

5. 失原型鑄造実験試料・鑄型の金属学的調査

—失錫法実験試料を対象として—

丹羽崇史・長柄毅一

1. はじめに

報告者（丹羽）は過去の時代においてさまざまな消失原型が存在した可能性を視野に入れ、蠟・錫・鉛など消失原型を用いた対照鑄造実験を進めてきた。このうち失鉛法による実験試料に対して金属学的調査を実施し、実験鑄物や鑄型に鉛が残存することを明らかにした（丹羽（編）2020）。

本報告では、失錫法による実験試料を対象とした金属学的調査の成果を報告する。分析対象資料は2012年度に芦屋釜の里にて実験鑄造したCu-Sn-Pb三元系合金鑄物と鑄型である¹。錫原型による失錫法（非分割鑄型）で実験鑄造した鑄物（試料①）とともに、石膏原型による込め型法（分割鑄型）の鑄物（試料②）を比較試料とし、それぞれ切断した断面を研磨、鏡面仕上げすることで観察試料とした。錫原型を用いて鑄造した際の鑄型片の表面についても、電子顕微鏡による成分分析を行い、錫の残留がないかを確認した。金属組織観察ならびに分析については、EDX付き卓上走査型電子顕微鏡（SEM-EDX、日立ハイテク TM3000）により実施した。加速電圧は15kVである。なお、本装置は常時試料室を低真空にして観察する方式を採用しており、試料表面に照射された電子が帯電しにくい設計になっており、鑄型片も導電用コーティングをすることなしに、表面観察と分析が可能である。

2. 調査の結果

実験鑄物の金属組織と分析結果 表1にSEM-EDXによる定量分析データを示す。試料の上部、中央部、下部のそれぞれ3か所において分析を行い、その平均値を示した。試料②が0.5%程度、含有鉛量が高いが、鉛は非常に偏析しやすい元素であり、分析位置や分析点数を増やすことで、結果がまた違ってくる可能性がある。

試料①、②の中央部における金属組織はいずれも α 相、 $\alpha + \delta$ 共析相および鉛相からなる。 α 相はCuのFCC結晶を基本とする組織であり、Snを最大15%程度まで含む。本試料においては、10%程度が固溶していることを確認した。 $\alpha + \delta$ 共析相は α 相と金属間化合物 δ 相がそれぞれ微細になり入り混じっている相であり、その平均組成はCuが75-76%程度、Snが24-25%程度である。鑄造された本合金は、その凝固過程において、まず、 α 相が結晶化してデンドライト（樹枝状晶）とよばれる結晶を成長させる。その結晶の隙間に低融点である共析相が凝固し、さらに温度が低下すると最終的に鉛相が凝固する。試料①の方が試料②よりも、鉛が目立っている様子が見られるが、 α 相や共析相の形態に大きな違いは認められない。

鑄物の表面近傍において、錫の濃化域はあるのかを確認した。図1は試料①における表面近傍の金属組織で、典型的なデンドライト組織である。表面近傍においては、 α 相が表面部分にでている様子が観察され、錫の濃度が高い $\alpha + \delta$ 共析相は表面部分にはあまり認められない。図2は試料①の組織のX線像であるが、表面近傍には錫の濃度が低い状態になっていることを確認した。したがって、鑄物表面に錫が濃化している領域は認められない。

鑄型表面の分析結果 鑄型片の表面の組成像を図3に示す。確認された白色付着物について定性分析を行ったところ、鉛が多いことが明らかになった。この白色付着物は鉛酸化物ではないかと考えられ、錫あるいは錫酸化物の残存は認められなかった。

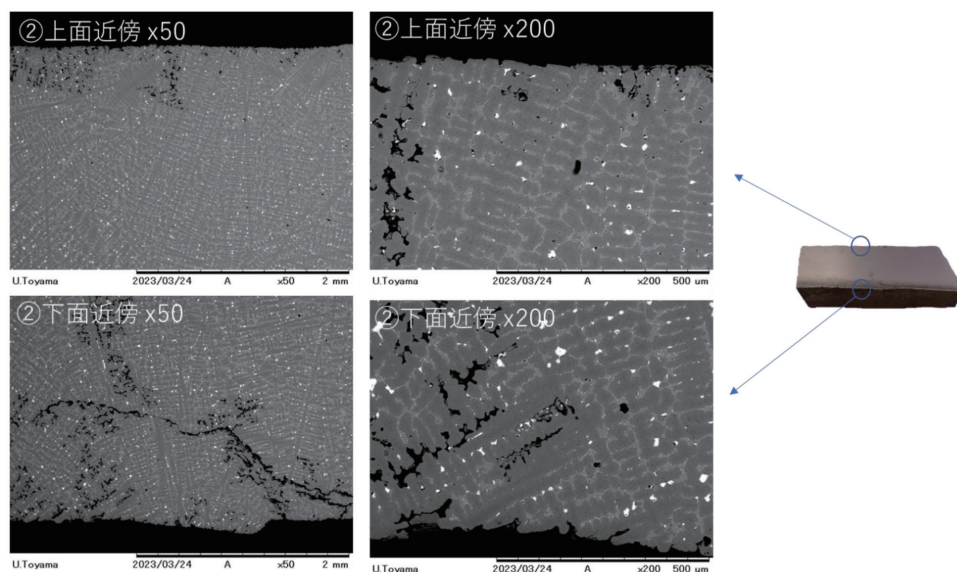


図1 試料①の表面近傍における金属組織

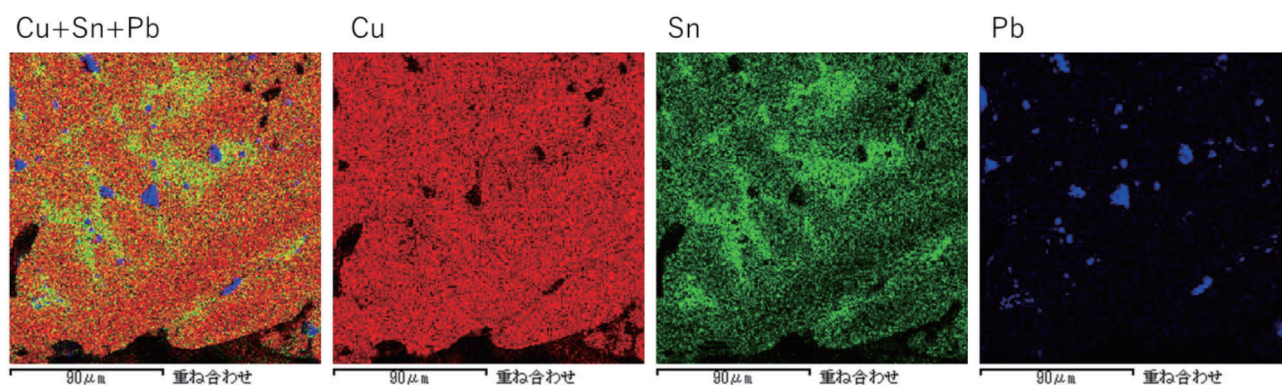


図2 試料①の表面近傍におけるX線像

表1 実験鋳物の定量分析結果（質量 % SEM-EDXにて分析）

	試料①（錫原型使用）			試料②（石膏原型使用）		
	Cu	Sn	Pb	Cu	Sn	Pb
上部	83.8	13.8	2.4	83.9	13.7	2.3
中央	82.9	13.8	3.3	83.3	13.7	3.0
下部	83.1	13.7	3.2	84.2	13.7	2.1
平均	83.3	13.8	3.0	83.8	13.7	2.5

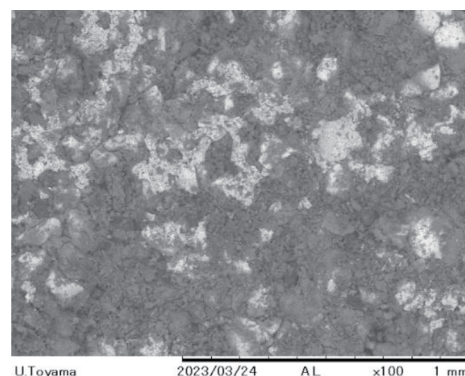


図3 鋳型試料の表面における組成像

3. まとめ

本報告では失錫法による鋳造実験試料・鋳型の表面近傍の組織あるいは成分の特徴を比較したところ、鋳物表面に錫が濃化して分布しておらず、その鋳型表面にも錫が残存していないことを確認した。鋳物表面、その鋳型表面に、鉛が残存した失鉛法試料とは異なる結果となり、用いた消失原型により残存状況が異なることを明らかにすることができた。

註

- 1 実験の詳細は科研費報告書（丹羽（編）2020）を参照。

失原型鑄造実験試料・鑄型の金属学的調査 ：失錫法実験試料を対象として

○丹羽崇史(奈良文化財研究所)、長柄毅一(富山大学)

報告者(丹羽)は過去の時代においてさまざまな消失原型が存在した可能性を視野に入れ、蠟・錫・鉛など消失原型を用いた対照鑄造実験を進めてきた。このうち失鉛法による実験試料に対して金属学的調査を実施し、実験鑄物や鑄型に鉛が残存することを明らかにした(丹羽編2020)。本報告では芦屋釜の里にて実験鑄造した鑄造実験試料・鑄型の金属学的調査を実施した。錫原型を用いて鑄造したCu-Sn-Pb三元系合金鑄物の表面近傍の組織あるいは成分の特徴を比較したところ、鑄物表面に錫が濃化して分布しておらず、その鑄型表面にも錫が残存していないことを確認した。以前報告したように、鉛原型を用いて鑄造した試料の場合、鑄物表面、その鑄型表面に、鉛が残存しており、用いた原型により残存状況が異なることを明らかにすることができた。

「失錫法」による鑄型製作および鑄造実験(芦屋釜の里 2013年3月)



錫原型(非分割鑄型)



石膏原型(分割鑄型)



失錫実験

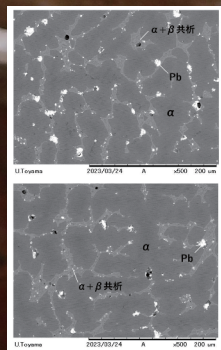


錫原型実験試料(試料①)



石膏原型実験試料(試料②)

「失錫法」実験鑄物の分析結果



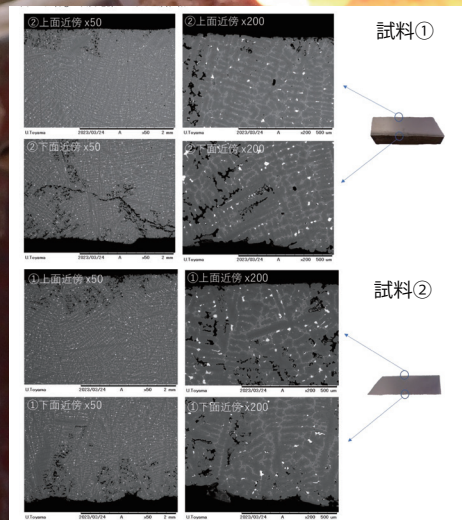
試料①

試料②

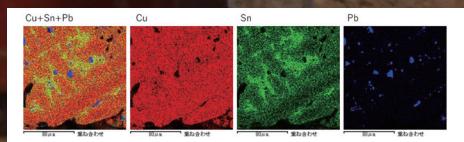
鑄造試料の金属組織
(それぞれ、試験片中央部付近の組織)

鑄造試料の定量分析結果
(SEM-EDXにて分析)

	試料①(錫原型使用)			試料②(石膏原型使用)		
	Cu	Sn	Pb	Cu	Sn	Pb
平均	87.8	11.8	7.4	87.9	11.7	7.3
最大	82.9	13.8	3.3	83.3	13.7	3.0
最小	83.1	13.7	3.2	84.2	13.7	2.1
標準	83.3	13.8	3.0	83.8	13.7	2.5

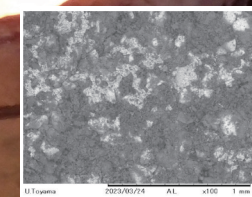


試料①の表面近傍における金属組織

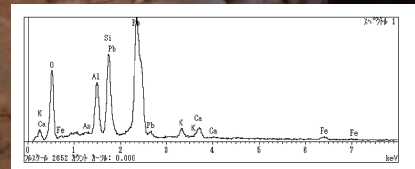


試料①の表面近傍におけるX線像

「失錫法」実験鑄型の分析結果



試料①鑄型の表面における組成像



試料①鑄型表面の白色部における定性分析結果

「失鉛法」実験試料鑄型の分析結果 (丹羽編2020)



「失鉛法」鑄型SEM像



「失鉛法」試料表面SEM像

「失錫法」：鑄物表面、その鑄型表面にも錫が残存せず
「失鉛法」：鑄物表面、その鑄型表面に、鉛が残存する
➡用いた消失原型により残存状況が異なる

本研究はJSPS科研費JP16H05946、JP20H01365の助成を受けたものである。

背景写真：鑄造実験(2013年3月 芦屋釜の里)

【引用文献】丹羽崇史編2020『対照実験を主軸とした東アジア鑄造技術史解明のための実験考古学的研究』奈良文化財研究所