

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—

吉田 秀亨

1 はじめに

まほろん（福島県文化財センター白河館）の事業の一つに、古代の技術や素材をできる限り検討して、今に甦らせるという研究復元事業がある。この事業は、遺跡で確認できた遺構や、出土した遺物を対象とし、今までに横穴墓から出土した種々の副葬品（馬具・刀剣・容器類等）や、古墳出土の青銅鏡などを復元してきた。

平成14年度からは、「古代の鉄」をメインテーマとし、福島県浜通り地方北部の製鉄遺跡から出土した鋳型を基に、梵鐘や獣脚付き容器、風鐸などの鋳鉄製品の復元を行っている。平成15年11月1・2日の両日にわたって行われた「鉄づくり」イベントも、この事業の一貫として行われたものである。

なお、本炉の操業結果の一部は、すでに「前近代製鉄実験」研究グループ第5回例会において発表しているが^(註1)、本稿をもって正式なものとする。

2 復元した製鉄炉の調査事例

今回復元の対象とした製鉄炉は、原町市にある大船迫A遺跡15号製鉄炉である（写真1・図1・2）。この炉は箱形炉であり、平安時代9世紀前半に機能し、廃絶されたものである。送風装置としては、踏みふいご掘形と送風溝が確認され、ふいごの長軸に直交するように炉が配置されているため、全体としてT字形を呈している。

調査の結果、本炉では、最低でも2回の操業が行われたことが推測できる。このうち、2回目の操業では、主に炉の東側壁が「く」字状に折れ曲がって倒壊し、操業廃棄時のままの状態が確認された（図3上段・写真2）。炉壁は、主に内側を上方に、外側を下方に向けて確認された。このため、倒壊した炉壁から、炉底から炉頂までの高さが推定でき、さらに炉の規模が推測で



写真1 製鉄炉全景

きる資料であったため、今回の復元操業炉の候補として選択したわけである。

なお、本製鉄炉では、表1に示した鉄滓類が出土している。これを見ると、1回目の操業では、流出滓（炉内滓を含む）が62kgほど出土しているが、2回目の操業では、8kg弱しか出土していないことがわかる。

このことから、2回目の操業は失敗した可能性が高いものと思われ、倒壊した炉壁は当時のままの状態を維持していると判断し

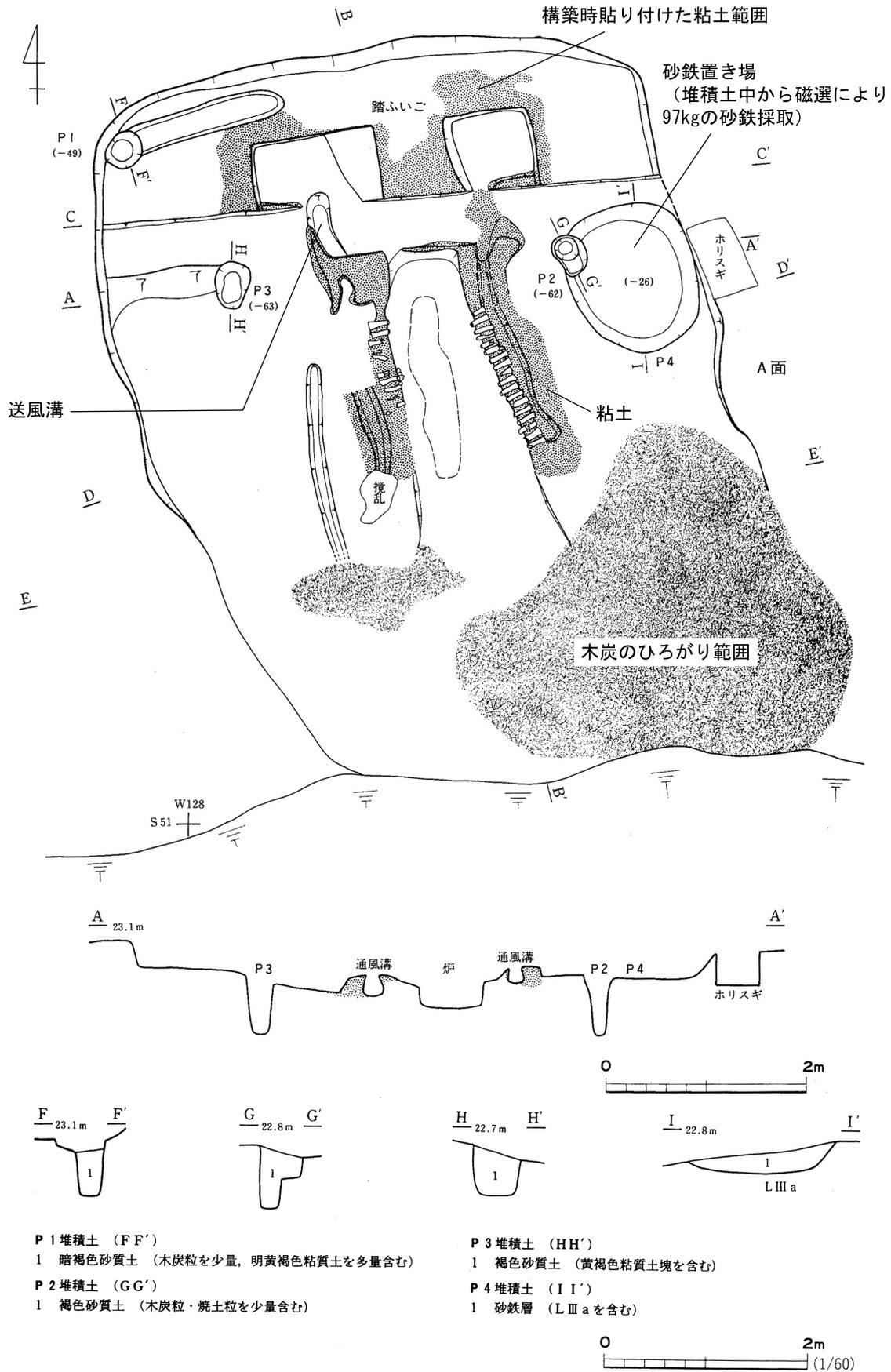
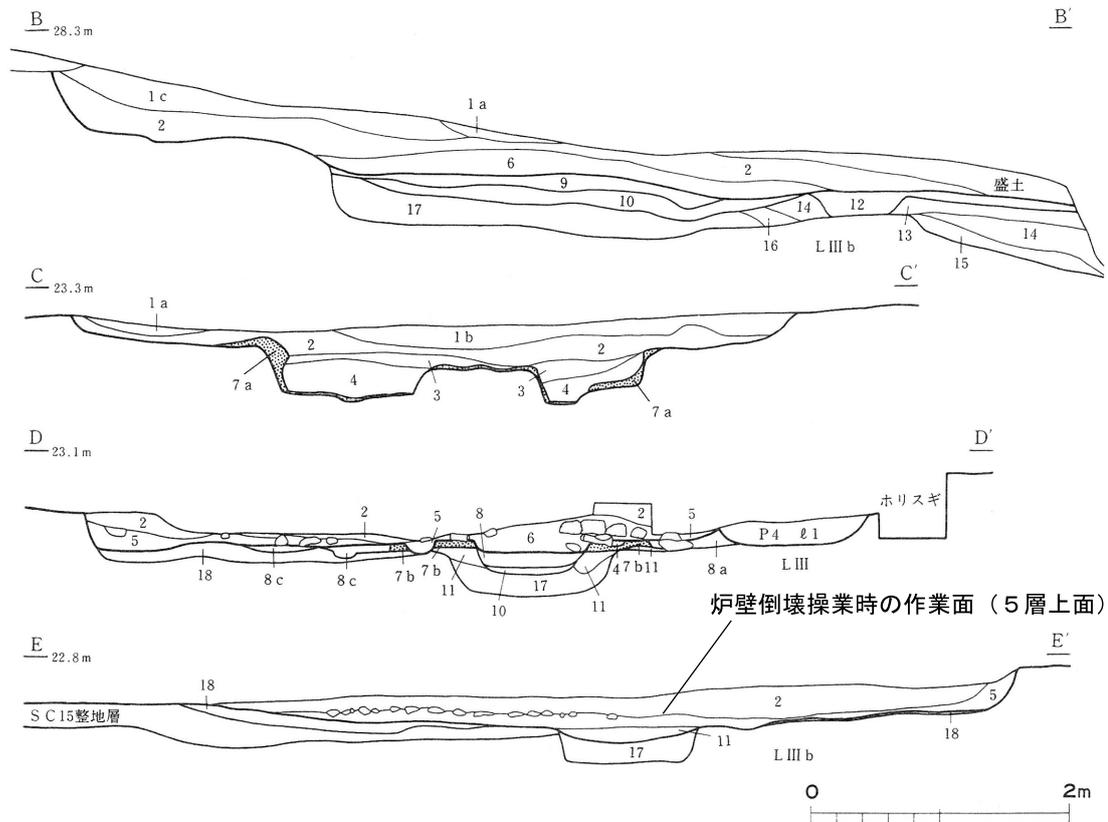


図1 15号製鉄炉 (国井1995より転載・加筆)



SW15堆積土 (AA'・BB'・CC'・DD')

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 a 黒褐色砂質土 (L III a・木炭粒を含む) | 8 c 褐色砂質土 (木炭粒を少量含む) |
| 1 b にぶい黄褐色砂質土 (L I aを多量・木炭粒を少量含む) | 9 黒色砂質土 (木炭を多量、焼土粒を含む) |
| 2 褐色砂質土 (L III aを多量、暗褐色砂質土塊を含む) | 10 黒褐色砂質土 (木炭粒を多量、焼土粒を含む) |
| 3 黄褐色砂質土 (L III a・黄褐色粘土・木炭粒を含む) | 11 黒色砂質土 (木炭粒を含む) |
| 4 黄褐色砂質土 (L III a・木炭粒を含む) | 12 黒褐色砂質土 (木炭粒・鉄滓を多量、焼土粒を少量含む) |
| 5 褐色土質土 (L III a・炉壁・鉄滓を多量含む) | 13 暗褐色砂質土 (木炭を多量、L III a・炉壁・鉄滓を少量含む) |
| 6 黒色砂質土 (木炭粒を多量、炉壁・鉄滓を含む) | 14 褐色砂質土 (L III aを多量、木炭粒・焼土粒を微量含む) |
| 7 a 暗黄褐色粘土 (L III aを含む) | 15 黒褐色砂質土 (木炭粒・炉壁を微量、L III aを少量含む) |
| 7 b 黄褐色粘土 (L III a・木炭粒・焼土粒を含む) | 16 暗赤褐色砂質土 (焼土を多量、木炭粒・炉壁を少量含む) |
| 8 a 赤褐色砂質土 (木炭粒・焼土粒・黄褐色粘土を含む) | 17 黒褐色砂質土 (木炭粒を多量、焼土粒を少量含む) |
| 8 b 暗褐色砂質土 (木炭粒・焼土粒・炉壁を含む) | 18 褐色砂質土 (黄褐色粘土塊を少量含む) |

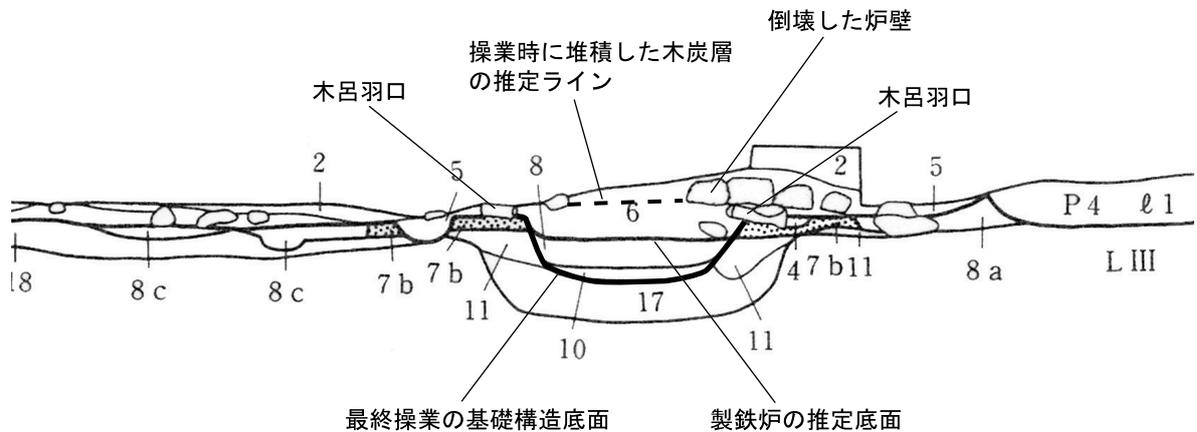


図2 15号製鉄炉断面図と拡大図(下)(国井1995より転載・加筆)

表 1 15号製鉄炉出土鉄滓類一覧

単位 (kg)

出土位置	炉底	炉壁	炉内滓	流出滓	備考
A面炉内	8.6	—	5.0	2.4	2回目の操業に伴うもの。炉壁は計量していない。
作業場 Q1	7.0	14.9	7.6	221.7	流れ込みのため、本炉の操業には直接関連しない。
作業場 Q2	0.0	1.8	0.0	0.3	2回目の操業に伴うもの。図1のE-E'に見える鉄滓類が主と思われる。
作業場 Q11	0.0	2.9	8.9	6.5	2回目の操業の基礎構造部内から出土したもの。
廃滓場 Q1	22.1	23.0	24.9	585.5	1回目の操業に伴うもの。
廃滓場 Q2	3.0	4.3	7.8	35.0	1回目の操業に伴うもの。

※本表は、報告書から抜粋したものである。ただ、報告書中作業場 Q3 出土および Q16 出土は、作業場内堆積土中に該当する層がないため、除いている。更に廃棄場 Q2 には、報告書中で Q3 出土と示された量を合算している。

た。

3 復元炉について

今回復元した炉の実測図は図5に示したが、以下ではその根拠を説明する。

1) 炉の規模について

まず、製鉄炉の高さであるが、図3上段に示した炉壁の倒壊図及び写真1より、確認できた炉壁は直立していたブロックと、倒壊していたブロックの大きく2つに分けられる。直立した炉壁は、図3下段で太線内で示したものであり、この部分の炉壁の厚さは15cmである。これの下方に示した点線で囲ったやや傾いて確認できた炉壁から、この炉壁の高さが20cmであることが知られた。



写真2 炉壁の出土状況

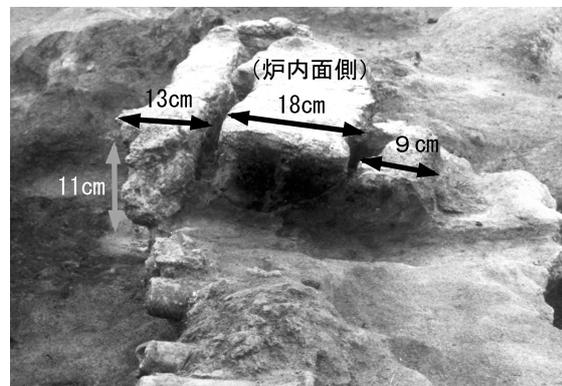


写真3 倒壊した上方炉壁のアップ

さらに、直立した炉壁の上方には、図中A～Cとした高さ15cmの炉壁ブロックが積み上げられ、ちょうどこの部分が、積み上げられた炉壁が倒壊時に「く」字に折れ曲がった屈曲部に該当すると判断した。そして、その上に広い範囲で倒壊した炉壁（図中D：高さ50cm）が積み上げられ、炉の東壁を構築していたものと推測した。

このことより、確認できた範囲内での炉壁推定高は、 $20 + 15 + 50 = 85$ cmとなる。ただ、この数値では、羽口を装着した部分の炉壁高を加算していないため、本来の炉の高さは、最低でも、これに羽口を装着した炉壁分及び羽口分を合算したものとなる。

このため、図4に示した炉底の熱変化範囲と確認できた木呂羽口底面までの高さを加算する

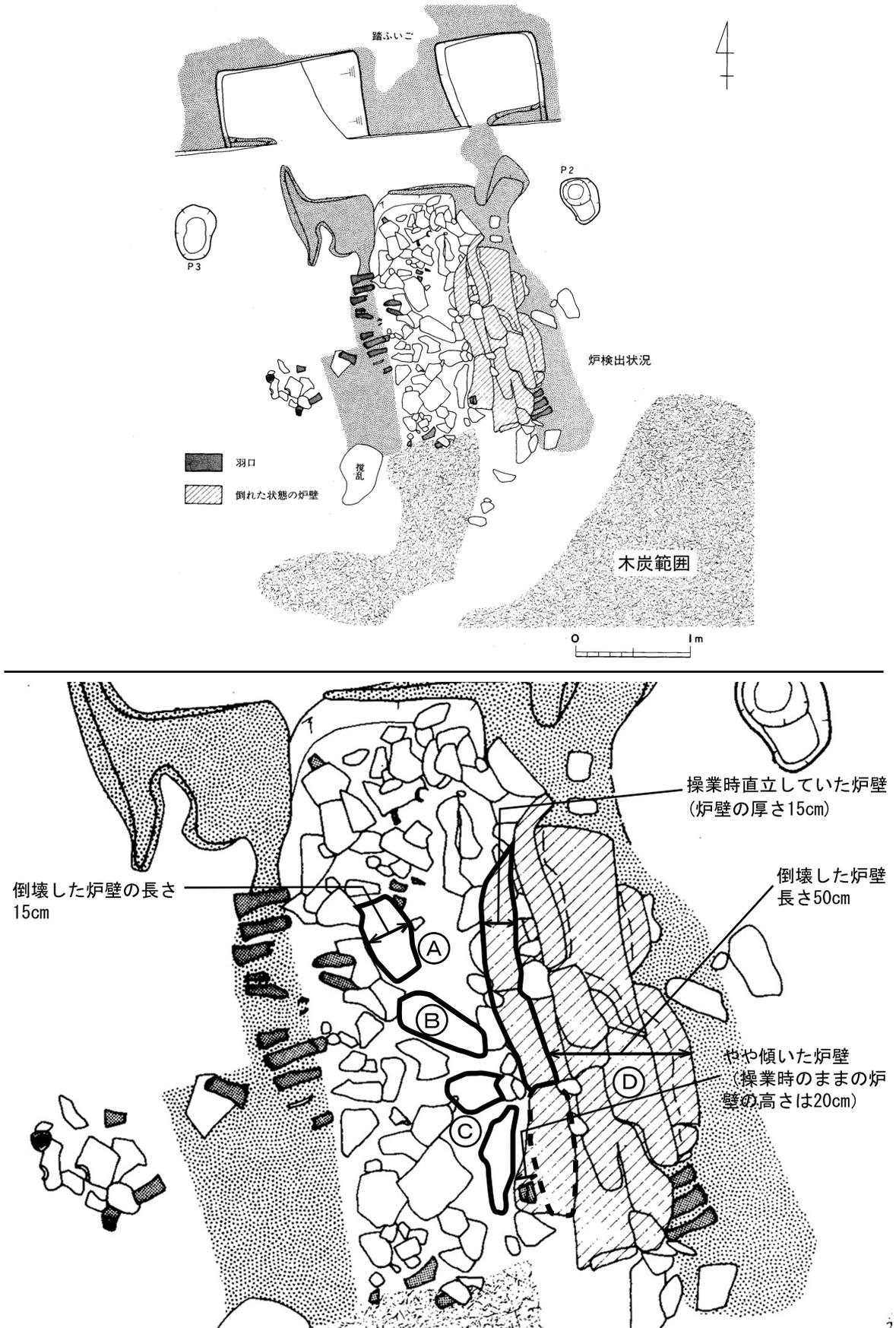


図3 15号製鉄炉炉壁出土状況(上)と拡大図(下)(国井1995より転載・加筆)

こととし、この高さの平均が 13 cm であったため、これを足して 98 cm とした。さらに確認できた炉壁では、確実に炉の最頂部と判断できる炉壁が認められなかったため、炉頂部の壁高も加えることとした。

炉頂部壁高は、写真 3 より上方の炉壁 1 ブロックの高さが 9 cm であったため、1 段分を積み上げたものと仮定して 9 cm を加えた。この他、出土した炉壁に装着した羽口の内径 3 cm を加えることとし、推定炉高は、 $85 + 13 + 9 + 3 =$ 計 110 cm を算出した。

次に、炉の幅・長さであるが、図 4 に示した熱変化範囲をその根拠とした。ただ、この範囲は、調査報告書では 1 回目の操業に伴うものと判断されたものである。今回、図 2 に示した D-D' 断面から、この範囲は 2 回目、すなわち倒壊した炉壁に伴う炉底の痕跡と判断した。それは、同図下段に示した拡大図にあるように、木呂羽口から凹レンズ状に掘り込まれたラインが見られ、かつ熱変化範囲の痕跡が $\ell 9$ 上面に認められているからである。なお、報告においては、 $\ell 9 \cdot 10$ を 2 回目の操業に伴う基礎構造堆積土と判断している。さらに、報告書では縦断面 (B-B') に確認できる $\ell 9$ が、横断面 (D-D') では $\ell 8$ となり、層位番号が合っていない。このため、今回報告書掲載 D-D' の $\ell 8$ が $\ell 9$ であると判断した。

また、 $\ell 9$ の上層 $\ell 6$ 中には倒壊した炉壁ブロックが認められている。炉壁ブロックの上層には、 $\ell 5$ が堆積しているが、同図の E-E' 断面では、 $\ell 5$ 上面に炉壁のブロックが認められている。この矛盾はおそらく調査時の誤認であり、拡大図に示した製鉄炉基礎構造付近の $\ell 5$ は、E-E' 断面でみられる $\ell 5$ と同一層とは思われない。色調の類似からは、 $\ell 2$ の可能性が考えられる。このように推測すると、拡大図に示したように $\ell 6$ は波線で分層され、本来の $\ell 6$ は木炭や砂鉄などを含んだ操業時の堆積層と考えられる。そして、 $\ell 5$ は 2 回目の操業時に整地した作業面の堆積土と判断できる。

さて、前述した熱変化範囲は、幅 30 ~ 37 cm で、長さ 180 ~ 185 cm をはかる。この規模に、前述したように炉壁の厚さが 15 cm であったため、幅 $30 \text{ cm} + \text{炉壁厚さ } 15 \text{ cm} \times 2 = 60 \text{ cm}$ 、長さ $180 \text{ cm} + \text{炉壁厚さ } 15 \text{ cm} \times 2 = 210 \text{ cm}$ と推定した。

以上のことから、15 号製鉄炉の外寸規模は、幅 60 cm、長さ 210 cm、高さ 110 cm であることが推測された。ただ、実際に行った復元炉では、長さを約半分の 110 cm とした。これは、最初の復元操業であったがために、なにぶんにも当方が躊躇したからである。ただ、炉の幅や高さは、推定した製鉄炉そのままの幅 60 cm、高さ 110 cm とした。構築時の炉壁の厚さは、羽口周囲は、出土した木呂羽口の長さより 20 ~ 24 cm とし、炉上方では 15 cm、炉頂部は 8 cm とした。炉の内径は炉頂部から 65 cm 下がったところで 24 cm、同 84 cm 下がったところ (羽口直上) で 21 cm である。

基礎構造の規模は、調査事例に則り、外寸で幅 120 cm、深さ 40 cm とし、長さのみ 180 cm と本来の半分とした (報告書では、長辺 183 cm、短辺 40 cm、深さ 40 cm と記載されているため、掲載図面から幅 120 × 長 360 × 深 40 cm と計測した。)

2) 送風と羽口の挿入角度

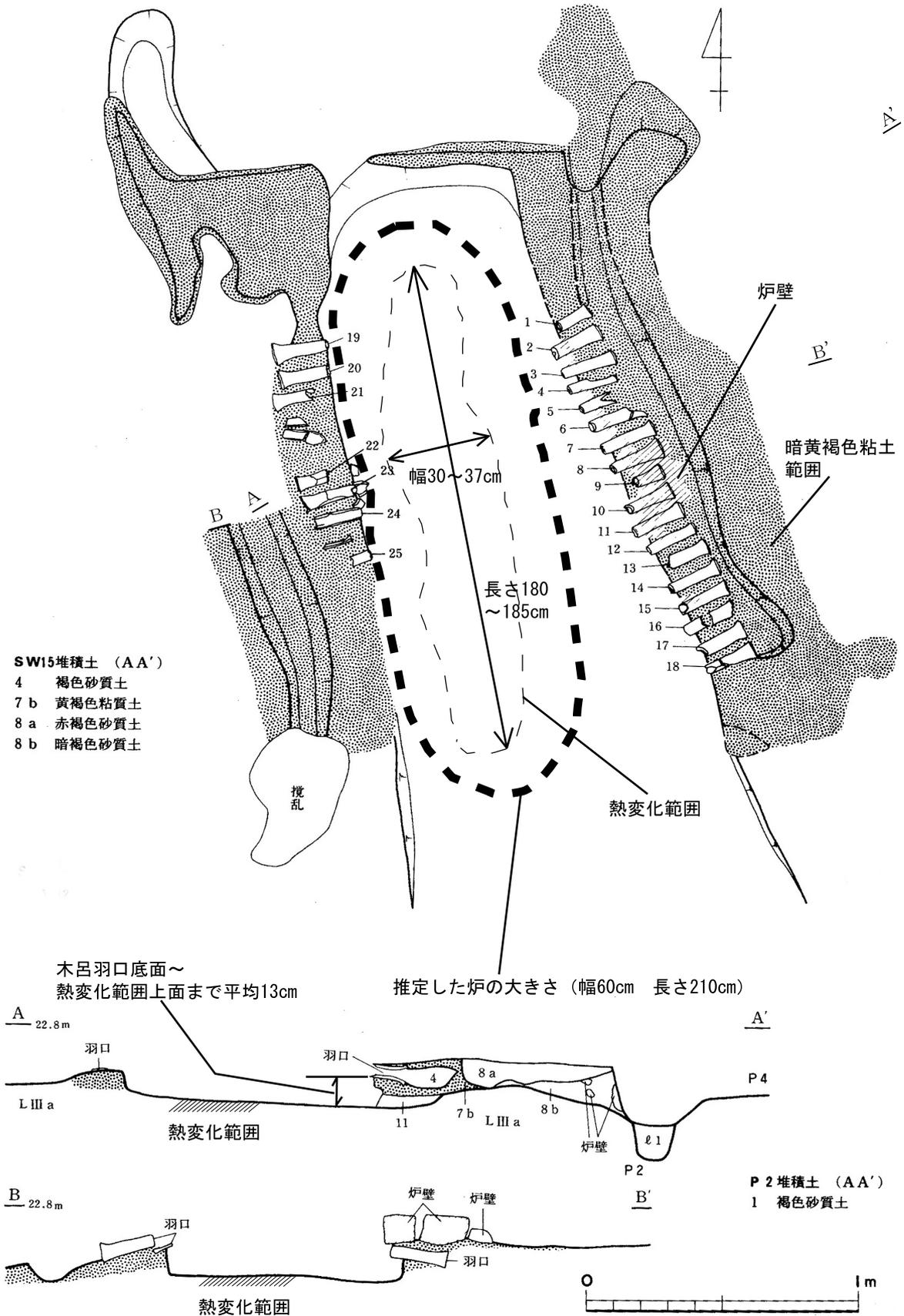


図4 木呂羽口出土状況と熱変化範囲 (国井1995より転載・加筆)

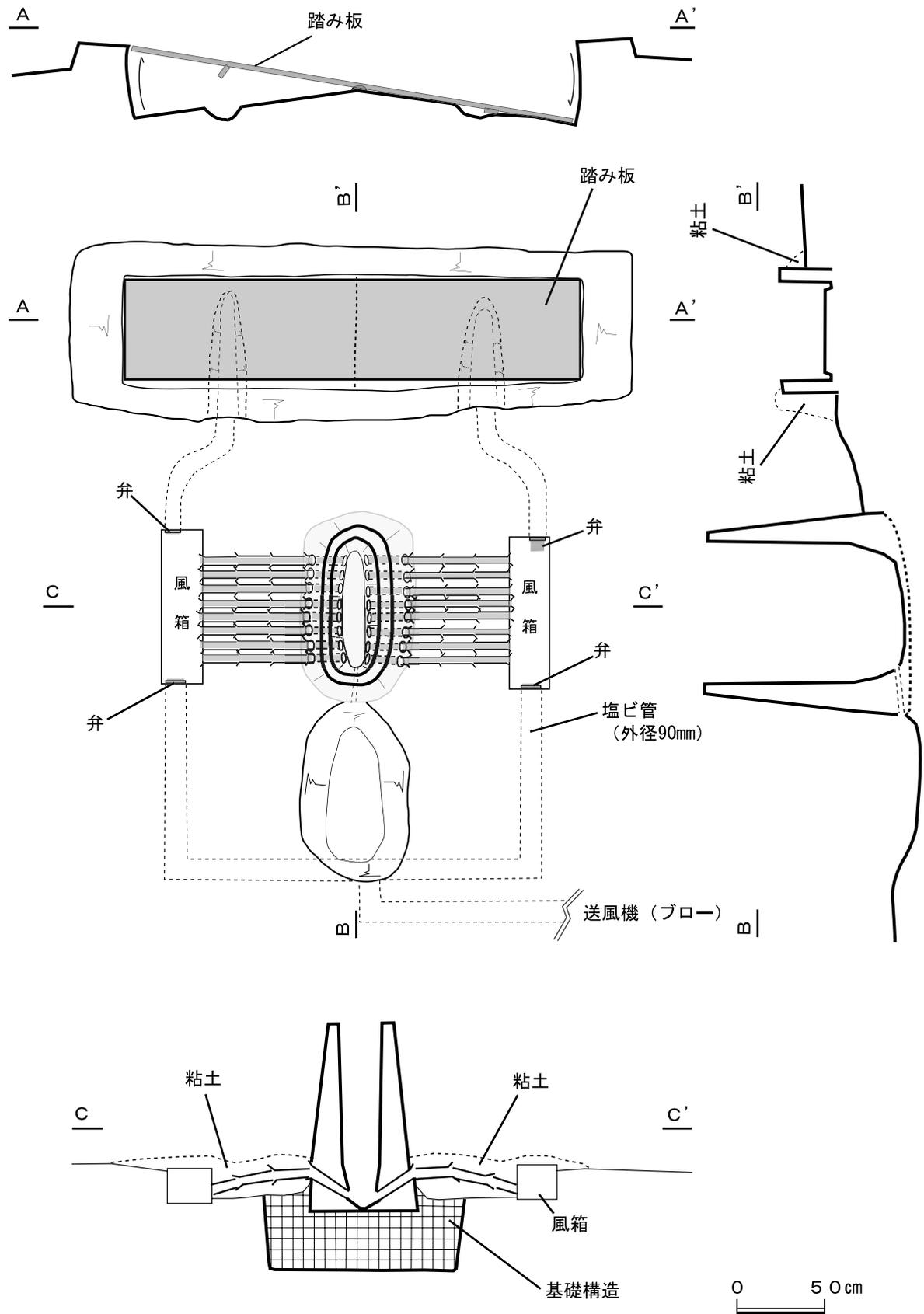


図5 まほろん1号炉

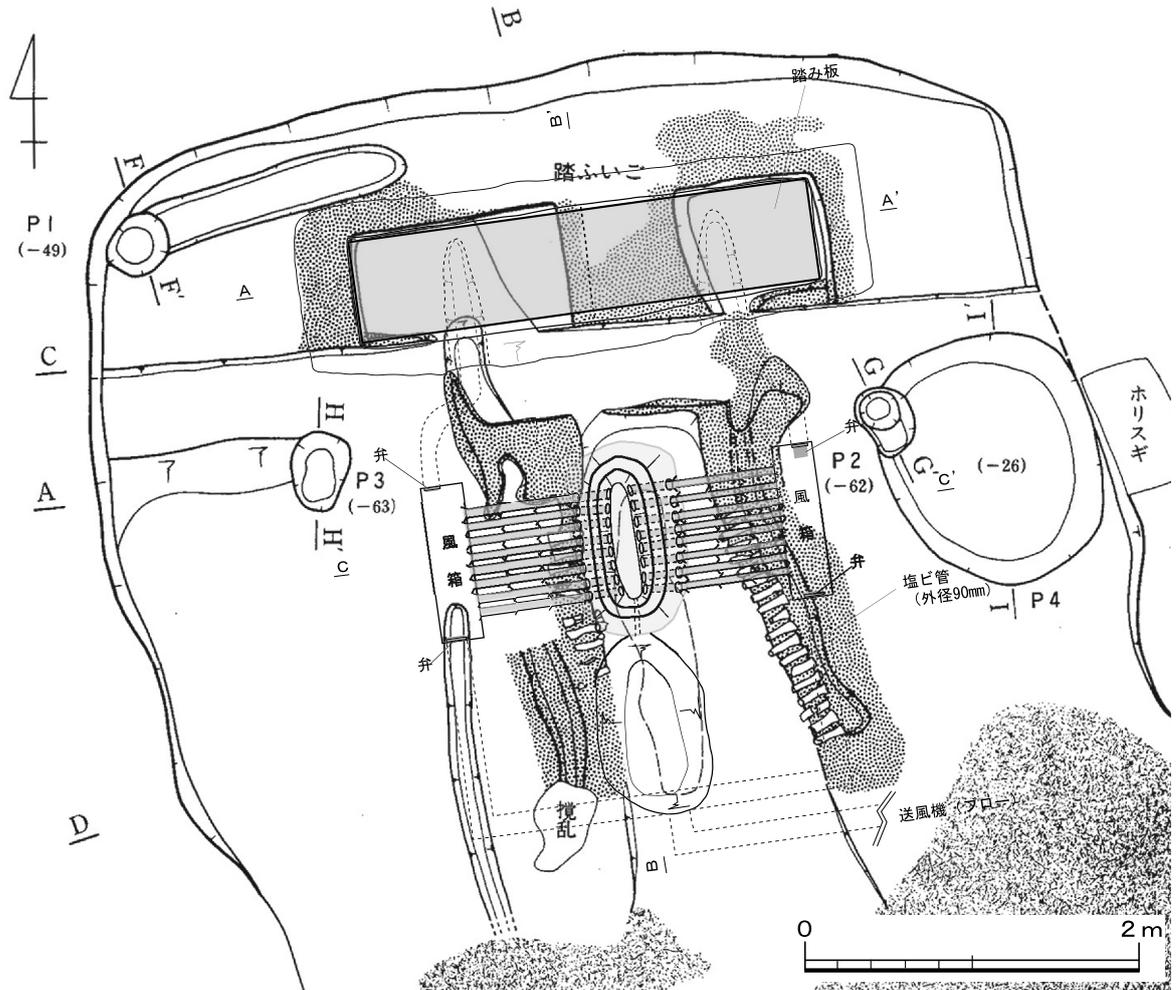


図6 大船迫A遺跡 15号製鉄炉とまほろん1号炉

送風装置である踏みふいごは、調査事例の踏みふいごの掘形を参考にし、これと同規模とした。ただ、調査での踏みふいご掘形は東側と西側で、長方形の痕跡が異なっている(図1参照)。また、中央部にあるはずの軸受けの窪みも確認できなかった。このため、図2 C-C' 断面から、壁面に粘土が貼られている東側穴の下端に準じ、踏みふいご幅60cmを採用し、長さは掘形底面の下端の長さ270cmとした。踏みふいごの深さは、西側の掘形の方が遺存状態がよかったため、これにより42cmとした。おそらく平安時代ではこれより深かったと思われるが、当時の作業面を推測する根拠がないため、この深さとした。踏み板は合板3枚を貼り合わせ製作し、吸気用弁を左右2箇所に取り付け、側面にジュウタンマットを貼り付けた。

送風孔は調査事例と同様の位置にしたが、塩ビ管で製作した送風溝は、西側で実際の溝位置より西に50cmほど、東側で20cmほど東に離れている。これは、土中に埋めた塩ビ管が、炉の強制乾燥時の燃焼熱により変形することを防ぐためであり、炉から少しでも離すよう、あえて行った。このため、送風溝や木呂羽口の位置は、合致していない。また、実際の炉では、送風溝から直接木呂羽口に連結しているが、今回は内寸幅25cm、長さ90cm、高さ20cmの風箱を2個設置し、この風箱に木呂羽口を連結できるようにした。実際の製鉄炉と、復元した製鉄炉の位置関係については、図6に示した。

なお、送風溝あるいは送風孔のいずれかの位置に、空気の逆入を塞ぐ“弁”が取り付けられていたはずであるが、調査では確認できなかったため、今回は風箱内に設置した。

次に、羽口であるが、内径は出土した木呂羽口に準拠して、先端部 30 mm（乾燥・焼成の結果、内径は 29 ないし 27 mm となり、出土例と近似している。）、長さは 20 cm 前後とした。この羽口は、「鉄づくり」イベントの準備作業として一般来館者に製作してもらったため、長さに若干の違いがあるものの、内径は芯棒が同一のため、同径のものとなった。炉壁装着羽口と木呂羽口では、粘土の材質を変えて製作している（後述）。

羽口の装着角度は、報告書によれば 12 ないし 15° の角度と記載されている（報文第 33 表）が、いずれも羽口に残る熱変化範囲からの算出であるため、おおよその目安でしかない。このため、今回は、鉄づくりの指導を頂いた藤安将平刀匠が、砂鉄より鋼を産出する際に装着する羽口角度と同様の 35° とした。

また、炉に装着する羽口の本数は、片側 8 本、両側で 16 本とした。出土した木呂羽口の本数は 18 本であり、炉の長さも実際より半分ほどであったため、片側を 8 本とした。なお、2 個の羽口が装着されたまま出土した炉壁から、羽口と羽口の間隔は外寸で 4 cm とした。羽口と羽口の心間の距離は約 8.2 cm（羽口間 4 cm + 羽口厚 1.2 cm + 羽口内径 3 cm）であったため、片側 8 本の場合、 $8.2 \text{ cm} \times 7 \text{ 区間} = 57.4 \text{ cm}$ となり、構築する復元炉は、長辺側がおおよそ 60 cm 強の直線をなし、短辺側が弧状を呈する楕円形となった。

風箱に装着した木呂羽口と炉壁に装着した羽口を繋ぐ部分の装置は、全く不明である。竹などを利用した可能性が高いが、痕跡が認められない。今回は、木呂羽口を連結して使用した。連結した木呂羽口は 3 基になった。

4 操業について

1) 原材料について

原料は、福島県西白河郡大信村の隈戸川で採取した砂鉄を、磁選して使用した。燃料は、岩手県産のマツと、一部栃木県那須郡塩原村産のクヌギ・コナラを使用した。炉材粘土は、砂鉄と同様の大信村産の通称“山砂”を使用した。各分析値は、別項の分析報告を参照頂きたい。

なお、本来であれば、砂鉄や燃料の木炭、炉材粘土は、製鉄遺跡から出土したものと合致したものにすべきである。実際に、砂鉄は相双建設事務所から浜砂鉄採取の許可も得、採取もしたが、採取できた砂鉄量が少なく、断念した。さらに、木炭や粘土は、後述するように操業前の予備操業実験の結果を鑑み、上述のものにせざるを得なかった。

2) 操業について

(1) 目的

今回の操業では、次の点を主たる目的とした。

- ・粘土で炉を構築し、踏みふいごで送風し、まず砂鉄から鉄を作ってみる。

* 1 回の操業で使用する粘土・砂鉄・木炭の量の目安と、鉄が産出するまでの操業時間を

把握する。

- * 産出される鉄の種類と排出される鉄滓量を把握する。
- * 産出鉄・鉄滓と、砂鉄・木炭・粘土の成分の差異を把握する。
- * 炉内の温度変化と送風量を測定する。

(2) 「鉄づくり」イベントまでの準備作業およびプレ操業

鉄づくりに向けての準備作業は、その概要を表2に示した。その中で、来館者参加の準備作業として、砂鉄選別と羽口づくり、木炭の小割作業を行った。また、イベント前にプレ操業を行った。以下、これらこれらの準備作業の中で気づいた点と、プレ操業について記述する。

・ **砂鉄選別** (平成15年8月13・14日実施: 8/13 70人参加 8/14 35人参加)

選別作業に使用した砂鉄は、相馬市古磯部海岸から採取した浜砂鉄である。当初、プラスチック製の整理箱(内寸幅24×長39×深7cm)内に、一掴み程度の砂鉄を入れ、砂金洗いのように上下左右に箱を動かして、選別を行った。この方法では、非常に手間がかかり、かつ砂鉄の選別も良好にできなかったため、幅90cm、長さ180cmの板の両脇に1寸5分角の杵木を設置し、これを2枚連結した簡易なトイを設置した。トイには緩やかな勾配を付け、上方より水道水を流して、砂鉄をもみ洗いするような方法で選別を行った(写真4参照)。



写真4 トイを使った砂鉄選別

このような比重選鉱方式の場合、最初は砂中に石英・長石等が混じっているため、砂全体が軽い感じがするが、これらが流れ去るとネットリとし、非常に重い感じがする。色調では、灰色混じりの黒褐色の砂質土が、漆黒のスライム状の砂となる。このスライム状のものが、選鉱した砂鉄であり、部分的に玉虫色のような紫がかった光沢を呈するものもあった。

今回の方法により、僅かな流水状況下で、簡単な板状のトイにより、非常に効率よく砂鉄を選別することが可能であることが確認できた。おそらく当時の方法も、これに似た方法ではなかったかと思われる。

なお、流れ去った石英や長石の混じった白い砂であるが、当時の製鉄工人たちにとっては、そのまま廃棄するのではなく、なんらかの形で利用したのではないかと思われた。しかし、この砂鉄選別のイベント時には、その利用方法すら気づかなかった^(註2)。

・ **羽口づくり** (平成15年9月13～15日実施: 9/13 33人参加 9/14 28人参加 9/15 14人参加)

羽口用粘土の質量は、1本700gとした。材料は、平成15年度原町火力発電所関連で調査していた割田B遺跡の粘土採掘坑から採取した粘土(以下、原町粘土とする)と、炉壁に使用した大信村の通称“山砂”(以下、大信粘土とする)を使用した。

表2 まほろんイベント「鉄づくり」準備作業一覧

日付	内容	人数	日付	内容	人数
4/16(水)	那須塩原村の菊池良一郎さん宅へ伺い、木炭購入の件について打ち合わせを行う。	2	9/27(土)	踏みふいご製作2日目。ふいご枠ほぼ完成。	1
4/24(木)	相双建設事務所へ砂鉄採取の件について打診する。	1	9/30(火)	踏み板製作。	1
5/1(木)	菊池良一郎さんより木炭400kg届く。	1	10/1(水)	作業場空焚き開始。単管パイプ等資材到着。	5
5/7(水)	砂鉄採取の申請書送付される。	1	10/2(木)	作業場空焚き2日目。上屋製作開始。	5
5/8(木)	鉄づくり基本要項作成	1	10/3(金)	夜、藤安将平刀匠から大信村の粘土入手の報入る。	
5/14(水)	砂鉄採取箇所の現地調査。	1	10/4(土)	屋根にトタン板をはって上屋完成。	6
5/15(木)	～5/15(木)	2	10/4(土)	トタン板の東西側にシートを張る。現地にて踏みふいご・基礎構造掘削場所縄張り。	2
5/23(金)	砂鉄採取箇所の件で、相双建設事務所と電話で打ち合わせを行う。	1	10/5(日)	基礎構造・踏みふいご場所の掘削。送風管設置。	4
6/3(火)	福島市の藤安将平刀匠宅へ伺い、鉄づくりの基本打ち合わせを行う。	1	10/6(月)	鉄づくりの役割分担表とメディア投げ込み資料作成。	1
6/5(木)	大信村隈戸川産の砂鉄採取箇所の調査。	2	10/7(火)	踏みふいご設置。風が出る。夜、風箱製作開始。	7
6/7(土)	砂鉄採取申請書作成および送付	1	10/8(水)	基礎構造焼成開始。	2
6/13(金)	白河市白坂の山内義雄さん宅へ伺い、木炭窯用の粘土のサンプルを分けてもらう。	2		風箱製作2日目。	2
6/14(土)	鉄のフォーラム参加(14日)および、温度等測定を依頼する東京産業研究所佐藤健二先生と打ち合わせ(15日)。	1	10/9(木)	粘土捏ね開始。	1
6/20(金)	藤安将平刀匠にサンプル粘土を送り、羽口あるいは炉壁用粘土の使用可能実験を行ってもらう。	1	10/9(木)	基礎構造焼成2日目。	3
6/24(火)	復元炉にする原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討を開始する。	1		粘土捏ね2日目。	3
6/25(水)	原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討	1	10/10(金)	砂鉄箱・木炭箱製作。	2
6/28(土)	原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討	1	10/10(金)	風箱設置。	3
6/29(日)	原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討。ようやく炉を理解する。	1	10/10(金)	プレ操業用炉構築開始。	4
6/30(月)	福島市の藤安将平刀匠宅へ伺い、粘土実験結果を聞く。	1	10/11(土)	粘土捏ね3日目。	1
7/1(火)	復元炉基礎資料作成開始。	1	10/11(土)	炉構築2日目。完成	6
7/8(火)	相馬市古磯部にて、砂鉄採取作業。鹿島町割田B遺跡よりサンプル粘土採取。	2		夕方より炉乾燥開始。翌12日明朝まで、継続。	2
7/9(水)	～7/9(水)	2	10/12(日)	プレ操業。参加者30名	
7/12(土)	相双建設事務所へ砂鉄採取完了届け送付。	1	10/12(日)	羽口製作。	1
7/29(火)	鉄づくりチラシ作成。	1	10/15(水)	作業場清掃。	2
7/30(水)	鉄づくりチラシ作成終了。	1	10/17(金)	プレ操業結果報告作成。	1
8/4(月)	福島市藤安将平刀匠宅へ伺い、割田B遺跡からの粘土での実験を依頼する。	1	10/19(日)	踏み板補強。	1
8/8(金)	鉄づくりチラシ発議作成。	1	10/20(月)	藤安将平刀匠宅に伺い、本番に向けた打ち合わせを行う。	1
8/12(火)	砂鉄選別作業の準備	1	10/21(火)	炉構築のための準備作業再開。作業場空焚き開始。	3
8/13(水)	鉄づくり準備作業「砂鉄選別」初日。参加者70名	4		炉壁用粘土捏ね開始。	4
8/14(木)	鉄づくり準備作業「砂鉄選別」2日目。参加者35名	4	10/22(水)	イベント用資料作成。	1
9/2(火)	鹿島町の発掘現場に粘土採取に行く。白河-鹿島1日～9/3(水)	2	10/22(水)	作業場空焚き2日目。	3
9/4(木)	復元炉資料完成。	1		炉壁用粘土捏ね2日目	4
9/6(土)	操業に関する資料作成開始。	1	10/23(木)	イベント用資料作成。	1
9/9(火)	操業に関する資料作成。	1	10/23(木)	基礎構造焼成1日目。	3
9/10(水)	操業に関する資料完成。	1		炉壁用粘土捏ね3日目。	5
9/11(木)	復元炉の設計図作成。	1	10/24(金)	イベント用資料作成。	1
9/12(金)	粘土につなぎとして入れるワラ切りを行う。	4		岩手より松炭到着。	2
	羽口試作する。	2	10/24(金)	基礎構造焼成2日目。	2
	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」のパネル作成。	1		ふいご用ウマ製作1日目	2
9/13(土)	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」の初日参加者33名	6	10/25(土)	炉壁用粘土捏ね4日目。	2
9/14(日)	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」の2日目。参加者28名	6		イベント用資料作成。	1
9/15(月)	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」の3日目。参加者14名	6	10/26(日)	風箱作成。	2
9/17(水)	鉄づくりに伴う火災等発生届についての打ち合わせのため消防署へ伺う。	2	10/26(日)	ふいご用ウマ製作2日目。	3
9/19(金)	鉄づくり準備作業「木炭小割作業」のパネル作成	1	10/27(月)	送風管設置。	7
9/20(土)	鉄づくり準備作業「木炭小割作業」初日。参加者5名	3	10/27(月)	イベント用資料作成。	1
9/21(日)	復元炉設計図作成	1	10/28(火)	炉構築開始。	4
9/25(木)	消防署へ火災等の届け提出。	2	10/29(水)	木炭小割作業開始。	3
	羽口づくり開始。	2		炉実測。炉乾燥開始。	3
	復元炉設計図完成。	1		木炭小割作業2日目。	3
9/26(金)	踏みふいご設計図作成。	1		炉壁用粘土捏ね5日目。	2
	踏みふいご製作開始。	1		H14年度研究復元展示準備。	1
			11/1(土)	炉構築2日目。	4
			～11/2(日)	木呂羽口設置。	4
			11/6(木)	炉壁用粘土捏ね6日目。	4
			11/7(金)	炉構築3日目。	5
			11/11(火)	イベントの準備作業	9
			11/14(金)	まほろんイベント「鉄づくり」。参加者305名	
			11/18(火)	上屋解体・撤去片づけ。塩ビパイプ除去。	4
			11/19(水)	資材および資材搬入口片づけ。	2
			11/20(木)	イベント資料片づけ。	1
				福島市藤安将平刀匠宅へ、送風機返却。	1
				復元炉上屋再構築開始。	4
				復元炉上屋構築2日目。下段部分に屋根架かる。	3
				復元炉上屋構築3日目。屋根架か終了。	2
				延べ人数合計 259人 *人数は、準備作業を行ったまほろん職員数を示す。	

羽口の芯棒には直径 30mm の丸材を使用した。これを 1 本 27 cm の長さとし、これに 20 cm のところに印を付け、長さ 20 cm、内径 30 mm の羽口を基準とした。芯棒に粘土を巻き付け、キリタンポのようにして製作した結果、芯棒に粘土が密着し、芯棒が抜けない状況となった。このため、最初に粘土を板状にのばし、この板状の粘土の内面に水を付け、さらに芯棒にも、粘土を水で緩く溶いた液を塗りつけ、この状態で芯棒に粘土を巻き付けた。この結果、芯棒は比較的簡単に抜けるようになり、芯棒を抜き取る際の羽口自体の破損率が下がった。しかしながら、それでも芯棒が抜けにくい場合も時にはあった。

出土遺物の羽口内面を観察すると、比較的多めに水分を含んだ状態で、芯棒を回転して抜いている状況が観察できる。このため、おそらく今回のような状況で、製作していたものと推測できる。また、吸気部先端のラッパ状の開き具合であるが、これについては、来館者に製作してもらった関係上、非常にまちまちであった。ただ、使用に際しては、大きく開くものと、開きがなく直線を呈するものでは、さほどの支障はなく、内径さえ合致していれば、使用に耐え得るものであった。これは、相馬市山田 A 遺跡で出土した 9 本の羽口が装着された炉壁での羽口吸気部の特徴と合致している(小暮 1997)。

乾燥後、電気炉で焼成し、約 2 割弱収縮した。プレ操業の時には、片側 8 本の羽口の内、原町粘土で製作した羽口 4 本と、大信粘土で製作した 4 本を装着した。そして、ノロ出し側には原町粘土の羽口、ふいご側には大信粘土の羽口を並べ、これらが相対するようにした。プレ操業の失敗後、全ての羽口を大信粘土で製作し、操業に臨んだ。来館者に製作して頂いた羽口は木呂羽口として使用した。

・炉壁の粘土ブロックづくり

前述の羽口づくりと平行して、炉の構築に使用する粘土ブロックづくりも行った。粘土は、原町粘土と大信粘土を使用し、スサ入りと砂入りの 2 種類用意した。スサは重量の 3%、砂は 30% 混入した。当初、スサ入り 1.5 kg と砂入り 1.5 kg を合わせて 3 kg とし、幅 20 × 厚 10 × 長 20 cm の直方体の粘土ブロックを作った。この大きさは、羽口の長さから推定したものであったが、実際に製作してみると、この重さと大きさでは、1 個の粘土ブロックを製作するのままならず、最終的には幅 10 × 厚 10 × 長 20 cm 程の直方体の粘土ブロックとなり、これを 2 個



写真5 羽口づくり

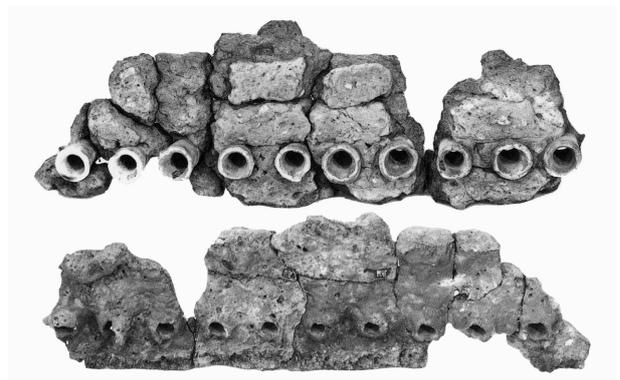


写真6 山田 A 遺跡出土炉壁装着羽口

(小暮 1997 より転載)

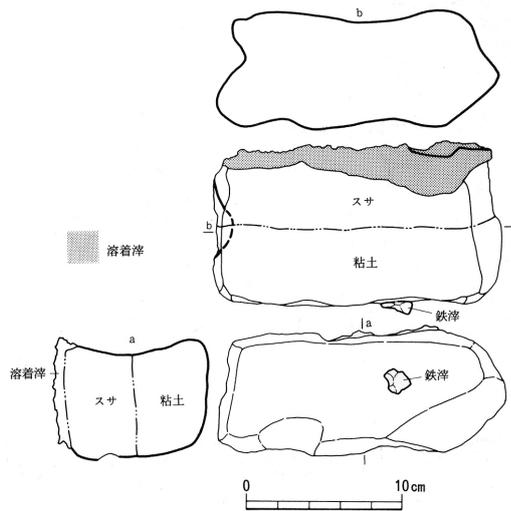


図7 猪倉A遺跡出土炉壁

(吉田 1996 より転載) ・木炭小割 (平成 15 年 9 月 20 ～ 21 日実施 : 9/20 5 人

参加 9/21 12 人参加 ・藤安将平刀匠指導)

木炭は、ナタ等を使用して長さ 10 cm ほどに小割した。プレ操業では、栃木県那須郡塩原村産のクヌギ・コナラを使用した。 「鉄づくり」 イベントの際は、当初岩手県産のマツを使用し、その後、一時期クヌギ・コナラに切り替えた。 炉に投入する場合の木炭の大きさは、これよりやや小さめなのが良いように思われたが、実際の製鉄遺構から確認された木炭は 5 cm 程度であるので、これに比べると異様に大きいものである。

・プレ操業結果 (平成 15 年 10 月 11 ・ 12 日実施)

「鉄づくり」 イベントの予備実験として、プレ操業を実施した。前日の 10 月 11 日までに炉や送風装置等が全て構築され、同日夕方から炉を乾燥させるためのマキによる燃焼を炉の内外で行った。強制燃焼は一晩中行き、12 日未明に終了した。12 日午前 11 時より操業を開始した。今回の予備実験操業は初めての経験であったため、送風の状態確認や、砂鉄からの鉄づくりを肌で感じることを念頭において行った。

操業の経過や結果は表 3 に示したが、送風開始直後から風漏れが生じ、炉内温度が上がらず、ノロも形成されなかった。これらの失敗要因は、主として羽口にあると思われる。炉に装着した羽口角度は 15° としたが、この角度は、復元した大船迫 A 遺跡 15 号製鉄炉から出土した羽口の角度と同様のものである。この角度だと、羽口からの送風は、炉底よりやや上がった壁面付近に当たる。このため、炉底よりやや上方 (約 8 cm) で、炉の両側からの送風が交差する。失敗要因の一つが、

並列して、炉を構築することとなった。

なお、この大きさは、図 7 に示した相馬市猪倉 A 遺跡から出土した炉壁ブロック 1 個の大きさとほぼ一致している。ただ、今回のように粘土ブロックを 2 個並列して炉壁を構成している事例は確認できていないため、当時の炉の構築、特に操業前の炉壁厚に関しては、さらなる検討が必要である。

プレ操業では、炉の 1/3 程の上方部分のみ原町粘土のブロックを使用し、下位の 2/3 程の部分には大信粘土のブロックを使用し、炉を構築した。「鉄づくり」 イベントの際は、全てを大信粘土で構築している。



写真7 プレ操業時の羽口設置状況

表3 プレ操業結果報告 (砂鉄・木炭投入時間一覧表：平成15年10月12日実施)

回数	投入時間	量(kg)	回数	投入時間	量(kg)
			炉満タン	11:05	28
			1	11:25	7.8
			2	11:38	8.9
1	12:02	2.0	3	11:53	8.6
2	12:14	1.6	4	12:15	4.5
3	12:35	2.1	5	12:35	5.9
4	12:53	2.7	6	12:55	5.9
5	13:14	2.5	7	13:15	4.3
6	13:25	2.7	8	13:27	4.6
7	13:45	4.1	9	13:45	3.8
8	14:02	2.7	10	14:00	3.6
9	14:15	2.7	11	14:15	5.8
10	14:25	2.7	12	14:27	5.8
計	2時間22分	25.8	計	3時間2分	97.5

【操業の状況】

11:05 炉内に木炭を充填する。踏みふいご送風開始。
 11:10 ごろ 風箱から空気が漏れるため、粘土を充填する。
 11:25 木炭投入開始
 11:38 炎が上がりすぎるため、踏む速度をゆっくり目とする。
 12:02 砂鉄投入開始
 12:35 村下温度が上がらず反応が遅いと言いつす。
 12:43 踏みふいご重くなる。機械送風開始。
 13:31 ノロ出し穴確認。ノロ出ず。すぐに閉める。
 13:37 機械送風停止。踏みふいご再開。
 13:40 ふいご踏み5人体制に。
 炉内の温度が上がらない。
 オレンジ色の炎にならない。
 14:05 機械送風と踏みふいご
 同時送風開始。炉内温度が上がらない。
 14:40 西側木呂羽口取り外し。
 炉内状況確認。ノロで羽口が詰まっている。
 15:00 送風停止。

【状況の推測】

- 送風開始とともに風箱から空気が漏れた。
→羽口が熱で溶けて詰まってしまった。
- 炉内の温度が上がらない。
→羽口からの送風ができなかったため。
- オレンジ色の炎が炉の北側(ふいご側)のみであった。
→大信村の粘土で製作した羽口のみつまらなかった。
- ノロがでない。
→ノロ出し側の温度が下がり、ノロで詰まってしまった。

その他

- 風箱内の弁・栓ともに有効に機能した。
- 踏みふいごの枠・踏み板とも大人7人でも耐久した。
- 送風管で使用した塩ビ管・風箱が燃えることはなかった。
→弁が有効に機能した結果。

投入木炭量：97.5kg
 投入砂鉄量：25.8kg
 採取鉄量：微量

このようにした羽口の装着角度と炉底付近の壁面角度の不一致ではないかと考えたため、「鉄づくり」イベントでは、炉に装着する羽口角度を35°とし、送風の交差点が炉底になるように配慮した。

また、原町粘土で製作した羽口は、炉の強制乾燥の時点で、すでに熱により先端が閉塞していた。このため、操業時には、送風ができず、風漏れが起き、必然的に炉内温度が上昇しなかった。逆に、大信粘土で製作した羽口は、最後まで送風が可能であった。このことから、イベント本番では、羽口および炉壁ブロックには大信粘土を使用することとした。

ただ、平安時代の製鉄炉出土の羽口では、この15°あるいは10°未満で炉壁に羽口を装着している。さらに、製鉄遺跡では、粘土採掘坑から採取した粘土を使用して製鉄炉や羽口等を構築・製作していたと考えられている。しかしながら、このように実際に行った実験とのギャップからは、遺跡出土の羽口角度測定の見直しや、あるいは浅い角度でも操業可能な方法の模索、あるいは粘土の吟味等、数多くの問題が浮き彫りになった。今後、これらの問題の一つ一つを、実験を行いながら検討していかなければならない。

この他、手作りの送風装置は非常に良好であり、風箱に設置した弁も有効に機能していたことが今回の実験で判明した。炉内温度を上げるために、イベント本番ではマツ炭を使用することなどを確認してプレ操業が終了した。

3)「鉄づくり」イベント

「鉄づくり」イベントの操業状態は、表4及び図8～10に示した。炉内の温度変化や炉周囲の温湿度等については、別項の佐藤健二氏の「まほろん1号炉における操業条件」を参照頂きたい。また、各種分析についても、別項を参照頂きたい。

以下、炉の構築から操業の結果で、気付いたことを列記していく。

(1) 炉構築時において

・炉壁の粘土ブロックについて

炉を構築する粘土ブロックは、直方体状のブロック同士を付けようとする、必然的にブロック側面は、片側が凹み、片側が凸状になる。さらに、上方から叩くため、ブロックの下位が弧状を呈するようになる。この形態は、まさに図7に示した猪倉A遺跡の事例と同様なものであり、当初から意識して形状を整えたものではないと思われた^(註3)。

・基礎構造について

基礎構造は、炉下部の乾燥の他、炉壁の倒壊を防ぐための土台作りもかねていると思われる。内部でマキを焚き、これが燃えている状態で叩き締めるが、木炭（あるいはオキ）の状態では、どうしても締まっていけない。このため、火に土などを被せて叩き締めたが、この方法だと非常に堅固なものになる。したがって、基礎構造構築時は、土などを被せて叩き締めた可能性が考えられる。（輻射熱を防ぐためにも土をかぶせるのではないだろうか。調査事例の中でも、基礎構造堆積土中は木炭混じりの土砂が多い。）。

・炉と送付装置の掘削順序について

炉と送風装置の掘削順序は、踏みふいご掘形→送風溝→基礎構造の順番が考えられる。まず、ふいご掘形を掘って送風孔からの風の通り道を確認した後に、送風溝を掘削する。その後に基



写真8 砂鉄投入のようす



写真9 操業のようす

表4 まほろんイベント「鉄づくり」操業の状況

時 間	状 況	時 間	状 況
10時45分ごろ	舞いざりて火をおこす。	18時42分	8回目ノロ出し（ノロ量：8.7k g）
10時52分	火入れ	19時29分	炉東側中間付近、ひび割れ発生。粘土で補修する。
10時56分	炉内に木炭を充填する。踏みふいご送風開始。	19時42分	9回目ノロ出し（ノロ量：2.15k g） ノロの粘性が上がり、炉内のケラが下方に下がり始める。
11時20分ごろ	炉内の温度の上昇が早い。炉内温度1,400℃になる。	19時53分	ノロ出し溝を掘り下げる。
11時23分	炉上部に縦方向の亀裂3カ所に入る。	20時40分	ノロ出し穴付近ひび割れ発生。粘土で補修する。
11時31分	炉の上部を番線で締める。	20時45分	10回目ノロ出し（ノロ量：1.55k g） ノロが少ししか出ない。
11時39分	砂鉄投入開始	21時35分	ノロ出し溝、掘り下げる。
11時43分	炉の炎色：下方 紫色 上方 オレンジ色。	21時40分ごろ	11回目ノロ出し（ノロ量：1.3k g） ケラさらに下方に沈み、下部構造を構成するカーボンペットの細炭がノロ穴から出る。
11時48分	炉下部より炎が漏れるため、修復する。炉の膨張止まる。	21時50分ごろ	木炭をマツ炭のみに変更し、ふいごを踏むペースを上げ、炉内の反応を促進させようとする。
12時20分	1回目ノロ出し。僅かに出るのみ。 炉西側送風漏れ始めるため、粘土により補修する。	22時00分ごろ	炉西側補修。 操業炉周辺深い霧（煙：一酸化炭素か？）に覆われ、上空には満天の星空が見えるようになる。
12時38分	村下、炎を見て“鉄できている”と発言。	20時20分ごろ	炉から上がる炎の色が、炉の中央から北側がオレンジ色、南側が青紫色になり、一定しない状況となる。
12時45分	2回目ノロ出し（ノロ量：3.95k g 1回目と合算）	22時30分ごろ	木炭の投入間隔、従来の10分おきから20分おきになる。
12時58分	炉内温度やや下がる。羽口付近1,300℃。上部980℃。	23時15分	12回目ノロ出し（ノロ量：0k g） ノロが出ず、口をふさぐ。炉内で鉄が燃えている状況（火花がバチバチと飛んでいる）が確認される。
13時03分	炉内温度やや上がる。羽口付近1,340℃。上部990℃。	0時05分ごろ	木呂羽口より、風漏れ著しい。粘土を充填して補修する。
13時10分	中のようなすを見るためノロ出し穴を開けるが、すぐに閉じる。	0時10分	砂鉄の投入を従来通り（木炭投入と同時に砂鉄投入）に戻す。
13時59分	3回目ノロ出し（ノロ量：8.7k g）	0時20分ごろ	羽口付近の炉内温度下がりがだし、炉上部の温度上がり出す。これ以降、炉上下の温度差が縮まる。
14時10分	炉内順調に反応している。村下より“順調”宣言。	1時10分ごろ	木呂羽口より風漏れ。粘土で補修する。
14時51分	4回目ノロ出し（ノロ量：11.55k g） ノロが溶岩のように流れ出る。	1時30分ごろ	踏み輪の短辺両側で大量の風漏れ。粘土で応急措置する。
15時25分	炉の上方および東側にヒビが認められる。 粘土により補修。	1時46分	13回目ノロ出し（ノロ量：0k g） ノロが全く出ない。
15時29分	炉の補修続く。炉内温度下がり始める。	2時00分ごろ	炉内温度羽口付近は下がり、上方は上がる。
15時40分	炉内温度下がったまま。粘土による補修継続。	2時10分ごろ	炉中央部に柵が確認される。（棒で炉内を突くと、中央付近で堅いものに当たり止まってしまう。）
15時45分	5回目のノロ出し（ノロ量：6.9k g） 少しノロの出が悪い。	2時32分	“蛍の光”のBGMに合わせ、送風停止。
15時50分	炉の補修続く。	投入木炭量：279.1k g	
16時14分	6回目ノロ出し（ノロ量：11.55k g） 炉の補修終了。 炉内の温度上がり始める。	投入砂鉄量：132.3k g	
16時20分ごろ	炉の反応が早いので、イベント終了が早まる 危機感が発生。延命策として投入砂鉄量を減らし、炉内温度を維持する操業に移行する。 以後、砂鉄は木炭投入3回に1回の割りに減らす。（今まで10分おきに砂鉄を投入していたものが、30分おきとなる）。	採取鉄量：34.0k g	
17時42分	7回目ノロ出し（ノロ量：3.85k g） ノロ出し穴より火花飛び散り、鉄ができていく状況が確認できる。 番子に“鉄が育っている”との説明をする。	ノロ量：60.2k g	
18時30分ごろ	木炭をマツ1：クヌギ・コナラ1とし、少しでも操業が延命するようにする。		

表5 「鉄づくり」イベント砂鉄・木炭投入一覧

【砂鉄・大信村採取】					【木炭・マツ主】					【砂鉄・大信村採取】					【木炭・マツ主】					
回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)	ノロ出し時間	ノロの量(kg)	回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)	回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)	ノロ出し時間	ノロの量(kg)	回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)	
						※2	10:56	21.4	21.4	33	20:10	2.8	107.1			38	17:40	3.6	163.7	
						1	11:10	6.3	27.7	34	20:41	2.5	109.6	20:40	⑩1.55	39	17:50	3.6	167.3	
						2	11:17	4.4	32.1	35	21:21	2.7	112.3	21:35	⑪1.3	40	18:00	3.6	170.9	
						3	11:25	5.1	37.2	36	22:03	2.3	114.6			41	18:09	3.6	174.5	
						4	11:33	3.2	40.4	37	22:51	3.0	117.6			42	18:20	3.6	178.1	
						5	11:37	2.8	43.2	38	23:36	2.4	120.0	23:15	⑫0	43	18:30	3.6	181.7	マ1.8ク1.8
1	11:39	3.5	3.5			6	11:44	2.8	46	39	0:15	2.5	122.5			44	18:40	3.6	185.3	マ1.8ク1.8
2	11:46	3.8	7.3			7	11:48	3.6	49.6	40	0:35	2.4	124.9			45	18:48	3.6	188.9	マ1.8ク1.8
3	11:54	3.8	11.1			8	11:56	4.6	54.2	41	0:50	2.5	127.4			46	18:55	3.6	192.5	マ1.8ク1.8
4	12:04	4.1	15.2	12:20	①	9	12:06	3.5	57.7	42	1:13	2.3	129.7			47	19:05	3.6	196.1	マ1.8ク1.8
5	12:14	3.6	18.8			10	12:09	1.6	59.3	43	1:31	2.6	132.3	1:46	⑬0	48	19:14	3.6	199.7	マ1.8ク1.8
6	12:22	3.5	22.3			11	12:15	4.6	63.9		2:32	送風停止				49	19:21	3.6	203.3	マ1.8ク1.8
7	12:35	3.5	25.8			12	12:25	4.6	68.5	計	14時間	132.3			60.20	50	19:28	3.6	206.9	マ1.8ク1.8
8	12:43	3.5	29.3	12:45	②3.95 ※1	13	12:37	4.6	73.1		10分					51	19:37	3.6	210.5	マ1.8ク1.8
9	12:50	3.5	32.8			14	12:45	3.5	76.6	※1 (1回目合算) ※2 炉満タン					52	19:45	3.6	214.1	マ1.8ク1.8	
10	13:01	3.5	36.3			15	12:53	3.4	80						53	19:51	3.6	217.7	マ1.8ク1.8	
11	13:12	3.5	39.8			16	13:04	3.6	83.6	54	20:00	5.4	223.1	マ1.8ク3.6						
12	13:24	3.5	43.3			17	13:13	3.6	87.2	55	20:13	3.6	226.7	マ1.8ク1.8						
13	13:40	3.5	46.8			18	13:26	4.5	91.7	56	20:24	3.6	230.3	マ1.8ク1.8						
14	13:50	3.6	50.4	13:59	③8.7	19	13:42	3.6	95.3	57	20:40	5.4	235.7	マ1.8ク3.6						
15	14:04	3.5	53.9			20	13:53	3.6	98.9	58	21:00	5.4	241.1	マ1.8ク3.6						
16	14:16	3.7	57.6			21	14:05	3.6	102.5	59	21:12	3.6	244.7	マ1.8ク1.8						
17	14:33	2.9	60.5			22	14:18	3.6	106.1	60	21:24	3.6	248.3	マ1.8ク1.8						
18	14:44	3.0	63.5	14:51	④11:55	23	14:34	3.6	109.7	61	21:44	3.5	251.8							
19	14:55	2.9	66.4			24	14:45	3.6	113.3	62	21:58	2.1	253.9							
20	15:13	3.0	69.4			25	15:00	3.6	116.9	63	22:03	3.6	257.5							
21	15:25	3.0	72.4			26	15:15	3.6	120.5	64	22:15	3.6	261.1							
22	15:40	2.9	75.3	15:45	⑤6.9	27	15:28	3.6	124.1	65	22:35	3.6	264.7							
23	15:56	2.9	78.2			28	15:45	3.6	127.7	66	22:52	3.6	268.3							
24	16:11	3.1	81.3	16:14	⑥11:55	29	15:59	3.6	131.3	67	23:14	3.6	271.9							
25	16:35	2.8	84.1			30	16:12	2.6	133.9	68	23:56	3.6	275.5							
26	17:00	2.8	86.9			31	16:28	3.6	137.5	69	0:10	3.6	279.1							
27	17:40	3.0	89.9	17:42	⑦3.85	32	16:39	3.6	141.1	70	0:35	3.6	282.7							
28	18:07	2.6	92.5			33	16:49	3.6	144.7	71	0:48	3.6	286.3							
29	18:48	2.9	95.4	18:42	⑧8.7	34	16:59	3.6	148.3	72	1:12	3.6	289.9							
30	19:12	2.9	98.3			35	17:09	3.6	151.9	73	1:32	3.6	293.5							
31	19:25	3.0	101.3			36	17:21	4.6	156.5	計	15時間	293.5								
32	19:40	3.0	104.3	19:42	⑨2.15	37	17:33	3.6	160.1		34分									

礎構造部分を、送風溝の間に設置・掘削するものと思われる。これが逆だと、基礎構造の上端と送風溝の底面、さらに送風溝の底面と踏みふいご掘形送風孔の底面の接続が非常にむずかしい。したがって、送風溝の底面レベルが解れば、羽口の設置位置がある程度推測できることになる。

なお、送風溝の構成素材であるが、素掘りのトンネルとは考えられず、なんらかの芯材があったものと思われる。芯材は竹等では強度が弱いため、丸太材を半裁して中を削りぬいたようなものが考えられる。調査事例で送風溝が緩やかに湾曲するのも、この芯材との関連があるかもしれない。今後の調査事例に期待したい。

(2) 操業の結果

- ・砂鉄・木炭の投入量と、産出鉄の重量・排滓量

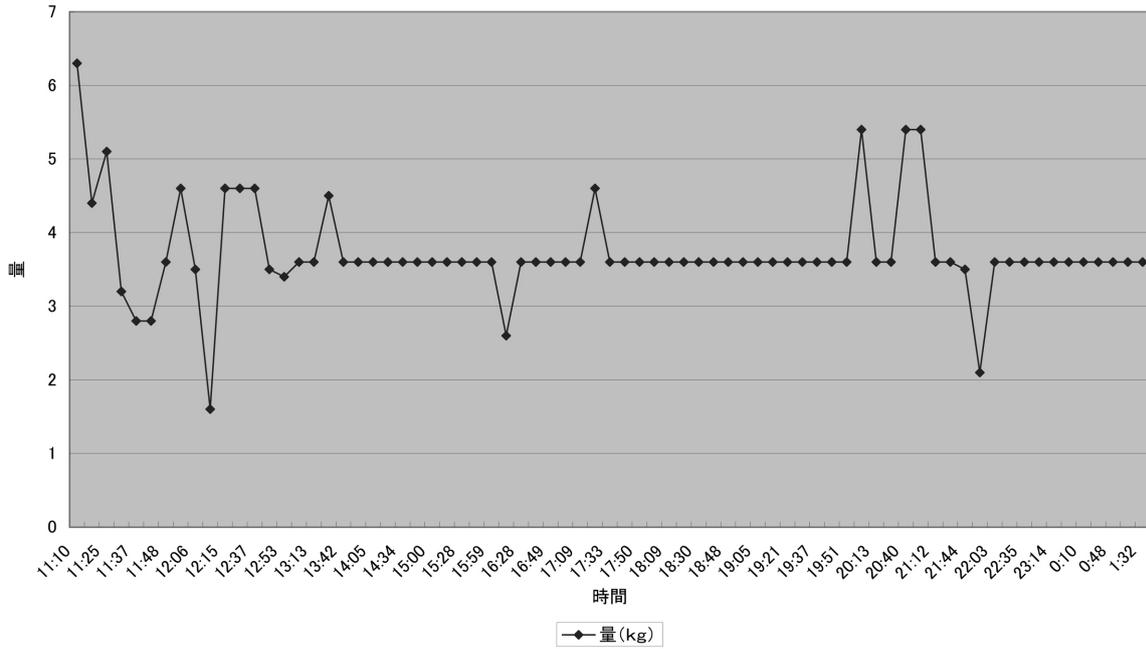


図9 木炭投入量 (kg)

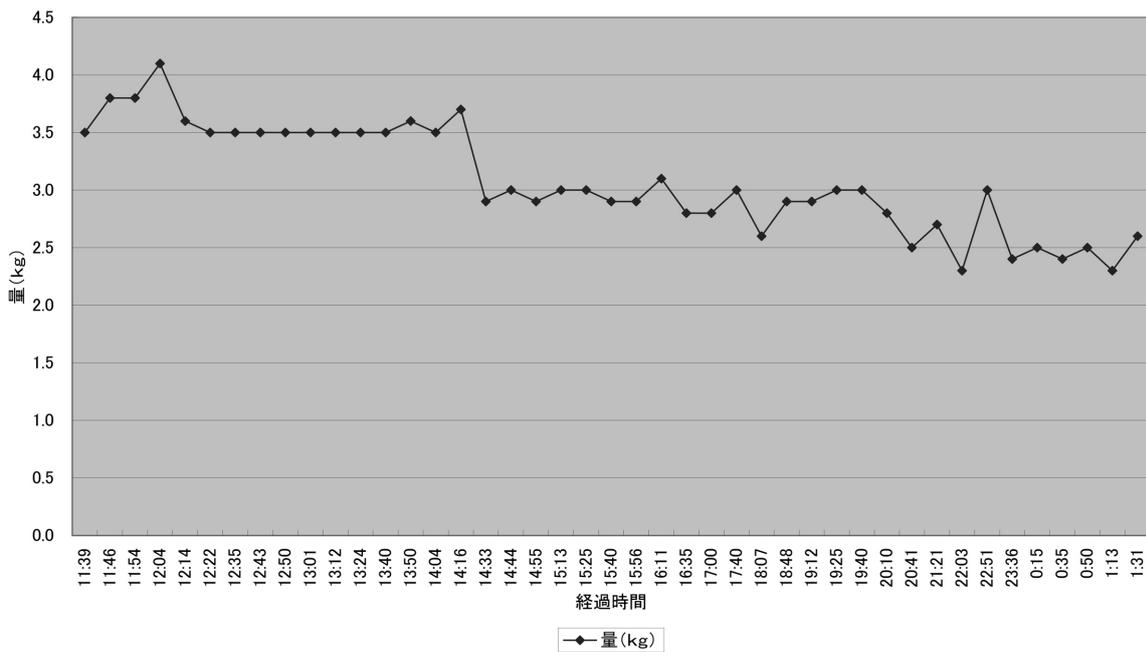


図10 砂鉄投入量一覧

砂鉄投入量 : 132.3kg

木炭投入量 : 279.1kg

産 出 鉄 : 34.0kg (写真 11・図 12 参照 : 長さ 82 cm、幅 31 cm、厚さ 7 ~ 11 cm)

鉄 滓 量 : 流出滓 60.2kg

炉内滓 1.8kg

含鉄鉄滓 2.0kg (鉄塊と鉄滓が混じり合ったもの。ハンマーで叩くと鉄と分かれる。)

* 砂鉄と木炭の投入割合が 1 : 2 であるのは、炉材の浸食から操業終了が早まる危惧が生じ、イベントの継続維持のため砂鉄の投入回数を減らしたからである。図 8 中の砂鉄の投入ラインが午後 4 時ごろから穏やかであるのは、このためである。

この結果、炉内では羽口直上の温度が下がり、生成された鉄は基礎構造まで沈降し、炉の最下位部と羽口上方の 2 箇所に温度の高い状況が発生した。砂鉄の反応は羽口の上方に移り、これによりいわゆる棚吊りが生じたが、ノロはほとんど形成されなかった。

・ 炉の状態

操業後、すぐに炉の解体をおこなった。このため、解体の記録は簡単な写真撮影のみである。

図 11 及び写真 10 に炉の横断面を示した。炉壁の浸食が羽口のかなり上方まで及んでいるのは、棚吊りの結果と思われる。

砂鉄の反応は、炉頂部から 35 cm 下がった部分からみられ、炉壁にノロが付着するのは、炉頂から 55 cm ほど下がったところ（羽口からは 30 cm ほど上方）からである。

解体後、ノロが付着した炉壁はやや現状を保っているが、これ以外の部分の炉壁は、風雨等にさらされ、風化し土壌化している。

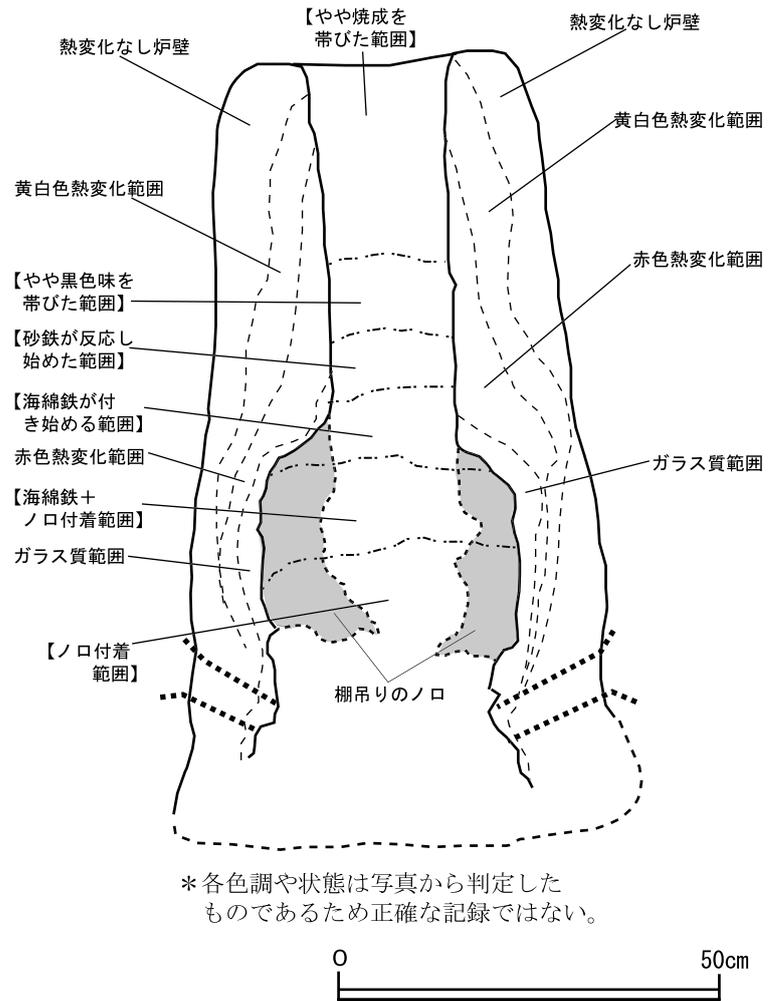


図 11 操業後の炉



写真 10 炉解体のようす

このことは、遺跡で出土する炉壁も同様の傾向を有することが伺え、製鉄炉の炉頂部付近の炉壁が確認しづらいことを物語っている。

・炉材粘土

今回の製鉄炉の操業では、大信村産の粘土を使用した。製鉄炉の操業においては、炉材粘土が最も重要であり、砂鉄と相性のよい粘土選択が、非常に大切なことであることが知られた。古代の製鉄炉の立地条件の中で、砂鉄が採取でき、木炭となる雑木林があることなどがよく挙げられているが、最も肝要なことは、炉材の粘土選択であると思われる。

しかも、その粘土は、砂鉄が反応する際、溶出しなかつ送風の羽口の口を塞がないものでなくてはならない。このため、砂鉄と相性のよい粘土が採取できる場所に、製鉄炉が立地しているとも推定できる。

・炉内滓の少なさ

鉄滓は基本的に流出滓であり、炉内に堆積したいわゆる炉内滓は、生成されたケラの上部に貼り付いていたものであり、ハンマー等で叩くと壊れ、はがれたものであった。生成鉄と滓が複雑に絡み合った含鉄鉄滓も僅かだが認められた。これらは、明確に鉄とノロが分離できなかったものであり、炉外に流出できなかったものと判断している。

製鉄遺跡から確認される炉内滓と呼ばれるような鉄滓は、確認できなかったし、その量は非常に少ない。このことは、炉内滓の生成プロセスや、そもそも炉内滓とは何なのかという新たな問題を提示しているのではないだろうか。

・いわゆる炉底塊・炉底滓とは？

今回の操業において、炉底に認められたのは、生成物であるケラであった。ケラの特徴

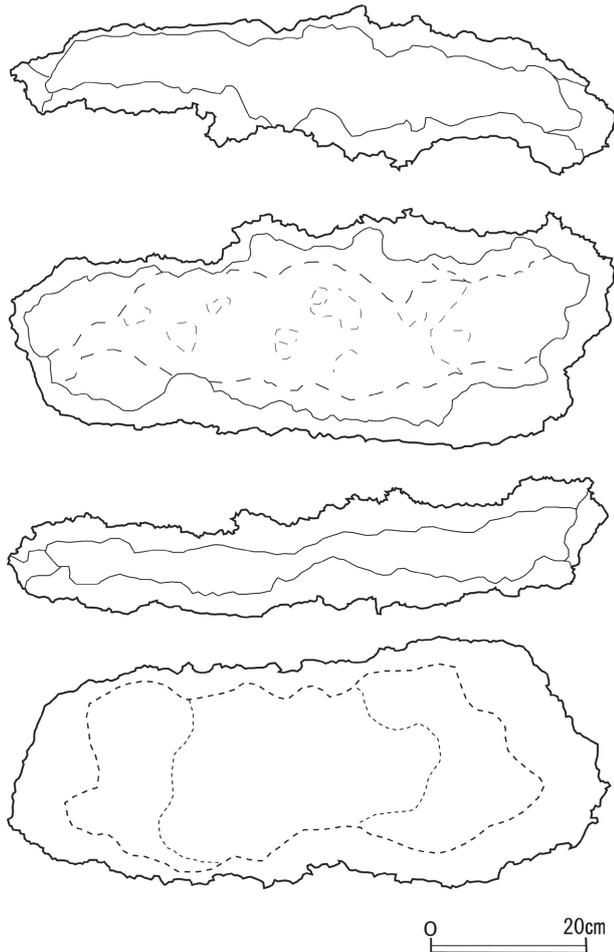


図 12 生成されたケラ

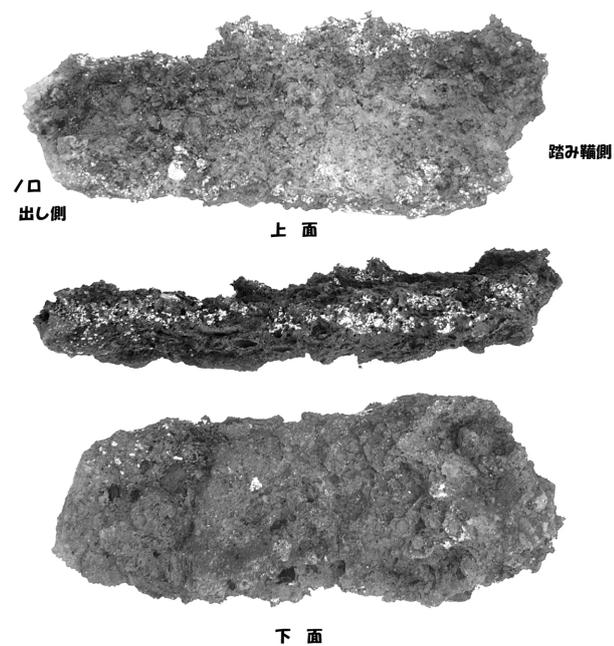


写真 11 生成された鉄塊（ケラ）

は写真 11 や図 12 に示したが、これの底面の状態は、調査事例に見られるような、いわゆる炉底塊・炉底滓とは明らかに異なっているし、整合性は認められない。遺跡出土の炉底塊・炉底滓の見直しが必須であり、さらに、古代の製鉄操業、すなわち生成物の捉え方も検討していかなければならない。

5 分析結果

分析についてはほとんど素人であるので誤謬があろうが、気付いたことを記述する。今回の操業に伴う各種試料の分析は、別項を参照頂きたい。

砂鉄と鉄滓の成分分析の中での $TiO_2/T.Fe$ の割合は、砂鉄が 0.19 であったのが、ノロ出し 4 回目の鉄滓では 0.25、7 回目の鉄滓では 0.27 と増加し、7 回目の方が値が高い。このことは、操業がある程度順調に推移し、砂鉄中のチタンが濃縮除去できたことを意味する。鉄生成率は 3 割弱であったが^(註4)、偶然にもこの割合は 15 号製鉄炉の鉄生成率に類似している^(註5)。

生成した鉄塊の炭素濃度は、0.2～0.3%（川鉄テクノリサーチ㈱では、鉄塊上部 0.17%、同下部 0.12%）と非常に低く、軟鋼であった。

また、送風量が多かったため炭素濃度が低かった可能性が考えられているが、これは、踏みふいごの大きさに対し、炉の規模が小さかったことに起因する。逆に言えば、踏みふいごの規模と炉の大きさには相関関係があり、当然装着する羽口の本数やその設置間隔まで、当時の工人たちの経験値により決定されていたものと推測される。

最後に、製鉄遺跡調査時での分析では、今後以下の点に留意していただきたいと思う。

◎製鉄炉の操業は 1 回ごとに異なるため、極力 1 回の操業が理解できるような分析資料を抽出することが肝要である。具体的には、砂鉄・生成された鉄塊・鉄滓・炉壁や羽口からの粘土・木炭が、全て 1 回の操業での原材料や生成物と判断できる試料を分析することである。ある炉から鉄滓、別の炉から鉄塊、またある別の炉から羽口等の試料を抽出するのでは、本当の意味での炉の性格付けはできず、具体的復元は非常に困難なものになる。

また、鉄塊はピュアなメタル面を供出し、炭素濃度の測定を行い、少しでも古代の製鉄工人が目指した鉄の種類が、いかなるものであったのかを探る手がかりとすべきである。鉄の種類による炉形の形態変化及びその変遷が必須であり、これを新たに加えることで古代の製鉄技術の変遷が、もう少し明確に把握できるのではないかと考えている。

6 まとめ

今回行ったまほろん 1 号炉の操業は、平安時代の製鉄炉をできうる限り復元し、砂鉄から鉄を産出する目的で実施したもののだが、これは半ば成功したと言える。ただ、今回産出されたような鉄を、当時の工人たちも作っていたのかと問われると、操業は完全な失敗と言わざるを得ない。操業の質、生成物の質が根本的に違っている。

すなわち、今回のような炭素量 0.12～0.3%の鉄塊（ケラ）は、タガネを入れても柔らかすぎて容易に砕けないため、割れないのである。平安時代の工人たちが産出していたのは小割

りできる鉄、次の作業工程に移行できる鉄であったはずである。それは、今回のような“炭素量の低い鉄のかたまり”ではなく、炭素量の高い鉄、すなわち銑鉄ではなかったのかと思われる。次回は、これを目的とした研究復元事業、すなわち復元炉の操業を行いたいと思う。

最後になりましたが、今回の操業に際してご指導くださった藤安将平刀匠並びに以下に名前を記した個人の方々や機関、さらにはお手伝いいただいた多くのみなさまに厚く感謝申し上げます。多くなる感動をありがとうございました。

<今回の鉄づくりでお世話になった方々と機関>

砂鉄の入手：星 秀夫（大信村） 相馬港湾建設事務所 相双建設事務所

木炭の入手：菊池 良一郎 星 忠夫（栃木県那須郡塩原村）

粘土の入手：福島県文化振興事業団遺跡調査部原町火力発電所関連遺跡発掘調査班のみなさんと
作業員の方々

有賀 一久（西郷村） 山内 義雄（白河市）

鉄づくりに関する様々な画像データ：熊本県立装飾古墳館 池田 朋生 長谷部 善一

実験炉に関するデータ：平間 亮輔

操業に関すること：星 秀夫 國島 将永 有賀 一久

佐藤 健二（温度測定）

平井 昭司 岡原 正明（各種分析）

<参考・引用文献>

国井秀紀 1995 「第2編大船迫A遺跡第4章第1節15号製鉄炉」『原町発電所関連遺跡発掘調査報告書V』 福島県文化財調査報告書第310集

小暮伸之 1997 「第2編山田A遺跡」『相馬開発関連遺跡調査報告V 本文2』 福島県文化財調査報告書第333集

（註1） 吉田秀享 2006 『まほろん1号炉の操業について—福島県原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉復元操業—』「前近代製鉄実験」研究グループ第5回例会予稿集「鉄の歴史—その技術と文化—」フォーラム編（社）日本鉄鋼協会 社会鉄鋼工学部会

（註2） 依 国一 1933 『古来の砂鉄製錬法』丸善の「第5章銑押し」によると、和銑製造の場合、ノロを作り出すため、砂鉄挿入の最初の2回目までは、砂鉄を精洗した時の洗い滓を投入するとある。おそらく、この洗い滓が、比重選鉱によって流れ出たこのような白い砂であり、これを使用して銑押し操業が行われたのではないだろうか。

（註3） 吉田秀享 1996 「第2編 猪倉A遺跡」『相馬開発関連遺跡調査報告IV 本文2』 福島県文化財調査報告書第326集の第4章まとめにおいて、「炉壁を構築する際には、ホゾとホゾ穴を組み合わせるような構築方法が採用されていることが推測された。」としたが、実際に構築すると前述のようにブロックが変形する。

（註4） 鉄生成率に関しては、以下の福田豊彦氏の論に準拠している。

福田豊彦他 1985 「広島県と滋賀県における岩鉄製鉄」『日本歴史』 第448号 吉川弘文館

福田豊彦 1982 「第四章文献資料から見た古代の製鉄」『古代日本の鉄と社会』 東京工業大学製鉄史研究会

福田豊彦 1985 「日本古代鉄生産の諸様相—中世製鉄の前提として—」『日本史研究』 第280号 日本史研究会

（註5） 吉田享子 1995 「第4編考察第1章第3節鉄滓」『原町火力発電所関連遺跡調査報告V』 福島県文化財調査報告書第310集において、原町市金沢地区の製鉄炉での鉄生成率が計算表示されている。大船迫A遺跡15号製鉄炉は35.1%と算出されている。