

累進焦点レンズ設計における屈折像の歪み分布評価

松川 修平[†] 藤堂 英樹[‡] 柿本 正憲^{†,††}東京工科大学 メディア学部[†] 中央学院大学 現代教養学部[‡] ドワンゴ CG リサーチ^{††}

1 はじめに

累進焦点レンズは、中高年向けの遠近両用メガネレンズとして普及しており、今後も普及が見込まれる。遠近両用レンズは、その上部(遠用部)が近視矯正の凹レンズ、下部(近用部)が老視矯正のため相対的に凸レンズになっている。遠用部と近用部の境界がない累進焦点レンズは、レンズ内で曲率(屈折力)が連続的に変化するものである。曲率の変化は像の揺れや歪みを生みやすく、装用者の疲労や使用時の危険が伴うことになる。累進焦点レンズの設計にあたっては、遠近両方の矯正と歪み最小化という相反する要求を満たす必要があり、設計者の負担が大きい。

本研究では、累進焦点レンズの曲面の変化に伴う像の揺れや歪みの評価を行い可視化する。設計段階でレンズを通して見た歪みを確認することができるため、設計者の負担を軽減できる。また、歪みや揺れの少ないレンズを提供できるため、中高年の装用者でも安全に使用することができる。

2 関連研究

本研究と同様に、累進焦点レンズの性能を評価する研究はこれまでも行われている。祁の研究[1]では、専門的知識を持たない人に累進焦点レンズの性能を示す指数を提示している。ボヤケ、ユガミ、ユレの程度を示す明瞭指数、変形指数、ユレ指数を示した。篠原らの研究[2]は、眼鏡レンズシミュレーションの図形描画結果を用いてボケと歪みを求めている。歪みの指標として正方格子の図形の変形具合を利用している。しかし、レンズ外周付近では図1のように正方格子の一部がレンズ外部に出ってしまうため、正確な歪み評価が難しくなる。本研究では欠けてしまう外周付近の問題に対処するため、レンズ形状データから直接歪みを求めていく。

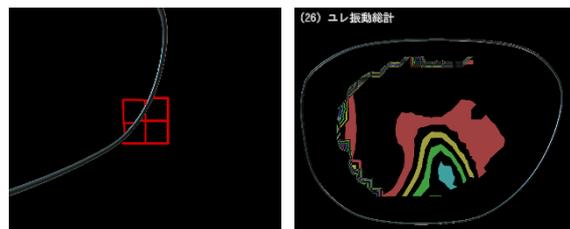


図1 正方格子による歪み評価の課題
(左) レンズ外周の正方格子の歪み評価
(右) 正方格子で評価できない箇所

3 評価手法

図形描画結果を用いる従来手法[2]に対し、本研究では累進焦点レンズの入力形状データ(主曲率情報付き頂点メッシュ)から直接歪み指標を計算する。頂点ごとにガウス曲率と平均曲率を用いて、隣接頂点との変化量に基づき算出する。図形の変形を利用しないため、従来手法を適用できない箇所についても歪みを評価することができる。

3.1 主曲率を用いた評価

ガウス曲率 $K = k_1 k_2$ 、平均曲率 $H = (k_1 + k_2)/2$ は共に主曲率 k_1, k_2 から求められる。主曲率の片方向が平面の場合ガウス曲率では凹凸が判断できないため、平均曲率からも曲面の具合を求める。比較する頂点は隣接する水平垂直両方向から選ぶ。それぞれのガウス曲率変化 E_{Kh}, E_{Kv} は次のようになる。

$$E_{Kh}(i, j) = |K(i, j) - K(i - 1, j)| \quad (1)$$

$$E_{Kv}(i, j) = |K(i, j) - K(i, j - 1)| \quad (2)$$

平均曲率についても同様に E_{Hh}, E_{Hv} を求める。ここで i, j はメッシュ内の頂点番号である。

これら $E_{Kh}, E_{Kv}, E_{Hh}, E_{Hv}$ が大きいものほど各方向で曲面が急激に変化し、歪みの発生につながると思われる。

3.2 歪み評価

従来手法の歪み指標は正方格子の変形結果から計算している。指標には水平垂直両方向の頂点変位を反映させている。

本研究でも水平垂直両方向の曲率変化を指標に反映させるために、以下の式(3)(4)のような重

Evaluation of Refractive Image Distortion for Progressive Addition Lens Design

[†]Shuhei Matsukawa, [‡]Hideki Todo, ^{†,††}Masanori Kakimoto

[†]Tokyo University of Technology

[‡]Chuo Gakuin University

^{††}Dwango CG Research

み付け評価を行う。また最終的な評価として、ガウス曲率と平均曲率の評価を式(5)で行う。

$$E_K(i, j) = t_h E_{Kh}(i, j) + t_v E_{Kv}(i, j) \quad (3)$$

$$E_H(i, j) = t_h E_{Hh}(i, j) + t_v E_{Hv}(i, j) \quad (4)$$

$$E(i, j) = w_K E_K(i, j) + w_H E_H(i, j) \quad (5)$$

重み係数 t_h, t_v, w_K, w_H の値は試行錯誤により設定する。提案手法が正しければ、適切な重み係数の設定により、従来手法の有効範囲について同様の分布結果が得られるはずである。

4 実験結果

実験に用いたレンズデータの頂点数は 1101 個であり、各頂点で曲率情報を保持している。ガウス曲率 K と平均曲率 H の分布を図 2 に示す。

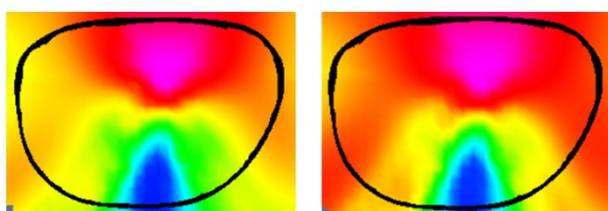


図 2 曲率分布

(左)ガウス曲率分布 (右)平均曲率分布

4.1 主曲率を用いた評価

図 3 に式(1)(2)の結果を示す。レンズの遠用部から近用部に変化する箇所が最も変化量が大きくなる結果となった。また水平方向の変化量 E_{kh} が垂直方向の変化量 E_{kv} より影響の範囲が大きい結果となった。

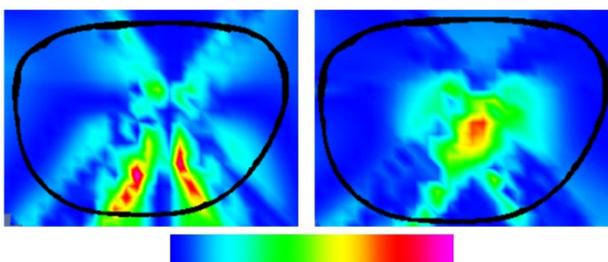


図 3 ガウス曲率変化量

(左)水平方向の変化量 (右)垂直方向の変化量

4.2 歪み評価

変化量を用いた評価から、変化量の大きい水平方向の重みを優先する。試行錯誤により式(3)(4)の重み係数の値は $t_h = 1, t_v = 0.5$ とした。各曲率の評価結果 E_K, E_H を図 4 に示す。図 4 の分布からガウス曲率の影響が大きいので、ガウス曲率の重みを優先して設定する。式(5)の重み係数は $w_K = 1, w_H = 0.5$ とした。

各曲率評価をまとめた最終的な歪み評価分布 E を図 5 に示す。従来手法[2]で同じレンズデータの歪みを評価し、比較を行った。従来手法は視

覚的なずれを直接シミュレーションしているため、有効範囲では正解データとみなせる。歪みの強い箇所を従来手法(図 5 左)では黄色で表現し、提案手法(図 5 右)では赤色で表現している。有効範囲の正解データとほぼ同様の結果が提案手法でも得られており、レンズの境界部分まで連続的に広がっていることから、全範囲で有効な評価計算ができていると考えられる。

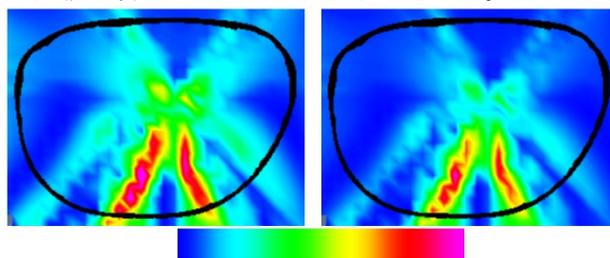


図 4 主曲率の縦横重み付き変化量

(左)ガウス曲率分布評価 (右)平均曲率分布評価

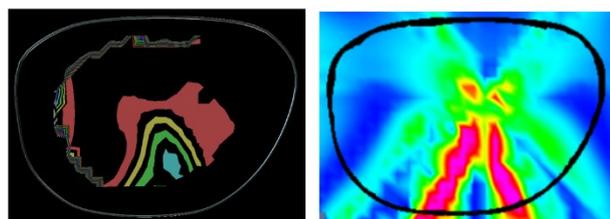


図 5 歪み分布評価

(左)従来手法 (右)提案手法

5 おわりに

本研究では従来手法の歪み評価の問題点に対処するため、レンズ形状データから直接歪み指標を求めることを試みた。従来手法と同様の結果と、従来手法で評価できなかったレンズ外周付近も結果を得ることができた。今後の課題は、求めた歪み分布からレンズ全体の総合的な歪み指標を評価し、最適化計算により歪みを最小化したレンズ形状を求めることである。これにより設計者の負担を軽減できると考えられる。

参考文献

- [1] 祁華, “累進屈折力レンズの性能表示”, 視覚の科学, Vol. 33, No. 3, pp. 99-108, 2012.
- [2] 篠原俊英, 柿本正憲, 平林久義, 西田友是, “眼鏡レンズのボケと歪みのリアルタイム表示”, 眼鏡学ジャーナル, Vol. 16, No. 1, pp. 19-25, 2012.