

磁性体を活用したゲルレンズの外縁引張による焦点調節機構の検討

Focus adjustment mechanism of gel lens by outer edge tension utilizing magnetic soft materials

高橋優河¹, 櫻井佑真¹, 渡邊洋輔¹, 小川純¹,
エムディ ナヒン イスラム シブリー¹, 古川英光¹

Yuga Takahashi¹, Yuma Sakurai¹, Yosuke Watanabe¹, Jun Ogawa¹,
MD Shiblee Nahin Islam¹, Hidemitsu Furukawa¹

¹山形大学工学部

¹Faculty of Engineering, Yamagata University

【要約】

遠近両用眼鏡や多焦点眼内レンズは、複数の焦点位置で結像するような静的な構造をレンズに導入することで装用者のQoLを向上している。一方で我々は、柔軟なレンズとそれを変形させる構造を機構全体として有していれば、連続的に焦点調節が可能なレンズが開発できると考えた。そこで本研究では、柔軟なハイドロゲルレンズの外縁に磁性ソフト材料を採用し、外部磁場によって連続的に焦点位置を調節可能とする機構を開発する。ゲルレンズは、含水率約90%のジメチルアクリルアミドゲルの組成をベースに作製し、成形したゲルレンズの外縁に、磁性粒子を添加した柔軟材料を接着した。外部磁場によってレンズを変形させ、焦点調節が可能であることを見出した。

キーワード: ゲル, レンズ, 磁性体, 焦点調節, 柔軟材料

【Abstract】

Bifocals and multifocal IOLs improve the QoL of the wearer by introducing a static structure to the lens that allows the lens to form images at multiple focal positions. On the other hand, we thought that a lens that enables continuous focus adjustment could be developed if it had a flexible lens and a structure that deforms it as a whole mechanism. In this study, we employ a magnetic soft material on the outer edge of a flexible hydrogel lens to develop a mechanism that enables continuous adjustment of the focal position by an external magnetic field. The gel lens was fabricated based on the composition of dimethylacrylamide gel with a water content of approximately 90%, and a flexible material with magnetic particles added was bonded to the outer edge of the molded gel lens. It was found that the lenses could be deformed by an external magnetic field to adjust the focus.

Keywords: Gel, lens, magnetic material, focus adjustment, soft material

1. 研究背景・目的

遠近両用眼鏡や多焦点眼内レンズ[1]は、複数の焦点位置で結像するような静的な構造をレンズに導入することで装用者のQoLを向上している。例えば、回折格子によって光波の干渉を制御し、複数の焦点を与える回折型の多焦点眼内レンズや、異なる屈折率を交互に

配置し、屈折力を制御した屈折型眼内レンズが開発されている。

一方で、眼球内の水晶体は、周囲の毛様体筋の緊張と弛緩をチン小帯經由で伝播し、水晶体の厚みを変化させることで、連続的に焦点距離を調節している。このように焦点距離を連続的に調節する機構を模倣する

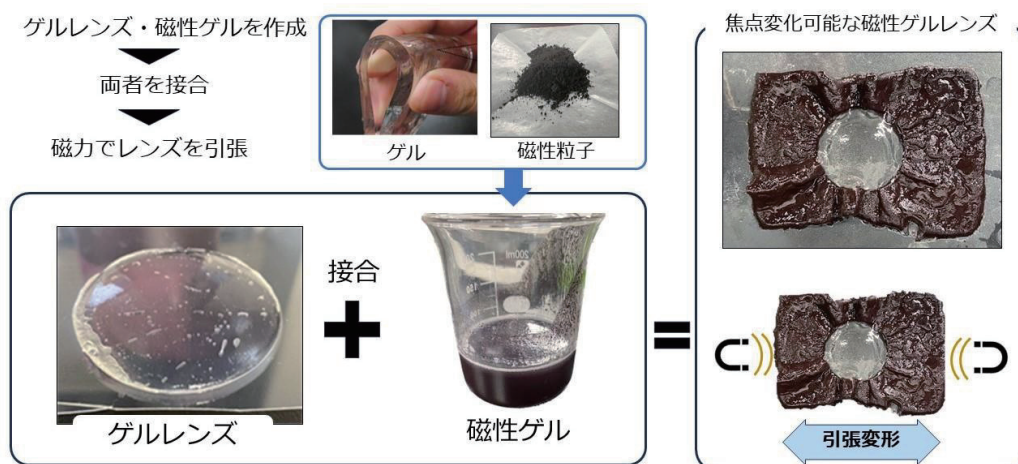


図1 磁性ゲルレンズ概要

ために、二重薄膜間の流体の圧力による変形機構[2]やリングによる円周方向への変形機構、イオン導電性高分子アクチュエータを円周方向に配置した機構[4]などが提案されている。しかし、受動的な変形システムである点や応答性の課題があった。

そこで、磁性ソフト材料による変形機構に着目した。磁性ソフト材料は、磁性粒子を内包し、外部磁場に素早く応答することが報告されている。本研究では、柔軟なゲルで成形されたレンズの周辺に磁性ソフト材料を配置し、外部磁場によって磁性ゲルによる変形力をレンズに伝え、レンズを変形させることで焦点距離を調節可能な機構を検討した(図1)。

2. 実験方法

2.1 ゲルレンズ作成

ゲルレンズは、シリコンの型に、図2に示すゲル溶液を流し込むことで成形した。ゲル溶液は比較的毒性の低い DMAAm (ジメチルアクリルアミド) をモノマーとし、架橋剤に MBAA (メチレンビスアクリルアミド)、開始剤に α -keto (α -ケトグルタル酸)、溶媒に水を使用した。各試薬の濃度は、DMAAm が M, MBAA, α -keto がモノマーに対してそれぞれ 0.2mol%, 0.1 mol% である。まず、 ϕ 50mm で両側に凸のレンズをもとに、シリコンを用いてレンズの型を作成する。次に、作成した型にゲル溶液を流しこみ、UV ライト照射装置を用い、出力を 80% で約 40 分 UV ライトを照射した。レンズ状に硬化したゲル溶液を型から取り出し、ゲルレンズとした。

モノマー	ポリマー	開始剤	溶媒
DMAAm (ジメチル アクリルア ミド)	MBAA	α -keto	水
1[Mol/L]	2.0×10^{-3} [Mol/L]	1.0×10^{-3} [Mol/L]	

図2 DMAAm 溶液の組成

2.3 磁性ソフト材料とゲルレンズの結合

磁性ソフト材料は、ICN ゲル溶液[3]に磁性材料を 20w% 配合したものを使用する。ICN ゲル溶液の作成には、モノマーとして DMAAm, ポリマーとして HPC (Hydroxypropyl Cellulose), 架橋剤として, KarenzMOI-EG (2-(2-methacryloyloxyethyl)oxyethylisocyanate), 光重合開始剤として, TPO (Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphine Oxide), 溶媒として精製水を使用した。

両者の接着方法は、ゲルレンズを容器に入れ、その周辺を磁性ゲル溶液で満たし、波長 405nm の UV ライト照射装置を使用し、3分程度光を照射することで磁性ゲルを硬化させた。

2.4 磁性ゲルレンズ引張

まず図3で示すように、磁性ゲルに4本のボルトに通し全体の位置を固定する。磁性ゲルレンズから 40mm の距離で観察用のイラストを設置する。この状態から、図4に示すように全体を手動で引っ張る場合と、図5に示すように磁性ゲル周辺に設置したネオジウム磁石の位置を変化させることで引っ張る場合で、ゲルレンズを通して見える像が変化するか確認した。ネオジウム磁石は、全体を囲むように四方に設置した。

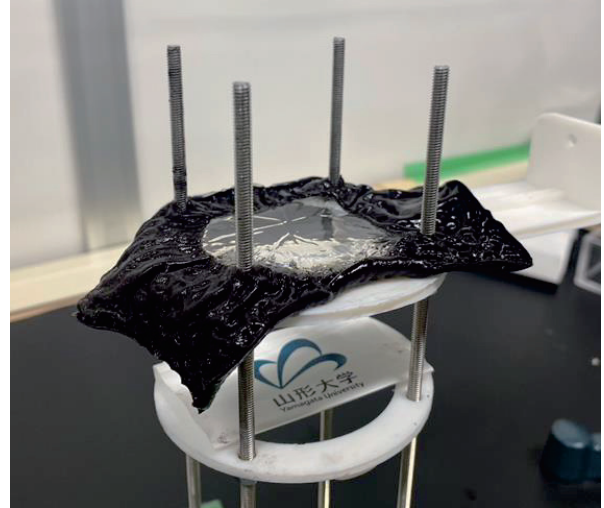


図3 実験機構

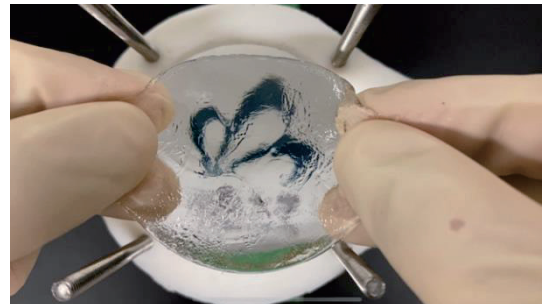


図4 手による引張



図5 ネオジウム磁石による磁性ゲルレンズ引張

3. 実験結果及び考察

ゲルレンズを通して観察したイラストの様子を図6に示す。手動による変形、磁場による変形、いずれの場合もゲルレンズを通して見える像は、左右から押し潰されたように見える。手で変形させた場合は、磁性ゲルレンズをネオジウム磁石で変形させた場合と比較して、像の変化量が増加した。これは、手による伸長よりも、磁性ゲルをネオジウム磁石で引張る力が弱く、ゲルレンズの変化量が劣ってしまったことが考えられる。また、左右二方向

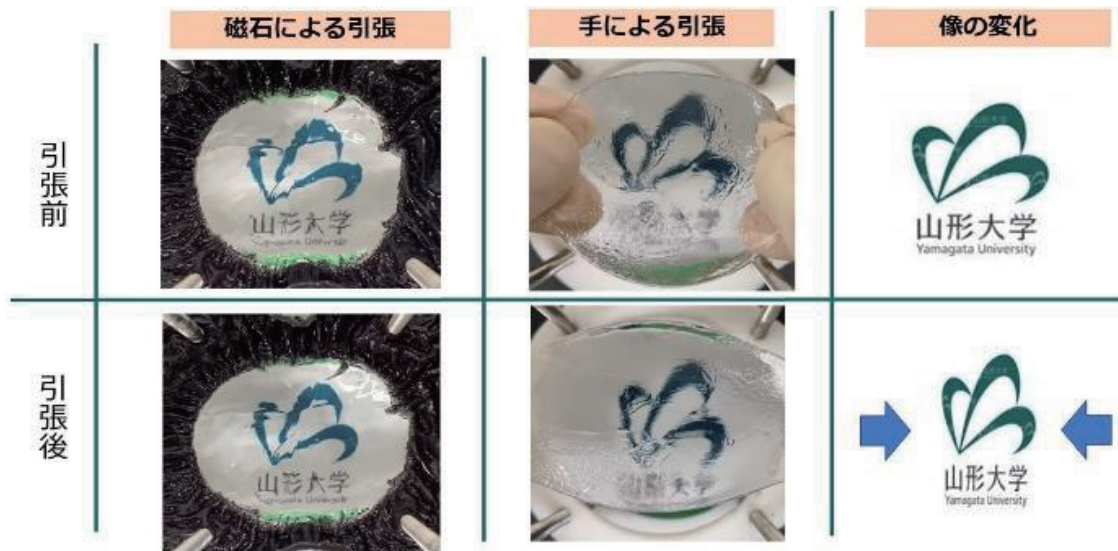


図6 引張実験結果

からの引張では、ゲルレンズが360度均等に引張ることができず、像の見え方の変化が少なかった。

4. まとめ

本研究では、DMAAm 溶液を用いたゲルレンズを作成し、磁性ゲルとゲルレンズを組み合わせることでゲルレンズの焦点調節を試み、ゲルレンズを引張ることにより、ゲルレンズを通して見える像の見え方が変化するか検証した。DMAAm 溶液と、シリコンの型を使用することにより、ゲルでレンズを模倣し作成することができた。また、磁性ゲルとゲルレンズを接合することにより、磁力でゲルレンズを引張ることができた。ゲルレンズを引張ることにより、レンズを通して見える像の変化を確認できた。

今後は、ゲルレンズの変化量を大きくするため、強力な電磁石の使用を検討する。また、引張に適した機構の構造を検討する。

参考文献

1. 大木伸一, ビッセン 宮島 弘子, 中村邦彦
Defocus curve following the implantation of multifocal intraocular lenses, 日本技能訓練士協会誌 36 81-84, 2007
2. Tomohiro Yokoo, Ruri Hidema, Hidemitsu Furukawa,
Smart Lenses Developed with High-Strength and Shape Memory Gels, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 2012, 10 巻, p. 243-247,
3. 高田 剛, 日馬瑠璃, 古川英光. 「相互華僑ネットワーク構造を有する超高延性ゲル」表面科学とナノテクノロジーの電子ジャーナル 10(2012):346-350.

4. Horiuchi T, Mibashi T, Hoshi S, Okamoto F, Oshika T (2021) イオンポリマー金属複合アクチュエータを搭載した人工調節眼内レンズ。PLoS ONE 16(6):e0252986 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252986>

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費、JP21H04936, JP22K17972, 管理法人 NEDO の業務委託(JPNP14004 と JPNP20004)によって支援を受けたものである。