

セラミックス鋳型におけるマスターモデルの置換条件

何 仕栄・ 吉浦洋之*

機械電子部 *大分県産業創造機構

Replacement Conditions of Master Patterns Applied to Ceramic Molds

Shirong HE, *Hiroyuki YOSHIURA

Mechanics & Electronics Division, *Oita Industrial Creation Organization

要旨

社会のニーズの多様化と、大量生産・大量消費による環境問題への配慮は、優れた一品生産（多品種少量生産）を望ましい生産方式として求めている。本研究では複雑形状部品の一品生産を可能とする光造形システムとモールド技術の複合化技術の開発において重要である RP マスターモデルの置換条件について検討する。RP モデルを用いた鋳造アプリケーションについて、現在技術として確立されたプロセスは 1990 年代初期に確立した 3D System の QuickCast 及び DTM CastForm 等があるが、作製費用が更に低く中小企業への普及に適するアプリケーションを確立することが本プロジェクトの目的である。そのため絶えず現れる新規造型材に対応する汎用性のある置換条件の確立が重要である。結果として異なる幾何学的特徴のマスターモデルを置換するには数値解析による形状因子の比較が必要であり、また模型材質の置換は膨張係数だけでなく材料の弾性係数及び熱分解温度を含んだ総合的な指標が有効であることが明らかになった。

1. 緒言

RP モデルを用いた鋳造法と従来の鋳造技術であるロストワックス法の工程の比較を Fig.1 に示す。左側のルートはロストワックス鋳造品製造工程であり、右側のルートは RP モデルによる鋳造品製造工程である。製品の設計、鋳型の作製、注湯、仕上げ等の手順は両者とも共通するが、模型の成型及び脱模型の工程では相違点が多い。

ロストワックス法は、模型成型工程において金型の設計および作製が介入するため、その分の費用が嵩む反面、大量生産の場合は能率が良い製造方法である。RP モデルを用いた鋳造法は模型成型に伴うデータの処理、サポートの設置が必要であるが、単品について比較する場合、金型の設計及び作製ほどのコストがかからない。すなわちマスターモデル作製において両者はそれぞれ長所と短所があり、ワックス模型は精度が良く、大量生産に適し、RP モデルは造型による段差があるため精度は劣るが、少量生産の場合はランニングコストが低く効率が良い。特に設計の変更や修正において、ロストワックス法では金型まで設計しなおす必要があるのに対して RP モデルによる鋳造法は模型の CAD データを修正するだけで済むメリットがある。

脱模型に関してロストワックス法は成熟した方法が確立されているため使用に便利な方法である。RP モデルによ

る鋳造法は、材質にもよるが、樹脂模型の場合は脱模型による熱膨張、残留物等の問題があり、実用化に困難を伴うケースが多い。この点は鋳造に適する脱模型しやすい RP 造型材への期待が大きい。

2. RP マスターモデルの置換条件

2.1 マスターモデルのシェル化

RP モデルによる鋳造法に用いるマスターモデルは部品の外観形状を確保する以外に中空構造を必要とする。中空構造は造形時に高価な光硬化樹脂の使用量を少なくするだけでなく、樹脂模型の肉厚の減少により脱樹脂時の熱膨張を緩和する効果もある。ただし新規生成の内表面によりモデル全体の面の数が増え、データ処理時間が長くなる。また薄肉に起因する模型の剛性低下は寸法精度に影響を与えるため最小寸法の制限がある。

Fig.2 に光硬化樹脂模型の厚さと鋳型内部の最大主応力の関係を示す。これは数値解析の結果であり、解析モデルは Fig.3 に示すとおりである。主応力の最大値に対応するマスターモデルはソリッドモデルである。厚さ 1mm のシェルモデルと比べソリッドモデルの場合は最大主応力は 20 倍以上増大したことから、マスターモデルの薄肉による破壊防止効果が明らかである。

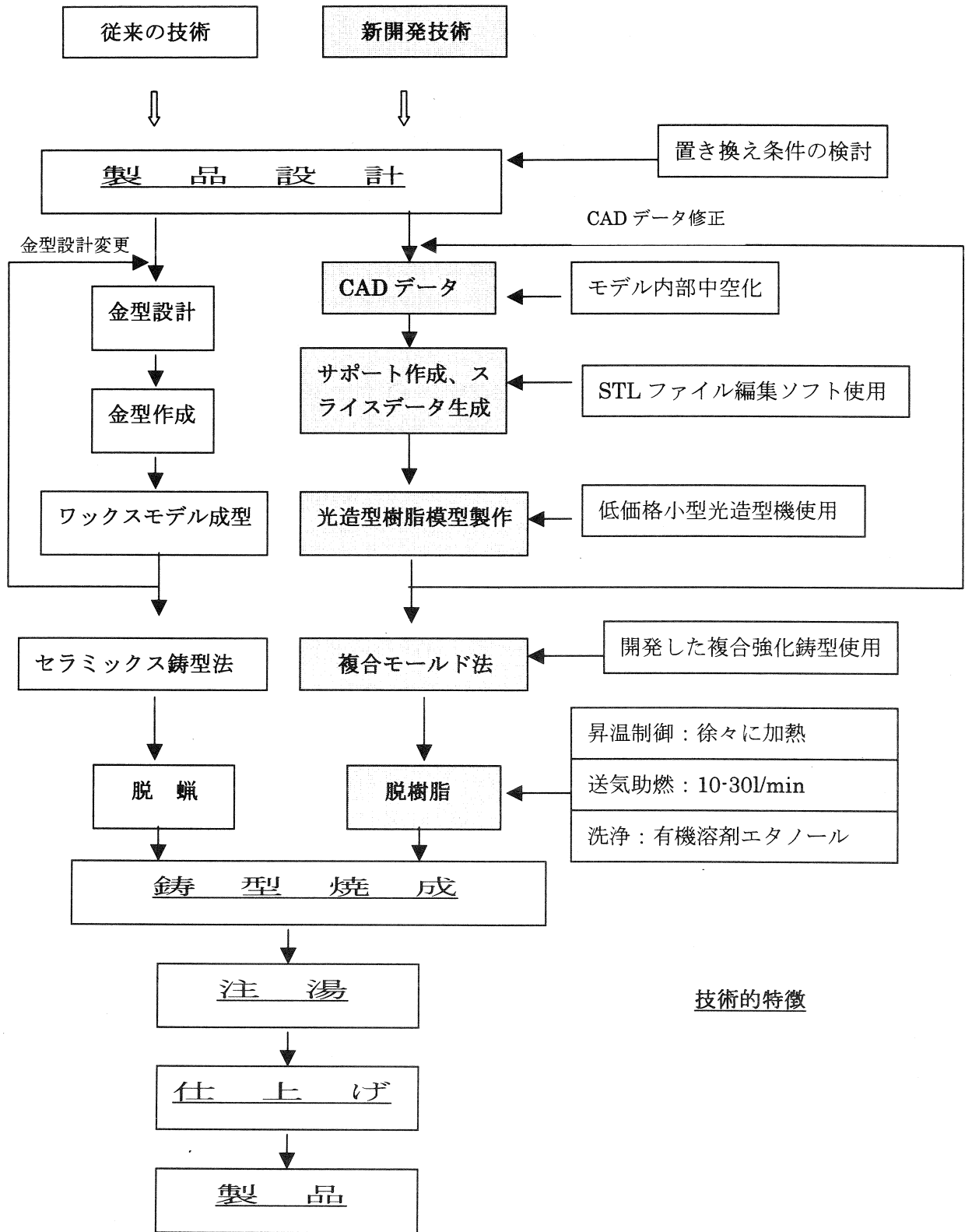


Fig.1 プロセスの概念図

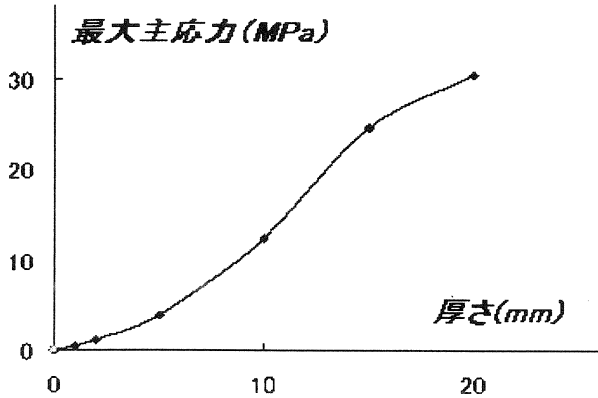


Fig.2 マスターモデルの厚さと鋳型最大主応力

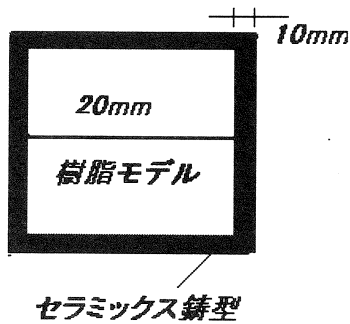


Fig.3 数值解析モデル

Table1 光硬化樹脂の性質

液比重	弾性率 (Mpa)	引張強度 (Mpa)	伸び (%)	膨張係数
1.11	2.7	0.2	17	0.00013

2.2 材質の影響

Table1 に光硬化樹脂の性質を示す。マスターモデル製作に使用した光硬化樹脂材料はヤング率が小さいが熱膨張率がかなり大きい。

Fig.4 に鋳型コーナ部に発生した応力拡大係数と樹脂模型の弾性係数の関係を示す。応力拡大係数 K_1 はコーナ部で無限大に発散する特異分布の応力場の強さを表すパラメータであり、最大主応力と同様に応力状態を示す指標である。モードIの変形に関して割れ面に対称変形の場合、応力場を次式で表すことができる。

$$\sigma_{ij} = K_1 f_{ij}(\theta) / \sqrt{2\pi r} \quad (1)$$

Fig.4 から分かるように、一定の温度の下で樹脂の弾性係数が0から10GPaまで変化する場合、応力拡大係数はほぼ直線的に増加する。すなわちある特定の温度において樹脂の弾性係数が大きいほど鋳型内部の応力状態が厳しくなる。したがって同様の熱分解温度を持つ樹脂材料であ

っても弾性係数が小さいほどマスターモデルとして利用する可能性が大きい。

また図中に示したのは室温23度、炉内温度100度時の曲線であり、温度が上昇すると直線の勾配は更に急になる。セラミックス鋳型コーナ部の応力状態は樹脂材料の性質と加熱温度の両方から影響を受け、本研究では樹脂の弾性係数が0から10GPaの範囲において次式で近似して表すことができる。

$$K = aET \quad (2)$$

ここでKは破壊指標（応力拡大係数または最大主応力）であり、aは寸法形状による係数、Eは樹脂の弾性係数である。Tは上昇した温度であり、極限状態を評価するとき樹脂の発火点温度を指す。応力拡大係数及び最大主応力は温度が上昇するとともに大きくなるが、弾性係数の異なる樹脂では増大の割合が異なり、樹脂の弾性係数が大きいほど応力拡大係数及び最大主応力の増加が急になる。また、同様の鋳型強度に関して発火点が高く燃焼までの履歴が長い樹脂ほど小さい弾性係数による補償が必要になる。

式(1)は更に造型材料の熱膨張係数を考えると、また次のように書ける。

$$K = f \alpha ET \quad (3)$$

fは寸法形状による係数であり、 α は膨張係数である。マスターモデルに使用できる材料は次式によって決定する。

$$f \alpha ET < K_{max} \quad (4)$$

例えば $f=1$, $K_{max}=100$, $T=500$ の場合マスターモデルに使用できる材料の材質の条件は $\alpha E < 0.2$ になる。特定の形状に対して鋳型の破壊因子は弾性係数、膨張係数及び熱分解温度のような単独のパラメータでなく、 αET という総合的なパラメータが指標になる。

2.3 寸法効果

マスターモデルの寸法も鋳型の応力状態に影響を与える。Fig5に示すのは四方形マスターモデルの辺の長さに対応する鋳型内部に発生する最大主応力およびコーナ部の応力拡大係数である。最大主応力は鋳型外側表面付近に発生し、寸法が大きいほど最大主応力が大きい傾向を示す。また応力の分布にも変化が現れる。寸法が大きいほど応力の分布が不均一になり破壊しやすい状態になる。

2.4 モデルの置換

上に示した条件式(3)はマスターモデルの置き換え及び材質の適性を予測するのに用いられる。RPモデルの形状寸法がワックスモデルと同じ場合、形状因子fは同じであるので αET について比較するだけでよい。この場合通常fの数値を求める複雑な解析計算は省略できる。したがって、RPモデルの上記 αET 値がワックスモデルのそれより低ければ、RPモデルをワックスモデルと同じ手順で作成されたセラミックス鋳型への応用が可能である。

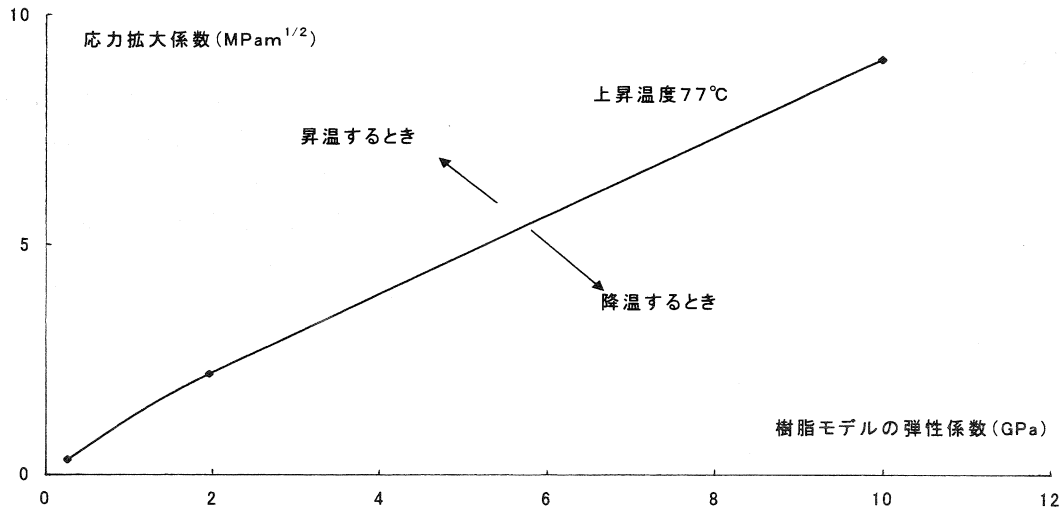


Fig.4 材料係数と応力状態

ただし実際に参照できる同形状のワックスモデルがない場合が殆どなので、似通った形状のワックスモデルを対照としてモデル置き換えのおおよその目安を決める必要がある。即ち形状が完全に一致しなくても RP モデルの αET が対照モデルのそれよりかなり低い場合モデル置き換えの可能性が大きいと考えて良い。逆に RP モデルの αET が対照モデルより大きい場合強化鋳型を採用するか、他の RP モデルに変えるか検討すべきである。置き換え条件の検討作業はすべて設計前の段階で行われるため最初から試行錯誤するよりリスクが少ない。

上記置き換え条件の検討方法を用いて RP モデルを用いた他のアプリケーションにアプローチすることも可能である。また、同じ材質のモデルを異なる幾何学形状の部品への応用性を検討する場合、 $f \alpha ET$ の構成要素である熱膨張率 α 、弾性係数 E 及び熱分解温度 T は同じなので、数値解析で f 値を計算して比較すれば、同質材料の異なる形状部品への拡張の可能性を予測できる。置換条件のまとめを Table2 に示す。

3. まとめ

複雑形状部品の一品生産を可能とする光造形システムとモールド技術の複合化技術の開発において重要である RP マスターモデルの置換条件について検討した。RP モデルのマスターモデルへの置き換えは材質及び部品の幾何学的特徴により、置き換えを実施する前に条件を検討する必要がある。異なる幾何学的特徴のマスターモデルについて数値解析による形状因子の比較が必要である。また、模型材質について膨張係数だけでなく材料の弾性係数及び熱分解温度を含んだ総合的な指標が有効である。

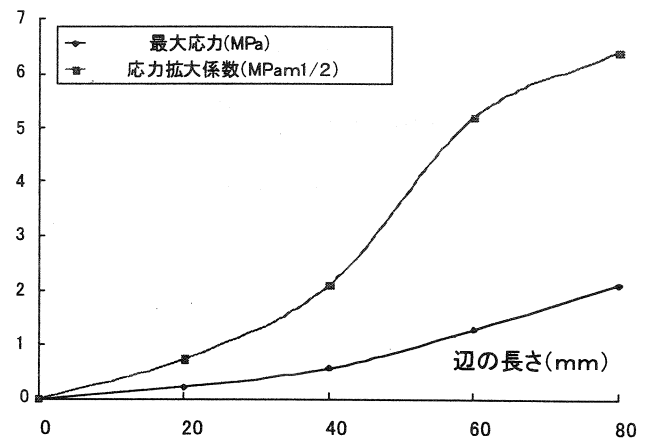


Fig.5 鋳型内部応力状態の寸法効果

Table2 置換条件

置換の種類	パラメータ	条件
材料置換	αET 値	$(\alpha ET) < (\alpha ET)_{Max}$
形状置換	f 値	$f < f_{Max}$
材料形状置換	$f \alpha ET$ 値	$f \alpha ET < (f \alpha ET)_{Max}$

f : 寸法形状係数 α : 熱膨張係数 E : 弾性係数 T : 熱分解温度

文 献

- [1] S.He, H.Yoshiura, C.Mori: 「Investigation of Reinforced Ceramics Molds for Resin Patterns」, The Tenth Annual Solid Freeform Fabrication Symposium, 1999.8, Austin
- [2] 何仕栄, 森智明, 吉浦洋之: 「光硬化樹脂モデルによる複合モールドに関する研究」(招待講演) 第16回ラピッドプロトタイピングシンポジウム, PP110-115, 1999.5
- [3] 岡村弘之: 線形破壊力学, 昭和51年, 培風館