

光造形法を用いた迅速設計・試作に関する研究

萩原 茂・河西 伸一・大柴 勝彦・長坂 義秀*¹
 奥石 修*²・戸島 昭二*³・松野 亨*⁴

A study on rapid design and prototyping using a laser lithography

Shigeru HAGIHARA, Shin'ichi KASAI, Katsuhiko OSHIBA, Yoshihide NAGASAKA*¹,
 Osamu KOSHIIISHI*², Shouji TOSHIMA*³ and Tooru MATSUNO*⁴

要 約

設計開発期間の短期化と開発コストの低減を実現するため、光造形とCAE技術の有効活用が期待される。そこで、光造形の早期活用を図るため、高速・高精度造形を可能とする加工条件の確立を行った。また、光造形モデルを用いた機能評価への応用技術を開発し、有限要素法による応力解析、流体解析などの理論的な解析技術と併せて利用することによって三次元データの有効活用を図り、迅速な設計・試作を支援する環境を構築した。事例により得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) 従来に比べ、加工時間を10～15%カットした高速造形が可能となった。
- (2) ほぼ $\pm 50 \mu\text{m}$ の誤差範囲で光造形が可能となった。
- (3) 光造形と解析技術を活用することによって開発期間が大幅に短縮された。
- (4) 従来では得られなかった高性能部品の開発が可能となった。
- (5) 光造形に適した部品作りが可能である。

Abstract

In order to establish the rapid development and its cost reduction, It is important to make full use of laser lithography and CAE. For making good use of laser lithography in early stage, we established the processing condition of high speed molding and high precision forming. And we constructed the working environment for rapid design and its performance assessment. Major results in the case studies are follows:

- (1) Processing speed is 10～20 percent cut off,
- (2) Measurement error is almost $\pm 50 \mu\text{m}$,
- (3) Development period becomes dramatically short,
- (4) High performance fluid parts were developed easily,
- (5) It was possible to product the flexible shape parts.

1. 緒 言

光造形は、ビデオカメラや携帯電話などの複雑化する筐体の設計・試作といった開発スピードが決め手となる製品設計では、必要不可欠な技術となっている。光造形装置は、国内で年間100台以上が導入され現在700台程、世界では3000台余りに達している。昨今の製造工場の海外シフト

が進む中で、設計開発におけるより一層の短期化と競合する他社とのコストダウンの要請が強まっており、県内関連企業でも光造形装置の有効活用が期待されている。

しかしながら、県内機械電子業界での装置導入は、大手数社から徐々に導入が始まった段階であり、光造形を活用した迅速な製品設計・試作の体制作りが急務となっている。

そこで、光造形の早期活用を図るため、(1) 高速・高精度造形を可能とする加工条件の確立、(2) 迅速設計・試作技術の開発、(3) 光造形モデルを用いた機能評価技術の開発を目的に光造形法と有限要素法による応力解析、流体解析などの理論的なコンピュータ解析技術(CAE)を併用

* 1 甲府カシオ株式会社

* 2 株式会社T I I K

* 3 高如精工株式会社

* 4 ニスコ株式会社

することによって三次元データの活用を図り、迅速な設計・試作を支援する技術開発に取り組んだ。その研究内容は、次の通りである。

- (1) 光造形の高速度化
- (2) 光造形の高精度化
- (3) 流体部品の設計環境構築
- (4) 管体設計に関する研究
- (5) 光造形の応用に関する研究

以上について、次章より記す。

2. 光造形の高速度化技術

2-1 理論的考察

光造形の加工条件には、レーザーパワー、走査速度、ラスタ間隔など加工速度に関するパラメータが数多くある。装置メーカーからは、一般的な値が与えられているが、高速化や高精度化に適した細かなパラメータは知らされていない。本章では、高速化に適したパラメータ値について検討する。

樹脂液面にレーザー光を一走査することにより硬化する樹脂について考察する。レーザービームの中央の光強度を I 、ビームの半径を μ 、走査速度を V と表す。樹脂が硬化し始める露光量を E 、光の吸収率を σ と表すと、硬化する樹脂の幅 W と深さ D は、一般に次の式²⁾で表すことができる。

$$D = \sigma \log_e [\pi^{1/2} \mu I / (EV)] \quad (1)$$

$$W = 2 \mu [\log_e \{ \pi^{1/2} \mu I / (EV) \}]^{1/2} \quad (2)$$

レーザー光強度 I と走査速度 V を変化させて実験を行った。実験の主な条件を表 1 に示す。レーザービームは、Fig. 1 に示すように樹脂液面の中央付近で、長さ 100mm の直線を描くように走査した。硬化した樹脂を洗浄し、切断面を工具顕微鏡で観察した。樹脂の硬化幅 W と深さ D は、Fig. 2 のように測定した。

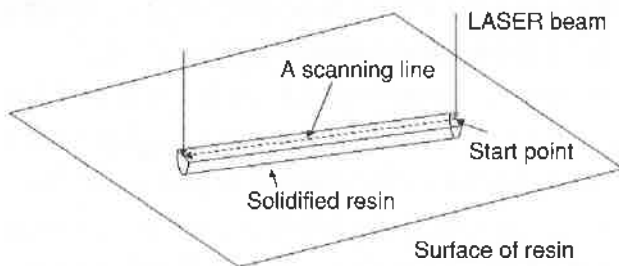


Fig. 1 A solidified resin by LASER scanning

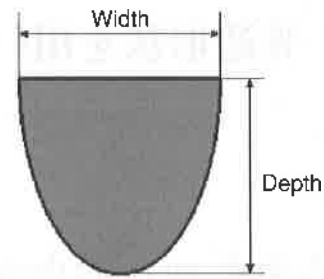


Fig. 2 A cross section of solidified resin

Table 1 Specifications of experimental device

Laser power	25, 50, 100, 130mW
Wavelength	355nm
Scanner	Galvano mirror
Scanning area	500mm (X) 500mm (Y)
Resin	SCR701

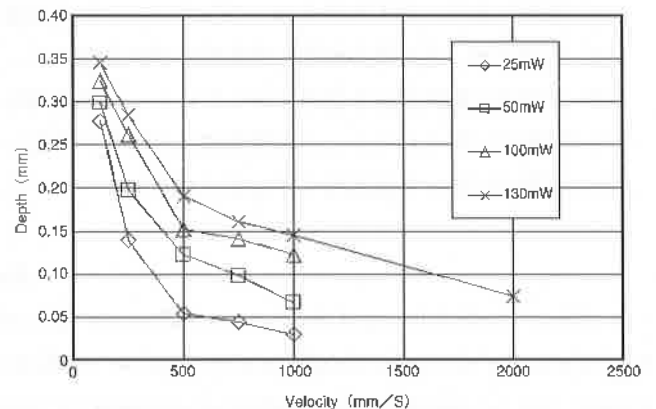


Fig. 3 Solidified depth of photosensitive resin

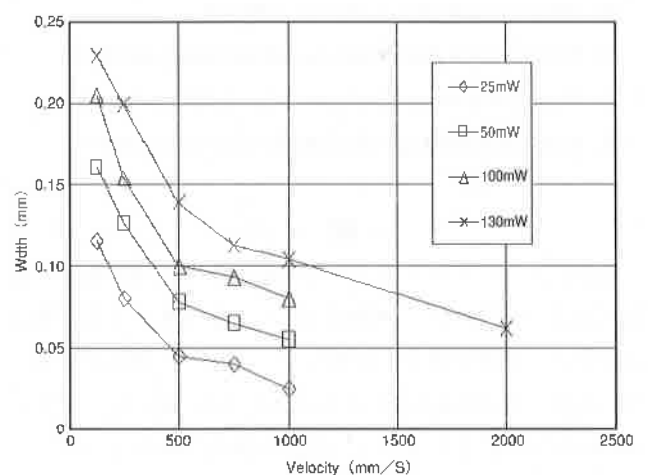


Fig. 4 Solidified width of photosensitive resin

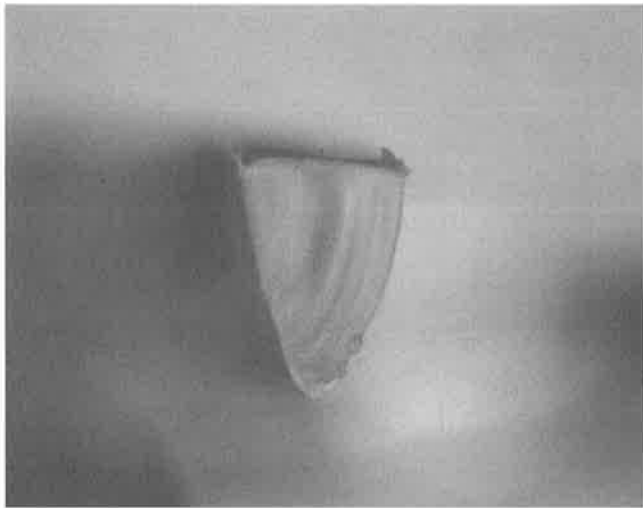


Fig. 5 A corss section of solidified resin

Scanning velocity is 125mm/S, Power is 130mW,
A area of section is 0.0398mm² and Area/Power ratio is 0.31.

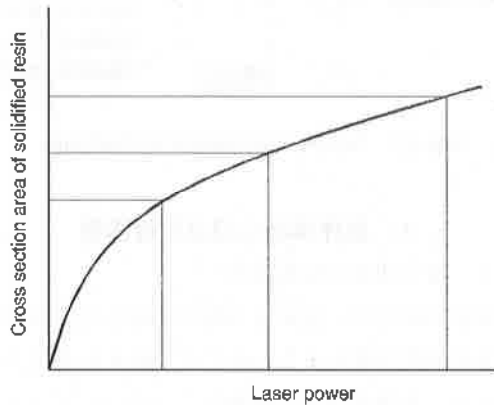


Fig. 6 A relation of laser power and cross ection

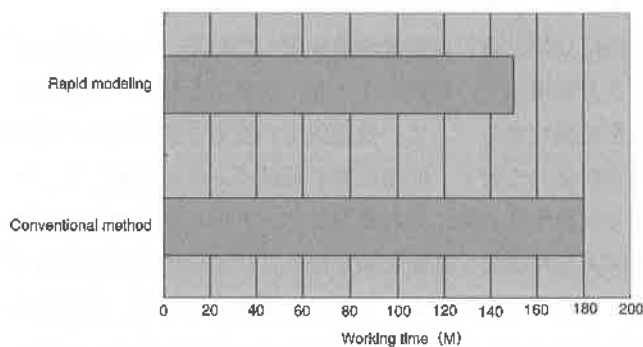


Fig. 7 Comparison of molding time

2-2 実験結果と考察

硬化した樹脂の深さDを測定した結果をFig. 3に示す。走査速度が高速になるに従って小さな値となり、ほぼ理論式通りの結果となった。硬化樹脂断面の幅Wを測定した結果をFig. 4に示す。走査速度に伴う値の変化が緩やかであり、理論式に従った結果が得られた。

硬化樹脂の断面の例をFig. 5に示す。硬化樹脂の露光量と硬化する体積の関係は、硬化領域が小さいところではほぼ比例関係であるが、硬化領域が大きくなると、露光量の増加に対して硬化体積の増加が緩やかになる。この関係は、Fig. 6に示されるような曲線で表される。樹脂に照射されるレーザー光は、一般的には各層が十分に密着するように過剰な露光が行われるため、曲線の勾配が、緩やかな領域となる。高速な光走査によって、曲線の急峻な領域を保持することで、同一の光エネルギーでも広い範囲で樹脂を硬化させることができる。

Fig. 7は、従来の照射条件と高速走査を行った場合の造形時間を比較した結果である。高速走査により、10~15%の時間短縮となった。

2-3 高速化技術のまとめ

樹脂の硬化形状を理論的に考察した結果、高速な光走査が造形時間の短縮につながる事が判明した。造形の高速度に伴い、省エネ化、造形コストの低減が図られるものと考えられる。

3. 光造形の高精度化技術

3-1 高精度化の原理

光硬化性樹脂は、レーザービームの照射位置からある領域が硬化する。それ故、精度の高い加工を行うためには、硬化する領域の補正が必要である。水平方向の補正は、Fig. 8に示すように立体の内側へ照射位置をオフセットすることで行う。垂直方向の補正は、Fig. 9に示すように幾何形状の表面の勾配に従って上方へ補正をしなければならない。最適な補正量を求めるために、テストピースを様々な補正值で作成し、精度を測定した。

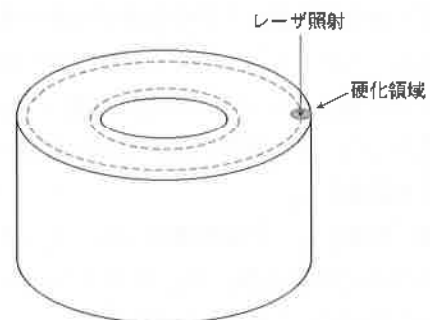


Fig. 8 A horizontal compensation method

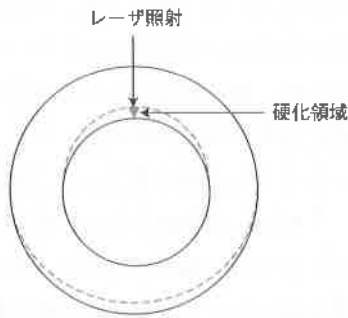


Fig. 9 A vartical compensation method

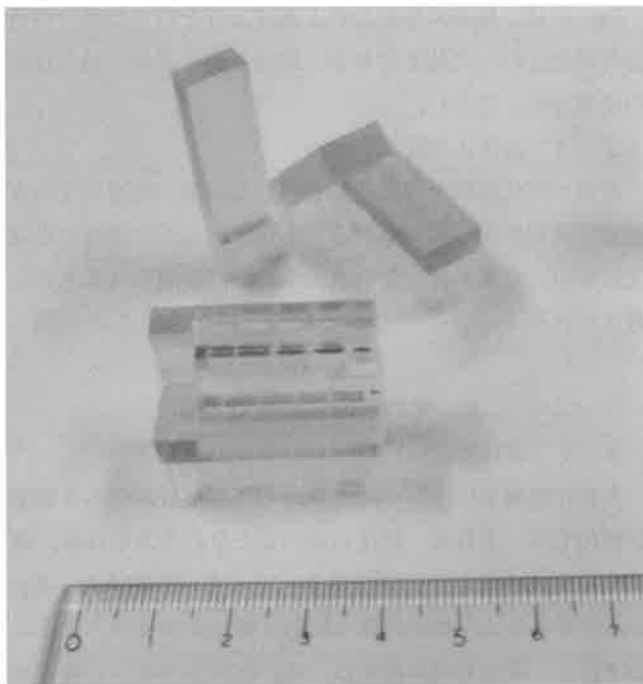


Fig. 10 Test piece

3-2 実験結果と考察

テストピースの形状をFig. 10に示す。テストピースは、水平、垂直、45度に傾斜した平板と水平に張り出した棒状の形状である。このテストピースを水平方向に45度回転させた形状と共に積層テーブルの中央と四隅で合計5カ所にて同時に造形した。補正値は、10 μ m間隔で定め合計40セットの造形を実施した。

その結果、最適となった造形条件では、テストピースの幅や厚みなどの寸法誤差が、Fig. 11に示されるようにほぼ $\pm 50\mu$ mの範囲におさめることができた。

3-3 高精度化技術のまとめ

補正値を変えた40セットのテストピースを造形し、最適となる補正値が明らかとなり、ほぼ $\pm 50\mu$ mの誤差範囲で造形が可能となった。造形の高精度化により、試作モデルの信頼性が向上し、後処理に要する作業時間の低減が図られた。

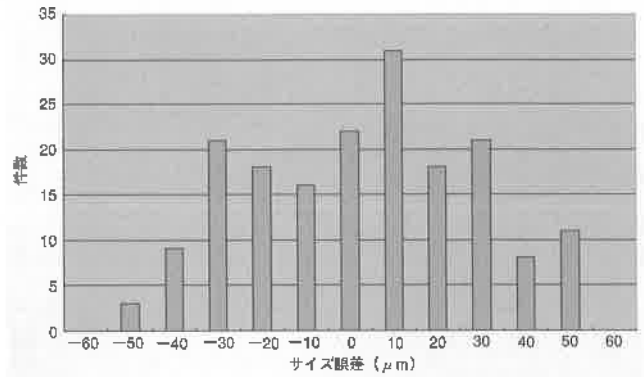


Fig. 11 The size error of test piece

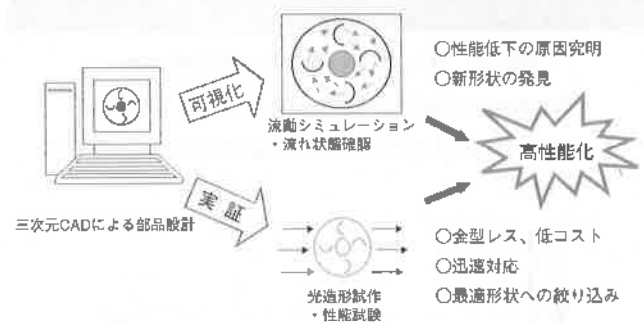


Fig. 12 Design environment of fluid parts

4. 流体部品の設計環境構築

4-1 従来技術と提案技術

流体部品の設計は、複雑な計算や厳密な実験が必要とされ、十分な性能試験をするためには、膨大な試作コストが必要となる。本研究では、流動シミュレーションによる現象の解析と光造形モデルを用いた性能試験を同時に活用することによる新しい設計環境の構築を行った。

4-2 流体部品の設計環境

Fig. 12は、新しい設計環境を示している。三次元形状データを使用して、流動シミュレーションを行い、流体の流れを可視化することで、性能低下の原因を探ると共に新形状を開発して行く。同時に同じ形状データを使用して、性能を改善すると考えられる形状データから光造形により実モデルを作成し、性能比較することによって高性能形状を絞り込むことができる。この設計環境によれば、理論的な裏付けを取りながら金型を使用しない迅速な試作が可能となり、低コストで短期間に最適形状へ絞り込むことが可能である。

本研究では、実例として輸送ポンプの開発に適用し、流動シミュレーションによる解析と光造形による延べ45種類の試作を行い、高性能化を行った。

4-3 流体部品の設計環境のまとめ

流動シミュレーションによる現象の解析と光造形モデルを用いた性能試験を同時に活用することによる新しい設計

環境の構築により、流体部品の低コストでの高性能化が短期間に実現した。この環境により、輸送ポンプの高性能化、流量計器の高精度化、風切り音の防止、空力抵抗の改善など流体部品開発を効率よく行うことができる。

5. 筐体設計に関する研究

5-1 有限要素解析による構造診断

有限要素法では、応力解析、熱伝導解析、振動解析、磁気解析など動的または静的な解析・診断が行われている。

三次元CADによる形状設計のデジタル化が進むことによって、三次元形状データの解析への活用、試作への活用が図られてきている。有限要素法による形状の機能診断と光造形による形状確認、機能性確認、デザイン検討およびマスターモデルとしての活用が可能である。

従来の製品開発と本研究で提案する製品開発環境について、Fig. 13に説明図を示す。従来は、コンピュータによる構造解析が行われず、試作後の評価により十分な性能が得られずに設計のやり直しが行われていた。また、試作に要する時間も長く、開発期間が半年に及んだ。光造形とシミュレーションを活用することにより、従来よりも試作期間を大幅に短縮すると共に、最小の試作個数で量産化へ移行することが可能となる。

5-2 光造形による迅速試作

医療用CCDカメラの筐体の開発例をFig. 14に示す。デザインや機能性が重要視される製品設計では、試作品による検討が必要不可欠である。医療用に使用される小型CCDカメラの筐体では、軽量であり丈夫な構造が要求され、設計の段階で実体試験が不可欠である。従来は、時間もコストもかかる試作を何度も繰り返さないために、過剰な安全設計が行われていたが、構造シミュレーションと光造形を用いることで、強度や軽量化に対して行き届いたデザイン重視の製品開発が短期間で可能となった。

光造形モデルの表面は、細かい段差が形成されており、光沢をもつ表面が必要な場合は、研磨する必要がある。

本研究では、手間のかかる研磨作業を簡素化し、簡易に光造形を利用する方法を検討した。Fig. 15は、コントロールパネルの製作例であるが、高い表面精度が必要とされる前面部分の勾配を最適化して造形することによって、時間のかかる前面部分の研磨を不要にすることができた例である。この例では、側面のみに平滑材による研磨を施し、塗装、文字の印刷を行って、実際に製品として組み上げて、デザインや操作性の検討を実施した。

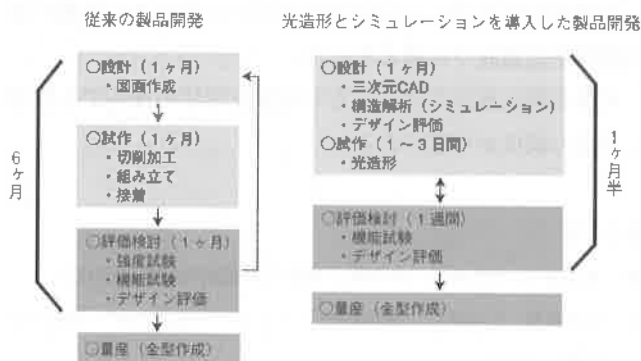
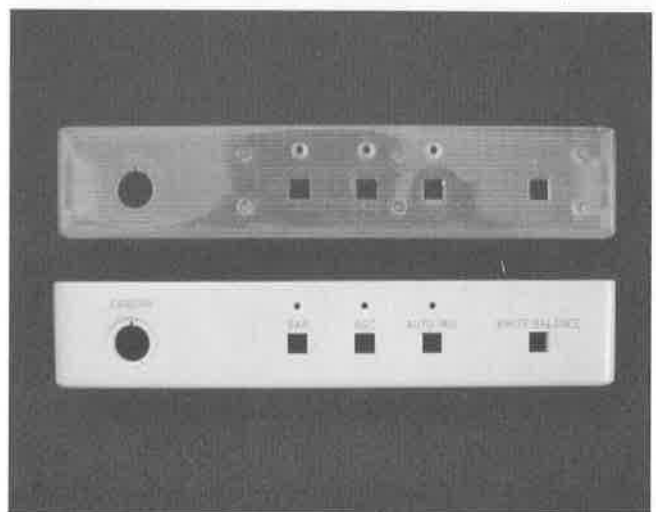


Fig. 13 Product development process



(upper: raw model lower: after painting and printing)



Fig. 14 Case models of CCD camera for medical use



Fig. 15 The example of a trial production of a control panel

5-3 筐体設計技術のまとめ

三次元形状データの構造解析への活用，光造形試作への活用を図ることによって，機能診断，形状確認が迅速に行え，開発期間の短縮やコストの低減が進んだ。さらに，高強度や軽量化への設計が行きとどき，デザイン重視の製品開発が可能となる。

6. 光造形の応用に関する検討

光造形は，切削や射出成形では作れない複雑な形状の部品でも簡単に作ることができる特長がある。光造形は，金型を使用せずに，単品の試作モデルが作れる。

このような特徴を活かして，曲がった流路を持つ形状，穴の多い形状，光を透過させる部品などへの応用が考えられる。

Fig. 16は，内部で交差した流路を持つ部品の造形例である。Fig. 17は，特定の波長の電磁波を透過するフォトニック結晶の造形例である。Fig. 18は，ステージに剥離性の高

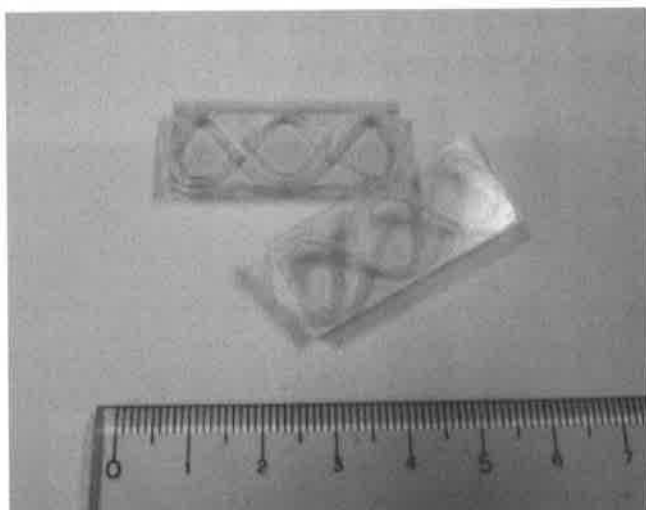


Fig. 16 Bending ways in a case

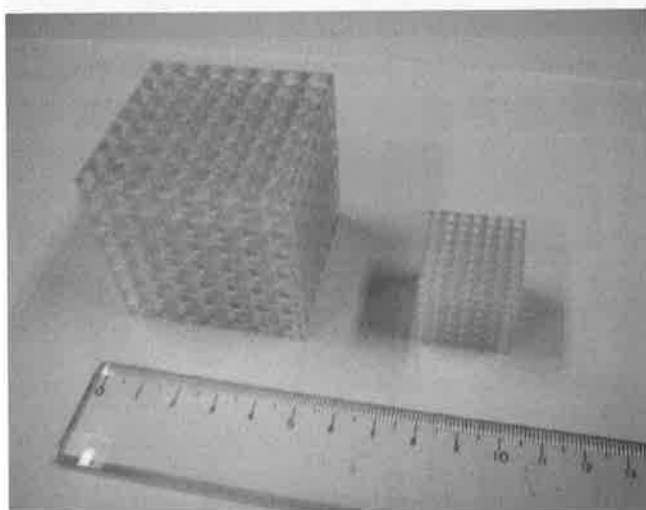


Fig. 17 Samples of photonic crystal

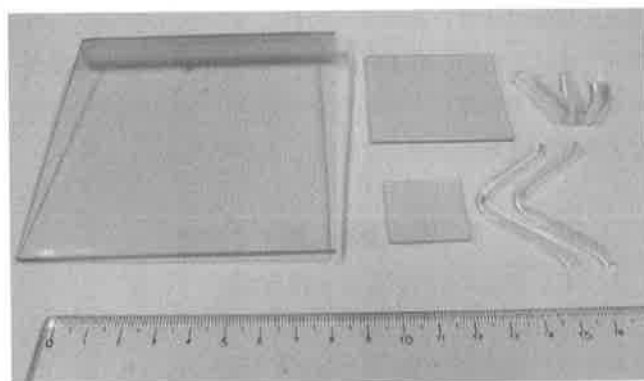


Fig. 18 Samples of back panels and light ways

いPETシートを貼り付けて，その上から積層することによって研磨作業を必要とせずに，液晶バックパネルや導光路などの光沢のある表面を得ることができた例である。

7. 結 言

樹脂の硬化形状を理論的に考察し，通常の造形時間を15～20%短縮する高速造形ができた。

補正の最適値が明らかとなり，ほぼ±50 μ m以下の高精度造形が可能となった。

流動シミュレーションと光造形試作を活用することにより，コストを抑えた短期間での流体部品の高性能化が可能となった。

高強度や軽量化への設計が行き届いたデザイン重視の製品開発が短期間で可能となった。

切削や射出成形では作れない複雑な形状の部品でも簡単に単品の試作が可能である。

参考文献

- 1) 丸谷洋二，早野誠治，今中暎：積層造形技術資料集，(2002)
- 2) 中川威雄，丸谷洋二：積層造形システム・三次元コピー技術の展開，(1996)