

# 鋳物の高品質化、品質管理技術に関する研究

—銅合金鋳物の凝固状態の解析—  
三原利之\*、関範雄\*\*、水谷予志生\*\*、久富茂樹\*\*\*

Study on casting for quality improvement and quality control technique  
- Analysis for coagulated condition on copper alloy casting -  
MIHARA Toshiyuki\*, SEKI Norio\*\*, MIZUTANI Yoshiki\*\* and KUDOMI Shigeki\*\*\*

電子顕微鏡により測定した青銅鋳物中のスズの分布から、組成の異なる二相の割合を定量的に推計し、マクロ組織の相状態を推定する手法を新たに開発した。この手法により流動試験型を用いて鋳造した青銅鋳物の断面のスズの分布の違いから青銅鋳物の両端（湯先部と湯口部）の凝固状態の違いを解析した。青銅鋳物の湯先部と湯口部では、どちらもスズの多い相と少ない相の二相が観察され、青銅鋳物の湯先部と湯口部のスズの多い相の割合は、それぞれ0.17と0.29と推計された。これは鋳込み過程において、湯口部では凝固により長い時間がかかったため湯先部より固液共存状態がより長く維持され、スズがより高濃度で偏析したと考えられる。固液共存状態ではガス欠陥が生じやすいことから、青銅の凝固状態を解析する手法はガス欠陥防止等の品質管理技術に有効であると考えられる。

## 1. はじめに

鋳物の品質や精度は日々高くなっている中、鋳物産業の抱える品質に関わる重要な課題の一つが高い欠陥発生率である。現場では欠陥検出など品質管理に膨大な時間と労力が費やされており、鋳造欠陥対策が鋳物の高品質化、品質管理、生産性向上に極めて重要となっている。

鋳造欠陥の対策としては、方案の改良および鋳造条件の変更により青銅鋳物の凝固条件の最適化が検討されているが、現場の経験的手法に頼るところが多く、その発生原因を十分に把握できていない現状である。これは、同じ鋳造条件であっても、実際の鋳造品では部位によって凝固状態が異なっており、これはガス欠陥が局所的に発生する原因の一つと考えられている<sup>1)</sup>。しかし、微細な結晶構造をもつ青銅鋳物の凝固状態の解析は非常に困難である。

そこで、今回の研究では、鋳造鋳物のガス欠陥を低減するための最初のステップとして、青銅鋳物の断面を電子顕微鏡により測定したスズの分布からスズ量の異なる二相の割合を定量的に推計する手法を新たに開発し、渦巻型流動試験型を用いて鋳造した青銅鋳物の異なる部位の断面の成分組成の違いから青銅鋳物の凝固状態の違いを解析し、マクロ組織の相状態を推定した。

## 2. 実験

### 2.1 鋳造実験

青銅鋳物系鋳物材（CAC406）を用い渦巻型流動試験を応用した鋳造実験を行った。鋳型は、鋳物砂に専用人工砂とフラン樹脂系バインダ（砂に対して2wt%）を用

いた砂型積層造型装置（シーメット株式会社、SCM-10）を用いて造型した。鋳造には、上型、下型から構成される鋳型（図1）を使用した。下型に流動部となる溝を渦巻状に設計した。鋳型の注湯口に設置したスリーブ（内径65mm）内に溶湯（炉内温度1200℃、1.65kg）を上型の上面から55mmの高さまで注ぎ入れ、スリーブ内に設置した温度計（最高到達温度1140℃）が上昇し始めた時を注湯開始とした<sup>2)</sup>。

### 2.2 鋳造鋳物のX線CT観察

鋳造した青銅鋳物は、マイクロX線CT（東芝ITコントロールシステム株式会社製、TOSCANER-32300μFD, CT）を用いて内部を観察し、欠陥の発生状況を解析した（図2）。

### 2.3 鋳造鋳物の断面観察

鋳造した青銅鋳物の断面の成分組成は、電子線マイクロアナライザ（日本電子㈱製 JXA-8530F, EPMA）を用い、青銅鋳物の湯先部と湯口部の断面のスズ量と比例するスズ特性X線強度を測定した（図3と4）。

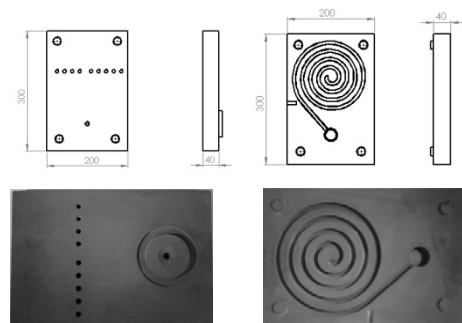


図1 鋳型（上型（左）、下型（右））

\* 技術支援部

\*\* 金属部

\*\*\* 情報技術部

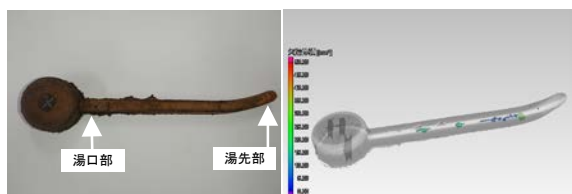


図2 铸造した青铜铸件（左）とCT像（右）

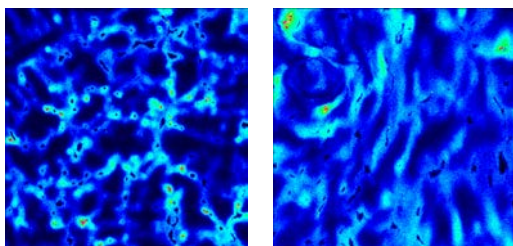


図3 青铜铸件の锡の分布図（湯先部（左）、湯口部（右））（倍率500倍）

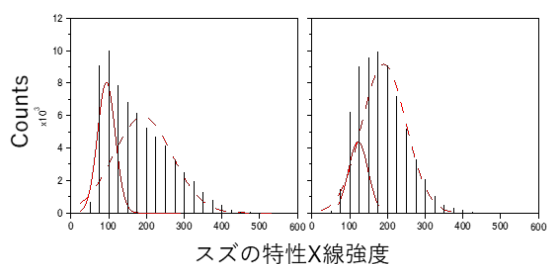


図4 高スズ相（点線）と低スズ相（実線）の頻度分布（湯先部（左）、湯口部（右））

### 3. 結果及び考察

図2に铸造実験によって得られた铸件とそのCT画像を示す。流動長は110mmであり、CT像からは、渦巻型流動試験型の湯口側の方が比較的大きなガス欠陥（ $\leq 5\text{mm}^3$ ）があることが示された。その一方で、湯先部側では比較的小さいガス欠陥（ $> 5\text{mm}^3$ ）が多く見られた。湯口部では凝固により長い時間がかかったため、湯先部よりガス欠陥が発生しやすい固液共存状態がより長く維持したためと考えられる。

青铜铸件の断面の锡の分析結果と青铜铸件の湯先部と湯口部の锡の少ない相（低スズ相）と多い相（高スズ相）の特性X線強度の頻度分布をそれぞれ図3、図4に示す。青铜铸件の断面の锡の頻度分布は、EPMAで測定された65,536箇所 of 锡の特性X線強度の測定結果を用い、低スズ相と高スズ相のピーク分離は得られた锡の頻度分布に対して、低スズ相と高スズ相の锡の頻度分布がいずれもガウス分布していると仮定して求めた<sup>3)</sup>。この結果から、今回铸造した青铜铸件では、湯先部、湯口部ともにスズ量が異なる二相に相分離していることが示され、青铜铸件の湯先部と湯口部の高

スズ相の割合は、それぞれ0.17と0.29と推計された。湯先部では溶湯の冷却速度が速く、表皮形成とかゆ状型が並行して進行したためスズの偏析は小さく、湯だまりに近い湯口部では溶湯の冷却速度が遅く固液共存状態のかゆ状型凝固が優勢で進行したため、スズの偏析が大きかったと考えられる<sup>2)</sup>。このことは、固液共存状態が優勢に進行したため湯口部で比較的大きなガス欠陥があったことと整合する（図2）<sup>1)</sup>。

青铜铸件の低スズ相と高スズ相の割合は、数 $\mu\text{m}$ と微細に分布しており、元素分析の測定上の限界から直接に定量することは困難であるが、今回の手法を用いることにより、微細な分布をもつ青铜の組成についても、低スズ相と高スズ相の割合を推計し、青铜の凝固状態の解析をより詳細に行えるようになった。

### 4. まとめ

電子顕微鏡を用い青铜铸件の断面からスズの特性X線強度の頻度分布を求めスズ量の異なる相の割合を推計する方法を新たに開発し、渦巻型流動試験型を用いて铸造した青铜铸件の両端（湯先部と湯口部）の断面の锡の分布の違いから青铜铸件の湯先部と湯口部の凝固状態の違いを解析し、マクロ組織の相状態を推定した。青铜铸件の湯先部と湯口部では、どちらも高スズ相と低スズ相の二相が観察され、青铜铸件の湯先部と湯口部の高スズ相の割合は、それぞれ0.17と0.29と推計された。この組成の違いは、铸込み過程において湯先部が数秒間で固液共存状態となりその後数十秒で凝固したのとは対照的に、湯口部では凝固により長い時間がかかったため湯先部より固液共存状態がより長く維持されスズがより高濃度で偏析したことが原因と考えられる。固液共存状態ではガス欠陥が生じやすいことから、青铜の凝固状態を評価する手法の開発は、ガス欠陥防止等品質管理技術として有効であると考えられる。

今後、ガス欠陥の解析に有効な手法の一つである铸造シミュレーションによるガス欠陥解析を行い、本研究の結果と比較検討し、製造現場におけるより実用性の高いガス欠陥対策を提言していく。

### 【謝辞】

本研究の実験にご協力いただいた岐阜大学工学部新川真人准教授、株式会社水生活製作所様に深く感謝いたします。

### 【参考文献】

- 1) 岡根利光, 铸造工学 Vol.85, 9, pp605-612, 2013
- 2) 関ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.1, pp11-12, 2020
- 3) 三原ら, 岐阜県工業技術研究所報告, No.7 pp32-36, 2019