

平成 27 年 5 月 10 日現在

機関番号：13201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24652031

研究課題名(和文) 失木鑄造技法の研究

研究課題名(英文) Study of lost-wood casting process

研究代表者

三船 温尚 (MIFUNE, HARUHISA)

富山大学・芸術文化学部・教授

研究者番号：20181969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：シベリア遊牧民青銅器フクの縄状文原型に羊毛など5種類の縄を使用した鑄造実験から、これらが、焼失原型鑄造法の原型材料になりうるということが判明した。さらに、木の原型を鑄型で包み、鑄型焼成で木を燃焼消失させ、青銅を鑄造する実験をおこなった。800 程度を長時間保持すれば、硬質な樹種の木材原型を消失することが分かった。木材の消失によって得られた鑄型空隙部に青銅を流しこみ、直方体枠型の作品制作を試みた。表面に多少のトラブルはあるものの、健全な青銅鑄物を制作することができた。

研究成果の概要(英文)：Authors made casting experiment to consider the casting process of Siberian bronze cauldrons. As materials for model, mutton tallow and five kinds of cords were used. While firing the clay mold, model was burn and lost, and bronze took its place. It proved that those materials can be used for making model of "lost model casting process"

An experimental study was conducted in order to attest the possibility of "lost-wood process" in antiquity. In the course of the experimental study, original models from various types of wood were covered by molding clays and the original models were removed through heating. Using the clay molds, cast bronze objects were also produced. The experimental study demonstrated that, regardless of different types of wood, the wooden original models were removed under the general condition of mold heating, i.e., long-maintained temperatures over 800 °C, and that bronze objects were successfully produced through the clay molds.

研究分野：鑄金工芸、鑄造技術史

キーワード：燃焼消失鑄造技法 鑄型非分割 羊毛縄原型 木棒原型 古代鑄造技法 青銅鑄物

1. 研究開始当初の背景

古代鑄造技法は、現代に伝承される伝統的な3つの鑄造技法(①込型鑄造法、②蠟型鑄造法、③惣型鑄造法)を基として研究されてきた。青銅器に分割痕跡があれば、分割痕跡が無ければ、青銅器に回転痕跡があればとし、組み合わせる複合的な方法や、鑄型の材質が現代に無いものによる方法などを想定して、古代技法を解明しようとしてきた。研究が進み、多くの国際的な研究成果を研究者が共有するに及んでも、解明には至らなかった。シベリア遊牧民青銅器の鍍の胴部にある縄状文が蠟などでは造形できないことや、中国北方系青銅器の獣頭金具や刀子に実物の紐を巻き付けて、非分割鑄型(分割線が無い)で鑄造した可能性があること、同じく北方系青銅器に布目をポジ型にして鑄造したものがあつたこと、東大寺金銅八角燈籠のように指し物技術による木工品を原型にして非分割鑄型で鑄造したのではと考えられる幾何学的精度の高い鑄造品があることなど、従来の3つでは説明できない青銅鑄物があつた。

一方で、譚徳観、華覚明は蠟型鑄造(失蠟法)に先行して殷代青銅器の原型の一部に木材、植物繊維、澱粉などの可燃性の材料を原型に用いて鑄造する「焚失法」があつたとした。周衛栄は、木材や澱粉は吸水や亀裂、変形の問題があつたこと、燃えカス(灰)処理法の問題から「焚失法」を批判した。その後、1994年には譚徳観が殷周青銅器の卣の釣手を実際の縄を原型にして分割鑄型で焼成した後、鑄型を開けて灰を取りだして鑄造した実験を報告した。

このように、一部の古代青銅器の鑄造技法に、実物の木や縄、布などを原型として燃焼消失法(焚失法)で鑄造する方法を実験などで検証しなければならない段階にあつた。中国北方系青銅刀子の紐の巻き方は、巻かれるものの材質が硬く無ければ強く密に巻けないことと鑄型の分割痕跡が無いことから、木製の刀子の柄に紐を巻いて非分割鑄型で木と紐を燃焼消失して鑄造したと考えられる。また、天平時代の大型の青銅鑄物のなかでも幾何学形態で他の仏像とは異なる東大寺八角燈籠の八角柱の火袋枠は縦8本、横32本の直棒を組んで羽目板や扉を鉋止めしている。この火袋には鑄型分割の痕跡となる、鑄バリ跡や鑄型ズレの段差跡などは、目視観察では確認できない。観察のとおり、非分割であれば、消失原型を用いて鑄造する他は方法が無いが、蠟で巨大で真っ直ぐな八角柱の原型を作ることが可能なのか疑問である。紐、縄、木棒の非分割鑄型で青銅鑄物は問題なく鑄造できるのか、実験と調査を行う必要があつた。

これまで、蠟以外の古代消失原型法を体系的に研究した例は無い。木のような焼失しにくいと思われるものへのアプローチも無かつた。こういった背景のなか、萌芽的研究として取り組むべきと考えスタートした。

2. 研究の目的

鑄造技法は、新たな社会の需要によって、工人たちによって創出されてきた。逆に、需要の消失で技術の消滅に至ることもあつた。世界の青銅器技術の最高水準に至る東アジアの青銅鑄物の歴史4千年の中で、現代人の想像以上にダイナミックに展開されたと考えられるべきかもしれない。このイメージを持って古代技法研究に取り組むことが、解明に近づくとと思われる。

古代鑄造技法研究は、現代の鑄造技術者の技術・知識を参考に考古学的アプローチによって、主に考古学論文のなかで発表されてきた。いわば、近現代の技術枠からはみ出す検討は為されなかつた。それによって生み出された幾つかの定説には、見直し訂正が必要と思われるものもある。

木や紐、藁、布を原型にして跡方も無く燃やし尽くして、その空隙に鑄造するという今に無い古代技法が解明できれば、近現代の技術枠の狭さを認識することとなり、今後の各古代技術研究の方法を提示することができる。解明によるばかりか、挑戦的な研究を推進することにより、青銅鑄物技術に限らず、人類のモノづくり技術の発展、衰退、消滅を捉えなおすことができるのではと考えこれを目的の一つとしている。

世界の鑄造技術史研究のなかで、燃焼消失原型鑄造技法の存在が認識されれば、古代技法研究の進展が期待できる。さらに、現代に伝わっていない技法が解明できれば、現代の新しい鑄造技法として蘇らせることができ、美術、工芸鑄物に限らず工業鑄物製品にも展開できる。古代技法研究ではあるものの、将来の新価値創出につながることを目的としている。

3. 研究の方法

陶製鑄型の焼成による、縄(馬の尾の毛、麻、羊毛、人の頭髪、革紐)の燃焼消失、木の燃焼消失の実験を行い、引き続き、その鑄型に青銅を鑄造して鑄造欠陥を検討した。最終的には15cm×17cm×47cmの四角柱枠の青銅製品を鑄造して、鑄造欠陥の確認をおこなつた。

実験と並行して青銅器調査をおこなつた。まず、中国北方系青銅器鍍2点(横浜ユーラシア文化館所蔵)を調査した。特に縄状の一对把手の鑄造方法について燃焼消失原型鑄造法の可能性を検討した。

次に、殷周青銅器の卣16点(泉屋博古館所蔵)の釣手を調査した。卣本体の両側面にある出ホゾに釣手各両端が嵌って抜けない可動式になる方法や、本体両側面にある半環内部を釣手両端にある青銅棒や円環が貫通して連結し可動式になる方法を調査した。卣釣手5形式のうちの3式は釣手と釣手両端円環が縄状であり、一部に鑄型分割跡があることから、1994年の譚徳観の実験報告に関連す

るものである。

次に、東大寺（奈良市）大仏殿前にある金銅八角燈籠の調査を行った。一般拝観者が退場した後に、八角燈籠脇に2種類（高所中距離計測用、近距離計測用）の足場を組み、3D計測をおこなった。計測には2種類の機種を使用した。全体の計測はFARO社の「Focus3D」でスキャンし、計測点間距離は約2mmであった。火袋や羽目板などの計測はGOM社の「ATOS Compact SCAN 5M」でフレームとレンズは「500-1200MV」でスキャンし、計測点間距離は0.481mmであった。

4. 研究成果

実験・調査の成果としてつぎのようなものがある。

鍔の把手を想定して、藁縄原型から非分割陶製鑄型で焼失して青銅で鑄造した（図1）。縄は細い稲茎を燃っているため、焼失しやすいと思われたが、炭化して後の焼失には時間がかかり、必ずしも空気を多く取り込む構造のものの焼失が早いという訳では無かった。



図1 藁縄焼失法

軟質な杉、硬質なクヌギの棒（長さ30cm、太さ1.5cm）を非分割鑄型で包んで鑄型焼失を行う基礎実験を試みた。木の軟硬質は、焼失には関係が無く、木が炭化した後は、その炭素が焼失しやすいか否かによる。木材はおおよそ500程度まで炭化し、さらに加熱して炭素が二酸化炭素になり焼失する。木のなかにあるカルシウム、カリ、シリカなどの無機成分が灰として残る。日本産の木材は1%以上の灰成分を示す例は稀であるため、主成分が消失すれば鑄造には問題が無い。基礎実験を参考に、焼失のための空気取り入れ孔を多く設けて高さ47cmの杉棒原型で青銅を鑄造した（図2）。予想通り灰の影響は無かった。なお、籾殻の無機成分は木よりもはるかに多いため、灰になって残りやすい。無機成分の多い材で原型を作る場合は譚徳観の実験のように、部分的であっても分割鑄型構造にし、これを開いて灰を噴き出す必要がある。

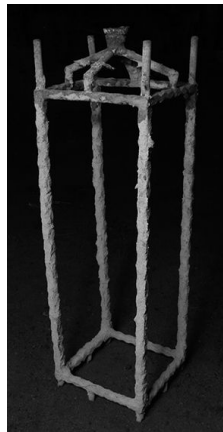


図2 木枠焼失法

部分的に焼失消失原型鑄造法を用いたと考えられるものに、鉤の釣手がある。調査による鑄型分割痕跡収集から3式の縄状釣手に部分的分割方法の藁焼失消失原型法が用いら

れ、この3式から展開したと考えられる4式、5式の釣手両端の円環部分だけに藁縄原型が使用され、3式の全体藁縄原型が部分的に円環だけに残り継承されたと結論した。具体的には図3（泉屋博古館所蔵鉤）の5式の犠首の最背部に作られた円環であり、下1/3が非分割の焼失消失原型の部分になる。（図3の白矢印）鉤の釣手5式は、犠首が付き難解だが、それを理解するために簡易的な実験を行った。図4は鉤本体に付く半環とそれに通した藁縄の釣手両端に付く円環である。それに鑄型土を付けて分割鑄型を作る。図5で示すように、円環の下1/3は半環を覆った土の内部に埋め込まれる。円環は上2/3が横断面の1/4が鑄型を開いて露出した状態で焼失する。図5の次工程は外鑄型を複数個に分割して作る。



図3 鉤釣手円環部



図4 鉤釣手実験



図5 鉤釣手実験

この鉤の釣手の鑄造技法を、縄原型の焼失消失技法であることを提示して1式~5式全ての釣手の鑄造技法工程を解明したことにより、2014年8月にアジア鑄造技術史学会「研究大賞」を受賞した（次項目の発表論文4）。



図6 八角燈籠3D図

図2の木枠鑄造実験の成功を経て、東大寺八角燈籠の3D計測を行った。まず、8方向のポリゴン図（図6）を入手した。次に、火袋それぞれの縦柱の平面度を数値化し、火袋に任意位置の横断面図を複数作成し、その断面図のズレ度合いを確認した。これらの詳細内容の論文発表は2016年を予定し、現在考察を進めている。

ここに示した図 1,2,3 は既に論文発表し、図 4,5 は口頭発表した。図 6 は学会誌において概要発表している。

このほかに、氷見市上日寺行田池出土の半鐘は雨乞いに使われて池に投げられたと考えられているが、この半鐘の乳が特殊な形状で、木製の乳原型を鋳型に埋め込んで燃焼消失した可能性を指摘した。薬師寺東院堂聖観音菩薩立像の垂下する衣の原型に木彫原型を使用した可能性を指摘した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

1. 児島大輔、三宮千佳、三船温尚、八坂寿史 2015「東大寺八角燈籠の 3D 計測」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS7 号、査読有、pp.171-174

2. 大野究、森崎拓磨、金森正有、島添貴美子、長柄毅一、三船温尚 2015「富山県氷見市上日寺行田池出土の薄肉半鐘の検討 雨乞いと半鐘について」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS7 号、査読有、pp.61-78

3. 三船温尚、三宮千佳 2015「薬師寺東院堂聖観音菩薩立像の鋳造技術」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS7 号、査読有、pp.155-170

4. 廣川守、三船温尚、2013「X線 CT スキャンと范線調査から検討する貞釣手鋳造技法の変遷 泉屋博古館所蔵青銅器について」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS6 号、査読有、pp.35-60

5. 三船温尚、畠山禎 2013「鍍の鋳造技法—横浜ユーラシア文化館所蔵中国の鍍について」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS5 号、査読有、pp.27-44

6. 田尾望、三船温尚、長柄毅一 2013「失紙法の鋳造実験」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS5 号、査読有、pp.73-78

7. 荒友里子、畠山禎、高濱秀、三船温尚 2012「南シベリアの青銅鍍の鋳造技術に関する調査と実験」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS4 号、査読有、pp.1-28

8. 三船温尚、長柄毅一、畠山禎、高濱秀、劉治国、荒友里子 2012「失木法の鋳造実験」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS4 号、査読有、pp.45-54

9. 三船温尚、畠山禎、高濱秀、長柄毅一、劉治国、荒友里子 2012「古代における燃焼消失原型鋳造法の使用の可能性」アジア鋳造技術史学会誌 FUSUS4 号、査読有、pp.55-62

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 森崎拓磨(代表)、大野究、金森正有、島添貴美子、長柄毅一、三船温尚「氷見市上日寺行田池出土の薄肉鋳造半鐘の調査報告」2014年9月21日、京都市国際交流会館(京都府・京都市)

2. 廣川守(代表)、三船温尚「貞の釣手の鋳造技法」2012年8月26日、愛媛大学(愛媛県・松山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三船温尚 (MIFUNE Haruhisa)
富山大学 芸術文化学部・教授
研究者番号：20181969

(2) 研究分担者

長柄毅一 (NAGAE Takekazu)
富山大学 芸術文化学部・教授
研究者番号：60443420