

# 陶磁器の変形予測技術の研究

デザイン担当 副島 潔

CAD/CAM 技術と CAE 技術を組み合わせることで、焼成変形を予測した型制作の高度化と製作ロス軽減、商品開発時間の短縮、更なる高精度化を図ることを目的としている。

本年度は、焼成変形の方法と変形量を、より正確に予測するための研究を行った。また得られた研究成果を基にして商品開発に応用し、有用性を実証した。

## 1. はじめに

本研究は、陶磁器が焼成される過程でおこる変形を、CAE (Computer Aided Engineering) 技術を利用したシミュレーションにより予測し、テスト段階でのロスを低減し、意図したデザインに忠実な製品の実現を可能にしようとするものである。

昨年度まで、変形の傾向を予測する研究を行った。本年度は、より正確な予測を行うために、予測段階で利用する条件を詳細に検討した。

## 2. 研究方法

陶磁器の焼成変形は、多孔体であった素地が、焼成時の高温領域で溶融・軟化し、自重により変形するものと考えられる。実際の焼成プロセスでは複雑な変化を伴うが、デザインから製造に至るプロセスで必要なのは、あくまで元形状と焼成結果の違いであり、この近似モデルを見いだすことが出来れば、デザインの実務において非常に有効な手段となる。

本研究では、弾性体が重力により変形する様子を、陶磁器の焼成変形の近似モデルと仮定し、解析の最適条件を導き出すことを主目的とした。

物質は弾性変形するが、その変形領域は様々である。陶磁器における焼成変形の変形量は非常に大きなもので、多くの素材では降伏点を超えて塑性変形を起こすか、破壊してしまう領域である。このような大きな変

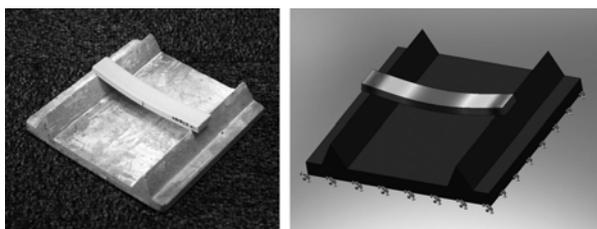


図1. テストピースとFEM解析用モデルデータ

形を弾性変形領域内で起こす素材は、ゴムに代表される超弾性体である。

棒状のテストピースを実際に焼成したものと、同様のCADモデルデータを用意し(図1)材料特性等のパラメータを変化させてFEMによる線形静解析を行って弾性変形の傾向と変形量を求め、上記の実際の測定結果と比較して一致する条件を探る、という手順で実験を行った。変化させるパラメータは、縦弾性係数(ヤング率)、横(せん断)弾性係数(剛性率)、重力加速度などである。基本的な物性値は、ゴムを参考にして定義した。

弾性変形の解析では、重力を大きく与えれば変位量は一応一致するが、弾性係数3MPa以上の固い物性値では重力を大きく設定する必要があり、望ましい変位まで到達せずに降伏点を超えて破壊してしまう可能性が高くなる。逆に弾性係数1MPa以下では柔らかすぎ、変

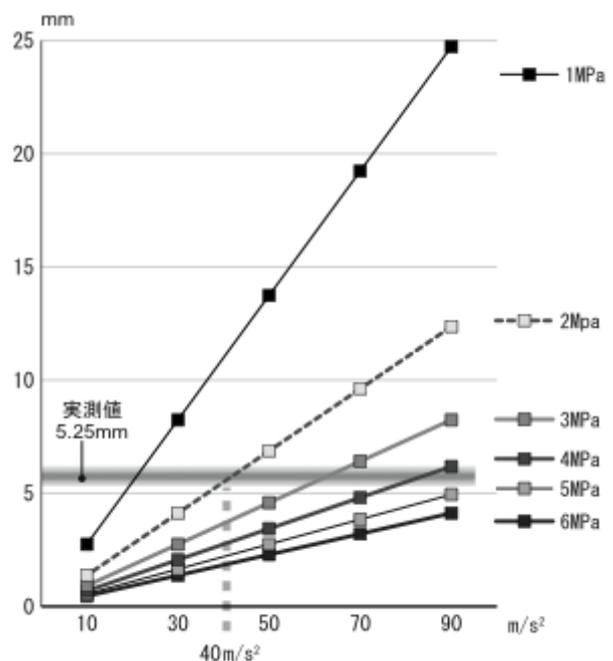


図2. 弾性係数・重力加速度・変位量の関係

位置が過大になる。適度に柔らかい弾性係数の方が、後の予測作業に対応した微調整を行いやすく、近似モデルとして望ましいため、2MPaを適正值とした。この場合、実測値(5.25mm)と一致するのは、重力加速度を約40m/s<sup>2</sup>程度与えた場合であった。(図2)

器物でも同様に実際の焼成試験とFEM解析との比較を行った。器物の場合、棒状テストピースで有効と判断したパラメータは、そのままでは一致せず、弾性係数を約1.5MPaまで補正する必要があった。これは焼成したテストピースが変形とともに収縮していたための誤差と思われる。

以上の実験で得られたパラメータにより、実証実験で使用した陶土に関しては、FEM解析による器物の変形予測がほぼ可能となった。実際の焼成変形は、使用する陶土で大きく異なり、また焼成条件でも若干変化する。従って、これらの条件が異なる場合には、パラメータも調整する必要がある。実際の予測作業では、陶土に対応して弾性係数などの物性値を多少変化させ、焼成条件の変化に応じて与える加重を調整する方法が現実的であると思われる。

### 3. 実際の商品開発による比較

有田焼卸団地の企画商品「匠の蔵・カレー皿」に対して、CAD/CAM関連技術を利用するための技術指導を行ったが、この開発過程において、研究中の予測技術を利用し、実地検証を行った。

商品開発の主な目標として、「できるだけ軽く」することが掲げられていたが、当初の案は図3-aのような形状であり、まず元形状のままNC切削で型製作を行い、試作焼成を行うと、焼成変形を起こした。変形後の形

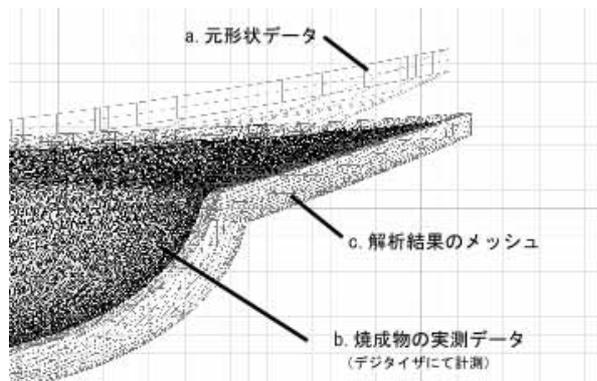


図3. 元形状・変形結果・解析結果の比較

状をデジタイザで測定したものが図3-bである。従来の手法では、目的の形状を作るために厚さを増す必要があり、薄く軽いまま商品化を実現することは非常に困難であった。

図3-aの形状を元に変形予測を行うと、図3-cのような結果が得られた。この予測結果は、図3-bの焼成変形結果とほぼ正確に一致した。

以降の商品開発過程で、深さなど大きなデザイン変更があったが、この際には、予測される変型結果を基に、目的の形状が得られるような修正を行った形状データを用意し、型(捨て型)をNC切削で直接製作することにより、1回の試作で目的の形状が得られた。量産は、この捨て型からケース型を制作して行われた。バリエーションとして小型の皿が企画されたが、一連の予測技術により、修正を行うことなく、1サイクルで量産へ結びつけることが出来た。



図4. デザインデータと最終製品

### 3. 結果と考察

以上の手法を用いることで、変形の傾向と変型量について、ほぼ正確な予測を行うことが出来るようになった。変形量については、諸条件を更に詳細に研究することで、いっそう正確な予測が出来るようになると思われる。

予測結果を正確に反映させるためには、一連の行程をCAD/CAM技術を利用して正確に行うことが不可欠である。本研究の成果により、CAD/CAM技術を利用して陶磁器の型製作を効果的に行う一連の技術の根幹を構成することが出来た。

現状ではCAEシステムは安価とはいえないが、関連システムは低価格化が進んでおり、近い将来には中小企業が大半を占める陶磁器業界への普及も現実的になるとと思われる。