

網膜走査型レーザアイウェアにおける解像感とフリーフォーカス特性の評価

－ 電子書籍や AR でのテキスト表示に優れた RETISSA® Display II －

影山健生、金子千鶴、宮内洋宜、野崎浩希、細山尚登、中村学、鈴木誠、菅原充
株式会社 QD レーザ
2019 年 10 月 15 日

要約：網膜投影型レーザアイウェアの特徴であるフリーフォーカス特性と解像感を実験的に評価した。昨年度発売した RETISSA® Display では屈折力-14D から+8D に渡る広範囲な領域において視力 0.4、最小可読フォントサイズ 13.6pt が得られ、フリーフォーカス性を改めて実証した。さらに、新製品の RETISSA® Display II では屈折力-11D(相当強度の近視)から+6D(中強度の遠視)の範囲で視力 0.8、最小可読フォントサイズ 8.2pt が得られ、フリーフォーカス性を広範囲で維持したまま解像感の向上を実現した。これにより 1 画面あたり表示可能文字数は約 3 倍となった。RETISSA® Display II は電子書籍や AR でのテキスト表示に優れた網膜投影ディスプレイである。

1. はじめに

網膜走査型レーザアイウェアは、微弱なレーザ光を網膜上に直接描画することによりユーザが直接画像を認識できる新しいタイプのディスプレイである。細いレーザビームを瞳孔中心に入射することにより深い焦点深度が得られ、その結果、眼球の焦点位置に依存しない [1,2]、つまり個人の視力やピント位置に依存しないフリーフォーカスディスプレイとして機能する。株式会社 QD レーザは、そのフリーフォーカス性と解像度の関係を実験と理論の両面で明らかにし、網膜ディスプレイの設計手法を確立してきた[3-5]。この設計に基づいて昨年販売開始した世界初の網膜走査型レーザアイウェアである RETISSA® Display(図 1)は、フリーフォーカス性を優先した設計となっており、遠視や近視、老眼などの個人の眼が持つ焦点距離のバラつきに対して対応力が広い。一方、2020 年 1 月に販売開始となる新製品である RETISSA® Display II(図 2)は、各部の軽量化やデザイン・周辺機器接続機能の向上に加えて、文字判別性など解像感の向上を目指した設計となっている。

網膜走査型レーザアイウェアは、光の三原色を



図 1 RETISSA® Display の外観写真



図 2 RETISSA® Display II の外観写真

用いたレーザディスプレイの一種ではあるものの、スクリーンを介さずに直接網膜に描画するため、スクリーン上の画質をカメラ等で評価する従来の方法で画質を評価することが難しい。そのため、

現時点では IEC/TC110/WG10 国際会議において、客観的かつ計量可能な新しい評価方法が議論されている[6]。

一方、観察者の「見え方」による評価は、個人差や主観、慣れなどの影響が含まれてしまい客観性にやや劣るものの、実際にユーザが感じる性能を直接測定するという面で優れている。そこで今回は数種類のコンタクトレンズを用いて眼球の屈折度 (Diopter; ディオプター。ディオプトリともいう) を変化させ、視力と最小可読フォントサイズの二つを評価することにより、解像感とフリーフォーカス性を評価した。

2. 実験

QD レーザ社員 3 人を被験者とし、両眼を測定対象 (対象網膜 6 個) とした。まず、オートレフメーターを使用して各眼球の裸眼での屈折度を測定した。さらに矯正値の異なるコンタクトレンズを装着してレーザアイウェアの画面を見て測定した。測定点数は 34 個とした。

RETISSA® Display および RETISSA® Display II を網膜投影型プロジェクターとして使用し、両者を比較した。視力測定ではランドルト環(図 3)を用いた小数視力評価を行った。ランドルト環を PC からレーザアイウェアに HDMI 入力し、被験者の網膜の水平視野角 26 度、垂直視野角 14.6 度 (表 1 の

アスペクト比参照) の画面上に投影する。ランドルト環の開口部の大きさを変えて視力を測定した。視角 1 分(1/60 度)の時に小数視力 1.0 である [7]。

また最小可読フォントサイズ評価測定は、視力測定用に開発された Optician Sans フォント[8](図 4)を用いてアルファベット(C, D, H, K, N, O, R, S, V)を上記と同様に網膜投影して行った。

表 1 より、走査線空間周波数に基づいて見積られる原理的な視力限界は RETISSA® Display で $600/(14.6 \times 60) = 0.68$ 、RETISSA® Display II で $720/(14.6 \times 60) = 0.82$ である。

両 Display の設計上の違いは、投映解像度と角膜に入射する平行レーザービームの径にある。RETISSA® Display II では新光学系によって 720P の投映解像度を確保するとともに、ビーム径をやや太くして網膜上のビームスポット径を小さくした。これによって、フリーフォーカス性を維持しながら、解像度を上げる最適バランスを得ている [3-5]。

表 1 RETISSA Display と RETISSA Display II の画質仕様

	RETISSA® Display	RETISSA® Display II
水平視野角	26 度	26 度
アスペクト比	16:9	16:9
投映解像度	1024 × 600 (WSVGA 相当)	1280 × 720 (720P)



図 3 ランドルト環の一例 [5]

C D H K N O R S V Z

図 4 Optician Sans フォントと使用文字 (ここでは 16pt)

3. 結果と議論

視力測定結果を図 5 に示す。RETISSA® Display では、測定範囲内において被験者や屈折度に依存せず視力 0.4 が得られた。一方 RETISSA® Display II においては、屈折度の実験範囲での上限 (遠視側) においても視力 0.4 を確保し、おおむね視力 0.8 となった (上限 2 点を省いたデータにおいて平均 0.77、標準偏差 0.08) となった。上限の視力 0.4 は、解像感を向上させたことによる焦点深度減少の影響であるが、相当強度の近視 (-11D) から中強

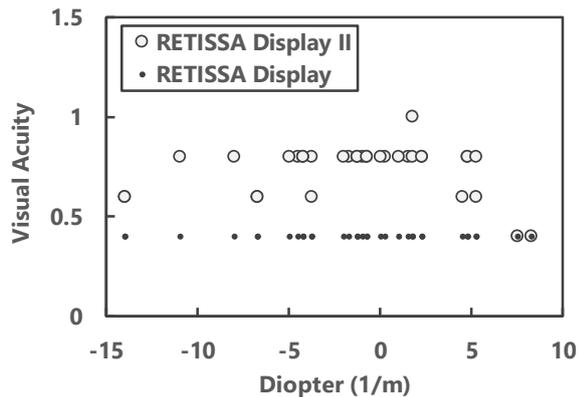


図5 網膜走査型レーザーアイウェアにおける視力測定結果

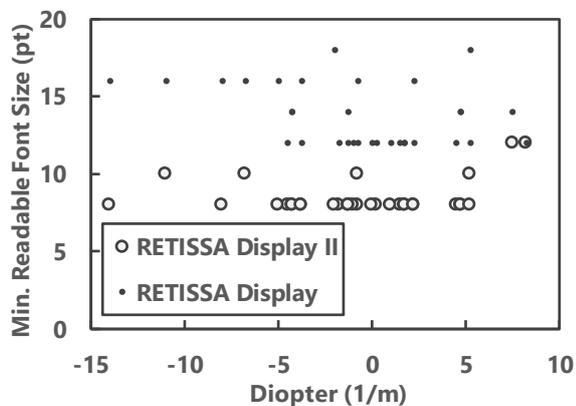


図6 網膜走査型レーザーアイウェアにおける最小可読フォントサイズ測定結果

度の遠視(+5D)に相当する屈折度の範囲までおおむね視力 0.8 を持つことができた。さらに強度近視 (-15D) でも視力 0.6 が得られた。

最小可読フォントサイズ評価測定の結果を図 6 に示す。RETISSA® Display においては多少のばらつきがあり、平均が 13.6pt、標準偏差 2.0pt であった。バラつきの要因は被験者のコメントによると飛蚊症の影響である。小さい点を見るランドルト環実験に対して比較的大きいエリアを見るフォントサイズ評価測定においては飛蚊症の影響を受けやすく、これはフリーフォーカス性の強い RETISSA® Display の特徴によるものと考えられる。

一方 RETISSA® Display II では最小可読フォントサイズの平均は 8.2pt と小さくなった。また、標

準偏差も 0.63pt と小さく、飛蚊症の影響が少ないと判断できる。すなわち、RETISSA® Display II は小さなフォントを読みやすいことが明確となった。

RETISSA® Display II の最小可読フォントサイズは RETISSA® Display の 0.6 倍(13.6pt から 8.2 pt へ)であり、1 画面あたりの表示可能文字数は約 3 倍(2.8 倍)となる。

4. まとめ

RETISSA® Display II では相当強度の近視 (-11D) から中強度の遠視(+5D)の範囲でおおむね視力 0.8、最小可読フォントサイズ 8.2pt が得られ、フリーフォーカス性を広範囲で維持したまま解像感の向上を実現した。これにより 1 画面あたり表示可能文字数は約 3 倍となった。

RETISSA® Display II は電子書籍や AR でのテキスト表示に優れた網膜投影ディスプレイである。

Reference

- [1] Maxwell, J. C., "On the Theory of Compound Colours, and the Relations of the Colours of the Spectrum," Phil. Trans. R. Soc. Lond. 150, 57-84 (1860).
- [2] Westheimer, G., "The Maxwellian View," Vision Res. 6, 669-682 (1966).
- [3] Makoto Suzuki, Kenji Yasui, Kinya Hasegawa, Nori Miyauchi and Mitsuru Sugawara "Image Quality of Retinal Projection Laser Eyewear : How to Achieve High Resolution and Free Focus in Proper Balance " Proceedings of The 6th Laser Display and Lighting Conference (LDC 2017), LDC2-3(2017)
- [4] Mitsuru Sugawara, Makoto Suzuki, Manabu Ishimoto, Kinya Hasegawa, Nobutaka Teshima, Kenji Yasui, and Nori Miyauchi, "Every aspect of advanced retinal imaging laser eyewear: principle, free focus, resolution, laser safety, and medical welfare applications," Proc. SPIE 10545, MOEMS and Miniaturized Systems XVII, 105450O (Presented at SPIE OPTO: January 31, 2018; Published: 22 February 2018).
- [5] 【特許番号】6227177、【発明の名称】画像投影装置、【登録日】2017年10月20日
- [6] IEC 62906-5-5 Scanning Retina direct projection laser display devices (2nd CD) : <https://home.jeita.or.jp/device/committee/hyoujun/laser.html>
- [7] 例えば https://www.nidek.co.jp/eyestory/eye_5.html
- [8] <https://optician-sans.com/>