

# 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

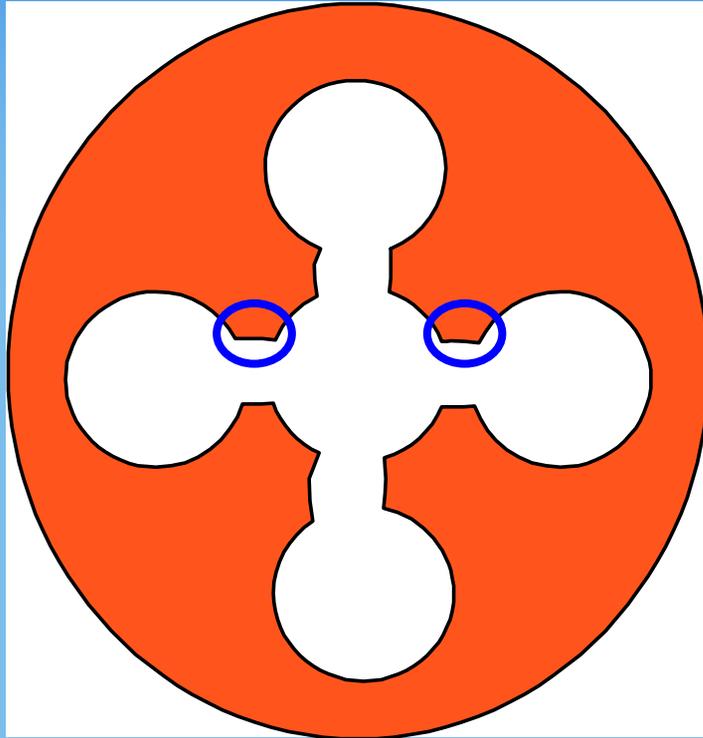
## 積層造形法

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

# 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

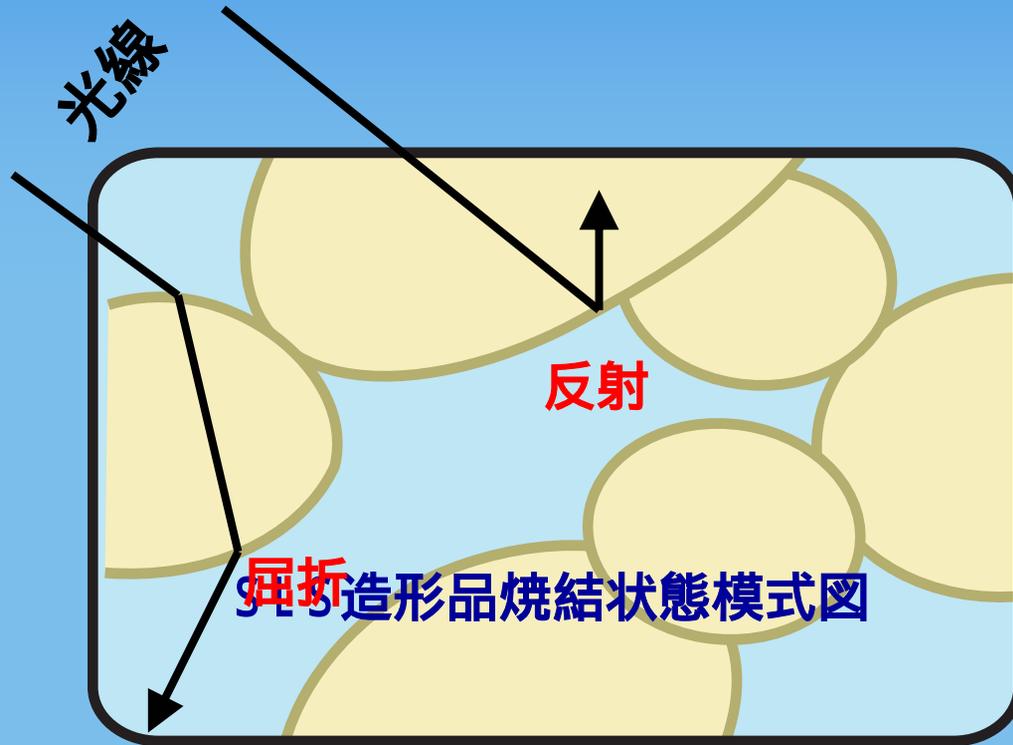


SLS造形品を透明化する方法を提案し、その基礎的な実験を行う。

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

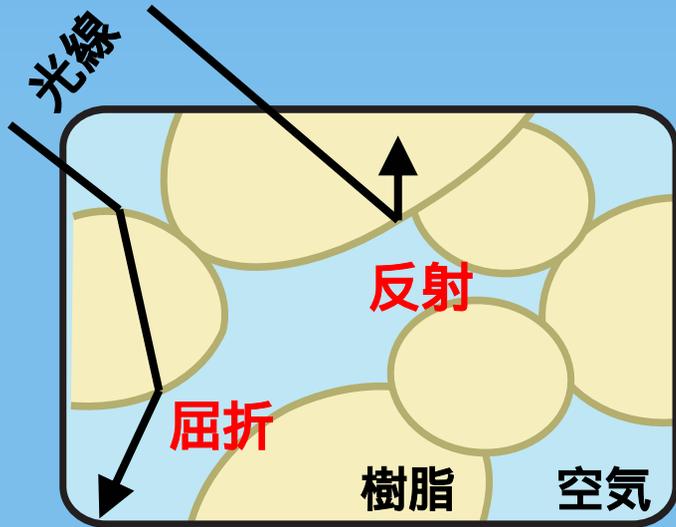


SLS造形品焼結状態模式図

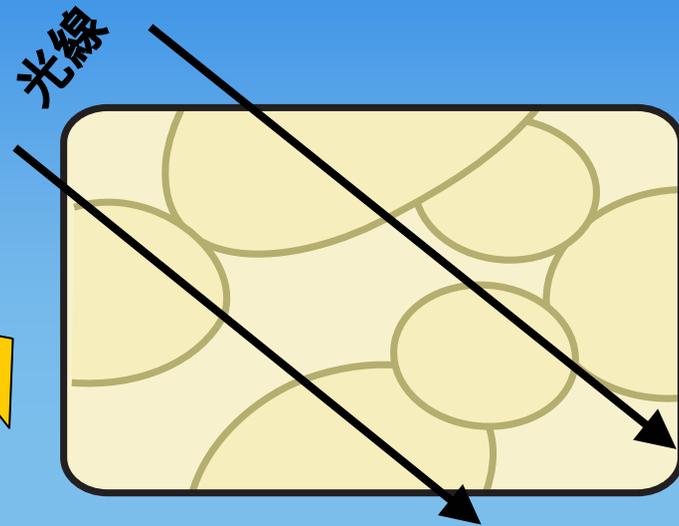
SLS造形品内部での光の進み方



# 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



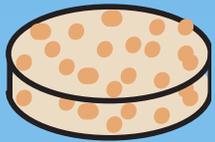
# 透明化の工程

4



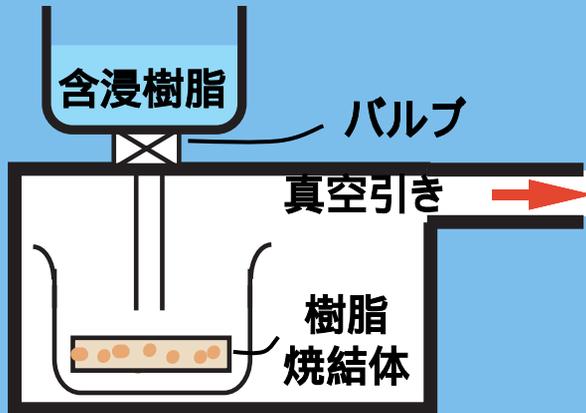
透明部品完成

1



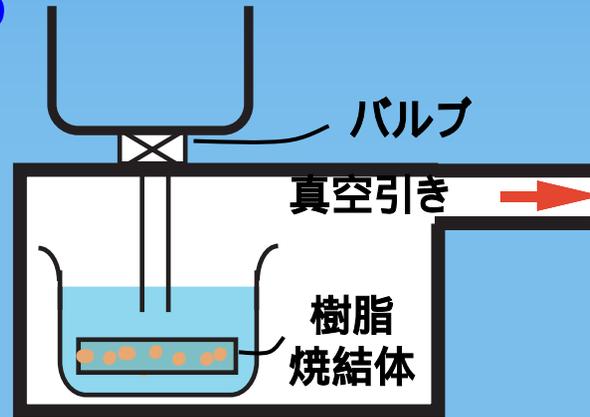
樹脂焼結体の作成

2



減圧下に  
樹脂焼結体を置く

3



焼結体への  
樹脂含浸



# 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!

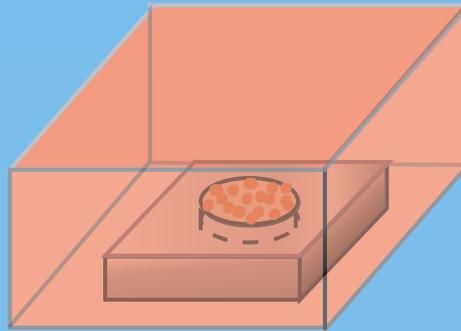
# 樹脂焼結体の作成

1



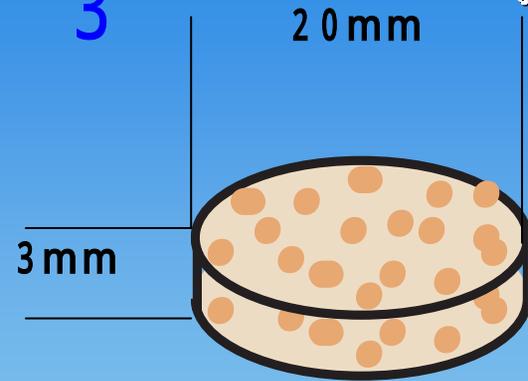
型に粉充填

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



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



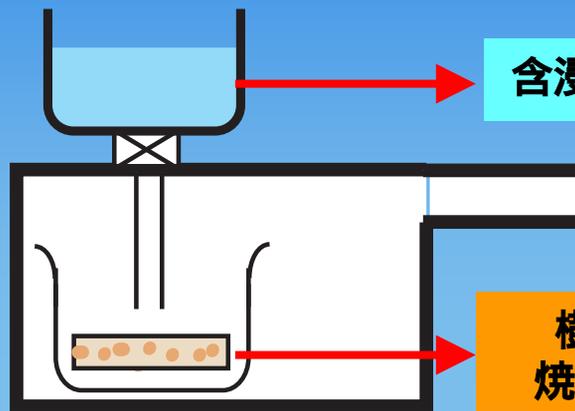
含浸硬化後の部品

### 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



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<sup>室</sup>

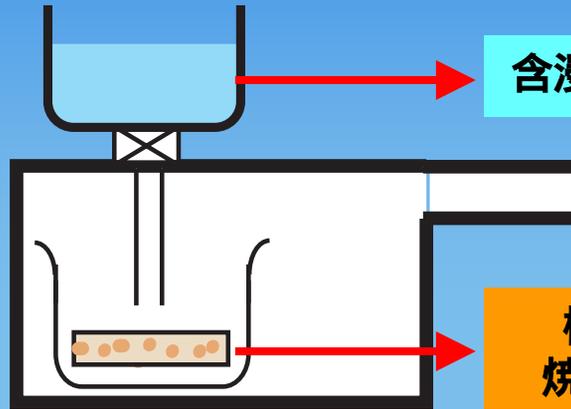
樹脂含浸後の部品

## 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

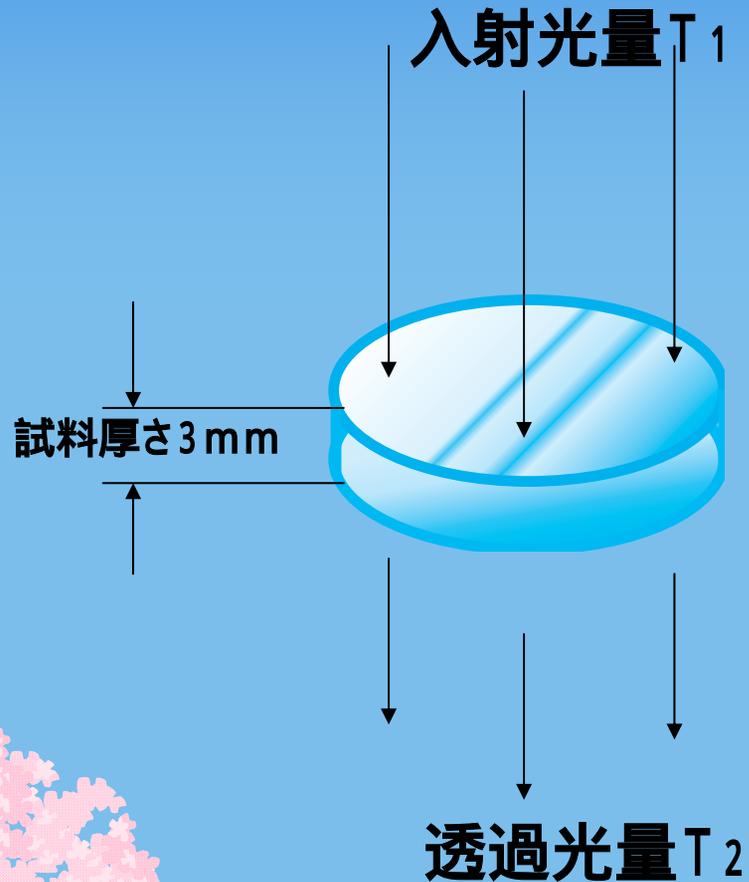


樹脂含浸後の部品

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



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



PS 焼結体



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



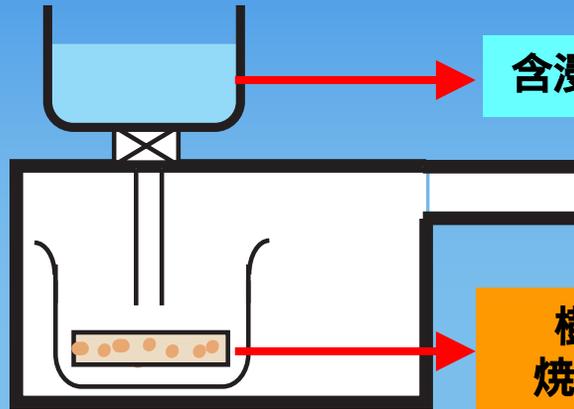
樹脂含浸後の部品

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



含浸樹脂

UV硬化性エポキシ

$n=1.54$

樹脂  
焼結体

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

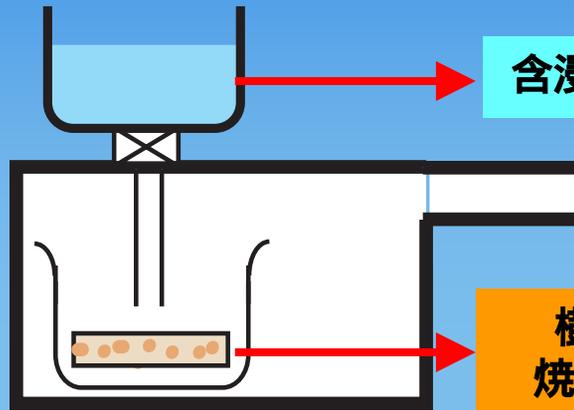


樹脂含浸後の部品

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

$n=1.54$

樹脂  
焼結体

MAS(メタクリル酸メチル・  
スチレン共重合体)

$n=1.54$



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