通して排出されると見られる流出滓と炉底滓を比較すると図2、図3、図4に見られるように明確な差は見られない。

表1 個別試料まとめ

試料番号	遺構	層位	種別	調査結果
FBAM09.001	1号製鉄炉跡	ℓ2	鉄塊系遺物	砂鉄を始発原料とする製錬工程で生成した含鉄滓
FBAM09.002	1号廃滓場	ℓ2	鉄塊系遺物	砂鉄を始発原料とする製錬工程で生成した鉄塊系遺物
FBAM09.003	1号廃滓場	ℓ1	鉄塊系遺物	砂鉄を始発原料とする製錬工程で生成した含鉄滓
FBAM09.004	1号廃滓場	ℓ2	鉄塊系遺物	Cが1.62%の鉄塊系遺物。
FBAM09.005	1号平場北作業場	ℓ2	鉄塊系遺物	砂鉄を始発原料とする製錬工程で生成した含鉄滓。
FBAM09.006	1号製鉄炉跡	ℓ2	炉底滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉底滓
FBAM09.007	1号廃滓場	ℓ2	炉底滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉底滓
FBAM09.008	1号廃滓場	ℓ2	炉底滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉底滓
FBAM09.009	沢	ℓ5	炉底滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉底滓
FBAM09.010	1号廃滓場	ℓ1	炉内滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉内滓
FBAM09.011	1号廃滓場	ℓ2	炉内滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉内滓
FBAM09.012	1号廃滓場	ℓ2	炉内滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉内滓
FBAM09.013	1号平場北作業場	ℓ2	炉内滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の炉内滓
FBAM09.014	1号廃滓場	ℓ1	流出滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の流出滓
FBAM09.015	1号廃滓場	ℓ1	流出滓	砂鉄を始発原料とする製錬工程の流出滓
FBAM09.016	1号廃滓場	ℓ2	炉壁	耐火度 1120℃の製鉄炉の炉壁
FBAM09.017	1号廃滓場	ℓ2	炉壁 (羽口充填粘土)	耐火度 1500℃の製鉄炉の羽口装着用粘土
FBAM09.018	1号廃滓場	ℓ2	羽口	耐火度 1250℃の製鉄炉の羽口

5 参考

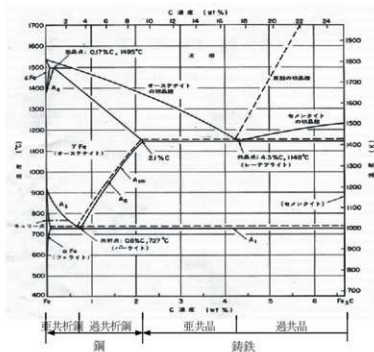
(1) 鉄滓の顕微鏡組織について

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(Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO)、二酸化ケイ素(シリカ: SiO_2)、アルミナ(Al_2O_3)および二酸化チタン(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がガラス相(非晶質)を形成することがあり、X線回折では検出されない。

表2 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	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	赤褐色～赤紫色
マグネタイト	Magnetite	Fe_3O_4	白青色、四角または多角盤状
ウスタイト	Wustite	FeO	灰白色、繡玉状または樹枝状
ファイヤライト	Fayalite	$2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$	薄い青灰色、短冊状の長い結晶
ウルボスピネル	Ulvospinel	$2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$	白色、四角～角形板状結晶
イルメナイト	Ilmenite	$\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$	白色、針状・棒状の長い結晶
シュードブルックait	Pseudobrookite	$\text{FeO}\cdot 2\text{TiO}_2$	白色、針状の結晶
ゲーサイト	Goethite	$\alpha\text{-FeOOH}$	白～黄色、リング状が多い。
石英(シリカ)	Silica	$\alpha\text{-SiO}_2$	白色～半透明

(2) 鉄-炭素系平衡状態



フェライト組織：炭素をほとんど含まないC<0.02%以下の鉄で、柔らかく白色である。
 パーライト：フェライトと鉄炭化合物であるセメントait Fe_3C が交互に層状構造を形成した組織でC濃度が高いほど Fe_3C が増え黒く見えてくる。
 Cが0.8%以下の亜共析鋼では特別な熱処理がなければフェライトとパーライトが基本的な構成組織となる。
 Cが0.8%～2.1%の範囲では過共析鋼でセメントait、パーライトが主要組織となる。
 Cが2.1%～4.3%では亜共晶鑄鉄、Cが4.3%以上では過共晶鑄鉄となる。

(3) ゼーゲルコーン溶剤温度比較

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	22	960	07a	1,280	9	1,650	29
650	21	980	06a	1,300	10	1,670	30
670	20	1,000	05a	1,320	11	1,690	31
690	19	1,020	04a	1,350	12	1,710	32
710	18	1,040	03a	1,380	13	1,730	33
730	17	1,060	02a	1,410	14	1,750	34
750	16	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		

6 図・表・写真

表3 調査試料と調査項目

試料番号	遺構	層位	種別	鉄滓化学分析								
				化学成分分析	顕微鏡組織観察	X線回折測定	耐火度測定試験	着磁力調査	金属探知器反応	外観写真	マクロ写真	
FB.AM09001	1号製鉄炉跡	# 2	鉄塊系遺物(I類)	○	○				○	○	○	○
FB.AM09002	1号廃滓場	# 2	鉄塊系遺物(II類)	○	○				○	○	○	○
FB.AM09003	1号廃滓場	# 1	鉄塊系遺物(III類)	○	○				○	○	○	○
FB.AM09004	1号廃滓場	# 2	鉄塊系遺物(I類)	○	○				○	○	○	○
FB.AM09005	1号平場北作業場	# 2	鉄塊系遺物(II類)	○	○				○	○	○	○
FB.AM09006	1号製鉄炉跡	# 2	炉底滓(I b類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09007	1号廃滓場	# 2	炉底滓(I b類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09008	1号廃滓場	# 2	炉底滓(I b類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09009	沢	# 5	炉底滓(I b類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09010	1号廃滓場	# 1	炉内滓(II類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09011	1号廃滓場	# 2	炉内滓(II類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09012	1号廃滓場	# 2	炉内滓(II類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09013	1号平場北作業場	# 2	炉内滓(II類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09014	1号廃滓場	# 1	流出滓(I a類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09015	1号廃滓場	# 1	流出滓(I a類)	○	○	○			○	○	○	○
FB.AM09016	1号廃滓場	# 2	炉壁(I類)	○	○			○	○	○	○	○
FB.AM09017	1号廃滓場	# 2	炉壁(II類)	○	○			○	○	○	○	○
FB.AM09018	1号廃滓場	# 2	羽口	○	○			○	○	○	○	○

編者注: 種別の()内の分類は編者が書き入れた。

表 4 鉄渣の化学成分分析結果 (%)

4 - 1 (補正前)

試料番号	T. Fe	M. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	比率 (%)	TiO ₂	MnO	V	C.W	C	Zr	FeO _x	Cu	TiO ₂ /T.Fe	MnO/TiO ₂	渣滓成分%	
FBA090001	28.6	4.43	16.1	31.0	14.9	2.79	1.89	4.35	0.48	0.26	34.2	65.8	19.7	0.67	0.21	2.12	0.23	0.049	0.277	0.006	0.51	0.024	24.7
FBA090003	34.0	0.25	21.3	24.6	17.7	4.48	2.33	4.61	0.67	0.37	46.4	53.6	22.2	0.71	0.54	0.46	0.05	0.041	0.217	0.006	0.653	0.032	30.2
FBA090006	31.7	0.33	20.4	22.2	27.0	5.9	2.78	4.45	1.03	0.63	47.0	52.1	16.3	0.71	0.15	0.12	0.01	0.063	0.270	0.005	0.514	0.044	41.8
FBA090007	36.5	0.18	35.6	15.2	18.4	4.52	2.12	3.50	0.72	0.38	70.0	30.0	18.3	0.71	0.20	0.23	0.03	0.065	0.217	0.005	0.475	0.039	29.6
FBA090008	31.5	0.01	24.3	18.0	30.7	5.86	3.09	4.39	1.11	0.63	57.4	42.6	12.3	0.75	0.04	0.12	0.01	0.059	0.331	0.004	0.39	0.061	45.8
FBA090009	29.9	0.59	21.0	18.6	26.5	6.52	1.98	3.76	1.11	0.68	53.1	46.9	18.9	0.61	0.30	0.34	0.05	0.096	0.180	0.005	0.632	0.032	40.6
FBA090010	30.3	3.63	8.30	28.9	22.8	4.07	2.87	6.28	0.69	0.39	22.4	77.6	18.4	0.77	0.17	2.07	0.23	0.045	0.226	0.005	0.607	0.042	37.1
FBA090011	40.1	4.42	10.5	39.3	13.5	3.57	2.29	3.21	0.48	0.25	21.1	78.9	18.1	0.71	0.30	2.70	0.42	0.053	0.198	0.005	0.451	0.029	23.3
FBA090012	32.4	0.32	22.5	20.9	25.1	4.95	2.12	5.27	0.76	0.44	51.9	48.1	17.1	0.77	0.16	0.42	0.06	0.048	0.228	0.005	0.528	0.045	38.6
FBA090013	30.1	0.11	13.5	40.7	19.1	4.42	1.01	3.09	0.59	0.35	24.9	75.1	11.2	0.41	0.25	3.58	1.09	0.021	0.210	0.006	0.286	0.027	28.6
FBA090014	33.1	0.12	21.7	23.0	23.8	5.25	2.50	4.62	0.9	0.48	48.5	51.5	18.3	0.76	0.2	0.12	0.02	0.050	0.259	0.005	0.553	0.042	37.6
FBA090015	29.8	0.01	17.3	23.4	26.9	5.61	2.82	4.80	0.48	0.48	42.5	57.5	18.7	0.83	0.13	0.13	0.02	0.062	0.275	0.004	0.628	0.044	41.6

4 - 2 (M.Fe と C.W を補正)

試料番号	T. Fe	M. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	比率 (%)	TiO ₂	MnO	V	C.W	C	Zr	FeO _x	Cu	TiO ₂ /T.Fe	MnO/TiO ₂	渣滓成分%	
FBA090001	27.8	0	21.6	15.8	20.0	3.74	2.53	5.83	0.64	0.35	57.7	42.3	26.4	0.9	0.28	0	0.31	0.07	0.37	0.008	0.948	0.034	33.1
FBA090003	32.4	0	22.4	21.4	18.6	4.71	2.45	4.84	0.70	0.39	51.1	48.9	23.3	0.75	0.57	0	0.05	0.04	0.23	0.006	0.720	0.032	31.7
FBA090006	31.1	0	20.7	21.4	27.4	5.99	2.82	4.52	1.05	0.64	49.2	50.8	16.6	0.72	0.15	0	0.01	0.06	0.27	0.005	0.533	0.044	42.4
FBA090007	27.8	0	36.5	13.5	18.9	4.03	2.17	3.59	0.74	0.39	73.0	27.0	18.8	0.73	0.21	0	0.03	0.05	0.22	0.005	0.496	0.039	30.4
FBA090008	31.1	0	24.6	17.1	31.1	5.93	3.13	4.44	1.12	0.64	58.9	41.1	12.5	0.76	0.04	0	0.01	0.06	0.34	0.004	0.40	0.061	46.3
FBA090009	28.3	0	21.9	16.1	27.6	6.79	2.06	3.91	1.16	0.71	57.5	42.5	19.7	0.64	0.31	0	0.05	0.04	0.19	0.005	0.696	0.032	42.2
FBA090010	17.9	0	11.0	13.5	30.0	5.36	3.78	8.27	0.91	0.51	44.9	55.1	24.2	1.01	0.22	0	0.30	0.06	0.30	0.007	1.350	0.042	48.9
FBA090011	25.9	0	15.2	21.5	19.6	3.18	3.32	4.66	0.70	0.36	41.5	58.5	26.3	1.03	0.29	0	0.61	0.08	0.20	0.007	0.977	0.039	33.8
FBA090012	30.8	0	23.6	17.9	26.3	5.18	2.22	5.52	0.8	0.46	56.9	43.1	17.9	0.81	0.17	0	0.06	0.05	0.24	0.005	0.581	0.045	40.4
FBA090013	25.5	0	20.9	13.2	29.6	6.85	1.56	4.79	0.91	0.54	61.3	38.7	17.4	0.64	0.39	0	1.69	0.03	0.33	0.009	0.681	0.027	44.2
FBA090014	32.6	0	22	22.2	24.1	5.32	2.53	4.68	0.91	0.49	49.7	50.3	18.5	0.77	0.20	0	0.02	0.05	0.26	0.005	0.588	0.042	38.0
FBA090015	29.3	0	17.5	22.5	27.3	5.68	2.86	4.86	0.95	0.49	43.8	56.2	19.0	0.84	0.13	0	0.02	0.06	0.28	0.004	0.646	0.044	42.1

C.W = 化水率、渣滓成分 = SiO₂ + Al₂O₃ + CaO + MgO + Na₂O + K₂O

表5 金属鉄の化学成分分析結果 (%)

試料番号	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Co	Al	V	Ti	Cs	Mg
FBAM09002	0.130	0.150	0.017	0.120	0.042	0.009	0.011	0.005	0.048	0.005	0.100	0.065	0.080
FBAM09004	1.620	0.230	0.013	0.072	0.087	0.008	0.012	0.048	0.190	0.009	0.150	0.067	0.060
FBAM09005	0.140	0.014	0.001	0.085	0.014	0.012	0.017	0.000	0.003	0.002	0.011	0.003	0.003

表6 炉壁と坩口の化学成分分析結果 (%)

試料番号	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	CW	C	強熱減量
FBAM09016	4.07	5.26	68.0	17.4	1.18	0.93	283	2.47	0.72	0.07	0.32	0.10	0.05	
FBAM09017	3.19	0.28	4.24	6.04	2.44	0.55	0.85	2.40	1.11	0.95	0.03	3.12	0.66	4.38
FBAM09018	5.50	0.36	7.45	63.9	30.9	1.29	1.73	2.40	1.07	1.00	0.12	0.81	0.11	0.47

表7 耐火度試験結果

試料番号	SK 番号	耐火度 (°C)
FBAM09016	SK2a	1120
FBAM09017	SK18	1500
FBAM09018	SK8	1250

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：ゼーゲルコロン溶解温度比較表による

表8 X線回折結果

試料番号	同定鉱物種と回折強度	鉱物記号
FBAM09006	U 最強, I 中, F 中	W(ウズスタイト Wustite : FeO), M(マグネタイト Magnetite : FeO ₃),
FBAM09007	U 最強, F 弱, Q 微	F(ファイヤライト Fayalite : FeSiO ₃), Go(グーサイト Goethite : α FeOOH),
FBAM09008	U 最強, F 強, I 微	QCb(シリカ, クリスタバライト Quartz : SiO ₂), H(ヘマタイト Hematite : FeO),
FBAM09009	U 最強, I 弱, F 弱, Q 弱	U(ウルボスピネル Ulvöspinel : 2FeO · TiO ₂), An(アノーサイト Anorthite : CaAl ₂ Si ₂ O ₈)
FBAM09010	I 最強, U 中, F 弱, Go 弱	Her(ハーシナイト Hercynite : FeO · Al ₂ O ₃), Il(イルメナイト Ilmenite : FeO · TiO ₂),
FBAM09011	U 最強, I 中, Go 弱, F 微	Ps(シュードブロッカイト Pseudobrookite : FeO · 2TiO ₂)
FBAM09012	U 最強, I 最強, F 中	
FBAM09013	U 最強, I 中, Q 中, Go 弱, F 微	
FBAM09014	U 最強, I 弱, F 弱, Q 弱	
FBAM09015	I 最強, U 中, F 中	

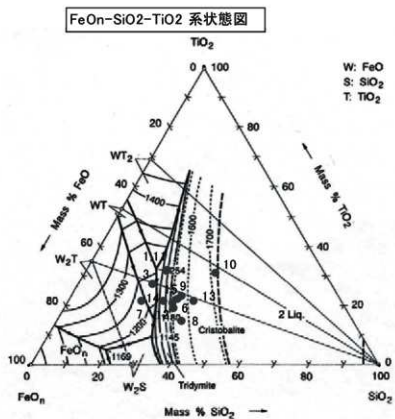


図1 FeO-SiO₂-TiO₂系鉄滓の平衡状態図

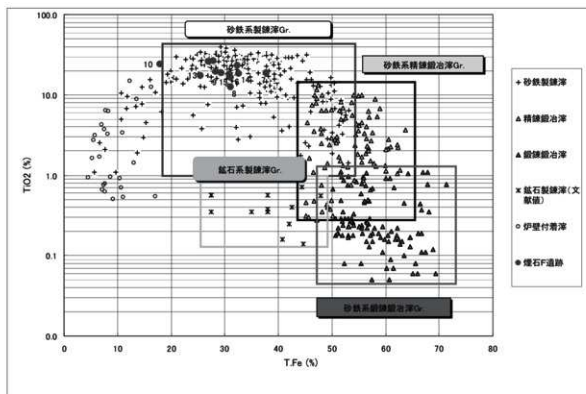


図2 出土鉄滓類の全鉄量と二酸化チタン量の分布図

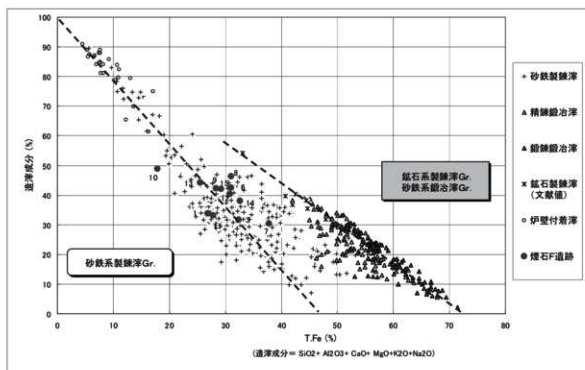


図3 製錬渣と製錬渣の分類

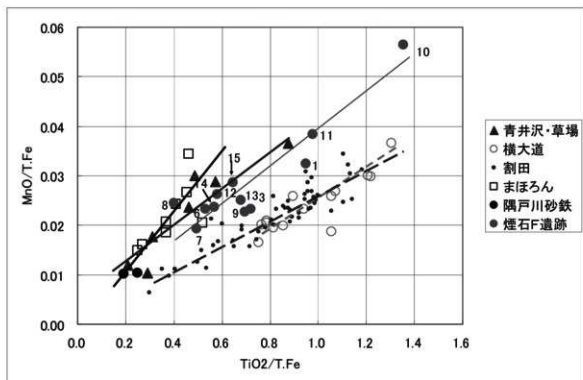


図4 出土鉄滓類の MnO と TiO_2 の変化

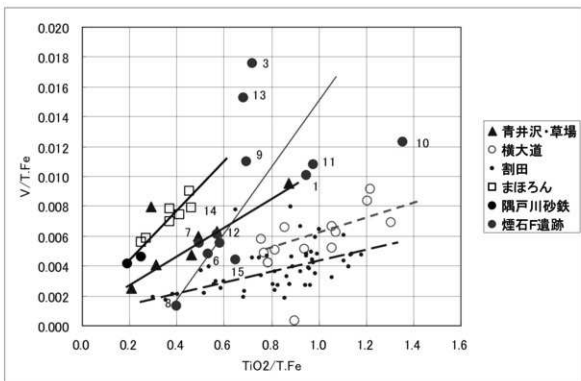


図5 出土鉄滓類のVとTiO₂の変化

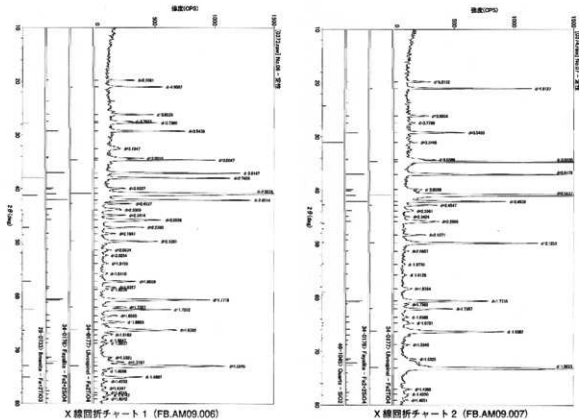
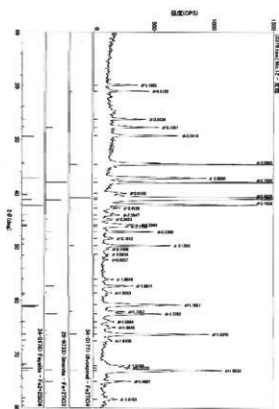
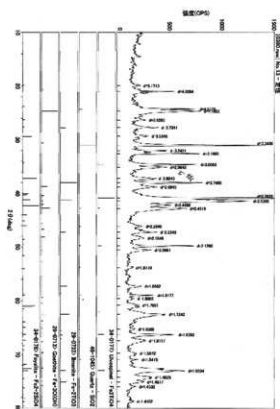


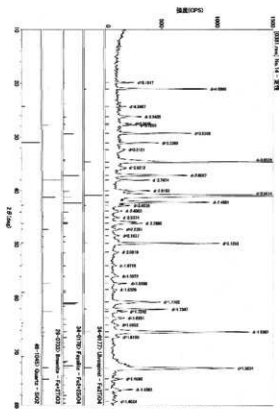
図6 X線回折チャート(1)



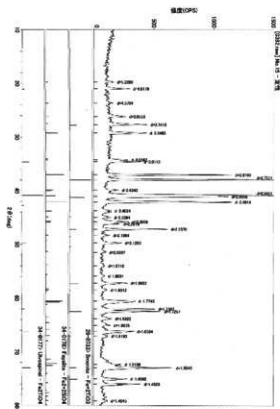
X線回折チャート 7 (FB AM09.012)



X線回折チャート 8 (FB AM09.013)



X線回折チャート 9 (FB AM09.014)



X線回折チャート 10 (FB AM09.015)

図 8 X線回折チャート (3)

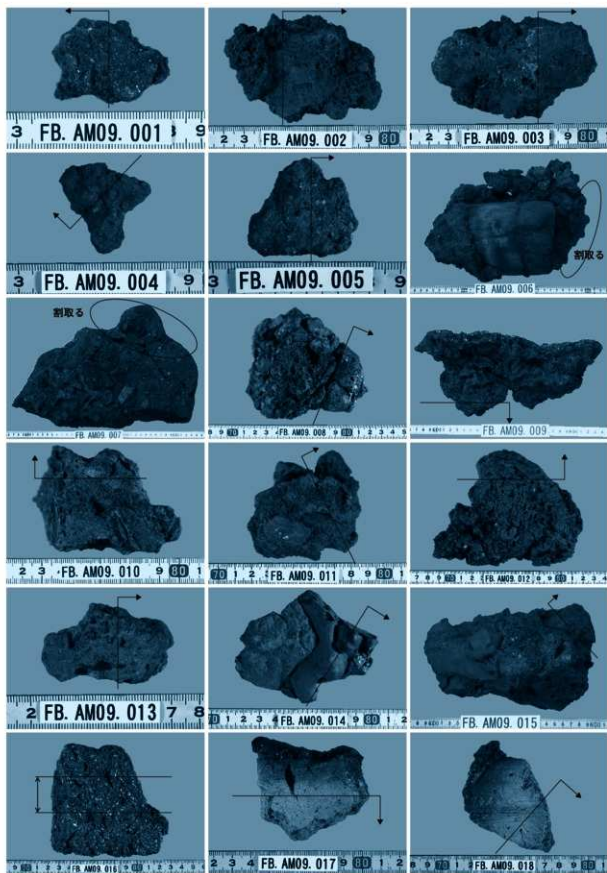


図9 試料外観・切断位置

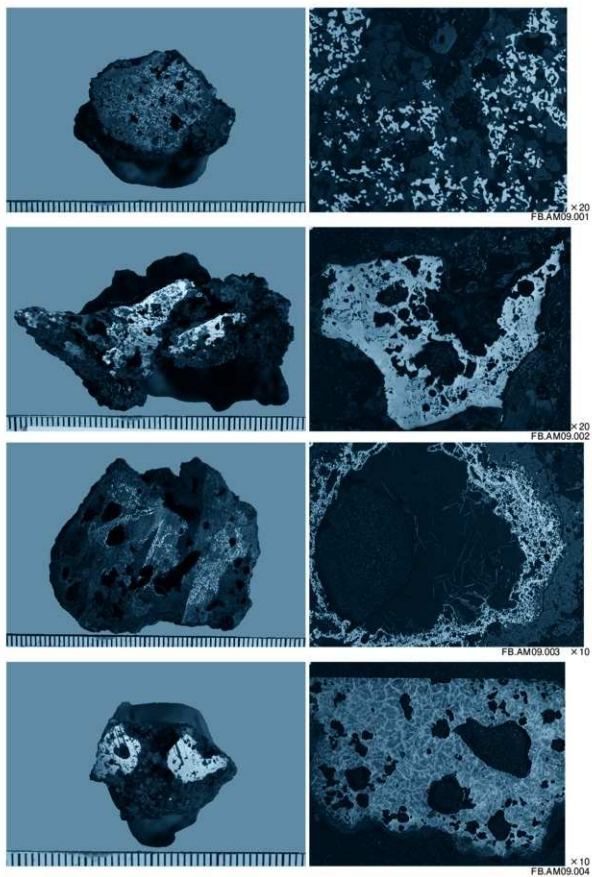


図10 鉄塊系遺物の切断面・マクロ組織写真(1)

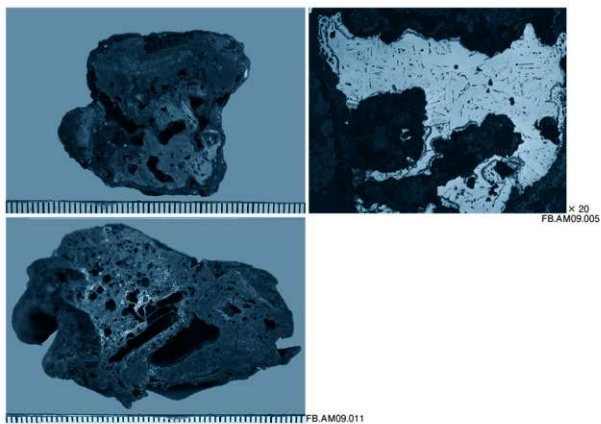


図11 鉄塊系遺物の切断面・マクロ組織写真(2)

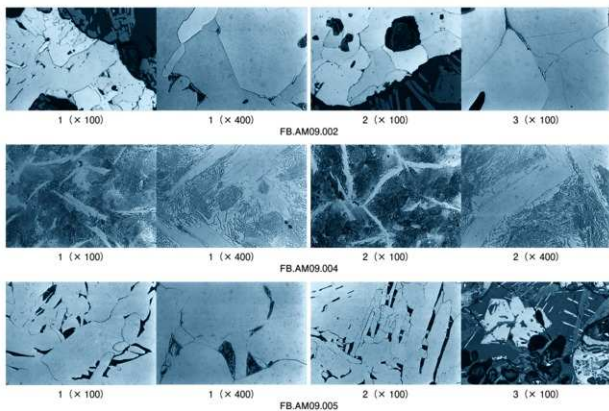


図12 鉄組織写真

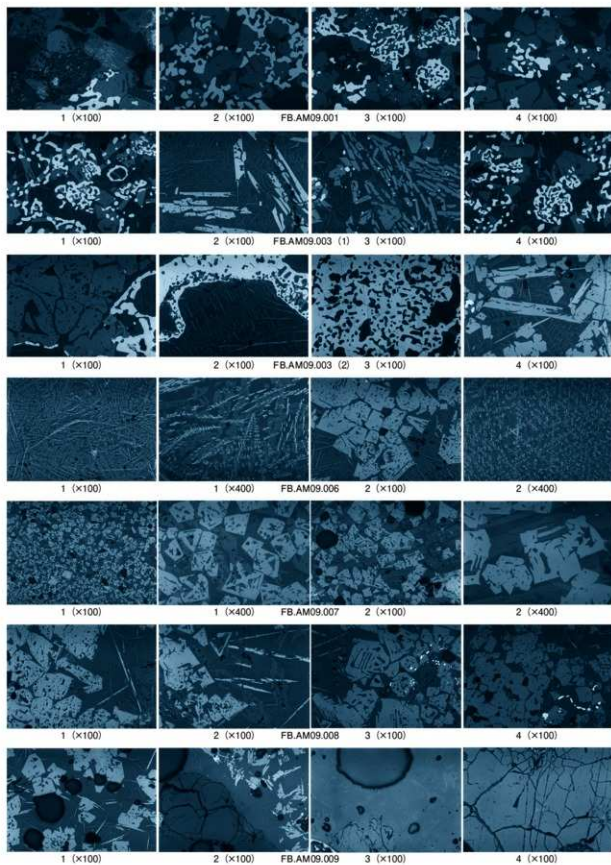


図13 滓組織写真(1)

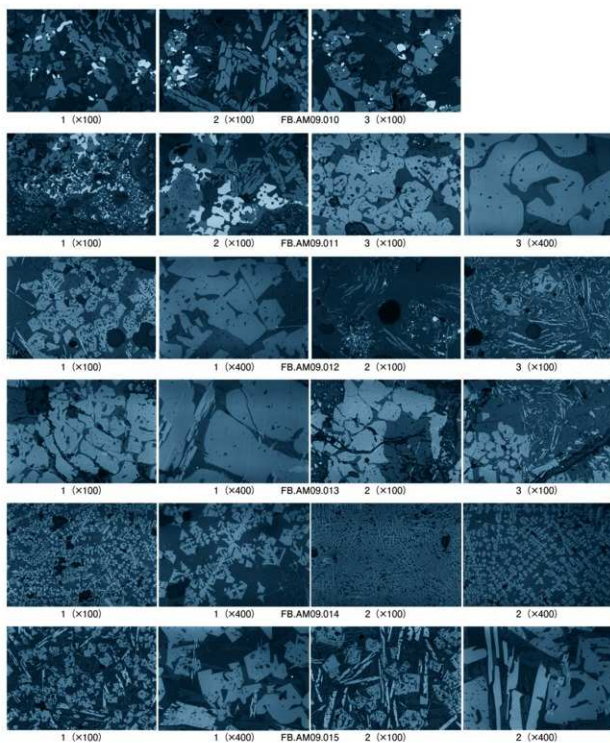


図14 淬組織写真（2）

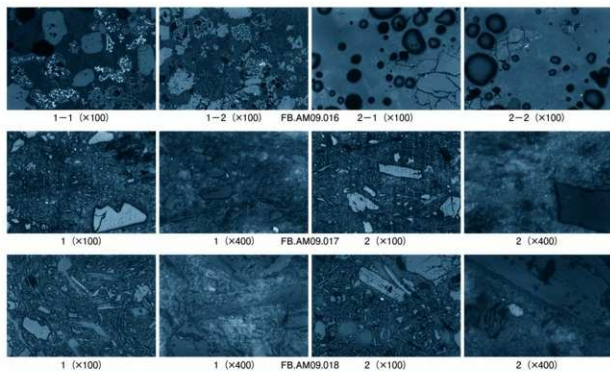


図 15 炉壁・羽口組織写真

写 真 图 版



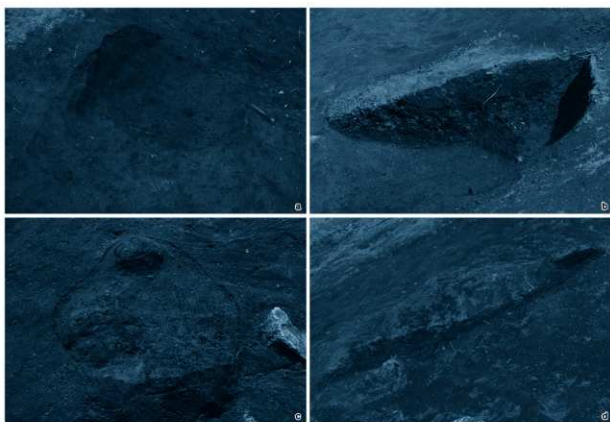
遺跡の位置(左方が北)



1 調査区全景(東から)

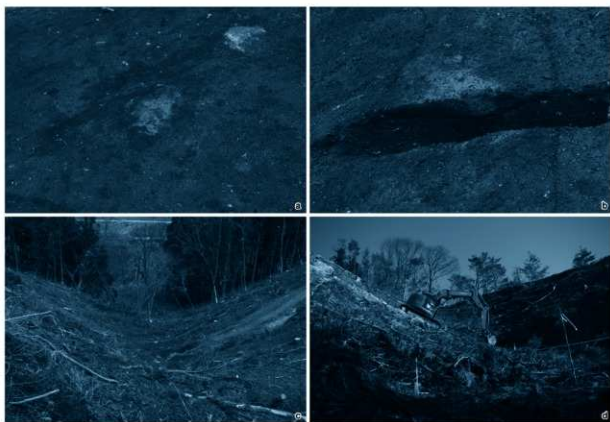


2 基本土層(北から)



3 1・2号土坑

a 1号土坑(南東から) b 1号土坑土層(北西から)
c 2号土坑検出状況(北西から) d 2号土坑土層(南西から)



4 1号焼土遺構・調査前風景

a 1号焼土遺構(南西から) b 1号焼土遺構断面(西から)
c 調査前現況(南から) d 作業風景(北から)



1 遺跡遠景(北から)



2 I区全景(北東から)



3 I区土層

a 1号平場-1号端洋場(北東から)
b 沢(北から)
c 調査区東部(北から)



4 II区全景(南から)



5 II区土層(南から)