

光造形用樹脂とその造形物の現状と将来

東京工業大学 萩原恒夫

光造形樹脂の性能は格段に向上したが、造形物をそのまま使用するためのエンジニアリング樹脂性能を得ることは極めて難しいと考えられ、光造形法での利点が生かせる透明モデルや、宝飾・歯科などの高精度の要求される用途を積極的に開拓することが重要と思われる。

1. はじめに

光造形システムの発明から30有余年、各種3次元積層造形システム(RPシステム、別名AMシステム)が開発されるに至り、大きな発展を遂げた。更に今日では3Dプリンタと呼ばれる簡易なRPシステムが大きな役割を占めるようになった。これらの装置についてはすでにこの活用シリーズで紹介されているので割愛する。本解説では2012年8月時点でのRP用材料、特に光硬化性樹脂を用いる光造形システムの樹脂材料の現状とその造形物の活用について述べる。

2. 光造形システムについて

光硬化性樹脂を用いる光造形システムの市場での推移について簡単に述べると次のようになる。(i)1990年からの約10年間の第一世代が、開発や試験導入の世代であり、光造形法の可能性が確かめられた期間である。光造形装置のUV光源はHe-CdレーザからArレーザと替わり、さらに半導体励起の固体レーザへと進化していった。(ii)その後装置として成熟が進み、そのコストや品質が問われた第二世代を経て、(iii)必要不可欠なツールとして認知された第三世代へと推移していった。そして、(iv)小型の造形装置を含むプリンタ世代でもある第四世代へと進化している。

小型の光造形装置ではDLPやLEDレーザを用いる例も多く出ている。光造形システムは、今日、誰でも簡単に安心して使用できる装置であり、製品の直接的・間接的な開発に重要な役割を果たしている。

3. 光造形用樹脂

光造形用樹脂開発の経緯を樹脂素材の面から見ると、UVレジスト材料に端を発する(ウレタン)アクリレート系樹脂から、エポキシ系樹脂へと展開されて

いった。この理由は、液状樹脂から、造形物(固体)への硬化時の収縮率と硬化率(反応率)に起因している。アクリレート化合物の収縮率は大きく、それ自体で10%近くに達するものも少なくない。これに対してエポキシ化合物はエポキシ三員環の開環反応を伴うため収縮率は自ずと小さくなる。それでも液体から固体になるために収縮は存在する。光硬化性樹脂組成物としての硬化収縮率はアクリレート系で6%台後半、エポキシ系で5%台前半となっている。この6%と5%の違いは地震の震度が6と5の違いに例えると分かりやすい。震度6強といえ、かなりな被害がでる震度であり、5弱といえ、大きな地震があったと感ずるが、さほどの被害は生じない。このように、1%強の違いが造形物の形状や精度に大きな影響を及ぼすことになる。収縮率6%強はかなり大きなもので、造形を困難としている。また、エポキシ系の5%弱は許容できうる収縮率でといえる。

一方、反応様式の違いからみると、アクリレート化合物の光反応は非常に速いもので、且つ光の照射が止まると反応は直ちに停止しする光ラジカル反応である。この場合の反応率は高々70%止まりである。残った反応基がその後の後露光でも完全消費されにくく、経時で変形しやすくなる。これに対して、光カチオン反応で進行するエポキシ化合物は反応は若干遅いが、一旦カチオン種が生成すれば光の照射が停止しても反応基がなくなるまで硬化反応は進み(これを暗反応という)、最終的な反応率はほぼ100%となる。このため、エポキシ系樹脂は反応は遅いが、完全硬化後の経時変形は比較的小さくなる。

しかし、エポキシ化合物だけでは十分な反応速度が得られないため、実用的な光造形用樹脂は、多官能アクリレートを含む(脂環式)ジエポキシ化合物を主成分とする組成物となっている(表1)。所謂、ラジカル反応とカチオン反応のハイブリット樹脂となっている。まず、反応性の高い多官能アクリレートで骨格

を形成し、その後、その中をエポキシ樹脂で硬化充填するというイメージで反応は進むと考えられている。厳密な意味でのIPN (Interpenetrating Polymer Network) とは異なるがある意味では近いものになっていると推定している。

顧客の要請は、「より短時間で目的とする造形物を得たい」と願うことであり、そのため、上記エポキシ系光造形樹脂の反応性を更に向上させることが求められた。その結果、筆者らが最初に採用したように、オキセタンアルコール化合物を共存させて、エポキシ化合物の反応速度の改善を図ると共に、組成物粘度の低下によりリコーティング性などのメカニカルな部分の改善により造形速度を向上させているのが現在の主流である。

光造形用樹脂は、顧客の要望する各種用途に適応するために、高精度モデル用 (真空注型用も兼ねる)、靱性 (PP あるいは PE ライク)、ABS ライク、透明、耐熱、フィラー強化、ゴムライクなどが開発され、今日では用途別に一通りの品揃えはできている (表 2)。

エポキシ系材料の最近のトピックスとしては、エポ

キシ基の反応を開始する光カチオン重合開始剤の非アンチモン化が挙げられる。これまでは、芳香族スルホニウム化合物の六フッ化アンチモン塩が主なカチオン開始剤であった。このアンチモン原子を含む化合物が劇物扱いであるため液状状態での樹脂は厳正な管理が求められる。ただし、硬化したものは含有量が少ないため特別な管理は必要としない。また、アンチモンは半金属といわれるカテゴリーの元素であるため、現在では生物への影響は確認されていないが懸念されている。

かかる理由から、筆者らは 2002 年頃から環境対応・管理対応の点からエポキシ系樹脂の非アンチモン化が必須要件となることを先見し、開始剤メーカーと共同で積極的に開発に取り組んできた。2007 年頃から市場に提供できるようになり、直近の 2012 年 6 月の DMS 東京では、シーメット社より一通りの材料が取り揃えられた (表 3)。

開始剤を非アンチモン化することにより、液状樹脂は非劇物扱いとなりユーザーが容易且つ、安心して取り扱えるようになってきている。

表 1 エポキシ系光造形樹脂の大凡の組成

	エポキシ化合物、アクリレート化合物、開始剤など
エポキシ成分	3, 4-エポキシシクロヘキシルメチル-3, 4-エポキシシクロヘキサノールビス (3, 4-エポキシシクロヘキシルメチル) アジペート ビスフェノール A ジグリシジルアクリレート 水素添加ビスフェノール A ジグリシジルアクリレート など
アクリレート成分	ジペンタエリスリトールヘキサアクリレート トリメチロールプロパントリアクリレート EO 変性ビスフェノール A ジアクリレート など
光重合開始剤	(4-フェニルチオフェニル) ジフェニルスルホニウムヘキサフルオロアンチモネート 1-ヒドロキシシクロヘキシルフェニルケトン など

表 2 最近の光造形樹脂の分類とそのメーカー

メーカー	高精度	靱性 伸度 > 10%	ABS ライク 高靱性 高HDT	高透明	透明・耐熱	高耐熱 高HDT	フィラー入 高曲弾性率	鋳造用 易消失	ゴムライク Shore A 70 Shore A 50
シーメット	(TSR-820)	TSR-821 TSR-831	TSR-832 TSR-883	TSR-829 TSR-839	TSR-884	-	TSR-755		TSR-1920 TSR-510
ADEKA	HS-680	-	HS-696	-	-	-	-		-
JSR	(SCR-701)	SCR-712X	SCR-735 SCR-737	SCR-776	SCR-780	SCR-740	(SCR-802)		-
DSM-SOMOS	(SOMOS-7120)	SOMOS 9120 SOMOS 9420	SOMOS 14120 SOMOS DMX100 SOMOS Next	WaterShed XC-11122	-	ProtoTherm 12120	(ProtoTool 20L) NanoTool NanoForm 15120	ProtoCast- 19122	(ULM- 17220)
3D システムズ		Accura 25	Accura Xtream Accura 55	Accura 60	-	Accura 48HTR Accura Peak	(Bluestone) Accura CeraMAX	CastPro	-
3D システムズ (旧 Huntsman)		SL-7840	SL-7800 SL-7810 SL-7820	SL-7870	-	-	-		-

() 内はカタログから消えたもの

表3 シーメット社の非アンチモン開始剤を用いた光造形用樹脂

	TSR-880	TSR-883	TSR-884	TSR-884 (熱処理)
	靱性・ABS	高剛性・ABS	透明・耐熱	
粘度 (mPa・s) (25℃)	372	520	600	
比重 (25℃)	1.13	1.12	1.10	
引張り強度 (MPa)	53	60	51	50
伸度 (%)	8.5	5~8	3.1	4.4
引張り弾性率 (MPa)	1,850	2,730	2,370	2,090
曲げ強度 (MPa)	78	98	87	79
曲げ弾性率 (MPa)	2,350	2,710	2,260	2,080
衝撃強度 (J/m)	46	37	30	25
熱変形温度 (℃)/高荷重	48	54	53	100

4. 光造形物の活用

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である。

CADデータや図面の確認(形状確認)、各種シミュレーション、光造形モデルをマスターとするシリコンゴム真空注型法を経由するレプリカの作成、鑄造のためのマスターモデルなど、「ものづくり」の基本的な手段として利用されてきた。その後、樹脂性能の向上により、機構部品や機能部品などの設計品や開発品の評価に使われている。

光造形システムの発当初から製品開発のツールから一歩踏み込んだ実部品への応用が期待されているが、造形物が直接実部品として利用できるレベルに達するには、少なくとも汎用の熱可塑性エンジニアリングプラスチックであるABS樹脂(15%以上の引張り伸度を有し、かつ80℃の熱変形温度)の物性、さらにはポリカーボネート(PC)などの代表的なエンジニアリングプラスチック(100℃を超える耐熱温度を有し、靱性も十分備えている)の物性に迫る必要がある。

光硬化性樹脂の硬化物の物性は、高い耐熱性を得ようとするとも架橋度を上げ剛性を大きくしなくてはならない。逆に、壊れにくくするためには適度な伸縮性(靱性)を備えなくてはならない。これは、図1に示すようにトレードオフの関係になる。いずれも達成しようとするには非常に大きな壁を超えなくてはならない。エンジニアリングプラスチックはこの高い耐熱性と靱性を兼ね備えている。

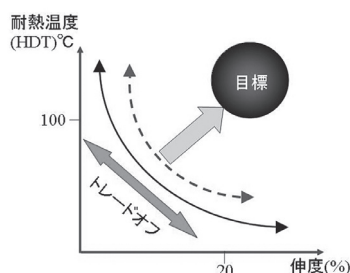


図1 耐熱性と靱性のトレードオフの関係

光造形法が上市されてから20年以上を経過した。この間、前記トレードオフの関係を越えようと幾多の努力がなされたが、適度な靱性を備えて熱変形温度が60℃を超えるものができていない。光硬化物の物性は、耐熱温度の60℃に何らかの壁が存在するものと推定している。その壁を乗り越えるのは極めて画期的なブレークスルーが必要と思われる。熱可塑性のエンジニアリングプラスチックと同等な性能を与える樹脂を開発することはほとんど不可能と思える。これまで、いろいろな三次元積層造形システムが発展してきたので、光造形法では不可能な分野は別のシステム、たとえば粉末造形システムや樹脂溶融造形システムなどと組み合わせる利用するのが適切と考えている。

最近の傾向として、光造形法を開発のツールではなく、生産手段として利用しようとするケースも増えている。直接実部品として用いるというより、造形物を生産手段の流れの中に組み込んで、従来不可能だったことを可能にする取り組みである。

2011年暮れのEuromoldに見られるように、RPの大きなターゲットとして、歯科応用が挙げられる。また、宝飾などの精密鑄造応用もニッチな市場ではあるが確実に伸びている。この二つの取り組みについては後の方で述べる。以下、光造形用樹脂とその造形物の活用について解説する。

4.1 高精度モデル用途(真空注型用途)

高精度モデル用樹脂は広く形状確認用途、真空注型マスターモデル、精密鑄造用消失模型などに使われている。このうち、真空注型マスターモデルは光造形樹脂の性能が熱可塑性樹脂の最終成型品に及ばないため、試作品を複数個容易に得ることができるために、日本で特に広く用いられている。光造形モデルをマスターとしてシリコンゴムで型を取れば20個程度の高品質・高性能なレプリカが容易に作成でき、ほとんどの用途に対応できる。コンピュータで設計を行うバーチャル手法が広く行き渡ってきても、試作品や最終的な市場調査には必ず必要で物作りには欠かせない方法である。

4.2 機能性モデル用途

勘合などに耐えられる靱性樹脂が1998年頃に最初に上市されてから、光造形法の応用範囲を劇的に拡大させた。現在でもRPモデルとして光造形法が利用される場合には、この種の材料がメインになっており、各メーカーよりいろいろな銘柄が供給されている(表2)。

(i) ABSライク樹脂

靱性樹脂の出現以後、顧客は、主要な成形材料であるABSと同等の物性を有する材料を要望している。そのため、各材料メーカーは競ってABS物性を標榜したABSライク樹脂を上市している。

シーメット社からは、TSR-821、TSR-831、TSR-832などが上市され、JSR社からはSCR-735、SCR-737がリリースされている。

シーメット社のTSR-821は、光硬化過程で相分離構造を生成させることによりABS構造を擬似的に生成させた画期的なものであり、上市して10年以上が経過してもシーメット社の主力樹脂である(写真1)。これに対して、JSR社はABS樹脂メーカーらしいアイデアで、エポキシ樹脂ベースにエラストマー微粒子を含有させてABS構造を模したものとしている。液状では乳白色で硬化後は淡黄色のSCR-730樹脂を上市し、その後、これを改良してSCR-735とした。これらは硬いエポキシ樹脂マトリックスに柔らかいエラストマー粒子を分散させてABS類似の構造を狙ったものである。

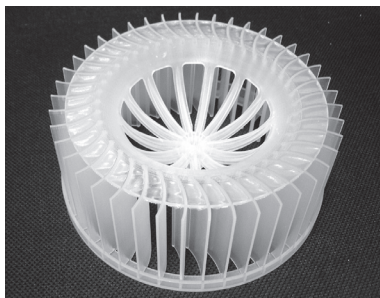


写真1 TSR-821 造形物例

ABS構造とは別の流れてある、外見上がABSに似ている材料がABSライク樹脂として、バンティコ社(後にハンツマン社、現在では3Dシステムズに事業部が吸収)は2002年秋に乳白色な外観を持つSL-7560樹脂をリリースし、その後、改良してSL-7580とした。最近では、樹脂の開始剤を非アンチモン化合物としたSL-7800シリーズを上市している。2004年にDSM-SOMOS社が白色の靱性樹脂SOMOS-14120(写真2)を、3Dシステムズ社は白色と灰色の2タイプを有するSI-50をリリースしたが2007年にはSI-55に改良した。これらの硬化物物性はABSには遠く及ばないものの外観はABSに近いモデルが得られる。白いABSライクな樹脂は形状確認が重要な欧米や中国では人気が高い。



写真2 SOMOS-14120 の造形物例
(DSM-SOMOS社カタログより)

最近3Dシステムズ社は、樹脂の名称をAccuraシリーズとし、簡単SLAシステムとしてPrinterシリーズをリリースしたため、そのための樹脂はVisJetシリーズとしている。

(ii) 透明樹脂

光造形法だけの大きな利点

日本では機能性が重視されることより、ABSライクな白い外観よりむしろ透明性や靱性、耐湿性などが重視されている。中でも基幹産業である自動車や家電では、透明・靱性樹脂の需要が大きい。この透明な硬化物は他の積層造形システムでは得られない、光造形法の持つ大きな利点であり、他では代替できない。

車のデザインにおいてヘッドランプやリヤランプなどのデザインが販売上非常に重要であり、車の売れ行きに大きく影響する。最近では、光源のLED化で構造上の制約が減少し、デザインが比較的自由にできるため試作モデルとしての需要が大きい。

また、エンジン部品や家電製品などで正確で効率的な開発のために内部の可視化は有効であり、透明性に優れた樹脂が有用である。たとえば、シーメット社のTSR-829は透明性と耐湿性に優れるとともに、積層端面の透明性を改善する特殊な機能を付与しており、エンジンプロックなどの可視化に好適である(写真3)。

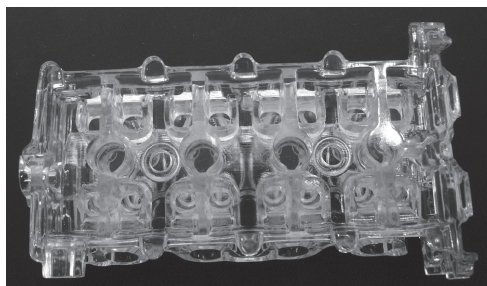


写真3 透明樹脂 TSR-829 でのシリンダーヘッド

(iii) 透明・耐熱樹脂

先にも述べたが、光造形樹脂の造形物の物性はかなり進歩してきたが、ABS性能には熱変形温度の点で及ばない。機能性の評価などに活用が期待される機能性の

高いモデルを得るため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と同等の物性を有する材料が囑望されているが、これらエンジニアリングプラスチック性能の樹脂の開発はほとんど不可能と思われる。そこで、得られる造形物の物性が全ての項目に亘って満足しなくても、目的とする機能試験に使用可能な物性を有すれば利用価値は大きいと考えられる。このような観点から、光造形の最大の利点である透明性を生かしつつ比較的耐熱性の優れた光造形用樹脂が開発され活用されている。

帝人製機社の TSR-920 樹脂 (ウレタンアクリレート系) が火付けになり、バンテスコ社が 2000 年頃、3D システムズの光造形装置向けにエポキシ系の SL-5530HT が発表され極めて限られたところで利用された。最近では JSR 社が SCR-740 をリリースして高耐熱用途を狙って展開したが、一部のユーザーに留まっている。シーメット社は 2011 年に非アンチモンタイプの透明・耐熱樹脂 (TSR-884) を発表し、2012 年の DMS 東京で上市した (写真 4)。高い透明性能に加えて、適度な耐熱性と靱性を兼ね備える物性で、PC 製品の試作検討に寄与することを狙っている。

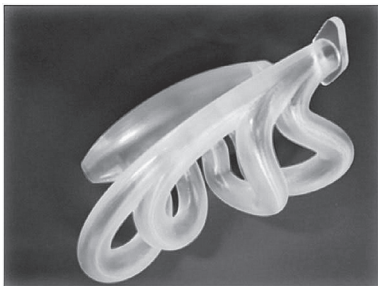


写真 4 TSR-884 の造形物例 (シーメット社カタログより)

4.3 フィラー強化樹脂

筆者らはガラスビーズとウイスキーでフィラー強化したウレタンアクリレート系樹脂として 1995 年に帝人製機より TSR-75 シリーズを提案し、光造形システムで高強度・高耐熱モデルが作成可能であることを実証してきた。2005 年に発表した TSR-755 は、高荷重熱変形温度 (HDT) が 250℃ 以上を有し、曲げ弾性率は鋼に近いものとなった。これら材料が起爆剤になりフィラー強化光造形樹脂が各社で開発され、特殊用途で使われている。

JSR 社のエポキシ系樹脂をシリカフィラーで強化した SCR-802 樹脂は、3D システムズの装置向けに DSM-SOMOS 社によりローライズされ、ProtoTool-20L としてそのユーザー層を広げた。その後 NanoTool、NanoForm に改良された。3D システムズ社は Bluestone なる青色不透明のシリカフィラー強化樹脂を発売し、Accura CeraMAX に改良した。これらフィラー強化樹脂は熱変形温度と共に曲げ弾性率が高く、風洞実験モ

デルに好適で、F-1 開発などの特殊分野などで大きく貢献している。

2006 年にはドイツのサービスビューロである ALPHA FORM 社の J-M Stepper 氏は ProtoTool-20L で作成した造形物にニッケルなどを 100 ミクロン程度の厚膜でメッキ処理して被覆することにより、金属成形物と遜色ないプロトタイプを作成できることを Euromold2006 で示した (写真 5)。この技術は F1 の部品試作や、特殊製品の試作や試験に極めて有効で光造形樹脂の欠点をうまくカバーしたものとして注目されている。これと同様な技術は DSM-SOMOS 社も「Metal Clad Composite, MC2」として、米 Baltimore の RePriForm 社と共同で後を追った (Wohlers Report 2009, p178-179)。



写真 5 厚膜メッキした造形物例

4.4 ゴムライク樹脂

筆者らは常に新しい樹脂材料の開発に積極的に取り組み、1997 年には帝人製機からゴムライクモデル樹脂 TSR-1920 樹脂を上市した。更に、筆者らはシーメット社において 2006 年に写真 6 に示すようなオールシリコンからなる世界最初の光造形シリコンゴム樹脂 TSR-510 を上市した。このものは硬化物の伸度が 100% 以上、ゴム硬度 50 を有し、弾性回復率は 100% を有している。この樹脂は、高性能ゴム部品や医療用途を狙って開発したもので、今までのゴムライク樹脂では果たせなかった性質を有していることより今後医療市場などの特殊用途への期待が大きい。更にシリコンゴム本来の高物性を求めて開発が進んでいる。



写真 6 TSR-510 造形物例

4.5 鑄造用消失模型用樹脂

欧米では光造形モデルが鑄造用消失模型に広く利用されており、3Dシステムズ社は消失模型製作に対してクイックキャスト法(中空モデルの利用)を次々に改良して、消失性の向上を図っている。現在ではクイックキャスト 2.0 としてかなりの成功を取めている。特に2006年には3Dシステムズ社の大型のViper Pro機が鑄造用消失模型作成のために多数販売されたといわれている。

このような事情はこの用途の樹脂開発を加速させた。鑄造を行い金属に置き換わったときその表面は消失残渣に左右される。残渣の一つ要因としてアンチモン開始剤の存在がある。その点を改善するためにDSM-SOMOS社はProto-CastAFなるエポキシ系樹脂中のアンチモン系開始剤を廃止した樹脂を上市し、同様に旧ハンツマン社はSL-7800と7810なる非アンチモン系のエポキシ系樹脂を上市しており、欧米では鑄造用消失模型用樹脂が一つのジャンルを形成している。

光造形が台頭してきた頃には日本でも光造形モデルの用途として鑄造用の消失模型が提案され多くの検討がなされたが、消失残渣による鑄造物の低品位、消失時の熱膨張による型割れなどの問題で、ほとんど活用されなかった。しかし、鑄造の世界でも熟練技能士の減少や、開発期間の短縮化の強い要請で3次元積層造形法による消失模型製作が叫ばれようになっている。最近、インクジェット法により鑄造砂を硬め、鑄造型を作成する技術(ExOne)が実用レベルに達し、急速に普及しつつある。この砂型は主として鑄物品の作成であるが、CADデータから短時間で大型の鑄物が許容の精度で得られるため、今後ますます発展すると考えられる。

このような背景から、再度、光造形物を鑄造、精密鑄造に利用しようとする動きが出ている。光造形品のように表面性と精度に優れているものを容易に消失させて鑄造できれば、短納期の特殊部品や、鑄造品による高精度な試作が可能になり、「ものづくり」の姿が大きく変化していくものと考えられる。そのためには消失

性に優れた光造形物を与える樹脂の開発が必須である。この後述べる宝飾向け光造形用樹脂で培ったノウハウの活用がキーポイントとなると考える。

4.6 ニッチ市場での光造形法の活用

光造形物を直接最終製品に利用しているものを挙げると次のものが代表的なものの例である。

ドイツ・エンビジョンテック社の補聴器のシェルである。補聴器は個々人で耳の形が異なるため、それぞれに適応した形にするためにはCADデータをもとにした積層造形がぴったりである。シーメンスの子会社を通じて広く市場を獲得していると聞いている。

光造形物の宝飾用途も大きな役割を占めるに至っている。伝統的な工法が主であった宝飾制作に積層造形法は画期的な進歩をもたらした。宝飾に最初に取り組んだのがSolidscape社で、インクジェット法により特殊なワックス材で三次元造形物を作成し、その造形物を宝飾(指輪など)の鑄造に用いている。光造形法で宝飾向けに成功を取めているのが、DLPプロジェクトを用いるエンビジョンテック社と、レーザを用いるDWS社が挙げられる。特にDWS社はレーザビーム径を20ミクロン前後に絞れることから、極めて高精細な造形物が得られる(写真7、8)とともに、その材料の消失性に優れることから大きな数の顧客を獲得している。鑄造性のみならず、意匠性の高い高精度な造形物を容易に得ることができるため、フィギアの製作などに利用が進んでいる。今後は更に精緻なデザイン性が重要な分野での活用が期待される。

先の補聴器と同様にCADデータに基づく積層造形のメリットが生かせる分野が歯科応用である。歯科はサイズの宝飾分野と同等であり、宝飾で培った造形技術の多くが利用できる。この歯科応用については、この活用シリーズの中で豊通マシナリーの大竹氏により紹介されている。

口内デジタルスキャナー(3Shape社、3M社)などから得られたデータをSTL形式に出力した後、光造形



写真7 DWS社宝飾造形物例



写真8 DWS社宝飾造形物例

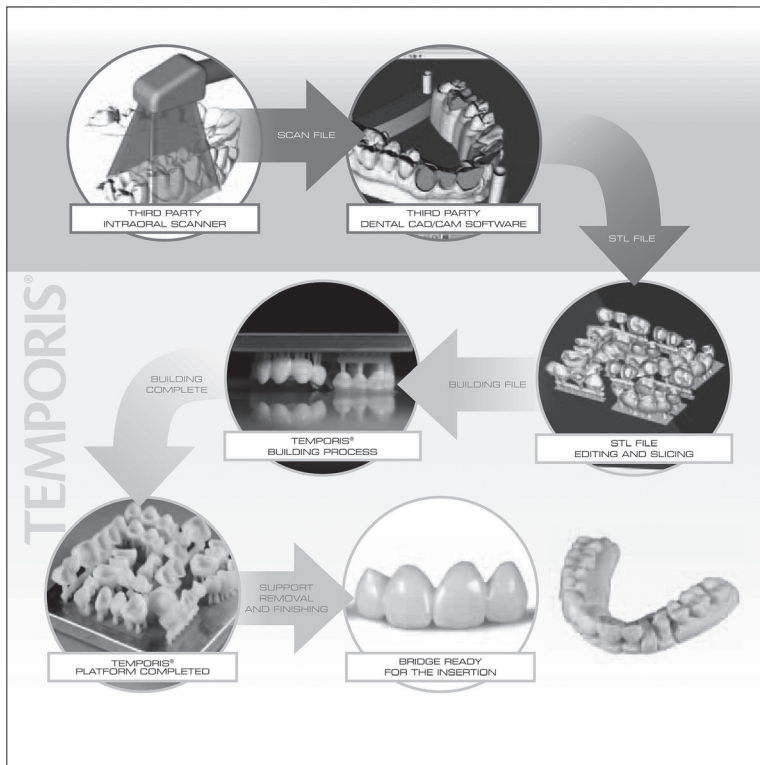


図2 DWS社 仮歯作成模式例

機により (i) 铸造用ワックスパターン、(ii) 铸造用のデンチャーと呼ばれる铸造パターン、(iii) ストーンモデルと呼ばれる歯形を造形して歯科用途に用いるデジタルデンティストリーが挙げられる。今後はこのような3次元の口内デジタルスキャナーにより出力されたデータを STL 変換後、患部に理想的な仮歯を直接造形する方法が大きな役割を果たすものとして考えられている。これら光造形を用いる仮歯 (Dental Restration) の作成については、イタリアの DWS 社 (図2)、ドイツのエンビジョンテック社などにより材料開発が進んでいる。

5. 光造形用樹脂の今後の動向

日本の基幹産業である自動車や家電では光造形物の性能を、より正確な機能性・機構評価として、まずは ABS 性能に求め、更には耐熱性と靱性を兼ね備えたポリカーボネート (PC) などのエンジニアリングプラスチックの性能を要望している。しかし、ミリ秒という極めて短時間の光硬化反応でエンジニアリングプラスチックと同等の性能を得ることはほとんど不可能と思われる。そこで、ある程度限界が見えてきた材料開発について大きなブレークスルーを求めるよりは、光造形法の最大利点である透明性を意識した活用を明確にしつつある。

一方、ツールとして利用する場合の光造形材料は、安全・安心な材料であることも重要ポイントである。劇物から非劇物へと大きな進歩のあった非アンチモン

化がより進むと考える。シーメット社は2012年のDMS東京ではそのラインナップを発表しており、早晚、各社の樹脂も全て非アンチモン化がなされていくものと思われる。

6. まとめ

光造形樹脂は当初から見ると大きな発展を遂げ、顧客のニーズに応じた樹脂をほぼ、ラインナップすることができるまでになった。かつて、筆者はエンジニアリングプラスチック性能に進化していくものと推定していた。しかし、ABS性能への到達はほとんど不可能と思われる。光造形法で作成する造形物をそのまま使用する樹脂物性を得ることはよほどのブレークスルーが起こらない限り到達できない。むしろ、光造形法での利点が生かせる透明モデル・高精度モデル・宝飾・歯科応用などの用途を積極的に活用することが重要と思われる。

参考文献

- 1) 中川威雄, 丸谷洋二編, 積層造形システム—三次元コピー技術の新展開 (工業調査会, 1996).
- 2) P. F. Jacobs: "Rapid Prototyping & Manufacturing, Fundamental of Stereolithography", (SME, 1992).
- 3) T. Wohlers: "Wohlers Report 2007~2011", (Wohlers Associates, Fort Collins, Colorado, USA).
- 4) 萩原恒夫ホームページ: <http://www.thagiwarajp>
- 5) 萩原恒夫: 精密工学, 70 (2004) No. 2, 171.
- 6) 萩原恒夫: 素形材, 46 (2005) No. 6, 19.
- 7) 萩原恒夫: 画像工学, 45 (2006) No. 3, 162.
- 8) 萩原恒夫: 素形材, 48 (2007) No. 7, 29.
- 9) ExOne (エクスワン) 社 <http://www.exone.co.jp>
- 10) ドイツ・エンビジョンテック社 補聴器; <http://www.envisiontec.de/index.php?page=app&id=3>
- 11) 3shape 社; <http://www.3shapedental.com/restoration.aspx>
- 12) 3M 社 口内スキャナー; http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/3M-ESPE-NA/dental-professionals/products/category/digital-materials/lava-chairside-oral-scanner/
- 13) 新野俊樹 Euromold 2011 報告; http://niinolab.iis.u-tokyo.ac.jp/am_symposium2012.html

東京工業大学 大学院理工学研究科

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 石川台 6 号館
TEL. 03-5734-2059 FAX. 03-5734-2062