

# デジタルシボ技術を活用した南部鉄器の作製\*

和合 健\*\*、生内 智\*\*、及川 春樹\*\*\*

南部鉄器の一連の工程を内製化するため、南部鉄瓶を対象に立体形状全域へのデジタルシボ適用と従来品と同等以上の品質での作製を要点に、意匠、加工、鑄造の3工程で試作実験を行った。原型の意匠は現代的で新鮮さを意識し、ゆず肌シボを下地に直線を規則的に配置した幾何学シボを組み合わせた。切削加工後の原型をカメラ撮影型デジタイザで測定した結果、設計値に対する形状誤差は原型上側で $\pm 0.24\text{mm}$ 、下側で $\pm 0.12\text{mm}$ となり目標値 $\pm 0.3\text{mm}$ を満足した。また、試作した鉄瓶は従来品の規定公差 $\pm 0.5\text{mm}$ を満足することを確認した。

**キーワード：デジタルシボ、原型、南部鉄瓶、3D製品、直線模様意匠**

## Product of Nanbu Ironware using digit shibo

WAGO Takeshi, OBONAI Tomo and OIKAWA Haruki

**Key words : Digit shibo, Master model, Nanbu iron kettle, 3D solid product, Straight line pattern design**

### 1 緒言

南部鉄器の製造は図面作製、原型作製、小種作製、プレート型作製、鑄造試作の順で行われる。県内鑄造企業の場合、図面作製と鑄造試作は社内で行えるが、中間に位置する原型製作、小種製作、プレート型製作の3工程は外注で対応する必要がある。現在、原型及びプレート製作者は後継者も含め人材不足が顕著になっている。また、古くからある型は当時の図面や小種等が無く、型が壊れた場合等は再生産の手立てが無くなる可能性が高く、その解決策が望まれている。デジタルシボはエッチングシボに代わる内製化技術として有用であり、デジタル化による型データ保存のアーカイブ化も可能となる<sup>1)</sup>。

ここではデジタルシボ技術を南部鉄器の製造、特に意匠と型データのアーカイブ化に活用するために、対象を立体形状の南部鉄瓶とし、意匠から鑄造までの一連の工程の内製化について検討したので報告する。

### 2 シボ模様の意匠作製

#### 2-1 意匠作製の流れ

デジタルシボの意匠設計とソフトウェア処理の工程は、以下の流れで行った。

#### ①鉄瓶の3D測定・3Dデータ化

デジタルシボを付加する無地肌の土台3Dデータを作製するためにカメラ撮影型デジタイザ(型式:COMET6\_16M、メーカー:Carl Zeiss)を使用して、既存の鉄瓶の本体上部、下部、蓋、計3点を3D測定しポリゴンデータで保存した。鑄造時の収縮を考慮して金型を作製するため、既存のマッチプレート金型の測定も行い、既存の鉄瓶とマッチプレート金型から収縮率を求めた。土台3Dデータのポリゴン編集ではリバースエンジニアリン

グソフトウェア(型式:spScan、メーカー:アルモニコス)を使用し、収縮率の算出では形状検査ソフトウェア(型式:spGauge、メーカー:アルモニコス)を使用した。作製した土台3Dデータを図1に示す。

#### ②図案設計・画像化

ここでの意匠設計の主題は、今までの鉄瓶には見られない模様での新鮮さによる差別化を図ることとし、カバンや手提げ袋に多く見られる直線で構成された幾何学模様(以下、直線幾何学シボという)とした。直線幾何学シボの下地には一般的な鉄瓶に見られるゆず肌とした。これらシボ模様の作製方法を以下に説明する。

デジタルシボ模様はボクセルモデリングソフト(型式:Giomagic Freeform Plus、メーカー:3D Systems)を使用してグレースケール画像を指定した視点方向から、3Dモデルに投影し画像の階調情報から凹凸を生成した。直線幾何学シボは、鉄瓶の意匠デッサンを基に図案を図2のとおり作製した。図案は鉄瓶の形状に沿ってほぼ一定の間隔で意図する位置に線状の模様を施せるように、3DCAD(型式:SOLIDWORKS、メーカー:ダッソーシステムズ)で図3に示すとおり、鉄瓶の垂直断面を基に指定する視点方向から見た時の線形状幅と間隔を算出した。この値を基に図案編集ソフトウェア(型式:Illustrator、メーカー:アドビシステムズ)で直線幾何学シボの図案を作製した。

図4、5のとおり直線幾何学シボのグラデーションの凹凸深さを調整することで、線状模様が緩やかに凹凸変化するデザインになり、さらに砂型作製時に型抜けを阻害する線状模様のオーバーハングが回避できる。また鉉を取り付ける鑲付部、注ぎ口取り付け部、蓋のつまみ部には意図した位置での線形状終端処理、シボ模様を付与さ

\* 令和元年度いわてものづくりイノベーション推進事業

\*\* 素形材プロセス技術部

\*\*\* 有限会社及春鑄造所

せない処理を3DCADで行った。また、本体底の平面部は側面と同様のゆず肌とした。

### ③デジタルシボの付加と切削加工用形状の作製

デジタルシボを付加する土台 3D データをボクセルモデリングソフト（型式：Giomagic Freeform Plus、メーカー：3D Systems）に取り込み、ポリゴンデータをボクセルモデルに変換して、②で作製した画像からエンボス処理を行った。この処理は、画像をモデルに投影して、その階調情報から指定した基準深さを基に凹凸を表現する機能である。エンボス処理後、底部のゆず肌と側面の鋳肌（ゆず肌）を自然に同化させる等、細部の形状編集を図6のとおり行った。

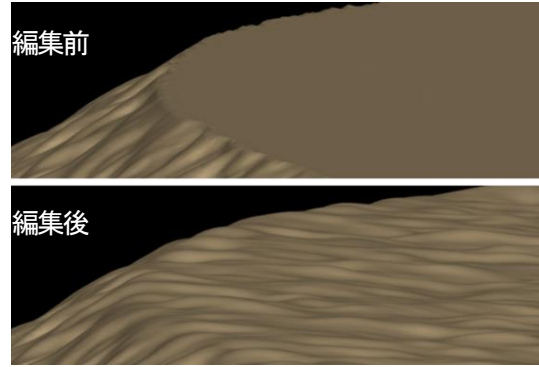


図6 底面デジタルシボと形状編集の前後

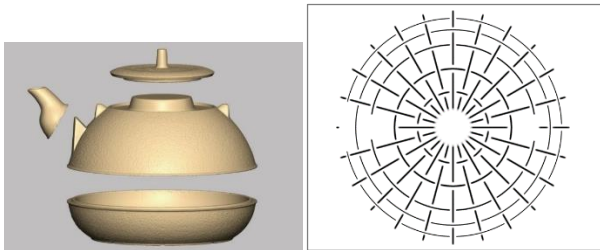


図1 土台 3D データ

図2 図案

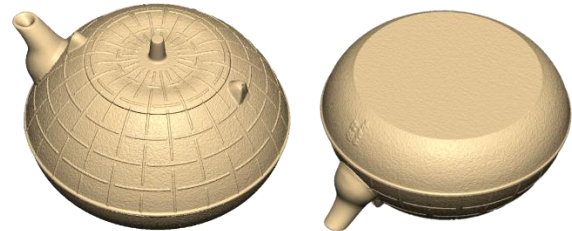


図7 デジタルシボを付加した 3D データ  
(左：上部、右：下部)

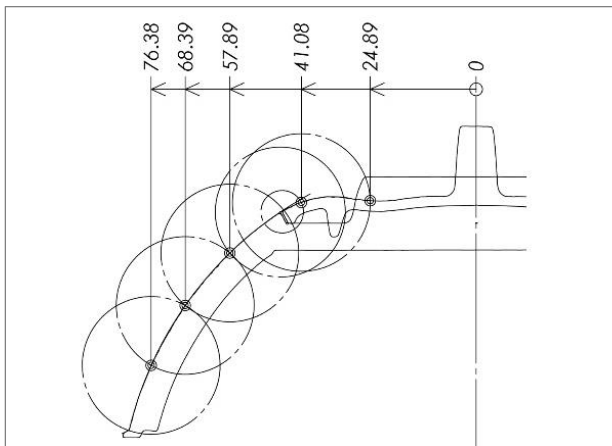


図3 CAD による間隔値の算出

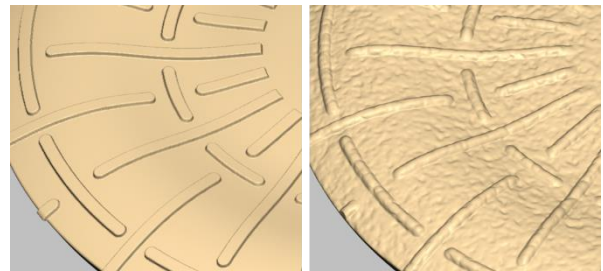


図8 デジタルシボデータの比較 (左：直線幾何学シボのみ、右：直線幾何学シボ+ゆず肌)

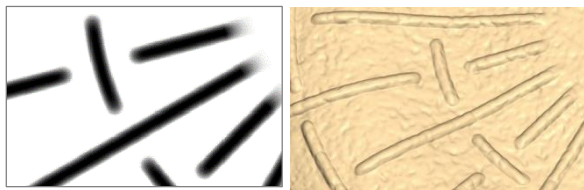


図4 図案のグラデーション  
(蓋部分拡大)

図5 デジタルシボ  
(蓋部分拡大)

## 2-2 完成した STL 形式モデル

図7には、デジタルシボを付加し、複数の3Dモデルを組み付けたボクセルデータを示す。また、図8には直線幾何学シボのみの場合と、ゆず肌状鋳肌と直線幾何学シボを組み合わせた意匠を示す。図8左に示したグラデーションの無い白黒2階調で作製した直線幾何学シボのみの意匠と比較し、図8右の直線幾何学シボとゆず肌を組み合わせた意匠はデジタルシボの表現性がより豊かになった。グラデーションによる凹凸の表現は、2階調で表現する線形状に比較して立体的なため、二次元の図案では同じ幅であっても細く感じる。そのため立体化したシボを確認しながら意匠イメージに近い形状となるよう、画像の線幅やグラデーションの設定を調整する必要がある。この調整はラスタ形式の画像編集ソフト（商品名：Photoshop）より、形状を数値データとして管理できるベクタ形式の図案編集ソフト（商品名：Illustrator）の方が作業性が良かった。

## 3 ミーリングによる原型加工

### 3-1 加工方針

図9に意匠作製された鉄瓶のSTL形式原型モデルを示す。このモデルはマッチプレート金型で使用することとして構造設計し、オーバーハング部分のシボ模様は意匠

の段階で取り除かれているため、3軸マシニングセンタで加工対応できる。

マッチプレート金型は図10に示すとおり、プレート平板を中間に介して上面に原型上側、下面に原型下側を配置したものとなる。マッチプレート金型の作製にあたり、原型の上側と下側は切削加工によるアルミニウム合金（A5052）材の削り出しとし、蓋については樹脂3Dプリンタで作製し原型とした。

### 3-2 切削加工

#### 3-2-1 固定治具

図11に固定治具の図面を示す。ここでの原型の切削加工は底面を除く全面加工となるため、バイスで掴む固定方法は適さず固定治具の機構設計が要点となった。固定治具によるブロック材の保持方法は、原型上側及び下側のプレート平板嵌合部をφ50mmの円筒とし、その円筒受けを固定治具に与えた。この固定治具により、最初に原型を下向きとした姿勢で円筒嵌合部を削り出し、次に固定治具にねじ止めして原型を上向き姿勢でバイスに固定してシボ模様の削り出す加工順序が決定された。

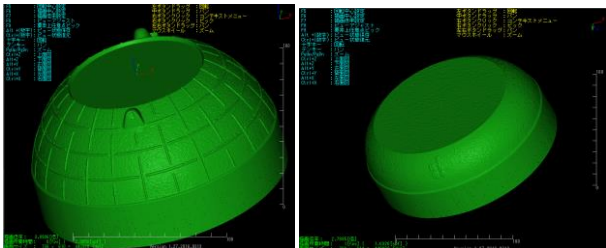


図9 STL形式原型モデル（左：上側、右：下側）



図10 マッチプレート金型の例（左：上側、右：下側）

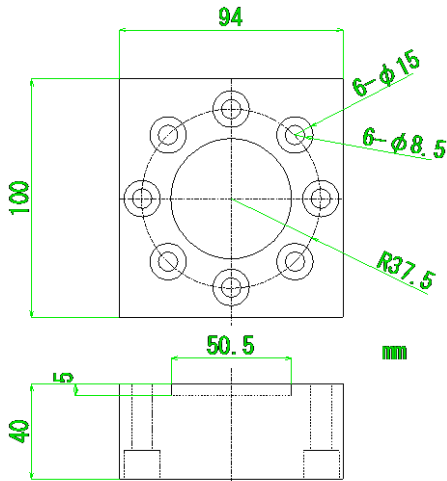


図11 固定治具



図12 原型上側の加工（左：中荒、右：完了後）



図13 原型下側の加工（左：荒、右：完了後）

#### 3-2-2 切削加工

図12、13に加工の様子を示す。固定治具の保持はバイスを利用し、複数の工程を経て原型上側及び下側を削り出した。STL形式原型モデル原点と加工原点を合わせるための配置修正はリバースエンジニアリングソフトウェア（型式：Geomagic DesignX、メーカー：3D Systems）、CAMはSTL対応3軸ミーリングCAM（型式：CraftMill、メーカー：C&Gシステムズ）を使用した。加工機械は原型上側がリニアモータ駆動式高速型マシニングセンタ（型式：HSC55linear、メーカー：DMG/MORI）を使用した。原型下側は、ボールネジ案内式汎用マシニングセンタ（型式：VS3A、メーカー：三井精機工業）を利用した。

#### 3-2-3 加工条件

表1、2に使用した工具を示す。ここでエンドミルは原型上側で5本、下側で4本使用し、最終仕上げはφ2mmのボールエンドミルとした。加工条件は上側、下側とも等高線パスで荒取り加工を行った後に、走査線パスで仕上げ加工を行ってシボ模様を削り出した。当初は、最終仕上げ加工にφ1mmのボールエンドミルを利用する予定であったが、φ1mmボールエンドミルで加工すると、表面の素朴さが失われるため、敢えてφ2mmボールエンドミルで仕上げた。

表3、4に加工時間を示す。原型上側の仕上げ時間が約25時間に対し、原型下側の仕上げ時間は約96時間となった。これは使用したマシニングセンタの性能によるものである。加工した原型上側、下側及びプレート平板を組み付けて図14、15のマッチプレート金型が完成した。

表1 原型上側で使用したエンドミル

| Top    |                   |
|--------|-------------------|
| Number | Feature, diameter |
| T1     | FEM12             |
| T2     | FEM10             |
| T3     | FEM6              |
| T4     | BEM6              |
| T5     | BEM2              |

FEM: Flat mill, BEM: Ball mill



表2 原型下側で使したエンドミル

| Bottom |                   |
|--------|-------------------|
| Number | Feature, diameter |
| T1     | FEM10             |
| T2     | FEM6              |
| T3     | BEM6              |
| T4     | BEM2              |

FEM: Flat mill, BEM: Ball mill

表3 原型上側での加工時間

| Top |         |                |               |
|-----|---------|----------------|---------------|
| 工程  | 切削距離(m) | 加工予測時間 (h:m:s) | 加工実時間 (h:m:s) |
| 1   | 220.27  | 2:44:40        | 不明            |
| 2   | 5.78    | 0:03:04        | 4m            |
| 3   | 18.76   | 0:10:23        | 9m            |
| 4   | 206.91  | 1:15:02        | 2h19m         |
| 5   | 1511.57 | 16:18:17       | 約25h          |

表4 原型下側での加工時間

| Bottom |         |                |               |
|--------|---------|----------------|---------------|
| 工程     | 切削距離(m) | 加工予測時間 (h:m:s) | 加工実時間 (h:m:s) |
| 1      | 16.83   | 0:10:21        | 39m           |
| 2      | 32.61   | 1:48:39        | 1h55m         |
| 3      | 230.03  | 3:05:04        | 不明            |
| 4      | 751.32  | 5:53:14        | 約96h          |

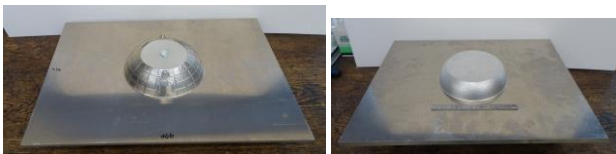


図14 原型組付け後のマッチプレート金型 (左: 上側、右: 下側)

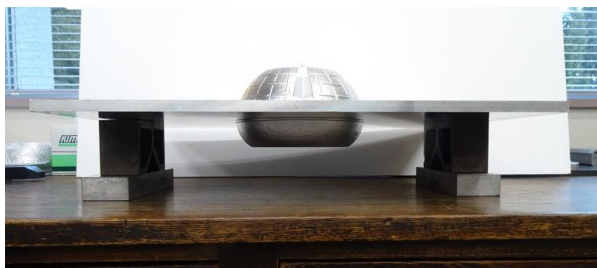


図15 マッチプレート金型 (正面から)

### 3-3 設計照合検査

表5、図16、17に設計値照合検査結果を示す。測定条件は設計値をFreeformで作製したSTL形式モデルとし、位置合わせ方法は3-2-1位置合わせ後にベストフィット、測定機はカメラ撮影型デジタイザ、使用レンズは測定範囲が□400mm、点間ピッチ0.078mmとなるカメラ400とした。検査方法は設計値照合検査ソフトウェア(型式: spGauge2019、メーカー: アルモニコス)を使用して、形状誤差は設計値照合により設計値モデルの法線方向で測定値モデルとの差を形状誤差として算出した。表5より標準偏差σは原型上側で0.889mm、下側で0.080mmとなった。上側でσ0.889mmと算出された原因は、設計値モデルが余分な削り代を与えられ、青色の部分が多く算出されたためである。

表5 設計値照合結果

|      | mm     |        |
|------|--------|--------|
|      | 上側     | 下側     |
| 平均誤差 | 0.578  | 0.023  |
| 最小誤差 | -4.912 | -1.111 |
| 最大誤差 | 4.739  | 0.643  |
| 標準偏差 | 0.889  | 0.080  |

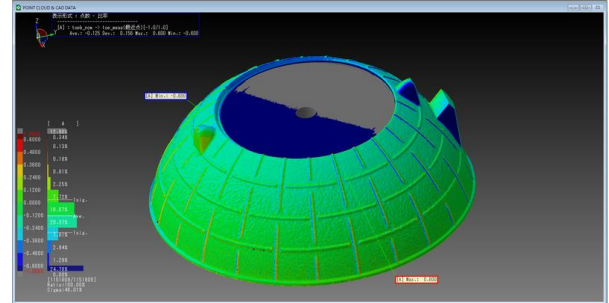


図16 上側の誤差マップ (範囲±0.6mm)

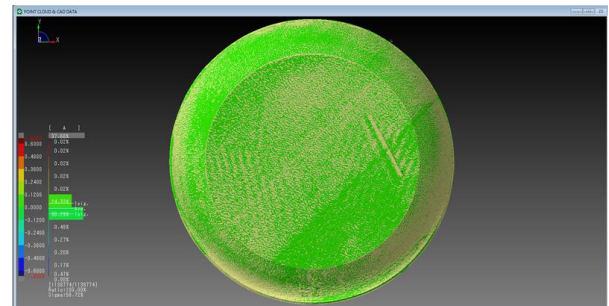


図17 下側の誤差マップ (範囲±0.6mm)

一方、誤差マップから、上側及び下側との誤差スケール±0.6mmとしたヒストグラムで10分割とした目盛りと比較したところ、上側で4目盛りの±0.24mmの範囲が多くを占め、下側では2目盛りの±0.12mmが多くを占めた。この結果、原型上側及び下側の形状誤差は目標値である設計値の±0.3mmを満足した。

## 4 作製したマッチングプレート金型による鋳造加工

### 4-1 鋳込み試験

図18にF-1造型機と造型枠、図19に型バラし後の試作品(本体)を示す。砂型の造型にはF-1造型機を使用し300×300mmのT-100の枠を使用して砂型を作製し、中子は既存のものを流用した。ここで作製した砂型に小型溶解炉(1.0トン/h)で溶解した、片状黒鉛鋳鉄(FC150相当)の溶湯を鋳込み、鉄瓶を試作した。

### 4-2 検査

図20に示すように、試作した鉄瓶の肉厚測定を行った結果、全体の肉厚は3.3mm程度で肉厚の偏りはなく従来品で規定される公差±0.5mmを満足した。なお、図21には最終仕上げ加工を行った試作品を示す。鉸は既存製品を流用し、本体と蓋はデジタルシボ技術を用いてオリジナル意匠を付与した鉄瓶として内製化することができた。



図18 F-1 造型機と造型枠



図19 型バラし後の  
試作品（本体）

図20 試作品の肉厚測定



図21 本研究成果による試作品（横から）  
※鉈は既存製品を流用

## 5 結 言

南部鉄器の一連の工程を内製化するため、南部鉄瓶を対象に立体形状全域へのデジタルシボを適用し、意匠、加工、鑄造の3工程について検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 直線幾何学シボとゆず肌を組み合わせた意匠は、グラデーションのない白黒2階調で作製した直線幾何学シボのみの意匠と比較し、デジタルシボの表現性がより豊かになった。
- (2) 直線状幾何学シボを鉄瓶の形状に沿ってほぼ一定間隔で配置させる方法は、3DCAD (SOLIDWORKS) を利用して鉄瓶の垂直断面から線形状幅と間隔を算出する方法が適する。
- (3) カメラ撮影型デジタイザで切削加工により作製した原型を測定した結果、誤差マップでの設計値に対する形状誤差は原型上側で $\pm 0.24\text{mm}$ 、下側で $\pm 0.12\text{mm}$ が多くを占め目標値 $\pm 0.3\text{mm}$ を満足した。
- (4) デジタルシボで作製した原型を用い、通常の鑄造方法で試作した鉄瓶は、従来品の規定公差 $\pm 0.5\text{mm}$ を満足することを確認した。

## 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)