

<実践報告>

精密鑄造における木炭と藁を用いた鑄型焼成法
 -ロストワックスプロセスにおいて-

岩永啓司 長野県立木曽青峰高等学校
 木村 仁 信州大学教育学部芸術教育講座

Mold Burning Method Using Charcoal and Straw for Precision Casting
 - In the Lost Wax Process -

IWANAGA Keiji: Nagano Prefectural Kiso Seiho High School
 KIMURA Hitoshi: Art Education, Faculty of Education, Shinshu University

研究の目的	鑄型焼成において焼成窯を用いず鑄型を焼成する技法の開発。
キーワード	精密鑄造 銀のアクセサリ ロストワックス
実践の目的	焼成窯の設備を備えていない条件下における鑄型焼成技法の開発
実践者名	第一著者と同じ
対象者	長野県立木曽青峰高等学校3年生(1名)
実践期間	2012年1月~2月
実践研究の方法と経過	本実践は、長野県木曽青峰高等学校インテリア科デザインコース卒業制作の課題において、粘土タイプのシルバークレイを用いて制作を試みたが、シルバークレイによる造形を続けることが難しくなったため、木炭と藁を用いた焼成法を用いてロストワックス鑄造で制作を行った。
実践から得られた知見・提言	鑄型を焼成するための十分な施設を持たない局面において、どこにでもある材料を用いながら鑄造に耐えうる鑄型焼成法を模索した結果、我が国に伝わってきた鑄造技法を応用することにより解決の糸口を見いだせた。伝統技法を現在に応用してゆく事で、新たな可能性を見いだすことが可能となる。

1. はじめに

本実践は、長野県木曾青峰高等学校インテリア科デザインコースの3年対象の科目、実習の中で卒業制作の課題の一つで、シルバークレイ（純銀粘土）^{註1)}を用いた指輪制作における活動をまとめたものである。シルバークレイとは、微粉末状の純銀にバインダー（結合材）^{註2)}と水を練り合わせることで可塑性を持たせ、焼成時にはバインダーの燃焼と水分の蒸発によって製造する技法で、伝統的な鑄造技法に比べ、安易に造形することができる金属素材である。一般的に市販されているシルバークレイには、大きく分けて、塑造的な造形に適した粘土タイプと形状の異なるノズルを付け替えることで繊細な透かし彫りや中空の技法に適したシリンジタイプ、乾燥した粘土タイプの接着やひび割れの補修を用途としたペーストタイプ、切ったり折ったりといった造形が可能なペーパータイプの4種類があり、創りたい形のデザインによって使い分ける必要がある（新日本造形, 2012）。

実習の中で生徒は、粘土タイプのシルバークレイを用意して指輪制作に取り組み始めたが、当初のデザインから次第にイメージが変化していった。最終的に透かし彫りによる唐草模様が入ったデザインを考え、制作を試みたところ、以下のような問題に直面した。

①水性粘土であるため乾燥した場合、水を加えて練り直すことで元の様に塑造が可能であるとされているが、完全に乾燥した場合、元の状態に戻すことができなかった（写真1）。

②生徒がイメージした指輪は透かし彫りのデザインであったため、粘土タイプのシルバークレイでは繊細な表現に限界があった。

③焼成の過程で水分の蒸発とバインダーの焼失によって焼結する際10%以上の収縮が起こるとされているが、原型を作る段階において、正確な指輪のサイズが出しにくい。

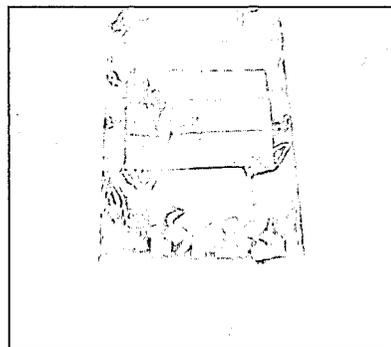


写真1 乾燥したシルバークレイ

以後、シルバークレイによる造形を続行することは困難であるという判断に至り、乾燥してしまったシルバークレイを溶かして地金に変え、ロストワックスを用いた鑄造方法で制作を行った。

2. 試行について

2.1 試行1（2012年1月20日）

〔材料〕 リングワックス、棒状ワックス、油粘土、耐火石膏、鑄型用の鉄製の枠

〔道具〕 七輪、七輪窯の蓋、穴の開いた棚板、木炭、温度計、ブローアー、カセットガストーチ、バーナーワーク用バーナー、耐火性溶解用皿、圧迫蓋、やっここ

(1)原型制作

指輪の原型をリング状の蝟材料^{註3)}を用いて制作する(写真2)。最も細い部分でも2mm程度の透かし彫りの唐草模様が入った指輪原型に直径2.5mmの太さの棒状ワックス^{註4)}で長さ1cmの湯道を作り、湯口となる円錐状にした油粘土の先端に湯道を差し込んだ。

鉄製の箱型の枠に湯口を下にした原型を置き、上から耐火石膏を流し込んで埋没を行った(写真3)。あがり^{註5)}は作らずに圧迫鑄造法で鑄込みを行う。

(2)脱蝟

埋没した鑄型を5日ほど置き、完全に水分が抜けたところで脱蝟を行った。七宝窯程度の小型な電気窯で脱蝟は簡単に行うことができるが、当校にはそうした設備が無く、陶芸の授業において制作した七輪窯を用いた脱蝟を考えた。七輪窯は、蒸籠のような構造をしており、七輪の上に筒状の本体と円錐状の頂点が穴状の蓋を載せたものである。七輪は燃焼室に当たり、筒状の本体は焼成室となるため、作品を置く棚板を孕み、側面には炭の投入口がついている。蓋についた穴は煙突の役割となり、ダンパー機能は穴を塞ぐ栓の調整で空気調節を行う(写真4)。脱蝟を行うに当たり蓋だけで鑄型1個分が入る容積を確保できたため、炭に火を熾した七輪の上に直接棚と湯口を下向きにした鑄型を置き、全体を蓋で覆う形にして使用した。温度計を確認しながらブローアーで風を送り、木炭を継ぎ足し800℃まで3時間ほどかけて鑄型の焼成を行った(写真5, 6, 図1)。

(3)溶解

溶解にはトンゴ玉制作などで使用するバーナーワーク用のガスバーナーの上に、教材として市販されている使い捨ての耐火性溶解用皿を用いた。この上にシルバークレイをのせて熱しながら、上からはカセットガストーチで溶解を行った。今回使用したシルバークレイは、焼結温度は650℃とされている650シリーズのものであったため、溶解も10分程度の過熱で容易に溶かすことができた(写真7)。

(4)鑄込み

鑄型は予熱として温度計(煙突から差し入れた熱電対で窯内の温度を計測)を目安におよそ800℃の状態を1時間ほど維持した後で七輪から取り出した。脱蝟と並行して溶解しておいた銀を鑄型に流し込んだ後も湯口部分を再度バーナーで加熱してから圧迫を行った。

(5)結果

割出してみると、銀は湯道を通ったところで止まり、作品のところまで湯が流れていなかった。原因として、鑄込む際の湯と鑄型の温度に問題があったと思われる。七輪を用いた脱蝟では、燃料となる木炭を入れる度に蓋と鑄型、それらが載っている棚を外さなければならなかったことに加え、七輪を使った脱蝟窯は密閉率が低いため、窯内の温度が一定に保たれず鑄型の内部まで十分に温めることができなかつたことが考えられる。

また、湯道として使用した棒状ワックスでは、直径が2.5mmと細く、湯口も小さかつたため、鑄型の枠の形状と湯道の太さを改善する必要がある。

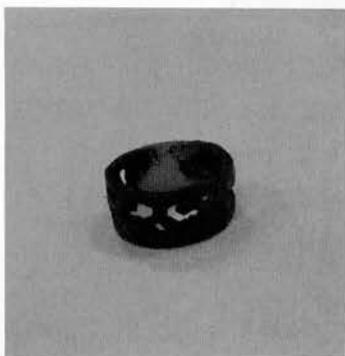


写真2 原型



写真3 鋳型



写真4 七輪窯



写真5, 写真6 七輪窯を使った脱蠟の様子



写真7 シルバークレイの溶解

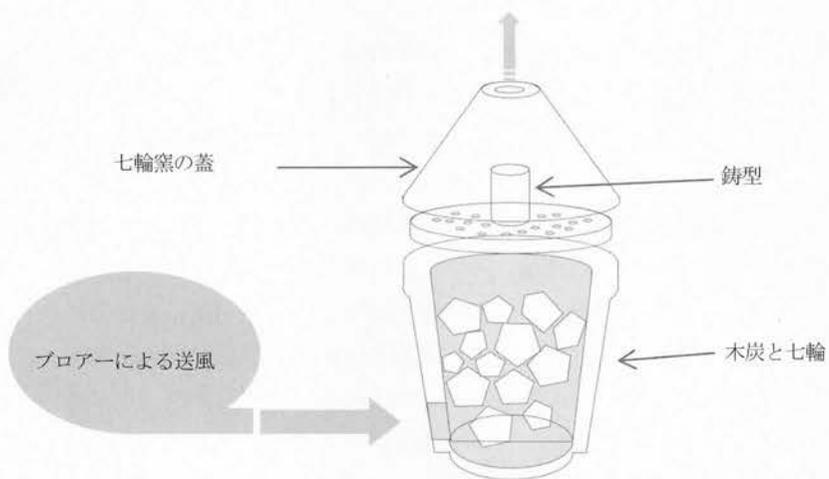


図1 七輪窯を使った脱蠟の構造

2.2 試行 2 (2012 年 2 月 6 日)

〔材料〕 リングワックス, 油粘土, ろうそく, 耐火石膏, アルミホイール, スチール缶
〔道具〕 七輪窯 (試行 1 と同じ), 木炭, プロアー, 耐火性溶解用皿, ガス溶接用トーチ, 圧迫蓋

2 回目の実験では, 鑄型の枠はスチール缶の上下の底を抜いたものを使い, 湯道にはろうそくを 5mm 程の太さにしたものを用いた. また, 鑄込む前には, 鑄型内部の温度と溶解した純銀の温度が十分上がっていることを色で確認して行った.

(1)原型制作

試行 1 と同様に透かし彫りの入ったデザインの原型を制作し, ろうそくから削りだした湯道で湯口とつなげた (写真 8). 1 回目に鑄型の枠として使用した鉄枠では湯口が小さくなってしまったため, 上下の底を抜いたスチール缶に変更した. 石膏が流出しないように湯口側はアルミホイールで覆い, 埋没を行った (写真 9).

(2)脱蠟

七輪を用いた簡易窯で脱蠟を行った. 800℃まで鑄型を温めたあと, 鑄込む直前にバーナーで湯口をあぶって鑄型内部を温める方法で行った.

(3)溶解

前回鑄込みに失敗した純銀の塊りをカセットガストーチで溶解しようとしたところ, 純銀の融点までなかなか温度が上がらず, 表面は溶かすことができても全体を温めることができなくなってしまったため, 途中からガス溶接用トーチに変えて溶解を行った (写真 10).

(4)鑄込み

純銀が完全に溶解し, 湯の表面が走る (融点に十分達した状態) のを確認した後で, 脱蠟を行っていた七輪の窯から鑄型を取りだし, ガス溶接用トーチの炎を湯口に当てて, 中が明るくなるまで温めてから鑄込み, 圧迫を行った (写真 11).

(5)結果

鑄込む直前にガス溶接用トーチの強い熱で鑄型をあぶったことで内部までしっかり温めることができたが, 同時に石膏の耐火限度を超える温度変化が加えられたため, 鑄型にクラックが生じ, その隙間から銀が流れてしまった (写真 12, 13).

純銀の溶解において, カセット用ガストーチでは, 温度が足りないことが判明した. 通常, シルバーアクセサリーや銀食器などの銀を用いた加工品において, 純銀 (99.9%以上) は非常に柔らかい性質であるため, 用いられることは極めて少ない (井上, 1982). ところが, 純銀に 5%~7.5%の銅を混入することで硬度を持たせることができる. そのため, 950 (5%の銅と純銀の合金) や 925 (7.5%の銅と純銀の合金) と呼ばれるスターリングシルバーが銀製品には多く用いられている (井上, 1982). 融点も 950 では 910℃, 925 では 893℃と, 純銀の 960.5℃より低いいため, 鑄造では溶解・鑄込が容易に行うことができる (ヒコ・みずの, 1974). 作品の耐久性, 作業効率を考え, 純銀ではなく 5%分の銅を混入した 950 に変えて制作を行うこととした.

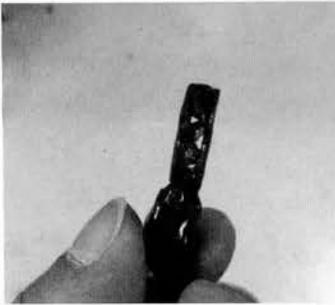


写真8 原型



写真9 鑄型



写真10 純銀の溶解



写真11 圧迫

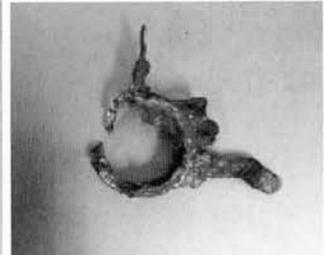
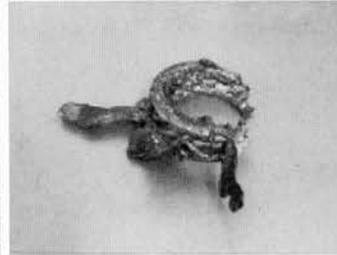


写真12, 13 割り出した指輪

2.3 試行3 (2012年2月8日~9日)

〔材料〕 リングワックス, 油粘土, ろうそく, 耐火石膏, アルミホイール, スチール缶

〔道具〕 七輪, 窯用の足, 木炭, 藁, 耐火性溶解用皿, ガス溶接用トーチ, 圧迫蓋

2回の実験を通し, 1回目の失敗の原因は鑄込む段階での鑄型内部の温度と純銀が融解した湯の温度の双方に問題があったことが判明した. 七輪窯を用いた脱蠟では, 木炭の燃焼に必要な空気の送風にブローアを用いて強制的に行っていたが, そのことによって冷気も一緒に窯内に送りこまれ, 同時に木炭も早く燃え尽きてしまっていたのである. そのため余計な燃料補給が必要となり, その度に窯内の温度変化が起きていた. また, 純銀の融点は高く, カセットガストーチによる予熱では十分に温めることができず, 湯が冷め易かった. 3回目となる試行では, 脱蠟の方法を変え, 純銀には少量の銅を混ぜて行った.

(1)原型制作

これまで通り, リング状ワックスを用いた透かし彫りのデザインの指輪の他に, 透かしや装飾の無いシンプルなデザインの原型を制作した. 鑄型は2回目と同様に, ろうそくで作った湯道とスチール缶の枠を使ってそれぞれ埋没し, 型ごとに鑄造を行った.

(2)脱蠟

はじめに, 七輪の中に鑄型をのせる台として電気窯で使用する短い足を置いた(写真15). 七輪の底に火のついた木炭を入れた後, 台と鑄型が埋もれるように周囲を木炭で覆う(写真16). 最後に酸素供給用の下口を閉め, 上口には20cm程の長さに切りそろえた藁を井

形になるよう、4層程度木炭の上に直接重ねて蓋とした（写真17）。七輪の周囲は、風防のためにコンクリートブロックを積み重ねた塀で囲った。

藁の蓋を被せてから15分程経つと藁が燃え始め、すぐに炭化状態となる。それ以降、炭化状態を保持しながら、七輪内部の保温と通気孔の役割を果たしていた（写真18）。

(3)溶解

（各金属の比重に関係なく）純銀の重量の5%分の重さの銅と一緒に、溶接用ガストーチを用いて溶解を行った。純銀の時に比べて短時間で溶かすことができた（写真14）。

(4)鑄込み

七輪で鑄型の焼成を始めて1時間程で炭化した藁の隙間から真っ赤になった熾きが確認できた（写真19）。さらに30分程経つと木炭が燃え尽き、鑄型の底の部分が見える状態になり、これ以降は鑄型の温度が下がると判断したため、銀の溶解を行う場所まで七輪を移動して鑄込み作業に備えた。十分に銀が融点に達したことを確認した後で七輪から鑄型を取り出し、湯を流し込んで圧迫を行った。

(5)結果

シンプルなデザインのリングはしっかり流れていた（写真20）。透かし彫りのデザインのリングは、一部流れていないところが見られたが、概ね成功していた（写真21）。

今回行った木炭と藁を用いた鑄型焼成法は、これまでの七輪を使った鑄型焼成法に比べて、短い焼成時間と少ない燃料消費でも安定して行うことができた。その上、実施した時期は冬ということもあり、0℃を下回る厳しい状況下であったが、鑄型内部まで十分に温度が上がっていた。上口を覆った藁は炭化した後も七輪内部の熱を閉じ込め、適度な藁の隙間からは燃焼ガスが放出されると同時に必要な酸素だけが供給され、木炭の燃焼が安定して行われたと考えられる（図2）。

カセットガストーチの燃料が不足したため、最後の溶解においてもガス溶接用トーチを用いて行ったが、純銀に比べて50℃も融点が下がったことで、量販店などで市販されているカセットガストーチでも十分に溶かすことができると考えられる。



写真14 純銀と銅

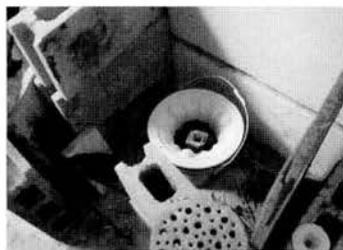


写真15
七輪の底に鑄型を置く
台を設置



写真16
鑄型を入れた後、木炭を
被せる

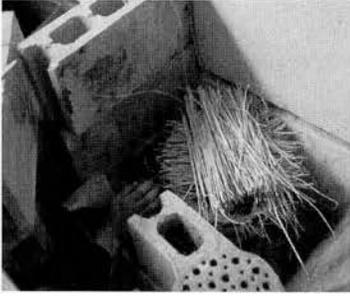


写真17 藁の蓋をする



写真18 藁の蓋が燃え

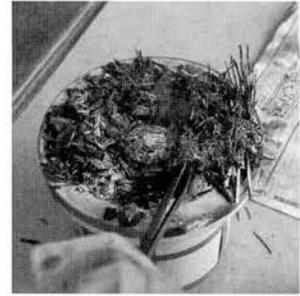


写真19 脱蠟完了



写真20 割出し
(シンプルなデザイン)



写真21 割出し
(透かし彫りのデザイン)

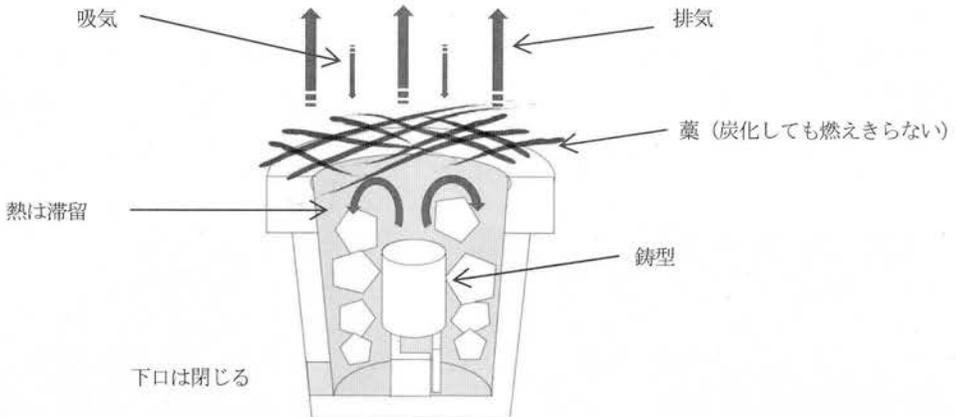


図2 木炭と藁を用いた脱蠟の構造

3. 実践を通して

これまで自身が美術教育に携わってくる中で、高校の美術に限らず、金属という表現素材に対して、高い興味・関心を示す子どもたちの姿が多く見られた。紙や粘土には無い、

硬さや光沢といった金属ならではの魅力や実材である金属が持つ抵抗感という制約といったものに向き合いながら、主体的に活動に取り組む子どもたちの姿と出会うことを通して、表現素材としての金属が持つ価値や教材としての可能性について考えるようになった。

今日では、美術教材においても作業効率や安全性が重視され、個々の題材が持つ意義よりも扱いやすいものや作りやすいものが好まれる傾向にある。今回取り上げたシルバークレイも、本来精密鑄造などによる加工が主流であった銀という素材を、粘土タイプや紙タイプ、接着や補修を目的にしたペーストタイプなど、身近で扱いやすい素材へと変化させたものである。鑄造の様に、蠟原型から金属への手間のかかる材質置換は無く、簡単な焼成によって、作品化できてしまう。シルバークレイのような新たな素材が作り出された背景には、複雑な工程や専門的な設備や知識が必要とされ、学校教育において気軽に扱えない題材として、鑄造に対するイメージがあったことも考えられる。実際、現在の学校現場において、銀素材による制作にはシルバークレイ、鑄造では低融金属、ロストワックスによる原型制作の後は外注してしまうといったことが当たり前となっており、中学や高校において鑄造技法で伝統的に扱われてきた銀や銅を溶かして作品を作ったという話をあまり耳にはしない。しかし、蠟による原型制作から金属へと材質置換が起きるまでの鑄造過程において、作り手はそれぞれの素材とのやり取りや各工程での試行錯誤を重ねていく。このプロセスそのものが鑄造制作の意義であり、今回生徒と共に行った実践成果も、美術教育のねらいとする創造的な技能によって導かれたものである。

今回の実践では、身近にある七輪と木炭、藁を用いることで鑄型焼成が誰でも簡単に安全にできることを実証した。今回の鑄造技法では、ワックスと銀、ガストーチ、溶解用の皿以外は、身の回りにあるもので代用することができた。圧迫蓋も、空になったガスボンベの底を切り取った上に木の柄をつけたもので、中にはちぎって湿らせた新聞紙を入れて行った。電気炉などの専門的な設備がない条件下での今回の取り組みは、鑄造技法の体験的活動としての1つの試みであり、対象人数や他金属での応用などの諸課題や教材としての可能性についてさらに追求していく余地がある。

4. おわりに

日本に伝承されてきた鑄造技法の一つに込型(こめがた)鑄造法がある。川砂をあらかじめ焼成し真土(まね)と呼ばれる材料を作り、水と粘土を混在させながら鑄型を構築してゆく技法であるが、この込型鑄造のプロセスに、藁を用いて鑄型を乾燥させるという手法が散見される。形成されたばかりの鑄型を強固にするために、まだ水気を保持していて柔らかい鑄型の周囲を大谷石で囲み、上部に薪を設置し点火する。薪に十分火が回ったころあいを見計らって大量の藁をかぶせ、一晩そのままに放置するという方法で、翌朝灰となった藁の下を覗くと、あれほど大量にあったはずの薪が見事に焼成され燃え尽きており、おのずと鑄型が強固に焼成されているという技法である。今回試行錯誤の上、最後に利用したロストワックスの鑄型焼成法は、この真土型鑄造法の技術を応用したものである。焼成

されるべき鑄型の周辺にあらかじめ点火しておいた炭を置き、新しい炭を足して上部に藁を被せ燃焼を促進させるやりかたである。覆った藁はものの数分ですぐに灰と化してしまうが、藁灰そのものの融点はかなり高温であり、しばらくそのままの形状を保つ事が出来る。藁灰の利用範囲は広い。時としてルツボの中で溶解された金属の上に被せ、ルツボの上に浮いてきたアカと共に絡めて取り除いたり、溶解された金属の温度を保持したりする目的にも使われる優れた素材である。陶芸における釉薬の材料としても使用されている。上部を囲った藁灰は、藁灰に含まれる脂によってその形状をドーム型に保つ事が可能となり、すぐに壊れることなく即席の焼成窯として機能を果たす。また、藁灰は通気性に優れており炭の燃焼を促す半面、一方においては内部の温度を逃がさず保持してゆくといった優れた機能を備えている。したがって、藁で覆われた薪や炭は消えることなく燃焼を続ける事が可能となる。今回試行した鑄型焼成法はこれら藁灰の持つ優れた機能を応用し、臨時の窯として利用したものである。

今回の例に見られる様に、我が国の職人の間に受け継がれてきた技法はそれなりの深い論理に裏付けされている場合が少なくない。ここでの事例は、伝統技法を現代に応用して新たな活路を見いだせた好例となった。しかしながら、通気性に優れかつ保温性を持つという藁灰の機能について、今だ科学的な裏付けは聞かない。今後これらの科学的知見が待たれるところである。

注

- 1) 微粉末の純銀 (99.9%) と水、有機性の結合材を練り合わせたもの。
今回使用したのは、相田化学工業より販売されている「アートクレイシルバー650 10g」
焼結性の高い銀粘土の技術は、三菱マテリアルによって 1991 年に開発され、翌年には一般市場での販売が開始された。相田化学工業では、1995 年に「アートクレイシルバー」の販売が開始された (森川 2008)。
- 2) Binder : 結合材, 接合材
シルバークレイに使われている結合材は、有機物を原料とした樹脂からなる。
- 3) チューブワックスとも言う。
- 4) スプリーワックスとも言う。
- 5) 鑄型内部の空気抜きと、溶解した湯が鑄型を満たしていることの確認の 2 つの目的を持つ湯口側に開けられた小さい穴を指す。

文献

- 森川正樹, 2008, 銀粘土の開発秘話 男の銀細工, 学習研究社, p.10-11
新日本造形編, 2012, 平成 24 年度版図工・美術・工芸技術分野カタログ, 新日本造形, p.552
井上詩野, 1982, 蛭型で作る銀のアクセサリー — 鑄金の技法 —, 主婦と生活社, p.58
ヒコ・みづの, 1974, 彫金教室, 創元社, p.5, 図 F2-1

(2012 年 6 月 29 日 受付)