

有限要素法による陶磁器の熱変形予測

機械工学科 福田 孝之

1 緒言

陶磁器の焼成過程においては、収縮やヘタリという非常に特異な変形が生じる。そのため、陶磁器の焼成後の形状すなわちデザイン形状から、焼成前形状を予測することは難しく、これまで熟練工の経験に頼っていた。そこで焼成前の形状を、何らかの方法で簡易に予測できるならば、陶磁器の生産において有効であると思われる。本研究は、陶磁器の焼成による熱変形を、コンピュータを用いて予測し、焼成前の形状を簡易に決定する技術の開発を行う。

2 陶磁器の熱変形過程

図1に、陶磁器の熱膨張収縮曲線の例を示す。グラフより、磁器は900 付近まで、陶器は600 付近まで膨張し、その後はどちらも収縮しており、線膨張係数は負となっている。

膨張する過程では、内部に残っていた水分が取り除かれながら、混ざっている様々な粒子がそれぞれほぼ温度に比例して膨張する。その後さらに温度が高くなると、素地中の長石が軟化し始めガラス質となる。このガラスが素地中の水が蒸発した後の気孔を埋めていくために、膨張から逆に収

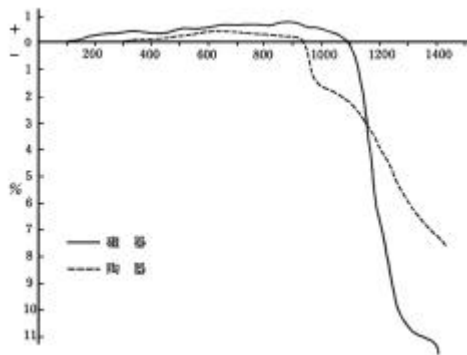


図1 陶磁器の熱膨張収縮曲線

縮し始めることになる。陶器は素地中に不純物が多いため、低い温度から収縮し始めているが、温度が低くなっているだけで、素地の中で起こっている現象は磁器の場合と同じである。磁器は

1300 付近、陶器は1100 付近で焼成が完了し、これ以上温度を上げると材料は著しく軟化し、ヘタリが生じる。

3 線膨張係数の算出

図1の磁器のデータより、計算に用いる線膨張係数を求める。磁器は1100 で膨張率は0%となり、さらに収縮して、1300 で収縮率は10.5%となっている。従って、温度変化が1100 から1300 までの間に収縮率が10.5%であるから、線膨張係数は次のように、マイナスの値となる。

$$a = \frac{e}{t} = \frac{-0.105}{1300 - 1100} = -5.3 \times 10^{-4}$$

しかし、熱変形予測は、デザイン形状から焼成前の形状予測であるから、逆に膨張となる。ここで、膨張の線膨張係数は、収縮量と膨張量を同じにすると、次に示すように、収縮の線膨張係数 から膨張の線膨張係数を算出しなければならない。

$$b = \frac{-a}{1 + at} = \frac{-(-5.3 \times 10^{-4})}{1 + (-5.3 \times 10^{-4} \times 200)}$$

$$= 5.928 \times 10^{-4}$$

この b が、デザイン形状から焼成前形状(膨張)を予測するときに使用する線膨張係数となる。

4 有限要素法による予測結果の例

以下に有限要素法を用いた予測結果を示す。図のうすい線が計算前の形状であり、黒色の線が計算後の形状である。またこのときに用いた各定数は次のとおりである。

- ・ヤング率 $E = 10 \text{ MPa}$
- ・密度 $= 2.4 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
- ・線膨張係数
 - 収縮 $= -5.3 \times 10^{-4} \text{ }^{-1}$
 - 膨張 $= 5.928 \times 10^{-4} \text{ }^{-1}$
- ・温度変化 $= 200$

図2は、簡単な片持ちはりについて予測計算を行った結果である。(1)がデザイン形状から膨張させたもので、(2)が膨張させた状態に上向きの自重を加えたもので、焼成前形状予測結果である。

(3)は予測結果に焼成条件を与えて計算したもので、(4)がデザイン形状と(3)の予測結果からの焼成形状を比較したものである。デザイン形状よりも、予測結果の方がわずかに下にたわんでいるが、良好な結果が得られている。ここで、(1)と(2)の膨脹と自重による変形を同時に計算して予測すると、(5)に示すように、計算結果は、ややずれが生じる。これは正(下向き)と負(上向き)の自重を与えてたわませるとき、両者の大きさ(形状寸法)が異なるためである。

図3は同様の手順で、茶碗について予測計算を行ったものである。この茶碗の場合、デザイン形状と予測結果からの焼成形状はほぼ一致しており、良好な予測がなされていることが分かる。

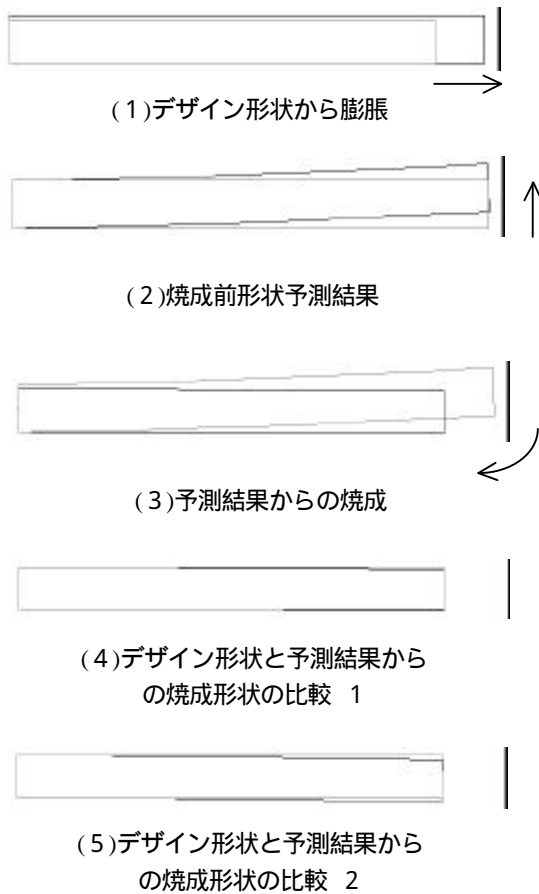


図2 はりの焼成前形状予測

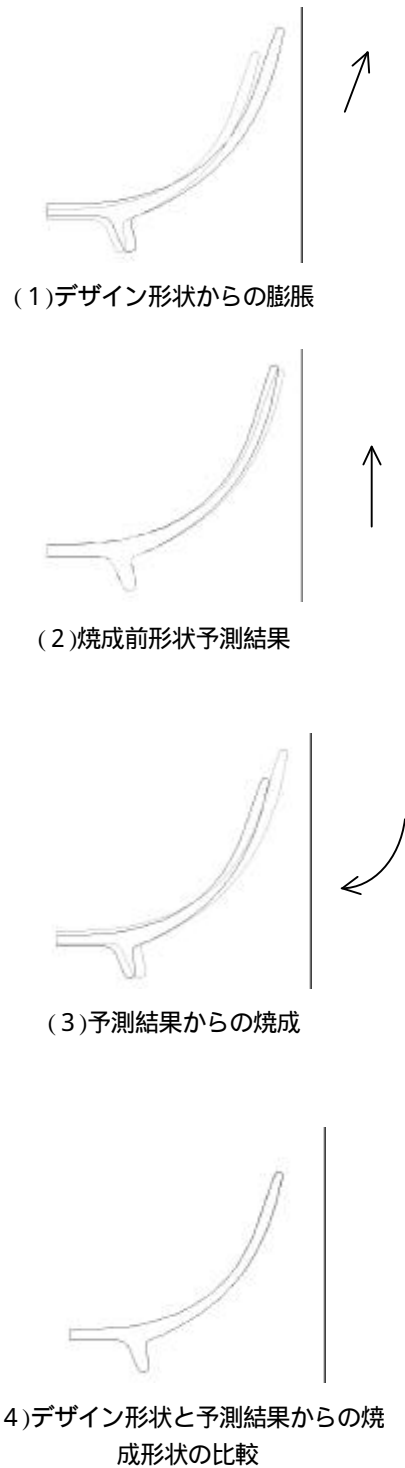


図3 茶碗の焼成前形状予測