

環境問題と人の健康へ配慮した無鉛高錫青銅による 新商品開発

Development of new products with unleaded high tin bronze with consideration to environmental problems and human health

- 三船温尚、野瀬正照、横田 勝／富山大学芸術文化学部
MIFUNE Haruhisa, NOSE Masateru, YOKOTA Masaru / The Faculty of Art and Design, University of Toyama
- Key Words: environmental problems, human health, nonlead high tin bronze, new product development, green sand mold, sulfur, heat treatment, silver white color

要旨

鉛を含まず錫を多く含む青銅はこれまで美術、工芸品や工業製品には、切削性や着色性の面から使われてこなかった。本研究では錫13%の銅-錫合金を使用し、鑄造コストの低い生型鑄造技法を利用した新商品開発を目的に試作品を制作した。鑄造後、轆轤研磨し、硫黄を付着させ熱表面処理することにより表面に生成される銀白色膜は、耐食性に優れ屋外彫刻や工芸品、工業製品への展開が可能であると考えられた。

1. 研究の経緯

ものづくり分野において、環境や人体への配慮から、これまで使われてきた素材に対する見直しが始まっている。2003年から貯水槽等の銅合金バルブに無鉛化が義務付けられたことも、その一例である。国内でも高いシェアを誇る銅器産業の地、高岡は「銅器の街」と呼ばれ、仏具や屋外彫刻、建築材、工芸品など様々な銅合金製品を生産している。現在、これらの製品は無鉛銅合金で生産されるまでには至っていない。今後の地場産業の発展を考えれば、無鉛化に向けた基礎的研究を早急に進める必要がある。

無鉛化には、問題がないわけではない。人類の長い青銅鑄造の歴史を振り返ってみても、鉛の効果を巧みに利用してきた背景がある。切削性を高め、鑄造性を向上させる鉛はなくてはならない存在であった。同じように銅合金の融点を下げ鑄造性を高める金属に錫がある。しかし、錫は銅合金を硬くし切削性を低下させ、脆弱にさせる。このために、これまでの青銅製品に鉛は不可欠の合金元素として利用されてきた。

近年の工芸品や美術品には、硬い、割れる、美しく着色できないという理由のため錫を多く含む銅合金は敬遠されてきた。しかし、人類の歴史を振り返れば、紀元前から錫を多く含む青銅で鏡を作り4千年もの金属鏡の歴史を持つ。東アジアで青銅鏡の隆盛をみる中国戦国時代以降、錫を20%以上も含む高錫青銅が使われ

ている。古代では割れやすい高錫青銅製品を焼入れしたという報告書もあり、高錫青銅を製品に用いない現代では、この熱処理技術に関する研究すらなされていない。

今後の環境への配慮を考えれば、鉛を含まないで融点を下げるために錫を多く添加した無鉛青銅合金を使って、その特性の改善や新加工法を研究した上で、商品開発を進める必要がある。

これまでの銅器産業における銅合金溶解設備が利用できる融点の合金であること、旋盤や轆轤加工に支障が無い硬度であること、工芸品として強度があることなどを勘案して、本研究では13%錫を含む無鉛青銅合金を用いた。具体的には、①素材とデザイン、②原型製作、③生型鑄造、④轆轤研磨仕上げ、⑤表面熱処理という工程に沿って行った。表面熱処理実験は、過去に実績のない内容であり、錫を多く含む青銅の表面で硫黄を燃やして、銀白色膜を生成させるものである。

2. 実験方法と結果

商品開発にあたって、従来の銅器生産ラインを使用することと、素材の特性を活かした商品を提案する、という2点をまず条件とした。これは、高岡銅器産業の長い歴史のなかで築き上げた職人技と、これまでになかった銀白色膜製品から新たな商品を提示して、地場産業を活性化させようという目的があった。そのため、高岡の地金(野寺勝弘)、木型製作(嶋 光太郎)、生型鑄造(能作公章)、轆轤加工仕上げ(和田任市)の各業者に製造実験協力を依頼し、生産現場の意見を取り入れながら研究を遂行した。

(1) 素材とデザイン、木型製作

「日常生活に入りこむ青銅製品」というテーマでデザインを行なった。この素材、熱処理技法が耐食性に優れている点を活かし、果物の盛り皿を製作することとした。金属の本物の輝きを持つ器を生活の中で使うという狙いで、直径30cmの4脚付き多角形皿(高さ

4cm)と直径29cmの4脚付き円形皿(高さ3.5cm)の2種類の木型(原型)を製作し鑄造した(写真1~13、試作品1~4)。特に、多角形の皿は縁に銀白色の光沢があり、高錫青銅合金独特の輝きを放つことを期待した。いずれも鑄造肉厚は3.5mmであった。また、建築に付随した製品として、ドアノブ(長さ13cm、幅3cm、高さ6cm)を製作した(写真14~15、試作品5)。このドアノブは曲面と平面を備えた木製原型とし、それぞれの銀白色の美的効果を検討することとした。

(2) 生型鑄造と轆轤加工仕上げ

従来の生型鑄造は、原型から砂崩れのない鑄型を抜き取り、原型と同じ形の鑄造品を短時間で大量に生産することを目的としていた。しかし、昨今の多品種少量生産への流れから、こういった生型鑄造に固執しているのは需要に対応できない状況にある。そこで、本研究の目的は銀白色膜実験ではあるが、原型を抜き取った鑄型面にヘラで文様を描くことや、自然の貝殻や植物の葉や実を押し付けて押し文様を施すことによって、一品製品を作る方法を付随的に取り入れた。また、轆轤加工によって、同心円線を個々の異なる位置に入れることや、ヘラで描いた文様の一部を轆轤で削り取り新しい文様形態を作り出した。ドアノブは富山大学芸術文化学部の鑄造室で、研究補助の学生が生型鑄造で製作した。

これまでの銅器産業の生型鑄造では真鍮を溶かして流し込むことが主で、本研究のような錫青銅を使うことはなかった。そのため皿の1回目の鑄造では、亜鉛の多い真鍮とは異なり溶解時のガスを吸収する錫が多い合金であるため、ガスの発生を心配して溶解温度をやや低く抑え注湯した。そのために湯流れ不良をおこし製品に穴が開いた。これら欠陥品は轆轤研磨せず、熱処理実験しなかった。2回目の鑄造は溶解温度をやや高めにし、鑄造不良は発生しなかった(写真1~13、試作品1~4)。鑄造後、轆轤研磨によって、製品の厚さが2~2.5mmになった。凝固ガスのトラブルは発生しなかった。これら熱処理実験用皿の鑄造工程は一般的な生型鑄造技法で、他の産地の生型と同じであり、特別な技法は用いていない。

(3) 表面熱処理

古来よりミソ焼きという表面処理技法がある。青銅合金を鏡面に磨けばどの部分も一樣になる。しかし、土中に何千年も埋っていた青銅器は一樣な錆色ではなく、青、緑、赤などの多色が複雑に交じり合い美しい色調を呈している。その複雑な表情を復元するために、鏡面に研磨した青銅器表面で薪を燃やして炎を当

てることや、硫黄や塩を青銅器表面に付着させて加熱する方法で、自然な焼きムラを意図的に作り、腐食着色で複雑な色調の青銅器を作る技法が、現在も鑄金家の作品制作や高岡の銅器製作で用いられている。硫黄と米糠を混ぜ合わせたものをミソと呼び、この熱処理をミソ焼きという。

ミソ焼きは青銅合金の表面を焼き荒らして、経年変化した肌を人工的に作る方法が主である。そのなかにも、銀を多く含む(15~25%程度)臙銀、四分一と呼ばれる青銅に硫黄の粒を貼り付けて低温で加熱する方法で、銀色の斑(ふ)を作り出すミソ焼きがある。これは小さな点をミソ焼きで銀白色に作り出す例としてあったが、錫の多い青銅で全面を銀白色に変化させる技法はこれまでなされていなかった。無鉛により高錫化された青銅で作品を制作するなかで、徐々に成果を挙げてきた技法である。しかし、銀白色膜の生成メカニズムや成分分析など材料科学的な解明には未だ至っていない。また、この銀白色膜の厚さと強度がドアノブなどの磨耗の激しい商品に適しているのかなどは、今後の検討事項である。

本研究における具体的なミソ焼きの工程は以下のとおりである。

①研磨仕上げ(紙ヤスリ240番程度で研磨)→②硫黄10番篩でふるい、等量の米糠と混ぜて水で練る→③青銅皿の表面に厚さ2mmに貼り付ける→④レンガで窯を作る→⑤炭火で焼く→⑥細い薪を燃やし温度を上げる→⑦窯から取り出し水をかけて急冷する→⑧ワイヤーブラシで酸化膜を取る→⑨蜜蝋を塗って完成

ミソ焼きした4枚の皿は、窯の中に皿を80度、60度、40度に立てる方法と、水平に置く方法の4種類で焼成した。いずれも皿の内面が上になる。40度では加熱中に皿が変形し、水平では大きな模様で深く肌荒れが起こり酸化膜除去に時間を要する。窯内に地面から18cmの高さに鉄棒を2本横に渡し、さらに2本の鉄棒を垂直に地面に打ち込み、この鉄棒に皿を寄りかけて焼いた。これらから皿の焼成角度は、40度以下は不敵である。ドアノブは皿と同じ高さの窯の中の金網に横たえて焼いた。いずれもミソ焼きの温度は最高400℃~500℃程度で、一般的なミソ焼きのように青銅が赤くなるまで昇温しない。炭火でゆっくりと硫黄が燃えた段階で既に青銅は銀白色に変化している。ただし、この段階で終了すると酸化膜が残りワイヤーブラシ研磨が困難になる。更に薪を燃やして炭化した米糠を灰化させるとワイヤーブラシ研磨が短時間で終了する。青銅が赤くなるまで高温焼成すると銀白色膜は消滅する。焼成後、水をかけ青銅の表面を急冷収縮させ酸化

膜を取る。

実験では、どれも銀白色に変化し、肌荒れが発生し、皿もドアノブも炭に面した部分とその反対側の部分で変化に差はなかった。

3. 研究成果

皿における研究の成果は写真16から写真23で示すとおりである。これら4枚の皿（試作品1～4）は焼成前の写真1から写真13と比較すると、銀白色に変化し表面が凹凸に程よく荒れた梨地肌になっている。ワイヤーブラシで研磨すると、青銅本来のやわらかい光沢を示し、ミソ焼きの肌荒れによって金属の冷たい輝きではない温かみを感じさせる。無機質な光沢のステンレスとは異なる独特の銀白色を備えており、これまでになく利用価値を備えた金属の輝きである。ドアノブも同様に変化した（写真14から写真15への変化）。この銀白色膜の強度が最も重要な点になり、今後の材料学的な研究により実用化したい。

また、生型鑄造はアルミを微量に添加した鉛を含む真鍮がこれまでの主流であった。お鈴などの鳴り物製品をのぞいて、錫13%の無鉛青銅を生型鑄造に利用するケースはほとんどなかった。今回の実験で、この青銅を生型鑄造に注湯した協力業者から、その流動性の高さ、文様が精密に鑄出される鑄造性が評価された。すなわち、錫13%の無鉛青銅は、コストの低い生型鑄造の生産性を低下させないことを確認した。また付随的に行ったヘラでの文様描写法および自然物の押し付け法の実用性も確認できた。以上のことから、錫13%の無鉛青銅、生型鑄造、銀白色膜をキーワードに商品開発が期待できると判断できた。

4. 結言

実用性の面から試験片での実験ではなく、実際に業界の生産ラインを活用してこの研究を進めた。この試作品を目にした多くの銅器業者が新商品開発に取り入れることや、将来、工芸品産業よりも大規模な建築部品や工業製品産業にまで展開応用できれば、本研究は沈滞する銅器産業への大きな支援になる。こういった実現に向けて次段階の研究を遂行したいと考えている。以下を結言としたい。

・新商品開発への展開要件

無鉛青銅の銀白色製品は新たな商品展開の可能性を備えている。その範囲は、工芸品から建築、工業製品まで多岐にわたることが予想される。これまでの銅器産業の商品開発は、特にデザインに重点が置かれてきた。本研究で取り上げた素材と技法で、商品開発を実

現し発展させるためには、以下のような要件が考えられる。

- ①肌荒れのない銀白色膜生成法の研究
- ②短時間での酸化膜除去方法の開発
- ③高錫青銅合金の焼入れ商品開発

本研究は、平成17年度 富山高等教育財団助成金「高錫青銅の熱処理と新しい表面処理技術の開発による鉛レス青銅の実用化と銅器産業の活性化」（代表：横田 勝）の研究成果の一部である

参考文献

1. 何 堂坤、「中国古代銅鏡の技術研究」、紫禁城出版社、1998年

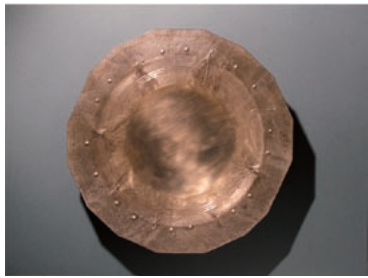


写真1 <試作品1> 表面処理前



写真2 <試作品1> 裏面



写真3 <試作品1> 文様部分



写真4 <試作品2> 表面処理前



写真5 <試作品2> 裏面



写真6 <試作品2> 文様部分



写真7 <試作品3> 表面処理前



写真8 <試作品3> 裏面



写真9 <試作品3> 文様部分



写真10 <試作品4> 表面処理前



写真11 <試作品4> 裏面



写真12 <試作品4> 文様部分



写真13 <試作品1> 裏面文様



写真14 <試作品5> 表面処理



写真15 <試作品5> 表面処理後



写真 16 <試作品 1> 表面処理後、銀白色に変化



写真 17 <試作品 2> 表面処理後、銀白色変化



写真 18 <試作品 3> 表面処理後、銀白色変化



写真 19 <試作品 4> 表面処理後、銀白色変化



写真 20 <試作品 1> 銀白色に変化し肌荒れした文様



写真 21 <試作品 2> 銀白色に変化し肌荒れした文様



写真 22 <試作品 3> 銀白色に変化し肌荒れした文様



写真 23 <試作品 4> 銀白色に変化し肌荒れした文様

