

## 2D/3D 技術応用による伝統産業に適した デザイン開発手法の研究開発と普及事業

デザインチーム 比嘉 明子, 木戸 雅史, 竹浪 祐介, 松原 剛, 松田なつみ, 沖田実嘉子

### 要 旨

本研究は、京都の伝統産業分野を対象に2D及び3Dの総合的なデジタル技術を活用したデザイン開発手法や製造工程の検討を行うことにより伝統産業における新商品開発の効率化、新技術の導入につなげ、業界の活性化を目指すことを目的とする。本年度は、京都市産業技術研究所がこれまでに実施した伝統産業分野へのデジタル技術の応用研究と支援状況を検討し、さらにデジタル技術の講習会開催及びヒアリングによる業界ニーズの把握を行うとともに、これらを基礎にデジタル技術の活用による工芸品製造の工程設計と実践および評価を行った。デジタル技術を活用した工程として、①陶磁胎漆器「箸置き」製作、②レーザー加工によるシリコン型を用いた「金属アクセサリ」製作について、実際に工程設計を行い、京都市内の事業者を実施を依頼しその評価を行った。①については3DCADソフト活用による形状シミュレーションと3Dプリンタで陶磁器部分の製造型を製作した。コスト削減には課題が残ったが形状シミュレーション手法においては多くのメリットがあった。②についてはレーザー加工によるシリコン型を活用することで大幅なコスト削減が実現できる可能性を見出した。

### 1. はじめに

京都の伝統産業分野の新商品開発の取組では、製造工程が手仕事中心であるため「短期間での試作と検証が繰り返せない」、「大きな受注量に対応できない」という技術的課題が大きい。

この課題を克服し、着実な受注につなげるためには、事業者自身がCGや3DCAD、3Dプリンティング等デジタル技術を身につけることによる「中量生産」手法（「セミ・マスプロ化」「小ロット量産」）を実現することが一つの解決策である。本研究は伝統産業分野を対象とする、2D及び3Dの総合的なデジタル技術を活用したデザイン開発手法や製造工程の改善を検討し、伝統産業分野へのデジタル技術導入を提案する。また、開発手法事例を蓄積することで伝統産業に適したデザイン開発プロセスの構築を目指す。

本研究にあたり、京都市産業技術研究所（以下、京都市産技研）がこれまでに実施した伝統産業へのデジタル技術の応用研究と支援状況を検討した。研究所（旧京都市染織試験場と旧京都市工業試験場を含む）は、これまでにデジタル技術関連では「色・柄の編集の効率化」、「2次元CG、3次元CGシミュレーション技術」、「捺染型製版の効率化 自動トレース技術」、「インクジェットプリント」、「IT技術による受注システムの構築（クイックレスポンス（QR）体制構築支援）」、「画像データベ

ス構築」、「3Dプリンタの製作プロセスへの応用」など、80年代から先進的なデジタル技術研究と導入支援を実施してきた<sup>1)</sup>が、導入に伴うコストや技術的労力などの為に定着していない例もあった。

そこで、業界の実情や具体的なニーズに合わせた実践的な導入を検討するために、デジタル技術の講習会開催及びヒアリングによる業界ニーズの把握を行い、これらを基礎にデジタル技術の活用による工芸品製造用の工程設計と実践及び評価を行った。

### 2. 伝統産業分野におけるデジタル技術ニーズ

#### 2.1 3D デジタル技術活用講習会

2017～2019年の間に3Dデジタル技術講習会を3回開催した（表1）。講習内容は3DCADソフトの基礎的な使用方法であったが、参加者はほぼ毎回定員に達していることから、伝統産業分野においてはデジタル技術への関心は高い。デジタル技術活用状況や業界ニーズを把握するため、2018年10月と2019年2月実施分に参加した15名（陶磁器7名、金属工芸1名、染織（型友禅）2名、漆器・漆液精製業4名、香料メーカー1名）に対し、「3DCADなどデジタル技術の導入の有無」、「今後、3D技術の応用を検討する工程」、「3DCADなどデジタル技術導入で困り事や課題」についてアンケート調査を行った。結果を図1に示す。15名のうち、デジタル技術を

京都市産業技術研究所

表1 3D デジタル技術活用講習会 (2017～2019年)

年度	2017年度 実施	2018年度 実施	
タイトル	「3D技術による工芸デザイン検討・画像作成の初歩」	「デジタル3D技術活用講習会」第1回	「デジタル3D技術活用講習会」第2回
日時	2017年10月23日、24日	2018年10月22日、23日	2019年2月14日、15日
対象	京都の伝統工芸従事者 (京都工芸研究会、京都陶磁器研究会)	京都の伝統工芸従事者および工業系実務者 (京都工芸研究会、京都陶磁器研究会、京都合成樹脂研究会、京都先端技術研究会、鏡秀会、他)	京都の伝統工芸従事者および工業系実務者 (京都工芸研究会、京都陶磁器研究会、京都合成樹脂研究会、京都先端技術研究会、鏡秀会、他)
参加企業	14 (3回開催、各4～5)	伝統工芸分野向け8 (定員10) 工業分野向け10 (定員10)	伝統工芸分野向け6名 (定員5) 工業系分野向け4名 (定員5)
内容	3DCADソフトを活用したデザイン検討やプロモーション用画像作成の講習会を開催することで、3D技術を活用した新しい伝統工芸プロセスの推進と浸透を図る。3D技術を活用したデザイン検討やプロモーション用画像作成の基本技術を学ぶ ①モデリング(粘土造形) ②モデリング(断面図からの回転体の作成) ③レンダリング(CGの作成)	(伝統工芸分野向け) 3DCADソフトを活用したモデリングやデザイン検討、解析(強度解析や熱解析)の講習会を開催することで、3D技術を活用した設計業務や新しいデザインプロセスの推進と浸透を図る。 ①スカルプトモデリング実習(お猪口の作成) ②モデリング(急須の作成) ③シミュレーション(解析)機能の紹介	(伝統工芸分野向け) 3D技術を活用した3DCADソフトを活用したモデリングやデザイン検討、解析(強度解析や熱解析)の講習会を開催することで、3D技術を活用した設計業務や新しいデザインプロセスの推進と浸透を図る。 ①モデリング(器の作成) ②スカルプトモデリング実習、レンダリング③シミュレーション(解析)機能の紹介

■3DCAD などデジタル技術の導入の有無 ■3DCAD などデジタル技術導入で困り事や課題 ■今後、3D技術の応用を検討する工程 (複数回答 15名) ■講習会で参考になった項目 (複数回答 6名)

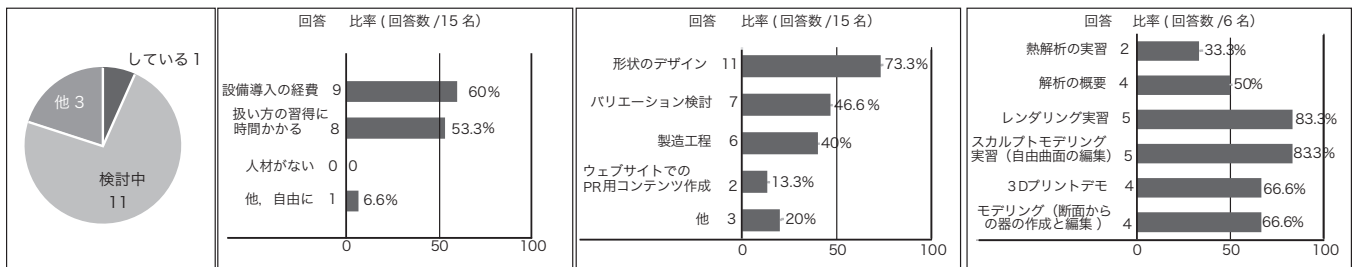


図1 3D デジタル技術活用講習会参加者アンケート

表2 業界ヒアリング

工程	ニーズ	業種
① 2D 図案作成→絵付け工程	既存の図案を簡単にスピーディにCGで加工出来る技術があれば。	陶磁器1
	デジタルは家紋などパター的な規則性あるものに合っている。時給は完成された図案が多い。それをデジタル化して分解して再構成できる。	仏具
② 2D/3D シミュレーション	CGで螺鈿や金のキラキラなど素材感やうるしの色が再現できれば。アイデア図の背景の色変更が素早くできるのはメリット	漆器
	職人同士の合意形成に便利。	
③ 3D 製造用型への展開	図柄データのマッピング(着物デザインへの応用の可能性)	型友禅
	複雑で工程が多いアクセサリーの製造工程を省力化できないか	金属工芸
④ 2D/3D PR用コンテンツ	原型を3Dプリントで原型を出し石膏どおり鑄込み型にするプロセスは非常に有効	陶磁器1
	クライアントへのプレゼンテーションが度々必要な人には有用	陶磁器2
	展示会用POPの作成。自分の思った通りに作れる(外注での意思疎通の齟齬が無い)	陶磁器3

すでに導入しているのは1名、検討中が11名、他3名であった。導入上の課題は「設備導入の経費」や「(ソフト等)扱い方の習得に時間がかかる」であった。製作工程における3D技術応用については、「形状デザイン」や「バリエーション検討」、「製造工程」が検討されて

いる。

また、2019年2月実施分に参加した6名(陶磁器3名、金属1名、漆2名)は「講習内容で参考になった項目」として、モデリングやレンダリングなど、形状検討に関連する項目や3Dプリンタのデモに関心があった。

参加者の多くは3D技術の活用を検討中であり、形状デザインやバリエーション検討などに期待しているが、設備導入の経費やソフトの習熟に時間がかかることを課題に挙げていた。

## 2.2 業界ヒアリング

デジタル技術関連でこれまでに技術相談などの対応をした伝統産業事業者（仏具1名、陶磁器3名、漆器1名、型友禅1名）に対し、電話、面談などにより、デジタル技術活用の現状とニーズについてヒアリングを行った。その結果を表2に記す。2Dソフトによる図案作成についてはより簡単にスピーディな加工方法が求められているとともに、図案のデジタル化による再構成などの可能性も指摘された（表2の①）。2Dおよび3Dソフトは、素材や図柄のマッピングなどデザインシミュレーションにニーズがある（表2の②）。また製造用型への展開については、工程の省力化で活用を期待する声があった（表2の③）。

## 3. 伝統産業におけるデジタル技術活用の検討

### 3.1 対象とする工程の選定

2章においてデジタル技術活用への業界ニーズとしてあげられたデザインシミュレーション手法や製造用型への展開について、工程設計を検討した。

3Dソフト使用によるデザインシミュレーションはデザイン検討の効率化が期待できる。そのためデザイン決定に時間がかかる異業種間による商品開発を対象とし、今回は陶磁器と漆器のコラボによる陶磁胎漆器製作を取り上げることにした。陶磁器分野で3Dプリンタモデルを石膏型製作に活用した前例があることから、デジタル技術の製造用型への応用による製造工程の省力化についても検討することとした。

さらに、上記の業界ニーズ及びこれまでに行ったレーザー加工機の簡易樹脂型への活用の研究成果を基礎に、金属工芸分野を対象に製造用型へのデジタル技術の応用を検討した。

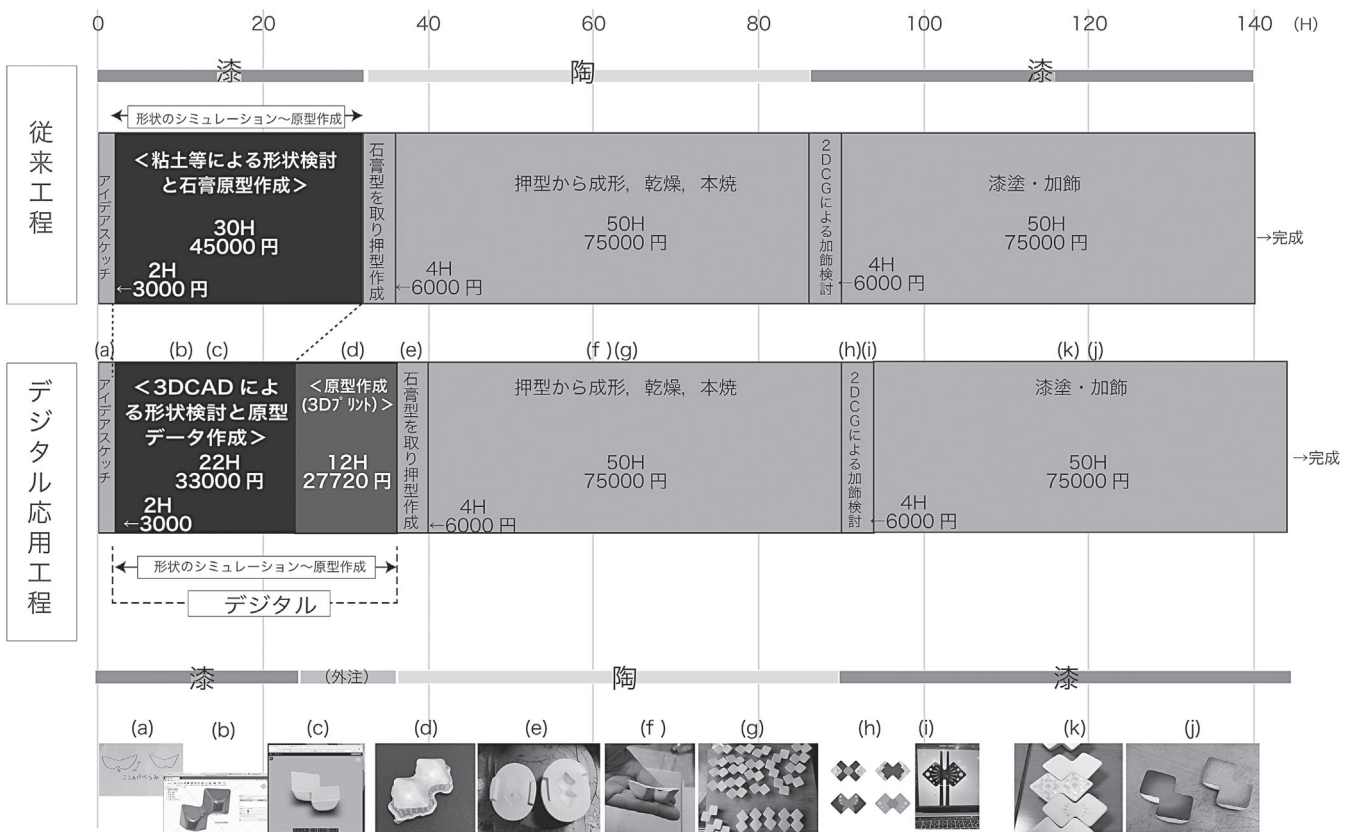


図2 陶磁胎漆器の従来工程とデジタル応用工程の比較

### 3.2 陶磁胎漆器「箸置き」製作

#### 3.2.1 陶磁胎漆器の製造工程と課題

陶磁胎漆器は、陶磁器に漆塗装して製作する工芸品である。素地を陶磁器にすることで比較的安価で中量生産が可能になる。今回は「箸置き」の製作を想定し「押型成形技法（型に粘土を押込んで成形した後、取り出して素地を得る）」により陶磁器部分を作成し、それに漆塗装を行う工程を検討した（図2の「従来工程」）。従来工程では、「異業種コラボである製作者間でのイメージ共有」「中量生産に有効な製造用型の検討（主に陶磁器）」が、時間的・経費的なコスト削減の課題として想定される。本課題の解決のため、初期段階の「形状シミュレーション～原型作成」へのデジタル技術の応用を検討し、工程設計を行った（図2の「デジタル応用工程」）。

この工程で、漆工工程は、漆器製作を手がけるグループ「suosikki」（大阪府高槻市）に、陶磁器工程は磁器作家の大前史氏（京都市）の各事業者それぞれ製作を委託した。また、従来工程とデジタル応用工程で生じるコストを比較するため、委託事業者が設定した人件費の時間単価（1500円）と、製作時間の積算から経費の算出を試みた。デジタル応用工程における3Dプリントは京都市産技研で実施し、規定料金で算出した経費を含めた（図2、表3）。

#### 3.2.2 新規デジタル技術活用案

従来工程（図2の上）の「形状のシミュレーション～原型作成」は、具体的手法で言えば粘土等による形状検討と石膏原型作成というプロセスとなる。これに対し、デジタル応用工程（図2の下）は、3DCADソフト Fusion360（AUTODESK（株））を用いて＜3DCADによる形状検討と原型データ作成＞を行い（図3）、その後、＜原型作成（3Dプリント）＞（図4の左）をするプロセスとなる。漆工の事業者には本工程を用いて作成してもらった。3Dプリントは光造形方式3Dプリンタ Form 2（Formlabs社製）で行った。

これ以降、陶磁器の従来工程となり、3Dプリントモデル（図4の左）を原型として石膏型を取り、「押型」を作成（図4の右）し、生地（粘土）の成形から乾燥、本焼へと進めて、磁器質の素地を得た。以上の工程でデジタル技術を活用し、「箸置き」の試作品（12点）を作成した（図5）。

#### 3.2.3 評価と考察

デジタル応用工程（図2の下）の「形状のシミュレー

表3 従来工程とデジタル応用工程の比較  
\*時間単価 1500円として算出

従来工程

	経費	時間	100個生産して1個あたり
漆器	129000	86	1290
陶磁器	81000	54	810
合計	210000	140	2100

デジタル応用工程（3DCADソフトや3Dプリンタを活用）

	経費	時間	100個生産して1個あたり
漆器	117000	78	1170
3Dプリンタ出力	27720	12	277.2
陶磁器	81000	54	810
合計	225720	144	2257.2

\*3Dプリンタ出力にかかる経費と時間は、京都市産技研が設定する料金体系から算出した。



図3 ①アイデアスケッチ、②3DCADソフト Fusion360 造形画面、③スマホによる確認画面、④作業風景

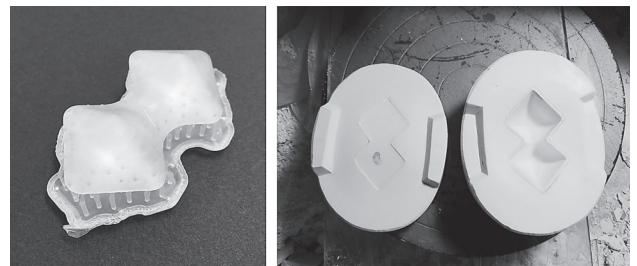


図4 左：3Dプリントによる原型、右：石膏の「押型」

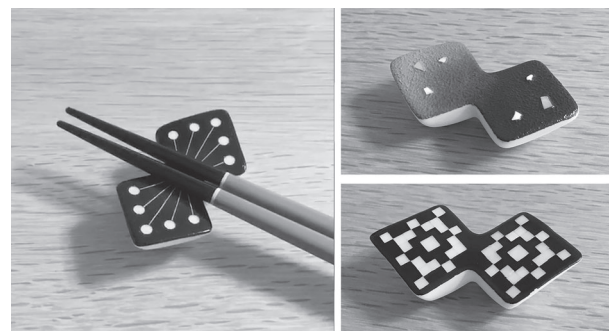


図5 完成した試作品「蝶形箸置き」

「シミュレーション～原型作成」では、＜3DCADによる形状検討と原型データ作成＞で委託事業者が要した時間が22時間となった。その後、京都市産技研で行った＜原型作成(3Dプリント)＞では、試作モデル、決定案の原寸モデル、焼成による収縮を考慮したモデルの計3点を作成し、その出力時間が各4時間、合計12時間となった。その結果「形状のシミュレーション～原型作成」にかかった時間は合計34時間となった。

これに対し、委託事業者の通常の開発プロセスとして算出した従来工程(図2の上)の「形状のシミュレーション～原型作成」では、試作モデル1案を検討するのに粘土等による形状検討が3時間、石膏原型作成が7時間の合計10時間が平均的である。今回は、形状を決定するまでに3案と想定し、合計30時間の作業工程とした。

全体の時間と経費を表3にまとめた。全体の経費はデジタル応用工程が若干高い。仮に100個作成した場合の一個あたりコストを比較したが、型の3Dプリント自体に経費と時間がかかるために、コスト削減には至らなかった。しかし、「形状のシミュレーション～原型作成」において、3Dプリンタを活用したことで委託業者自身が製造に従事する時間は、30時間から22時間となり、8時間を短縮できている(図2)。

また、委託事業者にヒアリングを行ったところ、3DCADソフトの活用による形状シミュレーションにはメリットが多く、好印象であった(表4)。今回の委託事業者は漆器の加飾デザイン検討で2Dソフトを使用しデジタル技術を活用しているため、2章で課題として指摘された3DCADソフトの習熟については問題なくスムーズであった。委託事業者としては、形状や加飾検討において、3DCADソフトのレンダリングにマッピング機能を用いるなど、よりリアルなデザインシミュレーションをニーズとして持っていた。

3Dプリント技術の製造用型への応用については、原型の精度が向上する等のメリットがあげられたが、出力にかかる経費が課題となった。コスト削減の可能性としては、低価格の汎用3Dプリンタでの対応や低料金の外部ラボの活用などを検討する必要がある。

また、工程を検討する中で、3Dプリントを活用した製造用型のうち、成形用の「押型」を直接作成する手法についても検討した。3DCADソフト上で造形データを「押型」に変換して3Dプリントをすることで、「押型」を石膏で作成する工程が省略できる。この仮説により

表4 委託事業者へのヒアリング

3DCADソフト (Fusion360) による形状シミュレーション
<p>○メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・造形データの修正が短時間に調整できるため、意図する造形イメージを徹底的に追求できる。</li> <li>・色形のバリエーション検討が容易に行うことができる。</li> <li>・造形データのレンダリングがリアルタイムで表示され形状把握が容易であるため、デザイン決定を迅速に行うことができる。</li> <li>・Fusion360の「クラウド共有」機能を使い、異なる場所に居る場合でもPCやスマートフォンにより担当者間での情報共有と意思決定を行うことができる。このため、ミーティングの時間が削減できる。</li> </ul> <p>○課題とニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3DCADソフトでのモデリングやスカルプトは商品形状のデザインに活用したい。</li> <li>・漆器で挽物の器を発注する場合など、3DCADで形状シミュレーションを行いよく確認しようと思う。</li> <li>・レンダリングも2Dのデザイン画でイメージしにくい時は3Dで見てみようと思う。</li> </ul>
3Dプリント技術の製造用型への応用
<p>○メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3Dプリントを原型作成に活用したことにより精度が向上した。</li> <li>・収縮率をデータ上で計算し、迅速に寸法修正ができる。</li> </ul> <p>○課題とニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・出力にかかる経費</li> <li>・3Dプリントによる「押型」の作成</li> </ul>



図6 3Dプリントの押型によるテスト

3Dプリントで「押型」を作成し成形テストを行ったが、粘土の型離れが悪く形状が変形した(図6)。石膏の「押型」では粘土の水分が吸収され収縮することにより、型から容易に取り出すことができる。しかし3Dプリントの「押型」はプラスチック材料であり水分を吸収しないため粘土の収縮が起こらず、型離れが悪くなったと考えられる。3Dプリントモデルをそのまま「押型」に使用

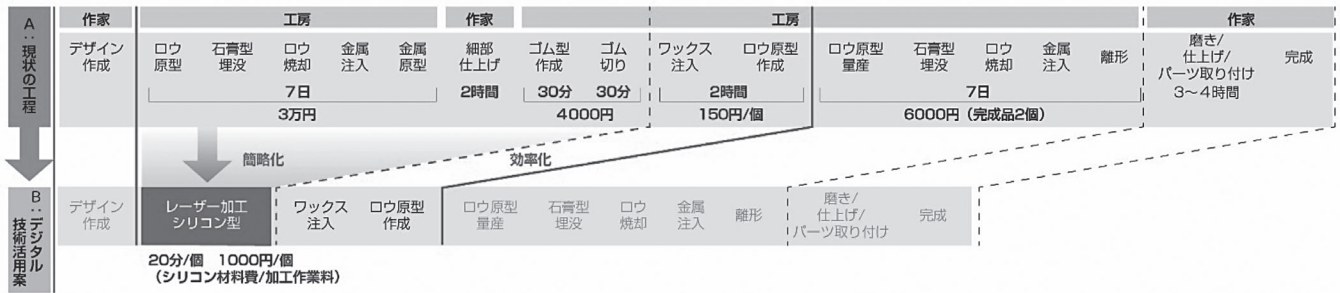


図7 今回検討したプロセス

するのは現段階では難しいと判断した。今後の課題としたい。

### 3.3 レーザー加工によるシリコン型を用いた「金属アクセサリー」製作

#### 3.3.1 現行のロストワックス鋳造法

ペンダントトップのような金属製アクセサリーにおける量産工程として一般的なものに「ロストワックス鋳造法」がある。この工程は図7上段Aに示すように、デザイン案を元に造形しやすいジュエリー用ワックスを用いて原型を作った後、金属に置換し、それを金属原型としてゴム型（雌型）を作り、そのゴム型を用いて鋳造用ロウ原型を量産した上で、さらにそれらのロウ原型を再び金属に置換して仕上げ、製品とする手法である。

#### 3.3.2 新規デジタル技術活用案

現行の方法では通常、「デザイン案の作製」から「ゴム型の切り出し」までに、外注業者によるものを含む9工程あり、製作日数やコストも多くかかる。そこで、デジタル技術を用いた簡略化や効率化を検討した。レーザー加工機（Trotec社製 Speedy300 60W）を用いてシリコン板に彫刻/カット加工を施し、図8に示すように表用の型板と裏用の型板、厚さ設定用の中板の三層式のシリコン型（ゴム型）とすることで、デザイン案から直接シリコン型を作製することができ、これまでの金属原型作製やゴム型作製を含む8工程を簡略化することが可能である。また、これまで1週間程度必要だったゴム型までの製作時間が20分にまで短縮され、かつ外注費を含めて3万4千円程度必要だったコストも千円程度に抑えることができる。そのプロセスを図7下段Bに示す。さらに、シリコン型は短時間で、安価に作製できるため、後工程での失敗によるゴム型再作製などの手戻りも抑えることができ、作業者の心理的負担も少なくなる。

#### 3.3.3 評価と考察

デジタル応用工程にて作製したシリコン型（図8）を用いてジュエリー工房の「工房 FUGAKU」（亀岡市）でワックス注入（図9）を行い、シリコン型の使用性について評価して頂いた。また同時に鋳造用ロウ原型を70個作製した（図10）。鋳造用ロウ原型の仕上がりについてはアクセサリー工房の「アトリエ YOU」（京都市右京区）に評価して頂いた。

その結果、本プロセスのメリットと共にシリコン型の使用性及び鋳造用ロウ原型の質感については、十分実用化できると評価された。ただし、現状において本プロセ

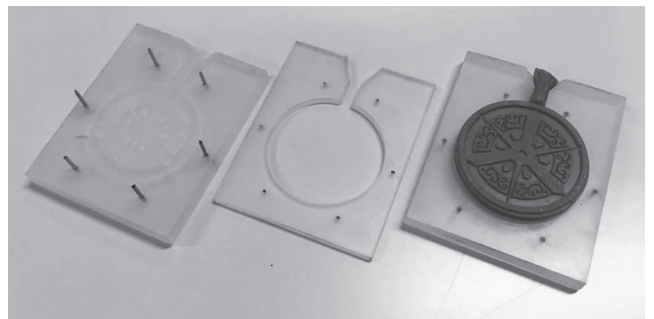


図8 レーザー加工を施したシリコン型と鋳造用ロウ原型（左から表用の型板、厚さ設定用の中板、裏用の型板と鋳造用ロウ原型）

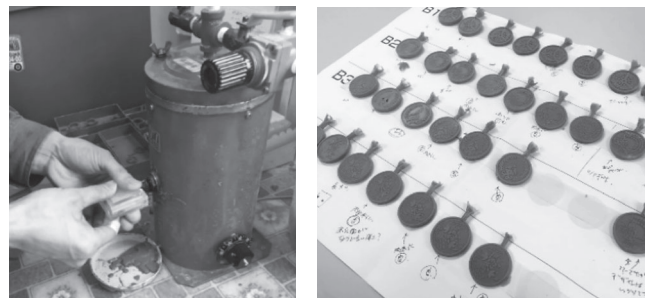


図9 ワックス注入の様子 図10 作製した鋳造用ロウ原型（一部）

スではデザインの掘り込み深さが1.5mm未満の、複雑な立体形状でないメダル状の製品に限られる（ペンダントトップ、ピンバッチなど）。

今回のプロセスにおけるメリットを以下に記す。

・少量ロットのアクセサリー製作に対し、金属原型を作製する手間が無くなり、コスト削減や製作時間の効率化を図ることが出来る。

・イラストや写真からすぐに型を作ることが出来る。

・これまでの手法（手作業/テープマスキングによるエッチング）では難しかった非常に細かい造形（線幅0.2mm程度の凸形状）が出来る。

・3層のシリコン型板のうち、中板の厚みを差し替えることで作製物の厚み変更が出来る。

・3層のシリコン型板のうち、表用の型板と裏用の型板を別のデザインに差し替えることでバリエーションの作製が出来る。

・安価にゴム型が作製できるため、ゴム型への空気抜き加工など、失敗の許されない工程における作業者の心理的負担が少なくなり、トライ&エラーを繰り返すことが出来る。

引き続き、作製した鑄造用ロウ原型を用いて金属アクセサリーを完成させるまでの取組を行い、従来のロストワックス鑄造法における原型及びゴム型作成工程の効率化手法としての実用化を目指す。

#### 4. まとめと今後の課題

本年度は、研究所がこれまでに実施した伝統産業へのデジタル技術の応用研究と支援状況を検討し、さらにデジタル技術の講習会開催及びヒアリングによる業界ニーズの把握を行うとともに、これらを基にデジタル技術の活用による工芸品製造の工程設計と実践および評価を行った。

デジタル技術を活用した事例として、①陶磁胎漆器「箸置き」製作、②レーザー加工によるシリコン型を用いた「金属アクセサリー」製作について、実際に工程設計を行い、京都市内の事業者の実施を依頼し、その評価を行った。

①については3DCADソフト活用による形状シミュレーションと3Dプリンタで陶磁器部分の製造用型を製作した。コスト削減には至らなかったが、形状シミュレーション手法においては多くのメリットがあった。②についてはレーザー加工によるシリコン型を活用することで工程と経費において大幅なコスト削減が実現できる可能

性を見出した。

いずれも、従来工程におけるデジタル技術の活用可能性を見出した。今後も工程の精査、再検討を引き続き行い、伝統産業の実情に合わせたデジタル技術による工程設計と業界への技術移転を進める。

#### 注

- 1) 京都市染織試験場（昭和7～平成15）・京都市繊維技術センター（平成15～21）、京都市工業試験場（昭和44～平成15）・京都市工業技術センター（平成15～21）研究報告及び業務報告