

# デジタルシボによる南部鉄器製急須の作製\*

和合 健\*\*、生内 智\*\*、及川 春樹\*\*\*

南部鉄器製急須を対象として、意匠及び作製工法に進歩的手法を提案することを目的にデジタルシボ技術の応用展開に取り組んだ。意匠では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を用い、手加工では困難な意匠を実現した。作製工法では、厚みが薄い鉄器蓋を加工時及びマッチプレートで保持するため、パーティングラインで分割した蓋原型下部に円筒つば部を付加した。最終的に蓋原型を3Dプリンタ方式と切削加工方式で比較した結果、鋳造後の蓋は、切削加工方式の方が鋭利なエッジを持つシボ模様が形成されることが分かった。

**キーワード：デジタルシボ、南部鉄器、急須、ボロノイ、蓋、金型**

## Product of Nanbu Ironware Teapot with Digit Shibo

WAGO Takeshi, OBONAI Tomo, OIKAWA Haruki

**Key words : Digit shibo, Nanbu ironware, Teapot, Voronoi, Teapod lid, Master die**

### 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。この二つの問題点に対してデジタルシボによる原型製作では、パソコンでシボ模様を持つ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、デジタルシボ応用研究に取り組んできた<sup>1)~4)</sup>。

ここでは南部鉄器製急須を対象にして、意匠及び作製工法に進歩的手法を提案する。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リング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 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<sup>1)</sup>を選択した。図1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:Rhinceros、メーカー:Robert McNeel & Associates)とRhinceros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2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、各コマンドに必要な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。

#### 2-2 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

\* 令和2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

\*\*\* 有限会社及春鋳造所

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母点数は 50 点とした。最終的な急須のシボ性状はボロノイ分割した面の素地にゆず肌模様を加えた。また本体上型へのゆず肌シボ画像の投影方法は図 3 に示す円柱投影、その他は平面投影とした。図 4 にゆず肌付加前後を、図 5 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。デジタルシボ技術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。

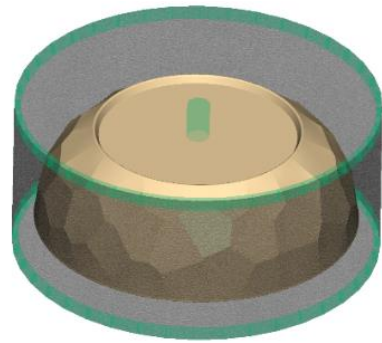


図 3 ゆず肌画像の円柱投影設定

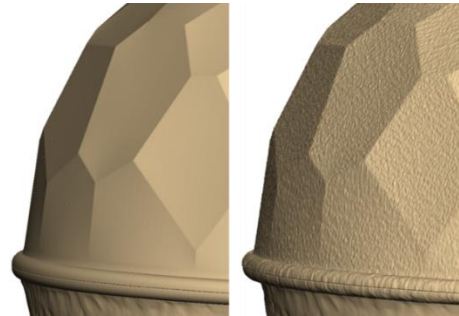


図 4 ゆず肌付加前後  
(左：ゆず肌無し、右：ゆず肌有り)

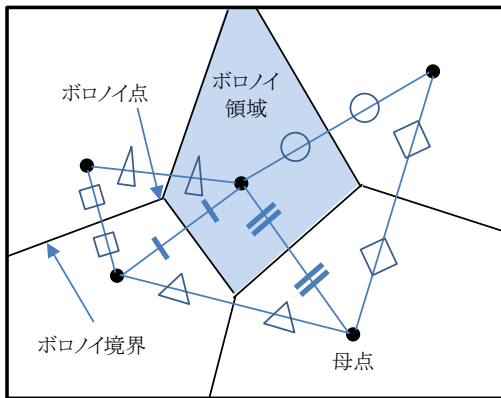


図 1 ボロノイ分割

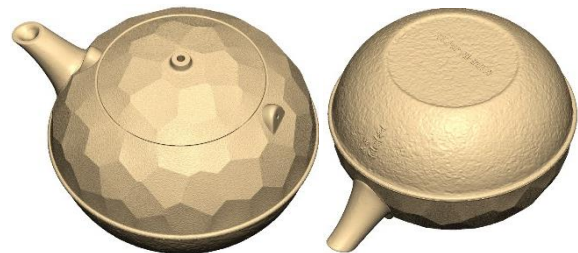


図 5 ボクセル形式の 3D モデル  
(左：上部、右：下部)

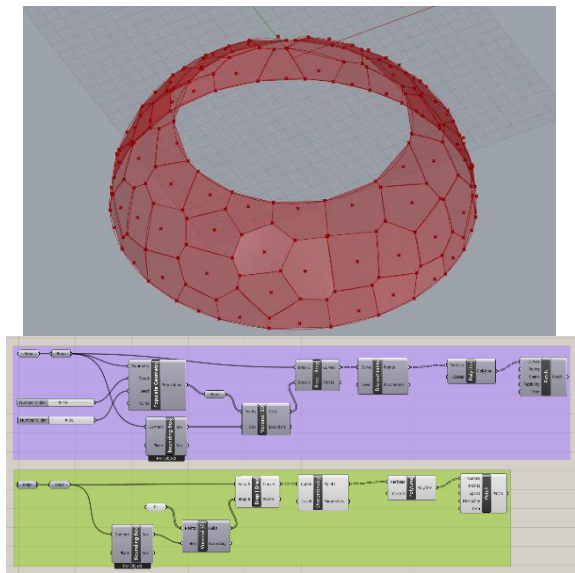


図 2 ビジュアルプログラミングツールを使用した本体上型意匠設計

### 3 蓋金型の製作

従来のデジタルシボを利用した蓋金型<sup>4)</sup>の製作は、図 6 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作製し、それを基に蓋用アルミニウム合金製マッチプレートを作製する方法である。工法 2 はブロック状のアルミニウム合金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 7 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

ティンダ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。蓋表側と蓋裏側には、治具固定部を追加した。蓋原型の表側と裏側をプレートに固定する場合、厚さが薄いため蓋裏側にめねじを切ることができない。そのためマッチプレートに固定する方法は、厚さ10 mm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。図8のとおり蓋表側と裏側の根本に抜け防止のために約φ90 mmの円筒つば部を付け加えた。図9に2枚プレートによる挟み込み固定を示す。この図はプレート断面を切断した模式図であり、蓋表側及び裏側の円筒つばを利用して、プレートからの抜け防止部を形成した。挟み込み方法の考案により蓋部のめねじ加工が不要となり、接着剤を使わず物理的に勘合固定できるため、プレートと蓋原型が容易に取り外せて位置調整等のメンテナンスを行うことができる。

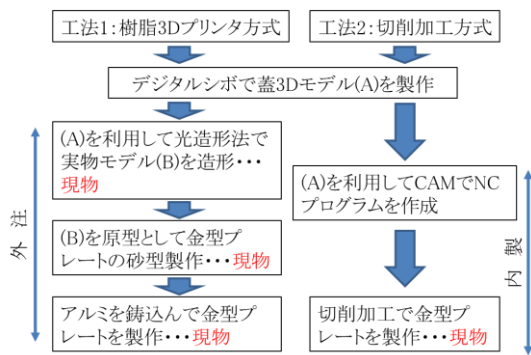


図6 蓋製作の工程

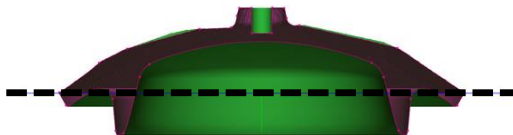


図7 蓋上下分割のパーティンダライン

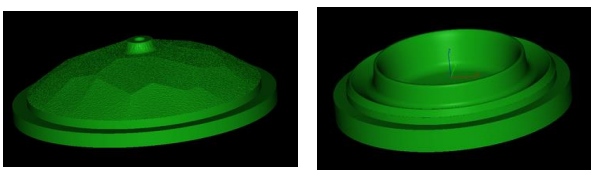


図8 治具固定部の追加  
(左: 蓋表側、右: 蓋裏側)

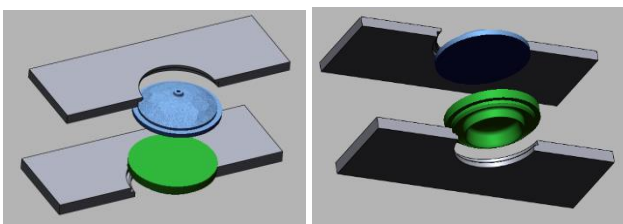


図9 2枚プレートによる挟み込み固定  
(左: 上方視点、右: 下方視点)

図10に蓋加工でのシミュレーション結果、図11に蓋仕掛品と面板、図12に加工後の写真を示す。蓋をアルミブロック材からミーリングで削り出すためには、切削力を十分に上回る固定が必要となる。そこで図11のとおり円筒つば部にM6のめねじを60°分割で6か所設定し、面板治具を利用して固定した。つまり、蓋表側及び裏側の下部に形成した円筒つば部が、マッチプレートへの固定と加工時の面板治具への固定の双方で利用され、ここでの蓋部のアルミブロック材からの削り出し加工が可能となった。モデルの座標系配置はリバースCAD(型式: Geomagic DesignX、メーカー: 3D Systems)、CAM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。加工機械は、治具加工、急須本体及び蓋の仕掛加工の2次元加工に3軸M/C(型式: VS3A、メーカー: 三井精機工業)を使用した。急須本体及び蓋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行える高速M/C(型式: HSC55linear、メーカー: DMG/MORI)を使用した。

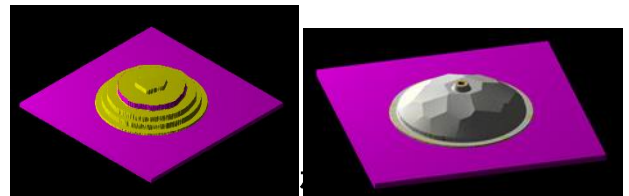


図10 切削シミュレーション  
(左: 荒加工(等高線)、右: 仕上げ加工(走査線))



図11 蓋仕掛品(上)と面板(下)

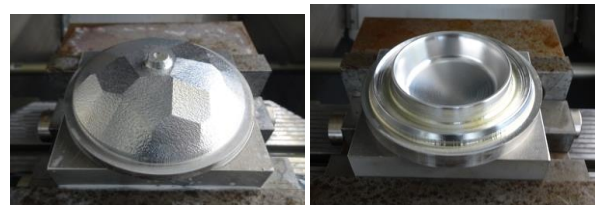


図12 蓋加工後(左: 表、右: 裏)

表1に使用した工具を示す。使用したエンドミルは蓋表側で6本、蓋裏側で5本、最終仕上げは蓋表側でφ2 mmボールエンドミル、蓋裏側でφ3 mmボールエンドミルとした。表2に蓋原型の加工条件を示す。蓋上側は等高線パスで荒取り加工を行った後、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。蓋裏側は2次元加

表 1 蓋原型で使用したエンドミル

No.	φ	被膜	刃数	突出 (mm)	刃長 (mm)
T1	FEM12	DLC	3	40	18
T2	FEM10	DLC	3	35	15
T3	FEM6	DLC	3	35	9
T4	BEM6	DLC	2	40	12
T5	BEM3	DLC	2	45	3
T6	BEM2	DLC	2	45	2

FEM: Flat endmill, BEM: Ball endmill



図 13 蓋マッチプレート金型の構成

表 2 蓋原型の加工条件

番号	1	2	3	4	5	6
工程	荒取り	荒取り	仕上げ	仕上げ	仕上げ	仕上げ
方式	等高線	等高線	等高線	等高線	走査線	走査線
軸切込み(mm)	9.6	5	2.5	0.6	0.075	0.037
径切込み(mm)	2.4	2	1.2	1.2	-	-
回転数(min <sup>-1</sup> )	6400	7680	12800	12800	8270	9880
切削速度(m/min)	241	241	241	241	78	62
送り速度(mm/min)	1816	1720	1520	2240	1984	1581
一刃送り(mm/tooth)	0.09	0.074	0.04	0.087	0.12	0.08
仕上代(mm)	0.1	0.05	0.02	0	0	0
角度(deg)	-	-	-	-	45	135

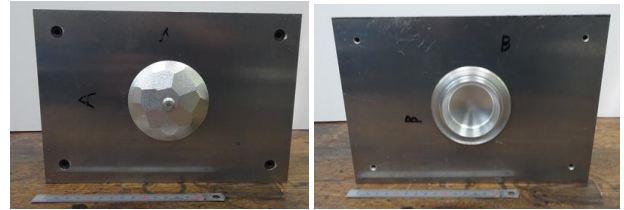


図 14 蓋マッチプレート金型  
(左: 上側、右: 下側)

表 3 蓋原型での加工時間

工程	切削距離 (m)	加工予測時間:a (h:m:s)	加工実時間:b (h:m:s)	b/a
1	28	0:14:22	0:17:00	1.18
2	6	0:03:30	0:04:00	1.14
3	8	0:03:12	0:06:00	1.88
4	12	0:04:53	0:09:00	1.84
5	102	0:51:20	1:11:00	1.38
6	205	2:09:48	2:47:00	1.29
計	360	3:27:05	4:34:00	1.32

※()は予測値

工程	切削距離 (m)	加工予測時間:a (h:m:s)	加工実時間:b (h:m:s)	b/a
1	37	0:19:28	0:22:00	1.13
2	6	0:03:16	0:04:00	1.22
3	8	0:03:24	0:04:00	1.18
4	19	0:08:01	0:08:00	1.00
5	128	1:19:47	(1:30:09)	(1.13)
6	-	-	-	-
計	197	1:53:56	(2:08:09)	(1.12)

※()は予測値

工であったため荒取り及び仕上げとも加工パスは等高線とした。表 3 に加工時間を示す。ここで加工予測時間とは CAM が計算した工具送り速度と工具経路距離から算出した時間であり、加工実時間は実際の加工時をタイマーで測定した時間である。その結果、総加工時間は蓋表側で 4 時間 34 分、蓋裏側で 2 時間 8 分 9 秒となった。加工実時間は、工具の移動軸や進行方向の切り替えのための減速で加工予測時間よりも長くなる傾向にあり、その比を b/a で示した。蓋の表側がシボ模様の加工になるために裏側よりも加工時間が長くなっていた。

図 13~15 に蓋マッチプレート金型の各要素を示す。加工した蓋表側、蓋裏側及びプレートを組み付けて蓋マッチプレート金型が完成した。蓋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、蓋金型の上下のずれ



図 15 蓋マッチプレート金型側面  
(左: 全景、右: 拡大)



図 16 蓋マッチプレートの形状検査  
(左: 全景、右: スタイラス部)

表 4 蓋部の検査結果

mm						
位置	蓋 表側:p	プレートA:q	q-p	要件	結果	
a	5.166	-	2.315	4.982	-2.851	-公差 ○
b	-	1.043	2.667	-	1.624	+公差 ○
c	5.175	-	7.036	-	1.861	蓋裏側と相殺 ○
d	-	-	0.812	-	-	bに依存 -
e	2.984	-	2.197	-	-0.787	-公差 ○
φ f	90.128	-	90.286	-	0.158	+公差 ○
φ g	80.038	-	80.149	-	0.111	+公差 ○

位置	蓋 裏側:p	プレートB:q	q-p	要件	結果	
a	5.132	-	1.768	4.969	-3.364	-公差 ○
b	-	1.487	3.201	-	1.714	+公差 ○
c	9.126	-	7.357	-	-1.769	蓋表側と相殺 ○
d	-	-	1.720	-	-	bに依存 -
e	2.981	-	0.990	-	-1.991	-公差 ○
φ f	90.190	-	90.302	-	0.112	+公差 ○
φ g	80.154	-	80.204	-	0.050	+公差 ○

位置	c1	c2	c1+c2	公差	結果
h	1.861	-1.769	0.092	+0.2~0	○

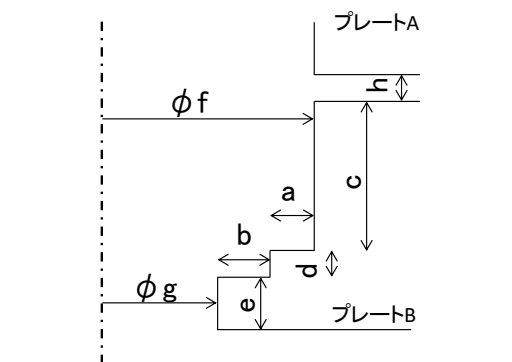
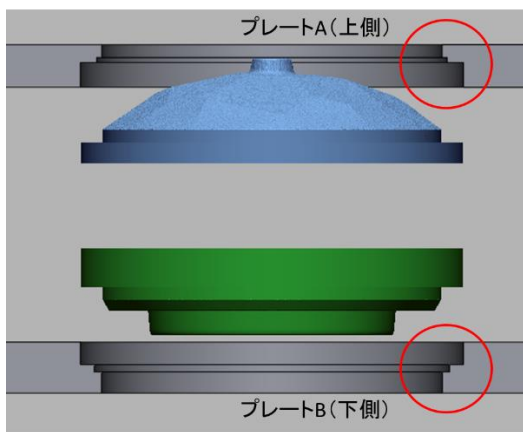


図 17 プレート部の測定位置 (丸囲み部の拡大図)

プヤ傷等の切削不良は見られなかった。図 16 に蓋マツチプレート金型の嵌合部形状検査、表 4 に蓋部の検査結果を示す。図 16 のとおり先端頂角  $16^\circ$ 、先端 R25  $\mu\text{m}$  の円錐スタイラスを利用して、輪郭形状測定機 (DSF600S、小坂研究所) で蓋金型とプレートの勘合部の形状を比較した。測定箇所は図 17 で示した a~h で、各位置で-公差または+公差の要件を持つ。公差の要件は、蓋金型とプレートの嵌合であるため嵌め合いの方向と寸法幅が重要となり、すべての結果が公差要件を満足し、良品と判定された。最終的に 2 枚のプレートを合わせた時の隙間が h となり公差 +0.2~0 mm を狙って作製した結果、h は +0.092 mm となり良品と判定された。

#### 4 鋳造工程

図 18 に工法 1 と工法 2 の鋳造工程の概略を示す。製品の取り数は工法 1 で 6 個取り、工法 2 で 1 個取りとした。工法 1 と工法 2 の二つの方法で作製した鋳物蓋を目視検査で比較したところ、両者とも意図したボロノイ意匠が適正に反映されていた。工法 1 では、僅かであるが積層ピッチ痕が残っていたものの製品不良には該当しない外観であった。これに対して、工法 2 の方が鋳肌面の凹凸が鮮明で輪郭のはっきりして、鋭利なエッジを持つシボ模様が形成されていた。

表 5 に各工法の特長を整理する。工法 1 の優位点は、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

工法 1



工法 2



図 18 鋳造工程とパレル研磨後の鋳造品

表 5 各工法の特長

方式	優位点	欠点
工法1 (3Dプリンタ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>原型作製が容易</li> <li>多数個取りに有利</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外注必須(外注費、納期長)</li> <li>外注先の技能に出来が依存</li> </ul>
工法2 (切削)	<ul style="list-style-type: none"> <li>内製化できる(自社管理)</li> <li>エッジが鋭利</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多数個取りでは金型の複数加工必要</li> </ul>

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、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。

#### 5 結 言

南部鉄器製急須を対象として、意匠及び作製工法に進歩的手法を提案することを目的として、デジタルシボ技術の応用展開に取り組み、以下の結果が得られた。

- (1) 急須の意匠は、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を用いた。ボロノイ分割は手加工では困難な意匠実現に有利であった。加えて、下地にゆず肌のシボ模様を与えることで、無機質な多角形平面パターンに柔らかさが加わった。
- (2) 厚みが薄い鉄器蓋の作製工法は、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

付加することで解決した。円筒つば部がミーリング加工時の面板接続でのネジ部、及びマッチプレート挟み込み固定時の抜け防止の要点となった。

- (3) アルミニウム合金材からの削り出し加工では、2 次元加工による治具加工、及び点切削を多用するシボ模様加工の二つの異なる作業で性能の異なる 2 台のマシニングセンタを使い分けることで作業効率化が図られた。また、マッチプレート金型組み付け後の勘合検査の結果、すべての項目で良品と判定された。
- (4) 蓋金型を樹脂 3D プリンタ方式と切削加工方式で作製した結果、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。しかしながら、両方式ではそれぞれ優位点と欠点を持つため、状況に応じて蓋金型作製方式を選択することが必要である。

## 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：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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 鹿児島大学 Web site (kagoshima-u.ac.jp)：ボロノイ図とは