

連携記事

南部鉄器の意匠性に対する新たな取り組み

New Approach to the Design of Nanbu Ironware

地方独立行政法人
岩手県工業技術センター
首席専門研究員 和合 健
Takeshi Wago

地方独立行政法人
岩手県工業技術センター
研究スタッフ 生内 智
Tomo Obonai

1 はじめに

昨今、南部鉄器の製造現場においては、原型製作者、プレート製作者の人材及び後継者不足が顕著になっており、新規製品開発が鈍化している。また、古くからある金型は当時の図面や小種等が無く、金型が壊れた場合は、再製作の手立てが無くなる可能性が高く解決策が望まれている。これらの問題点に対してデジタルシボを利用した南部鉄器の意匠性開発は有効手段と思われる。デジタルシボによる原型製作では、パソコンでシボ模様 (Surface texture) を持つ3Dモデルが作成できるため、パラダイムシフト (工程改変) の実現による新たな人材発掘が期待できる。またデジタル特有のストレージ (記憶媒体) 保存により、原型のアーカイブ化 (履歴化) が可能となる。特に、デジタルシボで南部鉄器を製作した先行事例が見当たらないことから、我々は複数の事例提案によるデジタルシボの有用性探索を主目的にして、応用研究に取り組んできた¹⁻⁵⁾。

ここでは南部鉄器製急須を対象にして行った意匠及び作製工法に進歩的手法を提案した事例を紹介する。意匠ではボロ

ノイ分割と呼ばれるランダム配置した母点と垂直二等分線の組み合わせから構成される直線的な意匠を試みた。作製工法では肉厚が薄い急須の蓋を対象にして、デジタルシボ及びミール加工を利用した蓋マッチプレート金型の作製方法を提案した。

2 意匠設計

2.1 デジタルシボ

デジタルシボはエッチング法に代替可能なシボ製造技術であり、図1に高さ情報を付与する仕組みを示す。2D画像の凹部及び凸部はグレースケール (256階調) と相関を持ち、2D画像の濃淡で高さ方向が表現できる。白色を最上部、黒色を最下部として256分割した目盛りを与え、最上部と最下部の範囲 (mm) は作業者が適宜設定する。ここでは南部鉄器急須の素地に図2に示すゆず肌の画像を利用して、デジタルシボによりシボ模様を与えた。デジタルシボの原案デザインを作成するためには、画像処理ソフトウェア (型式: Photoshop、メーカー: Adobe)、描画ソフトウェア (型式: Illustrator、メーカー: Adobe) を利用した。2D画像を3Dモデル化するためには、三次元デジタルクレイモデラ (型式: Geomagic FreeForm Plus、メーカー: 3D SYSTEMS) によるエンボス機能 (Emboss Command) を用いた。

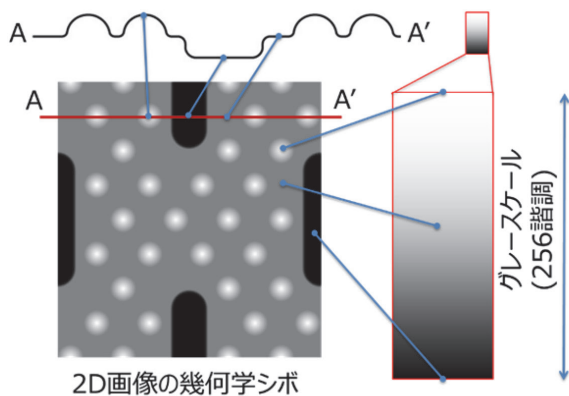


図1 凹部、凸部と色 (グレースケール) の相関
(Online version in color.)



図2 ゆず肌の画像 (拡大)

2.2 ボロノイ分割

意匠設計の目的は、今までの南部鉄器製急須には見られない意匠を採用して差別化と新鮮さを出すこととし、その実現の手段として、手加工では困難なパラメータの数値を制御しながら、複雑な形状を作製できるパラメトリックデザインを取り入れた。ここでは多くのパラメトリックデザインの中からボロノイ分割⁶⁾を選択した。図3にボロノイ分割の概略図を示す。ボロノイ (Voronoi) 図は平面上にいくつかの点が配置されているとき、その平面内の点をどの点に最も近いかによって分割してできる図であり、その分割をボロノイ分割という。配置された点のことを母点 (図中の黒丸) と呼び、この図での母点数は5であり、ボロノイ領域は5つに分かれている。一般的なボロノイ分割では母点数とボロノイ領域数は一致する。ボロノイ領域の境目の線をボロノイ境界、ボロノイ境界の交点をボロノイ点と呼ぶ。端的にはボロノイ図は、二つの母点の垂直二等分線を引き、複数の垂直二等分線の交点で領域分割して作成したものである。ボロノイ図の作成では3DCAD (型式: Rhinoceros、メーカー: Robert McNeel & Associates) と Rhinoceros に搭載されているビジュアルプログラミングツール (Grasshopper) を使用した。図4にビジュアルプログラミングツールを使用した本体上型の設計過程を示す。各コマンドを線で結び順序立てし、各コマンドに必要とする数値を入力することで自動的にボロノイ分割が行われる。

2.3 急須への意匠設計

ボロノイ意匠の設計では母点数でボロノイ平面の生成数が決定される。そこで複数の母点数を試し、既存の急須と比較して違和感が少ないこと、かつボロノイ意匠として認識できる広い平面を持つことなどから最終的な母点数は50点程と

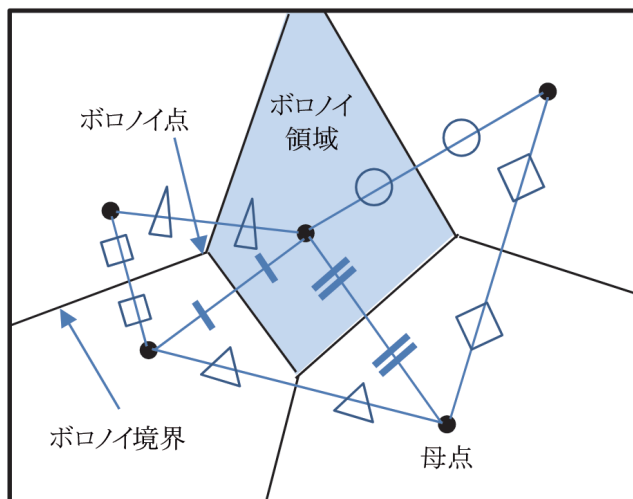


図3 ボロノイ分割 (Online version in color.)

した。次の工程ではボロノイ分割した平面素地にデジタルシボを利用してシボ模様を付加した。シボ模様の種類はゆず肌シボを選択し、本体上型への投影方法は図5に示す円柱投影、その他は平面投影とした。

図6にゆず肌付加前後を、図7に完成したボクセル形式の3Dモデルを示す。単にボロノイ分割した無機質な平面にゆず肌を付加することで、有機的な柔らかさがボロノイの意匠に加えられ意匠性が向上した。デジタルシボは平面だけでなく自由曲面にも一定の深さでシボを付加することができるため、一般的な回転形状の急須の他に非対称で不規則な面構成の形状にも対応できる。今回の急須の場合でも細部までムラの無い均一なシボ模様を付加することができた。

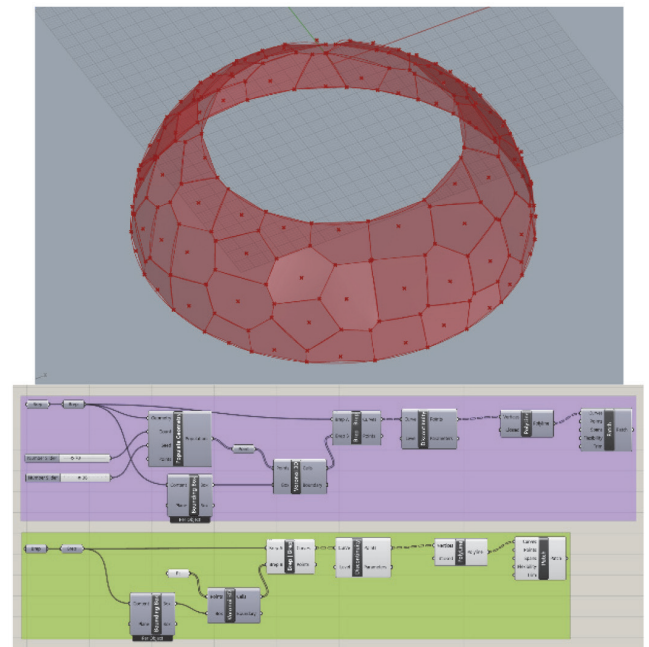


図4 ビジュアルプログラミングツールを使用した本体上型意匠設計 (Online version in color.)

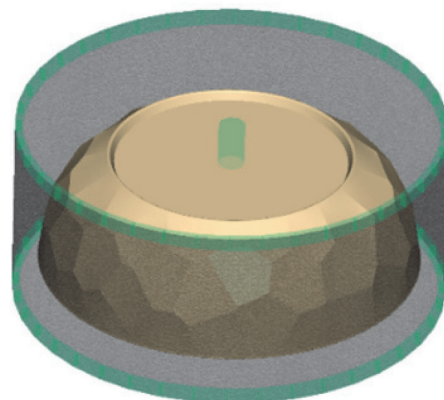


図5 ゆず肌画像の円柱投影設定 (Online version in color.)

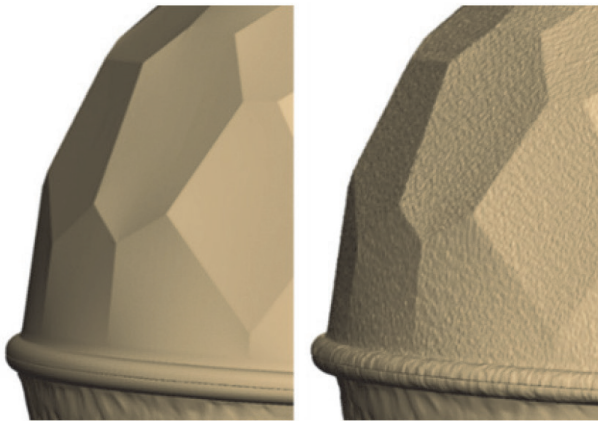


図6 ゆず肌付加前後 (左: ゆず肌無し、右: ゆず肌有り)
(Online version in color.)

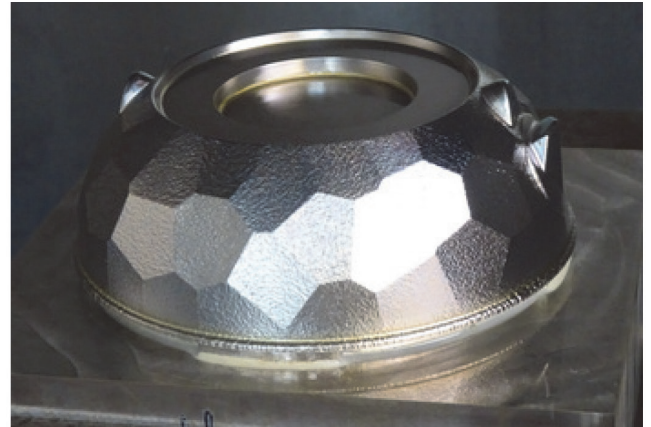


図8 加工後の本体上型 (Online version in color.)

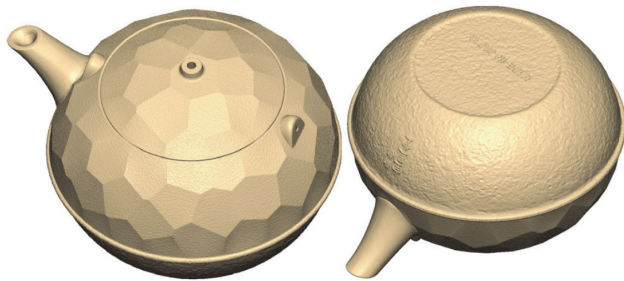


図7 ボクセル形式の3Dモデル (左: 上部3Dモデルは「ゆず肌有り」、
右: 下部) (Online version in color.)

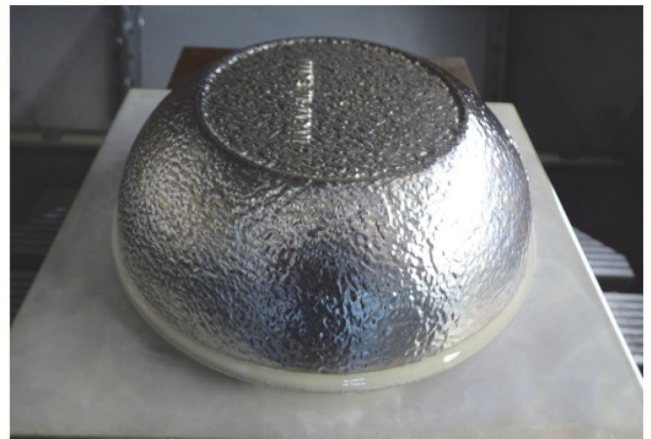


図9 加工後の本体下型 (Online version in color.)

2.4 本体金型の加工方法

図8に加工後の本体上型、図9に加工後の本体下型を示す。金型の材料はアルミ合金A5052とした。金型本体のシボ模様加工では、軸送りの加減速が多用されるため速いサーボ応答制御が必須となり、ここではリニアガイド方式高速マシニングセンタ (型式: HSC55linear、メーカー: DMG/MORI) を使用した。またデジタルシボによるシボ模様を精細に加工するためにはSTL形式に完全対応したCAMが必須となり、ここではSTL対応3軸CAM (型式: CraftMill、メーカー: C&Gシステムズ) を使用した。最終仕上げではシボ精細さと加工能率の両立が必要になり工具は $\phi 2\text{mm}$ ボールエンドミルを選択した。

図10に本体マッチプレート金型の構成を示す。加工した本体上型、本体下型及びプレートを組み付けて本体マッチプレート金型が完成した。本体マッチプレート金型を目視により外観検査を行った結果、蓋金型と本体金型の上下のずれや傷等の切削不良は見られなかった。

本体マッチプレート金型は、マッチプレートに嵌め込んだ本体上型と下型の同心度と外径差の組み合わせが要点となる。外径差が同心度より大きく、かつ金型製作で設定した公差 0.5mm 以下であれば本体上型と下型で鋳造品にずれが



図10 本体マッチプレート金型の構成 (Online version in color.)

生じず良品となる。接触式座標測定機 (型式: CRT-AC776-TP200、メーカー: ミットヨ) を使用して同心度と外径差の関係を調べた。その結果、マッチプレート金型の上型と下型の同心度の最大値は 0.236mm 、外径差と同心度の差の最小値は $+0.006\text{mm}$ の正值となり良品と判定された。

2.5 急須本体の鋳造

図11に湯口を加えたマッチプレート金型（本体）、図12に型バラし後の試作品（本体）を示す。溶湯は、小型溶解炉（1.0トン/h）に1チャージとしてコークス、銑鉄、戻り、古銑、石灰石、シリコン（Fe-Si）の順番で装入し、片状黒鉛鋳鉄（FC150）を作製した。砂型造型はF-1造型機及び300×300T-100枠を使用した。急須本体の砂型造型は、切削加工で削り出したアルミ材の急須本体金型を直接プレートに固定して、2個取りのマッチプレート金型を作製した。中子は既存の共通パーツを利用した。図13に急須本体の砂落とし及び加工後を示す。これは急須本体砂型に注湯し、冷却後に砂型をばらして湯道を急須本体から切り落とし、パレル加工で荒仕上げを行ったものである。この時点の目視検査では、ボロノイ法を適用した意匠が意図した外観に仕上がっていた。鑄込み試験毎にダイヤルゲージで肉厚測定を行った結果、ベースに



図11 湯口を加えたマッチプレート金型（本体）（Online version in color.）



図12 型バラし後の試作品（本体）（Online version in color.）

なった製品と肉厚も同程度で各部所での肉厚の偏りが無く、当初設定した肉厚のばらつき1mmを満足し、図14に示す試作品が完成した。

3 蓋金型の製作

3.1 工法説明

従来のデジタルシボを利用した蓋金型の製作⁴⁾は、図15の樹脂3Dプリンタ方式（以下、工法1と記す）で行って来たが工程が多く、さらに外注でしか対応できなかった。これに対して切削加工方式（以下、工法2と記す）は、内製で対応できるが加工方法を新規で作り出す必要があり、今回はそれを試した。工法1は蓋のSTL形式モデルを利用して、樹脂3Dプリンタで樹脂製原型モデルを造形し、それを基に鑄造法でマッチプレート金型を作製する方法である。工法2はブロック状のアルミ材から切削加工で削り出して、直接プレートに取り付けてマッチプレート金型を作製する方法である。二つの工法を検証するために、両工法でボロノイ意匠の蓋を作製し



図13 砂落とし及び加工後の試作品（Online version in color.）



図14 本研究成果による色付けした試作品（Online version in color.）

て出来栄を比較した。工法2による金型製作を以下に述べる。図16に蓋上下分割のパーティングラインを示す。マッチプレートで上下分割するパーティングラインは点線の位置とした。パーティングライン位置の目安は蓋表側で中心位置から傾斜が下り円周部終端となる位置である。蓋金型の表側と裏側をマッチプレートに固定する場合、厚さが薄いため蓋裏側に固定のためのねじ切りができない。そのためマッチプレートに固定する方法は、図17のとおり厚さ10mmのプレートを2枚利用して挟み込む固定方法を考案した。蓋底部に円筒つば部を追加することでマッチプレートからの抜け防止及び面板との固定が行えるようにした。

3.2 各工法の特長

表1に各工法の特長、図18に二つの工法で作製した蓋金型を示す。工法1の優位点は、樹脂3Dプリンタを利用するため樹脂原型作製が容易、かつ多数個取りに有利。欠点は、外注に頼る必要があるため精度が外注先の技能に依存する、納期

が長くなる、外注費用が発生する等である。一方、工法2の優位点は、全工程を内製化できるため製品精度を自社の固有技術で管理でき、樹脂3Dプリンタ方式と比較して鋳肌面の凹凸を鮮明に仕上げられる。欠点は、削り出した蓋金型の個数で取り数が決まるため、取り数に応じた数の蓋金型を削り出す必要がある。両方式ではそれぞれ優位点と欠点を持つため、状況に応じて作製方式を選択する必要がある。

3.3 形状評価

検査員5名の目視による官能検査では、図19に示す工法2が工法1より鋭利なエッジが形成されていると全員が判定したことから、官能検査結果と測定機による測定値を比較した。図20に断面曲線と評価部を示す。輪郭測定器（型式：DSF600S、メーカー：小坂研究所）はリニアスケール式プローブにより測定範囲58mm、分解能50μmを有し、先端が鋭利なスタイラスで測定物の表面を走査して断面曲線を測定する方式である。初めにミクロ的な形体（Feature）により幾何

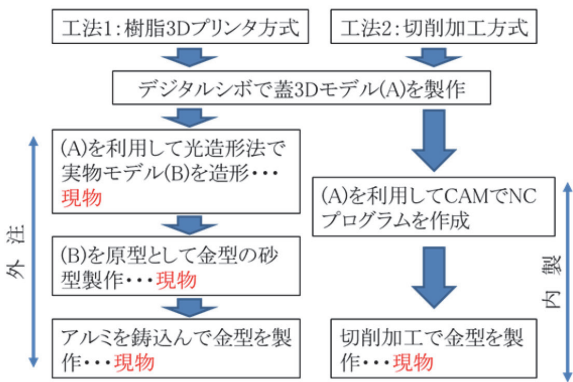


図15 蓋製作の工程 (Online version in color.)

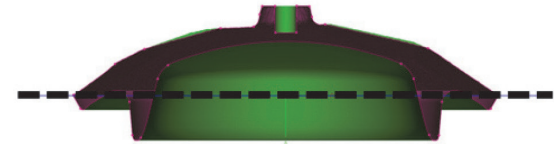


図16 蓋上下分割のパーティングライン (Online version in color.)

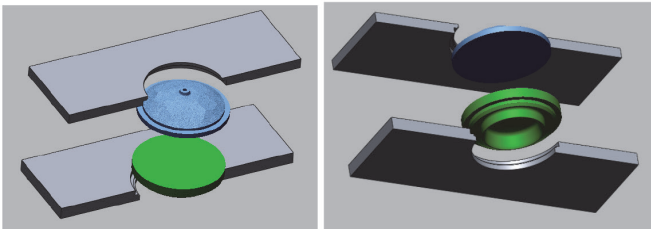


図17 2枚プレートによる挟み込み固定 (左:上方視点、右:下方視点) (Online version in color.)

表1 各工法の特長

方式	優位点	欠点
工法1	・原型作製が容易 ・多数個取りに有利	・外注必須 (外注費、納期長) ・外注先の技能に出来えが依存
工法2	・内製化できる (自社管理) ・エッジが鋭利に見える	・多数個取りでは金型の複数加工必要

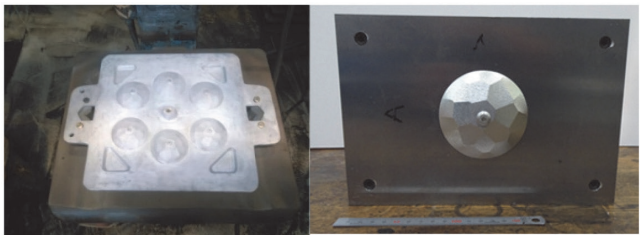


図18 マッチプレート金型 (蓋) (左:工法1、右:工法2) (Online version in color.)



図19 工法の比較 (Online version in color.)

形状を比較した。二つの工法による急須蓋の断面曲線を測定し、真直度及び角Rを算出した結果を図21、22に示す。真直度及び角Rとも工法毎に単発的な位置で大きな差が見られるが、全体の傾向は類似しており明確な差異は認められなかった。

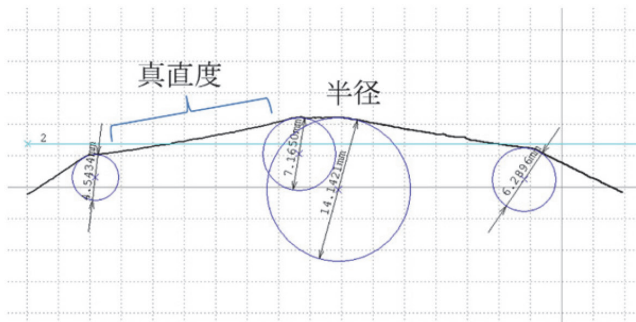


図20 断面曲線と評価部 (Online version in color.)

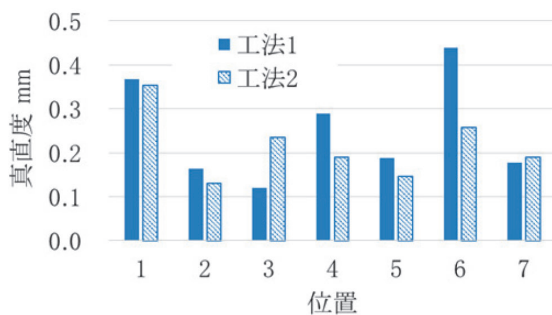


図21 真直度 (Online version in color.)

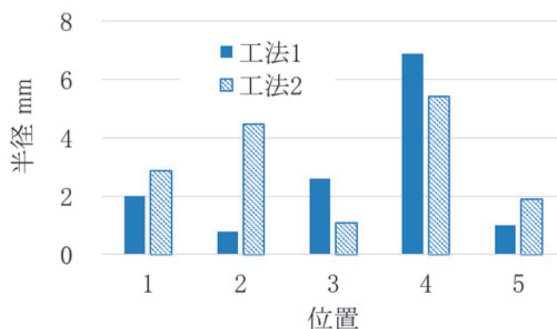


図22 角R (Online version in color.)

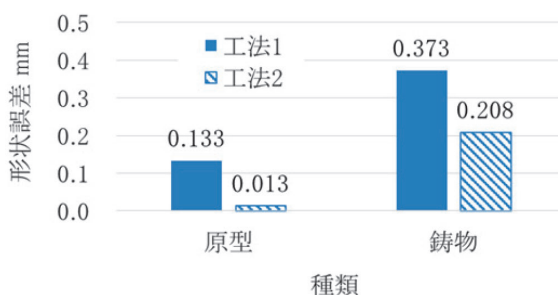


図23 形状誤差 (Online version in color.)

た。ミクロ的な形体による形状誤差は同等程度であることが分かったので、次にマクロ的な部品全体 (Surface model) での形状誤差を評価した。使用した測定器は縮投影三角測量式カメラ型デジタイザ (型式: COMET6_16M、メーカー: Carl Zeiss) で16MBの解像度で測定物の空間座標値を取得する測定器である。レンズは範囲150mmを選択し、この場合の測定範囲は146×97×80mmで点間距離は0.03mmであった。図23に形状誤差、図24～27に得られた形状誤差マップを示す。図23の形状誤差は無作為に形状誤差マップ上の10点程度を指示して形状誤差の平均値を算出した結果である。また、原型とは工法1では樹脂3Dプリンタで製作した樹脂材蓋、工法2ではミリングで加工したアルミ材蓋である。図24、25の目盛範囲は±0.5mmでピッチ0.05mm、図26、27の目盛範囲は±2.0mmでピッチ0.05mmである。原型の時点で形状誤差の平均値が工法1で0.133mm、工法2で0.013mmであり切削加工の優位性が認められた。鋳物では形状誤差の平均値が工法1で0.373mm、工法2で0.208mmでありその差は0.165mm

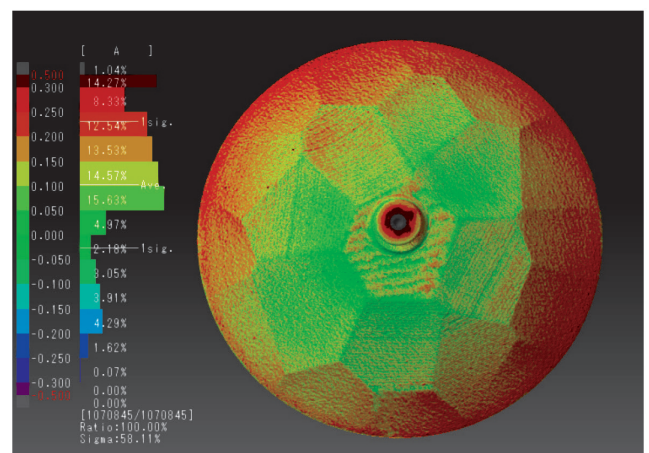


図24 工法1の形状誤差マップ (原型、樹脂材) (Online version in color.)

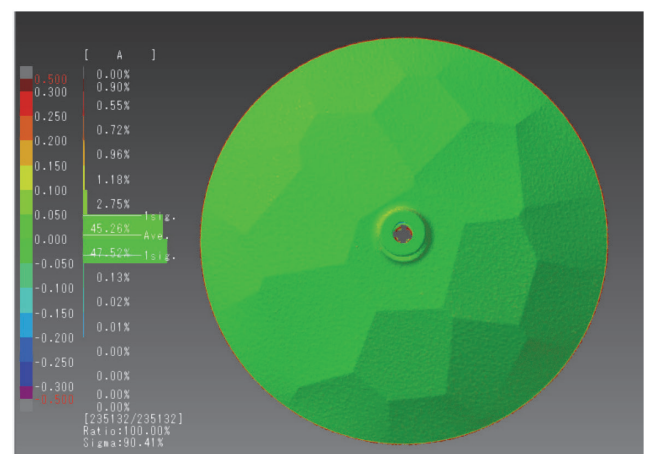


図25 工法2の形状誤差マップ (原型、アルミ材) (Online version in color.)

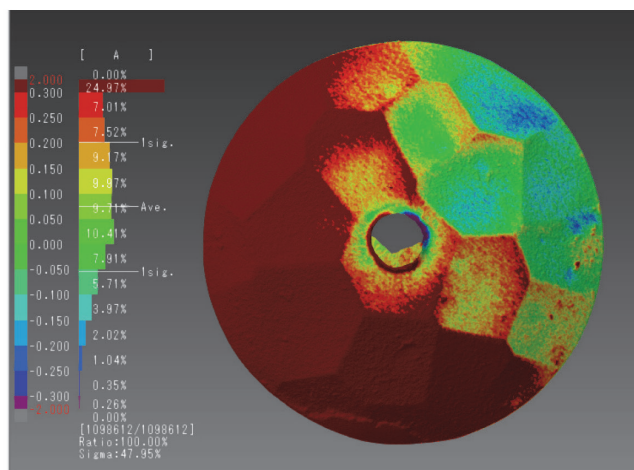


図26 工法1の形状誤差マップ（鋳物）（Online version in color.）

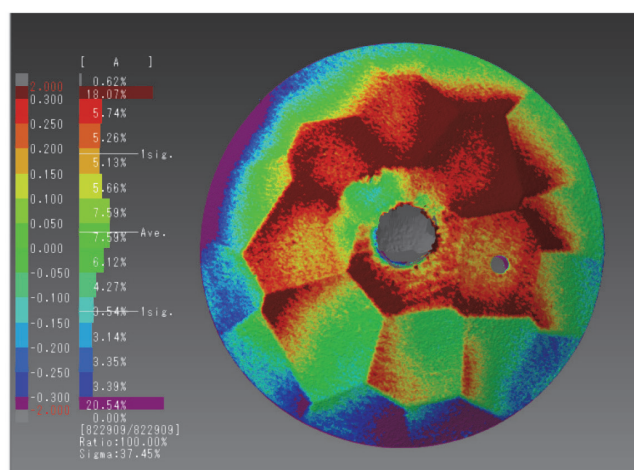


図27 工法2の形状誤差マップ（鋳物）（Online version in color.）

となった。形状誤差マップで比較すると鋳物では工法2で中心に近づく位置でプラス方向の形状誤差がみられ0.3mmを超える箇所も若干ある。工法1では形状誤差の小さい位置と形状誤差の大きな位置が2極化して大きな歪みがあることが分かる。目盛の誤差範囲を $\pm 2.0\text{mm}$ から大きく変更すると形状誤差は消失することから工法1での形状誤差は $\pm 0.3 \sim \pm 2.0\text{mm}$ の範囲であることを確認した。この結果、工法2では見られない広い範囲で $\pm 0.3 \sim \pm 2.0\text{mm}$ 程度の歪みが工法1に存在し、その歪みが目視検査で確認され、工法1と工法2のエッジの鋭利さとして表れたものと推測した。

4 結言

ここでは南部鉄器製造でのアナログな伝統技術とデジタル技術を融合させて南部鉄器製急須の製作に取り組み、以下の知見が得られた。

- (1) 急須の意匠は、デジタルシボによる素地へのゆず肌の付与と併せて、パラメトリックにパラメータを数値制御して複雑形状が作製できるボロノイ分割による進歩的意匠事例を示した。
- (2) 厚みが薄い鉄器蓋の切削加工による作製工法は、パーティングラインで分割した蓋表側及び裏側の下部に円筒つば部を付加し、ねじ切り及びマッチプレートへの抜け防止で活用する方策を示した。
- (3) 蓋原型を樹脂3Dプリンタ方式と切削加工方式の2工法で作製した結果、目視検査では切削加工方式の方が鋳肌面で鋭利なエッジを持つシボ模様が形成されていた。目視検査の結果を精密測定で説明することを試した結果、形体 (Feature) で両者の差は見られず、部品全体 (Surface model) の比較で樹脂3Dプリンタ方式に大きな歪みが認められた。部品全体の歪みが目視検査での印象に関係すると思われる。

謝辞

本研究は（有）及春鋳造所との共同研究として実施した。鋳造を担当した（有）及春鋳造所の及川春樹取締役専務に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 和合健, 浅沼拓雄, 飯村崇: 共焦点顕微鏡を利用したデジタルシボの形状検査, 岩手県工業技術センター研究報告第19号, (2017).
- 2) 和合健, 浅沼拓雄, 飯村崇: 接触式輪郭形状測定機を利用したデジタルシボの形状検査, 岩手県工業技術センター研究報告第19号, (2017).
- 3) 和合健, 浅沼拓雄: 合焦点顕微鏡を利用したデジタルシボの形状検査, 岩手県工業技術センター研究報告第20号, (2017).
- 4) 和合健, 千田征樹: 形彫り放電加工を利用したデジタルシボ製作の検討, 岩手県工業技術センター研究報告第21号, (2018).
- 5) 和合健, 生内智, 及川春樹: デジタルシボ技術を活用した南部鉄器の作製, 岩手県工業技術センター研究報告第23号, (2020).
- 6) 鹿児島大学, Web site (kagoshima-u.ac.jp): ボロノイ図とは.

(2023年2月14日受付)