

グレア発生原因解析のための光のシミュレーション

福永 充吉[†] 玉木 徹[†] 金田 和文[†] 曾根 隆志^{††} 三嶋 弘^{††} 木内 良明^{†††}
 (†広島大学大学院工学研究科 ††広島鉄道病院 †††広島大学大学院医歯薬学総合研究科)

1. はじめに

白内障は眼球の水晶体が白く濁る病気である。この治療法として、水晶体の内部を取り除き、その中に眼内レンズを挿入する小切開白内障手術がある。これにより視力の回復が見込まれるが、術後の後遺症としてグレアの知覚が挙げられる。グレアとは本来光が来ない方向にぎらつきが見えることを指す。グレア発生原因に関する解析は光線経路追跡により行われている[1]が、その解析はまだ十分とはいえない。例えばグレアを知覚してしまう患者は実際にぎらつきがどのように見えているかといった検討は行われていない。本研究ではその基礎研究として、眼内レンズ挿入時に入射する光の方向によって網膜上での光の分布やグレア発生原因と考えられる光線経路を調べるために光のシミュレーションを行う。

2. 眼内レンズモデル

今回シミュレーションに使用した眼内レンズモデルの形状を図1に示す。眼内レンズモデルは実物のレンズに対してレーザ測定を行った結果を基に最小二乗法より2次曲線に関数近似した[2]。なお今回使用したレンズは半径 $r=6.0[mm]$ 、中心厚 $d=1.0[mm]$ 、屈折率 $n_{lens}=1.465$ である。

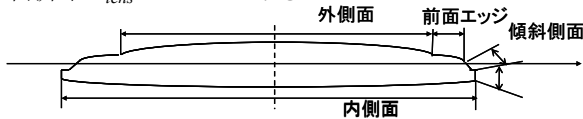


図1 眼内レンズモデル

3. 光のシミュレーション方法

眼内レンズをセットした円形の眼底モデルに対して等輝度の光源から一定方向に光線を出射した際の眼底での光線の粗密を求める。眼底モデルと眼内レンズモデルを図2に示すように配置する。次に光源から Δy 間隔で n 本の光線を射出角 ϕ の方向に射出し、レンズ内での屈折、反射を考慮して光線の主成分方向へのトレースを行う。 $-160^\circ \leq \theta \leq 160^\circ$ の範囲の眼底全域を微小区間 $\Delta\theta$ ごとに区分し、各微小領域ごとに到達する光線の数 $n_{\theta i}$ をカウントする。そして、光線1本あたりの強度 $I_0 \cos \phi$ を掛け合わせることで、眼底での輝度分布を得る(式(1)参照)。

$$I_{\theta i} = n_{\theta i} I_0 \cos \phi \quad (1)$$

ここで I_0 は $\phi=0^\circ$ のときの光線1本あたりの強度である。

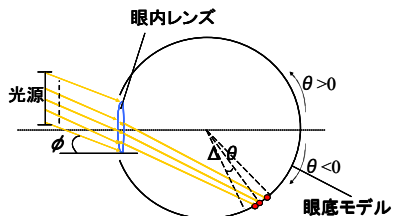


図2 シミュレーションの概要図

4. シミュレーション結果表示方法

シミュレーション結果は図3に示すように輝度分布を高さと色を用いて表示する。太線で表示した円弧が眼底である。眼底部から中心に向かって輝度値 $I_{\theta i}$ を高さとし、色により表示を行う。

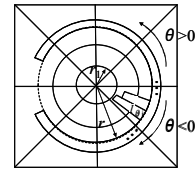
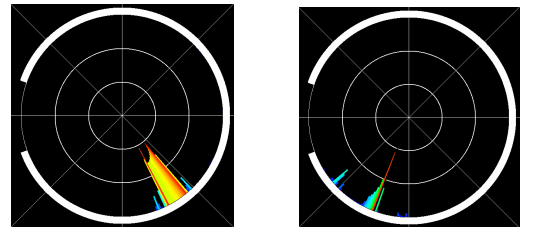


図3 シミュレーション結果表示

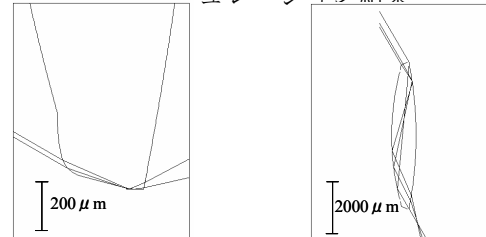
5. シミュレーション結果

射出角 ϕ が $30^\circ, 60^\circ$ のときのシミュレーション結果を図4に示す。ただし $\Delta y=1[\mu m]$ とした。射出角 $\phi=30^\circ$ のときは眼底の $\theta=40^\circ$ 付近において、また射出角 $\phi=60^\circ$ のときは $\theta=-140^\circ$ 付近で周辺から孤立して、輝度値をもつ領域が存在している。これは、レンズでの全反射が原因である。図5に全反射を起こした光線経路を示す。このことよりグレアの発生原因としてレンズでの光の全反射が起因している可能性がある。



(a) 射出方向 30° [度] (b) 射出方向 60° [度]

図4 シミュレーション結果



(a) 射出方向 30° [度] (b) 射出方向 60° [度]

図5 全反射を生じたときの光線経路

6. まとめ

本論文では眼内レンズによるグレア発生原因解析のための基礎研究として、光のシミュレーションを行い、眼内レンズ内での全反射がグレア発生原因の可能性となることを確認した。今後は眼底モデルをより実際の物に近い眼球モデルに近づけてシミュレーションを行うとともに、3次元に拡張したシミュレーションを行うことを目指す。

参考文献

- [1] A. Franchini, et al. "Computerized analysis of the effects of intraocular lens edge design on the quality of vision in pseudophakic patients," Proc. ASCRS and ESCRS, pp. 342-347 (2003).
 [2] 福永充吉, 玉木徹, 金田和文, 曾根隆志, 三嶋弘, 木内良明, "眼内レンズによるグレア発生原因解析のためのレンズのモデル化と光のシミュレーション", 第10回画像認識・理解シンポジウム(MIRU2006) ダイジェスト, pp. 595 (2007)