

— 経常研究 —

3次元シミュレーションを用いた製品開発プロセスの支援技術に関する研究

研究開発科 桐山 有司
陶磁器科 依田 慎二・山口 英次

要 約

本研究は、陶磁器産業の新製品開発プロセスの省力化、短期化、コストの低減を図るため、3次元シミュレーションを用いた新製品開発プロセスの効率的支援を目的として行った。昨年度は、既設の3次元モデリングマシンでの加工精度に関する予備実験と3次元入出力装置の導入による加工データの精度保持および伝送形式について実験を行い、加工に必要なデータの精度及びファイル形式が確認できた。本年度は、新たに導入した3次元モデリングマシンを含む一連の装置による製品開発プロセスのシステム化と装置運用による実利用の検証を実施した。その結果、製品化が可能なデータ精度を保持したシステムが構築できた。また商品化を目的とした134件(262点)の装置利用があり、3次元シミュレーションを用いた新たな製品開発プロセスとしてのシステムの有効性を確認することができた。

キーワード：陶磁器、石膏型、見本作製、3次元入出力装置、3次元モデリングマシン

1. はじめに

本県の主要産業である陶磁器産業は、長引く経済の低迷と市場の二極化により年々製造出荷額が減少している。

これまでの陶磁器製品の製品開発プロセスを図1に示す。まず商社から提示された商品サンプルや図面、スケッチなどをもとに、窯元がデザインを起こして図面や試作品を製作している。次に窯元が製作した図面などをもとに石膏型製造業が製作した原型を用いて、生地製造業や窯元が試作見本を製作している。さらにその試作見本をもとに、商社と窯元で製品化の検討が行われており、形状などの変更があった場合は、再度同様の工程が行われている。そのため企画段階から開発まで多くの時間やコストが掛かっており、開発経費の負担が厳しい昨今では、新規デザインの新製品開発が難しい状況にある。このことは陶磁器産業の大きな課題であり、企業からも低コストおよび短時間でできる製品開発手法の導入への強い要望もあることから、喫緊の対応が必要であるため本研究を実施した。

大手企業や他県でも3次元加工装置を導入した様々な研究がなされている。本研究では、昨年度導

入した3次元スキャナ、3次元CAD、3次元プリンタ及び本年度導入した3次元モデリングマシンからなる3次元のシミュレーション技術を用いた「高精度、低コスト、短時間」の試作見本の作製と、製品開発の高度化、省力化のための製品開発プロセスの最適化を目的としている。

本研究では、データの入力から出力までの設計を重視したデータ管理、実物の立体サンプルを手にとって確認できる試作見本の加工を重視した作製技術と全体の開発プロセスについて検討を行った。

2. 方 法

2.1 3次元モデリングマシンの導入と効率的な加工条件の検討

新たに導入した3次元モデリングマシン(ローランドDG社製:MDX-540A(図2))の効率的利用のため、加工条件を変えた切削実験を実施した。加工条件の選定については、昨年度に実験したフラット・エンドミル(先端が平らな回転刃)とボール・エンドミル(先端が球状の回転刃)2種類のエンドミルの、先端形状の違いによる切削面の表面観察の結果を用いた¹⁾。加工箇所に応じたエンドミルを用い、

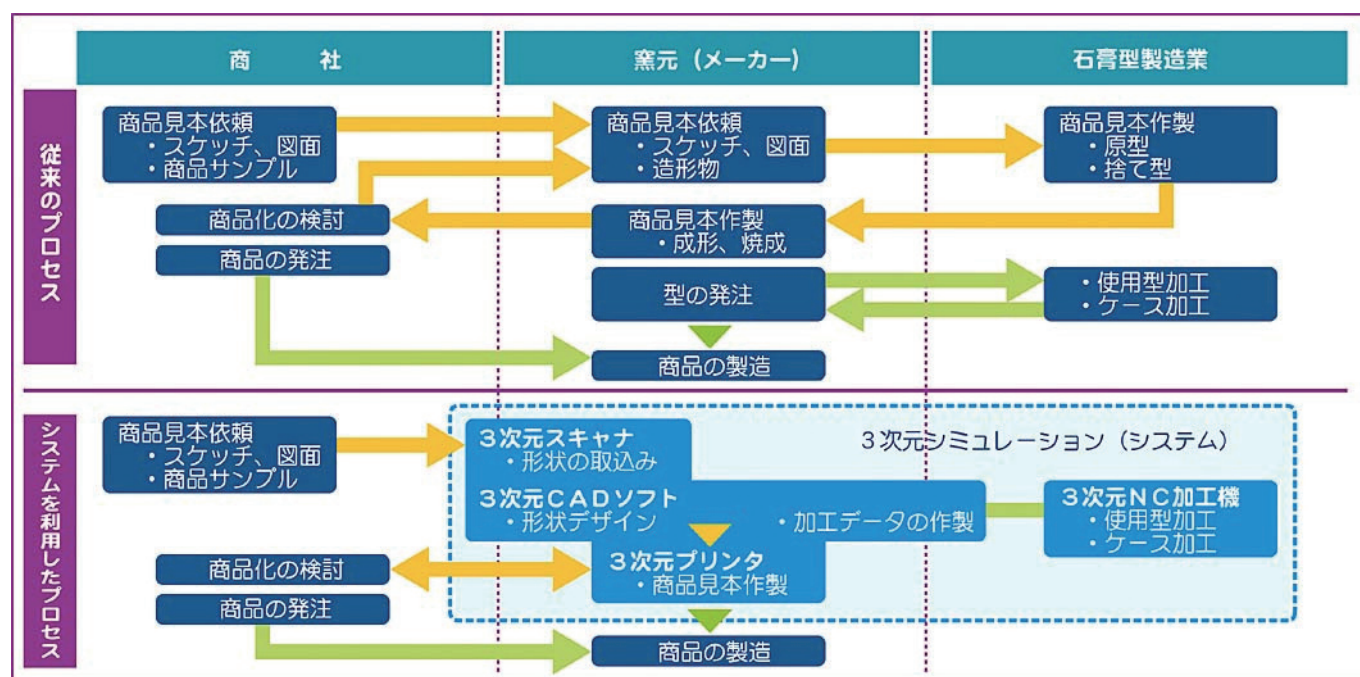


図1 従来のプロセスと新規プロセス

尖端形状の違いと加工ピッチの違いにおける切削実験を行った。実験に用いた両エンドミルは、それぞれφ10mmからφ1mmの径のものを使用した。エンドミルの送りピッチは、XYおよびZ方向ともに5mmから0.1mmの間で行った。切削する対象は、実際に石膏型製造業で使用されている石膏をブロックに加工したものを使用した。加工するデータは、手加工では精度と時間を要する非回転体の形状データを3次元CADで作製したものを使用した。これらのブロックを上記のエンドミルで粗削り、中削り、仕上げ削りの3段階の加工実験を行った。

粗削りは、できるだけ効率良くに切削させるため、削りしろを完成サイズから0.5mm～0mmの間に設定した。エンドミルは土台との境界線のエッジや側面の加工を考慮し、フラット・エンドミルを用い、エンドミルの直径は、φ10mmから順に小さくした。中削りは、フラット・エンドミルとボール・エンドミルの両方を用いて切削した。仕上げ削りでは、曲面を仕上げるためφ3mm～φ1mmのボール・エンドミルを用い、送りピッチは0.1mmから順に検討した。

また、3次元モデリングマシンによる石膏の直接加工について検証した。加工は、フラット・エンドミルとボール・エンドミルの2種類のエンドミルを使用して、原型、使用型、ケース型を加工した。原型の加工および使用型の加工には、160mm×160

mm×60mm（フラット・エンドミルで全面平滑仕上げ加工済み）の原型や使用型の作製に用いられる石膏のブロックを使用した。ケース型の加工には、210mm×210mm×80mm（フラット・エンドミルで全面平滑仕上げ加工済み）のケース型専用の石膏ブロックを使用した。加工実験の結果から、石膏型加工の課題を抽出し、課題の解決と効率的なシステムの運用を検討した。

2.2 3次元シミュレーションを用いた製品開発プロセスの検討

3次元スキャナ、3次元CADソフト、3次元プリンタおよび前記3次元モデリングマシンをひとつ



図2 3次元モデリングマシン

のシステムとして、3次元のシミュレーション技術を用いた製品開発プロセスについて検討した。

3次元スキャナ(ローランドDG社製:LPX-600(図3))は、装置内に固定された回転テーブル式の装置である。3次元プリンタ(Zコーポレーション社製:Z printer 310 Plus System(図4))は、装置専用の石膏粉末に接着剤をインクジェット方式で積層造形するものである。3次元CADソフトは、安価で使いやすいライノセラス(Robert McNeil & Associates社製)を採用した。

3次元モデリングマシンを除く装置については、データ伝送の際のファイル・フォーマット及びデータの精度について検討を行った。3次元モデリングマシンについても条件を変えて加工精度の実験を行い、最適精度を抽出した。従来の開発プロセスよりも大幅に効率化できる3次元シミュレーションシステムによる製品開発プロセス(図1)の構築を行った。



図3 3次元スキャナ



図4 3次元プリンタ

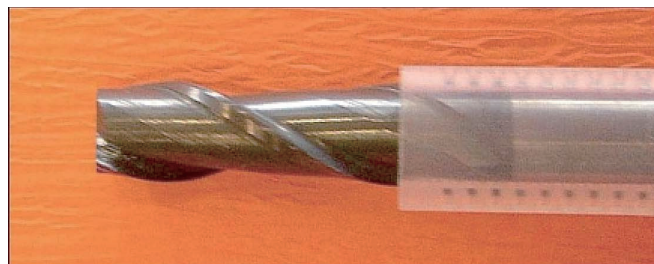
3. 結果と考察

3.1 3次元モデリングマシンの導入と効率的な加工条件の検討

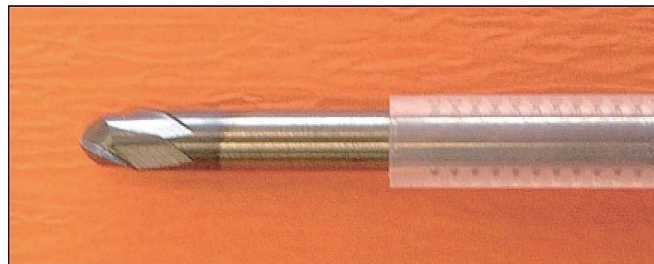
フラット・エンドミルとボール・エンドミルの2種類のエンドミル(図5))を使用して、粗削り、中削り、仕上げ削りにおける切削時間および切削精度を、いかに効率化できるかの加工条件を変えた切削実験を実施した。

粗削りでは、2.1で設定した条件に沿って実験をした結果、エンドミルは直径 $\phi 10\text{mm}$ のフラット・エンドミル、仕上げしろは 0mm 、加工ピッチを刃の直径の40%である 4.0mm に設定した条件が、加工時間、工程ともに効率的であった。

中削りは、フラット・エンドミルを用いた場合、粗削りの非切削箇所の端面を仕上げしろ 0mm の位置まで切削した際に、チッピングが発生したため、ボール・エンドミルを使用した。エンドミルの直径および加工ピッチは、条件を変化させながら加工に最適な条件を検討した。その結果、中削りでは、直径 $\phi 6\text{mm}$ のボール・エンドミルで送りピッチがXY及びZ方向ともに 2.4mm の条件が、加工時間、工程ともに効率的であった。



フラットエンドミル: $\phi 10\text{mm}$



ボールエンドミル: $\phi 6\text{mm}$



ボールエンドミル: $\phi 1\text{mm}$

図5 使用したエンドミル

○**現行の加工手順** → ボルトで固定するの穴加工、位置合わせなどの設定が困難で手間が掛かった。



○**改良した加工手順** → 従来の手加工の原型作製方法を取り入れ改良

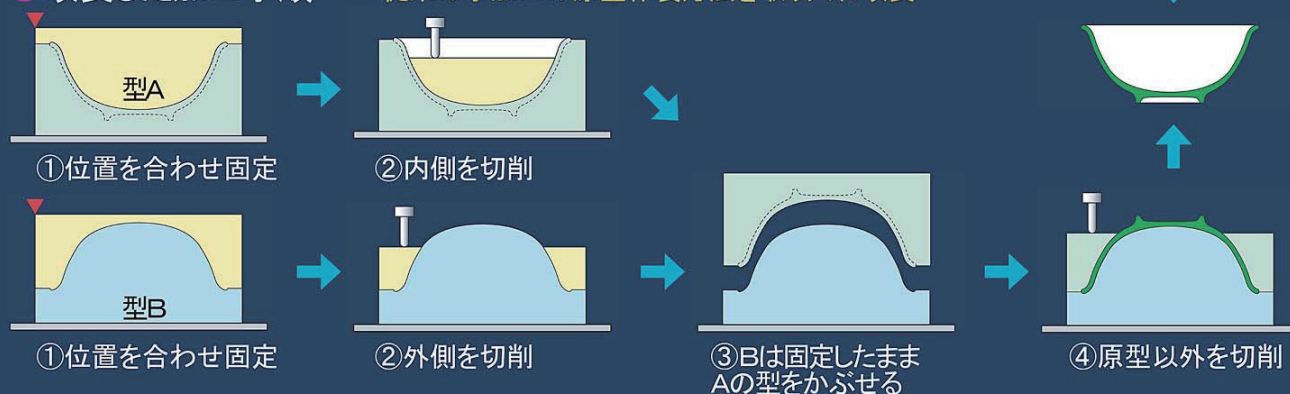


図6 改良した石膏型加工プロセス

仕上げ削りは、できるだけ精細に加工するため、直径φ1mmのボール・エンドミルで、送りピッチ0.1mmから徐々に大きくしながら検討していったが、送りピッチを0.15mmまで大きくしても、成形時および焼成後の表面観察の結果、仕上げ面が従来の手作業による仕上げ加工のものと同等以上の仕上がりが認められた。

今回の結果は、本実験に用いた装置及び設定での効率的な加工条件の目安であり、すべての場合に当てはまるのではなく、切削する装置や形状によっても検討が必要である。

3次元モデリングマシンによる石膏の直接加工については、両面の加工を要する原型の作製工程に課題があった。通常、両面の加工を必要とする場合には、加工するブロックにボルトで位置を固定するための穴を開け原点を合わせるが、石膏のブロックは破損しやすいため、穴を開けたとしても原点を正確に合わせる精度を出すのが難しい。そのため、四方を金属製のブロックで固定し位置を合わせるが、両面の原点を正確に合わせることが非常に難しかった。この課題に対して、従来の手作業による原型の加工手法を応用して解決を図った。従来手作業では、原型を作製する際に、例えば皿の内側（片側）の型を作り、その上に石膏を固めて原型の部分を残して削り出して作製する。この作業をNC加工機に応用

して、2個の同じブロックを製作し、一方のブロックで皿の原型形状を含めた外側の形状Aを作り、もう一方のブロックでは皿の内側の型Bを作る。Bを固定したままAをかぶせ、Aから原型を削り出すことで、難しい位置合わせをすることなく正確に原型を作製できた。この方法は機械加工のため非回転体の変形物にも対応できるため、これまで加工が難しく多くの時間を要した変形物も、短時間で高精度な加工が可能となった（図6）。

3.2 3次元シミュレーションを用いた製品開発プロセスの検討

各装置のデータの加工精度及びデータの互換性については、昨年度に3次元スキャナ、3次元プリンタ、今年度に3次元モデリングマシンについて検討を行い、必要としている仕上がりの精度と一連のファイル形式の互換性について確認できた。昨年度の検討結果から、3次元スキャナの取り込み精度は最高0.2mmであり、この精度は、その後の3次元CADソフトでのデータの加工・修正、3次元プリンタでの出力に適していた。3次元プリンタは最高0.089mmの積層精度で造形できるため、試作見本を立体として確認するには十分に有効であった。また、3次元モデリングマシンは、仕上がりの精度を考慮した一定の条件において、3.1で述べたように

荒削り、中削り、仕上げ削りにおいてエンドミルの種類、エンドミルの径、加工ピッチなど適切な値を得ることができた。

これらの結果から、新製品開発プロセスの省力化、短期化、コストの低減を目的とした3次元シミュレーションを用いた効率的な製品開発プロセスを構築することができた。

3.3 3次元スキャナを利用した成果事例

本研究で導入した3次元スキャナを利用して、企業と共同で製品開発を実施した。

図7は、長崎歴史文化博物館に所蔵されている「亀山焼」である。この「亀山焼」の復元品の製作を三川内焼の窯元との共同研究で実施した。この亀山焼は、直接型を取ったり接触して採寸できないため、非接触式の3次元スキャナを使用した。装置を博物館に持ち込んで、復元する「亀山焼」の形状データを取り込み、3次元CADでデータの補完、修正を行った(図8)。それらのデータに成形、焼成の際の収縮、変形を予測した修正を加えて、3次元プリンタで出力し、原形として用いた。これらの工程によって復元された「亀山焼」は製品化された。

3.4 3次元プリンタを利用した成果事例

本研究で導入した3次元プリンタを利用して、企業と共同で製品開発を実施した。

波佐見焼の窯元から相談があった「電子レンジに対応した蓋付蒸し調理器」について、機能面や形状を確認するため、3次元CADを用いてシミュレーションを行った(図9)。熱せられた水蒸気や食材から出た油分が、再び食材に付着しないような機能的構造や外観のデザインを繰り返し出力して検討した。これらの工程によって開発した製品は、実用新案を登録し(実用新案登録第3160143号)、「蒸すクック」という商品(図10)として販売している。

3.5 3次元モデリングマシンを利用した成果事例

石膏型製造業から相談があった非回転体精密形状の製作について、3次元CAD及び3次元モデリングマシンを用いて加工実験を行った。手加工では加工が難しい形状を、3次元CADを用いてデータを作成し(図11)、直接石膏から使用型を切削加工した(図12)。非回転形状で細かな連続した幾何学的



図7 長崎歴史文化博物館所蔵 亀山焼

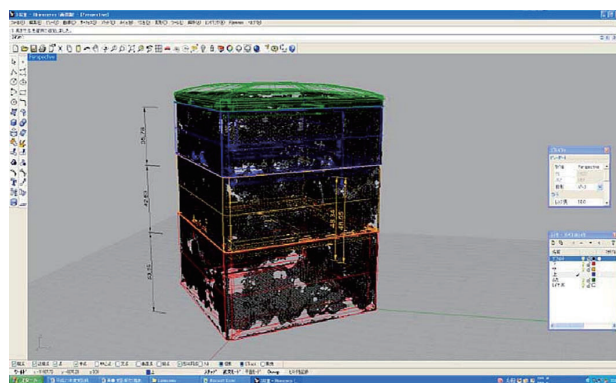


図8 3次元スキャナで取り込んだデータ

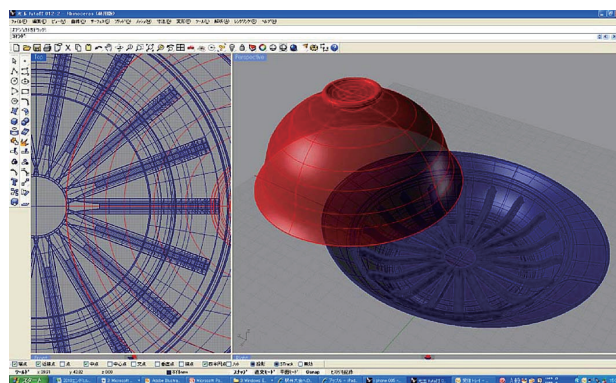


図9 3次元CADで作製したデータ



図10 3次元プリンタで出力した試作品と製品

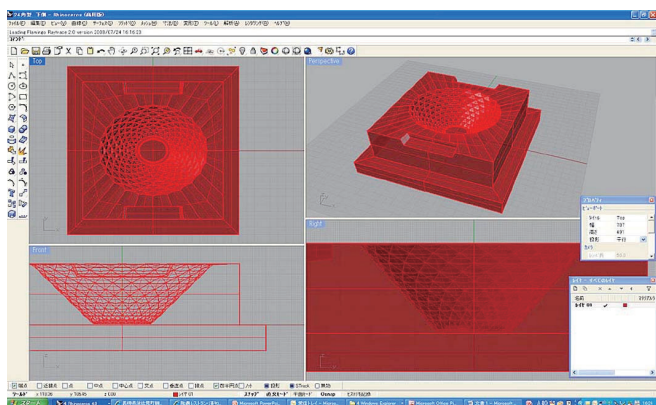


図11 3次元CADで作製した型データ



図12 直接加工した石膏型と製品

造形は、均一に加工することが手加工では非常に難しいため、本システムを用い設計・加工を試みた。実験の結果、従来よりも短時間で均一な造形を設計・加工でき、石膏型製造業における本システムの有効性が確認できた。

4. まとめ

昨年度から、陶磁器関連企業における新製品開発プロセスへの3次元シミュレーションシステムの有効利用のために装置を導入し、具体的な事例も含めて検討した。その結果は下記のとおりである。

(1) NC加工機による石膏型の直接加工を効率的に行うには、粗削り、中削り、仕上げ削りに分けて切削加工することで、加工時間を従来よりも短縮できた。

(2) 粗削りでは、直径 $\phi 10\text{mm}$ のフラット・エンドミルで、仕上げしろを 0mm にして加工ピッチを直径の40%である 4.0mm に設定した場合が効率的であった。

(3) 中削りでは、直径 $\phi 6\text{mm}$ のボール・エンドミルで送りピッチがXY及びZ方向ともに 2.4mm の条件が適切であった。

(4) 仕上げ削りでは、直径 $\phi 1\text{mm}$ のボール・エンドミルで、送りピッチが 0.15mm でも、仕上げ面が従来の手作業による仕上げ加工のものと同等の仕上がりが認められた。

(5) 3次元モデリングマシンによる石膏の直接加工については、原型の両面加工の際に、従来の手加工による加工方法を応用することで容易に位置合わせができた。

参考文献

- 1) 久田松学、桐山有司、依田慎二、山口英次、「3次元シミュレーションを用いた製品開発プロセスの支援技術に関する研究」、長崎県窯業技術センター平成20年度研究報告 第56号、pp30~33 (2008) .