

共同研究

シミュレーション技術を活用した 樹脂 3D プリント製レンズアダプタの開発

片岡 智史* 八木澤 秀人* 室井 博道**

Development of a Resin 3D-Printed Lens Adapter Based on Simulation-Driven Design
KATAOKA Satoshi, YAGISAWA Hideto, MUROI Hiromichi

レンズの Curve-Generator (CG) 加工で使用するアダプタを樹脂 3D プリントで内製化し、従来のポリアセタール (POM) 製アダプタとレンズ加工精度やコスト、リードタイムを比較した。シミュレーションによる応力解析を実施し、従来材料の POM と同等のレンズ固定力を有する樹脂 3D プリント製アダプタを設計した。設計したアダプタを光造形方式の樹脂 3D プリントで造形し、コストやリードタイムを算出した。3D プリント製アダプタでは、POM 製アダプタと比較して、コストとリードタイムは 50%以上減となることが明らかになった。試作した 3D プリント製アダプタを使用し、レンズの CG 加工を行った。結果として、3D プリント製アダプタでは、POM 製アダプタと比較し、レンズ片肉量を低減できることを確認できた。

Key words: レンズアダプタ、3D プリント、光造形、シミュレーション、応力解析

1 はじめに

レンズはカメラ、医療機器、半導体露光装置、天体望遠鏡など様々な産業分野に使用される光学部品である。レンズの大きさは、医療機器用では数ミリメートル、天体望遠鏡用では 1 メートルを超えるものも存在し、少量多品種化が進んでいる^{1) 2) 3)}。

共同研究先ではレンズの CG 加工を行っている。CG 加工とは、レンズアダプタと呼ばれる樹脂製の治具を使用してカーブジェネレータにガラス材料を固定し、ダイヤモンド工具でレンズ曲面を創出する工程である。現在は自社で設計したレンズアダプタを外注で製作しており、コストや納期が課題である。また、レンズアダプタ設計ノウハウの定量化も課題である。外注したレンズアダプタは、加工するレンズに合わせて手加工で修正する必要がある、作業の属人化も課題になっている。レンズの少量多品種化により、上述の課題は更に深刻化すると考えられる。

そこで本研究ではシミュレーション技術を用いた数値解析結果を活用し、レンズアダプタの設計を行った。さらに、設計したレンズアダプタを 3D プリントで作製することで、低コスト化やリードタイムの短縮が可能か、検証を行った。

2 研究の方法

2.1 レンズアダプタ設計

図 1 にレンズの CG 加工の様子を示す。レンズはアダプタのツメに挟み込むように固定する。アダプタはダイヤモンドフラムチャックと呼ばれるチャック機構を介してカーブジェネレータ上に固定される。アダプタのツメは、加工前に芯出しを行う必要がある。CG 加工を行っていくと、アダプタのツメはレンズとの接触摩擦により徐々に消耗し、レンズ厚みのばらつきの絶対量を示す片肉量が悪化する。片肉量が許容値を超えた場合には、ツメの再芯出しを行い、最終的にレンズの固定が不可能になるまで使用する。従来のアダプタ材料は POM である。共同研究先にて、図 2 に示す A~D 4 種類のレンズアダプタを設計した。アダプタ A 及び B は、1 つのレンズの両面加工に対応したアダプタである。



図 1 CG 加工の様子

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

** 室井光学株式会社

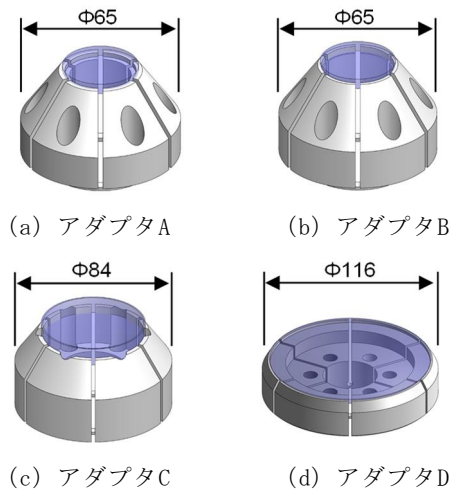


図2 設計したレンズアダプタ

2. 2 レンズアダプタ応力解析

POMと同等なレンズ固定力を有する3Dプリンタ製アダプタを設計するために、解析ソフト（ダッソー・システムズ㈱、SolidWorks2025 simulation）にて応力解析を実施した。解析条件を表1に示す。接触条件について、レンズ側面とアダプタには接触によって応力が生じるため、接触面にシュリンク結合を設定した。シュリンク接合とは物体の干渉により応力が生じる場合に設定する接触条件である。アダプタは、レンズ厚みの1/2を把持するような位置関係とした（図3参照）。拘束条件について、アダプタはダイヤフラムチャック上にボルトを用いて固定されるため、ボルトとの座面及びダイヤフラムチャックとの接触面に固定条件を付与した（図4参照）。材料について、従来材料のPOMと、以前の研究で実施したテーバー式摩耗試験の結果⁴⁾より、摩耗量がPOMと同程度である光造形方式3Dプリンタ材料のClearを選定した。各材料の物性値はカタログから引用し解析を実施した^{5) 6)}。解析結果は、レンズ側面に加わる半径方向応力の平均値をレンズ固定力として算出した。前項で設計した3Dモデルを基本形状とし、Clearのレンズ固定力がPOMと同等になるように形状修正を実施した。

表1 解析条件

解析ソフト	Solidworks2025 simulation
接触条件	シュリンク結合
拘束条件	ダイヤフラムチャック及びボルト座面との接触面を固定
材料	POM, Clear
メッシュサイズ	2～3 mm
評価項目	レンズ側面の半径方向応力平均値

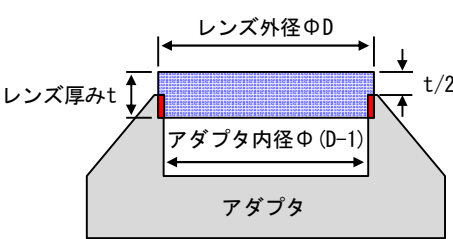


図3 レンズとアダプタの位置関係

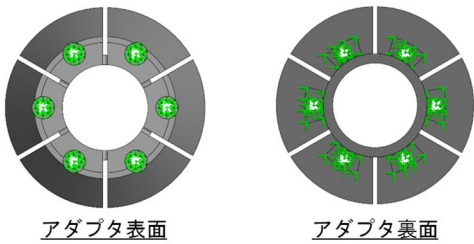


図4 アダプタ拘束条件

2. 3 レンズアダプタ造形

当センターが所有する光造形方式の3Dプリンタ（Formlabs㈱、Forms3L）を用いて、形状修正したレンズアダプタを造形した。使用したプリンタの仕様を表2に示す。

表2 3Dプリンタ仕様

メーカー	Formlabs
型式	Form3L
造形範囲	335×200×300 mm
積層ピッチ	0.05 mm
材料	ClearV4

2. 4 レンズ加工検証

樹脂3Dプリンタで造形したレンズアダプタを使用して、CG加工を実施した。加工検証の条件を表3に示す。共同研究先のカーブジェネレータにおいて、従来のPOM製と今回試作したClear製のレンズアダプタA、Bを用いて約8,000個のレンズ加工を実施し、200～300個毎にダイヤルゲージでレンズ片肉量を評価した。レンズ片肉量が0.01 mmを超えた場合は再度芯出しを行い、加工を継続した。

表3 加工検証条件

使用したレンズアダプタ	A及びB
レンズアダプタ材料	POM, Clear
個数	約8,000個
評価項目	レンズ片肉量

3 結果及び考察

3. 1 応力解析結果

アダプタ A、B の解析結果を表 4、5 に示す。アダプタ A、B は図 5 に示すようにツメの角を落とし、3 mm の斜め 45 度の斜面を作る面取り加工 (C3 面取り) により、レンズ固定力を調整した。アダプタ C の解析結果を表 6 に示す。アダプタ C では、Clear は POM と比較してレンズ固定力が増加したため、図 6 に示すようにアダプタ外径を 4 mm 小さくし、レンズ固定力を調整した。アダプタ D の解析結果を表 7 に示す。アダプタ D では、Clear は POM と比較してレンズ固定力が低下したため、図 7 に示すようにツメの根元の角に、円弧状の丸みを付けるフィレット (曲率半径 R3) を付与することでレンズ固定力を増加させた。

表 4 アダプタ A 解析結果

材料/形状	固定力[MPa]	固定力比 vs POM
POM/基本形状	6.27	-
Clear/基本形状	6.27	1.00
Clear/ツメ端部 C3	6.20	0.99

表 5 アダプタ B 解析結果

材料/形状	固定力[MPa]	固定力比 vs POM
POM/基本形状	6.18	-
Clear/基本形状	6.25	1.01
Clear/ツメ端部 C3	6.10	0.99

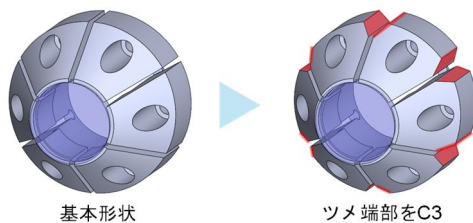


図 5 アダプタ A、B 形状修正箇所

表 6 アダプタ C 解析結果

材料/形状	固定力[MPa]	固定力比 vs POM
POM/基本形状	5.61	-
Clear/基本形状	6.28	1.12
Clear/外径-4 mm	5.48	0.98

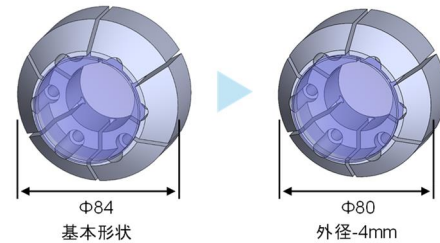


図 6 アダプタ C 形状修正箇所

表 7 アダプタ D 解析結果

材料/形状	固定力[MPa]	固定力比 vs POM
POM/基本形状	9.78	-
Clear/基本形状	9.43	0.96
Clear/ツメ根元 R3	9.82	1.00

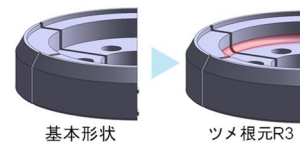


図 7 アダプタ D フィレット追加

3. 2 レンズアダプタ造形

各アダプタの造形時間や、外注した場合のコストや納期の比較を表 8 に示す。3D プリンタ製アダプタの製造コストは、1 年間で 50 個アダプタを造形すると仮定し、3D プリンタ購入費用 100 万円を 5 年間で定額償却する費用 4,000 円と材料費を加算し算出した。表 8 より、樹脂 3D プリンタでアダプタを造形した場合、コストについては 50%以上削減できることがわかった。リードタイムについても、3D プリンタ製アダプタでは設計や造形後の後処理を考慮しても約 1 週間で使用可能であり、外注と比較して 50%以上短縮可能と考えられる。

表 8 各アダプタの造形条件と外注との比較

アダプタ	A	B	C	D
造形時間	6時間13分	6時間34分	8時間25分	8時間45分
コスト	¥5,778	¥5,865	¥7,672	¥9,336
外注コスト	¥13,000	¥13,000	¥15,000	¥20,000
外注納期	2週間	2週間	2週間	3週間

3. 3 レンズ加工検証結果

検証結果を図8に示す。Clear 製レンズアダプタでは、POM 製レンズアダプタと比較して片肉量が低減しており、高精度にCG加工ができることを確認した。POM 製アダプタでは約8,000個の加工を完了するまでに片肉量が0.01 mmを2回超過し、アダプタの芯出しを行う必要があった一方、Clear 製アダプタでは片肉量0.01 mmを超えることはなく、芯出しは不要であった。この理由について、Clear 製アダプタはPOMと比べると硬いため、加工結果が良くなったのではないかと、この仮説を立て、それぞれのアダプタから試験片を切り出し、ロックウェル硬さを評価した。図9に示すようにClearは117.5に対し、POMは113.8であった。したがって、ClearはPOMに比べて硬く、より強固にレンズを固定できたため、片肉量が低減したと考えられる。

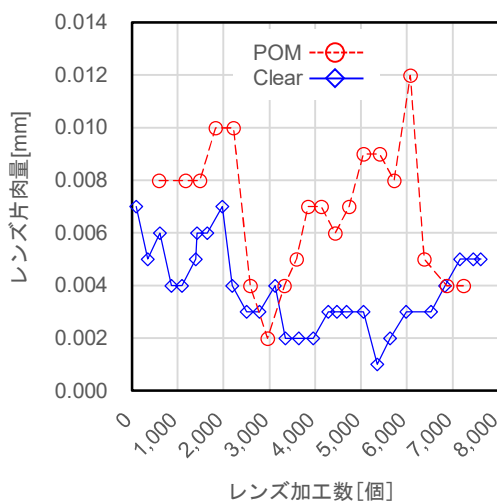


図8 レンズ加工検証結果

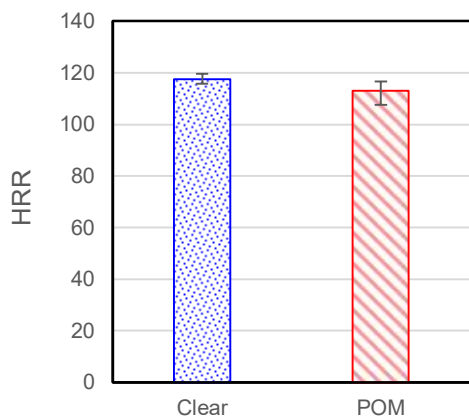


図9 ロックウェル硬さ試験結果

最後に、従来のプロセスと、樹脂3Dプリンタを導入した場合のプロセスの比較を図10に示す。従来のプロセスでは、アダプタの外注コストやリードタイムの長期化が課題となっていた。3Dプリンタを導入することにより、アダプタコストとリードタイムは50%以上短縮した。さらに、3Dプリンタ製アダプタではPOM製アダプタよりも片肉量を小さく加工することが可能であり、アダプタの芯出し作業の手間も省くことができた。

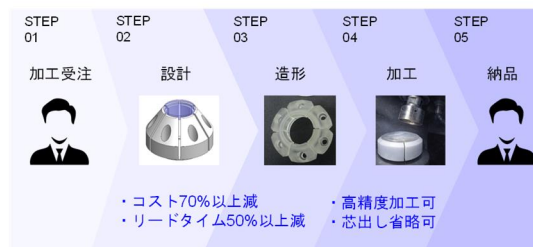


図10 3Dプリンタを活用したプロセス

4 おわりに

シミュレーション技術を活用した樹脂 3D プリンタ製レンズアダプタの開発に取り組み、以下の知見を得た。

- (1) シミュレーション技術を活用し、従来材料の POM と同等のレンズ固定力を有する 3D プリンタ製アダプタを設計した。
- (2) 3D プリンタ製アダプタでは、POM と比較しコストとリードタイムは 50%以上減となることを確認した。
- (3) Clear で造形した 3D プリンタ製アダプタで CG 加工を実施し、片肉量が POM よりも低減することを確認した。
- (4) 硬さ試験結果により、Clear は POM と比較して高硬度のため片肉量が低下したと考えられる。

参考文献

- 1) 大森 整：“精密工学会誌”，77 (1)， 16-20， (2011)
- 2) 森 啓：“電気学会論文誌 A”，129(3)，139-145， (2011)
- 3) 小島 忠：“光学”，11 (1)， 45-49， (1982)
- 4) 片岡 智史：“栃木県産業技術センター令和 6 年度研究報告”，No. 22， 1-6， (2025)
- 5) 三ツ星ベルト：“www.mitsuboshi.com”，引用日 2026/2/16
- 6) Formlabs：“formlabs.com”，引用日 2026/2/16