

次世代R・P用紫外線硬化樹脂の開発と焼失プロセスのシステム化に関する研究開発*1

小林 克次・宮川 和博・鮎澤 信家・古川 進*2・極泉 光紀*3・小林 克至*3

Research on the Development of the UV Curable Resin and Systematization of the Burned Process for new R・P system

Katsuji KOBAYASHI, Kazuhiro MIYAGAWA, Nobuya AYUZAWA, Susumu FURUKAWA, Mitsunori TOIZUMI and Katsushi KOBAYASHI

要 約

直接鋳造可能な樹脂の開発した結果、従来の紫外線硬化樹脂よりも低膨張率・低焼成残さの樹脂を開発することができた。鋳造を行う際の鋳型の焼成条件を検討した結果、樹脂焼成に最適な温度プロセスを見いだした。その温度プロセスに基づき、銀製品の鋳造実験を行ったところ、良好な鋳造製品を得ることができた。

1. 緒 言

現在、光造形法を用い宝飾品など立体物のモデルを造形し、そのモデルをワックスに転写し、鋳造作業が行われている。しかし、モデルを転写するという工程があるため、転写による寸法精度の低下及び鋳造後の品質低下などの課題を有しているのが現状である。また、光造形法による造形物を、ロストワックス鋳造法のように、直接焼成・鋳造を行った場合には、多量の焼成残さや鋳型（モールド材）と紫外線硬化樹脂との熱膨張係数（率）の大きな差によって、鋳造後の“巣、ピンホール、バリ”等を発生させる原因となってしまうことが知られている。

そこで、本研究では、従来のものに比べ、焼成時に発生する焼成残さの減少とともに、鋳型に近い熱膨張係数を持った紫外線硬化樹脂の開発を行う。また、樹脂焼失プロセスのシステム化については、直接焼成・鋳造が可能なR・P（Rapid Prototyping 高速モデル製作法）を目的として次世代R・P用紫外線硬化樹脂の開発と焼失プロセスのシステム化に関する研究開発を行う。これらにより、ワックス転写工程削除による寸法精度の向上、コストダウンとともに、効率的な温度管理によって大幅なエネルギーの削減などの効果が得られると考えられる。

本研究は、2ヶ年計画で行い、1年目の昨年度は、樹脂の物性値の向上、樹脂の開発改良を行い、樹脂鋳造用埋没

材の開発を行うために成分分析を行った。その結果、従来市販されている樹脂よりも性能の良い樹脂を開発することに成功した。また、樹脂用埋没材を開発するにあたり、基礎的なデータを入力することができた。2年目の今年度は、まず従来の樹脂に比べて低熱膨張率、低焼成残さ率の樹脂を開発を行った。次に、電気炉内の温度測定を、県内鋳造メーカー保有の複数の電気炉で行い、各炉の昇温特性を把握した。これらの結果をもとに、今回開発した樹脂に最適な昇温パターンを構築し、実際に銀製品の鋳造実験を行った。

2. 実験方法

2-1 試作樹脂の評価

試作した樹脂と従来メーカーで販売しているUVM-8001との熱膨張率と焼成残さ率の比較を行った。樹脂の熱膨張率は、熱機械分析（TMA）装置（TAインスツルメンツ社製TMA2940）を使用した。測定は、大気雰囲気中で、昇温速度は2℃/minの条件で行った。100℃と200℃でそれぞれ1時間保持した。これは通常の鋳型材の焼成と同一の条件下で測定するためである。焼成残さ率の測定は、熱重量測定（TG）装置（TAインスツルメンツ社製TG2940）を使用した。測定は、大気中で昇温速度は2℃/minの条件で行った。係留時間は、熱膨張率測定の場合と同様に、100℃と200℃でそれぞれ1時間保持した。

2-2 県内鋳造業者所有電気炉の昇温パターンの測定（県内2社（仮にA社、B社とする）における電気炉の昇温パターンの測定を行った。A社の昇温プログラムを表

*1 課題対応新技術研究開発事業で実施した

*2 山梨大学工学部

*3 株式会社メイコー

1 に示した。A社使用の電気炉は、畑電機製作所回転式二段型電気炉である。また、B社における昇温プログラムを表2に示した。B社使用の電気炉は、畑電機製作所製エレポットLLタイプ(4.6kW)である。

表1 A社の昇温プログラム

温度	保持時間/昇温時間
室温~150℃	10分
150℃	2時間
150℃~250℃	10分
250℃	2時間
250℃~350℃	10分
350℃	2.5時間
350℃~750℃	1時間
750℃	保持

表2 B社の昇温プログラム

温度	保持時間/昇温時間
室温~250℃	10分
250℃	2時間
250℃~450℃	10分
450℃	2時間
450℃~550℃	10分
550℃	1時間
550℃~750℃	1時間
750℃	保持

2-3 樹脂鑄造用昇温パターンの検討

山梨県工業技術センター所有の電気炉(東洋製作所製 OPM-60DP kW)で、樹脂焼成用の昇温プログラムを作成し、温度測定を行った。

2-4 銀製品の鑄造実験

2-3で作成した樹脂用焼成プログラムで焼成を行った鑄型により、鑄造を行った。スターリングシルバー(銀92.5%・銅7.5%合金)を溶解し、安井インターテック社製真空加圧鑄造機を用いた。鑄造温度は、950℃である。

3. 実験結果および考察

(1) 樹脂の物性値測定結果

樹脂のTMAによる熱膨張率測定結果を図1に、TGによる焼成残さ率測定結果を図2に示した。熱膨張率は、UVM-8001では、最大で2.5%以上であったが、今回試作した樹脂では、約2%程度に低減することができた。しかし、

同じ温度における埋没材(鑄造用鑄型材)の熱膨張率は、1%程度であり、まだ両者の熱膨張率の差に起因する鑄型のワレなどの問題が生じる可能性が考えられる。

TGによる測定により、図2中に示したように、UVM-8001では750℃まで昇温しても一定の焼成残さが発生したのに対して、試作樹脂では、完全燃焼し、焼成残さを消滅させることができた。また、図からも明らかなように、300℃付近からUVM-8001に比べて試作樹脂はより急激に重量が減少していることが明らかとなった。これは、昇温による分解性能が向上していると考えられ、この点でも、性能改善を図ることができた。

成分の調整により性能の向上を図ることが可能となったが、試作樹脂は、造形後に成型品にひび割れなどが時々生じる問題が発生している。今後の課題の一つであると考えられる。

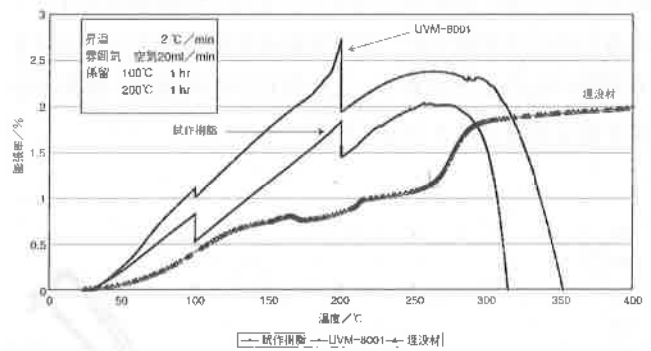


図1 熱膨張率測定結果

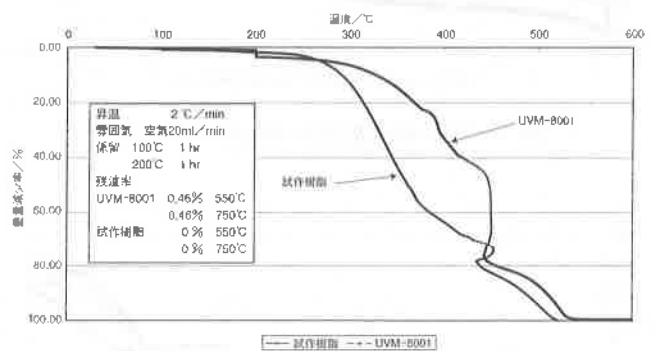


図2 焼成残さ率測定結果

(2) 県内鑄造業者所有電気炉内の温度測定結果

図3にA社の電気炉における温度測定結果を、また図4にB社の電気炉における測定結果を示した。A社の電気炉は、回転式二段型電気炉である。そのため、炉内の上段中央部と上段に置いた鑄型内および下段中央部と下段に置いた鑄型内の温度測定を行った。図から分かるように、下段の炉内温度がほぼプログラム通りの挙動を示していること

が分かった。それに対して、上段はプログラムよりもやや高めの温度状態になることが明らかとなった。また、鑄型内については、上段・下段ともに、100℃付近で2時間程度の温度の滞留が生じていることが明らかとなった。この現象は、昨年度山梨県工業技術センター所有の電気炉においても観察されており、鑄型内の水分が蒸発する過程に対応していると考えられる。この温度プログラムは、通常のパラフィンワックスを用いたロストワックス鑄造に対応したものである。図2に示したように、樹脂が最も分解するのは、300～500℃の温度範囲であるが、このプログラムでは、ほとんどその付近での温度係留ができておらず、樹脂焼成には不向きであると考えられる。

B社のものも、炉内温度については、ほぼプログラム通りの挙動を示したが、鑄型内温度は、A社のものと同様に、100℃で2時間程度の滞留が生じており、樹脂焼成に重要な300～500℃の温度範囲での係留が実現できていない。B社については、実際にこのプログラムで樹脂鑄造を行っているとのことであるが、鑄造欠陥が大量に発生し、歩留まりが悪いとのことである。A社のものと同様に、改善の必要がある昇温プログラムである。

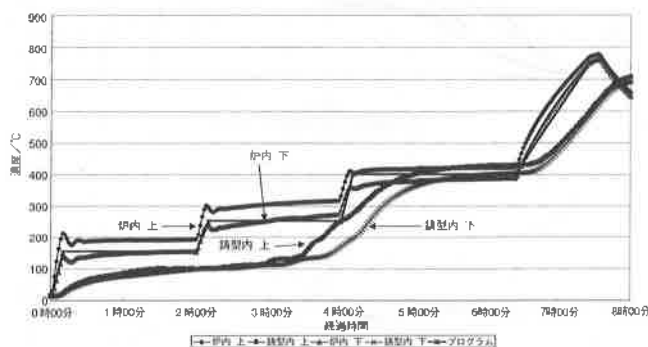


図3 A社所有電気炉の昇温パターン

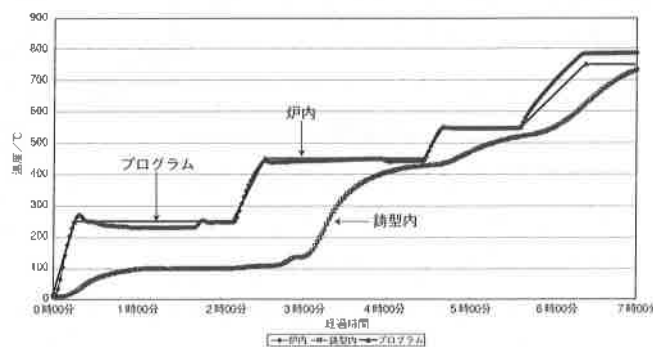


図4 B社所有電気炉の昇温パターン

(3) 樹脂鑄造用昇温パターンの検討結果

昨年度の山梨県工業技術センターの電気炉における昇温

パターンの測定結果や、他の民間業者使用の電気炉で温度測定を行った結果、以下のような点が明らかとなった。

- ・出力、電気炉の大きさに関わらず、どこの電気炉においても100℃付近での温度滞留が2～3時間生じている。
- ・上記の滞留が原因で、実際係留しようとしている温度範囲(300～500℃)での恒温状態が実現できていない。つまり、100℃での水分蒸発をなるべく迅速に終わらせ、鑄型内温度を炉内温度に早く近づけることが課題であると考えられる。

そのために、まず、急速に水分の蒸発を図るように、炉内温度を上昇させ、目的とする温度での保持時間を長くすることを目的とした昇温パターンが必要である。表3にそのために作成した昇温プログラムを示した。

表3 樹脂焼成用昇温プログラム

温度	保持時間／昇温時間
室温～200℃	30分
200℃	30分
200℃～350℃	1時間
350℃	8時間
350℃～750℃	3時間
750℃	5時間
750℃～650℃	30分
650℃	保持

このプログラムに基づき焼成を行った時の、炉内および鑄型内温度を図5に示した。

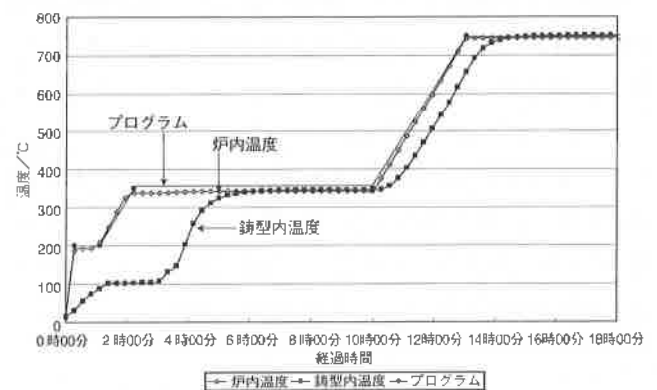


図5 樹脂焼成用昇温プログラム実行時の温度測定結果

これまでの昇温パターンに比べて、100℃の係留時間が短くなっており、また樹脂焼成に適した350℃付近での温度係留が実現できている。以下に述べるが、この方法によ

り、従来品 (UVM-8001) と試作樹脂を用いて铸造したところ、良好な铸造品を得ることができた。しかし、このプログラムでは、時間がかかりすぎてしまう問題点がある。プログラム通りでも、18時間程度かかっており、最低でも12時間程度まで時間を短縮する必要がある。これは、一般的な铸造業者の作業パターンとして、午後に埋没を行い、翌朝始業開始時から铸造を行っている現状があり、今回提示したパターンでは、これにそぐわない。また、長時間に渡り電気炉を稼働させることは、電気代などのコストの問題からも問題である。時間短縮については、今後の課題であると考えられる。

また、急速に加熱することにより、鑄型のワレが発生することが予想される。石膏系の埋没材は強度を十分に持たせるために200～300℃においては、なるべくゆっくり昇温

できた。

課題としては、樹脂の問題として、試作樹脂の造形後に生じるひび割れが挙げられる。また、樹脂の焼成用昇温プログラムを設定したが、従来のものに比べて長すぎるため、より短時間で効果的なプログラムを見いだす必要がある。また、铸造欠陥が生じる割合が従来のロストワックス铸造に比べて高いので、さらなる改善が必要である。

参考文献

- (1) 小林克次・宮川和博・鮎澤信家・古川進・樋泉光紀・小林克至 “次世代R・P用紫外線硬化樹脂の開発と焼失プロセスのシステム化に関する研究開発” 山梨県工業技術センター研究報告No. 16 P9-13 (2002)
- (2) T-代窪毅・荒砥孝二 “光造形法による精密铸造製品の開発” 宮城県工業技術センター研究報告No. 29 P34-38 (1998)

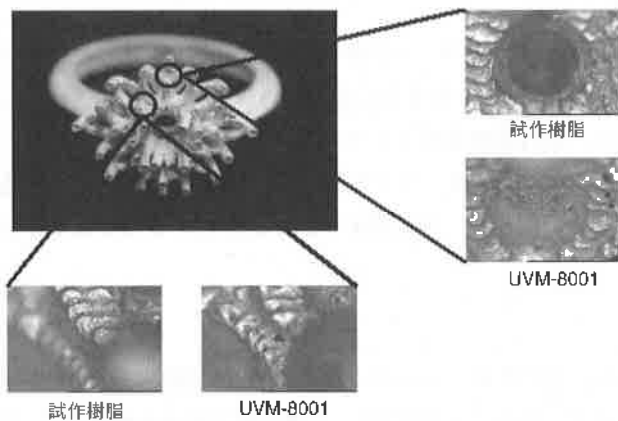


図6 铸造実験結果

させる必要があるためである。

(4) 铸造実験結果

試作樹脂とUVM-8001を用いてスターリングシルバーを铸造したものの写真を図6に示した。

図からも明らかなように、細かい石留め用の穴が、UVM-8001ではつぶれてしまうのに対して、試作樹脂ではしっかりと铸造できている。また、部品の縁辺も試作樹脂の方が欠陥も少なく良好な仕上がりとなった。ただし、まだ铸造欠陥が起きる割合が、従来のパラフィンワックスを用いたものより多いため、さらなる改善が必要である。

4. 結 言

本研究の成果は、まず、従来の紫外線硬化樹脂に比べて、熱膨張率・焼成残さ率の低減化を図ることができたことである。次に、樹脂により適した焼成用昇温プログラムを見いだすことができたことである。また、その昇温プログラムを用いて、実際の铸造品でも、良好な結果を得ることが