

光造形模型等による迅速試作品製作技術の開発

矢澤貞春* 岡田健司* 安田 広**¹ 北澤幸廣**²
孟 陽**³ 曾根直延**⁴ 神田雄一***

Study of Rapid Prototyping by Stereolithography

YAZAWA Sadaharu* , OKADA Kenji* , YASUDA Hiroshi**¹ , KITAZAWA Yukihiro**²
MENG Yang**³ , SONE Naonobu**⁴ , KANDA Yuichi***

抄録

製品の試作期間を短縮するため、光造形模型を用いた鋳造品、樹脂成形品の作製を試みた。光造形模型を鋳造用模型として用いて、砂型鋳造法等により、複雑形状の鋳造品を作製することが可能であること、また、金型として用いて、通常の樹脂を射出成形することが可能であることが明らかになった。

キーワード：砂型鋳造，消失模型鋳造，射出成形，光造形

1. はじめに

ここ数年、中国を中心とした東南アジアの経済発展や製造業におけるグローバル化の影響を受け、製品開発サイクルは従来より大幅に短くなっている。それに伴い、試作品の納期も従来よりも短くなっているのが現状である。本研究では、迅速に形状を作製することのできる光造形システムを用いて模型を作製し、それをもとに鋳造品やプラスチック射出成形品の試作品をできるだけ短期間に製作する手法を検討した。

2. 研究内容

2.1 光造形模型を用いた砂型鋳造

試作段階において、設計が変更される可能性がある場合、木型を用いた従来の作製手法では、資金的にも時間的にも問題が多く、また複雑な形状の鋳造品は作製できない。そこで、光造形模型を用い、できるだけ簡易な方法で、鋳型を作製し、複雑な鋳造品を作製する手法を検討した。

2.2 光造形模型を用いた消失模型鋳造

消失模型鋳造法は、形状が複雑である鋳造品を効率よく作製する方法である。模型用樹脂には、発泡ポリスチレンやPMMA(ポリメチルメタクリレート)など用いられているが、通常は模型作製に形状的な制約がある。光造形模型を用いた場合には樹脂量が多く、吹き返し等の問題もあり、あまり試みられていない。今回は、光造形模型を用いて消失模型鋳造法を可能にする方法を検討した。

2.3 光造形模型を用いた樹脂成形

デザイン形状を確認するために光造形模型を用いることは、一般的な手法となっているが、製品の性能試験等を考えると、実際に用いられる樹脂

* 材料技術部

**¹ (株)田口型範

**² (株)メタルスファンドリイ

**³ (株)インクス

**⁴ (株)山城精機製作所

*** 東洋大学工学部

で成形品を作製する必要がある。そのような場合、金型を作製する必要があるが、金型は一般的に高価であり、作製が困難である。

そのため、比較的容易に形状が作製可能な金型形状の光造形模型を作製し、それを金型の代替として成形品を作製する方法を試みた。

3. 実験方法

3.1 光造形模型を用いた砂型鑄造

平成13年度、光造形模型を鑄物砂に埋没させ、焼成炉で焼成して鑄型を作製する簡易な手法を報告¹⁾したが、鑄割れが発生する場合があった。この結果は、樹脂量の多いことが原因であると考えられた。今回は、焼成を確実にするため、樹脂を劣化・消失させることを検討した。

3.1.1 模型の消失・劣化

予備実験として、樹脂を劣化させるため、無機酸化剤による方法と、有機溶剤による消失・劣化方法を検討した。

無機酸化剤としては、硫酸(98%, 80%)、過マンガン酸カリウム溶液(40g/L)を用い、光造形模型の板(10×20×2mm)を浸漬して、重量変化を時間ごとに求めた。

有機溶剤等については、内部を八ニカム形状にした光造形模型(5×60mm)を有機溶剤等に浸漬し、形状の変化を観察した。

3.1.2 鑄型の作製

階段状(図1)と、インペラ形状(図2)(120×77mm, 84×53mm, 60×38mm)の光造形模型を作製した。模型内部は、八ニカム形状とし、樹脂を抜くための穴はワックスで埋めた。



図1 階段状模型

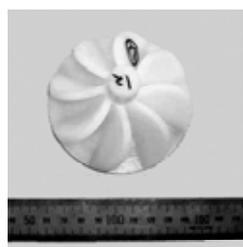


図2 インペラ形状模型

なお、本研究で用いた光造形模型は、光造形装置(3D Systems社製, SLA3500)で造形した。使

用した樹脂は、エポキシ樹脂(バンティコ社製, SL7560)である。造形の積層ピッチは0.15mmで、造形後、表裏各1時間ポストキュアを行った。

この光造形模型を、水ガラスを粘結剤とした市販の混練砂(秩父けい砂6号、水ガラス5%、以下「ガス砂」と略す)に埋め、CO₂ガスを流して硬化させた。

3.1.3 焼成実験

3.1.2において作製した鑄型を焼成炉に入れ焼成を行った。加熱条件は、鑄型を室温(10~20)で焼成炉に入れた後、1時間で所定の温度に昇温し、所定の温度に達した後、1時間保持し、室温まで炉内で冷却させる方法(以下「通常法」と略す)と、炉内で室温から急激に昇温し、一定温度に保持する方法(以下「ヒートショック法」と略す)を実施した。また、保持温度は、500である。

3.1.4 注湯実験

溶解は、高周波誘導炉を用い、鑄鉄(FC250相当)の溶湯を注湯した。

3.2 光造形模型を用いた消失模型鑄造法

平成14年度、内部が八ニカム状の光造形模型を用いて試作を試みた²⁾が、完全な鑄造品は得られなかった。ここでは、本年度は、内部を空洞状にした光造形模型を検討した。

3.2.1 鑄造用模型の組立

光造形模型は、内部が空洞になるように作製した。形状は、図1とほぼ同じ形状の階段状のものと、人物の顔等(図5参照)である。

作製した光造形模型に湯口等を取り付け、塗型(神戸理化学工業(株)製、エピコ K-1500)を塗布し、約3時間乾燥させた。

3.2.2 振動機による振動付加

作製した模型を消失模型振動機(大洋マシナリー(株)製のフラスコ(475×480×800mm)に入れ、周囲に乾燥したけい砂(5.5号 日光けい砂)を入れた。振動は上下、左右ともに約1分間行った。

3.2.3 注湯実験

振動後、フラスコを振動機から降ろし、フラスコ内を、真空ポンプで減圧しながら鑄鉄(FC250相

当)の注湯を行った。

3.3 光造形模型を用いた樹脂成形

光造形に用いる樹脂は、熱に弱いため、成形時に高温の樹脂が流入すると、熱影響を受けたり、離型性が悪くなることが懸念されたため、金型にめっきを施し、離型性を向上させることを試みた。

3.3.1 光造形模型へのめっきの方法

光造形模型へのめっきは、一般的な樹脂めっきの方法で、まず無電解銅めっきを行い、さらに硬度等機械的強度に優れる電気ニッケルメッキで処理した。

無電解銅めっきの工程は、脱脂 触媒化(Pd/Sn)

無電解銅めっき(還元剤:ホルムアルデヒド、Cu 濃度 3.0g/L)である。電気ニッケルめっきは、スルファミン酸ニッケルめっき浴で行った。

3.3.2 射出成形実験

成形実験には、微細発泡射出成形装置(株)日本製鋼所/TREXEL INC.製 J85EL -110H-MuCell :型締力85t,スクリュー径 32mm)を用いた。

4. 結果及び考察

4.1 光造形模型を用いた砂型鑄造

4.1.1 模型の消失・劣化について

硫酸、過マンガン酸カリウム溶液中に光造形模型片を浸漬すると、時間経過とともに重量が減少した。表1に2時間経過後の重量の減少率を示す。

表1 無機酸化剤浸漬後の光造形模型の重量の減少率

酸化剤の種類	2時間後の重量減少率 (%)
KMnO ₄ (40g/L) *	1.8
H ₂ SO ₄ (80%)	2.2
H ₂ SO ₄ (96%)	22.0

* 1M 水酸化ナトリウム溶液中

また、有機溶剤中に、内部八二カム状の光造形模型(5×60mm)を浸漬し、3時間後、24時間後の光造形模型の外観変化の状況を表2に示す。

4.1.2 鑄型作製・注湯実験

前項の結果により、無機酸化剤、有機溶剤のどちらでも、光造形模型を劣化させることが可能であると考えられたが、鑄造現場での取り扱いを考

表2 有機溶剤等中の光造形模型の外観変化

有機溶剤等の種類	3時間後	24時間後
メタノール		
エタノール		
クロロホルム		
ジクロロメタン		
アセトン		
DMF		
水(純水)		

やや形状変化あり かなり形状が変化している(屈曲したり、2分したもの) 原形をとどめていない 変化なし

え、以降は、DMF(N,N-ジメチルホルムアミド)を用いて実験を行った。

階段形状の模型をガス砂の砂型に埋め、模型内部にDMFを約10mL注入して約12時間経過後、焼成を行った。焼成後の鑄型内部を切断して内部を観察したところ、模型内にDMFの注入を行った鑄型と、行っていない鑄型を比較すると、注入を行った方が、内部の亀裂等が少なかった。また、焼成をヒートショック法で行った場合は、鑄型が割れる場合があった。

インペラ形状(120×77mm)について、同様に鑄型を作製し、DMFを20mL注入し、3時間経過後に通常法で焼成を行った。この鑄型に鑄鉄を約1,500で注湯を行ったところ、模型を転写した形状の鑄造品(図3)が得られ、本手法で鑄造できる可能性について、見通しをつけた。溶湯等の化学成分等を、表3に示す。

表3 溶湯の化学成分、機械的性質

化学成分(wt%)					引張強さ N/mm ²	硬さ HBw 10/3000
C	Si	Mn	P	S		
3.34	2.0	<0.2	0.033	0.067	263.9	235



図3 鑄造品の外観(120×77mm)

3.2 光造形模型を用いた消失模型鑄造

階段状試験片に湯口を取り付け、鑄鉄の注湯を行ったところ、ほぼ模型を転写した形状の鑄造品が得られた。しかし、塗型を施さず注湯した場合には、焼き付きにより正常な鑄造品が得られなかった。

次に、樹脂の分解ガスが速やかに排出されるように、ガス排出口を取り付けた方案で、模型を組み立て(図4)、注湯を行ったところ、ほぼ模型を転写した形状の鑄造品(図5)が得られた。なお、注湯温度は約1,500、溶湯の成分は、3.1.2と同様である。

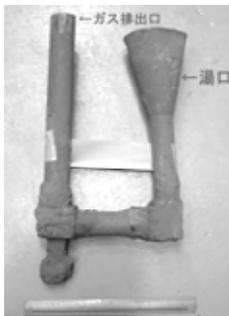


図4 組立後の模型 図5 鑄造品(人物)

4.3 光造形模型を用いた成形

4.3.1 無電解銅めっき

3.3.1による方法で、無電解銅めっきを行ったところ、銅が光造形模型に付着したものの、あまり良好な皮膜は得られなかった。この原因として、触媒であるパラジウムの付着が十分でなかったことが考えられた。そこで、銅めっきを行う前に、過マンガン酸カリウム溶液で表面の粗化を行った。光造形模型の表面粗さをレーザー顕微鏡で観察したところ、表面粗さ Ra が0.436 μmから0.637 μmに変化した。本処理後に、無電解銅めっきを行うとことにより、良好なめっき皮膜(0.2 μm)が得られた。

4.3.2 電気ニッケルめっき

前項で得られた銅皮膜の上に、電気ニッケルめっきを行った。めっきの条件、浴の主な成分を表4に示す。なお、得られためっき被膜の膜厚は2 μmである。

4.3.3 射出成形実験

めっきを施していない光造形模型(キャピティ

表4 Niめっき浴の組成、めっき条件

(組成)	
スルファミン酸ニッケル	300g/L
塩化ニッケル	30g/L
ホウ酸	30g/L
(めっき条件)	
温度	50
電流密度	0.39 A/dm ²
陽極	電解ニッケル板 テポライストニッケル板

部：引張試験片形状)をモールドベース(230×350×225mm)に組み込み、射出成型機に取り付け(図6)表5に示す条件で低密度ポリエチレン(「PE1」：三井化学(株) ミラソン FL60)の成形を行った。目標成形回数を10ショットとしたが、17回を成形行い、目標回数はクリアしたため、より融点の高いポリプロピレン(「PP1」：日本ポリケム(株) ノバテック PP MH4)の成形を行った。

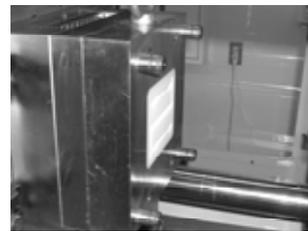


図6 光造形金型の取付状況

表5 成形条件

項目 \ 樹脂	PE1	PP1	PE2
射出速度 (mm/s)	10	10	8
保圧 (MPa)	3	6	8
保圧時間 (s)	5	5	5
射出温度 ()	110	220	180
冷却時間 (s)	40	40	40
成形回数	17	15	100

なお、PP1の成形を15回行った後に、光造形金型のキャピティのコーナー部に亀裂の発生が確認された。光造形金型を取り外し、亀裂部を切断して電子顕微鏡で観察を行ったが、亀裂の始点は確

認できなかった。しかし、樹脂が亀裂の奥部まで浸入していたことから、熱と圧力の相互作用により、亀裂が発生したものと考えられる。

4.3.4 めっき光造形金型による成形実験

4.3.1、4.3.2の方法でめっきを行った光造形模型(キャビティ部:歯車形状)を、モールドベースに組み込み、低密度ポリエチレン(表5中、「PE2」:ミラソン403P、三井化学㈱)の成形を行った。成形時、めっきの一部がはがれたものの、100ショット成形可能であった。図7に、光造形金型を用いて成形した樹脂成形品の外観を示す。

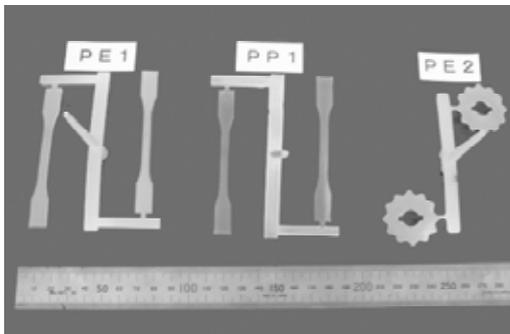


図7 成形品の外観

5.まとめ

本研究により、以下の事項が明らかになった。

- (1)光造形模型をもとに、薬品による模型の劣化を補助的に用いることにより、複雑な鋳造品を迅速に作製することができる。
- (2)光造形模型をもとに、消失模型鋳造法によっても鋳造品で作製することができる。
- (3)光造形模型を射出成形の金型としても使い、通常成形に用いられる樹脂(ポリエチレン等)を用いて、射出成形が可能である。

今後、光造形模型を鋳造用模型や金型として用いて、試作品や小ロットの部品が、より簡易に作製されることが期待できる。

謝辞

本研究にあたり、塗型剤の御提供をいただきました神戸理化学工業㈱様、まためっき液等の御提供をいただきましたメルテックス㈱様に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 矢澤貞春, 簗輪幸三, 増田伸二, 岡田健司, 田口順, 安田広: 情報技術による迅速試作鋳造品の研究, 埼玉県工業技術センター研究報告, 4, (2002)58
- 2) 矢澤貞春, 岡田健司, 田口順, 安田広: 情報技術による迅速試作鋳造品の研究, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 1, (2003)75