

世界初!

被写界深度延長設計 による眼鏡レンズ

ESシリーズ

Extended Depth of Field (EDF) 設計



伊藤光学グループ



Aichi
Quality

伊藤光学工業株式会社
光学設計・製造部開発G
2016年7月29日

被写界深度とは

被写界深度の違い



被写界深度: 浅い
小さい絞り値 (F4.0)
短い焦点距離



被写界深度: 深い
大きい絞り値 (F22)
長い焦点距離

上の写真は、手前のベンチ中央付近にピントを合わせ、カメラの絞り値を変え撮影したものです。被写界深度の違いにより、奥のベンチや周辺のボケ具合が大きく違って見えます。

被写界深度 浅い: 特定の距離に焦点が合うが、その前後はぼける
被写界深度 深い: 前後の奥行距離のほとんどでボケが少ない

被写界深度延長技術(EDF技術)の発展

- ・従来のカメラレンズは、収差を少なくして可能な限り鮮明な画像を得られるように設計されていた。
- ・このため、焦点深度の浅いレンズになり、様々な距離にある物体に焦点を合わせるためには高精度なフォーカス機能が必要となり、カメラが大型化していた。
- ・一方、人の目は角膜や水晶体が大きな収差を持つためボケた像しか得られないのに、脳の処理により必要十分な情報が得られている。
- ・人の目の機能に注目し、多少のボケを許容することで被写界深度を深くしたレンズと、画像処理モジュールを組み合わせることで、大掛かりなフォーカス機能を必要としない撮像光学系が注目されている。

被写界深度延長技術はこんなところに使われている(2)

バーコード読取カメラ

バーコード付きの品物を置いて読取比較



被写界深度: 浅い
位置の合わないバーコードは読取不可



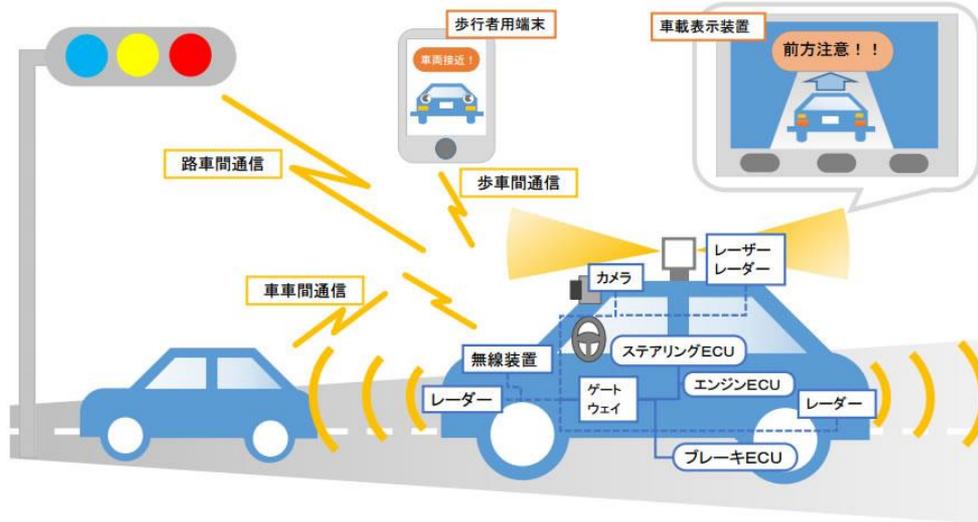
被写界深度: 深い
距離や高さの異なるバーコードも読取可能

- ・バーコードを読み取るカメラは、被写界深度が深い方が読み取りエラーが少ない。
- ・製品のサイズが違ったり、前後や高さが異なっても確実に読み取りができます。

被写界深度延長技術はこんなところに使われている(3)

自動運転支援カメラ

自動運転システムに必要なデバイスとセンサーの活用例



◆主なセンサーの種類

- ・前方監視カメラ
- ・前方監視レーダー
- ・後方監視カメラ
- ・後方監視レーダー
- ・車両位置センサー
- ・車間距離センサー
- ・速度センサー
- ・障害物センサー
- ・運転手監視カメラ 等々

センサー	メリット	デメリット
カメラ	歩行者や物体の認識に適している	可視光が必要で、悪天候や夜間は難しい
レーダー(電波・超音波)	天候や逆光の影響を受けにくく、測定可能距離が長い	歩行者や物体の形状が認識できない
レーザー(赤外線)	指向性が強く、コンパクトにでき安価である	悪天候に弱く、測定可能距離が短い

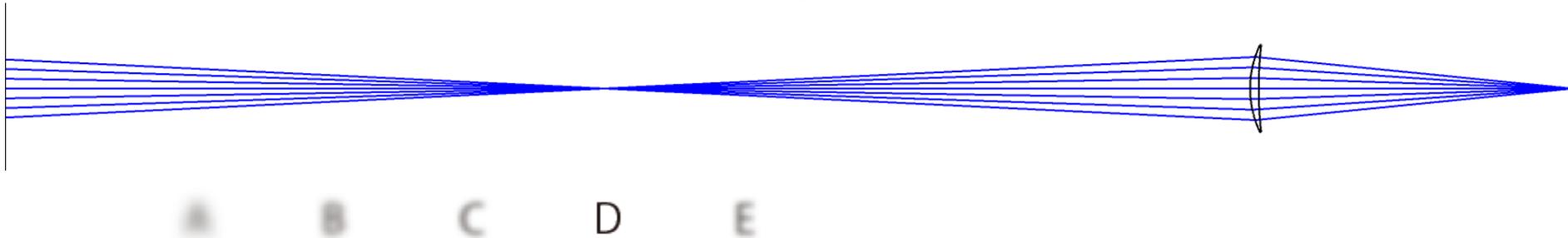
※複数のカメラやセンサーを融合させることで、自動運転システムが実現可能となります。

- ・最近話題の自動運転システムには多くのカメラシステムが使われている。
- ・様々な距離に有る動く物体を素早くとらえるため、被写界深度の深い光学系が必要。
- ・システムの小型化にも貢献。

被写界深度延長の原理

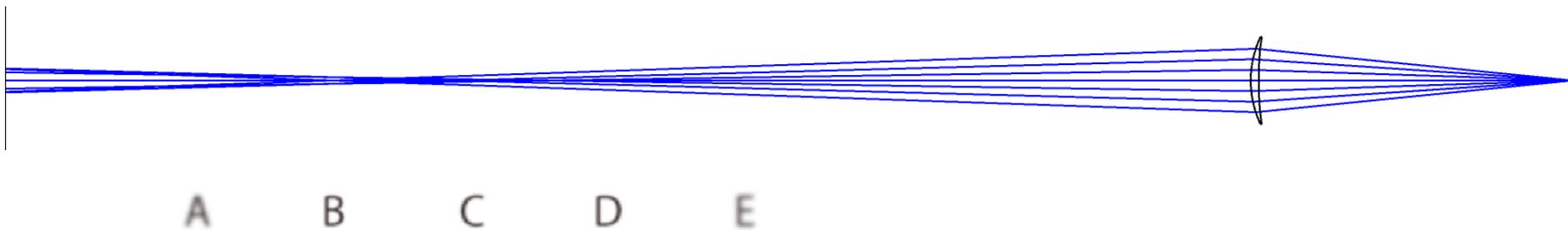
被写界深度の浅いレンズ

焦点位置においては収差が無く鮮明な画像が得られますが、焦点をちょっとずれただけで大きなボケが生じます。



被写界深度の深いレンズ

焦点位置ではややボケが生じますが、焦点が多少ずれてもほぼ同等の画像が得られます。

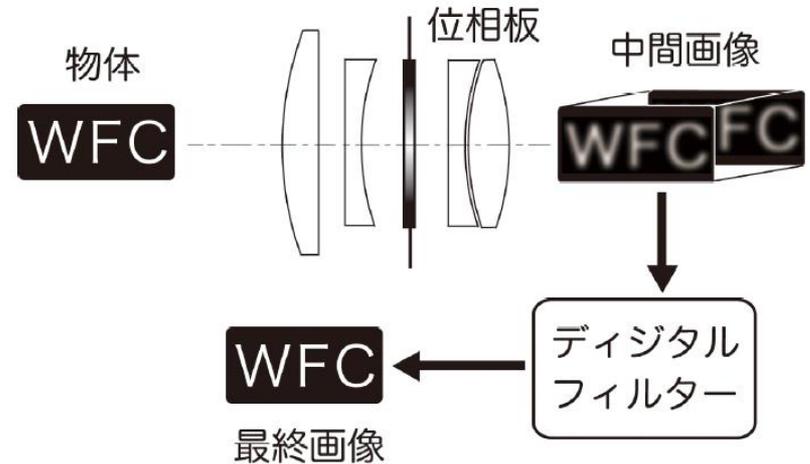


収差を若干残しながら被写界深度を延長させる技術は、WFC (Wavefront coding: 波面符号化) と呼ばれ多くの研究が行われています。

被写界深度延長設計

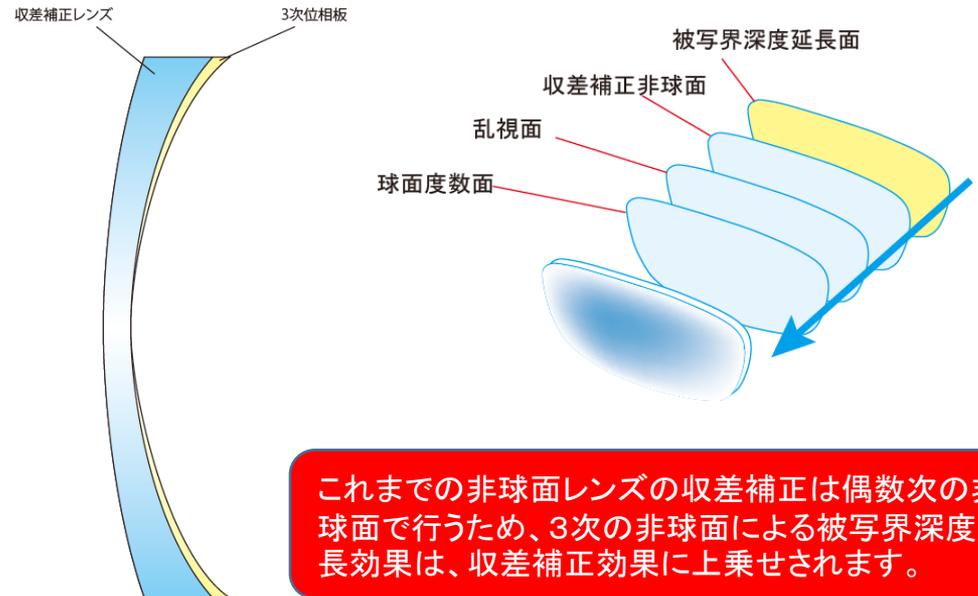
カメラシステムの場合

複数のレンズを組み合わせて使うカメラシステムの場合は、「3次位相板」と呼ばれるフィルターを加えて、被写界深度を延長します。



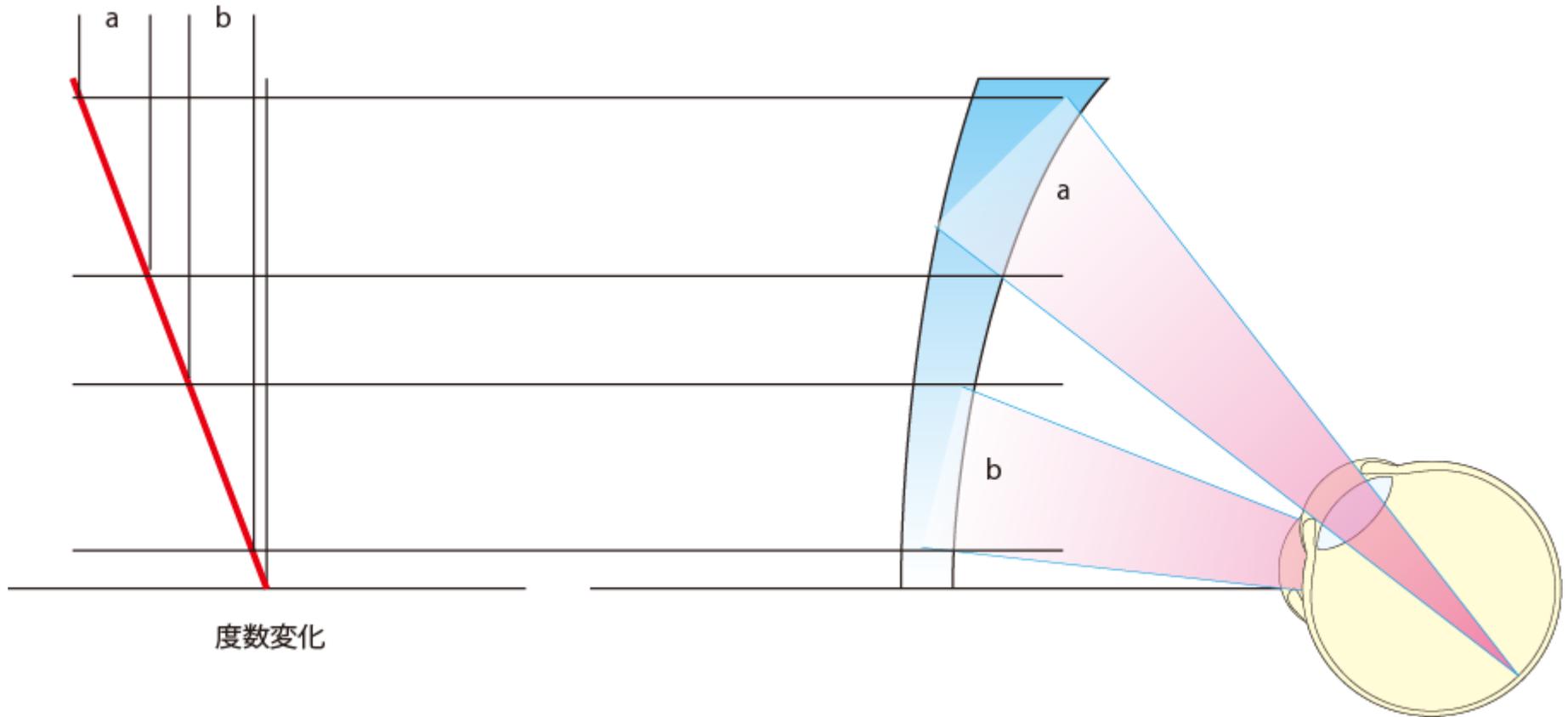
眼鏡レンズ (ESシリーズ) の場合

眼鏡レンズは1枚のレンズしか無いいため、「3次位相板」に相当する「3次非球面」を付加して被写界深度を延長します。



これまでの非球面レンズの収差補正は偶数次の非球面で行うため、3次の非球面による被写界深度延長効果は、収差補正効果に上乗せされず。

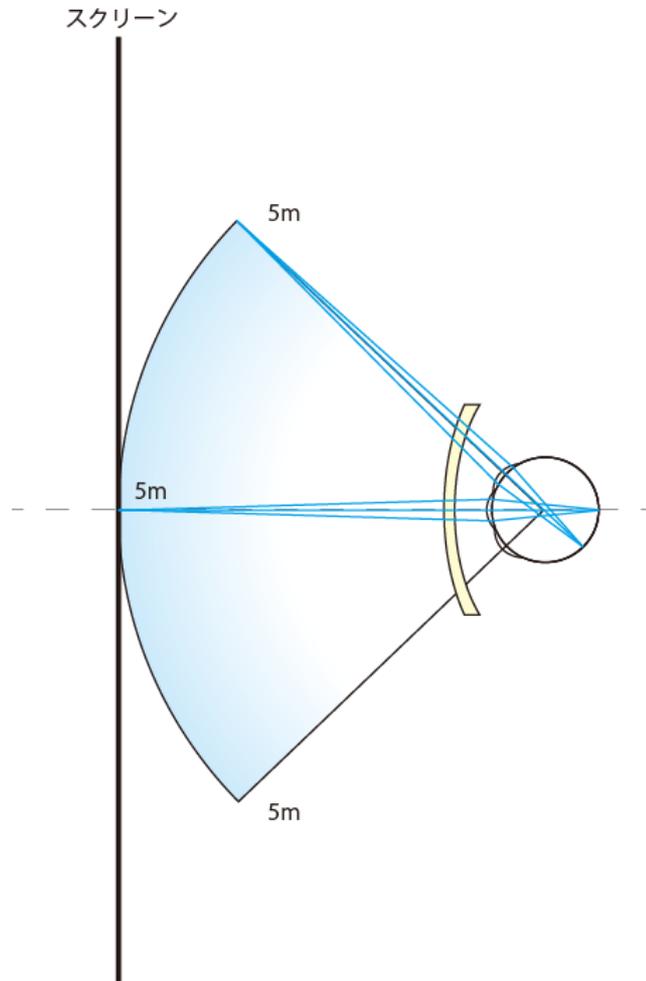
ESレンズ周辺部の被写界深度効果



- ・ESレンズの度数はほぼ直線的に変化します。
このため、レンズの中央付近でも外周部でも、視野の中に入る度数の変化量（図のa, b）はどこでもほぼ一定になります。
- ・被写界深度の効果はこの度数変化量によって決まるので、ESレンズではどの部分を見てもほぼ同じ効果が得られます。

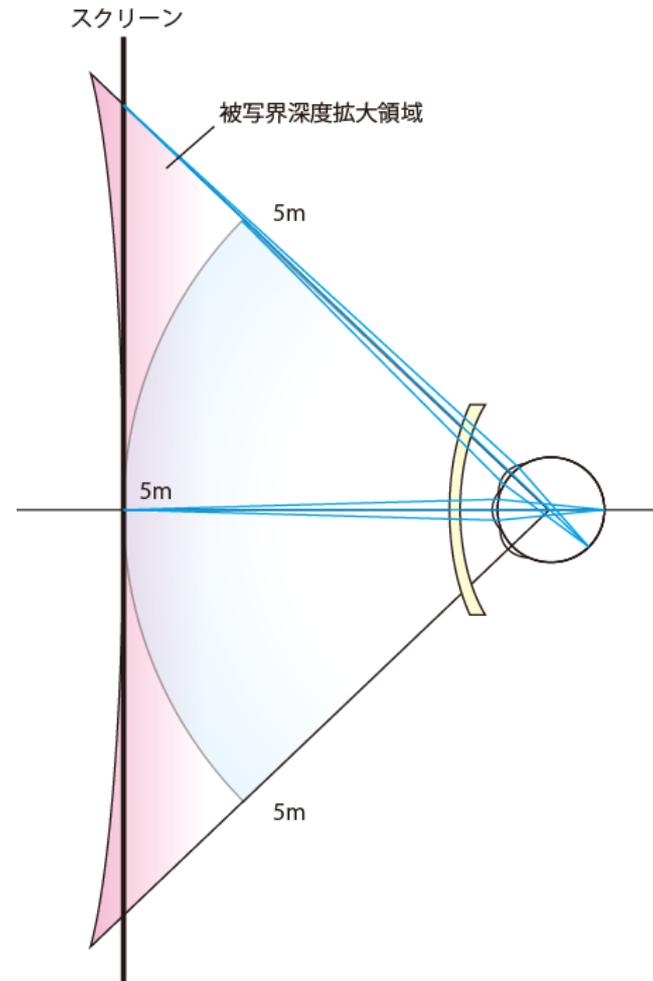
EDF設計効果-1: 視野の拡大

従来レンズ



周辺部まで均一な度数に設計されているため、焦点位置が球面上になり平面スクリーンまで届かない

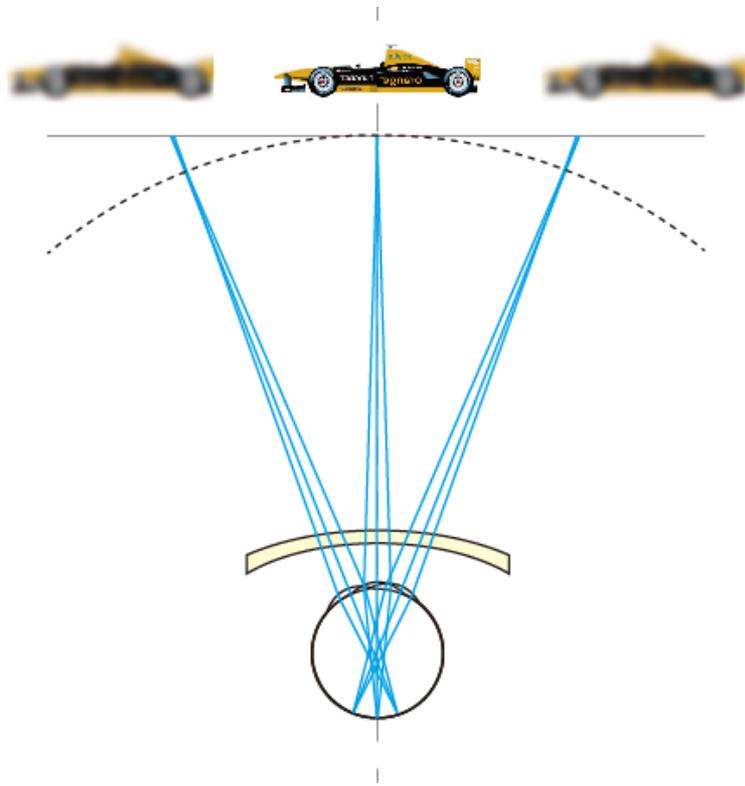
ESレンズ



ESは被写界深度延長効果により、平面状のスクリーンまで焦点が合う

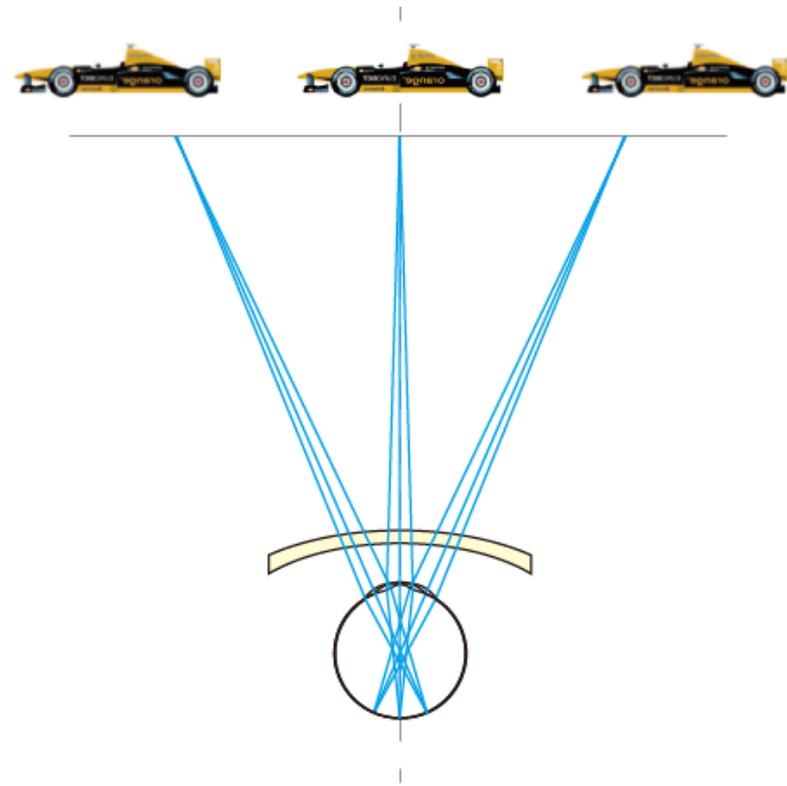
EDF設計効果-2: 動く物体が見やすい

従来レンズ



刻々と距離が変わる物体は、目の調節を使って焦点をシビアに合わせないとボケが大きくなる。

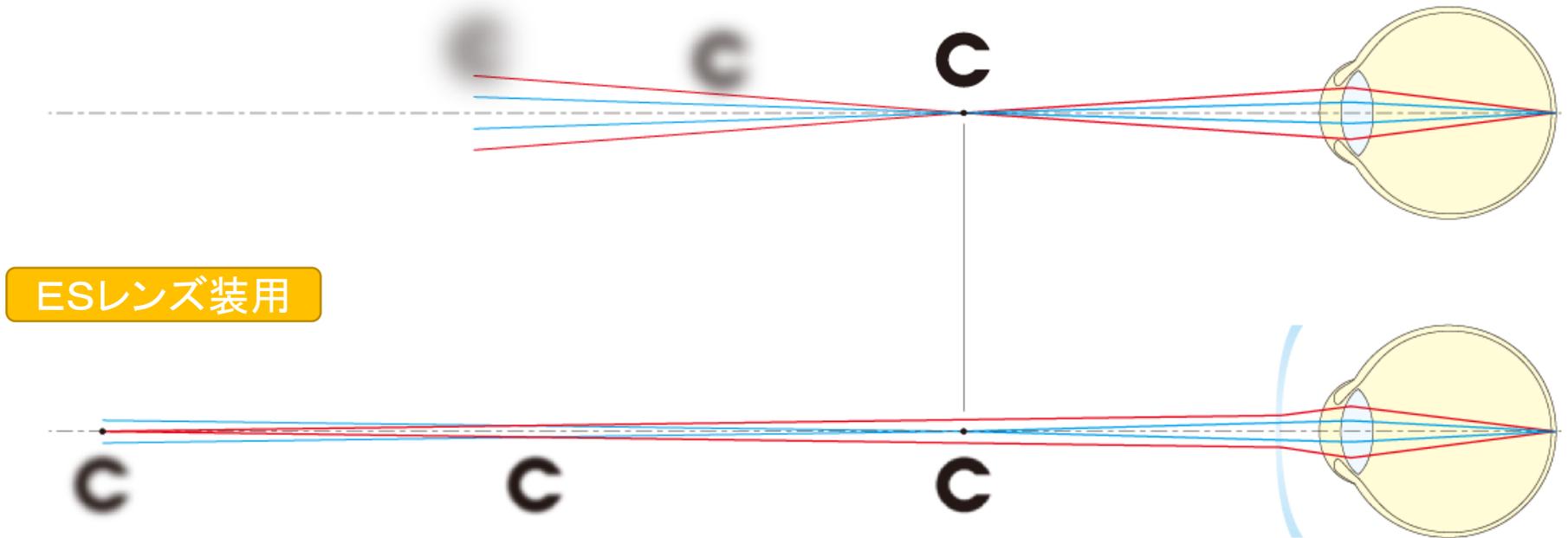
ESレンズ



ESは被写界深度延長効果により、目の調節はルーズでも良い画像が得られる。

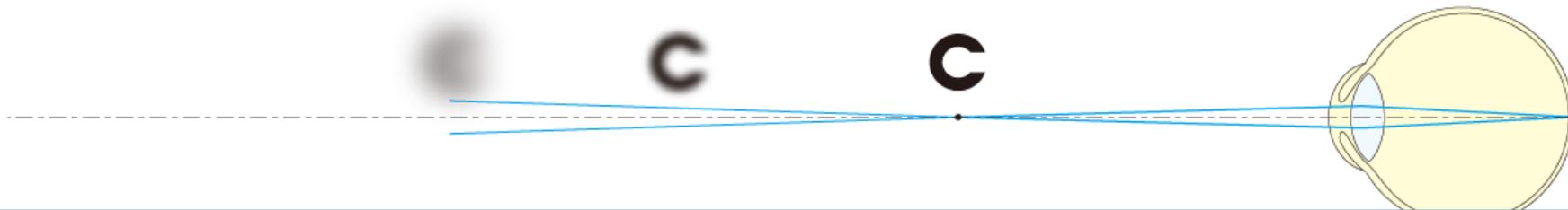
EDF設計効果-3: 調節性疲労の減少

焦点位置では指標がクリアに見えるが、焦点からずれた所では急激にボケが増加し解像度が落ちるため、常に適正な調節を維持しなければならない。

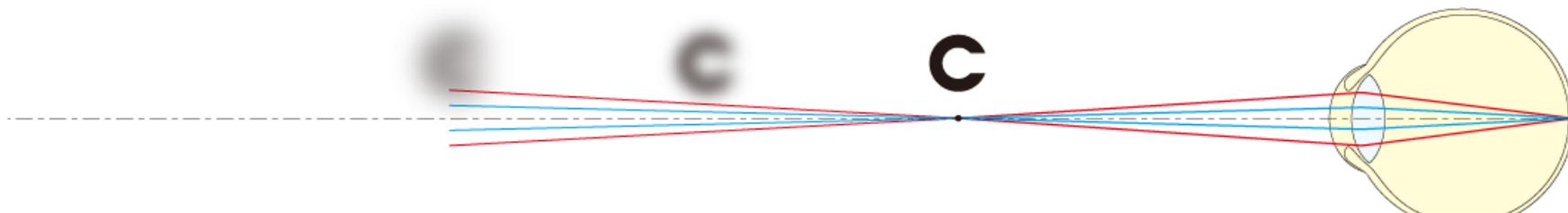


ESレンズを掛けると被写界深度が延長され、焦点位置がずれたところでも像のボケが少ないので、シビアな調節を維持する必要が無い。

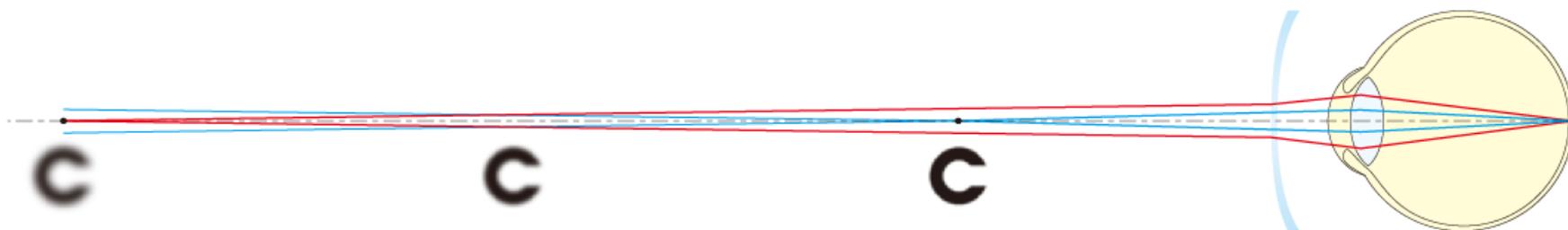
EDF設計効果-4: 薄暮時の視力低下減少



明るい時: 虹彩が閉じ光線束が細くなる為、被写界深度が深くなり比較的遠くまで見える



暗い時: 虹彩が広がり光線束が太く被写界深度が浅くなるため、焦点位置から外れると見えにくくなる



ESレンズ装用時: 夜間等、眼の虹彩が開いた状態でも被写界深度が深く、遠くまでクリアに見える

※濃い色のレンズを掛けた時も、同様にESレンズの効果が期待できます。

こんな人にお勧め	効果1 視野拡大	効果2 動体視	効果3 調節疲労	効果4 暗所視力
従来の非球面レンズで遠くの見え方に不満の人	○	○		
球面設計から非球面設計に掛けかえられない人	○			
夕方、物が良く見えないと感じる人				○
濃いサングラスカラーのレンズを掛ける人				○
ドライブ・スポーツ等、屋外での使用がメインの人		○		
素早い動きのあるもの、焦点位置が頻繁に変わるものを見ることが多い人		○		
新聞などを見ていると疲れる人			○	○

☆プラノのESレンズは3次位相板と同等なため、通常使用の眼鏡の上から掛けていただくことにより、被写界深度延長効果を体験できます。

※被写界深度延長効果は人および環境により感じ方が異なります。

※明るい場所や調節力が充分にある人は、被写界深度延長効果を感じづらい傾向にあります。

※販売時にはテストレンズを用いて、その効果を実感いただける方にお勧めします。

被写界深度延長効果の例1



遠くの街並みが
鮮明



レンズ無し



ESレンズ

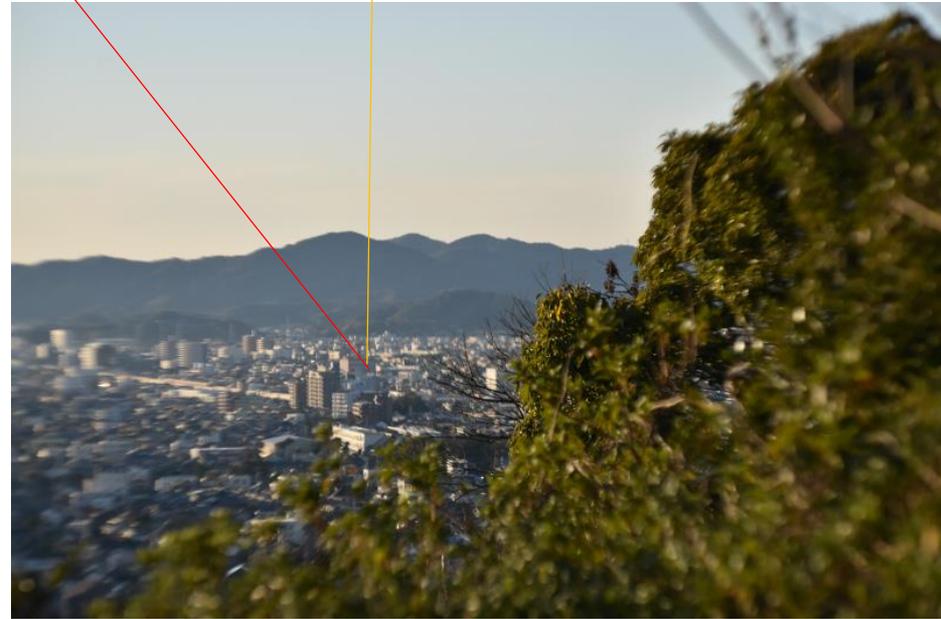
被写界深度延長効果の例2



ESレンズは焦点位置が全体的に遠くへシフトする

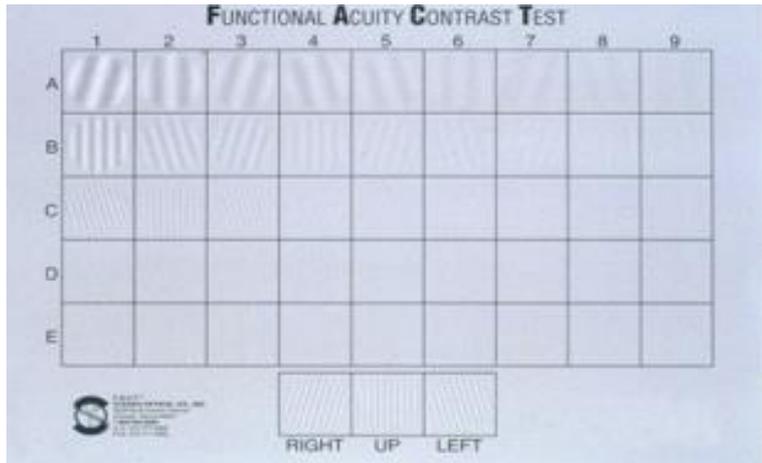


レンズ無し



ESレンズ

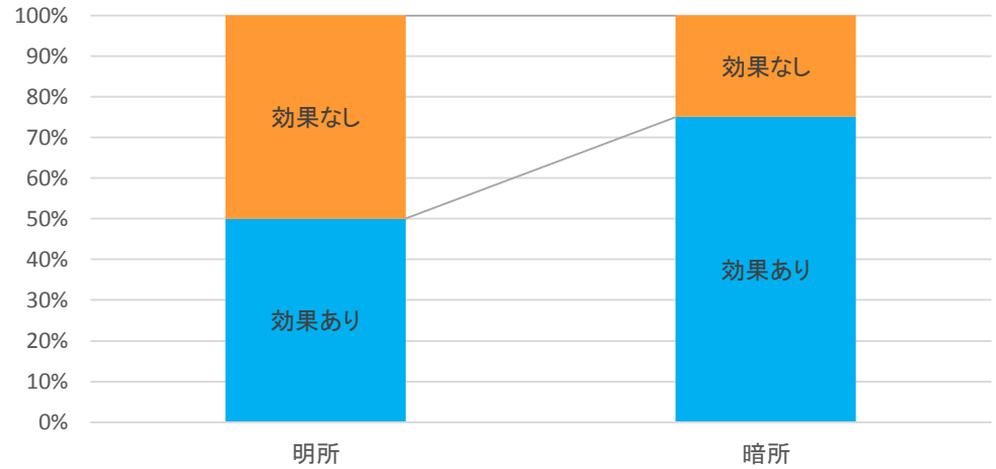
コントラスト感度調査試験



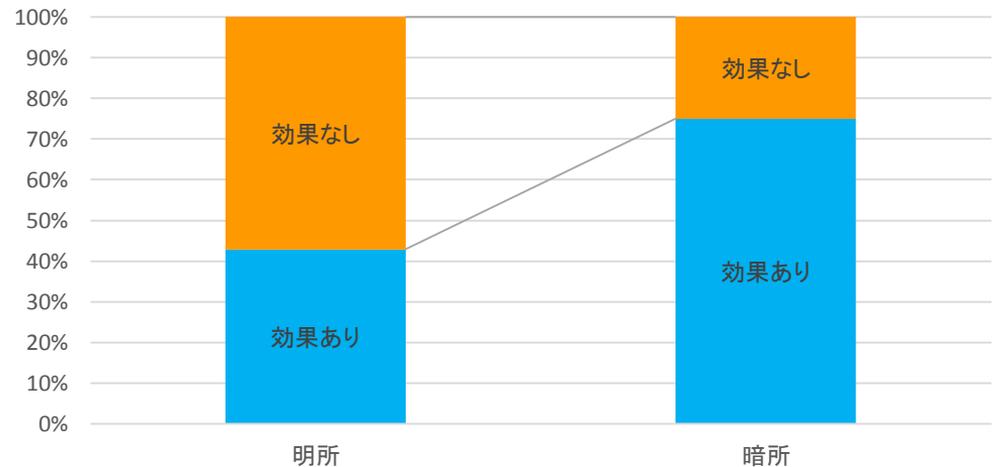
視標 Vistech社 ビジョンコントラストテスター6500

- 1) 暗い場所ではESレンズによるコントラスト感度向上効果が確認された。
- 2) 明るい場所での効果は顕著ではないが、コントラスト感度を劣化させることは無い。

明所・暗所時のコントラスト感度向上比較(眼数)



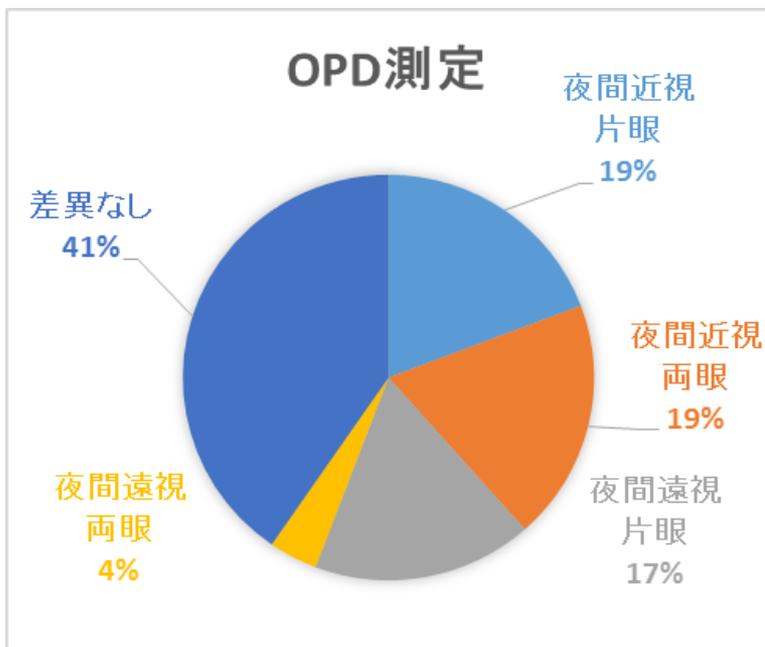
明所・暗所時のコントラスト感度向上比較(人数)



夜間遠視・夜間近視者への効果



OPD(波面収差)測定装置



No	明所視力	暗所視力変化	ES初感	視力測定	モニターアンケート結果
1	近視	夜間近視	○	×	初めての眼鏡だったため、眼鏡に違和感を感じた。
2	近視	夜間近視	-	△	比較用よりクリアに見え、みやすかった。
3	近視	夜間近視	○	○	運転中の使用が良い。累進用ESが欲しい。
4	近視	夜間近視	○	×	継続使用したい。
5	近視	夜間近視	×	△	自前の眼鏡と差が分からない。
6	近視	夜間近視	○	△	遠くがはっきり見える。
7	近視	弱夜間近視	-	○	周辺でゆがみを感じる。遠くははっきり見えた。
8	近視	弱夜間近視	○	×	使い慣れなかった。
9	近視	弱夜間近視	○	△	総合的にESが良い。鮮明さを感じた。
10	近視	弱夜間近視	○	-	自前眼鏡との差が無い。
11	近視	弱夜間近視	-	○	全体的に視野が広がる。自前眼鏡との差は少ない。
12	近視	未実測	○	-	差が感じられなかった。
13	近視	弱夜間遠視	-	-	自前眼鏡と差が無い。
14	近視	夜間遠視	○	△	自前眼鏡よりややはっきり見える。
15	近視	夜間遠視	-	△	遠用の見え方ははっきりくっきり。夜間運転で遠用が良好。
16	混合乱視	夜間遠視	○	△	暗い環境下で深度延長効果を感じられた、クリア感、フォーカス深度が深くなっていると体感。雨天夜間では、さらにクリア感を強く感じた。
17	混合乱視	夜間遠視	-	×	見え方に差があるものの、楽になる・見やすくなる感じはしなかった。
18	遠視	夜間近視	-	△	慣れなかった。明所・暗所関わらず、歪みを感じて気持ち悪くなってしまった。

【夜間遠視・夜間近視】

昼間と比べ夜間など、暗い環境下で瞳孔が開いた状態時に遠視化・近視化する。

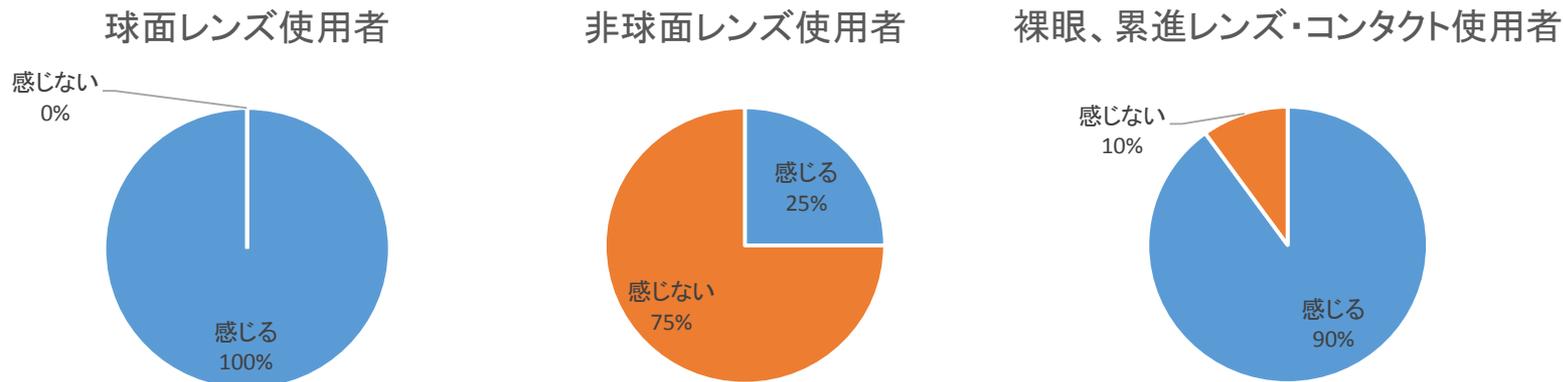
○:良
 -:同じ
 ×:悪
 ○:両眼向上
 △:片眼向上
 -:変化なし
 ×:劣化

モニター者の意見

- ・夕暮れ時の運転に使用して、物がハッキリ見えるので楽になりました。(20代)
- ・屋外での見易さが単焦点レンズと全然違ってびっくりしました。(20代)
- ・昼間・夜間関わらず遠方を見た際に、スッキリ・ハッキリ感が有り見やすい。視線周囲のクリア領域が広がった感じになる。(30代)
- ・一般的な球面タイプ単焦点レンズと比較して、見やすくなった。(40代)
- ・夜間運転中効果を感じた。(50代)
- ・雨曇りの日は見やすいように感じる。・通常の単焦点(非球面)よりは使いやすい。特に周辺視野。(50代)

普段使用レンズに層別したモニター結果

・被写界深度延長効果の体感結果



- ・普段使用するレンズが球面レンズ使用者は、被写界深度延長効果を感じられる割合が100%、裸眼・累進レンズ・コンタクト使用者では90%と、ESレンズは有効であった。
- ・非球面レンズ使用者では、設計の違いにより被写界深度延長効果を感じない被験者が75%となった。
- ・販売時にはテストレンズを用いて、その効果を実感いただける方にお勧めします。

モニター結果まとめ

- ・さまざまな回答の中で、遠くまではっきり・すっきり見えるとの評価も多くあった。
- ・暗所での環境下で、被写界深度延長効果を感じられるモニター者の割合が多かった。
- ・普段使用している眼鏡と、使用感に違いがあるとの意見もありました。

ESレンズの被写界深度延長効果は、特に遠方視や低照度の環境下で効果を発揮します。