

射出成形用ラピッドツーリング技術の研究

小林 政義, 三戸 正道, 岩越 睦郎

Study on Rapid Tooling Technology for Injection Molding

Masayoshi KOBAYASHI, Masamichi MITO, Muturo IWAKOSHI

抄 録

プラスチック射出成形用金型の製作技術の向上, 製作コストの削減を目的として, 光造形法によるマスターモデルを利用し, 精密転写による迅速な金型製作技術の開発を行った。本研究では, 転写部の金型材料にメタルレジン複合材を用い, 実製品を想定したプラスチック成形品として名刺ホルダーの金型を製作し, 射出成形試験を行った。

2,100ショットの射出成形試験を行った結果, 成形性が良好で, 耐久性も小ロット成形としては実用上十分であることを確認した。

キーワード : 射出成形, 金型, 転写, 光造形, ラピッドツーリング

Abstract

Development of the manufacturing technology for master models using the stereolithography and the rapid tooling for the injection molding using the transfer method. And improvement of the manufacturing technology of the mold and the reduction of costs was examined. In this study, the transfer injection mold has been produced with metal resin composites. The mold of the name card holder by the practical plastic moldings was produced and the injection molding test was conducted.

The satisfactory ability of the molding and the adequate durability for the small lot molding was recognized by 2,100 shot tests.

KEY-WORDS : injection molding, mold, transfer, stereolithography, rapid tooling

1. はじめに

プラスチック関連企業では, 新製品開発のリードタイム短縮, 消費者の志向多様化や個性化に伴う多品種小ロット市場ニーズへの素早い対応が求められている。プラスチック製品の開発期間, 製作コストに関しては成形用金型が大きな割合を占めている。プラスチック製品の成形には射出成形機が広く利用されており, その金型の迅速な製造(ラピッドツーリ

ング)技術の開発が急務となっている。

近年, 3次元CADの普及とともに, CADデータの実体化技術として光造形法が注目されている。

本研究では, プラスチック製品開発の過程で, デザイン性・機能性の検証に使用されるマスターモデルを利用し, 精密転写により射出成形用金型の製作と成形試験を行い, その有効性を検討した。

実製品を想定したプラスチック成形品として, ここでは, 薄く, 切り欠き形状を有したもので, 比較的成形し難い, 名刺ホルダーのマスターモデルを光造形法で製作し, 真空注型法で射出成形用転写金型を製作した。

事業名: 経常試験

課題名: 射出成形用ラピッドツーリング技術に関する研究

2. 転写金型の材料試験

転写金型材料にはメタルレジン複合材（アルミニウム粉をエポキシ樹脂でバインドした複合材，アルミニウム粉75wt%，60vol%）を用いた。本複合材はエポキシ樹脂を使用しているため室温（293K，43.2ks程度）で硬化し，製品形状を容易に転写することができる。また本複合材は温度を上昇させることにより流動性が良くなり，硬化時間を短縮することができる¹⁾。転写金型材料としては形状の転写精度が良く，強度が高いことが必要である。そこで本複合材の最適硬化条件を検討するために，各温度条件における特性を調べた。

表1に収縮率，硬さ，曲げ強さの試験結果を示す。メタルレジン複合材は，293K,57.6ks，333K,10.8ksの1次硬化で収縮し，423K，21.6ksの2次硬化で膨張した。最終的に，マスターモデルからは0.03%のわずかな膨張となった。メタルレジン複合材の収縮率は，一般にプラスチック成形品として使用されている成形用樹脂の収縮率²⁾と比較して，十分に小さい収縮率であった。従って，転写金型の製品形状の設計では，成形用樹脂の収縮率のみを考慮して，設計を行って良いと考えられる。

メタルレジン複合材は1次硬化，2次硬化を行うことにより，曲げ強さは大幅に増加した。硬さに関しては，わずかな増加がみられる程度であった。293K，57.6ksの硬化後では脆い性質があり，取り扱いには注意を要した。

表1 メタルレジン複合材の材料特性

硬化条件	収縮率 (%)	曲げ強さ (MPa)	硬さ (HRR)
293K × 57.6ks	0.01	40.9	111.2
293K × 57.6ks +333K × 10.8ks	0.03	85.2	111.8
293K × 57.6ks +333K × 10.8ks +423K × 21.6ks	-0.03	115.2	112.3

3. 金型の突き出し方式の検討

射出成形用金型は，突き出し方式としてストリッププレート方式とエジェクタピン方式に大別される。本研究では両方の金型を試作し，適用性を検討した。ストリッププレート方式は，成形品形状の全周にわたり広い面積で突き出すため，確実性が高いことが期待される方法である。

エジェクタピン方式は，成形品の突き出しにピンを用いる方式であり，本研究ではコア部の2次硬化後にピン穴の機械加工を行った。

3.1 ストリッププレート金型の構造

金型は2プレートタイプのモールドベースのパーティング面上に，真空注型法で転写したキャビティ部，コア部を取り付ける構造とした。図1に示す通り，成形品は1ショット2個取り，サイドゲート方式とし，ストリッププレートには寄り止め部を設け，キャビティ外周部の強度をストリッププレートで補強する構造の金型とした。

3.2 金型の製作と射出成形試験

金型の製作工程は，ストリッププレートの上面にマスターモデルを取り付け，一次脱泡後のメタルレジン複合材を転写用型わくに流し込み，真空注型によりキャビティ部を製作する工程で行った。図3に示す通り，コア部はキャビティ部とストリッププレートを組み合わせた状態で，真空注型により製作した。マスターモデルは，図4の形状（肉厚3mm，抜き勾配3度）で，金型の精度を調べるために，ABS樹脂をマシニングセンタで加工し，それをマスターモデルとした。

真空注型で製作した金型の精度を，マスターモデルを基準にして測定した。キャビティ部（2個）の測定結果を表2に示す。

成形用樹脂としてポリエチレン，ポリプロピレンを用いて，射出成形試験を行った。

真空注型法による転写金型は，マスターモデルを基準にして+0.06～-0.08mmの精度で製作することができた。射出成形試験の結果，ストリッププレート突き出し方式の金型では，コア部とストリッププレート間とのクリアランスが原因で，成形品にバリが生じた。ストリッププレート突き出し方式の金型は，成形品の突き出しに優れている利点がある。しかし真空注型法による転写金型の精度では突き出し部にバリの生じる可能性が高く，ストリッププレート突き出し方式の金型は真空注型法に適していないと考えられる。

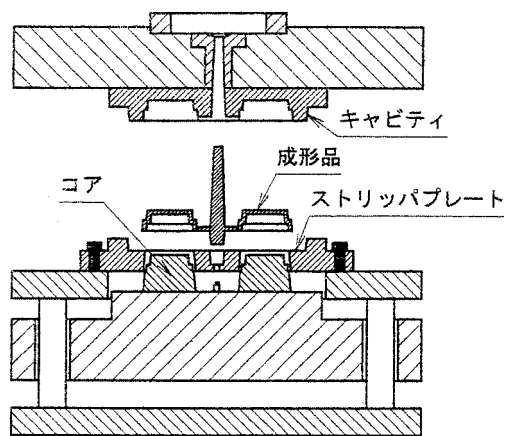


図1 金型の構造

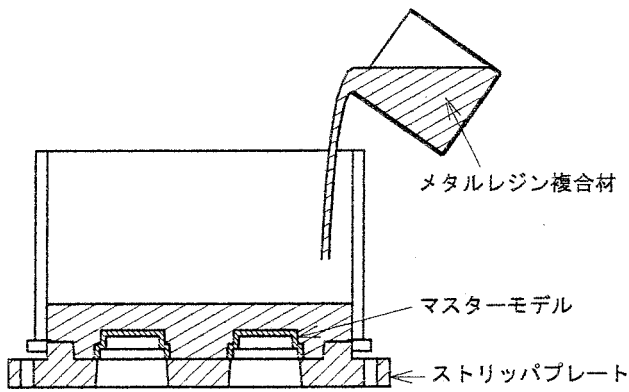


図2 キャビティ部の製作

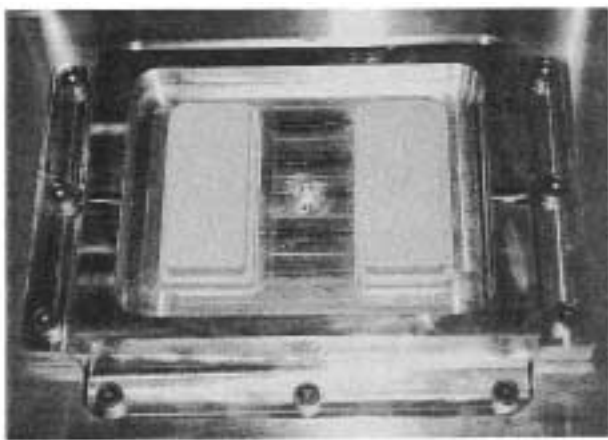


図3 転写金型（コア部）

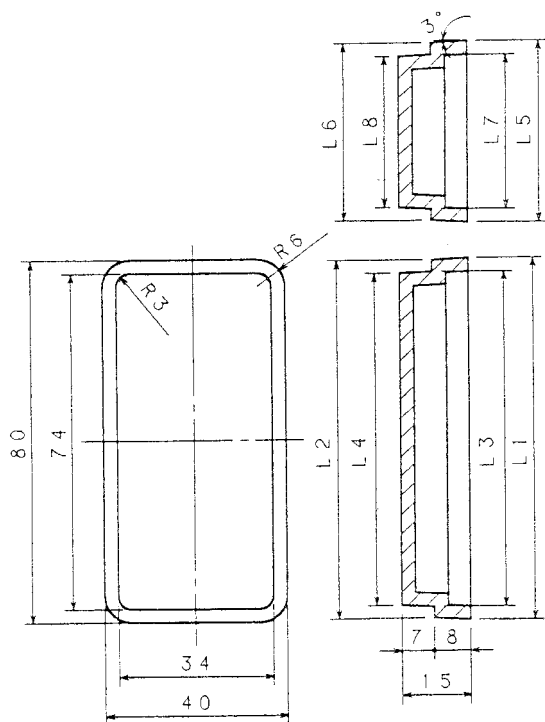


図4 マスターモデルの形状と測定箇所（L1～L8）

表2 金型の精度測定結果

測定箇所	L1	L2	L3	L4
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
キャビティ1-モデル	-0.08	-0.03	-0.05	0.05
キャビティ2-モデル	-0.06	-0.01	-0.03	0.06

測定箇所	L5	L6	L7	L8
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
キャビティ1-モデル	0.01	0.00	-0.02	0.04
キャビティ2-モデル	-0.05	-0.01	-0.04	0.05

3.3 エジェクタピン金型の構造

金型は2プレートタイプのモールドベースに、真空注型法で転写したキャビティ部、コア部を嵌め込む構造を採用した。金型の冷却水管は、真空注型の際に銅パイプを埋め込むことにより製作した。

成形品は1ショット2個取り、サイドゲート方式とした。

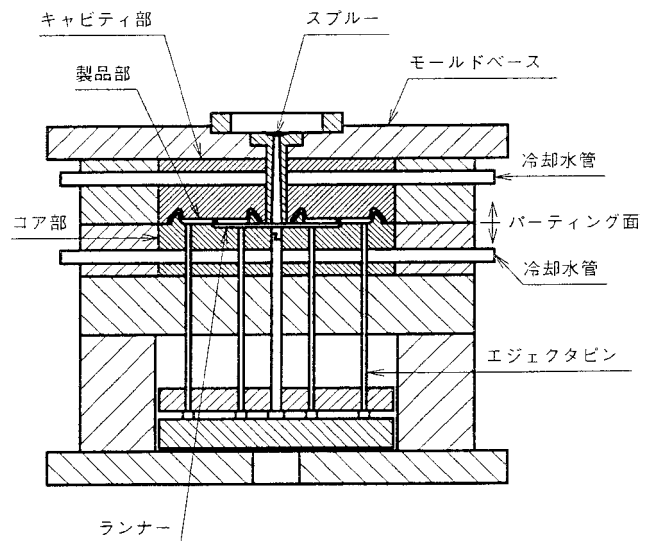


図5 金型の構造

3.4 エジェクタピン金型の製作工程

真空注型法による転写金型のキャビティ部とコア部を、図6に示す手順で製作した。

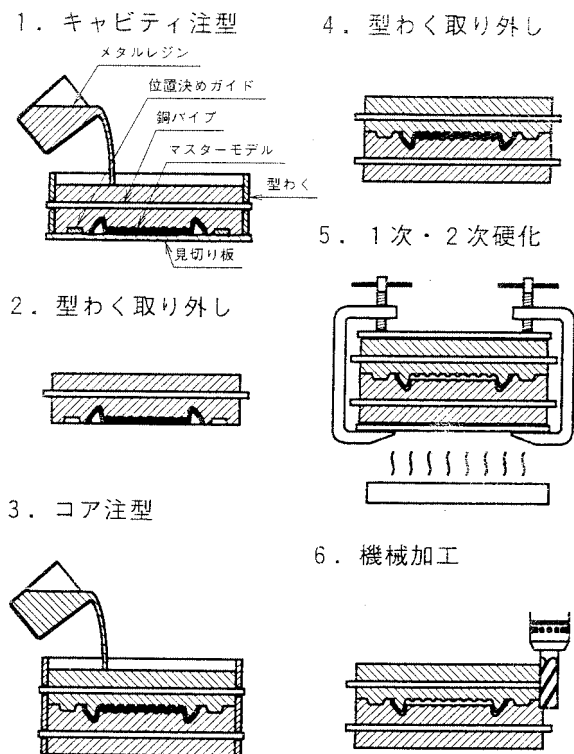


図6 金型の製作工程

エジェクタピン突き出し方式の金型では、2次硬化後にエジェクタピン穴の機械加工を行うことから、クリアランスが小さく、突き出し部にバリは生じなかった。またキャビティ部、コア部を真空注型法で製作した後、キャビティ部、コア部を組み合わせて333K、10.8ksの1次硬化、423K、21.6ksの2次硬化を行うことにより、パーティング面でのバリの発生を防止することができた。このことから、真空注型法による転写金型の構造としては、エジェクタピン突き出し方式が適していることが分かった。

4. 光造形法によるマスターモデルの製作

4.1 マスターモデル（名刺ホルダー）の設計

本研究では、実製品を想定したプラスチック成形品として名刺ホルダーのエジェクタピン突き出し方式の金型を製作した。名刺ホルダーは大きさ（縦、横、高さ）106×72×6.5mm、肉厚2mm、名刺を重ねて輪ゴムで固定して使用する形のものである。輪ゴムの取り付け部は、使用者が輪ゴムを好みに応じて容易に交換できるように切り欠き形状とした。図7に3次元CADで設計した名刺ホルダーの形状を示す。

4.2 マスターモデルの製作

マスターモデルの製作には光造形法を用い、水平から45度傾斜させた姿勢で、積層ピッチ0.1mmで造形を行った。図8に光造形による製作状況を示す。光造形によるマスターモデルの表面は、積層ピッチによる段差が生じるため、サンドペー

パによる段差除去後、塗装・磨き加工で表面を滑らかにする必要がある。本試験におけるマスターモデルの光造形後の表面粗さ（十点平均粗さ）は67μmであった。そのマスターモデルの積層による段差をサンドペーパーで除去し、その後、塗装と磨き加工を行い、表面粗さ（十点平均粗さ）0.3μmの滑らかなマスターモデルを製作した。図9に各工程の表面粗さを示す。

光造形法によるマスターモデルの製作では、塗装・磨き加工により表面の滑らかなマスターモデルを容易に製作することができた。メタルレジン複合材は、良好な転写性を示しており、表面の滑らかなマスターモデルを用いることにより、製品形状部の磨き仕上げ加工を必要としない金型を製作することができた。本法では磨き仕上げ工数削減にも効果があると考えられる。

真空注型法による金型製作では、マスターモデルを金型から離型する工程が最も困難であったが、マスターモデルの表面を滑らかにし、皮膜性の離型剤を使用することにより、解決することができた。プラスチック製品はデザイン性、機能性を高めるためにシボ面などの加飾加工が施される。シボ面などの場合はマスターモデルの離型が困難であり、転写金型への表面加飾技術の開発を進めることが今後の課題である。

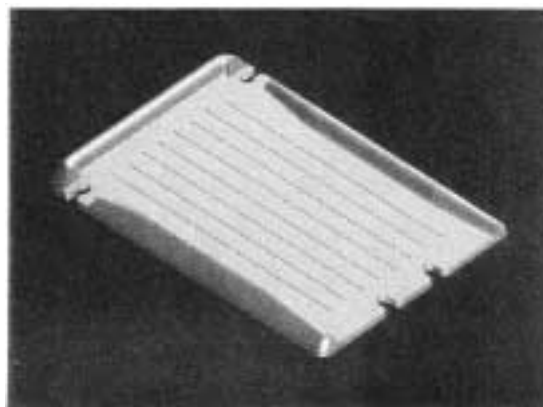


図7 3次元CADによる設計

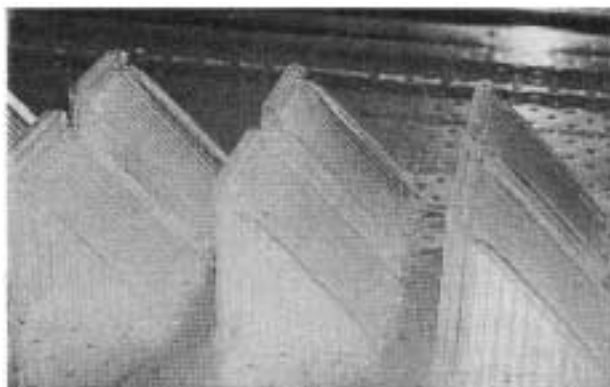


図8 光造形によるマスターモデルの製作状況

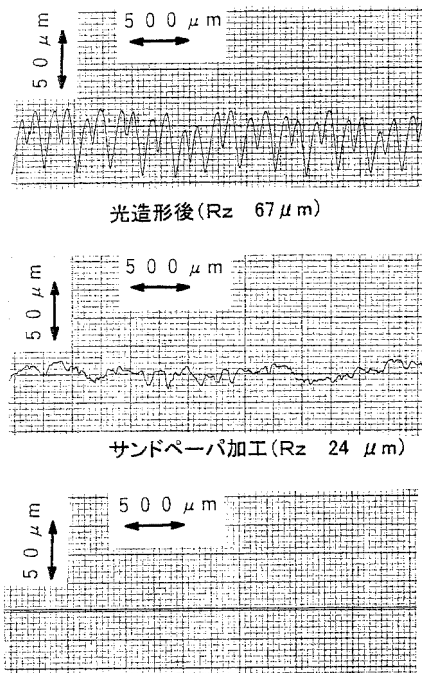


図9 マスターモデルの表面粗さ

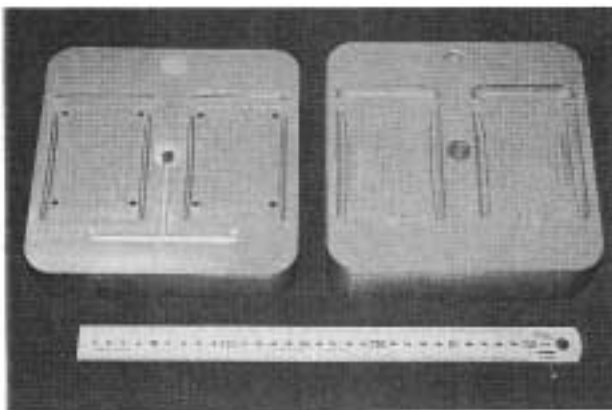


図10 転写金型 (左：コア部, 右：キャピティ部)

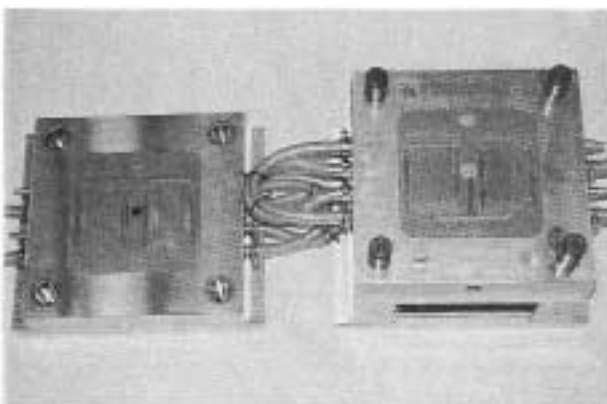


図11 転写金型を嵌め込んだモールドベース

5. 射出成形試験

本法により製作した名刺ホルダー用の金型を用いて、射出成形試験を行った。射出成形条件を表3に示す。成形品の樹脂として、一般的に利用されている耐衝撃性のポリスチレンを用いた。

メタルレジン複合材はエポキシ樹脂を使用していることから、冷却効率が悪く、射出成形試験ではサイクルタイムが55sとわずかに長くなった。真空注型法による転写金型製作では、冷却水管には機械加工を必要とせず、種々の形状の冷却水管を容易に製作できる利点がある。従って、冷却水管を工夫することにより、効率的な成形が可能になると考えられる。

本金型を用いた、2,100ショットの射出成形試験の結果、製品形状の成形性は良好であり、耐久性も小ロット成形としては実用上十分であることを確認した。またメタルレジン複合材は、厚さ1.6mm程度の薄い形状を有する射出成形用金型にも、使用が可能であることが分かった。

表3 射出成形条件

射出成形機	東芝機械(株) IS 125A(型締力1.2 MN)	
樹脂	大日本インキ化学工業(株) ディックスチレン HIグレード	
成形条件	射出圧力	90 MPa
	ノズル温度	453 K
成形条件	金型温度	323 K
	サイクルタイム	55 s

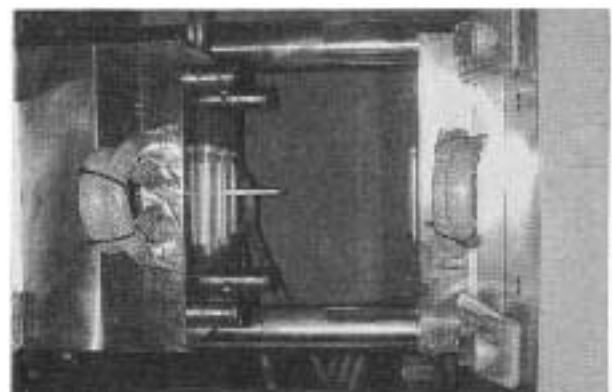


図12 射出成形試験

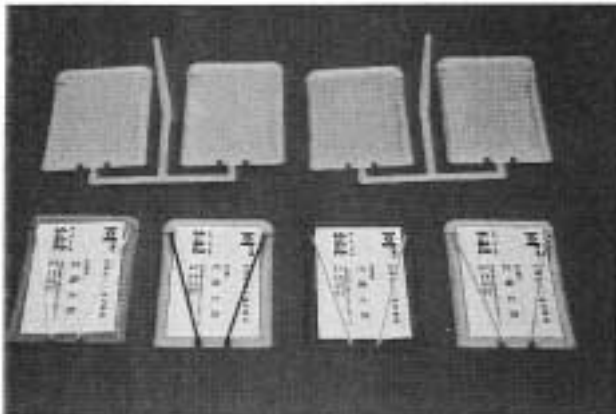


図13 プラスチック成型品

6. 金型製作工数の試算

名刺ホルダーの金型のキャビティ部とコア部の製作工数の試算結果を表4に示す。放電加工を用いた製法には、NCプログラム作成工数を含んでいる。

試算結果から、本法による金型製作工数は放電加工機等の工作機械を用いた製作工数の約1/3程度に削減が可能となり、金型製作期間の短縮、低コスト化が期待できることが分かった。

表4 金型製作工数の試算

放電加工による製作		工数 (ks)	ラピッドツール リング(転写)	工数 (ks)
マシニングセ ンタ(荒加工)	キャビティ	50	キャビティ	51
	コア	47	コア	51
電極設計製作 (荒・仕上げ)	キャビティ	76	加熱硬化	36
	コア	61		
放電加工 (荒・仕上げ)	キャビティ	79		
	コア	72		
冷却水管加工	8本	14		
合計		399	合計	138

7. まとめ

プラスチック射出成形用金型の製作技術の向上、製作コストの削減を目的として、光造形法によるマスターモデルを利用し、精密転写による迅速な金型製作技術に関する研究を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 真空注型法による転写金型は、マスターモデルを基準にして+0.06～-0.08mmの精度で製作することができた。
- (2) 本法による射出成形用金型には、エジェクタピン突き出し方式が適していることが分かった。
- (3) 光造形法を利用し、金型の製品形状部の磨き仕上げ加工を必要とせず、また転写作業性の良いマスターモデル製作

技術を確認することができた。

- (4) メタルレジン複合材は、厚さ1.6mm程度の薄い形状の射出成形用金型にも使用可能な強度を有することが分かった。
- (5) 本法による射出成形用金型は小ロット成形に対して、実用上十分な耐久性と良好な成形性を示した。
- (6) 本法では金型の製作工数を大幅に削減することが可能であり、放電加工等の高コストな加工を必要としないため、射出成形用金型の製作コストの削減、短納期化が期待できる。

引用文献

- 1) 高見正光：光造形システムによる型への応用展開，プラスチック成形技術，Vol.11, No.11, pp. 52-61, (1994)
- 2) 千坂浅之助：射出成形技術入門，シグマ出版，363PP, (1994)