



背景


積層造形法


- ・光造形法
- ・紙積層法
- ・粒子堆積法
- ・樹脂押し出し法
- ・SLS (粉末焼結法)


 材料が光硬化性樹脂に
限定

 特殊な形状ではサポート
が必要

 造形後に歪み、収縮

 熱硬化性樹脂、金属
セラミックなど材料が多様

 サポート不要で自由に
三次元形状造形

 光造形に比べ低コスト、
高速生産

背景

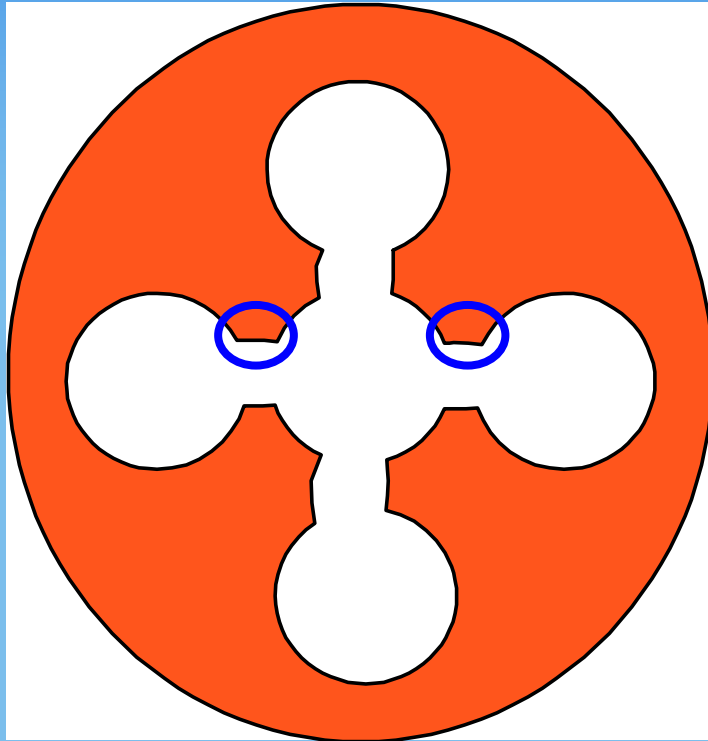
積層造形法

- ・光造形法
- ・紙積層法
- ・粒子堆積法
- ・樹脂押し出し法
- ・SLS (粉末焼結法)

表I：光造形法とSLS法の比較

	光造形法	SLS法
長所	<ul style="list-style-type: none">・造形品が緻密・造形品が透明	<ul style="list-style-type: none">・サポートなしで三次元自由形状が造形可能
短所	<ul style="list-style-type: none">・特殊な形状ではサポート必要	<ul style="list-style-type: none">・造形品が多孔質である・造形品が不透明である

光造形法で造形できない形状



○ = サポートが必要な箇所

光造形法は管状部品の
造形が苦手

光造形で造形できない
断面形状

本報の目的

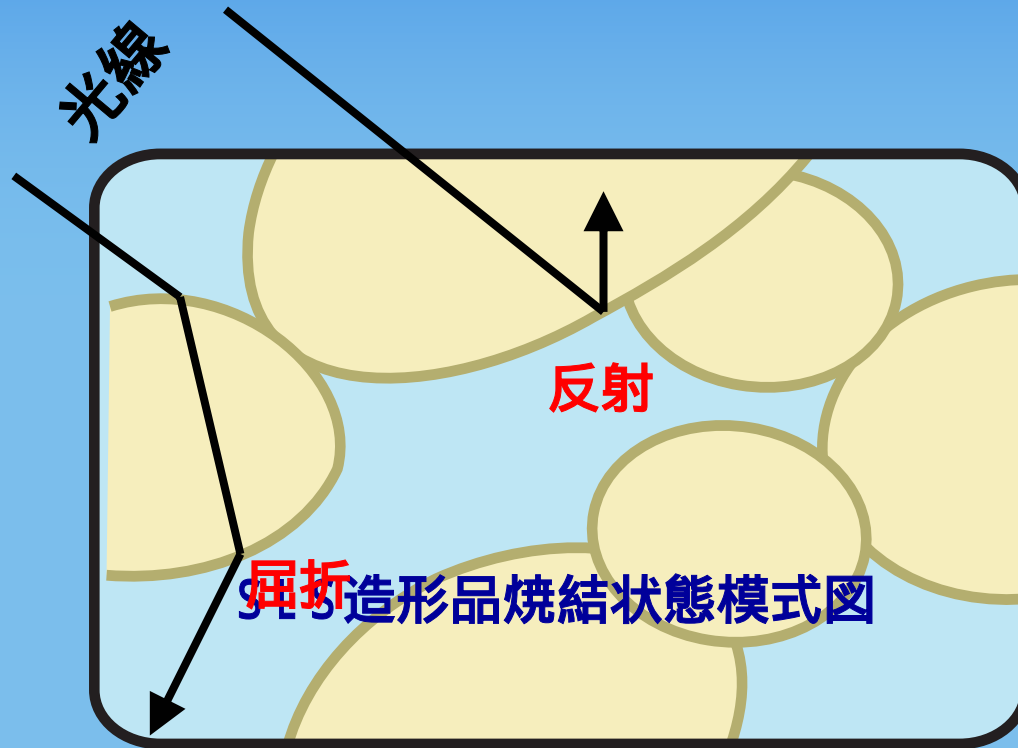


SLS造形品を透明化する方法を提案し、
その基礎的な実験を行う。

SLSによる透明部品が活躍すると予想される分野

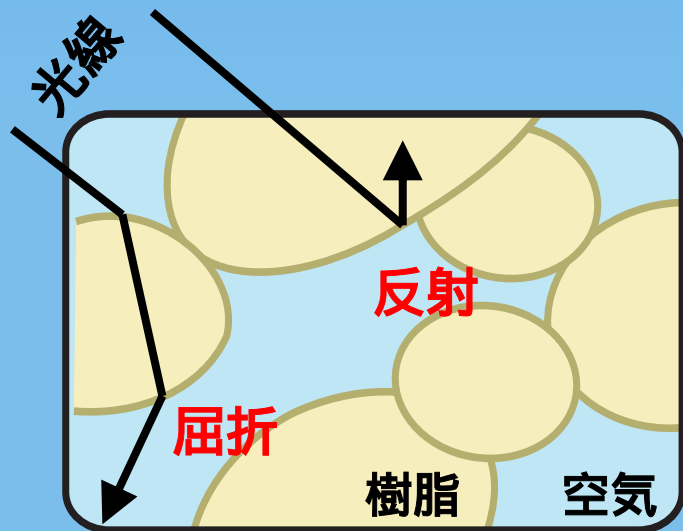
- ・透明エンジン部品作成 エンジン内部の流体解析
- ・透明血管モデル 血流の解析

SLS造形品が透明でない理由

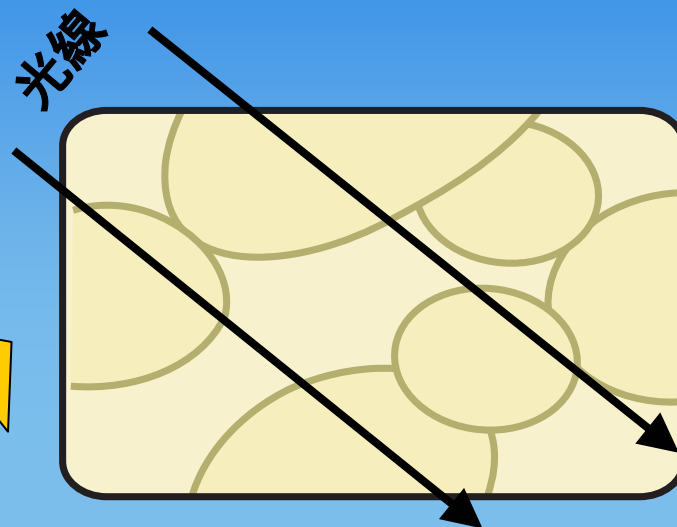
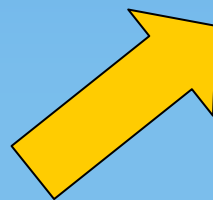


SLS造形品内部での光の進み方

透明化の方法



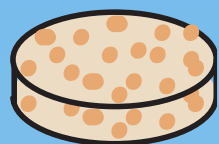
SLS造形品内部での
光の進み方



SLS造形品の空孔をSLS造形樹脂と
同じ屈折率の樹脂で満たす時の
光の進み方

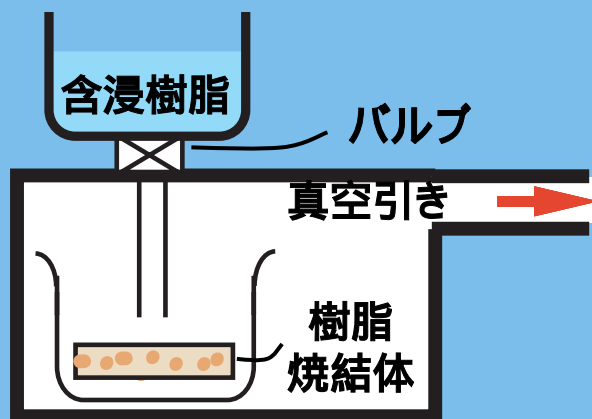
透明化の工程

1



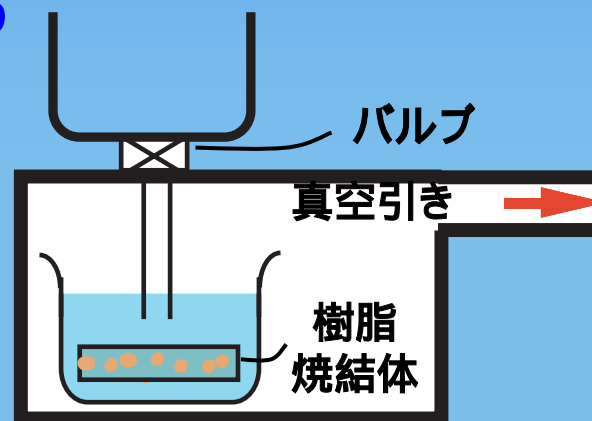
樹脂焼結体の作成

2



減圧下に
樹脂焼結体を置く

3



焼結体への
樹脂含浸

4



透明部品完成

実験に使用した樹脂焼結体

 PMMA

 PS(Cast Form)

 MAS(スチレン・メタクリル酸メチル共重合体)

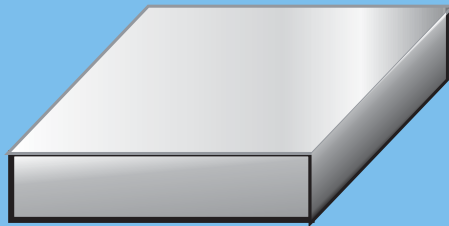
PSのみSLS造形可能

PMMAとMASはSLS造形条件の探索が困難

!

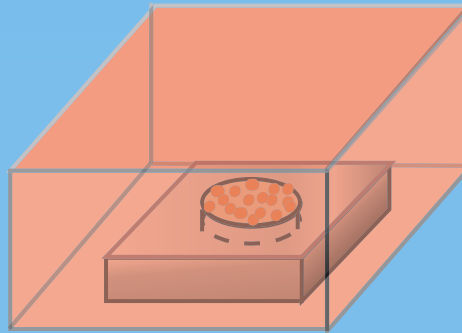
樹脂焼結体の作成

1



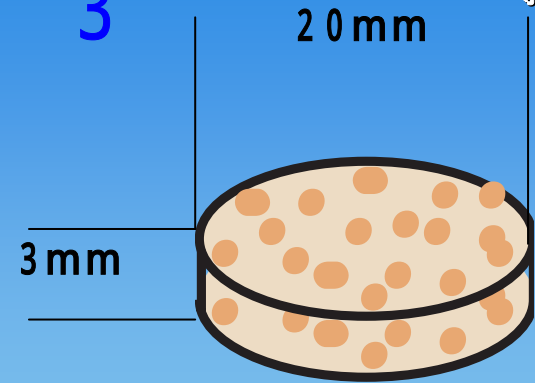
型に粉充填

2



オーブンで
加熱・焼結

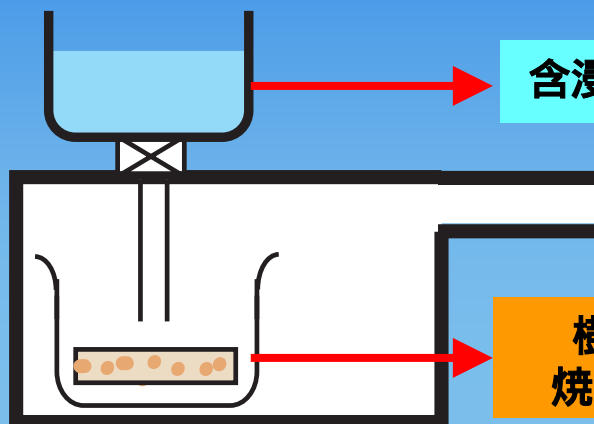
3



樹脂焼結体
完成

実験

：材料に透明性の高いアクリルを使用



含浸樹脂

熱硬化性アクリルモノマー
 $n=1.54$

樹脂
焼結体

PMMA(アクリルポリマー)
 $n=1.49$



PMMA焼結体

樹脂
含浸

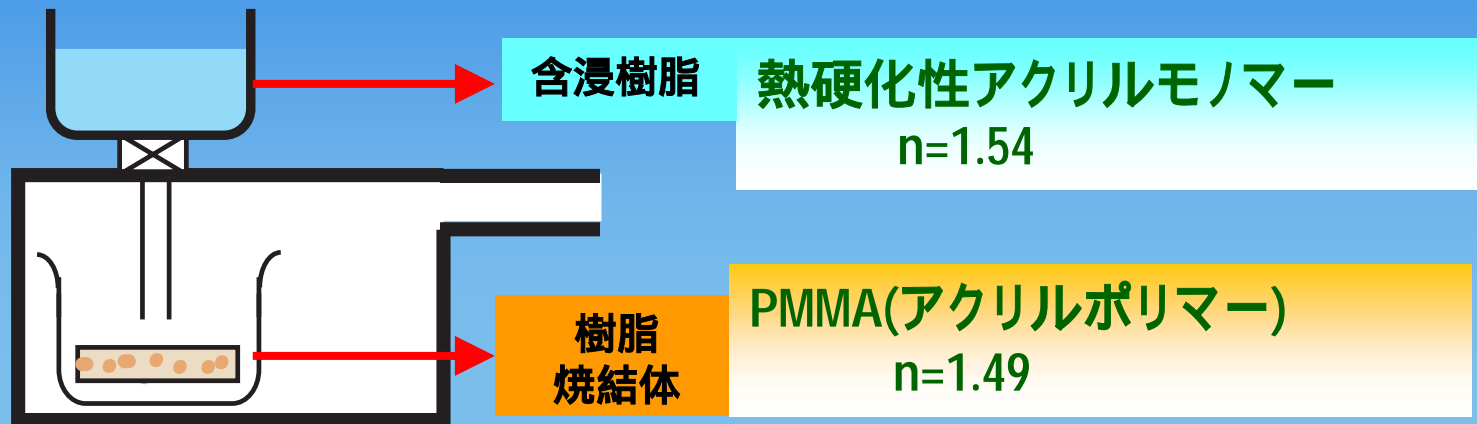


含浸硬化後の部品

硬化条件：100 1時間加熱

実験

：材料に透明性の高いアクリルを使用

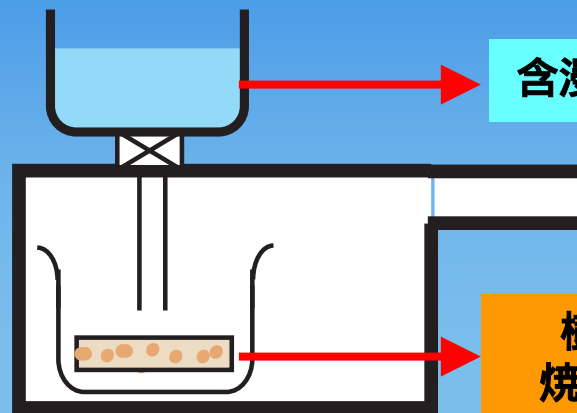


含浸硬化後の部品

PMMA 焼結体の形状が崩れた原因

アクリルポリマーであるPMMA
焼結体が熱硬化性アクリルモノマー
に溶解したため

実験

：含浸樹脂に硬化の速い瞬間接着剤使用^室

含浸樹脂

アクリル系瞬間接着剤

 $n=1.49$ 樹脂
焼結体

PMMA(アクリルポリマー)

 $n=1.49$ 

PMMA焼結体

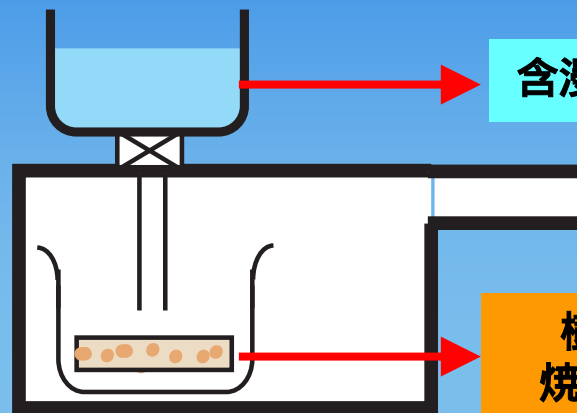
樹脂
含浸

樹脂含浸後の部品

硬化条件：常温1時間で硬化

実験

：含浸樹脂に硬化の速い瞬間接着剤使用



含浸樹脂

アクリル系瞬間接着剤

 $n=1.49$ 樹脂
焼結体

PMMA(アクリルポリマー)

 $n=1.49$ 

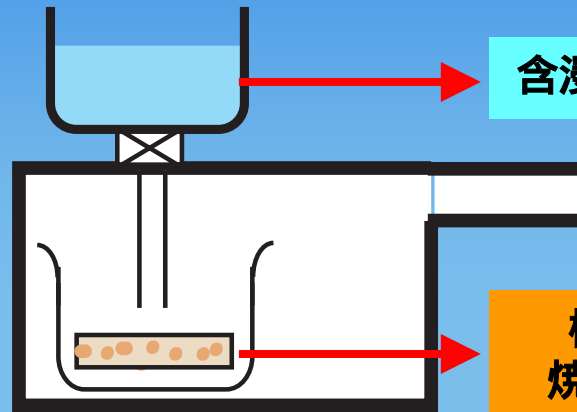
樹脂含浸後の部品

PMMA焼結体柔らかくなった原因

アクリルポリマーであるPMMA
焼結体がアクリルモノマーである
アクリル系瞬間接着剤に溶解した
ため

実験

：含浸樹脂にPMMAを侵しにくい
エポキシ使用



含浸樹脂

熱硬化性エポキシ

$n=1.61$

樹脂
焼結体

PMMA(アクリルポリマー)

$n=1.49$



PMMA焼結体

樹脂
含浸

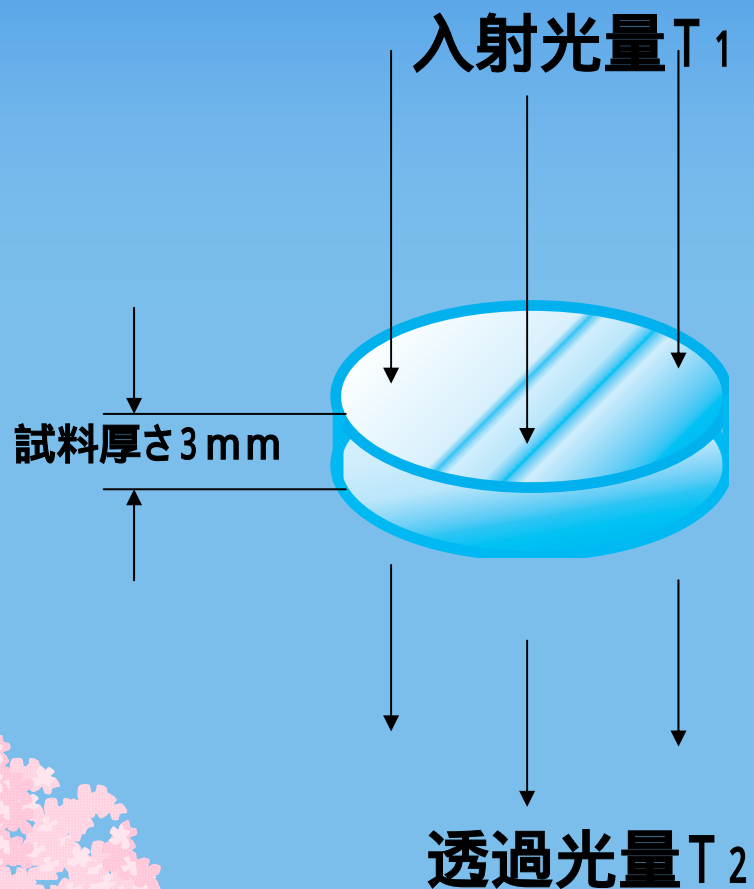


樹脂含浸後の部品

形状維持に成功

硬化条件：50 5時間加熱

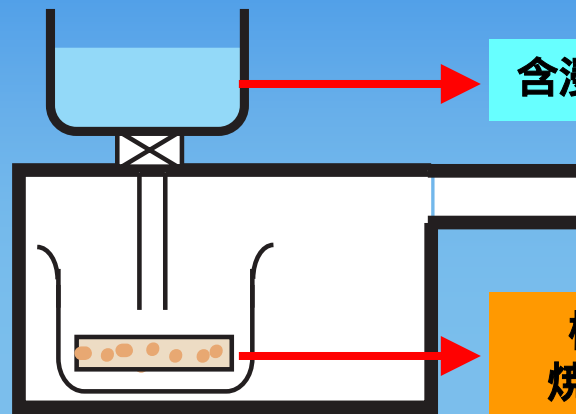
光線透過率 T_t



$$T_t = T_2 / T_1$$

実験

：含浸樹脂にPMMAを侵しにくい
エポキシ使用



含浸樹脂

熱硬化性エポキシ

$n=1.61$

樹脂
焼結体

PMMA(アクリルポリマー)

$n=1.49$



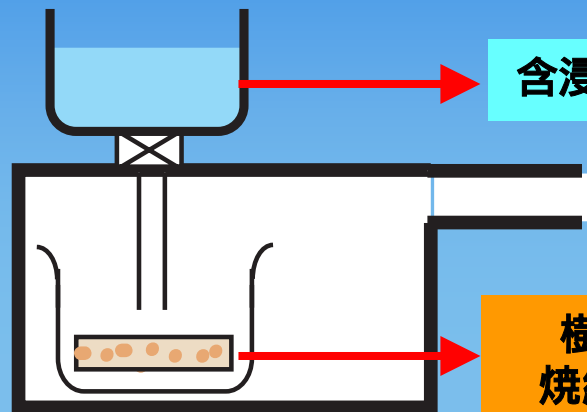
樹脂含浸後の部品

光線透過率 20%

PMMAと熱硬化性エポキシの
屈折率の差が1.12と大きかった
ため光線透過率が低かった

実験

：樹脂焼結体にエポキシと屈折率が近いPS(Cast Form)使用



含浸樹脂

熱硬化性エポキシ

$n=1.61$

樹脂
焼結体

PS(Cast Form)

$n=1.59$



PS 焼結体

樹脂
含浸



樹脂含浸後の部品

硬化条件：50 5時間加熱

実験

：樹脂焼結体にエポキシと屈折率が近いPS(Cast Form)使用



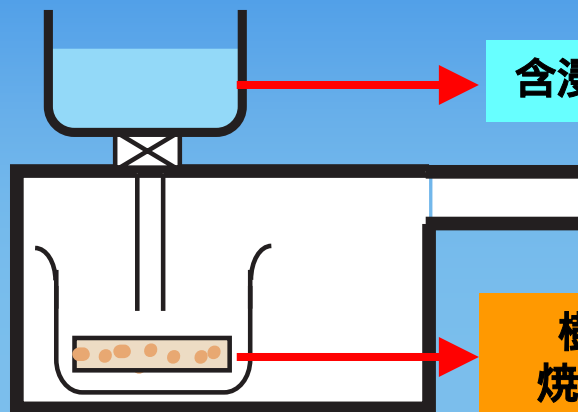
樹脂含浸後の部品

光線透過率 50%

PSと熱硬化性エポキシの
屈折率の差が0.02と僅か
だったため光線透過率上昇

実験

：屈折率の合った樹脂焼結体と 含浸樹脂による実験



UV硬化性エポキシ
 $n=1.54$

MAS(メタクリル酸メチル・
スチレン共重合体)
 $n=1.54$



MAS焼結体

樹脂
含浸

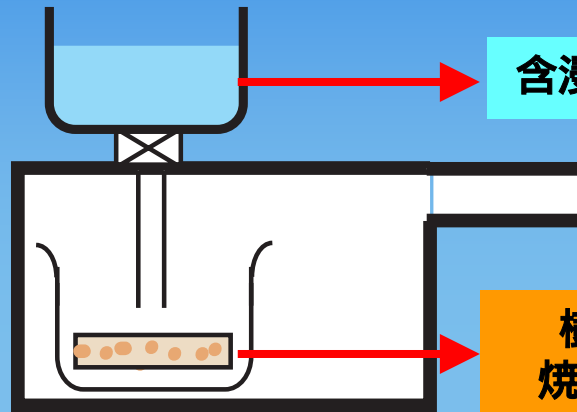


樹脂含浸後の部品

硬化条件：紫外線120秒照射

実験

：屈折率の合った樹脂焼結体と 含浸樹脂による実験



含浸樹脂

UV硬化性エポキシ

 $n=1.54$ MAS(メタクリル酸メチル・
スチレン共重合体) $n=1.54$ 樹脂
焼結体

樹脂含浸後の部品

光線透過率 71%

MASとUV硬化性エポキシで
屈折率を合わせたら
光線透過率更に上昇

まとめ：成果



PMMA焼結体への熱硬化性エポキシ含浸により
焼結体の形状維持が可能



樹脂焼結体と含浸樹脂の屈折率を合わせる方法により
SLS造形品の透明化が可能

表2：樹脂焼結体と含浸樹脂とそれぞれの屈折率

実験 番号	焼結体		含浸剤		形状 維持	透過率 (%)
	樹脂	屈折率	樹脂	屈折率		
	PMMA	1.49	熱硬化性アクリル	1.54	×	N.A.
	PMMA	1.49	アクリル系瞬間接着剤	1.49		N.A.
	PMMA	1.49	熱硬化性エポキシ	1.61		20
	PS	1.59	熱硬化性エポキシ	1.61		50
	MAS	1.54	UV硬化性エポキシ	1.54		71

屈折率は各物性表の値であり、算出方法は異なる

まとめ：問題点



透明化部品の光線透過率は試料厚さ3mmで最高71%



SLS造形可能なCastFormではその透明化部品の光線透過率が50%

樹脂焼結体と含浸樹脂とそれぞれの屈折率

実験 番号	焼結体		含浸剤		形状 維持	透過率 (%)
	樹脂	屈折率	樹脂	屈折率		
	PMMA	1.49	熱硬化性アクリル	1.54	×	N.A.
	PMMA	1.49	アクリル系瞬間接着剤	1.49		N.A.
	PMMA	1.49	熱硬化性エポキシ	1.61		20
	PS	1.59	熱硬化性エポキシ	1.61		50
	MAS	1.54	UV硬化性エポキシ	1.54		71

屈折率は各物性表の値であり、算出方法は異なる

今後の課題



実際のSLS造形品の透明化



ヘーズ値の測定による透明化部品の曇り度の評価



透明化部品の更なる透明性の向上

表2：樹脂焼結体と含浸樹脂とそれぞれの屈折率

実験 番号	焼結体		含浸剤		形状 維持	透過率 (%)
	樹脂	屈折率	樹脂	屈折率		
	PMMA	1.49	熱硬化性アクリル	1.54	×	N.A.
	PMMA	1.49	アクリル系瞬間接着剤	1.49		N.A.
	PMMA	1.49	熱硬化性エポキシ	1.61		20
	PS	1.59	熱硬化性エポキシ	1.61		50
	MAS	1.54	UV硬化性エポキシ	1.54		71

屈折率は各物性表の値であり、算出方法は異なる