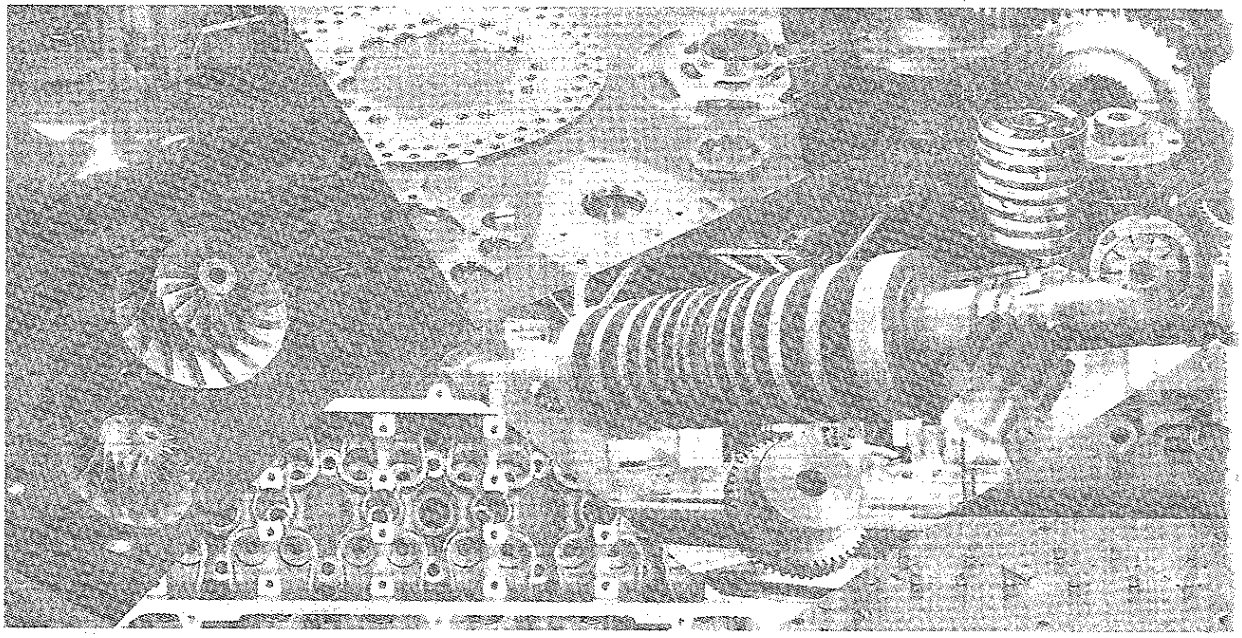
昭和37年3月26日 第三種郵便物認可 平成17年6月20日発行（毎月1回20日発行） 通巻第531号 ISSN 0910-1985
The Materials Process Technology Center

素形材

Vol.46
No.6

特集「ラピッドプロトタイピングの最近の動向」

- RPの動向と素形材とのかかわり
- 金型および金属部品造形における金属粉末の直接焼結技術の最新状況
- 3Dプリンターの最新技術動向
- 光造形用樹脂の最近の進歩
- 粉末焼結積層造形装置SEMpliceの開発



特集「素形材企業の環境経営」

- 環境経営のツール
- 環境対策とご褒美
- 素形材企業としての環境経営を目指して

TOPICS

- 「鋳物づくり工房」訪問記

財団法人　素形材センター

素形材 Vol.46(2005)No.6

目　次

◆◆特集「ラピッドプロトタイピングの最近の動向」◆◆

特集「ラピッドプロトタイピングの最近の動向」企画趣旨……1
編集委員　安斎正博

RPの動向と素形材とのかかわり……1
新東工業㈱開発部　今村正人

金型および金属部品製作における金属粉末の直接焼結技術の最新状況……9
日立造船情報システム㈱ RPシステム部　前田寿彦

3Dプリンターの最新技術動向……15
㈱DICO　取締役　宇野　博

光造形用樹脂の最近の進歩……19
シーメット㈱　常務取締役　萩原恒夫

粉末焼結積層造形装置SEMpliceの開発……24
㈱アスペクト　代表取締役　早野誠治

◆◆特集「素形材企業の環境経営」◆◆

特集「素形材企業の環境経営」企画趣旨……29
㈶素形材センター

環境経営のツール……29
㈳産業環境管理協会環境技術センター　LCA開発推進室長　成田暢彦

環境対策とご褒美……37
㈱岡本　常務取締役　堀江尚男

素形材企業としての環境経営を目指して……42
アイシン高丘㈱安全環境部　部長　久野信治

◆TOPICS

「鋳物づくり工房」訪問記……47
大同工業大学工学部情報機器システム工学科　教授　小野宗憲

文献速報……50
SOKEIZAI Center News……52
素形材工業生産実績……53
編集後記……58

光造形用樹脂の最近の進歩

シーメット㈱　常務取締役　萩　原　恒　夫

光造形法はものづくりにおいて必須な手段となっている。光硬化性樹脂の開発・改良により、その用途は大きく広がり、形状確認モデルの製作にとどまらず、機能確認や機構確認などの用途に大きく展開している。

1．はじめに

光造形法は25年ほど前（1980年）に当時名古屋市工試の小玉氏により発明され、その後、米国の3Dシステムズ社や日本のシーメット社により実用化された。

その原理はすでに広く知られているが簡単に記すと次のようになる。まず、三次元CAD上で入力された三次元ソリッドデータをSTLフォーマットに変換した後、積層厚みにスライスして断面データを作成し、このデータに基づき液状の光硬化性樹脂に紫外線レーザ光を照射して選択的に硬化させ、一層ずつ積層することにより所望形状の三次元立体モデル（造形物）を得るものである。光造形法に端を発した三次元積層造形法（ラピッドプロトタイピング＝RP）が各種開発され、製品開発に不可欠な手段となっている。

光造形法が最初に開発されたこともあり、過去、現在とも最も重要なRPシステムと認識されている。光硬化性樹脂材料（以下樹脂）の開発・改良により、その用途は大きく広がっている。当初の目的であった形状確認モデルの製作にとどまらず、機能確認や機構確認など開発現場での用途に大きく展開している。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．光造形の現状

2．1　光造形装置の推移

図1に光造形装置の市場での推移を示す。1990年の導入開始から約10年間の長い第一世代は、装置の開発やその樹脂の開発に注力が払われてきた。光造形装置のUV光源はHe-CdレーザからArレーザへと替わり、さらに半導体励起の固体レーザへと進化していった。

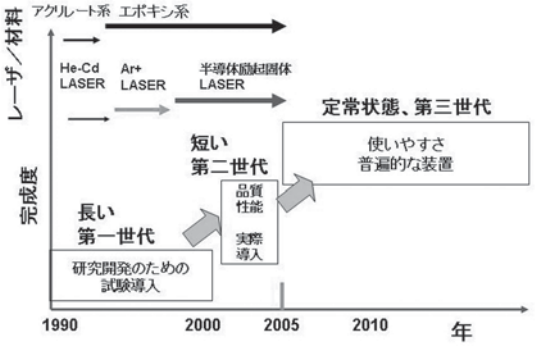


図1　光造形装置の推移

装置として成熟していき、そのコストや品質が問われる第二世代を経て、現在は必要不可欠なツールとしての第三世代へと推移している。

光造形システムは、今日、安心して使用できる安定な装置となり、製品開発の担い手となっている。光造形システムには付加価値や使いやすさが求められている。この付加価値は樹脂の性能に大きく依存している。したがって、システムの性能は樹脂の性能になってきている。

樹脂の面から見ると、レジスト材料に端を発するアクリレート系樹脂からエポキシ系樹脂へと展開された（図2）。当初の樹脂は反りが大きく壊れやすかったため、光造形モデルは使い物にならないなどと酷評された時期もあった。しかし、今日、樹脂の反りはほとんど無視でき、かつ壊れにくさ（靱性）をもったものへと改良が進められてきた。表1に樹脂の進歩について示す。

2．2　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

表１　光造形用樹脂の進歩

年	～1993	1994	1998	2000～	2002～	2004～	2004～
世代	黎明期	第１世代	第２世代	第３世代	第４世代-1	第４世代-2	第５世代
ベース樹脂	UA / EP	EP	EP	EP	EP	EP	EP
ポイント／製造会社	造形性	精度	耐湿度	靱性	ABS ライク	透明	耐熱
CIBA	XB-5081-1	SL-5180	SL-5510	SL-7540	SL-7560	SL-7570	(SL-5530)
vantico				SL-7545	SL-7580		
DSM- SOMOS	SOMOS-3100		SOMOS-7100	SOMOS-8120,	(SOMOS-11120)	SOMOS-11120	SOMOS-12120
				SOMOS-9120			
3DS（RPC）			(Accugen)	AccuDur	SI-40		
				(SI-20, SI-30)	SI-50		
JSR	SCR-310		SCR-701	SCR-710	SCR-735	(SCR-11120)	SCR-740
				SCR-720			
旭電化	HS-661	HS-673S	HS-680		HS-690		
	(EP)						
帝人製機／		TSR-800	TSR-820	TSR-1938N	TSR-825	TSR-828	TSR-830X
シーメット				TSR-821		TSR-829	

UA：ウレタンアクリレート系樹脂、EP:：エポキシ系樹脂、TSR-830X は開発中

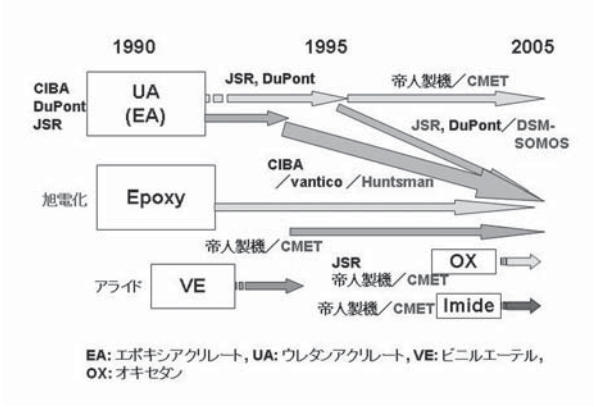


図２　光造形用樹脂の変遷

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ーンゴム真空注型を経由するレプリカの作成、精密鋳造のマスターモデル、メタルエポキシ型のマスターモデル等に利用されてきた。最近では、樹脂の性能が向上したことにより、造形モデルが直接、機構試験や機能評価に使われるようになってきた。今後は、製品開発のツールから、更に実部品への応用が期待されている。

光造形物の用途について、日本と米国とを比較すると**表２**のようになる。米国ではコミュニケーションツールとしての形状確認用途が多い。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。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、造形モデルが形状確認に広く利用されている。形状確認用途だけに限るとすれば、精度を追求した光造形モデルでなくてもその用途に応えられる。そのために米国ではZ-Corporationのインクジェットシステムや Stratasys社のDimensionなどの手軽なシステムが広く普及してきている。

これに対して、日本ではデザインから生産までの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、製品開発のための機能確認や性能確認に直接用いられることが多い。機能試験や製品の性能確認に対する要求に樹脂性能が応えられないために、日本では造形モデルを真空注型のマスターモデルに利用することが多い。熱硬化のエポキシ樹脂やウレタン樹脂に転写すれば必要な樹脂の性能が得られる。この真空注型法では20個程度レプリカが得られるので各種試験には十分な数となる。この真空注型法に利用するためには高精度なモデルが必要となるため、光造形法以外のRPシステムでは達成が難しく、モデル精度の点から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ている。

表２　光造形物の用途割合

用途	日本（%）	米国（%）	ポイント
形状確認	30	45	コミュニケーションツール、医療
真空注型マスター	40	15	家電、自動車
機能・機構確認	20	20	新規高性能樹脂
型応用など	10	20	消失模型、精密鋳造

表３　最近の光造形樹脂の分類

用途別分類 / メーカ	高精度	靭性	ABS-ライク	透明	耐熱	フィラー強化
Huntsman	SL-7510	SL-7540 SL-7545	SL-7560 SL-7580	SL-7570	SL-5530	
DSM-SOMOS	SOMOS-7120	SOMOS-8120 SOMOS-9120	SOMOS-14120	SOMOS-11120	SOMOS-12120	ProtoTool 20L
3DS	AccuGen (SI-10)	AccuDur (SI-20,SI-30)	SI-40 SI-50		(SI-40)	Bluestone
JSR	SCR-701	SCR-720	SCR-735	(SCR-11120)	SCR-740	SCR-802
旭電化	HS-680		HS-690			
CMET	TSR-820	TSR-821	TSR-825	TSR-828 TSR-829	TSR-830X	TSR-755

TSR-830X は開発中

３．最近の樹脂開発の動向

表３に最近の光造形樹脂の分類について示す。各種の用途に適応するために、高精度モデル用、靱性（PPあるいはPEライク）、ABSライク、透明、耐熱、フィラー強化タイプに大別される樹脂が各メーカよりそれぞれ上市されている。

３．１　高精度樹脂

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、精密鋳造用消失模型などに使われている。精度については十分なレベルにあるが、靱性などは持ち合わせていないため、嵌合すると外すことが難しくなってしまう。無理に外すと壊れてしまうことさえある。

製品開発をより効率的に進めるためには、嵌合などに耐えられる靱性樹脂が望まれ、樹脂メーカはそれぞれ特徴をもった靱性樹脂に取り組んだ。帝人製機はいち早く、靱性樹脂 TSR-1938N を三菱レイヨンと共同開発して上市した。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。

３．２　靱性樹脂

1998年には米国DuPont社のSOMOSグループ（現DSM-SOMOS社）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て2000年にはポリプロピレン（PP）ライクなSOMOS-9100シリーズとした。2000年になるとvantico社（現Huntsman Advanced Materials社）はPPライクな外観を持つ靱性樹脂のSL-7540を発表した。SL-7540樹脂はそのしなやかさで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、薄物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、:現在はシーメット社）は、これら先行樹脂の欠点をカバーするエポキシ系の靱性樹脂TSR-821を2001年に上市した。これらの結果、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った（**写真１**）。中でも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してその評価は高い。靱性と強度を兼ね備えた材料により光造形物の応用範囲はさらに広がってきた。

３．３　ABSライク樹脂

これら靱性樹脂の出現以後、顧客の要望は成形材料として広く利用されているエンジニアリング樹脂材料と同等の物性を有する材料へと高まっている。その代表はABS樹脂であり、ポリオキシメチレン（POM）やポリカーボネート（PC）などである。

シーメット社は2002年秋にABS性能を意識した旭電

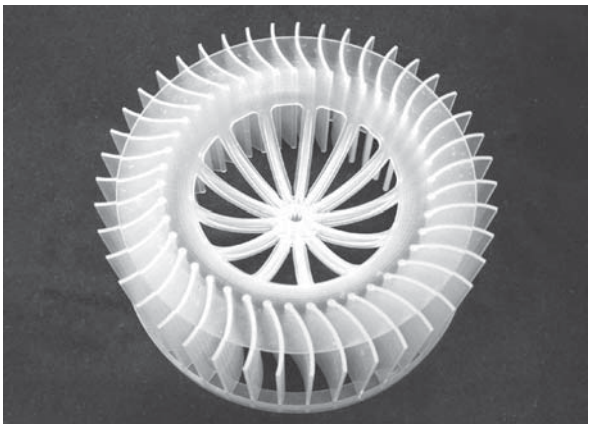


写真１　TSR-821の造形モデル

化製樹脂HS-690をリリースした。この樹脂は真空注型用としてベストセラーとなっているHS-680の持つ高精度・耐熱性に加えて靱性を付与させたものである。これは淡黄色で従来の外観を踏襲している。

シーメット社はさらに2003年夏にはTSR-821を発展させたTSR-825を発表し、耐熱性・靱性を向上させてABS物性により近づけた。この樹脂は無色透明の液体状態から光硬化により白色を呈し外観もABSに近いものとなっている。このような無色から白色への変化は、造形状況が容易に確認できるためオペレータは安心して作業が遂行できるので都合がよい。途中で造形状況が確認できない乳白色の液状樹脂は作業者に不安を与える。JSR社はエポキシベースにエラストマー微粒子を含有させた乳白色のSCR-730樹脂を上市した。その後、これを改良してSCR-735とした。これらは、乳白色の液状から淡黄色の硬化物に変化する。これら樹脂はエポキシ樹脂マトリックスに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と推定される。また、vantico社は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、その後はSL-7580へと発展させた。この両者は液状でも硬化物もいずれも乳白色であり変化はない。2004になるとDSM-SOMOS社は白色の靱性樹脂SOMOS-14120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、ABS外観を持つ樹脂が身近になってきた。しかしながら、いずれのABSライク樹脂も耐熱性については更に向上させる必要がある。

３．４　透明樹脂

日本の基幹産業である自動車や家電では、透明・靱性樹脂に興味が集まっている。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は非常に重要である。また、ランプのLED化を控えてデザインや意匠性の変更がホットな開発対象となっている。更にエンジン部品や家電製品のより正確で効率的な開発のために内部の可視化は有効である。この目的のために透明性に優れたモデル樹脂が嘱望されていた。その中、2003年から2004年にかけてDSM-SOMOS社はSOMOS-11120樹脂（日本ではD-MEC社よりSCR-11120）が上市された。シーメット社からは2004年にTSR-828樹脂が、Huntsman社からはSL-7570樹脂が上市された。SOMOS-11120樹脂とSL-7570樹脂はともに造形モデルが薄い黄緑色を呈しているのに対してTSR-828樹脂はナチュラルな透明性で顧客の要望を的確に捉えている。2005年になるとシーメット社はTSR-828樹脂の透明性を更に改善したTSR-829樹脂を上市した。これら透明樹脂は一つのマーケットを確実に形成していくものと考えている。

３．５　鋳造用樹脂

欧米では光造形モデルが鋳造用消失模型に広く利用されており、一つのジャンルを形成しているが日本では様子が異なっている。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鋳造用の消失模型が提案され多くの検討がなされた。しかし、消失残渣による鋳造物の品位の低下、消失時の熱膨張による型割れの問題等でその後はわずかなユーザでの実施にとどまっている。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20として欧米ではかなりな成功を収めていると聞いている。

日本では顧客の最終鋳造品に対する要求が厳しく、このクイックキャスト法も普及していない。最近、㈱JMCの渡邊・千葉・森脇氏により光造形モデルを直接消失させるQ-TAC法が開発され注目を集めている。この方法は消失温度の制御と消失時に用いる砂の制御により十分な精度レベルの鋳造が可能となっている。最近では自動車のシリンダブロックサイズのものも可能になっていると聞いている。このQ-TAC法ではシーメット社のTSR-820シリーズのエポキシ樹脂がよい結果を与えている。他のメーカの樹脂では消失残渣の点で好結果が得られていないと伝えられている。鋳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再度光造形法による消失模型製作が叫ばれようになってきた。今後は、この方面の樹脂開発も先に挙げたエンジニアリング・プラスチック性能のモデル用樹脂の開発とともに活発化してくるものと思われる。このことはとりもなおさず、中国大陸へシフトした鋳造法が国内に戻ってくる足懸かりになるものと推定している。

３．６　フィラー強化樹脂

一方、光造形による直接型の製作から出発したフィラー強化樹脂はその用途を型の製作から高剛性モデルの製作へ展開している。帝人製機の開発したTSR-750シリーズ樹脂はその曲げ弾性率の大きさと耐熱性の高さから、特殊部品の製作に使われている。シーメット社より2004年にリリースされたTSR-755は従来のウレタンアクリレート系フィラー強化樹脂の表面性を大幅に改善したものであり、従来ウレタンアクリレート系

材料が空気硬化性の点から表面性の点で不利とされてきたものを払拭している。また、DSM-SOMOS社はJSR社のエポキシ系樹脂SCR-801を3Dシステムズ社のSLAに最適化してProtoTool 20Lとして応用展開を図っている。型の製作というよりむしろ高い剛性を必要とする部品などの試作モデルに利用されているものと推定される。3Dシステムズ社もフィラー強化したエポキシ系樹脂Accura Bluestoneを発表している。この樹脂は航空機用パーツやF-1部品の風洞テストに好適として紹介されている。他社の材料と区別するために青色に樹脂を着色しているのが特徴的である。今後、これらフィラー強化の光造形樹脂は高性能材料として広く利用されて大きなジャンルが形成されるものと筆者は期待している。

4．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向上によりそのものづくりを変えている。エンジン周りの開発やヘッドランプの開発に透明性の優れた樹脂を要請し、開発期間の短縮を狙っている。また、さらに高い耐熱性を備えた靭性樹脂により別の開発の効率化を狙っているものと推定される。

家電業界も同様に新しい光造形樹脂の開発を通じて新しいものづくりの仕組みを作り上げ競合に差をつけようとしている。両者の求めるものはまずは完全なABS性能であり、近い将来はPCなどの耐熱性と靱性を兼ね備えたエンジニアリングプラスチックスの性能である。試作品製作を請け負う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、産業ニーズがサービスビューロのニーズでもある。

樹脂開発者はこれらニーズに呼応して樹脂の開発を行っている。これらの樹脂開発を今後10～15年のスパンで見ると**図3**のようになると筆者は推定している。逆に開発がニーズに対応できないときは、この光造形システムは他のシステムに取って代わられ生き残れないことになる。最初の5年でABS物性は達成され、その後の5年、さらに5年でPOMやPC物性が達成されるものと推定している。

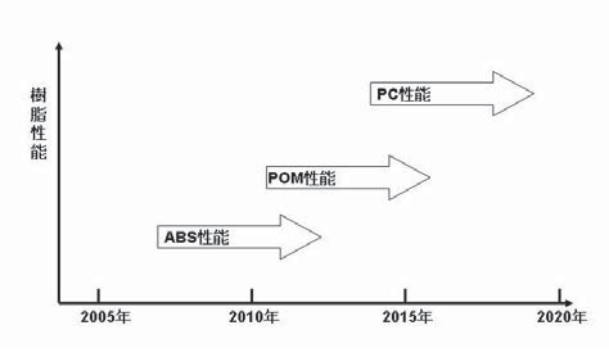


図3　今後の樹脂開発動向

5．まとめ

光造形樹脂はごく近い将来ABS性能が達成されて標準樹脂になっていくものと考えている。その後はさらに高機能なエンジニアリング樹脂性能に進化していくものと推定している。そして、光造形法で作成する造形物はそのまま利用するラピッドマニファクチャリング（RM）や、精密鋳造分野のラピットツーリング（RT）へと積極的に利用されていくものと考えている。今後も装置、材料の進化に伴い、試作品のみならず製品製作装置としての使用が浸透していくものと思われる。

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 2003, 及び2004 ,（Wohlers Associates, Fort Collins, Colorado, USA 2003, 及び2004）
4）萩原恒夫ホームページ：http：//www. urban. ne. jp/home/hagi
5）萩原恒夫：JETI, 48（2000）No. 11, 70, 及び48（2000）No. 12, 90.
6）萩原恒夫：光学 , 30(2001)No. 4, 248.
7）萩原恒夫：成形加工 ,(2001)No. 13, 767.
8）萩原恒夫：精密工学 , 70(2004)No. 2, 171.
9）萩原恒夫：レーザ協会誌 , 29（2004）No. 2, 1 及び 5.
10）Q－TACについて；http：//www. jmc-rp. co. jp/q-tac. html, 特開 2004-154856など
11）萩原恒夫：鋳造工学 , 75（2003）No. 12, 816

シーメット株式会社　http://www.cmet.co.jp/
〒222－0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2－5－5
住友不動産新横浜ビル
TEL　045－478 －5560　FAX　045－478－5569