

# ラピッドプロトタイピングの鋳造用模型への応用と可能性試験

増田峰知\* 村川悟\*

## Feasibility Study of a Rapid Prototyping for Casting Models

by Takanori MASUDA and Satoru MURAKAWA

Recently, the casting process requires low price, high quality, and quick delivery, since a designed casting product such as a manhole cover is increasing. We tried adaptation of a Rapid Prototyping, RP, for a casting model. First we investigated application examples to the casting process utilizing RP, and arranged their characteristics. As the result of the investigation, RP processes are clearly effective in manufacture of the designed casting. We chose two RP processes as a feasibility study. They are the paper laminating method for the designed surface, and the powder resin laminating method for a solid component. This report shows the validity of RP on the basis of the experiments.

Key Word : rapid prototyping, designed casting product, casting process, casting model

### 1. はじめに

桑名市を中心とする三重県北勢地方は、地場産業として、下水道用マンホール蓋や側溝用グレーチング蓋などの建築金物用鋳物の生産が盛んである。近年、これらのような製品は、公共環境のデザイン化要求の高まりとともに、外観の意匠に工夫を凝らしたものが増えている。代表的な表面にデザインを施したマンホール蓋の例（桑名市）を図1に示す。



図1 デザインマンホール蓋の例

このような鋳造製品のデザイン化は、景観鋳物と呼ばれ、製品としての付加価値を高めている。しかし、複雑な鋳造用模型の加工が必要になるなど製造コストが上昇する。特に、下水道用マンホール蓋の場合は、公共工事全体の見直し中で発注単位が小さくなり、1 デザインあたりの生産単位の小ロット化が進み、模型金型の費用すらままならない場合が多い。また近年、鋳鉄鋳造業界全般で、中国などアジア諸国からの輸入品との競合が激しくなっており、品質(Q)、価格(C)、納期(D)のすべてを同時に改善する手法が望まれる。

このような状況の中、鋳造用模型用の型製造技術を効率化すると期待されるのがラピッドプロトタイピング技術（以降、RPと記す）である。この技術は、1980年代より知られる高速3次元立体成形技術の総称である。その代表的なものとして、紫外線硬化樹脂液をレーザーで硬化させる光造形法がよく知られている。すでに多くの立体成形法が実用化され、様々な応用が試みられている。鋳物の製造技術は、その成形には必ず型が必要であるため、鋳造技術の高度化を目的としたRPの活用研究も盛んである。既に、多くの報告<sup>1)4)</sup>がなされているが、未だ大きな市場にまでは成長して

\*金属研究室 研究グループ

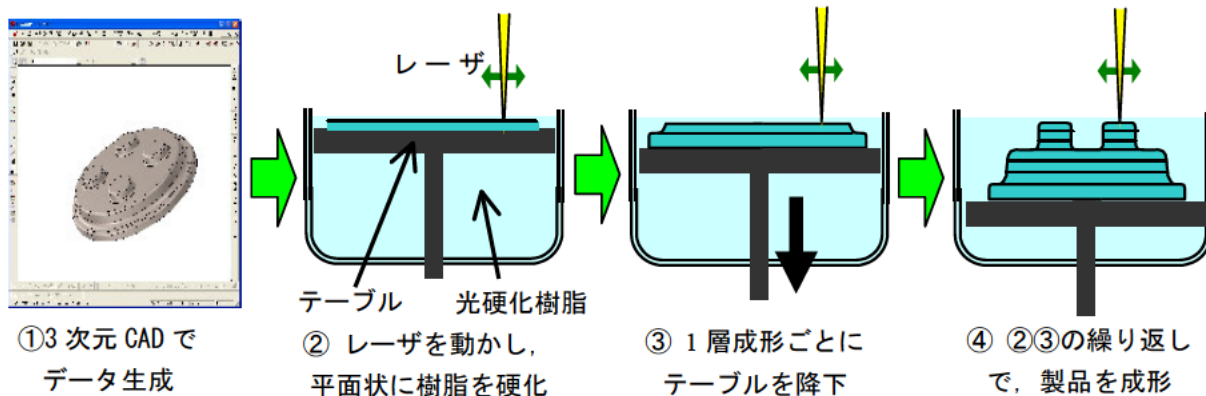


図2 RPの製作手順（光造形法の場合）

いない。

本報では、まずRPの鋳造技術への応用事例を調査し、その特徴を整理する。特に、メーカーから発信される情報だけでなく、ユーザーから発信される情報に注目した。更に、その結果に基づき、景観鋳物の製造を想定して、適当と思われるRPで成形した鋳造用模型の可能性試験を行う。適用したRPは、紙積層法と樹脂粉末焼結法である。実験により、RPが鋳造用模型作成に適した製造プロセスであることが確認できた。

## 2. RPの鋳造技術への応用例調査

### 2.1 RPの市場動向

RPは、短時間で3次元形状を成形する技術の総称として用いられている。その起源は、1980年に小玉により提案された立体図形作成装置<sup>9)</sup>にみられる。その後、丸谷<sup>10)</sup>らにより光造形機として研究が進められている。代表的な3次元形状成形法である光造形法の原理を図2に示す。その工程は、紫外線硬化液の表面に選択的に紫外線を照射して作成し、この面を順次積層していくことで立体形状を得るものである。まず、コンピュータ上で製品の3次元形状を多層のデータに変換し、次に、光硬化樹脂液が薄く載ったテーブルの表面にレーザーを当て、製品一層分の2次元平面構造物を成形する。更に、テーブルを一層分下げ、次の層の平面を成形する。これを繰り返すことで、テーブル上に立体製品を成形ができる。

RPの市場は、1980年代後半には、家電、自動車部品などの限られた分野で、試作品の意匠確認用としてごく一部に導入されていた程度の小さいものであった。1993年ごろより、多くのメーカー

が光造形機の開発を行ったり、光造形以外の手法が製品化されたため、市場が急速に拡大していった。

RPの急速な発展の理由は、最近のITの発展が大きいと考えられている。素形材分野においても、低価格なパソコン3次元CADの普及で3次元設計が容易になり、製品データのデジタル化が進んでいる。これは、構造解析・凝固解析などのCAEや、ネットワークを通じた社外との連携を容易にするだけでなく、社内の情報共有など生産管理にも有効である。現在では、RPで扱うデジタルデータは、STLフォーマットがデファクトスタンダードとなっており、多くのCADで互換性が得られている。

鋳造プロセスを3次元CADデータで管理できれば、解析や情報共有以外にもいろいろなメリットが考えられる。企画段階におけるデザイン検討が重要な景観鋳物では実物サイズでの意匠検討が可能になるし、部品を組合せて使う構造物（例えば、マンホール蓋の裏にあるロック機構）などの構造配置の検討や、開閉動作の様子を確認することができる。また、一般的な砂型用の鋳造用模型は、金属の凝固収縮を考慮して、製品より寸法を1%程度大きくして模型を作る必要がある。しかし、3次元CADデータがあれば、その補正作業は全く手間のかかるものではない。このように、3次元CADとRPの組み合わせは、鋳造プロセスにおいて有効な手法と考えられる。最近のRPは、オフィス環境でも使用が可能な簡易3次元プリンタとして利用されたり、医療分野など多方面の産業分野から、最新の成形法として注目されている。対象分野が広がるにことよって、更なる技術の進展

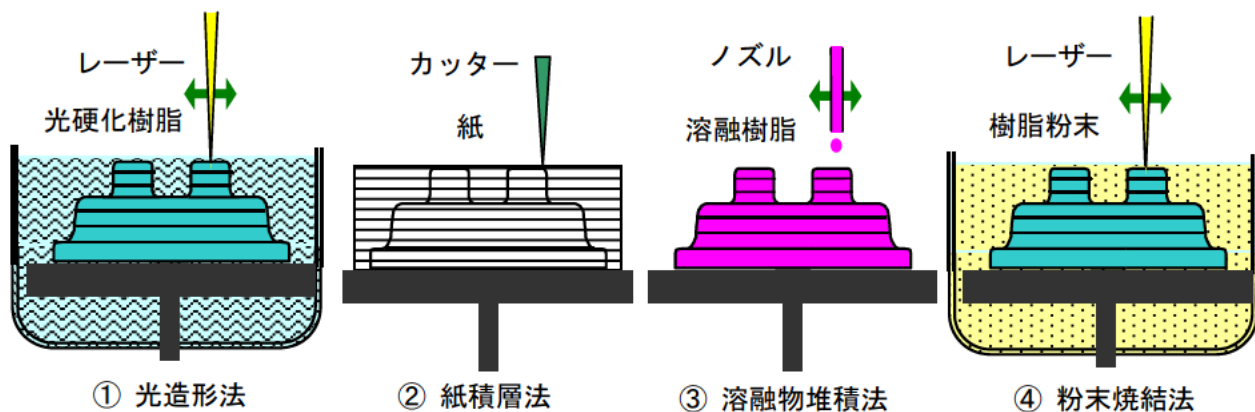


図3 主なラピッドプロトタイピングの種類

が期待できる製造プロセスである。

## 2.2 RPの種類と特徴

RPは、既に様々な成形方法が研究、開発されている。現在、代表的とされている4種のRPを図3に示す。これらは、その原理の違いから、それぞれに特徴がある。これらの特徴の違いを理解し目的に応じて使いこなす技術が重要である。以下に casting model への応用を想定し、それらの特徴の違いを整理する。

### (1) 光造形法

この方法は、最も古くから知られている手法であるため既に多くの適用事例が知られている。このプロセスは、複雑なデザイン形状を容易に作成できるため、マンホール表面柄の作成に向いていると思われる。しかし、オーバーハング形状の製品を作成する場合にはサポートが必要になること、光硬化樹脂の機械的性質の点から、連続的に砂型を成型する場合の表面の摩耗に不安が残ること、また1層を成型するのに面をスキャンしなければならず、中実の成型品を作成するには時間がかかることなどの問題点も明らかになっている。

このように光造形を砂型用模型に用いる場合、砂との磨耗や型の割れなど、いくつかの問題が想定されるが、小ロット生産の場合、従来の木型の代用になることがすでに報告<sup>7)</sup>されている。シェル状の表面形状を光造形で作成し、殻の内部を石膏でバックアップすることで、多数の繰り返し生砂造型に適応が可能になっている。

航空機部品や小物装飾品など高い精度が要求される精密 casting には、従来からロストワックス法が知られている。この方法は、注湯前に消失するワ

ックス模型そのものを金型で作る必要があり、コスト面では不利であった。そこで、光造形品を直接消失模型にしてしまう手法が研究されている<sup>8)</sup>。しかしながら、現状ではRPコストは決して安いものでなく、そのものを消失させることは時間面からも効率が悪い。これらの欠点を効率化するために光造形でシリコン注型用の型を作り、それで生産するシリコン注形品をワックスとする事例<sup>10)</sup>も知られている。

### (2) 紙積層法

この方法は、1層づつ紙を積層し、その輪郭を切るだけで済むため、中実品の成形に向いている。成形品は、表面をエポキシ系樹脂でコートすることで従来の木型模型とほぼ同等の性能になることが報告されている。しかし、成形後に不要物除去を行う必要がある。この工程は、手間がかかるため、細かなデザインが要求される場所には向いていない。

使用する紙は厚さ約0.1mmの普通紙である。1層あたり約1分で積層するため1時間あたり約6mmの高さの製品を製作することができる。また、成形品は、表面に適切なコーティングをすることで、従来の木型と同様の活用が可能であることが示されている<sup>12)</sup>。紙積層法は、光造形法では不利であった中実の型を成形する場合に向いたプロセスといえる。また、精密 casting として、紙積層模型を型の中で焼いて消失させるロストペーパー法も研究されている<sup>10) 11)</sup>。

### (3) 溶融物堆積法

この方法は、低コストであること、後処理が容易であるなどの特徴があるが、 casting model への適

用は実績が見当たらない。表面精度の問題も指摘されているが、今後の研究が待たれる。

#### (4) 粉末焼結法

この方法は、樹脂粉末をレーザーで固める方法である。樹脂の選択の幅が広いこと、様々な特性の成形品が得られること、後処理により金属製品に置きかえられること、成形中は未硬化粉末で形状が保持されるため、オーバーハング形状でもサポートが不要で後処理が容易などの特徴がある。

この方法は、樹脂粉末を適切に選べば、成型品の表面が硬く耐磨耗性に優れたものを得られるため、マンホール柄などのように細かい表面デザインを持つ铸造用模型には、最も有効な手法と思われる。課題は、現状では樹脂粉末が高価なため、中実品への適応は現実的ではないことと平板状の製品では、変形（反り）が発生しやすい（但し、修正可能）ことである。

また、砂型铸造では小物で複雑な形の中子が良く用いられる。中子の成形には、一般に粘結剤にレジンをを用い、それを焼成して製作するが多い。粉末RP法の応用として、レジンコートサンドに直接レーザーを当て、粉末焼結法として、中子を成形する手法も提案<sup>19)</sup>されている。

### 3. RP模型の可能性試験

#### 3. 1 RPの選択

RPの有効性を確認するため、デザインマンホール蓋用の铸造用模型への適応を前提にした可能性試験を実施する。デザインマンホール蓋の铸造用模型には、蓋裏の構造部と表面のデザイン部のように大きく特性が違う2種の模型が必要である。前項で整理した各RPの特徴や先行研究の事例を参考にすると、中実品でまとまった体積のある蓋裏の構造部には紙積層法が、細かい柄と表面仕上げの耐久性が求められる表面デザイン部には樹脂粉末焼結法が適切であると考えられる。次項以降に、この2種のRP法により可能性試験の結果を示す。

#### 3. 2 紙積層法による構造物用模型の可能性試験

試験に用いた製品データは、蓋裏構造物と同じ機能条件を持ち、既にデータを保有していたウェイトを用いた。図4は、紙積層法により成型した製品模型、铸造用模型、及び铸造品の例である。



図4 紙積層で成形した铸造用模型  
上段：意匠検討用モデル（1000/1000）  
中段：铸造用模型  
（表面離型剤塗布，1010/1000）  
下段：製品（生砂造型法による）

実験では、まず3次元CADによるソリッドデータの作成を行い、次にデータをSTLフォーマットに変換し、紙積層型RP装置を使って製品模型を作成（図4上）した。製品の高さは40mmであるため、成形時間は約7時間ほどである。製品模型は、着色して意匠性を確認したり、他部品との干渉や動作のチェックなどに利用できる。特にマンホール蓋の場合、蓋裏のロック機構部のはめあいチェックなどに効果が大きい。次に、同じCADデータを利用し、寸法を1%大きくした铸造用模型を作成した（図4中、写真では離型材を塗布してある）。紙積層で成形した铸造用模型は、実用上、

十分な強度を持っており、表面にエポキシ系の樹脂を塗布することで、ほとんど木型と同じ作業が可能であった。最後に、この模型を用いて、製作した鋳造品を示す(図4下)。得られた製品は、寸法精度が高く十分に実用可能なレベルであった。

### 3. 3 粉末焼結法によるデザイン柄用模型の可能性試験

樹脂粉末焼結RPを鋳造用模型に適用する場合にいくつかの問題が想定される。絵や文字が入ったデザイン柄は目が細かいため模型に角部が多く、磨耗や変質などの模型の耐久性が心配される。マンホール蓋は、通常数十から数百枚の単位で製造されるため、それ以上の造型が可能な耐久性が必要である。以下に想定される問題を挙げる。

- (1) 砂との繰り返し接触による摩耗
- (2) 造形時の高い負荷による模型の変形
- (3) 生砂に含まれる水分の模型に与える変質
- (4) 塗型(離型剤)による模型の変質
- (5) 有機鋳型の有機成分による模型の変質
- (6) Vプロセス造形法時の高温フィルムの焼付き
- (7) 細穴加工などの追加工の可否

可能性試験は、これらの課題に対応するため、3種類(生砂造形、フラン造形、Vプロセス)の

造形法により実施した。用いた樹脂粉末は、11-ナイロンで、成形品の強度や耐薬品性が優れ、追加加工が可能などの特徴を持っている。実験に用いたデザイン柄は、既存のデータを利用し、絵と字からなるものを用いた。大きさは、170mm角、柄高さ5mm、基盤厚さ5mmである。この例では、約2時間で成形できている。

図5は、各造形プロセスに使用した模型(上段)と、その型を用いて鋳造した製品(下段)である。いずれの造形法においても問題(水分や有機塗型による変質、磨耗による柄の消失等)は発生しなかった。生砂造形では、加炭剤の影響と思われる変色でやや黒ずんでいるが、変形や変質などは認められなかった。砂との接触による表面の磨耗も問題にはならなかった。フラン造形法でも、有機系塗型を塗布した上で造形を行ったが、生砂造形同様、問題は認められなかった。Vプロセス法でも、懸念されるフィルムの焼付きや乾燥砂による磨耗もなく、問題は認められなかった。11-ナイロンで成形した場合、被削性が良いため、Vプロセス法特有の脱気に必要な直径1mmの細穴加工が可能であった。タッピングなども可能であり、他の構造物に組み付けることも容易と考えられる。

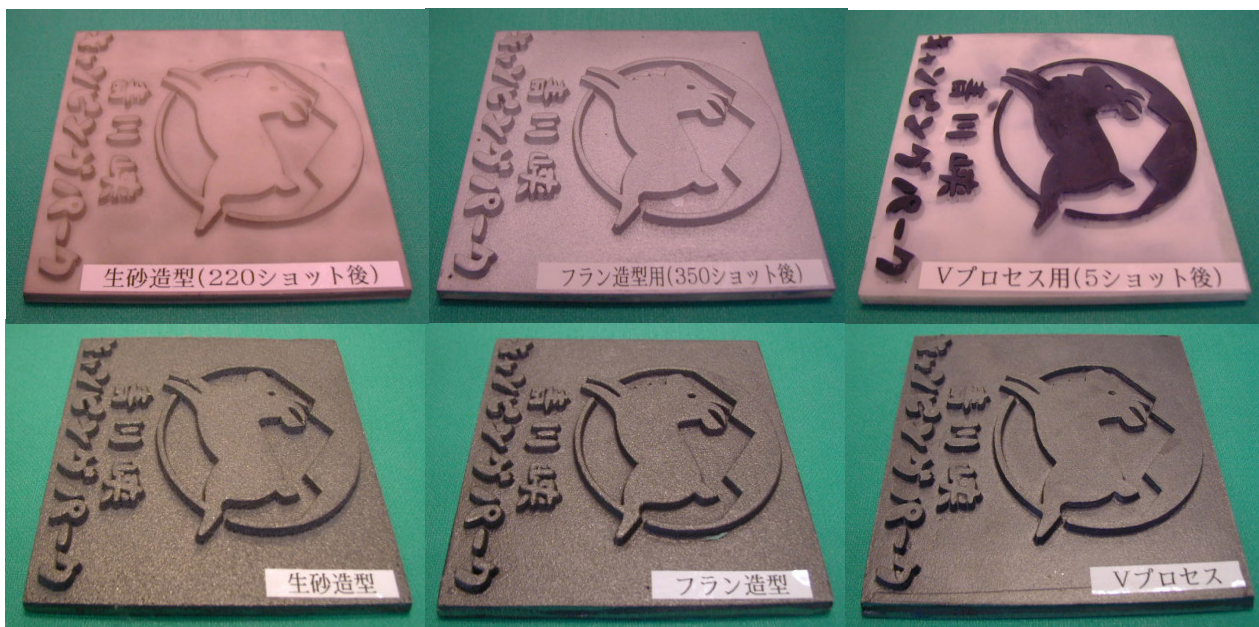


図5 粉末積層型模型と鋳造品

左列：生型造形使用後の模型(上)及び鋳造品(下)  
 中列：フラン造形使用後の模型(上)及び鋳造品(下)  
 右列：Vプロセス造形使用後の模型(上)及び鋳造品(下)  
 (模型の色は視認性向上のため着色したもの)

これらの結果を総合すると、鋳造用模型にRPを活用することは、適切な方法（本報の場合、中実品には紙積層法、デザイン品には樹脂粉末積層法）を選択すれば、十分実用的な複雑形状の型を短時間に製造することができ、大変有効であると結論づけることができる。

#### 4. まとめ

本研究では、RPの鋳造用模型への適用について、先行事例を調査し、2種類のプロセスについて実験によりその可能性を評価した。結果は、いずれも満足のいくものであり、事前に想定した問題は発生しなかった。RPの鋳造用模型は、短納期、小ロット対応などに大きな効果があるといえる。但し、RPの活用には、3次元CADの活用が前提となるため、この点を注意しなければならない。また、RP装置は、低価格化が進んでいるとはいえ、いまだ高価で使いこなすにはノウハウも必要である。これらを専門に使いこなす、社外から製作委託を受ける企業はサービスビューローと呼ばれる。違った種類のRP技術を効果的に利用するためには、違った機器を持つ数社によるサービスビューロー網の活用が重要と考えられる。

#### 謝 辞

本研究は、平成13年度県単事業ITものづくり融合化事業において実施した調査結果<sup>13)</sup>に基づいて、地元企業の協力を得て実施した可能性試験の結果を報告したものである。実験に協力を頂いた桑名エンジニアリングプラスチック株式会社 松葉善導製造部長、株式会社ホクキャスト 川瀬浩史氏、桑名ダクティル株式会社 糸川隆氏に深く感謝いたします。

#### 参考文献

1) “光造型模型を利用した精密鋳造品の製造研究”。素形材センター研究調査報告書、454-3 (1994)

- 2) “型技術に関する動向調査報告書（鋳造用模型製造におけるRP技術と今後の方向）”。素形材センター研究調査報告書、498 (1996)
- 3) “RP最新技術報告と現状技術レベル調査研究報告書”。素形材センター研究調査報告、550 (2000)
- 4) 今村正人：“最近のラピッドタイピング（RP）技術の動向”。素形材、41(12), p16-22 (2000)
- 5) 小玉秀男：“立体図形作成装置”。特許公開昭56-14447 (1981)
- 6) 丸谷洋二ほか：“光造形法—レーザーによる3次元プロッタ”。日刊工業新聞社 (1990)
- 7) 佐野弘明ほか：“デジタル加工技術の樹脂模型製作への適応と実際”。技術講習会テキスト「最近のIT革新を鋳造業に生かす」（日本鋳造工学会）、p.33-41 (2001)
- 8) 今村正人：“RP模型の精密鋳造への応用”。JACT NEWS, 498, p.16565-16574 (1998)
- 9) 門 格史ほか：“光造形技術の精密鋳造品・金型への応用”。広島県西部工業技術センター研究報告、41, p.65-68 (1998)
- 10) 今西寛文：“デジタル加工技術による紙積層モデル製作事例”。技術講習会テキスト「最近のIT革新を鋳造業に生かす」（日本鋳造工学会）、p.45-52 (2001)
- 11) 箕輪幸三ほか：“光造形法による樹脂模型を用いた精密鋳造物の製作に関する研究”。埼玉県工業技術センター研究報告、1, p.34-37 (1999)
- 12) 田中一彦ほか：“自動車用鋳造試作品へのラピッドプロトタイピングの適用”。JACT NEWS, 531, p.18261-18266 (2001)
- 13) 増田峰知ほか：“三重県におけるITを活用したモノづくり動向調査”。三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告、26, p.121-126 (2002)