

# プレス型を利用した陶器成形技術の確立

亘保秀一、金城 洋、羽地龍志、照屋 駿、松本幸礼\*<sup>1</sup>、花城可英、  
鶴田貴大\*<sup>2</sup>、鯉沼則之\*<sup>2</sup>、砂川良美\*<sup>2</sup>

陶器素地（以下、素地）のプレス成形は、一般的には瓦やタイルのような建材を金型によって大量に生産する場合に用いられる技術であるが、本研究では小スペースな工房規模での多品種少量生産に対応する技術としての確立を試みた。具体的には3DCAD、3D スキャナおよび3D プリンタなどデジタル技術を活用した「プレス型の設計・造形」と、プレス機を用いた「プレス成形」が連携した生産工程の確立である。令和4年度はプレス型の材料と加工・製造方法および成形性・離型性について検証した。令和5年度は製品サイズを尺角皿（約30 cm 四方）まで拡大することを目標に、製造現場のニーズに合わせたプレス治具の開発と種々のプレス型の設計・製作を行った。

## 1 はじめに

本県の伝統的工芸品である壺屋焼は、その殆どの工程が手加工であるため、同一製品の多量生産や、職人の養成と技術伝承に多大な期間を要するなど、市場ニーズに対する応答性や技術者の養成・確保に苦慮している。石膏型による泥漿鑄込や機械ロクロなどの既存技術は多量な石膏型とその保管場所が必要となるため、一定規模以上のスペースが必要となる上、多品種少量生産には不向きなどの要因により、県内では衰退している。

この陶器製造における課題解決のため、壺屋焼窯元である(有)育陶園との共同研究を実施し、3DCADによる製品および型の設計や3Dプリンタの活用などのデジタル技術と、3Dプリンタで造形した型による素地のプレス成形技術及びプレス治具の開発など、製造現場のニーズに応じた製法の確立による生産性向上を目指した。

## 2 実験方法

### 2-1 プレス試作試験

プレス型に要求される仕様を選定するため、(有)育陶園の商品の中で、まとまった数量が見込め、かつ比較的容易にプレス成形できると思われる形状を検討した。その結果、3.5寸（直径約12 cm）の丸小皿を選択した。試験用のプレス機には、理学電機工業株式会社製手動油圧式30トン粉末試料成形機を使用し、型の閉まり具合や耐圧状況を確認しながら約30 kNまで加圧した（図1）。



図1 3.5寸丸小皿(左)と試験用プレス機(右)

### 2-2 プレス型の材料と加工方法

3DCADを用いて設計した丸小皿用プレス型を種々の材料および加工方法で試作した。試作に用いた材料と加工方法を表1に示す。モノマーキャストナイロン、ケミカルウッドについては、Roland DG株式会社製原型加工装置「MDX-540」を用いて切削加工した（図2）。PLAについては、武藤工業株式会社製熱溶解積層造形方式（FFF方式）3Dプリンタ「MF-2200D」にて、光造形については、Formlabs株式会社製光造形方式（SLA方式）3Dプリンタ「Form2」にて、ナイロン（PA）12についてはHP社製樹脂粉末熔融積層造形方式（MJF方式）3Dプリンタ「Jet Fusion 540」にて造形した。石膏については、ケミカルウッドの型から石膏で型を取り、それを用いて石膏型を作成した。また、樹脂石膏も検討を行い、通常の石膏と、樹脂石膏の配合を変えて複数個試作した。

なお、実験に使用した坯土は壺屋陶器事業協同組合製土工場の赤土3号、型の設計には、Solid Works、Fusion360、Rhinocerosを使用した。

表1 プレス型材料と加工方法

| 型材質          | 加工方法          | 成形・加工機         |
|--------------|---------------|----------------|
| モノマーキャストナイロン | 切削加工          | MDX-540        |
| ケミカルウッド*     | 切削加工          | MDX-540        |
| PLA          | 3Dプリンタ（FFF方式） | MF-2200D       |
| 光硬化性樹脂       | 3Dプリンタ（SLA方式） | Form2          |
| ナイロン（PA）12   | 3Dプリンタ（MJF方式） | Jet Fusion 540 |
| 石膏           | 原型から型取り       | -              |



図2 モノマーキャストナイロン(左)とケミカルウッド(右)の加工

\*<sup>1</sup> 現商工労働部ものづくり振興課、\*<sup>2</sup> 有限会社育陶園

### 2-3 離型方法の検討

予備試験の結果、素地の離型に課題があることが分かった。これを改善するため離型方法を検討した。離型材として油や粉などを型に塗布する方法や、型と坯土の間にシートや布などを挟み込む方法など、表2に示す離型方法を検討した。

表2 離型方法の検討

| 離型方法      |  |
|-----------|--|
| 型に塗布      | シリコンオイルスプレーを塗布<br>片栗粉を塗布   |
| 型と坯土の間に挟む | ストッキングを挟む<br>ウレタン布を挟む<br>クッキングペーパーを挟む<br>紙テープで型を覆う<br>ラップを挟む<br>ストレッチフィルムを挟む<br>ガーゼを挟む |

### 2-4 成形する素地の大型化に伴うプレス機仕様検討

プレス成形可能な素地の最大サイズ目標として、(有)育陶園で生産される中での大型製品である、一辺が30cm程度の尺角皿を設定した。これに必要なプレス荷重の確認とプレス治具の仕様選定のため、当センター保有の万能材料試験機(最大荷重:1,000kN)でプレス成形実験を行った。その後、プレス治具と型の製作および素地成形を行い、実際に加飾・焼成まで行った。

### 2-5 製品の成形性、生産性の検証

現場で日常的に成形される素地のうち、絵付け体験に用いられる15cm角皿(図3)は、タタラを石膏型に押しつけて製作されており、単一形状の製品としては必要数も多く体力的にも負担が大きい。しかしながら、必ずしも職人の手作りが求められるものではない。そこで、多量生産する上での成形性および生産性の検証モデルとしてこれを選択し、そのプレス型を樹脂粉末溶融積層造形方式3Dプリンタによる造形と、ケミカルウッドの切削加工にて製作した。



図3 絵付け体験用15cm角皿(中央)<sup>\*3</sup>

<sup>\*3</sup> 有限会社育陶園ホームページより

## 3 実験結果および考察

### 3-1 プレス型の設計、プレス型の製作

丸小皿のプレス型について、3DCADを用いて設計し、プレス型を試作した。光造形機の造形サイズに限界があり、雌型側の肉厚が薄くなるため、図4、5のようにアルミニウムの外枠にはめ込む構造とした。また、原型さえあれば特別な機器を必要とせず型の製作や複製が可能で、吸水性もあるため離型性も良好であるなど、様々な優位性から陶磁器製造現場で標準的型材料として使用されている石膏についても、表3に示す4種類の配合にて石膏型を制作した(図6、7)。

上述した種々のプレス型を用いて、プレス成形を行った結果を表4に示す。



図4 モノマーキャストナイロン製プレス型



図5 ケミカルウッド製プレス型

表3 石膏の配合

| 石膏の種類     |
|-----------|
| 石膏のみ      |
| 石膏2：樹脂石膏1 |
| 石膏1：樹脂石膏1 |
| 石膏1：樹脂石膏2 |



図6 使用した道具(左)と型への石膏注入(右)



図7 製作した石膏型(左)とアルミ枠への嵌込(右)



図8 PLA製プレス型(左)とプレス状況(右)

表4 型材料性能比較

|              | 製作時間 | 材料費 | 型精度 | 離型性 | 耐久性 |
|--------------|------|-----|-----|-----|-----|
| モノマーキャストナイロン | ○    | △   | ○   | △   | ◎   |
| ケミカルウッド      | ○    | △   | ○   | ◎   | ○   |
| PLA (FFF)    | ○    | ◎   | △   | △   | ○   |
| 光硬化性樹脂       | △    | ×   | ×   | —   | —   |
| ナイロン (PA) 12 | ○    | △   | ○   | ○   | ◎   |
| 石膏           | ◎    | ◎   | △   | ◎   | ×   |

- ◆ モノマーキャストナイロンは、耐久性はあるが離型性が悪く、そのままでは離型出来ない。
- ◆ ケミカルウッド (比重: 0.72) は、若干耐久性が劣るものの離型性が良く、最も使いやすい。
- ◆ PLAは、材料費が安いものの、FFF方式の3Dプリンタ特有の積層痕が残るため、離型が困難であった。
- ◆ 光造形については、造形サイズが3Dプリンタに対してかなり大きかったため、造形時に変形が生じ、雄型と雌型が勘合できず使用には至らなかった。
- ◆ ナイロン (PA) 12は、種々ある3Dプリンタの中でも比較的優れた機械的特性を有するMJF方式により造形されるため、材料強度も充分である。また、造形物の表面が粉末熔融方式特有の梨地肌となっており、これが比較的良好な離型性に寄与しているものと考えられる。
- ◆ 石膏は、プレスの型として用いた場合、プレスの荷重に耐えられず、数回のプレスで破壊した。全ての配合

において同様の結果となったため、プレス型での使用は難しいとの結論に至った。

このほか、素地をプレス成形することによる副次的なメリットとして、プレス荷重によって坯土内の水分が押し出され、型へ吸収されるか型の隙間から流出するため、次工程の乾燥時間を大幅に短縮できることが分かった。

### 3-2 離型性の検討

離型材を使用せずに成形を行った場合、図9の様に坯土が型にかなり強固に付着している状態となり、これをきれいに離型するにはある程度乾燥・収縮する必要があった。ケミカルウッドや石膏を用いる場合、型自体が吸水し乾燥・収縮が早まるため、比較的早く取り出すことが可能だが、ケミカルウッドは成形を繰り返すと吸水性が落ちることで坯土が表面に固着し、離型性が悪くなる現象が見られた。また、離型時に変形した素地を手作業で修正すると、その後の乾燥工程や焼成工程で歪みが発生する要因となるため、素地を極力変形させないように離型する工夫が必要である。

離型方法の検討を行った結果を表5に示す。どの方法でも一定の効果は認められるが、それぞれ作業性には以下の違いが出た。

- ◆ シリコーンスプレーや片栗粉などは、若干の離型効果はあるものの、真空吸着状態が起き、離型に失敗することもあった。
- ◆ 伸縮性のあるストック生地やウレタン生地は、型形状への追従性が良く、離型性も良好だったが、使用する度に丸まってしまう傾向があり、成形の段取りで多少の手間が発生する。
- ◆ ラップやストレッチフィルムを使用すると、水分が抜けられないため、素地が柔らかい状態のままとなり、離型の際に変形させてしまう。
- ◆ ガーゼは、最も使い勝手が良く、繰り返し使用ができ、素地に残る網目状の模様も、後工程で問題なく処理できた。

以上の結果を踏まえ、今後の検討においては、ガーゼを使用することとした。



図9 離型の様子 (不良)

表5 離型性の検討結果

|           | 離型性 | 操作性 | 備考               |
|-----------|-----|-----|------------------|
| シリコーンスプレー | △   | ○   | その後の工程に影響がないか要検討 |
| 片栗粉       | △   | ○   | 多少の効果あり          |
| ストッキング生地  | ○   | △   | セットがやや難          |
| ウレタン生地    | ○   | △   | セットがやや難          |
| クッキングペーパー | ×   | ×   | ペーパーが坏土に貼りつく     |
| 紙テープ      | △   | ×   | セットが難            |
| ラップ       | △   | △   | 坏土に貼りつく          |
| ストレッチフィルム | ○   | ○   | 再利用不可            |
| ガーゼ       | ○   | ○   | 伸縮性があり、使いやすい     |

表6 板状坏土 (33 cm × 33 cm) のプレス試験

| 坏土の配置                   | 試験条件              | 最大荷重 (kN) | 成形状態 |
|-------------------------|-------------------|-----------|------|
| 中央に塊                    | 15 mm/min         | 127.7     | ×    |
| 中央に塊                    | マニュアル             | 301.2     | ×    |
| 中央に塊                    | マニュアル (100 kN 保持) | 102.0     | ×    |
| 短冊 t=14 mm 4本           | マニュアル (100 kN 保持) | 100.5     | △    |
| 短冊 t=9 mm 5本            | マニュアル (100 kN 保持) | 100.2     | △    |
| 円形スライス複数枚重ね             | マニュアル (100 kN 保持) | 101.2     | △    |
| 円形スライス複数枚重ね+ハンマー        | マニュアル (100 kN 保持) | 102.2     | △    |
| 円形スライス複数枚重ね、布無し、上下ベニヤ板。 | マニュアル (100 kN 保持) | 100.7     | ○    |

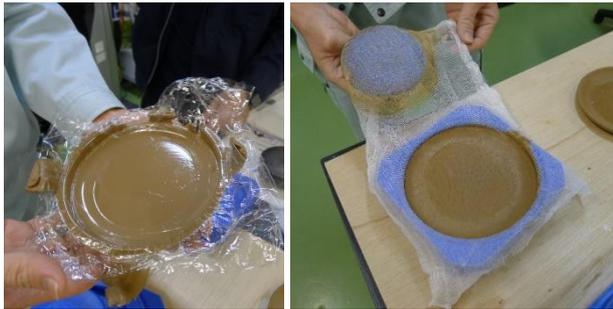


図10 ラップ(左)とガーゼ(右)による離型



図11 中央に塊を置いてのプレス試験

### 3-3 万能試験機による板状坏土のプレス試験

素地の大型化に伴いプレス成形に必要な荷重を確認するため、表6に示すステップで坏土を平板状に成形する圧縮試験を行った。

その結果、坏土を中心付近に塊で配置した場合、100 kN程度でほとんど潰されなくなり、それ以上の荷重を加えても中央部の水分が抜けて流動性が悪くなり、四隅まで充填できなかった(図11、12)。

そこで、図13の様に短冊状にした坏土を仕上がり形状に近い形で配置すると、100 kN程度の荷重でも角部まで充填された。プレス荷重が大きくなると、プレス機やプレス型の強度を上げる必要があるため、サイズや重量、材料費など作業コストを考慮し、プレス荷重は100 kN程度にとどめ、坏土を予め仕上がり形状に近い形で配置することで、成形性を確保することにした。ただし、通常行われているタタラの成形作業ではかなりの労力を要することから、後述する土練機口金の改良を行うことで、タタラの成形作業の省力化を図ることとした。



図12 四隅まで坏土は充填されず



図13 短冊状に配置して枠内に充填させた

### 3-4 既存プレス機への治具設計・製作

平板での試験の結果から、プレス機の仕様を決定し購入した簡易プレス機（アストロプロダクツ製 12 t 油圧プレス HP157）について、プレス型が傾かずに圧縮できるように、ガイドとスプリングを取り付けるなどの改良を施して、以降のプレス実験に使用した（図 14）。また、標準の油圧ポンプは手動であったが、ストロークが長い場合はかなりの時間と労力を要するため、空圧作動式の油圧ポンプに換装した。これにより、加圧作業の省力化が図れた。



図 14 購入した簡易プレス機(右：後付け治具部)

### 3-5 尺角皿型の設計・製作～成形性試験)

プレスサイズの大型化を狙う製品として、尺角皿用のプレス型を作成した。材質は、ケミカルウッド(比重:0.8)とし、加工機の加工範囲の制限と接合面からの脱水効果を考慮して4分割で製作した。プレス成形時には、ベニヤ板とベルトで結束固定した（図 15）。

試験当初は形状の一部で充填不足などが発生したが、板状坏土のサイズや置き方などを調整することで、良好な成形が可能となった（図 16）。このプレス型で成形した素地に加飾を施し、焼成したものが図 17 である。これにより、比較的大型の素地のプレス成形が可能であることが実証できた。

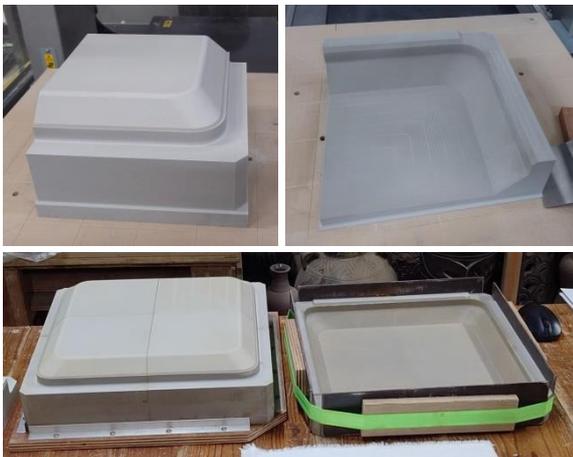


図 15 4分割形状毎の切削(上)と結束固定(下)



図 16 きれいに成形された尺角皿素地



図 17 加飾・焼成された尺角皿

### 3-6 土練機口金の改造・押出成形性の向上

3-3 において、プレス成形に供する坏土の形状として、タタラの成形を省力化する必要性が示された。そこで、土練機から押出される時点で板状になるよう、円形断面(直径 11.2 cm)から矩形断面(幅 20 cm× 厚さ 4 cm)へと変化する形状変換口金を考案し、アルミブロックをワイヤーカット放電加工機を使用し削り抜いて製作した。

口金の取り付け当初は、押出される板状坏土を4枚にスライスして使用していたが、素地の成形後に歪みが出るのが判明した。そこで、実際に使用するタタラの厚み(約 7 mm)に近づけつつ更なる圧延を図るため、幅 20 cm× 厚さ 9 mm のスリット2カ所から2枚の板状坏土が押出される口金を追加した（図 18、19）。

これにより、坏土の板状での押出しが可能となり、タタラの成形が省力化された。また、板状坏土を圧延することで、素地に発生する歪みを軽減できることが分かった。



図 18 改良口金1枚出し(左)と2枚出し(右)

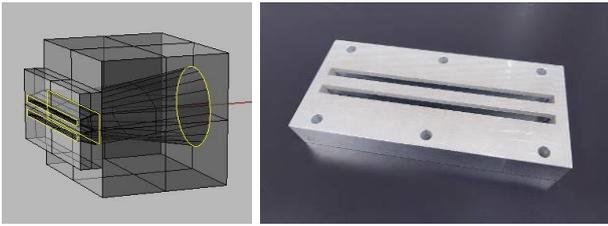


図 19 形状変換口金図(左)と2枚出し口金部(右)

### 3-7 製品の成形性、生産性の検証

絵付け体験用として用意される 15 cm 四方の角皿素地について、型押しによる手作り形状のやわらかいイメージを反映させるようにリ・デザインし(図 20)、その形状を基に成形性や作業性などに配慮したプレス型を設計した(図 21)。雄型と雌型の加工・造形方法および素材の組み合わせを表 7 に、製作した型の写真を図 22 にそれぞれ示す。その後、(有) 育陶園にて生産性の検証を行った(図 23、24、25)。

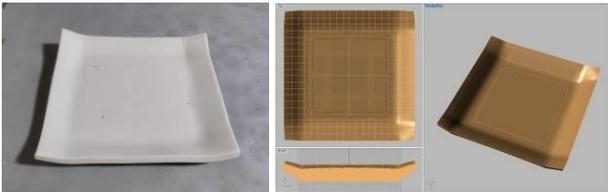


図 20 既存の体験用角皿素地と CAD 原型

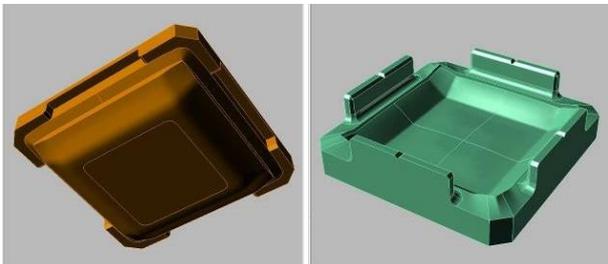


図 21 雄型(左)と雌型(右)の設計

表 7 プレス型の加工・造形方法と素材

| 型種 | 加工・造形   | 素材                |
|----|---------|-------------------|
| 雄型 | 切削      | ケミカルウッド (比重 0.72) |
|    |         | ケミカルウッド (比重 1.3)  |
| 雌型 | 3D プリント | ナイロン (PA) 12      |
|    |         | ナイロン (PA) 12      |



図 22 製作した 3 素材の雄型と雌型(右端)

素地成形する際は、改良された土練機口金より押出された板状坯土をプレス型のサイズにカットして使用したこと、プレス型で成形したことにより、表 8 に示すとおり大幅に生産性を向上させることができた。40 枚の素地成形試験を行った結果、素地の段階では 100% 成形された。その後の乾燥～焼成工程で反りなどの不具合が生じたものは 4 枚で、歩留まり率は 90% であった。



図 23 板状坯土の仕込みとプレス成形



図 24 3 種の型材全てが良好に成形



図 25 順調に反復生産された角皿素地

表 8 これまでの製法との比較

|                        | 従来のタタラ成形 | 板成形+プレス型成形 |
|------------------------|----------|------------|
| 成形から乾燥までを含む製造時間        | 108 時間   | 28 時間      |
| 1 個あたりの作業時間            | 45 分     | 8 分        |
| 1 日 (8 時間) 稼働した場合の製造個数 | 10 個     | 60 個       |
| 月産製造個数                 | 80 個     | 480 個      |

#### 4 まとめ

今回の取組により、プレス型や治具の設計と3Dプリンタでの樹脂型による素地の成形が可能となり、迅速かつ低コストでの多品種少量への対応と、プレス成形によって熟練技能者でなくても素地を安定的に製造することが可能となった。

また、真空土練機から押出される坏土の形状を矩形断面へと変換する口金により、板状坏土の成形効率が格段に向上し、素地成形工程および乾燥工程の短縮化も含め、月産製造個数で約6倍の生産性向上が実現した。

本研究の成果を活用し、(有)育陶園では、独自に3DCADおよび3Dプリンタなどのデジタルツールを導入し、小物のプレス型や治具などを内製することも実現している。

本研究は、令和4年度から令和5年度にかけ「生産数を増やすための新たな素地成型技法の開発 2022 技 014」として実施したものである。

## **Establishment of Pottery Forming Process Using Press Dies**

Hidekazu GIBO, Hiroshi KINJO, Tatsushi HANEJI, Shun TERUYA, Yukinori MATSUMOTO\*<sup>1</sup>, Kaei HANASHIRO  
Takahiro TSURUDA\*<sup>2</sup>, Noriyuki KOINUMA\*<sup>2</sup>, Yoshimi SUNAGAWA\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>Former affiliation : Okinawa Industrial Technology Center

\*<sup>2</sup>Ikutouen, Co., Ltd.

Ceramic Clay green body (hereinafter "green body") pressing is a typical process that uses metal dies to mass-produce building materials, such as roofing and other tiles. However, we aimed to adapt this process for multi-variety, small-volume production in small-scale, space-constrained workshops. Specifically, we sought to establish a production process that interfaces press die design and shaping using the digital technologies of 3D CAD, 3D scanning, and 3D printing with pressing using press machinery. In FY 2022, we verified our press dies for material, processability/manufacturability, and forming performance/ease of release. In FY 2023, we developed press jigs tailored to shop floor needs and designed and manufactured various press dies, aiming to increase the product size to approx. 30 × 30 cm square dishes

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。