

研

福島県文化財センター白河館

究

2005 紀

要

〔研究論考〕

- 平安時代の鑄鉄製品—出土鑄型からの研究復元—
.....吉田秀享
- 出土鑄型からのシリコン製の製品の復元及び
市川橋遺跡出土獣脚のX線分析顕微鏡による分析結果について
.....奥山誠義
- 獣脚付き容器2種と風鐸2種の復元
.....濱田善玲・鈴木 勉
- 出土鑄型からの鉄製梵鐘の復元
.....鈴木 勉・濱田善玲
- 鑄鉄製品の表面仕上げについて
.....鈴木 勉
- 復元鉄鐘の音響特性
.....大熊恒靖
- 相馬地域出土鑄型から復元した鉄器類の鑄造実験と組織観察
.....佐藤健二

福島県教育委員会
(財) 福島県文化振興事業団
2006年3月31日発行



福島県文化財センター●白河館

研

究

紀

要

2005

福島県教育委員会
(財) 福島県文化振興事業団

目 次

≡ 研究論考 ≡

平安時代の鑄鉄製品－出土鑄型からの研究復元－（吉田秀享）	1
出土鑄型からのシリコン製の製品の復元及び市川橋遺跡出土獣脚のX線分析顕微鏡による分析 結果について（奥山誠義）	41
獣脚付き容器2種と風鐸2種の復元（濱田善玲・鈴木勉）	47
出土鑄型からの鉄製梵鐘の復元（鈴木勉・濱田善玲）	65
鑄鉄製品の表面仕上げについて（鈴木勉）	78
復元鉄鐘の音響特性（大熊恒靖）	85
相馬地域出土鑄型から復元した鉄器類の鑄造実験と組織観察（佐藤健二）	97

平安時代の鉄製品―出土鋳型からの研究復元―

まほろん 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、古代の技術や素材をできる限り検討して、今に甦らせる事業である。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が対象となり、その成果品は展示等を通して公開している。

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、表 1 に示したような梵鐘や獣脚付容器、風鐸などの鉄製品の復元を行ってきた。その成果一覧を写真 1 に示したが、本報告は平成 14 年度から同 16 年度にかけて行われた出土鋳型からの鉄製品の研究復元の報告である。

表 1 研究復元事業計画

年度	内 容	対 象 遺 跡
14	獣脚付容器・風鐸鋳型からの鉄製品復元	新地町向田 A 遺跡・相馬市山田 A 遺跡
15	梵鐘鋳型からの鉄製品復元	新地町向田 A 遺跡
16	鉄製品の仕上げ工程復元	14・15 年度復元資料

2 復元資料を出土した遺跡の概要

今回復元した鉄製品は、新地町向田 A 遺跡と相馬市山田 A 遺跡から出土した鋳型を基にしている。いずれも平安時代を主体とする鋳造遺跡であり、福島県教育委員会が発掘調査を行い、出土資料はすべてまほろんで保管展示されている。以下、各遺跡の概要を説明する。

①新地町向田 A 遺跡

図 1 に全体遺構配置図、図 2 に鋳造関連遺構の配置を示した。本遺跡は、福島県新地町駒ヶ嶺字向田にあり、昭和 60・61 年に調査された。調査の結果、製鉄炉 7 基、木炭窯 16 基、鋳造遺構 6 基、須恵器窯 1 基、住居跡 6 軒、土坑 21 基などが確認され、7 世紀後半から 9 世紀後半にわたる製鉄関連遺跡であることが判明した。

このうち、鋳造に関するものでは、9 世紀代の鋳造溶解炉（甑炉）、鋳型焼成場、鋳型等廃棄場などが確認され、すべて鉄の鋳造に関わる。また、鋳造作業場は 3 期（A 期・B a 期・B b 期）に分かれるとしている（安田ほか 1989）。

この 3 期は図 2 左上に示した ① 1～3 がそれぞれ A 期・B a 期・B b 期に該当するが、作業場の堆積土を、構築土・操業時堆積土に分けてみると、明確に 3 期には分かれず、かなり複雑な状況を呈している。

No.①



獣脚付容器(羽釜タイプ)
1回目鋳込み→油焼き法
原料：玉鋼30%+鉄鉱石ズク70%

No.②



獣脚付容器(羽釜タイプ)
2回目鋳込み→漆焼き法
原料：玉鋼50%+鉄鉱石ズク50%

No.③



獣脚付容器(獅嚙タイプ)
→仮称炭焼き法(蜜蝋仕上げ)
原料：玉鋼30%+
鉄鉱石ズク70%

No.④



2号風鐸(乳付き) 1回目鋳込み
→赤漆塗り仕上げ
原料：玉鋼30%+鉄鉱石ズク70%

No.⑤



2号風鐸(乳付き) 2回目鋳込み
→金箔貼り仕上げ
原料：玉鋼50%+鉄鉱石ズク50%

No.⑥



1号風鐸(乳なし)→漆焼き法
原料：玉鋼50%+
鉄鉱石ズク50%

No.⑦



梵鐘 1回目鋳込み→仮称炭焼き法
(蜜蝋仕上げ)
原料：玉鋼100%

No.⑧



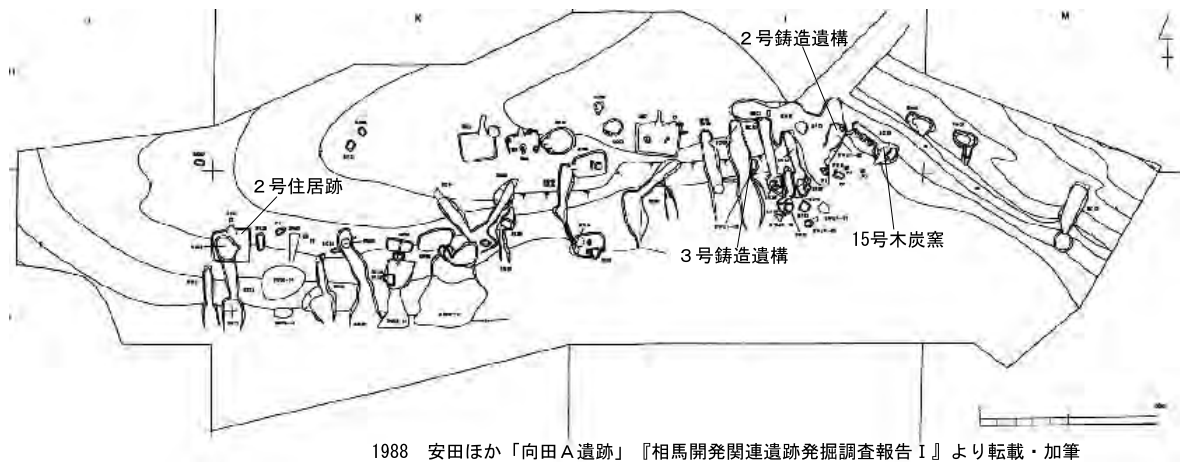
梵鐘 2回目鋳込み→仮称稻藁燻し法
原料：玉鋼50%+鉄鉱石ズク50%

No.⑨



梵鐘 3回目鋳込み→漆焼き法
原料：玉鋼90%+鉄鉱石ズク10%

写真1 研究復元事業の成果品



1988 安田ほか「向田A遺跡」『相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅰ』より転載・加筆

図1 向田A遺跡遺構配置図

すなわち、最初に作業場を整地した後（A-A'断面26層、B-B'断面29層が該当）は、操業を行って整地し、さらに操業するといった連続的な状況が見て取れる。

時期的には、A期が8世紀末、B a期が9世紀前半、B b期が9世紀後半におおよそ比定されている。しかし、下に示した作業場の断面図からは、中断無く、操業が行われていたと思われる。

鑄造遺構からの出土遺物は、概ね9世紀中頃を主体としているため、これらの鑄鉄遺構群も同時期の所産と思われる。したがって、出土した鑄型も当該期の所産と判断している。

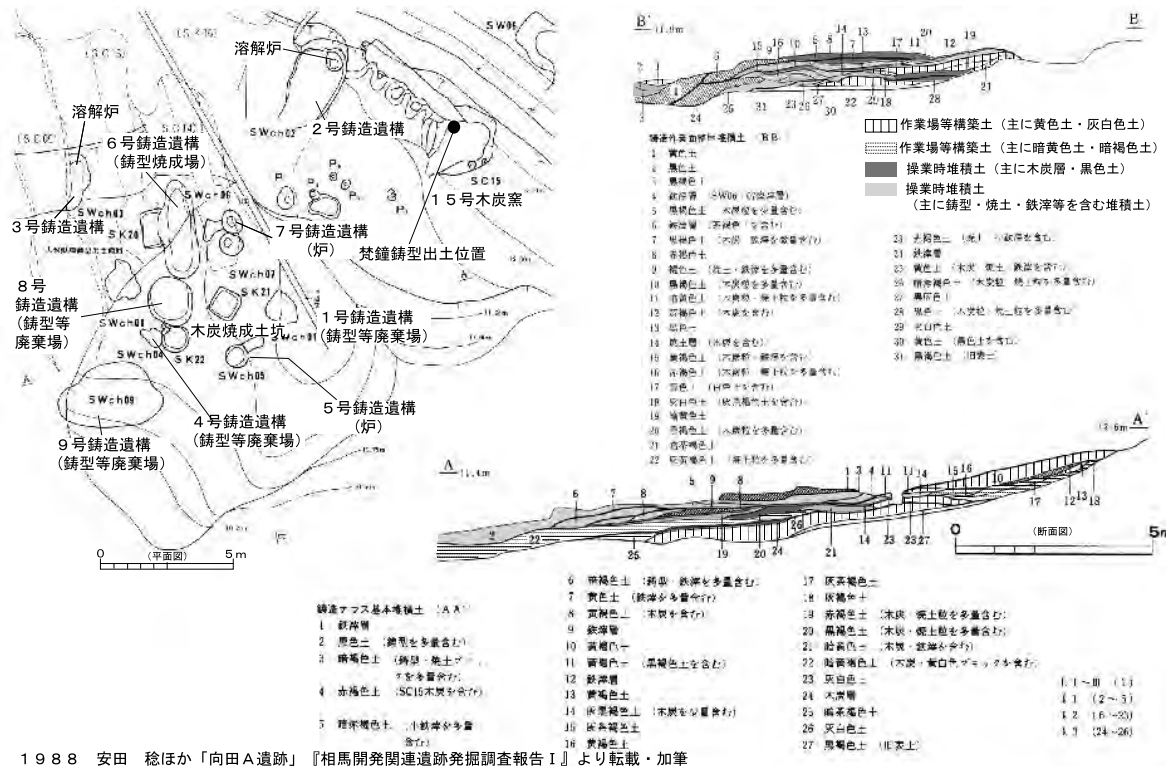


図2 向田A遺跡鑄造関連遺構

②相馬市山田A遺跡

図3に遺構の配置を示した。本遺跡は、福島県相馬市大坪字山田にあり、平成3年に調査さ

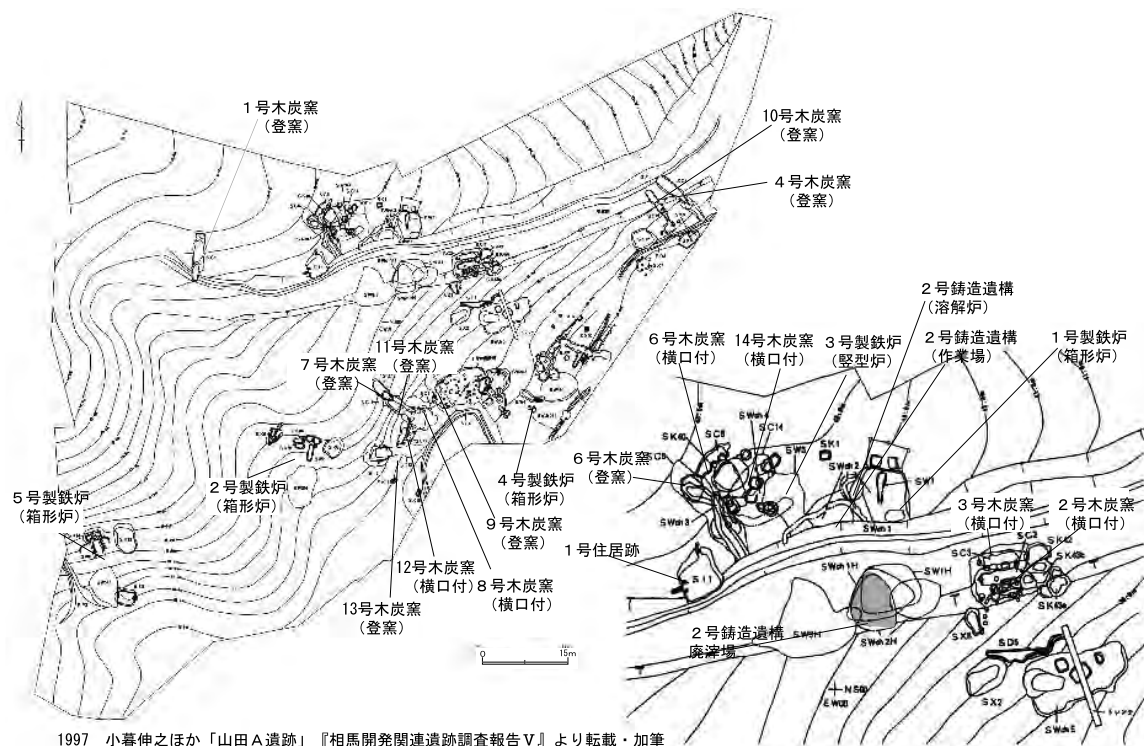


図3 山田A遺跡遺構配置図

れた。

調査の結果、製鉄炉5基、木炭窯14基、鋳造遺構6基、木炭置き場1基、住居跡3軒、土坑10基などが確認され、9世紀前半の鋳造遺跡であることが判明した。

鋳造に関するものでは、2号鋳造遺構として溶解炉と作業場、廃棄場が確認され、獣脚や容器、風鐸、梵鐘、三鈷杵などの鋳型が多数確認された。これらの遺構もまた鋳鉄関連のものである（小暮ほか1997）。

3 復元対象鋳型の選択と復元資料の特徴

研究復元の対象としたのは、鋳鉄製の獣脚付容器・風鐸・梵鐘である。ただ、これらのものはすべて、前述の向田A・山田A両遺跡から出土した鋳型をもとに復元している。このため、出土した鋳鉄製品そのものから製品を復元したのではなく、あくまでも鋳型からの復元品であることをあらかじめご了解いただきたい。

復元した鋳鉄製品の鋳型は、以下の4種である。

- ①新地町向田A遺跡出土の獣脚鋳型と容器鋳型（獣脚付容器羽釜タイプと呼称する：注1）
- ②相馬市山田A遺跡出土の獣脚鋳型と容器鋳型（獣脚付容器獅嚙タイプと呼称する）
- ③相馬市山田A遺跡出土の風鐸鋳型
- ④新地町向田A遺跡出土の梵鐘鋳型と龍頭鋳型

【獣脚付容器（羽釜タイプ）：新地町向田A遺跡出土の獣脚鑄型と容器鑄型】

対象とした資料は、2号鑄造遺構から出土した羽釜タイプの鑄型（上釜：図4-7、下釜同図4）と、下釜の底部付近の資料として9号鑄造遺構から出土した鑄型（同図6）である。これに、鑄型投棄場から出土した唐草文が施された獣脚鑄型（同図3）、及びこれと同一範型から製作されたと思われる7号住居跡から出土した獣脚鑄型（同図1・2）である。

資料の復元に当たって最初に考慮したのは、同一範型による鑄型の出土数が多いことと、鑄

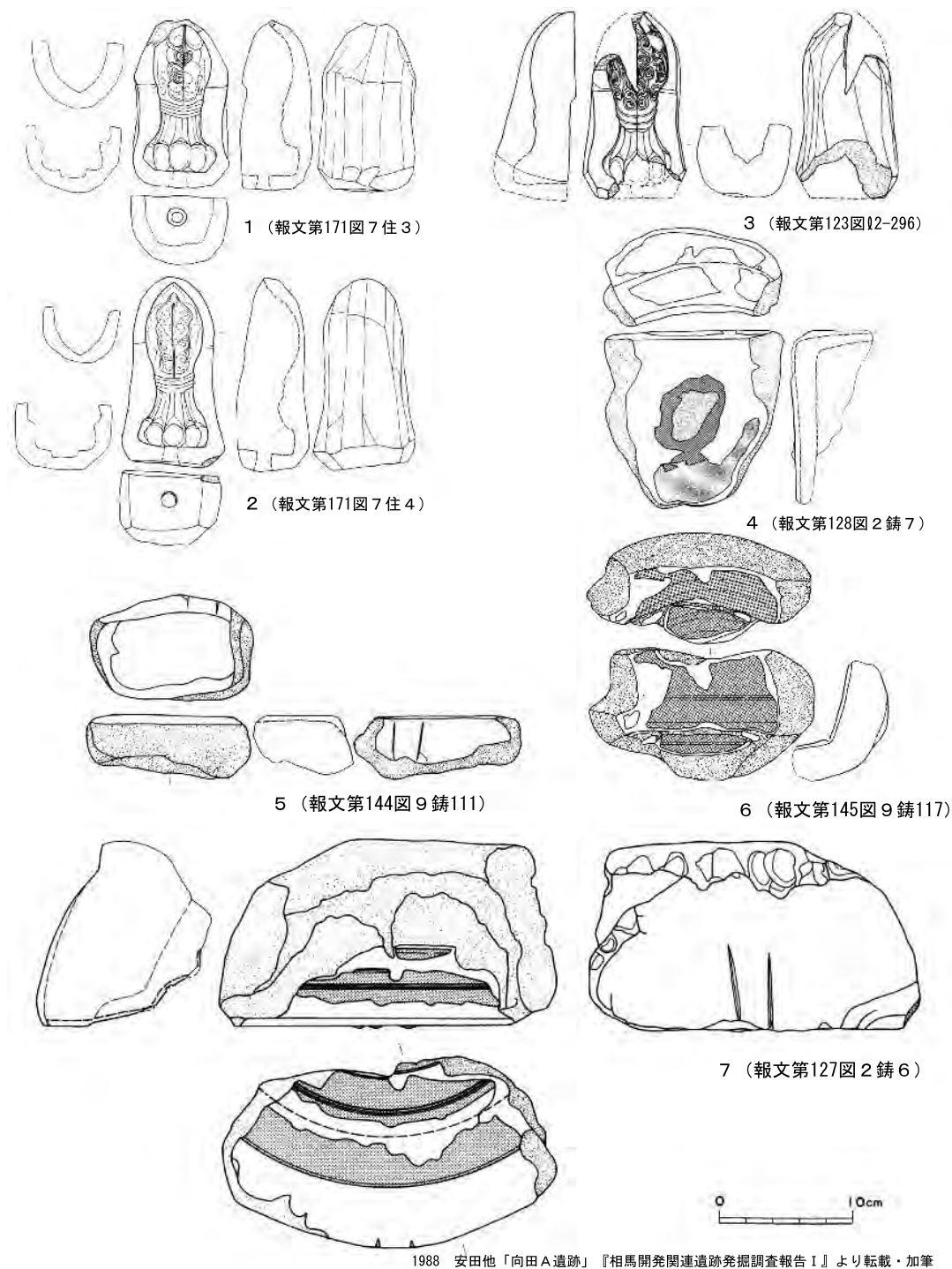


図4 獣脚付容器（羽釜タイプ）復元鑄型

型1個体ごとの残存率が高いことである。この2点の条件に合ったものが、向田A遺跡例では、唐草文が施された獣脚鋳型であった。

ただし、この獣脚鋳型は、平安時代においては実際に鋳込み作業を行っていないため、製品の有無という厳密な意味での研究復元の趣旨からは、はずれる。しかしながら、平安時代人にとって目の目を見なかった鋳型であったからこそ、残存率が高く、今回の復元には恰好の対象資料となった訳である。

復元を依頼した工芸文化研究所の構成メンバーとの1回目の打ち合わせを持った際、“この図4-7の資料は、羽釜タイプの上方部分の鋳型（上釜）であり、鋳付き容器の鋳型ではない。現に鋳型の合わせ目の線が付けられている。”との濱田釜師からの指摘を受け、再度鋳型の検討に入った。

遺跡の報告書作成段階や今回の研究復元事業の当初段階では、これらの羽釜タイプの鋳型は、すべて鋳付き容器の鋳型と判断していた。検討の結果、この羽釜タイプの鋳型に合う下方鋳型（下釜）が同一遺構から出土していたため、同図4を選択した。

後述するが、この7と4の鋳型は同一個体ではない。しかしながら、同一箇所から出土している点を考慮して、選択した。さらに、獣脚鋳型は製品化されていないため、復元資料は当時のものをそっくり再現したものではない。向田A遺跡出土の多数の鋳型から、最大公約数的な製品を復元することとなった。

具体的な復元製品の設計としては、前述のように下釜は図4-4より復元し、羽釜の鋳から上方部分の上釜は同図7から復元した。

鋳の幅は4が45mm、7が40mmで5mmほど差がある。また、4の鋳付近の直径（26.1cm）と、7の鋳付近の直径（26.6cm）では、5mmほど4が小さい。

当初、鋳の幅では、7を5mmほど長くし、直径では、4の方を5mmほど大きくしようとした。しかしながら、下釜の鋳との屈曲点と、上釜の鋳との屈曲点が完全に一致するよりも、僅かに

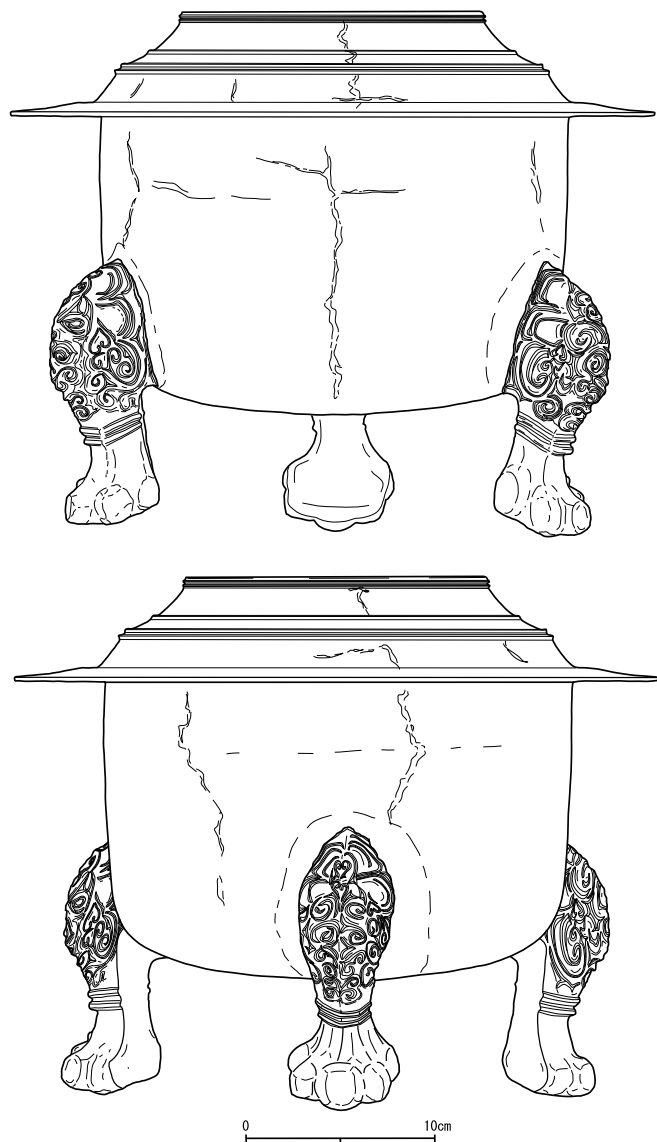


図5 獣脚付容器（羽釜タイプ）

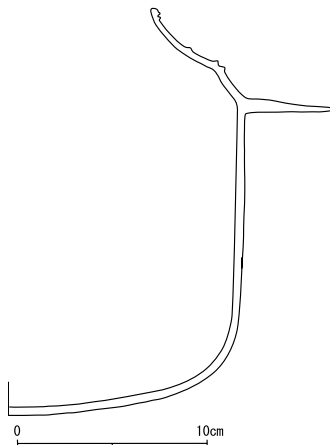


図6 獣脚付容器（羽釜タイプ）断面

ずらした方が湯流れがよいのではないかという推測から、下釜の屈曲点を上釜の屈曲点より2mmほど外側に広げた。

このため、鑊の幅は43mmとなり、4の鑊直下の下釜直径は26.8cmとなった。出土遺物との対比では、7の鑊幅が3mmほど広がり、4は2mmほど狭くなり、直径では、4が計測直径より7mmほど大きな径での設定となった。

下釜の底部付近は、4の傾斜ラインに合致し、かつ底部への屈曲が遺存している図4-6を選択した。

ただ、この鑄型でも底部中央までは遺存していなかったため、底部中央付近は完全なる推測とならざるを得なかった。

獣脚との接合箇所の特定は、獣脚鑄型の付け根付近に残る鑄込み箇所のカーブと、容器部分のカーブが一致した箇所とした。元々対象とした獣脚は製品化されていないため、容器のどの部分にでも接合は可能であった。

ただ、獣脚鑄型の観察結果から、容器との接合部分には凹レンズ状の窪みがあることが判明し、この窪みのカーブにあった部分が、下釜では凸レンズ状に形成されているのではないかの推測から、接合箇所を特定した。本資料の場合、具体的にはちょうど下釜の釜部から底部に屈曲する傾斜の変換点付近となった。

上記のような設計を基に図5・6に示した獣脚付容器（羽釜タイプ）が完成した。なお、製品の厚さについては、製作する濱田釜師に一任した。

【獣脚付容器（獅噛タイプ）：相馬市山田A遺跡出土の獣脚鑄型と容器鑄型】

山田A遺跡出土の鑄型も多数あったため、獣脚は同一範型からの鑄型数量が多いものとした。選択した資料は、いずれも2号鑄造遺構廃棄場から出土した鑄型で、ちょうど膝のところに獅噛みの顔がついた資料である。本例も、羽釜タイプ同様、同一個体との判断はできないものであり、最大公約数的製品の復元となった。

復元に当たっては、獣脚の顔面部が良好に遺存しているものと、脚部が遺存しているものを、それぞれ組み合わせて復元品とした。具体的には、顔面部を図7-1・3・5・6から、脚部を同図1・2から、全体的なプロポーションは同図1・4をモデルとした。

容器部分は、本遺跡では羽釜タイプのものが確認できず、全体形が把握できるものが同図7の中子鑄型しかなかった。このため、これをモデルとし、外子の鑄型については同図8の口唇部を参考にした。7は底部縁辺までの資料であったため、底部中央付近は完全な推測となった。容器の口唇内面は浅い段状を呈し、この部分が蓋受けとなっていたものと思われる。なお、容器部の口径は、7の直径に容器部の厚さを4mmとし、これを足したものに設定した。

獣脚の接合部分は、当初、6の鑄型より接合部のカーブを計測し、これにあった容器のカーブの位置に設定した。しかし、これだと外反する口縁部から5mmほど下がった位置に獣脚の頭部分が達し、さらに、接合下端部では容器部分との角度が、非常に鋭角になってしまった（後述するが、この接合でも完成製品としてはよかったのではないかと考えている。）。湯の流れる

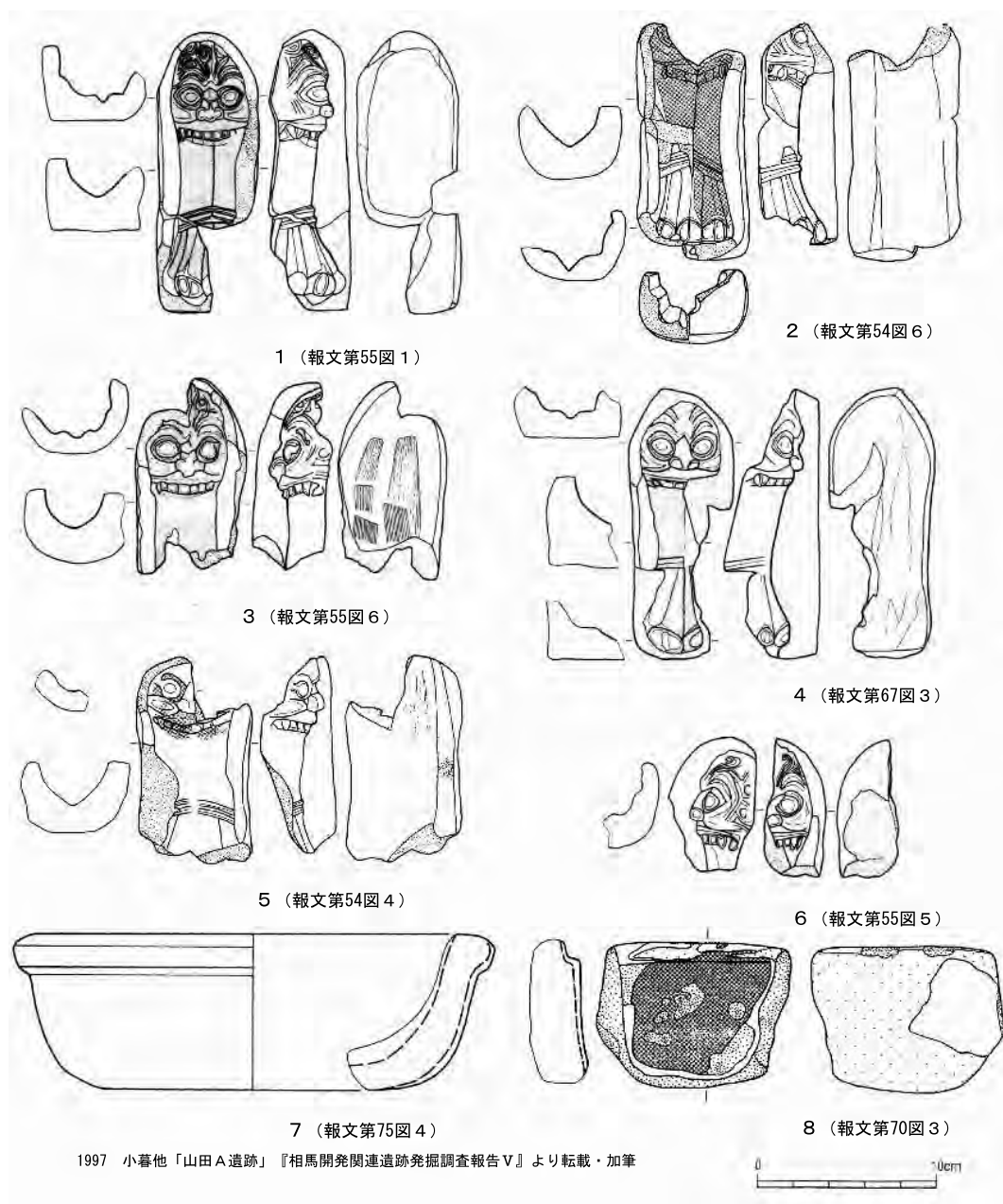


図7 獣脚付容器（獅脚タイプ）復元鋳型

状態を考慮した結果、この状態より獣脚をさらに 1.5 cmほど下方に修正し、獣脚と容器の部分には、5 mmほどの平坦面をもうけることで、湯が流れやすいような設計とした。

しかしながら、この結果、容器底面と獣脚かかと部分のレベル差は約 10 cmと非常に大きなものとなってしまった。完成した製品を図8に示した。

【風鐸：相馬市山田A遺跡出土の風鐸鋳型】

風鐸は、2号鋳造遺構廃棄場から出土した図9－1の鋳型をモデルとした（1号風鐸とする）。資料は複数個の鋳型が接合されていたが、笠形の左側部分は接合角度が悪く、風鐸の径（横断面形ライン）に合わなかったため、これを除外した。

本資料は紐が無いものの、笠形から駒の爪まで、ほぼ全体形を復元できるものであったため

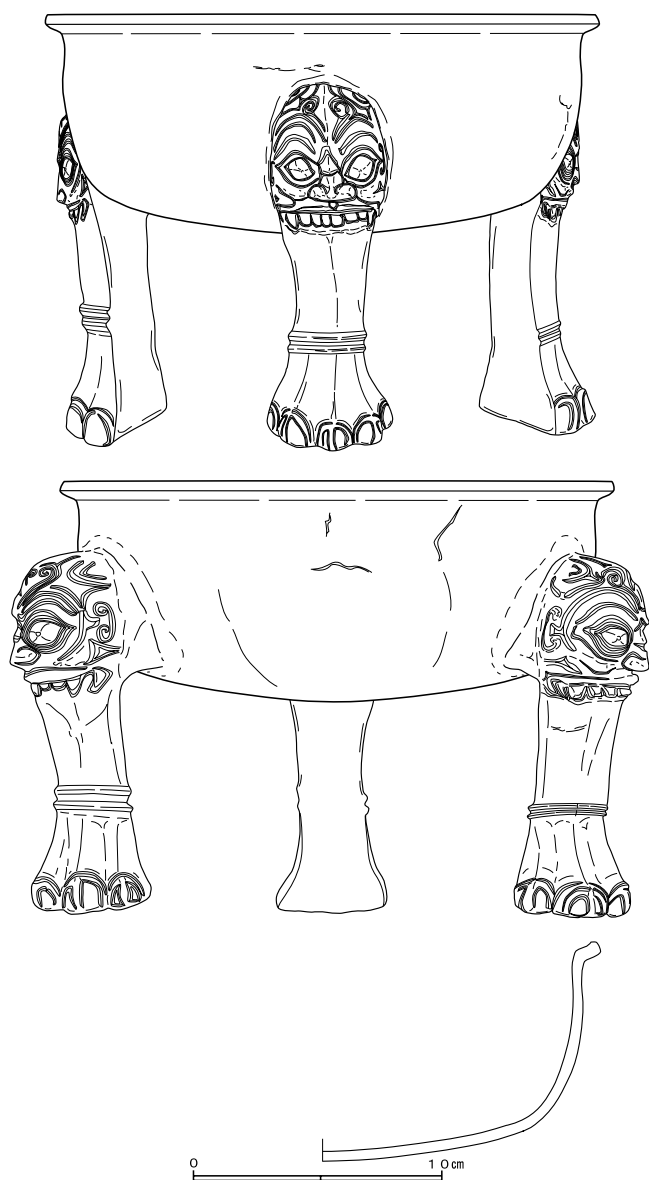


図8 獣脚付容器（獅嚙タイプ）

に対し垂直ではなく、さらに位置的にも鐘身全体を正確に4分割するものではないため、本例もそのような特徴を有したものと判断した。このため、方形を呈する型持ち部分も、若干左側に寄った位置が中央ラインとなっている。

鈕は図9-2から想定したが、大きさは遺存部+2mm程度のものとし、その形状は角が丸い台形状とした。また、鈕孔はこれに類似する半月形とした。出土資料の鑄型では、孔の位置に相当する部分が菱形状に窪んでいるが、これは、鈕孔部分を形成する型持ちの痕跡と判断した。正倉院の保管例や下野国薬師寺塔跡例等を見ると、鈕孔の形状は円形のものが多く見られるが、本例のような半月形状のものは少ない。本例も円形であった可能性は否定できないが、残存資料より上記の様な設定とした。

この他、駒の爪の形状は、2分割の弧状を呈するものとした。これは風鐸の横断面形が楕円形であったからである。もし、断面形が菱形状を呈したものであったなら、4分割以上の弧状

に選択した。

鈕の部分は同図2を使用した。1と2は明確な接合資料ではないが、鑄型の胎土や焼成から同一個体と判断できるものであった。また、同図3は、1の反対側の面を構成する鑄型と判断した。

この他、同図6・7に示した乳が付く風鐸鑄型もモデルとした（2号風鐸とする）。この資料は、全体形が不明であるため、1号風鐸をモデルとし、袈裟襷文と乳のみを取り付けることとした。

風鐸の場合、その横断面形が楕円形状あるいは杏仁形状になるため、残存している鑄型から資料中心線を決定することが難しい。1号風鐸では、資料中心線を駒の爪の最も高い位置に設定した。この位置は縦方向に走る3条の懸線（縦帯）の最左端であり、3条の中央部ではない。縦帯の中央ラインを中心線とすると、駒の爪のラインが右下がりになり、左右のバランスが悪くなることから、前述のように想定し、設定した。

既発見の平安時代の鉄製梵鐘等を見ても（たとえば岩手県大竹廃寺例）、縦帯は上帯や下帯の懸線

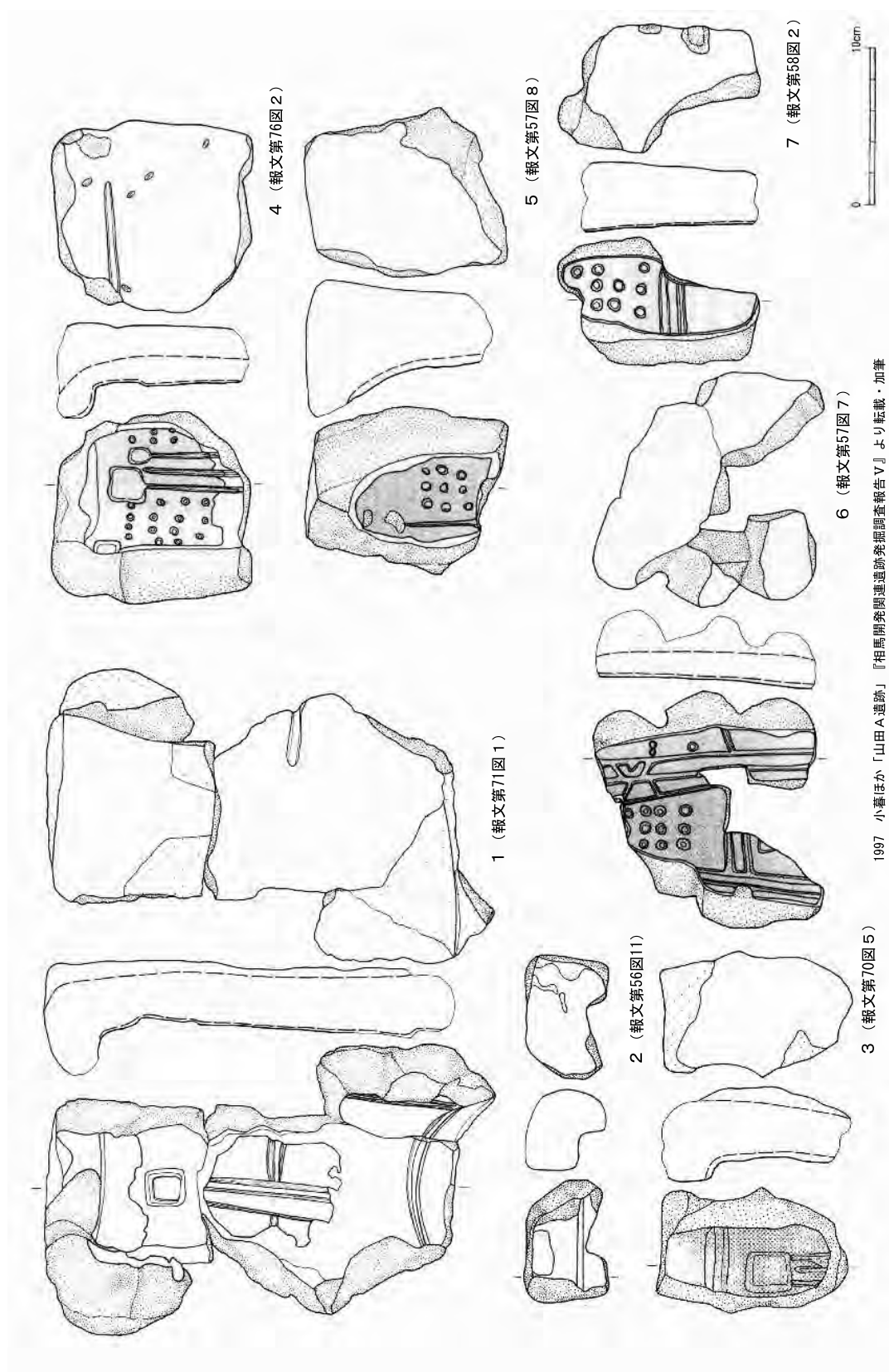


図9 風鐸復元鋳型

ラインが形成されていたものと思われる。

また、風鐸内部の舌をぶら下げるリングは、下野国薬師寺塔跡出土の風鐸（栃木県 1973）を

参考にした。大きさ的には、薬師寺塔跡出土風鐸のほぼ8割の大きさが、本資料の大きさと合致したため、リングの形状及び厚みをそのまま採用した。

2号風鐸は図9-6をベースとし、部分的に同図7を参考とした。6は、縦帯に袈裟襷文が見られ、縦4個・横3個の計12個の乳が乳の間（ま）に貼り付く。乳は鑄型に径4～5mm、深さ3～4mmの円錐形の盲孔を穿ち形成されている。ただ、この資料の場合、1号風鐸の型持ちの位置に袈裟襷文がくるため、型持ちなしで製作することとした。大きさは、鑄型から計測した直径が1号風鐸と類似したものであったため、1号風鐸と同様のものとし、駒の爪や鈕の形状などもこれと同様のものとした。

上記のような設計により復元した風鐸図を図10に示した。本例も製品の厚さについては、製作する濱田釜師に一任した。

この他、今回は復元しなかったが、山田A遺跡ではもう一例風鐸が出土している。図9-4をベースとし、これに同図5からなる資料である。風鐸の径は1・2号に比べ小さく、横断面形もかなり円形に近い楕円形を呈する。型持ちが銅鐸のように片側2カ所に付き、乳の形状も円錐形であるものの、かなりシャープである。また、縦帯の懸線も細く高い感じを受ける資料である。ただ、この資料の残存状況は、笠形から乳の間付近までであり、駒の爪部分の形状が特定できなかったため、候補から除外した。

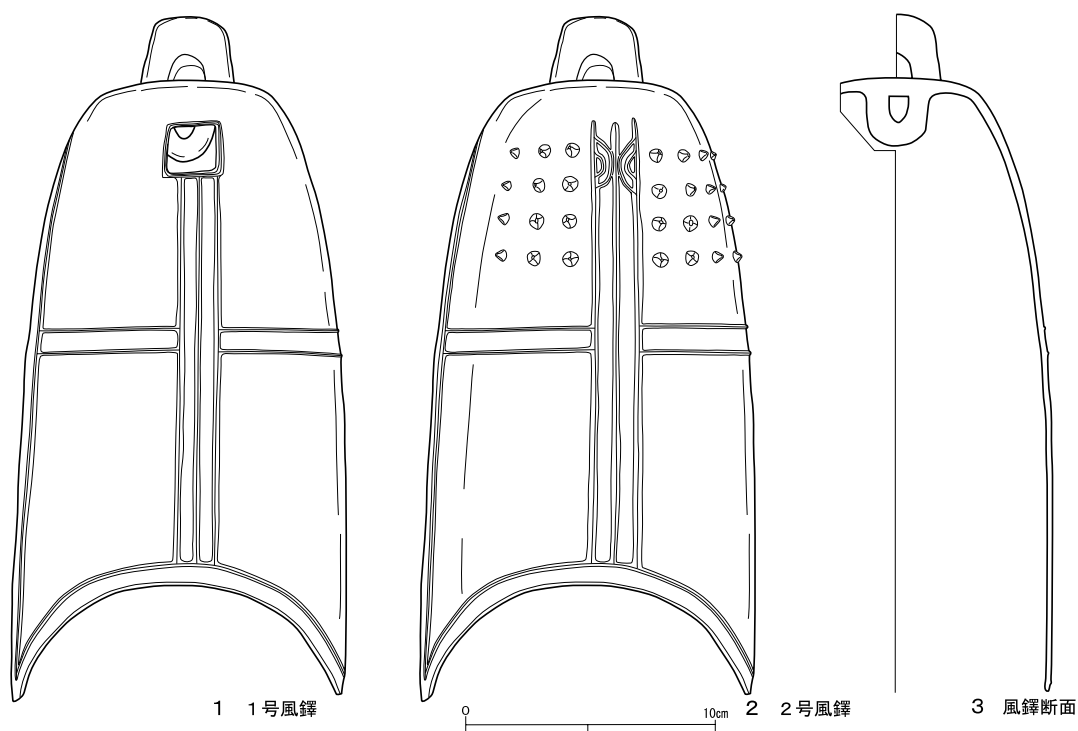


図10 風 鐸

【梵鐘：新地町向田A遺跡出土の梵鐘鑄型と龍頭鑄型】

梵鐘は、図11に示した鑄型から復元した。同図6の鐘身は向田A遺跡の15号木炭窯の焚き口から出土した鑄型であり、同図1～5の龍頭鑄型は同遺跡の2号住居跡から出土したものである。このうち、鐘身には鑄込まれた痕跡があったものの、龍頭鑄型には認められなかった。

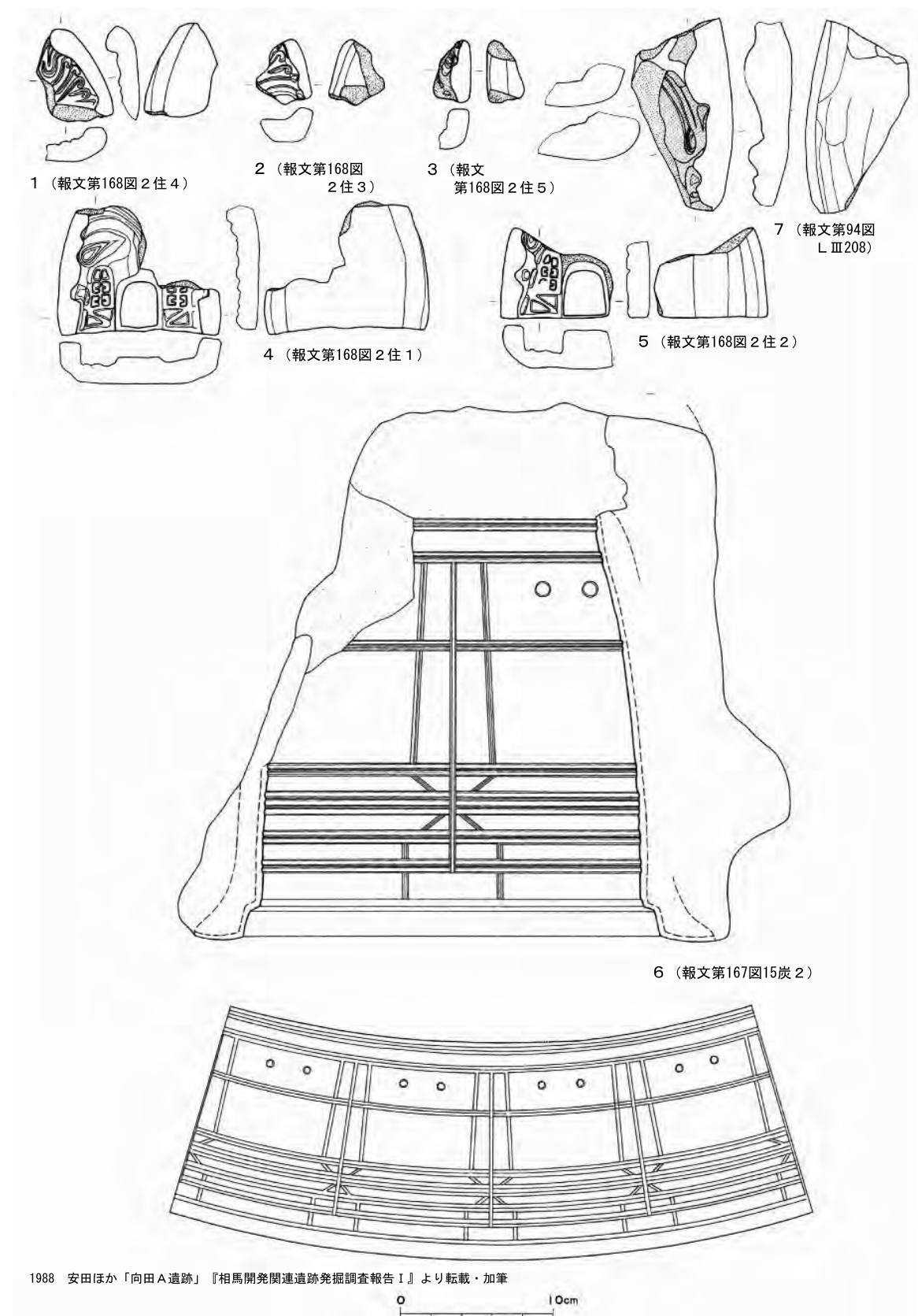


図11 梵鐘復元鑄型

したがって、当然のことながら鐘身と龍頭は同一に構成された鑄型ではない。そのため、鐘身と龍頭のバランスでは、龍頭が鐘身に対し大きなものとなった。ただ、本遺跡で出土した龍

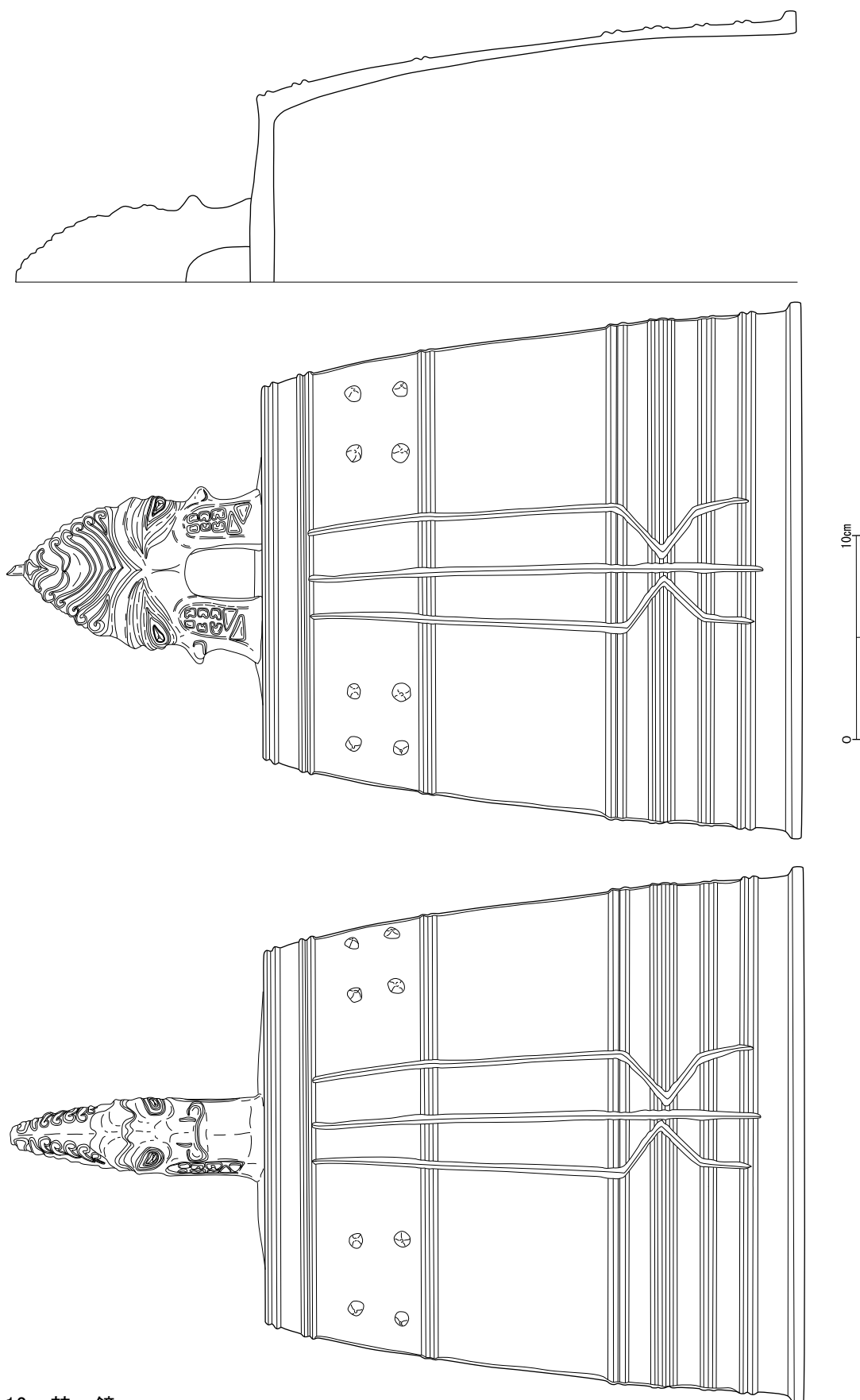


图 12 梵 鐘

頭鋳型では、同図 7 に示したようにさらに大きい龍頭鋳型があり、鐘身の径とのアンバランスがさらに表出してしまうため、最も遺存状態の良好な鋳型を対象として復元した。

具体的な復元設計としては、6 の鐘身には笠形が遺存していないため、笠形のみ推定し、梵鐘の厚さは、岩手県衣川村出土資料に準ずるものとした。ただ、実際に鋳込み作業を 3 回行った結果、製品の厚さは、それぞれで不統一となってしまった。このため、2 回目に鋳込んだ梵鐘の実測図を図 12 に示した。

なお、向田 A 遺跡からは、図示した以外にも梵鐘鋳型が出土している。ただ、すべて破片資料であったため、対象資料にできなかった。

4 復元作業の工程と作業根拠

今回の復元では、大きく次のような工程を経た。

- 1) 鋳型からシリコン製の模型を作成し、設計図を製作する。模型は、鋳型製作時の範型となる。
- 2) 鋳型製作後、埋け込み法で鋳込む。原料の銑鉄は、極力砂鉄原料のものを使用する。
- 3) 鉄製品の仕上げを行う。

以下、各々の工程について概述する。

1) シリコン製の模型製作（写真 2 及び奥山論文参照）

行った復元作業手順は次の通りである。

①鋳型にスズ箔を貼る。

スズ箔はメタル箔と呼ぶタックシールが付いたものを使用した。学習教材店などで取り扱っているものである。この他、一部金箔専門業者が取り扱っているスズ箔も使用したが、非常に薄く、かつ鋳型表面の凹凸に対し、すぐに破損・欠損してしまい、流し込んだシリコンが鋳型表面に浸透するような事態となった（浸透したシリコンはリグロインで除去した）。

さらに、今回のように、1 つの鋳型に対し、現状のまま保管するものと、これに手を加え、修復して当時の完成品にまで復元するためのものがもう一つ必要な場合、複数個のレプリカを製作することになるため、前者のタック付きシール付きの箔の方が都合が良かった。ただ、この箔の場合、厚さが厚いため（約 20 ミクロンほど）、厳密な意味でのレプリカにはならない欠点がある。

②スズ箔を貼った鋳型にシリコンを流し込む。

使用したシリコンは、旭化成ワッカーシリコン株式会社製の R T V - 2 S L J 3256 である。さらに、シリコンを流し込む際、鋳型の容積を計測した。計測は電子天秤を用い、流し込みの前後で重さを量り、これの差で示した。

③シリコンの外面に突起を付け、石膏を流しシリコン模型を固定する。

④復元対象資料は、その後、石膏で欠損部分を充填し、完成品の模型とする。

⑤その後、この模型及び出土鋳型から復元品の設計図を製作する。



写真2 シリコン模型製作から復元品の設計図作成

⑥工芸文化研究所が模型及び設計図から鋳型を製作する。

2) 鋳込みの方法

今回の復元において、もっとも苦慮したことは獣脚付容器の鋳込み方法である（図 13 参照）。前述したように向田 A 遺跡の報告において、獣脚と容器は別鋳と考えられてきたからである（安田 1988）。その後、相馬市猪倉 B 遺跡の報告においては、獣脚のかかと部分からの鋳込みも考えられていた（能登谷 1997）。

一般に古代日本において、金属の接着方法としては、以下に示す村上氏が提示した三種の方法が存在していたと考えられている（村上 1995）。

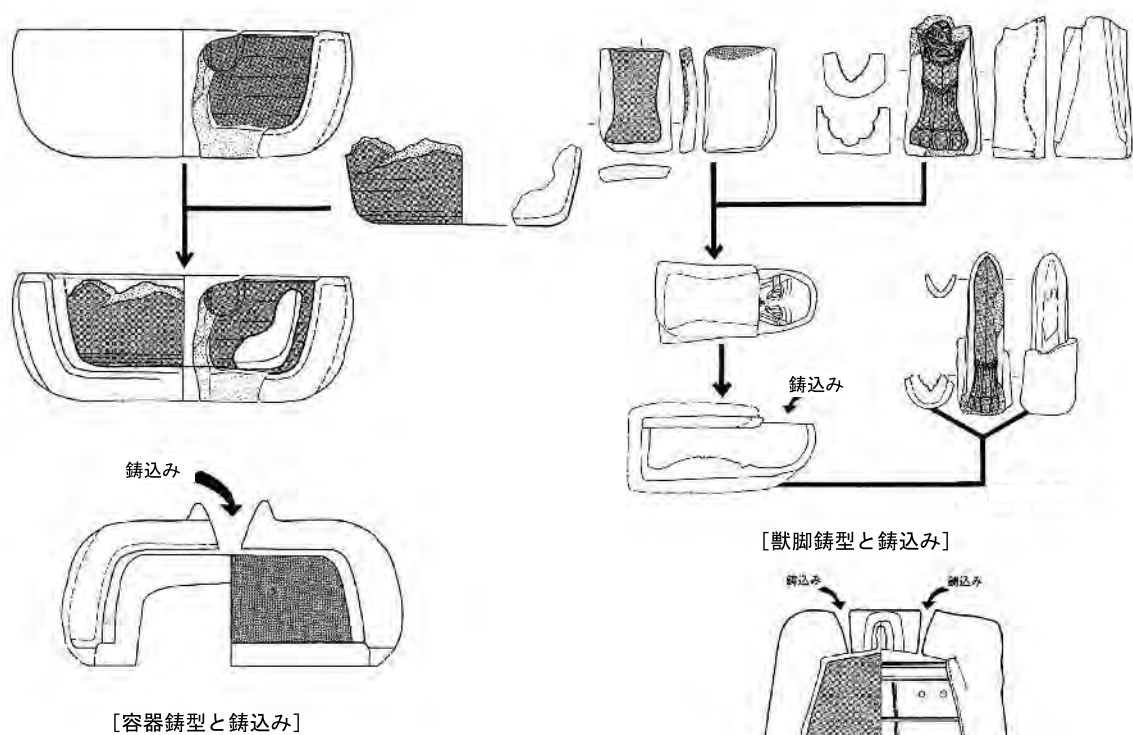
- ・機械的接合法…鋸を使用したり、“かしめ（棒の両端をつぶして止める方法）”で止める方法
- ・科学的接合法…有機系の接着剤（漆や“ニカワ”など）で貼り合わせる方法
- ・金属学的接合法…接合面に何らかの金属を用い、熱して一体化する方法（鍛接や銀鑑などを使用した鑑接技法、あるいは鋳掛け法など）

今回の復元では、中実の鉄製獣脚と鉄製容器部の接合方法が問題となるが、上記のいずれの接合方法も採用しなかった。それは、機械的接合法の場合、3.5 cmの厚さの鉄製品に穴を開けるのは非常に難しいと思われることと、その穴は、獅噛タイプでは、獣脚の上部にある顔付近に当たるため、顔に傷が付いてしまうからである。また、漆やニカワと言った有機系接着剤では、当然のことながら、使用に耐える状態で鉄製品同士は接合できない。さらに、鑑接技法では、局所的に接合箇所を熱しなければならず、この局所を熱するには、ガスバーナーのように炎の大きさを調整する工具が必要になり、古代においては調達不可能と思われるからである。

以上のようなことから、今回は、獣脚と容器は製品同士を接合したと考えるより、鋳型同士を組み合わせたものに、銑鉄と一緒に流し込んだものと結論つけた。この推測は、獣脚鋳型自体の特徴からも考えられた。すなわち、獣脚鋳型をよく観察すると、接合部（脚の付け根付近に該当する）の鋳型の厚みが、他の部分より非常に薄い作りとなっている。容器鋳型に獣脚を埋め込んで結合した場合、必ず、獣脚鋳型の厚みが生じる。脚の付け根部分を薄くしたのは、この厚みを極力減らし、仕上がった製品に、その厚み部分が見えないようにする古代人の工夫のためと推測できる。したがって、獣脚と容器は一括鋳込みで製品化していると言える。これは、宮城県多賀城市の市川橋遺跡出土の容器付き獣脚鉄製品の分析結果（本書奥山論文参照）からも肯首されることである。

さて、前述したように、獣脚と容器は一体として鋳込まれたものと判断した。この場合、獣脚と接合した容器部分を天地逆転させ、湯口が容器部の底面中央付近となる（図 14 参照）。ここで問題となるのは、底面のレベルと獣脚のかかと部分のレベル差である。“かかと部分が高く、湯口が低い”場合、この差が大きくなればなるほど、湯が獣脚のかかとまではあがらなくなる。これを解消するには、いわゆるパスカルの原理の応用で湯口に高圧を加えるか、あるいは湯口を獣脚かかとのトップレベル以上に高くする方法を採らざるを得ない。

平安時代の当時においては後者の方法によったものと思われる。ただ、この方法だと、湯



1988 安田「考察第1章第4節銕型」
『相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅰ』より転載・加筆

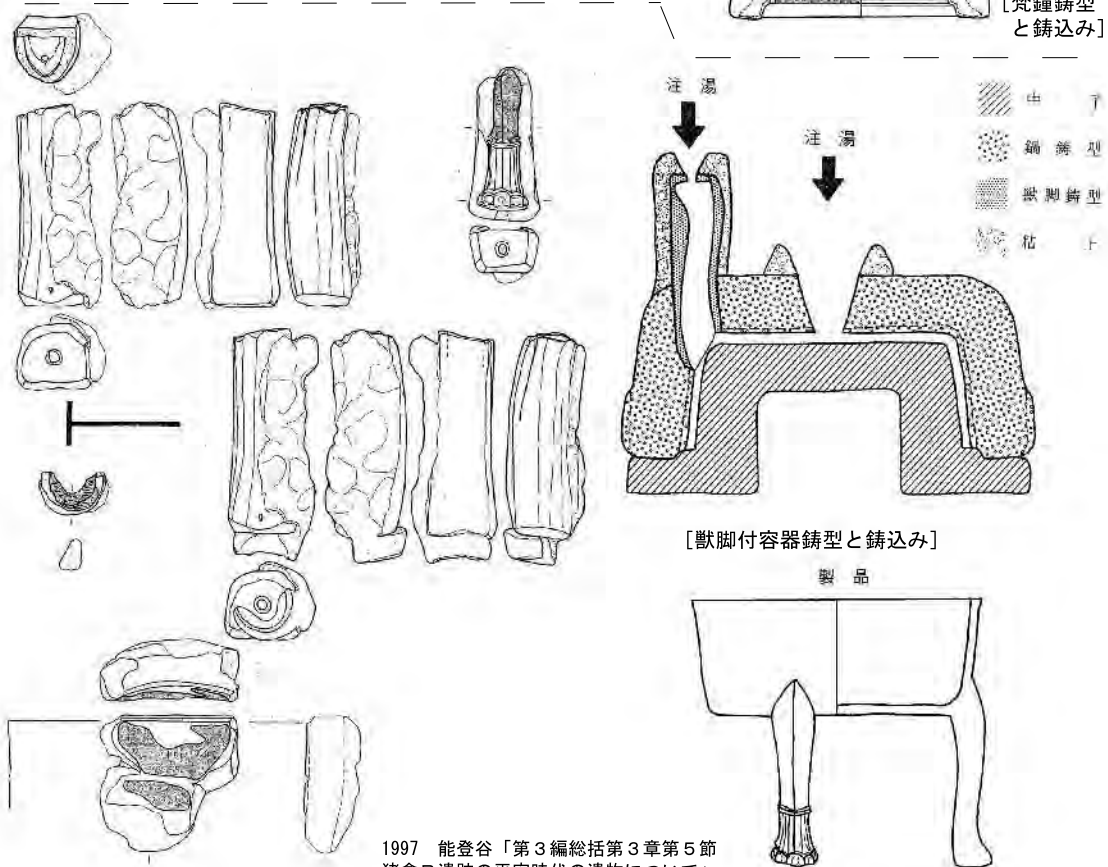


図 13 推定された鑄込み方法

口と容器部底面までの道のりが大きくなればなるほど、不必要な湯の量が増加することと、必要な製品部分に湯が至るまでのリスク（途中で湯の温度が下がり、流動性が弱くなる）を負うことなどのデメリットが大きいと考えられる。

さらに、出土資料の中では長い湯口状の鋳型は確認できないため、やはり底部付近に湯口があったものと想定した方が推測しやすい。そうすると、容器部底面レベルと獣脚のかかと部分のレベル差

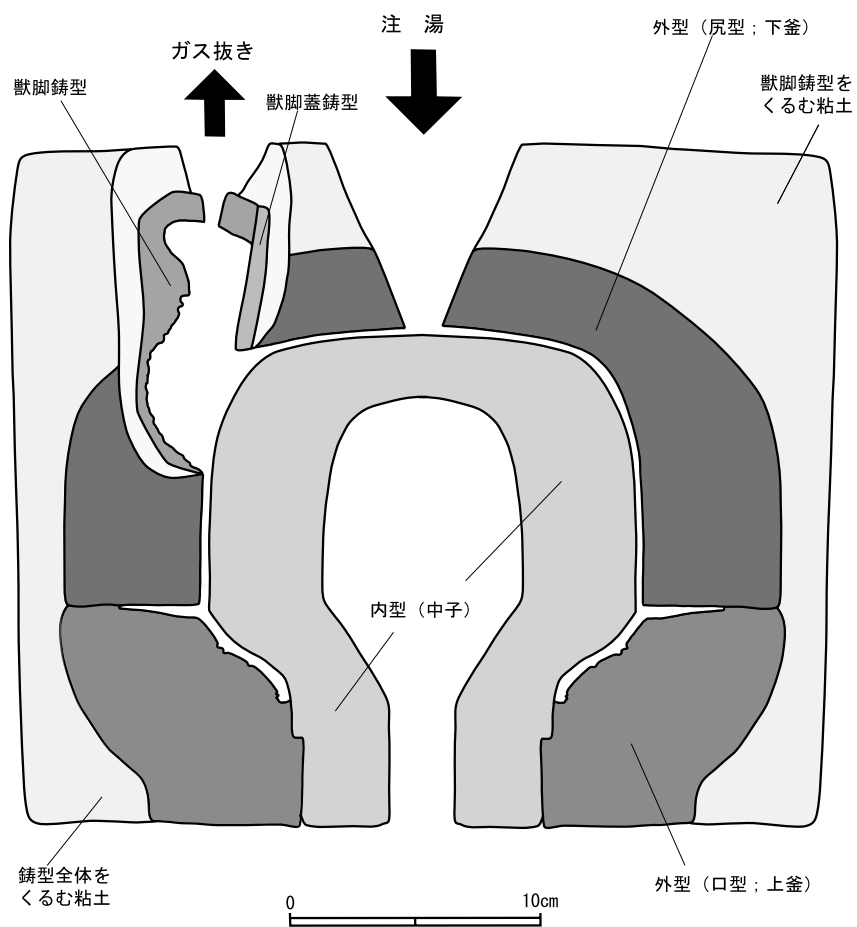


図14 獣脚付容器（羽釜タイプ）鋳込み模式図

は、最大どの程度までなら製品化できるのかが、当時の技術にとっては大きな問題であったことが推測できる。

工藝文化研究所の濱田釜師の話だと、この差は最大10cm程度ではないかとのことであった。

そうだとすると、向田A遺跡から出土した獣脚鋳型で最大のものは、製品の長さ36cmほどもある。これに付く容器は非常に底面が深いものであり、いわゆる火舎のような形状のものとは、かなり違ったものであり、釜に近い形状のものであったと判断せざるを得ない。

次に、鉄製梵鐘であるが、梵鐘の場合は湯口を龍頭脇の笠形に設置した。これは、龍頭鋳型に鋳込み口が確認できなかったためである（図11-1）。さらに、今回の梵鐘復元においては、鉄製梵鐘の音色にその主眼をおいた。そのため、材料となる銑鉄（鋳物用鉄）は、砂鉄原料の玉鋼と鉄鉱石原料の銑鉄の調合割合を変えて鋳込むこととした。加えて、鉄製梵鐘は、鋳込んだ鉄の状態によっては叩くと割れることもあり、その厚さについて問題となったが、完成された鐘の音色と梵鐘の厚さについては、実験数が少なく確認できなかった。

3) 仕上げ工程

古代の鉄製品の表面処理は、現段階で全く不明であり、出土した数少ない資料からも、その方法を推測することもできない。ただ、鋳込み後にバリを除去した後、何らかの仕上げ処理を



写真3 鑄型製作から鑄型設置



写真4 鑄込みから型ばらし

行ったことは当然考えられることであり、鉄であるが故に、その処理は防錆効果をねらったものであったことは想像に難くない。このため、仕上げの工程については、伝統工芸の中で生き続ける鋳物の表面処理技術を参考に行うこととした（特に、香取 1986 を参考にした）。現在知られている鋳物製品の処理工程は次の通りである。

鋳込み→型ばらし→仕上げ→研磨・着色

<型ばらし>

鋳型の土を完全に落とす作業である。

<仕上げ>

鋳型の合わせ目にできた鋳張り（バリ）を取り、細部をていねいに仕上げる作業である。鋳金では「鋳浚い（いざらい）」と呼ばれる作業で、各種のヤスリ、きさげ（生下げ：ヤスリをかけたあと平にする一種の削り刃物）、ノミ、ハンマー、金床、万力、金 鋸、キリなどを使用する。

<研磨・着色>

研磨は、鋤栓（すきせん）という刃物で表面を削り、朴炭（ほおのきずみ）で磨き、その後、鉄さび、砥石、砥の粉などで磨く。鉄さびはベンガラが一般的であり、砥石には石英粒子の粗密により荒砥・中砥・仕上げ砥に分けられる。

着色には以下のような様々な方法がある。

①「南部鉄瓶の場合」…（鋳型から取り出した後）「釜焼きをして錆止めする」（注2）。

生漆と砥の粉を練り合わせて下塗りし、加熱しながら、茶汁・オハグロを刷毛でむらなく塗り重ねて、独特の色調に仕上げる。

②「鉄仏の場合」…愛知県美和町法蔵寺の鉄地蔵（1230年銘）に関する記述（注3）

「顔や胸のあたりに押してある金箔の輝きを見て、てっきり金銅仏と速断して盗み出したものの、運搬の途中であまりの重さから鉄仏とわかったので…」

③「造東大寺司附属工房とその工人」（注4）

「熨金工」（金薄を熨しつける工人）や「押金薄工」（金薄を押しつける工人）の存在あり

④「漆での着色」

1) 漆の焼き付け技法（注5）

「鉄釜や鍋の着色は、青銅などの着色と違って、たいていの場合は漆などを焼き付けながら使います。青銅などと違う点は、すぐさびる点です。水に接しても錆びないようにするには、表面に一種のコーティングが必要ですから、そのために漆を焼き付けるわけです。漆は塗料の中でもいちばん強い性質がありますので、他のラッカーなどの比ではありません。」

2) 焼付漆焼技法（注6）

古墳時代の焼付漆焼例：

大阪府高槻市土保山古墳出土鉄製甲…黒漆塗 熊本県月の岡古墳出土眉庇付冑…鉄地に黒漆塗

大阪府西小山古墳の冑…鉢を八分し、半分金銅、半分黒漆塗 その他多数あり

奈良時代以降の技法：

（奈良時代）『正倉院文書』に焼き付け漆の記事あり。また、正倉院の刀装具の鉄に黒漆が塗られているものが認められ、漆焼き付けが行われた可能性が高いと思われる。

（平安時代）『延喜式』のなかに大刀や楯を焼塗漆で仕上げた記載あり。

⑤ 相州小田原山田家の鉄鍋作り（注7）

『明治前期産業発達史資料』第7集「明治10年内国勸業博覧会出品解説 第二区製品第五類家屋器類 飾品 1962年発行…神奈川県小田原市の鋳物師山田次郎左衛門による鉄製平鍋の製作工程の記述
「注湯と後処理（中略）注湯が完了すれば、型をはずして製品を取り出す。鉄板で鍋の口縁部等を擦って平らにし、平鍋ができあがる。亜鉛（五分）、塩酸（二匁）、水（二匁）の三味水に混ぜて溶解し、刷毛あるいは筆で鍋の内部に塗って乾燥させ、火を掛けて内部を暖め、鑑（錫）の溶解するほどの温度にして、錫を塗りつけて銀白色とする。これは、鉄鍋の内部に蒼鉛（ビスマス：金属元素の一つ。合金の材料・薬用・蒼鉛（そうえん）。＊記号Bi）を塗る法であるが、通常の鉄鍋にはおこなわない。口縁端部は、幅木に接触する部分なので、鋳張りができやすいから、鉄板や鑪による仕上げ加工が必要である。鋳物の表面処理・着色には、漆・鉄漿を塗布する場合や、金銀などのメッキがあるが、銀白色の光沢を得るために、錫メッキがされることがある。」

⑥ 「金著せ」（注8）

「金著（きんせ）は銅や鉄の素地に金の薄板を貼り付ける技法で、我が国では古墳時代の装身具の耳飾等にその例が見られる。当時どのようにして金銀の薄板を地金に貼り付けたものか、はっきり説明することができないが、（中略）、漆等の接着剤で地金に貼り付けるなど、いろいろ工夫したものと考えられる。」

⑦ 「鉄の着色法」（注9）

「鋳造後には造形加工は一切行わず、釜の内肌に金気止めを行い、釜の外肌に漆とオハグロを併用した特殊な着色を行うのである。金気止めは鉄製の飲食器の金気を封ずる処理法で、砂鉄で作った鉄容器は、内側に漆をかけたただけで十分である。しかし、岩鉄（鉄鉱石）を用いて・・・（中略）・・・鋳造した鉄釜の内側を炭火焼いて酸化鉄の皮膜を作るのである・・・（後略）」

⑧ 「鉄の錆止法」（注10）

「油を布く法…能く磨きたる面に、腐敗せざる良油を極めて薄く塗布するものにて、刀剣類の保存法は概ねこの法に依る。又、油焼きの法は物品を火中に熱して表面に酸化の錆を被せ更に火上に熱しつつ、綿にて水油を幾回も塗り、別に新しき綿にてこれを拭いつつ、油を十分に焼切りて仕上げるのである。」

⑨ 「釜」についての記載（注11）

「もし不十分な箇所があれば、すぐに少量の鉄をその上にたらし補修し、藁をぬらして上をおさえると痕跡がなくなる。」

上記の出土資料や文献により、古代の鉄製品の表面処理は、

- a) 漆を焼き付ける（漆焼き法）…古墳時代の鉄製品例・正倉院文書・延喜式の記述から
- b) 金箔を貼る（金著法）…古墳時代の装身具例・造東大寺司附属工房とその工人の職制・中世の鉄仏例から
- c) 油を焼き付ける（油焼き法）…刀剣類の保存法から
- d) 木炭で燃焼させた後、密鑑・布等の有機質で磨く（炭焼き法：仮称）…鉄の着色法から
- e) 稲藁などを燃やしてススをつける（稲藁燻し法：仮称）…天工開物の記述から
- f) 何もしない…出土資料の表面観察では、痕跡が認められないから

の大きく6つが推測できる。

5 各鉄製品の仕上げ処理

前項でまとめた各処理法により、今回は次のような処理を行った（写真1・5参照）。

・鉄製獣脚付容器

鉄製獣脚付容器については、油焼き法・漆焼き法・炭焼き法の3つの方法を選択した。羽釜タイプ（1回目鑄込み）は、鑄込みに失敗した資料であり、表面には穴が空いている。このため、処理方法としては、主に鍛造品に施される油焼き法を採用し、他の鑄鉄製品の仕上げ方法との差異を確認する資料とした。と同時に、平安時代以前の鉄製品は、主に鍛造品が主体であったため、鍛造品の処理法が、鑄造品にも応用された可能性を考え採用した。

羽釜タイプ（2回目鑄込み）は、油焼き法と同じく仕上がりは黒色を帯びるものとして、漆焼き法を採用した。これは、同型資料で処理法が異なるものを比較し、肉眼で色調やその状態が、識別できるような配慮から採用した。獅嚙タイプは、炭焼き法とした。これは、3)－⑦の「鉄釜の内側を炭火で焼いて酸化鉄の皮膜を作るのである」とか、3)－⑤にあるように「蒼鉛を塗る法であるが、通常の鉄鍋にはおこなわない」などの記載から、極力現状を変えない方法が行われた可能性が考えられるからである。そのため、最も現状に変化を与えない処理法として炭焼き法を選定した。ただ、熱を加えた後、表面を蜜蠟で仕上げた。

・風 鐸

風鐸は、寺院の塔や金堂の軒先に垂下されるものであり、梵鐘や容器に比べ、装飾性に富んだ処理が行われたものと思われる。そのため、乳付き（1回目鑄込み）を赤漆塗り仕上げとし、乳付き（2回目鑄込み）を金箔貼り仕上げ（金著せ）とした。

赤漆塗りは、当然のことながら仕上がり色は赤色である。これに対し、黒色を帯びるものとして、乳なしの風鐸を漆焼き法とした。最後に、金箔貼り仕上げであるが、出土している風鐸の多くは青銅製で金メッキが施されている（奈良市大安寺出土例：8世紀代 奈良市平城宮朱雀門復元風鐸など）。ただ、鉄製品に直接金メッキはできないため、乳付き（2回目鑄込み）を金箔貼り仕上げとし、乳なしの漆焼き法との仕上がり色調差違が確認できるようにした。

・梵 鐘

梵鐘（1回目鑄込み）は、獅嚙タイプ同様の炭焼き法（蜜蠟仕上げ）とした。同様の処理法であるが、製品が異なるため採用した。

梵鐘（2回目鑄込み）は、稻藁燻し法とした。本例は叩いた際の音が良好で余韻も長いため、極力現状を変える要素が少ない処置を選択した。これに対し、梵鐘（3回目鑄込み）は、漆焼き法を採用した。表面が熱を受けて脱炭する可能性があるものの、表面に漆を焼きつけ、2回目鑄込み資料との処理方法の違いが確認できるようにした。

以上、今回行う鑄鉄製品の仕上げ処理について、採用した方法の根拠を述べてきたが、平安時代の鑄物鉄製品の仕上げおよび表面処理については、ほとんど解明されていない。これは、出土例の錆化が著しく、表面部分は剥落し、その処理方法の解決の糸口もないためである。さらに、鑄鉄製品自体の出土例も少なく、研究の視点も始発原料の推定（砂鉄なのか鉄鉱石なのか？）や、鑄込んだ際の銑鉄状態（ネズミ鑄鉄か、白銑鉄かなど）までしか推測できないためである。このような状況であるため、その方法については、決めかねているのが現状であるが、今回は可能な限り推測できる方法を模索し、表面処理法を選択した。その意味では、極めて珍



① バリ取り作業
(鑿でバリをはずす。)



② 仮称炭焼き法
(炭火で真っ赤になるまで加熱する。その後に密鐵を塗って表面を仕上げる。)



③ 仮称稲藁燻し法
(稲藁を低温で燃やし、その煙でコーティングする。)



⑤ 漆焼き法
(製品を赤く熱して、漆を塗りつける。
瞬時に漆が気化し、表面が漆黒に変わる。)



⑥ 油焼き法
(製品表面に油を塗り、熱で焼ききる。)

写真5 バリ取りと仕上げ処理

しい“研究復元事業”であり、その意義は大きい。

なお、蛇足ではあるが、製作された各製品の使用用途や使用場所がもう少し解明されていれば、表面処理の方法が絞り込める可能性もある。たとえば梵鐘一つをとってみても、今回復元した梵鐘は、その大きさから半鐘であるが、屋内で使用したものか、屋外であれば鐘楼なのか、金堂等の軒下なのか等、全く不明な状況である。屋内であれば屋外よりは錆化は遅いし、鐘楼よりは金堂の軒下の方が錆びやすい感がある。獣脚付容器も同様であり、雑密の法具類と考えられるが、火舎香炉であれば火を受けることはないが、湯釜であれば加熱を受ける可能性が高い。使用方法と使用場所が、製品を製作する側にとって、実は、非常に重要な問題であったのではないと思われる。つまり、当時の工人たちは、当然のことながら使用を意識して製作していたと思われるのである。

6 復元作業でわかったこと

1) シリコン製の模型製作でわかった規格

鋳型にシリコンを流し込んで模型を製作した際、一部の鋳型（図4・7・15参照）では、流し込んだシリコン量、すなわち鋳型への容積を計測した（写真2右上参照）。計測は電子天秤を用い、流し込みの前後で重さを量り、この差で示した。各種鋳型の容積は表2の通りであるが、欠損部については、厚紙等を用いて復元した後、流し込んでいる。

表2をみると、最も小さい図15－7の獣脚の容積が約20ccであり、ほぼ20ccごとに“小”→“中の小”→“中の大”→“大”と容積が増加し、ネコ脚獣脚に4段階があることが見て取れる。その大きさは製品となる長さで“大・中・小”で各々3cmほどの差がある。また、獅噛獣脚や唐草文獣脚では120cc前後であり、小の6倍ほどの容積となっている。

当然、これに組み合う容器鋳型でも、図16に示した分類により、大きく分けてその法量が

表2 獣脚鋳型の容積一覧

遺跡名	番 号	資 料 名	流込み前	流込み後	差	備 考	製品長 (cm)	製品幅 (cm)
向田 A	15図10	大型獣脚			1,350cc	特 大	(36.0)	(8.0)
	15図 1	ネコ脚獣脚	520.98	440.71	80.27	”大”とする	17.5	3.2
	15図 2	ネコ脚獣脚	440.71	378.18	62.53	”中の大”とする	(15.0)	3.2
	15図 3	ネコ脚獣脚	—	—	—		14.6	(3.2)
	15図 4	ネコ脚獣脚	378.18	327.98	40.20	”中の小”とする	14.7	(3.3)
	15図 5	ネコ脚獣脚	—	—	—		14.4	3.3
	15図 6	ネコ脚獣脚	—	—	—		14.5	3.2
	15図 7	ネコ脚獣脚	290.68	270.46	20.22	”小”とする	11.3	2.6
	4図 2	唐草文獣脚	230.10	117.1	113.00	完形	12.3	5.3
	4図 1	唐草文獣脚	518.88	383.40	135.48		(13.0)	5.4
	4図 3	唐草文獣脚	520.80	397.70	130.10		(13.0)	(5.4)
山田 A	15図 9	大型獣脚	500.19	28.77	471.42		(35.0)	6.0
	7図 1	獅噛獣脚	238.7	117.9	120.8		(15.0)	(5.2)
	15図 8	ネコ脚獣脚	327.98	290.68	37.30	”中の小”とする	13.2	2.9

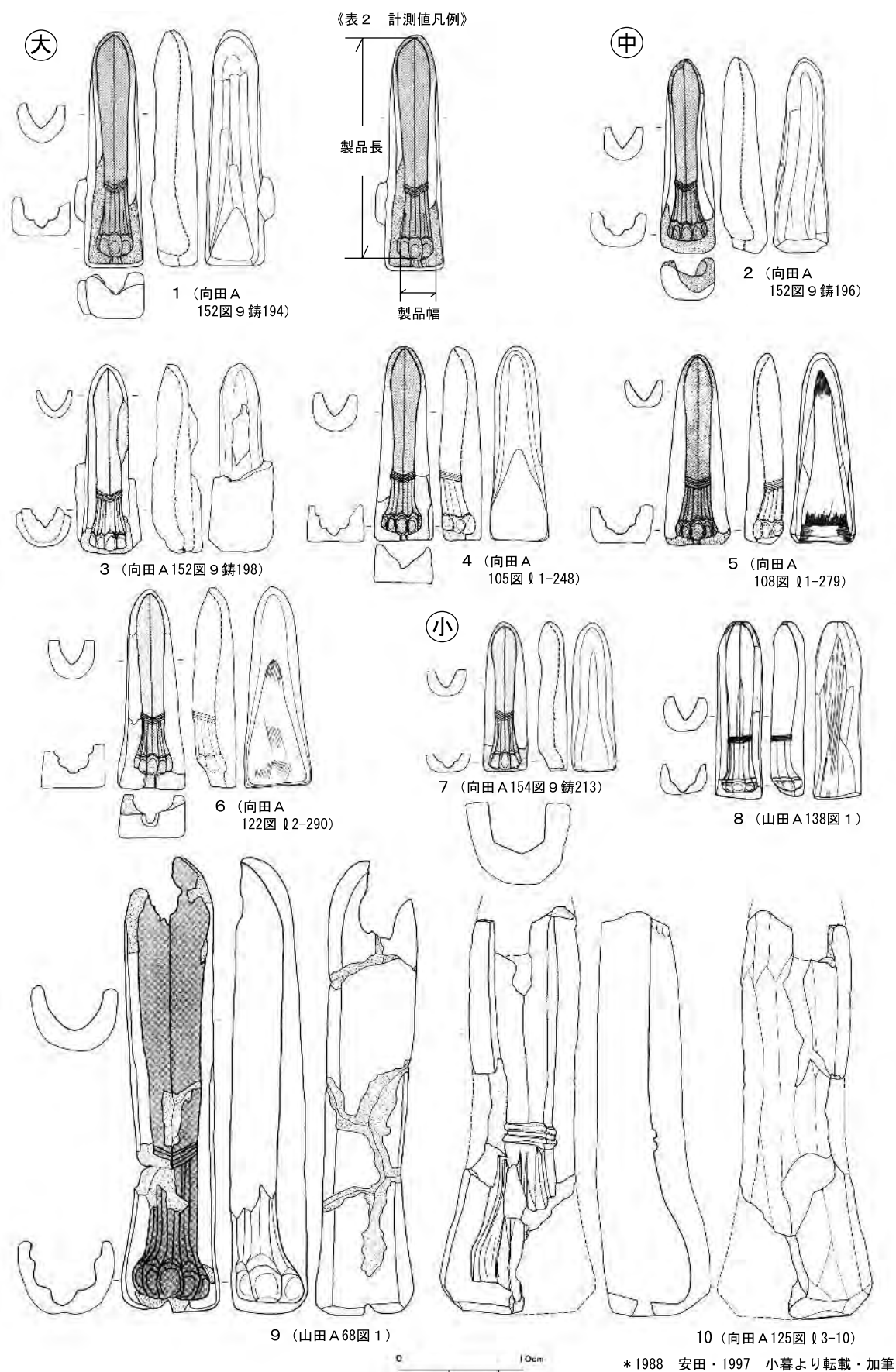
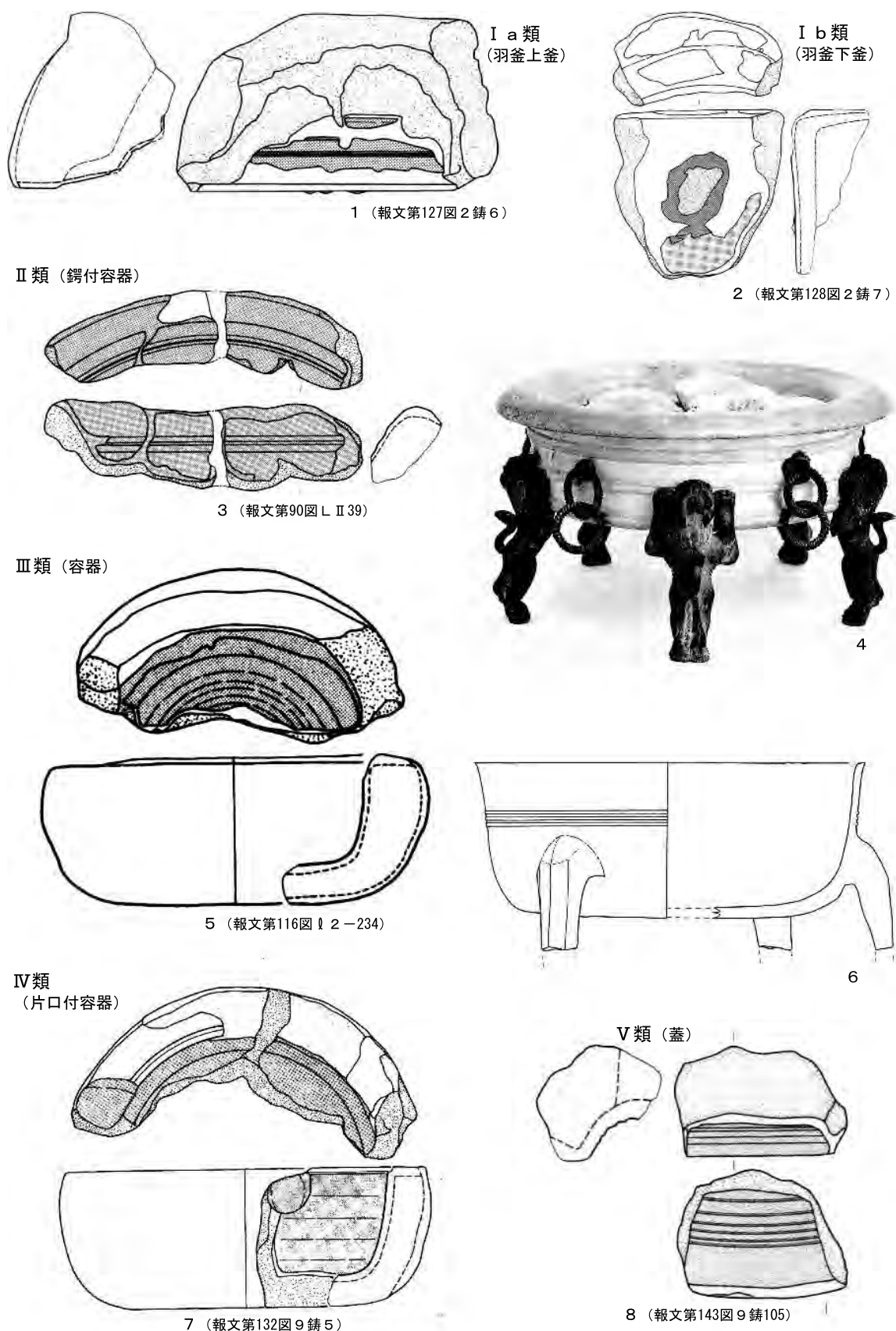


図15 容器計測獣脚鋳型（ネコ脚タイプ）



1~3・5・7・8 1988 安田ほか「向田A遺跡」『相馬開発関連遺跡発掘調査報告I』
 4 1989 「供養具と僧具」『日本の美術』第283号
 6 1986 「No.91A・462遺跡」『多摩ニュータウン遺跡』

より転載・加筆

図16 容器鋳型の分類と類似資料

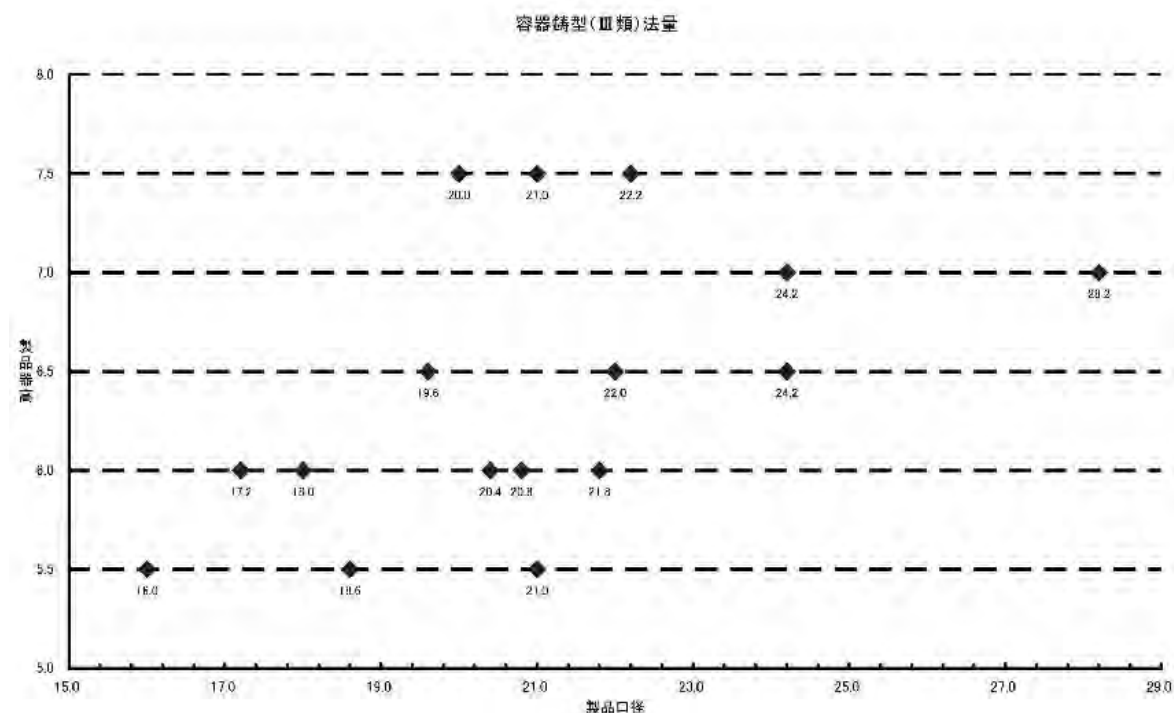


図 17 容器鉄型（Ⅲ類）の法量

4段階に分かれるものと推定したが、表 3 や図 17 に示したように明確な差は確認できなかった。

ただ、Ⅲ類とした鉢状の形態を有する容器の器高では、5.5 cm から 7.5 cm の 5 段階に分かれ、器高が大きくなると口径も大きくなる傾向が読み

表 3 容器鉄型の法量

取れる。

2) 鋳込みでわかったこと

・鋳込みの容積について

今回の鋳込み法は、所謂埋け込み法で行った。前項で獣脚鉄型の容積を述べたが、3本の獣脚鉄型を埋け込み、獣脚付容器を製品化する場合、最低でも「20cc × 3本 + 容器分」の鉄湯が必要となる。今仮に、表 3 の 1 2-234 の容器鉄型に、図 15-7 の“小”の獣脚鉄型が 3 本組み合わせて鋳込まれたと仮定すると、その用量は

* 容器（直径 16 × 器高 5.5 × 器壁 0.3 cm の円柱形で計算）

$$(8 \times 8 \times 3.14 \times 5.5) - (7.7 \times 7.7 \times 3.14 \times 5.2) = 137.20 + \text{獣脚 3 本分} : 60 = 197.20 \text{ となる。}$$

分類	遺物番号	製品口径	製品器高
I b	1 1-195	54.2	12.5
Ⅲ	1 2-234	16.0	5.5
	1 2-241	18.6	5.5
	9 鑄115	21.0	5.5
	1 2-233	17.2	6.0
	L Ⅲ183	18.0	6.0
	9 鑄158	20.4	6.0
	L Ⅲ197	20.8	6.0
	9 鑄43	21.8	6.0
	9 鑄32	19.6	6.5
	1 1-218	22.0	6.5
	1 1-155	24.2	6.5
	1 2-239	24.2	7.0
	9 鑄61	28.2	7.0
	1 1-220	20.0	7.5
Ⅳ	1 2-243	21.0	7.5
	1 2-226	22.2	7.5
	9 鑄17	17.2	5.5
	9 鑄 7	18.2	6.0
	9 鑄 5	18.4	6.0
	1 1-222	19.6	6.0
	9 鑄15	23.0	6.5
	9 鑄24	18.6	7.5
	9 鑄10	18.7	7.5

遺物番号は報告書掲載の遺物番号である。

このことから、最低でも1回の鋳込みで、200cc以上の用量が必要であることが理解できる。これが、最も容積の大きい特大の獣脚（図15-15）では3本で4,050ccも必要であり、さらに容器分を加えれば5リットル以上の容積になろう。

さて、このように試算した容積であるが、鋳込みに使用する道具としては、図18-1・2に示した山田A遺跡で出土したトリベのみが確認されているにすぎない。このトリベの容積は



図18 山田A遺跡出土のとりベ・るつぽ（上）と復元鋳鉄製品の使用柄杓（下）

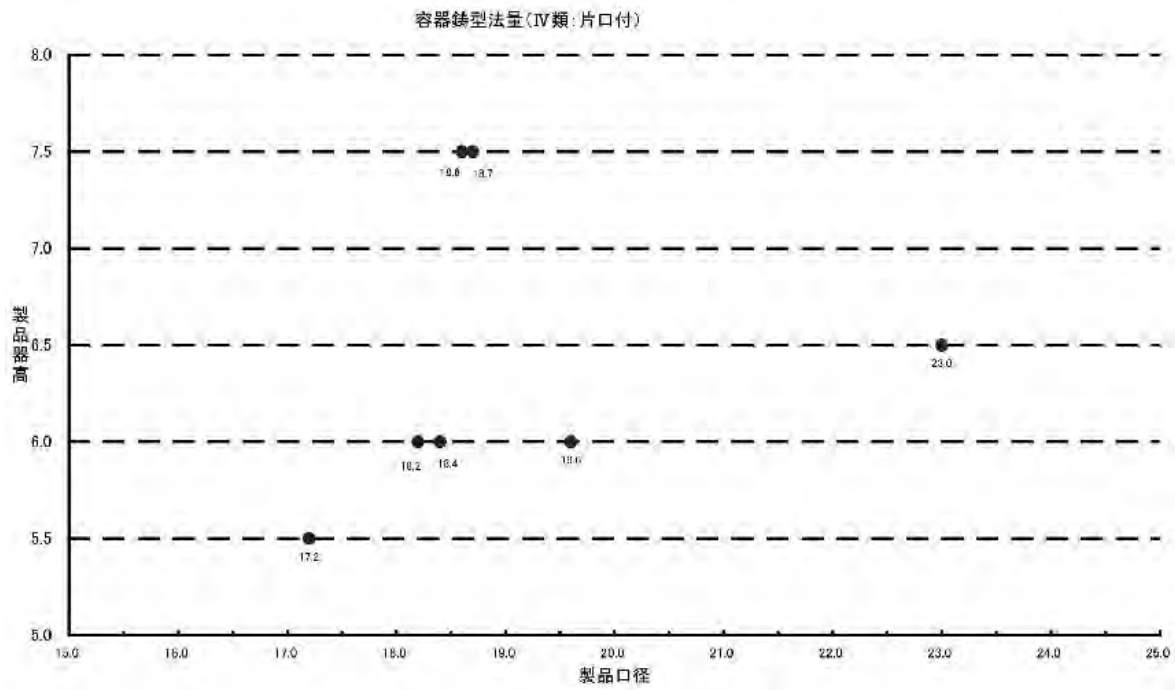


図 19 容器鑄型(Ⅳ類)の法量

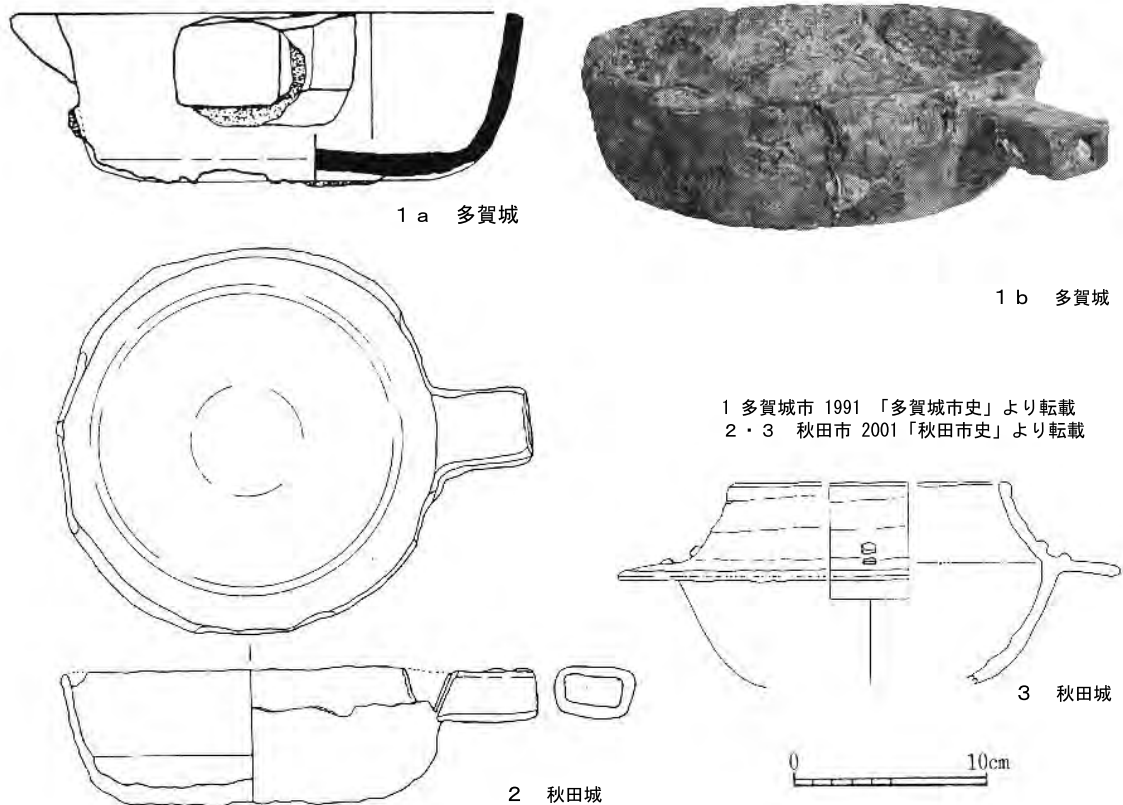


図 20 多賀城・秋田城出土鑄鉄製品

約 90cc (半径 3.5 cm として計算 ; $\frac{4}{3} \pi 3.5^3 \div 2 = 89.75$) であり、とても鑄鉄製品を鑄込む 1 回の量としては足りない。当然何回かに分けて鑄込むことや、甌炉からの直鑄も可能である

うが、間断なく鑄込む鑄造技術からは、1回に入る容積の大きい“柄杓”の存在が考えられる。

そこで、両遺跡から出土した片口の容器鑄型が、柄杓に該当しないか検討した。図19は表3に示した向田A遺跡出土の片口付容器鑄型（Ⅳ類；図16参照）の法量を示したものである。

計測できた資料が少ないが、おおよそ口径19cm前後で、器高が6cm前後のものが認められる。この口径19cm、器高6cmで容積を計算すると、約1,700ccとなる。これであれば、十分な湯量を確保できる。このことから、これらの片口付容器鑄型については、鑄湯の柄杓鑄型とも考えられ、鑄込み用の道具、すなわち柄杓を生産場で製作した可能性を指摘しておきたい。

ところで、飯村氏は、同種鑄型を取っ手付の鉄製鍋と考えている（飯村1994）。図20には多賀城や秋田城で出土した同種資料を提示したが、取っ手部分に木柄を装着すれば、まさに柄杓になる。

平安時代前半期において、土師器甕という煮沸具が今だ器種組成の主要を占めている以上、これの置換具・補完具としてなぜ鉄製鍋が使用されたのであろうか。一つの推測として、鑄造という新業種において使用された柄杓としての機能が理解・普及した後に、土製の煮沸具に変わるものとして取っ手付鉄鍋や、御神酒用の注口付土器が出現するのではないだろうか。

・容器鑄型の完成器形と、獣脚付容器の類例

前項で容器鑄型を5類型に分類したが、このうち、Ⅰ類は獣脚付容器（羽釜タイプ）、Ⅲ類は獣脚付容器（獅嚙タイプ）として復元し、Ⅳ類は柄杓の可能性を指摘した。

さて、Ⅱ類としたツバが若干湾曲しながら外反する容器鑄型は、図16-4に示した正倉院にある、所謂火舎香炉に類似したもの（火舎タイプとする）になると思われる。

したがって、山田A・向田A両遺跡で鑄込まれた獣脚付容器は、羽釜タイプのもの、獅嚙タイプのもの、火舎タイプのものに分けられる。

このうち、向田A遺跡では、羽釜タイプと火舎タイプ、獅嚙タイプが鑄込まれ、山田A遺跡では獅嚙タイプのみが鑄込まれていたことになる。また、Ⅴ類とした鑄型は、両遺跡から確認でき、これらは獅嚙タイプや火舎タイプに合致する蓋の鑄型と判断している。

次に、容器底部と獣脚のかかとのレベル差であるが、今回の復元では10cmが限界であった。

写真6は復元した獣脚付容器のかかと状況である

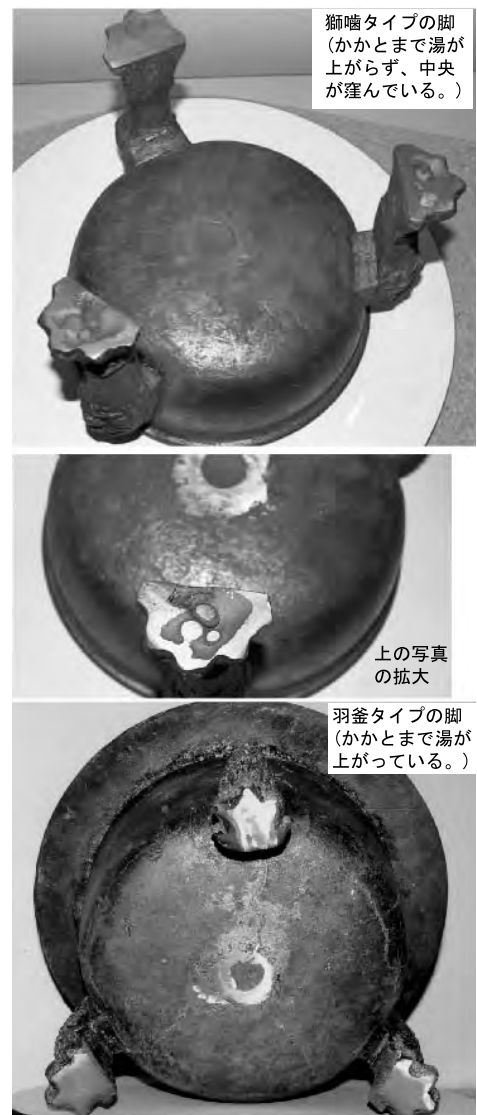


写真6 獣脚付容器脚部かかとの状況

が、獅噛タイプのかかとは、かかと全面に湯が回っていないことが理解できる。このことから、獣脚铸型の設置箇所としては、容器部の底面レベルと 10 cm 以内の位置にかかどがくるように設置されたものと思われる。そうであれば、羽釜タイプでは、ツバ直下に獣脚がつくような器形を呈する製品もあったと思われる。

実際、図 21 に示したように、北陸地方では、8 世紀後半に比定される須恵器の獣脚付容器

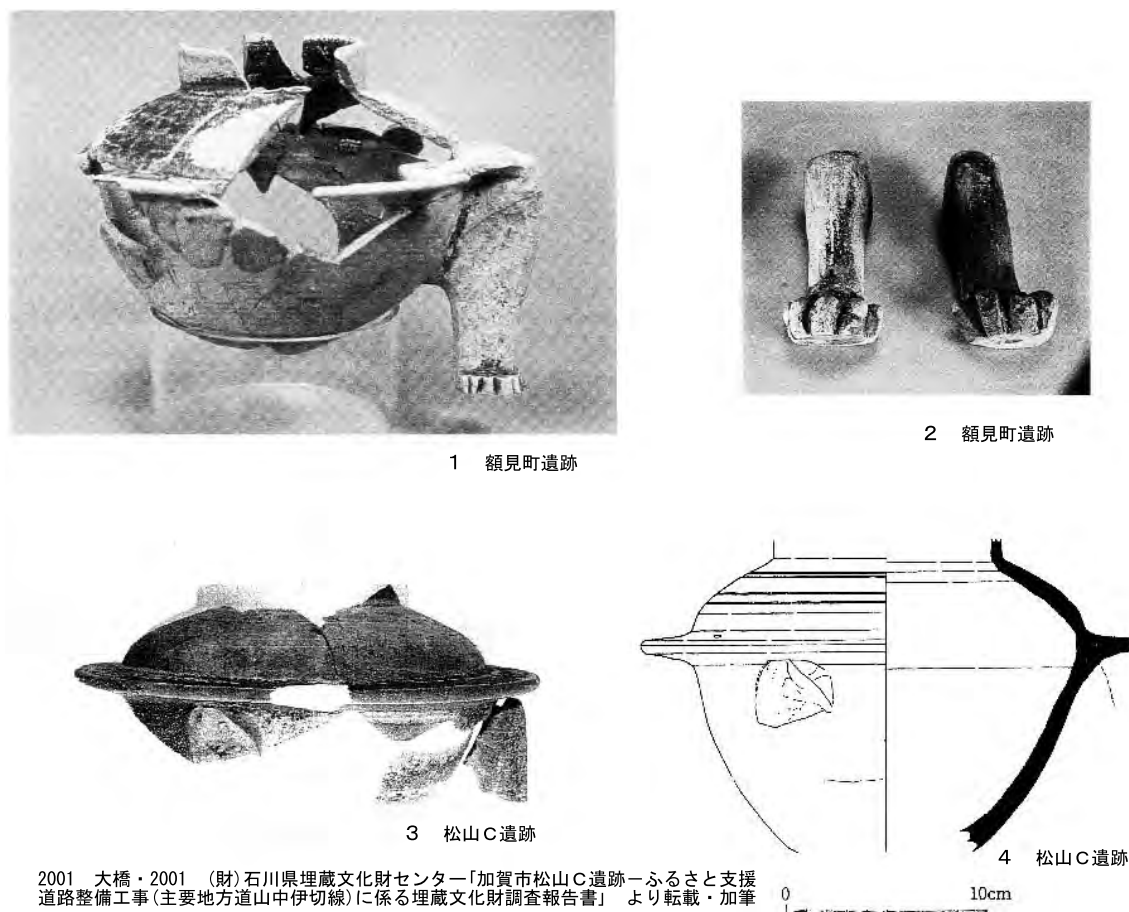


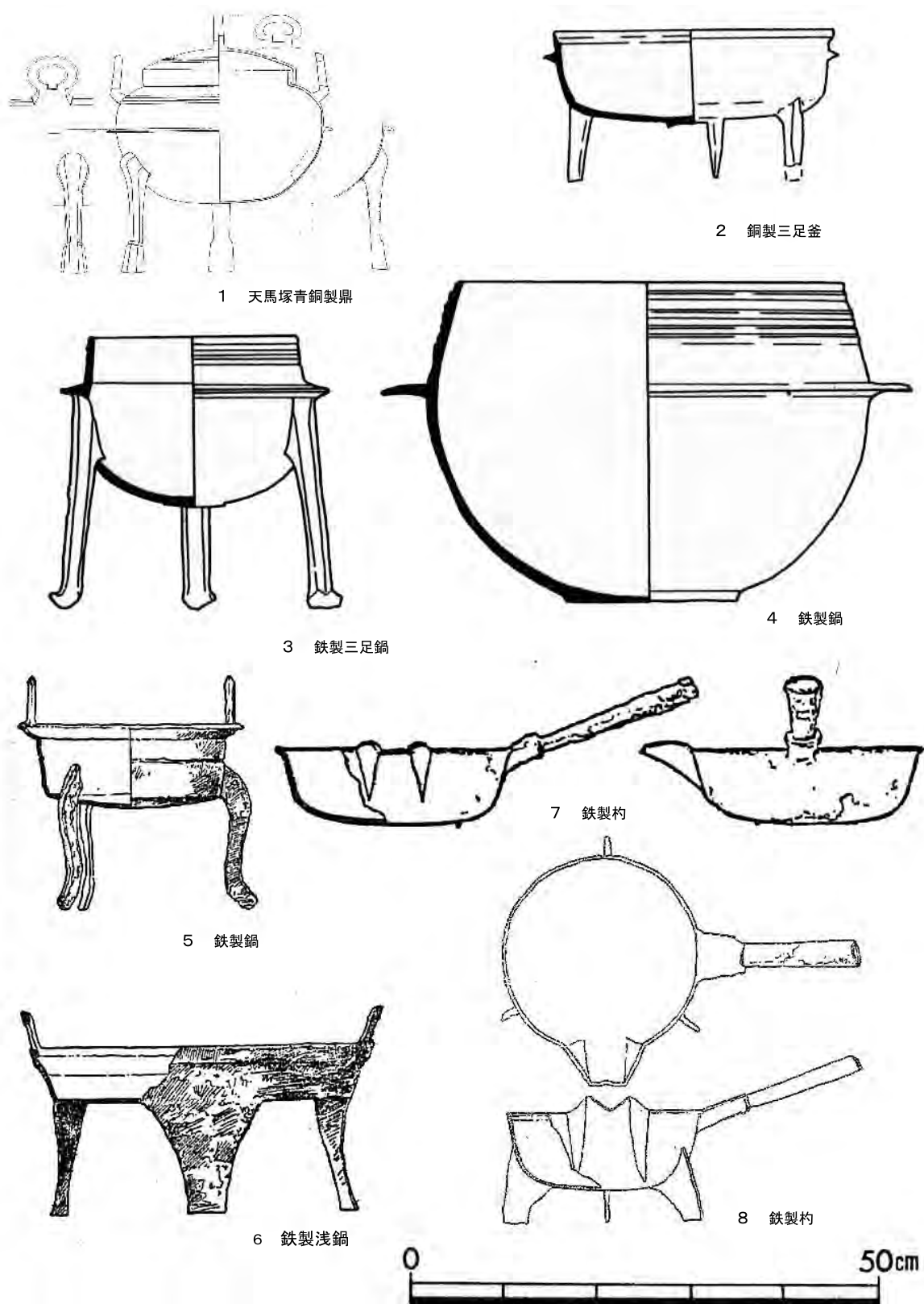
図 21 北陸地方の獣脚付容器

が確認されている。目を国外に転じれば、図 22 に示したが、日本の古墳時代に相当する時期から韓半島では青銅製であるものの羽釜タイプに獣脚がついた鼎や、今回復元した铸铁製品より 200 年ほど新しいものの、中国の金・遼代の三足鉄鍋や、脚付の柄杓が確認できている。

これらの彼我関係や系譜は今後の大きな検討課題であるが、図 21 - 1・3 と図 22 - 3 は上釜の立ち上がりラインこそ異なるものの、ツバ直下にある獣脚の設置箇所は同一であり、図 21 - 1・3 が金属器模倣とすれば、埋け込みによる铸造技術は酷似したものと思われる。ちなみに、図 22 - 3 の獣脚のかかとと、容器底面のレベル差は約 10 cm であり、今回復元した獅噛タイプとほぼ同一の差となっている点は興味を惹く。



写真 7 獣脚と容器の接合状態



1 1975 社団法人韓国文化財普及協会「天馬塚発掘調査報告書」(日本語版)

2~4 1993 村上恭通「女真の鉄」潮見浩先生退官記念事業会

5~8 1963 蘇 天鈞「北京出土の遼、金時代鉄器」『考古』第3期

より転載・加筆

図 22 天馬塚鼎と遼・金代の金属製品

なお、写真 7 に示すように、研究復元完成品を観察すると、一緒に鋳込んだにもかかわらず、獣脚と容器の接地面は、あたかも別々に作って接合したように見える。何とも皮肉な結果となったが、もし、古代の遺跡から容器と獣脚が接合した鉄製品が確認できたなら、よくよく観察し、様々な角度から検討を加えないと、古代の技術復元はできないと痛感している。

・原料とした銑鉄について

向田 A・山田 A 両遺跡では、1 次製錬炉として箱形炉が確認されている（図 1・3）。これらの箱形炉で生成された鉄は、いかなる性状の鉄であったのであろうか。少なくとも鋳型が出土し、製品が鋳込まれている以上、主として炭素量 2.1% 以上を含む銑鉄を生成した炉であったと推測できる。

表 4 は、相馬開発・原町火力関連の発掘調査で調査した製鉄炉のうち、鉄塊系遺物を分析した際の炭素量の結果一覧である。ただし、T. Fe70% 以上のもので炉形が判明しているものを抽出している。

分析値の評価は専門外であるため、一概に言えないが、これを見ると、確実に 9 世紀代の

表 4 遺跡出土鉄塊系遺物の炭素量一覧

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 名
FBI970021	鳥打沢 A	15・16号炉（箱形炉；両側廃滓） 廃滓場 1 層	8 c 代	97.0	3.180	銑鉄	原町 IX
FBI970014	鳥打沢 A	15・16号炉（箱形炉） 廃滓場 1 層	8 c 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	9 c 前半	72.1	1.990	鋼（高炭素鋼）	相馬 V
FBI960002	山田 A	1号炉（箱形炉） 廃滓場 8 層	9 c 前半	72.0	0.130	鋼（低炭素鋼）	相馬 V
FBI960004	山田 A	2号鑄造遺構 P 2 底面	9 c 前半	70.0	5.430	銑鉄	相馬 V
FBI960010	山田 A	2号鑄造遺構 廃滓場 2 層	9 c 前半	84.0	4.330	銑鉄	相馬 V
FBI960007	山田 A	3号炉（堅型炉） 廃滓場 11 層	9 c 前半	71.0	0.500	鋼（中炭素鋼）	相馬 V
FBI910076	山田 A	3号炉（堅型炉） 廃滓場 1 層	9 c 前半	74.1	2.260	銑鉄	相馬 V
FBI960006	山田 A	3号炉（堅型炉） 廃滓場 1 層	9 c 前半	81.0	2.790	銑鉄	相馬 V
FBI930501	猪倉 A	1号炉（箱形炉） 廃滓場 1 層	9 c 後半	—	2.780	銑鉄	相馬 IV
FBI930502	猪倉 A	1号炉（箱形炉） 廃滓場 2 層	9 c 後半	—	2.900	銑鉄	相馬 IV
FBI930503	猪倉 A	1号炉（箱形炉） 廃滓場 3 層	9 c 後半	—	2.580	銑鉄	相馬 IV
FBI930504	猪倉 A	1号炉（箱形炉） 廃滓場 3 層	9 c 後半	—	3.170	銑鉄	相馬 IV
FBI930509	猪倉 A	2号炉（箱形炉） 廃滓場 3 層	9 c 後半	—	2.180	銑鉄	相馬 IV
FBI930505	猪倉 A	2号炉（箱形炉） 廃滓場 1 層	9 c 後半	—	2.720	銑鉄	相馬 IV
FBI930506	猪倉 A	2号炉（箱形炉） 廃滓場 2 層	9 c 後半	—	2.390	銑鉄	相馬 IV
FBI930508	猪倉 A	2号炉（箱形炉） 廃滓場 2 層	9 c 後半	—	3.100	銑鉄	相馬 IV
FBI930507	猪倉 A	2号炉（箱形炉） 廃滓場 2 層	9 c 後半	—	2.060	鋼（高炭素鋼） ～銑鉄	相馬 IV
FBI930510	猪倉 A	2号炉（箱形炉） 廃滓場 3 層	9 c 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	9 c 後半	—	2.990	銑鉄	相馬 IV
FBI930511	猪倉 A	2号炉（箱形炉） 廃滓場 4 層	9 c 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	9 c 後半	—	2.820	銑鉄	相馬 IV
FBI920033	猪倉 B	1号炉（箱形炉） 廃滓場 1 層	9 c 後半	96.2	2.990	銑鉄	相馬 IV
FBI920029	猪倉 B	1号炉（箱形炉） 廃滓場 1 層	9 c 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	9 c 後半	97.0	2.330	銑鉄	相馬 IV
FBI920032	猪倉 B	1号炉（箱形炉） 廃滓場 2 層	9 c 後半	94.7	4.510	銑鉄	相馬 IV
FBI951005	大迫	1号炉（箱形炉） 廃滓場 1 層	9 c 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	9 c 前半	96.8	2.540	銑鉄	原町 V
FBI970007	大迫	7号炉（箱形炉） 廃滓場 1 層	9 c 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	10 c 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 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

箱形炉では炭素量 2.1%以上の銑鉄が確認できている。2.1%以上の炭素を含む所謂ズクは、1,150℃以上で液相化する。これに対し、炭素量が少なくなると溶解温度は上がり、純鉄では1,530℃以上になる。このため、当時の工人たちにとってはズクを用いて、低い溶解温度で鑄込み作業を行ったことは想像に難くない。と、同時に、主たる用途にあった鉄生産を行っていたと推測できる。

3) 仕上げ方法について

今回の仕上げ工程の復元では、伝世品や出土品を表面処理の視点から観察した。その結果、田村市船引町大鐺矢神社保管の文明 19 年 (1487) 銘の御鉄鉢 (おかなばち) や、磐梯町慧日寺保管の永楽 7 年 (1435) 銘の御鉢 (おはち)、あるいは大阪府海会寺跡出土青銅製風鐸、長野県佐久市牧ヶ原出土の鉄製梵鐘には、表面に何らかの処理の痕跡が確認された。次に各処理について感想をまとめる。

・ **漆焼き法** この方法で行った製品は、梵鐘 (3 回目鑄込み) ・ 獣脚付容器 (羽釜タイプ 2 回目鑄込み) ・ 乳なし風鐸であるが、いずれの内外面も漆黒の色調となった。現在の鉄製茶釜では、この上にさらに熱を加え、今度は赤漆を塗りつけ完成するとのことであったが、今回は、ここまでの作業で処理終了とした。なお、現存する中世の鉄鉢等で認められる黒色味は、この漆焼き法による黒色ではないかと推測されたが、確証はない。

・ **油焼き法** 前述の漆焼き法とは異なり、先に植物油を塗り、その後熱を加えて、油を焼ききる方法である。採用した油は、菜種油であり、これを刷毛で塗り、その後、木炭により熱を加えて焼ききった。4 年ほど前の象嵌大刀研究復元の際も採用した方法である。内外面は黒色を帯びたが、漆焼きに比べやや黒色が薄い感じがする。また、油のためか表面がギラギラした感じを受けた。

・ **炭焼き法** 炭焼き法を採用したものは、梵鐘 (1 回目鑄込み) と獣脚付容器 (獅嚙タイプ)、風鐸 (乳付き) 2 個である。このうち、梵鐘 (1 回目鑄込み) と風鐸 (1 回目鑄込み) は、ともに鑄込み失敗品であり、ヒビが入ったり、部分的に湯が回らなかったため、穴が空いたりしている製品である。この両者は、熱を加えた段階で“ピン・キン”と音が鳴り、小さな割れが生じてしまった。

処理後は、内外面とも熱変化により赤色あるいは茶褐色に変色している。この後、風鐸は、漆塗りと金箔貼り仕上げ処理が行われ、梵鐘や獣脚付容器も蜜鐵仕上げを行っている。

・ **稲藁燻し法** 稲藁燻し法は、梵鐘 (2 回目鑄込み) のまわりにワラをおき、ワラを燃やしてススを内外面に付着させるものである。熱する温度をあまり上げなかったため、製品に損傷は認められなかった。ただ、内外面に付着させるススがなかなか固着しなかったため、何度もワラをくべて付着させた。鑄鉄製品の内外面は、淡い黒色味を帯びた色調になった。

今回の鑄鉄製品の表面処理は、可能な限り多様な方法を行うことにより、当時の処理工程を復元したわけであるが、実際に処理を行った限りでは、稲藁燻し法もしくは漆焼き法の可能性が高いのではないかとと思われる。それは、前者の技法が、基本的に土師器等に見られる黒色処

理法に近い作業であるためであり、また、後者は当時の万能調剤の漆を使用することが充分首肯できるからである。

6 用途と社会背景

今回復元した鑄鉄製品は、平安時代前期においていかなる用途があったのであろうか。以下、簡単に推測していきたい。

獣脚付容器（羽釜タイプ）は、その形状から湯釜の可能性が考えられる。奈良県川原寺では、7世紀後半～8世紀初頭の鉄製羽釜の上釜鑄型が確認され、口径90 cmほどの大きさから湯釜と推測されている（松村ほか 2004）。今回の復元品は直径27 cmほどと小さいため、湯屋での使用はできないものの、蒸気を発生させる道具（主として精進潔斎のため）と思われ、古代寺院の資材帳などに記載されている足釜に相当するものと考えられる。

次に、獣脚付容器（獅嚙タイプ）は、所謂火舎香炉であろう。鍋との考えもあるが、向田A・山田A両遺跡での容器鑄型と獣脚鑄型の出土数の割合や、容器鑄型の分類で示したように、ツバがつくものも含めて、改めてこれらを香炉と判断したい。

この他、風鐸や梵鐘は、その形状から用途は限られてくる。風鐸は寺院の塔あるいは金堂の軒先に垂下されるものであり、梵鐘は、たとえその大きさが半鐘であっても鐘は鐘であろう。さらに、今回復元できなかったが、両遺跡の出土鑄型の中には、三鈷杵や龍のレリーフを施した半球形状のもの、錫杖に近い形状を呈するものなども確認されている。

これらのことから、向田A・山田A両遺跡で製作された鑄鉄製品は、寺院に関連する何らかの道具であったと考えられる。『日本書紀』持統天皇三年（689年）一月九日の条に、「越蝦夷沙門道信に仏像一体、灌頂幡・鐘・鉢各一口、五色綵各五尺、綿五屯、布一十端、鍬一十枚、鞍一具を賜う」という記事が見られ、さらに同年七月一日の条にも、「陸奥蝦夷沙門自得が請うた金銅薬師仏像、観世音菩薩像各一体、鐘、沙羅、宝帳、香炉、幡等を賜う」という記事がある。これらの記事からは、7世紀後半には僧侶に対し、中央から仏像や鐘、香炉・鉢を賜与されていたことが理解でき、逆に考えれば、上記の道具は古代寺院あるいは僧にとっては必要不可欠なものであったと言える。

今回の資料は、平安時代9世紀前半を主体とするものであるため、当然、その用途については理解した上で使用されたものであり、地方においても寺院関連の各種道具、所謂雑密の道具が発注・生産されていたものと思われる。

また、風鐸に関しては、生産された時期が9世紀前半であるので、陸奥国分寺や多賀城廃寺の金堂・塔・講堂等の瓦の葺き替え時期に相当する（桑原・加藤 1970）。このため、国分寺や廃寺の改修に伴い金堂や講堂軒下に垂下された可能性も考えられるが、山田A遺跡出土の風鐸鑄型には、最低でも3種類、しかも大きさからは相似形になる2つの鑄型があることから（前述Ⅲ風鐸参照）、塔に下げられた可能性が最も大きいのではないかと判断している。

ところで、奈良県大安寺で出土した奈良時代の金銅製風鐸は、高さが30.3 cmであり、基壇の大きさから塔の高さを約70 mに推定している（読売新聞H 3.2.21 記事）。今回の資料は高

さ 27.2 cm と、これよりは小さい。宮大工である故西岡常一棟梁は、“塔の高さと風鐸の大きさには、ある程度のバランスがある”と述べているが（西岡 1993）、そうであるならば、少なくとも本資料は、大安寺より 1 割ほど低い、60 m ほどの高さの塔に下げられた可能性が考えられるのではないだろうか。

実際、陸奥国分寺の調査により出土した塔の擦管からは、塔の高さが 192 天平尺（約 57.6 m 1 尺：29.997cm で計算）と推定されている（陸奥国分寺発掘調査委員会 1961）。この推定高が正しければ、山田 A 遺跡で生産された鉄製風鐸の供給先は陸奥国分寺が筆頭にあげられ（多賀城廃寺の塔は 78.8 唐尺；約 23.4 m 1 尺：29.694 cm で計算（宮城県・多賀城町 1970））、前述したように塔の改修の要請に応じて生産・納品されたのではないかと推定している。

この他、獣脚付容器などの铸铁製品も雑密系仏具と思われるので、同様の供給先であった蓋然性が高い。さらに、梵鐘に関しては、その音色の広がりにより仏法を知らしめるためのものであり、これもまた、国分寺などの寺院に納入された可能性が考えられる。

これらのことから、向田 A・山田 A 遺跡で主に生産されたものは、少なからず国分寺などの寺院に関連する雑密の铸铁製品であり、両遺跡が铸铁生産から製品生産まで一貫した铸铁工場であったと判断できる。そして、その背景には「金光明最勝王経」や「妙法蓮華経」をベースに、鎮護国家のため、仏教を前面に押し出した聖武天皇の国策を引き継いだ国府クラスが垣間見え、これらの要求に応えるために郡司層により雑密系仏具が生産された官営工場ではないかと思われる。しかしながら、本製品が納められた直後には、最澄・空海が中国から学んだ密教（純密）が次第に広まり、これらが密教法具に取って代わられるのである。

7 おわりに

今回の復元は出土した鋳型中心であったため、当然のことながら製品そのものがない。このため、復元した製品は、かつてそのものが製作された確証が全くない。最大公約数的復元であると前述したのは、そのような事由からである。そのほか、下記のような点については、検討が及ばなかった。

- 1) 鋳型の収縮率…ある範型があり、それをベースに鋳型を製作した際（たとえば獣脚など）、仕上がりでどの程度の収縮があるのか。すなわち、範型から鋳型、鋳型から製品まで、どの程度の差異が生じるのかなど。
- 2) 獣脚の範型と規格…今回復元した獅噛獣脚のようなレリーフのものは、木製範型とした場合、彫刻刀のような工具がない時代では、細部加工が非常に困難である。おそらく粘土製の範型であったと思われるが、この範型の検討。また、獣脚にはある程度の規格性が認められたが、これと容器部の関係。
- 3) 製品の成分…実際に製作した鉄製品の成分については、全く考慮できなかった。今後、鋳型に滴下した鉄湯から分析資料を採取し、成分分析等を行う必要がある。
- 4) 鋳型を構成する粘土の問題…どのような成分・粒径の土であるのかなど。

5) 今回復元できなかった資料…向田A・山田A遺跡の蓋状容器

山田A遺跡の三鈷杵と方形状製品

山田A遺跡の半球形を呈した龍の顔の製品など

この他、鋳込み方法や、仕上げ工程なども、今回提示したものはあくまでも1つの仮説にすぎない。真に当時の技術を復元するには、これに拘泥されることなく、さらなる追求が必要である。おそらく、目指す製品に応じた多種多様な鋳込み方法があったはずであり、仕上げの着色も様々であったろう。今後の当該期の鉄製品の出土に期待したい。それにつけても、“実際に「もの」を作り出すことと、頭で考えた「もの」づくりのギャップは大きく、作ってみて始めて見えるものがある。”

最後に、製鉄遺跡で確認できる製鉄炉（1次製錬炉）は、ただ単に砂鉄あるいは鉄鉱石から鉄を作るのが目的ではなく、最終的にその社会的要求に応えた必要な道具を産出するための鉄素材を生産していたと判断できる。そして、今回復元対象とした向田A・山田A遺跡では、それが銑鉄であり、それができて初めて鉄製品の製造が可能になった事実を再提示しておきたい。

今回の研究復元事業に対し、実際に製品製作を担当していただいた工芸文化研究所の鈴木勉所長、押本伸幸代表をはじめ同研究所構成メンバーである釜師の濱田與七氏、濱田義玲氏親子、梵鐘の音響調査の大熊恒靖氏、鉄分析の佐藤健二氏に深甚の謝意を表します。また、出土した鉄製品の分析を許可していただいた宮城県教育委員会・東北歴史博物館並びに蛍光X線分析を担当していただいた奥山誠義氏、多くの鉄関連の文献教示をいただいたまほろんボランティアの星 秀夫氏、中国の文献を入手していただいた当館藤本 強館長にも厚く御礼申し上げます。

そして、福島県文化財センター白河館及び福島県文化振興事業団遺跡調査部の職員の皆様、さらに、以下の機関並びに個人に、資料の閲覧や多くの助言を賜りました。ここに明記し、深謝いたします。

（機関）会津美里町教育委員会 会津美里町法用寺 秋田市教育委員会 秋田城跡調査研究所 喜多方市教育委員会 喜多方市神宮熊野神社長床事務所 北上市立博物館 泉南市教育委員会 泉南古代史博物館 多賀城市埋蔵文化財センター 田村市大鐻矢神社 奈良文化財研究所飛鳥藤原宮跡発掘調査部 磐梯町慧日寺 平泉文化史館 向日市文化資料館

（個人）荒木 隆 飯村 均 石本 弘 五十川伸矢 門脇秀典 菊地逸夫 木本元治

小暮伸之 今野 徹 真保昌弘 鈴鹿良一 関 清 田井知二 千葉正利 能登谷宣康 吹野登美夫 藤沢平治 松村恵司 松本 茂 森 幸彦 安田 稔 山田晃弘 吉田晶子

注1 容器鋳型は火舎香炉・鍋鋳型等呼称されているが、本論では用途が特定できないため容器鋳型とする。）

注2 1986 『日本民俗文化体系』13・14「技術と民俗」上下 小学館刊

注3 1983 井塚政義 『和鉄の文化』 p 26

注4 1985 遠藤元男 『建築金工職人史話』 p 248

注5 1975 會田富康 『鋳金・彫金・鍛金』理工学社 p 3-60

注6 1998 中里壽克 『伝統的焼付漆技法の研究—文献に見る焼付漆及びその研究の歴史—』保存科学第37号 東京国立文化財研究所

- 注7 2000 五十川伸矢『相州小田原山田家の鉄鍋作り』「たたら研究会創立40周年記念製鉄史論文集」たたら研究会
- 注8 1975 遠藤元男・小口八郎『日本の伝統技術と職人』槇書店 p 66
- 注9 1975 遠藤元男・小口八郎『日本の伝統技術と職人』槇書店 p 74
- 注10 1922 岡山秀吉『塗物術』大倉書店 p 318-319
- 注11 1969 藪内清訳注『天工開物』「八 鑄造」宋応星著 p 165 平凡社)

<参考・引用文献(注をのぞく)>

- 會田富康 1975『鑄金・彫金・鍛金』理工学社
- 青木一郎 1948『鐘の話』弘文堂書房
- 秋田市 2001『秋田市史』第7巻 古代 史料編
- 朝岡康二・田辺律子 1982「暮らしの中の鉄と鑄物」『日本人の生活と文化』7 ぎょうせい
- 朝岡康二 1993「鍋・釜」『ものと人間の文化史』72 法政大学出版局
- 飛鳥資料館 2004『飛鳥の湯屋』飛鳥資料館図録第41冊
- 飛鳥資料館 2004『古代の梵鐘』飛鳥資料館図録第42冊
- 飯村 均 1994「平安時代の鉄製煮沸具」『しのぶ考古』10 目黒吉明
- 飯村 均 2005「律令国家の対蝦夷政策・相馬の製鉄遺跡群」『シリーズ「遺跡を学ぶ」』021 新泉社
- 石野 亨 1977『鑄造 技術の源流と歴史』クオリ
- 和泉市久保惣記念美術館 1999『特別展 中国の響銅—轆轤挽きの青銅器—』
- 五十川伸矢 2002「IV 銅と鉄の鑄造」『鉄と銅の生産の歴史—古代から近世初頭にいたる—』雄山閣
- 五十川伸矢 2003「古代中世東北の鑄物生産」『白い国の詩』10号 東北電力株式会社広報・地域交流部
- 板橋 源ほか 1972「北上市極楽寺跡」文化財調査報告第11集
- 大橋由美子 2001『額見町遺跡』串・額見地区土地区画整理事業関連埋蔵文化財発掘調査概要報告書—4—
- 石川県小松市教育委員会
- 岡本東三 2002「古代寺院の成立と展開」『日本史リブレット』17 山川出版
- 柏倉亮吉 1937『雪野寺址発掘調査報告』日本古文化研究所
- 香取秀真 1926～1927「金工史」『考古学講座』国史講習会
- 鹿取一男 1983『美術鑄物の手法』アグネ
- 仮屋喜一郎ほか 1990『海会寺 海会寺遺跡発掘調査報告』泉南市教育委員会
- 北上市立博物館 2001「平泉に先立つ古代仏教の拠点 国見山極楽寺」『北上川流域文化シリーズ』(8)
- 桑原滋郎・加藤孝 1970「多賀城廃寺と陸奥国分寺」『古代の日本』第8巻東北 角川書店
- 考古学資料から古代を考える会事務局 2000『古代仏教系遺物集成・関東—考古学の新たな開拓をめざして—』
- 黒龍江省文物考古工作隊 1977「黒龍江畔綏濱中興古城和金代墓群」『文物』第4期
- 小暮伸之ほか 1997「山田A遺跡」『相馬開発関連遺跡発掘調査報告書』V 福島県文化財調査報告書第333集
- 子持村教育委員会 2002『上州白井鑄物師』群馬県北群馬郡子持村教育委員会
- 佐藤 信編 2003『日本と渤海の古代史』山川出版社
- 蘇 天鈞 1963「北京出土の遼・金時代鉄器」『考古』第3期 考古 染志社
- 多賀城市教育委員会 2003『市川橋遺跡—城南土地区画整理事業に係る発掘調査報告Ⅱ—』多賀城市文化財調査報告書第70集
- 多賀城市 1991『多賀城市史』第4巻 考古資料
- 俵 國一 1933『古来の砂鉄精錬法』丸善
- 沈 奉謹 1991『梁山金鳥塚・夫婦塚』古墳調査報告第19冊 東亜大学校博物館
- 坪井良平 1970『日本の梵鐘』角川書店
- 坪井良平 1993『新訂梵鐘と古文化』ビジネス教育出版社
- 東京考古学会 1939『東京城 渤海国上京龍泉府址の発掘調査』東方考古学叢刊甲種第5冊 雄山閣出版(1981復刻版)
- 東京都埋蔵文化財センター 1986「No.91 A・462 遺跡」『多摩ニュータウン遺跡』昭和59年度 第4分冊
- 東北歴史資料館 宮城県多賀城跡調査研究所 1985『多賀城と古代東北』宮城県文化財保護協会
- 栃木県立しもつけ風土記の丘資料館編 1993『東山道の国分寺—寺に込められた願い—』栃木県教育委員会
- 栃木県教育委員会 1973『下野薬師寺跡発掘調査』

- 中島 正ほか 1988『史跡 高麗寺跡』京都府山城町埋蔵文化財調査報告書第7集 山城町教育委員会
- 中野 徹 2001「響銅－中国中世の青銅器－」『東洋美術研究所紀要』11 和泉市久保惣記念美術館 久保惣記念文化財団
- 生江芳徳ほか 1984「史跡慧日寺関係資料Ⅱ 白銅三鈷杵 鉄鉢」『福島考古』第25号 福島県考古学会
- 新野直吉 2003『古代東北と渤海使』歴史春秋出版
- 西岡常一 1993『木のいのち木のころ』草思社
- 能登谷宣康ほか 1996「第1編猪倉B遺跡」『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
- 能登谷宣康 1997「第3編総括第3章第5節猪倉B遺跡の平安時代の遺物について」『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
- 福島県 1964『福島県史』第6巻資料編1 考古資料
- 朴 潤武 1990「吉林和龍出土の金代窖藏銅、鉄器」『北方文物』第4期
- 本堂寿一 1977『鉄器の保存処置と新知見について』北上市立博物館研究報告 第2号
- 松村恵司ほか 2004『川原寺寺域北限の調査－飛鳥藤原第119－5次発掘調査報告－』奈良文化財研究所
- 宮城県教育委員会・多賀城町 1970『多賀城跡調査報告Ⅰ－多賀城廃寺跡－』吉川弘文館
- 宮城県教育委員会 2000『市川橋遺跡 県道「泉－塩釜線」関連調査報告書』Ⅲ 宮城県文化財調査報告書第184集
- 陸奥国分寺発掘調査委員会 1961『陸奥国分寺跡』
- 村上英之助 1985「鉄釜－わが国古代鋳鉄に関する史的研究（中）」『たたら研究』第27号 たたら研究会
- 村上英之助 1990「古代東国に出現するシャフト炉の系譜」『たたら研究』第31号 たたら研究会
- 村上 隆 1997「古墳時代の金工品に用いられた金属材料と政策技術」『日本の美術』第371号 古墳時代の装身具 至文堂
- 村上恭通 1993「女真の鉄」『考古論集－潮見浩先生退官記念論文集－』潮見浩先生退官記念事業会
- 森 郁夫 2004「奈良時代諸寺院に見られる密教的要素」『帝塚山大学考古学研究所研究報告』Ⅵ 帝塚山大学考古学研究所
- 安田 稔ほか 1988「向田A遺跡」『相馬開発関連遺跡発掘調査報告』Ⅰ 福島県文化財調査報告書第215集
- 安田 稔 1988「考察第1章第4節鋳型」『相馬開発関連遺跡発掘調査報告』Ⅰ 福島県文化財調査報告書第215集
- 吉田晶子 1990『枚方の鋳物師（一）』枚方市教育委員会（財）枚方市文化財研究調査会
- 吉田晶子 1997「梵鐘鋳型の2つの造型方法について」『枚方市文化財研究調査会研究紀要』第4集 枚方市文化財調査研究会
- 渡辺一雄 1982「第Ⅳ章総括 考察」『関畑遺跡』本宮町文化財調査報告書第5集

出土鋳型からのシリコン製の製品の復元及び市川橋遺跡出土 獣脚のX線分析顕微鏡による分析結果について

(財) 福島県文化振興事業団 遺跡調査課 (現 奈良県立橿原考古学研究所) 奥山 誠義

1 出土鋳型からのシリコン製品の復元

1) 内 容

福島県文化財センター白河館復元研究における鉄製獣脚付き容器復元のための準備作業として、現存する出土鋳型から獣脚等の製作された姿を再現することとした。

獣脚の再現にはシリコン等を使用して鋳型から雄型を作製し復元した。

2) 目 的

獣脚等の製作された姿を再現するために実施した。

3) 対象とした資料 (獣脚鋳型等)

資料① 獣脚鋳型 (相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅰ、向田 A 遺跡、報告書 171 図 7 住 4)

資料② 獣脚鋳型 (相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅴ、山田 A 遺跡、報告書 55 図 1)

資料③ 獣脚鋳型 (相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅴ、山田 A 遺跡、報告書 55 図 4)

資料④ 獣脚鋳型 (相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅴ、山田 A 遺跡、報告書 55 図 5)

資料⑤ 製作品不明鋳型 (相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅴ、山田 A 遺跡、報告書 59 図 4)

資料⑥ 製作品不明鋳型 (相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅴ、山田 A 遺跡、報告書 72 図 1)

資料⑦ 製作品不明鋳型 (相馬開発関連遺跡発掘調査報告Ⅴ、山田 A 遺跡、報告書 77 図 1)

4) 材 料

◆ 錫箔 (タックノリ付き、厚さおよそ 20 μ m)

◆ シリコーンゴムⅠ (旭化成ワッカーシリコーン(株)製 Silicone rubber RTV-2 : 作業時間 20 分、硬化時間 6 時間)

◆ シリコーンゴムⅡ (日東(株)リタカパネリミット® 日東石膏事業部製 NS-1000 RTV : 作業時間 40 分、硬化時間 24 時間)

◆ 軟質発泡ウレタン (ケミテック(株)製、混合比主 : 硬 = 100:35、膨張率 15 倍程度)

5) 方 法

鋳型表面に錫箔を貼り付け、覆う。シリコンの流出を防ぐため鋳型周囲を粘着テープで囲う。シリコンを調製し流し込む。流動性が無くなった時点で中子を取り付け、完全硬化後石膏を流した。石膏はシリコンの固定台となる。完全硬化を待ち、鋳型から取り外す。

6) 作業記録

制作順：資料④→資料②→資料⑤ 2 体→資料③→資料⑦・・・→資料⑥→資料①

製作順の資料④～⑦までは、silicone rubber RTV-2 を使用した。

資料⑥についてはオーバーハングした箇所があったため、当初鋳型表面のみ silicone rubber RTV-2 で覆い、シリコンの支持体として軟質ウレタンを流す策を取った。しかし、結果として軟質ウレタンでは目的を果たすことができなかったため、すべてシリコンを流し型取りする事とした。

資料⑥と資料①は silicone rubber RTV-2 が不足したため NS-1000 RTV を使用した。

7) 結 果

資料⑥と資料①は完全硬化まで 24 時間以上必要としたため、シリコンを流し込んだのみで硬化した状態は観察していない。

資料⑥と資料①以外の 5 つの鋳型から作製した再現品 6 点については、凹凸がはっきりと出現し、当時の姿が偲ばれるほどの明瞭さを得ることができた。



図 1 作業風景（箔貼り）



図2 山田A遺跡、報告書55図1
(写真左：鋳型、右：製品復元)



図3 山田A遺跡、報告書55図4
(写真左：製品復元、右：鋳型)



図4 山田A遺跡、報告書55図5
(写真左：製品復元、右：鋳型)



図5 山田A遺跡、報告書59図4
(写真左：製品復元、右：鋳型)

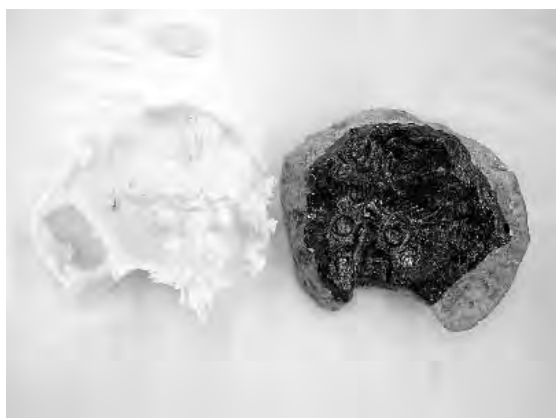


図6 山田A遺跡、報告書77図1
(写真左：製品復元、右：鋳型)



図7 山田A遺跡、報告書72図1(左)
と向田A遺跡、報告書171図7住4(右)

2 市川橋遺跡出土獣脚のX線分析顕微鏡による分析結果について

宮城県多賀城市市川橋遺跡出土獣脚の脚の部分（以下 脚部）と容器の部分（以下 容器部）の材質の差異を調査するためX線分析顕微鏡により分析を行った。

装置は財団法人福島県文化振興事業団遺跡調査部設置のX線分析顕微鏡（堀場製作所製 XGT-2700）を使用した。

分析条件は以下の通りである。

X線管球の対陰極：ロジウム (Rh) / 検出器：半導体検出器 / 測定雰囲気：大気 / 管電圧：50kV / 管電流：0.7mA / 分析径：100 μ m / 測定時間：300 秒

分析は脚部と容器部の各部6箇所を分析した。

脚部と容器部が接する部分は土壌が付着しており分析出来なかった。

分析の結果、脚部と容器部共に鉄が顕著に検出されており主成分と考えられる。ケイ素 (Si)、アルミニウム (Al)、カルシウム (Ca)、カリウム (K)、クロム (Cr)、ニッケル (Ni) が微量ながら検出された。このうち Si、Al は埋土の影響と考えられる。

脚部と容器部の検出元素の強度に対して、鉄 (Fe-K α) の強度を 100 とした場合の強度比を採り、脚部と容器部の比較を試みた。その結果、その傾向はほぼ同一であった。よって、脚部と容器部は同一の材質と考えられる。

比較資料として、新地町向田 A 遺跡 2 号鋳造遺構出土の獣脚についてX線分析顕微鏡により分析を行った。ただし分析箇所は1カ所であった。分析条件は先述の条件と同様である。

分析の結果、Al、Si、Fe が検出された。Fe が顕著なピークを示しておりほぼ鉄で造られていると考えて良いと思われる。検出元素を考慮すると新地町向田 A 遺跡 2 号鋳造遺構出土の獣脚は市川橋遺跡出土獣脚とは材質的に異なるものと考えられる。

表 1 市川橋遺跡出土獣脚材質比較表

脚部のデータ						
元素ライン	獣脚D02.S	獣脚D03.S	獣脚D04.S	獣脚D05.S	平均	鉄=100とする 各元素強度比
13 AL K	0.000691	0.000477	0.00053	0.001003	0.000675	0.067541145
14 Si K	0.002107	0.001388	0.001607	0.003191	0.002073	0.207335854
20 Ca K	0.001053	0.001478	0.001832	0.004061	0.002106	0.210608359
24 Cr K	0.001192	0.001046	0.001462	0.001463	0.001291	0.129090882
28 Ni K	0.000637	0	0	0.001133	0.000442	0.044229472
42 Mo K	8.27E-06	8.34E-06	8.58E-06	8.75E-06	8.48E-06	0.000848392
26 Fe K	1	1	1	1	1	100
容器部のデータ						
元素ライン	獣脚D01.S	獣脚D02.S	獣脚D03.S	獣脚D04.S	獣脚D06.S	鉄=100とする 各元素強度比
13 AL K	0.000708	0.00049	0.000576	0.000535	0.000708	0.057731071
14 Si K	0.001549	0.001499	0.001554	0.001389	0.001549	0.149789071
20 Ca K	0.003342	0.001938	0.002368	0.001989	0.003342	0.240934033
24 Cr K	0.001505	0.001596	0.001213	0.001487	0.001505	0.145040058
28 Ni K	0.000859	0.000389	0.000673	0.001485	0.000859	0.08514145
42 Mo K	7.98E-06	8.49E-06	8.44E-06	8.33E-06	7.98E-06	0.000830858
26 Fe K	1	1	1	1	1	100

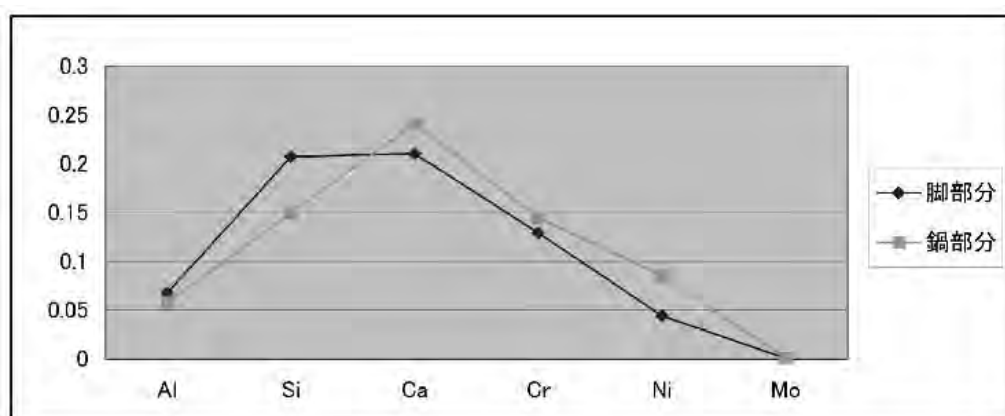


図8 市川橋遺跡出土獣脚材質比較グラフ

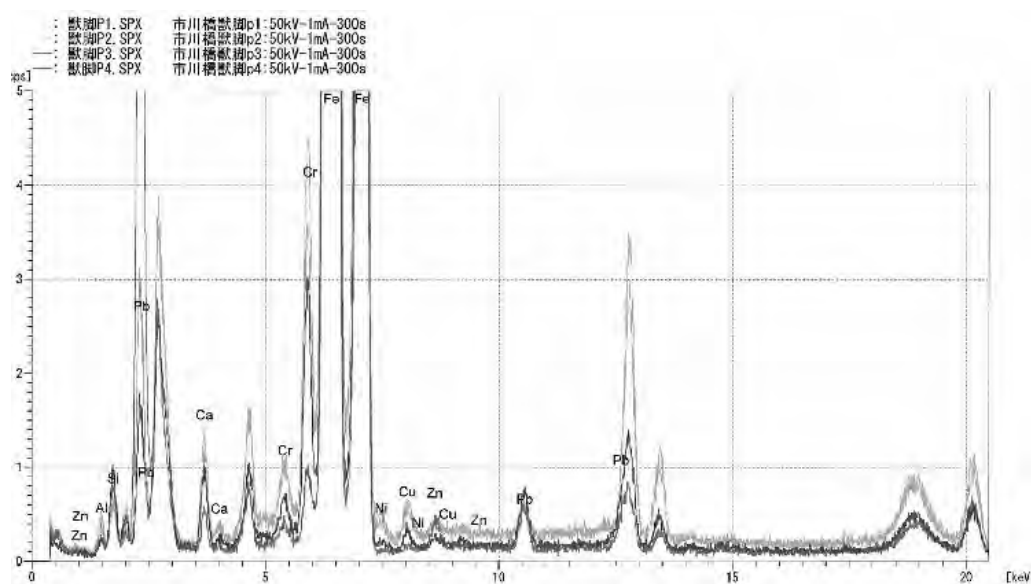


図9 市川橋脚部の蛍光X線スペクトル

獣脚付き容器 2 種と風鐸 2 種の復元

工藝文化研究所 浜田善玲・鈴木 勉

1 研究復元の概要

1) 研究復元対象遺物（鋳型）

新地町向田A遺跡出土獣脚付き容器（羽釜）

相馬市山田A遺跡出土風鐸

相馬市山田A遺跡出土獣脚付き容器

2) 研究の期間

2002年8月～2003年3月

2 新地町向田A遺跡出土獣脚付き容器（羽釜）の復元

1) 出土鋳型片から器物の形態を想定する

(1) 胴体の形態を推定する

出土した鋳型は一部に過ぎないので、全体像をつかむために外形の曲線を検討し図面に起こした（吉田氏担当）。



図1 出土鋳型から胎の曲線を推定する

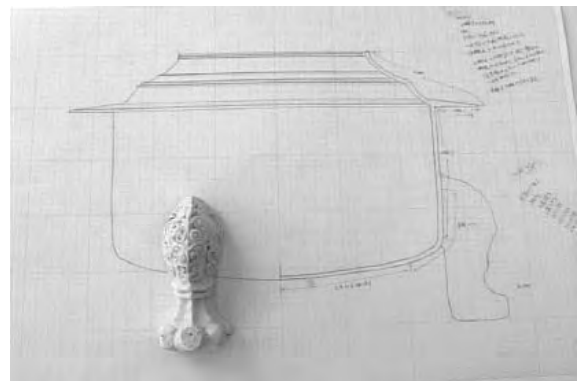


図2 獣脚の取り付け位置を検討する

(2) 獣脚の位置を推定する

胎（body）の形態を決めた後、獣脚の取り付け位置を議論し、決めた。

(3) 獣脚と胴体との接合技法を推定する

当初、獣脚と胎を別々に鋳造し、後に何らかの方法によって接合されたのではないかと考えた（吉田）が、濱田善玲は多賀城市市川橋遺跡出土獣脚の取り付け部（図3～6）を詳細に観察し、以下のように推定した。

接着やかしめなどの接合方法はとらず、インサート鋳造（あらかじめ獣脚を鋳造しておいて、



図 3 ～ 6 参考資料：多賀城市市川橋遺跡出土獣脚の胎と接合部



図 7 出土獣脚鑄型の先端部が薄く作られている

胎の鑄型を作るときに埋め込んでおき、鑄造後一体とする技術）か、あるいは埋け込み型（獣脚の鑄型と作り焼成しておき、それを胎の鑄型を作るときに埋け込んで一体として鑄造してしまう技術）が考えられた。出土獣脚鑄型の先端部（図 7）が薄く作られていることから、濱田は埋け込み型の可能性が高いと判断した。

2) 鑄型をつくる

前項で示した胎の外形図（図 2）に従って挽き型を製作した。挽き型は伝統的に木と竹が使われたと考えられることから図 8、9 のように製作したが、実際の鑄型製作には同じ形態のものを黄銅板で作ри、使用した。

鑄型の製作工程は以下の通りである。（濱田善玲担当執筆）

- （工程1） 金杵（鉄製）に下地用荒真土（あらまね）を張り付けて炭火でカンカンに焼く（荒真土が挽き型にひっかからないように注意する（図10）
- （工程2） 「うま」と「とりめ」で挽き型を固定し（図11、12）
- （工程3） 第二層の真土（荒真土）を挽く前に「はじる（粘土を水で溶いたもの）を刷毛で塗る（図13、14）。第二層の真土は第一層の真土が冷えてから挽いていく
- （工程4） 第二層の真土を自然乾燥させた後、第三層の真土（中真土）を挽く（図15～18）
- （工程5） 同じく第三層の真土を自然乾燥させた後、第四層の真土（肌真土）を挽く（図19、20）



図8, 9 竹と木で挽き型を製作

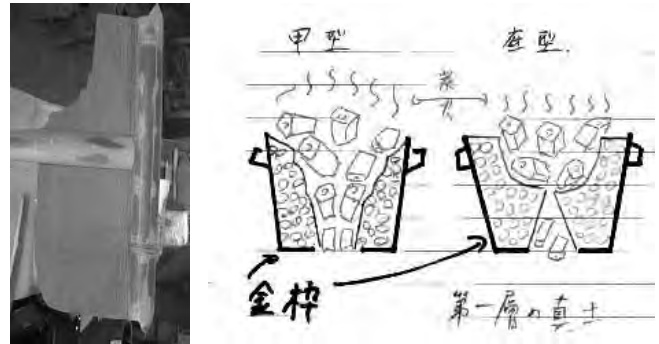


図10 挽き型が引っかからないように下地真土を挽いてカンカンに焼く

- （1） 羽釜の甲型（上半部）を挽く

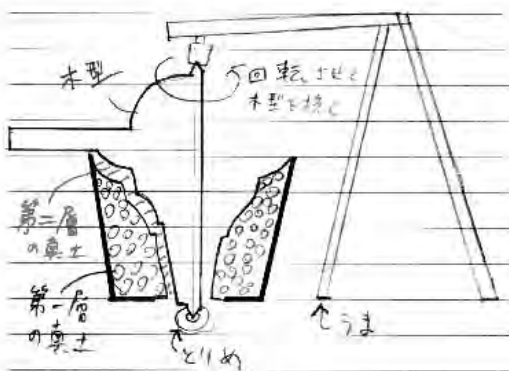


図11、12 「うま」と「とりめ」で挽き型を固定する



図13、14 第二層の真土（荒真土）を挽く前に「はじる（粘土で水を溶いたもの）を刷毛で塗る

(2) 羽釜の底型（下半部）を挽く

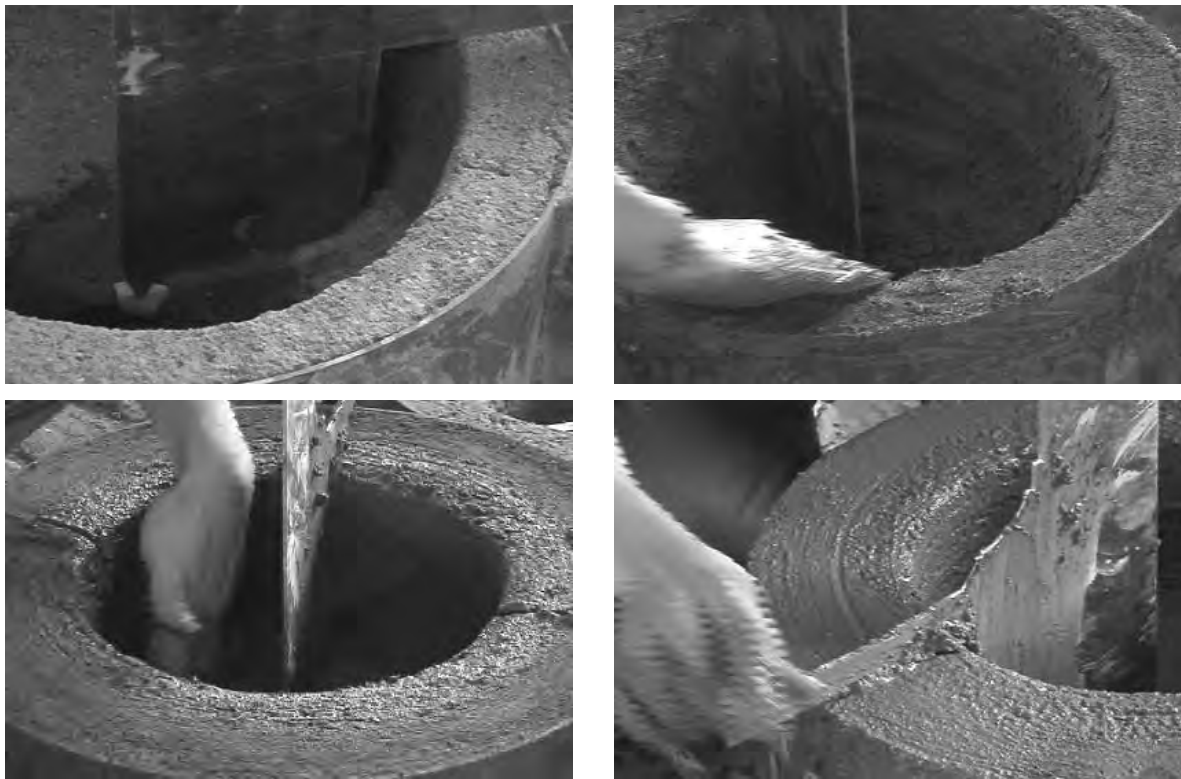


図 15～18 第二層の真土を挽くために挽き型を取り付け、第三層の真土を挽く

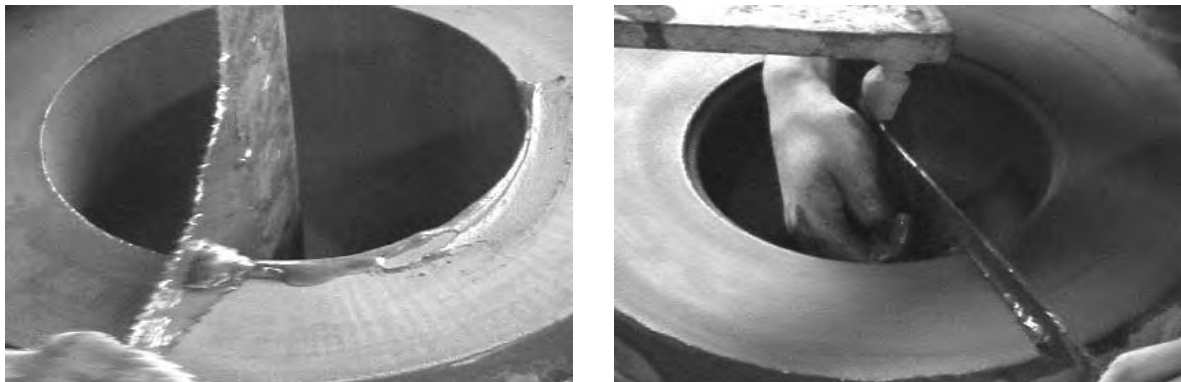


図 19、20 肌真土を挽く

(3) 獣脚の抜き型をつくる

今回の研究復元では、出土鋳型にシリコンを注入して形態を写し取ったのであるが、古代においては次のように「抜き種」を制作したと可能性が考えられる（図 21, 22 参照）。

（工程 1）粘土と水を混練してブロック状のものを作り、乾燥する

（工程 2）刀で獣面と脚を彫り

（工程 3）炭火で焼成する

(4) 獣脚の埋け込み型を作る

（工程 1）抜き種に油を塗って粘土板をかぶせる（図 23～26）。その際、中に芯となる針金を充填するが、これは割れを防ぐためである。



図 21、22 抜き種（模式図）

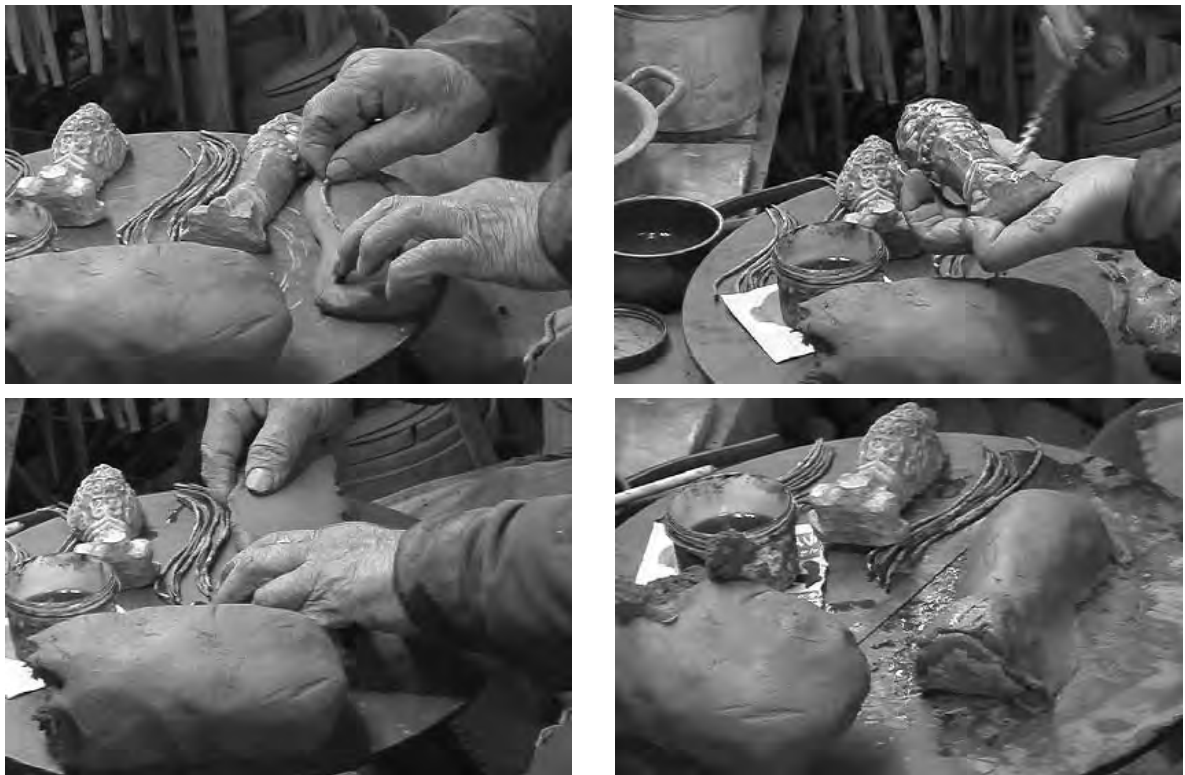


図 23 ～ 26 抜き種に粘土板をかぶせる 同時に針金を充填する



図 27 真土の中に埋める



図 28 「抜き種」をはずす

- (工程2) 「抜き種」に粘土をかぶせたものをそのまま乾いた真土の中に埋めておく (図27)
- (工程3) 粘土が少し固まったところで「抜き種」(図30のA)をはずす (図28)
- (工程4) 厚さが同じ木板の間に粘土を置き、丸い棒を転がして厚さが均一な粘土板を作り (図29)、乾燥する。これが獣脚の背面となる (図30のB)

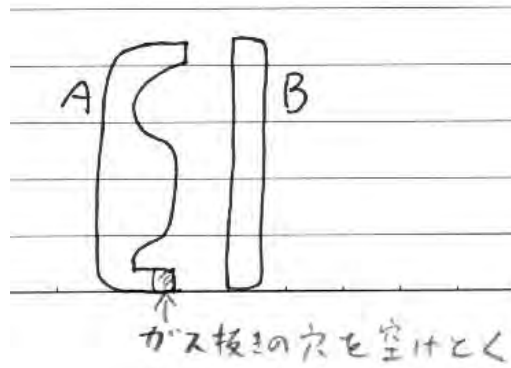
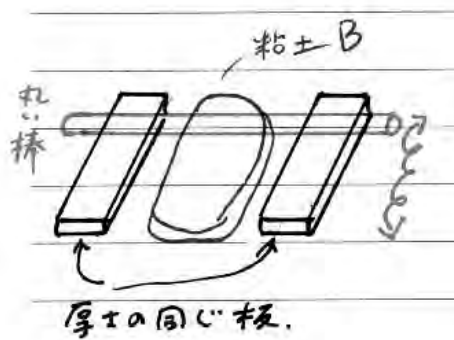


図29、30 厚さが均一な粘土板をつくる

- (工程5) 自然乾燥の後、焼成する (図31～33)
- (工程6) AとBを張り合わせて針金で留め、埋け込み型として使用する (図34)
- (工程7) 底型の三方に位置を決めて空洞を開け、焼成した獣脚の型を埋け込む (図35～38)
- (工程8) 甲型、底型ともに炭火で焼く (図39)



図31 焼成する(1)



図32 焼成する(2)



図33 焼成する(3)



図34 張り合わせて埋め込み型とする



図 35、36 獣脚の鑄型を埋け込む為の孔をあける

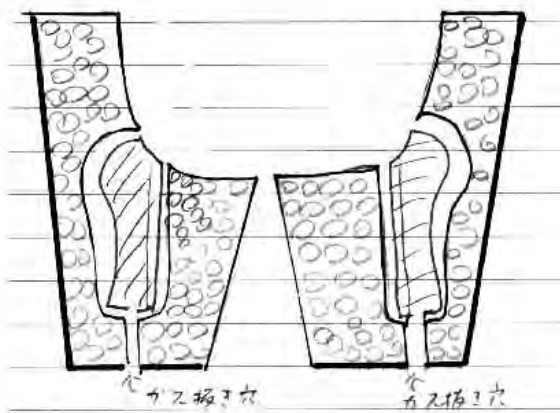


図 37、38 底型の三方に位置を決めて空洞を開け、焼成した獣脚の型を埋け込む
(位置を決め、埋めるとき、底の曲面に沿うように接合面を整える。その時、挽き型を挽いてできた曲面と交わるところは、埋け込み型の接合面の「面」をとっておくと整えやすくなる)

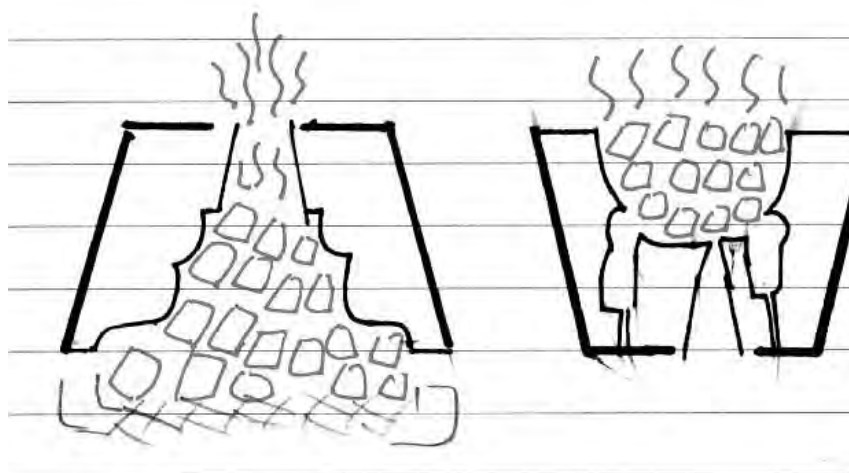


図 39 甲型、底型ともに炭火で焼く

(5) 中子の製作

(工程 1) 焼成した甲型と底型が冷めたら、中子を作る。まず中真土を甲型、底型に込め、次に荒真土を込めていく (図 40)

(工程2) 炭火で乾燥

(工程3) 底型の中子を底型から抜き、それを甲型の中子に貼り付け、抜く(図41, 42)

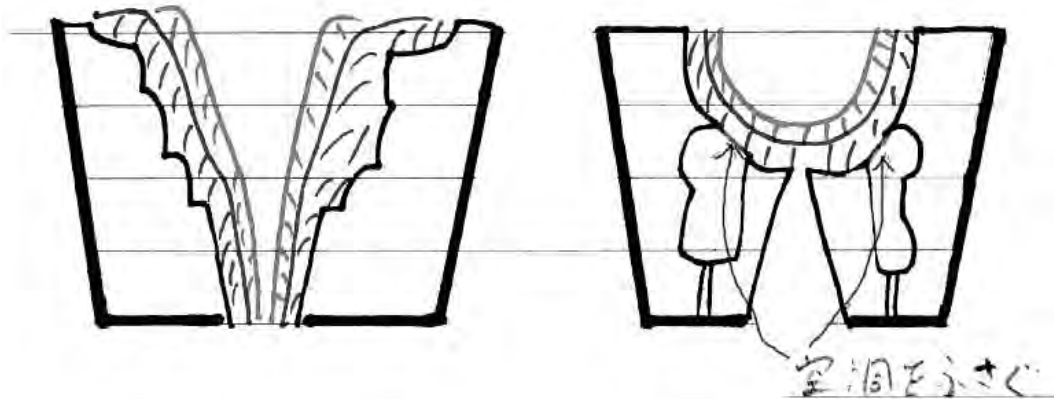


図40 まず中真土を甲型、底型に込め、次に荒真土を込めていく

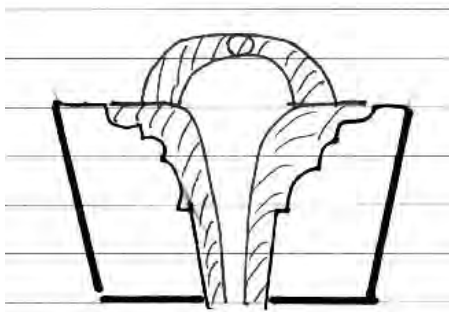


図41, 42 底型の中子を底型から抜き、甲型の中子に貼り付け、抜く

(5) 中子の仕上げ

図43の中子の斜線部分を羽釜の厚みの分だけ削り取り(図44～47)

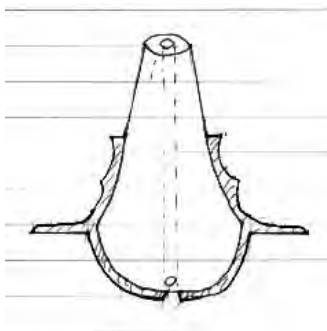


図43 斜線部分を削り取る



図44 削り取る前の中子



図45 中子の表面を削り取る



図 46, 47 中子の表面を削り取る



図 48 中子、甲型、底型全てを炭火で乾燥させる

図 49 黒み（離型剤）を塗る



図 50、51 黒み（離型剤）を塗る

(6) 型組み

(工程 1) 中子、甲型、底型全てを炭火で乾燥させる。湿気が飛んだら甲型と底型に黒味を塗る (図 48 ～ 51)

(工程 2) 中子を納め、甲型と底型を合わせる (図 52 ～ 55)。湯口は底型の中央部とし、獣脚部分は湯がせり上がってきて充填されるような方案となった。

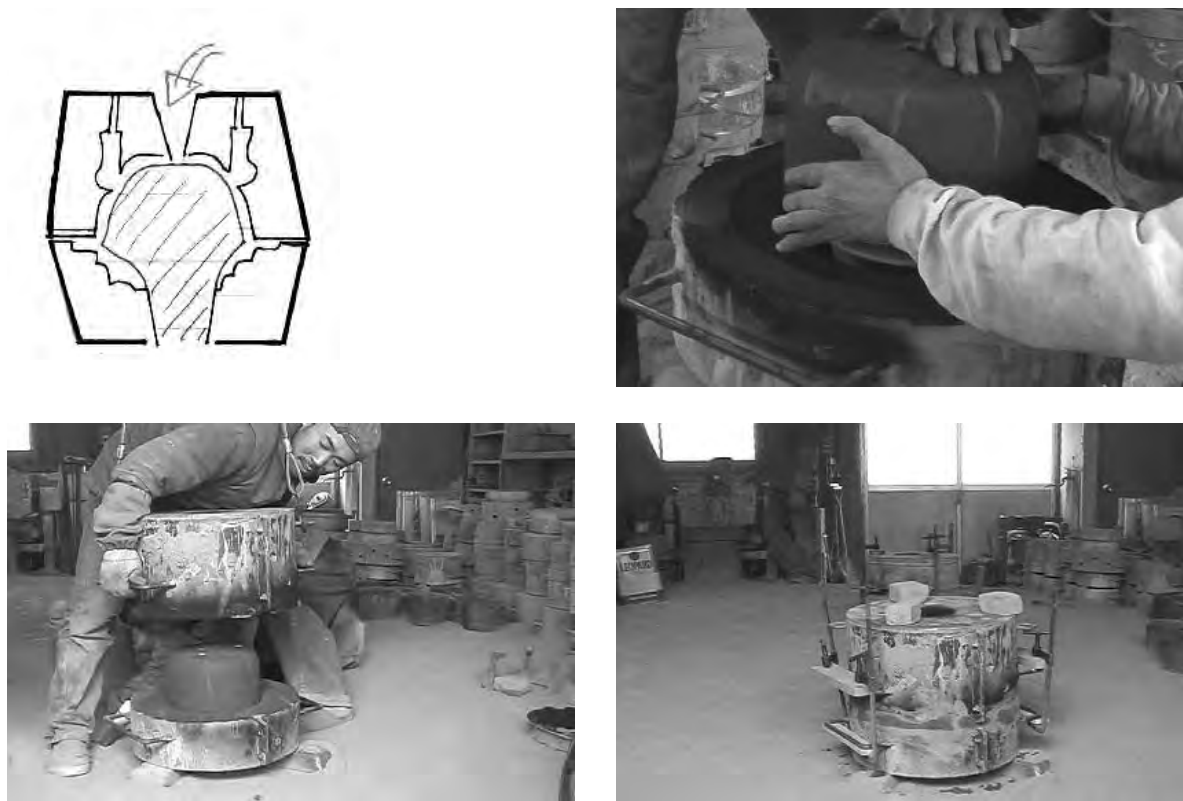


図 52 ～ 55 型組み

(7) 玉鋼の溶解と鑄込み

復元対象となった鑄型が出土した相馬市山田A遺跡や新地町向田A遺跡では、砂鉄を原料とした銑鉄を原料として鑄造が行われていたことが推定されている。本研究復元では同じく砂鉄を原料とした銑を使うことにし、日本美術刀剣保存協会が運営するたたらにおける生成物である鋤に含まれる高炭素な部位を集めた銑（ズク）を使用することとした（以後「鋤押し銑」という）。

かねてより、砂鉄を原料とした銑を使った鑄造は難しいとの風評があり、日刀保へ相談に行ったときも、担当者からかつて「砂鉄を原料とした銑を10%、残りを現代の洋ズク（炭素量4%程度の鑄鉄）で伝統的な鑄物師が鑄造した」鏡を見せていただいた。それは見事にガラスのように割れていた。わずか10%入れただけでそれほどまでに鑄造が難しくなるのかと、原因がわからないままに恐れを抱いた。

そこで私たちは、第1回目の配合割合を、鋤押し銑を30%、洋ズクを70%とした。

(8) 鑄込み

電気炉では少量では溶解しないので、約30kgのズクを溶解した。1個のとりべには10～15kgの溶湯が入るが、湯の上がり分や湯口部に使われる分を考えると1個のとりべでは不足する可能性もあるので、鑄物師二人でとりべからとりべへ湯を継ぎながら鑄込みを行った（図56～63）。



図 56 ズクの計量



図 57 ズクの溶解（電気炉による）



図 58 一つ目のとりべに湯を受ける



図 59 二つ目のとりべに湯を受ける



図 60 とりべからとりべへ湯を継ぎながら铸込む



図 61 铸型から製品を取り出す（1）



図 62 铸型から製品を取り出す（2）



図 63 铸上がった羽釜

3 相馬市山田A遺跡出土風鐸の復元

1) 部分的な一部の鋳型から風鐸の全体像を推定する

出土した鋳型は風鐸の一部であるので、鋳型から型どりして形態（一部）を復元し、類例遺物などを参考にして全体像を明らかにした（図 64, 65）。



図 64 一部の型どりから全体像を復元する



図 65 出来上がった風鐸のモデル

2) 鋳型の製作

風鐸は断面楕円形なので、羽釜や梵鐘のような挽き型を使うことはできない。モデルをもとにして込め型法で鋳型を作成することになる。

（工程 1）鉄製の型枠に荒真土を塗り、モデルを当てながら荒真土を充填していく（図 66, 67）

（工程 2）中真土を充填する（図 68 ～ 70）

（工程 3）肌真土を塗り、文様をへら押しする（図 71）

（工程 4）乾燥させた後、中子となる中真土と荒真土を充填する（図 72）

（工程 5）中子はずして、2つを張り合わせる（図 73）

（工程 6）型組みし（図 74, 75）、鋳込む

（工程 7）鋳込む

（工程 8）鋳型をばらす（図 76, 77）



図 66、67 荒真土の充填



図 68 中真土の充填



図 69 モデルをはずす



図 70 中真土の充填が終了



図 71 肌真土を塗り、文様はへらで押さえていく



図 72 中子を充填したところ



図 73 出来上がった中子



図 74 型組み



図 75 型組み



図 76 型ばらし



図 77 型ばらし



図 78 出来上がった風鐸（乳有り）



図 79 出来上がった風鐸（乳なし）

4 相馬市山田A遺跡出土獣脚付き容器

1) 外型を挽く

＜鋳型の製作工程（濱田善玲担当執筆）＞

- （工程1） 金枠（鉄製）に下地用荒真土（あらまね）を張り付けて炭火でカンカンに焼く。その時に獣脚の鋳型を埋け込む部分に孔を開けておく。（図80）
- （工程2） 「うま」と「とりめ」で挽き型を固定し（図81, 82）
- （工程3） 第二層の真土（荒真土）を挽く前に「はじる」を刷毛で塗る。第二層の真土は第一層の真土が冷えてから挽く。（図83, 84）
- （工程4） 第二層の真土を自然乾燥させた後、第三層の真土（中真土）を挽く
- （工程5） 同じく第三層の真土を自然乾燥させた後、第四層の真土（肌真土）を挽く



図 80 下地の荒真土を張り付ける



図 81 「うま」と「うめ」で挽き型を固定



図 82 「うま」と「とりめ」で挽き型を固定

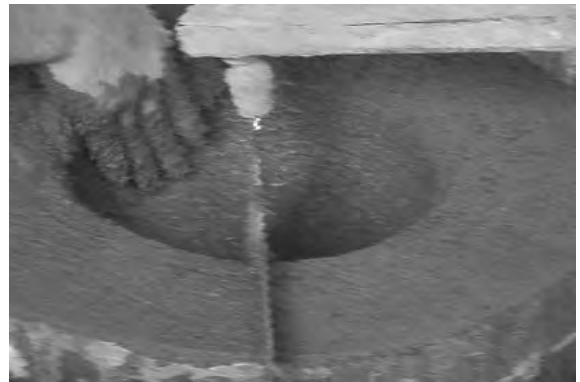


図 83、84 第二層の中真土を挽く

(2) 中子を作る

外型の第三層の中真土を挽いたところで鑄型を焼成し、中子を作るための荒真土を充填していく（図 61）

（工程 1）獣脚の鑄型を埋け込む孔の上部に紙を充てて補強し（図 85, 86）

（工程 2）製品の肉厚に相当する厚紙を内側に貼り付けていく（この厚紙の厚さが鑄型の空間になり、製品の胎の厚みが決まる（図 87）

（工程 3）荒真土を充填していく（図 88 ～ 90）

（工程 4）ガス抜きを考慮して中子の表面積を増やすよう凹凸をつける（図 91, 92）

（工程 5）中子を取り出し、はばきに貼り付け（図 93）

(工程6) 乾燥させ

(工程7) 黒味(離型剤)を塗る(図94)

(工程8) 外型に獣脚の鋳型を埋け込み(図95)

(工程9) 表面を修正して焼成する(図96)

(工程10) 外型に煤を付け(図97)

(工程11) 型組みする(図98)

(工程12) 鋳込む(図99)



図 85、86 獣脚の鋳型を埋け込む孔の上部に紙を充てて補強



図 87 厚紙を貼り付ける



図 88 荒真土を充填する



図 89 荒真土を充填する



図 90 荒真土を充填する



図 91、92 中子の内側に凹凸をつける



図 93、94 中子を取り出し、はばきに貼り付け、乾燥させて、黒味（離型剤）を塗る

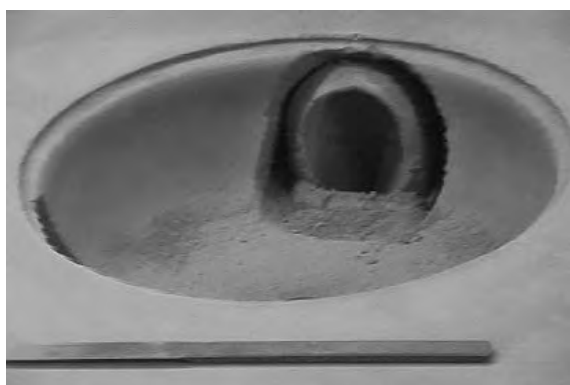


図 95 獣脚の鋳型を埋け込み



図 96 表面を修正して焼成する



図 97 鋳型に煤を付け



図 98 型組みする



図 99 鋳込み



図 100 型ばらし



図 101 型ばらし



図 102 鋳上がった獣脚付き容器

出土鑄型からの鉄製梵鐘の復元

工芸文化研究所 鈴木 勉・浜田善玲

1 研究復元の概要

1) 研究復元対象遺物（鑄型）

新地町向田A遺跡出土梵鐘

2) 研究の期間

2003年8月～2004年3月

2 形態を考える



図1 梵鐘鑄型

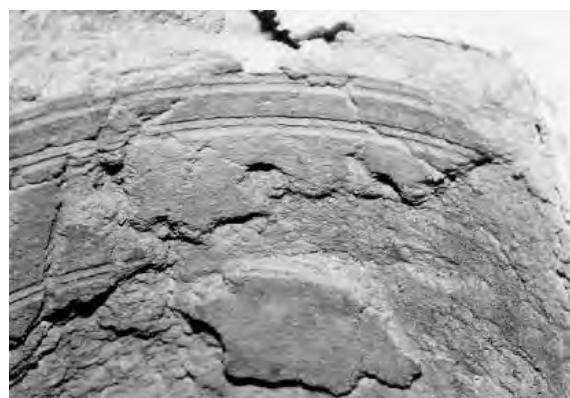


図2 梵鐘鑄型上帯部



図3 梵鐘下帯部



図4 梵鐘鑄型袈裟襻部

鋳型を観察すると上下帯などの袈裟襷文様が明瞭に残っている（図1～4）。円周方向の線は挽き型を回転させて、縦方向の線はへら押しで施文されていることがわかる。しかし、肩の位置や笠型の形態などは明瞭ではない。

報告書によれば、口径 25.0 cm（計測値）、肩高 25.0 cm（計測値）、総高 30.0 cm（推定値）となっている。鋳型は真土型で、仕上げ真土が使われていると観察される（1）。

3 関連梵鐘の調査

向田A遺跡の梵鐘鋳型は9世紀第1四半期のものと推定されている。

現存する紀年銘梵鐘で最も古いものが戊戌年（西暦698年）の銘を持つ京都妙心寺鐘であるが、それ以降12世紀までの現存梵鐘の中で、口径約30cm前後の小型鐘を以下に挙げる。

表1 現存する平安時代以前の小型梵鐘など（単位：cm）

県名	名 称	所 在	紀 年	西暦	口径	備考
東京	文化庁蔵鐘		宝亀5年	774	29.4	（東博蔵）
高知	延光寺鐘	宿毛市寺山	延喜11年	911	23.2	原・弥勒寺鐘
東京	井上ふみ蔵鐘	世田谷区世田谷2丁目	貞元2年	977	16.0	
岩手	衣川村出土鐘	平泉文化史館蔵	平安時代	1100	19.0	銘あるも判読不能
岩手	大竹廃寺出土鐘	北上市立博物館蔵	平安時代	1100	21.0	鉄鐘、無銘、昭和40年出土、総高24.5cm
長野	畠山忠雄旧蔵鐘	北佐久郡浅科村	平安時代	1100	31.4	鉄鐘、重文、現藤沢平治氏蔵
高知	正念寺鐘	土佐市宇佐	平安時代	1100	17.4	
京都	広隆寺鐘	京都市右京区太秦峰岡町	建保五年	1217	31.2	鉄鐘

全く同時期の小型鐘は現存しないが、復元鐘の肩より上部の形態は、表1の現存梵鐘の形態から類推することとし、実見調査を実施した。

関連梵鐘の実見調査の目的は、向田A遺跡出土梵鐘鋳型からでは推定できない部分の形態復元である。それは以下の通りである。

- ① 肩から笠型にかかる部位の形態
- ② 竜頭の形態
- ③ 各部の厚さ

1) 大竹廃寺出土鐘（図5～7）

大竹廃寺鐘は、保存処理後の法量について、重量6kg、厚さは駒の爪で1.5cm、腹部あたりで3.5～4mm、頂部面（笠型か？）で5mmと報告されている（2）。形態は肩の部分で面取りされた形で、青銅製梵鐘ではこの形態は見られない。

2) 衣川村出土鐘（図8～13）

一時、行方不明とされていた梵鐘であるが、現在は平泉文化史館に蔵される。厚さは駒の爪で10mm、下帯部で6mm（スケールで実測）、池の間部で3～4mm、上帯部で6～7mm、笠型部10～12mm（筆者らの手指の触感による推測）である。この梵鐘には銘文がないとされてきたが、今回の調査で銘文の一部を読みとることができた。一部は「真祢曰」と読める。写真

では再現が難しいほど僅かに突出する陽鑄文字である。

形態は平安時代末期特有の肩部を張り出した特徴が見える。畿内の鑄物師が設計に関わった可能性が見いだせる洗練されたデザインと言えよう。

向田A遺跡の梵鐘鑄型からシリコンで型どりしたもの（図14）については、肩部以下のアウトラインは衣川村出土鐘に似ており、平安時代鐘の特徴を備えていると言えよう。そうしたことから笠型部の形態はこれに準じて設計することとなった（吉田秀享氏設計）。

4 鑄型の制作と鑄造工程

鑄造は3回行ったが、工程はどれも同じであるので、2, 3回目は省略した。



図5～7 大竹廃寺出土梵鐘とその竜頭



図8, 9 衣川村出土梵鐘とその竜頭

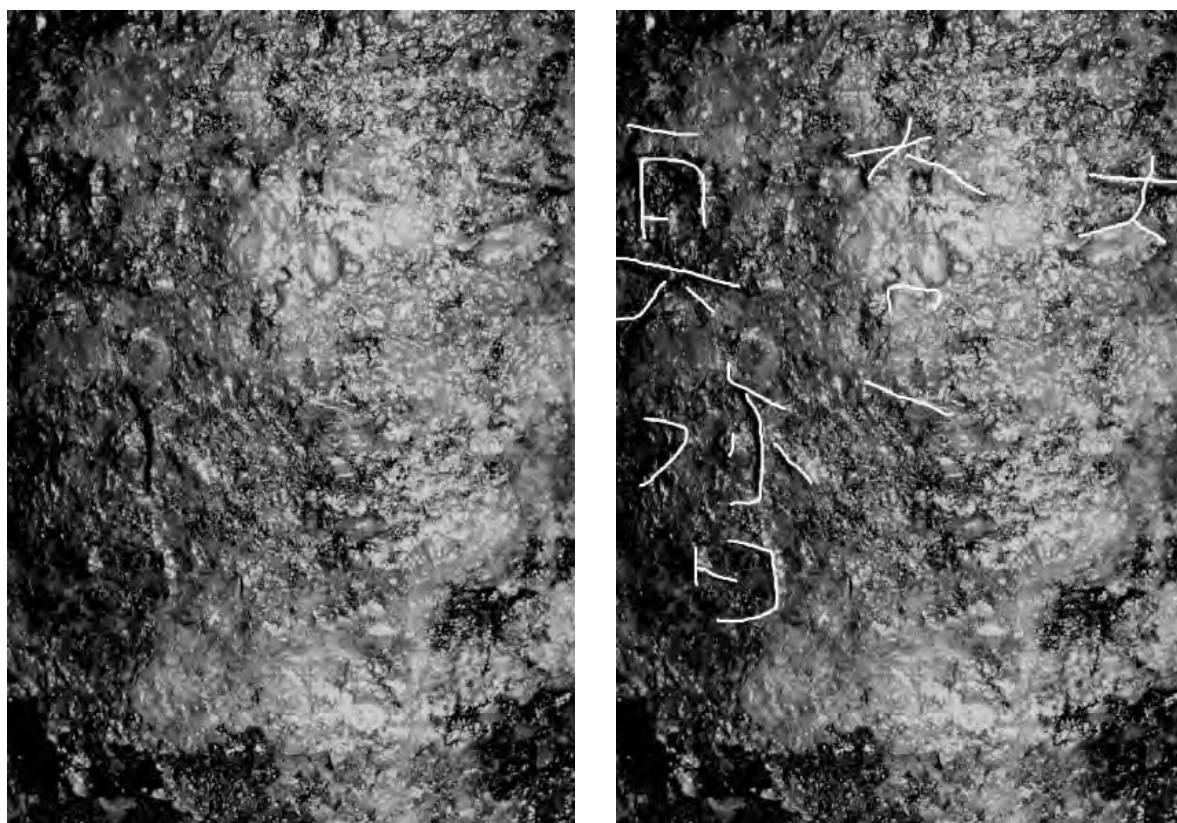


図 10、11 衣川村出土鐘銘文（3行目は「真祢曰」と解釈できる）

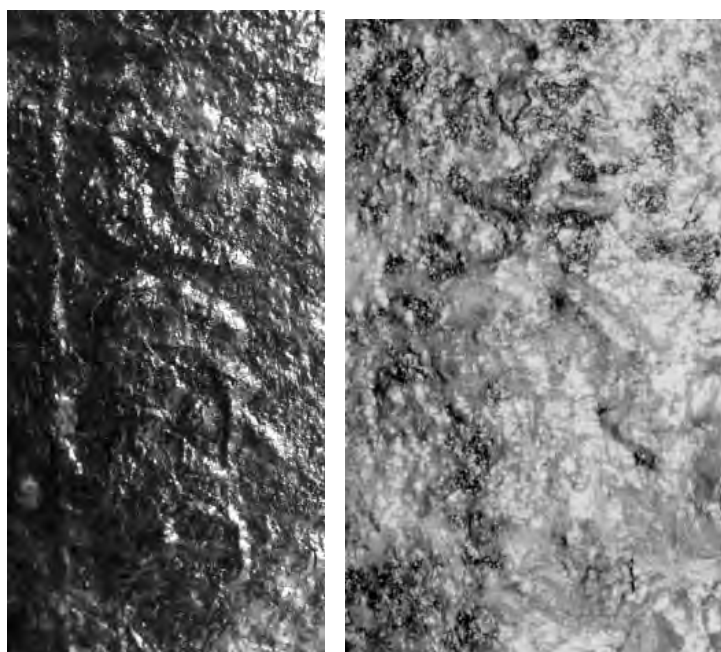


図 12、13 衣川村出土鐘銘文

左：第3行（真祢曰） 右：第1行（大？）



図 14 向田 A 遺跡出土鑄型をシリコンで型どり(吉田秀享氏作成)

- 工程 1 設計図に基づき、挽き型を制作した（図 15）
- 工程 2 挽き型を使って、荒真土、中真土、仕上げ真土の順で挽いていく（図 16）
荒真土を挽いては焼成し乾燥させて後、中真土を挽く。また焼成し乾燥させてから仕上げ真土を挽く（図 17）
- 工程 3 袈裟襷の円周方向は挽き型の作業で作るが、縦方向の袈裟襷は和紙に下書きし、それを外型に貼り付け、へら押しする（図 18）
- 工程 4 乳は、下書きに従ってへら押しする（図 19）
- 工程 5 外型を焼成する（図 20）
- 工程 6 焼成が終わった外型に真土を充填して中子を作る（図 21）
- 工程 7 外型を割って中子を取り出す（図 22）
- 工程 8 あらかじめ作って焼成しておいた竜頭の鑄型を埋け込む（図 23）
- 工程 9 中子を焼成し乾燥させる（図 24）
- 工程 10 黒味（グラファイト）を塗り、外型を炭火で乾燥する（図 25）
- 工程 11 中子のヒビを補修する（筆で真土と粘土を塗り込む）（図 26）
- 工程 12 外型と中子を組み上げる（僅かなズレも許されない）（図 27）
- 工程 13 材料を溶解する（図 28）
- 工程 14 鑄込む（図 29 ～ 39）

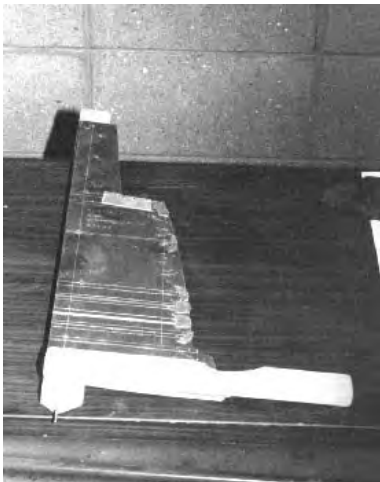


図 15 挽き型



図 16 挽き型を使って真土を挽く



図 17 仕上げ真土を挽き終わった



図 18 縦方向の袈裟襷を書いた薄紙を貼る



図 19 乳を押す



図 20 外型を焼成する



図 21 外型に真土を込めて中子を作る



図 22 外型をあげて中子を取り出す



図 23 外型に竜頭の鑄型を埋け込む



図 24 中子を焼成し乾燥させる



図 25 外型を焼成する



図 26 中子のヒビを修正する



図 27 鑄型を組み上げる



図 28 鉄を溶解する



図 29 溶けた鉄をとりべに取る



図 30 カーボンボイリングが激しい



図 31 鑄込み



図 32 溶湯の不足を2つ目のとりべで補う



図 33 鑄込み直後（カーボンボイリングが残る）

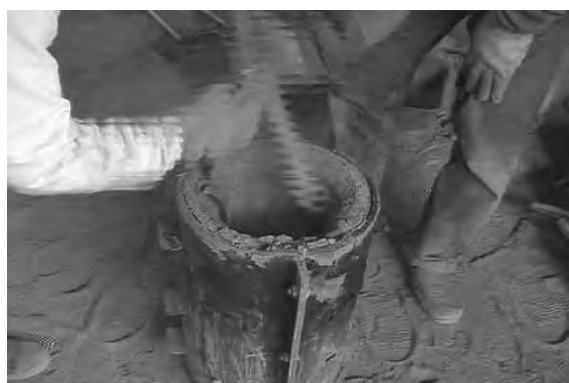


図 34 製品の取り出し（中子から壊していく）

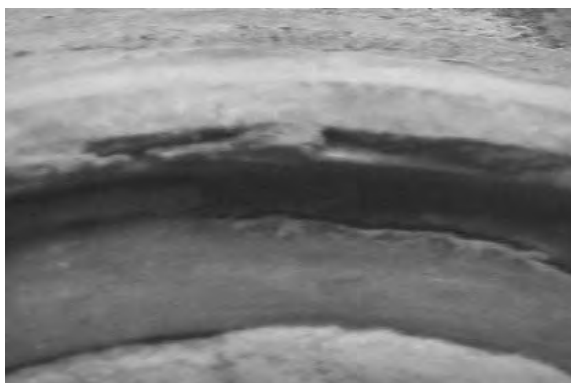


図 35 製品が収縮して鑄型との間にできた隙間



図 36 取り出す前の鑄型



図 37 製品の取り出し



図 38 取り出し直後



図 39 出来上がった製品（二郎鐘）

5 鑄 造

本研究復元では、合計3回の鑄込みを行った。材料については、向田A遺跡が砂鉄製鉄を伴う遺構であることから、現代の砂鉄製鉄で得た鋳に含まれる銑（ズク）（炭素量2%程度以上、以後「鋳押し銑」という）を主材料とした。今回は日本刀剣保存協会から研究復元の目的で購入した。かねてより、鋳押し銑は鑄造に難しいとの風評があり、本研究復元ではその解明も試みたいと考えた。そこで第1回目の鑄造は下記の条件で行った。

1) 第1回目の鑄造

鑄込みの条件は以下のとおりである。

材 料：鋇押し銑 100%

溶解炉：電気炉

鋇押し銑の成分（例）

：炭素量 2.31%、珪素 0.02%、マンガン 0.008%（佐藤健二氏の研究で分析）

鑄込み温度：鑄物師濱田氏による目測で1500℃前後

その結果、図40の梵鐘を得た（太郎鐘）

大きなヒビが多数発生し、肌も荒れがひどかった（図41～43）。鑄込み時には線香花火の様な火花（カーボンボイリング）が鑄込みをする人間の胸の高さまで上がり、湯口が全く見にくいほどであった。



図40 1号鐘（第1回鑄造）



図41 肩部の大きなひび割れと孔（鑄造欠陥）



図42 口唇部のひび割れ



図43 1号鐘の笠型部のあばた



図44 2号鐘（第2回鑄造）



図45 3号鐘（第3回鑄造）

2) 第2回目の鋳造

第1回目の鋳造の失敗の原因を鋳押し銑の難しさにあると考え、条件を以下の通りとした。

材 料：鋳押し銑 50%、低硫黄銑鉄 50%

溶解炉：電気炉

鋳押し銑の成分（例、佐藤健二氏の研究で分析）

：炭素量 2.31%、珪素 0.02%、マンガン 0.008%

低硫黄銑鉄の成分（例、佐藤健二氏の研究で分析）

：炭素量 4.2%、珪素 1.8%

鋳込み温度：鋳物師濱田氏による目測で1500℃前後

その結果、図44の梵鐘を得た（二郎鐘）

ヒビは生じなかったが、肌荒れがひどかった。鋳込み時には線香花火の様な火花（カーボンボイリング）が鋳込みをする人間の顔の高さまで上がり、湯口が全く見えないほどであった。

肌の荒れは、カーボンボイリングによる炭酸ガスなどの大量発生によるものと考えた。そこでカーボンボイリングが起きにくくなるよう佐藤健二氏にお願いをした。佐藤氏によれば炭素と脱酸剤としてのチタンの添加で炭素の酸化が押さえられるという（佐藤氏報文参照）。

大熊氏の参加を得て、音の計測を行った。大熊氏によれば想像以上にきれいで余韻のある音を発し、優秀な銅鐘に匹敵する余韻の長さが得られたという。大熊氏の予想を上回る「良い」音が生成されたのである（大熊氏報文参照）。

3) 第3回目の鋳造

第2回目の結果の改善という目標を立て、以下の様な条件で鋳込みを行った。

材 料：鋳押し銑 90%、低硫黄銑鉄 10%、チタンと粉碎した炭を微量添加
（詳細は佐藤氏報文を参照）

溶解炉：電気炉

（鋳押し銑と低硫黄銑鉄の成分は第2回目と同じである）

鋳込み温度：鋳物師濱田氏による目測で1500℃前後

その結果図45の梵鐘を得た。

鋳肌はきれいに上がり、ほぼ目的とした梵鐘を鋳込むことができた、と考えた。しかし、鋳込みの翌日、大熊氏が音の計測をした。すると、その音は低く余韻も極めて短かった。基音の減衰時間は2号鐘が36秒であるのに対し、3号鐘は4秒であるという（大熊氏報文を参照）。

6 考 察

1) 金属の減衰能について

今回の復元製作は形状の復元を目的として始まった。その成果は3号鐘の「すがた」として、ほぼ達成したと言える。しかしながら、私たちが大きな衝撃を受けたのは、「音」についての結果である。研究復元の途中から大熊氏の参加を得たわけであるが、その段階では3号鐘のよ

うな「音が響かない」梵鐘が生まれるとは全く考えていなかったのである。私たちは誰ともなく「金属で梵鐘を作るのであるからそれなりの金属音がするだろう」と思いこんでいた。したがって、2号鐘で大変余韻の長い音を聞いたときも、大熊氏から「これは比較的音響性能の良い昭和時代の青銅鐘と較べても遜色のない＜良い音＞が出ている」と聞いたときも、それほど重大な結果だとは考えが及ばなかったのである。

ところが、3号鐘が出来上がり、その想像をこえる短さの音、つまり余韻が全くないような音を聞いた時にようやく大熊氏の先の発言の意味を理解した。

「減衰能」の語は、機械材料の性能を論ずる中で見る単語であったが、梵鐘の研究復元の中でそれが話題になるとは全く考えていなかった。

減衰能とは工学では次のように説明される。

「振動周期中内部摩擦によって吸収される内部エネルギーの大きさをいう。＜中略＞もともと減衰容量（能）とは、振動エネルギーを熱に変える粘性変形によっておこる材料の性質をいう。＜中略＞減衰容量（能）が大きいということは、振動の吸収能力が大きいということになるので、工作機械のベッド材などとしては適している。」（川口寅之輔編『金属材料辞典』日刊工業新聞社刊 1963年）

梵鐘の音は打撃された時の body の振動によって起き、その振動の持続が余韻となって私たちの耳に届くのであるから、その減衰能が梵鐘の性能に関して多大な影響を及ぼすことは当然のことだと言える。

考古学的に梵鐘を扱う場合、概してその形が主となりがちであるが、本来梵鐘は音を出すのが使命である。出土鋳型を頼りに復元を始めた今回の研究では音に関する予察が全く不足していたと猛省せねばならない。

鋳鉄の減衰能について鹿取一雄氏は著書の中で次のように述べていた。

「片状黒鉛がよく伸びている鼠鋳鉄は減衰能が特に大きいので、たとえば工作機械などのベッドなどに使うと振動を吸収してくれる利点がある。しかしその反面喚鐘や風鈴などの鳴り物にはならない。鋳鉄で鳴り物をつくるのには黒鉛が晶出しないように、炭素を2.4～2.8%に、珪素を0.6～1.0%と低い組成にして、生型などに鋳込んで冷却速度を早めにする。こうすると黒鉛の晶出がなく、組織はセメントライト（Fe₃C）とパーライトだけになり、破面が白い、いわゆる白鋳物になって、減衰能が小さくなってより鳴り響く。」（鹿取一雄『美術鋳物の手法』1983年アグネ刊）

現代の工業的に「良い鉄鋳物」とは鼠鋳鉄を指すことが多いのであるが、それは私たちが近年触れる鉄鋳物の多くが機械のBodyに使われていることによる。鳴り物である鉄鐘としては、減衰能の高い鼠鋳鉄は「悪い鉄」である。一方、工業的には「悪い鉄」である減衰能の低い（つまり、振動がなかなか収まらない）白鋳こそが梵鐘には「良い鉄」であるのだ。

今回の研究復元では白鋳物の2号鐘こそ成功例であり、ねずみ鋳鉄となってしまった3号鐘は姿は美しいとは言え、やはり失敗例として考えなくてはなるまい。

2) 白銑の難しさ

現段階で私たちは白銑鑄物で肌を美しく仕上げる技術を得ていない。今回の研究復元では、砂鉄から精錬される玉鋼の製造過程で得られる銑鉄（鋤押し銑）を使って製作することを条件とした。向田A遺跡の周辺では砂鉄を使った製鉄が平行して行われていたからである。砂鉄精錬で得られる銑鉄は現代の普通鑄鉄に較べて炭素が少なく、珪素も少ない。したがって、鑄造段階では白銑になる可能性が極めて高い。過去に著名な鑄物師が鋤押し銑を使って鉄鏡の鑄造を試みたが大きなヒビが入って割れてしまったとの話を耳に挟んでおり、鋤押し銑を分けていただいた日本刀剣保存協会においてバラバラにわれたその鉄鏡の破片を見せていただいた。つまり、白銑にしかかなり得ない鋤押し銑を使うがために鑄造が難しくなっているのである。では、鋤押し銑を使った白銑鑄物がなぜ難しいのであろうか？今回の研究復元で得た結果を以下に整理してみた。

- ①鋤押し銑を入れるとカーボンボイリングが起こる
- ②炭素と珪素が少ない溶湯は温度を高くしても粘度が低くなりにくい
- ③炭素と珪素が少ない鋤押し銑は融点が高い
- ④カーボンボイリングのせいで、ガス欠陥が生じやすい
- ⑤白銑鑄物は凝固時の収縮が大きく、かつ硬いのでヒビが入りやすい
- ⑥白銑鑄物は凝固時の収縮が大きいので、中子のある鑄型を使う梵鐘などでは、中子が鑄物の収縮を阻害し、結果として鑄物はひび割れする

(1) 今回の復元では、カーボンボイリングを起こしにくくするため、3号鐘の鑄造ではチタンや炭素を添加したが、それらが原因で鼠鑄鉄となってしまった。

(2) 粘度が低くなりにくかったため、必要以上に溶解に時間がかかり、結果的に必要以上に炭素を減少させてしまった。

(3) 鑄造後凝固時に収縮するのを妨げないために、濱田父子は凝固しきらないうちに中子を壊し始めた。2号鐘の成功はその瞬時の対応によるところが大きい

3) 向田A遺跡における鉄素材と梵鐘に関する推察

砂鉄精錬を行っていた向田A遺跡周辺における梵鐘鑄造は、現代の銑鉄に比較して炭素量が少な目な銑鉄が用いられた可能性がある。また、ねずみ銑で鉄鐘を作ることは音の出ない梵鐘を作ることになり、それでは古代において梵鐘の存在意味はないとさえ言える。従って向田A遺跡の鑄型では白銑の鉄鐘が作られていたと想定することが許されよう。

我が国上代の鉄製梵鐘の現存例は、岩手県衣川村出土鐘、同大竹廃寺出土鐘、長野県畠山忠雄氏旧蔵鐘の三例だけである。中世から近世にかけても我が国に鉄鐘の遺存例は極めて少ない。中国における鉄鐘の数の多さに較べれば、不思議なこととさえ言えそうなほどの数である。

その原因の一つとして、彼我における原料鉄の性質の違いと鑄鉄の熱処理技術の有無が考えられよう。白銑になってしまう鋤押し銑で梵鐘を作ったとしても鑄込みが難しく、成功率が少

なかったことがまず考えられよう。次に、鑄造に成功したとしても白銑の硬さは尋常ではなく、熱処理技術がなかったと仮定すれば、仕上げ加工の刃物を全く寄せ付けなかったことが考えられる。研磨で微量ずつ削っていくしかないのだが、それではあまりにも労力と時間がかかりすぎる。また、白銑のままでは、僅かな衝撃で割れてしまう可能性が高く、熱処理しなければ使えないとは考えられない。もし熱処理技術があったとすれば、中国でそうであったように白銑鑄物でもっと数多くの梵鐘が作られたであろうから、現存鉄鐘の少なさは、その技術がなかったことを示している可能性がある。向田A遺跡の未使用の鉄鐘鑄型はそのような高難度な技術に挑戦して諦めてしまったことの証なのかもしれない。

梵鐘の研究復元の一年前私たちは、新地町向田A遺跡出土獣脚付き容器（羽釜）と相馬市山田A遺跡出土風鐸と相馬市山田A遺跡出土獣脚付き容器の復元を行った。これらの容器と梵鐘は、中子や埋け込み型の使用など鑄型の構造においてはほとんど同じだと言って良い。しかしながら容器と鳴り物である梵鐘の技術は全く異なるものであった。いや正反対の技術であったとさえ言える。梵鐘の鑄型と容器やその獣脚の鑄型とは同じ遺跡から出土しているのであるから、性質や用途の全く異なるものを同じ工人グループが作っていたことになる。出土点数から考えれば、この工人グループが担当した主製品は容器類であり、梵鐘はその副業として行われた可能性がある。しかしながら形や鑄型の構造は似ていても鑄造の要点は全く異なるのであるから、わたしたちが研究復元で失敗を繰り返したのと同じように、容器を作っていた工人グループは鉄製梵鐘を作るのに大変な苦労を重ねたのではないだろうか。それでも成功は容易なことではない。場合によっては成功せずにやむなく断念したことも想像が許される範囲ではないだろうか。それほど容器と鳴り物の鑄造技術は対極にあると言える。

<文 献>

- (1) 相馬開発関連遺跡調査報告Ⅰ 2 本文2)
- (2) 北上市教育委員会編『文化財調査報告第十一集 北上市極楽寺跡』昭和47年8月

鑄鉄製品の表面仕上げについて

工芸文化研究所 鈴木 勉

1 はじめに

酸化鉄を人智によってなんとか還元して得た鉄は、そのまま大気に晒しておけば忽ちにして元の酸化鉄に戻ろうとする。地球上の気候環境においては、鉄は酸化物として存在することが最も安定しているのである。言い換えれば、安定した酸化物を無理矢理還元せしめたものの代表例が鉄ということになる。従って、私たちが鉄を使ってある物を作れば、錆びることすなわち酸化し続けることを前提として考えておかねばならない。

現代の鉄製品の代表選手とも言うべき自動車のボディは、税制上は6年だけの耐久性があれば良いと言われ、長く見ても10年程度ボディに錆が出なければ良い防錆処理が施されているという評価が与えられるであろう。それ以上耐久性を持たせてしまうことを現代の工業社会では過剰設計と言ひ、否定的に語られる。その一方で、6年しか耐久性がなくてよいものでも現代産業はその錆を防ぐための表面処理の技術を競っている。メッキ、塗装、脱酸処理などの技術をこれでもかと念入りに行っているのである。それほど現代の鉄は錆びやすいのであろう。

現代の大気がNO_x、CO₂、SO₂などの酸を含み、激しい腐食力を発揮するのに比べれば、古代の大気汚染物質は微量で鉄に優しい環境であったとも言えるが、それでも鉄の持つ物質としての不安定さから考えれば、製作された鉄製品をそのまま何の表面処理も施さずに置くことは、考えにくいことである。古代において鉄はどのような防錆処理が施されていたのであろうか？ これが、本研究復元のテーマである。

2 伝世鉄製品の錆と表面処理

<鉄の地が残る伝世鉄製品>

古代の鉄製品の多くは土中から発見される。中には伝世品として大切に保管されてきたものもある。我が国伝世品で最も古い物は四天王寺の七星剣であろうか。この剣は聖徳太子の佩用とされてきたと伝えられる(『日本のかたな』p294)が、筆者はこれを前漢代の作と考えている(注1)。次が石上神宮の七支刀であろうか？これについて筆者はこれまで7, 8世紀の作かと考えていたが、最近の研究復元の過程で従来のとおり4世紀の作と考えるに至った(注2)。また、同神宮の鉄盾も5世紀または6世紀の製作と言われる。かの法隆寺にはいくつかの鉄製品が伝世される。献納宝物の鉄箆(8世紀)などが注目される。四天王寺の七星剣と丙子椒林剣は近代において研ぎ直されて現在は美しい鉄の地が出ている。従って、少なくとも1400年以上、七星剣に至っては私の判断が正しければ約2000年の間、鉄の地を保ってきたのである。それは、保存環境の良さに助けられた、と言うべき所であるかもしれないが、例えば石上神宮の宝庫の大気は清浄であるとは言え湿度は高く、鉄の保存に適した環境であるとは言い難く、四天王寺も同様であったであろう。それでも古代の鉄は鉄の地がしっかり残っている点は鉄の表

面処理を考える上で重大なことであるように思われる。

上記の伝世鉄製品の現在の表面を見ても、保存の為の表面処理がかつて施されていたという痕跡は全く認められない。鉄地のまま保存されてきたのではないのだろうかとの思いさえ浮かんでくる。

＜刀剣は研ぎ上げられていたか？＞

現代に伝わる代表的な鉄製品である日本刀は、必ずと言って良いほど研ぎ上げられて保存されている。その光を保つために定期的な手入れをすることが当たり前のこととなっている。しかしながら、刀剣の類を磨き上げた状態で保存する風習は、朝鮮半島にも中国にも無い。広く世界を見渡しても、そうした例を聞かない。どうやら日本以外には無いのかもしれない。いやもっと詳しく言えば「日本刀」以外には無いのではないだろうか？ 近代以降の日本刀文化が刀剣を研ぎ上げて保管する風習を作り上げたと考えるべきであろう。

古代の伝世鉄製品には、現代の私たちが目にするような頑丈な塗装や研ぎ上げなどの表面処理や厳密な保守管理の跡は感じられない。いや伝世品を見る限りでは、むしろ錆びた状態で保管されていた可能性があるといえる。既知のように、金属の多くがそうであるように、鉄の地を錆から守るのは鉄自身の酸化鉄の皮膜である。古代の鉄製品も同様の思想で防錆処理が施されていた可能性があるのではないだろうか。

3 表面仕上げの事例

以下に現代に伝わる鉄製品の表面処理の例を挙げる。

遠藤元男氏は、『建築金工職人史話』「造東大寺司附属工房とその工人」の中で次のような工人たちが古代において存在していたことを記す(1)。古代より金属の表面処理を専門的に行う工人が存在していたことが判る。

「熨金工」(うつきんこう) 金薄を熨しつける工人)

「金泥工」(金泥をつくるものか金泥を塗るものか不明という)

「押金薄工」(金薄を押しつける工人)

小口八郎氏は「鑄鉄の着色法」について次の様な手法を紹介する(2)。半実用的な茶釜の表面処理の事例である。

「鑄鉄製品は鍛鉄に較べて耐蝕性が非常に勝っている。これは鑄鉄の表面(鑄肌)がガラス質で覆われ防水しているためであるといわれている。したがって、鑄鉄品の場合は、研磨などの表面処理を行うと、せっきくのガラス質の防水皮膜が破れて錆が発生しやすくなる。

茶釜の場合は、鑄肌の造形は型土を用いて精密に行われるので、鑄造後には造形加工は一切行わず、釜の内肌に金気止めを行い、釜の外肌に漆とオハグロを併用した特殊な着色を行うのである。金気止めは鉄製の飲食器の金気を封ずる処理法で、砂鉄で作った鑄鉄容器は、内側に生漆をかけただけで十分である。しかし、岩鉄(鉄鉱石)を用いて高炉で造られる鑄鉄容器では、生漆をかけたくらいでは金気がなかなか抜けない。この難点を克服し

たのが近代の名工有坂富右衛門で鑄造した鉄釜の内側を炭火で焼いて酸化鉄の皮膜を作るのである。明治初年頃のことであるといわれている。」

「釜の内側を炭火の炎に当て、3時間も焼く。焼き方に要領があつて、焼き過ぎても焼き足りなくても良い皮膜が出来ない。適当に焼き頃合いをみて水に浸した炎で加熱する。炭の炎も強めたり弱めたりして加減する、というような微妙な技巧が必要なのである。」

井塚政義氏は、愛知県美和町法蔵寺の鉄地藏（1230年銘）に関する記述の中で、次の伝説を紹介している(3)。金箔を張ると言うことは、地の鉄がよほど錆びにくいものであったことを示す。錆びやすい鉄に金箔を貼ってもすぐに膨れて剥がれてしまうからである。

「顔や胸のあたりに押してある金箔の輝きを見て、てっきり金銅仏と速断して盗み出したものの、運搬の途中であまりの重さから鉄仏とわかったので、、、、」（本当に金箔が残っていたか不明）

會田富康氏は漆を使った金属の着色法や色絵の技法について次のように記す(4)。漆や薄い金板が防錆に有効であることを示している。

「釜や漆の着色は、青銅などの着色と違って、たいいてい場合は漆などを焼き付けながら使います。青銅などと違う点は、すぐさびる点です。水に接しても錆びないようにするには、表面に一種のコーティングが必要ですから、そのために漆を焼き付けるわけです。漆は塗料の中でもいちばん強い性質がありますので、他のラッカーなどの比ではありません。」「色絵とは、金着せ、袋着せ、うっとり、などがありますが、これらは大同小異の手法とみてよいものです。これは出来上がった高肉の彫りものの上に、金を着せることができますが、その金板の厚みはかなり薄いもので、昔の1分（ぷん）の純金（0.375グラム）を12ミリ四方に延ばして使うというのが、この仕事のきまりだったようでしたが、金は貴重ですから30ミリ四方まで延ばしたなどといひます。その薄板を着せてから裾をきめ込んで、鑿で押さえたのが最初の手法でしたが、後にはこれを鑢付けするようになりました。」

鹿取一男氏は、たがねやヤスリを使った仕上げ加工法について「叩き仕上げ」、「むき仕上げ」などと称して次のように紹介する(5)。表面処理の下地の作り方について詳しく知ることができる。

「象嵌が全部すんだら、ナラシ鑿で鑄肌を整える。このときの鑿の打ち方は、鑿を浮かして軽く叩いて鑿を鑄肌にぶつけるようにする。そして時々サンドペーパーや鋼線ブラシでこすり、四囲と肌をくらべてほどよい鑄肌にする。上手な叩き仕上げは鑿打ちの跡がわからなく自然な鑄肌に仕上げられるが下手をするとナラシ鑿の跡が残ってみにくい。」

「轆轤にかけられる形状のものはこれにかけてバイトで表皮を削る。それ以外の形のものには鑢でまず粗削りをして、ついで生下で削り、最後に零号くらいの細かいサンドペーパーで研磨して鑢目や生下むらの無いように仕上げる。むき仕上げの多くはここまでの仕上げで研磨を終わるが、物によると朴炭で砥ぎ上げることがある。」

日本金工作家協会編集の『彫金・鍛金の技法1』では「金属の着色について」次のように分類

する (6)。

「鉄の着色」

- A. 鉄の錆つけ法 (褐色)
- B. 鉄の錆つけ法 (化学着色)
- C. 鉄の着色 (工業的)
 - (1) アルカリ黒色酸化着色
 - (2) セメンテーション法
 - (3) 燐酸煮法
 - (4) 青焼法
 - (5) 油焼法
 - (6) 焼き戻し色

また、『天工開物』には「鑄造」の「釜」の項に次のような記述がある (7)。

「不到処即澆少許于上補完打湿草片按平若無痕迹」

(到らざるところあれば、すなわち上に少しばかりを澆 (そそ) ぎ補完す。湿草を打ちて按平せば、痕迹無きが若し。) (筆者釈)

『日本民俗文化体系』は南部鉄瓶の仕上げと着色法について次の技法を紹介する (8)。

仕上げ・・・熔鉄が固まったら、鑄型を壊し、中子を取り除き、釜焼きをして錆止めする。
着色・・・生漆 (きうるし) と砥粉 (とのこ) を練り合わせて下塗りし、加熱しながら、
茶汁・オハグロを刷毛でむらなく塗り重ねて、独特の色調に仕上げる。

金属の表面仕上げ技術に関する研究は決して多くない。遠藤氏や小口氏らの成果は著しいものがあるが、近世近代に伝わる技術の紹介が多いのは、我が国では近世において金属の表面処理技術が飛躍的に発達したためであろう。現代の伝統工芸もその系譜下にあり、そこから類推するのが現在採られている一般的な考究の方法だと言えよう。これらの伝えられた鑄鉄鑄物の表面処理技術の内、古代の産業状況において妥当性のあるという点で絞れば、次の技法を挙げることが出来る。

- ① 焼いて酸化膜を付ける
- ② 油を焼き付ける
- ③ 植物のヤニを焼き付ける
- ④ 漆を焼き付ける
- ⑤ 漆を塗る
- ⑥ 金箔を貼る

その内のどれを採用したかについては、伝世品にその痕跡が認められない以上、結論は出にくい。となれば、種々の技法を復元品として提示し、諸賢の判断を仰ぐこととしたい。

敢えて筆者の私見を示すことが許されれば、最も注目するところは『天工開物』の一文であ

る。表面処理の目的としては、先の防錆もさることながら、欠陥の隠蔽技術というものも技術者としては必要不可欠である。その意味で、この記述は興味深い。

「到らざるところあれば、すなわち上に少しばかりを澆（そそ）ぎ補完す。湿草を打ちて按平せば、痕迹無きが若し。」とあるのは、鑄鉄が熱いうちに藁を押し当てると、藁の油分と有機質分が炭化して鑄鉄を黒くする。これによって「鑄掛け」の境目を目立たなくすることが目的であることが分かる。同時にこのことは、その後工程で、漆や油焼きなどの処理をしないことを前提にしていたことが推定できるのである。漆や油焼きでも同じかそれ以上の効果が得られるので、それを行うのであれば事前の藁の押しつけは必要ないからである。となれば、当時の鉄釜は藁の押しつけ法による黒色化が最終工程であったことになる。一昨年のまほろんとの象嵌鉄製品の共同研究復元で増子氏が示した「絹焼き法」(9)も原理と効果については全く同じである。素材の持つ油と有機質が炭化して黒色化するからである。

そこで、2年間の研究復元で得た9点の鑄造鉄製品を、以下の方法での表面仕上げを提案した。

<梵鐘>資料① 第一号梵鐘（1回目鑄込み）を「仮称炭焼き法」

資料② 第二号梵鐘（2回目鑄込み）を「稲藁燻し法」

資料③ 第三号梵鐘（3回目鑄込み）を「漆焼き法」

（鑄物への油焼きは後で染み出てくる可能性がある）

<鉄製獣脚容器>

資料④ 羽釜容器（1回目鑄込み）を「油焼き法」

資料⑤ 羽釜容器（2回目鑄込み）を「漆焼き法」

資料⑥ 獅嚙獣脚付き容器を「仮称炭焼き法」

<風鐸>資料⑦ 風鐸乳付き（1回目鑄込み）を「赤漆塗り仕上げ」

資料⑧ 風鐸乳付き（2回目鑄込み）を「金着せ法」

資料⑨ 風鐸乳なし を「漆焼き法」

「仮称炭焼き法」（図1）とは、製品を赤熱するまで加熱し、そのまま冷却すると表面に酸化鉄が生成する

「稲藁燻し法」（図2）とは、稲藁を燃やし、その炎と煙の中に製品を入れて表面に稲藁のヤニを付着させる

「漆焼き法」（図3, 4）とは、赤熱するまで製品を加熱し、炎から取り出して漆を刷毛で塗りつける。漆は炭化して製品の表面に焼き付く

「油焼き法」とは、赤熱するまで製品を加熱し、炎から取り出して植物油を刷毛で塗りつける。油は炭化して製品の表面に焼き付く

「赤漆塗り仕上げ」（図5）は、まず漆を何回も塗って鑄物の鬆を埋めるとともに表面を平滑にする。そこへ赤漆を重ねて塗る。赤色原料にはベンガラを用いた。

「金着せ法」（図7, 8、9、10）とは、漆を薄く製品の表面に塗り、その上に金箔を貼る。

一、二度では下地が出てくるので、均一に金色になるまでそれを繰り返す。

なお「仮称炭焼き法」については、処理した後数日の内で錆が発生したため、再処理し蜜
 蝋でコーティングした。従って「仮称炭焼き後蜜蝋仕上げ法」と名付けた。



図1 「仮称炭焼き法」



図2 稲藁燻し法



図3、4 「漆焼き法」



図5、6 赤漆塗り仕上げ



図 7、8、9、10 金着せ法

<文献>

- 1 『建築金工職人史話』 遠藤元男著 s60 雄山閣出版刊 p248)
- 2 『日本の伝統技術と職人 金属表面技術史』 遠藤元男・小口八郎著 s50 p74
- 3 『和鉄の文化』 井塚政義著 s58 p26)
- 4 『鑄金・彫金・鍛金』 會田富康著 s50 理工学社 p3-60 p4-40)
- 5 『美術鑄物の手法』 鹿取一男著 1983 年 アグネ社 p241) 10
- 6 『彫金・鍛金の技法 1』 「金属の着色について」 日本金工作家協会編)
- 7 『天工開物』 宋応星原著 (673 年刊)、三枝博音編 1943 年 十一組出版部刊)
- 8 『日本民俗文化体系』 14 「技術と民俗」 下 1986 年 小学館刊)
- 9 増子浩代「古墳出土鉄製鐙の着色法についての可能性をさぐる」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2003』 2004. 3

<注釈>

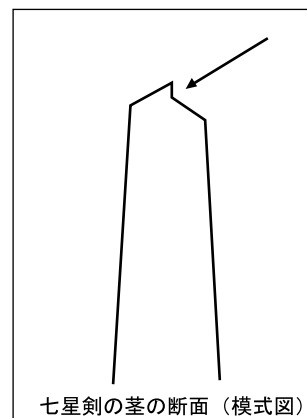
(注1) 四天王寺七星剣は、筆者の観察するところ茎（なかご）の断面形状が右図のようにになっている。これは鍛造では形成され得ない形状であり、鑄型のズレが現れたものと考えられる。八尾市大竹西遺跡の鉄剣にもこれに近い鑄型のズレが同じく茎に確認されており、鑄造で造られたことを示す手がかりとなっている。また七星剣は、蹴り彫り象嵌技法で星・雲・龍文が描かれているが、こうした類例は現在のところ前漢代の遺物に確認されている。従って筆者は七星剣を前漢代の製作になる鑄造鉄剣であり、渡来・伝世品と考えている。

(注2) これまでの七支刀研究では七支刀そのものがいつ作られたかという根本的な問題に踏み込んだ研究が無い。いつの間に

A 「日本書紀の記述とよく符合するから七支刀は信用できる」

B 「七支刀という金石文の実物証拠があるから日本書紀の記述は正しい」

上のようなAB理論のキャッチボールが行われているうちに七支刀4世紀後半制作説を疑う研究者が少なくなったのである。しかしながら、七支刀も日本書紀神功記のどちらもその成立と内容の信頼性については厳密な議論が行われていない。故に七支刀の製作時期こそ古代史上重要な問題となる。筆者は昨年来行ってきた復元研究に基づく技術移転論による検討と金石学的研究によって七支刀は4世紀代に製作されたと考えるに到った。その論拠と詳細については近刊の『復元七支刀・技術移転論』（仮題）を参照していただきたい。



七星剣の茎の断面（模式図）

復元鉄鐘の音響特性

日本古鐘研究会 大熊恒靖

1 音の測定方法

1) 測定位置

鐘身を打撃する方向の軸（撞座の軸）に直角な軸を 0° として、その軸から 45° 回転した軸及び 90° において、鐘身から 0.5 m 離れた点を測定位置とする。

一般に梵鐘の基音（最も低い周波数成分の音）は、 0° 及び 90° 方向の音にはうなりがなく、 45° の方向の音は顕著なうなりを伴う。したがって、二つの方向の音を測定すると、うなり現象を明確に観測することができる。

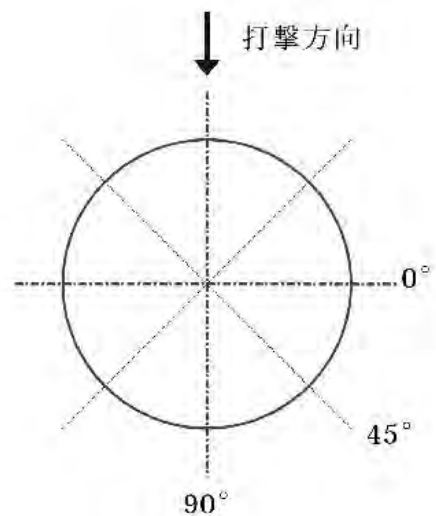


図1 測定位置

2) 測定系

復元鉄鐘の音の周波数成分及び減衰時間を知るために、図2のような測定系を用いた。

(1) 録音

測定対象の音は、騒音計を経てMD（ミニディスク）録音器によって録音される。MD録音器は、

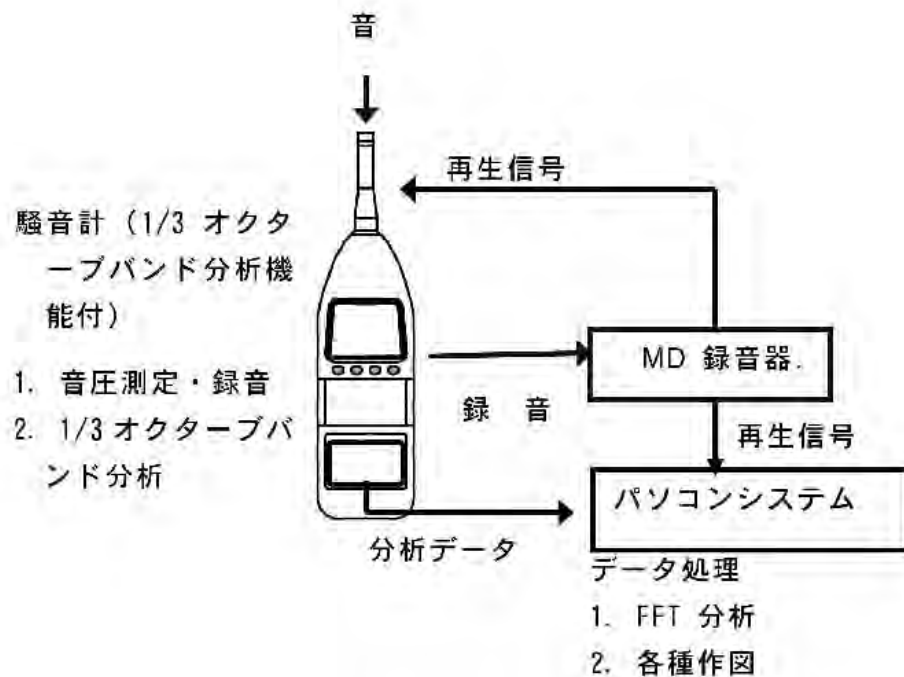


図2 測定系

長時間録音をするために信号圧縮を行っているのですが、対象の音の種類によっては信号圧縮の影響を受けるが、梵鐘の音の場合には分離したスペクトルによって構成されるので、信号圧縮の影響は全く受けないことを各種実験によって確認してある。

(2) 音の周波数分析

対象の音の周波数分析は、MD 録音器の再生音をパソコンソフトの FFT (高速フーリエ変換) によって行う。

(3) 音の減衰時間測定

対象の音の減衰時間は、同様に再生音を 1/3 オクターブバンド周波数分析機能を備える騒音計に電気信号として加え、メモリー機能を用いて 1/3 オクターブバンド音圧レベルの減衰特性を記録し、その特性から音圧レベルが 60 dB 減衰するのに要する時間を、すなわち減衰時間を算出する。

2 測定結果

1) 部分音の周波数

部分音の周波数は、次の通りであった。

基 音	364.05 Hz
第 2 部分音	992.55 Hz
第 3 部分音	1878.1 Hz

周波数分析の例を図 3 に示す。

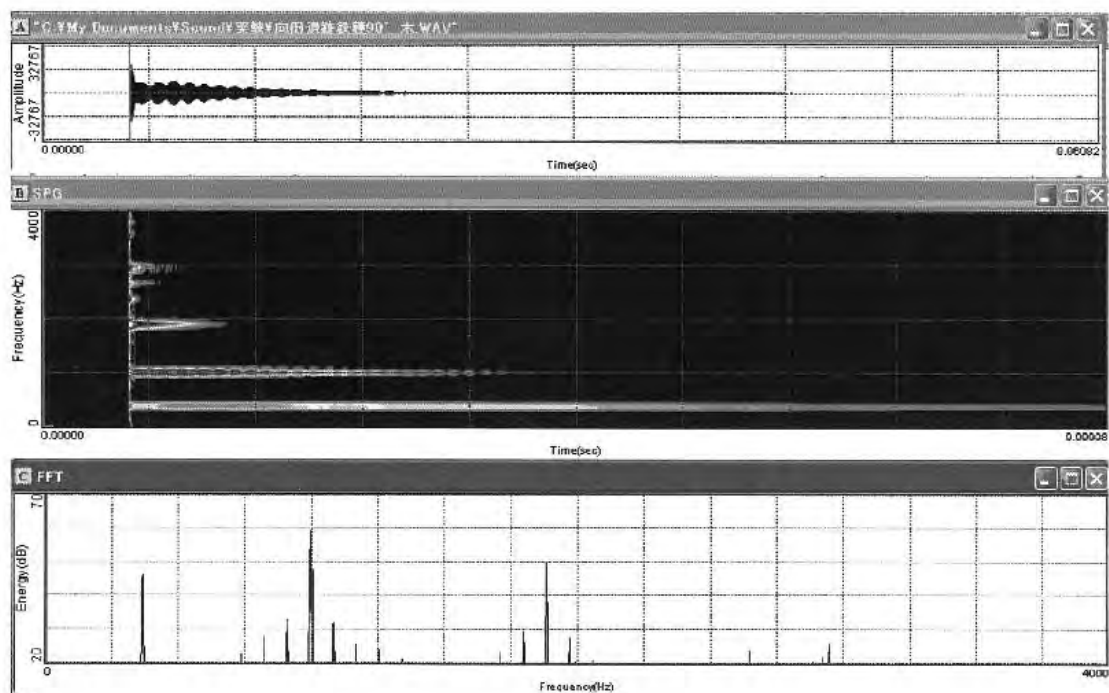


図 3 復元鉄鐘の周波数分析の例

図3の最上段の図は、音圧波形である。縦軸は音圧（単位はPaとなるのであるが、ここでは絶対値は用いていなくて、相対的な目盛である）、横軸は時間（単位は秒、10秒間の記録）である。同図の中央の図はスペクトルグラフといい、縦軸を周波数（単位はHz、最大目盛は4000 Hz、横軸を時間（単位は秒、最大目盛は10秒）、色の濃淡が音の強さである。白が最大の表示となっている。

同図の最下段の図は、FFT分析の結果である。縦軸が相対スペクトルレベル（単位はdB、分析範囲50 dB）、横軸は周波数（単位はHz、最大目盛は4000 Hz）である。

この復元鉄鐘の音は、打撃時には第2部分音が優勢であるが5秒程度で消滅し、その後は基音の余韻が長く残る様子が示されている。第3部分音は打撃後1秒程度で消滅する。

2) 音の減衰時間

音の減衰時間を測定する際に用いたハンマーは、図4に示す木ハンマー（質量500 g）及びゴムハンマー（質量300 g）である。

木ハンマーを用いたときの1/3オクターブバンド音圧レベルの減衰特性を図5及び図6に示す。また、ゴムハンマーを用いたときの1/3オクターブバンド音圧レベルの減衰特性を図7及び図8に示す。音は、青銅鐘に比べるとスペクトル数の少ない音ではあるが、減衰時間の長い、すなわち余韻の長い非常にきれいに聞こえる音となっている。



図4 試作2号鐘と使用したハンマー（左：ゴムハンマー、右：木ハンマー）

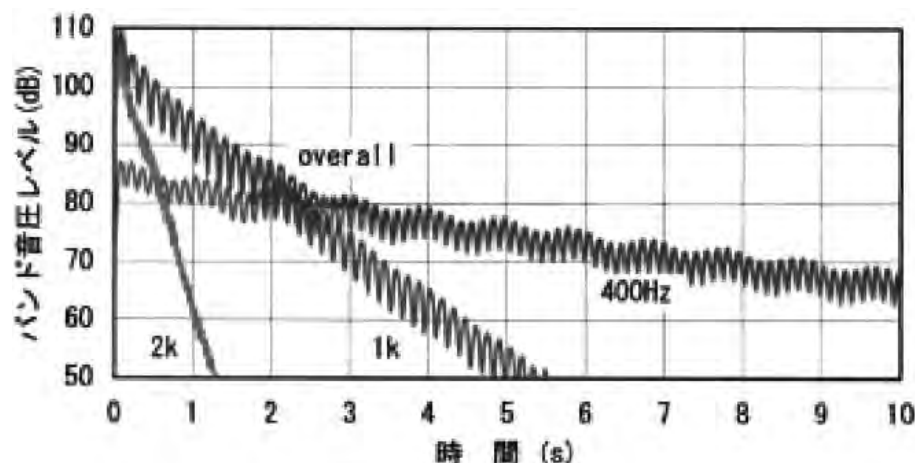


図5 木ハンマーによる音の減衰特性、測定点 90°、0.5 m

以上の減衰特性から算出した音の減衰時間は、次の通りである。

基 音 36 秒

第 2 部分音 6 秒

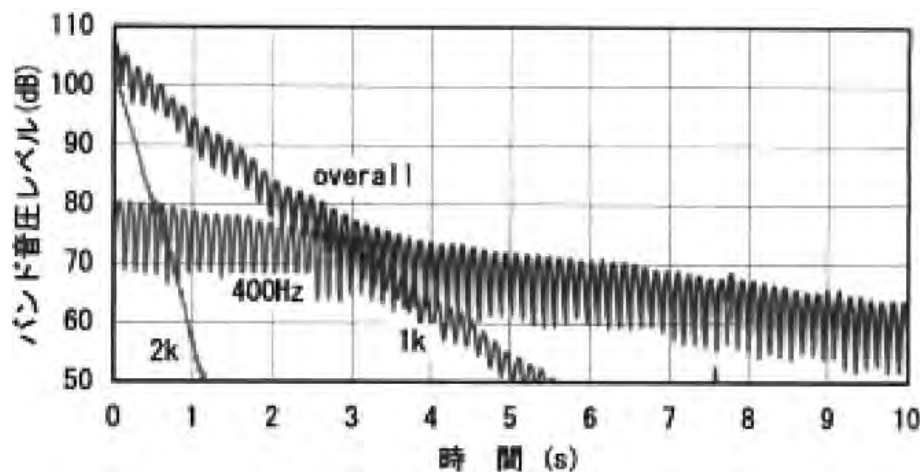


図 6 木ハンマーによる音の減衰特性、測定点 45°、0.5 m

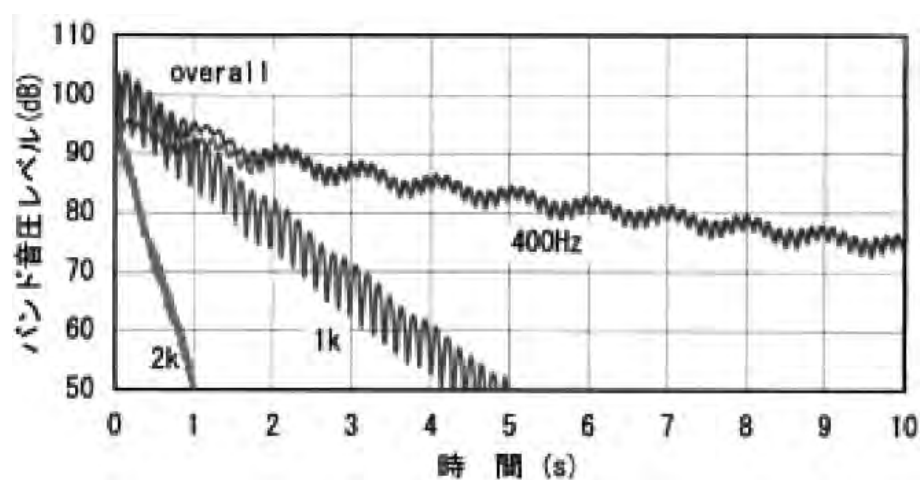


図 7 ゴムハンマーによる音の減衰特性、測定点 90°、0.5 m

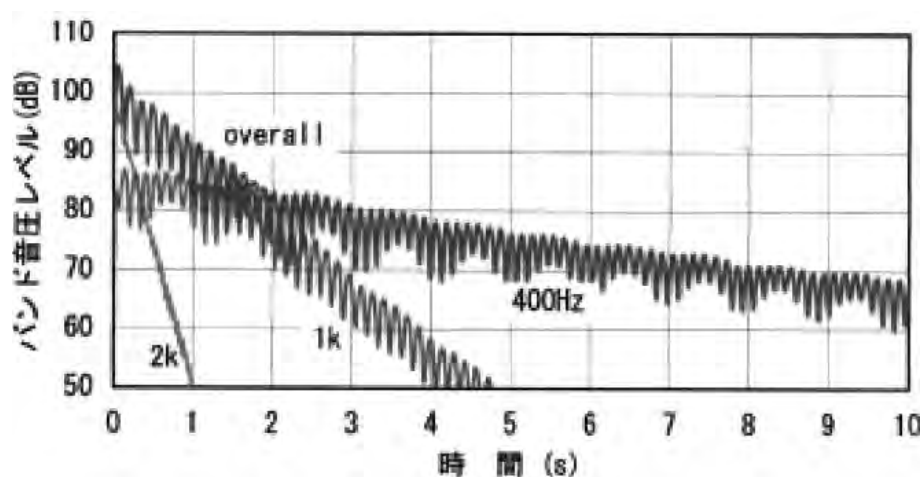


図 8 ゴムハンマーによる音の減衰特性、測定点 45°、0.5 m

3) 試作 1 号鐘及び試作 3 号鐘

以上のデータは試作 2 号鐘について行ったものである。試作 1 号鐘は肉厚が不足して鋳

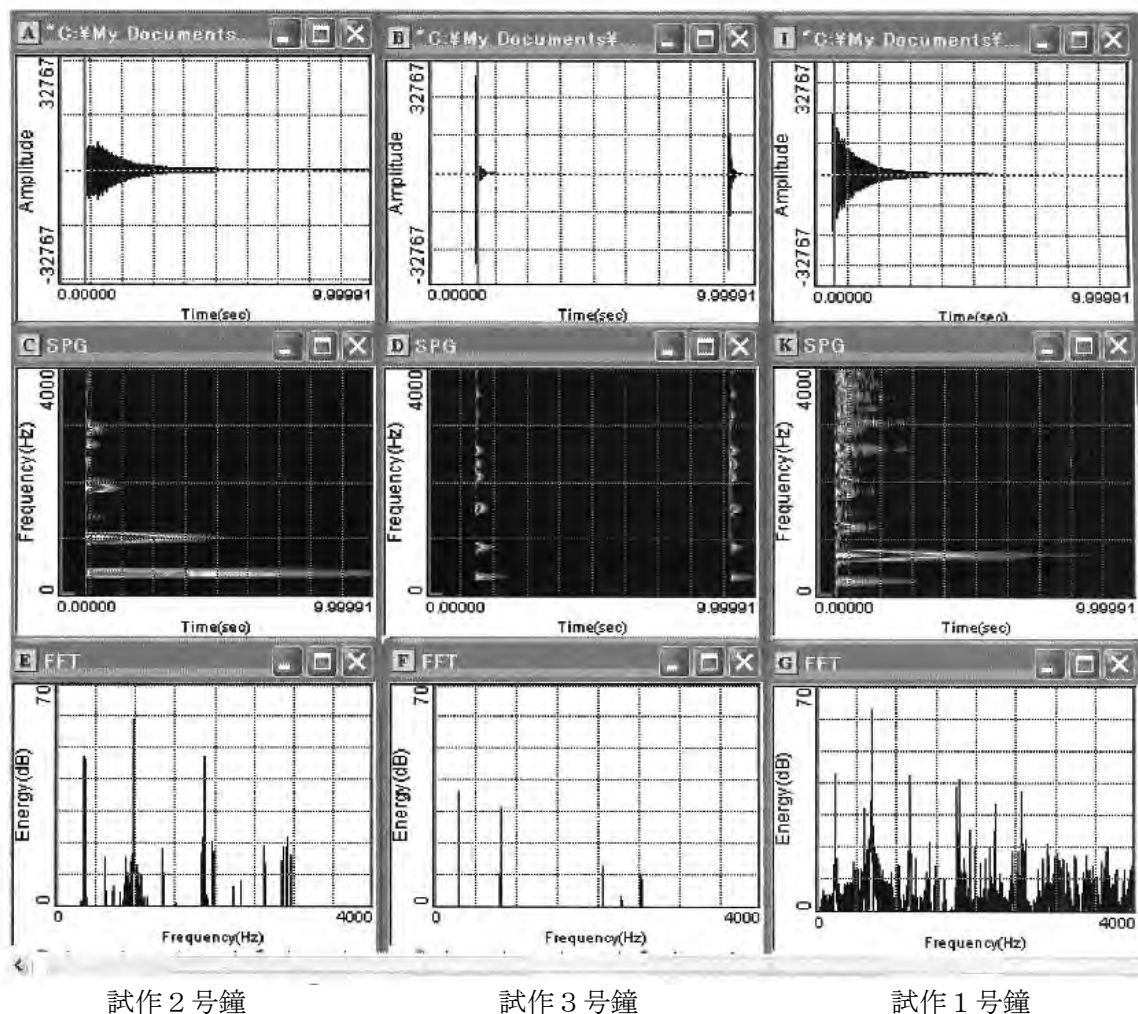


図 9 三つの試作鐘の音響特性



図 10 試作 1 号鐘 (左) と試作 3 号鐘 (右)

造に失敗し、試作 3 号鐘は材料の選定を仕上がり状態に重点を置いたために、音については満足すべきものとならなかった。基音の減衰時間は 1 号鐘が 7 秒、3 号鐘が 4 秒であった。

参考資料として三つの試作鐘の音響特性を図 9 に示す。

試作 3 号鐘は全く音が出ず、試作 1 号鐘はいわゆる破鐘(われがね)の音である(図 10 参照)。

3 考 察

梵鐘の材質は、銅・錫(Cu-Sn)系合金(青銅)である。これは古代から現在まで継承されている。和鐘の音は、一般に荘厳さが求められることから、全体の形状、鐘身の厚さ、駒の爪の厚さ(開口部の縁の厚さ)等が中国鐘あるいは洋鐘とは異なる独特のものとなっている。また、和鐘は、錫の配合比が 13 ~ 15 % 程度が適当といわれ、現代鐘はそのような配合比となっていると思われる。(注 1) 明治時代以前の和鐘は錫の配合比が 7 % 程度と推定され、(注 2) かつ駒の爪(開口部の縁の厚さ)が現代鐘に比べて厚いために音の減衰時間が短いのが特徴である。(注 3)

和鐘の鉄鐘は、いわゆる梵鐘といわれる鐘には戦艦「陸奥」の遺材による鎮魂をこめた宇治・万福寺鐘があるのみである。鉄鐘では和鐘に求められる音が出ないのである。

洋鐘は、古くから青銅(錫配合比 23 % 程度)で造られているが、第一次世界大戦時に多くの鐘が溶解され、それに代わる鋼材の鐘が造られた。ドイツではそれが契機となって研究が進められ、鋳鋼で青銅の鐘に劣らない良い鐘が造られた。鋳鋼ならばコストが青銅の 1/3 で済むといわれる。(注 4)

中国鐘は、紀元前 400 年頃の編鐘に見られる優れた青銅技術が引き継がれている。中国の鉄鐘は、比較的多く見ることができ、例えば日本人が興味をもっている蘇州・寒山寺鐘が鉄鐘であるが銅鐘に劣らない音を出している。しかし、現存する多くの鉄鐘はやはり梵鐘らしい音は出していない。

鉄の和鐘の音については文献(注 5)と(注 6)がある。そこでは理論と実験鉄鐘によって検討されている。モデル実験では青銅の鐘の音質とできるだけ同じになるように鉄の鐘を作るには次の点を考慮しなければならないとしている。

(1) 同じ形状で、基音(余韻)の周波数を同じくするには、鉄の鐘の厚さを薄くする。

(2) 一様に薄くすると、上音の固有周波数が強く起こりかん高くなる。この上音の固有周波数を抑えるためには、鐘の上部を青銅に比べて厚くしなければならない。

(3) 根本的に音質を同じくすることはできないが、梵鐘のもつ冥想的な響きを失わないように調整しなければならない。

しかし、鍛鉄、鋼鉄の鐘の基音は青銅鐘と一致させることはできるが、上音の周波数には著しい差があるので、青銅鐘と同じ音質にすることは不可能であるという結論である。この研究の成果として、前述の宇治・万福寺の鉄鐘が造られた。万福寺鉄鐘については後述するが残念ながら青銅鐘とは全く異なる音である。

次に、現存する鉄鐘と青銅鐘の音響特性を比較してみる(図 11 ~ 図 14 参照)。

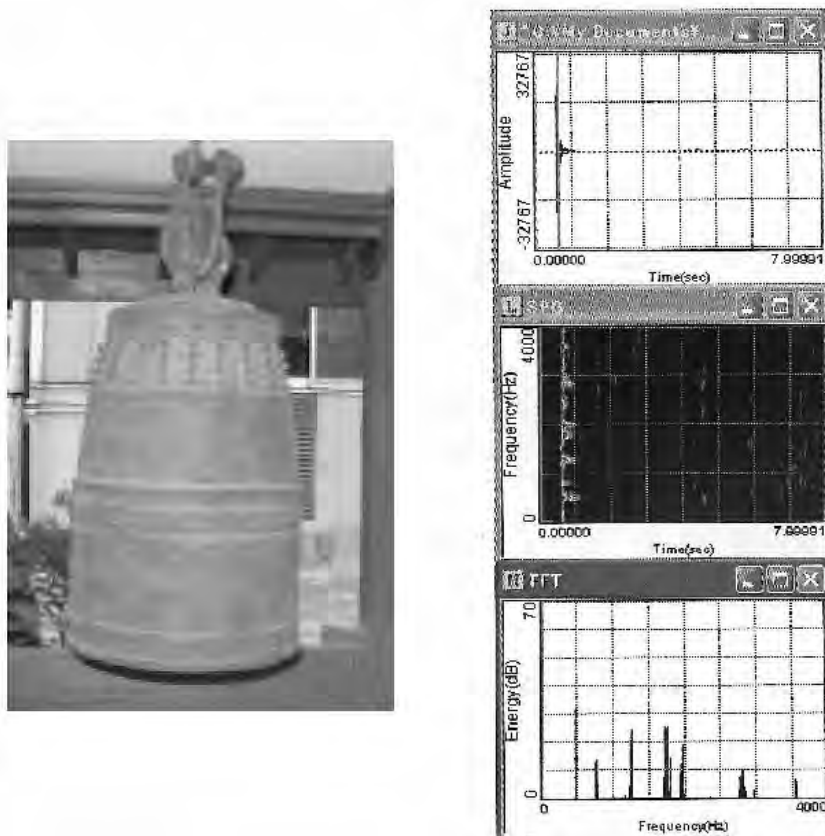


図 11 東大阪・長堂小学校記念鉄鐘（1991 年、口径 0.21 m）、音が出ない鐘

(1) 東大阪・長堂小学校記念鐘

復元鐘と同じような口径の鉄鐘は、数口は現存していてもいずれも音響測定が不可能な鐘である。収集した資料の一つとして、図 11 は、口径 0.21 m の鉄鐘（東大阪・長堂小学校記念鐘）であるが、これは単にモニュメントとして造られ、音響については全く配慮されていないと思われ、木ハンマーで叩いても音は出ない。

(2) 宇治・万福寺鉄鐘

戦艦「陸奥」は、1921 年に竣工、1943 年に広島湾において船内の爆発により沈没、1970 年に引き上げられた。その船体の鋼材によって 1971 年に鑄造された鉄鐘（口径 0.7 m）が万福寺・青少年文化研修道場の屋上に懸架されている。（注 7）この鐘の減衰時間は基音が 24 秒、第 2 部分音が 5 秒であり、銅鐘に比べて非常に短い。この音は、基音以外の部分音が弱く、一般の梵鐘の音とは異なっている。文献（注 5）によると、この鐘は引き上げられた戦艦陸奥の特殊鋼（鍛鉄に近い）を用いて、同型の青銅に比べて厚さを約 20 ～ 30 % 大きくしている。

(3) 倉吉・長谷寺中国鉄鐘

この梵鐘（1708 年、口径 0.77 m）は、現在鐘身表面が錆で覆われ、またクラックが入っている。（注 8）手で叩くと、余韻のない音が聞こえる。たぶん、この鐘は以前から音の余韻の短い音

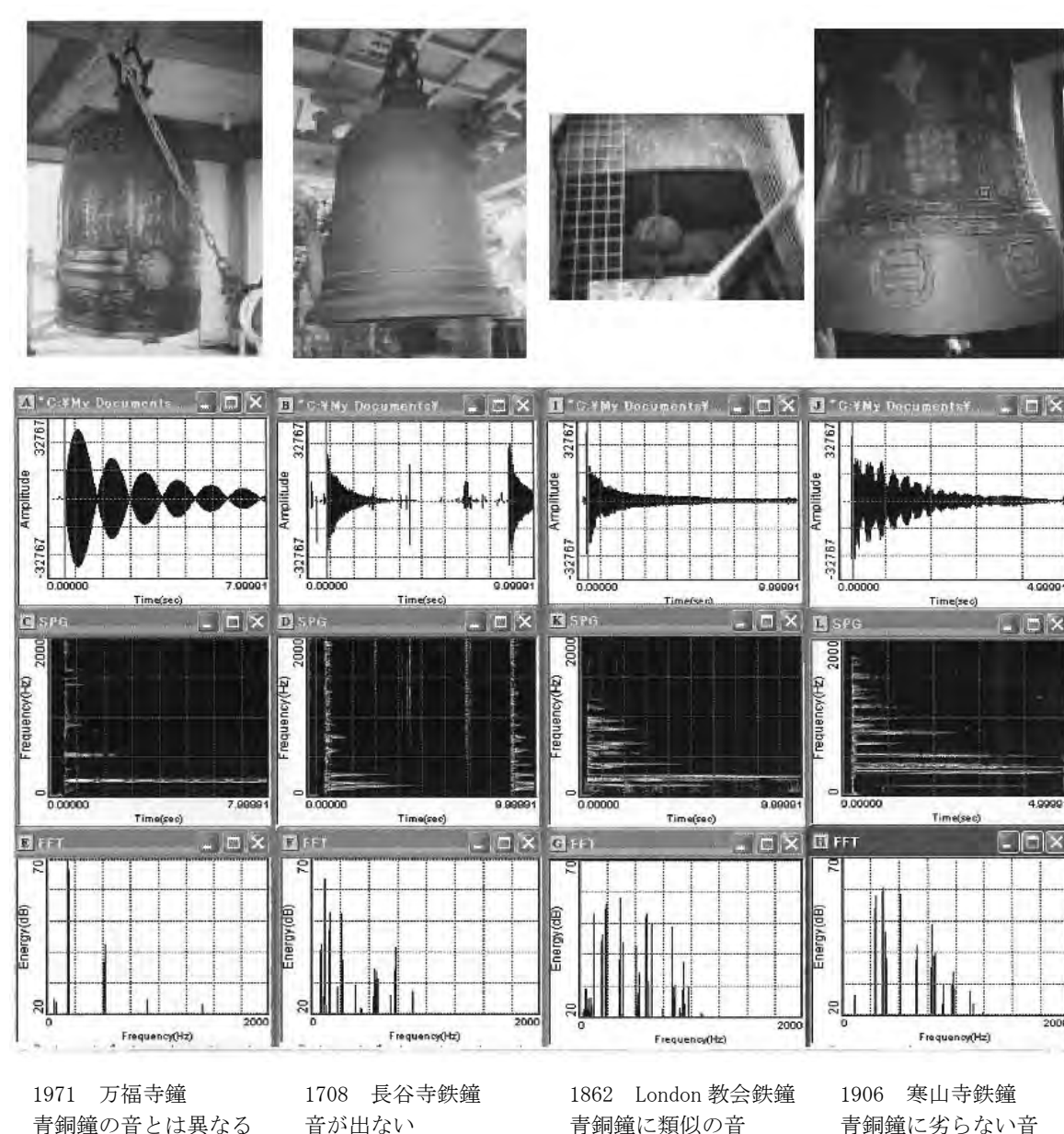


図 12 鉄鐘の例 1

であったことが予想できる。

(4) ロンドン・ペテロ・イタリア教会鉄鐘

この鐘（1862 年、口径 2.2 m）は、Steel bell であり、各部分音が青銅鐘よりも減衰時間が長い、青銅鐘に比べてそれほど奇異な音には聞こえない。（注 9）

(5) 蘇州・寒山寺鉄鐘

この鐘（1906 年、口径 1.19 m）は、楓橋夜泊（注 10）に詠われた寒山寺の現代鐘である。鉄鐘ではあるが青銅鐘に遜色ない音となっている。

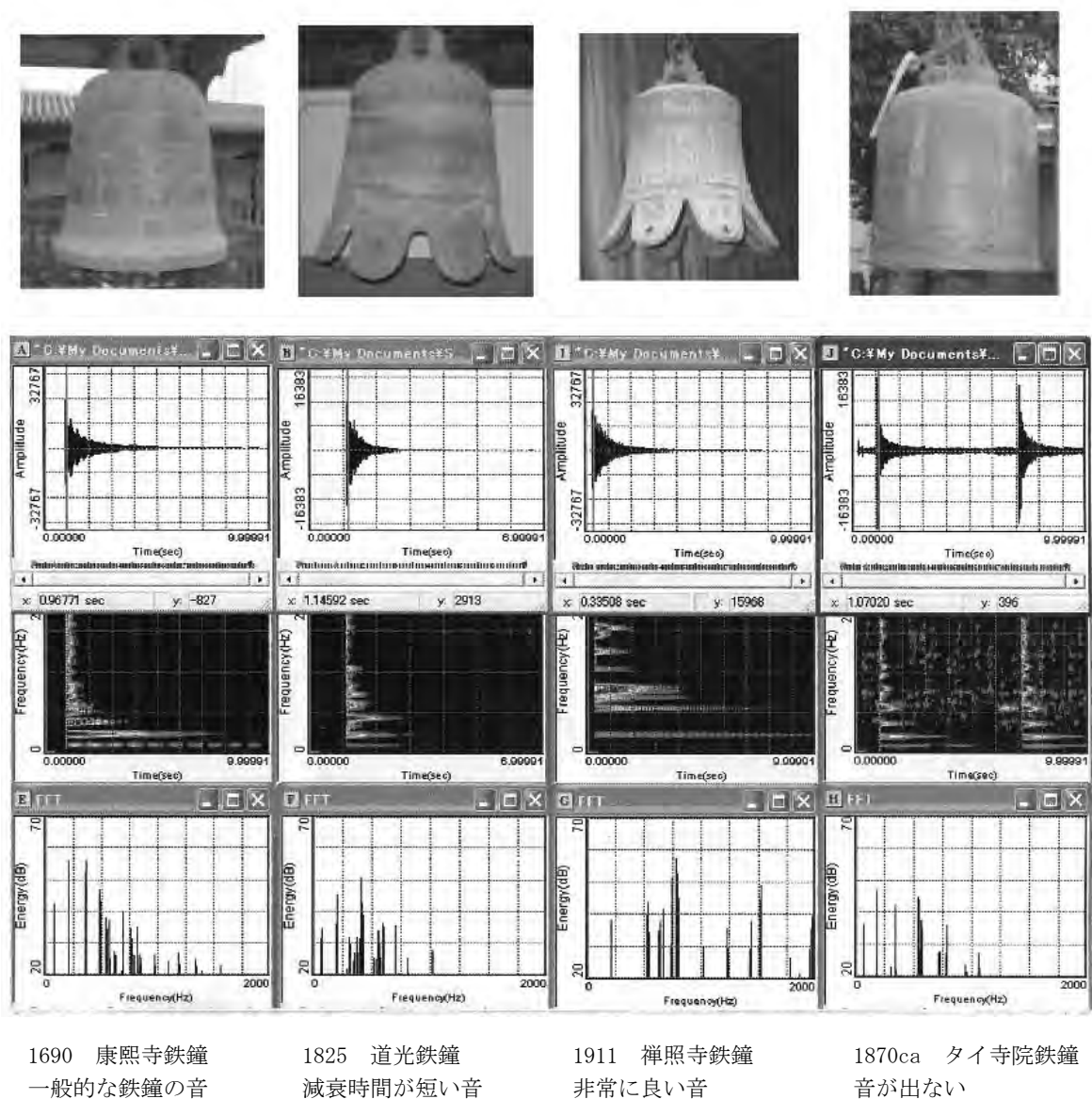


図 13 鉄鐘の例 2

(6) 北京・康熙 8 年鉄鐘

この鐘（1668 年、口径 0.89 m）は、北京・大鐘寺古鐘博物館所蔵の鉄鐘である。青銅鐘よりもスペクトル数が少なく、かつ減衰時間が短い音である。

(7) 北京・道光 5 年鉄鐘

この鐘（1825 年、口径 0.86 m）は、北京・大鐘寺古鐘博物館所蔵の鉄鐘であるが、音が出ない鐘である。

(8) 富山・禅照寺鉄鐘

この鐘（1911 年、口径 0.46 m）は、小杉町・禅照寺所蔵の中国鉄鐘である。鉄鐘にもかかわらず、非常に良い音を出している。

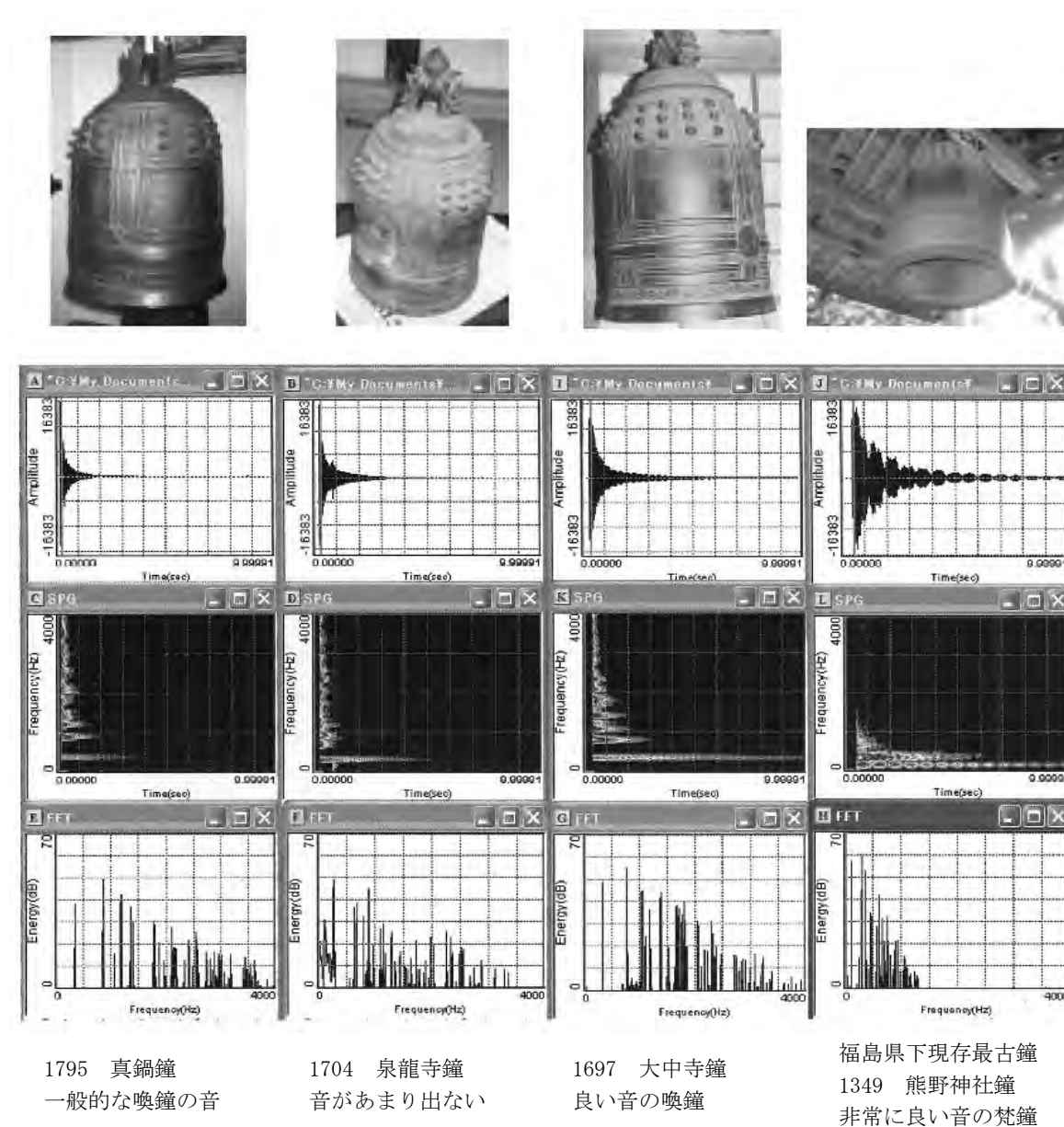


図 14 青銅鐘の例

(9) タイ・清代鉄鐘

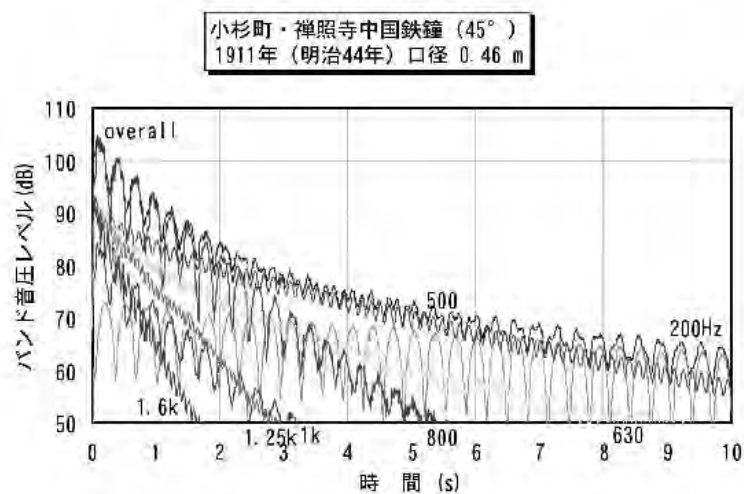
この鐘（1870 年頃、口径 1.1 m）は、フット ジャイデイ ナコンパトム寺院鐘である。ステッキ状の撞木で叩いても音はほとんど出ない。

(10) 東京・真鍋青銅鐘

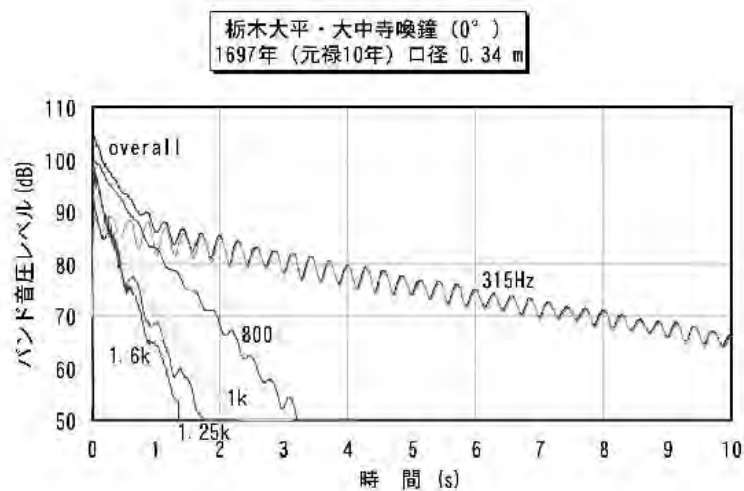
この鐘（1795 年、口径 0.3 m）は、日本古鐘研究会会長 真鍋孝志氏所蔵の喚鐘である。基音の減衰時間は短い、良い音を出している。

(11) 東京・泉龍寺青銅喚鐘

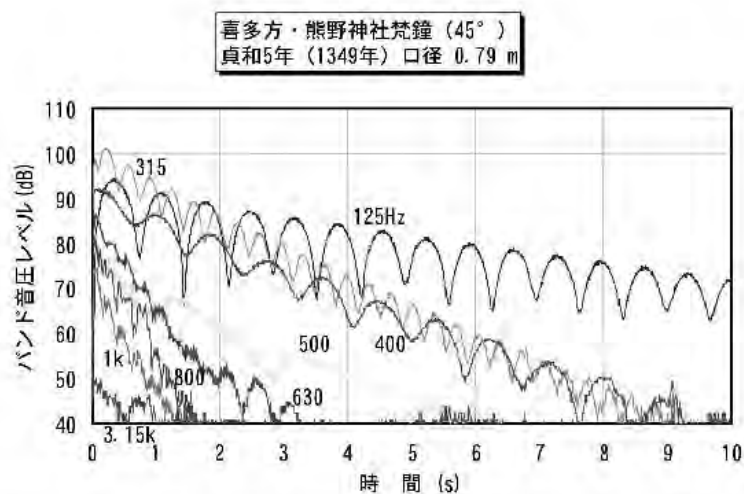
この鐘（1704 年、口径 0.25 m）は、狛江市・泉龍寺所蔵の喚鐘であるが、あまり音が出な



良い音の中国鉄鐘の例



良い音の青銅喚鐘の例



良い音の青銅梵鐘の例

図 15 良い音の鐘の例

い鐘である。

(12) 栃木・大中寺青銅喚鐘

この鐘（1697 年、口径 0.33 m）は、大平町・大中寺所蔵の県指定重要文化財の喚鐘である。真鍋喚鐘よりさらに良い音を出している。

(13) 福島・熊野神社青銅鐘

この鐘（1349 年、口径 0.79 m）は、喜多方市・熊野神社の県指定重要文化財の梵鐘であり、県内最古の南北朝時代の鐘である。梵鐘の典型的な音を出している。

<引用文献>

- (注1) 青木一郎 「梵 鐘」『日本音響学会誌 27 1』42-50 1971 年
- (注2) 大熊恒靖 「資料紹介『大東亜戦時供出梵鐘分析表』」『梵鐘 13』98-104 2001 年
- (注3) 大熊恒靖 「梵鐘の音の減衰時間に関する時代的変遷」『音響学会誌 53 7』208-214 1997 年
- (注4) 青木一郎 「鐘の音について - 梵鐘に関する二、三の問題を中心に、-」『関西大学工学誌 2 4』95-97（発行年不詳）
- (注5) 小松沢 昶、伊勢雅昌、青木一郎 「鉄の梵鐘」『技苑（関西大学工業技術研究所）No. 15』38-45 1974 年
- (注6) 小松沢 昶、伊勢雅昌、青木一郎 「鉄製和鐘について」『日本音響学会講演論文集』91-92 Nov. 1971 年
- (注7) 斉藤善夫 「世界大平和之鐘」『梵鐘 第12号』79-81, 2000年
- (注8) 石田 肇 「日本現存支那鐘銘集成稿（下）」『群馬大学教育学部紀要 人文・社会科学編 46』65-102 1997 年
- (注9) <http://www.hibberts.co.uk/>
- (注10) 植木久行 『唐詩の風景』講談社学術文庫（講談社、東京）pp. 242-248 1999 年

相馬地域出土鋳型から復元した鉄器類の鑄造実験と組織観察

東京都立産業技術研究センター 佐藤健二

1 はじめに

福島県相馬地域の発掘調査から、平安時代前期の大規模な鑄造遺跡が発見された。相馬市大坪字山田地内の山田A遺跡（注1）から、原形を推定できる多数の獣脚付容器、風鐸、仏具などの鉄器類の鋳型が発掘され、また、新地町の向田A遺跡（注2）からは鑄込み前の梵鐘の竜頭、鐘身の鋳型が原形をとどめる極めて良い状態で発掘された。これらの鋳型片から、原形を想定し、真土型によって鋳型を作成し、鑄鉄による復元実験を行った。

これらの鑄鉄品の復元実験を行った際の鑄造条件を検討するため、復元品の組成分析を行い、さらにミクロ組織を解析した結果を報告する。

2 実験方法

1) 材料及び溶解条件

溶解鑄造実験の材料には日本美術刀剣保存協会（以下、日刀保と略す）のたたら銑鉄（以下、鑪銑と略す）と製鉄メーカーのなまこ（以下、銑鉄と略す）を使用した。表1に成分分析結果を示す。

鑪銑は2.3%C、0.02%Siと亜共晶鑄鉄の組成で、Si量が少ないことを特徴とする。しかし、0.12%Pと燐

がかなり多く含まれる。銑鉄は4.31%C、2.02%Siであり、炭素当量（CE値＝%C＋（%Si＋

表1 実験に用いた材料の成分分析結果（mass%）

試料No.	Total C	Si	Mn	P	S	Ti
鑪銑 *1	2.27	0.022	0.008	—	—	0.002
鑪銑 *2	2.31	0.02	0.05	0.12	0.029	—
銑鉄 *3	4.31	2.02	0.50	0.085	0.01	0.039

*1 Total C：燃焼－赤外線吸収法、Si：二酸化珪素重量法、Mn：誘導結合プラズマ発光法、P：モリブド燐酸青吸光度法、S：燃焼－赤外線吸収法、Ti：誘導結合プラズマ発光法

*2 発光分光分析法

*3 製鉄メーカーの分析値による

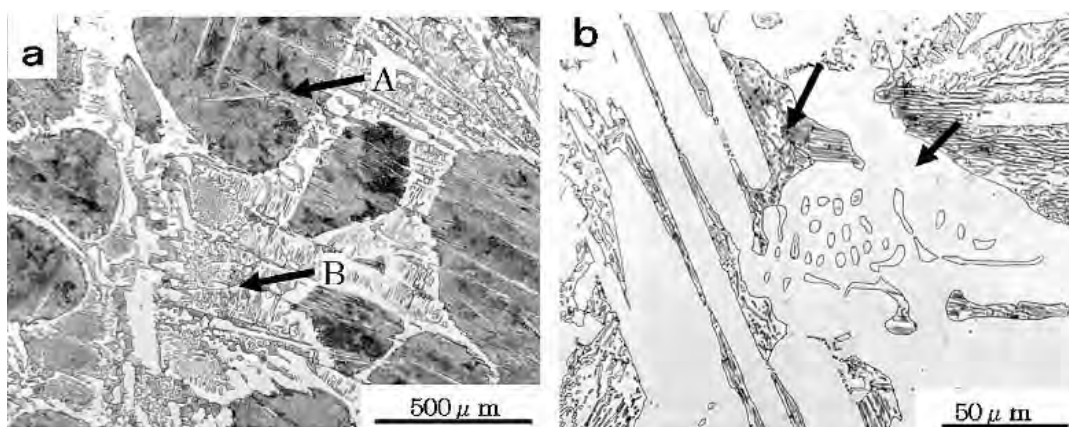


図1 鑪銑のミクロ組織、(b)は拡大組織

%P)/3.2) では、 $CE = 4.97$ となり、過共晶組成である。

図 1 に鑄鉄のミクロ組織を示す。(a) の A の領域は初晶オーステナイトで、共析変態によってパーライトとなっている。B の領域はセメンタイト (Fe_3C) 共晶のレデブライトである。(b) の拡大組織の矢印の灰色部が層状のパーライト、白の組織がセメンタイトである。

溶解には、シリカライニングの高周波誘導溶解炉 表 2 材料の配合比 (%)

(鉄換算：30 kg 溶解) を用いた。溶解時のそれぞれの復元品の材料配合比を表 2 に示す。なお、復元品は梵鐘、獣脚付容器 (羽釜タイプ、獅嚙タイプ)、風鐸 (乳有、無) の 3 種類である。

梵鐘は 1 回目と 3 回目では銑鉄の配合比を少なくした。このことは配合計算から鉄材中の C% と Si% が低下することを示している。また、3 回目実験 (梵鐘 3) では、福島県産の砂鉄の Ti (チタン) 量が多

試料記号	銑鉄	鑄鉄	備考
梵鐘 1	0	100	0.5%Ti + 木炭
梵鐘 2	50	50	
梵鐘 3	10	90	
容器 1 (羽釜)	50	50	
容器 2 (羽釜)	50	50	
容器 3 (獅嚙)	70	30	
風鐸 1 (乳付)	70	30	
風鐸 2 (乳付)	50	50	
風鐸 3 (乳無)	50	50	

いため、この砂鉄の還元によって得られた鑄鉄は日刀保の鑄鉄よりも Ti 量が高いことが考えられる。このため、Ti 添加によって 1 回目 (梵鐘 1) の鑄造の際に起こったカーボンボイリングを抑制できる可能性があるため、敢えて添加元素として選定した。高周波誘導溶解炉では、溶湯の脱炭が大きいことが知られていることから、粉碎した木炭は C% 調整のため、加炭剤として添加した。なお、溶解時には特に脱酸剤や接種剤等を使用せず、大気中で溶解後、藁灰でノロ (スラグ) を掻き取る作業を行った。

2) 鑄造方案と試料採取位置

図 2 に梵鐘 3 の型ばらし後の外観を示す。笠形につながる湯口から溶湯を鑄込み、竜頭の上部に揚がり設けた落とし込みの鑄造方案である。竜頭の肉厚が鐘身の肉厚に比べ、数倍厚いため、竜頭から鑄込んだ場合、鑄型壁が過熱され、凝固時間がかかなり遅くなる可能性がある。もし竜頭上部に大きな湯口を設ける方案にした場合には、凝固の遅れに起因する欠陥が発生することが懸念される。このため、このような方案が採用されることが多いと考える。ただし、通常の工業部品のような共晶近傍の CE 値で、かつ Si 量が 2% 前後のねずみ鑄鉄では、凝固時の引けが少なく、図 2 のような細い揚がりでも有効と考えられが、Si 量が少なく、白鑄鉄になりやすい組成では、引けが強く、竜頭部の特に上部側では、綺麗な鑄肌模様と十分な寸法精度が得られない可能性がある。

梵鐘 1 ～ 3 の成分分析用試料は堰あるいは揚がりから採取し、また、ミクロ組織観察は同様に堰あるいは揚がり部で行った。

図 3 に獣脚付容器 (羽釜タイプ) の外観を示す (注 2)。矢印で示す獣脚付容器 (羽釜タイプ) 上部の鑄型の見切り線部に生じた約 1.5 mm 厚の鑄ばりを欠き取り、組織観察用及び成分分析用試料とした。同様に風鐸では、外壁面の上部側の見切り線部に生じた鑄ばりをたがね欠いて成分分析用試料とした。なお、風鐸のミクロ組織観察は行っていない。



図2 型ばらし時の梵鐘3の外観



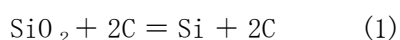
図3 獣脚付容器（羽釜タイプ）の外観

3 実験結果

1) 梵鐘の組成分析とミクロ組織

表3に梵鐘1～3の化学分析結果と配合による各元素の歩留まりを100%とした計算値を示す。配合上の計算値から、梵鐘1、2は亜共晶組成、梵鐘3は過共晶組成である。ただし、梵鐘3の配合C量は、湯面に被覆した木炭を注湯前に掻き取ったため、おおよその値で示した。梵鐘の分析結果からは、梵鐘1は過共析組成で、梵鐘2はC%が低い側の亜共晶組成で、梵鐘3は過共晶組成である。

溶解過程での成分変化については、特にCが大きく減少した。Cの歩留まりは、梵鐘1で64%、梵鐘2では82%である。Si量は梵鐘1で0.11%、梵鐘2で0.09%、梵鐘3で0.24%、それぞれ溶解時でのSiの増加が認められた。この理由として、直前に行った溶解によってSi量の高い溶湯がわずかに炉壁に残っていたこと、また、Si%が比較的低い溶湯であるため、高い溶解温度で溶湯が保持されることによって、溶湯表面のスラグや炉材のシリカ(SiO_2)が(1)式の反応によって還元されることが考えられる。



3.0%C-1.0%Siの溶湯では、この反応の平衡温度は1350℃で、これ以上の溶湯温度では、反応が右に進行し、溶湯のSiが増加する。

従って、溶解条件としては以下のことが考えられる。本実験での溶解時間は材料投入から注

表3 梵鐘1～3の成分分析結果と配合計算値 (mass%)

試料No.	Total C	Si	Mn	P	S	Ti
梵鐘1	1.47	0.13 ^{*1}	0.037	0.099	0.017	0.001
梵鐘2	2.37	1.17 ^{*1}	0.19	0.091	0.024	0.012
梵鐘3	4.62	0.26	0.71	—	—	0.31
梵鐘1配合	2.29	0.02	0.029	0.12	0.029	0.002
梵鐘2配合	2.89	1.08	0.27	0.093	0.014	0.02
梵鐘3配合	5.0+	0.022	0.011	0.12	0.027	0.506

Total C: 燃焼-赤外線吸収法、Si: 二酸化珪素重量法、Si^{*1}: 誘導プラズマ発光法、Mn: 誘導結合プラズマ発光法、P: モリブド燐酸青吸光度法、S: 燃焼-赤外線吸収法、Ti: 誘導結合プラズマ発光法、*2: 発光分光分析、(—): 分析していない

湯まで2時間程度を要したが、鋳型の調整等の段取りで時間を要した場合、さらに30分ほどの湯待ち時間が生じる。この間、溶湯は1500℃以上の温度で保持されたため、著しい脱炭と加珪が起こり、特に梵鐘1と梵鐘2ではC%が低くなったと考えられる。高周波誘導溶解炉は周波数に依存する表面効果があり、特に表面での加熱効果があるため、脱炭を促進したと考えられ、小型炉の場合には溶湯の（表面積／体積）比が大きいため、脱炭がさらに促進されやすい。

図4に梵鐘1の外壁面の拡大写真を示す。梵鐘1では、笠形の表面は注湯～凝固時に発生したガスの影響で全面があばた状になっている（A）。鐘身は湯回り不良で多数の穴が生じており（矢印B）、また、鐘身に生じた穴から亀裂が発生している（矢印C）。同様に口縁にも数カ所亀裂が生じている（矢印D）。

鋳造時の状況は以下のようなものである。鋳込み温度は表1のCの分析値からも推察できるように凝固開始温度が1420～1430℃であるため、鋳込み温度は1500～1550℃程度であったと思われる。C量の低下は湯流れ性を悪くし、さらに凝固・冷却時の収縮を大きくする。このため、湯回り不良の欠陥発生と割れの原因となったと考えられる。注湯から凝固までのガスの発生も湯回りに影響を与えた可能性がある。

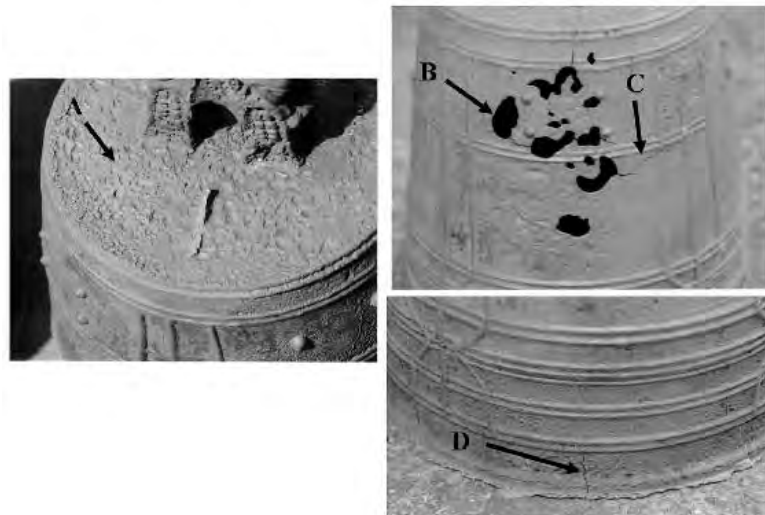
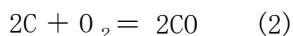
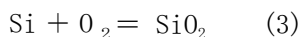


図4 梵鐘1の外観

また、低Siの溶湯は注湯時に溶湯を吹き上げるカーボンボイリングが起こりやすいことが知られている。カーボンボイリングは鋳型内の空気（酸素）あるいは溶湯に含まれる酸素と溶湯のCが反応する(2)式によって生成したCOによって引き起こされる。



ここで、酸素との親和力が高い（酸化物の生成自由エネルギーが低い）元素、例えば、鋳鉄では、Siが含まれる場合には、(3)式の反応によって安定な酸化物を生成し、カーボンボイリングが抑制される。



実際に鋳型に注湯直後から、火花が湯口から吹き上げ、凝固が終了するまで続いていたとのことである。

亀裂の発生については凝固後の大きな収縮によるものである。凝固後、梵鐘は収縮するが、内壁面側が中子によって拘束されるため、表面側に大きな引張応力が発生するため、割れを発生させた。

これらのことから、2回目以降（梵鐘2、3）の鋳造実験では、梵鐘の温度がまだ高い状態

で中子の取りはずしを行い、さらに中子の構造も工夫し、型ばらしがしやすいようにした。

図 5 に梵鐘 2 の外観の拡大写真を示す。笠形は梵鐘 1 に比べ、平坦となっているが、矢印 A に示す堰の部分に引け巣が生じている。また、矢印 B で示す鐘身の縦帯の間は铸肌状態が悪く、梵鐘 1 ほどはひどくないが、ガスによって



図 5 梵鐘 2 の外観

生じたと思われるあばた模様が観察される。この理由としては、梵鐘 1 に比べ、Si 量が増したが、C 量が 2.4% と低く、CE 値では 2.73 と亜共晶鑄鉄の C が低い側にある。このため、引けが強くなったことと、溶解温度が高くなり、溶湯の溶存酸素が増加することによると考える。

図 6 に梵鐘 3 の外観を示す。これまで鑄込んだ梵鐘 1、2 に比べ笠形面は非常に平滑で他の鑄肌面も綺麗である。過共晶鑄鉄では凝固時に黒鉛の晶出量が多いため、膨張することで鑄型との密着性が改善され、良好な鑄肌が得られた。

注湯時には、これまでの梵鐘鑄込みで観察された湯口からの火花の吹き上げはなかった。

C% が高いことや Ti 添加によるものと考えられる。ちなみに Ti は 0.5% の添加に対して 0.2% のロスがあり、酸素との反応に寄与し、スラグ化したと考える。

梵鐘から直接試料を採取できなかったため、梵鐘 1 ～ 3 の揚げりあるいは堰のマイクロ組織観察を行った。従って、湯の流れによる鑄型の局所的な加熱が組織に影響を及ぼし、例えば、鐘身の代表的な組織と若干異なることが考えられる。



図 6 梵鐘 3 の外観

図 7 に梵鐘 1 の堰部の光学顕微鏡によるマイクロ組織を示す。これ以降に述べる試料は #2400 の耐水研磨紙で研磨後、 $1\text{ }\mu\text{m}$ のダイヤモンドペーストで鏡面に仕上げた。腐食液には

5% ナイタル (5% 硝酸－エチルアルコール液) を用いた。過共析組成であるため、白い粒界部はセメンタイト (a, b)、黒い素地部分はパーライトである。(c) の白矢印で示す針状の組織は初析セメンタイトで、(d) の矢印で示すセメンタイトの中央に観察される灰色の粒子は MnS (硫化マンガン) である。

図 8 に同組織の走査型電子顕微鏡 (SEM) 組織を示す。腐食液によってフェライト素地は腐食され、セメンタイトの粒界部は盛り上がっている様子が解る。また、写真左の白矢印で示す

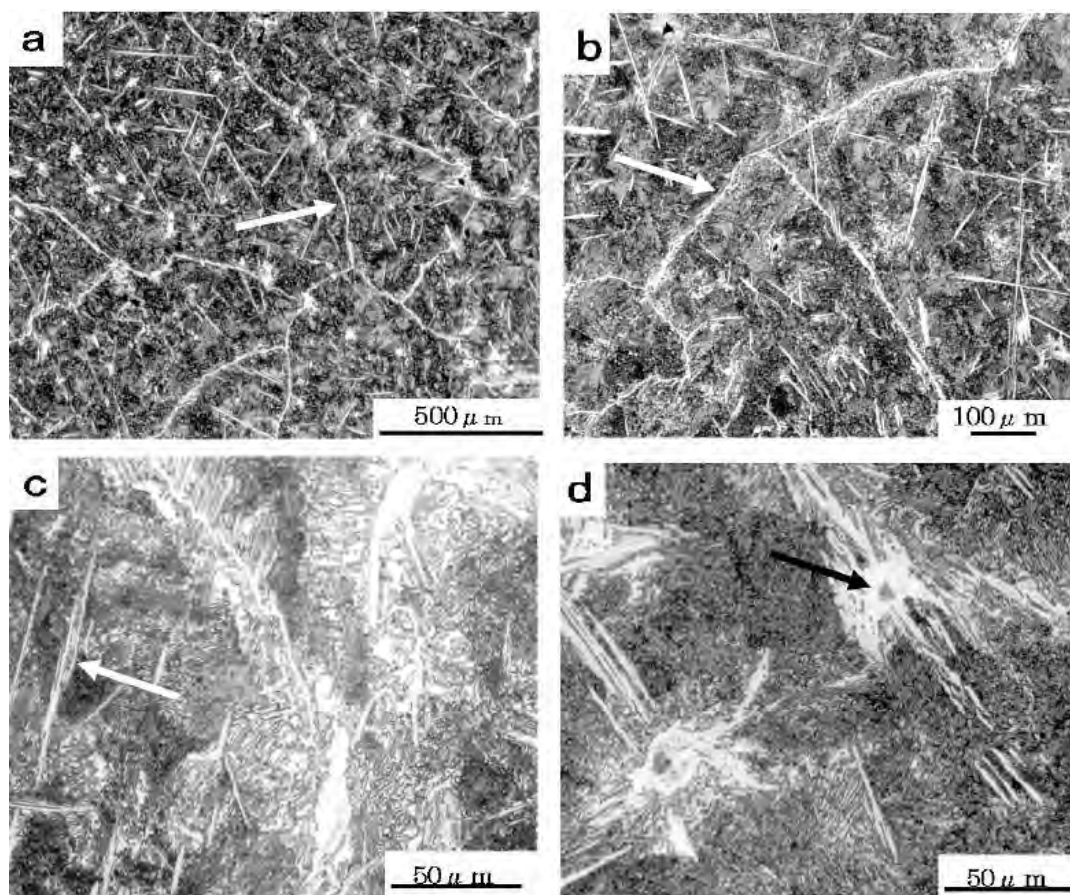


図 7 梵鐘 1 堰部のミクロ組織

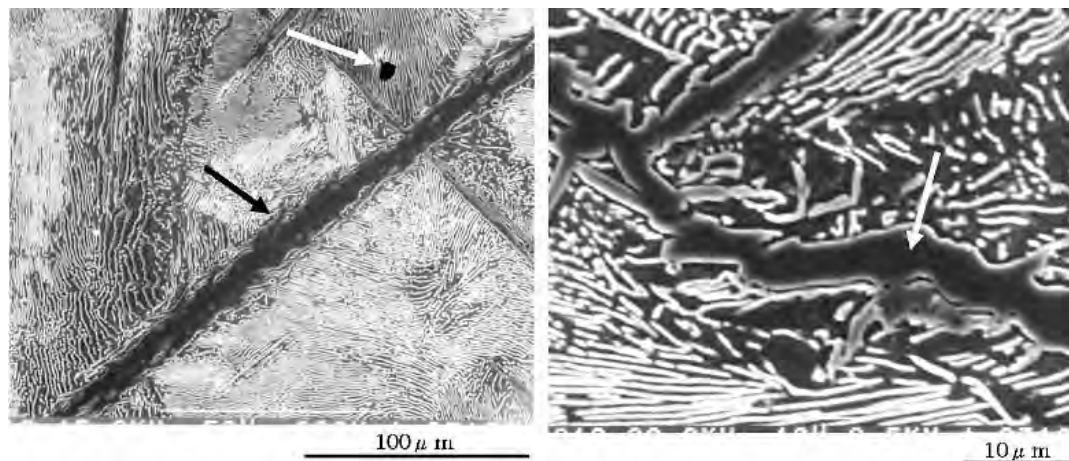


図 8 SEMによる梵鐘 1 のミクロ組織

粒子は黒く観察され、エネルギー分散型分光器（EDAX：日本フィリップス社）による点分析で MnS であることが確認された。

図 9 に梵鐘 2 の堰の光学顕微鏡によるマイクロ組織を示す。亜共晶組成であるため、初晶オーステナイトがデンドライト（樹枝状晶）状であり、白い粒状の組織はセメンタイトである (a)。(b) の拡大組織では、パーライト化した初晶オーステナイトの境界に微細な共晶黒鉛が観察される。(c) は堰の中央部であり、デンドライト状の初晶オーステナイトの粒界にはセメンタイトの晶出が認められる。(d) は (c) の拡大組織である。

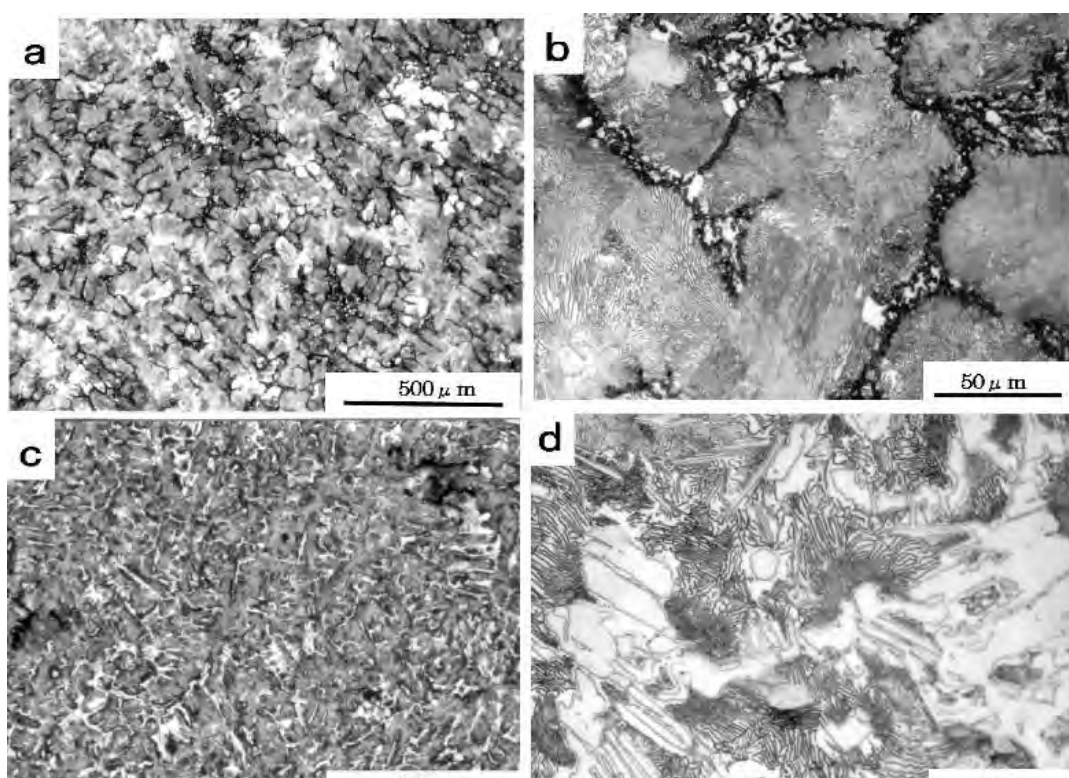


図 9 梵鐘 2 の堰（5 mm 厚）のマイクロ組織 (a)、(b) 端、(c)、(d) 中央

図 10 に揚がりの外観と矢印部で破断した破面の様相を示す。梵鐘側の細い部分（7 mm 径）は白铸铁であるが、揚がり上部の太い部分（10 mm 径）は斑铸铁である。図 11 に堰（5.4 mm 厚）の破面の様相を示す。破面はねずみ铸铁である。

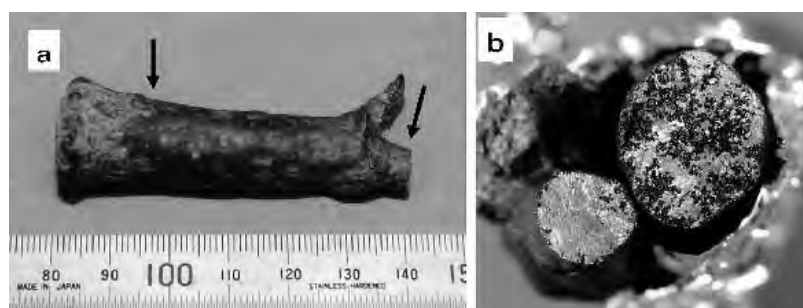


図 10 梵鐘 3 の揚がりの外観と破面 (a) 長手方向、矢印は破面観察部、(b) 破面の外観

これらの白铸铁－斑铸铁－ねずみ铸铁の組織の遷移についてこれまで次のような検討がなされている(注 4)。Maurer は C 量と Si 量による組織の変化を表した Maurer の組織図を示した。

Si 量の低下及びC 量の低下によって白鉄化し、これらの元素の増加は斑鑄鉄→パーライト鑄鉄→フェライト鑄鉄へと変化する。Greiner と Klingenstein は $(C\% + Si\%)$ と鑄物の肉厚の関係を調べ、 $(C\% + Si\%)$ の増加と肉厚の増加は白鑄鉄→斑鑄鉄→パーライト鑄鉄→フェライト鑄鉄へと変化する組織図を示した。白鑄鉄とパーライト鑄鉄の境界線については Jungbluth と Brügger が鑄鉄の肉厚と C 量、Si 量との関係を調べた。



図 11 梵鐘 3 の堰の破面

これらの試験片の鑄型条件と鑄込み条件は異なるが、例えば、梵鐘 3 の 4.62%C, 0.26% Si では、白鑄鉄－パーライト鑄鉄（パーライト地＋片状黒鉛）の境界領域にあると予想される。従って、熱影響の大きい堰はねずみ、小さい揚がり径は白鑄鉄、太い径は斑鑄鉄になっている。

図 12 に揚がり断面のミクロ組織を示す。レデブライト（セメンタイト－オーステナイト共晶）の素地に塊状の黒鉛が晶出しており、揚がりの上部と下部では明らかに組織が異なり、径の大きい上部が黒鉛の晶出量が多い。(c) はパーライトと片状黒鉛からなる塊状組織である。(d) は塊状黒鉛の晶出する領域で、塊状黒鉛の円周状に片状黒鉛が晶出する形態をとり、形状的には B 型黒鉛（バラ状黒鉛）に似ているが、素地がパーライトであり、B 型黒鉛は周辺部に向かって片状の黒鉛が粗大化するが、この組織は周辺部の黒鉛がむしろ若干微細である。また、

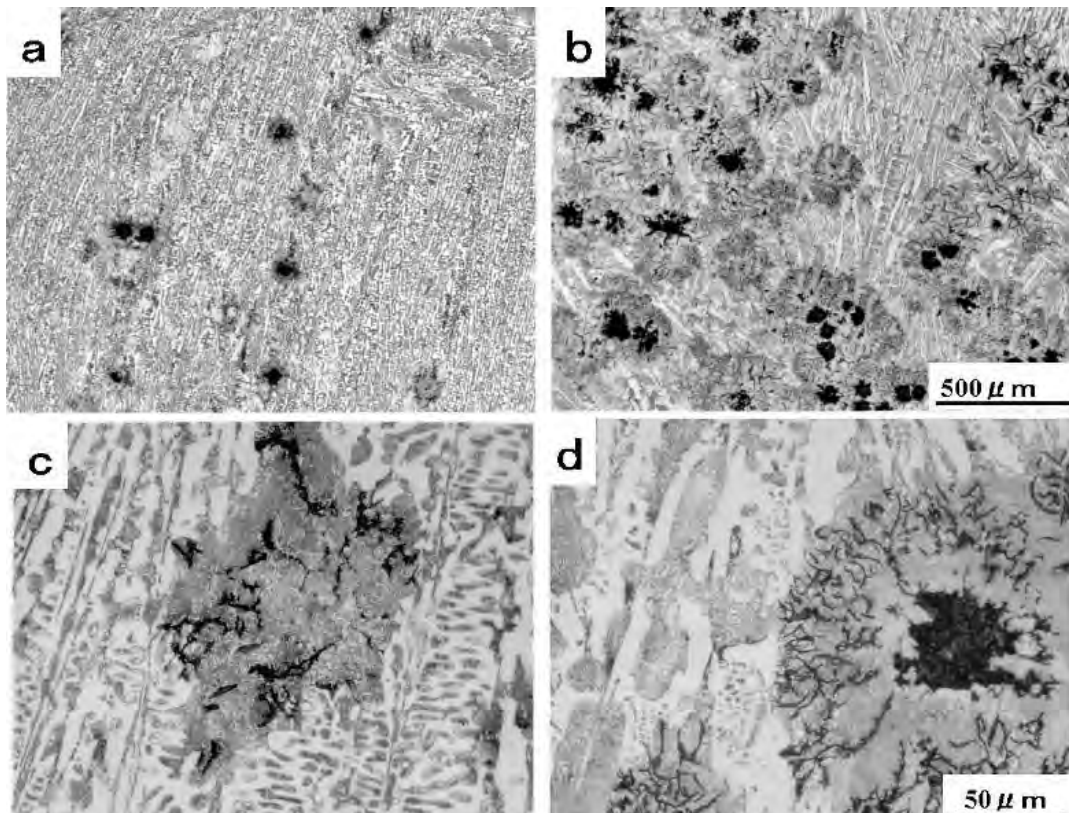


図 12 揚がり部のミクロ組織 (a)、(c) ; 下部φ 7mm、(b)、(d) ; 上部φ 10mm

レデブライトの組織は揚げりの径に依存し、細い径の下部側のレデブライトが微細である。

図 13 に堰断面のマイクロ組織を示す。堰では、パーライト地に片状黒鉛が晶出した形態をしめすが、堰の端の片状黒鉛が微細である。(c) の矢印はステダイト（燐化鉄共晶）である。(c)、(d) では、パーライト地に微細な共晶状黒鉛が晶出した領域（コロニー状）が観察される。

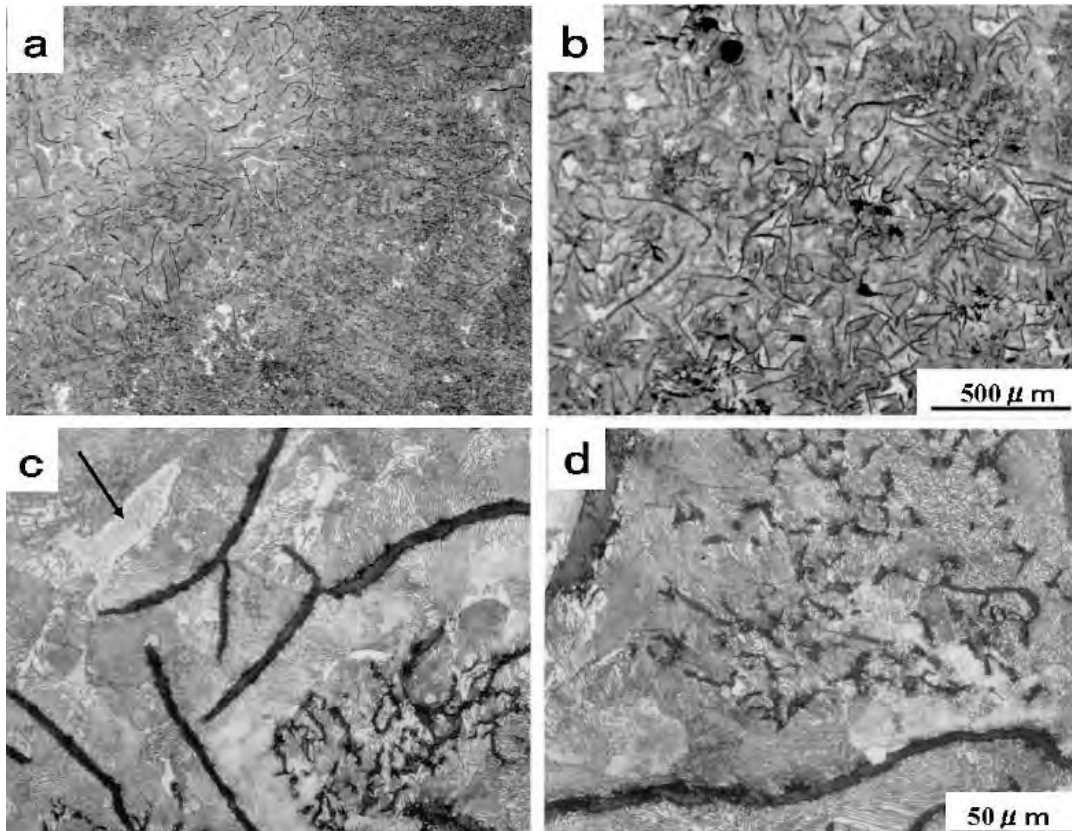


図 13 梵鐘 3 の堰のマイクロ組織 (a)、(b) 端、(c)、(d) 中央

表 4 に獣脚付容器と風鐸の成分分析結果と配合組成を示す。なお、配合比は表 2 に示すようである。配合組成はそれぞれの元素の歩留まりを 100% とした。

この分析結果から、鑄造復元品は 3.0 ～ 3.5%C、1.7 ～ 2.1%Si の範囲にあり、組織的にも比較的ばらつきが少ない。それぞれの試料の No. 1 ～ No. 3 では、0.2% ～ 0.5% 炭素量が減少した。梵鐘の鑄込み実験の際に認められた脱炭が起こっている。Si 量は配合計算値に比べ 0.3 ～ 0.6% 増加しているが、この増加の割合は梵鐘の鑄造時の値に比べて数倍高い値である。また、同一配合比で溶解しているにも関わらず、成分のばらつきが多少生じている。これは注湯準備ができて型との合わせなどに時間がかかり、溶湯が高温で保持される湯待ち時間の違いによるものと思われる。

図 14 に獣脚付容器（羽釜タイプ）の見切り線部に生じた鑄ばりの断面組織を示す。組織観察は鏝に最も近い位置の鑄ばり（1.5 mm 厚さ）の根元である。(a)、(b) 共に初晶オーステナイト（共析変態によって素地はパーライト）のデンドライトが観察されるが、(b) の表面では、表層部に素地とは異なる組織（1 層）が観察される。図 15 にそれぞれの位置における拡大組織を示す。

図 14 (a) の鋳ばり中央部では、3 種類の組織から構成される。白色で楕円状のデンドライトは全面が白色のフェライトの場合と周囲はフェライトで中央部が暗灰色のパーライトの場合である ((a) の拡大組織 (c) の矢印 A 参照)。これらの粒界の黒色部はパーライト地に片状黒鉛を晶出した領域である。これよりもやや明るい灰色部分はフェライト地に微細な共晶黒鉛を晶出した組織である (図 15 矢印 B を参照)。図 14 (b) の表面部では、(a) と同様な組織であ

るが、暗灰色の領域では、パーライト地に片状黒鉛を晶出する形態と、パーライト地に粒状の微細なセメンタイトを晶出 (図 15 (d) 矢印 D を参照) する 2 つの形態が観察される。また、やや粗大なセメンタイトも観察される (図 15 (d) 矢印 C を参照)。

鋳ばりは 1.5 mm と薄いのが、獣脚付容器 (羽釜タイプ) 表面に近い部分を試料として採取したため、白銹化しておらず、片状黒鉛と共晶状黒鉛を晶出する形態である。また、鋳ばりの表

表 4 獣脚付容器と風鐸の成分分析値と配合計算値 (mass%)

試料No.	Total C	Si	Mn	P	S
容器1(羽釜タイプ)	3.19	1.79	0.35	0.083	0.022
容器2(羽釜タイプ)	3.24	1.73	0.32	—	0.022
容器3(獅嚙タイプ)	3.52	2.05	0.42	0.12	0.030
容器1(羽釜タイプ)配合	3.70	1.42	0.36	0.096	0.016
容器2(羽釜タイプ)配合	3.31	1.02	0.26	0.103	0.02
容器3(獅嚙タイプ)配合	3.70	1.42	0.36	0.096	0.016
風鐸 1	3.26	1.77	0.35	0.083	0.021
風鐸 2	3.01	1.80	0.29	—	0.023
風鐸 3	3.13	1.76	0.30	—	0.024
風鐸1配合	3.70	1.42	0.36	0.096	0.016
風鐸2配合	3.31	1.02	0.26	0.103	0.02
風鐸3配合	3.31	1.02	0.26	0.103	0.02

Total C, S: 燃焼—赤外線吸収法、Si、Mn: 誘導結合プラズマ発光法、P: モリブド磷酸青吸光度法、(—): 試料が少ないため、分析していない

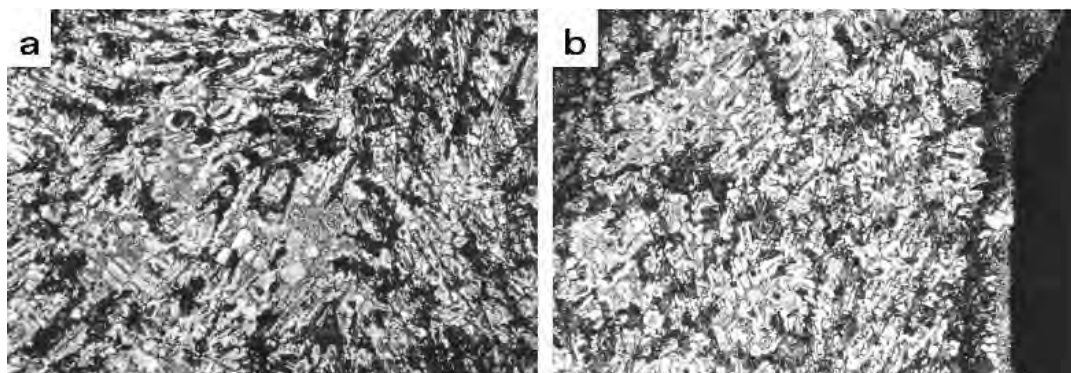


図 14 獣脚付容器 (羽釜型) のミクロ組織、鋳ばり厚さ; 1.5mm (a) 断面の中央部、(b) 表面部

面側組織は中央部に比べ、凝固速度がやや大きいため、セメンタイトを晶出している。

図 16 に図 14 の表面で観察される表層部のミクロ組織を示す。(a) は暗灰色、(b) は明灰色の領域である。(a) はパーライト地に片状黒鉛が晶出した形態で、パーライト (初晶オーステナイト) の粒界に沿って黒鉛が晶出する。(b) では、フェライト地の共晶黒鉛 (矢印 B) とフェライトのデンドライト (矢印 C) が観察され、デンドライトのアーム間隔も図 15 に比べ、若干狭い。

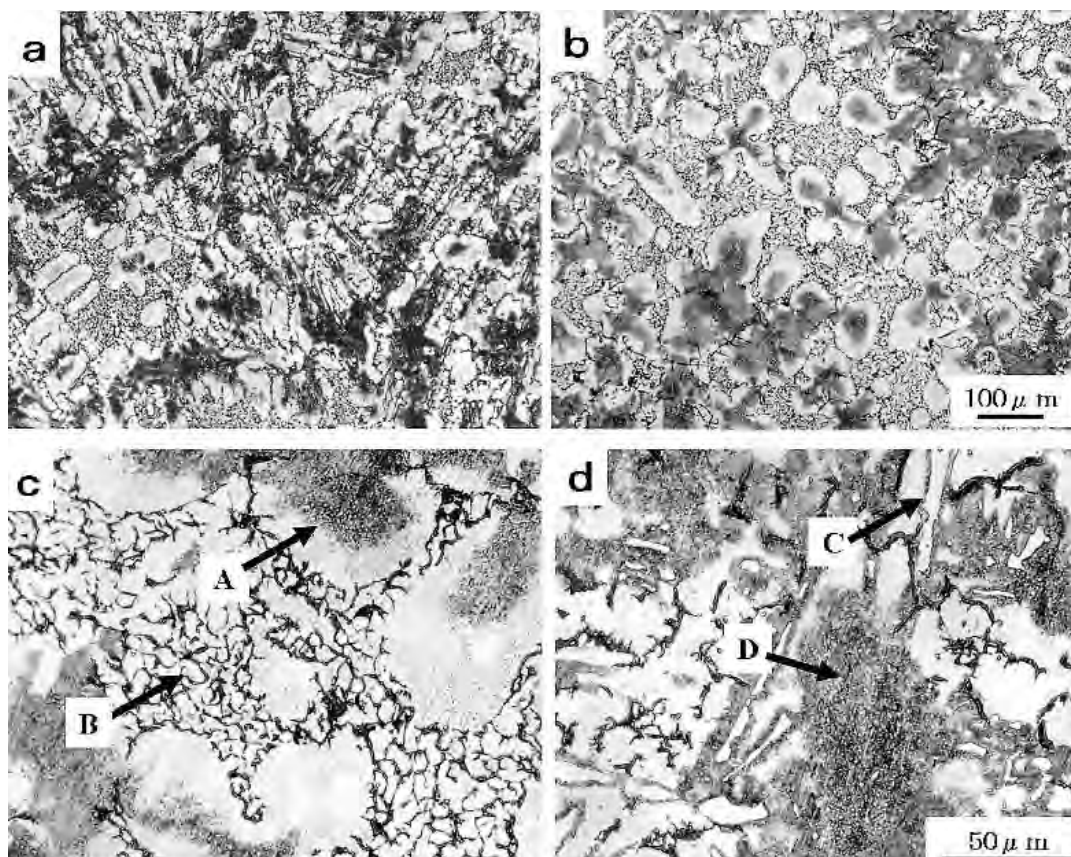


図 15 獣脚付容器（羽釜型）鋳ばりの拡大組織 (a)、(b) 中央、(c)、(d) 表面

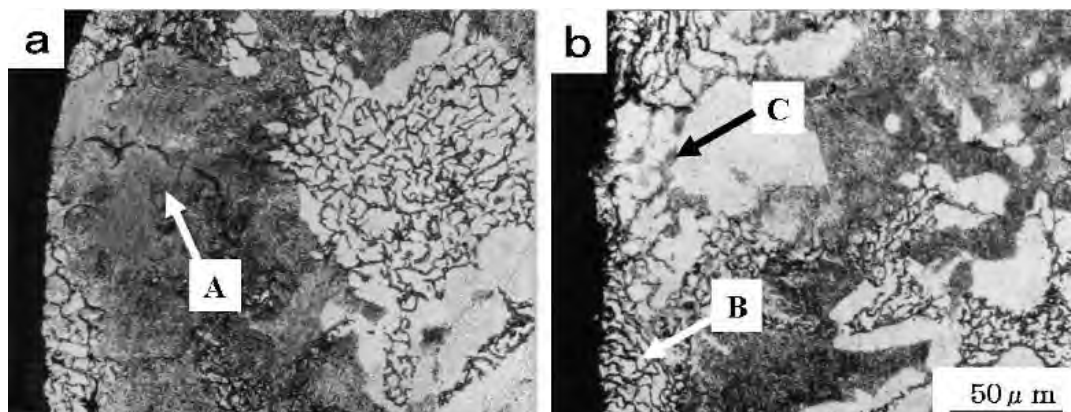


図 16 鋳ばり表面部の拡大組織

2) 鋳鉄溶湯の脱炭

梵鐘 1 では、著しい C 量の低下（脱炭）が起こったことから、高周波誘導溶解炉を用い、鑪鉄による脱炭実験を行い、そのミクロ組織観察を行った。溶解炉には 4kHz の高周波誘導溶解炉を用い、シリカるつぼで表 5 の組成の鑪鉄 1.3 kg を図 17 の溶解線図に従って溶解し、6 号珪砂の CO₂ 型に鋳込んだ。試験片サイズは 10 × 30 × 100 mm である。試料の組織観察位置は押し湯直下の試験片上端面である。

鑪鉄の溶解後、昇温し、1550 ～ 1600℃で 10 分間保持した。電源を切って、るつぼ中で自

然冷却した際、溶湯面から激しく火花が吹き上げた。この火花は溶湯中に溶解した酸素が溶湯の炭素と反応し、CO となって放出されることによって起こると考えられる。液相線温度付近から、再度加熱し、同様に 10 分間保持を行い、放冷させ、さらに加熱後に 5 分の保持後、鋳型に鑄込んだ。

表 5 に鑄込み試料と比較のための梵鐘 1 の成分分析結果を示す。試料は繰り返し加熱・保持のサイクルによって、0.55% 脱炭した。Si と P は、ほぼ元の材料成分と一致し、Mn と S も若干減少した。梵鐘 1 は脱炭実験の試料よりも脱炭が著しいが、Si と Mn が増加した。この理由については、3－1) 項で述べた。

図 18 に断面のミクロ組織を示す。組織は灰色のパーライトとセ

メンタイトから構成されている。セメンタイトは初晶オーステナイトの粒界と内部にも針状の形態で分布している (a)。拡大組織 (b) では、図 7 の梵鐘 1 よりもセメンタイトが塊状の形態をしている。塊状セメンタイトの中央部には灰色で粒状の MnS が観察される。

以上の結果から、梵鐘 1 の溶解条件は高温で溶湯をやや長時間保持されたことによって、C 量が低下し、これに伴って液相線温度が上昇した。このことは溶湯の湯流れが悪くなり、また、引け性が強くなり、図 4 の外観に示すように湯回り不良と割れを引き起こしたと考えられる。

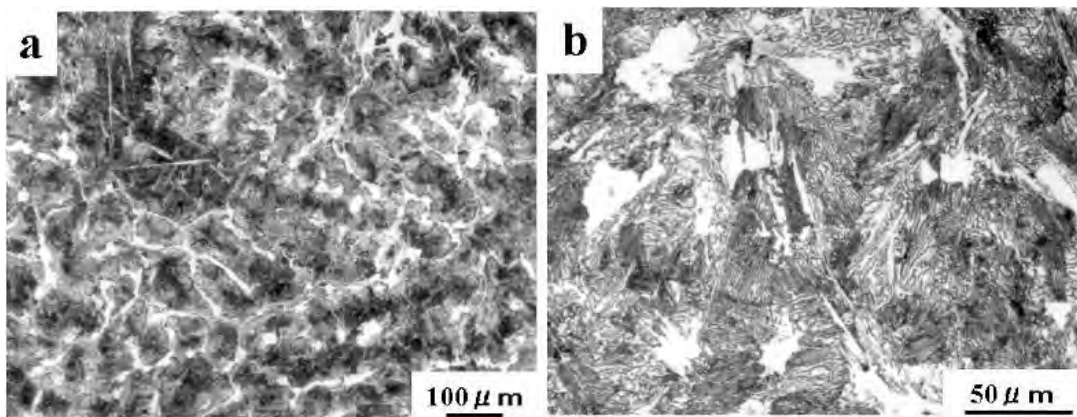


図 18 脱炭実験による試料のミクロ組織 (a) セメンタイトの分布、(b) 拡大組織

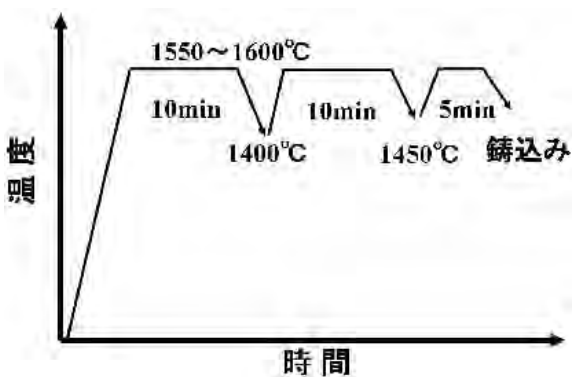


図 17 脱炭実験の溶解工程

表 5 鑄鉄の脱炭後の試料の成分分析結果 (mass%)

試料No.	Total C	Si	Mn	P	S	Ti
鑄鉄 *1	2.27	0.022	0.008	—	—	0.002
鑄鉄 *2	2.31	0.02	0.05	0.12	0.029	—
脱炭試料 *2	1.65	0.02	0.01	0.13	0.016	—
梵鐘1	1.47	0.13	0.037	0.099	0.017	0.001

* 1 Total C : 燃焼—赤外線吸収法、Si : 二酸化珪素重量法、Mn : 誘導結合プラズマ発光法、P : モリブド磷酸青吸光度法、S : 燃焼—赤外線吸収法、Ti : 誘導結合プラズマ発光法

* 2 発光分光分析法

3) 梵鐘の組成と組織の検討

今回の復元実験で制作した铸铁铸件は、獣脚付容器と風鐸を除き、いずれも Si 量の少ない範囲である。これらを Fe-C 系 2 元合金平衡状態図(注 5)で示すと、図 19 のようになる。ただし、黒鉛が晶出していない梵鐘 1 及び鑪鉄は Si 量が 0.1% 程度以下であることから、C% でのみで示した。また、Si は黒鉛化促進元素であるため、黒鉛が晶出し、かつ Si 量の多い梵鐘 2、梵鐘 3、獣脚付容器(●)、風鐸(△)は炭素当量 ($CE; = C\% + (Si\% + P\%)/3.2$) を便宜的に C% として表示した。

梵鐘 1 は過共析炭素鋼で液相線温度が 1430℃であるため、鑄込み温度が +100℃程度とすると、溶解温度が高くなり、かつ凝固収縮及び凝固後の収縮が大きい。梵鐘 2 は鑪鉄よりも C% が高く (CE 値で)、かつ Si を 1.2% 含むため、黒鉛化が促進されるが、図 9 の堰の組織では、粒界に黒鉛の晶出やセメントタイトの晶出が観察された。梵鐘 3 の Si 量は少ないが、C が過剰に入ったため、過共晶であり、堰の組織は完全パーライト地に片状黒鉛と共晶黒鉛が晶出した。獣脚付容器(羽釜タイプ)と風鐸は共晶に非常に近い亜共晶組成で、液相線温度も低く、鑄造性が最も良い条件である。また、Si 量も高いため、黒鉛化が促進される。獣脚付容器(獅嚙タイプ) 3 は他の組成に比べ、C、Si が共に高い。

相馬地域から発掘された鉄塊系遺物の解析例として、大沢は山田 A 遺跡の鉄類の組織を 2 例報告している(注 6)。平成 3 年度の「砂鉄製錬系小鉄塊」は亜共晶の白铸铁で、初晶オーステナイトの晶出量は図 1 よりも若干多く、組織の大きさから、凝固速度が大きいと、C 量は 2.3 ~ 3% 弱程度と見積もられる。また、「鑄込み失敗鉄斧」の内部組織はレデブライトで、組織写真からは塊状黒鉛の晶出が見られず、組織的には共晶組成と推定される。平成 8 年度の「鉄塊系遺物」の 3 例は過共析鋼、1 例は過共析鋼と亜共晶白铸铁、1 例はフェライト + 若干のパーライトである。詳細な成分分析値が報告されていないが、相馬地域周辺から採取された砂鉄を原料とした製鉄によって得られた「ずく」を鑪で溶解・鑄造したと仮定する。この時の製錬鉄の Si 量は 0.2 ~ 0.6% 程度(注 7)と想定される。また、溶解によって加炭されることと、炉の昇温過程での Si のロスと、炉自体の昇温能力と鑄造性を考慮するならば、大まかではあるが、鑄造鉄器は上述の値以下の低 Si で、C の組成範囲は図 19 の横矢印の範囲と考える。ただし、Si 量は溶解時に舶載鉄器の同時投入がないものと仮定している。Si 量が少ないことで白銑化しやすいが、梵鐘の場合、打鐘音の減衰が少ないことが機能として求められるため、横

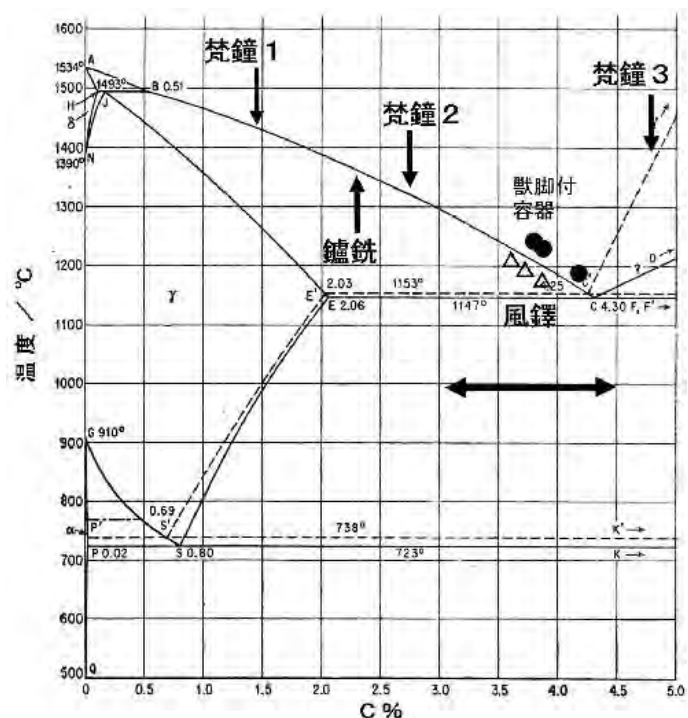


図 19 Fe-C 系 2 元合金状態図上での復元品の C 量

矢印の C 量がやや低い側の成分範囲が妥当と考える。

4 おわりに

相馬地域の 9 世紀前半と推定される大規模な製鉄遺構から発掘された鉄器の鋳型を基に、鋳鉄品の復元実験を行った。結果は以下のである。

梵鐘 1 (1.47%C-0.13%Si; 過共析鋼) は湯回り不良と割れが生じた。梵鐘 2 (2.37%C-1.17%Si; 亜共晶鋳鉄) は若干の肌荒れと堰の引けが観察されたが、音の減衰も少なく、鐘としての機能が最も優れる。梵鐘 3 (4.62%C-0.26%Si; 過共晶鋳鉄) は最も鋳肌と形状が良好であったが、片状黒鉛の晶出によって、打鐘音の減衰が著しい。

梵鐘の堰の部分の組織比較では、それぞれの組成に対応した組織である。梵鐘 1 は初晶セメンタイトとパーライト、梵鐘 2 は初晶オーステナイト (パーライト) の周りが共晶黒鉛及びセメンタイトの組織である。梵鐘 3 はパーライト素地に片状黒鉛とコロニー状の共晶黒鉛が晶出する組織である。

獣脚付容器と風鐸は組成範囲がほぼ同程度で (3.0 ~ 3.5%C-1.7 ~ 2.1%Si; 亜共晶鋳鉄)、最も鋳造性に優れる。獣脚付容器表面に最も近い領域の鋳ばりの組織では、初晶オーステナイト粒の周囲に共晶黒鉛あるいはセメンタイトの晶出も観察された。復元品は薄肉のため、これらの混在する組織であることが考えられる。

最後に鋳造した鉄器類の化学分析をしていただきました小酒部雅敏氏 (スタンダード試験、(現) 当センター南支所) 並びに佐々木幸夫氏 (当センター材料グループ) に深く感謝いたします。

<注・参考文献>

- (注 1) 福島県教育委員会・福島県文化センター・地域振興整備公団「本文 2、第 2 編 山田 A 遺跡」『相馬開発関連遺跡調査報告 V』1997 年
- (注 2) 福島県教育委員会・福島県文化センター・地域振興整備公団「向田 A 遺跡」『相馬開発関連遺跡調査報告 I』1989 年
- (注 3) 鈴木勉氏の提供による
- (注 4) 例えば、岡田正三、依田連平『金属材料組織図説—鋳鉄編』養賢堂 1953 年、42 - 49
- (注 5) M. Hansen: "Constitution of Binary Alloys", McGraw-Hill, 2nd Ed., NY USA, (1964)
- (注 6) 福島県教育委員会・福島県文化センター・地域振興整備公団「大澤正己 付編 7、相馬市山田 A 遺跡出土製鉄関連遺物の金属学調査 (平成 3 年度・平成 8 年度分析調査試料)」『相馬開発関連遺跡調査報告 V』1997 年
- (注 7) 福島県教育委員会、福島県文化振興事業団「平井昭司、加藤将彦、村岡弘一、岡田往子:「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分析及び金属学的組織」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2004』2005 年

福島県文化財センター白河館

研究紀要 2005

平成 18 年 3 月 31 日発行

編集 財団法人福島県文化振興事業団
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 <http://www.mahoron.fks.ed.jp>
発行 福島県教育委員会
〒960-8688 福島市杉妻町2-16
印刷 株式会社 阿部紙工
表紙デザイン 久家三夫

福島県文化財センター白河館
研究紀要2005

