

## 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－

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愛称、以下まほろんと称す。）の事業の一つに、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、その素材や製作技術を可能な限り検討して、今に甦らせるというものである。これまでに、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製作し、まほろん内で、出土資料と復元品の並列展示を行っている。

平成14年度からは、「古代の鉄」をメインテーマに掲げ、製鉄遺跡出土の鋳型からの鋳鉄製品の復元や、調査された製鉄炉をモデルにした製鉄操業などを行い、その成果は、本年度まほろん開館五周年記念特別展「クロガネの鋳物」で、展示に供している（注1）。

今回報告する「鉄づくり」イベントも、第1回目が平成15年11月1・2日に行われ（まほろん1号炉）、その報告は既に発表されている（以下、先の報告と略す。注2）。2回目は平成17年11月5・6日に開催された（まほろん2号炉）。本論は、このまほろん2号炉の操業報告である。

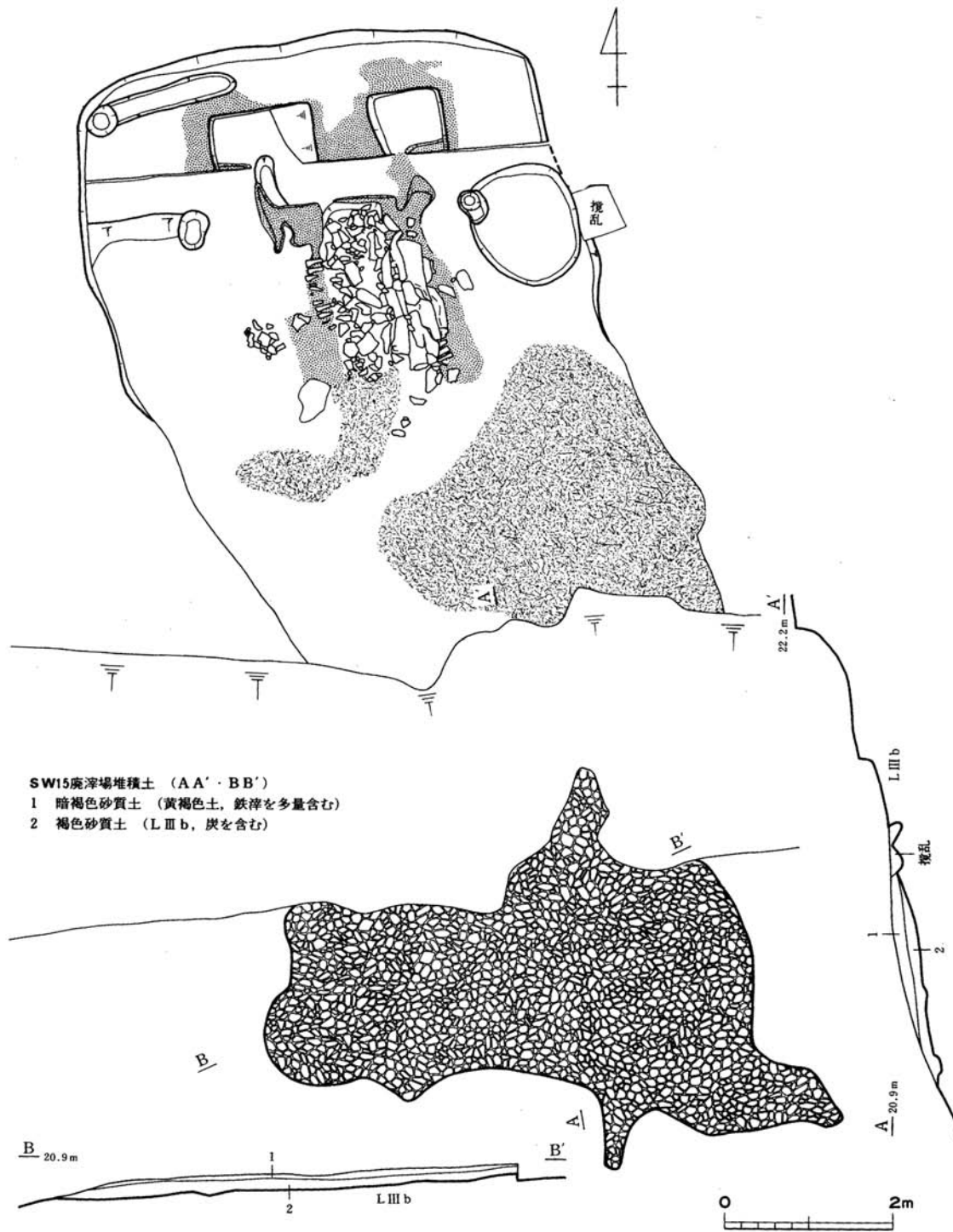
#### 2 復元した製鉄炉の特徴と復元炉との相違

今回、復元の対象とした製鉄炉は、前回同様、南相馬市原町区にある大船迫A遺跡15号製鉄炉である（写真1、図1・2）。先の報告において、復元炉の候補とした事由は既述したが、再度概略を述べると、15号製鉄炉は以下のような特徴を持った箱形炉である。

・この炉は箱形炉で、平安時代9世紀前半に機能し、廃絶されたものである。



写真1 15号製鉄炉



15号製鉄炉出土鉄滓等重量一覧

単位(kg)

(国井1995より転載加筆)

| 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回目の操作に伴うもの。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、本炉の操作には直接関連しない。 |
| 作業場 Q2  | 0.0  | 1.8  | 0.0  | 0.3   | 2回目の操作に伴うもの。            |
| 作業場 Q11 | 0.0  | 2.9  | 8.9  | 6.5   | 2回目の操作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回目の操作に伴うもの。            |
| 廃滓場 Q2  | 3.0  | 4.3  | 7.8  | 35.0  | 1回目の操作に伴うもの。            |

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、廃滓場Q2には、報告書中でQ3出土と示された量を合算している。

図1 15号製鉄炉(1)

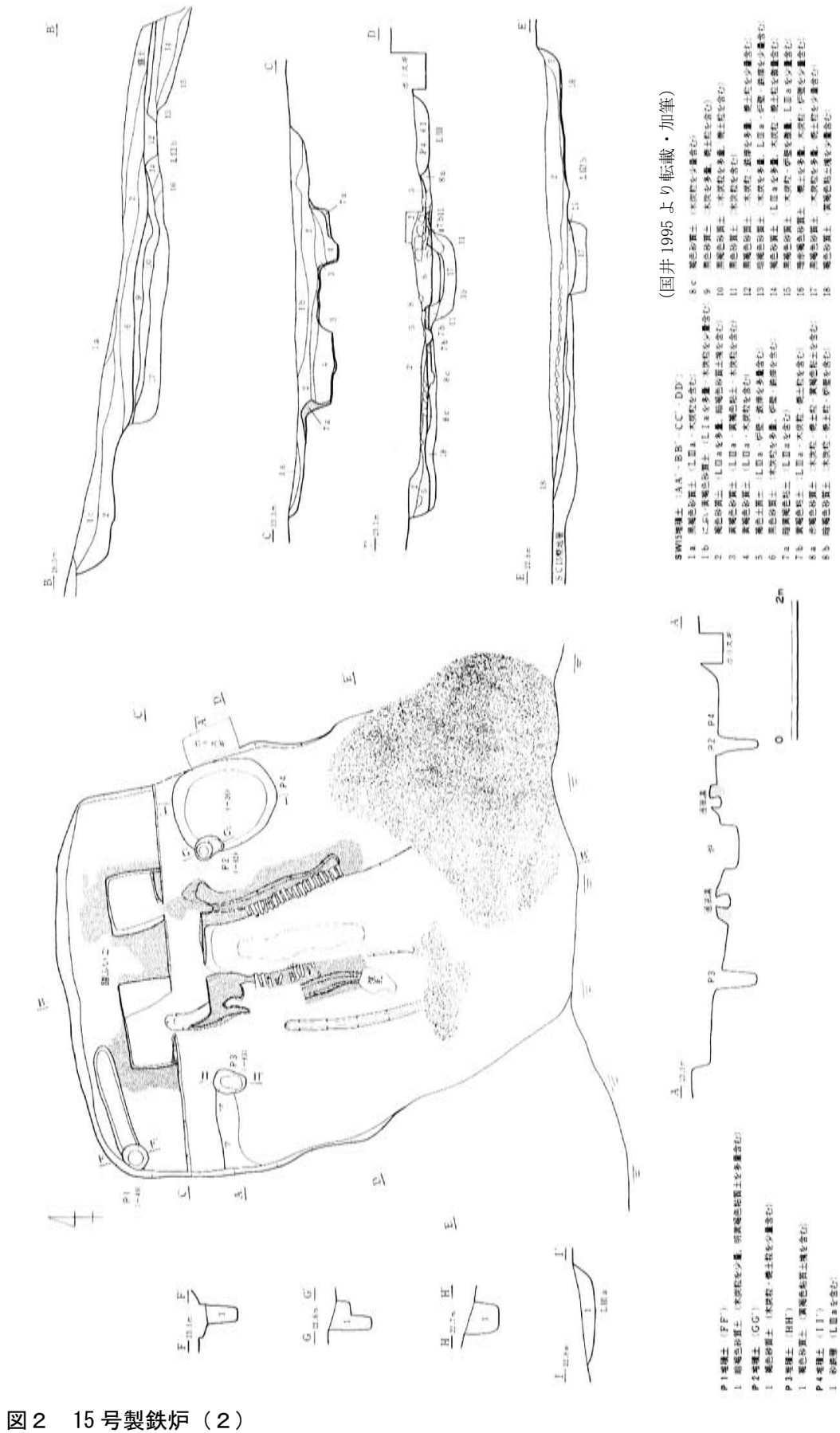


図2 15号製鉄炉 (2)

- ・送風装置は、踏みふいごであり、ふいごの長軸に直交するように炉が配置されている。ふいご掘形より推定した踏みふいごの規模は、幅60cm、長さ270cmである。
- ・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（図1内の出土鉄滓等重量一覧表参照）。
- ・2回目の操業において、炉の東側壁が倒壊し、炉壁が操業停止時のままの状態を確認された（写真1参照）。
- ・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定できる。推定した炉の規模は、外寸で、幅60cm、長さ210cm、高さ110cmである。
- ・基礎構造の規模は、報告書掲載図面から幅120×長さ360×深さ40cmとした。  
以上のようなことから、製鉄炉を復元して操業をおこなったが、次の点で、明らかに当時のものとは異なる燃料・原料、材料を使用している。
- ・使用する木炭の樹種…当時はコナラ・クヌギ炭が多用されているが、復元炉では、マツ炭を使用した。
- ・使用する砂鉄の種類…当時はおそらく浜砂鉄を原料にしたと思われるが、復元炉では白河市大信の隈戸川採取の川砂鉄を原料とした。このため、砂鉄の粒度・形状・成分比などが大きく異なる。
- ・使用する粘土の問題…当時の炉壁を構成する粘土の吟味が全くできていないため（注3）、復元炉では山砂と製鉄遺跡が立地する箇所から採取した粘土（南相馬市原町区割田製鉄遺跡群採取）をブレンドして使用している。  
これらの他、送風管には塩ビのパイプ、送風溝にはコンパネ製の風箱を使用し、踏み板（嶋板）やふいご外枠もコンパネや角材を使用して製作している。

### 3 復元炉の操業目標と操業に関わる各種施設の規模

今回復元した炉の実測図は図3に示した。復元に際しての根拠は先の報告で述べているため、まほろん1号炉と2号炉の目標とした操業の質の差や、先の報告では詳細に提示できなかったふいごの踏み板や風箱の規模について説明する。

#### 1) まほろん1号炉と2号炉の操業目標について

まほろん1号炉の規模は、外寸で幅60cm、長さ110cm、高さ120cmであり、炉壁厚は、構築時の炉底直上を30cm、羽口付近を24cmとした。このうち、炉の長さのみを、実際の遺構から推定した規模の半分とした。これは、砂鉄から鉄を産出するとはどういうことであるのか、製鉄操業とは、どのようなプロセスが必要であるのかといった、製鉄の基礎知識を担当者が全く認識できていなかったためである。このため、当初から大規模な炉で操業するよりは、その半分の大きさのほうが負担が少ないと判断した次第である。

結果として、132.3kgの砂鉄を投入し、操業時間15時間36分で、34kgの鉄塊が産出され、製鉄操業の一端を垣間見ることとなった。

3 復元炉の操業目標と操業に関わる各種施設の規模

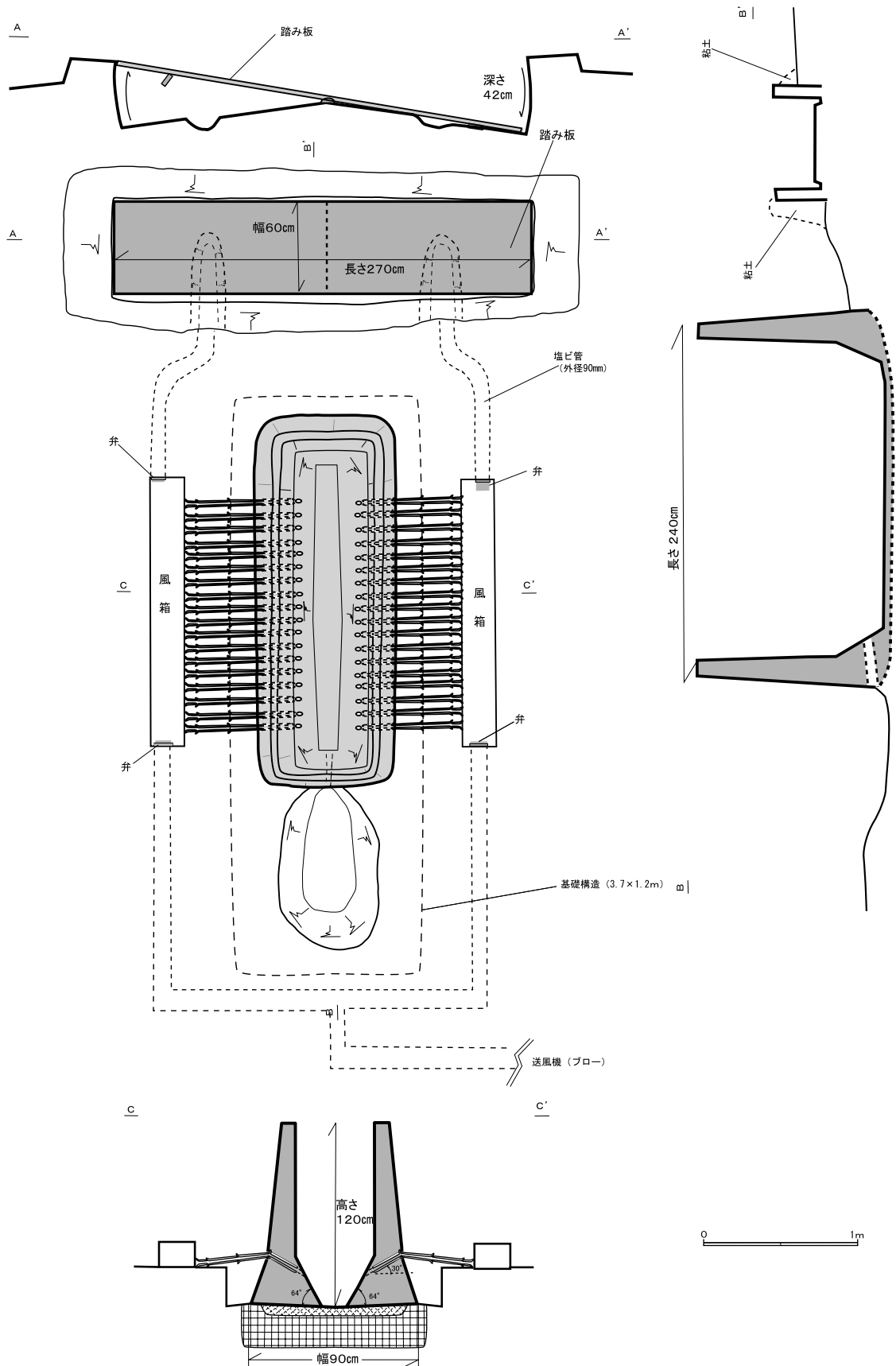


図3 まほろん2号炉

表1 製鉄遺跡出土鉄塊炭素量一覧

今回の2号炉で

| 試料番号          | 遺跡名                   | 出土位置                   | 時期   | T.Fe (%)         | 炭素量 (%) | 推定される鉄     | 報告書名   |
|---------------|-----------------------|------------------------|------|------------------|---------|------------|--------|
| FBI970021     | 鳥打沢A                  | 15・16号炉(箱形炉;両側廃滓)廃滓場1層 | 8c代  | 97.0             | 3.180   | 鉄鉄         | 原町IX   |
| FBI970014     | 鳥打沢A                  | 15・16号炉(箱形炉)廃滓場1層      | 8c代  | 83.4             | 0.220   | 鋼(低炭素鋼)    | 原町IX   |
| FBI920006     | 鳥打沢A                  | 12号炉(箱形炉)廃滓場1層         | 9c前半 | 72.1             | 1.990   | 鋼(高炭素鋼)    | 原町IV   |
| FBI960002     | 山田A                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場8層          | 9c前半 | 72.0             | 0.130   | 鋼(低炭素鋼)    | 相馬V    |
| FBI960004     | 山田A                   | 2号鑄造遺構P2底面             | 9c前半 | 70.0             | 5.430   | 鉄鉄         | 相馬V    |
| FBI960010     | 山田A                   | 2号鑄造遺構廃滓場2層            | 9c前半 | 84.0             | 4.330   | 鉄鉄         | 相馬V    |
| FBI960007     | 山田A                   | 3号炉(竪型炉)廃滓場11層         | 9c前半 | 71.0             | 0.500   | 鋼(中炭素鋼)    | 相馬V    |
| FBI910076     | 山田A                   | 3号炉(竪型炉)廃滓場1層          | 9c前半 | 74.1             | 2.260   | 鉄鉄         | 相馬V    |
| FBI960006     | 山田A                   | 3号炉(竪型炉)廃滓場1層          | 9c前半 | 81.0             | 2.790   | 鉄鉄         | 相馬V    |
| FBI930501     | 猪倉A                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場1層          | 9c後半 | —                | 2.780   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930502     | 猪倉A                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場2層          | 9c後半 | —                | 2.900   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930503     | 猪倉A                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場3層          | 9c後半 | —                | 2.580   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930504     | 猪倉A                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場3層          | 9c後半 | —                | 3.170   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930509     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場3層          | 9c後半 | —                | 2.180   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930505     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場1層          | 9c後半 | —                | 2.720   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930506     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場2層          | 9c後半 | —                | 2.390   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930508     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場2層          | 9c後半 | —                | 3.100   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930507     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場2層          | 9c後半 | —                | 2.060   | 鋼(高炭素鋼)~鉄鉄 | 相馬IV   |
| FBI930510     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場3層          | 9c後半 | —                | 1.670   | 鋼(高炭素鋼)    | 相馬IV   |
| FBI930512     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場4層          | 9c後半 | —                | 2.990   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI930511     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場4層          | 9c後半 | —                | 1.790   | 鋼(高炭素鋼)    | 相馬IV   |
| FBI930513     | 猪倉A                   | 2号炉(箱形炉)廃滓場5層          | 9c後半 | —                | 2.820   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI920033     | 猪倉B                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場1層          | 9c後半 | 96.2             | 2.990   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI920029     | 猪倉B                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場1層          | 9c後半 | 99.0             | 0.086   | 鋼(低炭素鋼)    | 相馬IV   |
| FBI920030     | 猪倉B                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場2層          | 9c後半 | 97.0             | 2.330   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI920032     | 猪倉B                   | 1号炉(箱形炉)廃滓場2層          | 9c後半 | 94.7             | 4.510   | 鉄鉄         | 相馬IV   |
| FBI951005     | 大迫                    | 1号炉(箱形炉)廃滓場1層          | 9c後半 | —                | 1.240   | 鋼(高炭素鋼)    | 原町VII  |
| FBI930043     | 大船迫A                  | 2号炉(炉形不明;箱形炉?)廃滓場1層    | 9c前半 | 96.8             | 2.540   | 鉄鉄         | 原町V    |
| FBI970007     | 大迫                    | 7号炉(箱形炉)廃滓場1層          | 9c後半 | 78.6             | 1.410   | 鋼(高炭素鋼)    | 原町IX   |
| FBI960002     | 大迫                    | 2号炉(箱形炉?)廃滓場2層         | 10c代 | —                | 0.700   | 鋼(高炭素鋼)    | 原町VIII |
| 相馬IV; 1996    | 『相馬開発関連遺跡発掘調査報告』IV    |                        |      | 福島県文化財調査報告書第326集 |         |            |        |
| 相馬V; 1997     | 『相馬開発関連遺跡発掘調査報告』V     |                        |      | 福島県文化財調査報告書第333集 |         |            |        |
| 原町IV; 1994    | 『原町火力発電所関連遺跡調査報告』IV   |                        |      | 福島県文化財調査報告書第297集 |         |            |        |
| 原町V; 1995     | 『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 |         |            |        |
| 原町VII; 1997   | 『原町火力発電所関連遺跡調査報告』VII  |                        |      | 福島県文化財調査報告書第336集 |         |            |        |
| 原町VIII; 1998  | 『原町火力発電所関連遺跡調査報告』VIII |                        |      | 福島県文化財調査報告書第343集 |         |            |        |
| 原町IX; 1998    | 『原町火力発電所関連遺跡調査報告』IX   |                        |      | 福島県文化財調査報告書第344集 |         |            |        |
| 各報告書内の分析値より抜粋 |                       |                        |      |                  |         |            |        |

は、当初より、遺跡から推定した製鉄炉の原寸大操業を目標にし、さらに、生成物の“質”を吟味することとなった。製鉄炉の規模は、推定した長さ210cm、幅60cm、高さ110cmとしたが、後述するように、実際に炉を構築した結果、長さ240cm、幅90cm、高さ120cm(炉中央部付近での規模)となった。

1号炉で生成された鉄塊は、炭素量0.2~0.3%の低炭素鋼であった。

炭素量から解るように、非常に軟らかい鉄であり、平安時代においては、次の作業工程原料としては不適切なものである(注4)。遺跡より出土した鉄塊の炭素量一覧を表1に示したが、これを見ても古代においては炭素量の高い鑄鉄を主に生成していたことが考えられる。

2号炉の操業においては原寸大炉の操業の他、いわゆるズク押し操業を目指し、藤安将平刀匠の鍛刀場での7回の予備実験と、まほろんでのプレ操業を1回行った。その結果、後述するように炭素量の高いズクは産出できなかった。このため、イベント本番の2号炉の操業では、原寸大の炉で鉄塊ねらいの目標(いわゆるケラ押し操業)に変更した。

ただ、1号炉と全く異なる原材料を使用する場合は、前回の結果との比較ができないため、前回同様の原材料とし、羽口の角度も30°とやや浅くなる程度の変更とした。

## 2) 踏みふいごと風箱

踏みふいごは、図4に示した調査事例から、長さ270cm、幅60cm、深さ42cmのふいご掘形に設置されたものと推測した。これの設計図が図5であるが、この送風装置は1号炉操業時に

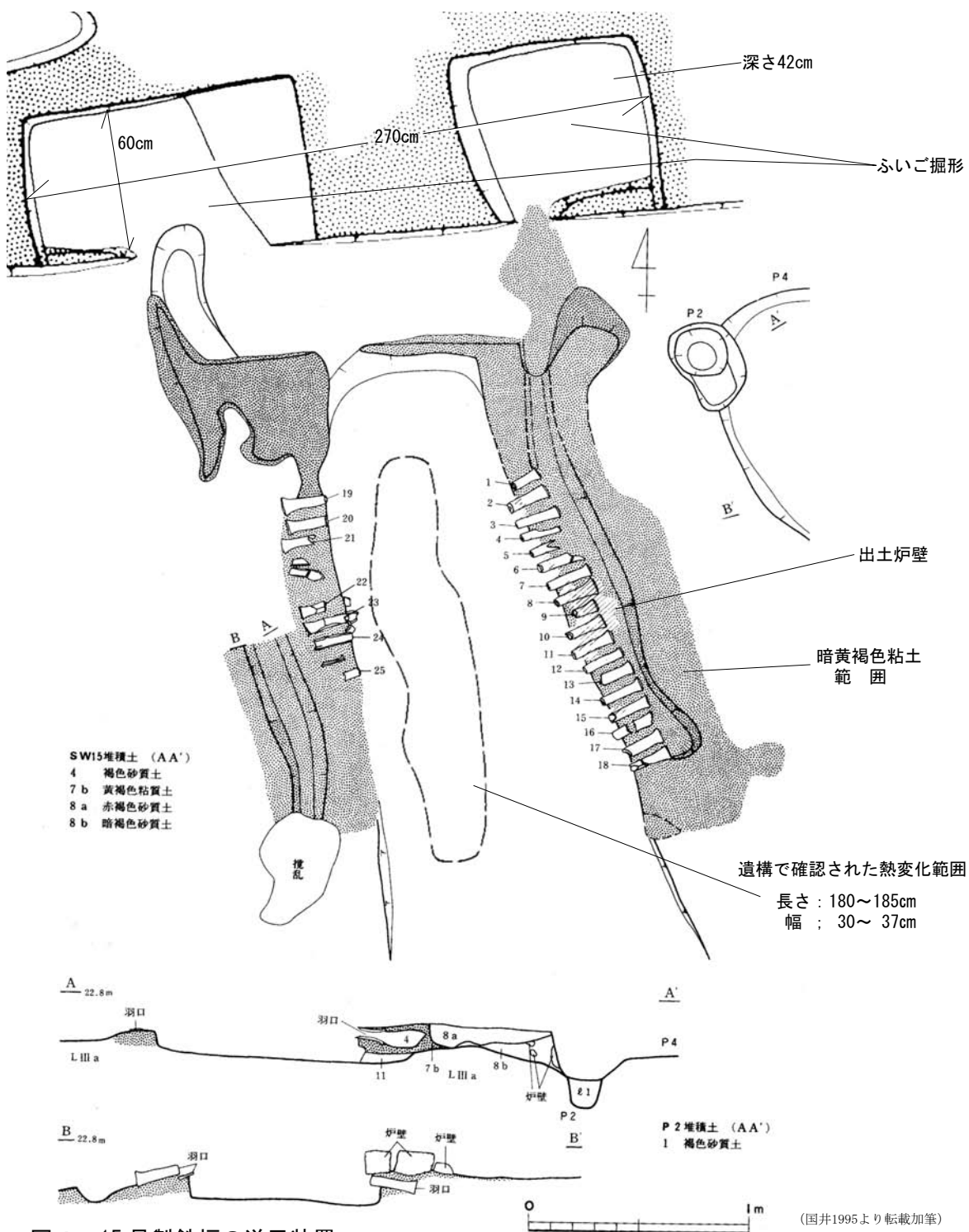


図4 15号製鉄炉の送風装置

製作したものであり、2号炉においても同様のものを使用している。

踏み板の大きさは長さ268cm、幅60cmとした。長さを2cm短くしたのは、風の漏れを少なくするため、短辺両側に貼ったジュウタンマットの厚み分を見込んだためである。このように、踏み板の大きさはおよそ推定できるものの、板の厚さや、空気取り入れ弁の位置とその大きさ、弁の形状などは全く推測できなかった。このため、図6の坪井氏が示した鋳物用踏み板を参考にした。この踏み板の長さが300cmであったため、90%縮小して270cmとした上で、空気

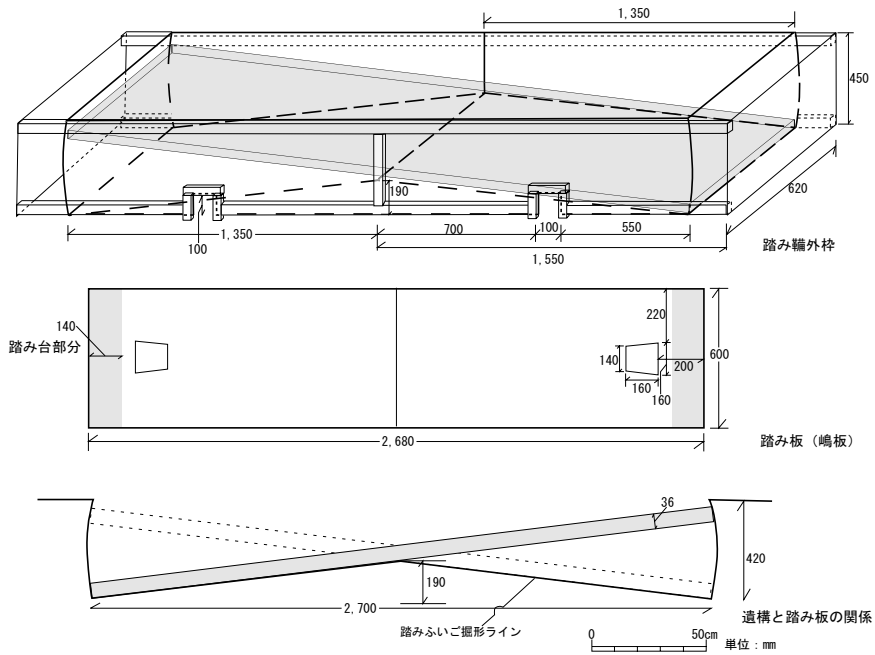
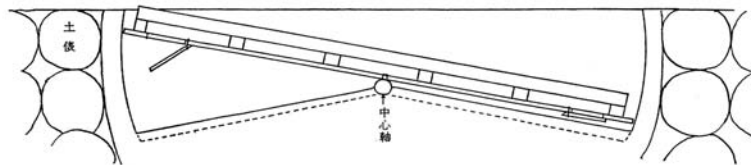
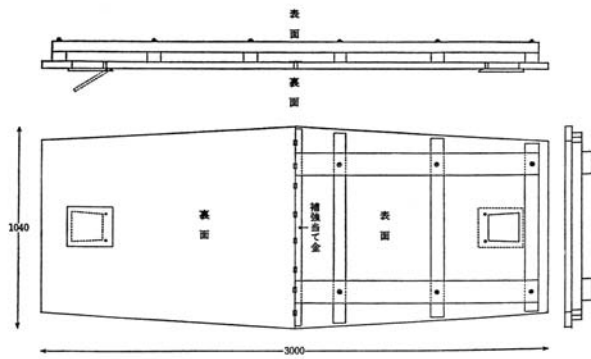


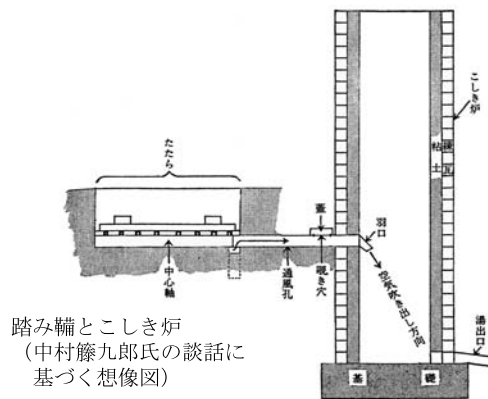
図5 まほろん2号炉の踏みふいご設計図



踏躰（中村藤九郎氏の談話に基づく想像図）



踏躰の踏み板（京都市，高橋鑄工場蔵）



踏み躰とこしき炉  
（中村藤九郎氏の談話に  
基づく想像図）

（坪井 1970『日本の梵鐘』より転載加筆）

図6 参考にした踏み躰



取り入れ弁の位置や形状もこれに合わせた。

後述するように、この参考にした取り入れ弁の位置が、実は操業に大きな支障を来すことになるとは、2号炉操業前は予想だにできなかった。ましてや、まほろん1号炉の操業では、大きな支障もなく順調に稼働していたのであったからなおさらの感があった。

この他、送風孔の位置は調査事例と同様にし、ふいご掘形底面には、これの延長部に溝状のくぼみを造った。

風箱の設計図は図7に示した。遺跡から出た炉では、幅20 cm前後、長さ260 cm（図4の東側送風溝での計測値。ふいご掘形南側の粘土北端から送風溝南端まで）の送風溝から直接木呂羽口に

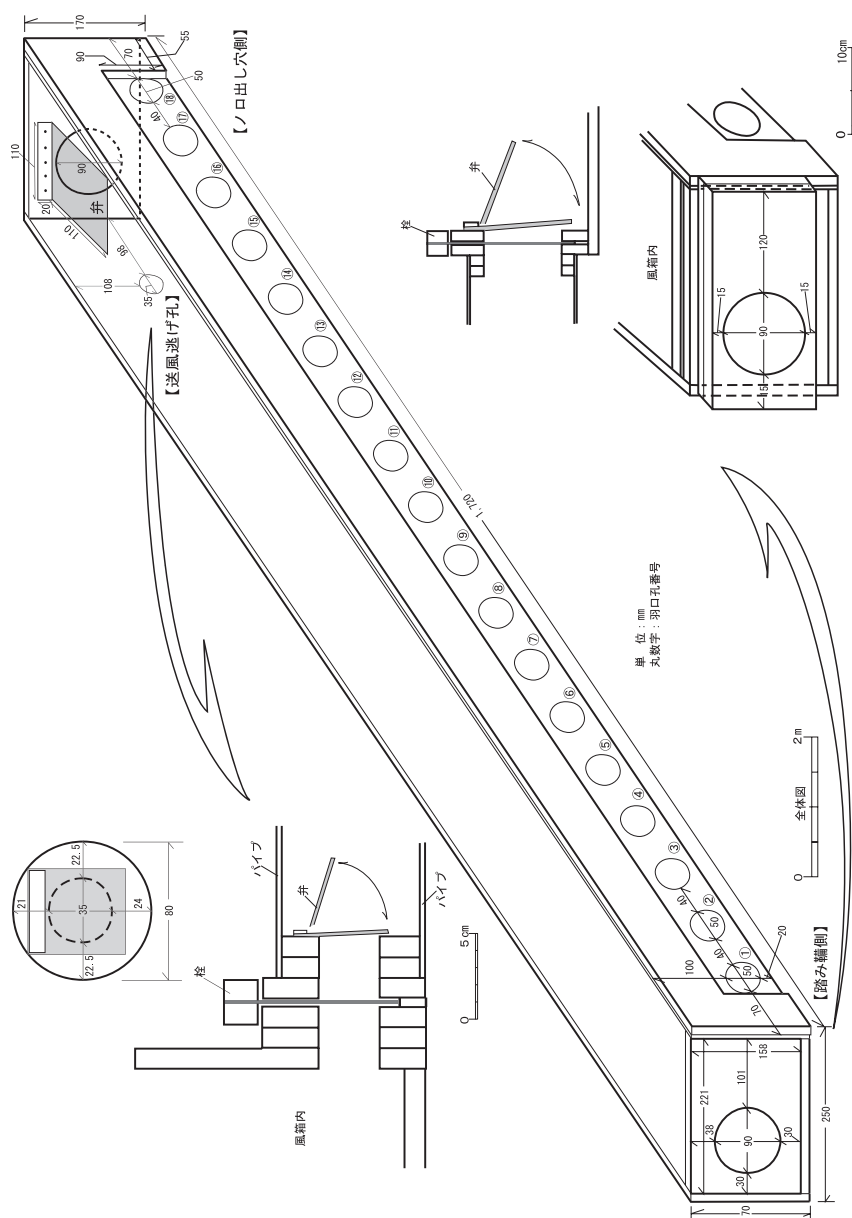


図7 まほろん2号炉の風箱設計図

連結しているが、今回も風箱（幅25 cm、長さ172 cm、高さ170 cm）を片側に1個ずつ設置し、この風箱から木呂羽口を連結した。木呂羽口の数は確認できた製鉄炉同様の片側18個とし、羽口間の距離も出土例の7～9 cmに則り（隣り合う羽口と羽口の中心距離）、木呂羽口設置孔の口径を5 cm、孔間は4 cmとした。

この他、送風溝あるいは送風孔のいずれかの位置に、空気の逆入を防ぐ“弁”が取り付けられていたと推定されるが、調査では確認できなかったため、今回も風箱内に設置した。

さらに、1号炉の操業においてたびたび風箱から風漏れが生じたため、風量を制御するための逃げ孔を設置した。ただ、実際の操業ではこの逃げ孔を使用することはなかった。

ふいご底面から延びる塩ビ管で製作した送風溝は、くの字に屈曲し、実際の溝位置より西側で西に50 cm、東側で東に20 cm離れている。これは、土中に埋めた塩ビ管や風箱が、炉の強制

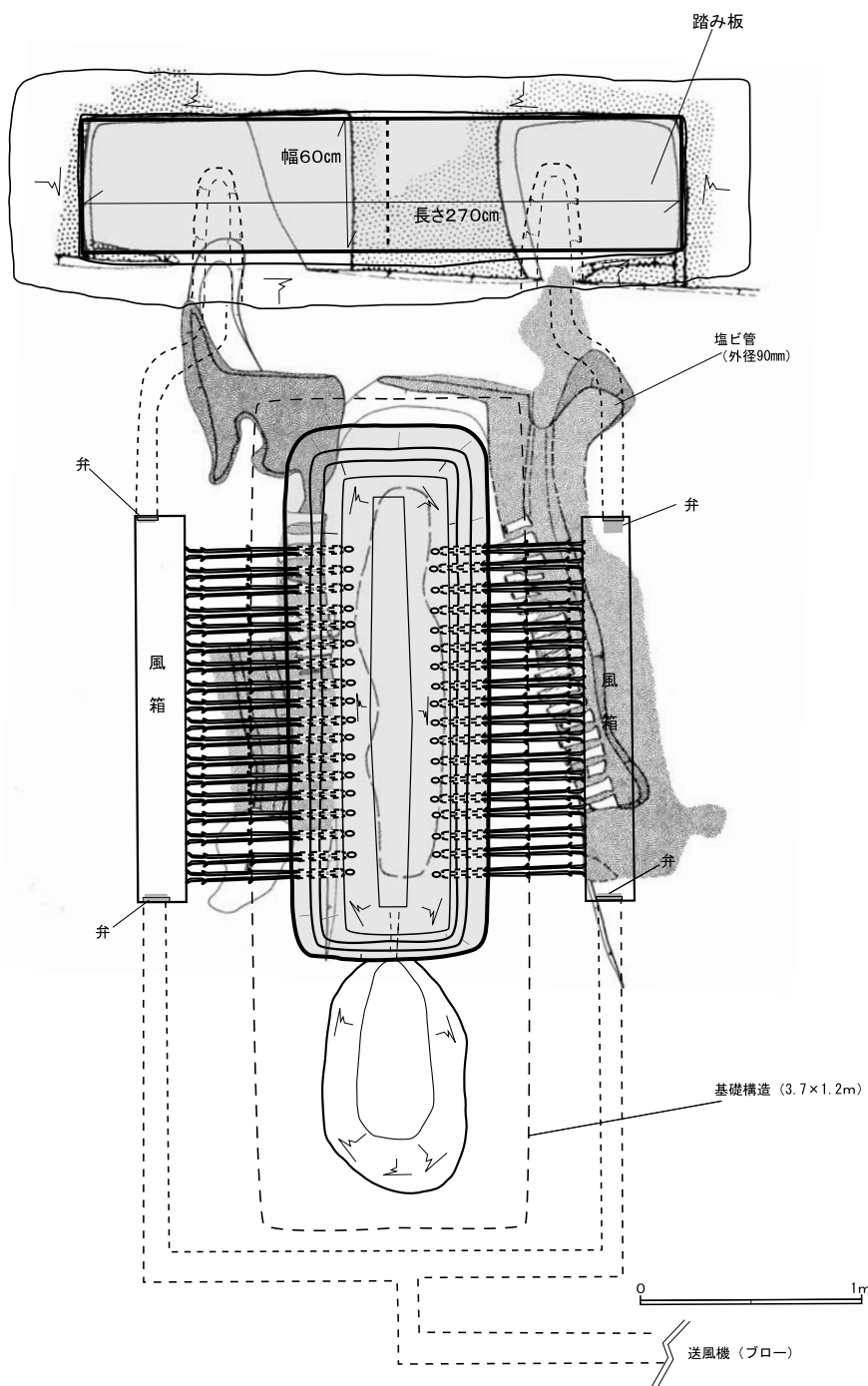


図8 まほろん2号炉と15号製鉄炉

乾燥時の燃焼熱等により変形・焼損することを防ぐためである。ただ、プレ操作時では風箱の蓋の一部が燃失し、イベント時では風箱内に設定した送風量測定器具が、熱により変形してしまった。遺跡から出た製鉄炉と、復元した製鉄炉の位置関係については、図8に示した。

#### 4 操作について

##### 1) 「鉄づくり」イベントまでの準備作業およびプレ操作

鉄づくりに向けての準備作業の内容は、前回とほぼ同様である。来館者参加型の準備作業として、砂鉄選別と羽口づくりを行った。また、イベント前にプレ操作を行った他、前述したように予備実験を7回行った（予備実験は、いずれも藤安将

平刀匠の鍛刀場にて実施）。これらの準備作業については、写真2～4に示した。

##### ①砂鉄選別（平成17年8月13・14日実施：8/13 79人参加 8/14 49人参加。延べ128人）

選別作業に使用した砂鉄は、白河市大信の隈戸川から採取した川砂鉄である。幅90cm、長さ180cmの板の両脇に1寸5分角の枠木を取り付け、これを3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。下流に流れ去った石英や長石の混じった白い砂の一部は、プレ操作時に炉内に最初に投入した（9kgほど）。

## ②羽口づくり（平成17年9月10・11日実施：9/10 18人参加 9/11 21人参加。延べ39人）

羽口用粘土の質量は、木呂羽口を1本700g、炉壁装着羽口1,000gとした。材料は、平成17年度原町火力発電所関連で調査していた製鉄遺跡の、地山面を薄く削って採取した粘土（以下、原町粘土とする）と、炉壁にも使用した白河市大信の通称“山砂”（以下、大信粘土とする）を使用した。

木呂羽口は原町粘土のみで製作し、装着羽口は大信粘土7：原町粘土3の割合で混合させ、製作した。羽口の芯棒には、いずれも直径30mm、長さ27cmの丸材を使用し、これに粘土を巻



写真2 砂鉄の選別作業

き付け、長さ21cmほど、内径30mmの羽口としたが、乾燥後に電気炉で焼成した結果、長さ19cm、内径27mmと1割弱ほど収縮した。

羽口吸気部先端は製作者各自各自がラッパ状に広げたが、羽口の連結を考えると、図9に示したような形状のものが理想形であった。

### ③ 炉壁の粘土ブロックづくり

炉の構築に使用する粘土ブロックづくりは、当初幅10×厚さ10×長さ20cmほどの大きさを基準として直方体の粘土ブロックをつくったが、形状がまちまちになることから、最終的には写真4に示した横断面形が梯状を呈した型枠（内寸の上端で幅11×長さ19×深さ7.5cm、



写真3 羽口づくり

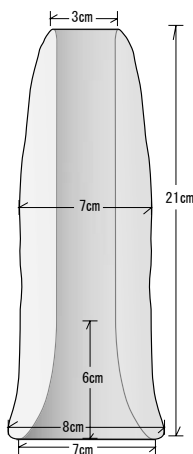


図9 羽口の形 ④木炭の小割作業

燃料として使用する木炭は、岩手県産のマツ炭を購入して使用した。1袋12kg入りで、小割りする前の木炭は、長さ28cm、幅5～12cmの大きさで、幅10cm前後のものが最も多い。これを、1本ずつ重さと木炭から見た原木の割り方状況を調べた結果が図10である。

木炭1本の重さでは、100g～400gが大半を占め、その中でも200gと300gが多い。割りの状況では、1/4割りと1/6割りが多い。また、割りの状況と木炭からの推定直径では、1/2割りでは直径15cm程度のもが多く、1/3割りでは20cm程度のもが半分ほどを占め、1/4・1/6・1/8割りと割り方が細くなるほど太いものとなっている。この結果は、当たり前といえば当たりの結果であり、太いものは割り数を多くし、仕上がり幅を10cm前後に統一しようとした意図が伺えるものである。一般に、原木から木炭になった段階での収縮率は3割程度と考えられているため、直径20cmのものは原木で径25cm程度、30cmならば40cm程度の原木が推定できる(注5)。

燃料に使用した木炭はすべて小割りしたが、小割り後の大きさは、プレ操業では4～5cm前後角と8×5cm前後のもの2種、イベント本番では8×5cm前後の割り炭となった。

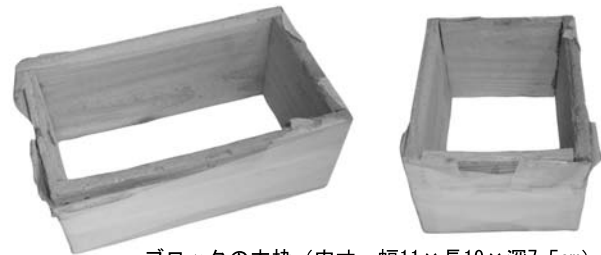
#### ⑤予備実験とプレ操業

「鉄づくり」イベントの予備実験として、藤安刀匠の鍛刀場にある製鉄炉で計7回、まほろんにてプレ操業を1

下端幅10×長さ17cm)を使用して製作した。

この型枠内に、大信粘土7：原町粘土3：スサ0.1の割合で混合して練った粘土を叩き締めながら入れて、その後に取り出して若干成形して1個のブロックを製作した。

1個の炉壁ブロックの大きさは、幅8×長さ20×高さ10cm程度であり、重さは、製作時平均3.18kg、操業後は2.24kgに減少した。1回の炉の構築に使用したブロック数は約920個であるので、構築時の粘土量は3.18×920個=2,925.6kg、1回の操業で約2.9tもの粘土が必要であることが推測できた。



ブロックの木枠 (内寸：幅11×長19×深7.5cm)



炉壁ブロックづくりのようす



写真4 炉壁ブロックづくり

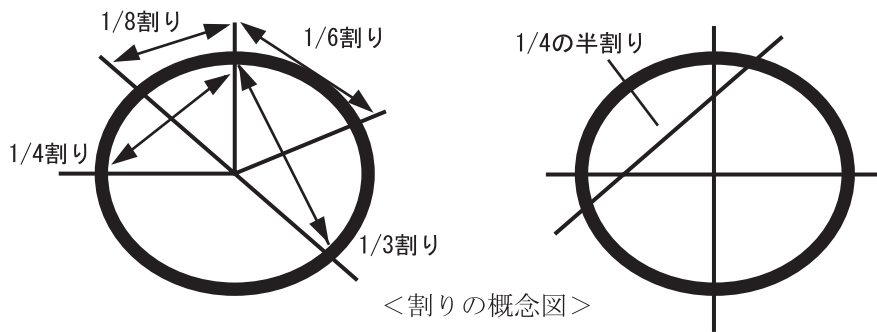
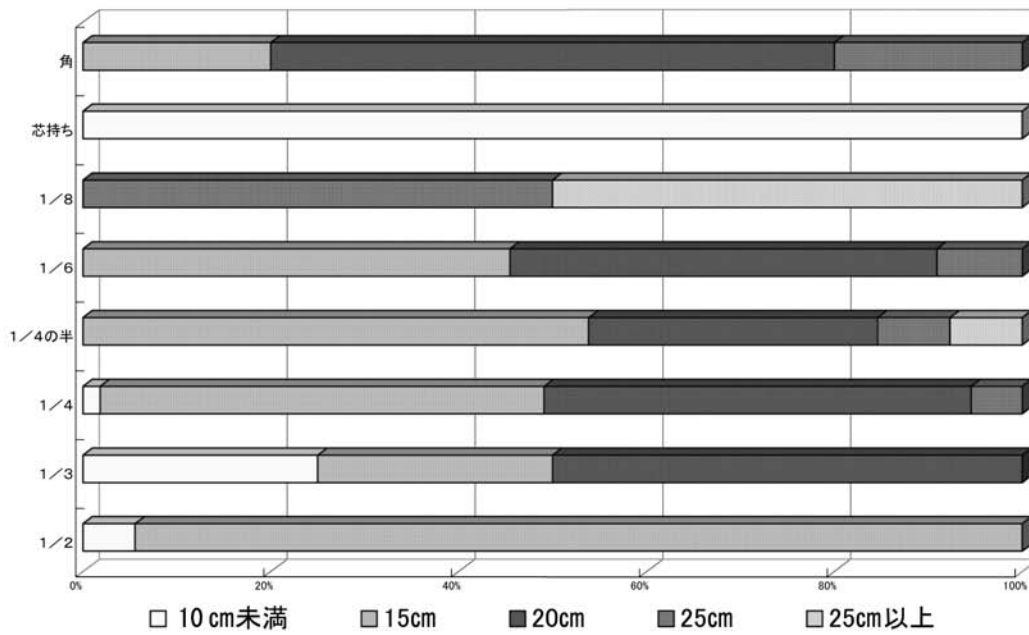
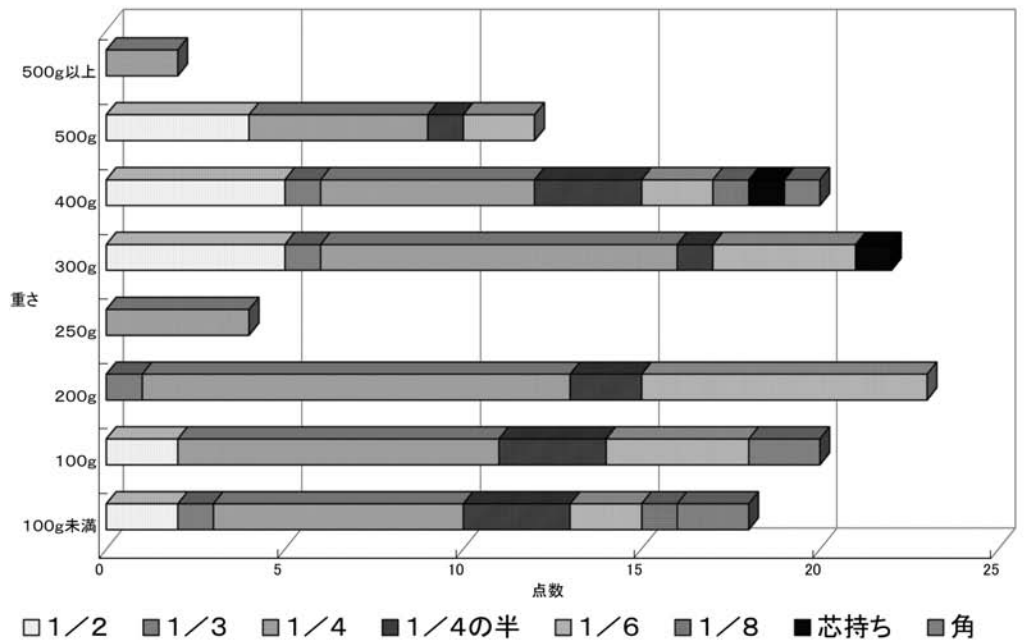


図10 木炭の小割りと重さ及び推定直径

回おこなった。これは、今回の製鉄操業がズクねらいであったため、ズクの産出を目指したためである。

#### ・藤安将平刀匠の鍛刀場での予備実験

詳細な記録を作成していないが、平成17年9月中旬～10月中旬にかけて、藤安刀匠の鍛刀場にある製鉄炉（注6）で計7回の予備実験を実施した（写真14参照）。使用した砂鉄・木炭・羽口の粘土は、すべてまほろん炉の操業と同一ものを使用している。内、5回の内容について概述する。

- 1回目…羽口角度 $10^{\circ}$ 、砂鉄・木炭投入間隔15分。ズクできず、鉄がまとまらない。
- 2回目…羽口角度 $10^{\circ}$ 、先端絞る。マツ炭を細かに小割りしたもののみで操業。投入間隔5分。ズクできず、まとまらない。
- 3回目…羽口角度 $10^{\circ}$ 、先端絞る。マツ炭を細かに小割りしたものと粗いもの、雑木炭を混ぜて操業。投入間隔25分。ズクできず、まとまらない。
- 4回目…羽口角度 $10^{\circ}$ 、先端絞る。マツ炭を細かに小割りしたものと粗いものを混ぜて操業。炉底幅を広げる。投入間隔20分。ズクできず、まとまらない。
- 5回目…羽口角度 $30\sim 34^{\circ}$ 、先端部内径24mm。マツ炭を細かに小割りしたもののみで操業。投入間隔10分。ケラとなり、ズクできず。

以上が概略であるが、これ以外の2回を加え計7回の実験操業にかかる経費等は、すべて藤安刀匠の自己負担によっている。筆舌に尽くしがたいこの貢献に、衷心より深甚なる感謝の念を申し上げたい。

さて、これらの予備実験からは、送風の羽口角度を急にするとケラが生成され、浅くするとケラすらできないことが予測できた。さらに、木炭を細かに小割りすると、消費時間が極端に短くなり、これを防ぐために粗割り炭や雑木炭を混ぜて燃焼させる必要があることが理解された。これらの結果を受けて、まほろんでのプレ操業に臨んだ。

#### ・プレ操業（平成17年10月8・9日実施）

プレ操業では、ズクをねらって操業を行った（写真5・6参照）。木炭は小割りしたものと粗割りしたものの2種を使用し、最初に細粒砂を2回投入し、その後に砂鉄を投入した。また、砂鉄と木炭の投入方法は、小割木炭→叩き締め→砂鉄投入→粗割り木炭の順番で行った。この方法は、俵氏が紹介した銑押しの操業方法を参考にしている（注7）。

炉の羽口角度は $12^{\circ}$ とし、羽口先端部を三角形状に絞り込んだ（底辺15mm、高さ20mm）。この羽口角度は、モデルである15号製鉄炉より出土した炉壁に装着された状態で確認できた2個の羽口と同一である（報文142図9）。8時間ほどの操業の結果については、投入量や経過を表2に示したが、操業当初に炉がへたったり、風箱や木呂羽口のジョイント箇所から風が漏れたりして、炉内温度は上がらず、砂鉄から鉄に変化する反応もおきなかった。当然のことながら、ズクは産出できなかった。

ただ、原寸大の製鉄炉操業では、炉内温度が上昇し、それを維持する状態になるまで3時間ほどかかること、原料・燃料の必要量がある程度把握できた。さらに、踏みふいごの構造的欠



写真5 プレ操業炉構築



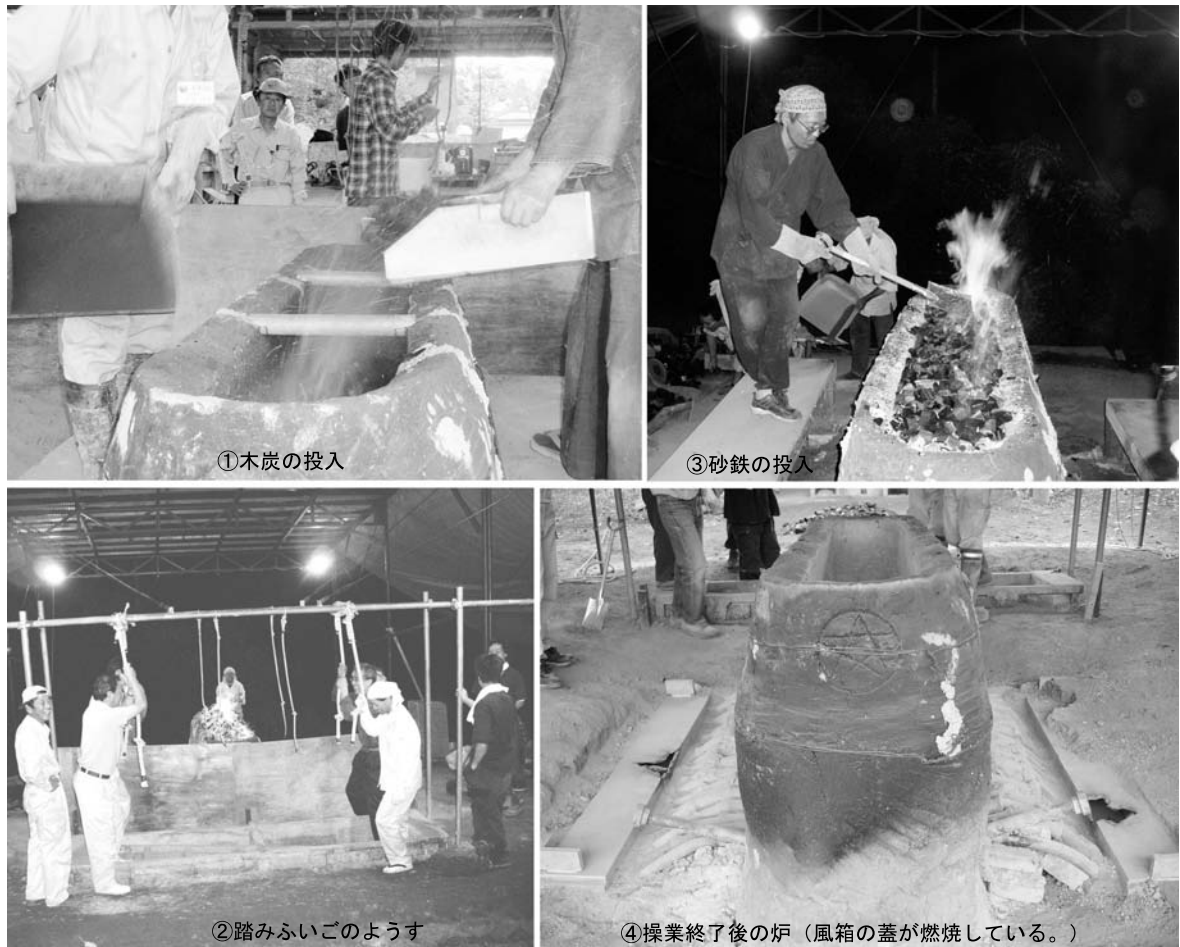


写真6 プレ操業のようす(1)

陥(すなわち、炉内のノロ出し側の送風力が強く、ふいご側が弱い。)が理解でき、平安時代当時、炉内の木炭消費状態が不揃いにならないような何らかの工夫があった可能性が推測された。

炉を解体したところ、写真7に示したように、羽口から2～3 cm直下(炉底から8 cmほどの高さ)のところに、幅22 cm、長さ167 cm、厚さ4 cmほどの四角形で棚状のものが形成されていた。

この棚状のものは、主に鉄滓層で形成され、上面付近には、僅かに仁丹状の鉄塊が混じっている。プレ操業時の炉の形状は短辺側が弧を描く楕円形であったため、形成された四角状の棚の両端部の間は、これが認められないスペースとなっていた。このことから、製鉄炉の平面形を楕円形にするよりも四角形の方が効率がよいと判断し、イベント本番での炉の形状を四角形にした。

2)「鉄づくり」イベント(平成17年11月5・6日実施:11/5 270人参加 11/6 145人参加。  
延べ415人)

上記のような予備実験やプレ操業を経て、イベント本番を迎えた。イベントでは、羽口角度を $30^{\circ}$ とし、炉の形状を楕円形から台形に近い四角形にした。ズクねらいの操業は断念し、遺跡出土の原寸大製鉄炉での製鉄操業に目標を変更した。操業時間11時間39分で、49kgの鉄を産出した。砂鉄や木炭の投入量や操業状態については、表3・4及び図11に示したが、

表2 プレ操業の木炭砂鉄投入量一覧

| 【砂鉄：白河市大信採取】 |       |      |       |      | 【木炭：松炭】 |       |      |          |       |          |      | 1回の投入量 | 木炭合計  | 操業の状態・備考                    |
|--------------|-------|------|-------|------|---------|-------|------|----------|-------|----------|------|--------|-------|-----------------------------|
| 回数           | 投入時間  | 経過時間 | 量(kg) | 累計   | 回数      | 投入時間  | 経過時間 | 粗割炭量(kg) | 累計    | 小割炭量(kg) | 累計   |        |       |                             |
|              |       |      |       |      | 1       | 10:08 |      | 6.8      | 6.8   | 0.0      | 0.0  | 6.8    | 6.8   |                             |
|              |       |      |       |      | 2       | 10:24 | 0:16 | 8.8      | 15.6  | 0.0      | 0.0  | 8.8    | 15.6  | 炉西側上釜へたりはじめる。               |
|              |       |      |       |      | 3       | 10:41 | 0:33 | 8.8      | 24.4  | 0.0      | 0.0  | 8.8    | 24.4  |                             |
|              |       |      |       |      | 4       | 10:54 | 0:46 | 11.0     | 35.4  | 0.0      | 0.0  | 11.0   | 35.4  |                             |
|              |       |      |       |      | 5       | 11:10 | 1:02 | 13.2     | 48.6  | 0.0      | 0.0  | 13.2   | 48.6  | 11:05炉東側上釜ひび割れ              |
|              |       |      |       |      | 6       | 11:37 | 1:29 | 13.2     | 61.8  | 0.0      | 0.0  | 13.2   | 61.8  | 11:59炉西側ひび割れ                |
|              |       |      |       |      | 7       | 11:50 | 1:42 | 15.4     | 77.2  | 0.0      | 0.0  | 15.4   | 77.2  |                             |
|              |       |      |       |      | 8       | 12:03 | 1:55 | 15.4     | 92.6  | 0.0      | 0.0  | 15.4   | 92.6  |                             |
|              |       |      |       |      | 9       | 12:15 | 2:07 | 17.6     | 110.2 | 0.0      | 0.0  | 17.6   | 110.2 | 12:10炉押さえ用鉄パイプ設置。           |
|              |       |      |       |      | 10      | 12:34 | 2:26 | 22.0     | 132.2 | 0.0      | 0.0  | 22.0   | 132.2 |                             |
|              |       |      |       |      | 11      | 12:55 | 2:47 | 19.8     | 152.0 | 0.0      | 0.0  | 19.8   | 152.0 | 炉満タン。13:10炉東側ひび割れ。          |
|              |       |      |       |      | 12      | 13:34 | 3:26 | 13.2     | 165.2 | 0.0      | 0.0  | 13.2   | 165.2 | 炭叩き締め開始。以後、木炭投入後同操作行う。      |
|              |       |      |       |      | 13      | 14:12 | 4:04 | 11.0     | 176.2 | 0.0      | 0.0  | 11.0   | 176.2 |                             |
|              |       |      |       |      | 14      | 14:40 | 4:32 | 6.6      | 182.8 | 0.0      | 0.0  | 6.6    | 182.8 | ブロウ止め・踏みふいご開始：踏み数 1m/5回前後   |
|              |       |      |       |      | 15      | 15:02 | 4:54 | 13.2     | 196.0 | 0.0      | 0.0  | 13.2   | 196.0 |                             |
| 1            | 15:29 | 5:21 | 4.5   |      | 16      | 15:28 | 5:20 | 4.4      | 200.4 | 6.6      | 6.6  | 11.0   | 207.0 | 洗い砂投入（ホタテ貝碎片5g投入）           |
| 2            | 16:01 | 5:37 | 4.5   |      | 17      | 16:01 | 5:53 | 6.6      | 207.0 | 6.6      | 13.2 | 13.2   | 220.2 | 洗い砂投入（ホタテ貝碎片5g投入）           |
| 3            | 16:29 | 5:48 | 9.0   | 9.0  | 18      | 16:28 | 6:20 | 6.6      | 213.6 | 4.4      | 17.6 | 11.0   | 231.2 | 砂鉄投入開始                      |
| 4            | 16:59 | 6:05 | 9.0   | 18.0 | 19      | 16:57 | 6:49 | 6.6      | 220.2 | 6.6      | 24.2 | 13.2   | 244.4 | 炉西側上釜のへたりが直りはじめる。           |
| 5            | 17:26 | 6:16 | 9.0   | 27.0 | 20      | 17:26 | 7:18 | 4.4      | 224.6 | 4.4      | 28.6 | 8.8    | 253.2 | 18:00より踏みふいごピッチ早める。1m/90回前後 |
| 6            | 18:14 | 6:37 | 9.0   | 36.0 | 21      | 18:13 | 8:05 | 6.6      | 231.2 | 6.6      | 35.2 | 13.2   | 266.4 | 18:36ノロ出し試みるものの、確認できず。送風停止  |
| 計            | 18:36 | 8:28 | 45.0  | 36.0 | 計       | 18:36 | 8:28 | 231.2    | 231.2 | 35.2     | 35.2 | 266.4  |       |                             |

プレ操業結果報告

操業の状況

- 9:00 木呂羽口から風漏れ確認。粘土で押さえるものの漏れ止まらず。そのまま操業開始する。
- 9:50ごろ 操業前の趣旨説明。
- 10:08 炉内に木炭投入開始。ブロウにて送風開始。  
炉上釜ひび割れ、上釜西側へたる。
- 12:55 炉内木炭で一杯になる。
- 13:34 木炭投入後、叩き締め行う。以後、2.5分前後の間隔で投入。
- 14:42 ブロウ停止。踏みふいごにて送風開始。1分間5.1回前後。
- 15:29 洗い砂投入開始。投入方法は、①小割木炭→②叩き締め→③砂投入→④粗割木炭
- 16:29 砂鉄投入。
- 17:26 木炭消費少なくなる。炉内温度上がらず。
- 17:45 ノロ出し側羽口穴広げるものの、炎変わらず。
- 18:00 ふいご踏み数増加し、送風量上げるものの、炎の状態変わらず。
- 18:36 送風停止。

【状況の推測】

- 1 木呂羽口から空気が漏れた。→風箱の蓋が余熱時に燃えてしまっていた。
- 2 炉内の温度が上がらない。→送風量が少なかったこと、羽口先端を絞ったことから、木炭の消費（燃焼）が少なかった。
- 3 砂鉄が反応しない。→炉内温度が上がらなかったため、反応が進まなかった。砂鉄は凝固し、一部が反応したに過ぎなかった。ただ、そのため、炉底には、砂鉄から鉄が形成される初期段階の状態が認められた。

問題点

- 1) 炉の余熱について…余熱にかなりの時間を要することが解った。余熱時間約3時間弱。
- 2) 木炭の投入量について…木炭量が膨大になる。炉が一杯になるまで152kg。1回の投入量：平均13kg。  
送風量を増加させ、15分間隔で投入するとすれば、4回×12時間×13kg=624kg。624+152=776kg
- 3) 木呂羽口の設置について…風箱から木呂羽口の設置は、接合部からの風漏れが起きないように、直線状に接続できるようにする必要がある。
- 4) 木炭の消費について…炉内の木炭消費はノロ出し側がはやく、ふいご側が遅い。その結果、炉内の木炭レベルはノロ出し側に向かって下がる斜めのラインを呈するようになる。これは、操業では不利な点であるため、イベント本番ではこれを同一レベルで消費するよう、ノロ出し側の風量を抑える必要があるが、どの程度押さえれば同一消費レベルになるか不明。
- 5) 砂鉄の消費について…砂鉄の量はほぼ木炭の量にひとしい。そのため、木炭1回の投入量と同量が必要になる。砂鉄必要量は約600kgと推定。

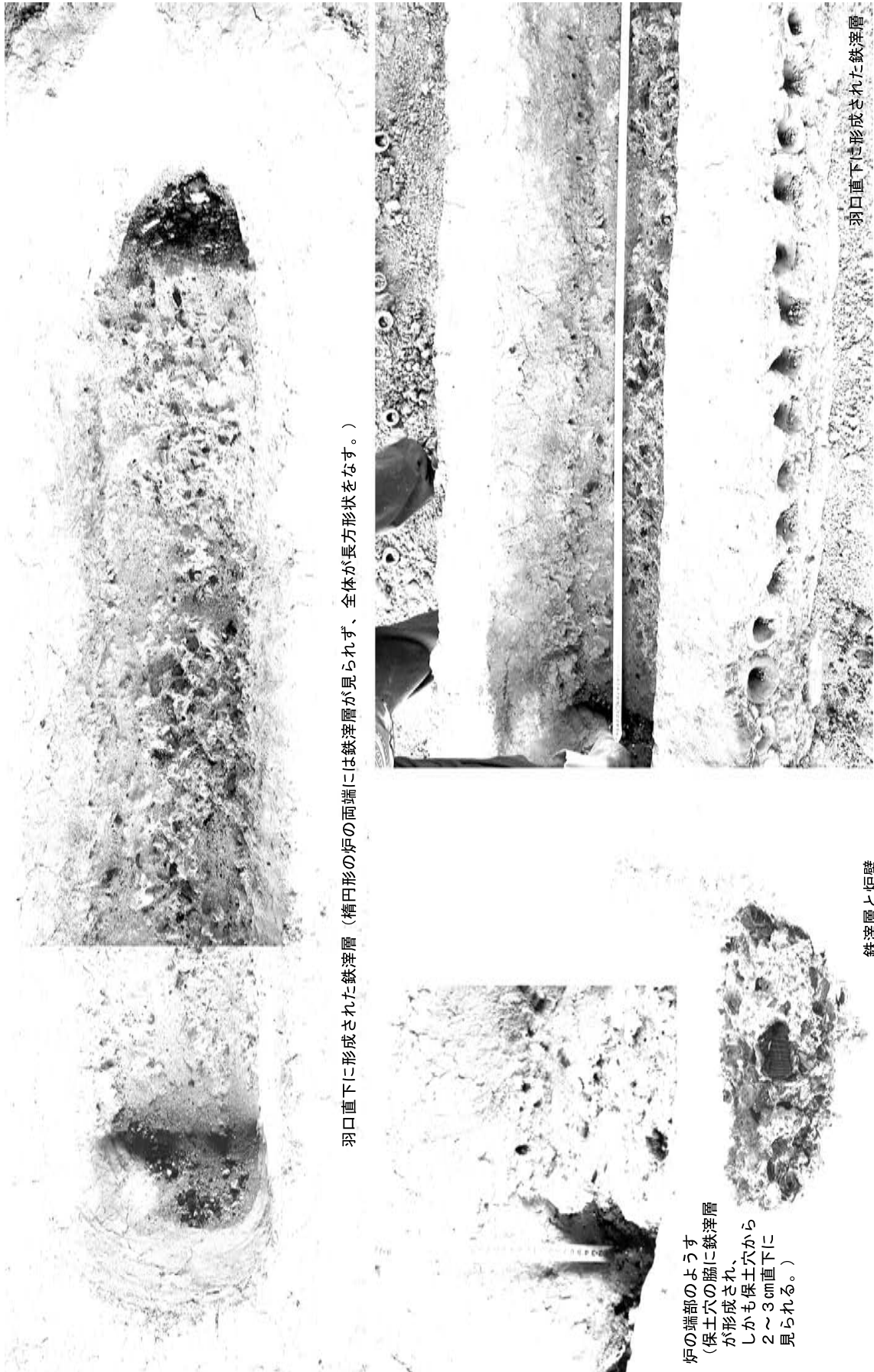


写真7 プレ操業のようす(2)

羽口直下に形成された鉄滓層 (楕円形の炉の両端には鉄滓層が見られず、全体が長方形形状をなす。)

炉の端部のようす  
(保土穴の脇に鉄滓層  
が形成され、  
しかも保土穴から  
2~3cm直下に  
見られる。)

羽口直下に形成された鉄滓層

鉄滓層と炉壁

以下、炉の構築と操業について概述する。

### ①炉の構築（写真8参照）

炉底は、幅90cm、長さ220cmの範囲に、2～3cmほどの厚さで原町粘土を貼り、さらにその上に大信粘土を3～4cmほどの厚さに貼り、十分に叩き締めた後で、強制乾燥させた。炉は中央に基準となる幅18cm（両端は15cm）、長さ185cmの“中板”をしき、これの両脇に炉壁ブロックを積み上げ構築した。

構築当初は、炉底直上の炉壁厚を35cmと設計していたが、プレ操業時に炉がへたったため、炉壁の厚さを増すこととした。炉底直上の炉壁厚は、10cmほど厚くして45cmとした。さらに、風箱から延びる木呂羽口のジョイントをほぼ水平にし、そこから30°の羽口装着角度で炉内に送風し、少しでも接合部から風漏れがないようにした。ただ、この結果、炉壁に装着する羽口の高さが炉底から30cmと高くなり、さらに羽口吸気部側が炉内に食い込み、羽口直上の炉壁を羽口に覆い被さるように厚くして対応することになってしまった（図15参照、後述する）。

出土遺構からの推定では、羽口設置高は炉底から13cmであったので（注8）、やむを得ず、羽口先端部の高さを13cmとした。先端部はプレ操業同様絞り込んだが、幅20mm、長さ40mmの楕円形にした。

完成した炉は、最下端の外寸で長さ260cm、幅110cm、羽口直上の外寸で長さ252cm、幅90cmであり、高さは前回に比べ10cm高い120cmとした。なお、高さを10cm増したのには、少しでもズクができるように願ったから（うまくいけば、ケラ押しでも裏ズクができるため）で、根拠はない。ただ、この規模の炉になると、110cmも120cmも大勢に影響が無いようには感じられた。

### ②炉の操業（写真9・10参照）

操業は当初順調に推移した。砂鉄と木炭の投入方法は、最初に木炭を投入し、次に砂鉄を投入し、さらにその上から木炭を投入するという順番で行った。状況が変わったのは、投入する砂鉄量を増やしてからである。砂鉄が反応する際の吸熱反応を軽んじてしまい、炉内温度が一挙に低下した。このため、踏みふいごの回数を増加させ、炉内温度の上昇につとめたが、この踏み数の増加が、踏み板の弁の損傷につながった。

さらに、この規模での操業は初めてであったため、操業経過を推測できなかった。表4の操業状況に記してあるが、送風開始から2時間ほど経ってはじめて1,200℃の温度に達している。

これが、1号炉の場合、送風開始から30分で1,400℃に達し、操業から2時間ほど経った時点では鉄の反応が起き、3時間後には最高潮になり、ノロが炉外に流れ出していた。この状況に比べると、明らかに今回は反応が遅く、炉内温度の上昇が緩やかであった。イベントに参加していただいた多くの方の必死なふいご踏みのお陰で、ようやく炉内温度が1,300℃に回復したのは、操業から8時間を過ぎたあたりであった。温度低下から2時間が過ぎていた。

その後、ふいご踏みのピッチがさらに上がり、1分間に90回を超えたあたりから、踏み板の弁が破損し、それに伴い炉内温度が若干降下した。

このため、さらにピッチを上げ、ついに1分間110回の回数となった。実に1秒間に2回と

表3 まほろん2号炉の木炭砂鉄投入量一覧

| 【砂鉄：白河市大信採取】 |       |       |        |        |         |          | 【木炭：マツ】 |       |         |       |        |       |
|--------------|-------|-------|--------|--------|---------|----------|---------|-------|---------|-------|--------|-------|
| 回数           | 投入時間  | 量(kg) | 累計(kg) | ノロ出し時間 | 経過時間    | ノロの量(kg) | 回数      | 投入時間  | 経過時間    | 量(kg) | 累計(kg) |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 1       | 11:48 |         | 2.2   | 2.2    |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 2       | 11:50 | 0時間02分  | 4.4   | 6.6    |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 3       | 11:59 | 0時間11分  | 6.6   | 13.2   |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 4       | 12:05 | 0時間17分  | 17.6  | 30.8   |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 5       | 12:15 | 0時間27分  | 30.8  | 61.6   |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 6       | 12:25 | 0時間37分  | 39.6  | 101.2  |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 7       | 12:40 | 0時間52分  | 33.0  | 134.2  |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 8       | 12:50 | 1時間02分  | 39.6  | 173.8  |       |
|              |       |       |        |        |         |          | 9       | 13:04 | 1時間16分  | 50.6  | 224.4  | 炉満タン  |
|              |       |       |        |        |         |          | 10      | 13:40 | 1時間52分  | 15.4  | 239.8  | 15.4  |
|              |       |       |        |        |         |          | 11      | 13:59 | 2時間11分  | 17.6  | 257.4  | 33.0  |
| 1            | 14:17 | 6.5   | 6.5    |        |         |          | 12      | 14:16 | 2時間28分  | 15.4  | 272.8  | 48.4  |
| 2            | 14:35 | 6.0   | 12.5   |        |         |          | 13      | 14:18 | 2時間30分  | 11.0  | 283.8  | 59.4  |
|              |       |       |        |        |         |          | 14      | 14:35 | 2時間47分  | 8.8   | 292.6  | 68.2  |
|              |       |       |        |        |         |          | 15      | 14:37 | 2時間49分  | 8.8   | 301.4  | 77.0  |
| 3            | 14:57 | 6.0   | 18.5   |        |         |          | 16      | 14:55 | 3時間07分  | 11.0  | 312.4  | 88.0  |
|              |       |       |        |        |         |          | 17      | 14:58 | 3時間10分  | 8.8   | 321.2  | 96.8  |
| 4            | 15:22 | 12.0  | 30.5   |        |         |          | 18      | 15:20 | 3時間32分  | 11.0  | 332.2  | 107.8 |
|              |       |       |        |        |         |          | 19      | 15:23 | 3時間35分  | 8.8   | 341.0  | 116.6 |
| 5            | 15:52 | 12.0  | 42.5   |        |         |          | 20      | 15:52 | 4時間04分  | 15.4  | 356.4  | 132.0 |
|              |       |       |        |        |         |          | 21      | 15:54 | 4時間06分  | 8.8   | 365.2  | 140.8 |
| 6            | 16:21 | 15.0  | 57.5   |        |         |          | 22      | 16:20 | 4時間32分  | 11.0  | 376.2  | 151.8 |
|              |       |       |        |        |         |          | 23      | 16:22 | 4時間34分  | 6.6   | 382.8  | 158.4 |
| 7            | 16:47 | 15.0  | 72.5   | 16:31  | 4時間43分  | 0.60     | 24      | 16:46 | 4時間58分  | 8.8   | 391.6  | 167.2 |
|              |       |       |        |        |         |          | 25      | 16:48 | 5時間00分  | 8.8   | 400.4  | 176.0 |
| 8            | 17:15 | 15.0  | 87.5   |        |         |          | 26      | 17:14 | 5時間26分  | 11.0  | 411.4  | 187.0 |
|              |       |       |        |        |         |          | 27      | 17:16 | 5時間28分  | 6.6   | 418.0  | 193.6 |
| 9            | 17:39 | 15.0  | 102.5  |        |         |          | 28      | 17:39 | 5時間51分  | 11.0  | 429.0  | 204.6 |
|              |       |       |        |        |         |          | 29      | 17:40 | 5時間52分  | 6.6   | 435.6  | 211.2 |
| 10           | 18:02 | 15.0  | 117.5  | 18:00  | 6時間12分  | 0.10     | 30      | 18:01 | 6時間13分  | 11.0  | 446.6  | 222.2 |
|              |       |       |        |        |         |          | 31      | 18:04 | 6時間16分  | 8.8   | 455.4  | 231.0 |
| 11           | 18:35 | 15.0  | 132.5  | 18:40  | 6時間52分  | 0.50     | 32      | 18:35 | 6時間47分  | 11.0  | 466.4  | 242.0 |
|              |       |       |        |        |         |          | 33      | 18:36 | 6時間48分  | 8.8   | 475.2  | 250.8 |
| 12           | 19:46 | 6.0   | 138.5  |        |         |          | 34      | 19:16 | 7時間28分  | 15.4  | 490.6  | 266.2 |
|              |       |       |        |        |         |          | 35      | 19:45 | 7時間57分  | 8.8   | 499.4  | 275.0 |
|              |       |       |        |        |         |          | 36      | 19:46 | 7時間58分  | 8.8   | 508.2  | 283.8 |
| 13           | 20:13 | 6.0   | 144.5  |        |         |          | 37      | 20:11 | 8時間23分  | 8.8   | 517.0  | 292.6 |
|              |       |       |        |        |         |          | 38      | 20:12 | 8時間24分  | 11.0  | 528.0  | 303.6 |
| 14           | 20:41 | 6.0   | 150.5  |        |         |          | 39      | 20:40 | 8時間52分  | 11.0  | 539.0  | 314.6 |
|              |       |       |        |        |         |          | 40      | 20:42 | 8時間54分  | 6.6   | 545.6  | 321.2 |
| 15           | 21:07 | 6.0   | 156.5  |        |         |          | 41      | 21:06 | 9時間18分  | 11.0  | 556.6  | 332.2 |
|              |       |       |        |        |         |          | 42      | 21:07 | 9時間19分  | 8.8   | 565.4  | 341.0 |
| 16           | 21:40 | 6.0   | 162.5  |        |         |          | 43      | 21:40 | 9時間52分  | 15.4  | 580.8  | 356.4 |
|              |       |       |        |        |         |          | 44      | 21:41 | 9時間53分  | 6.6   | 587.4  | 363.0 |
| 17           | 22:10 | 6.0   | 168.5  |        |         |          | 45      | 22:09 | 10時間21分 | 13.2  | 600.6  | 376.2 |
|              |       |       |        |        |         |          | 46      | 22:10 | 10時間22分 | 8.8   | 609.4  | 385.0 |
| 18           | 22:37 | 10.0  | 178.5  |        |         |          | 47      | 22:36 | 10時間48分 | 15.4  | 624.8  | 400.4 |
|              |       |       |        |        |         |          | 48      | 22:37 | 10時間49分 | 6.6   | 631.4  | 407.0 |
| 19           | 23:10 | 10.0  | 188.5  | 23:00  | 11時間12分 | 35.60    | 49      | 23:10 | 11時間22分 | 15.4  | 646.8  | 422.4 |
|              |       |       |        |        |         |          | 50      | 23:12 | 11時間24分 | 8.8   | 655.6  | 431.2 |
|              |       |       |        |        |         |          | 51      | 23:27 | 11時間39分 | 0.0   | 655.6  | 431.2 |
| 計            |       |       | 188.5  |        |         | 36.80    | 計       |       | 11時間39分 |       | 655.6  |       |

表4 まほろん2号炉の操業のようす

| 時刻     | 操業時間    | 状 況  |
|--------|---------|--|
| 11時23分 |         | 開会式  |
| 11時39分 |         | 舞ギリで火をおこす。   |
| 11時41分 |         | 炉内へ点火。   |
| 11時48分 | 0時間00分  | 炉内に木炭投入し、操業開始。踏みふいご送風開始。                                   |
| 12時25分 | 0時間37分  | 炉内への木炭投入量、ようやく半分になる。送風が西側が東側より強い。                          |
| 12時50分 | 1時間02分  | ふいご掘形西側の粘土を除去し、東西で同程度の送風量に調整する。踏みふいご本番突入。                  |
| 13時04分 | 1時間16分  | 炉内頂部まで木炭が充填される。  |
| 13時25分 | 1時間37分  | 炎の高さ約1mになり、赤紫色の炎確認される。炉内温度1,000℃を超える。                      |
| 13時58分 | 2時間10分  | 炉内温度1,200℃を超える。  |
| 14時17分 | 2時間29分  | 砂鉄投入。炎一瞬オレンジ色に変化し、のち赤紫色になる。壁面温度980℃になる。                    |
| 14時44分 | 2時間56分  | 炎の高さ1mほどをキープしている。赤紫色とオレンジ色の炎確認。                            |
| 14時54分 | 3時間06分  | 炉の中央部の炎、赤色に変わる。砂鉄反応始まる。                                    |
| 15時02分 | 3時間14分  | ノロ出し穴ふさぐ。  |
| 15時22分 | 3時間34分  | 砂鉄投入量、6kgから12kgに増加する。炉内観察用窓から壁が少々溶解していることを確認。炎、赤紫色で、高さ1m弱。 |
| 15時42分 | 3時間54分  | 砂鉄の反応が遅い。炎の色、炉中央部が赤色であり、炎の高さも低い。                           |
| 16時10分 | 4時間22分  | 炉内温度1,350℃を超える。炎の色、黄色味を帯びる。踏みふいご回数、1分間に30回前後。              |
| 16時30分 | 4時間42分  | ノロ出しを行うが、ほとんど確認できない(ノロ量; 0.6kg)。炎の色、青色にオレンジ色が混じる。          |
| 17時08分 | 5時間20分  | 炎の色、青紫色と黄色の混合色になる。高さ1m弱。                                   |
| 17時45分 | 5時間57分  | 炉内観察用窓から炉内に鉄棒を挿入。鉄が生成されていることを確認。                           |
| 18時00分 | 6時間12分  | 2回目ノロ出し。ほとんど確認できず(ノロ量; 0.1kg)。                             |
| 18時12分 | 6時間24分  | 炉内温度下がっていると村下。踏みふいごのピッチ上げるように指示する。踏みふいご回数、1分間に40回前後。       |
| 18時20分 | 6時間32分  | 東側風箱より風漏れ。粘土で補修する。炉内温度を上げるため、踏みふいごのピッチさらに上げる。1分間で60回となる。   |
| 18時28分 | 6時間40分  | 炉内の木炭をつつく。   |
| 18時55分 | 7時間07分  | 東側風箱より再度風漏れ。粘土で補修する。炉内温度下がってきている。                          |
| 19時05分 | 7時間17分  | 炉内温度1,200℃に低下。炉内を棒をつつくが、炭が落下しない。炎の高さも70cmほどと低くなっている。       |
| 19時16分 | 7時間28分  | 砂鉄投入を一時中断し、操業状況を観察する。                                      |
| 19時30分 | 7時間42分  | 炎の色、青と黄色の混合色。炎の高さ1m弱。                                      |
| 19時46分 | 7時間58分  | 砂鉄の投入量を12kgから6kgに減ずる。観察用窓から炉内部をつつく。棒の先に僅かにノロ附着。            |
| 20時00分 | 8時間12分  | 炉内温度、1,280℃に上昇。  |
| 20時35分 | 8時間47分  | 観察用窓からノロが形成されていることを確認。炉内温度1,300℃に上昇。                       |
| 20時43分 | 8時間55分  | 炉内温度1,340℃。炎の色、青色と黄色の混合色。                                  |
| 21時13分 | 9時間25分  | 観察用窓から砂鉄の反応確認。炎は、青色とオレンジ色になり、高さは1mを超える。                    |
| 21時31分 | 9時間43分  | 炎、青白く変化。ふいごのピッチ早くなる。                                       |
| 21時48分 | 10時間00分 | 炎の高さ1m前後を維持。炉内温度1,270℃。踏みふいごの回数、1分間に72回。                   |
| 22時07分 | 10時間19分 | 観察用窓から炉内部をつつく。棒の先端にノロ附着。                                   |
| 22時11分 | 10時間23分 | 炉内温度1,400℃を記録。村下コメント「青い炎が多い」。                              |
| 22時30分 | 10時間42分 | 青白い炎の先が黄金色に変化。炎の高さ1mほど。踏みふいごの回数、1分間に92回。                   |
| 22時40分 | 10時間52分 | 炉内温度1,233℃に低下。踏み板の東側の弁から風漏れ。                               |
| 22時49分 | 11時間01分 | 踏みふいごの回数さらにアップ。1分間に110回になる。踏み板の弁が破損。風がふいごから漏れる。            |
| 22時54分 | 11時間06分 | 炉内温度1,258℃に上昇。   |
| 23時00分 | 11時間12分 | 4回目ノロ出し(ノロ量: 35.6kg)。ノロの長さ1m80cmほどに達する。                    |
| 23時07分 | 11時間19分 | ノロ出し穴をつつくと、さらにノロが出る。                                       |
| 23時08分 | 11時間20分 | 炎の色、青白い色と黄金色の混色。   |
| 23時27分 | 11時間39分 | 番子に状況を説明後、“蛍の光”のBGMに合わせ送風停止。                               |

木炭投入量: 655.6kg 砂鉄投入量: 188.5kg 生成鉄量: 49.0kg ノロ量: 36.8kg

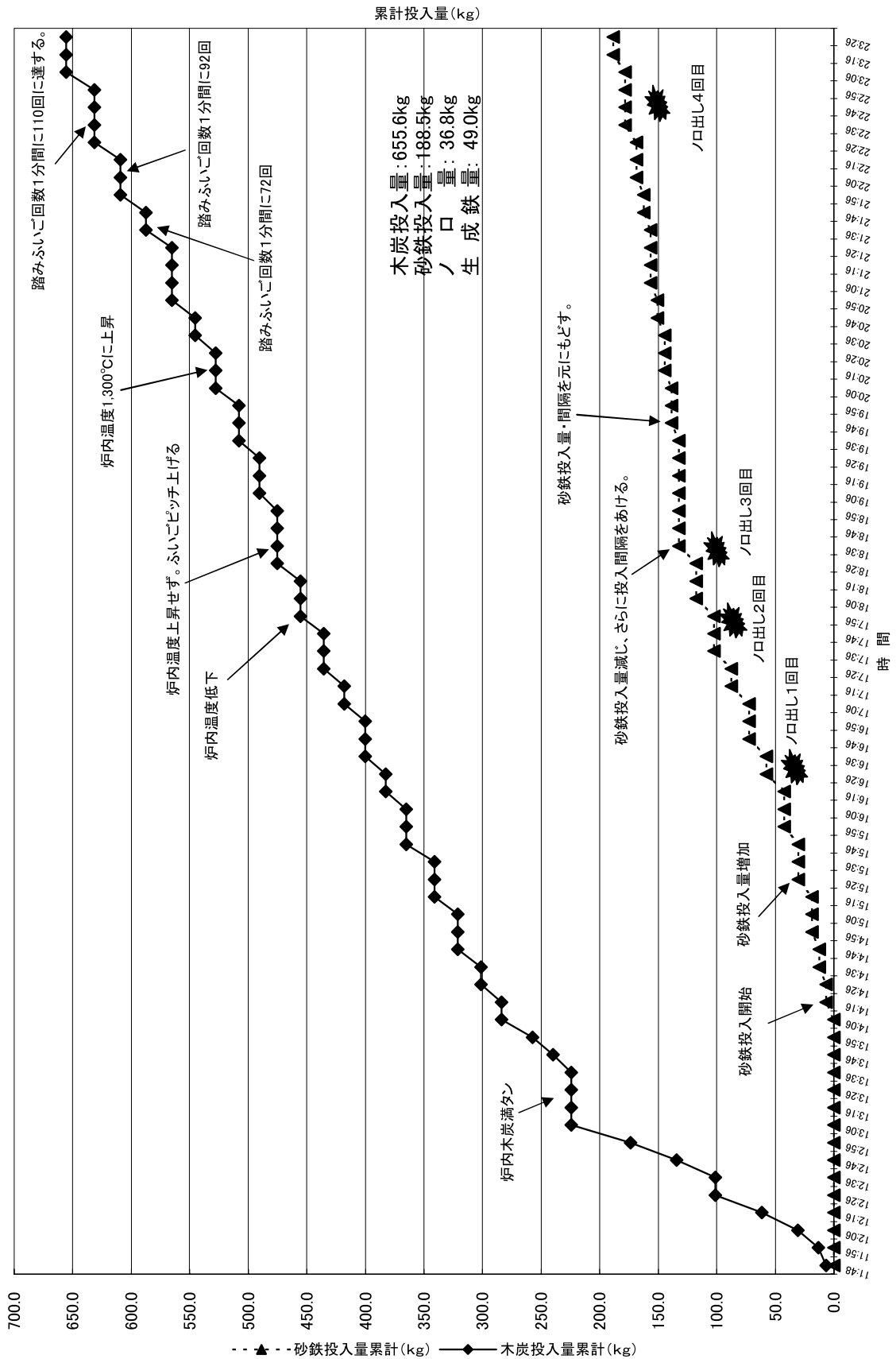


図 11 まほろん2号炉の木炭・砂鉄投入量累積表

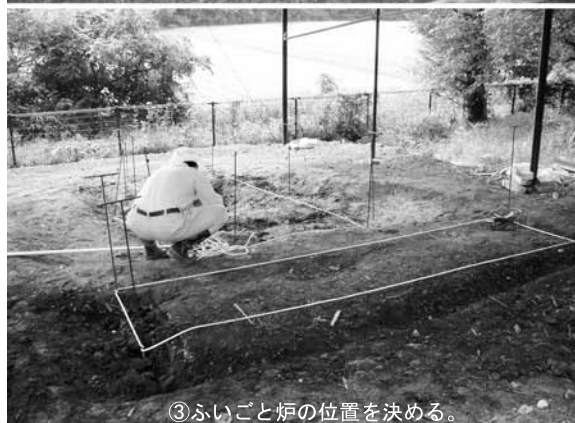


写真8 まほろん2号炉の構築



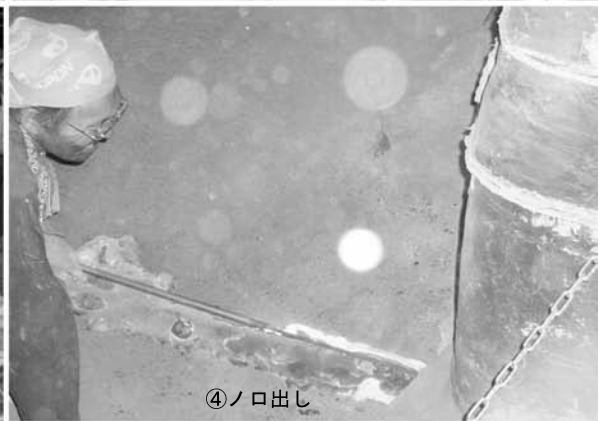


写真9 まほろん2号炉の操業

いう、驚異的で非人道的な速さとなった。弁の破損に加え、踏み板の周囲からも風が漏れ、これ以上の操業は不可能となった。ノロを炉外に出すのが精一杯であり、ようやく鉄の反応が始まったところでの操業終了となった。

なお、この踏み板の弁の損傷は、空気取り入れ位置の設置箇所とふいご掘形の送風孔の位置のズレから生じている。

すなわち、図12に示したように、踏み板の取り入れ口は、送風孔の直上に設置されてい

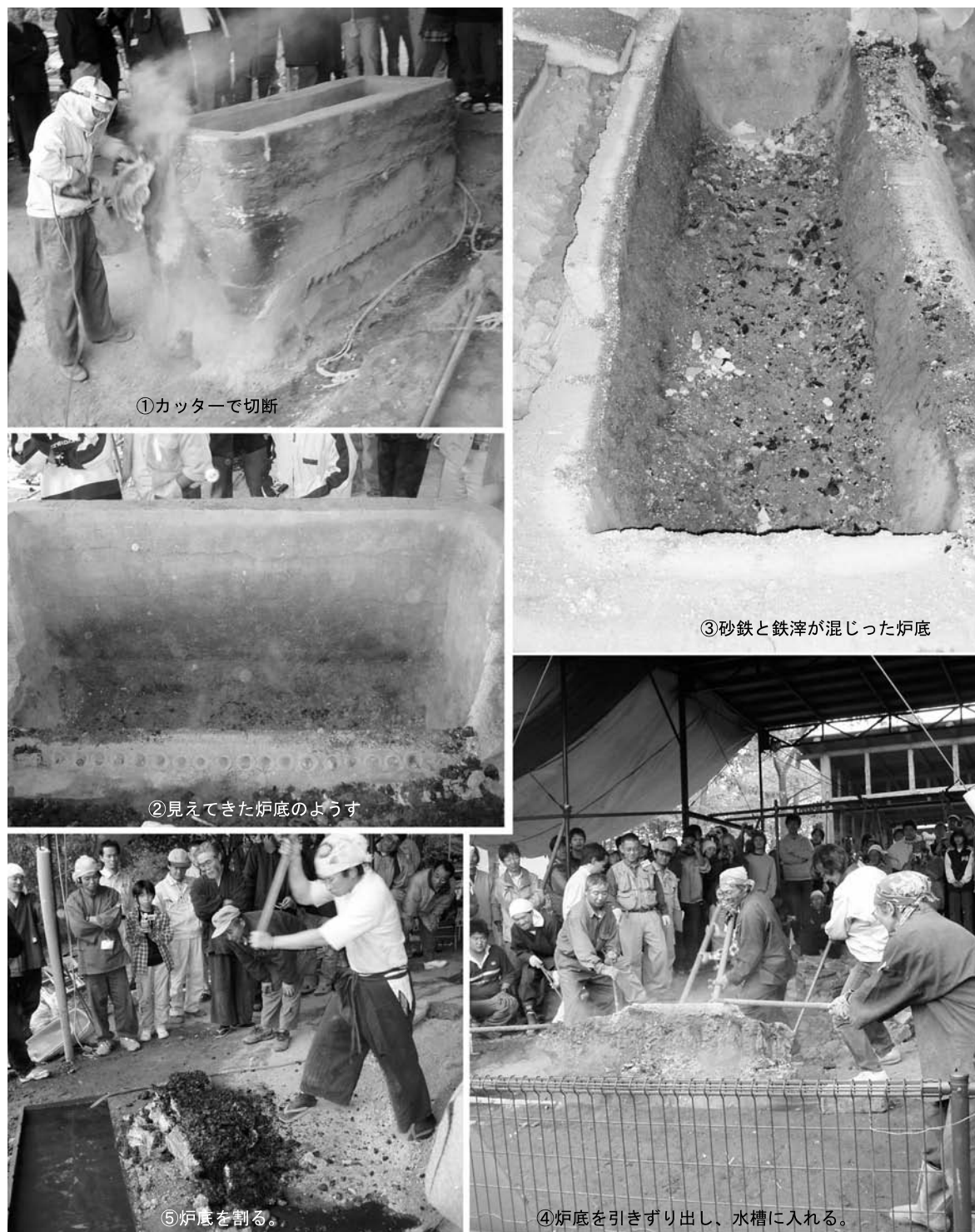


写真10 炉の解体

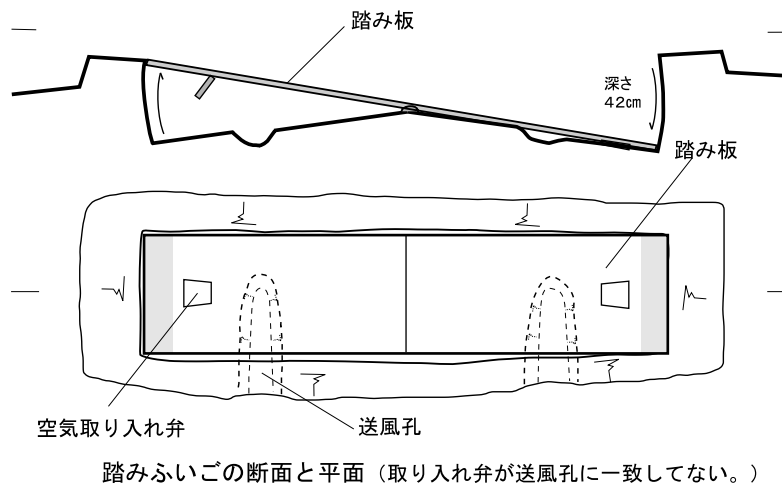


図 12 空気取り入れ弁と送風孔のズレと風箱内のようにす

真 10 参照)。炉壁の浸食はほとんど見られず、炉底には、砂鉄が炉の長辺に沿って 2 列帯状に認められ（注 9）、砂鉄を除去すると、無数の穴開きの鉄塊とノロが混じり合った状態で観察できるケラが形成されていた（写真 11 参照）。操業の経過時間から見るとプレ操業とあまり変わらないが、生成された状態は全く異なっていた。

— ければならないのである。気づいてしまえば当たり前のことだが、この当たり前のことが、実際に体験して初めて理解できることを痛感した次第である。

— ところで、プレ操業の際に確認できた踏みふいごの構造に関する致命的欠陥であるが、操業当初は気になっていたが、のちに改善された。まるで、炉自身が自助作用するがごとくであった。

この状況を図 13 に模式化した。操業前半はプレ操業と同様の現象が確認できていたが、砂鉄の反応が始まるころから認められなくなり、最終的には図の下段に示した状況に変化した。

操業の終了間近では、炉頂から上る炎は黄金色になり、送風の脈動に伴い、炉の中央に向かって全体的にピラミッド形になる炎が形成されていた。さらに、炎外縁に沿って黒いガス状のものが認められ、危惧していた欠陥は徒勞に帰した。

操業翌日には、炉を破壊し、生成物を取り出した（写

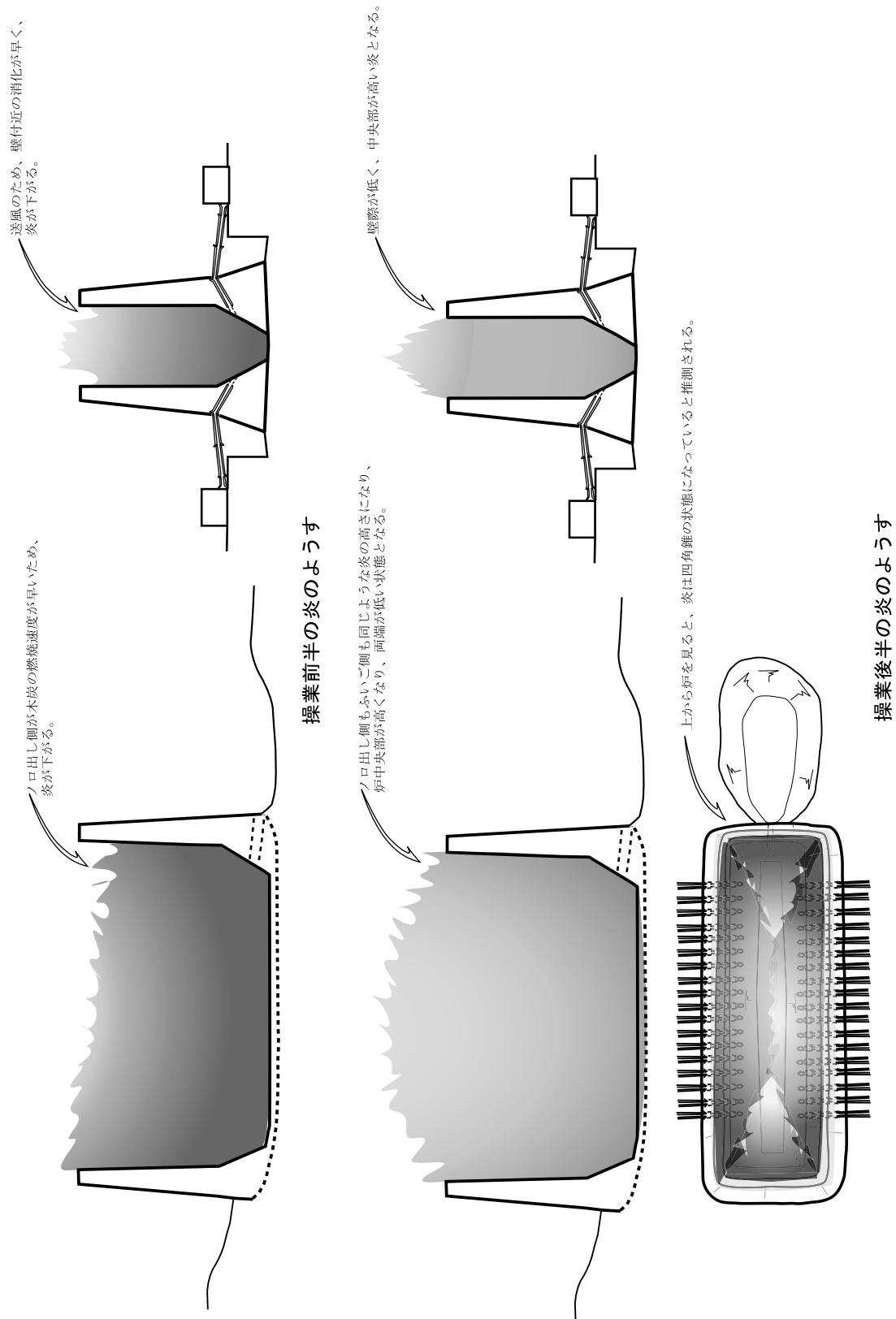


図13 まほろん2号炉操作のようす（概略図）

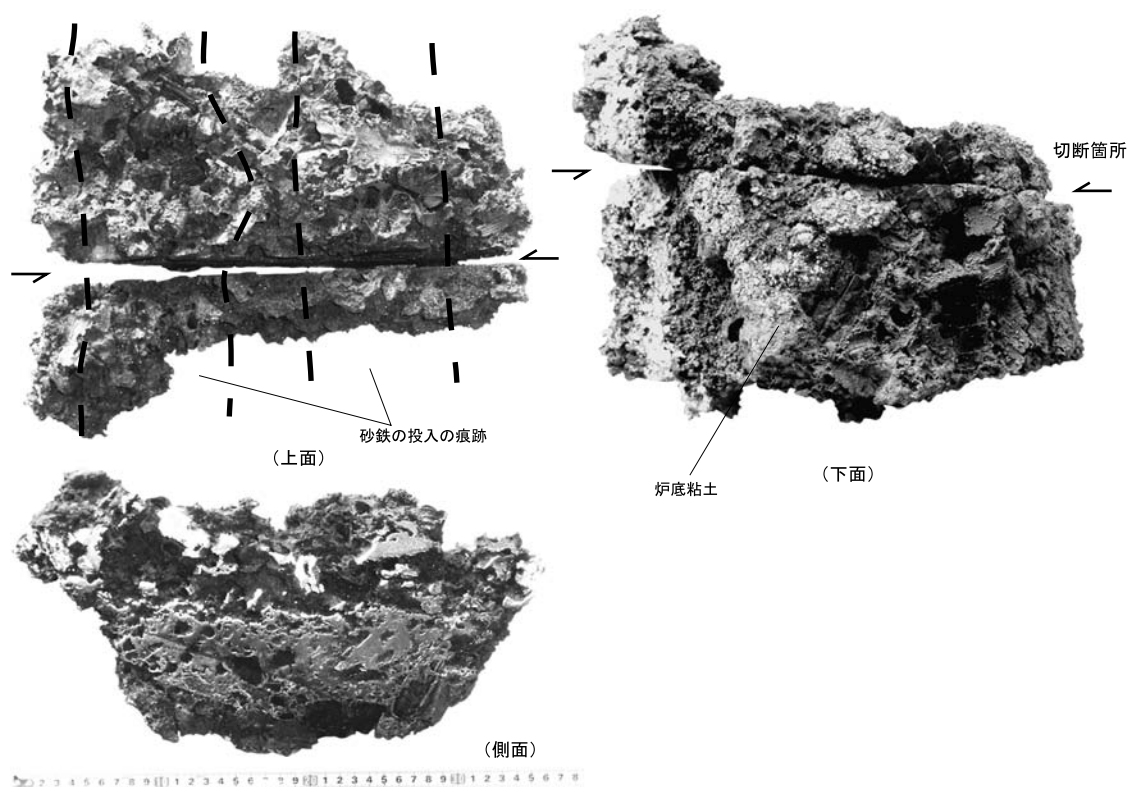


写真11 まほろん2号炉で生成された鉄塊（一部）

## 5 まほろん2号炉の操業から見てきた古代製鉄炉

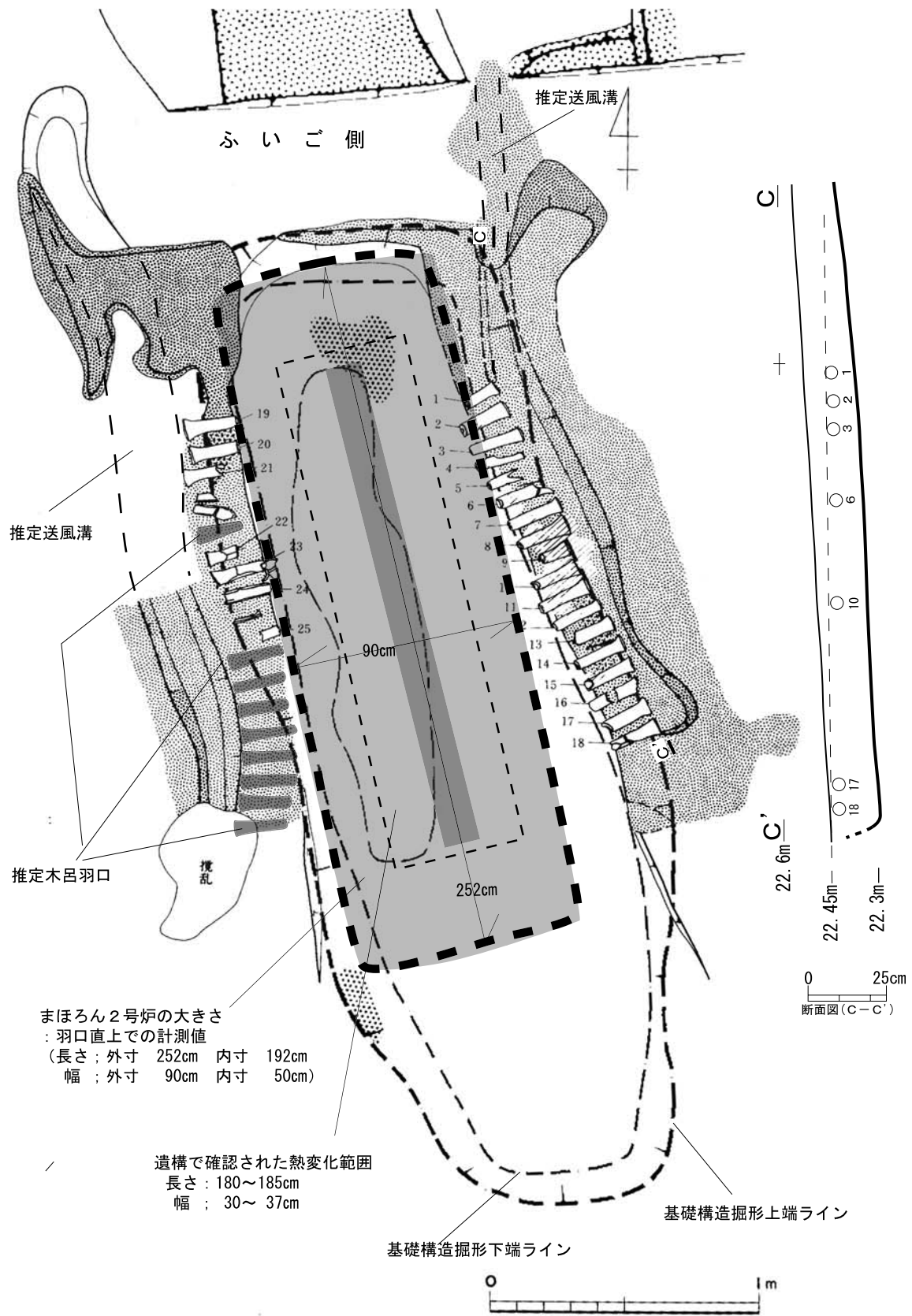
### 1) 炉の構築から見た古代の製鉄炉と近世たたら炉の規模

今回の出土製鉄炉原寸大の操業により、復元候補とした平安時代の15号製鉄炉の構築時の規模がおおよそ把握できるようになった（注10）。前述したが、再度まとめておく。

今回復元した炉の規模は、炉底直上の炉壁厚を45cmとして構築した場合、外寸の最大で長さ260cm、幅110cm、高さ120cmとなった。壁は炉底直上がもっとも厚く、その後厚みを減じて羽口付近では18cmになり、炉頂部では9cmとなった。このうち、復元炉の羽口付近の大きさを15号製鉄炉の図面に合わせたのが、図14である。

この図を見ると、遺構で確認できた木呂羽口と炉壁に装着された羽口は、ふいご側では直接接続された可能性が高く、ノロ出し側では、さらにもう一つ別の接続管が必要であることが推測できる。さらに、この接続管の長さは、ふいご側から徐々に長くなり、ノロ出し側が最も長い。当然のことながら、木呂羽口と装着羽口は直接ジョイントした方がリスクは少ない。それにもかかわれず、すべての羽口を直接ジョイントしない工夫、ここに古代製鉄工人の知恵があり、これの効果が、操業当初に見られるノロ出し側とふいご側の燃焼速度の調整を担っているのではないだろうか。すなわち、リスクをかける部分とかけない部分を設置することによって、炉全体の送風状況を調整していた可能性が高いのである。

ただ、実際の操業の状況からは、前述したように鉄の反応が始まると徐々にこの燃焼速度の遅速はなくなるため、この推測は成り立たないかもしれない。しかしながら、実際に炉を構築



(国井 1995より転載加筆)

図14 まほろん2号炉の炉壁厚と15号製鉄炉

してみると、片側18本の木呂羽口と炉壁装着羽口を直接ジョイントできるように配置するのは非常に困難であり、どこかに“遊び”が必要で、この接続状態のゆとりが、送風調整になった可能性は考えておきたい。

また、同図中に遺構図面から起こした木呂羽口と送風溝のエレベーションを示したが、これを見ると、木呂羽口の設置高は、ノロ出し側とふいご側でほぼ水平であり、ノロ出し側が溝の上方から、ふいご側が溝のほぼ中央から送風していることが解る。送風溝の構造が判明していないが、木呂羽口設置箇所のみかな高低差は、送風状況になんらかのギャップがあったのではないだろうか。

この他、この図からは、装着羽口が、ほぼ水平に炉に装着されていた可能性が示唆できる。この状況は、写真12の出土炉壁の装着羽口からも肯首でき、木呂羽口と炉壁装着羽口は、ほぼ水平にジョイントされていたものと思われる。

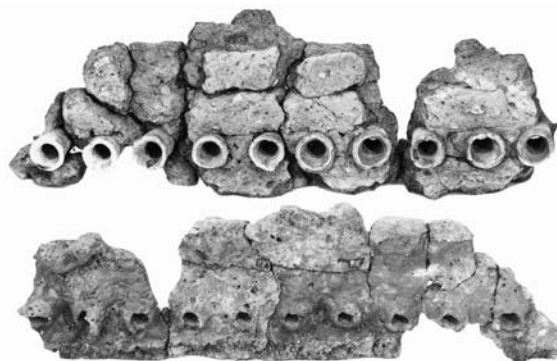
次に、構築時の製鉄炉の壁の厚さと炉壁装着羽口の長さについて、気づいたことを述べておく。

遺跡から出土した未装着羽口（先端部にノロが付着していないもの）は、全長20cm前後のものが多い（15号製鉄炉の木呂羽口の全長も、18.3～19.8cmである。）。この長さの羽口を製鉄炉に装着する場合、羽口吸気部側が広がっているため、どうしても装着位置の炉壁の厚さは最大でも20cm弱になる。羽口は若干角度を持って装着されるため、炉壁厚は、これ以下にならざるを得ない。そうすると、炉長2mほどの炉では、炉壁が薄すぎて上方まで積み上げてから、炉がへたってしまう危険性が高くなるのである。さらに、操業を開始すれば、羽口装着付近の炉壁は最も溶解し、薄くなっていく。

このため、この羽口設置部分の炉壁厚は、最低でも30cm弱ほど必要と思われ、出土した羽口の長さで推定した製鉄炉の炉壁厚では、10cm前後の差が生じることとなる。そこで、この10cmほどの差は、何らかの方法で壁を穿孔し、送風を確保しなければならなくなる。実際、今回の操業でも羽口先端部から炉内部に向かって、約10cm装着羽口の延長に保土穴を穿孔した。

すなわち、2m規模の製鉄炉では、構築時において、炉内面には保土穴が開けられ、羽口先端が炉内部に突出していない状況が想定できるのである。当然、羽口装着付近の炉壁厚が20cmの炉壁でも、構築することは可能であろう。

ただ、当時の工人たちは、あえてリスクの高い状態を選択するよりは、少しでも安全で効率よく鉄を産出していたと思うので、このような羽口と保土穴による送風方法を想定しておきたい。なお、この保土穴は、今回幅20mm、長さ40mmの楕円形状に絞り込んだ。操業が順調に推移し、炉壁の溶解が進めば、やがて浸食された壁は羽口付近まで達する。これは、



(小暮1997より転載)

写真12 山田A遺跡出土炉壁装着羽口

操作に応じて送風量が異なる2段階送風方式であり、当時この方法があった可能性を示唆しているのではないだろうか。

さて、上記のようなことから、まほろん2号炉を構築したわけであるが、構築してみると、

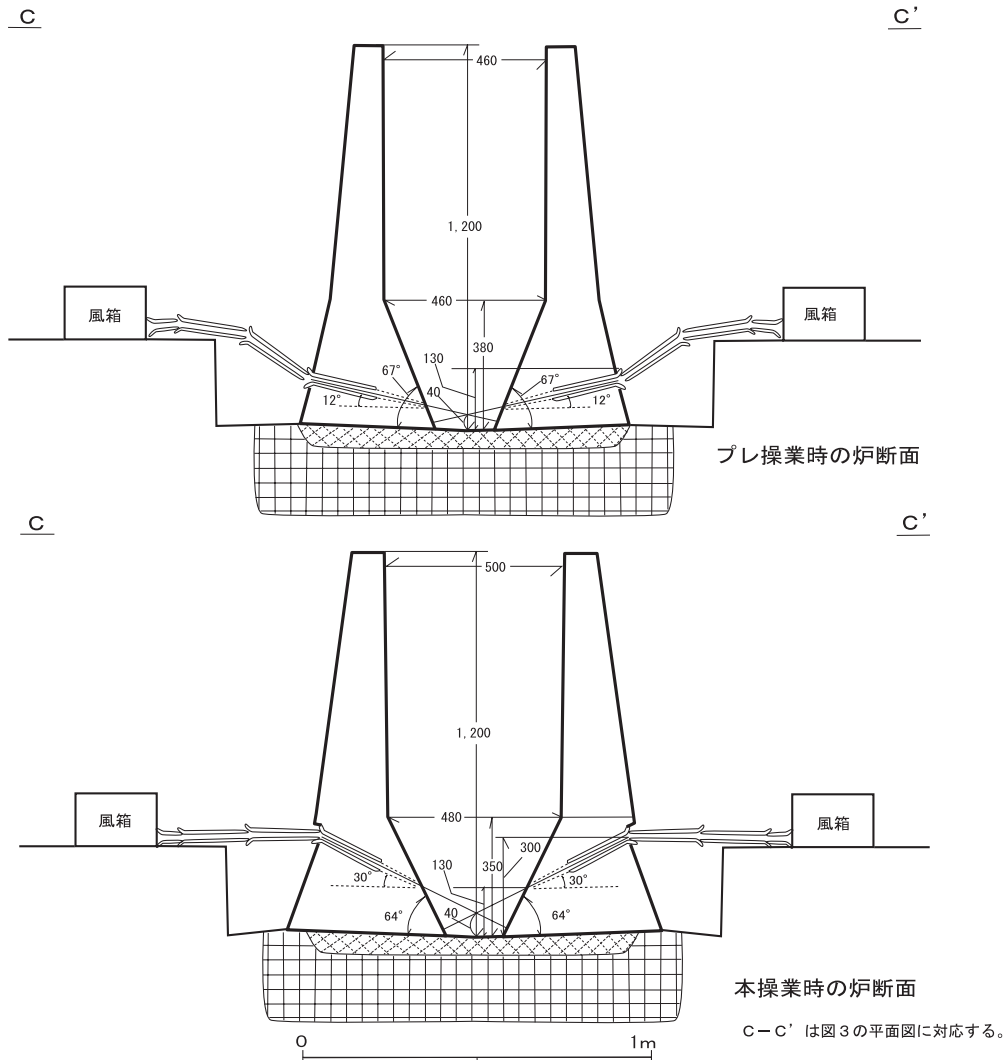


図15 まほろん2号炉の断面（構築時）

表5 まほろん2号炉と近代に記録された「たたら」の規模

|           | 炉全長   | 炉幅    | 炉高    | 炉底の炉壁厚 | 羽口の装着角度  | 羽口の設置高   | 羽口設置状況   |
|-----------|-------|-------|-------|--------|----------|----------|----------|
| まほろん2号炉   | 260   | 110   | 120   | 45     | 30(12*1) | 30(13*2) | 水平       |
| 佃谷たたら(*3) | 284.5 | 107.8 | 115   | 44.8   | 9~10 1   | 2.7(*4)  | 水平       |
| 砺波たたら(*3) | 338.7 | 104.0 | 116.5 | 39     | 26       | 21.8     | 炉中央部若干高い |

\* 佃谷たたらや砺波たたらの数値は、俵氏の「古来の砂鉄製錬法」1933より抜粋した。

\* 1：出土遺物からの角度。プレ操作時の設置角度。

\* 2：遺構から推測した高さ。木呂羽口の設置箇所と炉底の熱変化痕跡の高低差。

\* 3：各数値は、間塗（炉中央部）での規模で、最大値を示す。

\* 4：実測図では内壁に沿って96mmとなっているが、文中(p66)では「銑押の場合は（中略）外壁に沿い127ミリメートル、内壁に沿い112乃至115ミリメートル位にしてその羽口の有する勾配も著しく緩やかなり。」と記載されている。

\* 5：実測図では内壁に沿って158mmとなっているが、文中(p65)では「鑪の外壁に沿い約218ミリメートル、内壁に沿い約158ミリメートル位の高さになし。鑪の間塗に於ては更に外壁24ミリメートル、内壁30ミリメートル丈高めにするものとす。」と記載されている。



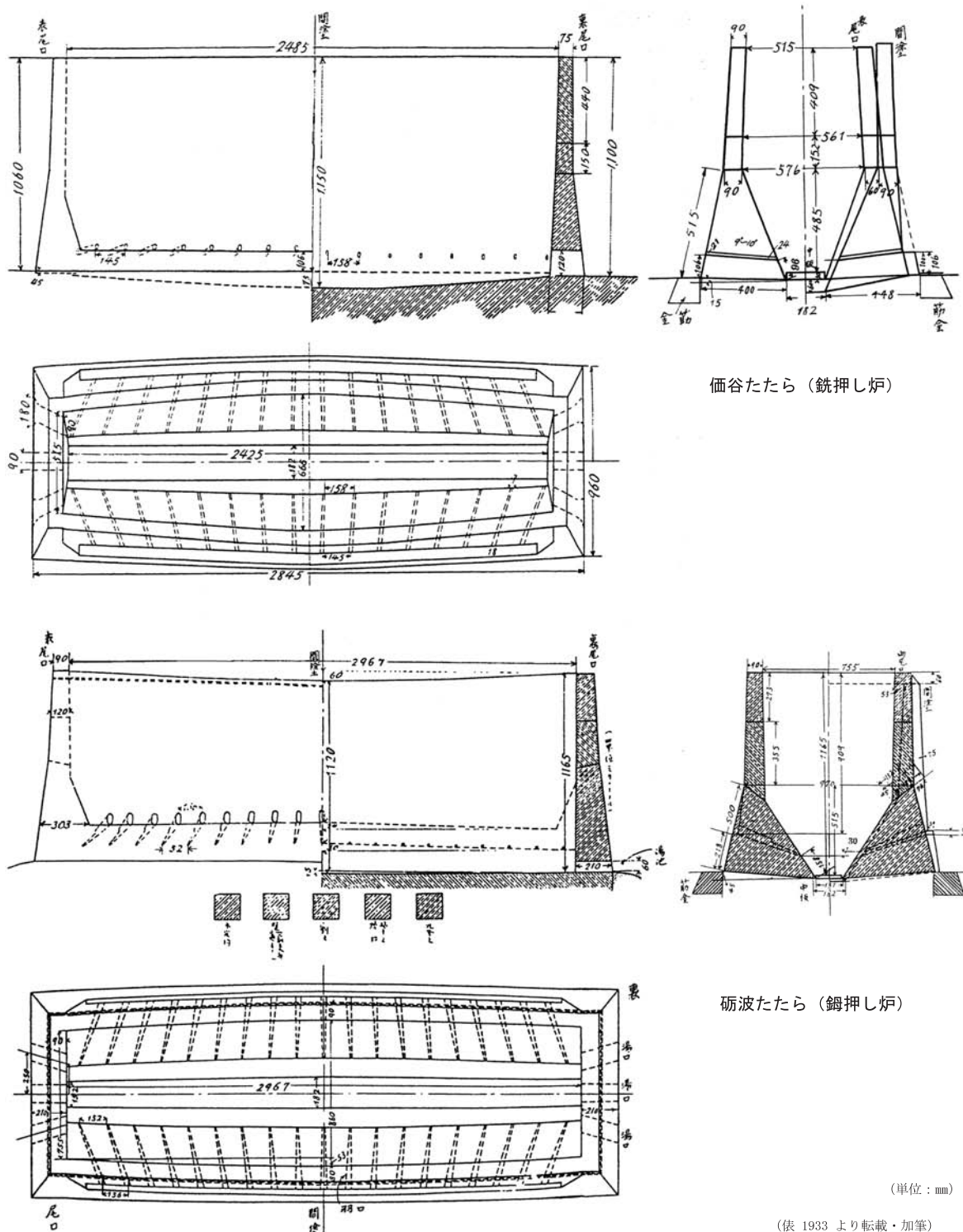


図16 ほ谷たたらと砺波たたら実測図

所謂近世たたらに類似していることが判明した。図15にまほろん2号炉の断面、図16にほ谷たたら（銑押し）・砺波たたら（鋤押し）の図を示した。これらの炉底直上の規模や羽口設置箇所の計測値を表5に示した。

この表と図からは、ほ谷たたらのズク押し炉は、今回復元した炉と非常に規模が類似していることが解る。特に、炉底の炉壁厚、羽口の装着角度、設置状況や羽口の設置高など、操業に

関わる最も重要な炉の下部構造が酷似しているし、炉の断面形状も似通ったものとなっている。このような状況と、表1に示した鉄塊炭素量の測定値からは、15号製鉄炉では、ズクを産出していたものと判断できる。それは、平安時代の製鉄技術が、綿々と近世、近代までつながっていたことへの一つの証左であると思われる。

さらに、操業の時間であるが、1号炉の操業結果からは10時間程度の操業（炉中央部付近の規模：長110cm、幅60cm、高110cm）を考えたが、2号炉の規模（炉中央部付近の規模：長240cm、幅90cm、高120cm）になると、24時間から48時間程度の操業が推測されるのである。炉内で1,300℃を維持するための必要時間や砂鉄の反応開始時間でも、1号炉が1時間から1時間半程度であったのに対し、2号炉では3時間～4時間を要している。すなわち、大まかに言って1号炉の3ないし4倍の時間が必要であることになり、1昼夜半から2昼夜の操業が予想される。この推測操業時間は、いわゆる近世たたらの一（ひとよ：ケラ押し3日3晩、ズク押し4日4晩）に近づくような操業であった可能性が推測される。

## 2) 炉の操業から見えた消費量について

今回の炉の操業では、前述したように多量の粘土、木炭、砂鉄を消費した。再度、まとめて平安時代の1回の製鉄操業にかかる消費量を試算しておきたい。

炉構築の粘土量：約2.9 t

砂鉄投入量：188.5 kg

木炭投入量：655.6 kg

産出鉄：49.0 kg

鉄滓量：流出滓36.8 kg

上記がまほろん2号炉の消費量である。1回の投入量は、プレ操業とイベント本番を平均すると、砂鉄約10kg、木炭約20kgである。これを約25分間隔で投入したが、仮に48時間操業するとすれば、以下のような消費積算式が成り立つ。

投入回数： $48\text{ h} \times 60\text{ 分} \div 25\text{ 分} / \text{回} = 115.2\text{ 回}$

砂鉄量： $115\text{ 回} \times 10\text{ kg} = 1,150\text{ kg}$

木炭量： $115\text{ 回} \times 20\text{ kg} + 188\text{ kg} (*1) = 2,488\text{ kg}$

\*1：炉内が木炭で満タンになるまでの木炭消費量。2回の操業での木炭消費量を足して、2で割った数値。

すなわち、1回の操業で、砂鉄は1.2 t、木炭は2.5 t、粘土は2.9 t消費する可能性が考えられる。今後は、これらの試算結果を実際に確認するための操業実験と、調査された木炭窯からの産出木炭量の試算、特に1回の木炭窯の焼成で産出できる木炭量と製鉄炉の操業回数、廃滓場で確認された廃滓量からの操業回数などをさらに検討し、古代の製鉄技術の解明を試行していきたい。

## 6 おわりに

今回行ったまほろん2号炉の操業は、49kgの鉄を産出して終了した。分析の結果では、炭

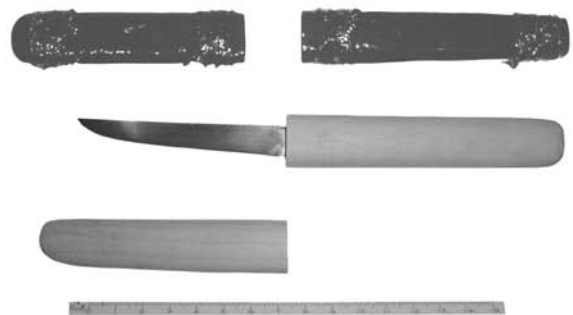
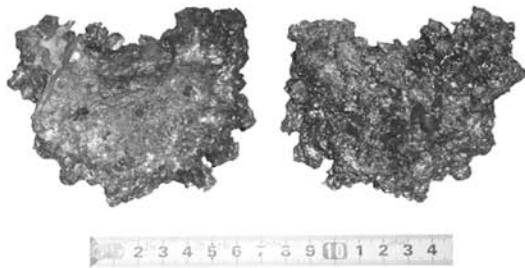


写真13 まほろん2号炉の生成鉄塊のその後

素量0.25%の低炭素鋼であり、1号炉と同質の鉄が産出できたわけである。原料・燃料・材料が同じで、羽口角度が同程度であり、10時間程度の操業では、同質の鉄が産出するのだろうか。生成される鉄の性状と、原材料や羽口の装着角度との関連を今後も検討していきたい。産出した鉄塊のその後の経過を記述して終わりとしていたい。

49kgの鉄塊は、その後、一部を残して親指の爪程の大きさに小割りし、藤安刀匠のもとで、“下げ”工程を行った(写真13参照)。

径30cm程、高さ40cm程の下げ用鍛冶炉に投入された鉄塊は、投入から15～20分で、鉄とノロに分離した。鉄は羽口直下にハート状にまとまり、鍛冶炉の底にはノロが液状に溜まった。あまりの時間の短さに、「あれだけ苦勞して砂鉄から鉄に変えたのに、何でこんな簡単に鉄がまとまるのですか。」と、刀匠に率直な疑問をぶつけると、「鉄は、砂鉄から鉄にするのは難しいが、一旦鉄になってしまえば、後は簡単なんだよ。」と、笑いながら答えてくれたことを思い出す。

このまとめた鉄塊は、その後、鍛錬され、素延べを経て、平成18年11月25・26日に実施した「鉄器づくり」(まほろん開館五周年記念特別文化体験プログラム)の素材となった(写真13参照)。鉄器づくりでは、平安時代の刀子をモデルとし、できあがった刀子は計24本であった。“1次製錬の鉄は、あくまでも次の工程での素材でしかない”、このことを改めて実感した次第である。

最後になりましたが、いつもながら、まほろん炉の操業に際して、ありとあらゆるご指導・ご援助をくださった藤安将平刀匠、有賀一久氏、並びに炉の構築から操業まで、多くの時間を費やしてくれましたまほろん職員、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みなさまに厚く感謝申し上げますとともに、こんな拙い報告になったことをお詫び申し上げます。

平成19年度、まほろん3号炉の操業において、今度こそ“ズク”を産出できるよう、がんばります。また、力を貸してください、お願い致します。

今回の鉄づくりでお世話になった方々と機関(敬称略)

砂鉄の入手：星 秀夫(白河市大信) 福島県南建設事務所

粘土の入手：東北電力株式会社原町火力発電所 福島県教育庁文化財グループ

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

鉄づくりに関する様々なデータ：星 秀夫 能登谷宣康 福田豊彦 真鍋成史 井原 聡 加藤将彦

愛媛大学法文学部 東北大学大学院国際文化研究科科学技術交流論講座科学史・科学技術論研究室

操業時の援助：中西裕也 宮城典真 星 秀夫

温度・送風量測定：佐藤健二 渡部友太郎

各種分析：平井昭司 武蔵工業大学 JFEテクノロジー株式会社

(注1) 吉田秀享 2006「平安時代の鑄鉄製品—出土鑄型からの研究復元—」『福島県文化財センター白河館研究紀要2006』

福島県文化振興事業団福島県文化財センター白河館 2006「クロガネの鑄物」展示解説図録

(注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』

なお、この報告中で以下の誤りがあった。正誤の提示により、お詫びし訂正したい。

紀要2004 p1 下から6行目 62kg → 650kg  
 p17 表下段 投入木炭量 279.1kg → 293.5kg  
 p18 表最下段 投入時間の計 15時間34分 → 15時間36分  
 p20 下から6行目 木炭投入量 279.1kg → 293.5kg  
 p24 注1 発行年 2006 → 2005

(注3) 粘土の吟味は、その成分組成は分析等で明らかになっているが、各成分の数値のみでは、当時の炉材粘土は解明できないのではないだろうか。おそらく、複数箇所から採取した粘土をブレンドし、使用している可能性が考えられ、土壌学的分析も取り入れ、地質の様相把握が必要不可欠ではないだろうか。

(注4) 当時の製鉄工程を推測すれば、砂鉄からの1次製錬後に生成物は小割りされ、次の精錬作業に移されたものと思われる。すなわち、1次製錬時の生成物は小割りされなければ、最終目的の製品に加工できない。まほろん1号炉での低炭素鋼では、小割作業は至難を極める。

(注5) ここでの値はおおよその目安である。マツの根元と先端では太さが異なるため、当然のことながら一概には言えない。

(注6) 藤安刀匠の鍛刀場での予備実験操業のようすは、写真14に示した。製鉄炉は、長さ87cm、幅62cm、高さ120cmの規模の箱形炉であり、片側に3本の羽口を設置している。羽口の内径は33mmで、羽口の芯々間18cmで、炉底から38cmの高さに水平に設置されている。操業時は、炉底に25cm弱の厚さに、木炭粉によるカーボンベットを構築するため、操業時の炉底からの高さは、概ね15cm程度となる。大きき的には、まほろん1号炉とほぼ同様であり、ブローによる送風が可能のため、数度の実験を行った。

なお、この他に、刀匠の鍛刀場には円形の製鉄炉があり、この製鉄炉により、2年前の1号炉の操業前にも予備実験を行っていただいた。操業の結果、羽口角度35°でケラができ、この結果を受けて、まほろん1号炉では炉壁に装着する羽口角度を決定している。生成された鉄塊は分析にも供している(平井昭司他 2005「まほろん」における復元たたら製鉄からの鉄塊とスラグ中の元素濃度及び金属学的組織『福島県文化財センター白河館研究紀要2004』)。

(注7) 俵 国一 1933『古来の砂鉄製錬法』丸善の「第5章銑押し」による。この他、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したり、投入する砂鉄の割合は、山小鉄3、浜小鉄7で、そのうちの1/3は、砂鉄焙焼炉にてあらかじめ燃焼するとある。この他、燃料の木炭には、操業後3時間まではマツ炭、その後は雑木炭を使用するとの記載がある。

(注8) 注2の報告でその根拠を示している。出土する炉壁は操業後の状態であるため、構築時の炉底からの高さは不明であるが、木呂羽口と熱痕跡のレベル差から算出した値である。

(注9) 炉底に認められた砂鉄の帯は、砂鉄が瞬時に炉底に到達してしまったことを伺わせる。実際、5cm程の大きさの木炭をいくら敷き並べたと言っても、径0.4mmの砂鉄粒が木炭上にとどまることは可能なのだろうか。図17に一般に言われる炉内の状況概念図を示したが、炉内に投入した砂鉄は数秒で炉底に達するのではないだろうか。



写真14 藤安将平刀匠の予備実験のようす

「如何に、炉中に砂鉄を留ませるかが大事」と思われるが、日本鉄鋼協会で実験した際にも、同様の現象が指摘されている(坂田 1971 p69)。この他、倉林炉の操業実験では、砂鉄と粉炭、貝殻の粉末を正麩のりでまとめた砂鉄玉を作り、これを投入している(桂 1982 p216)。この正麩のりで固めたもの、あるいはなんらかの“のり”を使用して砂鉄をせんべい状にしたものも、炉頂部の温度が900℃前後とした場合、粘着用の“のり”は、燃焼しないのであろうか。“のり”

が燃焼してしまえば、以後は、何ら処置を施さない砂鉄と同様に炉底に落下する可能性がないのであろうか。水をまいた砂鉄を投入することも、同様の感がある。ただ、のりが燃焼する僅かな時間が、砂鉄の反応、あるいは生成鉄の形成に必要であり、それを経験的に知っていたが故に、採用していたことを否定はしない。

(注10) 遺跡の調査で出土する炉壁は操業後のようすを示しているため、構築時の規模は全く不明である。この当たり前のことに、得てして気づかないことが多い。さらに、製鉄炉は1回ごとに炉を壊すため、構築時の炉の規模は全く解らない。天田昭次刀匠も同様のことを述べている(天田 2004 p 185)。

<参考・引用文献>

- 天田昭次 2004 「鉄と日本刀」慶友社  
 愛媛大学法文学部 2006 「日本列島における初期製鉄・鍛冶技術に関する実証的研究」  
 大蔵明光 1970 「“たたら”復元で何がわかったか?」『金属』4月15日号  
 桂 敬 1982 「V古代製鉄原理の探求第1章伝承炉(倉林炉)と復元実験」『古代日本の鉄と社会』平凡社  
 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  
 小塚寿吉 1966 「日本古来の製鉄法“たたら”について」『鉄と鋼』昭和52年第12号  
 坂田武彦 1971 「たたら製鉄の復元とその鋸について 4章操業記録」日本鉄鋼協会  
 鈴木卓夫 2000 「「鋸押し法」と「銑押し法」における築炉法の比較」『製鉄史論文集たたら研究会創立40周年記念』たたら研究会  
 俵 国一 1933 「古来の砂鉄製錬法」丸善  
 角田徳幸他 2005 「価谷鉾跡発掘調査報告書」島根県古代文化センター調査研究報告書26  
 坪井良平 1970 「日本の梵鐘」角川書店  
 日本鉄鋼協会 1971 「たたら製鉄の復元とその鋸について」  
 福田豊彦 2000 「近世における『和鉄』とその技術—中世の『和鉄』解明のために—」『製鉄史論文集たたら研究会創立40周年記念』たたら研究会

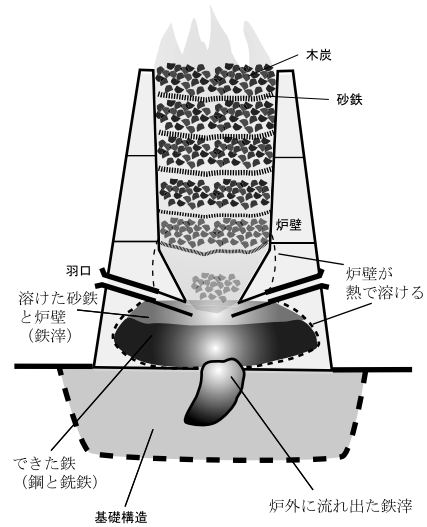


図17 一般に考えられる炉内状況