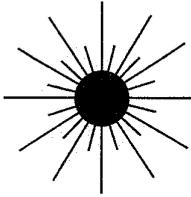


# レーザー協会誌

Vol. 29 No. 2



# LASER

特集 レーザ三次元造形技術

レーザー協会

The Japan Society of Laser Technology

# レーザ協会誌

第29巻 第2号 (2004年)

特集：レーザ三次元造形技術

## 目次

特集：レーザ三次元造形技術

- |                                |         |    |
|--------------------------------|---------|----|
| 1. 最近の光造形装置                    | 萩原 恒夫   | 1  |
| 2. 光造形用樹脂の最近の進歩と開発動向           | 萩原 恒夫   | 5  |
| 3. 光造形と粉末造形のアプリケーション           | 井形 哲三   | 9  |
| 4. 光造形用 FEM ソフトの開発             | 栗山 慎鋒 他 | 15 |
| 5. 熔融結合に基づいた高強度立体造形            | 徳永 剛    | 24 |
| <解説論文>                         |         |    |
| フェムト秒レーザーの先端知識                 | 玉木 祐介   | 32 |
| fs レーザーによるガラス内部の構造改質とその応用      | 三浦 清貴   | 45 |
| * 文献紹介 (科学技術文献速報)              |         | 55 |
| * レーザ協会 第28回セミナー, 第153回研究会のご案内 |         | 64 |
| * 掲示板・投稿のご案内・レーザ協会誌執筆要領        |         | 65 |
| * 法人会員リストおよび業務概要・連絡先           |         | 66 |
| * 役員名簿・編集後記                    |         |    |

# 光造形用樹脂の最近の進歩と開発動向

シーメット株式会社

萩原恒夫

## 1. はじめに

光造形法は小玉氏の発明から 20 数年ほどが経過し、いよいよ実用期に入ってきた。装置は He-Cd レーザ光源から出発し、Ar の UV レーザとなり、さらに半導体励起の固体レーザへと移り、出力も 20~50 倍へと増大した。そのため、造形時間は驚くほど短縮され、本来のラピッドプロトタイピングにふさわしい時間でものができるようになってきた。また、材料開発により形状確認モデルの製作にとどまらず、広範な用途に展開されてきた。今後、材料の性能向上によりその用途は益々拡大するものと期待される。本解説では光造形用樹脂の最近の進歩と開発動向について述べる。

## 2. 光造形装置市場での推移

光造形装置の UV 光源は He-Cd レーザから固体レーザへと進化していったように、材料も、アクリレート系材料からエポキシ系材料へと展開され、壊れやすいものから、靱性をもった実用的なものへと開発が進んでいる。装置はすでに成熟し、実用的な導入期となり付加価値や・使いやすさが備えられ汎用的なものに移行しつつある。この移行をより確実にするためには、その材料である光硬化性樹脂の性能が鍵を握っている。というのは、装置の顧客はあくまでも出来上がった造形物の性能にその意義や価値を見いだすからである。どんなにすばらしい装置であろうと、使いやすい装置であろうと、できてくる造形物が低レベルでは顧客の要求を満たすことはできな

い。あくまでも、顧客は最終造形物にその価値を求めている。

## 3. 光造形物の用途

光造形法で得られる造形物の基本的な用途は、三次元立体モデルを通じたマン・マシンインターフェースであり、製品開発を効率的に行うためのツールと各種シミュレーションに用いることにある。光造形モデルは、形状確認用途のみならず、マスターモデルを利用するシリコンゴム真空注型型を経由するレプリカ、鋳造品、メタルエポキシ型の作成のために、重要であり、試作品や少量生産品を得る方法に効果的に使用されている。

最近では光造形樹脂の性能が向上したため、機能試験・評価にも使われるようになってきた。また、一部ではすでに実部品としての未来が開かれている。

国内での光造形物の用途は依然として、真空注型のマスターモデルに利用することが多いが、これは、まだ光造形樹脂の材料が開発者の要望するレベルに届いていないことにも起因している。これに対して、米国ではデザインサイドと開発サイド、あるいは開発サイドと生産サイドの意志疎通を図るためのコミュニケーションツールとしての形状確認用途が最も多い。これは製品開発の様式の違いによるものといわれている。米国ではデザイナーとエンジニア、製造現場とがそれぞれ独立に機能しているた

表 1 光造形用樹脂の進歩

年	～1993	1994	1998	2001～	2002～
世代	黎明期	第一世代	第二世代	第三世代	第四世代
ベース樹脂	UA / EP	EP	EP	EP	EP
ポイント 製造会社	造形性	精度	耐湿度	靱性	ABS 狙い
CIBA vantico	XB-5081-1	SL-5180	SL-5510	SL-7540, 7545	SL-7560, 7580
DSM-SOMOS	SOMOS- 3100		SOMOS- 7100	SOMOS- 8120, 9120	SOMOS- 11120
3DS (RPC)				AccuDur100	
JSR	SCR-310		SCR-701	SCR-710 SCR-735	(SCR-735)
旭電化	HS-661 (EP)	HS-673S	HS-680		HS-690
帝人製機/ シーメット		TSR-800	TSR-820	TSR-1938N TSR-821	TSR-825

UA: ウレタンアクリレート系樹脂

EP: エポキシ系樹脂

めに、これら部門間の意志疎通（コミュニケーション）のためのツールとして有用である。そのためにここ1, 2年は形状確認のみを意識したZ社やストラタシス社の安価な3Dプリンターの販売が活発である。これに対して、日本ではこれら各部門が同居して設計から開発までが行われることが多いために、意志の疎通に利用するよりは、造形物が機能や機構の確認やテストに用いられることが多い。このことが、造形モデルの精度と材料性能を優先させており、その結果、これらを満足するハイエンドの光造形装置が他のRPシステムに比べて広く普及し、利用されていることとなっている<sup>1, 2)</sup>。

#### 4. 光造形用樹脂の開発動向

表1に光造形樹脂の推移の簡単な歴史を示す<sup>2, 3)</sup>。黎明期では、3次元CADデータから立体モデルができるだけで人々は驚嘆したが、精度は十分とは言い難いものであった。このころアクリレート系樹脂でシステム実用化の先鞭を切った3Dシステムズ社は精度向上のために「反り」と日夜格闘していたものと推

定される。一方、シーメット社の造形物は光造形樹脂にエポキシ系材料を使っているために、硬化収縮による「反り」が小さく精度に優れていた。

光カチオン重合を利用するエポキシ樹脂は、光ラジカル重合を利用するアクリレート系樹脂に比較して反応が緩やかで、開環重合で反応が進行するため体積収縮率が比較的小さくなり、造形歪みが発生しにくい。そのために、高精度で反りの少ない造形物が容易に得られる。1993～4年頃を境にして各社はエポキシ系光造形樹脂の開発に注力した。その結果、CIBAのSL-5180や旭電化のHS-673S、帝人製機のTSR-800樹脂などに代表されるエポキシ系樹脂で相次いで上市され、光造形品は顧客の満足行く精度レベルに向上した。これを筆者はこの頃を光造形樹脂の「第一世代」と呼んでいる。

この頃から光造形で精度が十分確保できるようになった。しかし、材料がエポキシを主体としているため、水分での経時変化、特に「寸法変化」に改善が求められた。旭電化のHS-680や帝人製機のTSR-820、JSR

の SCR-701, vantico 社の SL-5510 に代表されるエポキシ系材料は、耐水性の高い原料を用いることや反応性を工夫することにより、この湿度・水分による経時変化を克服した。この中、旭電化製 HS-680 樹脂は特に耐水性に優れ、寸棒変化がない樹脂として大きな評価を得た。

一方、帝人製機の TSR-820 は初めてエポキシと同じカチオン重合性系材料であるオキセタン化合物を用い、この材料の高反応性を利用して、耐水性と共に物性を向上させている。これらの樹脂の世代を「第二世代」と呼ぶことにする。これでやっと光造形システムが安心して使える装置へと成長してきた。

精度・経時変化とも満足するレベルに達したが、エポキシ系材料主体であるため、光造形品は壊れやすい、そのために扱いは極めて慎重に行わなければならなかった。壊れやすいため、組み付け後はずすことができず、2セットを必要とするような場合もあった。また、後加工でタッピングすると壊れてしまうなどの不都合がユーザを悩ませていた。壊れないこと(靱性)、タッピング性(ねじ加工性)などが顧客から強く求められていたわけである。このことがまた、システムの普及に足かせとなっていた。

このような状況下、帝人製機は靱性樹脂を TSR-1938N を三菱レイヨンと共同開発していち早く上市した。この樹脂は、ウレタンアクリレート系であり、靱性の観点からエポキシ系樹脂を長い間使ってきた光造形システムユーザからは驚きをもって迎えられた。米国 DuPont 社の SOMOS グループ(現 DSM-SOMOS)はエポキシ系材料の SOMOS-8100 シリーズでポリエチレン(PE)ライクな材料を、その後はこれを発展させたポリプロピレン(PP)ライクな SOMOS-9100 シリーズを上市した。

一方、vantico 社(現在は Huntsman Advanced Materials 社)は PP ライクな靱性樹脂の SL-7540 を発表した。これらの内、SL-7540 樹脂はかなり評判となった。しかし、SL-7540 の曲げ弾性率は 1.1~1.4GPa であり薄板などでは形状保持に若干不安があった。その後、帝人製機(帝人製機の光造形ビジネスが NTT データシーメット社と統合したため、その後はシーメット社)は、これら先行の樹脂の欠点をカバーするエポキシ系の靱性樹脂 TSR-821 (写真 1)を 2001 年に上市した。この

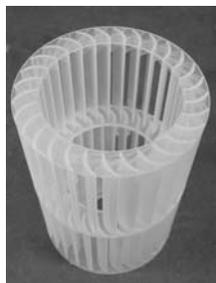


写真 1 TSR-821

TSR-821 樹脂は、耐熱性を除き、引張り、曲げなどの機械物性は ABS のそれに匹敵するものである。特に曲げ弾性率は

2.2GPa を有し、ABS と全く同等で、ABS の感触で使えるものとなっている。



写真 2 TSR-825

靱性と強度を兼ね備えたこの樹脂により光造形物の応用範囲はさらに広がってきた。樹脂に靱性やセルフタッピング性が付与されたことにより、今まで使えなかった機能テストや機構テストに充分耐えられるようになり、その用途は飛躍的に拡大している。これら靱性樹脂の出現よりを「第三世代」

表-2 業界別光造形樹脂要求性能

	自動車	家電	精密機器	医療機器	微細部品	サービスビューロ
現在ニーズ (耐熱指標)	PP~ABS (>60℃)	PP~ABS (60℃)	ABS ( >80℃ )	耐水性 ( >60℃ )	PP ( 60℃ )	PP~ABS ( >60℃)
将来ニーズ (耐熱指標)	PC (>120℃)	PC (>120℃)	POM~PC ( 80~ 120℃)	人体適合性、イミド (150~180℃)	POM~PC (80~120℃ )	ABS~PC (80~120℃)

と呼んでいる。これら靱性樹脂の出現以後、光造形物は壊れやすいということはなくなった。

しかし、顧客の要望は成形材料として広く利用されている ABS 樹脂と同等の物性であり、さらにはポリオキシメチレン(POM)やポリカーボネート(PC)などのエンジニアリングプラスチックの性能を持つものである。シーメット社は2002年秋にABS性能を意識した旭電化製樹脂 HS-690 をリリースして好評を得ている。さらに、2003年夏にはTSR-821を発展させたTSR-825(写真2)を発表し、耐熱性・靱性を向上させてABS物性により近づけている。また、vantico社も2002年秋には乳白色でABSライクな外観を持つSL-7560樹脂をリリースしており、ABS性能が身近になってきた。このABS物性を意識した樹脂世代を「第四世代」と筆者は呼んでいる。

## 5. 光造形用樹脂の今後の動向

表-2に各業界の光造形樹脂に期待する性能を示す。日本の基幹産業である自動車や家電ではPP樹脂性能からABS性能に光造形物の性能を求めており、将来的にはPCなどの耐熱性のあるエンジニアリングプラスチックの性能を要望している。サービスビューロはこれら基幹産業と深く結びついて活動しているため、最終顧客のニーズがサービスビューロのニーズでもある。そのため

にABS性能樹脂を強く求めており、さらにはPC性能樹脂を求めてくるものと推定している。

樹脂開発者はこのニーズに呼応して樹脂の開発を行っていく必要がある。もしも、開発が需要に対応できないときは、このシステムは生き残れないことになる。

## 6. まとめ

モデル用の光造形樹脂は顧客のニーズであるABS性能が当面の目標であり、ごく近い将来ABS性能は完全に達成されて標準樹脂になっていくものと考えている。その後はさらに高性能なエンジニアリング樹脂に進化していくものと推定している。これら、光造形法で作成する造形物はやがてそのまま利用するラピッドマニファクチャリング(RM)に積極的に利用されていくものと思われる。

## 参考文献

- 1) T. Wohlers: "Wohlers Report 2002, 2003", (Wohlers Associates, Fort Collins, Colorado, USA (2002-2003))
- 2) 萩原恒夫: 鋳造工学, Vol.75, No.12 (2003) 816-821
- 3) 萩原恒夫: 精密工学会誌, Vol. 70, No2 (2004) 171-174