

研

福島県文化財センター白河館

究

2008

紀

要

〔研究論考〕

- まほろん3号炉による製鉄操業—平成19年度「古代の鉄づくり」イベント報告—……………能登谷宣康
- 「鉄づくり」イベント産出鉄塊の分析調査……………JFEテクノリサーチ株式会社
- まほろん3号炉（南相馬市大船迫A遺跡15号製鉄炉の復元炉）における操業条件と鉄塊の組織観察……………佐藤健二
- 金沢地区製鉄遺跡群の製鉄炉における踏み鞆規模の変化について……………安田 稔
- 古代集落内土師器生産の新事例……………菅原祥夫
- 相馬市高松古墳出土の須恵器について……………丹治篤嘉
- 公開型遺跡データベースについて……………藤谷 誠
- 栗田式土師器杯製作技法に関する一試案—製作体験による報告—……………石本 弘
- 縄文時代の網代—弓手原A遺跡の底部圧痕土器より—……………佐藤悦夫・大波紀子

（財）福島県文化振興事業団
2009年3月27日発行



福島県文化財センター●白河館

研

究

紀

要

2008

目 次

三 研究論考三

■ まほろん 3 号炉による製鉄操業－平成 19 年度「古代の鉄づくり」イベント報告－ （能登谷宣康）	1
■ 「鉄づくり」イベント産出鉄塊の分析調査（JFE テクノリサーチ株式会社）	27
■ まほろん 3 号炉（南相馬市大船廻 A 遺跡 15 号製鉄炉の復元炉）における操業条件と鉄塊の 組織観察（佐藤健二）	65
■ 金沢地区製鉄遺跡群の製鉄炉における踏み鞆規模の変化について（安田稔）	77
■ 古代集落内土師器生産の新事例（菅原祥夫）	83
■ 相馬市高松古墳出土の須恵器について（丹治篤嘉）	91
■ 公開型遺跡データベースについて（藤谷誠）	93
■ 栗圀式土師器杯製作技法に関する一試案－製作体験による報告－（石本弘）	101
■ 縄文時代の網代－弓手原 A 遺跡の底部圧痕土器より－（佐藤悦夫・大波紀子）	107

まほろん 3 号炉による製鉄操業

ー平成 19 年度「古代の鉄づくり」イベント報告ー

主任学芸員 能登谷 宣康

1 はじめに

まほろん（福島県文化財センター白河館）では平成 15 年度から 2 年に 1 度、砂鉄から鉄を作るイベント「古代の鉄づくり」を実施している。いずれも、南相馬市原町区大船泊A遺跡より発掘調査された 15 号製鉄炉^(註1)をモデルにして炉を構築し、平成 15 年度はモデルの半分サイズの製鉄炉（まほろん 1 号炉）^(註2)、平成 17 年度は原寸大の製鉄炉（まほろん 2 号炉）^(註3)でそれぞれ低炭素鋼の鋳を生成している。

平成 19 年度も同じ炉をモデルに原寸大の製鉄炉（まほろん 3 号炉）を構築し、過去 2 回の操業では生成されなかった、当時の工人が作ったと想定される銑鉄の生成を目標として操業を行った。本稿はこのまほろん 3 号炉の操業報告である。

なお、モデルとした南相馬市原町区大船泊A遺跡 15 号製鉄炉の概略に関しては、過去 2 回の操業報告に記していることから、今回は割愛した。

2 簡易製鉄炉による製鉄実験とプレ操業

まほろん 3 号炉の本番操業に向けて、LP ガス用のボンベを利用して作った簡易製鉄炉による製鉄実験と、粘土で構築した 3 号炉と同規模の炉によるプレ操業を行った。

簡易製鉄炉は下釜・中釜・上釜・煙突の 4 段構成で、それぞれ分割可能であり、操業時には順次組み立て（積み上げ）ていくものである。それぞれの構造は、下釜は外枠の内側に採取してきた粘土を詰めて断面 V 字型の炉底部を構築し、中釜・上釜は外枠の内側に市販の耐火粘土を貼り付けて炉壁とした。煙突は鉄板を円筒形に造作した物で、内面には粘土などを貼り付けていない。また、下釜上部には左右に送風用の穴を設置して炉背部の送風装置（ブローア）からの風を炉内に送り込むようにし、炉前下部には出滓口を開けた。炉内規模は、内径 24 ～ 26 cm、下釜の深さ約 20 cm、中釜・上釜の高さはそれぞれ 35 cm、煙突の高さは 30 cm を測る。なお、この簡易製鉄炉に対して、鉄が生成されることを祈念すると共に、鐵（鉄）に親しめるように「クロガネくん」と愛称を付けた。

（1）クロガネくん 1 号炉の操業 [6 月 26 日実施] (写真 1)

炉の構築と送風 炉底部を白河市大信地区採取の粘土と南相馬市原町区採取の粘土を 2 : 1 の割合で混合した粘土で構築し、送風孔の大きさを幅 10 mm × 長さ 30 mm の楕円形とした。また、送風孔の炉内への下降角度を 12° とし、送風は送風量毎分 18 m³ のブローアで行った。(写真 1-①)

原料・燃料 原料は南相馬市採取の浜砂鉄をペレット状にして投入し (写真 1-③)、燃料は小割りした岩手県産のマツ炭を使用した。砂鉄をペレット状にした理由は、南相馬市採取の

浜砂鉄は粒子が細かく、操業時に送風によって吹き上げられることが予想されたことと、原料の降下速度を遅くし、炉底までの到達時間を遅らせることである。なお、ペレット状砂鉄は、古代米を炊き上げた後に煮詰めて作ったデンプンノリ1(重量比)に砂鉄5・藁灰0.5を混合し、ここから1個当たり50gの玉を作り、クッキー状に広げて乾燥させた後(写真1-②)、適宜小割りしたものである。

操業 詳細な記録は表1のとおりで、操業時間は8時間34分である。砂鉄は20回投入したが、1回当たりの投入量は最初の12回は0.25kgずつを基本とし、その後は0.5kgを基本として合計7.1kg投入した。木炭の1回当たりの投入量は1kgを基本とし、合計38.85kg投入した。また、操業中4回と操業後1回のノロ出しを行い、いずれも粘性が強くガラス質の鉄滓を計4.72kg回収した(写真1-④)。操業後の下釜内壁の状況は写真1-⑤のとおりであるが、炉底生成物内からズクが僅かに確認された。なお、下釜の熔融した部分及び炉底生成物を除去したところ、下釜下部に敷設した粘土は炉底生成物があった箇所が円形の青灰色を呈し、その周囲はオレンジ色を呈していた(写真1-⑥)。

結果・課題 ①炉内温度は砂鉄の反応が始まるまでは高い温度を維持しているが、ノロが形成され溜まり始めると炉内温度が下がる。②ノロの粘性が強く、ノロの液相化が遅い。③炉壁の溶出が遅い。炉壁が溶け出していない。④砂鉄中の鉄分含有量が少ない。⑤風量が足りない。

(2) クロガネくん2号炉の操業〔7月11日実施〕(写真1)

炉の構築と送風 クロガネくん1号炉の操業の結果を受けて、白河市大信地区採取の粘土と南相馬市原町区採取の粘土を1:1の割合で混合して炉底部を構築し、送風をドライヤータイプのブロアーに変えた(写真1-⑦)。

原料・燃料 砂鉄は南相馬市採取の浜砂鉄をペレット状にして投入したが、鉄分含有量が多いものとするために磁選し、藁灰の他にホタテ貝殻碎片(砂鉄の重量の1%)も混入させ、ペースト状にするためのデンプンノリの濃度も濃くした。また、燃料は銚押しでは松炭6%、雑木炭94%という記録もあることから、岩手県産の松炭に加え、栃木県産のコナラ炭も使用した。

操業 詳細な記録は表2のとおりで、操業時間は3時間46分である。砂鉄は14回投入したが、1回当たりの投入量は0.5kgで、合計7kg投入した。木炭の1回当たりの投入量は余熱段階では2kgないしは3kgを基本としたが、砂鉄投入後は適宜調整し、松炭とコナラ炭を同時に投入するようになってからは3kgないしは4kgを基本とし、合計68.7kg投入した。

結果 ①ノロの粘性が1号炉よりさらに強くなった(写真1-⑧)。②ブロアーの風量を変えても、炎の高さがほとんど変わらない。③鉄が燃える閃光が認められ、ノロ出し用の鉄棒に付着した鉄も銚で火花が散っていたが、液相化していない。④炉底の生成物を割った結果、大豆粒大の銚玉が僅かにできていた。⑤風量が強くて砂鉄が舞い上がり、炉の周辺に降り積もっていた(写真1-⑦)。

(3) クロガネくん3号炉の操業〔7月26日実施〕(写真2)

表1 クログネくん1号炉操業一覧

砂鉄(南相馬市採取浜砂鉄)					木炭(岩手県産松炭)					操業の状態・備考
回数	投入時刻	経過時間	投入量(kg)	累計	回数	投入時刻	経過時間	投入量(kg)	累計	
					1	9:18	—	1.00	1.00	スギ葉で点火。マキ・木炭(1kg)投入。
					2	9:47	0:29	1.00	2.00	ブローア1/4に絞る。
					3	10:01	0:43	1.00	3.00	10:00炉下部でマキを燃焼する。
					4	10:15	0:57	1.00	4.00	
					5	10:28	1:10	1.00	5.00	10:35ブローア1/2に開放。10:42ブローア1/4に絞る。
					6	10:47	1:29	7.00	12.00	炉内木炭で満タン
					7	11:07	1:49	1.00	13.00	11:12ブローア1/2に開放。
					8	11:16	1:58	1.00	14.00	
					9	11:28	2:10	1.00	15.00	
1	11:43	—	0.25	0.25	10	11:43	2:25	1.00	16.00	洗い砂投入。出滓口塞ぐ。
2	11:58	0:15	0.25	0.50	11	11:58	2:40	1.00	17.00	砂鉄を炉内中央に集めて投入。
3	12:12	0:29	0.25	0.75	12	12:12	2:54	1.25	18.25	
4	12:26	0:43	0.25	1.00	13	12:26	3:08	1.00	19.25	
5	12:38	0:55	0.25	1.25	14	12:38	3:20	1.00	20.25	40分間に4回1kgの砂鉄投入は入れ過ぎ。炉内温度下がる。
6	13:02	1:19	0.25	1.50	15	13:00	3:42	1.30	21.55	13:00頃砂鉄の反応はじまる。
7	13:32	1:49	0.25	1.75	16	13:32	4:14	2.00	23.55	13:23ブローア3/4に開放。
8	13:42	1:59	0.25	2.00	17	13:42	4:24	2.00	25.55	炉底がノロでタブタブしつつかある。
9	13:54	2:11	0.35	2.35	18	13:54	4:36	1.50	27.05	
10	14:11	2:28	0.35	2.70	19	14:10	4:52	1.00	28.05	炉底の木炭の下でブクブク泡ふいている。
11	14:29	2:46	0.25	2.95	20	14:28	5:10	1.00	29.05	14:30第1回ノロ出し(0.34kg)。粘性強く、ネバネバしている。14:34出滓口塞ぐ。
12	14:38	2:55	0.25	3.20	21	14:38	5:20	1.00	30.05	
13	14:51	3:08	0.40	3.60	22	14:51	5:33	1.00	31.05	14:59ブローア全開。
14	15:04	3:21	0.50	4.10	23	15:04	5:46	1.00	32.05	
15	15:15	3:32	0.50	4.60	24	15:14	5:56	1.00	33.05	
16	15:29	3:46	0.50	5.10	25	15:28	6:10	0.80	33.85	
17	15:48	4:05	0.50	5.60	26	15:48	6:30	2.00	35.85	砂鉄を炭の下に投入。15:44第2回ノロ出し(0.36kg)。粘性強変わらず。
18	16:09	4:26	0.50	6.10	27	16:09	6:51	1.00	36.85	砂鉄を炭の下に入れる。
19	16:23	4:40	0.50	6.60	28	16:23	7:05	1.00	37.85	砂鉄を炭の下に入れる。
20	16:40	4:57	0.50	7.10	29	16:40	7:22	1.00	38.85	砂鉄を炭の下に入れる。
						16:44	7:26			第3回ノロ出し(1.1kg)。ノロ内にズクあり。火花2秒ほど散る。16:49ノロ出し穴塞ぐ。
						17:04	7:46			第4回ノロ出し(1.5kg)。羽口からつついた棒に付着したノロから線香花火のような大きな火花散る。
						17:52	8:34			送風停止。18:10第5回ノロ出し(1.42kg)。炉内から強引に引きずり出したノロ。
砂鉄投入量 7.10kg					砂鉄投入後の木炭投入量 23.85kg					木炭総量－余熱木炭量(38.85－15＝23.85kg)

表2 クログネくん2号炉操業一覧

砂鉄(南相馬市採取浜砂鉄)					木炭(岩手県産松炭・栃木県産コナラ炭)							操業の状態・備考	
回数	投入時刻	経過時間	投入量(kg)	累計	回数	投入時刻	経過時間	松炭		コナラ炭			小計
								投入量(kg)	累計	投入量(kg)	累計		
					1	9:41	—	2.00	2.00			2.00	ブロー—風力1. 栓全開。
					2	9:45	0:04	3.00	5.00			5.00	出滓口開放。
					3	9:50	0:09	2.00	7.00			7.00	
					4	9:55	0:14	3.00	10.00			10.00	炉頂部まで木炭充填完了。9:59羽口若干つまり。
					5	10:03	0:22	2.00	12.00			12.00	
					6	10:18	0:37	3.00	15.00			15.00	10:12出滓口にノロ詰まり、つついて掻き出す。10:16開放。
					7	10:25	0:44	2.00	17.00			17.00	炉内木炭で満タン。
					8	10:36	0:55	3.00	20.00			20.00	10:35羽口周辺炉壁溶解。ノロ除去。
					9	10:49	1:08	2.00	22.00			22.00	
1	10:59	—	0.50	0.50	10	10:58	1:17	2.50	24.50			24.50	砂鉄が約3分で羽口前まで落下。ノリの効果抜群。ノリがない場合は3～5秒で到達。
2	11:08	0:09	0.50	1.00	11	11:08	1:27	2.00	26.50			26.50	砂鉄飛散確認。11:06出滓口塞ぐ。
3	11:20	0:21	0.50	1.50	12	11:18	1:37	2.40	28.90			28.90	
4	11:30	0:31	0.50	2.00	13	11:29	1:48	0.00	28.90	4.00	4.00	32.90	木炭をコナラ炭とマツ炭の2種に変える。
5	11:40	0:41	0.50	2.50	14	11:40	1:59	2.00	30.90	1.00	5.00	35.90	西側羽口詰まり確認。ブロー—風力2 栓全開。
6	11:49	0:50	0.50	3.00	15	11:48	2:07	2.00	32.90	1.00	6.00	38.90	ブロー—風力3 栓全開
7	12:00	1:01	0.50	3.50	16	12:00	2:19	2.00	34.90	1.00	7.00	41.90	ブロー—風力4 栓全開
8	12:10	1:11	0.50	4.00	17	12:10	2:29	2.00	36.90	1.00	8.00	44.90	羽口詰まる。12:14までブロー風力1に落とす。
9	12:22	1:23	0.50	4.50	18	12:21	2:40	2.00	38.90	1.00	9.00	47.90	12:16一段目と二段目の継ぎ目が東側赤色熱変化。12:19ブロー—風力5にする。
10	12:32	1:33	0.50	5.00	19	12:31	2:50	1.80	40.70	2.00	11.00	51.70	砂鉄の飛散著しい。
11	12:46	1:47	0.50	5.50	20	12:45	3:04	2.00	42.70	2.00	13.00	55.70	炎の高さが低くなる(0.8～1.2m。以前1.2～1.5m)。コナラ炭の影響と考えられる。
12	12:54	1:55	0.50	6.00	21	12:54	3:13	2.00	44.70	2.00	15.00	59.70	
13	13:08	2:09	0.50	6.50	22	13:07	3:26	2.00	46.70	1.00	16.00	62.70	
14	13:18	2:19	0.50	7.00	23	13:17	3:36	2.00	48.70	2.00	18.00	66.70	14:59ブロー—全開。
					24	13:27	3:46	2.00	50.70		18.00	68.70	
砂鉄投入量 7.00kg					砂鉄投入後の木炭投入量 46.70kg					木炭総量—余熱木炭量(68.7—22.0＝46.7kg)			



① クロガネくん1号炉操業前準備



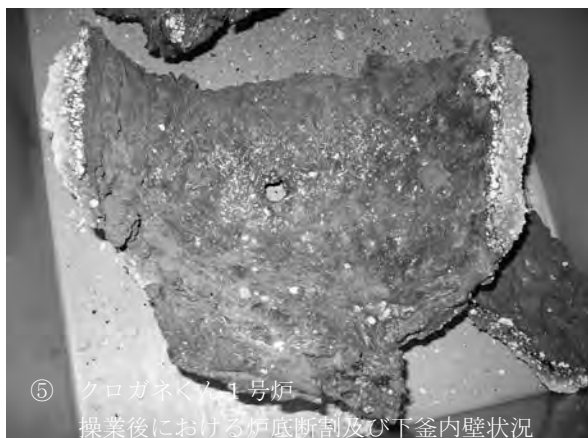
② クロガネくん1号炉乾燥中のクッキー状砂鉄



③ クロガネくん1号炉砂鉄投入



④ クロガネくん1号炉1回目ノロ出し



⑤ クロガネくん1号炉
操業後における炉底断割及び下釜内壁状況



⑥ クロガネくん1号炉炉底敷設粘土除去後の状況



⑦ クロガネくん2号炉操業の様子



⑧ クロガネくん2号炉ノロ出し

写真1 クロガネくん1・2号炉



① 炉底部構築



② 小割りする前の砂鉄せんべい



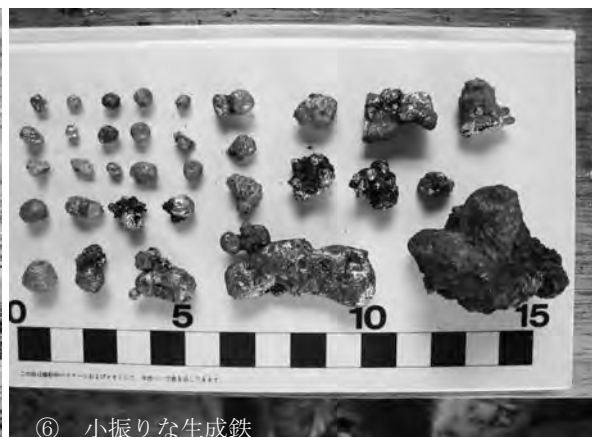
③ 操作中



④ ノロとホセ(火勢・炎)の様子



⑤ 操作後の炉底部



⑥ 小振りな生成鉄



⑦ 大振りな生成鉄



⑧ 生成鉄(左)断面

写真2 クログネくん3号炉

炉の構築と送風 クログネくん1号炉と同じ炉底粘土を採用し、白河市大信地区採取の粘土と南相馬市原町区採取の粘土を2:1の割合で混合した粘土で炉底部を構築した(写真2-①)。また、炉底はノロの溜めを作るため、船底状に窪ませた。なお、送風はクログネくん2号炉と同じドライヤータイプのブロアーとしたが、羽口径を30mmと広くした。

原料・燃料 砂鉄は炉壁粘土との相性も加味して白河市大信地区の隈戸川より採取の粗い砂鉄を採用し、ホタテ貝殻細片及び木炭粉と共にデンプンノリに混ぜ合わせた後でせんべい状に乾燥させ(写真2-②)、さらにこれを小割りして炉内に投入した。燃料の木炭は岩手県産の松炭一種とした。なお、今回の操業では平成15年に実施したまほろん1号炉の操業が最もノロが流動化していたため、このようなノロの産出を目指した。

操業 操業の詳細な記録は表3のとおりで、操業時間は3時間9分である。砂鉄は15回投入し、1回当たりの投入量は始めと終わりの5回は0.5kg、中盤の10回は1kgで、合計12.5kg投入した。木炭の1回当たりの投入量は2kgを基本とし、合計50.85kg投入した。また、ノロ出しを5回行ったが、3回目に流動性のある鉄滓が流れ、その後、出滓口からは線香花火の様な火花が飛び散っていた(写真2-④)。操業後の炉底部の状況は写真2-⑤のとおりである。

生成物 冷却後に炉底生成物を小割りしたところ、粒状のものから長さ約10cmまでの様々な大きさの鉄塊(銑)1.8kgが回収された(写真2-⑥~⑧)。

結果 ①羽口径を30mmにした結果、風量が増大し、炉内反応が早くなった。②砂鉄をノリで固めたため、降下速度が遅くなり、銑が生成された。③砂鉄と炉壁粘土の相性が非常によい。④炉底でノロをプールできるエリアがあれば、銑が流れ出るはずではないか。

(4) まほろん3号炉プレ操業〔10月11日実施〕

炉の規模 炉裾部:長さ255cm、幅90cm。炉頂部外寸:長さ240cm、幅60cm、高さ120cm。炉頂部内寸:長さ185cm、幅40cm、深さ(中央部)127cm。炉底部幅18cm。炉壁厚:炉頂部9cm、羽口直上28cm、炉底部40cm。

炉の構築 作業場内乾燥及び下灰づくり後、白河市大信地区採取の粘土と南相馬市原町区採取の粘土を2:1の割合で混合した粘土で下釜を構築し、中釜・上釜は使用する粘土に過去の操業で使用した炉壁を再利用して砕いて上記粘土に混入させて構築した。また、下釜の長辺には内径30mmの羽口を片側18本ずつ芯々間9cmで並列させ、内壁を炉内に向かって12°傾斜させて設置した(写真4-②)。それより炉内部は羽口の孔の延長で孔を穿った。

砂鉄・木炭 クログネくん3号炉同様、白河市大信地区の隈戸川より採取の砂鉄をホタテ貝殻細片及び木炭粉と共にデンプンノリに混ぜ合わせた後でせんべい状に乾燥させ、これを小割りして炉内に投入したが、固形化するためのデンプンノリは古代米がなくなったので、うるち米を炊き上げたものを使用した。また、木炭は岩手県産松炭を使用した。

送風装置 炉背部に炉の主軸と直交するように踏みふいご1基を設置し、ふいご下部から炉の長辺に沿って配置した風箱へ塩ビ管を接続させ(写真4-①)、さらに、風箱と炉の間を羽口で連結した。踏みふいごは、まほろん2号炉のふいごを一部改良し、長さ270cm、幅60cm、

表3 クロガネくん3号炉操業一覧

砂鉄(白河市隈戸川採取)					木炭(岩手県産松炭)					操業の状態・備考
回数	投入時刻	経過時間	投入量(kg)	累計	回数	投入時刻	経過時間	投入量(kg)	累計	
					1	9:12		1.00	1.00	9:10炉にスギ葉で点火。マキ投入。ブロー風力1・弁全開。
					2	9:13	0:01	1.00	2.00	ブロー風力1・弁1/4に絞る。
					3	9:16	0:04	2.00	4.00	ブロー風力1・弁1/4に絞る。
					4	9:17	0:05	2.00	6.00	
					5	9:21	0:09	3.00	9.00	炉頂部まで木炭達する。ブロー風力1・弁1/4。
					6	9:31	0:19	2.60	11.60	
					7	9:41	0:29	1.00	12.60	炉よりボォーという音鳴り聞こえる。
					8	9:51	0:39	2.50	15.10	羽口上方炉壁溶け始める。
1	10:08		0.50	0.50	9	10:08	0:56	2.25	17.35	ブロー風力1・弁1/2に開放。10:10砂鉄落下確認。
2	10:13	0:05	0.50	1.00	10	10:13	1:01	1.50	18.85	ブロー風力1・弁1/3に絞る。羽口上部ノロ除去。出滓口閉塞。
3	10:20	0:12	0.50	1.50	11	10:19	1:07	2.00	20.85	羽口前ノロ下がり気味。
4	10:25	0:17	1.00	2.50	12	10:25	1:13	2.00	22.85	10:28炉底のノロは波打ち状態。
5	10:32	0:24	1.00	3.50	13	10:32	1:20	2.00	24.85	羽口ノロ除去。
6	10:38	0:30	1.00	4.50	14	10:38	1:26	2.00	26.85	
7	10:44	0:36	1.00	5.50	15	10:44	1:32	2.00	28.85	ブロー風力1・弁1/4。
8	10:57	0:49	1.00	6.50	16	10:56	1:44	2.00	30.85	10:47ブロー風力1・弁1/2。10:48ノロ出し。銑玉混じる。
9	11:04	0:56	1.00	7.50	17	11:04	1:52	2.00	32.85	10:58羽口ノロ除去。ブロー弁3/4に開放。
10	11:15	1:07	1.00	8.50	18	11:15	2:03	2.00	34.85	11:03ブロー風力1・弁1/3。東側羽口ノロ除去。
11	11:23	1:15	1.00	9.50	19	11:23	2:11	3.00	37.85	
12	11:31	1:23	1.00	10.50	20	11:31	2:19	2.00	39.85	11:32ノロ出し。少量確認。流動性あるものの粘り強い。
13	11:47	1:39	1.00	11.50	21	11:47	2:35	3.00	42.85	11:43ブロー風力1・弁1/2。11:39ノロ出し。流動性のあるノロ。出滓口から線香花火のように火花飛び散る。
14	12:00	1:52	0.50	12.00	22	12:00	2:48	6.00	48.85	11:50ブロー風力1・弁1/3。11:51ブロー風力1・弁1/2。出滓口から火花顕著。11:54ノロ出し。
15	12:08	2:00	0.50	12.50	23	12:08	2:56	2.00	50.85	11:59ブロー風力1・弁1/3。12:14ノロ出し。12:21送風停止。
砂鉄投入量 12.50kg					砂鉄投入後の木炭投入量 35.75kg					生成鉄塊(ズク)1.8kg、木炭総量ー余熱木炭量(50.85ー15.10=35.75kg)

表4 まほろん3号炉プレ操業一覧

砂鉄(白河市隈戸川採取)					木炭(岩手県産松炭)					操業の状態・備考
回数	投入時刻	経過時間	投入量(kg)	累計	回数	投入時刻	経過時間	投入量(kg)	累計	
					1	5:36		16.0	16.0	操業開始。踏みふいご1分間で22回。
					2	5:45	0:09	14.0	30.0	
					3	5:49	0:13	16.0	46.0	
					4	5:54	0:18	16.0	62.0	
					5	6:00	0:24	16.0	78.0	
					6	6:07	0:31	16.0	94.0	踏みふいご1分間で19回。
					7	6:15	0:39	16.0	110.0	踏みふいご1分間で17回。
					8	6:20	0:44	16.0	126.0	
					9	6:25	0:49	16.0	142.0	
					10	6:35	0:59	16.0	158.0	
					11	6:42	1:06	16.0	174.0	炉内木炭満タン。
					12	7:07	1:31	20.0	194.0	
					13	7:25	1:49	16.0	210.0	
					14	7:45	2:09	14.0	224.0	
1	8:11	2:35	6.0	6.0	15	8:09	2:33	16.0	240.0	砂鉄はスコップ1杯1.5kgがちょうどいい。「砂鉄入れたらふいごが重くなった。」8:12出滓口塞ぐ。
2	8:32	2:56	6.0	12.0	16	8:31	2:55	16.0	256.0	踏みふいご1分間20回。
3	8:56	3:20	6.0	18.0	17	8:56	3:20	16.0	272.0	出滓口側、砂鉄反応始まる。
4	9:23	3:47	6.0	24.0	18	9:23	3:47	16.0	288.0	踏みふいご1分間20～21回。炉の南側半分ほどまで炎変化。
5	9:47	4:11	6.0	30.0	19	9:45	4:09	14.0	302.0	ノロ詰まり始める。羽口穴つつく。ふいご若干重くなる。炎の高さ約1m。9:53頃、炎の色、オレンジ色と赤紫色の混色。
6	10:11	4:35	6.0	36.0	20	10:11	4:35	14.0	316.0	炎の色、オレンジ色と赤紫色。一部、黄金色の炎確認。踏みふいご1分間18回。
7	10:43	5:07	9.0	45.0	21	10:41	5:05	14.0	330.0	砂鉄9kgに増量。炎の高さ50cmほど。炎、基部が青色、上方はオレンジ色。
8	11:13	5:37	9.0	54.0	22	11:13	5:37	14.0	344.0	炎の色、青色の基部にオレンジ色の炎。炎の高さ最高で1m程。
9	11:42	6:06	6.0	60.0	23	11:42	6:06	12.0	356.0	砂鉄6kgに減量。炎の色変わらず。青色とオレンジ色。踏みふいご1分間19～20回。
10	12:13	6:37	6.0	66.0	24	12:13	6:37	12.0	368.0	
11	12:54	7:18	6.0	72.0	25	12:52	7:16	14.0	382.0	
12	13:33	7:57	6.0	78.0	26	13:34	7:58	16.0	398.0	炎変わらず、オレンジ色と青色が続く。炎の高さ50cmほどだが、黄色い炎も混じる。踏みふいご1分間20～25回。
13	14:26	8:50	6.0	84.0	27	14:26	8:50	14.0	412.0	14:15踏みふいご1分間25回に上げる。西側風箱周辺から風漏れ、修復作業行う。14:23東側風漏れ、補修。14:28ノロ出し。僅かにノロ出る。
14	14:57	9:21	6.0	90.0	28	14:55	9:19	14.0	426.0	踏みふいご1分間30回。
15	15:28	9:52	6.0	96.0	29	15:26	9:50	14.0	440.0	踏みふいご1分間30～32回。15:41頃、1分間40回。
16	15:57	10:21	6.0	102.0	30	15:57	10:21	12.0	452.0	15:40頃、炎の高さ1m以上上がる。16:13頃、炎ふいごのリズムに合わせて均一の大きさをキープ、高さ120cmほど。16:30ふいご踏み終了。
砂鉄投入量 102.0kg					16:38					ノロ出し。ノロ確認。
					砂鉄投入後の木炭投入量 228.0kg					木炭総量ー余熱木炭量(452.0ー224.0=228.0kg)

踏み込み深さ 44 cmで、底板を山形に張り、2 個ある踏み板の弁の開放方向を 90° それぞれ炉側に振った（写真3）。また、風箱は長さ 170 cm、幅 22 cm、高さ 15 cmの木製で、西側の風箱は炉の長辺と平行に配し、東側の風箱は炉の長辺の主軸から南側を約 10° 東に振った状態で

配した。この東側の風箱の配置はモデルの炉（大船30A遺跡15号製鉄炉）に基づいたものである。なお、木製であることから下釜乾燥の際に一部焼損してしまい（写真4－③）、その焼損箇所を作り替えて使用した。

操業 操業の詳細な記録は表4のとおりで、操業時間は11時間2分である（写真4－④）。砂鉄は16回投入したが、1回当たりの投入量は中盤の2回は9kg、それ以外は6kgで、合計102kg投入した。木炭の1回当たりの投入量は14kgないしは16kgを基本とし、合計452kg投入した。踏みふいごによる送風は1分間あたり片側20回前後で推移したが、操業開始後約8時間経ったあたりから回数を多くし、約9時間後には30回、約10時間後には40回で送風した。なお、操業中及び操業後の2回ノロ出しを行ったが、流れ出した量は少量であった（写真4－⑤）。

結果 ①操業後に炉を解体し、下釜部分の断面を観察したところ、炉壁が思ったより溶変していた（写真4－⑥）。②西側より東側の反応が進んでいた。その理由として、「西側のふいご枠から風が漏れ、東側の方の風が強かった。」「西側に比べ東側がソフトブローの状況であったため、反応が進んだ。」「西側の風が東に抜け、そのため結果として東側の反応が進んだ。」などが挙げられる。③操業後の東側の木呂羽口の内、ふいご側の数本は先端が白色化しており、炉内の炎が木呂羽口まで入り込んでいたことがわかる（写真4－⑦・⑧）。④左右アンバランスの状態で操業をおこなう必然性がない。



写真3 踏みふいご



① 送風装置の設置作業



② 送風装置と羽口の配置状況



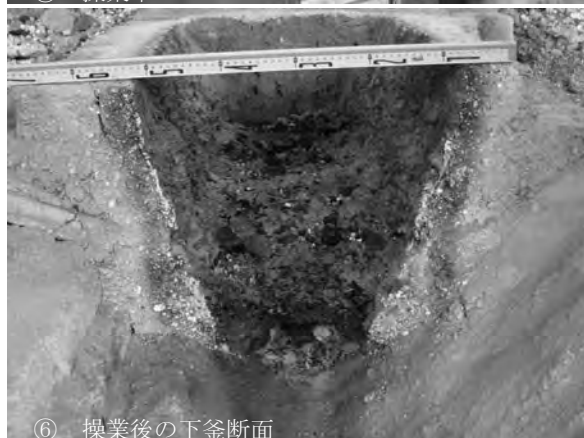
③ 下釜乾燥時に破損した風箱



④ 操作中



⑤ ノロ出しの様子



⑥ 操作後の下釜断面



⑦ 操作後における木呂羽口の状況



⑧ 白色化した木呂羽口の先端

写真4 プレ操作

3 まほろん 3 号炉の操業

以上のような簡易製鉄炉による製鉄実験とプレ操業を受けて、まほろん 3 号炉の操業準備を進め、11 月 2～4 日に操業（イベント）を行った。今回の炉の規模は 2 号炉と同様であり、今回も推定した製鉄炉の原寸大操業を目標にした。ただ、炉内の送風角度は前回までは 30° と急であったが、今回は 12° と緩やかにした。さらに、当時の工人が作ったと想定される銑鉄を生成し、炉外に銑鉄を流し出す（出銑）ことを目標とした。

具体的な操業順序は、次の 4 工程を想定した。①最初に、炉底の温度を上昇させるとともに、炉底温度の保持のため、炉底にノロのプールを作る。②砂鉄の炉内落下速度を遅らせ、鉄に変化した後、吸炭させ、生成鉄の融点温度を下げる。③液相化した生成鉄とノロの比重の関係から、炉底ではノロが上方、銑鉄が下方に分かれて生成される。④出滓口を突くと、最初に銑鉄が出て、その後ノロが流れ出す。以降は、これの繰り返し。

（1）操業前準備

砂鉄準備 まほろんでは製鉄実験及び本操業において、比重選鉱法により砂鉄を回収している。今回もまほろん野外に設置した緩傾斜の簡易の樋に水を流し、そこに白河市大信の隈戸川より採取した粗粒の砂鉄を含む土砂を入れて、来館者に上流でもみ洗いしてもらった（写真 5－①）。所謂「鉄穴（かんな）流し」の要領で、比重の差により、重い砂鉄は上流に残存し、軽い砂は下流に流れるという原理だ。さらに、ここで回収した砂鉄を天日乾燥させた後、もち粉を水に溶いて作った糊に貝殻粉と共に混合して型に入れて再度乾燥させ、煎餅状に固めた（写真 5－②）^{（註 4）}。煎餅状に固めた理由は、炉内での落下速度を遅くするためであるが、投入時にはこれを約 2 cm の大きさに小割りした（写真 5－③）。当初、3 日間 36 時間の操業を予定したことから、約 1,150 kg の砂鉄を準備した。なお、もち粉と砂鉄・貝殻粉の混入比率は 5 : 100 : 1 で、投入時の「砂鉄せんべい」内の砂鉄割合は 94% である。

木炭準備 今回の操業では 3 日間の操業を予定したことから、約 2.5 t の小割り炭が必要と試算され、岩手県産松炭を購入し、5～8 cm 大に小割りした（写真 5－④）。なお、小割り作業ではそれ以下のサイズの小炭や粉炭が出るが、炉の基礎構造敷設や生成鉄の下ろし作業などに備え、保管することとした。

貝殻粉砕作業 貝に含まれるカルシウム成分によりノロを柔らかくするため、貝殻粉を砂鉄せんべいの中に混入させると共に、砂鉄投入時に少量投入することにした。この貝殻粉はホタテの貝殻を細かく砕いた後（写真 5－⑤）、篩を掛けて調達した。

羽口づくり 「羽口づくり」イベント（9 月 29・30 日、写真 5－⑥）の他 7 日間で合計 177 本の羽口を製作した。操業で使用する羽口には炉壁に装着するものと木呂に使用するものがあるが、どちらも規格は同じである。長さ 20 cm、太さ 3 cm の心棒に粘土を巻き付けて整形し、心棒を抜いた後に一方をラップ状に広げて他方はすばませた。さらに、日陰で乾燥後に電気窯で焼成した。

炉壁ブロックづくり 白河市大信地区採取の粘土と南相馬市原町区採取の粘土を2:1の割合で混合し、さらに稲わらを短く切って水につけたスサを混合させた粘土を内法19×11×7.5cmの箱状の木型に押し込んで炉壁ブロックを製作した。

ふいごづくり 踏みふいごの規模(長さ270cm、幅60cm、踏み込み深さ44cm)は、調査遺構からの推測であるため、過去2回の操業で使用したものと変わらないが、3号炉では空気取り入れ弁の位置を変更した。これは、2号炉の操業において、踏み板の弁の位置と踏みふいご掘形の送風孔が合致していなかったために、取り入れ弁が破損して操業を中止してしまったためである。このため、今回は、空気取り入れ弁が送風孔の真上になるように移動させ、さらに弁の開放方向を、ふいご短辺側から90°回転させて、ふいご長辺側に向かって開くようにした。このため、空気取り入れ弁は送風孔の真上にあり、かつ送風孔から伸びる送風溝に向かって開くようになった。これにより、踏み込みのストロークが早くなっても弁の下端は送風孔の底面に当たるだけであり、破損する危険はなくなった。その他、弁の材質は、2号炉まではベニヤに絨毯マットを貼ったもので作成したが、今回はヒバ材を使用し、外側を和紙で幾重にもくるんだものし、弁を繋ぐ糸は釣り糸(14kg)を三つ編みにして使用した(写真3、写真5-⑧)。

(2) 復元炉と送風装置について(図1)

炉の規模 炉裾部:長さ255cm、幅90cm。炉頂部外寸:長さ240cm、幅60cm、高さ120cm。炉頂部内寸:長さ185cm、幅40cm、深さ(中央部)127cm。炉底部幅18cm。炉壁厚:炉頂部9cm、羽口直上28cm、炉底部40cm。下釜内壁角度72°。

炉の構築 作業場内乾燥及び下灰づくり後、粘土ブロックを積み上げて、下釜(写真6-③)・中釜・上釜(写真6-④)の3段階に分けて構築し、それぞれ40cm積み上げては、薪を燃やして強制乾燥する作業を繰り返した(写真6-⑦)。下釜は長さ185cm、中央幅18cm、両端幅15cmの中板を炉底に敷き、これを基準に周囲に粘土ブロックを積み上げて構築し、炉底は中央を6cm、短辺側を3cmほど窪ませた(写真6-①)。下釜の長辺には内径30mmの羽口を片側18本ずつ芯々間9cmで並列させ、内壁を炉内に向かって12°傾斜させて設置し(写真6-②)、それより炉内部は羽口の孔の延長で孔を穿った。また、下釜の南辺下部に出滓口を中央・南東隅・南西隅の3箇所設けた。中央の出滓口は、炉の主軸線上に径約11cmの竹を芯材にして炉底から連続させて設け、南東隅と南西隅の出滓口は径4cmの竹を芯材にして炉底へ斜めに向かうように設けた。上釜・中釜は内壁をほぼ直立させた。さらに、操業直前には操業中の炉内温度を計測するための熱電対を東壁中央部の炉頂から54cmと102cm(羽口上7cm)に設置した(写真6-⑧、計測結果:本書掲載東京都立産業技術研究センター佐藤報告)。

送風装置 実際の炉では、炉背部の踏みふいごの底面にある送風孔から幅20cm前後、長さ260cmの送風溝が延び、送風溝の脇には直接木呂羽口が設置され、炉壁に装着した羽口と連結していたと推測している(写真11)。今回の操業では、炉背部に炉の主軸と直交するように踏みふいご1基を設置し、ふいご下部から炉の長辺に沿って配置した東西の風箱へ径75mmの塩ビ管を接続させ、さらに、風箱と炉の間を羽口で連結した(写真6-⑤)。風箱はプレ操業の

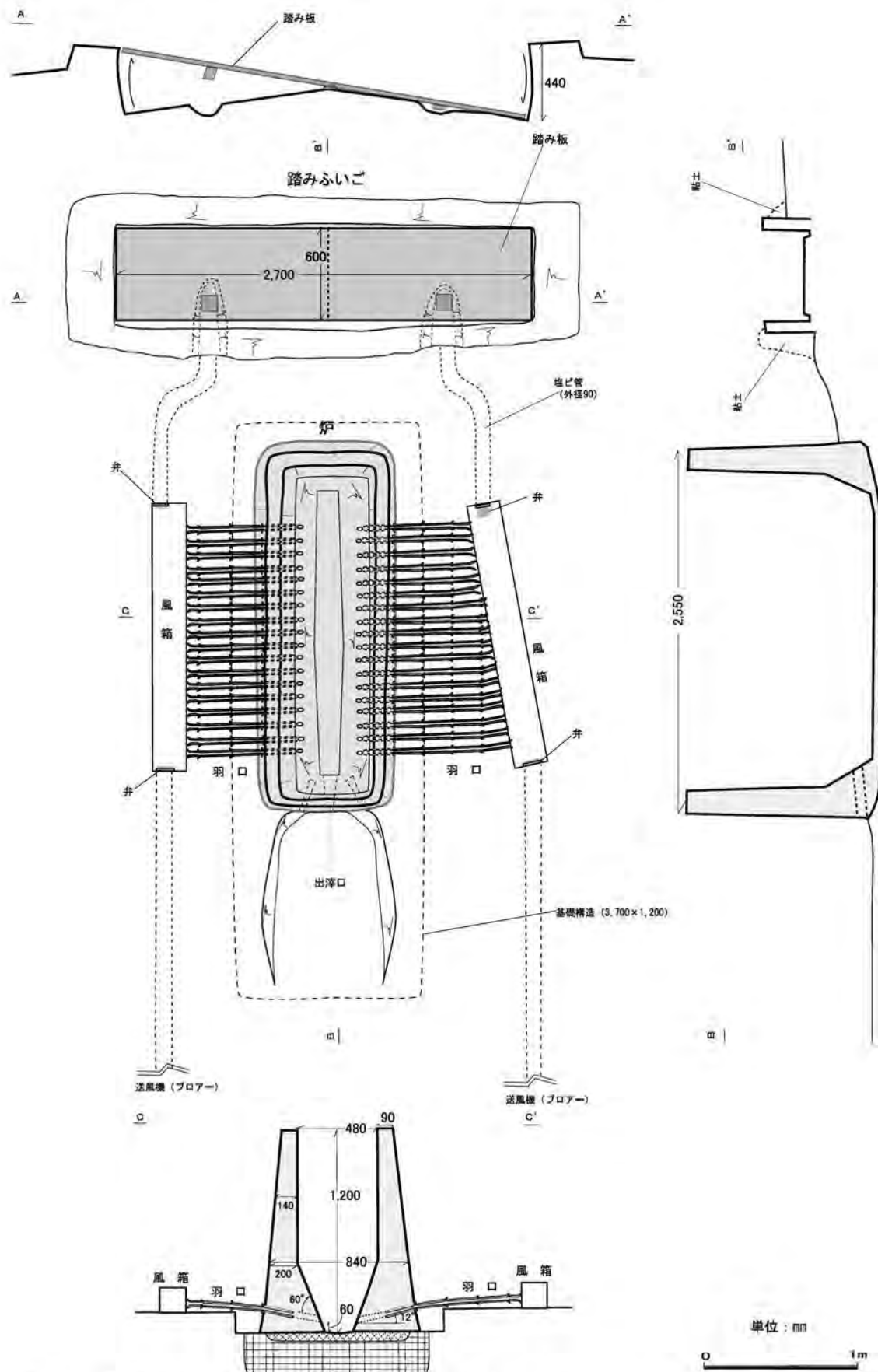


図1 まほろん3号炉 (吉田秀享図面に一部加筆)

下釜乾燥時に一部焼損するという事故があったことから、長さ 170 cm、幅 15 cm、高さ 15 cm の鉄製に変更した（写真 6－②）。風箱の炉側の壁には木呂羽口の数に併せて 18 個の孔を芯々間が 7～9 cm となるように径 5 cm の孔を開けた。また、西側の風箱は炉の長辺と平行に配し、東側の風箱は炉の長辺の主軸から南側を約 10° 東に振った状態（南側が斜めに開く状態）で配した。この東側の風箱の配置はモデルの炉（大船廻A遺跡 15 号製鉄炉）に基づいたものである。なお、人力による踏みふいご送風が困難を極めた場合を想定し、大型のプロアーを 2 台借り上げ、ふいごと反対側に設置して風箱と塩ビ管で接続した（写真 6－⑥）。

（3）操業及び炉の解体

操業 11 月 2 日の午前 9 時 50 分に炉内に火入れを行い、木炭を投入して炉内温度を徐々に上昇させ（写真 7－①）、午後 1 時 45 分に来館者による踏みふいご送風を開始した。踏みふいごによる送風は初めの内は 1 分間あたり片側 17 回前後で推移した（写真 7－②）。午後 3 時 14 分には砂鉄（初種）を投入し、この後、約 25 分間隔で砂鉄と木炭を投入した（写真 7－④）。砂鉄投入開始から約 4 時間 30 分後には炉内に溜まったノロを炉外に流し出すノロ出しを行うが、ノロは流れ出さず、その後のノロ出し作業においてもノロは粘性が強いままであった。そこで、午後 8 時 47 分以降からは、踏みふいごの 1 分間あたりの踏み数を片側 20 ないしは 22 回に増やして炉内温度を上昇させると共に貝殻を砕いた粉を投入してノロを柔らかくする方策を採った。これが効を奏し、砂鉄投入開始から 12 時間 15 分後の 3 日午前 3 時 34 分に初めてノロが流れ出した（写真 7－⑤）^{（註 5）}。その後は順調に推移したが、3 日午前 6 時過ぎには炎の勢いがなくなり、送風をプロアー送風に切り替えた。炎の勢いは元に戻ったが（写真 7－⑧）、送風孔が詰まる傾向にあり、11 時に再び踏みふいごによる送風を再開するが、昼前には再び炎の勢いが弱まり、再びプロアー送風に切り替えた。そして、午後 3 時過ぎからは再び踏みふいごによる送風を再開し、1 分間あたりの踏み数を片側 30～32 回としたが、送風孔の詰まりは改善されず、ついに午後 4 時 2 分に送風を停止した。

操業延べ時間は 30 時間 12 分で、砂鉄投入量は 306 kg、木炭投入量は 674 kg で、ノロ出しを計 11 回行った。砂鉄は 40 回投入したが、1 回目の砂鉄はプレ操業後に炉底部から回収した被熱砂鉄で、2～30 回目は砂粒を多量含み、それ以降は砂粒を少量含んでいる。また、1 回当たりの投入量は 1 回目 4.5 kg で、それ以降は 6 kg、7.5 kg、9 kg ないしは 10.5 kg と次第に多くした。これに対して、木炭は 14 kg ないしは 16 kg を基本としながらも適宜量を増減させて調整した。なお、操業の詳細は後述の操業記録及び投入一覧（表 5・6）のとおりである。

炉の解体 送風停止後、自然に投入木炭を消化させ、翌 4 日に炉を解体した。解体前に炉内を観察したところ、炉内には砂鉄焼結塊や木炭が多く堆積していることが窺えた。

最初に、炉の南壁をチェーンソーで切断して除去し、東西の炉壁の断面を観察した（写真 8－①・②）。両炉壁とも上部約 50 cm は溶融・侵食していないが、それより下部では下に行くほど溶融・侵食が見て取れた。侵食は羽口を境に 2 段に分かれており、羽口より上方の侵食は顕著で、下釜上部は大きく内湾しているが、羽口より下方の侵食はそれほど進んでいない状況であ

まほろん3号炉の操業記録

日時：平成19年11月2日9時50分～3日16時2分

場所：まほろん体験広場内特設会場

役割分担：村下（指導、砂鉄・木炭投入）：藤安正博 炭坂（砂鉄・木炭投入）：吉田 炉周り：有賀一久・中西裕也

小鉄町（砂鉄計量）：能登谷・山田 炭町（木炭計量）：石本・丹治 記録：田中・佐藤・岡田

送風量・温度計測：佐藤健二・岡野良武 番子管理調整：山口・大河原

番子（踏みふいご送風）：イベントに参加された一般の方々とまほろん職員（下線以外はまほろん職員）

原料：白河市大信地区隈戸川採取砂鉄 燃料：岩手県産松炭

11月2日

▽9:50 もみぎり法により火起こし、点火。木炭12.6kg。

▽9:54 ハンディーブローアで炉頂より送風。

▽10:06 木炭12kg。

▽10:38 羽口直上温度498℃。

▽10:46 羽口直上温度516℃、炉上部温度257℃。

▽11:13 木炭12kg。

▽11:52 木炭12.3kg。

▽12:38 炉壁西側下部補修。

▽12:47 木炭12.5kg。

▽13:40 木炭26kg。

▽13:45 踏みふいごによる送風開始。炎の高さ2m。

▽13:49 木炭48kg。踏みふいご片側1分当り18～19回。炎中心部青紫色、先端部オレンジ色。炎の高さ1.3m以上。炉の上部まで木炭入る。

▽14:00 炎の高さ約3m、南側低く、北側高い。

▽14:03 木炭28kg。踏みふいご片側1分当り19回。羽口直上温度1,438℃、炉上部温度785℃。炎下部青色、先端部オレンジ色。炎の高さ2m以上、南側低く、北側高い。

▽14:10 木炭26kg。踏みふいご片側1分当り17回。炎下部青色、先端部オレンジ色。炎の高さ2m。

▽14:18 羽口直上温度1,394℃、炉上部温度884℃。

▽14:23 木炭32kg。踏みふいご片側1分当り18回。炎下部青色、先端部オレンジ色。炎の高さ2m強。木炭山盛り状態。

▽14:32 踏みふいご片側1分当り16回。

▽14:35 ふいご東側を踏むと炎強く出る。東西でストローク1回違う。

▽14:38 炉内を上から突く。

▽14:40 羽口直上温度1,418℃、炉上部温度983℃。

▽14:41 木炭22kg。踏みふいご片側1分当り17回。炎下部青色、先端部オレンジ色。炎の高さ2m強。木炭炉から少し頭を出す程度の山盛り。

▽14:49 東風強い。

▽14:50 羽口直上温度1,446℃、炉上部温度1,031℃。

▽14:51 炎下部青色、先端部オレンジ色。東風強い。

▽14:57 炉頂から約10cm下まで木炭下がる。

▽14:58 木炭20kg。踏みふいご片側1分当り17回。羽口直上温度1,437℃、炉上部温度1,053℃。炎下部青色、先端部オレンジ色。炎の高さ1.5m。木炭山盛り状態。

▽15:12 木炭16kg。炎下部青色、先端部オレンジ色。木炭山盛り状態。ふいごと炉の間に遮蔽板設置開始。

▼15:14 炉内を上から突いた後、砂鉄（被熱）4.5kg。

▽15:23 ふいごと炉の間の遮蔽板設置完了。

▼15:33 木炭14kg、砂鉄①6kg。炎の高さ1.5m。出滓口の上部にひび。西側の炎戻る。

▽15:38 出滓口を耐火レンガで塞ぐ。

▽15:43 羽口直上温度1,448℃、炉上部温度1,054℃。

▽15:45 周囲が暗くなってきたので、炎の色がよく見えるようになる。下部は青白く、先はオレンジであるが、全体的には白みがかっている。炎の形は横一列に揃っている。ほぼ均等。

- ▽ 15:52 西側の炉壁に風漏れが始まる。
- ▼ 15:53 炉内を上から突いた後、木炭 14 kg、砂鉄① 6 kg。羽口直上温度 1,430℃、炉上部温度 1,063℃。炎下部青白い、全体白っぽいオレンジ色。
- ▽ 15:58 炎全体が青白っぽくなり、オレンジ色が少なくなる。炎の色調変化は砂鉄投入後の特徴とのこと。
- ▽ 16:03 南側の木炭が下がる。炎の色オレンジ色戻る。炎の高さ約 1.5 m。
- ▼ 16:15 木炭 16 kg、砂鉄① 6 kg。踏みふいご片側 1 分当り 15 回。羽口直上温度 1,417℃、炉上部温度 1,044℃。炎全体的に青白い。炎の高さ約 1 m。
- ▽ 16:19 踏みふいご片側 1 分当り 15 回。
- ▽ 16:22 炎南側に、時々、黄金色が混じる。
- ▽ 16:35 炉内を上から突く。
- ▼ 16:41 炉内を上から突いた後、木炭 16 kg、砂鉄① 6 kg。踏みふいご片側 1 分当り 17 回。羽口直上温度 1,414℃、炉上部温度 1,019℃。炎全体的に青白い。炎の高さ約 1 m 強。
- ▽ 16:52 炎全体的に青白く、黄金色が多く混じるようになる。
- ▽ 16:53 炉内観察窓から炉底を覗いた後、窓から中を突く。
- ▽ 17:00 炉内を上から突く。
- ▼ 17:05 木炭 16 kg、砂鉄① 6 kg。炎青白色とオレンジの混合だが、全体的に白っぽい。炎の高さ約 1 m。
- ▽ 17:20 西側炉壁下部に多少の空気漏れ。東側炉壁下部も空気漏れあり。
- ▼ 17:32 木炭 14 kg、砂鉄① 6 kg。炎黄色になる。
- ▼ 18:05 木炭 14 kg、砂鉄① 6 kg。踏みふいご片側 1 分当り 15 回。炎全体的に青白い。砂鉄と木炭の投入間隔が 25 分になってきた。「炎の色が黄金色になってきているから炉の下部には間違いなく鉄ができています。」
- ▽ 18:08 羽口直上温度 1,412℃、炉上部温度 1,027℃。
- ▽ 18:12 踏みふいご片側 1 分当り 17 回。
- ▽ 18:25 踏みふいご片側 1 分当り 17 回。
- ▽ 18:28 羽口直上温度 1,416℃、炉上部温度 1,019℃。
- ▽ 18:32 「ノロが溜まり始めている。」
- ▼ 18:37 炉内を上から突いた後、木炭 16 kg、砂鉄① 6 kg。羽口直上温度 1,405℃、炉上部温度 1,019℃。炎全体的に青白い。炎の高さ約 1 m 前後。
- ▽ 18:54 炎全体的に青白みがかったオレンジ色。
- ▽ 19:03 炉内を上から突く。出滓口から中を覗く。ノロが少し見える。
- ▽ 19:08 踏みふいご片側 1 分当り 14 回。羽口直上温度 1,374℃、炉上部温度 1,019℃。
- ▼ 19:09 木炭 14 kg、砂鉄① 6 kg。羽口直上温度 1,376℃、炉上部温度 1,013℃。炎全体的に青が濃くなる。炎の高さ約 50 cm 前後。
- ▽ 19:15 気温 13℃、湿度 52%。
- ▽ 19:16 炉内観察窓から中を突く。鉄棒の先には何も付かない。炎の高さ最高約 1 m。
- ▽ 19:22 「木炭だけの時は西側の炎が高い。砂鉄の反応が始まると、東側の炎が高くなる。」
- ▽ 19:23 炎黄金色が混じりだす。
- ▽ 19:28 ライトを消して炎の色を見る。
- ▽ 19:31 1 回目ノロ出し。出滓口から中を突くが、塊が少し出たのみで、ノロは出なかった。「下はスカスカしているようだ。砂鉄の量が足りず、まだノロに至らなかったようだ。」
- ▽ 19:35 出滓口閉じる。
- ▽ 19:41 羽口直上温度 1,435℃、炉上部温度 1,017℃。気温 11℃、湿度 49%。
- ▼ 19:46 木炭 14 kg、砂鉄① 6 kg。
- ▽ 19:50 羽口直上温度 1,370℃、炉上部温度 1,025℃。気温 12℃、湿度 50%。
- ▽ 19:53 西側炉壁のヒビ補修。炉横から空気漏れている。
- ▽ 20:00 炉壁補修作業終了。
- ▽ 20:14 西側の風箱からの空気漏れ確認。補修作業。
- ▽ 20:18 炎全体的に青白いが、黄金色混じる。炎の高さ約 1 m 弱。
- ▼ 20:26 木炭 16 kg、砂鉄① 6 kg。羽口直上温度 1,453℃、炉上部温度 1,033℃。気温 12℃、湿度 53%。炎青白い。炎の高さ約 1 m。
- ▽ 20:32 西側の風箱からの空気漏れ確認。補修作業。

- ▽ 20:33 踏みふいご片側1分当り16回。
- ▽ 20:42 観察窓から炉内を覗く。「少し動きがあるようだ。(西側の炉中炭が動く。)」
- ▽ 20:44 炎全体的にオレンジ色が強くなる。塩を投入。
- ▽ 20:47 貝粉1.4 kg。炎黄色強くなる。
- ▽ 20:58 炉内を上から突く。
- ▽ 21:05 踏みふいご片側1分当り20回。炎の高さ約1 m (西側踏んだ時)。
- ▼ 21:13 木炭18 kg、中央部に砂鉄①6 kg。
- ▽ 21:25 羽口直上温度1,500℃超。
- ▽ 21:30 炎の強さ東側がまだやや強いが、東西とも大きな差はない。炎の高さ約1 mで均一になる。
- ▽ 21:33 羽口直上温度1,474℃、炉上部温度1,019℃。
- ▽ 21:34 気温11℃、湿度61%。
- ▽ 21:43 羽口直上温度1,454℃、炉上部温度1,039℃。気温12℃、湿度50%。炎全体的に黄色の強いオレンジ色、下部青色強い。炎の高さ約1 m強。東側のふいごを踏むと、風が大きく出る。
- ▼ 21:49 炉内を上から突いた後、木炭16 kg、砂鉄①6 kg。炎白色の強い黄色。
- ▽ 21:53 羽口直上温度1,460℃、炉上部温度1,024℃。気温12℃、湿度52%。
- ▽ 21:56 踏みふいご片側1分当り21回。
- ▽ 22:01 2回目ノロ出し。粘り強く、ノロ出ない。壁際温度1,514℃。
- ▽ 22:08 貝粉1.4 kg。
- ▽ 22:15 「つまり気味。」
- ▽ 22:30 「ノロが付かない。」
- ▼ 22:34 木炭16 kg、中央部に砂鉄①7.5 kg。踏みふいご片側1分当り20回。羽口直上温度1,476℃。
- ▽ 22:43 羽口直上温度1,540℃。
- ▽ 22:55 踏みふいご片側1分当り20回。
- ▽ 23:10 羽口直上温度1,427℃。
- ▼ 23:12 木炭16 kg、壁際に砂鉄①7.5 kg。温度測定用器具のゴムパッキン溶ける。温度維持するが、ノロできない。
- ▽ 23:25 踏みふいご片側1分当り20回。
- ▽ 23:35 東西の炉内観察窓から炉内を突く。ノロが鉄棒の先に付く。
- ▽ 23:44 「西側ノロが上がってきた。」詰まりそう。堅い。
- ▽ 23:46 3回目ノロ出し。流れないので、炉中央部まで突く。
- ▽ 23:52 出滓口塞ぐ。
- ▼ 23:55 木炭18 kg、壁際に砂鉄①7.5 kg・貝粉1.4 kg。踏みふいご片側1分当り20回。羽口直上温度1,440℃。

11月3日

- ▽ 0:30 踏みふいご片側1分当り20回。羽口直上温度1,324℃。温度下がってきた。
- ▼ 0:34 木炭12 kg、壁際に砂鉄①7.5 kg・貝粉1.4 kg。羽口直上温度1,323℃。
- ▽ 0:44 踏みふいご片側1分当り20回。羽口直上温度1,380℃。
- ▽ 0:58 羽口直上温度1,344℃。
- ▽ 1:02 羽口直上温度1,375℃。
- ▼ 1:17 木炭16 kg、壁際に砂鉄①7.5 kg・貝粉1.4 kg。
- ▽ 1:19 羽口直上温度1,430℃、炉上部温度1,013℃。
- ▽ 1:27 踏みふいご片側1分当り22回。羽口直上温度1,406℃、炉上部温度1,017℃。
- ▽ 1:36 4回目ノロ出し。粘る。流れない。
- ▽ 1:44 出滓口塞ぐ。
- ▽ 1:45 踏みふいご片側1分当り22回。羽口直上温度1,472℃、炉上部温度1,005℃。
- ▼ 1:46 木炭14 kg、壁際に砂鉄①7.5 kg・貝粉1.4 kg。
- ▽ 2:00 踏みふいご片側1分当り22回。羽口直上温度1,450℃、炉上部温度1,030℃。壁際に砂鉄を投入しているので、ふいご重くなる。
- ▽ 2:24 「羽口の周りがあまり溶けていない。」
- ▼ 2:25 木炭16 kg、壁際に砂鉄①7.5 kg・貝粉1.4 kg。踏みふいご片側1分当り22回。羽口直上温度1,454℃、炉上部温度1,055℃。温度維持している。
- ▽ 3:01 「消化がゆっくりになってきた。」

- ▽ 3:08 5回目ノロ出し。粘る塊を引きずり出す。「炉のノロが硬いが、粘性強し。」
- ▼ 3:20 木炭 16 kg、壁際に砂鉄① 7.5 kg（西側壁のつまり気味を解消するため東側に 4.5 kg、西側に 3 kg）。
- ▽ 3:25 西側観察窓付近のノロ開放。
- ▽ 3:28 6回目ノロ出し。少量流れた。
- ▽ 3:34 ノロ断続的に 3:40 まで流れる。
- ▽ 3:47 出滓口塞ぐ。
- ▽ 3:54 ふいご東西とも軽い。
- ▼ 3:58 木炭 16 kg、壁際に砂鉄① 7.5 kg（東側 4.5 kg、西側 3 kg）。踏みふいご片側 1 分当り 20 回。羽口直上温度 1,480℃、炉上部温度 1,019℃。
- ▽ 4:10 踏みふいご片側 1 分当り 22 回。羽口直上温度 1,510℃、炉上部温度 1,027℃。
- ▼ 4:38 木炭 14 kg、砂鉄① 9 kg（東側 5.4 kg、西側 3.6 kg）。踏みふいご片側 1 分当り 22 回。羽口直上温度 1,508℃、炉上部温度 1,036℃。
- ▽ 4:55 羽口直上温度 1,516℃、炉上部温度 1,063℃。
- ▽ 5:15 西側のふいご重く、炎小さい。羽口がつまり気味。
- ▼ 5:18 木炭 16 kg、壁際に砂鉄① 9 kg（東側 5.4 kg、西側 3.6 kg）。
- ▽ 5:34 踏みふいご片側 1 分当り 20 回。羽口直上温度 1,380℃、炉上部温度 1,022℃。
- ▽ 5:36 7回目ノロ出し。ノロ流れ出す。粘性相変わらず強い。北側のノロ取れない。南側のノロのみ取れる。
- ▽ 5:49 出滓口塞ぐ。
- ▽ 6:00 踏みふいご片側 1 分当り 22 回。
- ▼ 6:13 木炭 16 kg、南側の壁際に砂鉄① 9 kg。北側の羽口詰まった。
- ▽ 6:16 踏みふいご停止。北側の温度を上げて、詰まりを溶かすためブロー送風に切り替える。ブロー全開。
- ▽ 6:23 羽口直上温度 1,600℃以上。ブロー送風量下げる（小さい穴（60 mm）の 4 / 5 開放）。アルミナの熱伝対融ける。
- ▼ 6:52 木炭 20 kg、壁際に砂鉄① 9 kg（東側 4.5 kg、西側 4.5 kg）。
- ▽ 6:58 8回目ノロ出し。何度か突くが、中々出ない。
- ▽ 7:01 ノロ出る。少し塊が取れた後、少し流れ出る。
- ▽ 7:08 2個目の大きな塊を出す。この後、出滓口から炎出る。
- ▽ 7:09 炉内を上からと観察窓から突く。出滓口からスパークング。
- ▽ 7:11 出滓口塞ぐ。
- ▼ 7:19 木炭 18 kg、砂鉄① 9 kg。
- ▽ 7:28 炉上部温度 1,129℃。炎オレンジ色、下部青色。気温 10℃、湿度 48%。炉の状態はあまり良くないようだ。東側の中央部の木炭が黒い状態で、あまり燃えていない。その代わり、南側の木炭の減りが速い。「もしかしたら、羽口が塞がっているのかもしれない。」
- ▽ 7:34 炎南側が白っぽい。
- ▽ 7:38 ブロー全開。
- ▽ 7:44 炎南側が特に白っぽい。
- ▽ 7:46 炎の高さ約 1 m。
- ▼ 7:58 炉内を上から突いた後、木炭 22 kg、砂鉄① 10.5 kg。
- ▽ 8:06 炎全体的に濃いオレンジ色。
- ▽ 8:12 炎の高さ約 1 m。
- ▽ 8:19 炉内を上から突く。木炭を均す。
- ▽ 8:21 炎南側が白っぽい。
- ▼ 8:23 木炭 18 kg、砂鉄① 9 kg。炉上部温度 1,154℃。炎濃いオレンジ色、木炭付近は青色。炎の高さ約 1 m。
- ▽ 8:38 炎中央部が白っぽい黄色。
- ▽ 8:40 炎全体的に赤みを帯びたオレンジ色、北側が白っぽい黄色。木炭は全体的に白っぽく良く燃えている。
- ▽ 8:44 東西の観察窓はいずれも詰まって中が見えない。
- ▽ 8:45 9回目ノロ出し。中々出てこない。
- ▽ 8:50 ノロが出てくる。
- ▽ 8:56 出滓口からスパークング。しばらく続く。
- ▽ 8:58 出滓口からのスパークング収まる。

- ▽ 9:00 出滓口からのスパークキング。
- ▼ 9:01 木炭 22 kg、砂鉄① 6.9 kg、砂鉄② 2.1 kg。炎全体的に濃いオレンジ色。
- ▽ 9:10 炎南側明るい黄色に変わる。木炭の色は中央から北側にかけて黒い。木炭の減り方は南側が速い。出滓口からスパークキング出続けている。
- ▽ 9:13 出滓口塞ぐ。
- ▽ 9:17 投入した木炭を均す。
- ▼ 9:21 炉内を上から突いた後、木炭 16 kg、砂鉄② 9 kg。
- ▽ 9:44 ブロアー送風量弱める。温度上がり始める。
- ▼ 9:48 炉内を上から突いた後、木炭 20 kg、砂鉄② 9 kg。
- ▽ 9:57 東側の観察窓から炉内を突く。
- ▽ 10:05 炉内の木炭は全体的に白っぽく良く燃えている。
- ▽ 10:13 炉内を上から突く。東からの風が少し強い。炎青色と濃いオレンジ色の混合。炎の高さ 1 m 弱。
- ▽ 10:16 炎南側白っぽい黄色に変わる。炎の高さ中央部から北側にかけて低い。観察窓から中を覗くと少々塞がり気味。
- ▼ 10:22 炉内を上から突いた後、木炭 18 kg、砂鉄② 9 kg。
- ▽ 10:29 炎全体的に濃いオレンジ色、下部は青色。炎の高さ 1 m 弱。木炭の色は全体的に黒いが、北側と南側は少し白くなっている。
- ▽ 10:38 木炭が全体的に白っぽくなってきた。
- ▽ 10:42 炉内を上から突く。
- ▽ 10:43 10 回目ノロ出し。何度か突くが、なかなか出てこない。大分堅い。
- ▽ 10:52 小さい塊が少し出る。
- ▽ 10:56 炉の中の木炭が全体的に白く、よく燃えている。小さな塊を出す。
- ▽ 11:00 出滓口塞ぐ。踏みふいごによる送風を再開。計 8 人。3 分交代。踏みふいご片側 1 分当り 20 回。
- ▼ 11:12 炉内を上から突いた後、木炭 20 kg、砂鉄② 9 kg、貝粉 1.4 kg。
- ▽ 11:19 全体的に投入木炭黒い。
- ▽ 11:20 炎明るい黄色とオレンジ色、下部は青色。炎の高さ 30 cm 弱。西側炉壁のひび割れ補修。
- ▽ 11:35 踏みふいご片側 1 分当り 20 回。炎の高さ 30 cm 弱。
- ▽ 11:36 観察窓から炉内を突く。西側塞がる。東側は大丈夫。
- ▽ 11:50 ブロア送風に変える。羽口の周りにノロが付いてしまったので、風が通らない。踏みふいごを一時ストップ。ブロア全開だが、炎ほとんど上がらず。ただ、人力による時よりも少し強めに出ている。
- ▽ 11:55 炎の高さ約 50 cm。
- ▼ 12:08 炉内を上から突いた後、木炭 14 kg、砂鉄② 9 kg、貝粉 1.4 kg。貝粉を入れるとサラサラになった？「粘性が弱くなるのでは」
- ▽ 12:15 炎濃いオレンジ色と青色の混合。炎の高さ 60 cm 弱。
- ▽ 12:21 炎黄色味がかってくる。南側が特に明るい黄色。ブロアに変更してから炎の高さ益々上がり、良い炎。炎の高さ 80 cm 弱。投入木炭全体的に白く良く燃えている。
- ▼ 12:50 木炭 14 kg、砂鉄② 10.5 kg、貝粉 1.4 kg。
- ▽ 13:30 ブロアによる送風継続。まだ反応が見られるので、羽口がノロで詰まるまで送風を続ける予定。
- ▼ 13:34 木炭 20 kg、砂鉄② 9 kg、貝粉 1.4 kg。
- ▽ 13:50 炉内を上から突く。炎全体的に濃いオレンジ色。炎の高さ約 1 m。
- ▽ 14:06 炉内を上から突く。大分木炭下がる。
- ▼ 14:07 木炭 18 kg、砂鉄② 9 kg、貝粉 1.4 kg。
- ▽ 14:37 炉内を上から突く。
- ▽ 15:00 炉内を上から突く。
- ▽ 15:08 炉内を上から突く。
- ▽ 15:12 踏みふいごによる送風再開。
- ▼ 15:13 木炭 34 kg、砂鉄② 9 kg、貝粉 1.4 kg。
- ▽ 15:18 出滓口開口するが、中は真っ黒。
- ▽ 15:26 11 回目ノロ出し。何も出ない。ノロが詰まっている。
- ▽ 15:33 炎全体的にオレンジ色、下部は青色。炎の高さ最高約 60 cm。ノロ少し出る。南側の木炭の減り速い。

▽ 15:38 踏みふいご片側1分当り30回。出滓口からスパーキング。

▽ 15:51 踏みふいご片側1分当り31回。

▽ 15:55 踏みふいご片側1分当り32回。

▽ 16:02 羽口が詰まったので、操業終了。

註 役割分担の内、下線部は外部の指導者・協力者

藤安正博：刀工、中西裕也：藤安刀工弟子、有賀一久：藤安刀工補助手伝い

佐藤健二・岡野良武：東京都立産業技術研究センター

操業記録の文章中、「」内は村下ないしは炭坂のコメント。時刻の前の▼は砂鉄投入を示す。

り、残存壁は緩く内湾していた。また、壁断面の色調は、下部では内側から順にガラス質で黒色→赤褐色→橙色へと変化し、上部では橙色から白色へと変化していた。

内壁の状況は、東壁では炉頂から約40 cmのところまでは橙色を呈し、それより約10 cm下方は砂鉄が薄く焼結付着しており、それより下方では砂鉄焼結塊の付着が顕著であった（写真8－④）。また、西壁では炉頂から約50 cmのところまでは橙色を呈し、それより約10 cm下方は砂鉄が薄く焼結付着しており、それより下方では砂鉄焼結塊の付着が顕著であった（写真8－③）。砂鉄が壁面に付着している範囲は、壁面の溶融範囲とほぼ一致している。

なお、炉内に堆積（生成）している物は、羽口より上部は解体前に観察したとおり砂鉄焼結塊と木炭であり、下部は鉄滓と判断した。この段階では生成鉄は確認できなかった。

表5 まほろん3号炉投入一覧（1）

月日	時刻		経過時間		砂鉄				木炭			貝粉		ふいご	備考
	時	分	時間	分	回数	種類	量 (kg)	累計 (kg)	回数	量 (kg)	累計 (kg)	量 (kg)	累計 (kg)	片側回 数/1min	
2007/11/2	9	50	0	0					1	12.6	12.6				点火。
	9	54	0	4							12.6				炉頂からブロー送風。
	10	6	0	16					2	12	24.6				
	11	13	1	23					3	12	36.6				
	11	52	2	2					4	12.3	48.9				
	12	47	2	57					5	12.5	61.4				
	13	40	3	50					6	26	87.4				
	13	45	3	55							87.4				踏みふいごによる送風開始。
	13	49	3	59					7	48	135.4			18～19	炉の上部まで木炭入る。
	14	3	4	13					8	28	163.4			19	
	14	10	4	20					9	26	189.4			17	
	14	23	4	33					10	32	221.4			18	木炭山盛り状態。
	14	32	4	42							221.4			16	
	14	41	4	51					11	22	243.4			17	木炭炉から少し頭を出す程度の山盛り。
	14	58	5	8					12	20	263.4			17	木炭山盛り状態。
	15	12	5	22					13	16	279.4				木炭山盛り状態。
	15	14	5	24	1	被熱	4.5	4.5			279.4				砂鉄(被熱):プレ操業後炉内に残留した砂鉄
	15	33	5	43	2	①	6	10.5	14	14	293.4				砂鉄①:砂粒含有多量
	15	53	6	3	3	①	6	16.5	15	14	307.4				
	16	15	6	25	4	①	6	22.5	16	16	323.4			15	
	16	19	6	29				22.5			323.4			15	
	16	41	6	51	5	①	6	28.5	17	16	339.4			17	
	17	5	7	15	6	①	6	34.5	18	16	355.4				
	17	32	7	42	7	①	6	40.5	19	14	369.4				
	18	5	8	15	8	①	6	46.5	20	14	383.4			15	
	18	12	8	22				46.5			383.4			17	
	18	25	8	35				46.5			383.4			17	
	18	37	8	47	9	①	6	52.5	21	16	399.4				
	19	8	9	18				52.5			399.4			14	
	19	9	9	19	10	①	6	58.5	22	14	413.4				
	19	31	9	41				58.5			413.4				1回目ノロ出し。
	19	46	9	56	11	①	6	64.5	23	14	427.4				
	20	26	10	36	12	①	6	70.5	24	16	443.4				

表6 まほろん3号炉投入一覧(2)

月日	時刻		経過時間		砂鉄			木炭			貝粉		ふいご	備考	
	時	分	時間	分	回数	種類	量 (kg)	累計 (kg)	回数	量 (kg)	累計 (kg)	量 (kg)	累計 (kg)		片側回 数/1min
	20	33	10	43				70.5			443.4			16	
	20	44	10	54				70.5			443.4				塩を投入。
	20	47	10	57				70.5			443.4	1.4	1.4		
	21	5	11	15				70.5			443.4		1.4	20	
	21	13	11	23	13	①	6	76.5	25	18	461.4		1.4		
	21	49	11	59	14	①	6	82.5	26	16	477.4		1.4		
	21	56	12	6				82.5			477.4		1.4	21	
	22	1	12	11				82.5			477.4		1.4		2回目ノロ出し。
	22	8	12	18				82.5			477.4	1.4	2.8		
	22	34	12	44	15	①	7.5	90	27	16	493.4		2.8	20	
	22	55	13	5				90			493.4		2.8	20	
	23	12	13	22	16	①	7.5	97.5	28	16	509.4		2.8		
	23	25	13	35				97.5			509.4		2.8	20	
	23	46	13	56				97.5			509.4		2.8		3回目ノロ出し。
	23	55	14	5	17	①	7.5	105	29	18	527.4	1.4	4.2	20	
2007/11/3	0	30	14	40				105			527.4		4.2	20	
	0	34	14	44	18	①	7.5	112.5	30	12	539.4	1.4	5.6		
	0	44	14	54				112.5			539.4		5.6	20	
	1	17	15	27	19	①	7.5	120	31	16	555.4	1.4	7		
	1	27	15	37				120			555.4		7	22	
	1	36	15	46				120			555.4		7		4回目ノロ出し。
	1	45	15	55				120			555.4		7	22	
	1	46	15	56	20	①	7.5	127.5	32	14	569.4	1.4	8.4		
	2	0	16	10				127.5			569.4		8.4	22	
	2	25	16	35	21	①	7.5	135	33	16	585.4	1.4	9.8	22	
	3	8	17	18				135			585.4		9.8		5回目ノロ出し。
	3	20	17	30	22	①	7.5	142.5	34	16	601.4		9.8		砂鉄壁際に投入。東側4.5kg、西側3kg。
	3	28	17	38				142.5			601.4		9.8		6回目ノロ出し。
	3	58	18	8	23	①	7.5	150	35	16	617.4		9.8	20	砂鉄壁際に投入。東側4.5kg、西側3kg。
	4	10	18	20				150			617.4		9.8	22	
	4	38	18	48	24	①	9	159	36	14	631.4		9.8	22	砂鉄東側5.4kg、西側3.6kg。
	4	55	19	5				159			631.4		9.8	22	
	5	18	19	28	25	①	9	168	37	16	647.4		9.8		
	5	34	19	44				168			647.4		9.8	20	
	5	36	19	46				168			647.4		9.8		7回目ノロ出し。
	6	0	20	10				168			647.4		9.8	22	
	6	13	20	23	26	①	9	177	38	16	663.4		9.8		
	6	16	20	26				177			663.4		9.8		踏みふいご停止。ブロー送風に切り替える。ブロー全開。
	6	23	20	33				177			663.4		9.8		ブロー送風量下げる。
	6	52	21	2	27	①	9	186	39	20	683.4		9.8		
	6	58	21	8				186			683.4		9.8		8回目ノロ出し。
	7	19	21	29	28	①	9	195	40	18	701.4		9.8		
	7	38	21	48				195			701.4		9.8		ブロー全開。
	7	58	22	8	29	①	10.5	205.5	41	22	723.4		9.8		
	8	23	22	33	30	①	9	214.5	42	18	741.4		9.8		
	8	45	22	55				214.5			741.4		9.8		9回目ノロ出し。
	9	1	23	11	31	①②	9	223.5	43	22	763.4		9.8		砂鉄②:砂粒含有少量
	9	21	23	31	32	②	9	232.5	44	16	779.4		9.8		
	9	44	23	54				232.5			779.4		9.8		ブロー送風量弱める。
	9	48	23	58	33	②	9	241.5	45	20	799.4		9.8		
	10	22	24	32	34	②	9	250.5	46	18	817.4		9.8		
	10	43	24	53				250.5			817.4		9.8		10回目ノロ出し。
	11	0	25	10				250.5			817.4		9.8	20	踏みふいごによる送風再開
	11	12	25	22	35	②	9	259.5	47	20	837.4	1.4	11.2		
	11	35	25	45				259.5			837.4		11.2	20	
	11	50	26	0				259.5			837.4		11.2		踏みふいご送風停止。ブロー全開。
	12	8	26	18	36	②	9	268.5	48	14	851.4	1.4	12.6		
	12	50	27	0	37	②	10.5	279	49	14	865.4	1.4	14		
	13	34	27	44	38	②	9	288	50	20	885.4	1.4	15.4		
	14	7	28	17	39	②	9	297	51	18	903.4	1.4	16.8		
	15	12	29	22				297			903.4		16.8		踏みふいごによる送風再開。
	15	13	29	23	40	②	9	306	52	34	937.4	1.4	18.2		
	15	26	29	36				306			937.4		18.2		11回目ノロ出し。
	15	38	29	48				306			937.4		18.2	30	出滓口からスパーキング。
	15	51	30	1				306			937.4		18.2	31	
	15	55	30	5				306			937.4		18.2	32	
	16	2	30	12				306			937.4		18.2		羽口がつまったので、操業終了。



① 砂鉄選別作業



② 砂鉄せんべい作り



③ 砂鉄せんべい小割り作業



④ 木炭小割り作業



⑤ 貝殻粉砕作業



⑥ 羽口づくり



⑦ 炉壁粘土ブロック製作



⑧ 踏みふいご製作

写真5 3号炉の操業前準備



① 炉底部構築



② 羽口設置作業



③ 下釜構築作業



④ 上釜構築作業



⑤ 木呂羽口設置作業



⑥ ブローアーと風箱を連結



⑦ 炉の乾燥



⑧ 温度センサー設置作業

写真 6 3 号炉の構築作業



① 木炭投入の様子



② ふいご踏みの様子



③ 11月2日15時頃の炎の様子



④ 砂鉄投入の様子



⑤ 6回目のノロ出し作業



⑥ 初花 (11月3日3時30分頃)



⑦ 7回目のノロ出し作業



⑧ 11月3日7時30分頃の炎の様子

写真7 3号炉の操業の様子



① 炉解体作業の様子



② 炉断面



③ 西側炉壁内面の状況



④ 東側炉壁内面の状況



⑤ 顔を出した炉底塊



⑥ 炉底塊を鉄池へ移動



⑦ 鉄池に炉底塊を入れた瞬間



⑧ 炉底塊裏面

写真8 3号炉の解体作業

4 まほろん3号炉の生成物

(1) 鉄塊 (表7、写真8・9)

11月4日に製鉄炉炉壁を解体し、炉底部に生成された約2mの生成物を水を張った特製の鉄池に入れた(写真8-⑤～⑦)。いわゆる水鋼(みずはがね)と同様な生成物の冷却方法である。

その後、この生成物を鉄池から取り上げ(写真8-⑧)、大鋸で粗割りし、さらに金鋸で小割して生成鉄を回収した(写真9-①・②)。生成鉄は一体の大きなケラ状ではなく、径2mmの粒状鉄から長さ最大約34cmまでの塊状のもの、薄い膜状のものなど様々であった。作業の結果、生成鉄を約60kg(付着鉄滓重量含む)回収した。

生成鉄は外観から大きく3種類に分かれる。

A類：粒状鉄及び塊状のものである。さらに、A1類：粒状鉄、A2類：長さ20～99mmの塊状のもの、A3類：長さ100mm以上の塊状のものに分かれる(写真9-③～⑤)。

A1類は径2～20mmで、仁丹のような形状をなし、表面は青灰色または銀色を呈している。単体のものが多いが、2個以上が連結しているものもある。炉内における生成位置は断定できない。回収した重量は1.3kgである。

A2・3類は不定形であるが、全体的形状は板状のものが多く、表裏面は青灰色または銀色を呈している。いずれも羽口下方から採集した。青灰色を呈するものは表裏面に粒状鉄が多く認められ、破面には銀色の光沢と空孔が認められた。大型の(大きく育った)ものは東西の炉壁に沿って生成されていた。この大型の資料のほか、小型の資料にも一部に炉壁が付着していることから、この種の資料は炉壁と部分的に接続していたことが分かる。

銀色を呈するものの中にはアメーバ状に広がっているものもあり、断面形状が不整に波打って、表裏面のくぼみには破面に小さな空孔が多く見られるスカスカ状態の鉄滓が付着(残存)している。なお、一部の資料で断面を観察するために電動鋸で切断したところ、断面は銀色を呈し緻密で、小さな空孔も若干認められた。回収した重量は、A2類6.78kg、A3類28.16kg(31個)である。なお、A3類の資料の内訳は、長さ160mm以下のもの28個、190mm以上のもの3個で、最長は345mm、最重量は4.06kg(長さ270mm)である。

A2類の資料の中から青灰色を呈するもの(MH 08003)と銀色を呈するもの(MH 08004)を科学分析に供したところ、前者はC:1.72%の過共析鋼で、一部ネズミ鑄鉄の白鑄鉄とされ、後者はC:0.19%の亜共析鋼との結果が出た(本書掲載JFE報告)。

B類：木炭の周囲を覆った薄い膜が不規則に展開しているものである(写真9-⑥)。いずれも羽口下方から採集した。この膜は燃焼中の木炭あるいは燃え尽きなかった木炭の表面を覆ったものと推測され、膜の外側には別の膜が付着しており、全体の形状は不整形である。内側に木炭が残存しているものや木炭痕が認められるものがある。この被膜は磁性があり、表面は銀色を呈し、粒状鉄が認められる部分もある。また、被膜間にはガラガラした塊も認められる。回収した重量は、B1類(長さ50mm未満)9.39kg、B2類(長さ50～99mm)5.79kg(40個)、

B3類（長さ100～170mm）5.73kg（12個）で、木炭が多く見られるものは見掛けより軽く、鉄滓が付着するものは重い。

本類は粒状鉄が生成される前段階の資料であろうかと推測していたが、科学分析（MH08002）でも、「鉄塊にまとまる過程の（中略）比較的初期の鉄塊系資料」とされた。

C類：中央部からややふいご側の炉壁から剥がしたものである（写真9-⑦・⑧）。表面には砂粒のようなものが多く付着した樹枝状の小さな突起が多く見られ、所々、小さなアメーバ状の箇所も見られる。裏面は炉壁から剥がしたことから平坦である。全体的に青灰色ないしは青黒色を呈するが、アメーバ状の箇所は銀色を呈し、このアメーバ状の箇所は鉄が生成されているものと推測される。本類は壁際を降下してきた砂鉄が溶融あるいはその途中にあるものと推測される。回収した重量は、C1類（長さ100mm未満）0.69kg、C2類（長さ100mm以上）3.01kg（3個、長さ120・210・300mm）である。

（2）その他の磁性のある資料

製鉄炉炉壁を解体して炉底部に生成された生成物を鉄池に移動した後の炉底付近と、冷却した生成物を取り上げた後の鉄池の底面から磁石を使用して磁性のある資料を回収した。

炉底付近からは着磁性の砂と長さ3cm未満の砂鉄焼結塊が合計2.87kg、長さ3cm以上の砂鉄焼結塊が2.03kg（43個、内14個は5cm以上）回収された。また、鉄池底面からは着磁性の砂9.04kg、砂鉄焼結塊が3.4kg回収された。なお、解体した炉壁に付着した砂鉄焼結塊の回収は行っていない。

砂鉄焼結塊は炉壁解体前の炉内観察及び解体中の炉壁観察から、羽口より上方の炉壁に付着していることが確認されている。また、着磁性の砂は炉内に投入されたものの、吹き下ろしを行わなかったために未溶解のまま炉底に達し、堆積した砂鉄と推測される。

（3）鉄滓（写真10）

操業中にノロ出し（出滓）作業を合計11回実施した。その内、滓が流れ出したのは6～9回目と11回目である。各回における出滓量及び滓の顔つきは様ではなく、炉内状況を反映しているといえる。各回の出滓量及び滓の特徴は次の通りである。

1回目の作業では滓は流れず、炉内から塊を取り出した。この塊は流動性がなく、多孔質で0.45kgを量る。2回目の作業でも滓は流れず、炉内から引き出した粘性のある滓は0.14kgを量る。3回目の作業でも滓は流れず、引き出した滓は流動性がなく、2～7cmのお菓子のあられやおかきのような感じの塊が多くて、断面は多孔質である。総量は0.87kgである。4回目の作業でも炉内の滓は粘り強く流れず、3回目の鉄滓と似た特徴である。総量は0.87kgである。5回目の作業では粘る塊を引き出したが、炉壁が溶けたガラス質滓である。重量は6回目の滓と一緒に計測した。

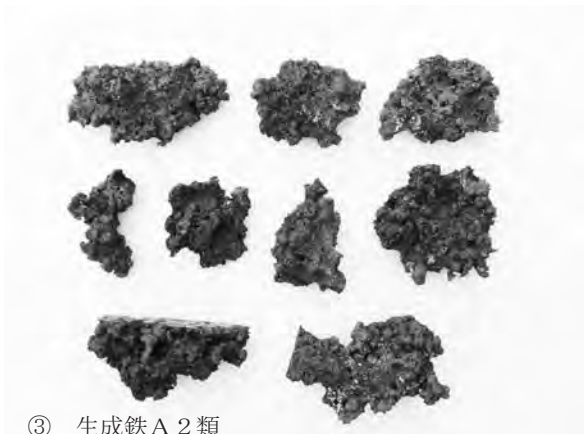
6回目の作業では、最初に滓が少量流れた後、約12分間断続的に流れた。表面がツルツとした感じの滓は少なく、表面が不整ないしは細かい皺になっている滓が多い。前者の断面は全



① 炉底塊粗割作業



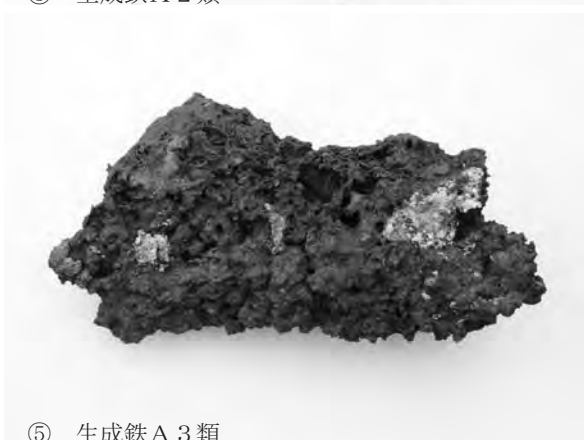
② 小割り作業終了後の小割り場



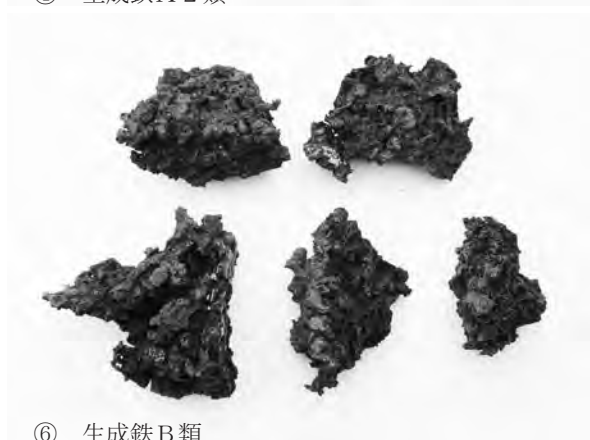
③ 生成鉄A2類



④ 生成鉄A2類



⑤ 生成鉄A3類



⑥ 生成鉄B類



⑦ 生成鉄C類



⑧ 生成鉄C類

写真9 3号炉小割り作業と生成鉄

体的に緻密であるのに対し、後者の断面上部は多孔質で、下部は緻密である（写真10－①）。また、後者には木炭を噛んでいるものもある。総量は35.86 kgである。

7回目の作業では34.1 kgの滓が流れたが、まだ粘性強い。表面がツルツとした感じの滓（写真10－③・④）と表面が不整ないしは細かい皺になっている滓があり、約6：4の割合である。また、前者の上に後者が乗っている2層構造のものもある。断面は前者では全体的に緻密で、後者でも緻密なものが多く、上部が多孔質で下部が緻密なものは少ない。

8回目の作業でも滓は流れ、大きな塊も取り出した。表面がツルツとした感じの滓は僅かで、表面が不整ないしは細かい皺になっている滓が主体をなす。後者には上部が多孔質で下部が緻密なもの、全体的に多孔質なものがある（写真10－②）。また、炉壁が溶融した表面や断面が黒く光る軽い滓もある。総量は10.58 kgである。

9回目の作業でも滓は流れた。表面がツルツとして断面が緻密な滓は僅かで、表面が不整ないしは細かい皺になっている滓が主体をなす。後者には、断面が緻密なもの、上部が多孔質で下部が緻密なもの、全体的に多孔質なものがあるが、6～8回目に比べて多孔質で軽いも

表7 鉄塊重量一覧

	長さ100mm未満		長さ100mm以上	計
A類	A1類:粒鉄(2～20mm)	A2類:長さ20～99mm	A3類	36.24
	1.3	6.78	28.16	
B類	B1類:長さ50mm未満	B2類:長さ50～99mm	B3類	20.91
	9.39	5.79	5.73	
C類	0.69		3.01	3.70
合計				60.85



写真10 3号炉の鉄滓

のが占める割合が高い。総量は 18.8 kg である。

10 回目の作業では炉内から小さな塊を取り出した。炉壁が溶けたガラス質滓が多く、表面は不整で黒く光り、断面が多孔質で軽い。重量は 1.5 kg を量る。

11 回目の作業では滓が少し流れた。表面がツルツとした感じの滓は少なく、表面が不整な滓が多い。小振りな滓が多く、断面は緻密で見た目より重い。他にガラス質の塊が 1 個ある。総量は 1.3 kg である。

鉄滓の内、炉内滓及び炉底滓に関しては全量回収していないことから、それらの重量を知ることにはできないが、炉内滓は薄い膜状のものや多孔質のものである。また、炉底滓は断面が黒くて緻密で厚く、重量感もある。

5 まほろん3号炉のまとめと考察

今回の操業は、平安時代の製鉄炉を想定し、原寸大の炉による銑鉄の生成を目指した。以前に操業した炉とは、羽口の装着角度や送風装置を若干変更し、投入砂鉄の落下速度を遅らせるための方策も採用して操業に当たったが、途中のノロ出しでは流動性が良いノロも流れ出てはいったものの、全体的にノロの流動性も悪く、羽口が詰まり、送風がままならぬ状況になり、炉内温度が低下する事態に陥ったことから、当初の予定より早く操業を停止せざるを得なかった。そのため、出銑にも到ることができなかった。しかし、生成鉄の分析結果によると、成分にばらつきがあるものの、高炭素鋼が生成されていたことが判明し、いくらか目指した生成鉄に近付いた感はあるのではないかと考えている。

ここでは、今回の操業に関して若干考察を加え、今後の操業の糧としたい。

(1) 送風装置について

今回の操業では、炉壁に装着する羽口角度を 12° とした。これは、モデルとした大船迫 A 遺跡 15 号製鉄炉から出土した羽口の装着角度の平均値である。炉壁装着の羽口角度は前回までは 30° と急であり、今回のみ 12° とおおよそ半分ほどの角度となった。操業の結果、この装着角度の差、すなわち送風角度と炉底の状況が、実は操業の質と密接な関連があることが判明した。

今回連結する木呂羽口の本数は、西側は 2.5 本、東側は 2.5 本から 4 本であった。東側は、風箱が斜めであったため連結する羽口本数が一定しなかったと同時に、風箱に接する羽口は直角に設置せざるを得ないため、あるところで連結部を屈曲さ



写真 11 15 号製鉄炉木呂羽口の様子

せないと炉壁の羽口穴と連結できなかった。実際の遺構では、操業前の炉壁の厚さを鑑みると、西側は1本の木呂羽口の先端が直接炉の壁に接することになるが、東側では1.5ないし3本の木呂羽口で炉の壁と接することになったであろう（註3）。

このような、風箱の設置状況（実際の遺構では、東側の送風溝が斜めに広がる）や木呂羽口の連結が、炉の東西側で異なるのは、おそらく風箱への送風の負荷を片側にかけるためであろうと考えたが、実際の操業では、明確な差異は感じられなかった。ただ、操業当初は炉の西側（炉の左側）より東側（炉の右側）の方が木炭の燃焼が早く、さらに、ふいご側の方がノロ出し側より早かった。また、炉の中央部より炉の壁に沿った部分の燃焼がよかった。したがって、炎の高さは、西側が低く東側が高いと同時に、ふいご側が高く、ノロ出し側が低い状況となった。これは送風する風の力の強弱が関係していると思われるが、砂鉄が投入される頃になると変化は見られなくなった。さらに、なぜこのような差異が当時必要であったのかは、今回の操業では判明できなかった。

なお、操業終了後、木呂羽口内部の熱痕跡について観察したが、西側は炉から1本目の木呂羽口まで炎による熱痕跡が認められ、東側では3本目まで確認できた。これは、東側の方が西側に比べ炎の引きが長かったことを裏付けるが、これが前述したような東側の炎の高さや燃焼の良さに牽引されるのかどうかはわからなかった。

（2）炉底について

炉底は、島根県佃谷タタラの記録（註6）を参考に、中央を6cm、短辺側を3cmほど窪ませた。これにより、炉底が浅い皿状を呈することとなった。実際に操業してみるとふいご側に溜まったノロは、ノロ出し側の方までなかなか到達せず、流れ出なかったような感じがあった。この炉底の形状は、おそらく両側廃滓の場合であり、今回の3号炉のように片側からのみの廃滓の場合、底面はノロ出し側に向かって傾斜している方が、流れやすいのではないだろうか。

（3）砂鉄せんべいについて

今回のような砂鉄せんべい用の糊は、当時使用したかどうかは、有機質のため全く不明である。しかし、今回使用した川砂鉄より遙かに粒径が小さく細かい浜砂鉄の場合、ふいごの風力により操業時に炉から飛散する可能性が大なのである。事実、クロガネくん2号炉では、操業中、砂鉄が空中に舞い上がった。

さらに、モデルとした大船迫A遺跡15号製鉄炉のP4上に認められた砂鉄の集積は緩斜面にあるため（写真12参照）、当時の砂鉄が何らかの方法により、



写真12 15号製鉄炉P4のようす

流されないような状態であったため確認できた可能性が考えられる。

また、伝承炉（倉林炉）の操業では、砂鉄と粉炭と貝殻の粉末を正麩糊でまとめて、鳩卵ぐらいの大きさにしている（註7）。このように現在では腐蝕して確認できない糊状のもので、砂鉄を固めていたのではないだろうか。

（4）砂鉄の投入位置について

操業後に炉を解体して炉壁の状況を観察したところ、炉壁下部が溶融により侵食されていることが確認された。この侵食は羽口より上部で顕著であり、この部分の溶融物が操業中に羽口を詰まらせる原因となったことが当然ながら予想されるが、羽口より上部の炉壁を溶融侵食させる要因として、対面の壁面下部の羽口からの風の他、砂鉄の投入位置が起因している可能性がある。島根県奥出雲町の日刀保たたらの木原明村下から、たたら製鉄では、羽口の前に砂鉄が落下していくように砂鉄を投入するのが鉄則だという話を伺ったことがある。今回の操業では、木炭を投入後に砂鉄を東西炉壁に沿って投入していたが、この砂鉄が羽口前ではなく炉壁側に落下して行ったか、炉壁際に砂鉄を投入していた可能性があるのではないだろうか。

（5）操業について

ノロ出し作業の5回目までは、中央の出滓口から粘性の強いノロを引っ張り出している状況であったが、6回目のノロ出しの際に、しつこくその粘性の強いノロを引き出し、炉内からの炎（ホセ）の通り道を確保して出滓口からホセを出すようにしたところ、炉内より自然にノロが流れ出した。6回目のノロ出しまでは出滓口を粘土で閉塞して操業を続けてきたが、その後は、出滓口からホセを出しながら操業を行ったところ、7回目以降のノロ出しではより流動性のあるノロが流れ出したことから、このホセを炉外に出しながらの操業は出滓口を温めることになり、ノロを炉外へ導き出す一つの手段となったと考えられる。3号炉と似た形態の長方形箱形炉による日刀保たたらや岡山県新見市の中世たたらを操業を見学したことがあるが、両短辺に出滓口を設けて、両方の出滓口からホセを引きながら操業している場面を目にした。日刀保たたらの木原村下によると、ホセの引きはハナ側を大きくするべきとのことであり、3号炉の出滓口はまさしくハナ側に当たる。今後は、この出滓口からのホセの引きも考慮に入れて操業するべきであろう。

出滓口及びノロ出し作業に関して付け加えると、今回の操業では南辺に出滓口を3箇所設けたが、実際に使用したのは中央のみであり、先述の通り、羽口より下方の炉壁がそれほど侵食されなかったことから、両端の出滓口からのノロ出しは行わなかった。また、ノロ出しの際の道具であるが、長さ120 cmほどの市販のバールで炉内を突いていたが、炉内部の長さが185 cmあり、南壁の厚さが約35 cmであることから、南辺一方からのみのノロ出しでは長さ2 mを超える所謂「大どおし」が必要であることを実感した。

冷却後の粗割・小割り作業で生成鉄を回収した際に、鉄塊A2・3類は羽口下方の炉壁際に生成され、生成鉄の一部は炉壁と連結していることがわかった。操業後の炉の解体時に、炉内

断面を観察したところ、羽口より下部にはノロが厚く堆積していたが、ここに溜めるノロの粘性及び量を少なくしたら、羽口下方に安定して鉄が生成されたのではないだろうか。

これもまた木原村下の言であるが、羽口1本1本が溶鉱炉であり、それらを制御しなくてはいけないとの事である。まほろん3号炉は合計36本の羽口を装着する炉であり、36基の溶鉱炉を操業するというイメージで取り組まなくてはいけないということである。高望みはせず、羽口の少ない規模の小さな炉をモデルに目標とする鉄の生成を目指すべきかもしれない。

最後になるが、この度のまほろん3号炉の操業前の実験から準備・本操業、さらに本報告に当たり以下の方々と機関より多大なるご指導・ご協力をいただいた。記して、感謝申し上げる次第である。

藤安正博（刀工） 有賀一久 中西裕也 星秀夫 佐藤健二 岡野良武 藤原俊和（刀工） 菊池良一郎
星忠夫 穴沢義功 木原明 村上恭通 真鍋成史 笹田朋孝 笹澤泰史 三瓶秀文 門脇秀典
福島県教育庁文化財グループ 福島県県南建設事務所 東日本高速道路株式会社東北支社相馬工事事務所
財団法人福島県文化振興事業団遺跡調査部 常磐自動車道（相馬）遺跡発掘調査班の皆さんと作業員の方々

〔付記〕まほろん3号炉の設計から準備作業及び操業まで、まほろん前職員の吉田秀享（現財団法人福島県文化振興事業団遺跡調査部）が中心になって進めてきたが、新年度になり異動になったことから、吉田が各実験や操業の際に取ったメモや本稿のために準備していた文章を能登谷が引き継ぎ、今回の報告を行った。

<註>

（註1）国井秀紀 1995 「第2編大船山A遺跡 第4章第1節 15号製鉄炉」『原町火力発電所関連遺跡発掘調査報告書V』

（註2）吉田秀享 2005 「まほろんイベント「鉄づくり」報告」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2004』

（註3）吉田秀享 2007 「まほろん2号炉による製鉄操業—平成17年度「鉄づくり」イベント報告—」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2006』

（註4）今回の操業では、砂鉄の落下速度を遅くするため、砂鉄を糊で固め、せんべい状のものにして投入することとした。その作り方は試行錯誤を繰り返し、各予備実験ごとに変えたが、最終的には奈良県在住の藤原俊和刀匠のアドバイスを受け、以下のような方法で作成した。

①餅米で糊を作る。餅米を製粉所で挽いてもらい、両手鍋に、餅米粉1：水2の割合で入れ、粉をなじませる。具体的には、直径40cmほどの鍋では、もち粉6合：水12合が適量であり、粉がなじんだら火にかけて暖める。点火から10～15分で餅糊が仕上がる。②餅粉の糊に砂鉄を混ぜ合わせる。①でできた分量の糊の場合、混ぜ合わせた砂鉄は18kgが適量であった。さらに、これに貝の粉180gを混ぜ合わせた。③型枠に入れ、のばした後、乾燥させる。④2日から1週間ほど乾燥させた後、小割りする。以上のような工程によって、操業前に準備した砂鉄は1,264kgとなった。餅米の使用量は249合（一合＝150gとして、37.35kg）であった。ただ、当初はうるち米で糊を製作していた。うるち米の使用量は64合（9.6kg）である。

（註5）製鉄操業において、最初のノロは「初花」と呼ばれ、神前に捧げられる。今回はこのノロの熱を利用して水で練った米の粉をお好み焼きのようにして焼き上げ（写真7-⑥）、参加者に振る舞い、初花を祝った。

（註6）俵 国一 1933 「古来の砂鉄製錬法」丸善

（註7）桂 敬 1982 「V古代製鉄原理の探求 第1章 伝承炉（伝倉林炉）と復元実験」『古代日本の鉄と社会』平凡社

「鉄づくり」イベント産出鉄塊の分析調査

J F E テクノリサーチ株式会社 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、鉄滓、始発原料である砂鉄等の化学成分分析・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、ミクロ組織観察などを中心に調査した結果について報告する。本調査では、製鉄歩留まり、滓への炉壁胎土などの溶解比率などについても検討を加えた。

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表1に示す。

表1 調査資料と調査項目（鉄づくりイベント産出鉄等）

資料No	種別 位置等	着磁度	M C 反 応	外 観 写 真	ミ ク ロ 写 真	マ ク ロ 組 織	化 学 成 分	X 線 回 折	硬 度
1	砂鉄	○	○	○	○		○	○	
2	炉内滓（鉄塊）	○	○	○	○	○	○		○
3	鉄塊	○	○	○	○	○	○		○
4	鉄塊	○	○	○	○	○	○		○
5	流出滓	○	○	○	○		○	○	
6	流出滓	○	○	○	○		○	○	
7	炉底滓	○	○	○	○		○	○	

(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、6mmを1単位として35cmの高さから吊した磁石が動き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 x1.5mm H、2.0mmφ x2.0mm H、5mmφ x5mm H、10mmφ x10mm H、16mmφ x16mm H、20mmφ x20mm H、30mmφ x30mm H）を使用し、これとの対比で金属鉄の大きさを判断した。

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 (Fe₂O₃) : 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 (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)、ヴァナジウム (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、マグネシア 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、化合水 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 SiO₂、アルミナ Al₂O₃、ライム CaO、マグネシア MgO、化合水 C. W.、灼熱減量 Ig. Loss、二酸化チタン TiO₂、酸化マンガン MnO、酸化ナトリウム Na₂O、酸化カリウム K₂O、炭素 C）を化学分析している。

鉄塊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）
・K β 線の除去	グラファイト単結晶モノクロメーター
・管電圧・管電流	55kV・250mA
・スキャン・スピード	4.0°/min
・サンプリング・インターバル	0.020°
・D.S. スリット	1°
・R.S. スリット	0.15mm
・S.S. スリット	1°
・検出器	シンチレーション・カウンター

⑤ ビッカース硬さ試験

ビッカース硬度計を用いて硬度を測定する（JIS Z 2244）。鏡面仕上げした試料面に対面角 136° の四角錐ダイヤモンド圧子を一定荷重、荷重時間 10 秒で押し込み、生じた圧痕の対角線の平均長さ d から、次式によって硬度を算出する。

$$\text{ビッカース硬度 (Hv)} = (\text{荷重}) / (\text{圧痕の表面積}) = 2P \sin(\alpha/2) / d^2 (\text{kg/mm}^2)$$

ここで、Hv はビッカース硬度、 α は対面角で 136°、d は圧痕の対角線の平均長さ μm 、P は荷重 gf である。本測定に当たっては組織の硬さや亀裂の発生を避けるため荷重は 30 g ～ 200 g の範囲で測定対象に応じて変更している。

⑥ 赤外線吸収分光分析

有機化合物の赤外線吸収による物質の同定を行う方法で、付着物を少量採取し、赤外線吸収分光（FT-IR）分析を行った。

（FT-IR 測定条件） 装置：サーモニコレー（株）社製 740FT-IR、Nic-Plan 赤外顕微鏡

測定法：透過法（ダイヤモンドセル使用）、積算回数 200

3 調査結果および考察

資料採取は提供資料を転記し、外観については観察結果を提供資料の観察所見と併せて記述した。

（1）資料 No. 1（MH08001） 砂鉄（板状に塊成化）、着磁度：強、MC：なし

外観：写真 1・2 に示す。板状に塊成化した砂鉄である。市内の隅戸川から採取した砂鉄混

じりの砂を水流により比重選鉱して採取した砂鉄を乾燥後、餅米を粉にして煮詰めた中に入れて混合し、型に入れて乾燥させて塊成化してある。「鉄づくり」イベントではこの板状砂鉄を1～2 cmに小割りして製鉄炉に投入している。手で割れる程度の堅さである。水流による比重選鉱の結果と思われるが細粒の砂鉄が少ない印象を受ける。ほとんど黒色で品位は高いと思われる。フレーク状のやや大きな白色粒子が観察されるが、砂鉄の重量比で1%混合された貝殻粉と思われる。写真3・4に20倍と100倍で撮影した砂鉄の外観写真を示す。水洗の効果で泥の付着はなく、粒子径は揃っており、微細な粒子は観察されない。夾雑物として半透明の石英粒子が観察されるがその量はあまり多くない。品位は高いと推察される。所定の方法による着磁度は測定できないが磁石には強く付き、強磁着である。

顕微鏡組織：写真27に10倍の砂鉄の断面組織を、写真36～39に100倍と400倍の顕微鏡組織を示す。チタン磁鉄鉱系の格子模様を示す粒子は見られず、白色、もしくは小さな穴状の欠陥を持つ磁鉄鉱系の粒子がほとんどである。また、砂鉄に比べ灰色の濃い石英や長石類が散見される。マクロ写真左上には貝殻の破片と思われる片状の大きな粒子が見られる。粒子には角の取れたものや角張ったものが見られ、川砂鉄の特徴を示している。

X線回折：結果を図12に示す。マグネタイト ($\text{Magnetite}:\text{Fe}_3\text{O}_4$) が最強の回折強度を示し、これが主要鉱物である。イルメナイト ($\text{Ilmenite}:\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の明瞭な回折線も認められるが、その回折強度は微弱で存在が確認できる程度である。顕微鏡観察でチタン磁鉄鉱の砂鉄粒子が見られなかったことと一致している。この他には石英 ($\text{Quartz}:\text{SiO}_2$)、粘土の成分であるアノーサイト ($\text{Anorthite}:\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)、エンスタタイト ($\text{Enstatite}:\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) などが確認される。X線回折結果は顕微鏡観察とほぼ一致している。以上からは磁鉄鉱を主要鉱物として、少量のチタン磁鉄鉱 (イルメナイト) と夾雑物としての石英やアノーサイトなどが混在する砂鉄と位置づけられる。

化学成分：砂鉄の化学成分分析の結果を表2に示す。全鉄 (T.Fe) 54.0%、金属鉄 (M.Fe) は0.36%である。酸化第一鉄 (ウスタイト: FeO) は28.9%、酸化第二鉄 (ヘマタイト: Fe_2O_3) は44.6%で、 FeO と Fe_2O_3 の比率は、39:61である。 TiO_2 は13.5%含まれている。石英 (Silica: SiO_2) は4.6%で比較的少なく、 Al_2O_3 は1.96%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) は9.77%で10%以下である。 CaO は1.14%含まれるがこのうち半分は1%配合された貝殻粉によると想定される。バナジウム (Vanadium:V) を0.25%、 MnO を0.56%含有する。酸化リン (P_2O_5) は0.344%含まれ、砂鉄としてはかなり高い値である。

T.Fe、 TiO_2 含有量、造滓成分量、酸化マンガン (MnO)、ヴァナジウム (V) などの量比関係から本砂鉄の特徴を検討する。図2に TiO_2 と T.Fe の関係を示す。栃木・茨城・千葉などの利根川・那珂川水系の砂鉄と福島地方 (主に相馬地域で得られた砂鉄) の砂鉄の中間でやや栃木等に近い位置づけにある。図3はT.Feで規格化したVと TiO_2 の関係を示す。V/T.Feは福島 (相馬地域が主体) と同程度で、 TiO_2 がやや低い位置づけにある。栃木・茨城・千葉と比べると $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ はほぼ同じでV/T.Feが低い。山陰の赤目と比較するとV/T.Feがほぼ同レベルで $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ が高い位置にある。 MnO/TiO_2 と $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ の関係で見ると栃木・茨城・千葉の砂

鉄に近い。V/TiO₂ と TiO₂/T.Fe の関係で見るとやはり福島 of TiO₂/T.Fe が低い側で栃木・茨城・千葉の砂鉄に近い。造滓成分の観点では本資料は砂鉄成分（酸化鉄と酸化チタン）が 90%前後で良く選鉱されていると言える。

C 濃度は 0.85% である。砂鉄の C 濃度分析例はあまりないが、分析値がある 37 例の中で 2 番目の値でやはり餅米を結合剤に使用した結果が現れていると思われる。

赤外線吸収分析：赤外線吸収分析により結合剤の分析同定を行なった。塊成化砂鉄の半透明部について分析した。結果を図 9 に示す。餅米が結合剤に使用されているので、当然の結果であるが、参考図に示した米デンプンと吸収ピークが一致し、米が結合剤として利用されたことが分析によっても確認できる。

以上から、本資料は相馬地区の砂鉄の TiO₂ が低い側にあり、同時に那須火山系の関東地方の砂鉄に近い成分的特徴を持つ、TiO₂13.5%の中酸化チタン砂鉄と位置づけられる。選鉱は良好で砂鉄成分は 88% である。

（2）資料 No. 2 (MH08002) 鉄塊系遺物、着磁度：5、MC：20 mm 大以上

試料採取：最終の砂鉄、木炭投入後、送風も停止、炉内の木炭を自然焼却させた。明けて 11 月 4 日に炉を解体し、炉底部に生成された大きな塊を鉄池に入れて冷却した。その後、塊を池から取り上げ、粗割、小割を行い、炉底滓の上方より本試料を採取した。

外観：写真 5・6 に示す。重量 259.7g、長さ 105 mm、幅 82 mm、厚さ 65 mm。非常にゴツゴツした不整形の滓で薄皮状の金属鉄が生成し、表面には赤さびが発生している。薄皮の内側には木炭が噛み込み、薄皮状メタルの内側はきらきら輝き気泡はあるものの砂鉄焼結塊のようにも見える。薄皮状のメタルに覆われているためか資料全体に 20 mm 大以上のメタル反応がある。木炭を多く噛み込んでいるため通常の鉄塊のような重量感はない。薄皮が木炭を覆っている部分を切断する。皮膜の成分分析。

切断断面：切断面写真を写真 24 に示す。木炭を覆うように薄い金属鉄の膜が覆い、木炭の間には成長した金属鉄塊が存在している。薄皮部は砂鉄焼結よりも確実に還元・メタル化が進んでいる。ノロ（滓）噛みなどは比較的少ない。

マクロ組織：薄皮部分を写真 28 に、塊状部分を写真 29 に示す。薄皮部分では浸炭が進んだフェライト-パーライト組織の部分とほとんど C を含まないフェライト部分とが観察される。塊状部分も同様である。フェライト (Ferrite：α鉄) は白色で C < 0.02% である。パーライト組織 (Pearlite：α鉄と鉄炭化物であるセメンタイト (Cementite：Fe₃C) とが層状に析出する組織) は灰色で、一般には C 濃度が上がるとセメンタイト量が増え、色は濃くなる。

顕微鏡組織：写真 56～61 に薄皮状の金属鉄部分の顕微鏡組織を示す。写真 56・57 のフェライト-パーライトの組織はマクロ写真左側、写真 58・59 のフェライト組織はマクロ写真下中央の部分である。写真 60・61 は観察された滓で骸晶状のウルボスピネル (Ulvospinel：2FeO・TiO₂) と針状のイルメナイト (Ilmenite：FeO・TiO₂) が観察され、TiO₂ の高い砂鉄が始発原料であることを示している。塊状鉄部分の顕微鏡組織を写真 62～65 に示す。フェライ

トが多い部分、パーライトが主体の組織などである。

硬度測定：薄皮状部分と塊状部分のフェライト部とパーライト部のビッカース硬度を測定した。測定部分の硬度測定圧痕を写真 76 ～ 79 に示す。薄皮状部分のパーライト部分（写真 76）：238.5Hv、フェライト部分（写真 77）：139.4Hv、塊状鉄のパーライト部分（写真 78）：244.7Hv、フェライト部分（写真 79）：148.1Hv である。いずれも、組織に見合った硬度である。

化学成分：化学成分分析結果を表 3 に示した。C は 0.31% で亜共析鋼（ $C < 0.8\%$ ）の C 濃度である。顕微鏡組織と一致する。珪素（Si）は 0.044%、アルミニウム（Al）は 0.006%、チタン（Ti）は 0.011%、ヴァナジウム（V）は 0.009% で滓がわずかに混入していると思われる。マンガン（Mn）は 0.004%、銅（Cu）は 0.005% といずれも少ない。磷（P）は 0.460% とやや高く、原料のリンが影響している可能性がある。硫黄（S）は 0.018% である。

本資料は採取位置からも判断できるように木炭上に生成してきている鉄塊にまとまる過程の浸炭も進んできている比較的初期の鉄塊系資料と思われる。

（3）資料 No. 3（MH08003） 鉄塊、着磁度：5、MC：30 mm 大以上

試料採取：資料 No. 2 と同一である。最終の砂鉄、木炭投入後、送風も停止、炉内の木炭を自然焼却させた。明けて 11 月 4 日に炉を解体し、炉底部に生成された大きな塊を鉄池に入れて冷却した。その後、塊を池から取り上げ、粗割、小割を行い、炉底滓の上方より本試料を採取した。

外観：写真 7・8 に示す。重量 35.6 g、長さ 39 mm、幅 28 mm、厚さ 18 mm。平面的には不整形で全体的には板状を呈する。粒状鉄が堆積・結合・熔融過程にある。上面側は滑らかで 2 ～ 3 mm 大の粒状鉄が多く見られ、下面側は 8 ～ 10 mm 大の粒状鉄が見られる。側面には破面が 2 面あり、銀色の輝きも認められるが大部分はさびている。完全に溶けておらず、小気孔が多量に認められる。

切断断面：切断面写真を写真 25 に示す。外観と異なり、鉄塊内部はよく熔融している。ノロ（滓）嚙みなどは比較的少ない。

マクロ組織：写真 30 に示す。ほぼ均質で、パーライトの素地にセメンタイト（Cementite： Fe_3C ）が網目状に析出した過共析鋼と思われる。資料の周囲に片状黒鉛が見られ、一部ネズミ鉄鉄になっている。C の高い白鉄鉄と思われる。

顕微鏡組織：写真 66 ～ 69 に示す。写真 66・67 では片状の黒鉛が晶出し、素地はパーライトで結晶粒界にセメンタイトが析出している。ネズミ鉄鉄の組織である。写真 68・69 はパーライトの素地にセメンタイトが析出している白鉄鉄の組織である。いずれも高炭素の組織である。

硬度測定：測定部分の硬度測定圧痕を写真 80・81 に示す。セメンタイト部分（写真 80）：955.0Hv、パーライト部分（写真 81）：259.7Hv で組織に見合った硬度である。

化学成分：化学成分分析結果を表 3 に示した。C は 1.72% で過共析の C 濃度である。珪素（Si）は 0.028%、アルミニウム（Al）は 0.014%、チタン（Ti）は 0.009%、ヴァナジウム（V）

は 0.005% で滓がわずかに混入していると思われる。マンガン (Mn) は 0.002%、銅 (Cu) は 0.007% といずれも少ない。磷 (P) は 0.610% とやや高く、原料のリンが影響している可能性がある。硫黄 (S) は 0.033% である。

本資料は十分浸炭が起こっている鉄塊資料 (C : 1.72%) である。表面に見られた粒状鉄も内部と差がなく浸炭が進んで熔融滴下結合している。

(4) 資料 No. 4 (MH08004) 鉄塊、着磁度 : 5、MC : 30 mm 大以上

試料採取 : 資料 No. 2・3 と同一である。最終の砂鉄、木炭投入後、送風も停止、炉内の木炭を自然焼却させた。明けて 11 月 4 日に炉を解体し、炉底部に生成された大きな塊を鉄池に入れて冷却した。その後、塊を池から取り上げ、粗割、小割を行い、炉底滓の上方より本試料を採取した。

外観 : 写真 9・10 に示す。重量 55.9 g、長さ 63 mm、幅 38 mm、厚さ 21 mm。平面形状はアメーバ状を呈し、断面形状は不整に波打っている。表面では高まりは銀色の光沢があり、窪んでいる箇所には鉄滓が付着している。この鉄滓は暗灰色を呈し、小さな空孔が多く見られスカスカ状態である。なお、断面を見るためにすでに切断してある。鉄塊の断面は緻密で、小さな空孔も若干認められる。

分析位置 : 切断面から 1 cm 内側を切断面と平行に切断し、メタル部分を分析。顕微鏡観察はメタルと滓について実施した。

切断断面 : 切断面写真を写真 26 に示す。メタルと滓が半々程度で、メタルは良くまとまっており気泡などは少ない。また、滓は外観ほど気孔は多くなく、通常の鉄滓の範囲である。

マクロ組織 : 金属鉄の組織を写真 31 に、滓部分のマクロ写真を写真 32 に示す。金属鉄は白色のフェライト組織主体の部分と灰色に見えるパーライトと針状のフェライトからなるフェライト-パーライトの混合組織の部分と観察される。亜共析鋼の組織である。金属鉄に巻き込まれている滓部分はガラス質に針状のイルメナイト (Ilmenite : $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) と骸晶状のウルボスピネル (Ulvospinel : $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) がガラス質に晶出している。

顕微鏡組織 : 写真 70 ~ 75 に金属鉄部分の顕微鏡組織を示す。写真 70・71 はマクロ写真の比較的フェライトの多い部分でフェライト主体の素地にパーライトが析出している。写真 72・73 ではフェライト-パーライトの組織でパーライトの素地に初析と見られるフェライトが観察される。いずれも亜共析鋼の組織である。写真 74・75 は付着していた滓で針状のイルメナイト (Ilmenite : $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、短冊の引き裂かれたような灰色のファイヤライト (Fayalite : $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、骸晶状のウルボスピネル (Ulvospinel : $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が観察される。

滓の顕微鏡組織を写真 40 ~ 43 に示す。白色で針状あるいは長く伸びた頸椎の様なイルメナイト (Ilmenite : $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、多角形や骸晶状のウルボスピネル (Ulvospinel : $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が観察され、これらの背後に沈むように棒状のファイヤライト (Fayalite : $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が観察される。典型的な砂鉄製錬滓の鉱物組織である。

硬度測定 : 測定部分の硬度測定圧痕を写真 82・83 に示す。パーライト部分 (写真 82) :

200.7Hv、フェライト部分（写真 83）：161.8Hv である。パーライト部分はやや低い硬度で、フェライト部分はやや高い硬度である。

化学成分：化学成分分析結果を表 3 に示した。C は 0.19% で亜共析鋼（ $C < 0.8\%$ ）の C 濃度である。顕微鏡組織に比べ炭素濃度は低い。組織の不均質によると思われる。珪素（Si）は 0.064%、アルミニウム（Al）は 0.022%、チタン（Ti）は 0.024%、ヴァナジウム（V）は 0.006% で滓がわずかに混入していると思われる。マンガン（Mn）は 0.005%、銅（Cu）は 0.006% といずれも少ない。磷（P）は 0.220% である。硫黄（S）は 0.014% である。

本資料は炭素濃度に不均質はあるが浸炭もある程度進んだ亜共析鋼組成（C：0.19%）の鉄塊資料である。

（5）資料 No. 5（MH08005）流出滓、着磁度：1、メタル反応：3 mm 大

試料採取：合計 11 回行ったノロ出しの 6 回目のノロ出しで炉外に流出した鉄滓である。1 回目から 5 回目までは流出せず、出滓孔より内部の粘性のある滓を引きずり出していた。砂鉄投入後 24 時間 15 分経過した 6 回目のノロ出しの時に初めて鉄滓が炉外に流れ出した。この流出滓の一部を資料にした。

外観：写真 11・12 に示す。重量 112.9 g、長さ 67 mm、幅 58 mm、厚さ 51 mm。平面形は不整形で、破面が表面に 2 面、側面に 7 面確認できる。裏面はほぼ平坦であるのに対して、表面は盛り上がり破面以外は平滑であるが、小さな起伏があり、小さな気孔や皺が観察される。裏面はほぼ平坦で砂が付着し、側面から裏面に掛けては光沢がある。また、側面には木炭痕が見られる。気孔が非常に多くガス質である。側面の破面を見ると、上部は小さな空孔が多くスカスカの状態であり、下部は緻密な部分と小さな空孔が多い部分とがあり、幅 1 cm の木炭が噛んでいる。写真下部に 3 mm 大のメタル反応があり、この部分で 1 程度の弱い着磁度が認められる。上部の小さな空孔が多い部分から試料を採取する。

マクロ組織：5 倍の組織を写真 33 に示す。非常にガス質で、気孔だらけの熔融炉壁の印象がある。

顕微鏡組織：写真 44～47 に示す。結晶相は非常に小さい。白色で長く伸びたイルメナイト（Ilmenite： $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ）が多く観察され、骸晶状のウルボスピネル（Ulvospinel： $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ）が不明瞭ながら観察される。短冊が崩れた様な灰色のファイヤライト（Fayalite： $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ）がこれらの背後に沈むように観察される。ガラス質は多いが砂鉄製錬滓の鉱物組織である。

X線回折結果：結果を図 13 に示す。ガラス質気味な組織を反映し全体に回折強度は非常に低く、イルメナイト（Ilmenite： $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ）、ファイヤライト（Fayalite： $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、ウルボスピネル（Ulvospinel： $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ）の弱い回折線がみられる。この他に、石英（Quartz： SiO_2 ）やルチル（Rutile： TiO_2 ）の微弱な回折線が見られる。

化学成分：化学成分分析結果を表 4 に示す。全鉄分（T. Fe）は 22.2% で金属鉄（M. Fe）は 0.28% とわずかである。酸化第一鉄（FeO）は 6.9%、酸化第二鉄（ Fe_2O_3 ）は 23.68% であ

る。化合水 (C.W.) が 0.14% と少なく、鉄分にはゲーサイトなどの錆化鉄は含まれないと見られる。酸化珪素 (SiO_2) は 37.8% と多く、アルミナ (Al_2O_3) は 7.25% である。酸化チタン (TiO_2) は 10.1% で砂鉄よりも低く、炉壁などの胎土が多く反応していると見られる。酸化カルシウム (CaO) は 7.42%、酸化マグネシウム (MgO) は 4.37% で塩基性成分 ($\text{CaO}+\text{MgO}$) は 11.79% で高濃度である。アルカリ成分である ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) は 2.79% 含まれる。造滓成分量 ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) は 59.63% と多い。 FeO_n - SiO_2 - TiO_2 の 3 元系に換算するとそれぞれ 39%、48.2%、12.9% となり図 1 の平衡状態図ではイルメナイトとの境界に近いクリストバライト (Cristobalite: SiO_2) 領域に在り、クリストバライトが初晶として晶出することではなく、イルメナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、ウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が主要鉱物相になるとみられ、顕微鏡観察と一致する。15 年度に比べ高 SiO_2 側にあり、炉壁などの溶解量が多い。

還元に伴う TiO_2 、全鉄分 (T.Fe) の変化から製錬歩留まりを推算した。

ここで、製錬歩留まりは砂鉄の鉄分のうち金属鉄として分離された鉄分の比率として定義する。

製錬歩留まり η は $\eta = 1 - (\text{T.Fe}/\text{TiO}_2) / (\text{T.Fe}/\text{TiO}_2)^0$ で求められる。

ここで $(\text{T.Fe}/\text{TiO}_2)$ は滓の値で、 $(\text{T.Fe}/\text{TiO}_2)^0$ は砂鉄の値である。

また、炉壁などの溶解がない状態での (砂鉄のみの) T.Fe、 TiO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 なども推算できる。

一方、製錬歩留まり η と鉄バランスから砂鉄そのものから生成する滓に対する炉壁の溶解量も推算できる。さらに、炉壁胎土の成分が既知であればこれも含めて歩留まり η におけるこれらの成分を求めることが出来、これと実際の製錬滓の成分を比較すれば製錬歩留まりの妥当性が検討可能である。

表 5 に推算結果と実績との比較を、平成 15 年度、17 年度の実験結果も含めて示す。炉壁胎土としては 15 年度の炉壁成分の SiO_2 は 78.0%、 Al_2O_3 は 11.9% を使用した。成分の推算値と分析値はよく一致しており、計算歩留まりの妥当性が確認できる。本資料の場合、製錬歩留まりは 45% に達し、滓のうち砂鉄由来の滓は 49.6%、炉壁胎土由来の滓が 50.4% 程度と見られる。表には示さなかったが胎土成分が溶解しなかった場合の砂鉄だけの成分では T.Fe は 44.7%、 TiO_2 は 20.3% と推算される。

遺跡出土の鉄滓の化学成分から製鉄工程の位置づけを検討する図 7・8 で見ると当然ながら製錬滓の位置にある。図 7 では砂鉄の還元による成分の変化の線から胎土の溶解により矢印の方向に変化したと考えられる。図 7、図 8 から遺跡出土の製錬滓に比べ、胎土の溶解量が多い部類に入ると思われる。

以上から、6 回目のノロ出し時の滓は 45% 程度製鉄歩留まりの滓で、滓のうち砂鉄由来の量と炉壁などの胎土由来の量はおおよそ半々程度と推算される。

(6) 資料 No. 6 (MH08006) 流出滓、着磁度：微、メタル反応：なし

試料採取：合計 11 回行ったノロ出しの 7 回目のノロ出しで炉外に流出した鉄滓である。1

回目から5回目までは流出せず、出滓孔より内部の粘性のある滓を引きずり出していた。砂鉄投入後24時間15分経過した6回目のノロ出しの時に初めて鉄滓が炉外に流れ出した滓が資料No.5 (MH08005) である。その2時間後に7回目のノロ出しを行ない、13分間のノロ出し作業で合計34.1 kgの鉄滓が流出した。粘性は相変わらず強いが、流動性は前回よりもあるように観察した。この滓の一部を資料にした。

外観:写真13・14に示す。重量59.9 g、長さ78 mm、幅31 mm、厚さ28 mm。両面とも平滑であり、流動性の良いことが伺われる。表面には大きな皺が見られ、裏面はほぼ平坦で流路床の砂礫などの痕を写して小さな凹凸がある。表面は暗紫灰色で光沢が無く、裏面と破面は暗青灰色で光沢がある。

マクロ組織:5倍の組織を写真34に示す。小さな気泡はあるものの比較的均質で、鉱物相はこの倍率では明瞭には見られず、溶融炉壁のような様相を呈している。

顕微鏡組織:写真48～51に示す。ほぼ全面が微細な樹枝状のウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) である。イルメナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) は顕微鏡では検出されない。ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) の存在も不明瞭である。資料No.5 (MH08005) に比べ $\text{TiO}_2/\text{T. Fe}$ は低いことは明らかである。

X線回折結果:結果を図14に示す。ウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) の強い回折線とファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) の弱い回折線のみがみられる。検出された鉱物相はこの2種類のみで顕微鏡観察と一致する。

化学成分:化学成分分析結果を表4に示す。全鉄分 (T. Fe) は33.1%で金属鉄 (M. Fe) は0.35%とわずかである。酸化第一鉄 (FeO) は23.5%、酸化第二鉄 (Fe_2O_3) は20.7%である。化合水 (C. W.) が0.10%と少なく、鉄分にはゲーサイトなどの錆化鉄は含まれないと見られる。酸化珪素 (SiO_2) は29.6%で、アルミナ (Al_2O_3) は7.14%である。酸化チタン (TiO_2) は12.2%で砂鉄よりも低く、炉壁などの胎土と反応していると見られる。酸化カルシウム (CaO) は1.72%、酸化マグネシウム (MgO) は2.18%で塩基性成分 ($\text{CaO}+\text{MgO}$) は3.90%でやや高い。アルカリ成分である ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) は2.71%含まれる。造滓成分量 ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) は43.35%とやや多い。 $\text{FeO}_n\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ の3元系に換算するとそれぞれ51%、34%、14%となり図1の平衡状態図ではウルボスピネルとの境界に近いクリストバライト (Cristobalite: SiO_2) 領域に在り、クリストバライトが初晶として晶出することはない、ウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、イルメナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、ファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が主要鉱物相になるとみられる。顕微鏡観察ではイルメナイトは観察されないが厳密な3成分系ではないためのずれであろう。

資料No.5 (MH08005) と同様に製錬歩留まりや炉壁胎土の溶解量などを推算した。

表5に推算結果と実績との比較を、平成15年度、17年度の実験結果も含めて示す。成分の推算値と分析値はよく一致しており、計算歩留まりの妥当性が確認できる。本資料の場合、製錬歩留まりは32%と見積もられ、滓のうち砂鉄由来の滓は68.6%、炉壁胎土由来の滓が31.4%程度と見られる。表には示さなかったが胎土成分が溶解しなかった場合の砂鉄だけの成分で

は T.Fe は 48.2%、 TiO_2 は 17.7%と推算される。

遺跡出土の鉄滓の化学成分から製鉄工程の位置づけを検討する図 7・8 で見ると当然ながら製錬滓の位置にある。図 7 では砂鉄の還元による成分の変化の線から胎土の溶解により矢印の方向に変化したと考えられる。図 7・8 から遺跡出土の製錬滓に比べ、胎土の溶解量は多い部類に入ると思われる。

以上から、7 回目のノロ出し時の滓は 32%程度製鉄歩留まりの滓で、滓のうち砂鉄由来の量はおおよそ 69%、炉壁などの胎土由来の量はおおよそ 31%程度と推算される。

(7) 資料 No. 7 (MH08007) 流出滓、着磁度：微、メタル反応：なし

試料採取：最終の木炭・砂鉄の投入後、送風も停止し、炉内の木炭を自然燃焼させた。明けて 11 月 4 日に炉を解体し、炉底部に生成された大きな塊を鉄池に入れて水冷した。その後、塊を鉄池から取り上げ、粗割り、小割を行ない、本資料を採取した。

外観：写真 15～17 に示す。重量 34.4 g、長さ 65 mm、幅 62 mm、厚さ 51 mm。立方体に近い形状をなし、破面が表面に 1 面、側面に 5 面認められる。表面の破面は光沢のある部分とない部分とがあり、前者には非常に小さな空孔が多く見られるのに対して、後者には径 1～3 mm 大の空孔が多く見られる。裏面には流動した際の皺が見られ、炉材に混入していた長石が少量付着している。側面の破面を見ると、全体的には緻密な状態であるが、面によっては小さな空孔が多く見られる。

マクロ組織：5 倍の組織を写真 35 に示す。細い針状のイルメナイトが一面に分布している。全体的には大きな組織の変動は無く均質である。

顕微鏡組織：写真 52～55 に示す。細く、長く断裂した形状のイルメナイト (Ilmenite： $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が観察され、背後にファイヤライト (Fayalite： $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が観察される。顕微鏡で明瞭に観察される鉱物相はこの 2 種類のみである。

X 線回折結果：結果を図 15 に示す。ファイヤライト (Fayalite： $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) の中程度の回折線がみられる。その他はウルボスピネル (Ulvospinel： $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、イルメナイト (Ilmenite： $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、アウグイト (Augite： $\text{CaO} \cdot (\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$) やエンスタタイト (Enstatite： $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) などが弱い回折強度で同定される。

化学成分：化学成分分析結果を表 4 に示す。全鉄分 (T.Fe) は 25.6%で金属鉄 (M.Fe) は 0.08%とわずかである。酸化第一鉄 (FeO) は 15.3%、酸化第二鉄 (Fe_2O_3) は 19.5%である。化合水 (C.W.) が 0.10%と少なく、鉄分にはゲーサイトなどの錆化鉄は含まれないと見られる。酸化珪素 (SiO_2) は 37.3%で多く、アルミナ (Al_2O_3) は 7.25%である。酸化チタン (TiO_2) は 10.5%で砂鉄よりも低く、炉壁などの胎土と反応していると思われる。酸化カルシウム (CaO) は 4.47%、酸化マグネシウム (MgO) は 4.27%で塩基性成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) は 8.74%で相当高い。アルカリ成分である ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) は 2.90%含まれる。造滓成分量 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) は 56.19%と多い。 FeO_n - SiO_2 - TiO_2 の 3 元系に換算するとそれぞれ 42%、45%、13%となり図 1 の平衡状態図ではウルボスピネル、イルメナイトとの境界からクリストバ

ライト (Cristobalite : SiO_2) 領域に相当入った位置にあるが、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 (Ulvospinel : $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、イルメナイト (Ilmenite : $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)、ファイヤライト (Fayalite : $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が主要鉱物相になるとみられる。顕微鏡観察ではウルボスピネルは観察されないが厳密な 3 成分系ではないためのずれであろう。

資料 No. 5 (MH08005)、資料 No. 6 (MH08006) と同様に製錬歩留まりや炉壁胎土の溶解量などを推算した。

表 5 に推算結果と実績との比較を、平成 15 年度、17 年度の実験結果も含めて示す。成分の推算値と分析値はよく一致しており、計算歩留まりの妥当性が確認できる。本資料の場合、製錬歩留まりは 39% と見積もられ、滓のうち砂鉄由来の滓は 55.1%、炉壁胎土由来の滓が 44.9% 程度と見られる。表には示さなかったが胎土成分が溶解しなかった場合の砂鉄だけの成分では T.Fe は 46.5%、 TiO_2 は 19.0% と推算される。

遺跡出土の鉄滓の化学成分から製鉄工程の位置づけを検討する図 7・8 で見ると当然ながら製錬滓の位置にある。図 7 では砂鉄の還元による成分の変化の線から胎土の溶解により矢印の方向に変化したと考えられる。図 7・8 から遺跡出土の製錬滓に比べ、胎土の溶解量が多い部類に入ると思われる。

以上から、炉底に残留した本資料は 39% 程度製鉄歩留まりの滓で、滓のうち砂鉄由来の量はおおよそ 55%、炉壁などの胎土由来の量はおおよそ 45% 程度と推算される。

4 まとめ

(1) 操業について

鉄の浸炭量、滓の成分から、操業はけら押しの操業ではなかったかと思われる。また、製鉄歩留まりは 32%～45% の範囲と推察され、炉壁溶解量は遺跡出土のものに比べ多いように思われる。

(2) 資料 MH08001 (砂鉄)

比較的良好に選鉱された砂鉄で砂鉄成分 (酸化鉄と TiO_2) は 88% である。 TiO_2 、V、MnO、T.Fe 等の砂鉄を特徴付ける成分では栃木・茨城などの那須火山系の砂鉄に近い。 P_2O_5 が高い特徴がある。

(3) 資料 MH08002、MH08003、MH08004 (鉄塊)

浸炭の程度には幅があり、炭素濃度は 0.19%～1.72% の範囲であった。一部にはねずみ鉄鉄の組織が見られたがけら押しに近い操業であったと思われる。原料砂鉄の影響と思われるが、P の濃度が高い傾向がある。より正確には最大の生成鉄の分析に基づき銑押しかけら押しか判断する必要がある。

(4) 資料 MH08005、MH08006、MH08007 (流出滓、炉内滓)

鉄歩留まりが 32%～45%の範囲で生成した製錬滓と推定され、滓のうち 30%～50%は炉壁などの胎土に由来すると推察された。実際の遺跡から出土した鉄滓に比べ、炉壁の溶解量は多い部類に入ると思われる。

(5) 砂鉄成分の滓中への痕跡

これまで、割田遺跡、横大道遺跡、青井沢遺跡などの分析調査で砂鉄中の TiO_2 、 MnO 、 V 等は還元や胎土の溶解などに余り影響を受けずその比を維持すると報告してきた。本調査は、遺物調査と異なり、使用砂鉄は分っており、この関係が成り立つか検証できる。図 10、図 11 にこの関係を示す。明らかに砂鉄を基点として直線関係にあり (MnO と TiO_2 の比、 V と TiO_2 の比が一定に維持される)、製錬滓にはこれらの比が砂鉄の痕跡として明瞭に残ることを示している。従って、鉄滓の分析から始発原料砂鉄のこれらの比が類推でき、同一原料が使用されたか否かの指標とすることが可能と思われる。

表 2 砂鉄の化学成分分析結果 (%)

資料 No.	調査年度	採取地	T. Fe	M. Fe	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
1	19	隅戸川	54	0.36	28.9	44.6	4.6	1.96	1.14	2.01	0.02	0.08
6	18	右田浜	44.3		18.2	43.1	16.6	2.68	1.41	4.74	0.11	0.26
2	15	隅戸川	57.7		33.1	45.7	3.1	2.06	0.5	1.49	0.05	0.06

資料 No.	TiO_2	MnO	P_2O_5	V	C.W.	C	比率(%)		$\text{TiO}_2/\text{T. Fe}$	MnO/TiO_2	V/TiO_2	造滓成分%
							FeO	Fe_2O_3				
1	13.5	0.56	0.344	0.25	0.93	0.85	39.3	60.7	0.25	0.041	0.019	9.77
6	11.9	0.63	0.115	0.2	0.46	—	29.7	70.3	0.269	0.053	0.017	25.8
2	11	0.58	0.346	0.24	0.24	—	42	58	0.191	0.053	0.022	7.29

表中の資料 No 6、No 2 は平成 15 年度と 18 年度に調査した結果を参考として記載した。

表 3 鉄塊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
2	0.31	0.044	0.004	0.46	0.018	0.005	0.005	0.02	0.006	0.009	0.011	0.021	0.024
3	1.72	0.028	0.002	0.61	0.033	0.007	0.006	0.029	0.014	0.005	0.009	0.023	0.012
4	0.19	0.064	0.005	0.22	0.014	0.006	0.008	0.032	0.022	0.006	0.024	0.048	0.032

表 4 鉄滓の化学成分分析結果 (%)

資料 No.	T. Fe	M. Fe	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	比率(%)	
											FeO	Fe_2O_3
5	22.2	0.28	6.9	23.68	37.8	7.25	7.42	4.37	1.52	1.27	22.5	77.5
6	33.1	0.35	23.5	20.7	29.6	7.14	1.72	2.18	1.73	0.98	53.2	46.8
7	25.6	0.08	15.3	19.5	37.3	7.25	4.47	4.27	1.75	1.15	44	56

資料 No.	TiO_2	MnO	P_2O_5	Co	C.W.	C	V	Cu	$\text{TiO}_2/\text{T. Fe}$	MnO/TiO_2	造滓成分%
5	10.1	0.59	0.273	0.013	0.14	1.8	0.2	0.003	0.455	0.058	59.63
6	12.2	0.61	0.317	0.012	0.1	0.03	0.26	0.003	0.369	0.05	43.35
7	10.5	0.62	0.263	0.012	0.1	0.03	0.19	0.003	0.41	0.059	56.19

C. W. = 化合物、造滓成分 = $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

表5 鉄生成歩留まり、成分推算値

調査年度	操業年度	資料No.	種別	推算値						分析値		
				η	A	B	TiO ₂	SiO ₂	A ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	A ₂ O ₃
20	19	5	流出滓	0.45	0.496	0.504	10.1	42.7	7.46	10.1	37.8	7.25
20	19	6	流出滓	0.32	0.686	0.314	12.2	28.6	5.5	12.2	29.6	7.14
20	19	7	炉底滓	0.39	0.551	0.449	10.5	38.6	6.87	10.5	37.3	7.25
18	17	4	流出滓	0.48	0.679	0.321	12.1	28.5	6.09	12.2	29.5	7.18
15	15	4	流出滓	0.23	0.726	0.274	9.78	24.2	5.09	9.88	25.3	6.97
15	15	5	流出滓	0.29	0.675	0.325	9.67	28.1	5.67	9.77	28.5	8.01

η : 砂鉄からの金属鉄生成歩留まり A : 砂鉄からの生成した滓の比率 B : 炉壁などの胎土由来の滓の比率

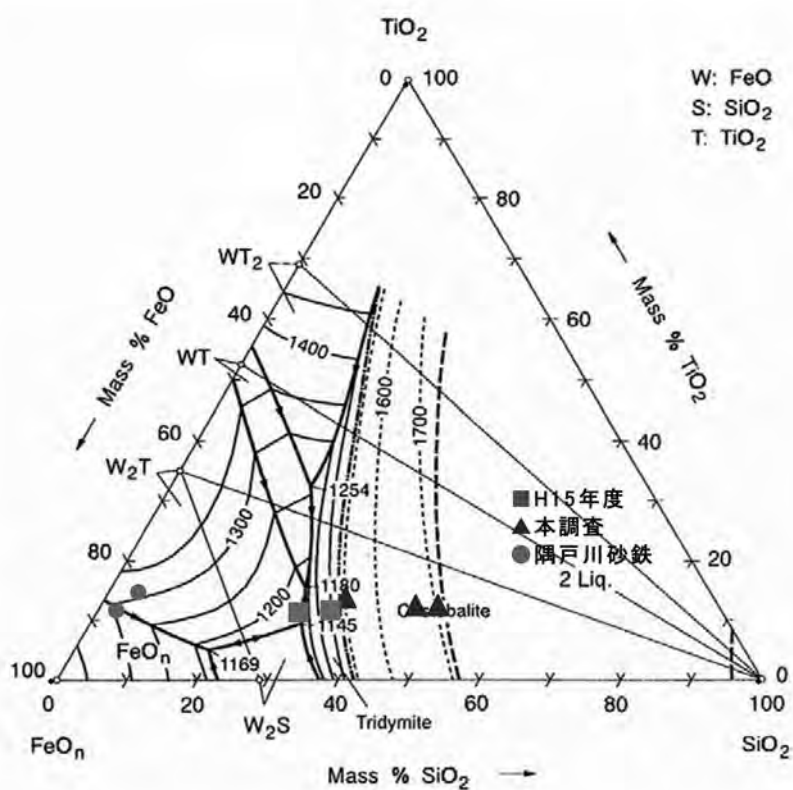


図1 FeO_n-SiO₂-TiO₂ 平衡状態図における各資料の位置づけ

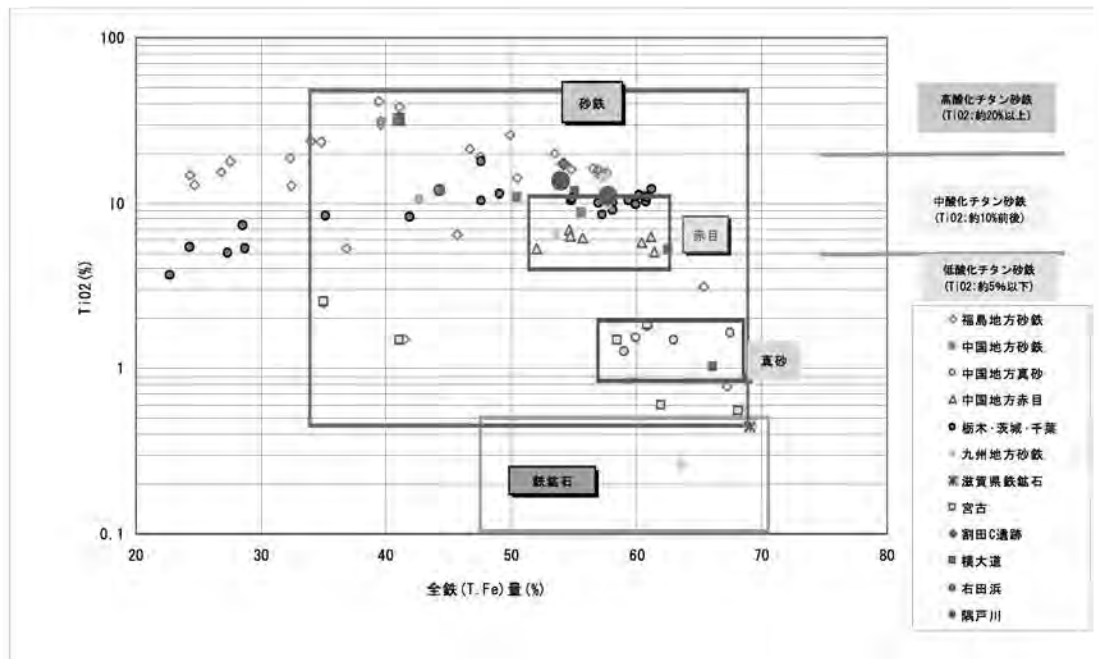
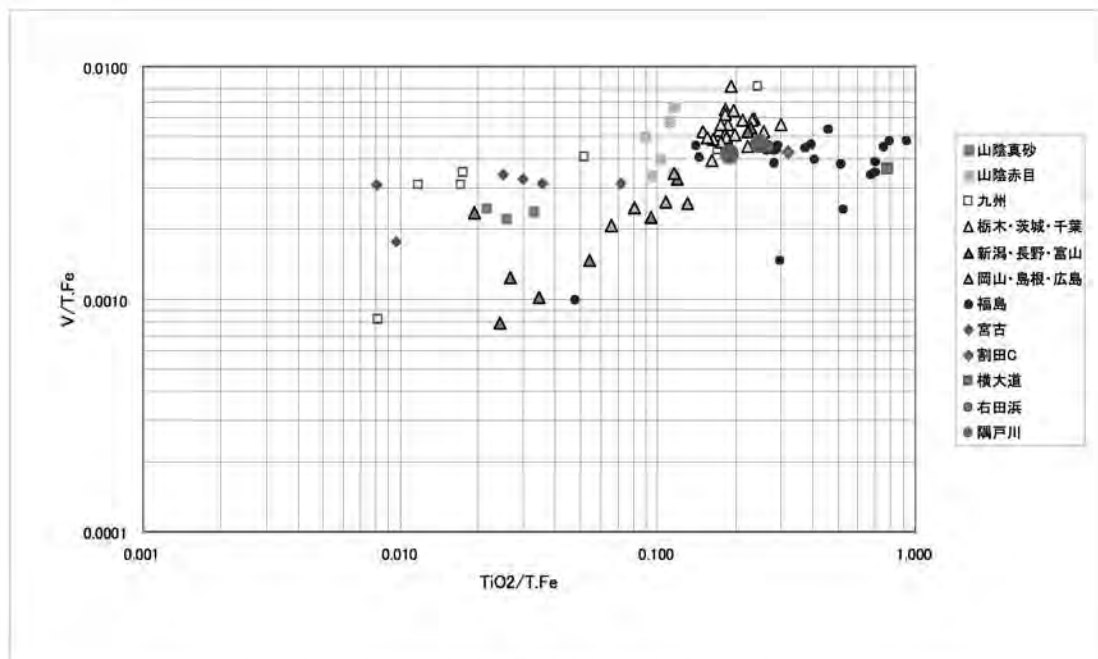


図2 砂鉄と鉄鉱石原料の全鉄量と酸化チタン量との関係

図3 砂鉄の $\text{TiO}_2 / \text{T.Fe}$ と $\text{V} / \text{T.Fe}$

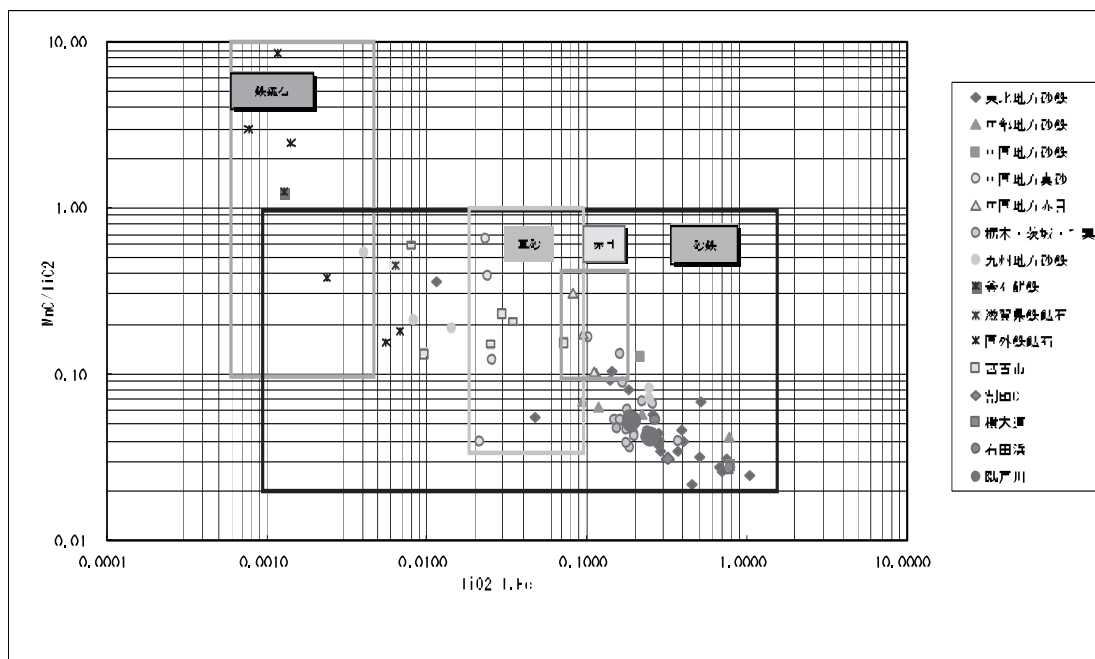


図4 砂鉄と鉄鉱石原料の酸化チタン (TiO_2) と酸化マンガン (MnO) との関係

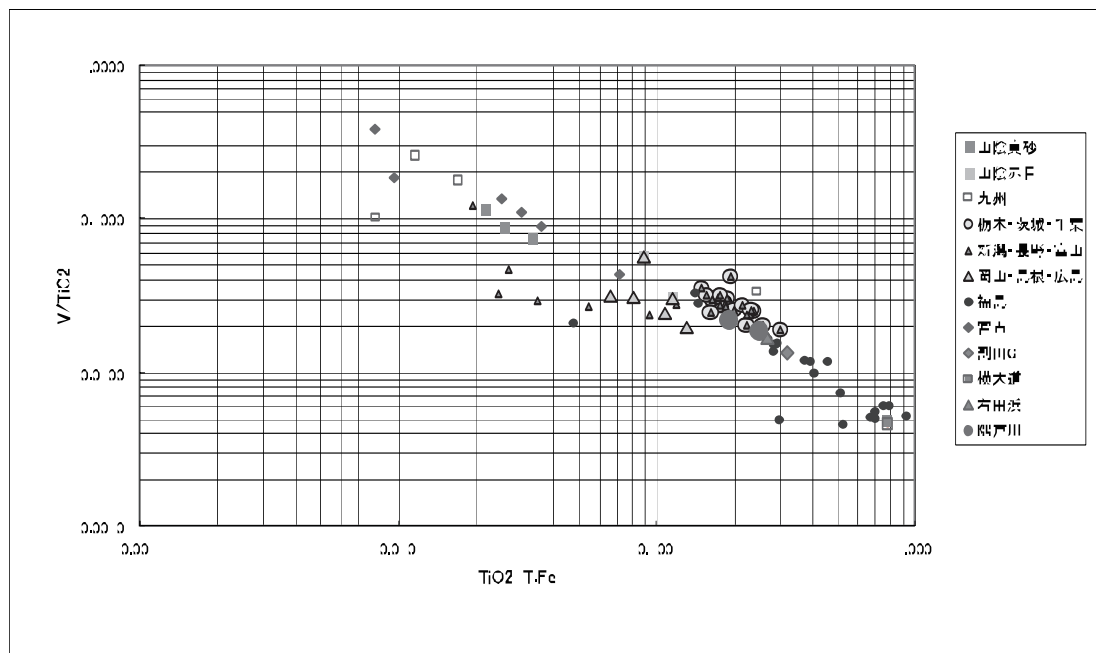


図5 砂鉄の $TiO_2 / T.Fe$ と V / TiO_2

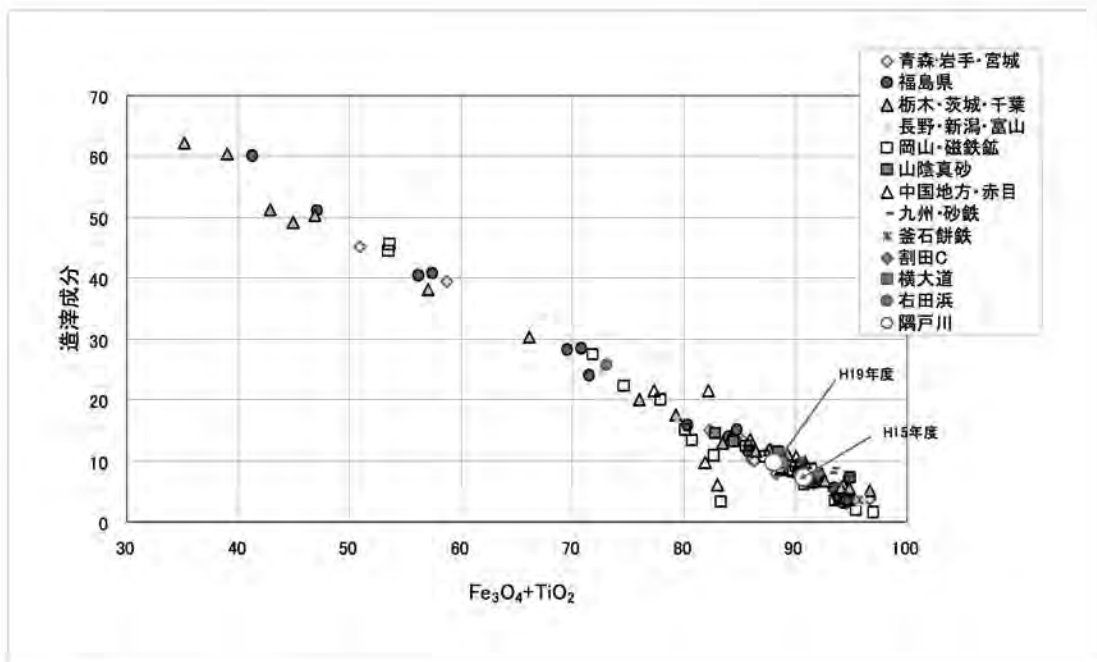


図6 砂鉄の純度

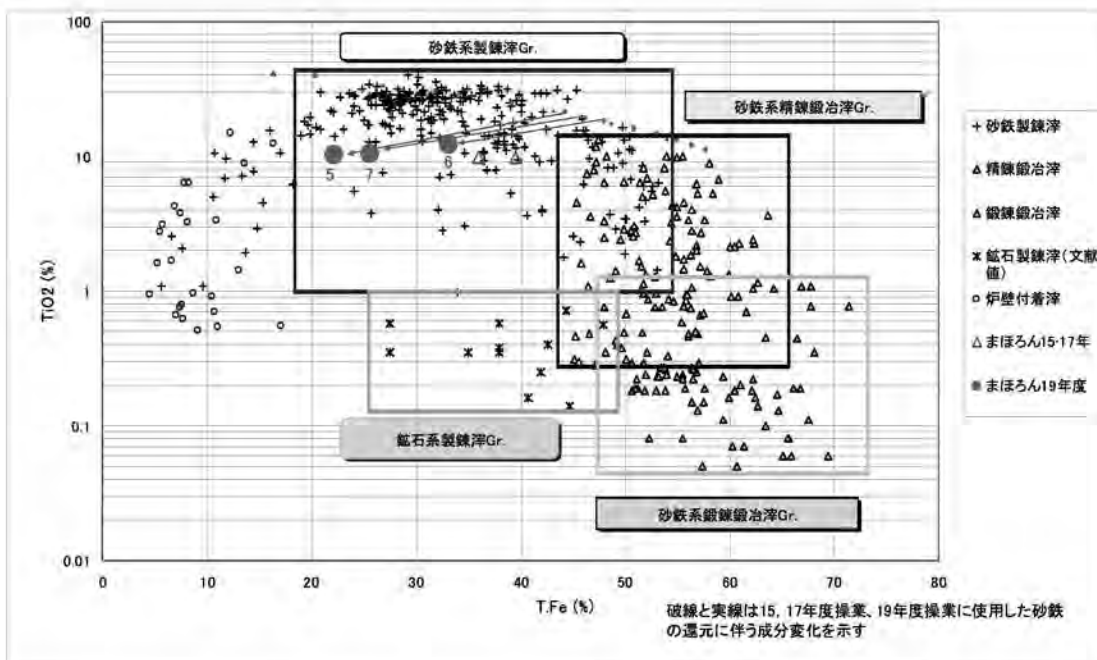


図7 出土鉄滓類の全鉄量と二酸化チタン量の分布図

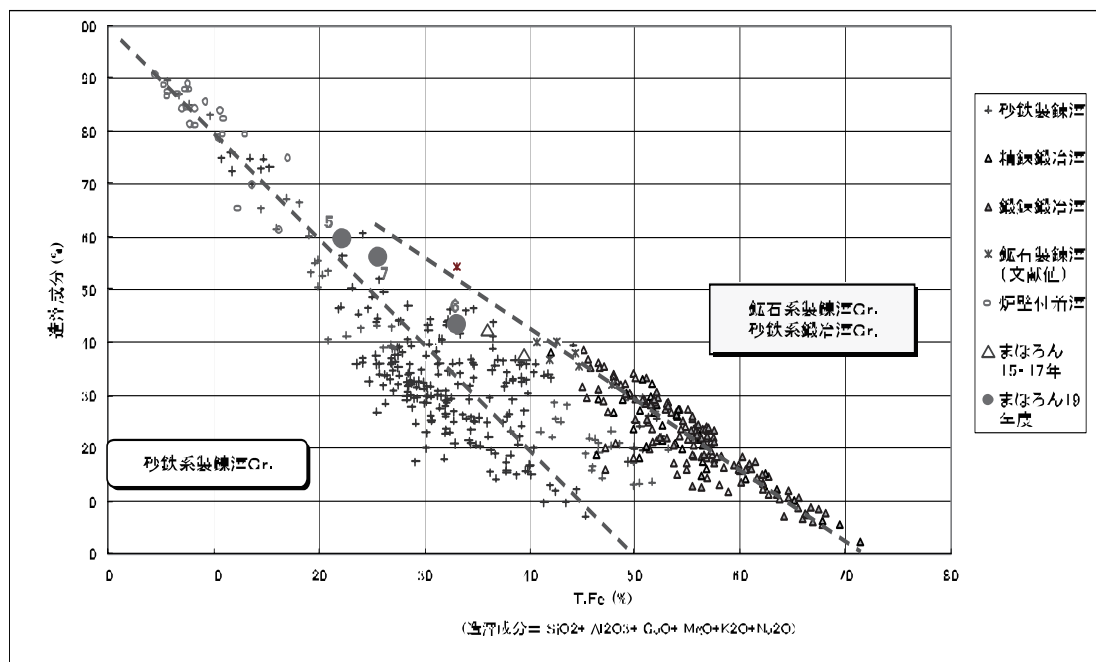


図8 製錬滓と鍛冶滓の分類

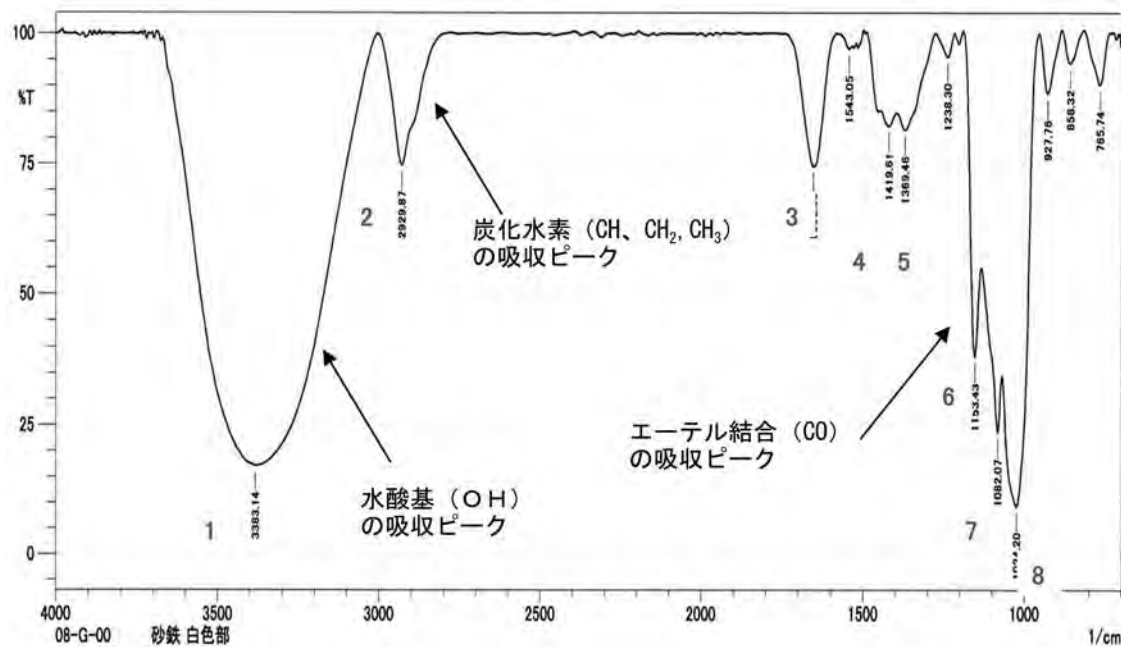
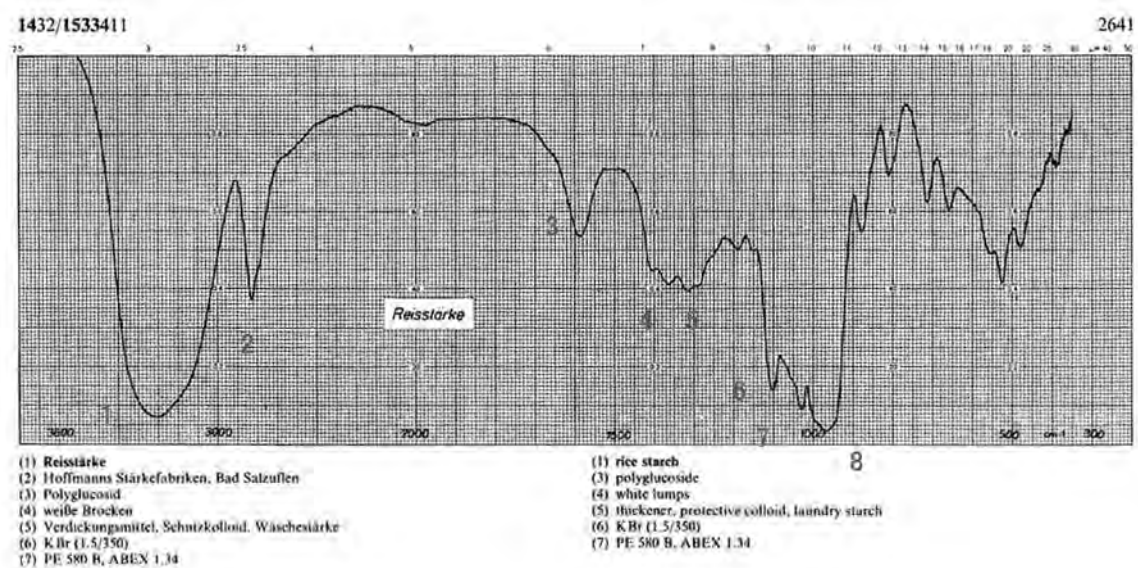
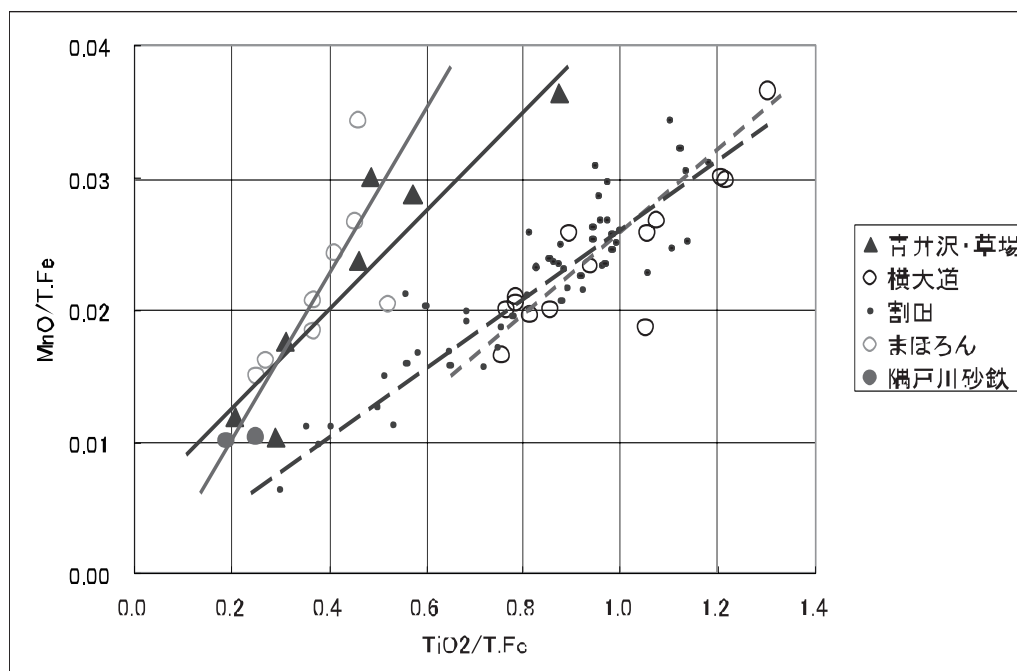


図9 塊成化砂鉄の結合材部分の赤外線吸収分析結果



参考図 米でんぷんの赤外線吸収分析の例

図 10 鉄滓と砂鉄の $\text{TiO}_2 / \text{T.Fe}$ と $\text{MnO} / \text{T.Fe}$ の関係

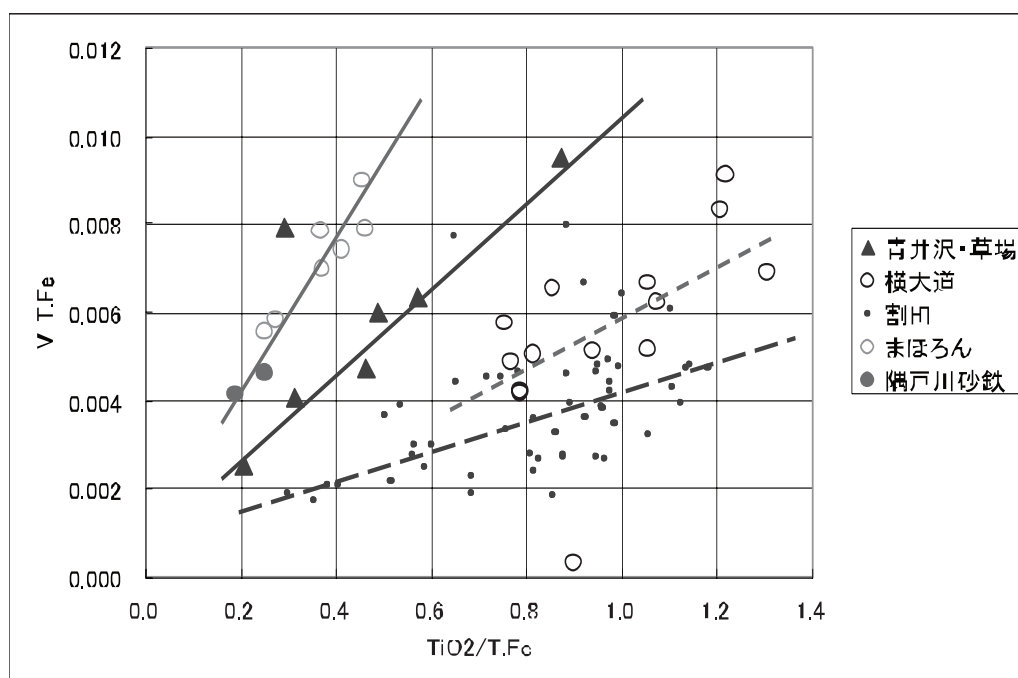


図 11 鉄滓と砂鉄の $\text{TiO}_2 / \text{T.Fe}$ と $\text{V} / \text{T.Fe}$ の関係

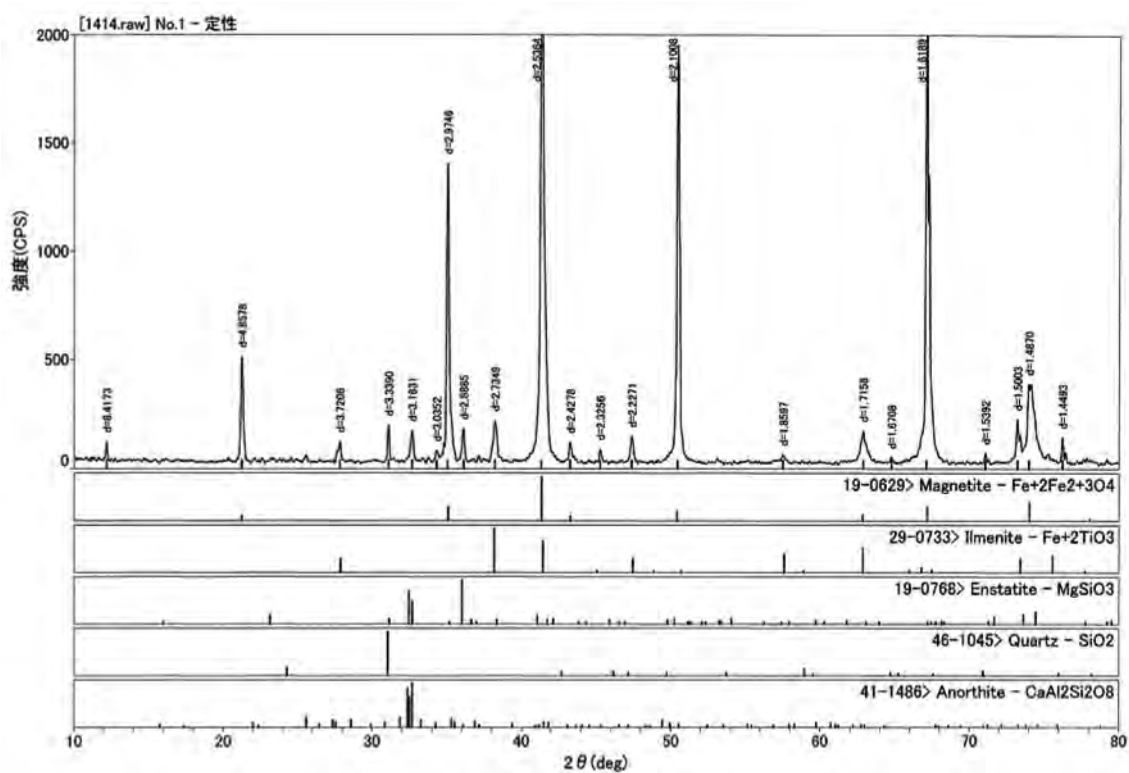


図 12 X線回折チャート 1 (資料 MH08001 砂鉄)

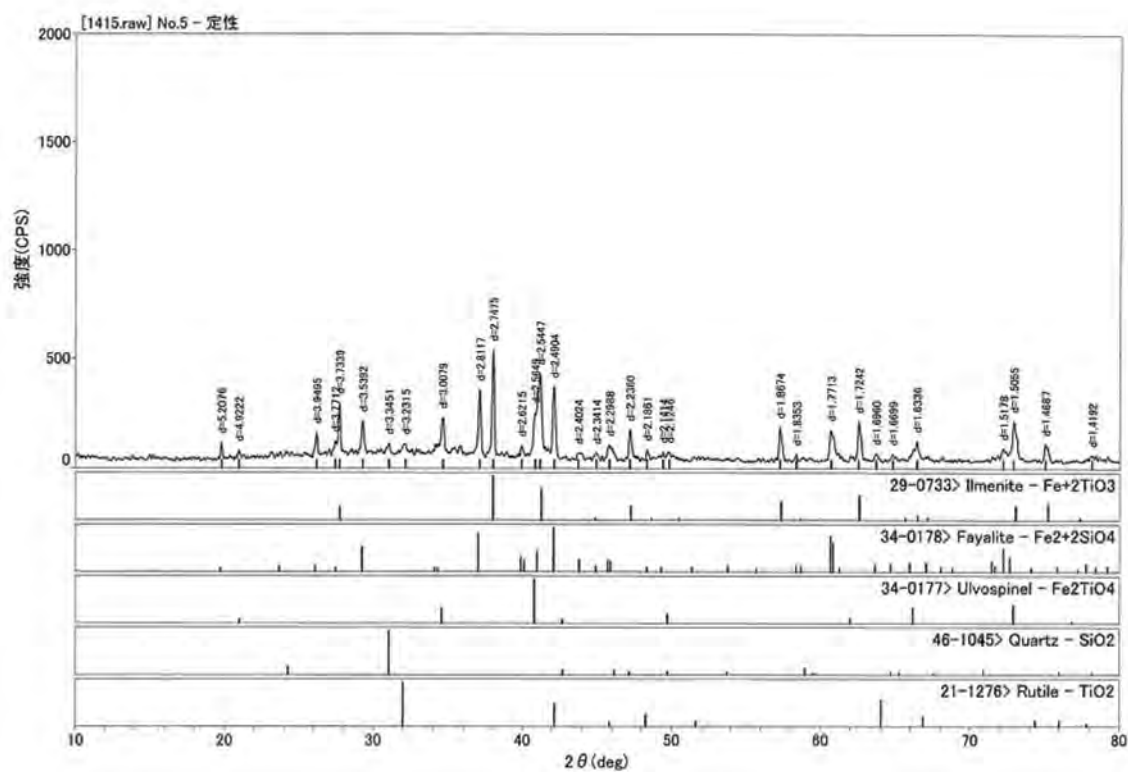


図 13 X線回折チャート2 (資料 MH08005 鉄滓)

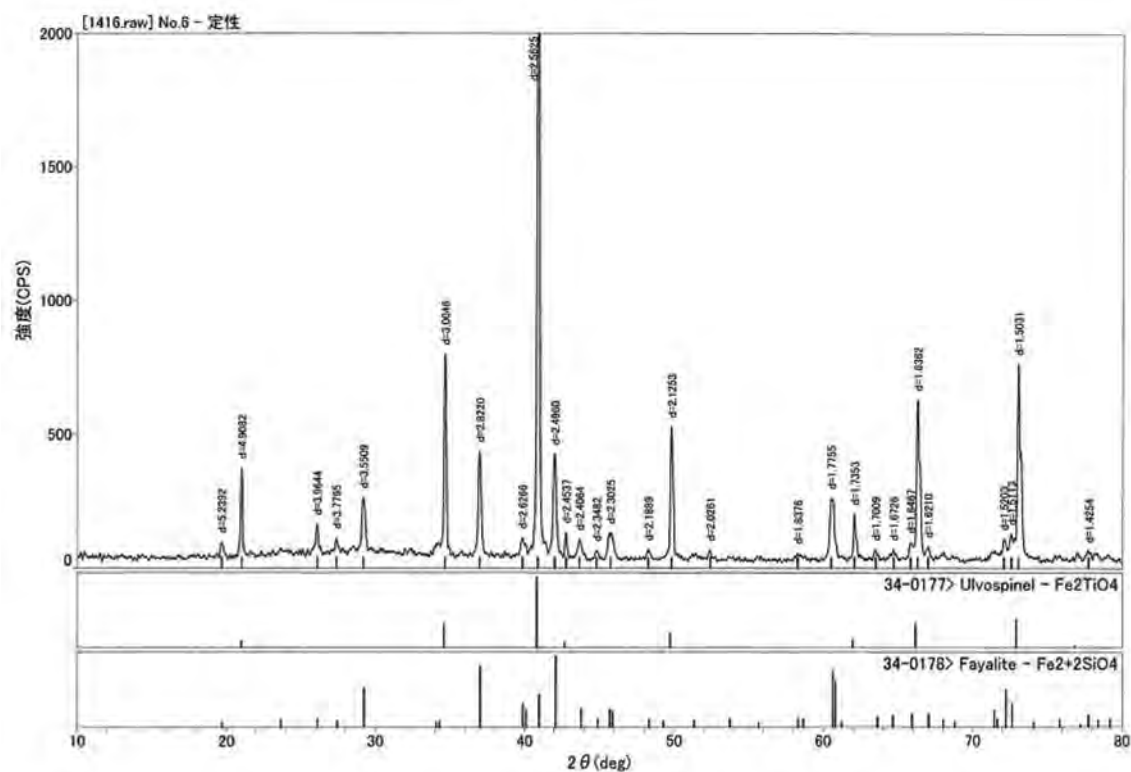


図 14 X線回折チャート3 (資料 MH08006 鉄滓)

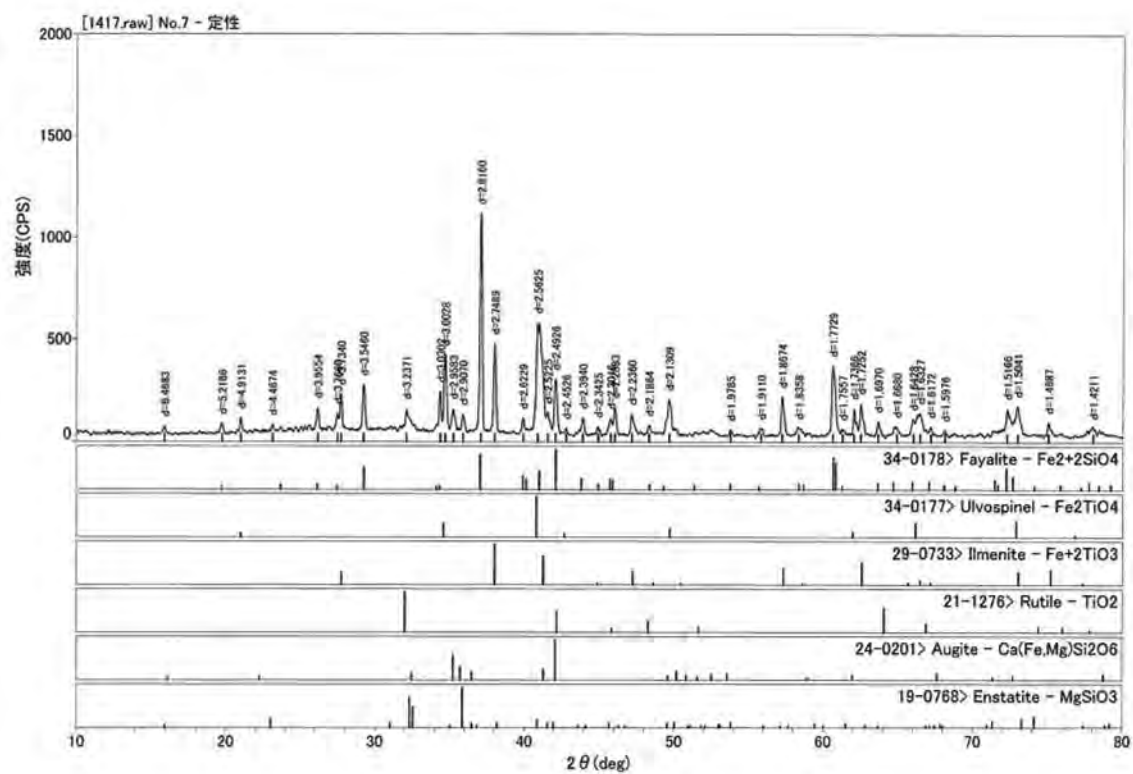


図 15 X線回折チャート4 (資料 MH08007 鉄滓)

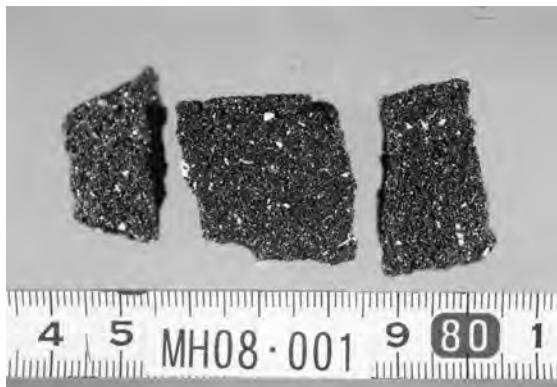


写真 1 資料 No. 1 外観 1



写真 2 資料 No. 1 外観 2

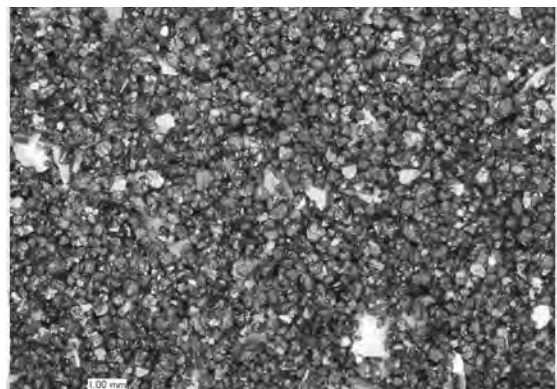


写真 3 資料 No. 1 拡大× 20 15% 縮小

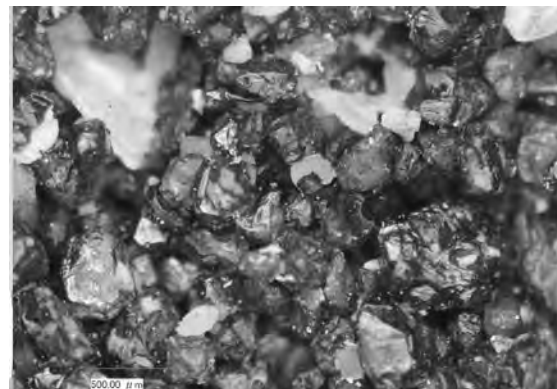


写真 4 資料 No. 1 拡大× 100 15% 縮小

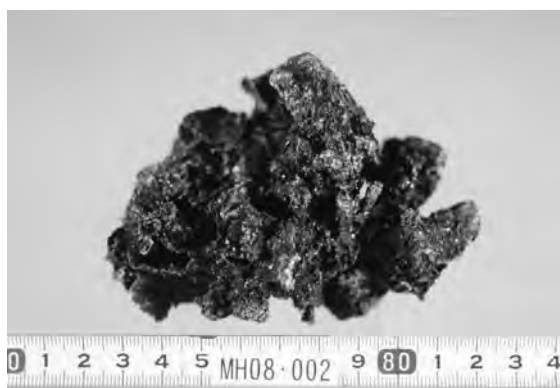


写真5 資料 No. 2 外観 1

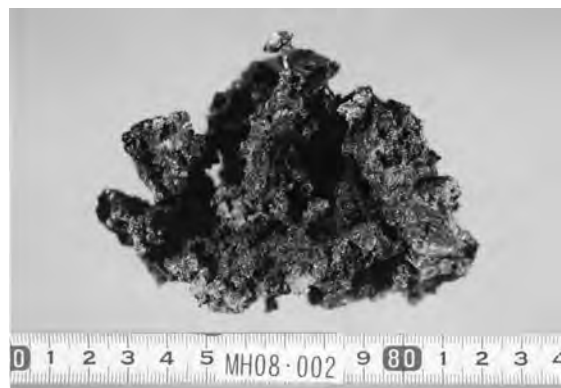


写真6 資料 No. 2 外観 2



写真7 資料 No. 3 外観 1



写真8 資料 No. 3 外観 2

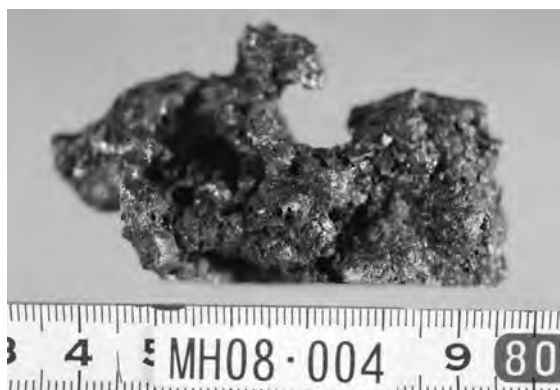


写真9 資料 No. 4 外観 1

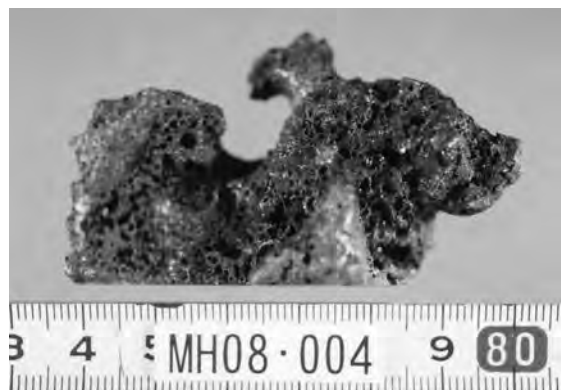


写真10 資料 No. 4 外観 2

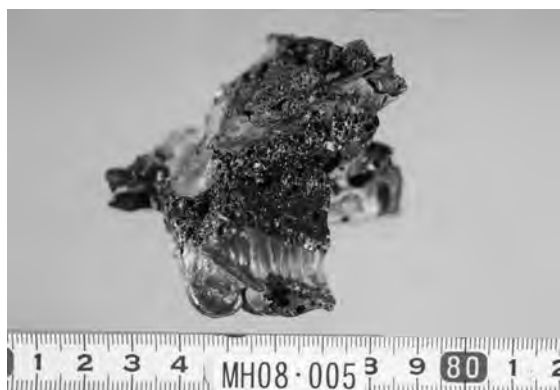


写真11 資料 No. 5 外観 1

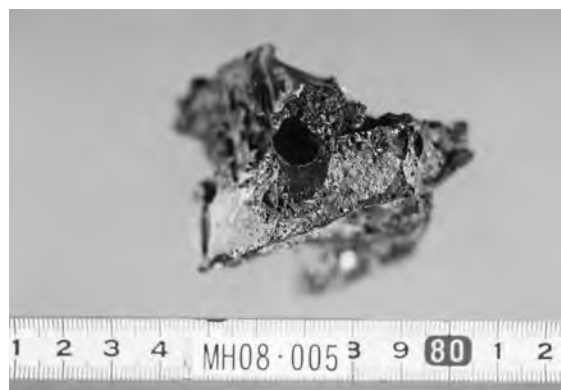


写真12 資料 No. 5 外観 2



写真 13 資料 No. 6 外観 1



写真 14 資料 No. 6 外観 2

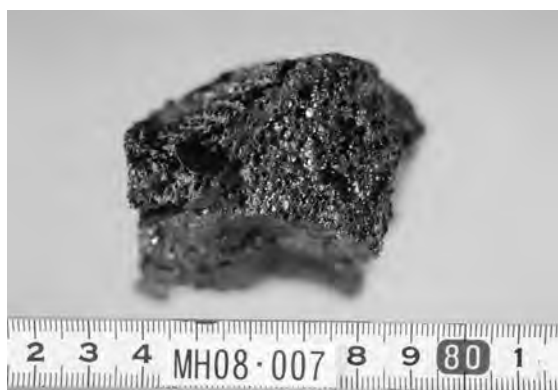


写真 15 資料 No. 7 外観 1

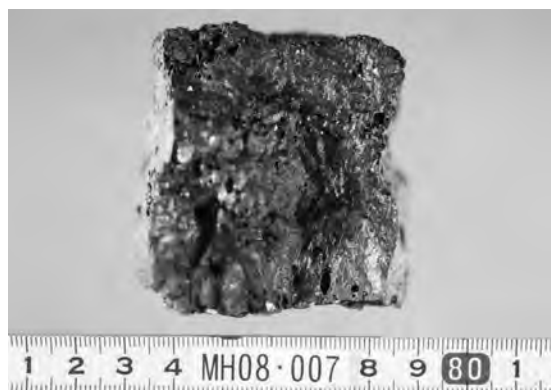


写真 16 資料 No. 7 外観 2

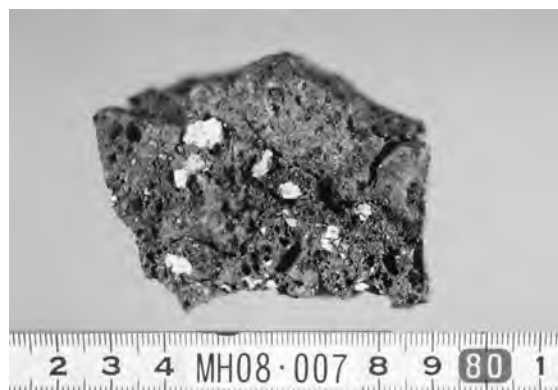


写真 17 資料 No. 7 外観 3

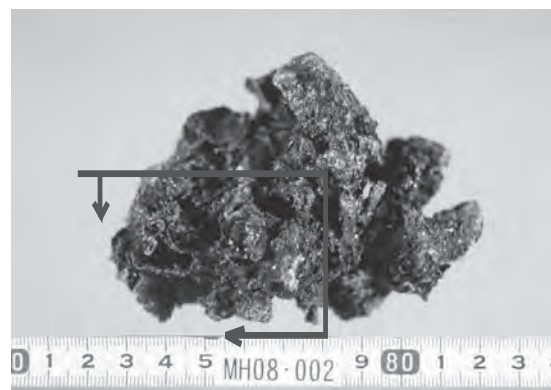


写真 18 資料 No. 2 試料採集位置

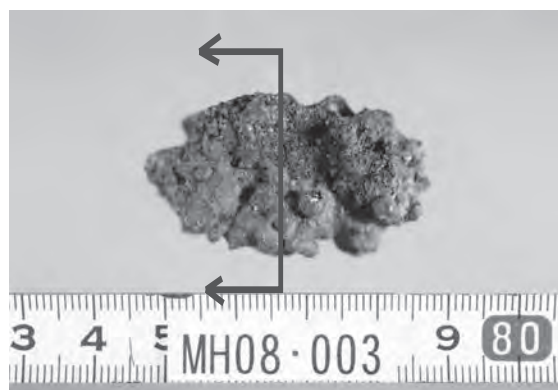


写真 19 資料 No. 3 試料採集位置

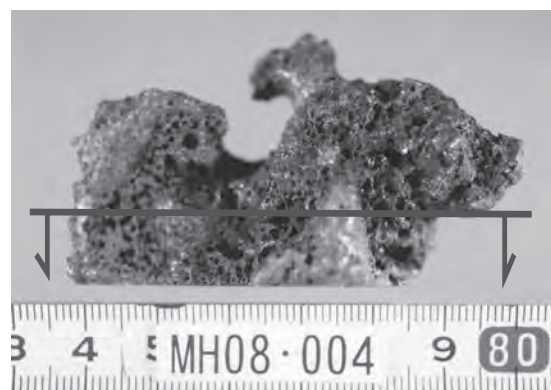


写真 20 資料 No. 4 試料採集位置

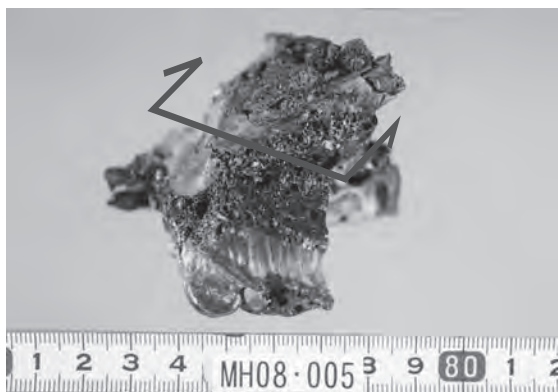


写真 21 資料 No. 5 試料採集位置

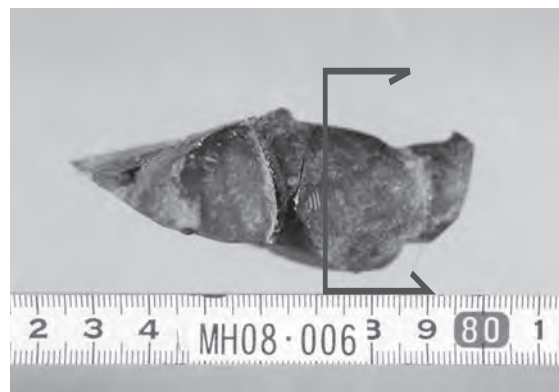


写真 22 資料 No. 6 試料採集位置

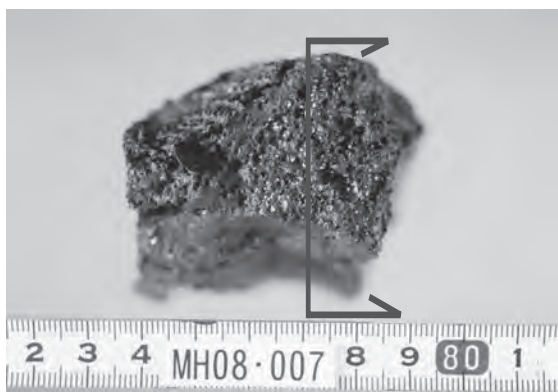


写真 23 資料 No. 7 試料採集位置



写真 24 資料 No. 2 切断断面

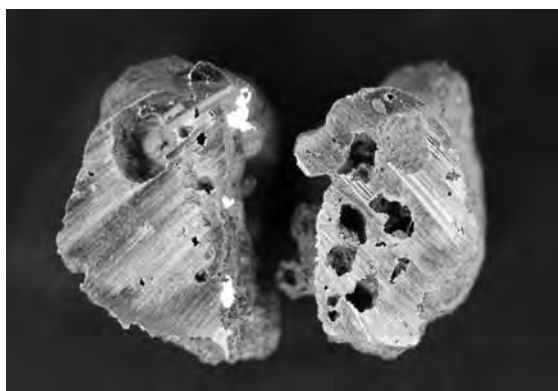


写真 25 資料 No. 3 切断断面

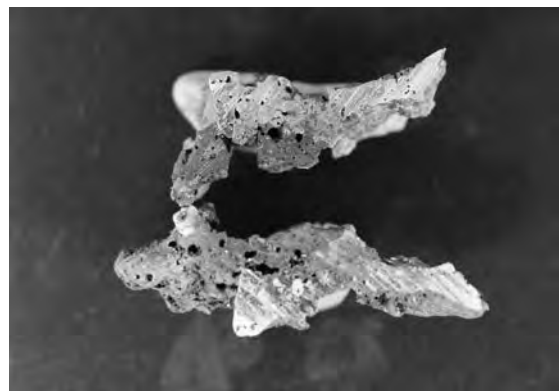


写真 26 資料 No. 4 切断断面



写真 27 資料 No. 1 マクロ組織写真 × 10

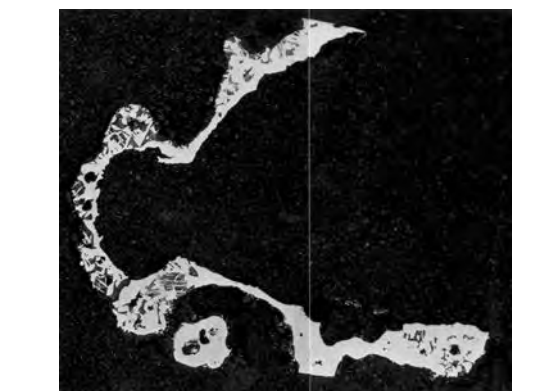


写真 28 資料 No. 2 薄皮状の金属部分マクロ組織写真 × 10

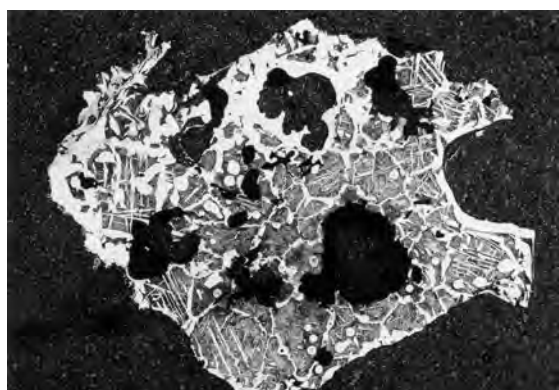


写真 29 資料 No. 2 塊状の金属部分マクロ組織写真 × 10

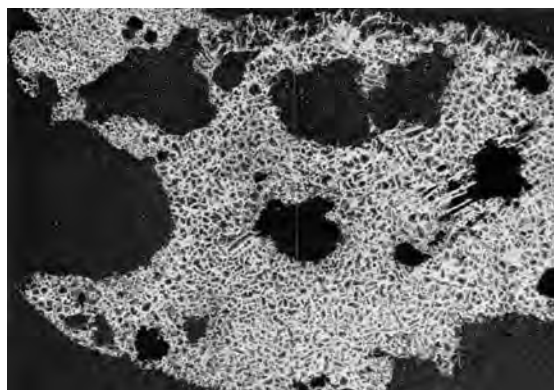


写真 30 資料 No. 3 マクロ組織写真 × 10

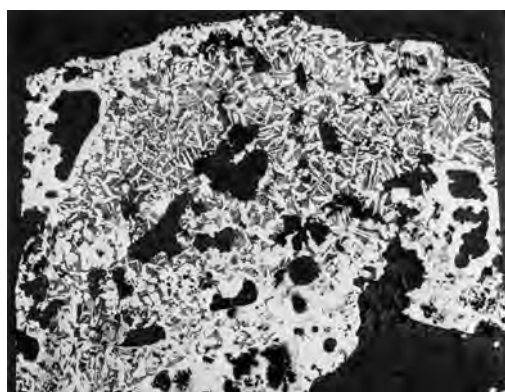


写真 31 資料 No. 4 金属鉄部分マクロ組織写真 × 10

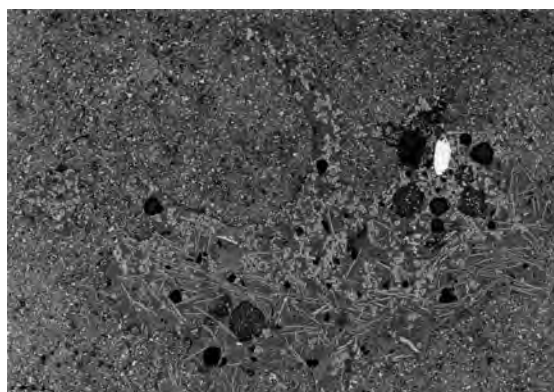


写真 32 資料 No. 4 滓部マクロ組織写真 × 10

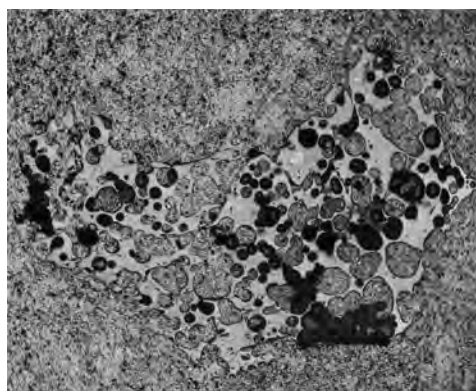


写真 33 資料 No. 5 マクロ組織写真 × 5

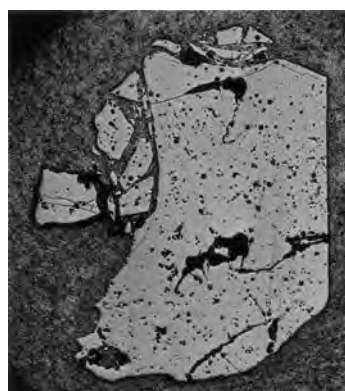


写真 34 資料 No. 6 マクロ組織写真 × 5

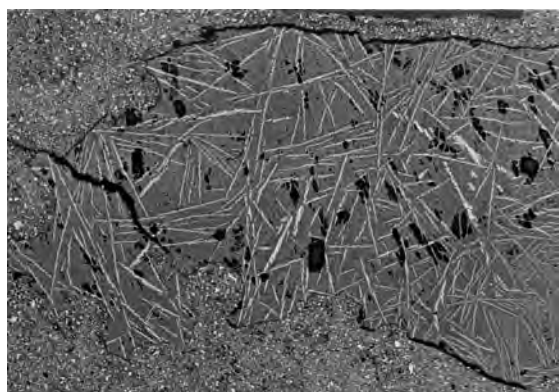


写真 35 資料 No. 7 マクロ組織写真 × 10

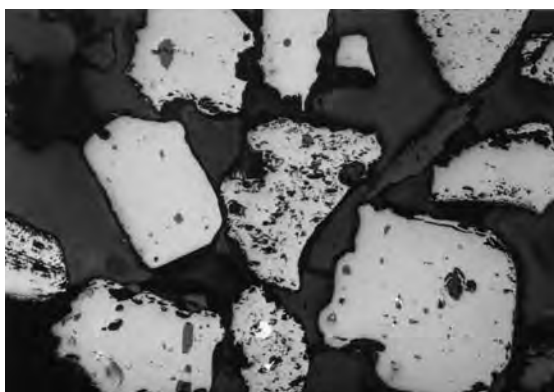


写真 36 資料 No. 1 顕微鏡写真 × 100

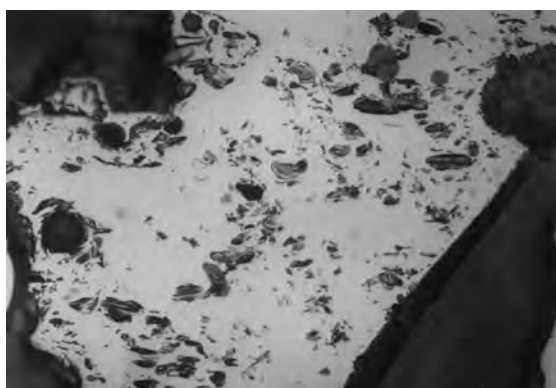


写真 37 資料 No. 1 顕微鏡写真 × 400

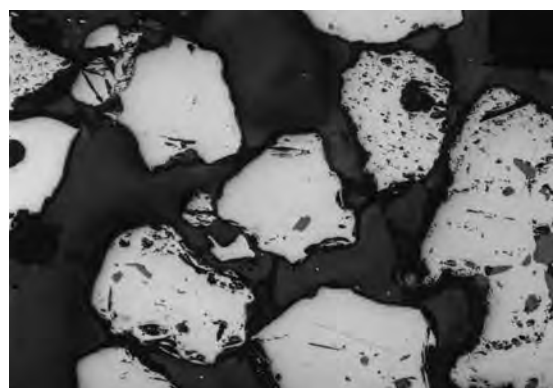


写真 38 資料 No. 1 顕微鏡写真 × 100



写真 39 資料 No. 1 顕微鏡写真 × 400

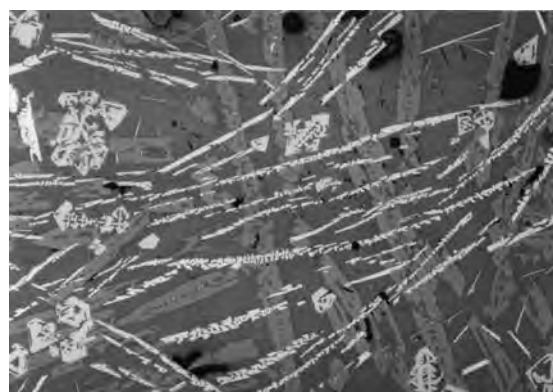


写真 40 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 100



写真 41 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 400

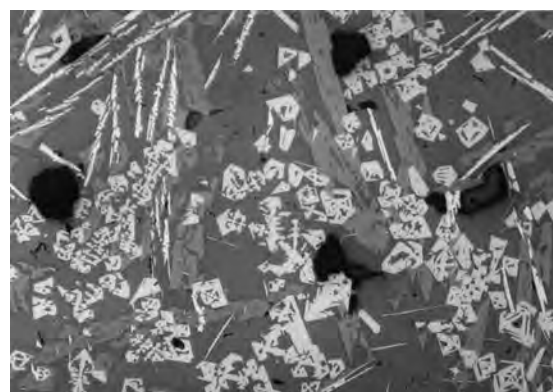


写真 42 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 100



写真 43 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 400

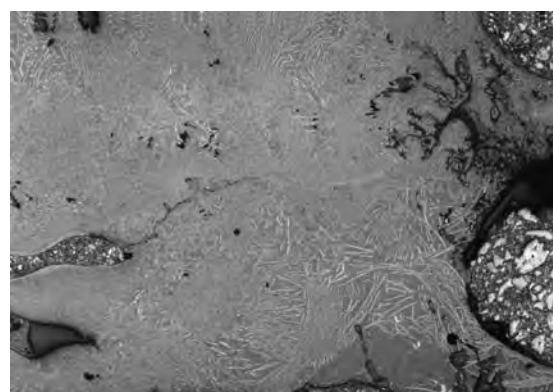


写真 44 資料 No. 5 顕微鏡写真 × 100

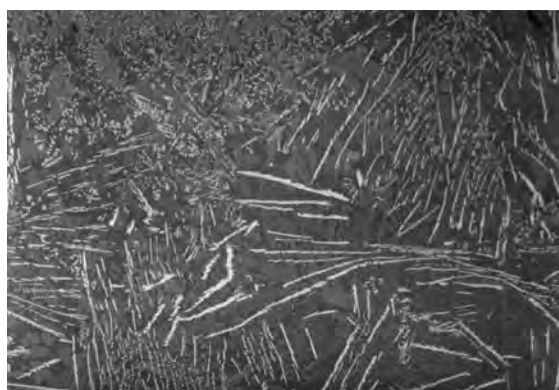


写真 45 資料 No. 5 顕微鏡写真 × 400

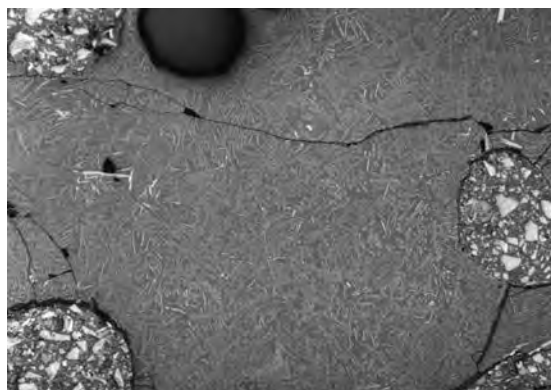


写真 46 資料 No. 5 顕微鏡写真 × 100

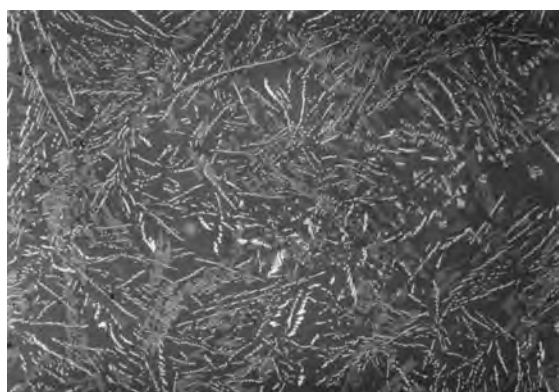


写真 47 資料 No. 5 顕微鏡写真 × 400

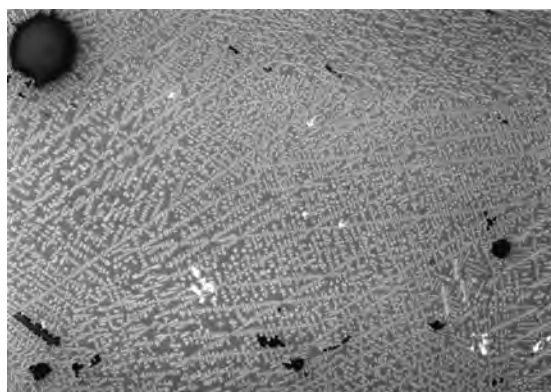


写真 48 資料 No. 6 顕微鏡写真 × 100



写真 49 資料 No. 6 顕微鏡写真 × 400

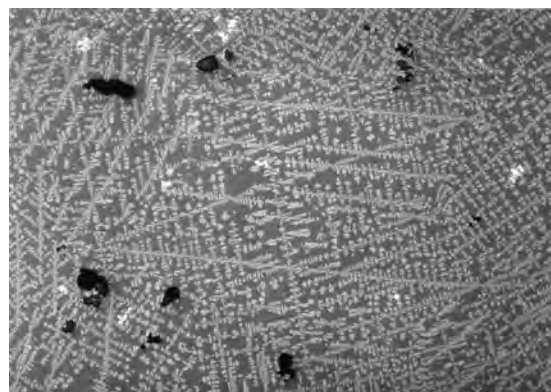


写真 50 資料 No. 6 顕微鏡写真 × 100



写真 51 資料 No. 6 顕微鏡写真 × 400

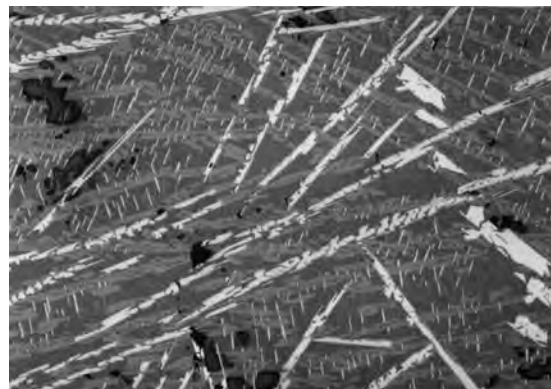


写真 52 資料 No. 7 顕微鏡写真 × 100

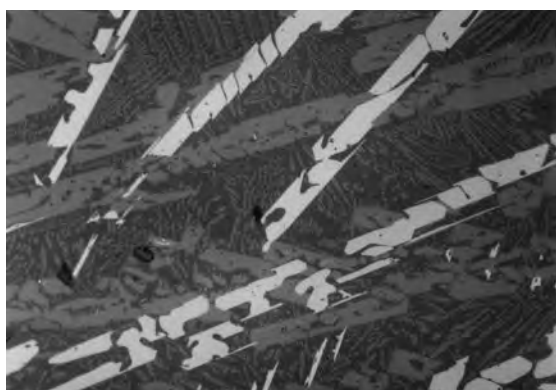


写真 53 資料 No. 7 顕微鏡写真 × 400

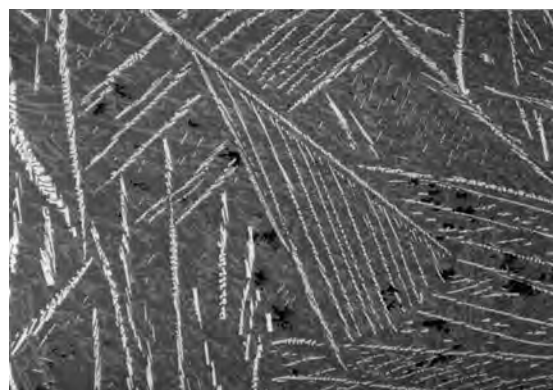


写真 54 資料 No. 7 顕微鏡写真 × 100

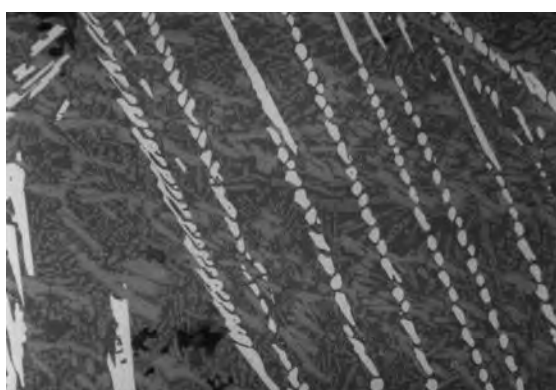


写真 55 資料 No. 7 顕微鏡写真 × 400



写真 56 資料 No. 2 薄皮状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 50

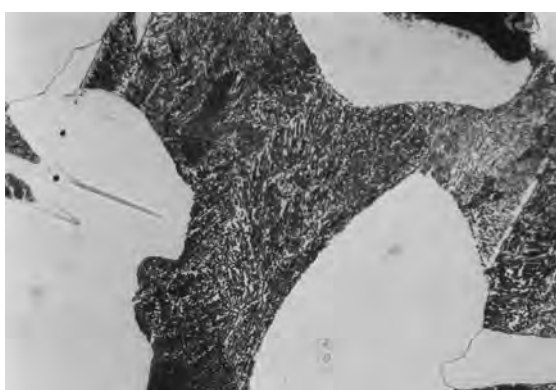


写真 57 資料 No. 2 薄皮状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 200



写真 58 資料 No. 2 薄皮状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 100

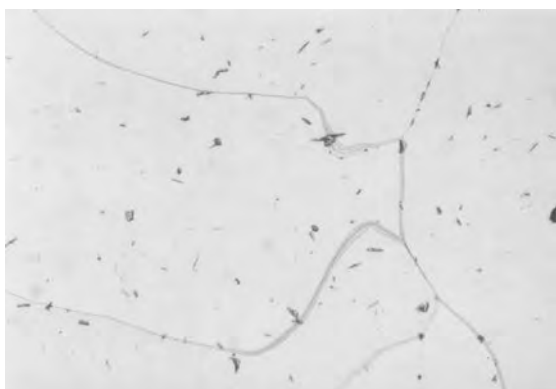


写真 59 資料 No. 2 薄皮状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 400

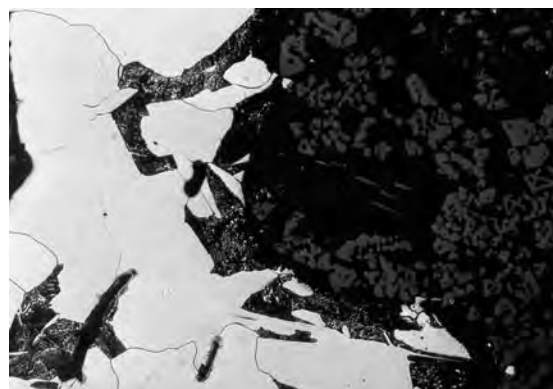


写真 60 資料 No. 2 薄皮状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 100



写真 61 資料 No. 2 薄皮状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 400



写真 62 資料 No. 2 塊状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 100

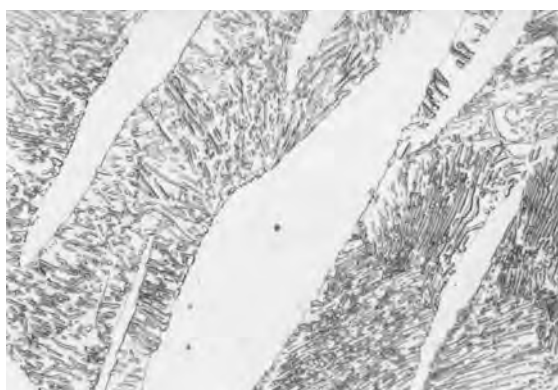


写真 63 資料 No. 2 塊状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 400

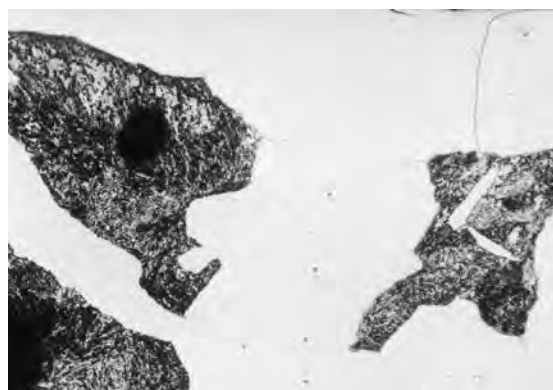


写真 64 資料 No. 2 塊状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 100



写真 65 資料 No. 2 塊状の金属鉄部分顕微鏡写真 × 100

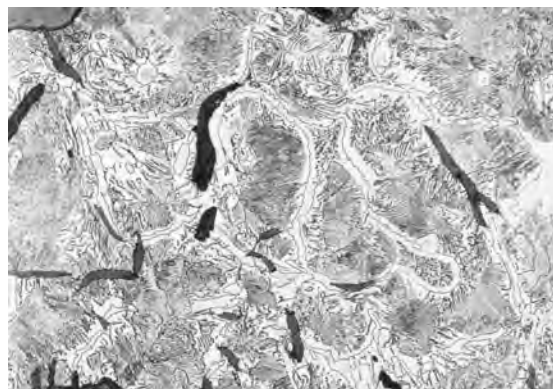


写真 66 資料 No. 3 顕微鏡写真 × 100

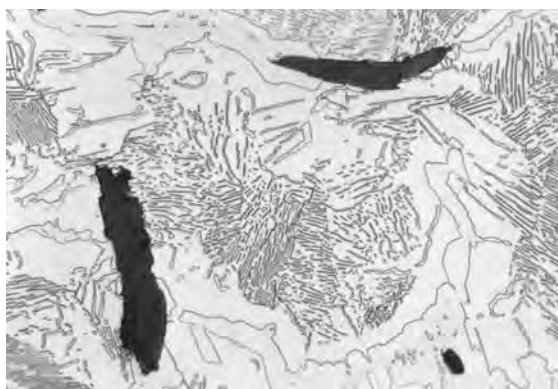


写真 67 資料 No. 3 顕微鏡写真 × 400

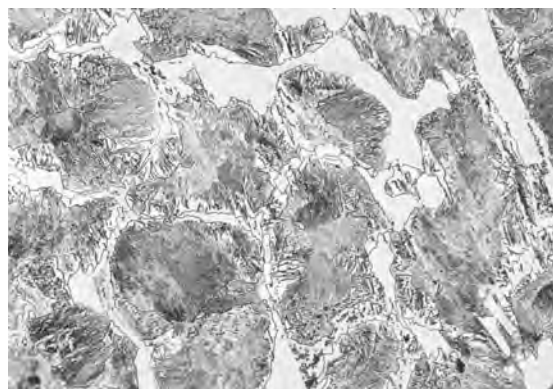


写真 68 資料 No. 3 顕微鏡写真 × 100



写真 69 資料 No. 3 顕微鏡写真 × 400

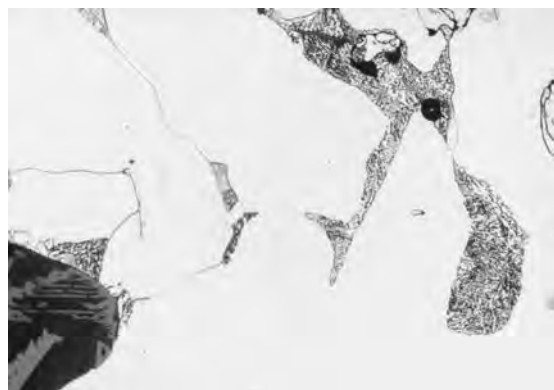


写真 70 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 100

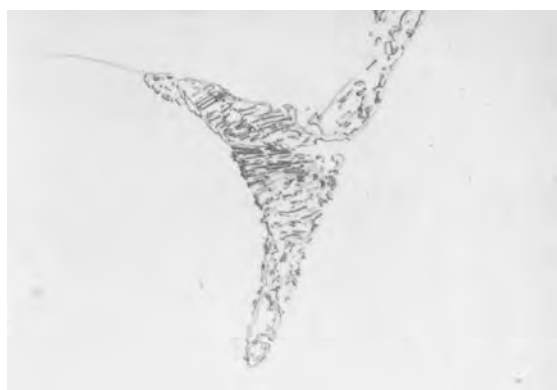


写真 71 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 400



写真 72 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 100

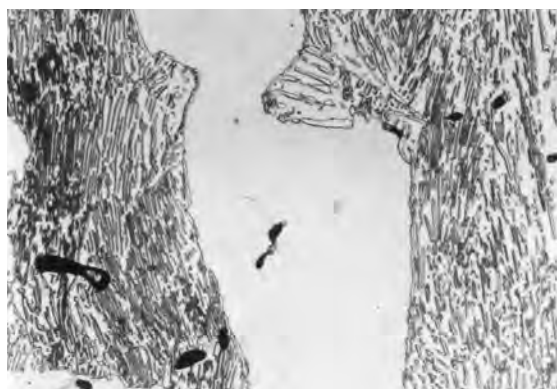


写真 73 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 400

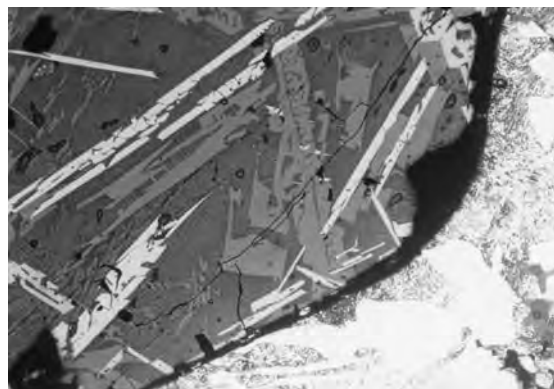


写真 74 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 100



写真 75 資料 No. 4 顕微鏡写真 × 100

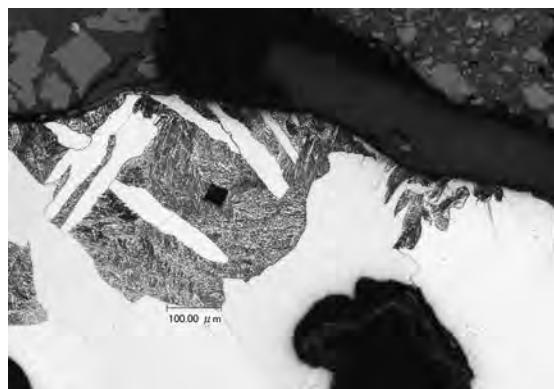


写真 76 資料 No. 2 硬度測定圧痕

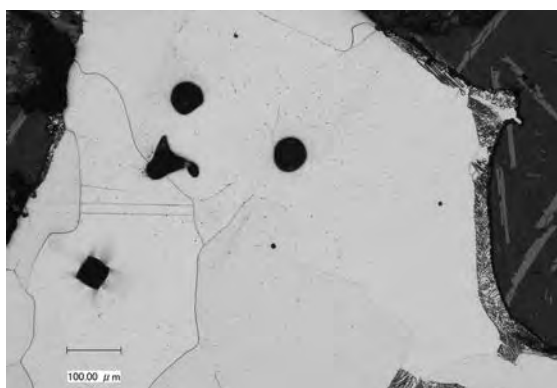


写真 77 資料 No. 2 硬度測定圧痕

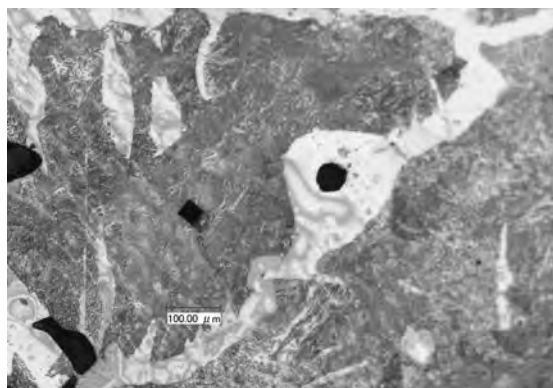


写真 78 資料 No. 2 硬度測定圧痕

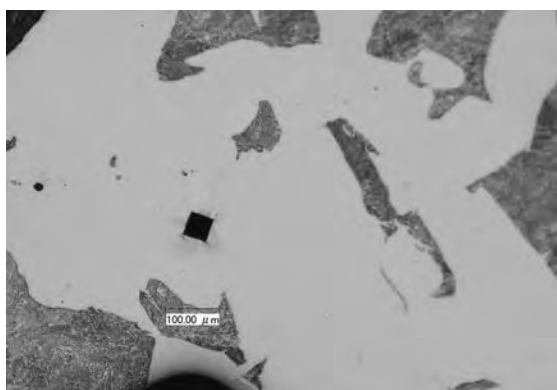


写真 79 資料 No. 2 硬度測定圧痕

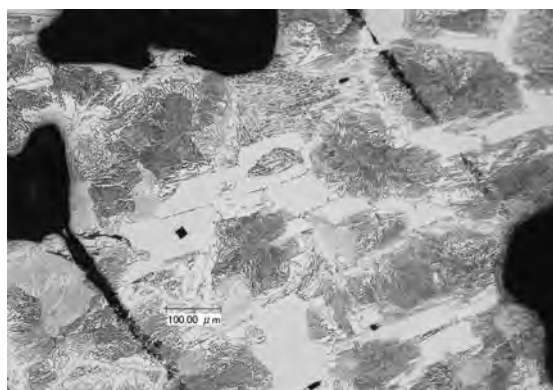


写真 80 資料 No. 3 硬度測定圧痕

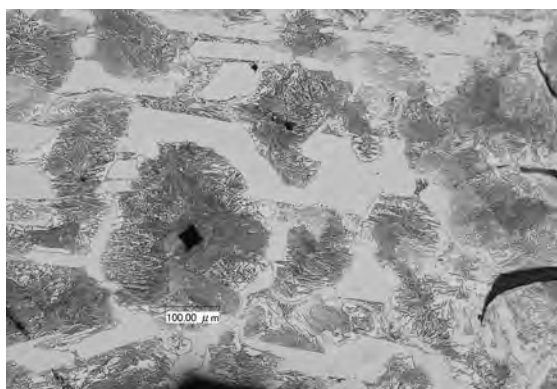


写真 81 資料 No. 3 硬度測定圧痕

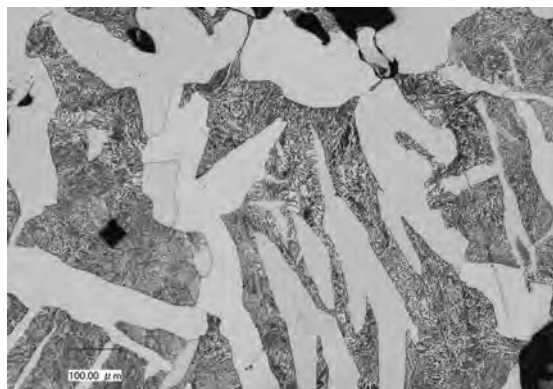


写真 82 資料 No. 4 硬度測定圧痕

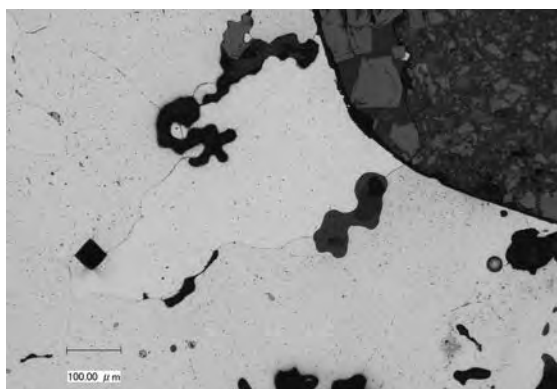


写真 83 資料 No. 4 硬度測定圧痕

※写真の縮尺は任意となっている。

まほろん 3 号炉（南相馬市大船迫A遺跡 15 号製鉄炉 の復元炉）における操業条件と鉄塊の組織観察

東京都立産業技術研究センター 佐藤健二

1 はじめに

福島県南相馬市原町区で発掘された大船迫A遺跡 15 号製鉄炉（平安時代 9 世紀前半）の炉構造^{（註1）}を基に、やや小型のまほろん 1 号炉を復元し、砂鉄からの鉄づくりの再現実験を 2003 年 11 月に行った。この復元炉において 16 時間弱の操業で炉底に鉄塊が得られた^{（註2）}。さらに 2005 年 11 月に発掘炉と同程度の外形寸法のまほろん 2 号炉を作り、操業を行った。操業途中で踏み鞆（ふいご）が破損するトラブルで 12 時間弱の操業で、1 号炉操業時よりも少ないが、鉄塊が得られた^{（註3）}。

これら 2 回の操業で得られた鉄は、炭素量が極めて低い 0.12 ～ 0.25% の範囲の低炭素鋼の鋳（けら）であった。特に 2 回目の操業では、高炭素量の銑（ずく）を造ることを目的に行った。羽口の角度を小さくし、炉構造も発掘炉に近づけた条件で行ったが、鉄の炭素量は若干増加したが、銑はできなかった。操業時間が短かったこと、炉の大型化によって炉内温度がさほど上昇しなかったことも考えられた。

銑を造るためには高温操業と木炭との接触時間を長くすることが必要である^{（註4）}。砂鉄をそのままの状態で投入すると、降下速度が大きいため、炉内の高温域での滞留時間が短く、還元効率が悪い。さらに還元された鉄に浸炭、加炭が充分行われぬ。また、還元された鉄を炉底で長時間保持しても銑までの炭素量に増加しないことは、まほろん 1 号炉の結果から明らかである。このため、高温の燃焼帯での滞留時間を長くするための投入材の砂鉄の工夫、もちをバイндаにして固めて投入することを行い、円筒型小型炉（クロガネくん）で実験を繰り返し、銑を得ることができた。

そこで、発掘炉の推定寸法に合わせた踏み鞆（ふいご）と製鉄炉を用いて、投入砂鉄の形状を改善し、安定した条件での操業を試みた。送風は基本的には踏み鞆で行ったが、一部ブローによる強制送風を行った。本報告では、まほろん 3 号炉の復元実験における操業時の炉内温度の測定結果と得られた鉄塊組織の観察結果を報告する。また、小型実験炉（クロガネくん 3 号炉）で得られた鉄塊組織の観察結果を報告する。

2 操業条件及び測定条件

（1）炉内温度の測定

写真 1 に復元炉の外観を示す。炉体外形寸法は 240cm（長さ）× 80cm（幅）× 130cm（高さ；炉底から炉頂まで）で、まほろん 2 号炉と同程度の寸法である。炉の内壁面から突き出ているアルミ管（矢印位置）が炉内温度測定のための熱電対設置位置である。

炉体の概略図と熱電対の設置位置を図 1 に示す。一点鎖線は地面の位置を表す。羽口角度は 12° とした。羽口中央から炉頂まで 109cm であるため、炉内温度の測定位置は羽口中央から

1/2の高さ、炉頂から54cmの位置（以下、温度（上））と、羽口中央から7cm上で、炉頂から102cmの位置（以下、温度（下））の2カ所とした。温度（下）の熱電対は 5° の傾斜で下方に差し込んでいる。熱電対はいずれも炉体長手方向の中央部に設置し、熱電対保護管の先端位置は、温度（上）及び温度（下）のいずれも炉内壁面から5cmの位置とした。熱電対用保護管は上下共に高純度アルミナを用い、保護管破損時に容易に交換できるようガイドのアルミナ管を炉壁に埋め込み、その中を通した。

温度測定には $\phi 0.5\text{mm}$ のR熱電対（Pt / Pt-13% Rh、PR）を用いた。炉内温度はデータロガー（データ記憶装置）に取り込み、サンプリング時間を2秒とした。

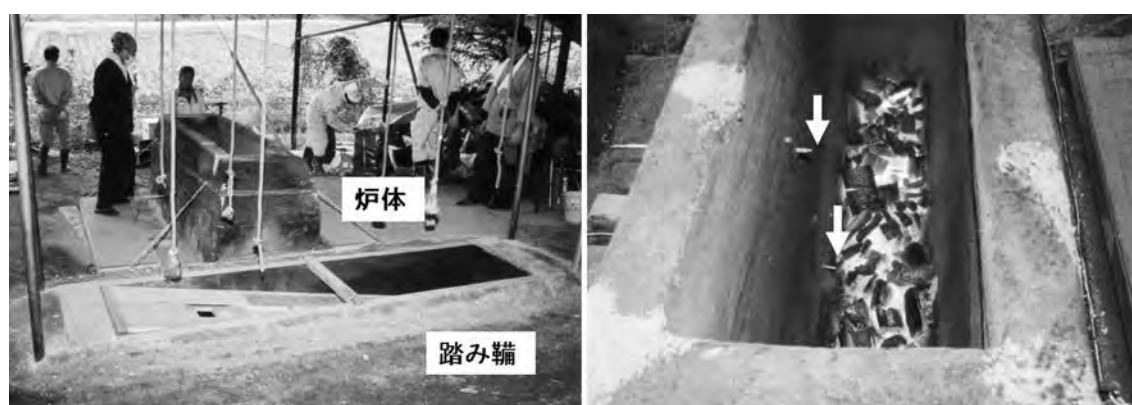


写真1 まほろん3号炉の外観と熱電対の設置位置

さらに、操作途中で熱電対先端の位置を変え、温度（上）と（下）における炉断面の水平方向の温度分布を測定した。所定の位置に設置した後、1分間その位置に保持し、安定した時の温度を測定した。

また、操作時の気温は、踏み鞆左隅から1.65m離れた地上1.0mの位置で測定した。図2に操作時の温度を示す。操作開始時には、 $15 \sim 16^{\circ}\text{C}$ であったが、次の朝方は 9°C まで下がり、昼には 20°C ぐらいまで上昇する比較的気温の高い条件で行った。

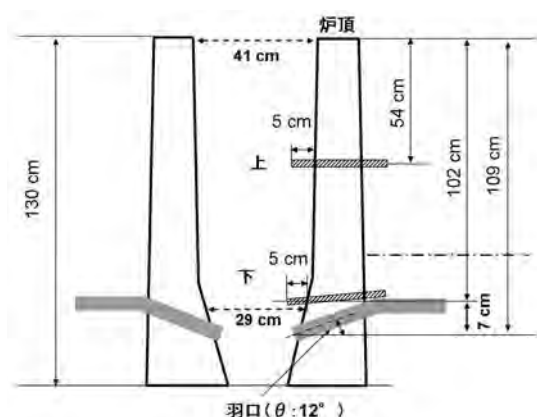


図1 炉断面と炉内温度の測定位置

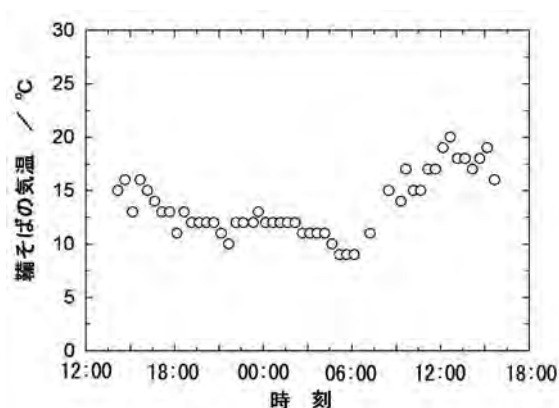


図2 操作時の気温の変化

(2) 鉄塊のミクロ組織観察

まほろん 3 号炉の操業実験で得られた鉄塊を切断し、断面のミクロ組織観察を行った。鉄塊及び切断面の外観を写真 2 に示す。四角で示す鉄塊表面近くの 2 箇所から試料を切り出し、観察試料とした。

写真 3 のクロガネくん 3 号炉で得られた鉄塊断面の 2 箇所から試料を採取した。

また、たたら製鉄における組織の比較材として島根県で造られた玉鋼の組織観察を行った。写真 4 に鉄片の外観と断面のマクロ組織を示す。本試料は、現在の木原村下の師匠である安部村下によって昭和時代に造られたものである。ナイトルで腐食した断面のマクロ組織から、黒色の針状の組織が分布している様子が観察される。撮影時の光の反射によるもので、研磨面では、粗大な針状組織は光沢があり、セメントイトと推測される。従って、本試料は高炭素量の過共析鋼の鋳（けら：玉鋼）である。

ミクロ組織観察用の腐食液には 5% ナイタル（硝酸－エチルアルコール溶液）を用いた。

3 実験結果

(1) 操業条件と炉内温度

実際の操業は 9:50 ごろから火入れを行い、炉内に木炭を投入した。13:40 から、本格的な操業に入り、炉内が木炭で充満された時点で熱電対を所定の位置に設置し、炉内温度の計測を行った。図 3 に 14:00 から操業を停止した翌日の 16:00 までの炉内温度を示す。ブロー送風前までの羽口側の温度（下）は 1400

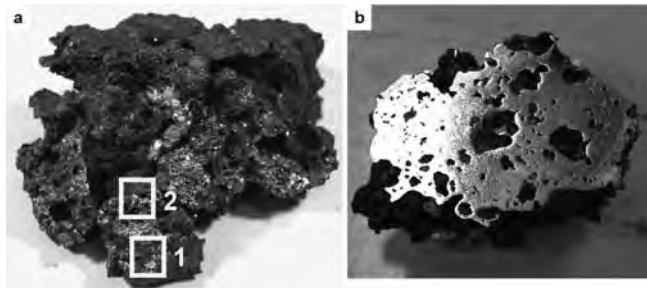


写真 2 まほろん 3 号炉鉄塊と断面写真

(a) 鉄塊の外観、(b) 断面の形態

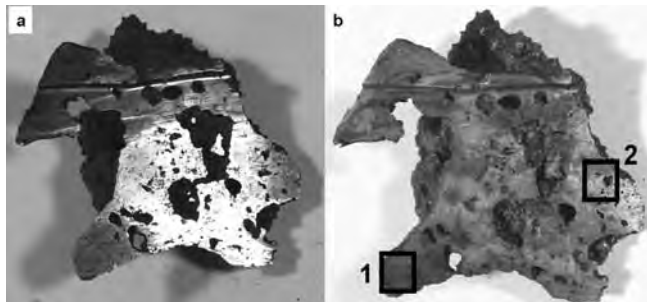


写真 3 クロガネくん 3 号炉の鉄塊の断面写真

(a) 鉄塊の切断面、(b) ナイタルで腐食

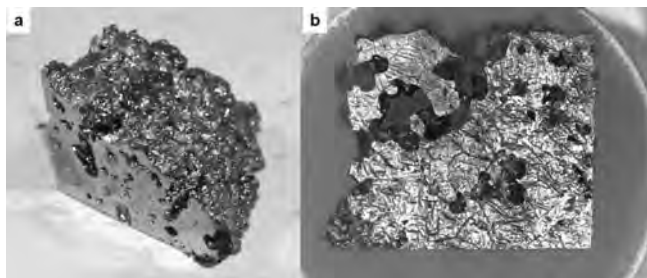


写真 4 島根県のたたら製鉄鉄片の断面写真

(a) 試料外観、(b) ナイタルで腐食

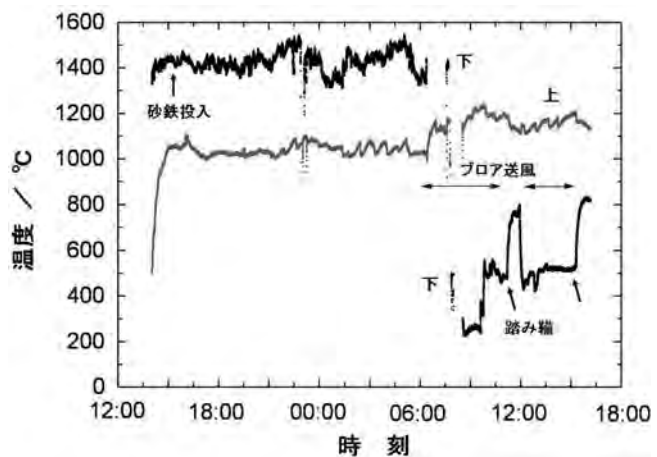


図 3 操業時における炉内温度の推移

℃～1500℃で推移した。温度（下）での最高温度は1542℃で、この温度近傍で作業した場合には、スラグ（ノロ）によるアルミナ保護管の浸食が急速に進み、熱電対が断線するトラブルが起こった。温度（上）は1000℃～1050℃の間で比較的安定して推移した。

6:00頃から踏み鞆からブロアによる強制送風に切り替えた際に、温度（下）の熱電対保護管がガイド管から抜けなくなった。送風の切り替えで熱電対付近の温度が低下し、スラグ（ノロ）が固まることによって起こったものである。温度（上）はブロア送風にすることで100～150℃程度上昇した。その後、熱電対を引き出し、再設置を行ったが、（下）の測定位置では、踏み鞆時の温度まで上昇しなかった。さらにブロアを停止後の踏み鞆による2回の送風では、（下）が上昇するに伴い、（上）が低下することが認められた。

図4に砂鉄材と木炭の累積投入量を示す。ここで、砂鉄材の重量は、砂鉄に砂鉄重量の1%の貝殻を添加し、餅をバインダにして固め、乾燥した材料の総重量を表す。木炭と砂鉄材の投入量は18:10から、ほぼ一定であるが、ブロア送風に切り替えた後に木炭と砂鉄材の投入量を増加した。この18:10からの定常操作時の12時間40分間における木炭の投入量は300kg、1時間あたり23.7kg、砂鉄材の投入量は130.5kgで、1時間あたり10.3kgである。これより、砂鉄材／木炭の比は、0.44であるが、砂鉄材のバインダを除いた砂鉄の割合は94%であるため、実際の砂鉄／木炭比は0.41である。

貝殻はスラグ（ノロ）の成分調整のために20:50頃から炉況を見ながら投入した。

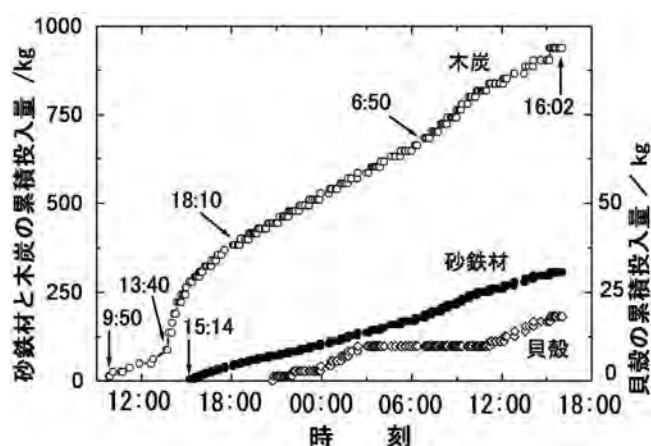


図4 砂鉄材と木炭の累積投入量（ただし、砂鉄はバインダを含む砂鉄の重量である）

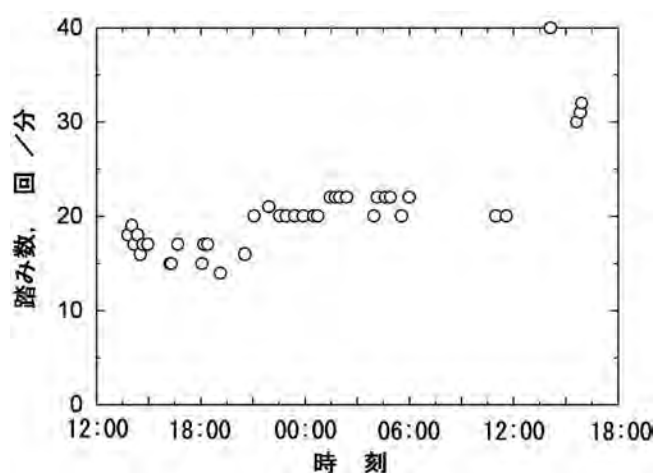


図5 1分間当たりの鞆の踏み数（片側）

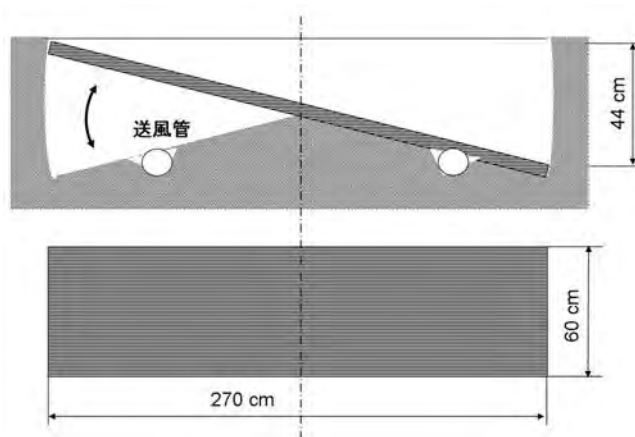


図6 鞆の概略図 上：鞆断面、下：踏み板寸法

図5に1分間あたりの踏み鞆片側の踏み数を示す。踏み数は15～22回/分に制御した。21:00以降は、20～22回/分に回数を増した。炉内温度に対して、木炭と砂鉄の投入量はさほど影響しないが、踏み数が増えた21:00以降は炉内温度が上昇しており、鞆の踏み数が炉温の制御に効果的であることを示す。

踏み鞆は、まほろん2号炉寸法と同じであるが、鞆の摺動する高さは44cmで2号炉に比べ、16cm長い(図6)。片側からの1回あたりの送風量は 0.18m^3 であり、例えば、片側15回の踏み数では、両方の羽口から炉内に吹き込まれる空気の流れ量は $5.4\text{m}^3/\text{分}$ 、20回では $7.2\text{m}^3/\text{分}$ である。ここで、85%程度の送風効率と仮定すると、15回では、 $4.59\text{m}^3/\text{分}$ 、20

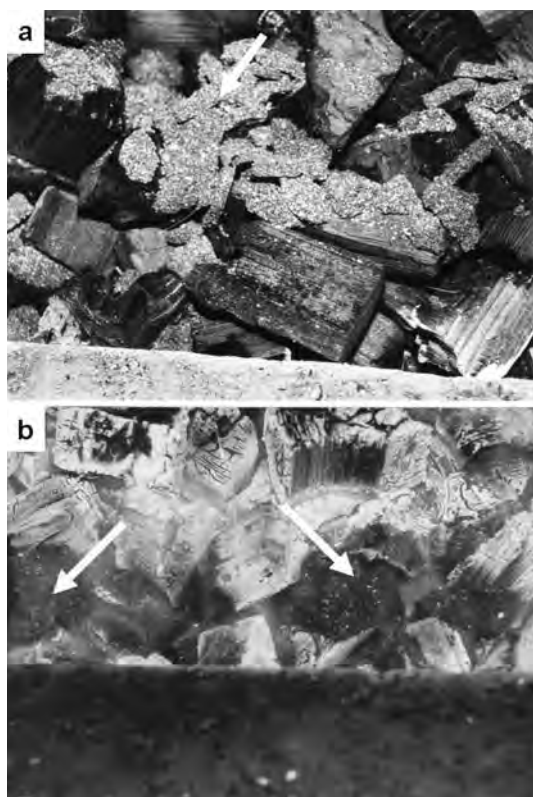


写真5 投入砂鉄の形態

(a) 低い炉頂温度、(b) 高い炉頂温度、矢印は砂鉄材

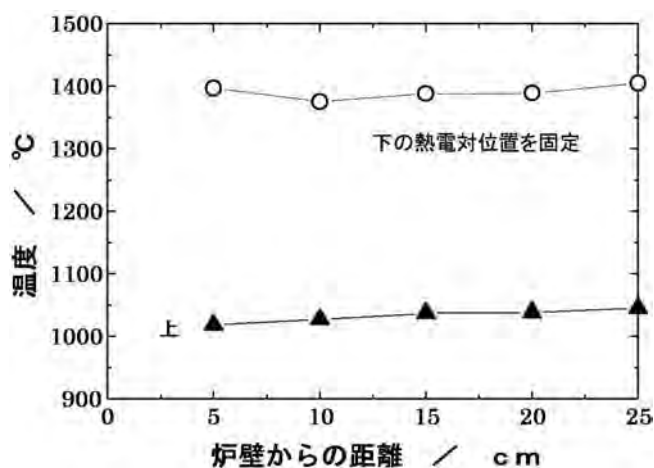


図7 19:20における上熱電対位置での炉内温度分布

温度(下)の熱電対位置は炉壁面から5cmの位置

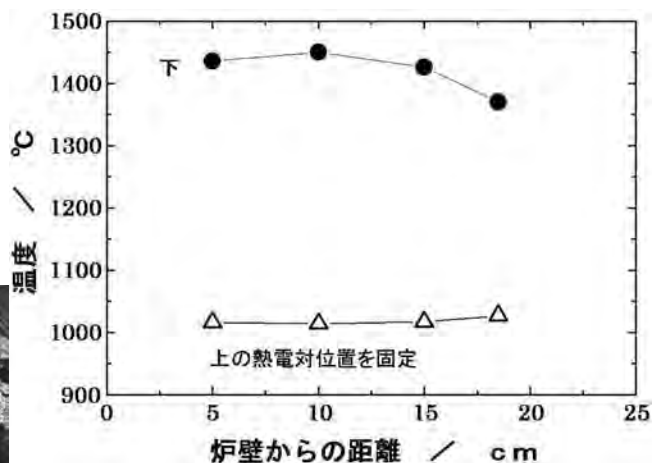


図8 19:50における下熱電対位置での炉内温度分布

温度(上)の熱電対位置は炉壁面から5cmの位置

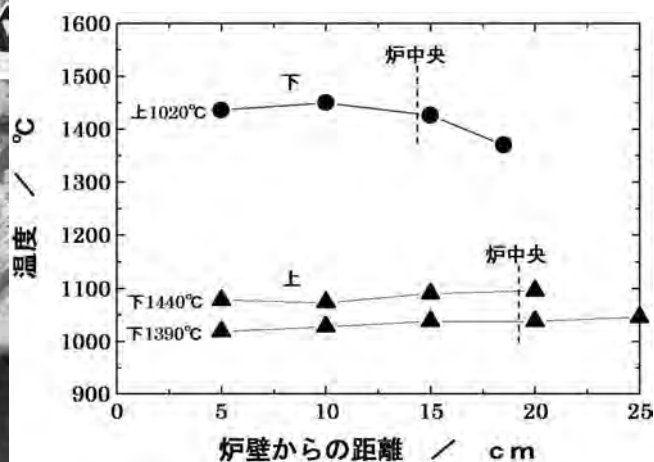


図9 炉内温度分布のまとめ プロットの表示温度は固定位置側の熱電対の平均炉内温度を表す

回では $6.12\text{m}^3/\text{分}$ となる。

まほろん2号炉の1分間当たりの片側の踏み数は40～50回であり、片側からの1回当たりの風量を 0.096m^3 とすると、45回／分の踏み数では、 $8.64\text{m}^3/\text{分}$ となる。まほろん3号炉の炉内容積を2号炉の90%とし、踏み数を20回／分と仮定すると、2号炉に比べ、1分当たりの送風量は約80%である。

写真5に砂鉄の投入時の様子を示す。投入材料の砂鉄は3～10cmの大きさの平板状の形状をしており、投入後も木炭の上に乗っている。加熱された状態でも餅は炭化するが、形状はさほど崩れていない。木炭の隙間を通して降下する砂鉄が少なくなることで、高温域の滞留時間が長くなり、燃焼雰囲気、木炭あるいは炭化した餅との還元反応が進むことが十分予想される。

図7に作業中の炉内温度分布を示す。（下）の熱電対位置を壁面から5cmに固定し、（上）の熱電対を移動した。（下）の温度は（上）の温度の計測時の温度を示す。温度（上）は炉の中央に向かって緩やかに上昇している。

同様に（上）の熱電対を壁面から5cmの位置に固定し、（下）位置での温度分布を計測した結果を図8に示す。炉の中央に向かって低下し、中央からやや手前側に最高温度域を生じている。

炉内温度分布をまとめた結果を図9に示す。炉体の内壁面が炉底側に向かって若干傾斜しているため、壁面から炉の中央位置までの距離が異なる。羽口上部の（下）は中央から若干手前側で最高温度を示した。この理由として次の二つが考えられる。手前側に比べ、反対側の風量が若干少なく、羽口からの風量がややアンバランスになったこと、また、計測時に熱電対が若干下側に向かって挿入されているため、中央部で2.5cm下、羽口中央ラインから4.5cm上を測定したことが考えられる。羽口が 12° の角度で下向きであることと作業時の状況から、羽口からの送風のアンバランスが主な原因として考えられる。また、温度（上）での炉内温度分布は比較的平坦であり、温度（下）に追随している。

写真6に作業後解体した炉体の断面を示す。羽口周辺の黒っぽい領域が浸食されているが、まだ、作業するためには十分な炉壁面厚さを保っている。炉の内壁面にはノロが付着している。熱電対（上）の位置はノロが付着している部分と、ほとんど付着していない部分のちょうど境界に相当する。大きな熱影響部は炉材断面の色の違いとなって現れる。熱電対（下）の位置は浸食が大きく、ノロが付着している部分、（上）の位置は炉壁断面が白から灰色に変化している長さが最も長い部分である。



写真6 解体した炉の断面

（2）踏み鞆とブローによる送風の違い

これまでの炉内温度計測結果から、踏み鞆による送風とブローによる送風では、明らかに操

業状態が異なることが分かる。図 10 に踏み鞆とブロー送風の空気の流れのモデルを示す。踏み鞆は踏み込んだ側の羽口から交互に送風されるが、ブロー送風の場合には、両側の羽口から同時に送風される。

踏み鞆では、実線の矢印で示すように一方の羽口から送られた空気は相手側の炉内壁面に向かって流れ、壁面を加熱する（楕円で囲った領域）。その後、壁面に沿うように炉頂に向かって空気は広がる。これを交互に繰り返されるため、炉内壁面温度が上昇する。また、同時に相手側の羽口内に熱風が流れるため、羽口内を加熱する。この現象が起こることはまほろん 2 号炉の操業で、風箱に繋がっている送風管の入り口付近に設置した圧力センサとリード線が高熱で炭化したことから分かった。この加熱された送風管は熱交換器の役割を果たし、鞆から送られた空気を加熱し、より高温の空気を炉内に送り込むことになり、操業効率を上げる要因となる。

ブロー送風の場合には、両側の羽口から同時に連続的に空気が送り込まれるため、空気が衝突し、上方へ流れていく。このため、炉壁面温度が踏み鞆の場合よりも低くなると推察される。また、鞆からの連続送風によって羽口と送風管は空冷された状態になる。

以上のことから、炉内温度分布は炉の中央が高い山形の分布を示すが、踏み鞆送風の場合には、その山が緩やかになる傾向にあることを示唆する。ブロー送風の場合には、炉内壁面温度が低くなるため、温度分布の山のピークが高くなることを意味する。炉内温度に依存するが、炉の寿命はブロー送風の方が長くなると思われる。

炉の内壁面温度の違いは、炉壁の浸食によるスラグの形成に影響する。踏み鞆の場合、炉内壁面温度が高くなるため、炉壁面の浸食が大きく、炉材、砂鉄、木炭によって生成されたスラグ組成になるが、ブロー送風の場合、炉材の混入量が少ないスラグ組成になると推察される。

（3）鉄塊のミクロ組織観察

1) まほろん 3 号炉の鉄塊

まほろん 3 号炉で作られた比較的大きな塊で、破断面が蜂の巣状になっている鉄塊のミクロ組織観察を行った。

写真 7 に鉄塊断面のマクロ組織を示す。写真上で針状の黒っぽい組織が観察されるが、この針状組織は光沢がある。

写真 8 に写真 2 位置 1 のミクロ組織を示す。
(a) 及び (c) の針状で白い組織がセメンタイト

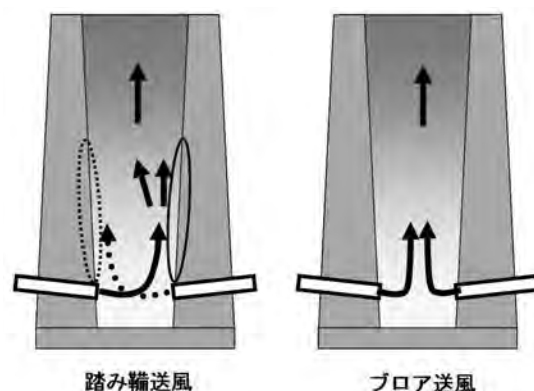


図 10 踏み鞆送風とブロー送風の違い

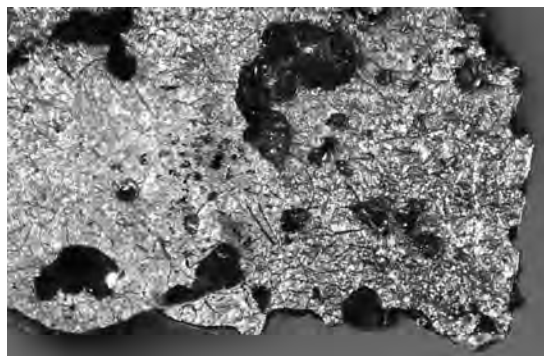


写真 7 まほろん 3 号炉鉄塊断面のマクロ組織

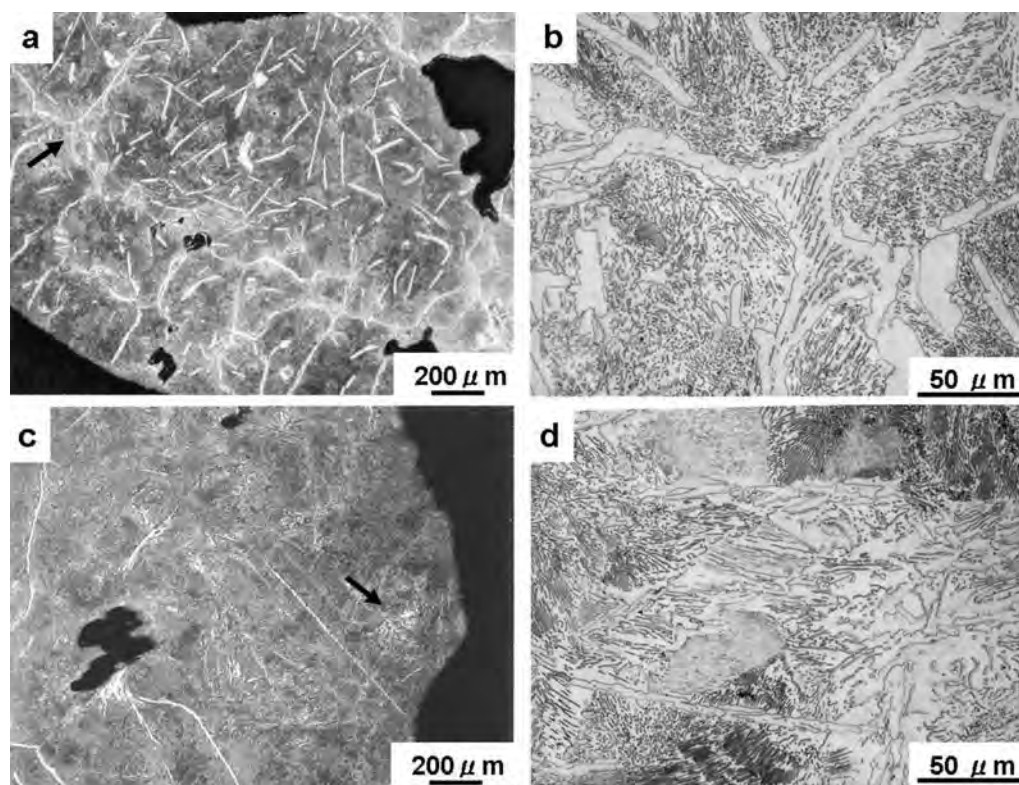


写真 8 まほろん 3 号炉鉄塊のミクロ組織一位置 1 (a) 初析セメンタイトの多い領域、
(b) (a) 矢印の拡大、(c) 初析セメンタイトの少ない領域、(d) (c) 矢印の拡大

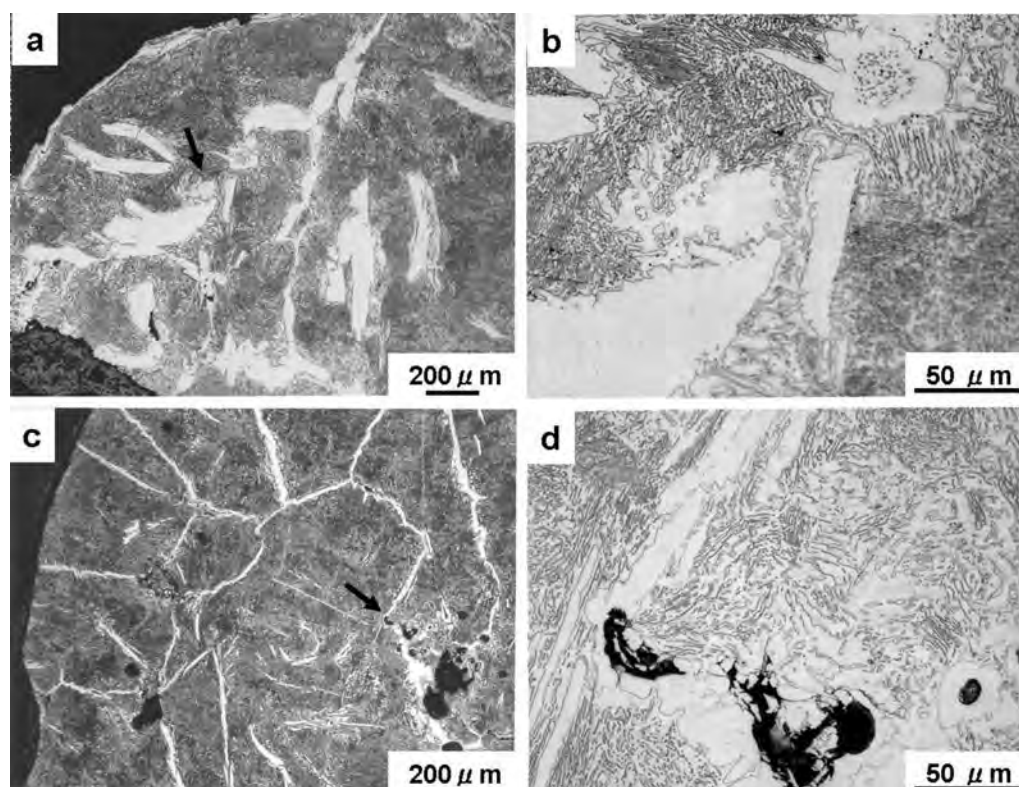


写真 9 まほろん 3 号炉鉄塊のミクロ組織一位置 2 (a) 塊状セメンタイトの領域、
(b) (a) 矢印の拡大、(c) 針状セメンタイトの領域、(d) (c) 矢印の拡大

で、素地はパーライトである。セメンタイトの析出状態から、過共析鋼であり、(a) が (c) よりも炭素量が高い。(d) では、層状パーライトが観察されるが、(b) では、セメンタイトは微細な粒状（球状）となっている。

過共析鋼を高温で長時間保持する焼き戻し処理によってセメンタイトが球状化することが知られている。粗大なセメンタイトは分断されるような形態で球状化する。オーステナイト領域から徐冷した場合には、層状パーライトが析出せず、球状セメンタイトとなる。保持時間が長くなると、粗大組織の球状化と微細組織の粗大化が起こる。亜共析鋼では徐冷によってパーライトになりやすい。従って、(b) の組織から、素地は粒状セメンタイトであり、(d) の素地は層状パーライトであるため、小さな鉄片の中においても炭素量が過共析と共析に近い領域が混在していることを表している。

写真 9 に写真 2 位置 2 のミクロ組織を示す。いずれも過共析鋼の形態である。(a) は写真 8(a) よりもセメンタイトが粗大に成長しており、鉄への浸炭が進んでいる。(c) では、長い針状のセメンタイトが観察される。(d) では、空隙を取り囲むように粗大なセメンタイトが析出している様子が観察される。

2) クログネくん 3 号炉の鉄塊

予備実験として行った円筒型の小型炉の実験で得られた鉄塊のマクロ組織を写真 10 に示す。組織の形態から、(a) は、すべてが白鉄である。配向性を持って晶出したセメンタイトが観察される。(b) は白鑄鉄と過共析鋼との混合組織で、矢印が過共析鋼の領域である。

写真 11 に写真 10 (a) のミクロ組織を示す。(a) の試料内部では、粒状のセメンタイトが縦方向に配向している。(b) の拡大組織から、セメンタイトは粒状の形態をしており、素地はパーライトである。通常の白鉄鉄のようなレデブライト組織とはなっていないが、亜共晶の白鑄鉄である。(c) の表面側には片状の黒色の組織が分散している様子が観察される。(d) の拡大組織から、片状の組織は黒鉛であることが分かる。素地は層状パーライトで、片状の黒鉛と白

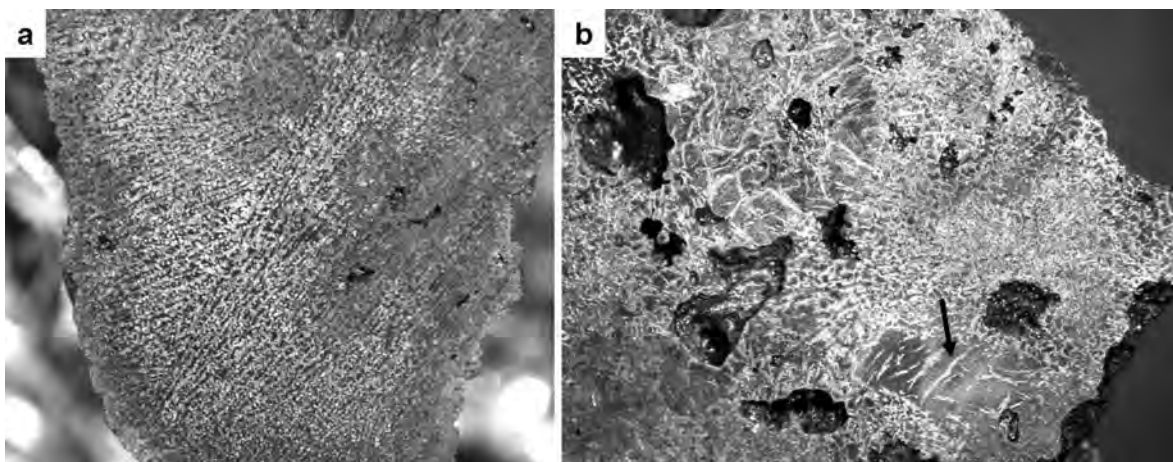


写真 10 クログネくん 3 号炉の鉄塊断面のマクロ組織 (a) 白鉄：写真 3 の位置 1 の拡大写真、
(b) 白鑄鉄＋過共析鋼（矢印）；写真 3 の位置 2 の拡大写真

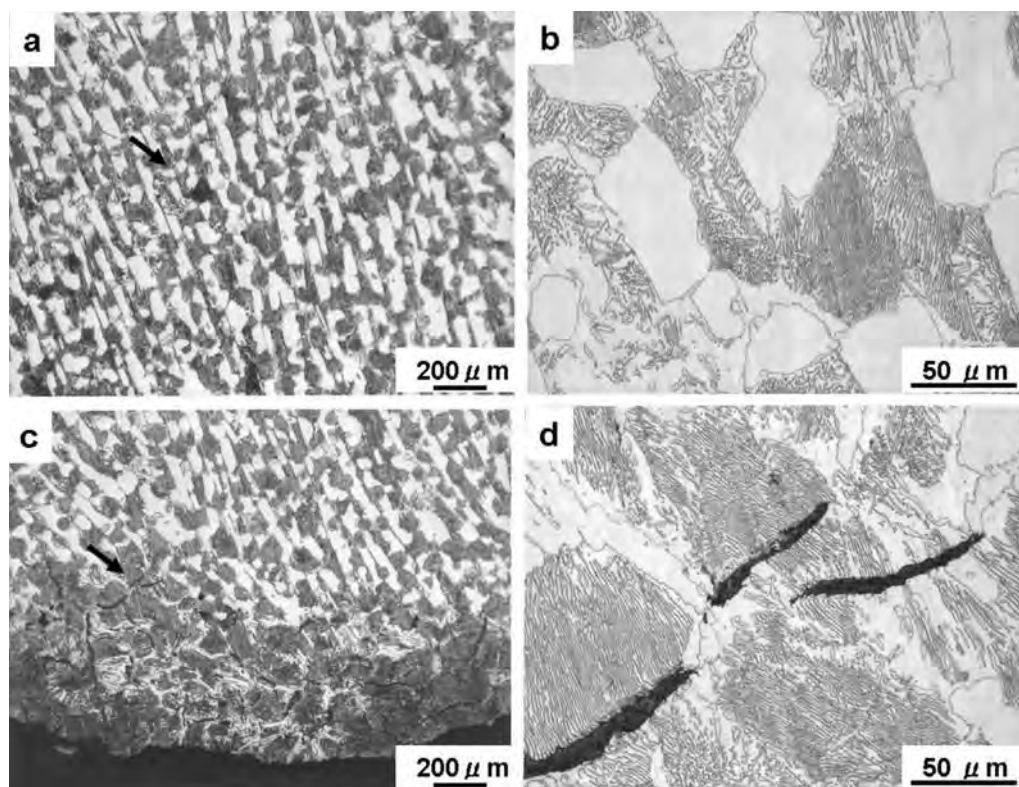


写真 11 クロガネくん 3 号炉のミクロ組織（写真 10 (a)） (a) 中央部、(b) (a) の拡大、
(c) 表面近傍、(d) (c) の拡大

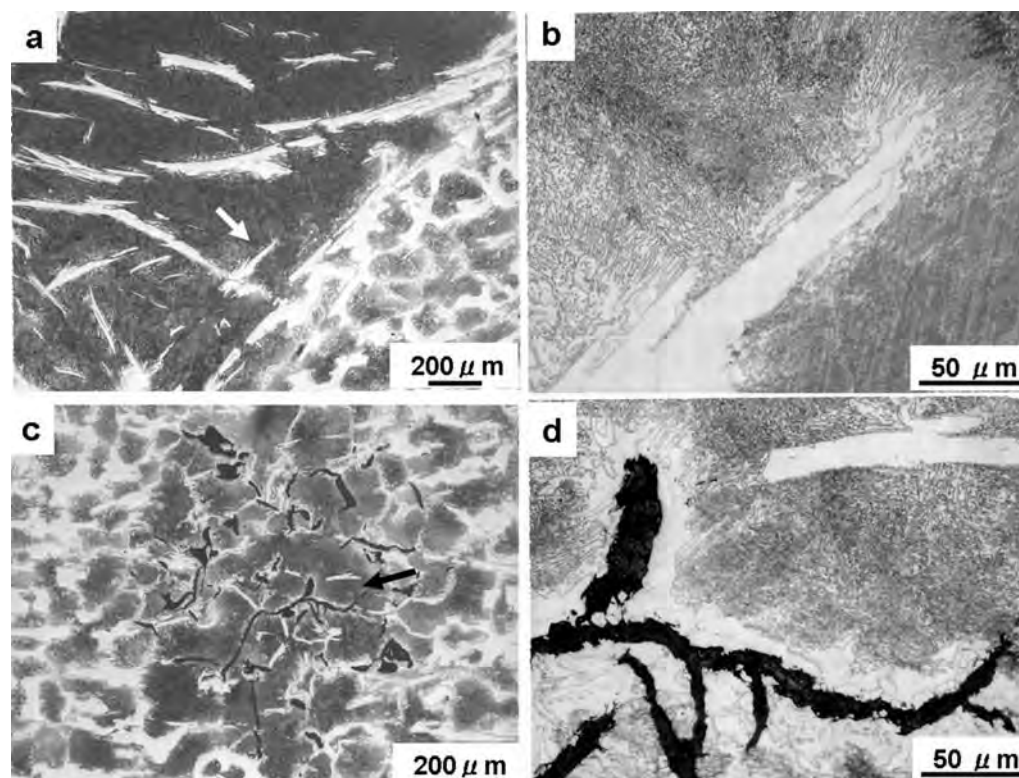


写真 12 クロガネくん 3 号炉のミクロ組織（写真 10 (b)） (a) 過共析鋼と亜共晶鑄鉄の境界、(b) (a) 矢印の拡大、(c) 黒鉛の晶出領域、(d) (c) 矢印の拡大

色の粗大なセメンタイトが混在している。黒鉛の周囲はパーライトであり、部分的に粗大なセメンタイトと接している。

写真 10(b) のマイクロ組織を写真 12 に示す。(a) は亜共晶鉄と過共析鋼との境界部であり、それぞれの領域でのセメンタイトの形態が異なる。(b) は過共析鋼の拡大組織であり、初析セメンタイトの先端部の形状に沿った形態で層状のパーライトが析出している。(c) は黒鉛が観察される領域であり、周囲が白鉄となっている。黒鉛は片状であるが、湾曲した形態をしている。この領域も黒鉛と初析セメンタイトが混在している。(d) の黒鉛の右上に粗大な棒状の初析セメンタイトがあり、黒鉛周囲は多数の粒状のセメンタイトで覆われている。

3) 島根県のたたら製鉄の鉄片

写真 13 に鉄片のマイクロ組織を示す。(a) 初析セメンタイトは長く成長しており、その幅も広い。(b) の拡大写真から、素地の黒く見える領域では、層状のパーライトが析出しており、

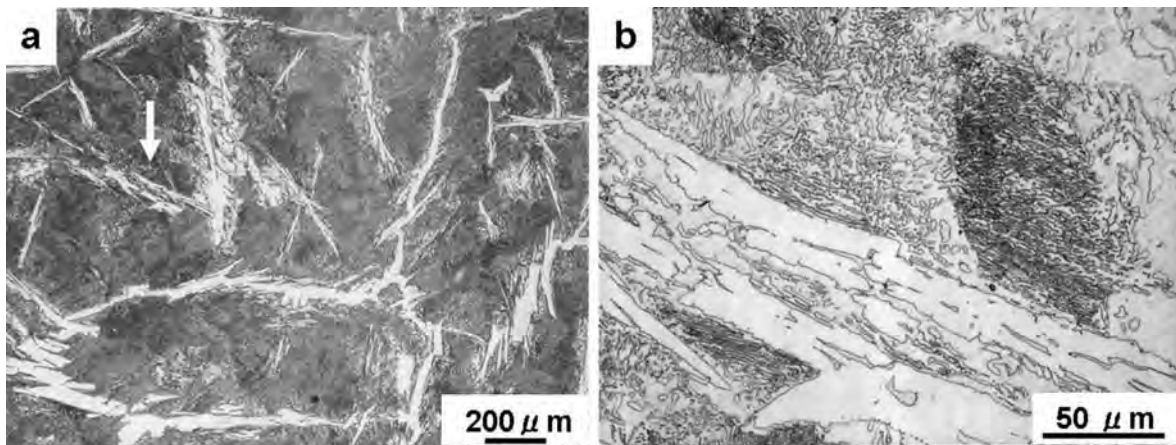


写真 13 島根県のたたら鉄のマイクロ組織 (a) セメンタイトの析出形態、(b) (a) 矢印の拡大

やや薄い灰色の素地領域ではセメンタイトが球状化している。そのサイズも微細な粒から、やや大きな細長い形態の粒が混在している。炭素量はまほろん 3 号炉の鉄塊 - 位置 2 の (a) と (c) の間と推定される。

4 おわりに

これまでの 2 回の復元炉と円筒型の小型実験炉の結果を踏まえ、高炭素量の銑（ずく）を造る目的で、まほろん 3 号炉による操業実験を行った。得られた結果は以下のようである。

(1) 炉内温度

炉内温度は木炭の投入量と鞆の踏み数を制御することで、安定操業時には羽口の直上（7cm 上）で 1400 ～ 1500℃、羽口と炉頂の間、1/2 の位置では、1000 ～ 1100℃の高温操業を行うことができた。炉内温度分布は羽口直上の水平方向では、中央部が高くなる傾向があるが、鞆からの送風量のアンバランスで最高温度のピーク位置がずれる。羽口と炉頂との 1/2 の位置では、ほぼ平坦な温度分布であった。

（2）鉄塊の組織

まほろん3号炉で得られた鉄塊は、高炭素量の過共析鋼であった。鉄塊の位置によって炭素量の違いによる組織形態の違いが認められる。まほろん1号炉と2号炉の鉄塊に比べ、炭素量が著しく増加したが、銑までの炭素量までは至っていない。

円筒型小型炉で得られた鉄塊は白銑鉄が大部分を占めるが、過共析鋼の領域が局所的に点在する。鉄塊の表面近傍では片状の黒鉛、粒状セメンタイト、パーライトから構成される領域が一部観察された。片状の黒鉛は、5～10 μm の粒状のセメンタイトで覆われていた。

最後に島根県のたたら製鉄で造られた玉鋼を提供していただきました島根県産業技術センターの尾添伸明氏に深く感謝いたします。

<註>

- （註1）吉田秀享：「まほろんイベント「鉄づくり報告」－まほろん1号炉による操業について－」，福島県文化財センター白河館研究紀要2004，1-24
- （註2）佐藤健二：「まほろん1号炉（原町市大船~~佐~~A遺跡15号炉の復元炉）における操業条件」，福島県文化財センター白河館研究紀要2004，25-34
- （註3）佐藤健二：「まほろん2号炉（南相馬市大船~~佐~~A遺跡15号炉の復元炉）における操業条件」，福島県文化財センター白河館研究紀要2007，81-90
- （註4）俵國一：「鐵と鋼製造方法及性質」，丸善，大正9年12月（第10版），133-134

金沢地区製鉄遺跡群の製鉄炉における 踏み鞆規模の変化について

学芸グループ 主幹 安田 稔

1 はじめに

福島県相双地区における8世紀後葉から10世紀初頭頃（金沢地区製鉄遺跡群Ⅳ・Ⅴ期）までの長方形箱形炉の炉背部に、踏み鞆が設置されることが判明したのは、平成元年から開始された金沢地区製鉄遺跡群（南相馬市所在）の調査によってである。その後、同時期の調査例は徐々に増加しているが、例外はほとんどない。一時期とはいえ、製鉄炉への送風方法が明らかとなったことは、古代技術復元のために寄与する部分も大きいと考えられる。以下ではその踏み鞆に若干の分析を加え、その結果から該期の鉄づくりに関して若干の指摘を試みることにしたい。

2 金沢地区製鉄遺跡群におけるⅣ・Ⅴ期の製鉄炉（SW）について

表1・2は製鉄炉炉底の長軸と短軸、踏み鞆の長軸と短軸を計測したものである。炉底については報告書の記述を基本としたが、遺存する還元面から計測し直したものもある。踏み鞆については、報告書の記述では遺構の上端を計測したものが多かったことから、下端で計測し直し、踏み板の動きを考えて計測値の最も狭い部分を採用した。ただし測量原図ではなく、報告書掲載図での計測値である。

初めに製鉄炉の炉底規模について概観することにする。表中の炉長軸長と炉短軸長としたものは、主に炉底に遺存していた還元面の範囲を計測したものである。遺存還元面は、操業状態や炉破壊時の状況によって、その規模に変化をきたすと考えられることから、構築された炉の規模を正確に反映するものとすることはできないが、一つの目安とすることは可能と思われる。

Ⅳ期初頭の炉の平均値は長軸長 1.43 m、短軸長 0.61 m である。大船迫A遺跡 10・11 号製鉄炉の長軸長は 1.8 m・1.9 m と平均値に比して長いが、両者の還元面は掘形プランからすると炉体部と湯道部に分離できると考えられ、炉体部自体は他の炉に近い規模が考えられる。

他のⅣ期の炉の平均値は長軸長が 1.58 m、短軸長 0.57 m である。最小長軸長は大船迫A遺跡 4 号製鉄炉 C 面の 1.06 m、最長長軸長は大船迫A遺跡 48 号製鉄炉 B 面の 2.1 m であるが、両者とも A 面の規模は他とかけ離れたものではなく、特殊なものとすることはできないであろう。やはり炉内部から湯道部への変換部などの検討が必要である。ただ、やや飛び抜けた数値のものは小数でもあり、平均値に大きな影響はあたえていない。

Ⅳ期初頭からそれ以降では製鉄炉の大型化が看取される。

Ⅴ期の炉の平均値は長軸長 1.55 m、短軸長 0.48 m である。長瀬遺跡 5 号製鉄炉の飛び抜けた数値は炉底が遺存しておらず、基礎構造掘形の計測値であるためである。Ⅴ期の炉の数が小数であることから断じることはやや不安であるが、Ⅳ期より大型化しているとは認められない。

次に踏み鞆の規模について見ていくことにしたい。

表1 製鉄炉寸法表(1)

遺跡名	遺構名	形態	炉長軸長 (m)	炉短軸長 (m)	輪長軸長 (m)	輪短軸長 (m)	容積量 (kg)	炉底 面数	備 考	期	年代 X0
長湍	SW02	堅	0.3	0.3	2.5	0.7	7,771.40			IV	II
長湍	SW03	堅	0.5	0.4	2.4	0.7	2,500			IV	II
長湍	SW10	堅	0.9	0.6	2.3	0.5	454	2	炉計測位置還元面	III	II
長湍	SW22	堅	0.58	0.48	2.4	0.9	372		V期炉下	IV?	III
南人A	SW01	堅	1.2	0.62	2.48	0.68	4,452		炉底面より下方で計測	IV	II
大船廻A	SW42	堅	0.4	0.4	2.1	0.6	67			III	V
平均値			0.65	0.47	2.36	0.68	2602.65				
大船廻A	SW09	箱	1.3	0.6	2.3	0.65	0	1	炉底地0.84×0.3	IV初	V
大船廻A	SW10	箱	1.8	0.7	2.2	0.55	222.4	1		IV初	V
大船廻A	SW11	箱	1.9	0.6	2.4	0.52	454.3	1		IV初	V
大船廻A	SW35	箱	1.37	0.58	2.37	0.58	0	3	A面 磨津35・36合計	IV初	V
			1.4	0.59			18,675.50		B面		
			1.35	0.56					C面		
大船廻A	SW36	箱	1.35	0.61	2.41	0.65		3	A面	IV初	V
			1.3	0.58					B面		
			1.3	0.66					C面		
大船廻A	SW43	箱	1.33	0.64	2.35	0.6	2,238.10	2	A面	IV初	V
			1.35	0.58					B面		
平均値			1.43	0.61	2.34	0.59	3598.38				
烏打沢A	SW02	箱	1.6	0.5	2.55	0.8	0.00	4	炉底地0.86×0.34	IV	I
烏打沢A	SW07	箱	1.6	0.5	2.58	0.78	74,610.50	4	磨津2・7合計	IV	I
烏打沢A	SW12	箱	1.5	0.5	2.5	0.7	7,892.40	2	輪不接形	IV	III
長湍	SW09	箱	1.5	0.4	2.4	0.7	9,547	3		IV	II
長湍	SW19	箱	1.5	0.48	2.4	0.6	3,982.60			IV	III
大船廻A	SW03	箱	1.4	0.5	2.2	0.66	6,532.90	3	磨津3・34合計	IV	V
大船廻A	SW34	箱	1.8	0.55	2.16	0.7	0.00	3		IV	V
大船廻A	SW04	箱	1.7	0.64	2.28	0.68	4,307.50	3	A面 磨津4・13合計	IV	V
			1.57	0.64					B面		
			1.06	0.52					C面		
大船廻A	SW13	箱	1.5	0.6	2.3	0.7	0.00	2	A面	IV	V
			1.6	0.6					B面		
大船廻A	SW08	箱	1.6	0.6	2.6	0.65	0	3	A面 磨津7・8・12合計	IV	V
			1.3	0.55			65,000		B面		
			1.8	0.6					C面		
大船廻A	SW12	箱	1.45	0.6	2.45	0.65	0	2	A面	IV	V
			1.7	0.58					B面		
大船廻A	SW22	箱	1.7	0.8	2.3	0.6	2,277.30	2	A面	IV	V
			1.6	0.7					B面		
大船廻A	SW27	箱	1.74	0.7	2.52	0.76		2	A面	IV	V
			1.52	0.66					B面		
大船廻A	SW32	箱	1.1	0.35	2.5	0.74	0	4	A面 磨津32・33合計	IV	V
			1.4	0.35			18,893.20		B面		
			1.85	0.6					D面		
大船廻A	SW33	箱	1.45	0.6	2.3	0.65		3	A面	IV	V
大船廻A	SW37	箱	1.6	0.64	2.65	0.72	0	2	A面 磨津37・38合計	IV	V
			1.56	0.48			16,294		B面		
大船廻A	SW38	箱	1.68	0.46	2.55	0.82		4	A面	IV	V

表2 製鉄炉寸法表（2）

遺跡名	遺構名	形態	炉長軸長 (m)	炉短軸長 (m)	竈長軸長 (m)	竈短軸長 (m)	容積量 (kg)	炉底 面積	備 考	期	報告 書NO
			1.6	0.6					B面		
			1.65	0.62					C面		
			1.7	0.65					D面		
大船迫A	SW48	竈	1.6	0.7	1.95	0.6	3,883.90	2	A面	Ⅳ	V
			2.1	0.7					B面		
平均値			1.58	0.57	2.40	0.70	11845.63				
長瀬	SW05	竈	2.1	0.9	2.8	0.9	0.9		基礎部分のみ遺存	V	Ⅱ
長瀬	SW15	竈	1.2	0.3	2.7	0.8	216.2	1		V	Ⅲ
長瀬	SW16	竈			2.9	1	811.9		炉底不明	V	Ⅲ
長瀬	SW23	竈	1.1	0.3	2.5	0.72	851	2		V	Ⅳ
大船迫A	SW15	竈	1.8	0.4	2.7	0.6	1,019.20	2		V	V
平均値			1.55	0.48	2.72	0.80	587.01				
猪倉A	SW1	竈	2.9	1.1	2.9	0.7	22,331.70	2	炉体部は大船迫A遺跡の基礎		Ⅳ
山田A	SW1	竈	1.35	0.8	2.45	0.8	1,062		炉体部は長瀬遺跡の基礎		Ⅴ
猪倉B	SW1	竈	2.65	0.7	2.3	0.95	9,661.10		炉体部は長瀬遺跡の基礎		Ⅳ
平均値			2.30	0.87	2.55	0.82	11018.27				

金沢地区製鉄遺跡群の報告書（原町火力発電所関連遺跡調査報告Ⅰ～Ⅵ）でも述べたが、箱形炉の踏み竈は竪型炉の技術をとり入れたものと考えられることから、取りかかりとして竪形炉との比較から検討してみたい。

金沢地区で確認された竪形炉の中で、踏み竈が遺存し計測可能な炉は6基であり、その平均値は表に示したように長軸2.36 m、短軸0.68 mである。金沢地区で最も古い竪形炉とされるのは、遺物と炉の形態から、Ⅲ期^(註1)の長瀬遺跡10号製鉄炉と大船迫A遺跡42号製鉄炉であり、それに後続していくのがⅣ期の長瀬遺跡2・3号製鉄炉と南入A遺跡1号製鉄炉と考えられる

(註2)。

踏み竈が箱形炉に取り入れられる時期は、金沢地区全体の製鉄炉の変遷から言って、上記の長瀬遺跡10号製鉄炉と大船迫A遺跡42号製鉄炉の操業以降の時期と考えられ、両炉の踏み竈規模の平均値は長軸2.2 m、短軸0.55 mである。

一方、金沢地区で踏み竈を有する箱形炉として最も初期のものとして考えられるのは、Ⅳ期初めに位置づけられる大船迫A遺跡9・10・11・35・36・43号製鉄炉の6基である。その踏み竈規模の平均値は長軸2.34 m、短軸0.59 mであり、規模の面からすれば長瀬遺跡10号製鉄炉と大船迫A遺跡42号製鉄炉の踏み竈規模が参考にされたと想定できるであろう。

次の段階であるⅣ期竪形炉の長瀬遺跡2・3号製鉄炉と南入A遺跡1号製鉄炉の踏み竈規模の平均値は、長軸2.46 m、短軸0.69 mであり、上に掲げたⅣ期初頭6基以外の箱形炉の踏み竈規模の平均値も長軸2.40 m、短軸0.70 mと大型化している（表参照）。竪形炉における踏み竈大型化の動きと、炉体部の大型化に連動していると言えそうである。

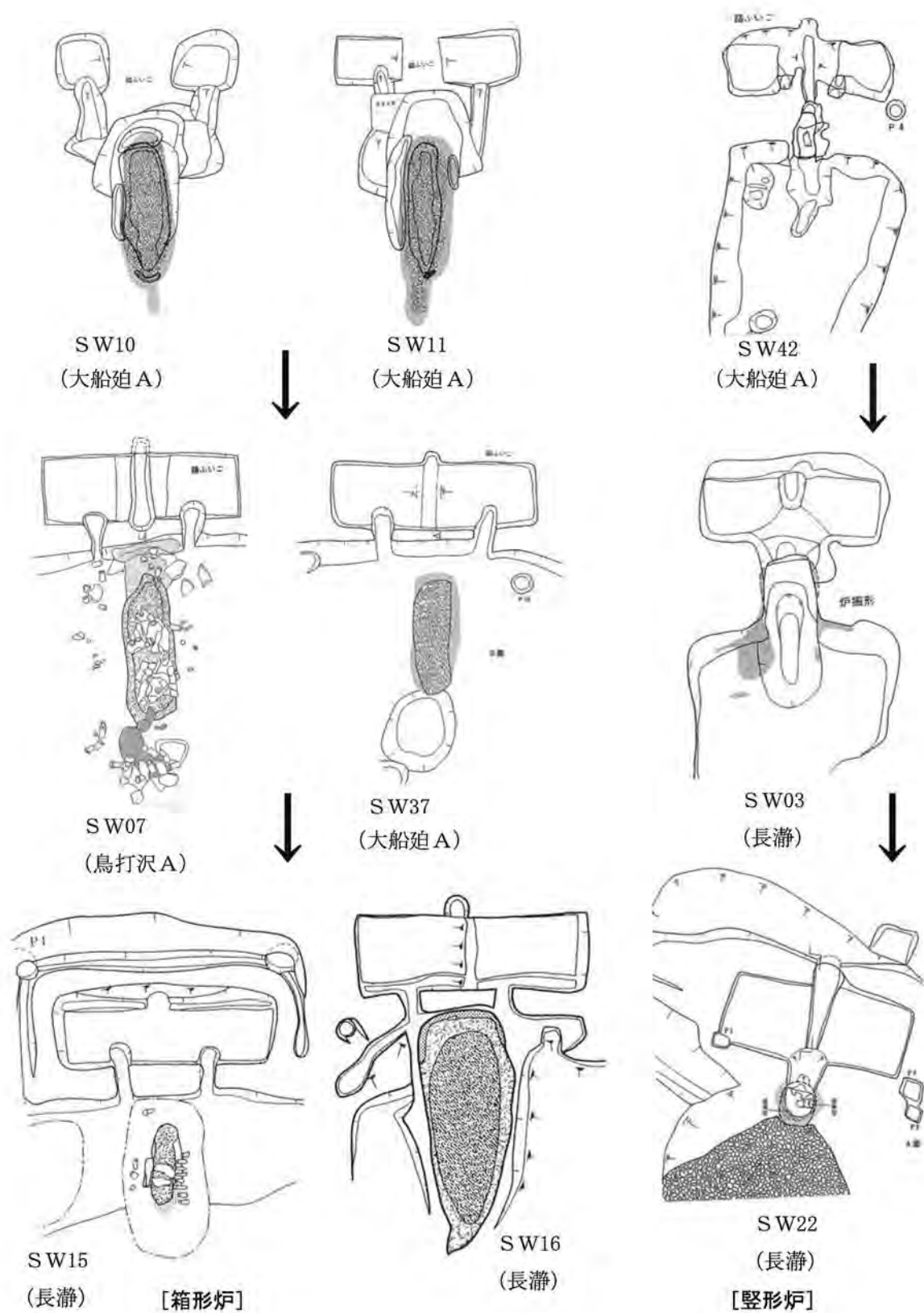


図 1 踏み鞆の変化 (縮尺約 1 / 80)

以上Ⅳ期箱形炉における踏み鞆の大型化傾向を確認したが、次の作業としてⅤ期の箱形炉に注目して見ることにしたい。Ⅳ期とⅤ期の箱形炉における顕著な違いは、Ⅴ期の炉が深さ 50 cm前後で木炭・褐色土・黒色土などを堆積土とする、炉底規模より一回り大きい長楕円形の平面形を呈する土坑状の基礎構造を有することであり、おそらく炉内の操業雰囲気を考慮した工夫であったと考えられる。そこでⅣ期炉での検討と同様に踏み鞆規模をみると、その平均値は長軸 2.72 m、短軸 0.80 mであり、Ⅳ期の踏み鞆に比べて大型化が著しいことを知ることができる。しかも前述のように炉体部の大型化は認められず、全体の規模が大型化したとは言えない状況である。基礎構造の設置と踏み鞆のみの大型化という工夫は、何を意図したものであるのか興味のあるところである。

Ⅴ期の炉に顕著に見られた二つの変化の要因を探る資料として、「相馬開発関連遺跡調査報告Ⅳ・Ⅴ」に報告されている猪倉 A・B、山田 A 遺跡（相馬市所在）の箱形製鉄炉に注目したい。3 遺跡で確認された 7 基の箱形炉（踏み鞆計測可能は 3 基）の時期はすべて金沢地区Ⅴ期と同時期のものであり、炉形態もⅤ期の箱形炉と同様の特徴を有している。そして注意すべき点は、相馬地区の 3 遺跡 8 基の製鉄炉（竪形炉 1 基）は鑄造製品を製作するための、鑄鉄を生産する炉であった可能性が極めて高いことである。猪倉 B・山田 A 遺跡から出土する鑄型・鑄造炉壁などの遺物の他、猪倉 A 遺跡鉄塊分析による高率の鑄鉄の検出などがそのことを如実に物語っている。

以上のように相馬地区の製鉄炉を参考にするならば、金沢地区のⅤ期の箱形炉における基礎構造の設置と踏み鞆の大型化という工夫は、鑄鉄生産をより高く意識した工夫であったと考えることができる。その工夫の主眼一つは、高温操業にあったと考えられ、除湿と輻射熱効果が期待される基礎構造と送風量の増大が図られる踏み鞆規模の大型化は、高温の炉内雰囲気が想定できるであろう。また、そのことを化学的に裏付けるものとしては、Ⅴ期製鉄炉産出の鉄滓分析に見るシュードブルカイト（Pseudobrookite）の頻度の高い晶出にも見ることができる。やや蛇足とはなるが、炉形は異なるものの、鑄型遺物が多量に出土した武井地区製鉄遺跡群向田 A 遺跡（新地町所在）の竪形炉（SW 02・03）においても同様の晶出があったことが想起されるのである。

3 おわりに

金沢地区製鉄遺跡群の製鉄炉形態変化からⅤ期における製鉄操業状況の一端を考えてみた。Ⅴ期における鑄鉄生産は、出土鑄型から知られるように該期に顕著となる鑄造製品への需要の高まりが底流にあると考えられ、鑄造製品製作技術の広がり、鑄鉄に対するより高い意識を生じさせたと想定できるであろう。

なお、Ⅳ期以前の製鉄炉の操業によって生成された鉄については、近年の研究の進展によれば、やはり銑鉄生産を目標としていたとする考えが優勢である。そうであれば、Ⅴ期操業との違いが今後の課題となるが、遺構だけからではその解決はむずかしい。今後、解明に向けた研究成果の蓄積を基に、再び考えを巡らしたいと考えている。

< 註 >

- (註 1) 金沢地区製鉄遺跡群では遺構期として 6 期を設定しており、Ⅲ期を 8 世紀第 2 四半期～第 3 四半期、Ⅳ期を 8 世紀第 4 四半期～9 世紀第 1 四半期、Ⅴ期を 9 世紀第 2 四半期～9 世紀第 3 四半期と考えている。
- (註 2) 長瀬遺跡 22 号製鉄炉は箱形炉（長瀬 20 号製鉄炉）との重複関係からⅢ期の竪形炉として報告書では考察したが、再検討の必要が感じられる。長瀬 20 号製鉄炉は削平のため遺存状況の悪い遺構であり、炉本体は掘形しか残っていない。その掘形には木炭層や褐色土・黒色土が堆積しており、Ⅴ期の特徴を有していることに加え、出土した土師器杯も 9 世紀中葉以降のものと考えられる。また、もし 20 号製鉄炉がⅣ期の製鉄炉であるならば掘形底面に炉底が遺存していたであろう。踏み鞆跡は削平によって失われたものと考えられる。以上のことからすると、長瀬遺跡 22 号製鉄炉はⅤ期に近い竪形炉の可能性を有しているといえるであろう。

< 参考文献 >

- 1990～1995『原町火力発電所関連遺跡調査報告Ⅰ～Ⅵ』 福島県教育委員会 福島県文化振興事業団
1996・1997『相馬開発関連遺跡調査報告Ⅳ・Ⅴ』 福島県教育委員会 福島県文化振興事業団

古代集落内土師器生産の新事例

主任学芸員 菅原祥夫

1 はじめに

小論では、陸奥南部における古代集落内土師器生産の新事例を提示する。このことで、全国的に立ち遅れている当該分野の研究に、検討材料の1つを追加したい。具体的には、当館に収蔵された楡葉町鍛冶屋遺跡 12・52 号住居跡の出土資料^(註1)を再検討し、埋没過程の竪穴住居跡上面に構築された土師器焼成坑の存在を立証したいと思う。

2 鍛冶屋遺跡の概要

鍛冶屋遺跡は、福島県浜通り地方南部の楡葉町に営まれた古代集落跡である。太平洋へ注ぐ木戸川南岸の低丘陵上に立地し、同一平坦面上に広がる馬場前遺跡・木戸八幡神社遺跡とは、実質的に同一集落跡と考えられる。総面積は、50,000 m²以上に及ぶと推定され、1～3 次にわたる発掘調査の結果、古代磐城郡内の拠点集落の1つであったことが判明している。

集落の消長は8世紀後半に開村し、9世紀前葉～中葉に集村化のピークを迎え、鍛冶屋遺跡1次調査区内に官衙風建物群＝居宅域が形成される^(註2)。当該期の主要遺物としては、居宅関連の墨書土器「主家」・「厨」、居住者名を示す墨書土器「大磨」、倉庫のクルリ鍵、円面硯、灰釉陶器などがあり、集落としての格の高さが窺える。今回扱う2軒の住居跡も、当該期のこの

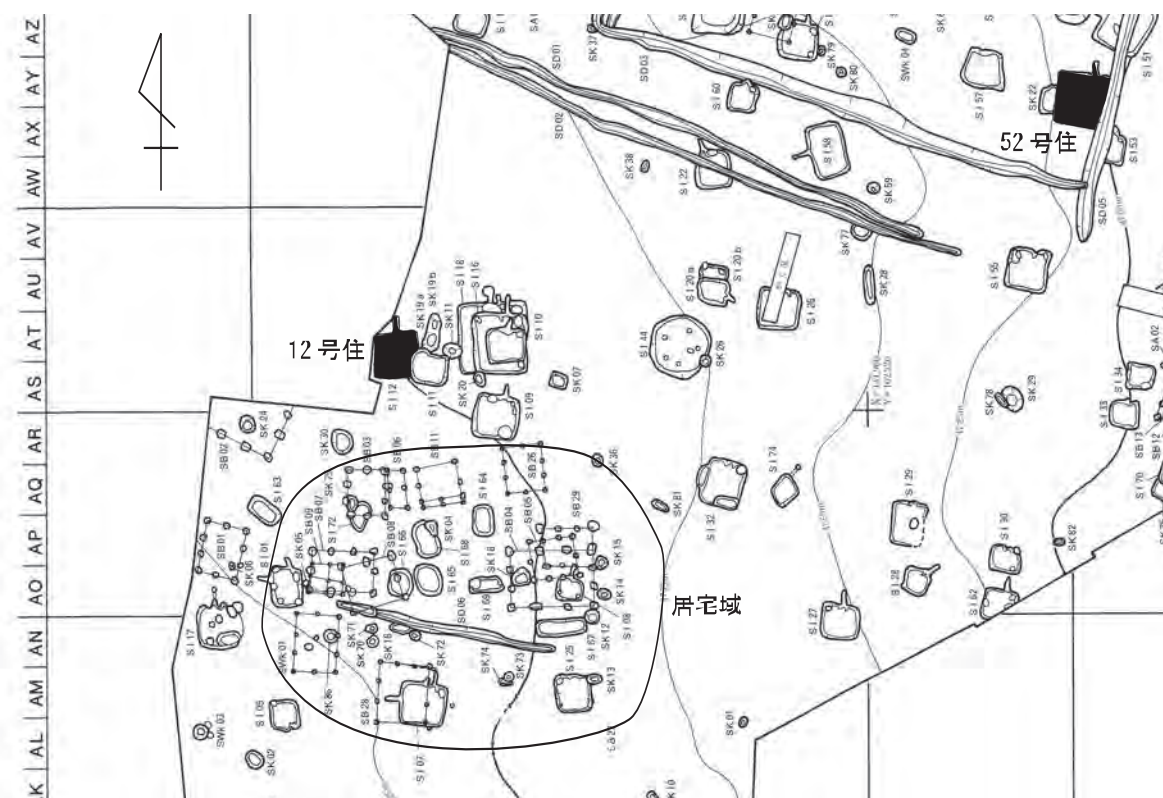


図1 12・52号住居跡位置図

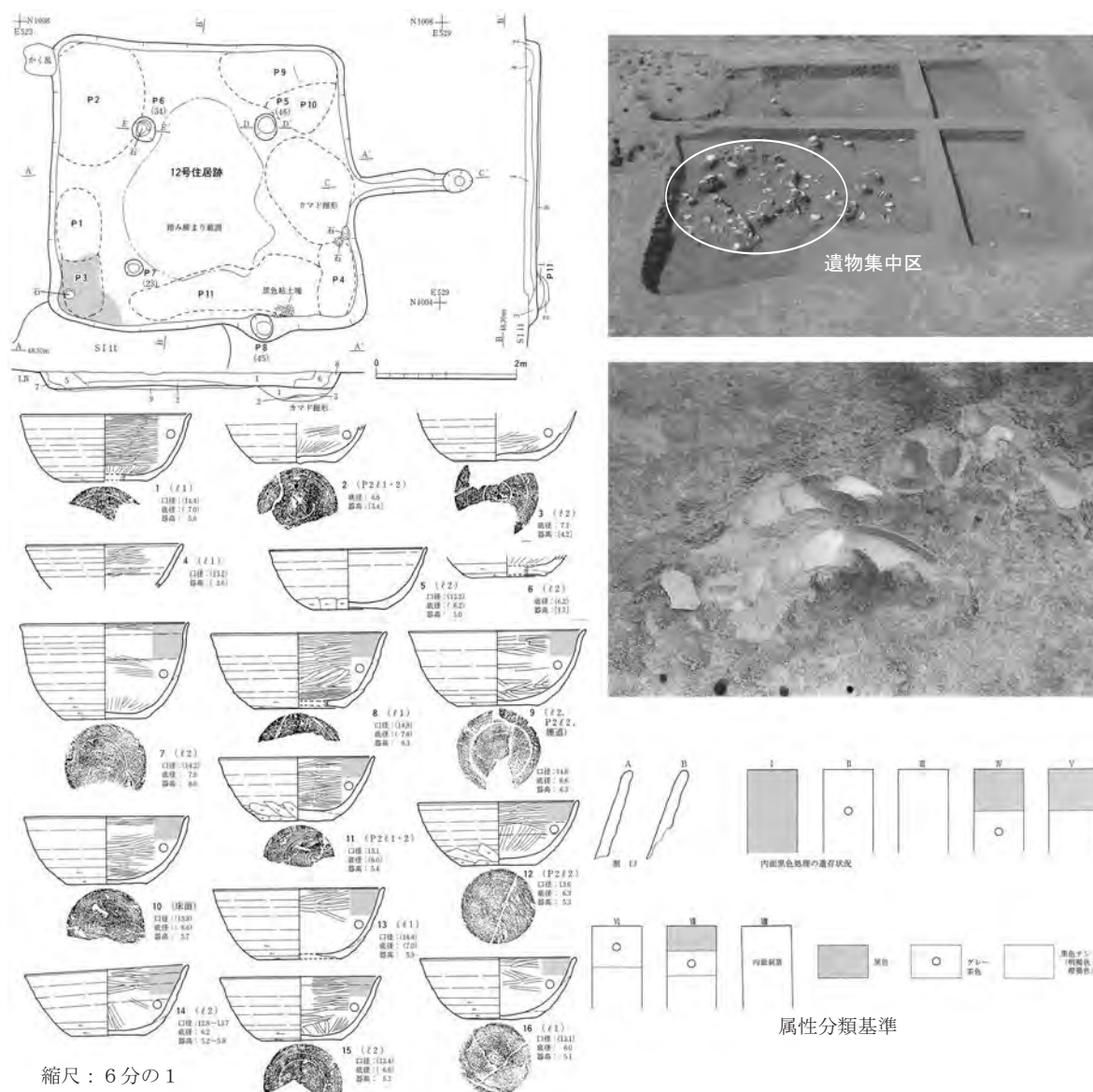


図2 12号住居跡

一画で営まれた所産である。しかし、9世紀後葉～末葉から、木戸川沿岸の低地に集落（小山B遺跡ほか）が分散しはじめ、居宅域の姿が見えなくなる。そして、10世紀のうちには低地の集落を含めて、200年間前後続いた「村」は廃絶してしまう。このような、集村化→散村化の動態現象は、東日本における典型的な律令期集落消長（註3）と合致したものである。

3 検討資料の出土状況と属性

（1）出土遺構の所見

検討資料出土の2軒の竪穴住居跡は、当時の一般的な住居規模と平面形を備えている（図2・写真1）。また、相互の関係は12号住居跡が9世紀中葉、52号住居跡が9世紀前葉に比定され、所在地点は約70mの間隔が離れている（図1）。したがって、近接時期に集落中心部に営まれていても、同時存在せず、直接の関係は無かったと考えられる。このうち、12号住居跡は居

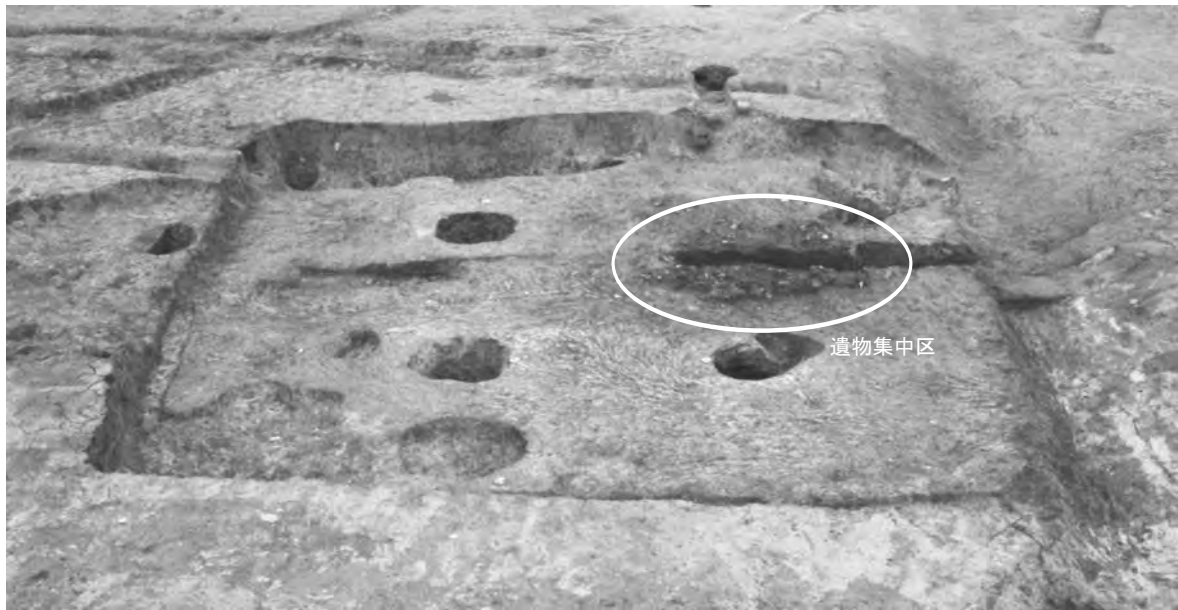


写真 1 52 号住居跡

宅域と隣接し、その運営を補完するための役割を果たした可能性が推測される。

発掘調査の所見では、この 2 棟の竪穴住居跡にロクロピットや白色粘土溜など、工房跡としての痕跡は捉えられなかった。また、出土状況から、検討資料は住居跡に直接伴うものではないと判断される。しかし、事実関係には、以下の注目すべき点が認められる。

（2）検討資料の属性

【12 号住居跡】（図 2）

- ①住居南東部の遺物集中区で、堆積土 0.1・2 から、約 1,300 点の土師器坏片が出土した。
- ②大部分は、まるで焼けてはぜた時のように、細かく、しかも薄く剥がれ、通常の割口とは状態がまったく異なっている。また、内面黒色処理が全体に及ばず、ムラのある場合が多い。

【52 号住居跡】（写真 1）

- ③カマド前面の遺物集中区で、焼土粒を含む土層上面から、約 900 点の土師器坏片が出土した。
- ④いずれも碎片で、12 号住居跡と同じように、特徴的な割れ方をしたものが多い。

（3）資料の取り上げと分析・評価

52 号住居跡の発掘調査では、それらの平面位置とレベルが記録され、整理では接合関係の検討までなされた。また、すべての資料は、割口の状態で 2 類型（A・B）、内面黒色処理の遺存状態で 8 類型（Ⅰ～Ⅷ）に分類され（図 2 右下）、類型単位に点数と重量が示されている。

その結果、不自然に剥離した割口（B）の点数は、土圧による通常の割口（A）の約 5 倍の点数に及び、内面黒色処理のムラ（Ⅱ～Ⅶ類）と高い相関関係を持つことが指摘されている。このことは、図示資料でみても、12 号住居跡の 68%（42 点／62 点）、52 号住居跡の 56%（9 点／16 点）に、内面黒色処理のムラ（Ⅱ～Ⅶ類）が表示されていることと、対応する。

しかし、このように多大な労力が払われ、詳細な分析が加えられているが、結局のところ②・④の成因は明らかではないとされた。

4 土師器生産地固有の遺物属性

報告書では、それらに対して、土師器生産との因果関係は考慮されていない。しかし、同書写真図版 218 掲載の「土器破片群」は、土師器焼成坑で出土する焼成時破損品＝「破裂剥片」と、一見して同じであるように思える（小論：写真 3－3 に転載）。そこで、この可能性を探るための手続きとして、まず土師器生産地固有の遺物属性を確認することから始めたい。

秋山浩三氏は、次のような整理を行っている（註 4）

（1）焼成時破損品

焼成途中に割れてしまった製品で、a) ～ c) の 3 つの属性パターンが認められる。一般に破裂剥片と呼ばれ、1 資料に複数属性が重なる。須恵器窯の灰原資料に該当する。

- a) 土器の表面が、破裂したようなクレータ状、吹き飛んだようなギザギザ状、など不自然な剥離状態を示す。……鍛冶屋 1 次報告書の割口（B）に一致。
- b) 土器の剥離面が、器表面と同じ色調を呈する。これは、焼成途中で生じた剥離面が、そのまま焼成され続けたためと推定される。
- c) 同一個体の接合する破片間で、黒斑が不連続をなす（図 3－4）。焼成途中に割れた破片が、

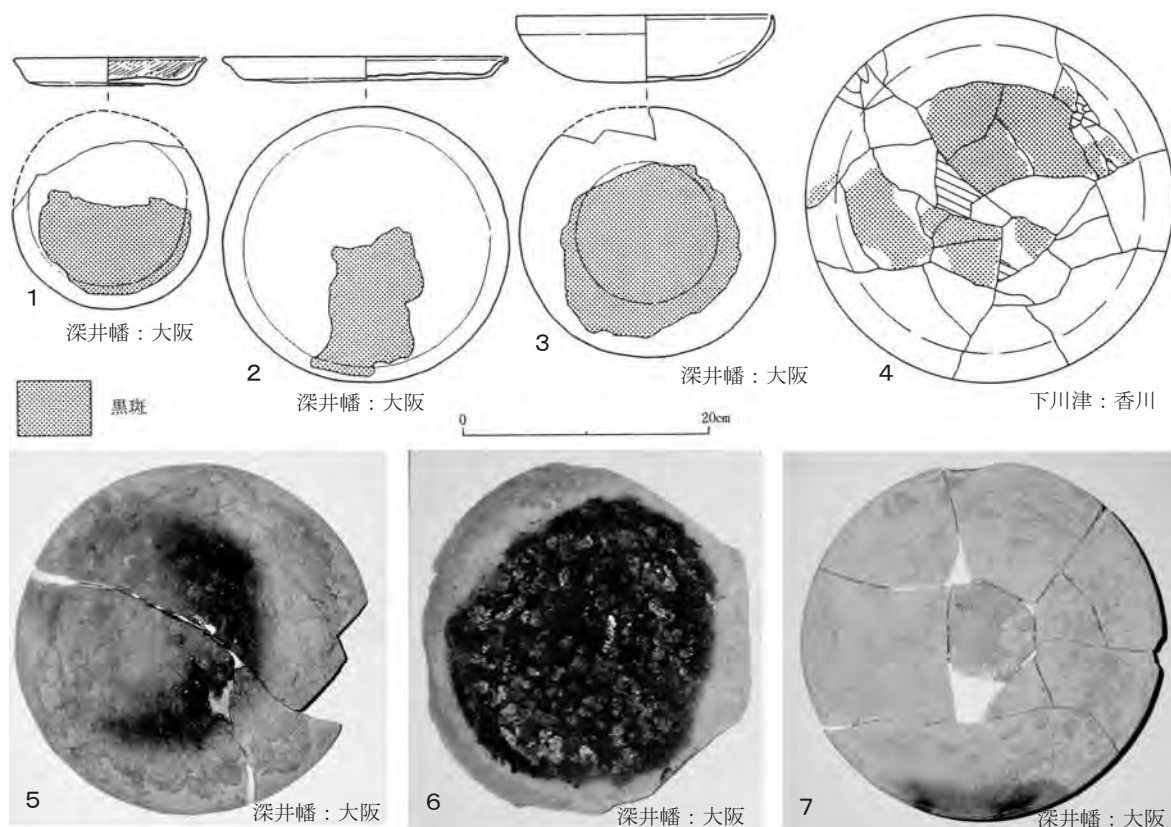


図 3 焼成時破損品・焼成不良品

その後、黒斑の付く環境と、そうでない環境に分散して焼成され続けたためと推定される。

(2) 焼成不良品

意図した状態に焼き上がらなかった製品で、上の焼成時破損品と、無傷で焼き上がった完形品の両方に確認される。d) ～ f) の3つの属性パターンが認められ、やはり、1資料に複数属性が重なる。

このうち無傷の完形品は、生産地で非常に高い比率で出土し、消費地供給に耐えない製品が自家消費されたものと考えられる。

d) 断面が漆黒～黒色を呈し、焼成が不完全に終わっている個体。

e) 黒色に焼き上げるべき器表面が黒色を呈さない個体。もしくは、赤褐色に焼き上げるべき器表面が黒斑で広く覆われた個体(図3-1～3、5～7)。……前者は、鍛冶屋1次報告書の内面黒色処理(Ⅱ～Ⅶ)に一致。

f) ゆがみの大きな個体。

(3) その他

焼成時に伴う小さな粘土塊で、製品とは違う。g)・h)の2つの属性パターンが認められ、性格は、覆い焼きの被覆材、試し焼き、焼き台などが推定される。

g) 稲ワラ、稲モミ、草本類の茎束などの圧痕が観察される焼成粘土塊。

h) 草本類の茎束の圧痕等は認められない焼成粘土塊。

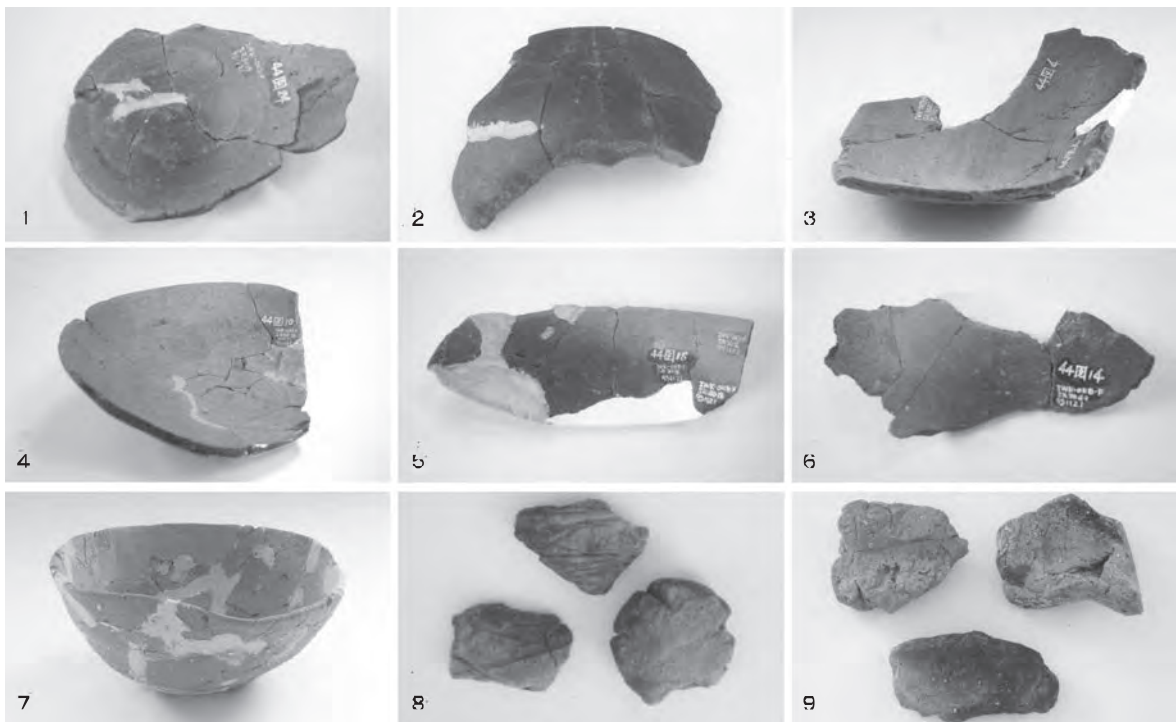


写真2 大久保F遺跡観察資料

5 県内生産地の遺物属性

この秋山浩三氏の一連の研究成果は、発表以後、全国各地で遺物による土師器生産地認定の基準に援用されている。ただ、分析資料が近畿地方の土師器であるため（図3）、それが東北地方（福島県）の場合に適応可能なのか、疑問を感じる向きがあるかも知れない。

そこで、次に県内の確実な土師器生産地資料で、当否を検証してみたい。具体的には、当館に収蔵されたいわき市大久保F遺跡の土師器を用いることにする。

（1）大久保F遺跡の概要

同遺跡は、土師器焼成坑・工房・粘土採掘坑が狭い範囲に密集した、専門的な土師器生産地である（註5）。時期は、9世紀後葉～10世紀初頭に求められ、遺構との帰属関係が捉えられる豊富な資料が得られている。今回は、その中でもとくに一括性の高い、30号土師器窯跡（焼成坑）と6号住居跡（工房）の出土資料を選択し、不掲載品を含めて全点を肉眼観察した。

（2）資料の観察結果

その結果、30号土師器窯跡では、焼成時破損品a）・b）、焼成不良品d）・e）の属性を備えた破片が充満し、その他g）・h）が少量伴うこと、また、6号住居跡では、覆土中にそれらが流入し、床面には、自家消費された完形品の焼成不良品f）が複数個体共伴することが明らかとなった。このことから、秋山基準は県内資料にも十分適応可能であると判断される。

また、この観察結果は、不自然に剥離した割口（B）と内面黒色処理のムラ（Ⅱ～Ⅶ）が高い相関関係を持つという、鍛冶屋遺跡の所見に合致し、当初示した仮説に対して確かな見通しを得てくれると思われる。

写真2は、この結果を秋山基準で整理したもので、（ ）内は報告書図番号との対応を示した。

【焼成時破損品】

a）写真2－1～7（報告書：図44－24、図19－3、図44－4・10・18・14、図19－4）

b）写真2－3（報告書：図19－3）

【焼成不良品】

d）写真2－3・4（報告書：図44－4・10）

e）写真2－2・3・5・6（報告書：図19－3、図44－4・18・14）

f）写真2－7（報告書：図19－4）

【その他】

g）写真2－8（報告書：写真図版61－1・4・7）

h）写真2－9（報告書：写真図版61－2・5・8）

なお、焼成不良品c）の属性は確認されなかったが、単に対象遺構とその周辺で、黒斑の不連続の起きる環境がたまたま生じなかったに過ぎないとみられる。事実、他の遺構の出土資料には、この属性を備えた個体が複数確認された。

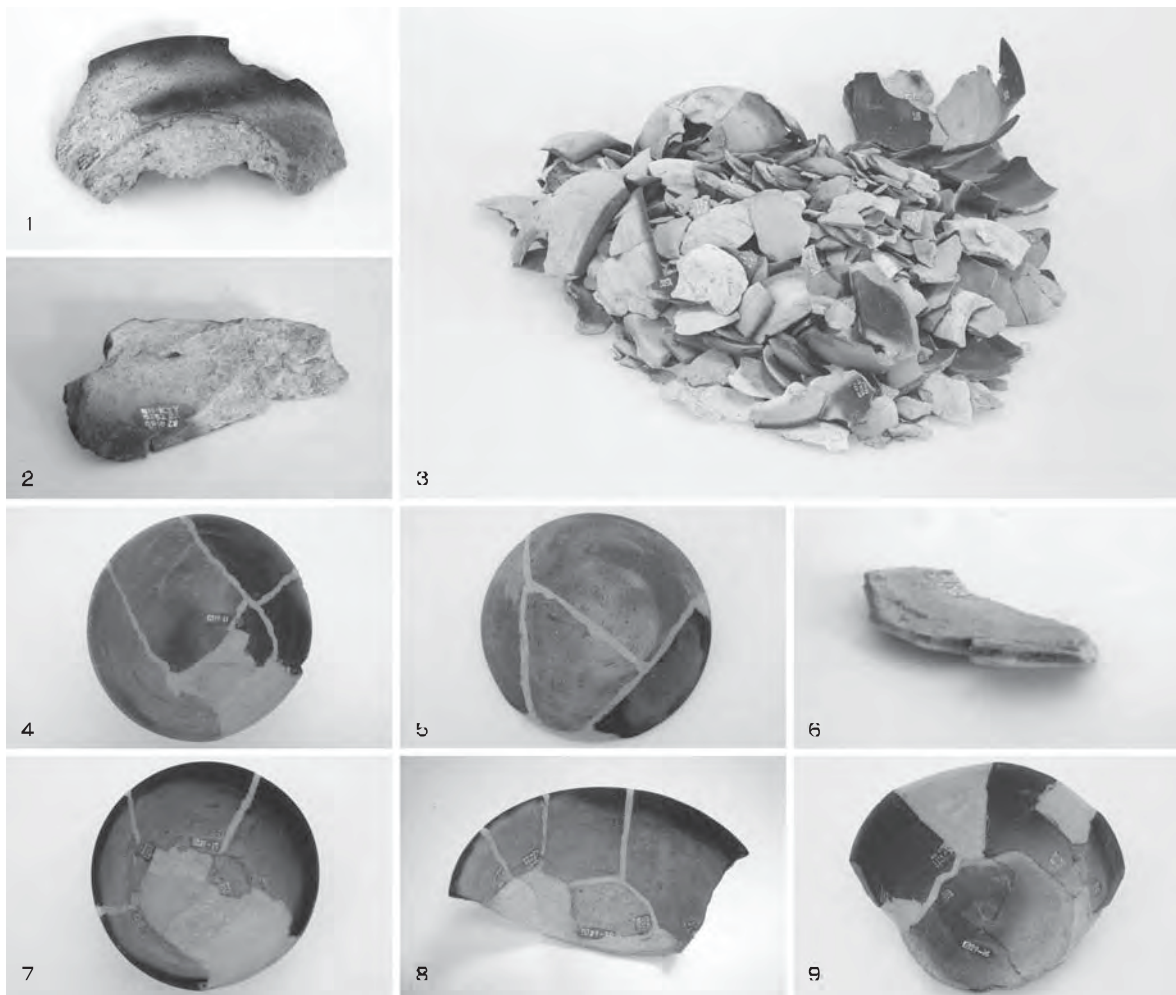


写真3 鍛冶屋遺跡観察資料

6 検討資料の観察

では、上で得られた見通しで、鍛冶屋遺跡の資料を再検討した結果を示したい。結論を言うと、それらは例外なく、土師器生産地固有の遺物属性を備えたものである。

写真3はこの結果を秋山基準で整理したもので、() 内は報告書図番号との対応を示した。

【焼成時破損品】

- a) 写真3-1～9（報告書：12住図29-11・12・16・17・20、図106-8・13、不掲載）
- b) 写真3-2（報告書：52住図106-13）
- c) 写真3-4・5（報告書：12住図29-11・12）

【焼成不良品】

- d) 写真3-6（報告書：不掲載、鍛冶屋52住）
- e) 写真3-4・5、7～9（報告書：12住図29-11・12・16・17・20）

【その他】

- g) 写真省略（報告書：不掲載、12号住居跡堆積土01で5点出土）

付け加えると、たとえ完形品に復元された個体でも、必ず、不自然に剥離した割口（B）＝焼成時破損品 a）の箇所が観察され、自家消費された可能性のあるものは認められない。したがって、性格としては、土師器焼成坑に伴う焼成時破損品・焼成不良品だけの集積と考えられる。

7 土師器焼成坑はどこに構築されたか

これまでの検討により、鍛冶屋遺跡では集落内土師器生産の行われたことが立証された。しかし、広範囲が発掘調査されたのにも関わらず、肝心の土師器焼成坑が発見されていない。

では、どこに構築されたのだろうか。ここで想定されるのが、まだ完全に埋まりきっていない竪穴住居跡の覆土上面に構築されるケースである。類例は数こそ少ないが、東日本各地で見られ、東北では、秋田県十二林遺跡 S N 139 土器焼成遺構^{（註6）}や、いわき市大久保 F 遺跡 23 号土師器窯跡などが知られている。それらは、層位的関係から、遺構の輪郭が検出面では確認できない特徴があり、とくに、本遺跡のような集落内立地例は、調査の過程で遺構の存在が想定されていないため、見逃される確率はどうしても高くなると思われる。

そこで、改めて遺物集中区の写真（図 2 右上、写真 1）を見直すと、どちらの範囲も、土師器焼成坑の一般的な規模・平面形に類似しているのが、注目される。

こうしたことから、土師器焼成坑の存在は、12・52 号住居跡の覆土中に求めたい。おそらく掘り込みは、最上層より下位の覆土上面から行われ、「遺物集中区」の下面が焼成坑底面にあたっていたと推定される。そして、今回再検討した資料は、それぞれに伴う焼成時破損品・焼成不良品の集積と位置づけられる。

なお、カラー写真では底面推定部分に焼土面が形成されているようにも見えるが、確定できない。また、周辺竪穴住居跡に工房跡が含まれていると思われる。しかし、特定困難である。

8 おわりに

東北で、古代土師器生産のテーマが本格的に議論されてから^{（註7）}、10 年以上が経過した。その後、県内でも問題意識を持った調査報告が相次いで行われている。小論が、さらなる研究発展に役立つことを願って、稿を閉じたい。

< 註 >

（註 1） 2000 「鍛冶屋遺跡（1 次調査）」『常磐自動車道遺跡調査報告 21』（財）福島県文化センター

（註 2） 菅原祥夫 2007 「東北の豪族居宅」『古代豪族居宅の構造と機能』独立行政法人奈良文化財研究所

（註 3） 坂井秀弥 1994 「庁と館、集落と屋敷」『城と館を掘る・読むー古代から中世へー』山川出版社

（註 4） 秋山浩三 1997 「黒斑等の遺物属性からみた土器焼成遺構」『古代の土師器生産と焼成遺構』窯跡研究会編 真陽社 なお、図 4 は秋山浩三 1977 からの転載である。転載にあたっては、秋山氏から原写真を提供していただき、窯跡研究会の許諾を得た。

（註 5） 1996 「大久保 F 遺跡」『常磐自動車道遺跡調査報告 8』（財）福島県文化センター

（註 6） 1989 『福田遺跡・石丁遺跡・蟹子沢遺跡・十二林遺跡』秋田県教育委員会

（註 7） 利部 修 1997 「東北西部ー秋田県の事例と検討ー」『古代の土師器生産と焼成遺構』窯跡研究会編 真陽社、菅原祥夫 1997 「東北東部ー古代陸奥の土師器生産体制と焼成坑」『古代の土師器生産と焼成遺構』窯跡研究会編 真陽社

相馬市高松古墳群出土の須恵器について

副主任学芸員 丹治篤嘉

1 はじめに

まほろんでは平成 20 年度に、独立行政法人国立文化財機構東京国立博物館が行う「博物館所蔵の考古資料相互活用促進事業」により、所蔵品の交換展示を実施した。同館から借用・展示した遺物は、戦前～戦後間もない時期に発掘調査された福島県内の 6 古墳出土のものである。この中に 1 点の気になる遺物があり、広く一般に認識されるべきと考えたため、簡単ではあるが資料紹介をしたい。紹介する資料は、相馬市高松古墳群出土の須恵器（古墳時代後期）である^(註1)。なお、本稿は上述の「博物館所蔵の考古資料相互活用促進事業」の成果の一部である。

2 資料紹介

(1) 相馬市高松古墳群（所在地：相馬市坪田字高松）について

高松古墳群は古墳時代後期の古墳群で、丘陵上には 2～3 基の前方後円墳と数 10 基の円墳群、丘陵の南・西斜面には多くの横穴墓が分布する。しかし、その殆どは盗掘にあい、多数の副葬品が持ち出されている。全長約 21.5 m の前方後円墳である高松第一号墳の調査^(註2)以外は、遺物の発見の経緯や出土状況等は不明であり、今回紹介する資料も古墳群中のどの古墳から出土したかも判然としない^(註3)。なお、当古墳群出土遺物には、全国的にも稀有な金銅製歩揺付雲珠もあるが、その詳細や評価については、橋本・鈴木両氏の論稿^(註4)を参照されたい。

(2) 資料の観察

紹介する須恵器は、フラスコ形長頸瓶である（図 1、写真 1）。球形を呈する胴部を 90° 横に回転させた上に、口縁部～頸部を接合している。口縁部～頸部は胴部に比して短く、すぼまった頸部中央から口縁部にかけて外側に開く。口唇部直下に稜線、頸部中央と胴部中央に沈線がそれぞれ 1 条巡り、口縁部～胴部にかけて濃緑色の自然釉がかかっている。写真 1 では、胴部の沈線に沿って釉が流れている状況が明瞭に窺える。なお、胴部には焼成時に付着した粘土ブロックが 3 箇所確認される。

本資料は一見して精巧なつくりで、胎土の色調は黒灰色を呈し、地元産の須恵器とは明らかに異なるため、遠隔地からの搬入品と考えられる。このような特徴的な胎土は、東海地方の猿投産の須恵器に認められるもので^(註5)、器形も猿投産の特徴と合致する。目視による観察だけだが、以上のことから本資料は猿投産の製品と判断される。

3 おわりに

福島県内で猿投産の須恵器がきちんと確認・報告されたのは本例が最初である。しかし、猿投産の須恵器は、隣県の宮城県ではすでに 20 例以上確認されており^(註6)、山形県では米沢盆

地東部の高畠町味噌根 2 号墳からフラスコ形長頸瓶が出土している（註 7）。このような分布状況からすれば、福島県内から猿投産の須恵器が確認されるのは何ら不思議ではなく、出土例が増加する可能性も十分考えられる。そして、宮城県出土の猿投産須恵器は、9 割がフラスコ形長頸瓶である（註 8）ことからすれば、今後フラスコ形長頸瓶について注意深く観察していく必要がある。また、本例のように既存の資料中に埋没している可能性

もあるため、再度資料を検討することも大切な作業といえよう。

なお、本稿を成すにあたり、石本弘・井田秀和・佐藤鎮雄・佐藤敏幸・城ヶ谷和弘・菅原祥夫・谷豊信・望月幹夫の各氏にご教示や様々なお取り計らいをいただきました。記して感謝申し上げます。

< 註 >

（註 1）実測図は『東京国立博物館所蔵須恵器集成Ⅱ（東日本篇）』（東京国立博物館 1997）において、すでに公表されている。

（註 2）福島県立相馬高等学校郷土室 1951 『福島県相馬郡八幡村高松古墳群第一号墳調査報告書』

（註 3）本資料は、註 1 文献中に、発見年月日が未詳、1987（明治 30）年 5 月 5 日に福島県より購入とある。

（註 4）橋本博幸・鈴木啓 2002 「高松古墳群出土金銅製歩揺付雲珠について」『福島考古 第 43 号』福島県考古学会

（註 5）佐藤敏幸氏、城ヶ谷和弘氏からご教示をいただいた。

（註 6）佐藤敏幸・大久保弥生 2007 「宮城県の湖西産須恵器」『宮城考古学 第 9 号』宮城県考古学会

（註 7）企画展『出羽国ができるころ』（山形県立うきたむ風土記の丘考古資料館 2008）で実見した。実見の際は、井田秀和・佐藤鎮雄の両氏にご配慮いただいた。

（註 8）註 6 に同じ。

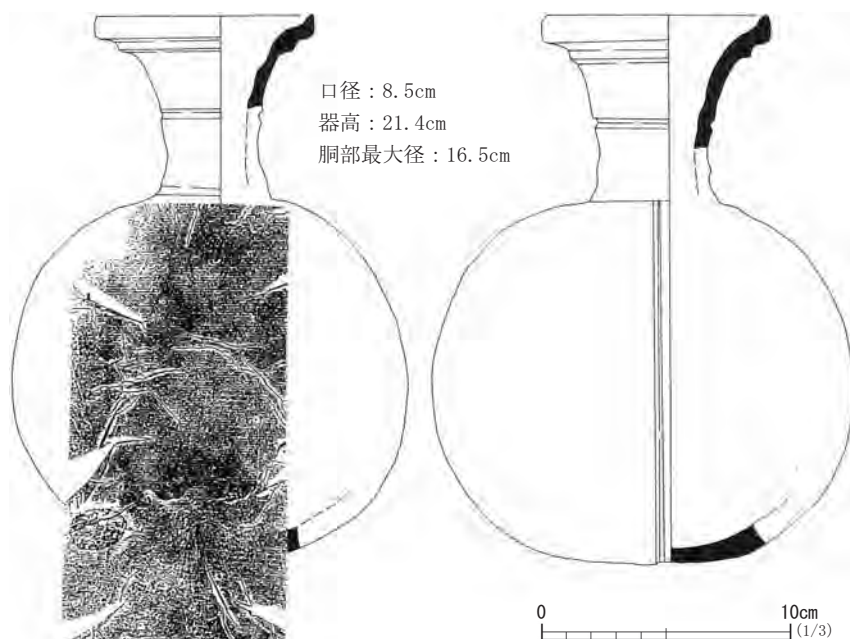


図 1 高松古墳群出土須恵器

註 1 文献より転載



写真 1 高松古墳群出土須恵器

写真提供 東京国立博物館

公開型遺跡データベースについて

まほろん 藤谷 誠

1 はじめに

遺跡は、埋蔵文化財の保護を考える上で、一番基本的な単位となっている。その保存・活用を図るためには、その情報を広く市民に公開し周知してもらうことが重要である。インターネットが普及した現在では、ホームページ上で情報を公開する方法が一番有効な手段と思われる。

遺跡の情報を公開する方法には、PDF ファイルなどで遺跡地図をそのままダウンロード可能とする方法や遺跡データベースとしてその内容についての検索システムを提供する方法がある。両者を比較した場合、検索システムの方がより、利便性が高く利用しやすい方法であると考えられるので、今回は遺跡を扱ったデータベースとして検索可能となっているサイトを取り上げた。

本稿では、今回、遺跡を検索できるシステムが公開されているサイトの情報を元に、検索項目や表示項目や画面規格等について現況をまとめ、比較を行う。更に比較の結果や当館のデータベースアクセス数の変化などを元に、より利用者にわかりやすい公開方法についても提言できればと考えている。今後、遺跡の情報について、GIS やデータベースシステムを通して公開を予定している諸団体の参考にしていただければ、幸いである。

2 比較資料と方法について

遺跡データベースの中には、特定の時代や遺跡等に限定されたものもある。しかし、今回は遺跡の保存・活用の視点からの分析を行うために、公共性が高い地方公共団体やその傘下の団体のサイトを取り上げることとした。

今回は、都道府県単位の埋蔵文化財センターの管理するサイト4ヶ所、都道府県・都道府県教育委員会の管理するサイト3ヶ所、市町村教育委員会の管理するサイト1ヶ所の合計8ヶ所について取り上げた。遺漏があればご容赦いただきたい。

方法については、取り上げられている検索項目と表示項目、画面の規格の一覧表を作成して比較した。更に似た条件での検索速度の簡単な分析を行い、その速度についても比較した。また、検索項目の表示結果がURLとして出力できるかどうかについても調査を行った。

3 検索の項目について

文字データ以外に最初の検索項目に、遺跡地図の画像を持つものが大半(6サイト)を占める。遺跡地図画像には、GIS システムを利用したもの(4サイト)、利用していないもの(2サイト)があり、GIS 地図の利用が優勢な現状となっている。

検索項目の選択方法については、検索項目を単純にテキスト入力する方法(表では○)と選択項目から選択する方法(表では◎)がある。テキスト入力については、1項目の入力以外に

表1 遺跡データベース項目一覧

	検索項目													表示項目							
	画像		テキスト											画像			テキスト				
	地図	GIS 地図	名称	市区 町村 名	住所	標高	地形	種類	調査 有無	文献	時代	文化 財指 定	全文 フリー ワード	GIS 地図	地図	写真	座標	緯度 経度	標高	面積	台帳 No
A	○		○	○		○	◎				◎		○		○	○		○	○		○
B			○	○			○	◎	◎	○	○				○	○					○
C		○	○	◎				◎			◎	◎		○				○	○	○	○
D			○	◎			◎	◎			◎				○		▲	○	○	○	▲
E		○		○	○															○	○
F		○	○	◎			◎	◎			◎			○							○
G		○	○	◎				◎			◎	◎									○
H		○	○	◎	○						○			○						○	

	表示項目													その他		
	テキスト													ダウンロード		PDF リンク
	遺跡 名	所在 地	時代	種類	現況	地図 名称	地形	遺物	遺構	文献	備考	指定 情報	調査 情報	画像	テキ スト	
A	○	○	○	○	○		○	○			○		○			
B	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	
D	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			▲		○	
E	○	○	○	○			○			▲			○			
F	○	○	○	○	○										○	詳細 画面 有り
G	○	○	○		○					○	○		▲			
H	○	○	○								○					

複数の入力項目を持つサイト（A）もあった。選択項目については、各属性に想定される項目が設定されている。全く予備知識がない状態で検索する場合には、選択項目があった方がより利便性が高いと思われる。

テキスト検索項目の数については、最も多くて7項目、少なくとも2項目となっている。ほとんどのサイトで取り上げられている項目は、市区町村名（8）、名称・時代（7）、種類（6）、地形（4）となっている。

変わった検索項目の例としては、全文フリーワード検索があり、1つのサイトが採用している。こちらについても各属性を意識しないでの検索方法であり、利便性は高いと考えられる。

遺跡の最も基本となる属性は、名称、位置情報（行政区・地図情報・地形）、時代、種類の4つの属性と考えられる。これらの基本的属性については、ほとんどのサイトの検索項目でカバーされている。

4 表示項目について

検索項目で入力された各遺跡のデータについては、最終的にシート形式のデータとして画面に表示される。そこでの文字関係の諸データ、遺跡地図や遺跡写真などを表示項目として、検

索項目とともに表 1 にまとめた。

文字データ表示項目については、多いサイトで 15 項目、少ないサイトで 5 項目となっている。項目は、検索項目に対応する遺跡の名称、所在、時代については、全てのサイトで表示されている。それ以外では、多い順で、台帳 No・種類（7）、現況（5）、備考（4）等の属性が表示される項目となっている。

画像関係のデータのうち、遺跡地図については、全てのサイトで表示されている。内訳は GIS タイプの画像が 5 サイト、その他の一般画像が 3 サイトとなっている。遺跡地図を構築する場合、年次経過によって、遺跡の範囲が変わったり、新発見の遺跡が見つかったりする場合も数多く存在すると思われる。一般画像として遺跡地図を提供している場合、変更するごとに 1 遺跡ずつの画像を変更する必要がある。これに対して GIS システムを利用している場合は、背面地図と遺跡範囲は別データで構成されており、変更についても遺跡範囲の元データの編集を行えば良い。

遺跡の写真が表示されるサイトも 2 サイトある。遺跡を実際にイメージする場合、非常に有効な表示項目であると思われる。

表示項目の中で地図情報は、遺跡自体が二次元的な広がりを持つといった特質上、必須な項目であると思われる。文字情報については、遺跡を詳細に知るためにはより情報を多くもっていた方が良いが、表示画面のスペースとの兼ね合いもあり、見やすさを考えた場合、その数には自ずと限界があると思われる。

表示項目にリンクする形で調査成果の一部も表示可能なサイトも 3 サイトある。遺跡の概要のみでなく、その成果も検索結果と連動させることは、遺跡を理解する上で有益であると思われる。

5 その他の仕組み

検索結果について、表データとしてダウンロード可能なサイトが 3 サイトある。データには、表示項目のみがダウンロード可能なものと、表示項目に表れない項目についてもダウンロード可能なものがある。表 1 の▲項目については、表示画面でなく、ダウンロードされた表の情報に含まれる項目となっている。ダウンロードされた表データは、電子的に二次利用する場合に便利であるとともに、検索表示項目画面だけで表示しきれないデータについて、補足する方策として便利な機能であると思われる。

他には関連する高解像度地図画像をダウンロード可能なサイトが 1 サイトある。jpg の拡張子を持つファイルは、ブラウザの仕様で自動的に開いてしまうため、拡張子なしの状態でダウンロード可能な形となっている。検索によって得られた地図画像を印刷する場合、画面表示のままでは、解像度の問題によって鮮明な画像を印刷できない。このような問題を解決する一手段になっていると思われる。

また、データベースの検索結果から PDF の詳細情報ファイルへのリンクが張ってあるサイトが 1 サイトある。画面表示のみの情報を補う意味でも非常に利便性が高いものと思われる。

表2 各サイトの画面規格

	検索画面		表示画面										
			一覧表		詳細情報表示				詳細情報2階層				
	検索方法	検索画面	表の画面	検索画面	テキスト	検索画面	地図	写真	テキスト	検索画面	地図	写真	調査情報
A	○	○	○		○						○	○	
B		○	○		○		○	○					
C		○	○	○	○						○		
D		○	○		○		○						△
E		○		○	○	○	○						○
F		○	○	○	○		○	○					
G	○	○	○		○		○				○		
H		○	○	○		○	○		○	○			

6 画面の規格について

(1) 検索画面について

8つのサイトのうち、2サイトについては、複数の検索項目入力画面が設定されている。それぞれの検索画面の画面は、Aが簡易検索、詳細検索、埋蔵文化財全情報検索、遺跡分布図検索のメニュー画面があり、そこから更に細分された検索画面がある。Gではそれが地図、所在地、名称、詳細、市町村一覧の5項目となり、それぞれが検索の入り口画面となっている。

サイトによっては、検索入力画面にたどりつくまでに、3～4回の選択を実施するものがある。利用者からすれば、検索結果までの時間が短く、画面数も少ない方が便利な規格であると思われる。検索入力画面の入力項目が少なければ、あえて選択せず入力項目を一つの入力画面にまとめるのも良いと思われる。

入力項目の表示画面は、検索入力画面のみのものが4サイトある他に、画面分割によって検索結果一覧画面まで持ち越されるサイトが4サイト、更にその次の詳細情報表示画面まで持ち越されるサイトが2サイトある。

検索項目を確かめる意味で便利であるが、反面限られた画面スペースを検索結果の表示だけで使えない面がある。検索結果の一覧表については、情報量が限定されるので、そこまでの画面上での持ち越しは問題ないと思われる。しかし、詳細情報表示画面では、より多くの情報を提示した方が有益であると思われる。入力項目の表示については、詳細情報表示画面まで持ち越さなくて良いと考える。

検索画面の表示画面への持ち込しについては、ホームページ同様、フレームが利用されている。前記のとおり、フレームの利用については、画面スペース、表示内容の量等を検討した上で利用することが望ましい。

(2) 検索結果表示画面について

1) 検索一覧表示

該当データを一覧表で表示するサイトが7サイトある。他1サイトは、検索項目が所在地情報であるため、検索結果についても地図表示画面となっている。該当するデータの概要をつか

むためには一覧表形式の表示方法が一番見やすいものであると考えられる。

2) 詳細情報表示

1 サイトを除き、検索結果一覧から個別のデータを文字情報のデータシートの形で表示されている。また、地図情報については、6 サイトが詳細情報表示画面で、2 サイトが更に次の段階の画面で表示される規格となっている。

データベースを利用する側としては、なるべく少ない画面数で必要な情報にたどり付ける方が使い勝手サイトであると思われる。基本となる地図情報については、結果一覧から表示される詳細情報表示画面に表示されることが望ましいと思われる。

7 検索結果のURL表示

データベースとして遺跡のデータが表示された場合、その検索結果が URL に明示されるものとそうでないものがある。

検索結果が URL として明示され、それが他のページ等に添付可能かについて、表示したのが、表 3 である。半分の 4 つのサイトが検索結果の URL が表示されているが、その他の 4 サイトについては、アドレスバーに明示されていない。



図 1 検索結果のURL表示例

URL が明示されるとデータベースの検索結果を二次的に利用することが可能となる。別なページ上で遺跡の説明を行った時に、検索結果情報にリンクしたりと大変便利な使い方ができる。これは、9 で取り上げる web ページの連動効果もねらえる機能であり、実際にデータベースのアクセス数を上げる効果にも繋がるものと思われる。

URL の表示・非表示は、データベース設計時に決定される項目であるが、有効活用をはかるためには、設計時の段階で表示する仕様とするのが望ましい。

8 検索の応答速度について

遺跡のデータベースシステムを利用した情報公開では、その応答速度が重要なポイントとなってくるとと思われる。利用者側からすれば、見やすい画面規格で 表 3 URL 表示と検索時間あっても、応答速度が遅ければ、使いにくいシステムとなる。

今回は、取り上げた 8 つのサイトの中で、時期の検索があるものの 7 つについては「地域名指定なし、時代のみ弥生時代」で検索を行い、最終検索画面にたどりつくまでの時間（秒数）を計測した。なおサイト H については、最終画面の地図表示画面までの表示時間とした。また、検索項目がないサイト E については、所在地からの検索で最終検索画面までの時間とした。計測については、

No	URL表示	検索時間
A	○	15秒
B	○	30秒
C		43秒
D	○	8秒
E		25秒
F	○	31秒
G		14秒
H		13秒

3回実施し、その平均値を計測値とした。

応答時間結果について、表3に記す。応答時間の一番短いもので8秒、長いもので43秒となった。最終画面までの検索時間を測定した7サイトの平均は、22秒となった。

検索待ち時間については、個人によって待つ時間の感じ方もまちまちであると思われるが、短いにこしたことはない。システム上、検索時間に関連するものは、①ハード的な問題、②システムソフト的な問題、③データ構造上の問題の3つに絞られるものと思われる。

①ハード的な問題については、高速な演算処理が可能なCPU、高速アクセス可能な記憶装置を利用する程、理論上、高速化が可能となる。この分野については、できうる限り②や③のポテンシャルを引き出すために、より高速なものを選択する必要がある。

②システムソフト的な問題では、利用するデータベースソフトやGISソフトの性能が問題となってくる。①のハードウェアの性能と十分マッチするとともに、データ量にも十分対応したソフトを利用することが肝要と思われる。

③データ構造上の問題では、取り扱うデータの形式や容量が問題となってくる。重いデータを扱うと表示に時間がかかる。特に画像関係（GISシステムも含む）のデータについては、その容量に気を配る必要があると思われる。また、データベースを構築するには、データの正規化作業が必要となるが、これについても、実用検索速度との対応を考えながら行う必要があると思われる。

9 Web ページとの連動効果

当館のデータベースシステムでは、平成19年3月に「簡易検索システム」といった名称の、

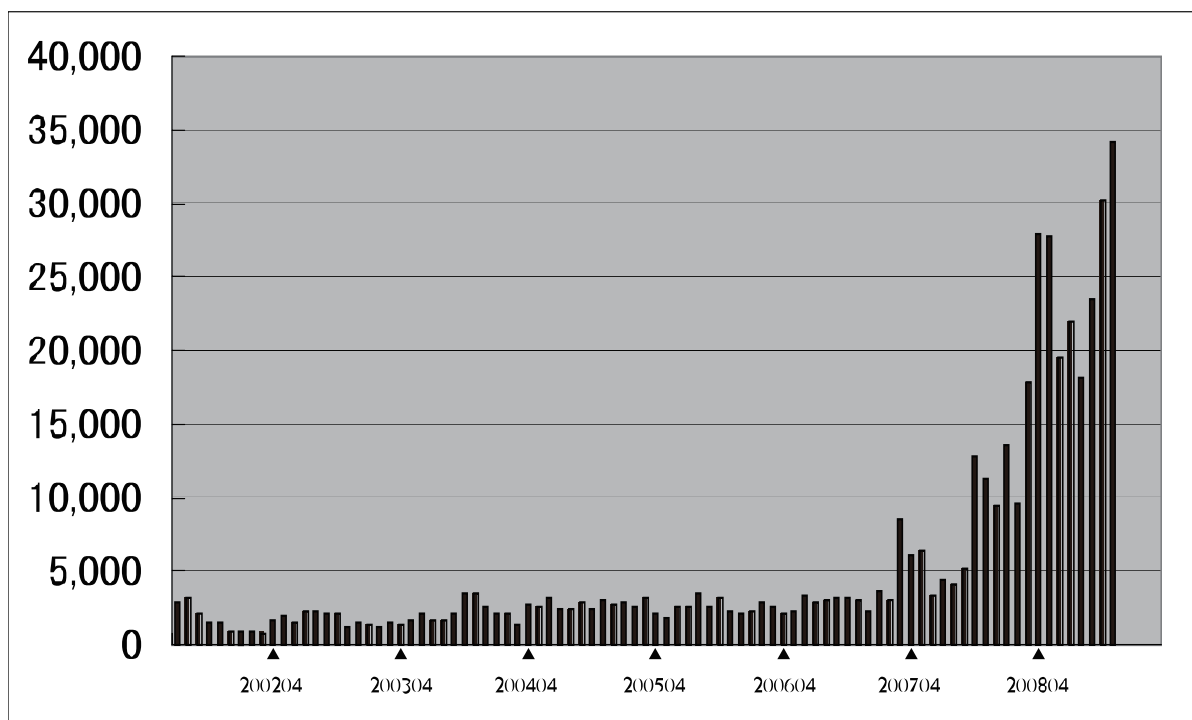


図2 データベースアクセス件数推移

Web ページと連動した検索が可能なシステムを導入した。(図 3 参照) 具体的には、資料が収蔵されている各時代ごとの代表的な 37 遺跡について、説明文とともに「遺跡 (位置と調査情報)」、「遺物 (文字、実測図)」、「遺物写真」、「写真 (遺構)」の各データベース検索結果を表示可能とした。

こちらのシステムは、HTML 文中に検索結果の URL をリンクする方法によって実現できたシステムである。データベースのカスタマイズとも言うことが出来るこの作業は、専門家向けだった検索機能を一般にもわかりやすくしたものだと考えている。

検索システムを導入した結果、それ以降のアクセス数は飛躍的に増大している。(図 1 参照) 平成 18 年度まで年平均約 3 万件程度のアクセス数が、次年度には 10 万件と 3 倍増している。これを月ベースで見ると、検索システム導入前の平成 19 年 2 月までが約 2,500 ～ 3,000 件／月であったので、平成 20 年度 10・11 月期では約 30,000 件／月と約 10 倍になっている。

これは、簡易検索システム導入前のデータベースシステムがかなり使いづらいものであったことを端的に示しているものと考えられる。簡易システム導入以前は、全く白紙の状態で行なえる検索システムがより親切なシステムと考えていた。しかし、あらかじめある程度の検索の道筋を付けた方が、より有効であることがアクセス数で実証できたものと考えている。



図 3 簡易検索画面

10 まとめ

以上、遺跡データベースを公開しているサイトについて、分析を加えた結果を元にして、現在理想と考えられる遺跡データベースの要件について簡単にまとめてみたい。必要条件としたものは、今後作成するにあたっては是非盛り込む必要があると思われる条件、十分条件としたものは、労力的に可能であれば、必要条件に上乗せするとよりわかりやすい遺跡データベースとなるとと思われる条件である。

<必要条件>

システム要件：システムを運用した場合、1 件あたりの検索速度（画面を切り替えてから、検索結果が表示されるまで）が 20 秒以下、できれば 10 秒以下であること。

検索項目：名称、位置情報（行政区地名・地図情報・地形）、時代、種類といった基本的属

性が入力項目として上げられていること。時代、種類、地形等の項目数が定まっているものについては、検索項目から選択する方法が望ましい。

表示項目：名称、行政区地名、時代、種類の基本属性が入力されていること。遺跡地図が表示されること。

画面規格：一覧表表示画面があること。詳細検索表示画面があること。

その他：検索表示結果が URL として表示されるもの。

<十分条件>

上記に加えて、以下の各項目がそろっていること。

検索項目：GIS を利用した地図検索ができること。

表示項目：印刷可能な解像度の地図が表示またはダウンロード可能なこと、遺跡に関連した写真が表示されること。

その他：検索結果について、csv ファイルでダウンロードが可能なこと

以上、公開型遺跡データベースについて、比較検討を実施してきた。必要条件や十分条件と公開されているデータベースを考えあわせてみると、遺跡データベースについては、まだまだ発展する余地のある状況と思われる。昨今の財政状況の厳しい中で、かなりの予算が必要であるシステムを構築することはむずかしい問題であると思われる。しかし、遺跡の情報開示は埋蔵文化財保護やその保存活用を考える上での基本事項となっている。できれば、データベースの設計段階から、入力項目やデータ構造とともに、検索画面やその表示画面等についても構想をねり、より利用しやすいデータベースを構築していく必要があると思われる。遺跡のデータベース化にたずさわったものとして、今後より利用しやすい多くの遺跡データベースが公開されるサイトが増えることを願っている。

<取り上げたサイト>

福島県教育委員会「文化財データベース 遺跡データベース」<http://www.mahoron.fks.ed.jp/search.html>

群馬県教育委員会「群馬県文化財情報システム web 版」<http://www2.wagamachi-guide.com/gunma/>

埼玉県教育委員会「埼玉県文化財インフォメーションシステム」<http://saimaizou.jp/>

富山県「富山県 GIS サイト 埋蔵文化財」<http://wwwgis.pref.toyama.jp/toyama/main.asp>

(財) 高知県文化財団埋蔵文化財センター「埋蔵文化財センター情報管理システム 遺跡情報管理」http://kochi-bunkazaidan.or.jp/~maibun/contents/7_data_base_of_information/index.htm

鹿児島県立埋蔵文化財センター「埋蔵文化財情報データベース 遺跡分布図検索」<http://www2.jomon-no-mori.jp/gis/>

沖縄県立埋蔵文化財センター「遺跡分布図情報システム」<http://www.maizou-okinawa.gr.jp/isekigis/main.asp>

神戸市教育委員会「神戸市の埋蔵文化財 遺跡検索」<http://www.maibun-kobe.net/listn.htm>

栗圀式土師器杯製作技法に関する一試案

— 製作体験による報告 —

専門学芸員 石本 弘

1 はじめに

我々考古学研究者は、考古資料の情報を共有するときの手段として実測図を用いる。とりわけ、土器研究においては、実測図で伝える情報は多い。実測図には形や大きさの情報のほかに、製作技法^(註1)に関する情報を盛り込まなければならない。文様の施されることが少ない土師器を研究する場合には製作技法の情報は、型式編年において土器を分類するときの重要な属性となる。したがって、土師器を研究の対象とする研究者は土師器の実測図を作るときには、丁寧に観察を行なって製作技法を図に表現している。筆者も発掘調査の報告書作成等の作業のなかで、多くの土師器の実測図を作成し、土師器の製作技法には特に大きな関心を持ってきた。

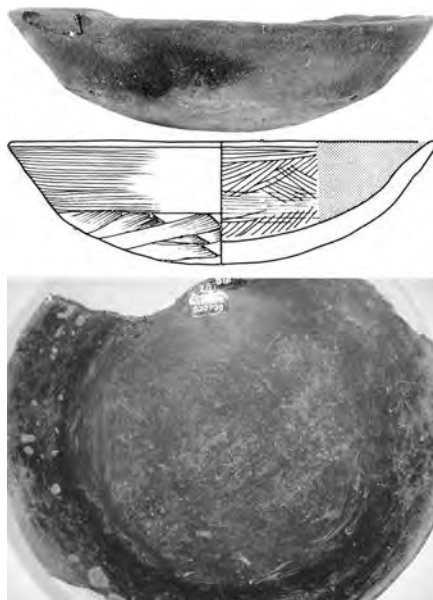


図1 唐松A遺跡2号住居跡出土杯

さらに、筆者はまほろんに勤務するようになってから、体験器材やレプリカとして多くの土師器を製作体験した。

土師器の製作体験をとおして、ロクロを使用しないで成形する土師器の口縁部に施される「ヨコナデ」という技法に大きな戸惑いを覚えた。その戸惑いとは、ロクロを使わないと、ロクロを使わないとされる土師器の実物に施されている「ヨコナデ」を再現することができないことである。そのような折り、郡山市唐松A遺跡2号住居跡出土の栗圀式土師器杯^(註2)を観察する機会があった。この杯の底部内面には、同心円状の微細な線が観察できた。この線は口縁部内面に見られる「ヨコナデ」の線と同様の痕跡と判断した。つまり、最終的には「ミガキ」によって器面は仕上げられているが、成形段階において施された「ヨコナデ」の痕跡が「ミガキ」によって消しきれていない状態だった。底部の同心円状の微細な線も口縁部のヨコナデの延長と考えられた。このような同心円状の「ナデ」がロクロを使わずに施すことができるものだろうか。疑問は募った^(註3)。

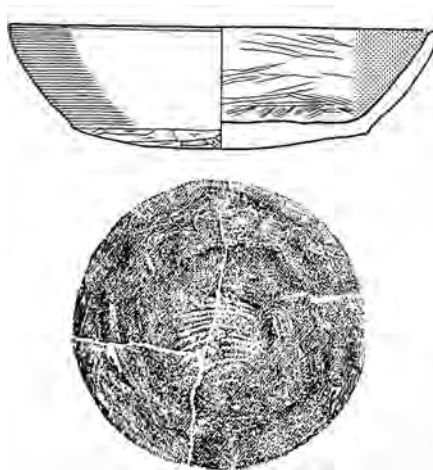


図2 高木遺跡80号住居跡出土杯

小稿では、栗圀式土師器杯製作を追体験するなかで、「ヨコナデ」はどのようにして施されたか、果たして、ロクロは使われたのかどうかということを検証していきたい。栗圀式土師器杯を事例として選択したのは、当該土師器杯に「回転台」の使用が指摘されているからである^(註4)

2 製作体験による検証

製作体験は、2個の栗圀式土師器杯（以下、杯と言う）を成形し、一方はロクロを使わず製作し、もう一方はロクロを使って製作する。ロクロは市販の「手ロクロ」を用いる。成形技法は陶器製作で言う「紐作り」、すなわち我々考古学研究者が「粘土紐巻上げ」や「輪積み」という技法である。

最初にロクロを使わず製作してみる。まず、平坦な作業台の上に木葉を敷き、底部となる粘土円板を載せる。木葉を敷くのは、製品が作業台に粘着することなく、製品を動かすことがで



写真1 ロクロ不使用で成形した底部



写真2 ロクロ不使用で製作した杯



写真3 ロクロ不使用によるヨコナデ

きるからである。円板の周縁に大人の人差し指くらいの太さの粘土紐を作り貼り付ける。十分指で円板に圧着し、さらにもう1本紐を貼り付けて皿状の底部を作る。このまま口縁部を成形すると粘土の重さで底部が変形する（へたる）ので、一晩くらい乾燥させる。生乾きの状態で皿状の底部周縁に竹串などで傷をつけ、ドベ（粘土を水で溶いた泥）を塗り、粘土紐を貼り付け圧着する。さらに粘土紐を2本ほど積み重ね、製品を回しながら親指と人差し指か中指あるいはその両方で挟みこみ押圧しながら器壁を薄く均一に延ばし、同時に指で撫で付けて紐の接合痕を消す。このとき、粘土紐を上縁の内側に圧着すると、より密着性を増す。ここまでの作業で杯のおおまかな形は完成するが、口縁端部がまだ波打った状態である。これを「弓（竹を割って曲げたものに糸をはったもの）」で水平に切りそろえる。口縁部の表裏は竹製の「コテ」で器面を滑らかにし、口縁端部は布で整える。これが「ヨコナデ」である。外面の口縁部と底部の段沿いは比較的水平に長く撫でることができるが、口縁部中位から上位にかけては水平に撫でることすら難しい。その結果、断続的で不規則な「ナデ」の痕跡となり、実物の「ヨコナデ」とは著しく異なる痕跡となる。二昼夜ほど陰干したあとに仕上げの段階に入る。底部を丸く削り出す工程と、内面を磨く工程である。底部の削り出しは片刃の金属篋（カンナ）で行った。乾燥は口縁端部から始まるので、内面の「ミガキ」は先に乾きはじめる口縁部から先に底部に向かって、表面がつるつるした石で磨く。乾燥が進んで白くなってきたタイミングで磨くと光沢は出るが、「ヨコナデ」を消し

することができない。唐松A遺跡出土資料はこのよう
な状態で磨かれたと思われる。「ミガキ」を施すため
には2～3日を要する。したがって、杯の製作には6
～7日の日数が必要であることがわかった。

次にロクロを使って杯を製作する。まず、ロクロの
盤面に木葉を敷く。その上に粘土円板をすえるが、こ
のときに円板が木葉よりはみ出すようにする。はみ
出した部分が盤面に粘着して製品が固定されるのであ
る。円板に粘土紐を圧着する作業はロクロ不使用の場
合と同じである。しかし、手指で薄く器面を延ばすと
きにはロクロ回転を利用するので楽に底部を成形す
ることができる。成形した底部を乾燥のためロクロから
取り外すが、このとき木葉はロクロ面に粘着していな
いので、木葉を持ち上げると容易に底部を取り外すこ
とができる。木葉を使わずに直接粘土円板をロクロ面
に粘着させた場合、形を変形させずにロクロから取り
外すのは難しい。そこで糸で切り離す方法が用いられ
る。一晩ほど乾燥させたあと、再びロクロにのせ周囲
に粘土紐を貼り付けて固定し、口縁部を成形する。粘
土紐を圧着する工程はロクロ不使用の場合と同じであ
る。2本くらいの粘土紐を圧着し、ロクロを使わない
ときと同じく手指で薄く均一に延ばす。口縁部の成形
の最終段階ではロクロの回転を利用して、竹製の「コ
テ」や布を用いて口縁部を撫でる。これがロクロを使
った「ヨコナデ」である。先に外面を撫でて口縁部を
垂直にする。口縁端部は「弓」で切って水平にする。
ロクロを回しながら「コテ」で撫でて口縁を押し広げ
ていき、外傾した口縁部ができる。このときの口縁部
にできる「ヨコナデ」の痕跡は実物に極めて近く、そ
の範囲は底部内面周縁にまで及ぶ。唐松A遺跡出土資
料や矢ノ戸遺跡出土資料の底部内面の「ヨコナデ」は
こうした工程でできたものと考えられる。

辻秀人氏は、栗圀式土師器杯の成形に際し、粘土円
板を底部の基礎とすると論じている^(註5)。今回の製作
体験で筆者は辻氏の説を実証した。また、辻氏は底部
が比較的深いタイプと、底部が浅く板状のタイプの製



写真4 ロクロ使用で成形した底部



写真5 ロクロ使用で製作した杯



写真6 ロクロ使用によるヨコナデ

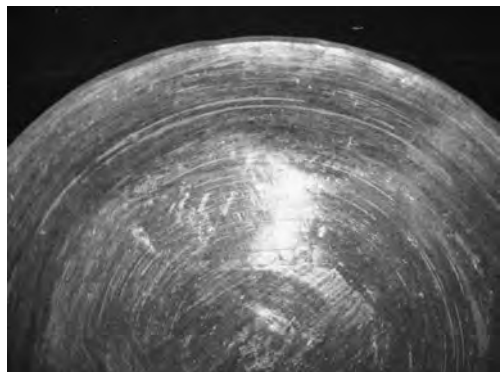


写真7 ミガキのあとの杯内面

作技法について述べているが、後者の杯は底部を半乾燥させずに、円板から直接口縁部を成形できることから、前者のタイプよりも1日製作時間を短縮できることがわかった。

3 回転台とロクロ

今回使用した手ロクロは、もっとも力を込めて回転させ手を離したときには、約2分間回転を持続する。この回転力では粘土塊から製品を挽き出すことはできない。製品を挽き出すときの抵抗が強く回転がすぐに止まってしまうからである。しかし、「紐作り」して器壁をある程度延ばしたものは水挽きによって薄く成形することができる。このことから器面に粘土紐の痕跡がある須恵器などは十分製作することができると考える。次に同じ手ロクロを最速の半分くらいの勢いで回してみた。このスピードで回すと1分～1分30秒回り続ける。この回転力では紐作り－水挽きはできなかった。指で器壁を挟み込んだときにその抵抗で回転が止まってしまうのである。しかし、器面をコテや布を当てるだけの「ヨコナデ」では10秒間くらいは回り続ける。器面を滑らかにすることや、口縁端部を平坦に切ること、直立した口縁部を大きく開かせることなどは十分可能であることがわかった。ここで、仮に最速の回転を「高速」、半分の力で回すスピードを「中速」、常に手で回している状態を「低速」とする。

佐原真氏は、回転台とロクロ－氏は陶車と言う－を次のように規定する^(註6)。まず、回転台やロクロは回転運動－一定直線（回転軸）の周囲を回転する運動－を利用した道具とする。そのうえで、回転台は回転軸の構造が未発達なため、台の重量を軽くしなければならず、そのため回転運動には惰力がなく、ゆるい回転運動しか得られない。回転運動を持続させるためには頻繁に回転を与えなければならないとする。ロクロは構造的に整った回転軸があり、台は惰力に必要な重量があるから急速度の回転運動を持続できるとしている。つまり両者の違いは回転力の差にあると言える。

さて、それでは栗圀式土師器杯に見られる「ヨコナデ」は、回転台によって施されたものだろうか、ロクロによって施されたものだろうか。ここで問題になるのは、回転台のゆるい回転運動ということがどのくらいの回転力かということである。ゆるい回転運動が先述の手ロクロによる回転力の違いのうちの「中速」に相当する力があるとするれば、回転台によって「ヨコナデ」を行なうことは可能である。しかし、もしゆるい回転運動が手で力を加えなければ回転運動を維持できないような「低速」の状態だったとすると、台に力を加えるごとにできる「ナデ」の不連続点（切れ目）が器面に生じてくる。当該期土師器の杯に見られるような滑らかな「ヨコナデ」はできないのである。つまり、一度回転を加え「ヨコナデ」をはじめてから終わるまで、少なくとも一回り以上の回転運動を持続できないと「ヨコナデ」を施すことはできないのである。

以上のことから、回転台で行なわれるゆるい回転運動を「低速」の状態とするならば、当該期土師器に施される「ヨコナデ」は回転台では施すことはできず、もっと回転力のある構造を持ったロクロによって施されたと言えよう。しかし、回転台で行なわれるゆるい回転運動が「中速」と同じくらいの回転力を持つものであるとすると、当該期に施される「ヨコナデ」は回転

台によって施されている可能性が高い。

現在、東北地方においてロクロが出土した例は、青森県青森市の平安時代の遺跡である野木遺跡の蹴ロクロが最も古いと思われる^(註7)。報告書に掲載された復元図にある「蹴ロクロ」は、現代の「蹴ロクロ」と基本構造に大きな違いは認められない。軸棒の先端は尖っており、上部回転盤（作業をおこなう盤）の底面中央で受けられる。これだけでは安定した水平回転が得られないので、下方にもう一つ回転盤を軸棒に差し込み、上部回転盤と4本の支柱で連結する。軸棒の基部は地中に埋設され固定される。製品製作にあたっては、下部回転盤か支柱を足で蹴って上部回転盤に回転を与え製品を製作するというしくみである。このような構造のロクロは上部回転盤を手で回すと、そのまま「手ロクロ」にもなる。中国明代に編まれた「天工開物」^(註8)には製陶作業のシーンが描かれているが、その絵の中にロクロが登場する。ロクロは軸棒と回転盤と支柱から構成される。構造的には現代の「蹴ロクロ」に似るが、上部回転盤がたいへん大きい。作業する工人と比べると直径1mはあるだろうか。上部回転盤のふちには穴があり、ロクロの傍らには長い棒が描かれている。この棒を穴に差し込んでロクロに回転を与える。このロクロは「手ロクロ」なのである。上部回転盤の大きさと重量を利用して回転力を維持したと思われる。野木遺跡例が下部回転盤で、もし上部回転盤が明代の「手ロクロ」のように、大きいか重かった場合、この野木遺跡のロクロは「手ロクロ」の可能性も考えられる。

回転台が出土したという情報は筆者の管見には入っていないので、古代～中世のロクロの例を紹介したが、製陶の伝統技術を受け継ぐ現代の陶工（陶芸家）は、ロクロをどのように考えているのだろうか。2つの例を挙げてみたい。瀧田項一氏は、会津本郷や益子で活動した陶芸家である。瀧田氏はその著書^(註9)のなかでパキスタンの土器作りを次のように紹介している。土器はロクロによって成形されるとして、その製作風景を写真で示し紹介する。ロクロは直径1mほどの石の円盤である。円盤は独楽のような逆円錐形をしているという。軸棒はなく、動いてないときは傾いた状態である。ロクロを回すときは、木の棒を盤面のへりにある穴に差し込み、強く回すとロクロは垂直に立ち、自重でしばらく回転するそうである。ロクロが回っているあいだに粘土塊から製品を挽き出す。まさに名人芸であるという。もう一例の吉田明氏は、縄文時代にもロクロはあったと主張する陶芸家である。その著書^(註10)のなかで吉田氏は粘土で作るロクロを紹介している。まず回転盤となる円柱を粘土で作り、その円盤の中心に軸棒を差し込み、そのまま乾燥させる。次にこうして作った回転盤を受ける台を、これも粘土で作る。土台には乾燥前に回転盤の軸棒で上面中心に穴を開け軸受けとする。軸受けのなかには剥離剤として灰を入れて乾燥させる。このようにきわめて単純なロクロでどのくらいの回転力が得られるのだろうか。まず、「低速」の回転を確保できることは確実である。「中速」が出せるかどうかは軸棒と軸受けのあいだにおこる摩擦をいかに軽減できるかによると思われる。回転台の構造は明らかにされていないが、回転軸が未発達な構造とは、まさにこの2例のロクロが想定される。われわれ研究者が考えた回転台は、土器に施された文様の施文方法から導き出されており、回転力の違いが回転台とロクロの違いとする。これに対し、技術者たる陶芸家は現在使われているロクロの延長線上で過去のロクロも考えている。彼らには回転台という概念はない

のである。このようなギャップはどのように考えれば良いのだろうか。

3 おわりに

栗圀式土師器杯の製作体験をとおして、当該土師器製作に回転力を利用した道具が用いられていることを提起した。この回転する道具を考古学研究者は「回転台」と呼び、陶芸家は「ロクロ」と呼ぶかもしれないが、先に示した「中速」程度の回転力がなければ、栗圀式土師器に「ヨコナデ」を施すことができないのも事実と考える。「ヨコナデ」は当該期の土師器にとどまらず、さらに古い時期の土師器にも施されている。同時に生産されていた須恵器製作も視野に入れながら、土師器の製作技法については今後も検討していきたい。

最後に、小稿を草するにあたり、東北学院大学の辻秀人氏には有意義な助言をいただいた。また、青森県埋蔵文化財センターの小田川哲彦氏、同僚の菅原祥夫氏には貴重な文献を拝借した。衷心より感謝申し上げたい。

<註>

(註1) 製作とは焼成を含めた製品が完成する全工程を指すと思われるが、小稿では焼成前の製品が形作られるまでを製作とする。

(註2) 福島県教育委員会 1983「唐松A遺跡（含唐松館跡）」『母畑地区遺跡発掘調査報告11』

(註3) 同様の痕跡のある当該期の杯は、二本松市矢ノ戸遺跡でも出土している。

福島県教育委員会 日本国有鉄道 1981「矢ノ戸遺跡」『東北新幹線関連遺跡発掘調査報告IV』

(註4) 宮城県名取市今熊野遺跡43号住居跡で底部に静止糸切り痕のある栗圀式土師器杯が出土した。糸で切り離したということは、製品が作業台に粘着していたことを示している。このことから報告者の丹羽茂氏は「回転台」の使用を指摘したと思われる。同様の例は福島県本宮市高木遺跡80号住居跡でも出土している。

宮城県教育委員会 1985「今熊野遺跡」『今熊野遺跡・一本杉遺跡・馬越遺跡』

福島県教育委員会（財）福島県文化振興事業団 国土交通省東北地方整備局福島工事事務所 2002「高木遺跡」『阿武隈川右岸築堤遺跡発掘調査報告2』

(註5) 辻秀人 2007「栗圀式土師器の成形技法」『古代東北・北海道におけるモノ・ヒト・文化交流の研究』東北学院大学文学部

(註6) 佐原真 1959「彌生式土器製作技術に関する二、三の考察-櫛描文と回転台をめぐる-」『私たちの考古学』第5巻第4号 考古学研究会

(註7) 青森県青森市の野木遺跡では水場遺構から9世紀～10世紀とされる「蹴ロクロ」の部品が出土している。これは中央に円い穴が開き、その周囲に中央の穴よりやや小さい穴が4個開いている直径約25.2cm、厚さ約4.2の円盤である。中央の穴は軸棒を通す穴で、そのまわりの穴は上部回転盤をつなぐ支柱を固定した穴である。「蹴ロクロ」下部の回転盤と考えられている。

青森県教育委員会 2000『野木遺跡III』

(註8) 宋應星 1979『天工開物』平凡社

(註9) 瀧田項一 2007『窯ぐれ乃記』里文出版

(註10) 吉田 明 2003『いつでも、どこでも、縄文・室内陶芸』双葉社

縄文時代の網代ー弓手原A遺跡の底部圧痕土器よりー

専門学芸員 佐藤悦夫

副主任学芸員 大波紀子

1 はじめに

福島県文化財センター白河館‘まほろん’では、「見て・触れて・考え・学ぶ」体験型フィールドミュージアムとして、収蔵資料をはじめとする考古資料や民俗芸能、民俗技術を通しての様々な体験学習を提案している。それらは、一般来館者に対しての体験活動室メニューや実技講座等を通しての各種体験プログラムを提供する体験学習事業、教職員や生涯学習担当者等に対しての体験学習指導者研修などの研修事業に分けることができる。

しかしながら、当館は全国でも有数規模を誇る収蔵施設を保有し、県内出土の埋蔵文化財を中心とした収蔵・管理という業務内容から、体験学習事業においても埋蔵文化財を中心に展開しているのが現状である。本稿は、そのような事業展開の中で、埋蔵文化財と無形の文化財とを関連付けての体験学習メニューを提案したものであり、それら試行の中で取り上げた網代痕のある土器について集成、分類したものである。

2 まほろんでの取り組み

当館の体験学習メニューには、勾玉づくり、火おこし体験、土器づくり等のいくつか定番となっているものもあるが、本物に触れるというコンセプトのもと可能な限り本物の道具、本物の技術を提供するメニューの開発に苦慮しながら試行錯誤を繰り返している。そのようなメニュー開発のもと、「編む」「組む」「織る」という技術に着眼した収蔵資料の活用を目的としたものが土器底部に残された網代痕である。

すでに当館で提供している関連する体験学習メニューとしては、他の類似施設と同様、体験活動室での『アンギン編み』や『原始機にちょうせん』に代表される、縄文時代と弥生時代を象徴するような衣服とその製作方法を体験するメニューが開館当初から用意されてきた。そのうち、特に他の類似施設で提供するメニューと差異化を図れたものが実技講座「カラムシから布をつくろう」であり、大人向けの体験メニューとして定着しつつある。この講座では、実際に敷地内に生育するカラムシを採取して繊維を取り出し、それを利用して糸を撚り、アンギン編みまでを体験するものである。福島県昭和村は本州唯一のカラムシ生産地として知られるが、その生産と苧ひきの技術が平成3年には国の選定保存技術に選定されており、その一部技術を導入したことが広く受け入れられる要素となっているようである。

そのような視点のもと、土器の底部資料に残される網代痕を活用し、試行したものが次の体験学習支援研修である。(写真1) この研修では、郡山市荒小路遺跡の網代痕の分類を参考にペーパークラフトの材料を利用してコースター状の敷物づくりの体験を行った。底部に残る網代痕は土器製作時に底部に敷いた物の断片にすぎないが、平面的に広げていけばゴザやムシロのような敷物ともなり、立体的に組み上げればザルやカゴといった容器となる。網代痕の模様



写真1 体験学習支援研修「網代のコースターづくり」

には多種多様のものが存在するが、それらひとつひとつが現在に引き継がれる民具類の民俗例に通じるものなのである。当館の収蔵資料には同様の底部資料が多数保管されるが、残念ながら大部分が未検討の資料となっている。今回は一遺跡のみの集成、分類となっていたが、今後の文化財の活用の一方向性を示す契機となればと考える。

3 これまでの研究

網代編み等の植物製品の研究は、材質が植物質で腐朽しやすく、遺存状況が悪いこともあり、土器や石器等の研究と比べると、著しく立ち後れているのが現状である。

1879年、大森貝塚の発掘調査で著名なE. S. モースに学んだ東京帝国大学の学生であった佐々木忠二郎・飯島魁両氏が茨城県美浦村陸平貝塚を日本人として初めての学術調査を行ったが、翌年刊行された「常州陸平介墟報告」の中で「竹を編みて模押せる器の底も少なからず」として網代痕を持つ土器底部があることを例示している。本格的な研究は、坪井正五郎氏から端を発したと言われる。坪井氏は縄文土器の底部に残る様々な種類の網代痕に着目し、網代の編み方の変化を7種類に分類した。さらに網代痕から、網代の痕跡ができた過程や網代の材質についても考察している（坪井1899）。その後、杉山寿栄男氏が土器底部の網代痕の実例を数多く紹介するとともに、八戸市是川遺跡から出土した網代製品について、「編物の繊維は樹幹を薄く剥がしたものを細分した如き、現今陸奥地方に見られるカツコベと云う板谷楓製編籠のものが直角に編まれた如きのもの」と、近現代の民俗資料との類似性を指摘した（杉山1942）。戦後研究が一時停滞したが、1960年代以降「物質文化」等の紙上に相次いで論文が発表された。中でも荒木ヨシ氏が東日本の遺跡から出土した膨大な数の土器底部を観察して、46種類に形式分類図表を作成して編年・空間の両面から網代編みの類型を体系化したことは重要である（荒木1968・1970・1971・1995）。小林行雄氏は、坪井氏が分類した網代編みの種類について解説を加え、さらに縄文時代、弥生時代、古墳時代、奈良時代の年代別による資料を追加した。縄文時代の網代については、「2本越え、2本潜り、1本送り」が最も多く、基本的なものであると提起したことが注目される（小林1964）。植松なおみ氏は、渡辺誠氏の分類（渡辺1979）を参考に、籠類自体の遺物を示す直接資料（籠類と断定するには不十分であるが、同様の編み方が行われている断片や網代片も含む）と、実物ではないが土器底部に残された圧痕等、籠類の存在を明確に示す間接資料とに分類した。また間接資料のような明確さは欠くが、籠類の存在を示唆する土器の施文模様や有足土器、製作道具等も類推資料として取り上げた。その上で、籠類等の植物性遺物の研究は、直接資料のみの研究では限界があり、その補完として間

接資料はもちろんのこと、民俗学・植物学的研究等も含め多方面から研究する必要があるとした（植松 1980）。名久井文明氏は、植物性素材を利用した有形民俗資料を手がかりにして縄文時代の物質文化を推察し得ること、つまり自然素材を利用して各種の器物を作る縄文時代の技術は近現代の民俗資料の中に受け継がれていると主張し、民俗例を基に縄文時代の編組技術を追求めた（名久井 1998）。松永篤知氏は北陸地方を中心とした 95 遺跡の網代圧痕と全国 16 遺跡の網代編みの実物資料について編み方の分析と考察を行い、ほぼ富山県と新潟県との県境から東は「2 本越え、1 本潜り、1 本送り」が、西は「2 本越え、2 本潜り、1 本送り」が主流となっていることを提起し、圧痕には地域性があるのに対して、編籠等の実物資料には地域性が顕著に認められないことを指摘した。また土器底部に残る網代痕は編籠などの実物資料のものではなく、土器製作用の敷物として独自の編み方が生み出されたものと推測している（松永 2000）。最近の研究では、岩手県文化振興事業団埋蔵文化財センターが、県及び市町村教育委員会発行の調査報告書の資料から、岩手県内の網代痕の種類を分類したことが注目される。それによると、確認できた網代痕の土器底部は 277 遺跡 2327 例で、それらの網代痕の編成法を検討し、21 分類 30 通りに分けた上、同じ県内でも時期と地域によって著しく傾向が異なる場合もあることを指摘した。また全体の約 50% が坪井氏の言う簡単網代編み、つまり「1 本越え 1 本潜り」の編み方であったことも注目される（北田・平野 2007）。

県内では山内幹夫氏が、郡山市荒小路遺跡から出土した土器底部に認められる網代痕について、5 種類に分類している（山内 1985）ことが知られているが、県内での網代痕の分類等の研究は、全国と比較すると詳細に行われてきたとは言えず、今後に残された課題が多い。ただ前述した荒木氏が、新地町小川遺跡・三貫地貝塚、いわき市寺脇貝塚（いずれも縄文時代晩期）の 3 例について分析しており、その結果「2 本越え、1 本潜り、1 本送り」の網代編みの割合が高く、小川遺跡で 93. 5%、三貫地貝塚で 82. 7%、寺脇貝塚で 63. 6% であったことが報告されている（荒木 1970）。

これまでの研究成果を見ると、時期的・地域的に多少の差異はみとめられるが、基本的に東日本では「2 本越え、1 本潜り、1 本送り」が多く、ついで「2 本越え、2 本潜り、1 本送り」が、西日本では「2 本越え、2 本潜り、1 本送り」が多く、ついで「2 本越え、1 本潜り、1 本送り」が多いことが指摘されている。しかし土器の時期・地域と網代との密接な関係を明らかにするまでは及んでいない。

4 考古及び民俗事例からのアプローチ

網代等の編籠類がどの年代まで遡るのかは不明である。我が国最古の土器は今のところ約 13,000 ～ 12,000 年前と言われるが、初めに土器を製作する場合、おそらく何らかのモチーフとなるものがあつたと考えられる。小林達郎氏は、その形状から草創期の土器は革袋、早期の土器は編籠を模倣した可能性が高いことを指摘している。このことから土器の製作が開始される以前に、編籠等が使用されていた可能性が考えられる。

実物資料は近年、縄文時代早期の佐賀市東明遺跡から網代編みや六ツ目編み、もじり編み等

の編籠類約 500 点が出土した。その構造等を検証すると、現在の民俗資料として伝わる編み方のほとんどの技術は、遅くとも縄文時代早期には完成していたことがわかる。間接資料は鹿児島県種子島の三角山 I 遺跡から、縄文時代草創期のもじり編みの圧痕土器が出土している。これは日本最古の編物の存在を示す資料として貴重である。網代等の圧痕土器は縄文時代早期以前のものはほとんど確認できないが、これは当時の土器底部が尖底や丸底の不安定なものが多かったこととの関係もあると考える。また類推資料としては、縄文時代前期になると関東地方の黒浜式土器や関山式土器等には、口縁部付近に割竹の先端で突いた刺突文や幾何学文様等、民具の編籠と共通するような意匠が現れる。特に半截竹管による文様はタケ類を使用したことが明らかなので、十分に網代編みへの転用も推測できる。

土器底部に残る網代痕について坪井氏は、「土器を置く網代の敷物である」と述べている（坪井 1889）が、網代痕は、土器を装飾するため意識的に付けられたものではなく、土器の製作時に網代の上に置く習慣があったために、期せずして付いたものであろうということが比較的一致した解釈である（小林 1964）。縄文土器は輪積みや巻き上げの手法で粘土紐を積み上げていくので、製作中の土器は回転できる状態が望ましく、網代や木葉を敷物として土器を製作したため、底部に網代痕が残ったものと推測される。多くの土器は器面調整によっては圧痕を消し去るが、それが不十分だったり、また意図的に残されたりする場合もあったものとする。荒木氏の調査では網代の材料の多くはタケ類と判断されたが、特にタケの節の有無、圧痕がどのように付いたのか、また圧痕が二重・三重となるものがあるかどうか入念に観察した結果、重複したものは見られなかったということである。荒木氏は、それにより土器の底部が網代の敷物と終始、胎土がかなり乾燥するまで密着していたと推測し、土器製作の進歩に伴って、網代が単に敷物としてのみでなく、更に製作の能率を高めるための回転用具を兼ねたものとして利用され、圧痕は製作中に付いたものと推察している。また荒木氏は、縄文時代の網代の編み方の編年についても調査した膨大な資料から見解を述べている。前期は資料が少ないが、大木式の資料等に極めて不規則な編み方の傾向があること、中期初頭には荒い複雑な編み方もあるが、次第に編み方が規則的な編み方に変化し、条はかなり幅広のタケ類を使用してことを述べている。この時期は大型土器が多く、敷物としての網代はロクロのような使い方は困難になることから、単なる敷物の可能性が高いものと考え、敷物として作業台との密着のための用途なら敷物でも木葉でも不都合ではなく、この点からもこの時期は木葉痕もかなり見られることも指摘している。後期になり土器も小型で精巧になると、網代編みも繊細で多種多様なものが製作され、模様編み等の緻密なものも現れ、また条幅も 1.0 ～ 0.5mm 程度と細くなる傾向にある。晩期は後期と比較すると急減する。荒木氏はこの現象を弥生時代に見られる布痕等の関係で、技巧的にも社会的にも大きな変化が起こった可能性を挙げている（荒木 1971）。

一方最近の低湿地遺跡の発掘調査の成果により、多種多様な実物資料も増えている。縄文時代後期前半の久留米市正福寺遺跡からは数多くの編籠類が出土したが、中には大量のドングリ等の木の実が編籠の中に入った状態で出土したものもある。編籠はもじり編みであったが、網代の編籠も同じような使われ方をしたことが考えられる。縄文時代後期末葉から晩期初頭の東

村山市下宅部遺跡でも、多量の圧痕土器の他、網代等の編籠類が50点以上出土している。素材についてはすべてタケ科の植物で、網代の素材としての利用が考えられるタケ科植物の束が出土したとの報告がある。弥生時代には岐阜県可児市柿田遺跡で、集落の水路の土盛りが崩れるのを防ぐための護岸としての檜で編んだ網代が出土している。弥生時代後期の集落跡である大阪府八尾市八尾南遺跡からも、竪穴住居跡の側壁が崩れることを防ぐ土留めとして、網代が貼り付いた状態で出土している。古墳時代初めには、木杭に網代を張ることにより堤防を築き利水していた痕跡が、岐阜県瀬戸南遺跡で確認されている。網代痕は古墳時代以降ロクロが使われるとほとんど見られなくなるが、例外として平安時代前期の集落跡である横手市東里東遺跡・正願谷地遺跡から底部に網代圧痕が認められる土師器甕が出土している。このような土器は付近の八卦遺跡、大見内遺跡からの出土例もある（第1回物雄川郷土資料館特別展平成18年度発掘調査発掘成果展）。南アルプス市大師東丹保からは一遍上人絵詞伝に描かれているような鎌倉時代の大型の網代垣（壁）が良好な状態で出土している。

現代に伝わる植物を素材とした民具の編物等には、籠や箆、敷物など様々な道具があり、それらを総称して網代と呼んでいるが、その用途や形状によって素材や編み方等にも違いが見られる。遺跡から出土した網代は残りが悪く、断片である場合がほとんどで、それが当時どのように使用されていたかを推測することは困難を極める。しかし本来は特定の道具に対応していたものと考えられるので、このことから民俗事例から推測することは極めて有効な手段の一つと考える。

青森市三内丸山遺跡からは縄文のポシェットと呼ばれる縄文時代前期のほぼ完形の小型の編籠が出土した。緯の条が経の条を1～数本おきに越えたり潜ったりして互いに入り組ませることによって底部が形成され、その後底部の形成に用いられた素材の一部が起こされ、これに横芯が組み合わされて器壁が形成される構造になっている。このような構造の編籠類は同じく縄文時代前期の福井県鳥浜貝塚からも出土している。このような組み籠類の製作の基礎は底部にあり、細長く整えた素材を用い、底面を縦横に組んだり編んだりすることによって底部を形成し、その形成を終えた後で連続的に器壁の形成に移行するというのが大原則で、この原則は三内丸山遺跡や鳥浜貝塚の例が示すように、遅くとも縄文時代前期には確立していたものと考えられる。またその製作技術は、土器文化圏に関わりないように広範囲にわたっており、近現代の民俗資料の中にも連綿と受け継がれている（名久井2004）。つまり縄文時代の編籠類も現在の籠や箆等のように、用途や大きさ、部位に応じて異なる編み方をしていたということで、その製作技術は現在の民俗資料に見られるものと変わらないということである。言い換えれば当時の製作技術はほとんど変化しない状態で継続し、近現代の民俗例に受け継がれているとも言えるであろう。

素材については考古学と民俗学、特に民具学の両分野から追求しなければならない。一般的に網代編みの編籠はタケ製を連想される傾向が強い。荒木氏の観察でも、圧倒的に多いのはタケ類で、タケの表皮と見られる方は滑沢に富み、内側の芯と見られる方は繊維の張りが強く筋が見られる。荒木氏この両方を緯と経の条に網代製作の精粗により適宜組み合わせ利用した

ものと推測している（荒木 1971）。また亀ヶ岡遺跡出土の藍胎漆器の繊維も、亙理俊次博士のスンプによるプレパラート検鏡の結果、タケの種類であることが確認されている（三田史学会 1959）。現在タケの種類は約 600 種と言われ、最も野生的なものは、ヤダケやメダケ、雪深い山中に自生するネマガリダケで、これらのタケがいつ頃から日本に自生するようになったかは不明であるが、縄文時代にはすでに自生していた可能性が高いことが指摘されている。網代痕の中にタケの節と認められる痕跡が見あたらない（荒木氏の観察でも 1 例のみ）場合が多いが、これは比較的節間の長いタケ、あるいは節のところから切断して節一杯の網代編みを製作したものと推測している（荒木 1971）。また網代痕中に繊維の痕跡が微細な平行の筋となって残されていることが多いことから、タケ類を薄く加工して使用した可能性も報告されている（宮原 2007）。一方近現代の民俗資料において、タケ類が得にくい地方では代用する植物によって編籠の製作は行われていて、素材はイグサ科の茎、シナ、イタヤ、ヒノキ等の樹皮、ヤマブドウ、フジ、マタタビ、アケビ等の蔓類が利用されていることを考慮すべきであると考ええる。これは、弥生時代の新潟県加治川村青田遺跡でも出土した編籠類の材質がかなりの割合でマタタビを使用していたこと、同じく弥生時代の鳥取市青谷上寺地遺跡でも、マタタビ製の編籠類が多数で出土していることから明らかだろう。

5 荒小路遺跡について

今回弓手原A遺跡から出土した土器底部の網代痕の分類は、荒小路遺跡の分類を基礎に行ったので、荒小路遺跡の網代痕の分類について詳細に述べたい。

荒小路遺跡は、郡山市中心部の東南約 10 km、阿武隈川支流の谷田川の段丘状に位置する縄文時代の集落遺跡である。精査した 4 軒の堅穴住居跡等の出土遺物等から、時期的にはほぼ縄文時代後期前半と捉えられる。出土した縄文土器の内容を概観すると、綱取Ⅱ式の新しい段階や、堀之内Ⅱ式、加曽利BⅠ式、加曽利BⅡ式の各型式にそれぞれ並行する資料が見いだせる。特に堀之内Ⅱ式期の土器は最も量が多い。

山内氏は、縄文土器の底部に残る木葉や網代の圧痕を観察し、網代痕のうちでも比較的痕跡が明瞭で、編み方の判断可能な 28 点を対象にして網代痕についての分析を行い、5 種類に分類した。なお網代痕の所属時期は、土器底部の形態から堀之内Ⅱ式期のものが多いと判断された。5 分類の結果は以下の通りである。

1 類：緯の条が、2 本の経の条を越えて、その後 1 本潜っていく。次の緯の条も同じパターンであるが、左側に 1 本ずつずれていく。11 点（39. 3%）

2 類：緯の条が、2 本の経の条を越えて、その後 1 本潜っていく。次の緯の条も同じパターンであるが、右側に 1 本ずつずれていく。12 点（42. 9%）

3 類：緯の条と経の条が 1 本ずつ越えたり、潜ったりして編成される。織物で言えば、平織と同じ構造を持つ。1 点（3. 6%）

4 類：緯の条が、2 本の経の条を越えて、その後 2 本潜っていく。次の緯の条も同じパターンであるが、左側に 1 本ずつずれていく。3 点（10. 7%）

5類：緯の条が、2本の経の条を越えて、その後2本潜っていく。次の緯の条からは右側に1本ずつずれていくが、途中から左側が変わる。模様編みとも呼ばれいろいろなパターンがあるが、これは重層菱形の構図で編み込まれている例である。1点（3.6%）

以上が本遺跡の網代痕の分析結果で、1・2類が最も多いことが確認できた。福島県内ではこれまで土器底部の圧痕の分析は詳細に分析してこなかったもので、一応この分析結果は当地方のこの時期の網代痕の基礎資料と成り得るという点では重要である。

6 弓手原A遺跡について

（1）位置と環境



写真2 遺跡の現況(平成20年12月撮影)



図1 弓手原A遺跡(現摺上川ダム)の位置

遺跡は、福島盆地の北西端、宮城県、山形県との境に位置する福島市飯坂町茂庭地区内の摺上川上流の段丘上に立地する(写真2)。ダム建設以前の周辺地域は、狭隘な谷地に僅かな水田と山沿いの傾斜地を畑地とし、他の全地域はすべて山林であった。遺跡の摺上川を挟んだ対岸は旧梨平集落になっており、当時の土地利用図を見ると、遺跡は果樹園に利用されていたことがわかる。気候は、海拔約300mということもあり、年平均気温も福島市内より3℃ほど低く11.5℃であり、特に冬は厳しく-12℃を超える日もある。また例年初霜が11月初旬にあり、積雪期間は12月中旬より翌年3月中旬まで続き、農業の発達を阻害してきた(『日本民俗調査報告書集成「北海道・東北の民俗」福島編』1970)。

（2）発掘調査の結果

調査の結果、所属時期の推定可能な遺構は縄文時代では、大木1・9～10式・加曽利B2～3式・新地式・大洞C2～A'各形式期であり、また平安時代に所属するものもあった。それらの時期を中心に本遺跡では断続的に遺構群が形成されてきたことが伺える。

植物製品については、遺跡中央北側の湿地から平安時代と推定される未成品の木地資料が数多く出土したが、編籠等の網代製品は認められなかった。

（3）歴史、民俗から見た地域性

遺跡周辺は古くから人々の住む地域であったことが、発掘調査や文献資料等からわかってい

る。最も古い祖先の形跡は後期旧石器時代に求められ、縄文時代も草創期に位置づけられる微隆起線文土器や爪形文土器等の破片が出土している。茂庭地区の家屋数を示す最も古い記録は、建久三（1192）年のもので、字田畑から字長尾（現在の名号）までの間に24戸の人家が散在していたことが記されている。鎌倉・室町時代には茂庭（鬼庭）氏、戦国時代には蒲生氏、上杉氏、江戸時代に入ると、天領、福島藩領、天領と目まぐるしく統治者が変わり、幕末まで桑折代官所の支配を受けた。

江戸時代には茂庭は漆の生産地として一時期栄えたが、炭焼きや山仕事が地域の重要な産業であり、着るものについて見ても、それに適した着物が発達した。特に昭和三五（1960）年まで、シナの樹皮から採った繊維を地機で織るシナダ織は広く県内外に知られていた。その後明治時代には養蚕業が盛んになり、養蚕は炭焼きに次ぐ現金収入の大きな産業となった。家の中は座敷から中の間、土間の一部にも蚕棚を吊って、養蚕に務めた。集落の位置が摺上川から比高60mもあることから、用水は雨水を利用していたということで、この地域に水田が開かれるのは大正十三（1924）年頃からである。米の不足を補うために粟、とうもろこし、そば等、可能なだけの品種が畑作として栽培された。粟は粟餅、とうもろこしも餅として食料としたが、いずれも精白することに労を要した。餅は俵に入れて凍みないように囲い、必要によっては焼いて食料とした。時折、狩猟によって得た、カモシカ、ウサギ、熊、山鳥等の肉は、貴重なタンパク源となった。山野に自生するキノコ、ワラビ、ゼンマイ、ミズナ、タラの芽等の植物から季節に合わせて食料となるものを採集し、乾燥法・塩蔵法等によって保存しておいた（福島市史編纂委員会「福島の民俗Ⅰ」『福島市史別巻Ⅲ』1980）。このように茂庭は厳しい自然の制約を受け、摺上川に沿った段丘上の僅かな平地に小集落が点在することから、徹底的な自給自足的な生活を強いられてきたことは、現在に伝わる食文化や民俗資料等からも推して知ることができる。

7 弓手原A遺跡の資料と分類

（1）資料の選定方法と分類

山内氏は、荒小路遺跡出土の網代の痕跡が認められる圧痕土器のうち編み方が判別できる28点を5分類したが、本稿ではこの分類を山内分類と定義し、本稿の分類もこれに基づいた。注意すべきことは、土器底部に認められる網代痕は網代製品を転写したものであるため、実際の網代製品（原体）とは越えと潜りについては問題ないが、送りの左右については逆の方向になっている。図示した拓本は土器底部の網代痕を転写したものであるから、実際の網代製品と送りの方向も同じであることを明記したい。また今回は縄文時代後期のものを取り上げ分析したが、それは同時期の荒小路遺跡と比較できることと、この時期は全国的に網代痕が増加する傾向があるからである。

山内分類については、前述した5の荒小路遺跡で詳細に述べているのでここでは繰り返さない。本遺跡報告書に図示された縄文時代後期に所属する圧痕土器は82点（そのうち加曽利B式期と判断できるものが17点）であった。そのうち網代痕と判別可能なものは58点あった。

これを山内分類にあてはめてみると、分類にあてはまらない圧痕が2点あったが、残りの56点を分類すると、山内1類は28点(50%)、山内2類は20点(35.7%)、山内4類は8点(14.3%)であった。本稿では山内1類を弓手原Ⅰ類、山内2類を弓手原Ⅱ類、山内4類を弓手原Ⅲ類と便宜上分類・表記し、中でも明瞭なものを図に明示した。

①弓手原Ⅰ類：2本越え、1本潜り、左1本送り（図3の1～8、図4の9～12、図2①参照）

②弓手原Ⅱ類：2本越え、1本潜り、右1本送り（図5の1～13、図2の②参照）

③弓手原Ⅲ類：2本越え、2本潜り、左1本送り（図6の1～8、図2の③参照）

（2）弓手原A遺跡の網代圧痕土器について

分析の結果を見ると、Ⅰ類が最も多く、次いでⅡ類であった。Ⅰ類とⅡ類との違いは、緯の条の上下の関係で、上の条から見て下の条が右に1本ずれていれば、「右1本送り」、左に1本ずれていれば、「左1本送り」とした坪井氏の提起に基づく。ただし「送り」の左右の違いについては、例えば、ある方向の条を経とすれば右1本送りに見えるものは、方向を90度変えて、その条を緯として見れば左1本送りになるから、送りの方向はそれほど重要ではないということである（小林1964）。このことからⅠ類とⅡ類を一まとめにすると48点になり、全体の85.7%を占めることになる。こ

れは同時期の荒小路遺跡の82.2%と同じ傾向になる。この傾向は、全体として東日本は「2本越え、1本潜り」が多いという荒木氏等の見解と一致することにもなる。また圧痕の条の幅は経の条が緯の条よりも細めになる傾向が認められた。Ⅰ・Ⅱ類では、経の条は、2mm以下のものが52点(92.9%)、緯の条は17点(30.6%)あったのに対して、Ⅲ類の経の条は5点(62.5%)、緯の条は1点(10.3%)に留まった。また条の幅が4mm以上のものについては、Ⅰ・Ⅱ類では、経の条が1点(2%)、緯の条が0点(0%)あったのに対して、Ⅲ類の経の条は2点(25%)、緯の条は4点(50%)であった。坪井氏の定義によると、条の経と緯は、相互に越えていく数が同じであれば、どちらを経または緯の条とすることもできるが、同数にならない場合は、他の条を越えていく数が多い方を緯の条とすることである。結果は、緯の条の方が幅広になる傾向になった。圧痕の断面形や凹面等によって、原体の樹種まで追及した植松氏の事例もあるが、断面円形ではないことから蔓類をそのまま使用していないことは判断できる。圧痕の観察からは、タケ類、もしくは樹皮や蔓の表皮をテープ状に細長く切り取っ

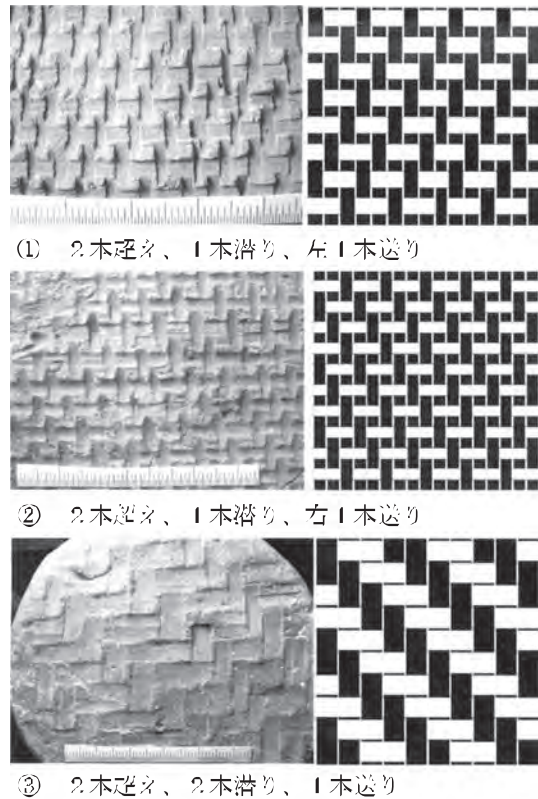


図2 土器底部網代痕写真・模式図

（宮原俊一『編み織りの考古学』東海大学校地内遺跡調査団 2007 写真1・3・4より、模式図の黒色が経の条、白色が緯の条を表す）

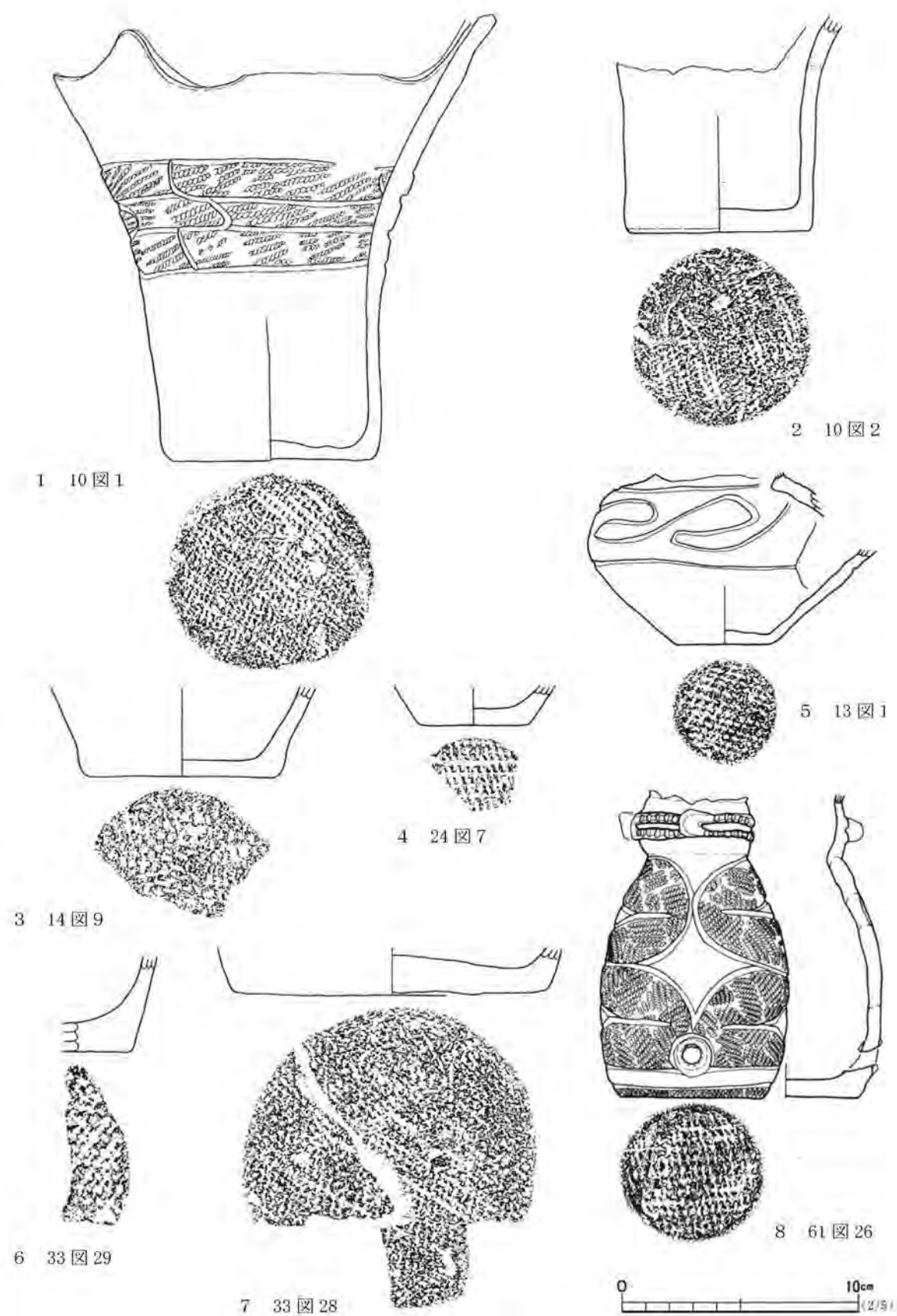


図3 弓手原I類(1)

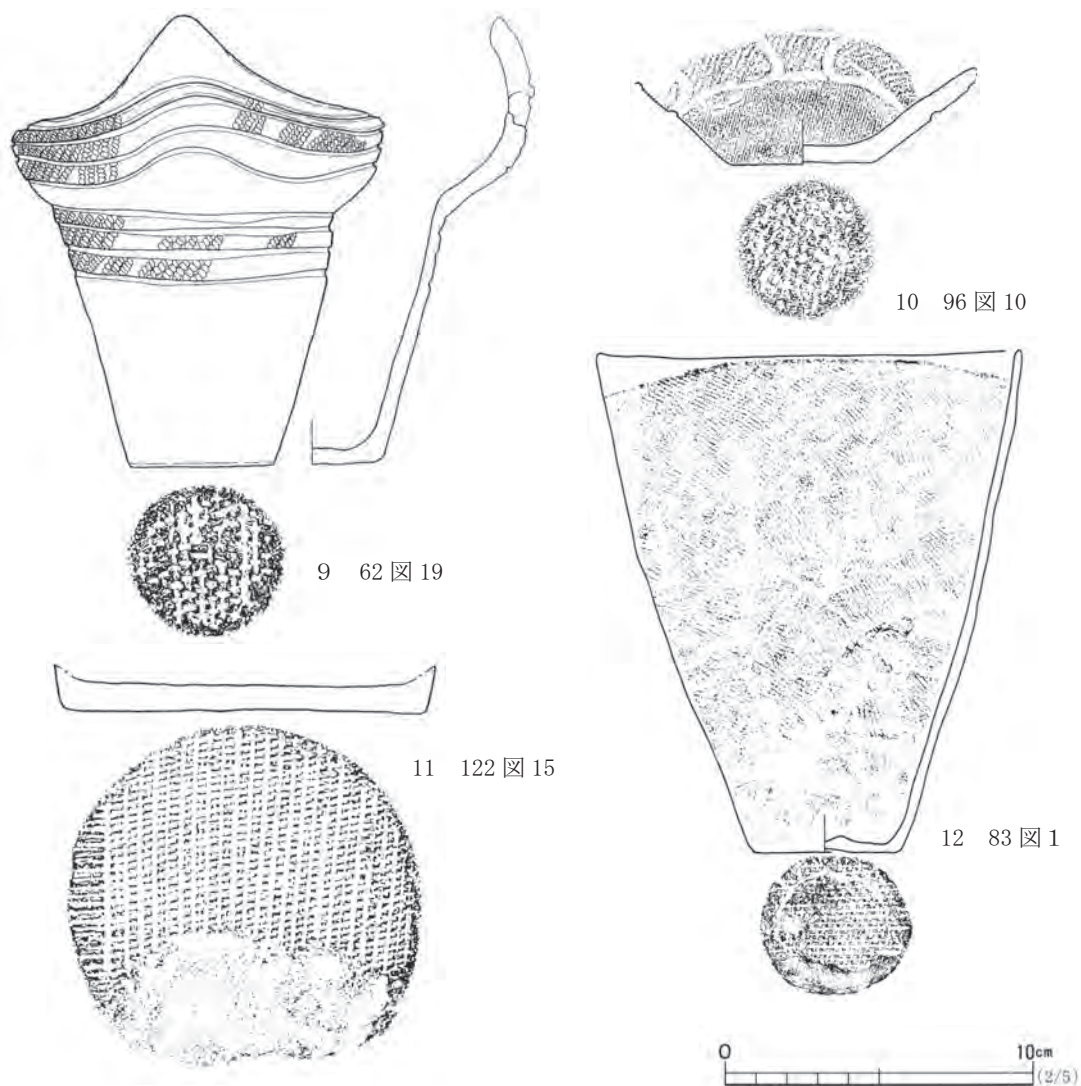


図4 弓手原Ⅰ類(2)

たものを使用しているのかは不明であった。ただし遺跡が位置する地域は内陸深く標高も高い寒冷地であるので、タケ類であったとしても、マダケやハチク等の「タケ」ではなく、現在サハリンを北限とする「ササ」類に分類しているスズダケ、シノダケ、ネマガリダケ等であることが推測される。

Ⅲ類の中には、条を2～3本束ねて1単位としたりして、経の条と緯の条の幅を調整したり、条間の隙間に新たに条を充填したりするものもあったが、調整・充填する条の本数は部分的にまちまちであり、規則性は見られなかった(図6の2・4・6～8)。この技法は、荒小路遺跡の網代痕には見られないものであるが、県内では三島町荒屋敷遺跡、また全国では広く見られる技法である。また図6の2と4の場合は、条間が密で、丁寧に作られているのに対して、図6の6～8の場合は、条間が粗く、作りが雑である。民具の編籠を見ると、底面部は条が密になっているのに対して、側面部は粗くなっている場合が多いことから、本遺跡の網代痕も同様の部位であったことが推測される。尚、要らなくなった編籠類の部位を敷物として使用したのか、また土器製作用の敷物として使用したのかは不明である。ただ荒小路遺跡と同様に、一

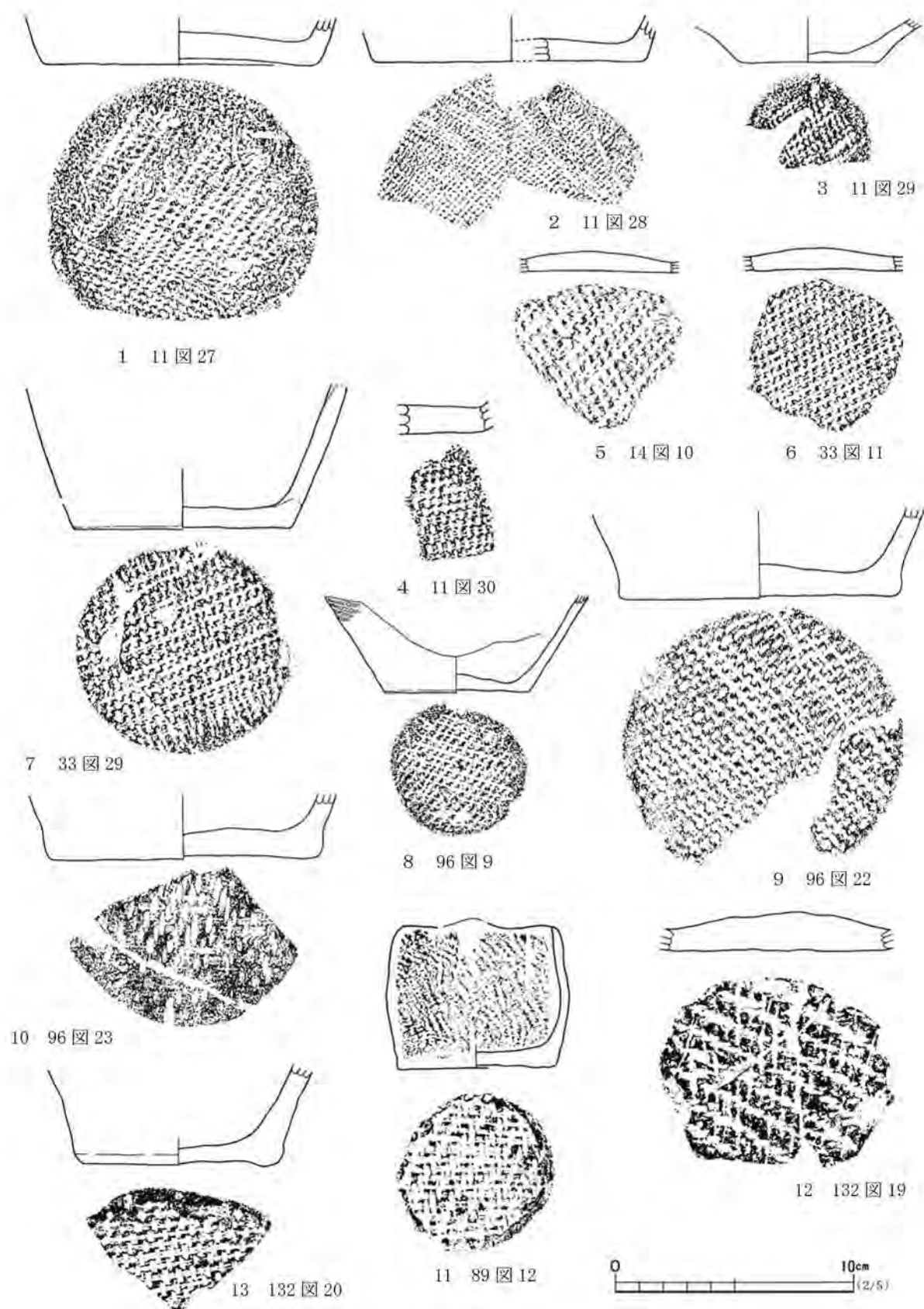


図5 弓手原Ⅱ類

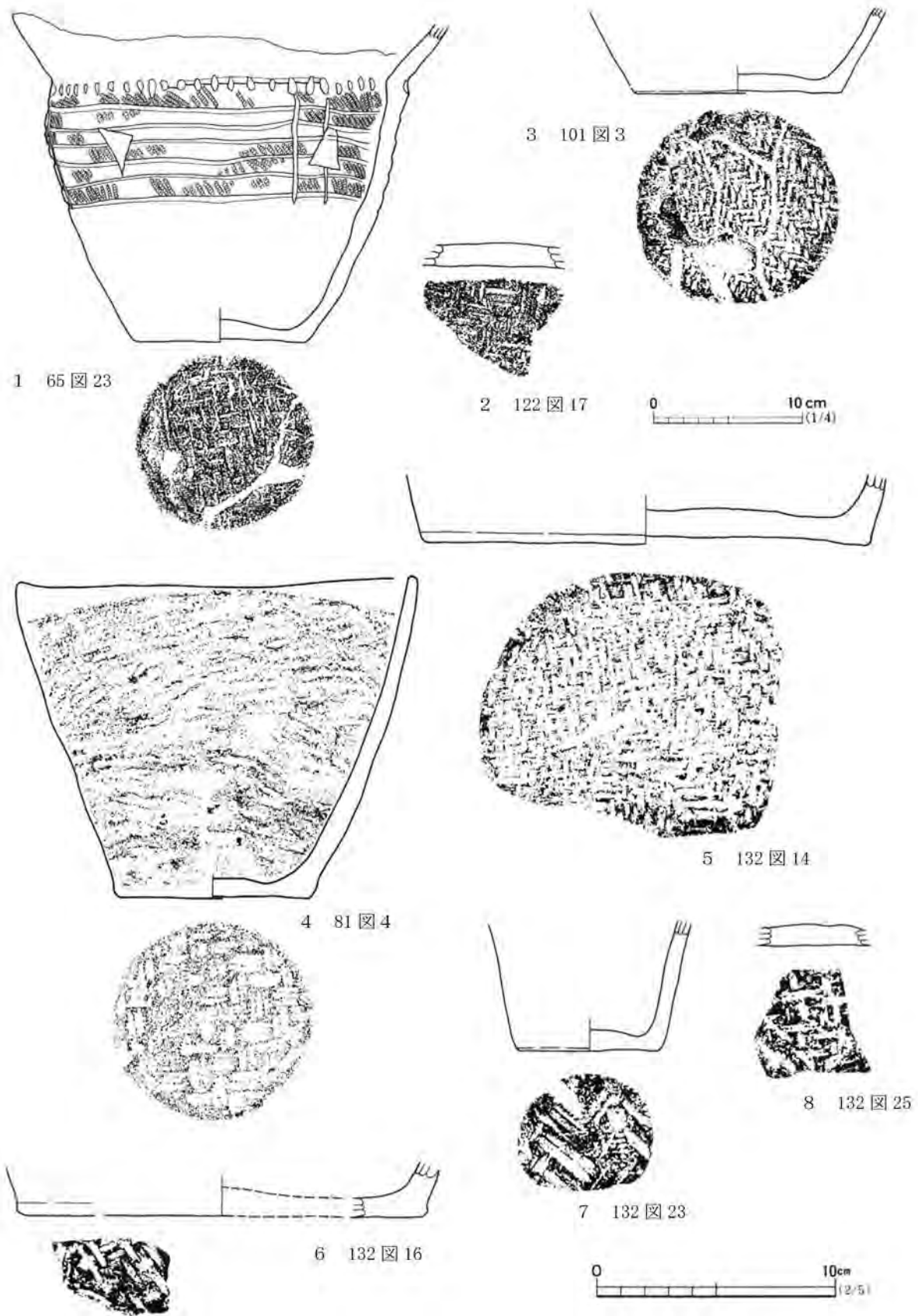


図6 弓手原Ⅲ類

表1 弓手原A遺跡縄文土器底部資料一覧（1）

番号	遺跡名	出土地点	図番号	種 類	時 期	型 式	単位幅 経×緯(mm)	分 類
1	弓手原A(1次)	5号住居跡	8図14	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.0×3.0	不明
2	弓手原A(1次)	6号住居跡	10図1	縄文土器(深鉢)	縄文後期	加曽利B	1.0×2.5	弓手原Ⅰ類
3	弓手原A(1次)	6号住居跡	10図2	縄文土器(深鉢)	縄文後期	加曽利B	1~1.5.0×2.5	弓手原Ⅰ類
4	弓手原A(1次)	6号住居跡	11図27	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.0×2.0	弓手原Ⅱ類
5	弓手原A(1次)	6号住居跡	11図28	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.1×2.2	弓手原Ⅱ類
6	弓手原A(1次)	6号住居跡	11図29	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.0×2.1	弓手原Ⅱ類
7	弓手原A(1次)	6号住居跡	11図30	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.2×2.2	弓手原Ⅱ類
8	弓手原A(1次)	7号住居跡	13図1	縄文土器(注口土器)	縄文後期	加曽利B	1.0×2.5	弓手原Ⅰ類
9	弓手原A(1次)	7号住居跡	14図9	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.0×2.1	弓手原Ⅰ類
10	弓手原A(1次)	7号住居跡	14図10	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.0×2.8	弓手原Ⅱ類
11	弓手原A(1次)	11号住居跡	23図11	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅱ類
12	弓手原A(1次)	12号住居跡	24図7	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.0×2.1	弓手原Ⅰ類
13	弓手原A(1次)	15号住居跡	33図27	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.3×2.3	弓手原Ⅰ類
14	弓手原A(1次)	15号住居跡	33図28	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.0×2.0	弓手原Ⅰ類
15	弓手原A(1次)	15号住居跡	33図29	底部資料	縄文後期	加曽利B	1.2×2.3	弓手原Ⅱ類
16	弓手原A(1次)	44号土坑	61図26	縄文土器(注口土器)	縄文後期	加曽利B	1.0×2.1	弓手原Ⅰ類
17	弓手原A(1次)	49号土坑	62図19	縄文土器(深鉢)	縄文後期	加曽利B	1.3×2.3	弓手原Ⅰ類
18	弓手原A(1次)	77号土坑	65図23	縄文土器(深鉢)	縄文後期	加曽利B	4.0×6.0	弓手原Ⅲ類
19	弓手原A(1次)	包含層	96図9	底部資料	縄文後期	不明	1.2×2.0	弓手原Ⅱ類
20	弓手原A(1次)	包含層	96図10	底部資料	縄文後期	不明	1.2×2.3	弓手原Ⅰ類
21	弓手原A(1次)	包含層	96図22	底部資料	縄文後期	不明	1.3×2.4	弓手原Ⅱ類
22	弓手原A(1次)	包含層	96図23	底部資料	縄文後期	不明	1.5×2.5	弓手原Ⅱ類
23	弓手原A(1次)	包含層	122図6	底部資料	縄文後期	不明	1.0×1.8	弓手原Ⅱ類
24	弓手原A(1次)	包含層	122図7	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅱ類？
25	弓手原A(1次)	包含層	122図8	底部資料	縄文後期	不明	1.0×？	弓手原Ⅰ類？
26	弓手原A(1次)	包含層	122図9	底部資料	縄文後期	不明	1.0×1.8	弓手原Ⅱ類
27	弓手原A(1次)	包含層	122図10	底部資料	縄文後期	不明	2.0×？	弓手原Ⅰ類？
28	弓手原A(1次)	包含層	122図11	底部資料	縄文後期	不明	2.8×？	弓手原Ⅰ類？
29	弓手原A(1次)	包含層	122図12	底部資料	縄文後期	不明	4.0×？	弓手原Ⅰ類？
30	弓手原A(1次)	包含層	122図14	底部資料	縄文後期	不明	4.0×2.5	弓手原Ⅱ類
31	弓手原A(1次)	包含層	122図15	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅰ類
32	弓手原A(1次)	包含層	122図16	底部資料	縄文後期	不明	1.2×2.2	弓手原Ⅰ類？
33	弓手原A(1次)	包含層	122図17	底部資料	縄文後期	不明	1.2×2.0	弓手原Ⅲ類
34	弓手原A(1次)	包含層	122図20	底部資料	縄文後期	不明	1.4×2.0	弓手原Ⅱ類
35	弓手原A(1次)	包含層	122図22	底部資料	縄文後期	不明	1.2×2.3	弓手原Ⅱ類
36	弓手原A(2次)	213号土坑	81図4	底部資料	縄文後期	不明	4.0×7.0	弓手原Ⅲ類
37	弓手原A(2次)	221号土坑	83図1	縄文土器(深鉢)	縄文後期	不明	2.0×3.5	弓手原Ⅰ類
38	弓手原A(2次)	197号土坑	87図8	底部資料	縄文後期	不明	1.5×2.2	弓手原Ⅰ類
39	弓手原A(2次)	197号土坑	87図9	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅰ類
40	弓手原A(2次)	200号土坑	87図10	底部資料	縄文後期	不明	1.2×2.2	弓手原Ⅰ類
41	弓手原A(2次)	205号土坑	87図13	底部資料	縄文後期	不明	1.2×2.2	弓手原Ⅰ類
42	弓手原A(2次)	221号土坑	89図12	鉢形土器	縄文後期	不明	1.0×3.0	弓手原Ⅱ類
43	弓手原A(2次)	6号土器埋設	101図3	底部資料	縄文後期	不明	2.0×4.0	弓手原Ⅲ類
44	弓手原A(2次)	8号土器埋設	101図7	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅰ類
45	弓手原A(2次)	包含層	132図13	底部資料	縄文後期	不明	1.5×3.5	弓手原Ⅰ類
46	弓手原A(2次)	包含層	132図14	底部資料	縄文後期	不明	2.0×4.0	弓手原Ⅲ類
47	弓手原A(2次)	包含層	132図15	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.5	弓手原Ⅰ類

表2 弓手原A遺跡縄文土器底部資料一覧(2)

番号	遺跡名	出土地点	図番号	種類	時期	型式	単位幅 経×緯(mm)	分類
48	弓手原A(2次)	包含層	132図16	底部資料	縄文後期	不明	2.0×3.5	弓手原Ⅲ類?
49	弓手原A(2次)	包含層	132図17	底部資料	縄文後期	不明	?×2.0	不明
50	弓手原A(2次)	包含層	132図18	底部資料	縄文後期	不明	0.8×1.3	弓手原Ⅰ類
51	弓手原A(2次)	包含層	132図19	底部資料	縄文後期	不明	2.0×3.0	弓手原Ⅱ類
52	弓手原A(2次)	包含層	132図20	底部資料	縄文後期	不明	1.5×2.5	弓手原Ⅱ類
53	弓手原A(2次)	包含層	132図21	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅰ類
54	弓手原A(2次)	包含層	132図22	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅱ類
55	弓手原A(2次)	包含層	132図23	底部資料	縄文後期	不明	2単位	弓手原Ⅲ類
56	弓手原A(2次)	包含層	132図24	底部資料	縄文後期	不明	1.0×2.0	弓手原Ⅰ類
57	弓手原A(2次)	包含層	132図25	底部資料	縄文後期	不明	2.0×3.0	弓手原Ⅲ類?
58	弓手原A(2次)	包含層	132図26	底部資料	縄文後期	不明	2.0×3.0	弓手原Ⅰ類

遺跡の分析に過ぎないので、当地方の基礎資料にはなり得るが、これを持って、周辺地域の傾向を把握したとは言えないことはもちろんのことである。幸い当館には対象資料が多数収蔵されているので、地道に一遺跡ずつ検証していけば、当地方の時期や地域による傾向が一層明確になるものとする。加えて周辺の市町村等との連携、情報交換もより重要となり、また当地方に伝わる編籠等の民俗資料についての調査も同時に進めていく必要があるものとする。

8 県内の民俗事例から

(1) 茂庭地区の民俗例

前述した茂庭地区に残る民俗資料の一部は、現在ダムサイトに近接する茂庭生活歴史館に収蔵され、一般に展示公開されている。川の兩岸に山が迫り、深い谷地の段丘状の僅かの平地に人々が生計を立てるという特殊な地域なので、民具等も山仕事、狩りや漁に関わるものが多く見られる。編籠や箆等に見られる網代もその中の一つであり、数点展示されていた。写真3の編籠は当地で「すかり」と呼ばれる山仕事には欠かせない携帯用の弁当入れである。材質はヤマブドウ製で、蔓の表皮を剥ぎ取ったものを十分乾燥させた後に、テープ状に加工して製作している。緯と経の条がそれぞれ2本越えてから2本潜らししている構造で、弓手原Ⅲ類に分類されるものである。その他竹類で編んだ衣類の収納箱である行李等は、3本越え2本潜りになっており、弓手原分類に当てはまらないものもあった。



写真3 「すかり」(茂庭生活歴史館)

今回調査したものの中には、明確に他地域と構造等が異なるこの地域特有のものは認められなかったが、調査した民俗資料の数が少なく、全体的な傾向を把握するには不十分である。縄文時代に編籠等を製作した技術は、今日まで連綿と継続されている可能性が高い

とすると、現在当地方に伝わる民具等の民俗資料の調査は、当地方の縄文時代の網代研究等にも大変意味あることと考えられるので、今後継続してデータの収集に務めていく必要がある。

（２）県内他地域の民俗事例

県内で編籠や箆等の製作が盛んな地域として、奥会津地方を挙げることができる。奥会津地方の中でも只見川流域は民俗資料の宝庫と言われており、只見町にも民具類が数多く残っている。同町の朝日地区行政センターには、「会津只見の生産用具と仕事着」をはじめ国の重要民俗文化財に指定されている約8,000点の民具が整理されているが、この中には六ツ目編籠等の籠や箆類も見つけることができた。三島町も2003年にヤマブドウ細工・マタビ細工・ヒロロ細工の「奥会津編み組細工」が国の伝統的工芸品の指定を受けたように、編籠や箆等の民具づくりが盛んな地域である。縄文時代でも三島町荒屋敷遺跡から、タケ類を素材とした籠状の編組み製品が7点出土している。当地域の民俗例で小型の砥石を入れて草刈りの農作業に携帯する砥石籠に近似する小型の腰籠や、現存寸法で口不縁部幅76cm・高さ55.0cm・底部幅40cmを測る大型の籠も出土している。7点のうち底部が残存しているものは2点あり、1点は6本越え6本潜り左2本送り、もう1点は6本越え6本潜り左1～3本送りの網代編みであった（胴部はゴザ目編）。また籠類の編組の材料と考えられるタケ類を細く割ったものの束も出土している。この割りタケの束が、出土した籠類とほとんど同一の場所からしているので、素材から製品までの製作工房のあった可能性が指摘されている。

南会津町（旧田島町）には、縄文時代前期の三内丸山遺跡から出土の小型編籠と製作技法が酷似する明治時代から昭和時代初期と推定される編籠が伝わる。

9 今後の展望

縄文時代の網代については、特に県内では各遺跡から出土した圧痕土器の分析や検証が進んでいないため、各地方・地域、時期ごとに、どのような構造を持った網籠等の網代があったのか等は、わからないというのが現状である。今後は、県内の各地方・各地域はもちろんのこと、全国の都道府県や市町村とも連携を深め、資料を収集し、その検証を計画的・継続的に行って、データを追加していくことが重要であると考ええる。また近現代に伝わる民具等の民俗資料の検証も同時に進めることが大切であろう。いずれにせよ網代等の実物資料やその圧痕をめぐる研究課題は多く、考古学・民俗学の両分野からの、なお一層の追求が求められている。

一方当館では、本稿でも前述したように、体験学習支援研修や実技講座等の中で、収蔵資料の活用したメニューの開発にも積極的に取り組んでいる。研究は一部の研究者だけのものであってはならないことはもちろんのことであり、その成果はわかりやすい形にして、具体的に、広く一般の方々にも還元しなければならないものと考ええる。特に「編む」「組む」「織る」という衣の技術は、「縄文時代から今日まで連綿と伝わる技術の継承」という視点に立てば、一般の方々にも大変興味・関心が持てる場所でもあると考ええる。当館では今後とも、収蔵資料の分析・検証を進めるのと同時に、その成果を活用していきたい。

<参考文献>

- 佐々木忠二郎・飯島魁 1880「常州陸平介墟報告」『学芸志村』第六卷第三一冊 東京大学法学部・理学部・文学部編纂
- 坪井正五郎 1899「日本石器時代の網代編み物」『東京人類学雑誌』第14巻第161号 東京人類学会
- 杉山寿栄男 1942『日本原始繊維工芸史 原始編』
- 1959『亀ヶ岡遺跡』三田史学会
- 小林行雄 1964「編物」『続古代の技術』塙選書
- 荒木ヨシ 1968「縄文時代の網代編み」『物質文化』12 物質文化研究会
- 荒木ヨシ 1970「東日本縄文時代後・晩期の網代編みについて」『物質文化』15 物質文化研究会
- 1970『日本民俗調査報告書集成 北海道・東北の民俗 福島編』三一書房
- 1974『青森県埋蔵文化財調査報告書第14集 亀ヶ岡遺跡発掘調査報告書』青森県教育委員会
- 森川昌和他 1979『鳥浜貝塚—縄文前期を主とする低湿地遺跡の調査』福井県教育委員会（編）
- 植松なおみ 1980「古代遺跡出土カゴ類の基礎的研究」『物質文化』35 物質文化研究会
- 1980「福島の民俗Ⅰ」『福島市史別巻Ⅲ』福島市史編纂委員会
- 1980「福島の民俗Ⅱ」『福島市史別巻Ⅳ』福島市史編纂委員会
- 1981『奥会津地方歴史民俗資料館シリーズ 奥会津地方の山村生産用具Ⅱ』田島町民具研究会（編）
- 1982『奥会津地方歴史民俗資料館シリーズ 奥会津地方の山村生産用具Ⅲ』田島町民具研究会（編）
- 1982『是川遺跡出土遺物報告書』八戸市教育委員会
- 1985『山王団遺跡調査図録』旧一迫町（現栗原市）教育委員会
- 1985「荒小路遺跡」『福島県文化財調査報告書第148集 母畑地区遺跡発掘調査報告書19』福島県教育委員会・（財）福島県文化振興事業団
- 1990『三島町文化財報告10集 荒屋敷遺跡Ⅱ』福島県大沼郡三島町教育委員会・福島県会津若松建設事務所
- 名久井文明 1991「東北地方における樹皮利用」『北国の樹皮文化』岩手県立博物館
- 1991『縄文絵巻』福島県立博物館
- 1992『摺上川ダムのふるさと』建設省東北地方摺上川ダム工事事務所
- 1996「弓手原A遺跡（第2次）」『福島県文化財調査報告書第319集 摺上川ダム遺跡発掘調査報告Ⅰ』福島県教育委員会・（財）福島県文化振興事業団
- 1997「弓手原A遺跡（第2次）」『福島県文化財調査報告書第337集 摺上川ダム遺跡発掘調査報告Ⅲ』福島県教育委員会・（財）福島県文化振興事業団
- 1997『下宅部遺跡 1997年発掘調査概報』東村山市遺跡調査会・下宅部遺跡調査団
- 名久井文明 1998「縄文時代から継続する編組技術—網代編みと編目編み」『縄文式生活構造—土俗考古学からのアプローチ』同成社
- 1998『青森県埋蔵文化財調査報告書第249集 三内丸山遺跡Ⅸ』青森県教育委員会
- 1998『下宅部遺跡 1998年発掘調査概報』東村山市遺跡調査会・下宅部遺跡調査団
- 名久井文明 1999『樹皮の文化史』
- 1999『下宅部遺跡 1999年発掘調査概報』東村山市遺跡調査会・下宅部遺跡調査団
- 松永篤知 2000「縄文土器底部にみられる網代圧痕について—北陸地方を中心に」金沢考古32巻 金沢大学文学部考古学研究室
- 2000『縄文時代の日本列島』東北歴史博物館
- 渡辺 誠 2000「日本の網代」『考古学論究』
- 2000『下宅部遺跡 2000年発掘調査概報』東村山市遺跡調査会・下宅部遺跡調査団
- 2001『青谷上寺地遺跡3』財団法人鳥取県教育文化団鳥取県埋蔵文化財センター
- 2001「第7号水場遺構出土の杭について」『下宅部遺跡 2000年度発掘調査概報』東村山市遺跡調査会・下宅部遺跡調査団
- 2001『下宅部遺跡 2001年発掘調査概報』東村山市遺跡調査会・下宅部遺跡調査団
- 2002『三角山Ⅰ遺跡新種子島空建設による主要地方道西之表・中種子島線付替の道路建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書』鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘調査報告書46 鹿児島県立埋蔵文化財センター
- 2002『下宅部遺跡 2002年発掘調査概報』東村山市遺跡調査会・下宅部遺跡調査団

2003 『企画展 発掘ふくしま3』福島県立博物館

2004 『新潟県埋蔵文化財調査報告書第133集 日本海沿岸東北自動車道関係発掘調査報告書・青田遺跡』新潟県教育委員会・財団法人新潟県埋蔵文化財調査事業団

2004 「青田遺跡出土木材の樹種」『新潟県埋蔵文化財調査報告書第133集 青田遺跡』新潟県教育委員会・財団法人新潟県埋蔵文化財調査事業団

2004 「青田遺跡の動物遺体」『新潟県埋蔵文化財調査報告書第133集 青田遺跡』新潟県教育委員会・財団法人新潟県埋蔵文化財調査事業団

2004 『川辺の縄文集落』財団法人新潟県埋蔵文化財調査事業団

2005 『水辺と森と縄文人』国立歴史民俗博物館、東北歴史博物館、新潟県立博物館

2005 「特集原始・古代の出土繊維」『季刊考古学第91号』雄山閣

2007 『樹と竹一列島の文化、北から南から』福島県立博物館、鹿児島県歴史資料センター黎明館

北田勲・平野祐 2007 『県内出土土器底部にみられる縄代痕跡』（財）岩手県文化振興事業団埋蔵文化財センター

宮原俊一 2007 『第15回足元に眠る歴史展 編みと織りの考古学』東海大学校地内遺跡調査団東海大学文学部活動委員会

2008 『平成13年度特別企画展 編む・組む一技の考古学』仙台市地底の森ミュージアム

2008 『平成20年度企画展図録 縄文時代から続く「編み」の文化』御所野縄文博物館

2008 『発掘された日本列島2007 新発見考古速報』文化庁編

佐々木長生 2008 「会津地方の樹皮製民具」『会津学講座8 森のめぐみと民俗～森林文化の世界～』福島県立博物館

福島県文化財センター白河館

研究紀要 2008

平成 21 年 3 月 27 日発行

編集 財団法人福島県文化振興事業団
発行 福島県文化財センター白河館（まほろん）
〒 961-0835 白河市白坂一里段 86
TEL 0248-21-0700 FAX 0248-21-1075
<http://www.mahoron.fks.ed.jp>
印刷 タヂヒ印刷所