

# 樹脂からみた光造形技術

帝人製機株式会社  
樹脂開発部

萩原恒夫  
(e-mail: [hagi@mx.ksp.or.jp](mailto:hagi@mx.ksp.or.jp))

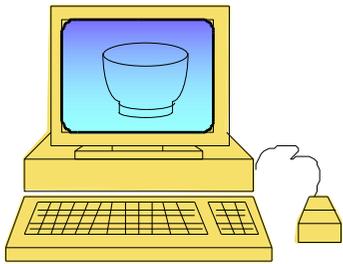
# 講演内容

- 1) 光造形の基礎
- 2) 感光性樹脂の化学
- 3) ラジカル重合・カチオン重合
- 4) 光造形用樹脂の現状
- 5) 新規用途開発および樹脂
- 6) 今後の展開
- 7) まとめ

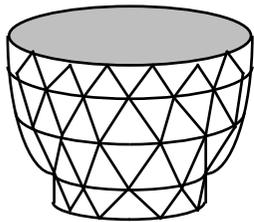
# 光造形のプロセス

CADのプロセス

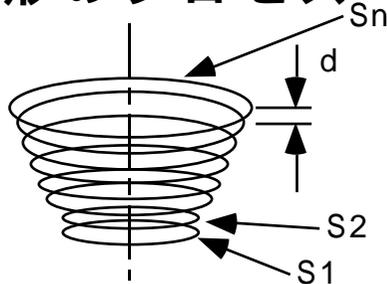
光造形のプロセス



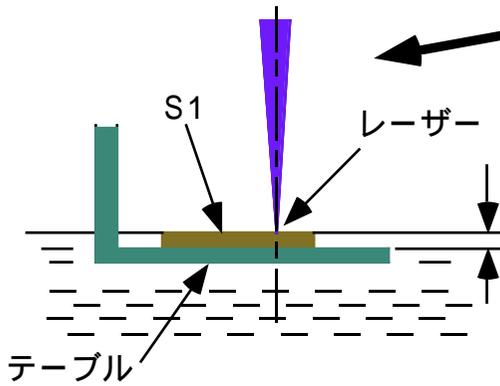
CADで入力された形状データ



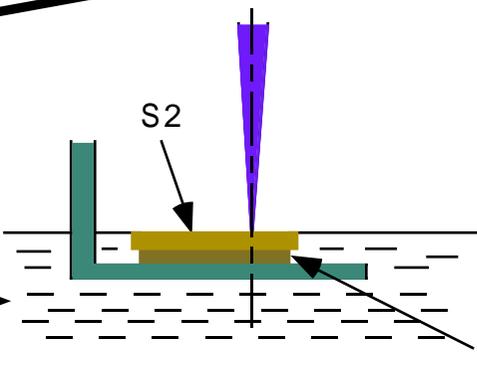
CADでSTLフォーマットに変換



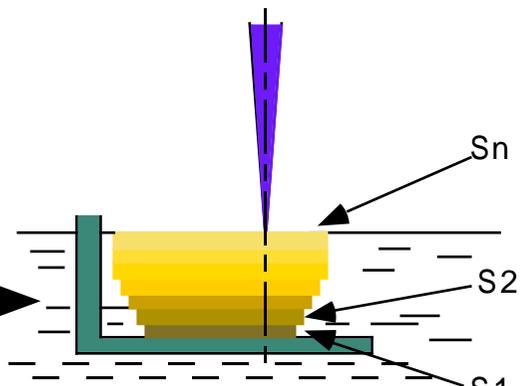
N層にスライスされたデータ



第1層の硬化



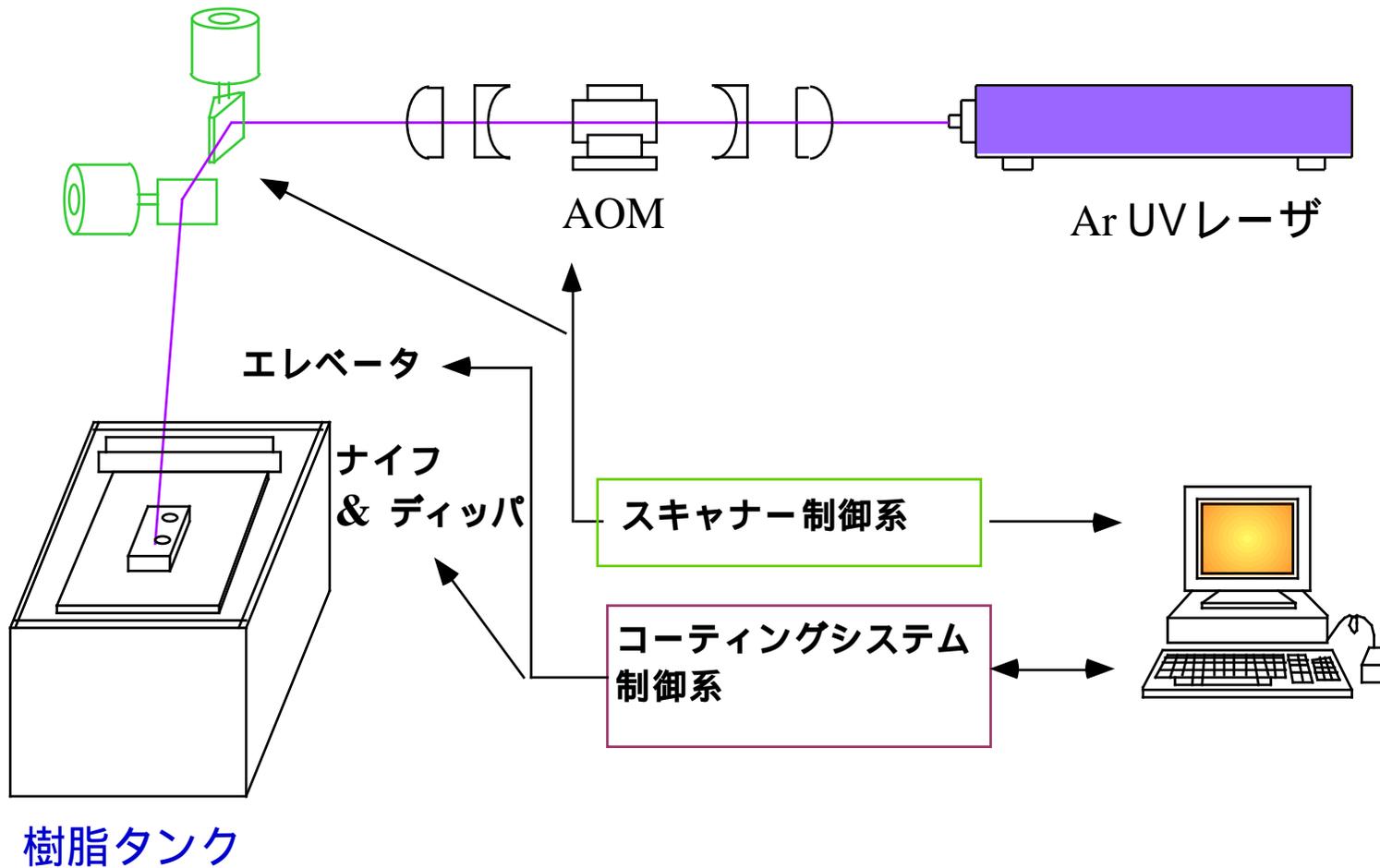
第2層の硬化



最終層の硬化

# 光造形システム

デジタルスキャナーミラー



# 光造形法の要素技術

ハードウェア

ソフトウェア

感光性樹脂

造形ノウハウ

# 光造形用樹脂への要求特性

- 1) 樹脂粘度が低いこと
- 2) 可視光下での樹脂の安定性に優れる
- 3) 硬化スピードが速い(瞬間硬化)
- 4) 硬化精度が優れている
- 5) 硬化時の体積収縮率が小さい
- 6) 硬化物の機械的物性が優れている
- 7) 人体への安全性が高い

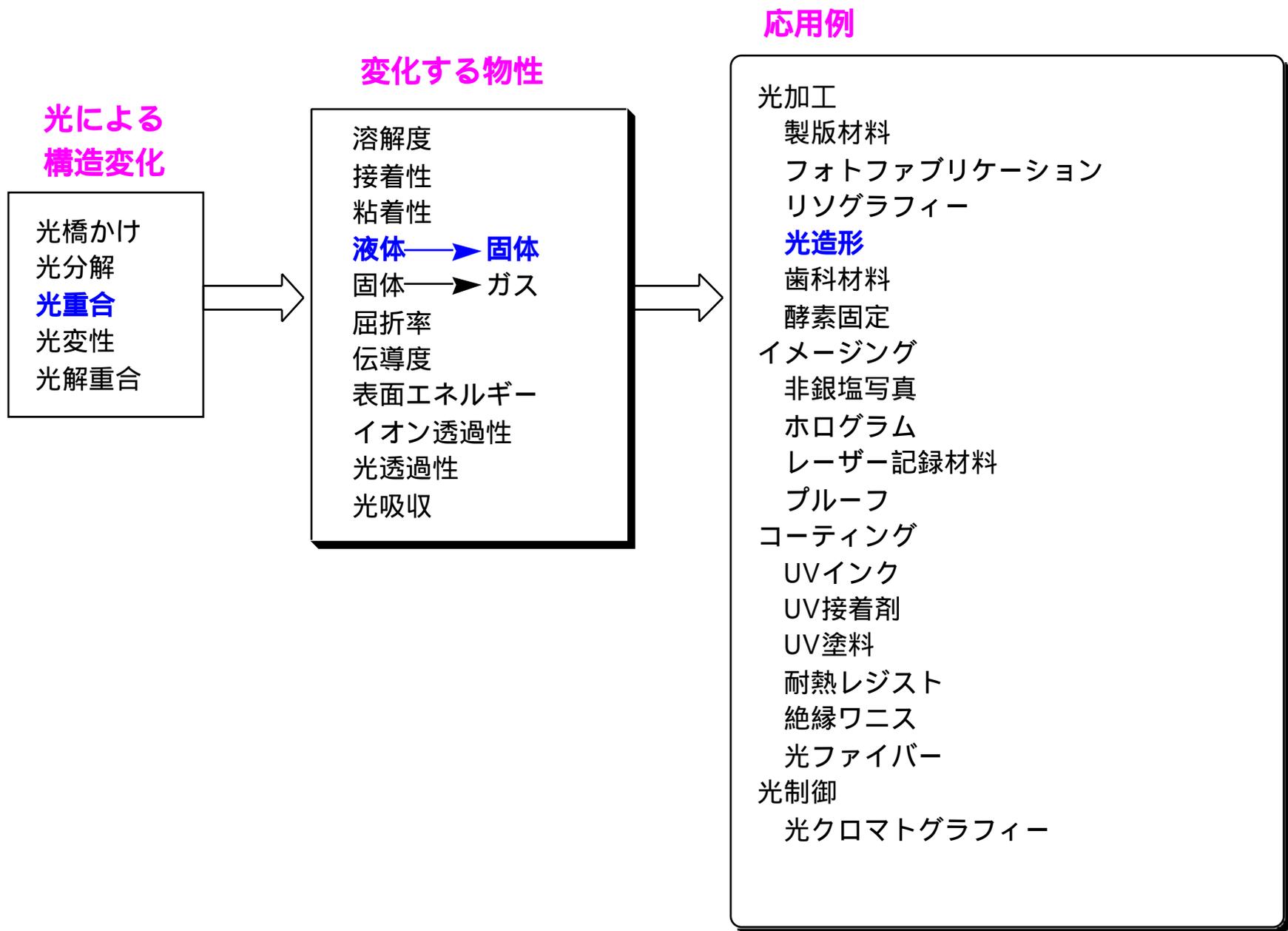


図-1 光と高分子

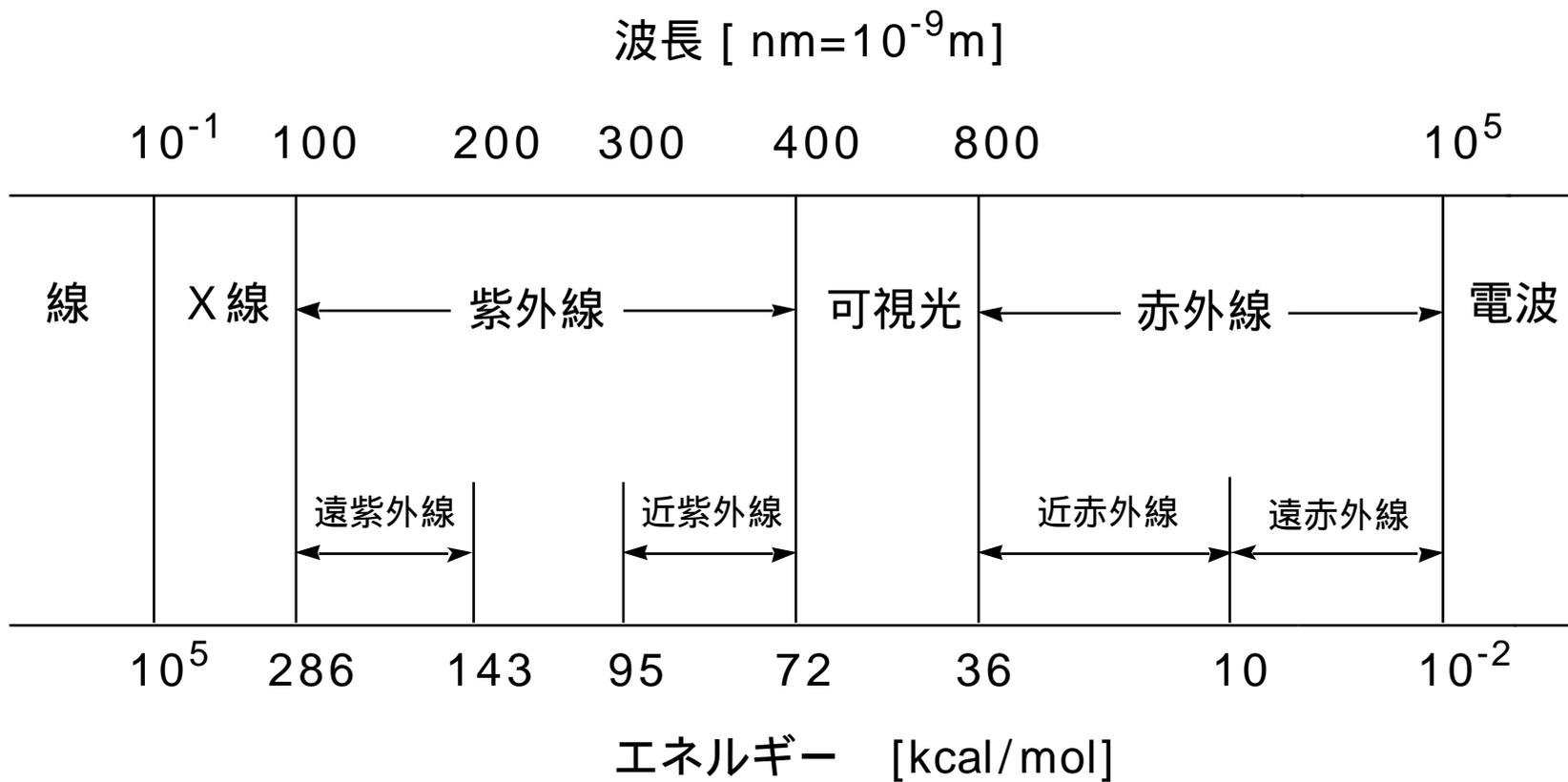


図-2 各種電磁波の波長とエネルギーの関係

表-1 感光性樹脂の分類

分類	化学反応分類	樹脂の種類	主用途
光分解型	付加反応	アジド化合物系	製版材料
	転位反応	ナフトキノンジアジド系	フォトレジスト
光架橋型	キレート反応	重クロム酸系	製版材料
	二量化反応	ポリビニルケイ皮酸系	フォトレジスト
光重合型	<b>ラジカル重合反応</b>	不飽和ポリエステル系	木工シーラー
		<b>アクリレート系</b>	インキ、レジスト コーティング、電絶 接着剤 <b>光造形</b>
	ラジカル付加反応	エン・チオール系	
	<b>カチオン重合反応</b>	<b>エポキシ系</b>	

紫外線硬化型樹脂

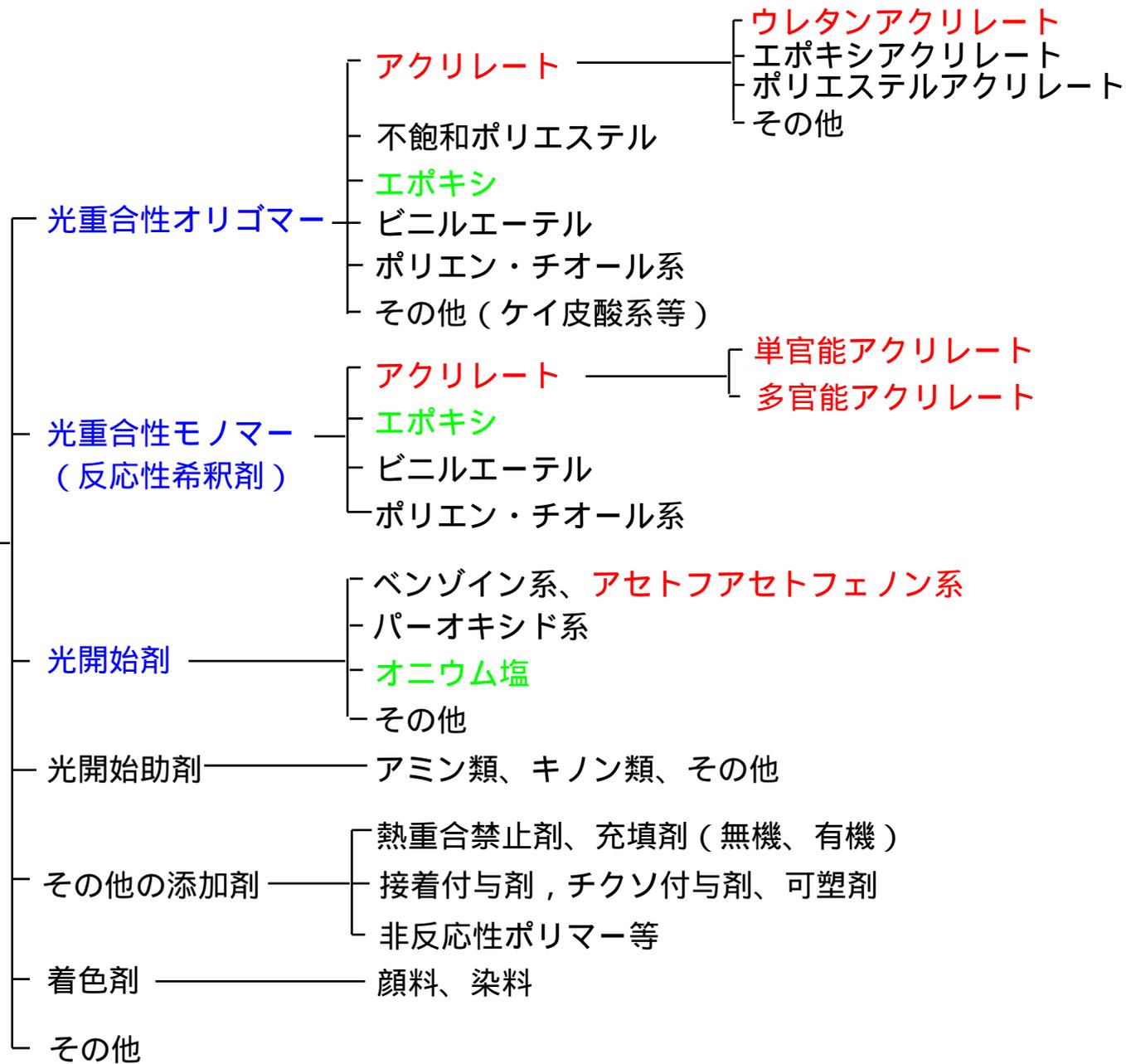
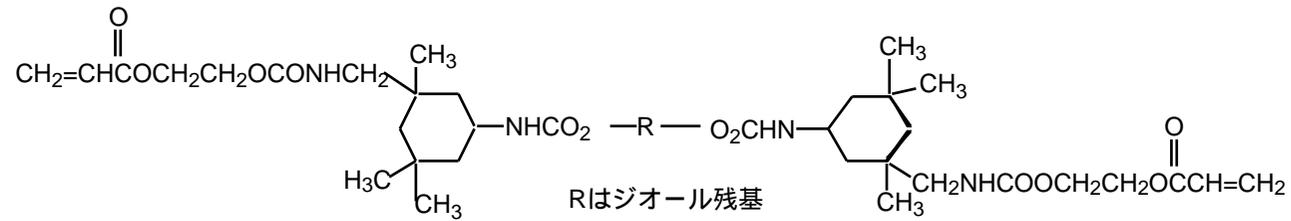
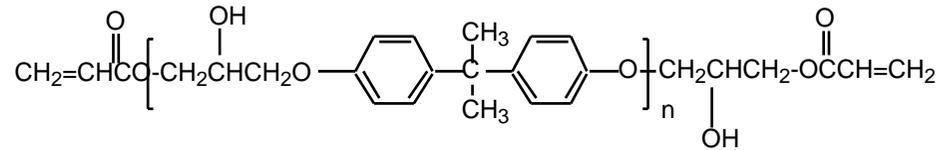


図-3 紫外線硬化型樹脂の組成

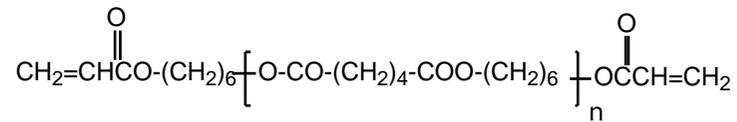
### ウレタンアクリレート



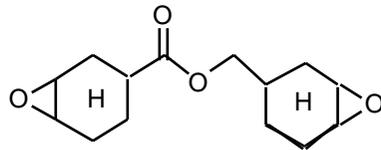
### エポキシアクリレート



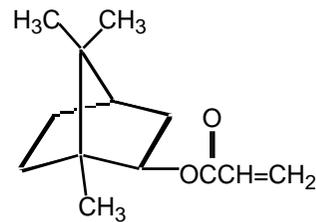
### ポリエステルアクリレート



### エポキシ



### 単官能アクリレート



### 多官能アクリレート

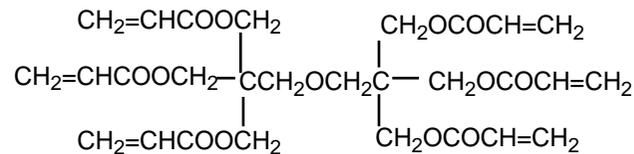


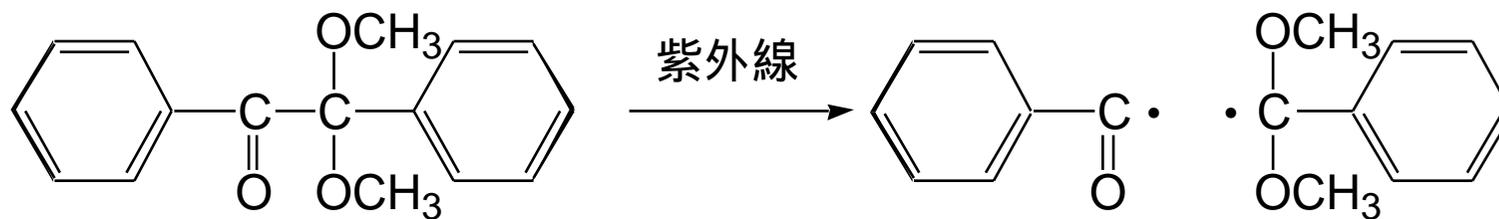
図-4 光重合性オリゴマー、モノマーの具体例

表-2 ラジカル重合、カチオン重合樹脂用開始剤、官能基種

	ラジカル重合	カチオン重合
光開始剤	<p>開裂型                      アセトフェノン型</p> <p>水素引抜き型      ベンゾフェノン</p>	<p>トリアリールスルホニウム塩</p>
官能基種	<p>アクリロイル基</p> $\text{CH}_2=\text{CHCOO}-$ <p>メタクリロイル基</p> $\text{CH}_2=\text{CCH}_3\text{COO}-$ <p>ビニル基</p> $\text{CH}_2=\text{CH}-$ <p>分子内二重結合</p> $-\text{OCOCH}=\text{CH}-\text{COO}-$	<p>エポキシ</p> $\begin{array}{cc} \begin{array}{c}   \\ \text{R}-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2 \\   \quad \diagdown \quad / \\ \quad \quad \quad \text{O} \end{array} & \begin{array}{c}   \\ \text{R}-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{C}-\text{R} \\   \quad \diagdown \quad / \quad   \\ \quad \quad \quad \text{O} \end{array} \\ \\ \begin{array}{c} \text{R}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2 \\ \quad \quad \quad \diagdown \quad / \\ \quad \quad \quad \quad \quad \text{O} \end{array} & \text{(グリシジルエーテル)} \end{array}$ <p>ビニルエーテル</p> $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{R}$

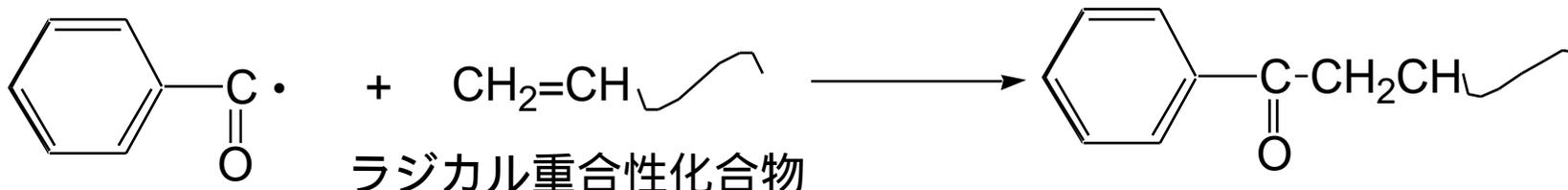
表-3 ウレタンアクリレート系とエポキシ系光造形用樹脂の比較

	ウレタンアクリレート系 (ラジカル重合)	エポキシ系 (カチオン重合)
粘度 反応性 厚膜硬化性 酸素硬化阻害 硬化時収縮率 自己接着性 造形精度 機械物性 ポットライフ		~
皮膚刺激性 臭気	~ ~	
材の選択範囲		



光重合開始剤(Irgacure 651)

分裂



硬化樹脂

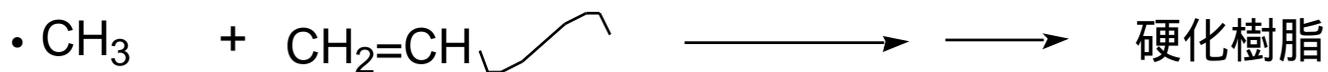
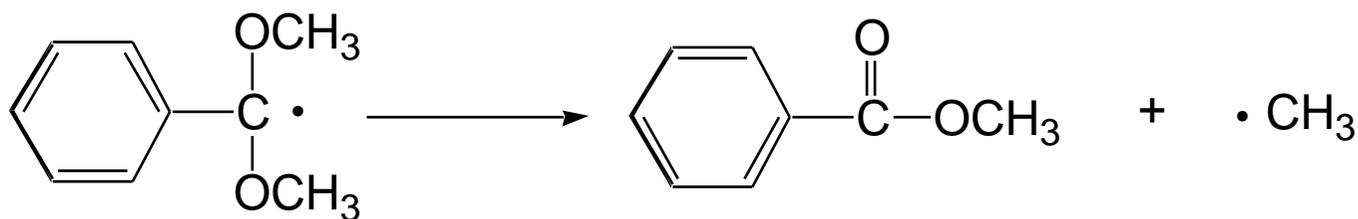


図-5 ラジカル重合性樹脂の光硬化機構

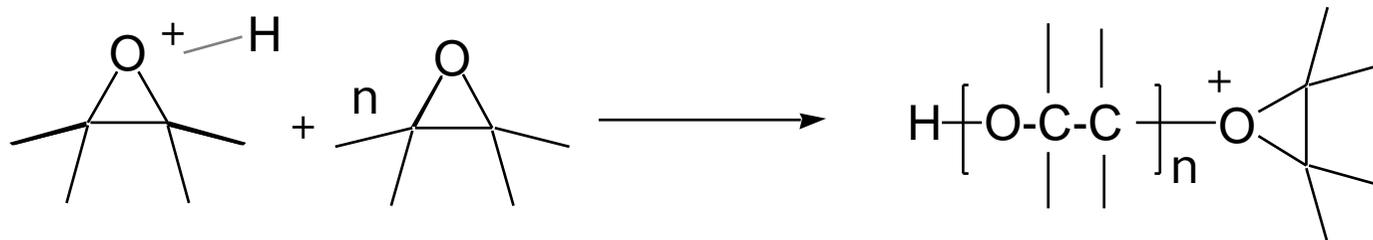
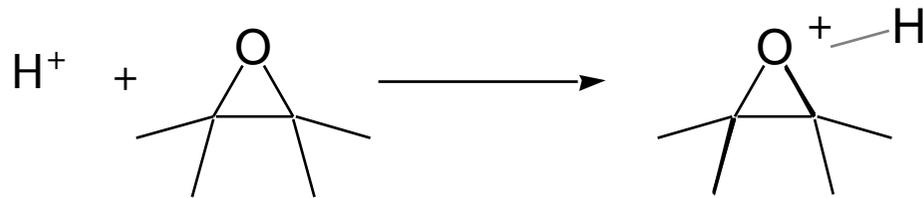
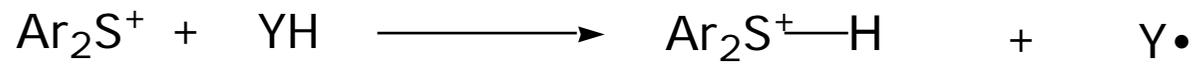
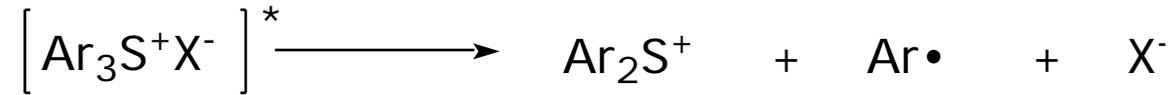
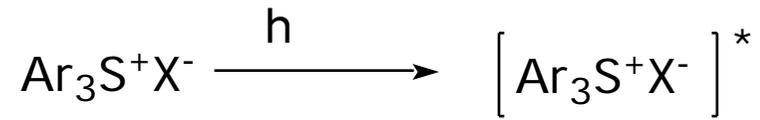


図-6 エポキシ系樹脂の光硬化機構

## 表-4 各社の代表的モデル用樹脂(Arレーザー用)

販売会社 / メーカー		D-MEC / 日本合成ゴム		C-MET / 旭電化		3D / チバガイギー	
銘柄		SCR 701	SCR 801	HS 673	HS 680	Cibatool SL 5180	Cibatool SL 5410
種類		球 <sup>o</sup> 抄	球 <sup>o</sup> 抄				
粘度(cps)		340	4,800	200	380	265	850*
密度		1.13	1.59			1.15	1.134
硬 化 物	引っ張り強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	7.7	8.6	6.8	8.0	5.6-6.6	6.1
	破断伸度 (%)	6	2	3	36.8	6-16	4.5
	引っ張り弾性率 (kg/mm <sup>2</sup> )	335	940	340	242	245-265	230
	曲げ強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	11	13	9.3	9.6	8.8-9.2	9.8
	曲げ弾性率 (kg/mm <sup>2</sup> )	318	910	230	311	249-265	284
	衝撃強度 (ノッチ付)(kg・cm/cm)	3.6	1.2	-	2.1	3.3-4.8	2.9
	衝撃強度 (ノッチ無)(kg・cm/cm)	11	13	12	-	-	-
	硬度 (シヨアD)	87	92	-	-	84	86
	熱変形温度 ( )	53	250	55	56(98)**	42	64(102)**
外観		淡黄色透明	乳白色 不透明	淡黄色透明	淡黄色透 明	黄色透明	黄色透明
特徴 / 用途		一般用途	フィラー 型	低硬化深度	低硬化深 度	一般用途	一般用途

\*)30 , \*\*)熱処理後の熱変形温度 ( )

## 表-5 SOLIFORM™システム用樹脂

種類		TSR 810	TSR 820	TSR 753	TSR 754	TSR 920	TSR 1920B	TSR 1970	ABS樹脂
項目		アクリレート エポキシ	ウレタン アクリレート	ウレタン アクリレート	ウレタン アクリレート	ウレタン アクリレート	ウレタン アクリレート	ウレタン アクリレート	
ベース樹脂									
粘度(cps)		557	225	35,000	25,000	570	500	56,000	
密度		1.135	1.136	1.71	1.71	1.14	1.15	2.0	
硬 化 物	引っ張り強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	6.9	8.0	8.5	9.1	7.8	0.8	12.3	4-6
	破断伸度 (%)	5.4	6.0	2	1.4	6.2	100	1.7	15-60
	引っ張り弾性率 (kg/mm <sup>2</sup> )	254	290	1600	1700	290	1.0	2,200	160-290
	曲げ強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	10.9	11.0	12	14.8	10.8	-	17.6	5-10
	曲げ弾性率 (kg/mm <sup>2</sup> )	291	312	1600	1720	300	-	2,710	200-270
	衝撃強度 (ノッチ付き)(kg・cm/cm)	-	-	-	-	-	-	1.9	5-20
	硬度 (ショアD)	87	87	90	90	86	30-40	94	R90-R114*
	熱変形温度 ( )	48	62	250	250	120	-	>300	77-80
	体積収縮率 (%)	5.8	5.7	1.7	1.8	6.9	5.0	1.8	-
	熱伝導率(W/m・ )			0.46	-	-	-	0.75	
線膨張係数(cm/cm/ )				4.6x10 <sup>-6</sup>				1.2x10 <sup>-6</sup>	
外観		無色透明 強靱	不透明 高剛性	不透明 高剛性	白色 不透明	不透明 高剛性	透明 耐熱	透明 柔軟	
用途		一般用途	射出成型型	射出成型型	ロストワッ クス	射出成型型	モデル	モデル	

\*) ロックウエルRスケール

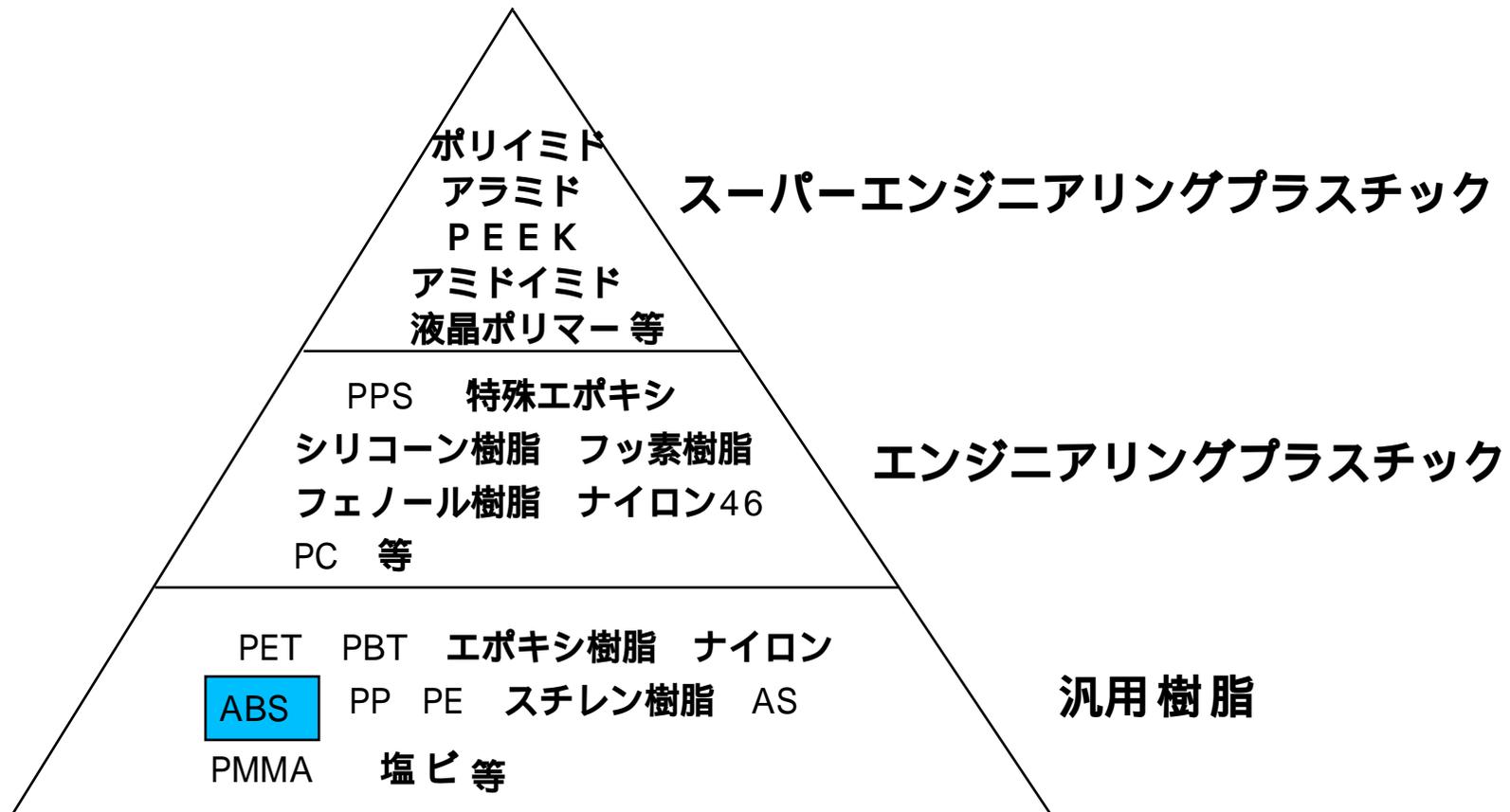


図-7 プラスチックスの性能ダイヤグラム

# 新規用途開発-1

"ラピッドプロトタイピングから  
ラピッドツーリングへ"

## 1) 真空注型用型

マスターレス化  
直接注型用型作製

## 2) 射出成形用樹脂金型

実部品と同一樹脂の試作品  
小ロット生産  
本金型へのフィードバック

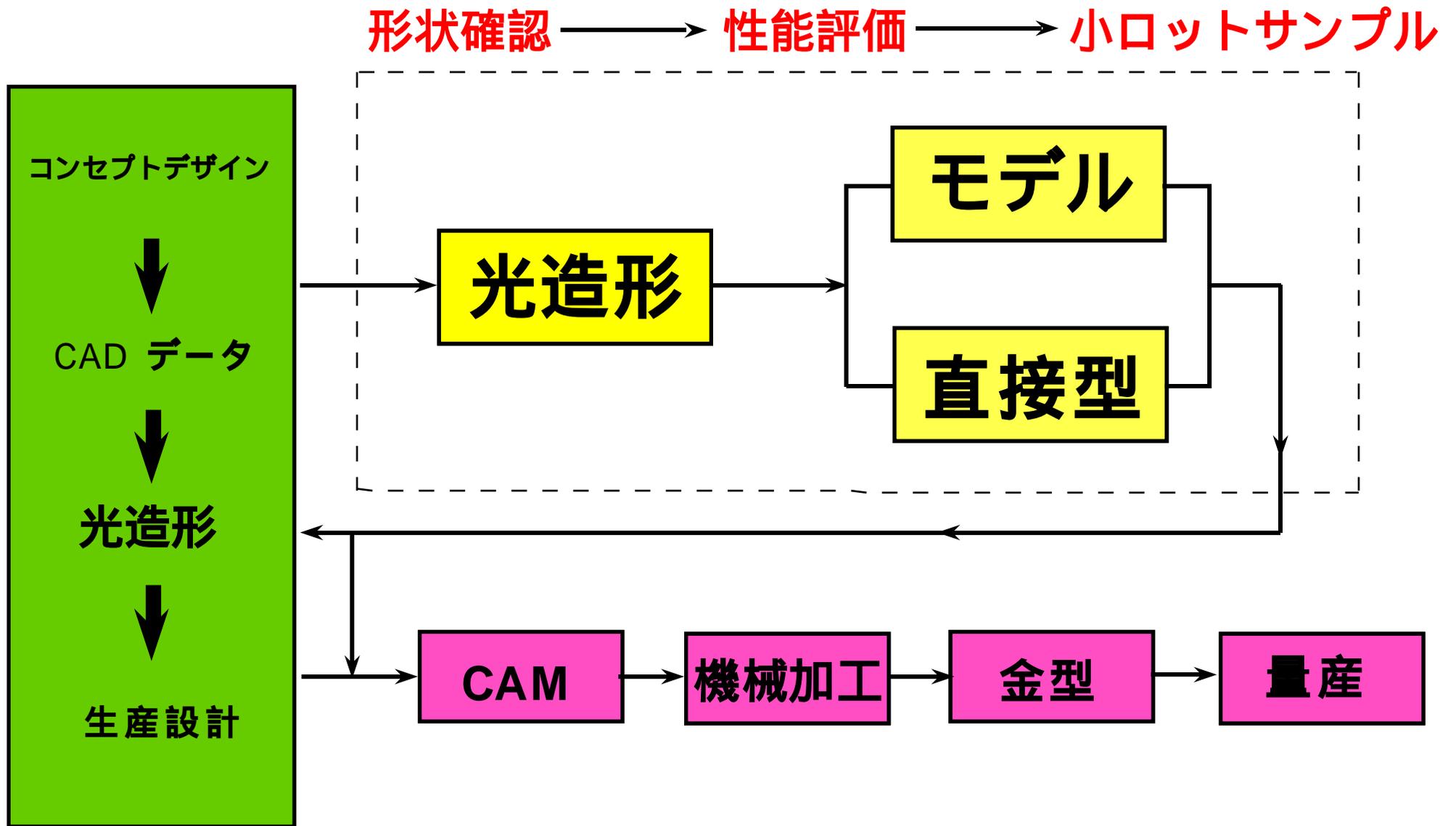


図-8 光造形を用いるコンカレントエンジニアリング

# 新規用途開発-2

## "高機能性モデル用樹脂"

### 1) ゴム状軟質樹脂

複雑形状軟質モデル  
機能試験モデル

### 2) 耐熱性樹脂

機構部品の試作  
機能試験モデル

# 今後の展開

## 1) 高精度化

寸法精度向上 ( $\pm 0.05 \sim \pm 0.1\text{mm}$ )

## 2) 高機能化

耐熱性向上(汎用:  $\sim 80$  、耐熱:  $\sim 150$  )

実装部品への応用

直接型用樹脂の性能向上

ゴム状軟質樹脂の性能向上

ロストワックス用樹脂

## 3) 寸法の経時変化の防止

# まとめ

