

光硬化樹脂模型の作成に関する検討

- 光造形システムによる複雑形状部品の一品生産に関する研究 -

大塚裕俊

機械電子部

Investigation of Making Models Using Rapidprototyping for Casting

- Application of Laser Stereolithography System to Mono Production of Complex-shape part -

Hirotoshi OHTSUKA

Mechanics & Electronics Division

要旨

光造形法による直接鋳造法では、最終的な金属製品の品質・精度の確保が重要である。そのためには樹脂型の精度と、湯流れの良いひけ巣の生じない適切な方案デザインが必要である。またセラミック焼成時に内部の光造形モールドをうまく溶解・燃焼させて外部にガスとして放出するような構造上の工夫が必要である。

これらを実現するため、樹脂型の精度に影響するハード・ソフトの各要因、樹脂模型の強度、鋳造型焼成時の強度・排ガス性及び湯流れ解析による方案設計などについて検討を加えた。

1. はじめに

光造形法による直接鋳造法では、最終的な金属製品の品質・精度の確保が重要である。そのためには樹脂型の精度と、湯流れの良いひけ巣の生じない適切な方案デザインが必要である。またセラミック焼成時に内部の光造形モールドをうまく溶解・燃焼させて外部にガスとして放出するような構造上の工夫が必要である。

これらを実現するためには従来の鋳造工学での知識（湯口・押し・湯道・製品の向きなど）に加えてこの技術特有の要因を検討する必要がある。これには光造形の樹脂型の精度に影響するハード・ソフトの各要因の検討などが含まれる。またCADでのモデル化、光造形用データの作成、光造形システムへのデータの受け渡しなどシステム的な知識も必要となる。加えてCAEの利用による樹脂型の強度や湯流れの予測もこれらに関連して有効である。

以下ではこれら各事項について検討を加えた。

2. 研究内容

2.1 樹脂模型の精度

2.1.1 ソフトウェア要因

光造形の精度を決めるものは、製造機の精度（ハード）とCADデータの精度（ソフト）に大きく分けられる。ソフトについてはCADでのデータ変換による精度管理が問題である。

CADの中で作成されたソリッドモデルは、まず光造形システムへの受け渡し用のデータに変換されなければ

ならない。このときソリッドモデルの表面データがSTLファイルと呼ばれる面を3角形パッチの集合体データに変換される。変換に際しては対象が平面ならば問題ないが、空間中の自由曲面などは3角形パッチの密度により精度がきまる。鋳造品の要求によりこの公差（トレランス）をCAD側で入力しなければならない。

例えばU-graphなどCADシステムではこの機能が「ラピッドプロトタイピング」としてインターフェース化されており便利である。

今年度は基礎的な階段型モデルについて、ソリッドモデルからSTLファイル化を試みたところ良好な結果を得た。（Fig. 1～3）

なおZ方向の量子化誤差（積層化誤差）による階段状の造形結果（ギザギザ）については光造形で最も問題となるが、今年度は取り扱わない。

2.1.2 ハードウェア要因

光造形の精度には、システムのメカ部の精度（ハード）が大きく影響する。いわゆる工作機械など位置決め機能を持つ機械全般について、その精度管理がJISなどで標準化されるようになり、これは光造形システムの精度評価・管理についても非常に有効と考えられる。

今後のハードの精度向上を考えれば、光造形システムもこれに準じた形で精度評価・管理を考えていく必要がある。（一般的な光造形システム本体のメカ部は、工作機械のそれと本質的に同じものである。）

一般に工作機械の幾何的誤差には、直線運動誤差、回転運動誤差、および軸の公差角誤差があり、これらが工作機械の基準面上に組み立てられている。これらは直接

工作物（光造形物）の形状偏差および姿勢偏差ならびに表面粗さなどに影響する。また工作機械の熱変形による加工誤差の問題は工作機械の加工精度を向上する上で避けられない。JIS情報などによるポイントを以下に示す。

(1)工作機械（或いは空間位置決め機能をもつ機器一般）の精度管理についてはJISでもようやくその全体が整うことになった。それは幾何的精度（一般）、位置決め精度、熱変形試験、及び円運動試験の4項目を柱とする。
 (2)位置決め精度はx、y軸での往復位置決めデータを統計処理することで評価をする。測定はレーザ計測システムにより非接触測定するが、非常に精度よく簡単に計測できる。光造形システムの駆動テーブルは現在ステッピングモータによるものである。しかし今後の精度向上のためACサーボ駆動化などでの評価が必要となると思われるが、本手法の利用は非常に有効である。

(3)熱変形試験は、機械運転時のテストバーの変形量の時間的変動を計測するなどの方法が規定される予定である（公差はない）。例えば旋盤の位置決め精度の変動測定などでは、熱的な定常状態となり変動が落ちつくまでかなり時間がかかる。これに対し主軸まわりにオイルクーラを配備したM/Cではテストバーの変形量の時間的変動は小さい場合が多い。光造形システムの駆動系は現在小型であり熱容量が小さいため、稼働開始からすぐ熱的な定常状態となると予想される。しかし今後は容器や樹脂を含めたシステム全体の熱特性も考慮していく必要がある。

(4)円運動試験は、D B B（ダブルボールバー）という計測器具を用いて機械に円弧運動を行わせ、その変位の軌跡を特性評価することにより行う。この方法は京大の垣野教授グループにより研究開発されてきた。D B B計測は非常に簡便で効率的な方法である。同時にパソコンによる計測ソフトもシステム化して開発されている。すでに工作機械だけでなく一般の製造機械でも取り入れられつつある。光造形システムのハードの円運動機能の精度測定についても、この方法によれば精密な評価が可能となると思われる。

2.2 樹脂模型の強度

現在、有限要素法によって構造体の強度評価の予測を行う技術が利用されている。

本事業での光造形による樹脂型は、そのセラミック塗布・乾燥工程をめくり外力が主に圧力として負荷となるケースがあり、その変形や歪みは製品の精度に大きな影響を及ぼすため、その強度について事前評価できれば合理的である。これを行うためにはまずソリッドモデルとしてCAD化されたデータを用いて、それを有限要素解

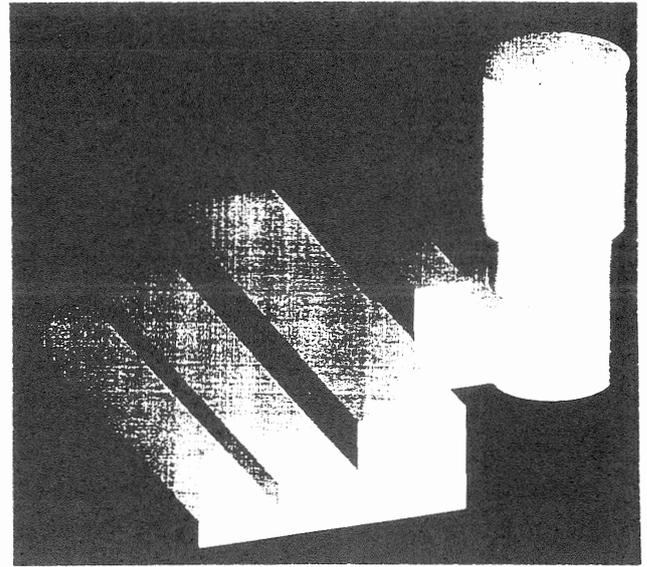


Fig.1 Standard Model (Solid model)

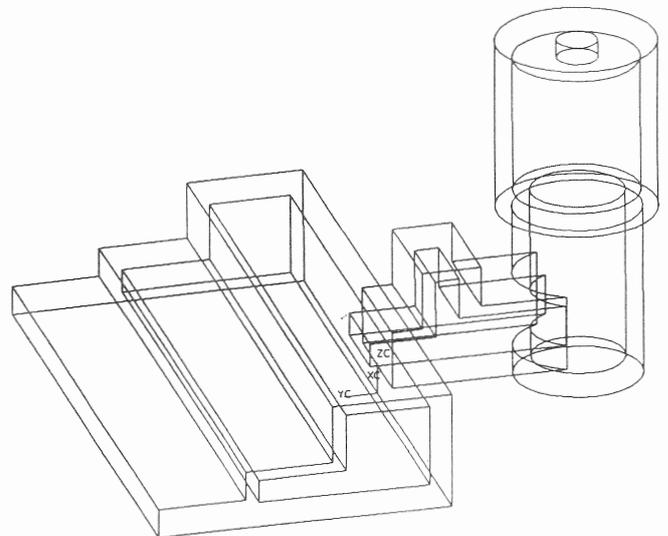


Fig.2 Standard Model (Outlines)

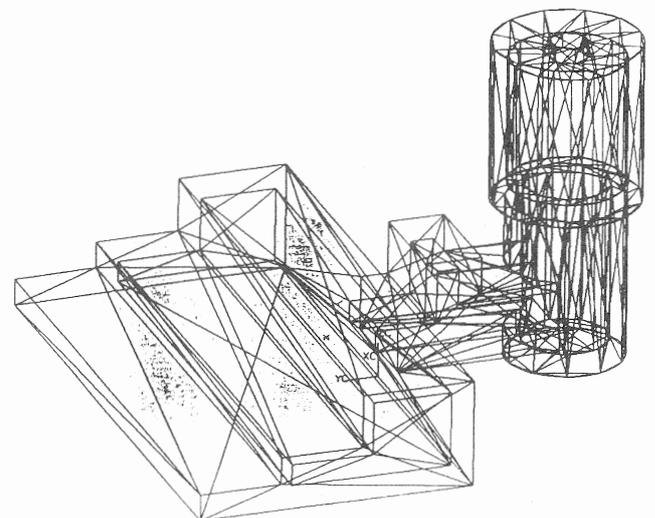


Fig.3 Standard Model (Surface Triangle Mesh)

析(FEM)データに変換しなければならない。このFEMへのデータの受渡しは出来るだけスムーズに行う必要がある。その具体的工程・インターフェースはケースにより多様であるが、今年度は当センターのシステムを用いた場合、どの程度可能かを中心に検討した。

その結果、以下の点がわかった。

- (1) ソリッドモデル → FEMメッシュはソフトで自動化が進んでいるのでそれを利用するのが合理的である。(コストが大幅に削減できる)
- (2) 外力(負荷)については個々の工程をよく調査の上モデル化するべきである。
- (3) 物性値については個々の樹脂でよく値を調査する必要がある。

例えばU-graphなどCADシステムではこの機能が「CAEモジュール」としてインタフェース化されており利用しやすくなっている。

今年度は基礎的な階段型モデルについて、ソリッドモデルから有限要素ファイル化(4面体に分割)を試みたところ良好な結果を得た。

2.3 鋳造型焼成時の強度・排ガス性

セラミクス焼成時の樹脂の膨張と燃焼ガス圧による型の破損を防止するため、樹脂型の自己崩壊構造や排ガス構造を検討する。

自己崩壊構造では、樹脂模型の製造過程でセラミックスコーティング後の加熱による焼成時の膨張や変形によるセラミックス型の破損を防止するため、一定の加熱などの操作により内部に向かって自己崩壊する樹脂構造の開発を行う。今年度はこのような機能をもつ樹脂型の壁面構造について検討した。いくつかのデザインが提案されたが、樹脂物性値の入力や適切なモデル化により数値計算による性能予測も可能であると思われる。

また排ガス構造では、前記の基本的な階段型モデルの構造を、湯道・湯口が同時に排ガス通路にもなるような設計とした。またセラミクス型本体に多くの気道をつけ加えるなどの補助的な工夫も行った。

2.4 湯流れ解析による方案の検討

光造形による直接鋳造法においては、湯流れが良くひげ巣等の生じない適切な方案が必要である。

現在、数値計算による金属の凝固解析をシミュレーションにより行う技術が用いられるようになり、本事業でも適切な方案デザインの設計のために有効に利用できる可能性がある。今年度は鋳造解析ソフト「JS-CAST」の利用について検討及び情報収集を行った。

その結果、鋳造湯流れ解析の利用という点で、現在の状況及び問題点として以下に示すようなものがあること

がわかった。

- (1)世界的にも鋳造解析(CAE)は業界の7~10%程度しか利用されていない。
- (2)消失模型(lost form)でのシミュレーションも始まっている。
- (3)固液混相状態での固相率が高い場合でのシミュレーションも始まっている。
- (4)鋳造での自由液面の挙動解析などの結果から、自由液面を乱さず酸化皮膜を巻き込まぬような鋳造方案が求められている。
- (5)自由表面流の解析では従来の直交メッシュでは計算結果が良くないので改良が必要である。
- (6)今後もユーザ、大学、企業で連携を取りエキスパートシステムを充実させCAEの生き残りをはかっていく必要がある。

また各鋳造メーカーなどの多数の湯流れ解析事例の資料によれば、モデル化、固液共存状態の取り扱い、熱伝達係数の決定方法、偏析現象のモデル化、結果による鋳造方案の改良のポイントなど種々の応用技術やノウハウが必要であるため、今後の検討が必要である。

3. 結言

光造形法による直接鋳造法を実用化レベルの技術にするためには、従来の鋳造工学での知識(湯口・押し・湯道・製品の向きなど)に加え、上述したようなこの技術特有の要因を細かく検討していく必要がある。これらの要素となる技術の向上により、その実用化も手近なものになると考えられる。

なお本考察では、光造形システムを直接鋳造法に利用する場合の一般的な検討にとどめた。

文献

- 1)大中逸雄,長坂悦敬,村上俊彦:"鋳造方案システム「JS-CAST」の概要と解析例",素形材,5(1996)