

図1 ダブルパスPSFの取得のための測定装置概略図

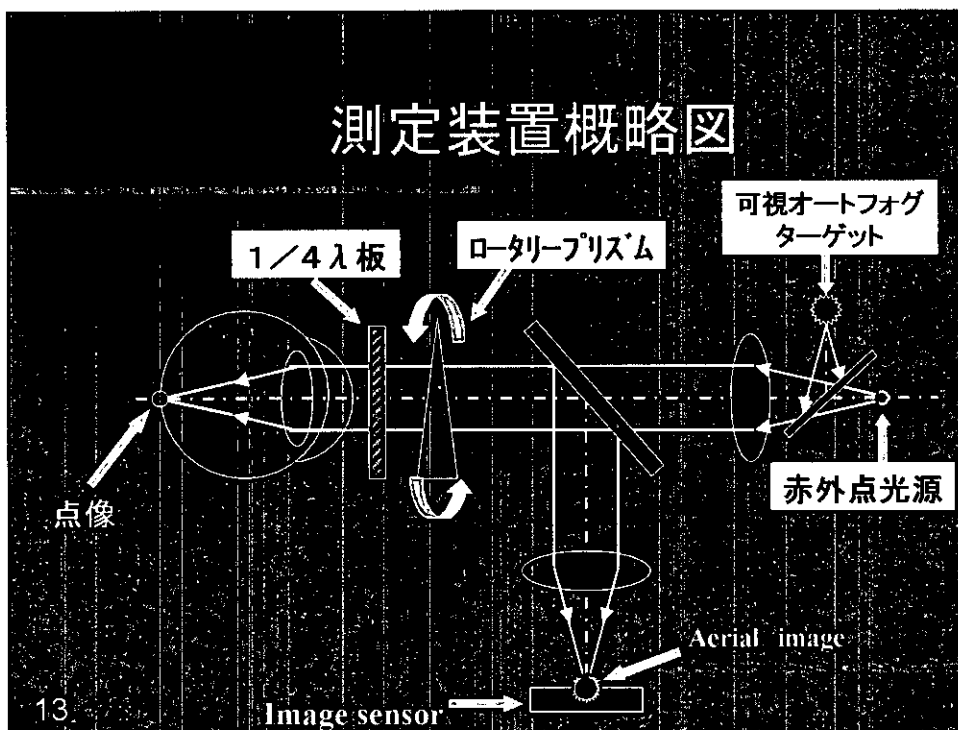


図2 シングルパスPSFの算出と網膜像のシミュレーション

ダブルパス PSF 像から、ダブルパス MTF, シングルパス MTF, シングルパス PSF を順次算出する。シングルパス PSF オリジナル視標とのコンボリューションにより、シミュレーション網膜像が得られる。

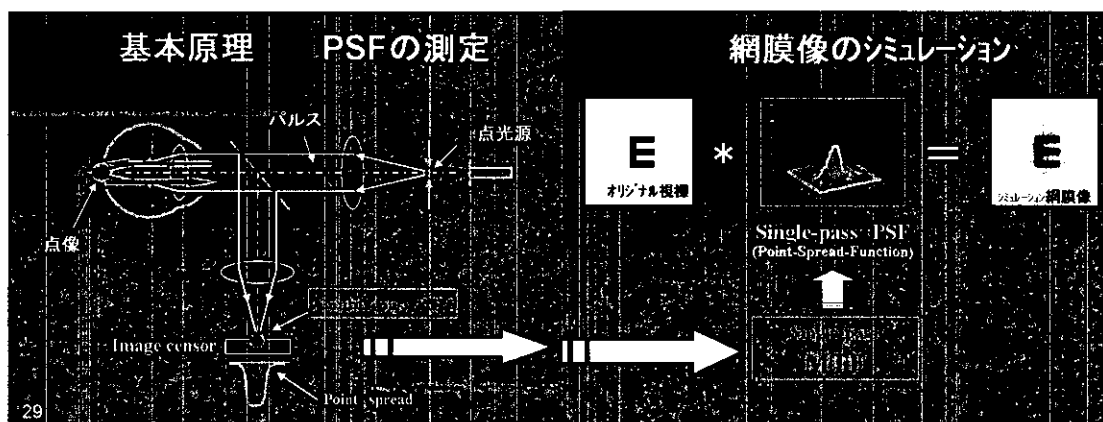


図3 23歳，正視のPSF像（露光60msec，入射瞳、射出瞳共 ϕ 4.0mm）
 (a) CCD上で加算積分して得られたダブルパスPSF像。
 (b) 算出したシングルパスPSF像。

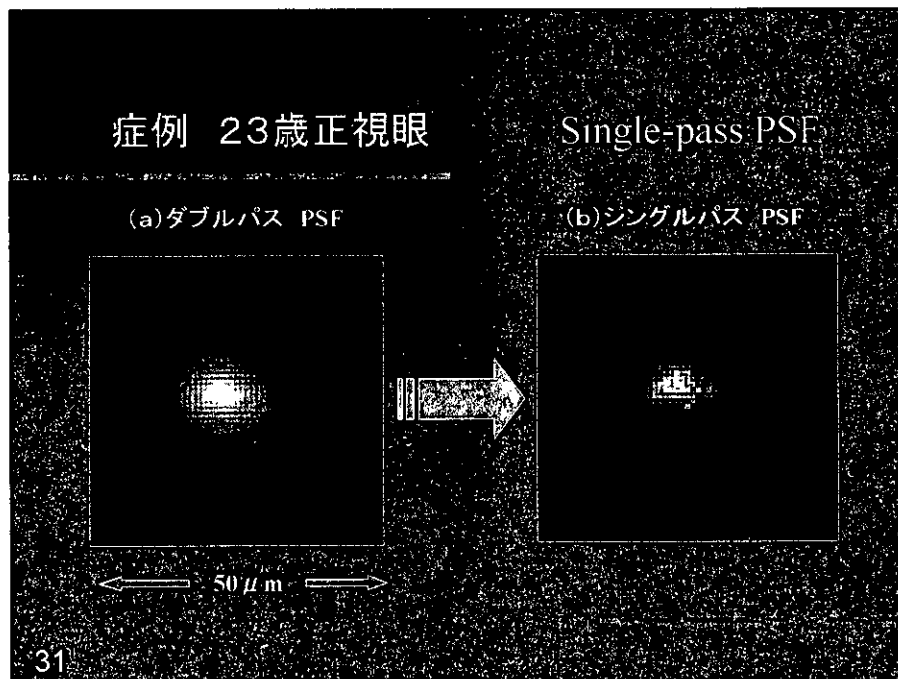


図4 23歳，正視のシミュレーション網膜像

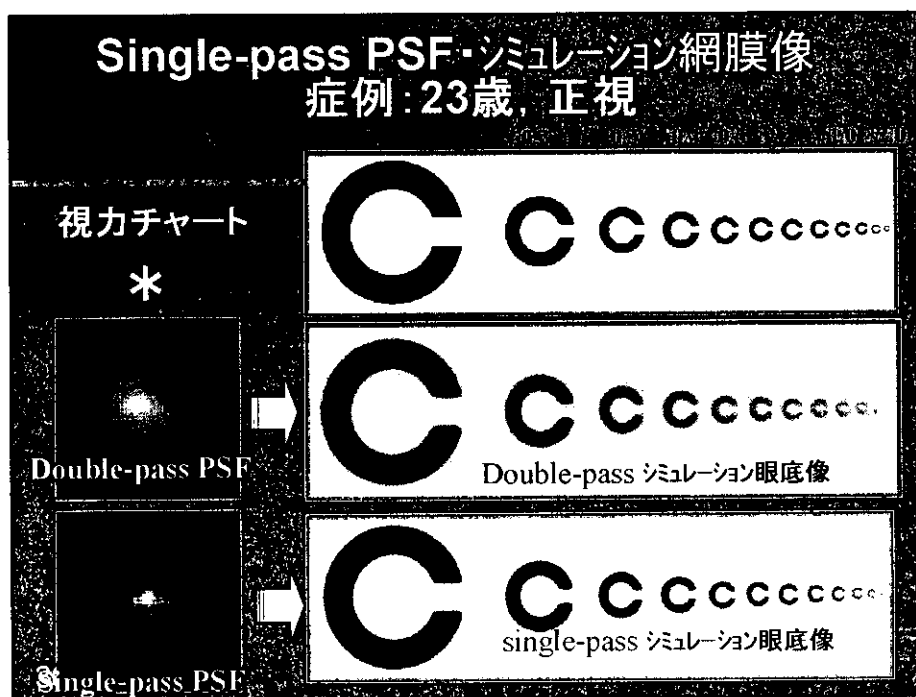


図7 60歳，近視性乱視眼のシミュレーション網膜像，コントラスト特性，SDVA

同様に、コントラスト特性より推定した視力値（SDVA）は自覚視力値=1.2 とほぼ一致する結果が得られた。

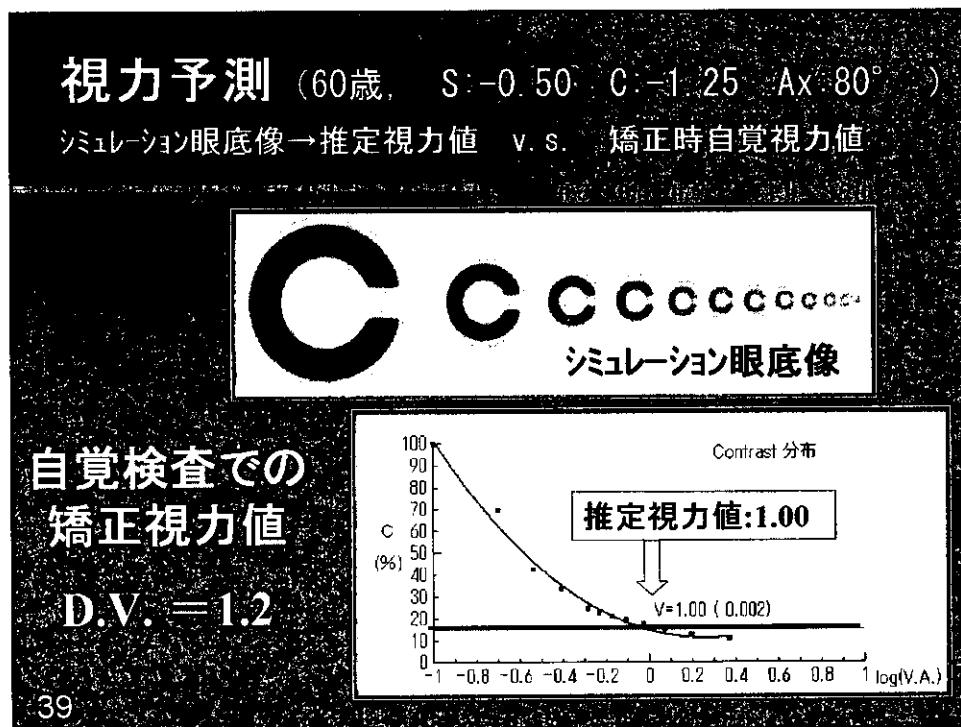
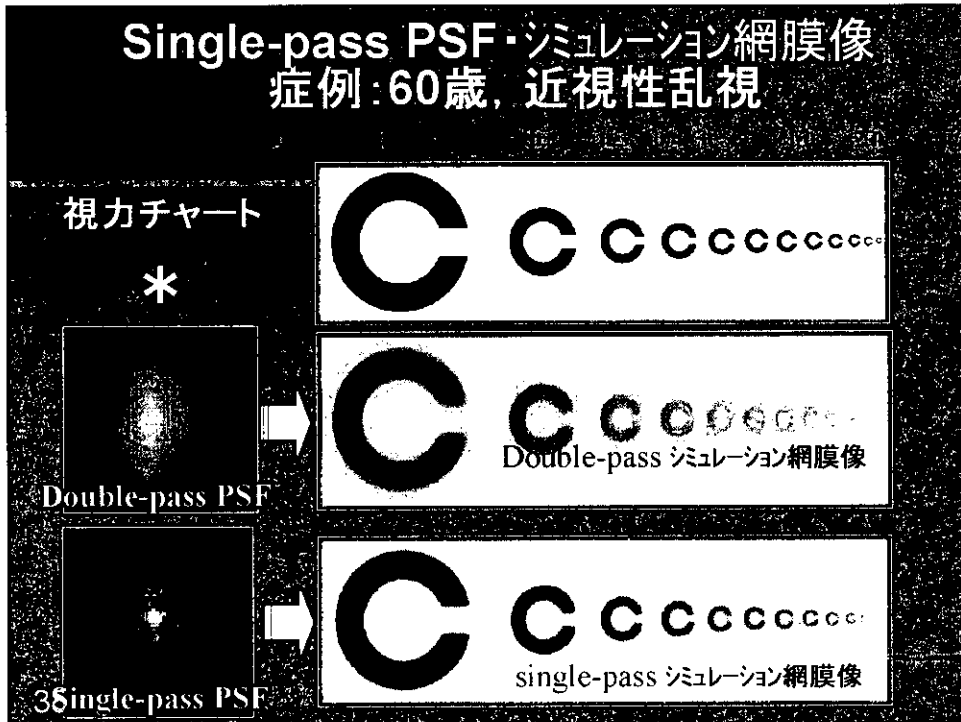


図8 加齢性白内障，76歳のシミュレーション網膜像，コントラスト特性
 左は白内障眼、右はその手術後（眼内レンズ：IOL挿入後）。上段はシミュレーション網膜像、下段は横軸は小数視力の対数值、縦軸はコントラスト強度を示す

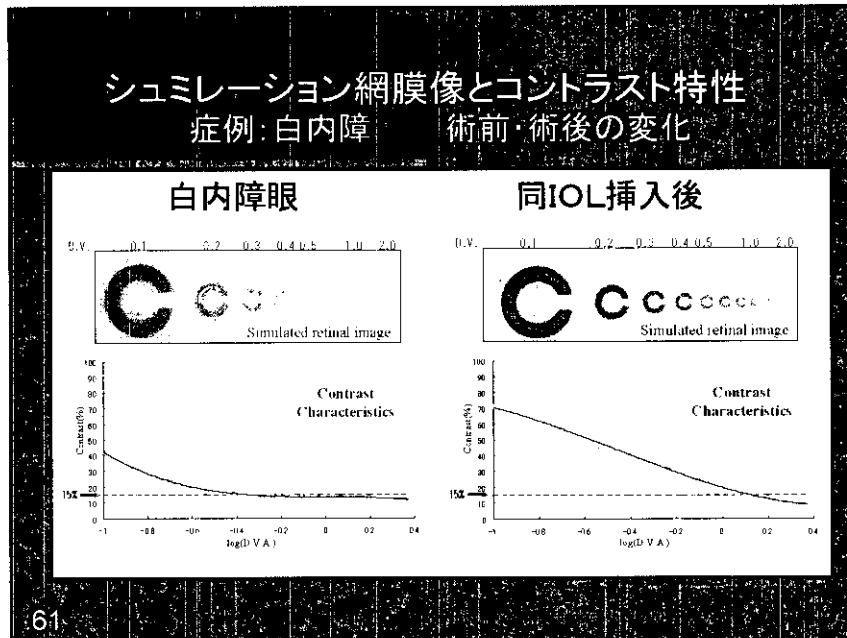
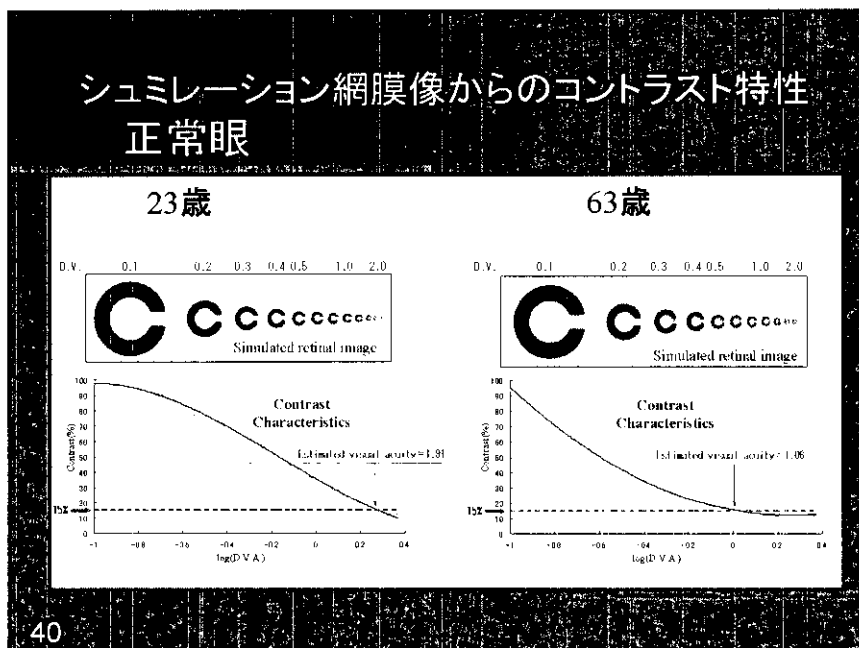


図9 20歳代と60歳代の小数視力値に対するコントラスト特性
 各5眼の平均値を示す。横軸は小数視力値の対数。縦軸はコントラスト強度。図中、黒色線は20歳代、灰色線は60歳代を示す。コントラスト=15%との交点から、20歳代、60歳代の平均視力値はそれぞれ、SDVA=1.57、SDVA=1.17と推定できる。



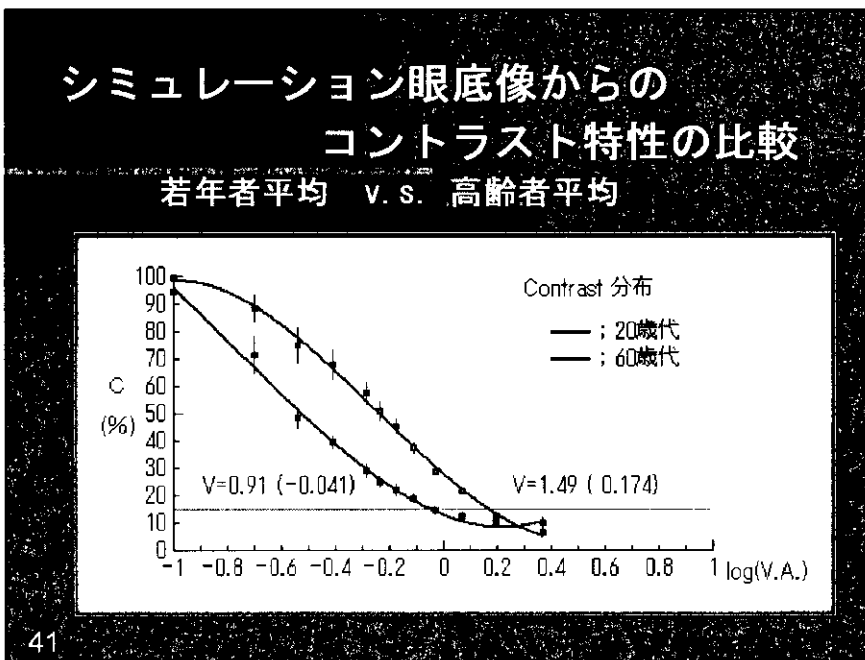
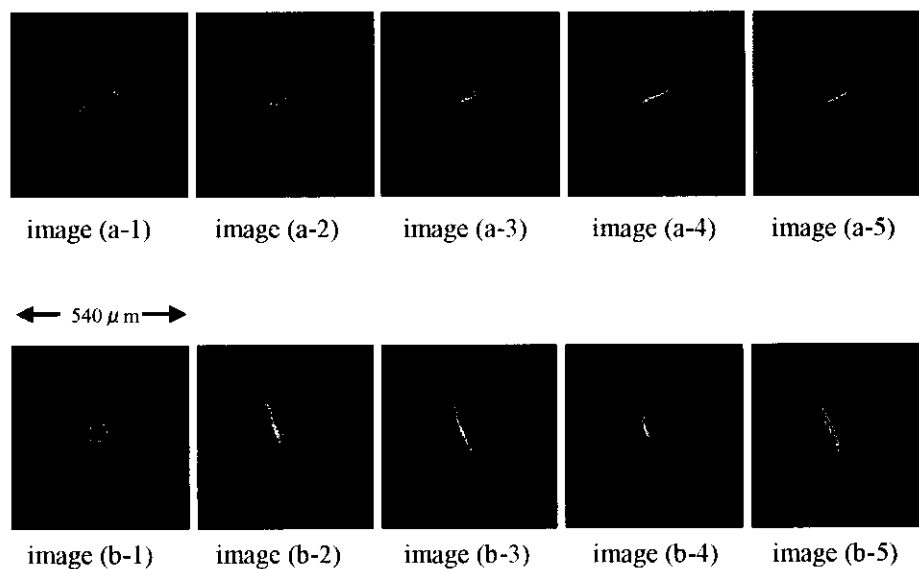


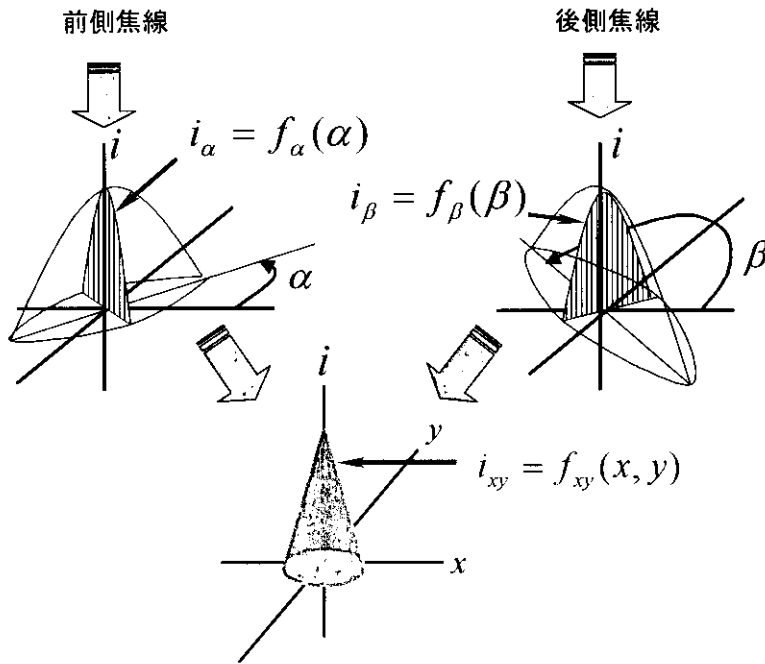
図 10 31歳, 近視性乱視のダブルパス PSF 像

image(a-3)はダブルパス前側焦線像。 image(b-3)はダブルパス後側焦線像。 image(a-1)から image(a-5)は前側焦線を含む 0.125D 毎のダブルパス PSF 像。 image(b-1)から image(b-5)は後側焦線を含む 0.125D 毎のダブルパス PSF 像。



(図-10)

図 1 1 3次元 PSF の合成原理。



(図-11)

図 1 2 矯正後 PSF の推定。

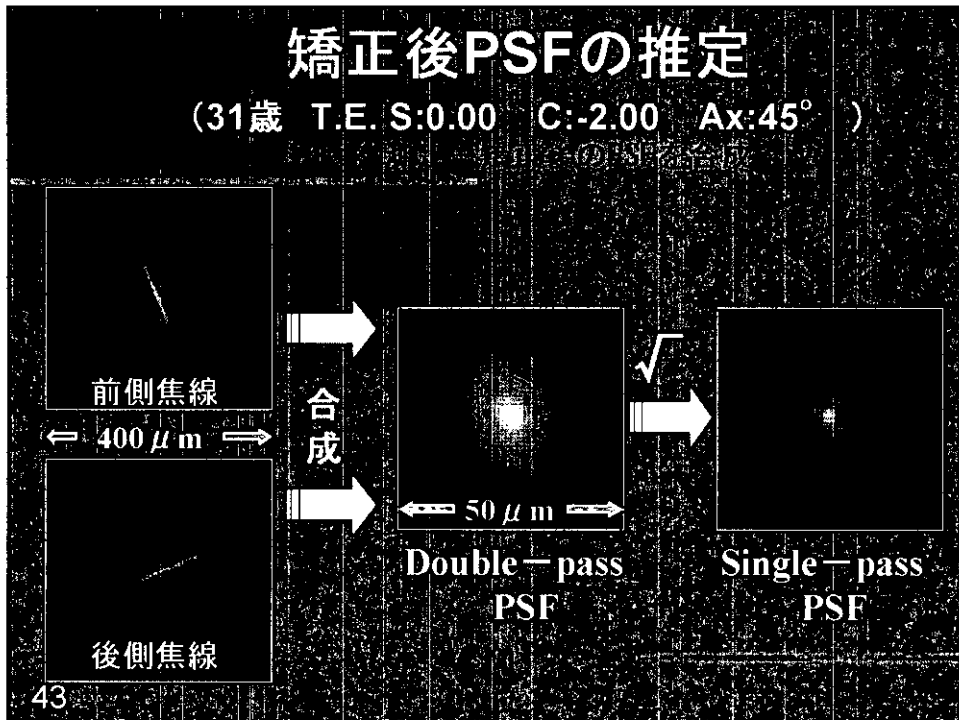
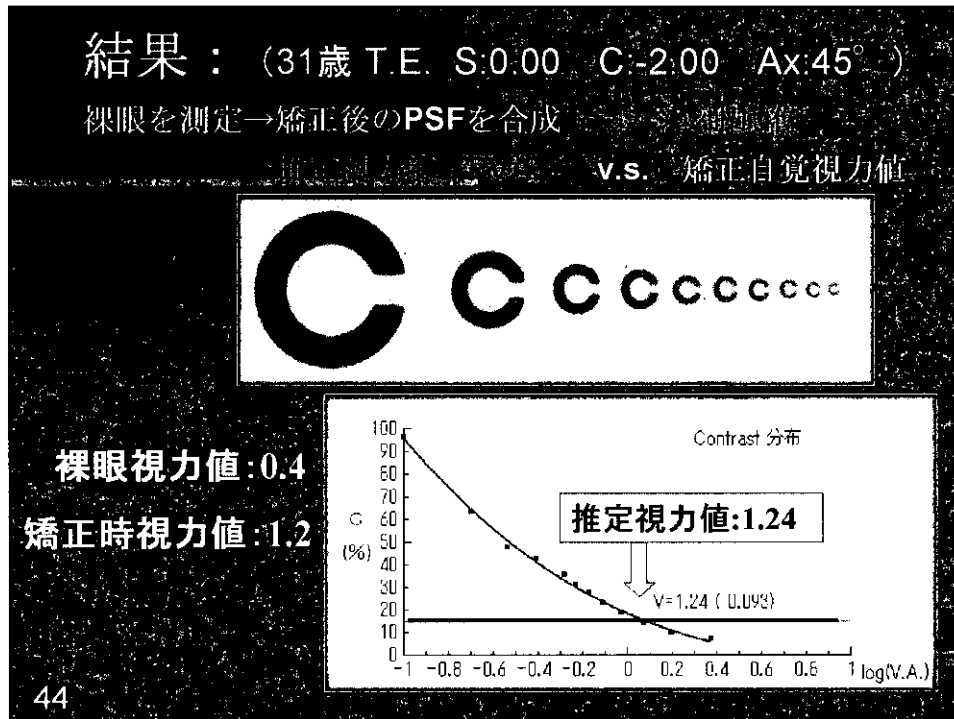


図13 31歳，近視性乱。矯正後の予測網膜像，コントラスト特性，予測視力。

コントラスト特性より推定した到達可能予測視力値 PDVA は自覚視力値=1.2 とほぼ一致した。



厚生科学研究費補助金（感覚器障害研究事業）
分担研究報告書

新しいPoint Spread Function解析装置による正常眼、
白内障眼および眼内レンズ挿入眼の視機能評価
（H13-感覚器-011）

分担研究者 根岸一乃 慶應義塾大学医学部眼科学教室専任講師

研究要旨：

本研究は正常眼、白内障眼、眼内レンズ挿入眼のPoint Spread Function(PSF)解析により、その視機能を客観的に評価することを目的とした。対象は、正常眼、白内障眼、眼内レンズ挿入眼で、方法は、眼底での鏡面反射成分を用いるdouble-pass方式の新しいPSF解析装置を用いて、被検眼のシングルパスModulation Transfer Function (MTF)を算出し、年齢や白内障の混濁形態などによる影響を定性的および定量的に検討した。同時に求めたsingle-pass PSFを用いて、種々の大きさのランドルト環視標の網膜像をコンピューターでシミュレーションし、同時に推定視力を算出した。結果として、正常眼では、MTFは年齢とともに低下し、高齢者では特に中周波数領域の低下が著明であった。白内障眼では全周波数領域で正常眼よりもMTFの低下がみられたが、そのパターンは白内障の混濁形態により異なっていた。たとえば、び慢性に混濁した白内障眼では全周波数領域においてMTFは一樣に低下したが、中心付近のみに強い混濁をもつ白内障眼では低および高周波数領域よりも中間周波数領域において顕著な低下を示した。白内障眼のMTFは白内障術後は改善した。ランドルト環視標の網膜像シミュレーションにより、被検眼における結像状態の違いが客観的、具体的に示され、実際の視機能の推定に有用であった。また、コントラスト特性より算出した推定視力は、散乱光の影響が少ない正常眼では実測値とほぼ一致した。結論として、正常眼、白内障眼、眼内レンズ挿入眼の視機能は、年齢および白内障の混濁形態により影響されることがわかった。本解析システムによる網膜像シミュレーションは客観的な視機能評価のために有用である。

A. 研究目的

近年、白内障手術の進歩およびエキシマレーザー屈折矯正手術の普及により、術後のQuality of visionが注目されている。術後視機能に影響を及ぼす因子は、大きく分けて角膜前面から網膜上までの眼球の光学系としての機能と、網膜以降、大脳でのプロセッシングも含めた神経機能の2つに分けられる。いまや広義の屈折矯正手術といわれる白内障手術、およびLASIK(Laser in situ keratomileusis)などの屈折矯正手術の際に目標とされるのは、前者の眼球の光学系としての機能の向上である。しかし、従来の視力検査やコントラスト感度検査は自覚検査であり、眼球の光学機能に加え神経機能の影響が常に含まれるため、白内障や屈折異常などの疾患や屈折矯

正手術が眼球光学系へ及ぼす影響を正確に他覚的に測定する手段はなかった。

このような問題に関し、近年眼球光学系の点像強度分布(Point-Spread-Function;PSF)を測定する方法が報告されている。PSFとは、いわば眼底に投影された点像の"ボケ"の程度を点像の強度分布で表すもので、眼球光学系の全経線方向のMTF情報を有する量である。今回われわれは新しく開発されたPSF解析装置を用いて、正常眼、白内障眼、眼内レンズ挿入眼の視機能について検討したので報告する。

B. 研究方法

対象は、正常眼、加齢性白内障眼、眼内レンズ挿入眼である。方法は被験眼を完全矯正した後、眼底

での鏡面反射成分を用いるダブルパス方式の新しいPSF解析装置1)を用いて、被験眼眼底に最小の点光源像が形成された状態で測定したダブルパスPSFから、シングルパスModulation Transfer Function (MTF)を算出した。その後、シングルパスMTFを逆フーリエ変換することにより、シングルパスPSF求めた。

このようにして求めたシングルパスPSFは、いかなる物体でもその像がどのように眼底に結像するか、という全ての情報を含んでいるので、シングルパスPSFと任意の視力チャートとでコンボリューション積分を行うことで、シミュレーション網膜像を導出し、そのチャートがどのように被検眼眼底に結像しているかを具体化した。さらに、Rayleigh criterionを適用し、シミュレーション網膜像のランドルト環の切れ目のコントラストが、15%以上あるときに、被検者は切れ目を認し得る、という基準を設定し、被検眼の視力を推定した。

<倫理面への配慮>

実験測定機の測定部デザインや動作機能に関しては、すでに臨床使用が一般化しているオートレフクラクトメータに準じており、測定に用いる赤外波長レーザー光は、定められた安全基準に比してはるかに低レベル光量である。被検者に関しては、検査の機器に関する理解と同意を得て行われる非侵襲的な検査であり、倫理上の問題はない。

C. 研究結果

まず、シングルパスMTFの結果について示す。正常眼では、MTFは年齢とともに低下していた。特に高齢者では中周波数領域の低下が著明であった。白内障眼では全周波数領域で正常眼よりもMTFの低下がみられたが、そのパターンは白内障の混濁形態により異なっていた。たとえば、び慢性に混濁した白内障眼では全周波数領域においてMTFは一様に低下したが、中心付近のみに強い混濁をもつ白内障眼では低および高周波数領域よりも中間周波数領域において顕著な低下を示した。白内障眼のMTFは白内障術後(眼内レンズ挿入眼)は改善した。

つぎに、シングルパスPSFより導出した、シミュレーション網膜像および推定視力の結果についてであるが、各被検眼の結像状態の違いは、ランドルト環視標のシミュレーション網膜像として具体的、客観的に示され、実際の視機能の推定に有用であった。また、コントラスト特性より算出した推定視力は、散乱光の影響が少ない正常眼では実測値とほぼ一致した。

D. 考察

今回の測定により、眼球の神経機能の影響除いた光学的な機能が純粋に他覚的に明らかになった。このような網膜像のシミュレーションや、推定視力に関する報告は、従来からあり、波面センサーによって測定した眼球光学系の波面形状から、その光学応答特性であるPSFを算出し、網膜像のシミュレーションや角膜形状解析装置による測定結果による推定視力の算出も報告されている。しかし、波面センサーによる方法では、眼球光学系の透光体に濁りがある場合は、その部分を通過する光束の情報が欠落してしまうために、このような混濁の無いことが測定条

件となる。また、角膜形状解析による方法では他の透光体の影響は含まれない。したがって、解析対象は合併症のない屈折異常眼やLASIK術後眼などに限定される。これに対しPSF解析装置では、眼球全体の光学機能の影響により生じる像の質を表すPSF測定値から網膜像をシミュレートし推定視力を算出している。

このため、屈折異常眼やLASIK術後眼ばかりでなく、白内障や後発白内障など透光体に混濁のある症例を含め、幅ひろい症例で光学的機能を解析し、網膜像の推定を行うことができる。したがって、角膜混濁、白内障、後発白内障の進行程度や治療適応などの客観的基準になり得ると同時に、白内障術後眼、屈折矯正手術術後眼などの詳細な視機能評価にも適している。正常者でも年齢によってMTFが違うことは従来から報告されていたが、今回の結果もそれを裏付けていた。また、白内障眼では、混濁形態により、MTFの低下のパターンが異なっていたが、ランドルト環の網膜像シミュレーションではそれぞれの被検眼の結像状態が具体的にあらかになった。今回は網膜像のシミュレーションのサンプルとして様々な大きさのランドルト環視標を用いたが、必要に応じてlog-MARチャート、コントラストチャートなどの他の視標を用いることも可能である。このシミュレーションにより、医師は患者の実際の見え方が具体的に把握しやすくなり、インフォームドコンセントの際にも有用と思われた。

E. 結論

正常眼、白内障眼、眼内レンズ挿入眼の視機能は、年齢および白内障の混濁形態により影響される。本解析システムによる網膜像シミュレーションはそれらを客観的に評価する上で有用である。

F. 健康危険情報

特になし

H. 知的財産権の出願・登録情報 (予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Negishi K, Ohnuma K, Hirayama N, Noda T: Effect of chromatic aberration on contrast sensitivity in pseudophakic eyes. Arch Ophthalmol 119:1154-1158,2001

2. 根岸一乃: 前眼部解析装置. 臨床検査 45 :1579-1582,2001

3. 根岸一乃: 色収差. IOL&RS 15:9-12,2001

4. 小林克彦、根岸一乃: PSFアナライザーによる術後網膜像の評価: IOL&RS 15:205-210,2001

5. 根岸一乃: 屈折矯正手術Q&A. 患者選択はどのように行うのですか? あたらしい眼科 18 :15-18,2001

6. 根岸一乃: 眼内レンズ挿入眼の視機能. あたら

しい眼科、印刷中

7. 根岸一乃：マイクロケラトームの使い方. 眼科
44:173-177,2002

2. 学会発表

1. Negishi K, Kobayashi K, Ohnuma K, Ohno K, Noda T: Visual simulation system according to the point spread function analysis in various patients. American Society of Cataract and Refractive Surgery, Annual meeting, 2001, San Diego, USA

2. Kosaka K, Negishi K, Yamazaki S, Yoshino M, Nakamura K, Kurosaka D, Mashima Y: The effect of pupil size on night vision contrast sensitivity in LASIK patients. American Society of Cataract and Refractive Surgery, Annual meeting, 2001, San Diego, USA

3. Yamazaki S, Negishi K, Kosaka K, Yoshino M, Nakamura K, Kurosaka D, Mashima Y: The effect of central glare on night vision contrast sensitivity in LASIK patients. American Society of Cataract and Refractive Surgery, Annual meeting, 2001, San Diego, USA

4. Negishi K, Kobayashi K, Shibutani M, Takeuchi G, Ohnuma K, Hirayama N, Ohno K, Noda T: Evaluation of visual function using a new point spread function analysis system in normal, cataractous, and pseudophakic eyes. The association for research in vision and ophthalmology, Annual meeting, 2001, Florida, USA

5. Kobayashi K, Shibutani M, Takeuchi G, Ohnuma K, Noda T, Negishi K, Ohno K: A comparison of scattering reflection and specular reflection for double-pass MTF of the human eye. The association for research in vision and ophthalmology, Annual meeting, 2001, Florida, USA

6. 根岸一乃：エキシマレーザー手術の合併症第1回感覚器疾患講習会講演, 2001, 東京

7. 根岸一乃：エキシマレーザー手術の適応と禁忌。第1回感覚器疾患講習会講演, 2001, 東京

8. 根岸一乃：屈折矯正手術の課題。城南眼科集談会, 特別講演, 2001, 東京

9. 根岸一乃：眼科学の臨床からみたレーザーの安全。第2回日本レーザー医学会安全教育セミナー, 教育講演, 2002, 東京

10. 根岸一乃：屈折矯正手術(LASIK)--診療の実際と今後の課題--。杏林アイセンター招待講演, 2002, 東京

11. 根岸一乃：ポイントスプレッドファンクション解析装置によるLASIK術後眼の視機能評価, 第1回東

北屈折矯正研究会, 招待講演, 2002, 仙台

12. 根岸一乃、大沼一彦、平山典夫、大野建治、野田 徹：眼内レンズ挿入眼における色収差の偽調節への影響。第24回日本手術学会総会, 2001大阪

13. 小坂晃一、吉野真未、中村邦彦、根岸一乃、黒坂大次郎、真島行彦：LASIK術前後の夜間コントラスト感度と瞳孔径。第24回日本手術学会総会, 2001大阪

14. 根岸一乃、大野建治、平井香織、高橋慶子、野田徹、林達敏：オゾン水によるLASIK術前消毒とフラップ下洗浄。第25回角膜カンファランス。2001, 大阪

15. 大野建治、野田徹、平井香織、黒川直行、根岸一乃、佐野雄太：蛍光濾過フィルターを用いた細隙灯顕微鏡による角結膜フルオレセイン染色所見の観察・撮影法。第25回角膜カンファランス。2001, 大阪

16. 根岸一乃、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、大野建治、野田徹：新しいPoint Spread Function解析装置による正常眼、白内障眼および偽水晶体眼の視機能評価, 第105回日本眼科学会総会2001, 横浜

17. 大野建治、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、根岸一乃、野田徹：新しいPoint Spread Function解析システムによる正常眼のdouble-pass MTFの解析。第105回日本眼科学会総会2001, 横浜

18 吉野真未、中村邦彦、加藤克彦、根岸一乃、黒坂大次郎：眼内レンズ後面突出度の水晶体上皮細胞に対する影響。第16回日本眼内レンズ屈折手術学会, 2001, 福岡

19. 平井香織、細田ひろみ、大野建治、野田徹、根岸一乃：前囊切開窓の完全閉鎖に対しNd:YAGレーザー前囊切開術を行った1例。第16回日本眼内レンズ屈折手術学会, 2001, 福岡

20. 井上達也、奥田恵美、吉野真未、中村邦彦、加藤克彦、根岸一乃、黒坂大次郎：層間白内障の視力予後。第16回日本眼内レンズ屈折手術学会, 2001, 福岡

21. 山崎重典、根岸一乃、吉野真未、中村邦彦、黒坂大次郎、小坂晃一：LASIK術前後のコントラスト感度へのグレアの影響。第16回日本眼内レンズ屈折手術学会, 2001, 福岡

22. 黒川直行、細田ひろみ、林康司、野田徹、根岸一乃、森實秀子、秋山健一：自然治癒をみた朝顔症候群に伴う網膜剥離の一例。第26回小児眼科学会総会, 2001, 東京

23. 根岸一乃、仁科幸子、山田正夫、東範行：P

AX6変異を伴う先天無虹彩の一家系. 第26回小児眼科学会総会, 2001, 東京

24. 根岸一乃、清水里美、山崎重典、小坂晃一、吉野真未、中村邦彦、黒坂大次郎、真島行彦: 慶應義塾大学病院におけるLASIK診療の実際. 第719回東京都眼科集談会, 2001, 東京

25. 根岸一乃、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、大野建治、野田徹: Point Spread Function解析装置によるLASIK術後眼の視機能評価. 第55回日本臨床眼科学会総会, 2001, 京都

26. 平井香織、大野建治、野田徹、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、根岸一乃: Point Spread Function解析装置による他覚的視機能評価. 第55回日本臨床眼科学会総会, 2001, 京都

27. 大野建治、平井香織、野田徹、佐野雄太、山崎重典、清水里美、根岸一乃: LASIK術後の近見視機能の変化. 第55回日本臨床眼科学会総会, 2001, 京都

28. 根岸一乃、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、大野建治、野田徹: Point Spread Function解析装置による後発白内障の視機能評価. 第25回日本手術学会総会, 2002, 広島

29. 山崎重典、根岸一乃、清水里美、小坂晃一、吉野真未、中村邦彦、黒坂大次郎、真島行彦: Laser in situ keratomileusis(LASIK)による惹起乱視. 第25回日本手術学会総会, 2002, 広島

30. 野田徹、大野建治、秋山邦彦、黒川直行、春畑裕二、林康司、細田ひろみ、根岸一乃、小林克彦、平山典夫、大沼一彦: Point Spread Function解析による人眼光学機能評価: 第56回国立病院療養所総合医学会、仙台、2001

31. 秋山邦彦、野田徹、大野建治、黒川直行、春畑裕二、林康司、細田ひろみ、: Point Spread Function解析システムによる人眼眼球光学系 double-pass MTFの解析. —正常眼における年齢別の散乱反射成分および鏡面反射成分の比較—: 第56回国立病院療養所総合医学会、仙台、2001

32. 細田ひろみ、尾藤誠司、野田徹、根岸一乃、水野谷智、柳田隆、砂川光子、石本一郎、大島浩一、小木曾正博、高木郁江、久保田敏昭、手島倫子、田中靖彦: 白内障手術患者のクリティカルパス: 患者立脚型医療アウトカムによる臨床評価. 第56回国立病院療養所総合医学会、仙台、2001

厚生科学研究費補助金（感覚器障害研究事業）
分担研究報告書

眼内レンズ挿入眼の眼底観察像の光学的解析
—プリズム型前置レンズによる周辺部眼底観察像の収差とその補正の可能性—

(H13—感覚器—011)

分担研究者 平山典夫 (株)HOYAヘルスケア薬事室マネージャー
日本眼光学学会理事

研究要旨：

眼内レンズ挿入眼の眼底観察像の光学的解析を目的とし、今回は、プリズム型コンタクトレンズを前置して周辺部眼底の観察を行った場合の観察像の光学的収差とその補正の可能性につき検討した。光学データは、LeGrand模型眼に高屈折素材プリズム型コンタクトレンズを前置し、手術用顕微鏡 (TOPCON OMS-610) を用いて観察される推定眼底像を想定し、そのスポットダイアグラムと各波長光におけるMTFとを光線追跡法により算出することにより、色収差および非点収差の発生状態の評価を行った。さらに、非点収差の補正に可変円柱レンズ、色収差の補正に可変色分散プリズムを顕微鏡の中間鏡頭系に実際に組み入れて収差補正を試みたと仮定した場合のスポットダイアグラムとMTFをあわせて求め、収差補正の効果について検討した。

プリズム型コンタクトレンズにより観察される周辺部眼底観察像には、顕著な色収差および非点収差が発生し、観察像の質の低下を招いていると考えられた。これらの収差の光学的補正により、観察される眼底像の質は向上する可能性が示唆された。

A. 研究目的

眼内レンズ挿入眼の臨床においては、眼内レンズにより得られる視機能とその質の問題と並び、術後の眼底管理という観点からも重要な課題がある。特に眼内レンズの光学的条件の特殊性により、周辺部の眼底観察が従来の方法では困難であることは、診断、治療の両面からの問題である。

一方、近年、画像工学技術領域においては、肉眼よりも低照度で観察可能な高解像度の映像システムが既に開発されており、手術および診断技術としての顕微鏡による眼底観察における基本観察形態の革新がなされる可能性は近未来において極めて現実的となった。従って、眼底観察系に関しては、眼光学系、観察レンズ、手術顕微鏡および映像システムを総合的な開発を推進する必要があるといえる。しかし、その基本となるべき眼内観察像の質に関する客観的な光学的分析はほとんど行われておらず、その解析に基づく最良の観察条件の実現を可能とする観

察系の開発が急務と考えられる。今回は、眼内レンズ挿入眼の眼底周辺部の観察法の中で、硝子体手術で特に汎用されるプリズムレンズを前置した場合の観察像における収差の解析を行った。

B. 研究方法

LeGrand模型眼に、高屈折素材硝子体手術用プリズム型コンタクトレンズを前置し、手術用顕微鏡の光学データを用いて手術用顕微鏡で観察される推定眼底像における異なる3波長のスポットダイアグラムおよびMTFを光線追跡法により算出し、非点収差および色収差に関する評価を行った。さらに、非点収差に対しては可変円柱レンズを、色収差に対しては可変色分散プリズムを顕微鏡の中間平行光学鏡頭系に組み入れてそれぞれの収差を補正したと仮定した場合のスポットダイアグラムおよび各波長のMTFを求め、収差補正の効果について検討した。

解析波長は、C線656.27nm、e線546.07nm、F線

486.13nmとし、顕微鏡の様々な観察倍率毎(4.3x、6.3x、10.6x、16.9x、21.2x)に観察されると考えられる眼底虚像の位置において、それぞれの波長光のスポットダイアグラムとMTFを光学計算プログラムCODE Vを用いて算出した。

今回の検討では、観察眼は眼内レンズ挿入眼とし、眼球光学系の条件はLeGrand模型眼、眼内レンズは最も代表的な形状の20D PMMA素材の両凸型レンズ、手術顕微鏡はTOPCON社OMS610(東京)、対物レンズの開口は直径11mm、前置コンタクトレンズからの距離は200mmに設定した(図1、図2)。前置するコンタクトレンズは、硝子体手術用に用いられている代表的なプリズム形状(プリズム角度:45°)および素材(高屈折高アッペ数素材)のプリズム型コンタクトレンズの光学的条件を想定してシミュレーションを行った。可変円柱レンズおよび可変色分散プリズムレンズは、実際に手術に用いる顕微鏡に搭載可能なシステムを想定し、その光学データを設定した。

* 涙液層の形成状態は観察条件毎に異なることが考えられるが、予備的な計算により、類液層の厚みなどの光学条件への影響は極めて少ないことが確認されている。

<倫理面への配慮>

各種光学条件は機器の設計上のデータを用い、必要な場合は、実測して値を求め、光学計算ソフト上で解析を行うものであり、倫理上の問題はない。

C. 研究結果

通常の顕微鏡観察系におけるスポットダイアグラムによる解析結果を図3左列に示した(図の横軸はフォーカス位置:右が対物レンズ方向を示す)。また、各波長毎のMTFプロファイルによる解析結果を図4上~図5上に示した。プリズムレンズを前置して観察した周辺部眼底像には、非点収差(同一波長の光束におけるX軸方向とY軸方向の結像位置のずれ)と色収差(各波長毎の光束のスポットダイアグラムのずれ)が顕著に生じており、観察像の質の劣化をまねく原因となることが示唆された。

同様の条件での観察系において、顕微鏡の中間鏡頭系に可変円柱レンズと可変色分散プリズムを組み入れ、非点収差および色収差の補正を試みたと仮定した場合の、スポットダイアグラムによる解析結果を図3右列に、また、各波長毎のMTFプロファイルによる解析結果を図4下段~図6下段に示した。可変円柱レンズと可変色分散プリズムを顕微鏡に組み込むことにより両収差は著明に軽減され、スポットダイアグラムおよびMTFプロファイルの解析データ上、眼底観察像の質の改善に著効が得られる可能性が示唆された。

D. 考察

近年、白内障手術における眼内レンズの有用性、安全性は確立され、適応の拡大と共に手術件数の飛躍的な増加と手術年齢の若年化を生じている。それは即ち眼内レンズ挿入眼として長い年月を生活する人口の増加を意味し、日常診療における診断、治療のなかで眼内レンズ挿入眼占める割合は年々増加している。しかし、眼内レンズ挿入眼はその光学的条

件の特殊性から、周辺部眼底の観察に困難を伴うとの問題がある。眼底周辺部は、失明に深く関わる網膜剥離などの重篤な疾患の原因病巣の発生部位であり、診断のみならず、レーザー治療、硝子体手術において、それら眼科臨床の基礎はその観察にあることから、眼内レンズ挿入眼における周辺部眼底の詳細な観察を可能とする方法論の確立は急務であるといえる。

眼底周辺部の顕微鏡(診断およびレーザー治療においては細隙灯顕微鏡、硝子体手術においては手術顕微鏡)による主な観察法には、プリズムレンズ、凹レンズ内部に鏡を組み込んだ型のレンズ(Goldmann 3面鏡、Tanoダブルミラーレンズ)、倒像広角型の高屈折前置レンズを用いる方法がある。今回は、特に硝子体手術において最も汎用されているプリズムレンズによる眼底観察像の解析を行った。

プリズムレンズでは結果に示されたように、顕著な非点収差、色収差が生じていることが明らかになった。これらの結果は、実際の手術において周辺部眼底の観察を行う際に感じられる視認性の悪さの原因と考えられる。

プリズムレンズの視認性を向上させるための試みは、これまででも行われてきた。レンズ素材の高屈折化はフレ角を増強し、低屈折素材の石英レンズでは観察が困難な周辺部の眼底観察を可能とした。しかし、高屈折素材はアッペ数の低下を伴い、さらに、高いプリズム角のレンズは収差が大きく詳細な眼底観察は困難であった。その後、高屈折でありながらアッペ数の比較的良好な数値をもつレンズが開発されたが、今回の解析結果で示されるように、プリズムレンズ素材のアッペ数の改善のみでは良好な条件での周辺部眼底観察を行うことは困難であると考えられた。

そこで顕微鏡観察光学系において平行光学系となる中間鏡頭系への補正系の組み入れを想定し、その光学的シミュレーションを行ってみた。非点収差の補正には、可変円柱レンズを色収差の補正には可変色分散プリズムを用い、2つの独立した補正系による眼底観察像のスポットダイアグラムとMTFのプロファイルにおける改善効果に関する評価を行ったところ、著明な観察像の改善が得られる可能性が示唆された。

硝子体手術の基本は詳細な眼底観察にあり、さまざまな眼底観察システムが開発されている。さらに近年、画像工学技術領域においては、肉眼よりも低照度で観察可能な高解像度の映像システムが既に実用段階として開発されており、手術および診断技術としての手術顕微鏡眼底観察の基本形態の革新がなされる可能性が極めて現実的な視野に入った。今後、硝子体手術における眼底観察に関しては、眼光学系、観察レンズ、手術顕微鏡および映像システムを総合的に開発していく必要があるといえる。しかし、その上で基本となるべき眼内観察像の質に関する客観的な光学的分析はほとんど行われておらず、その解析に基づく最良の観察条件の実現を可能とする観察系の開発が急務と考えられる。

近未来的には、顕微鏡を用いた眼底観察は、レンズ光学系を介して肉眼的に行う系とCCDをはじめとする光学素子を介して画像をディスプレイに表示して観察する場合とが考えられる。前者では、光学

的補正が、後者ではそれに加えてデジタル処理による画像補正が最良の観察条件を得る手法の可能性として考えられる。いずれの場合を想定しても、今回の解析結果は、今後、硝子体手術における良好な眼底観察条件を得るためのシステムの開発、さらにその映像化における条件設定において必要な情報となると考える。但し、今回の解析結果は、非点収差および色収差の発生状況のみに関するものであり、総合的な眼底観察像の質の評価ではないことを併せて明記する。

E. 結論

本研究によるIOL挿入眼のプリズムレンズを用いた周辺部眼底観察像の光線追跡プログラムによるスポットダイアグラムおよびMTFプロファイルの解析結果から以下の結論を得た。但し、これらの解析結果は、非点収差および色収差の発生状況のみに関するものである。

1. 通常の顕微鏡観察系により観察されるプリズムレンズを前置したIOL眼の周辺部眼底像には、非点収差と色収差が顕著に生じており、観察像の質の劣化をまねいている。

2. 可変円柱レンズと可変色分散プリズムを顕微鏡光学系に組み込むことにより両収差は著明に軽減され、スポットダイアグラムおよびMTFプロファイルの解析データ上、眼底観察像の質の改善に著効が得られる可能性が示唆された。

これらの解析結果は、今後、硝子体手術を含めた診断、治療上必要な眼底観察条件を得るためのシステム開発、さらにその映像化における条件設定において有用な情報となると考える。

F. 健康危険情報
特になし。

G 研究発表

1) 学会発表

1. Negishi K, Kobayashi K, Shibutani M, Takeuchi G, Ohnuma K, Hirayama N, Ohno K, Noda T: Evaluation of visual function using a new poi

nt spread function analysis system in normal, cataractous, and pseudophakic eyes. The association for research in vision and ophthalmology, Annual meeting, 2001, Florida, USA

2. 大野建治、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、根岸一乃、野田 徹: Point Spread Function解析システムによる人眼眼球光学系 double-pass MTFの解析: 第105回日本眼科学会総会 2001, 横浜 2001/04/19 - 2001/04/22

3. 根岸一乃、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、大野建治、野田徹: 新しいPoint Spread Function解析装置による正常眼、白内障眼および偽水晶体眼の視機能評価, 第105回日本眼科学会総会 2001, 横浜 2001/04/19 - 2001/04/22

4. 根岸一乃、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、大野建治、野田徹: Point Spread Function解析装置によるLASIK術後眼の視機能評価. 第55回日本臨床眼科学会総会, 2001, 京都

5. 根岸一乃、小林克彦、渋谷雅博、竹内 楽、大沼一彦、平山典夫、大野建治、野田徹: Point Spread Function解析装置による後発白内障眼の視機能評価. 第25回日本手術学会総会, 2002, 広島

2) 論文

1. 平山典夫: 最近の眼内レンズと評価方法. 光学 31(1)9-13, 2002

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

図1 光学システムの概要：IOL眼に45°高屈折素材プリズムレンズを前置し、手術用顕微鏡（TOPCON OMS610）で周辺部眼底観察を行った場合

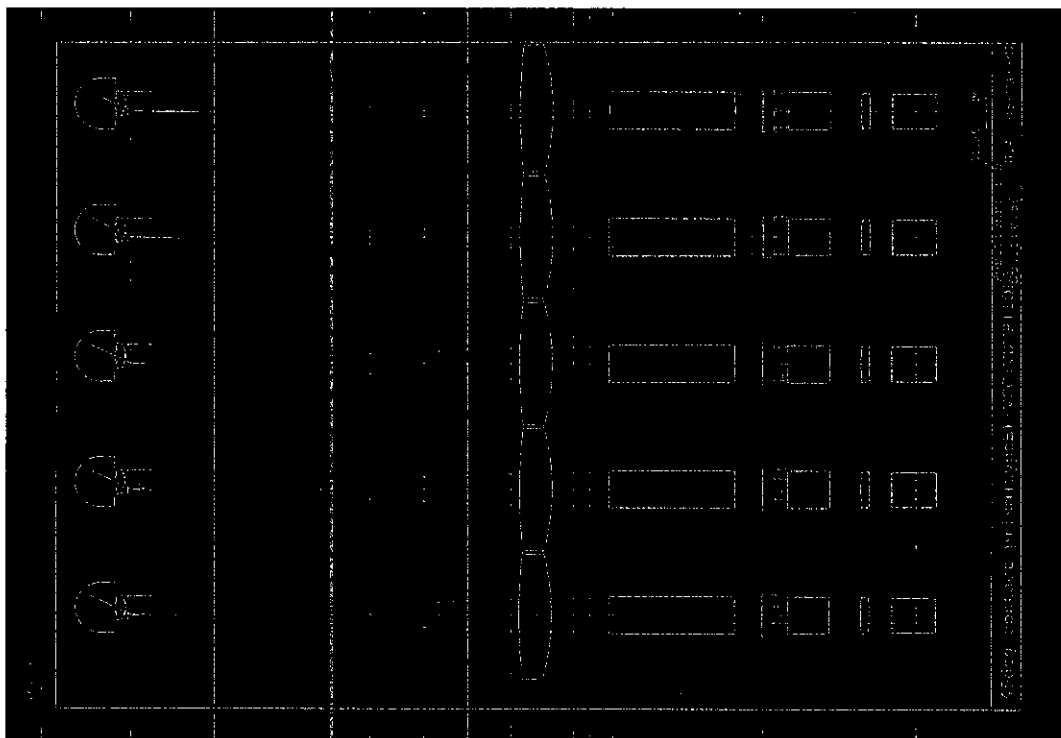


図2 光学システムの概要：図1の観察系において、顕微鏡の中間鏡頭系に変色円柱レンズおよび可変色分散プリズムを組み込み、収差補正を行った場合

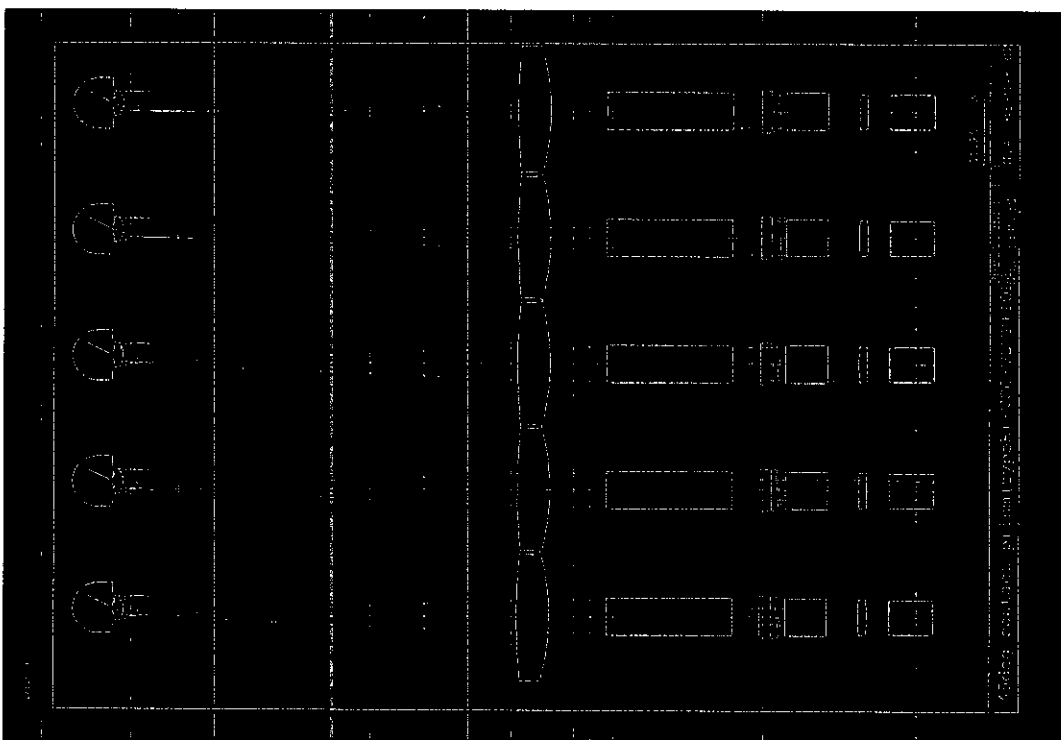
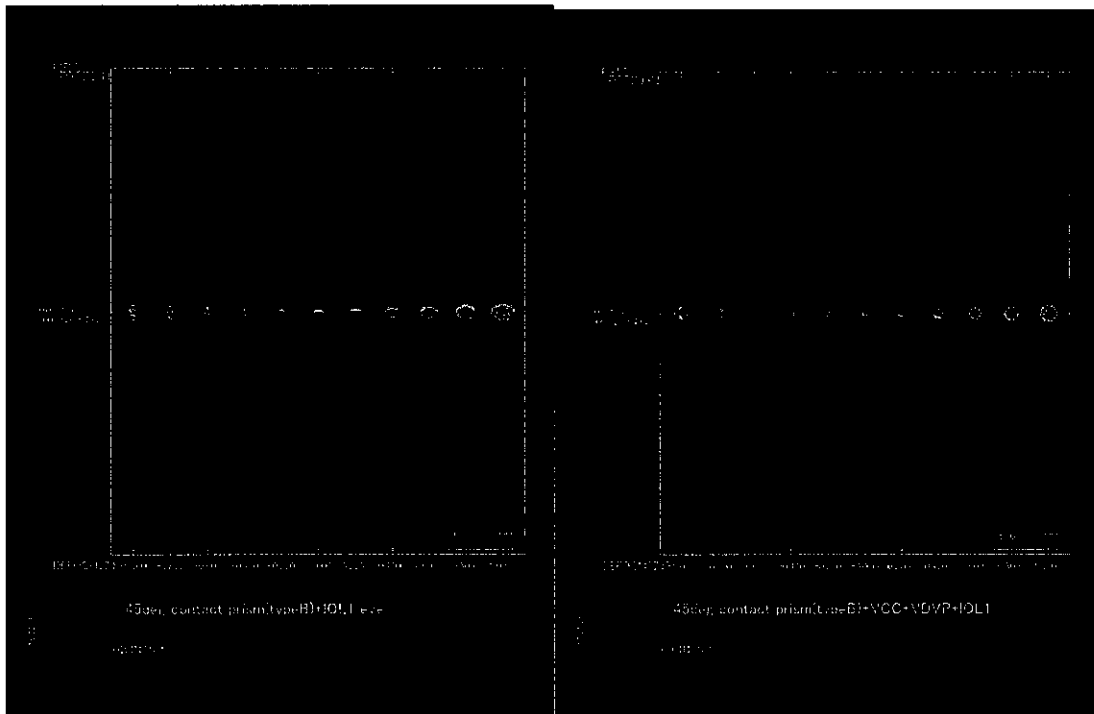


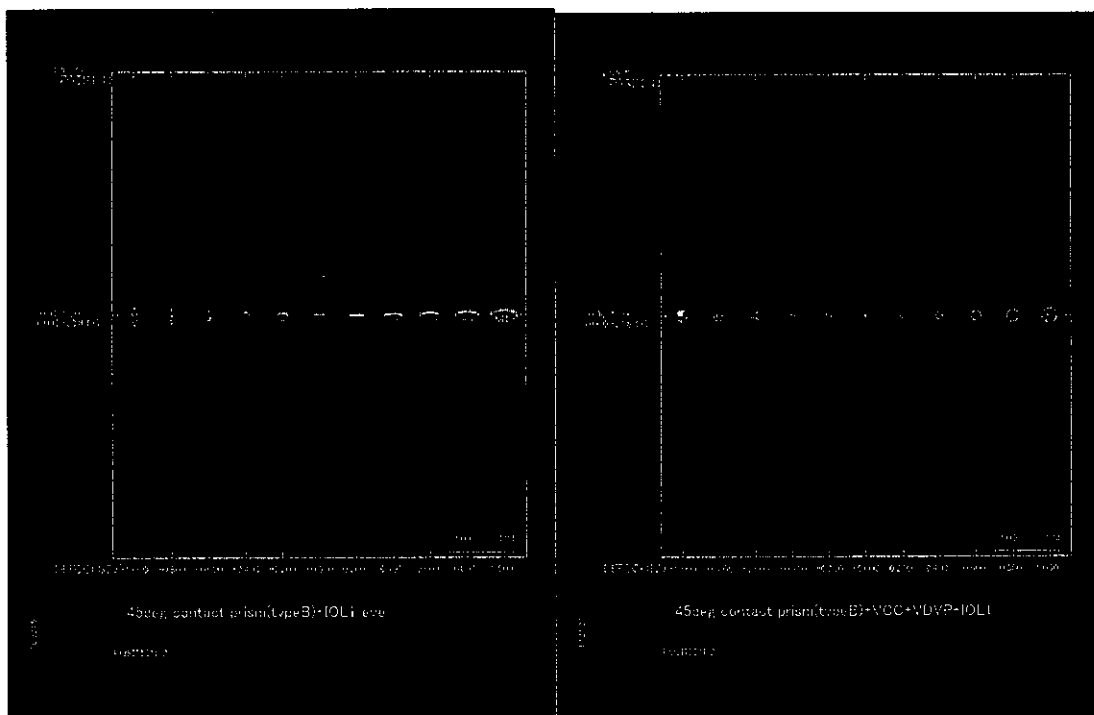
図3 スポットダイアグラム

左図は通常の顕微鏡観察系、右図は可変円柱レンズおよび可変色分散プリズムにより補正した顕微鏡観察系のシュミレーション結果を示す。

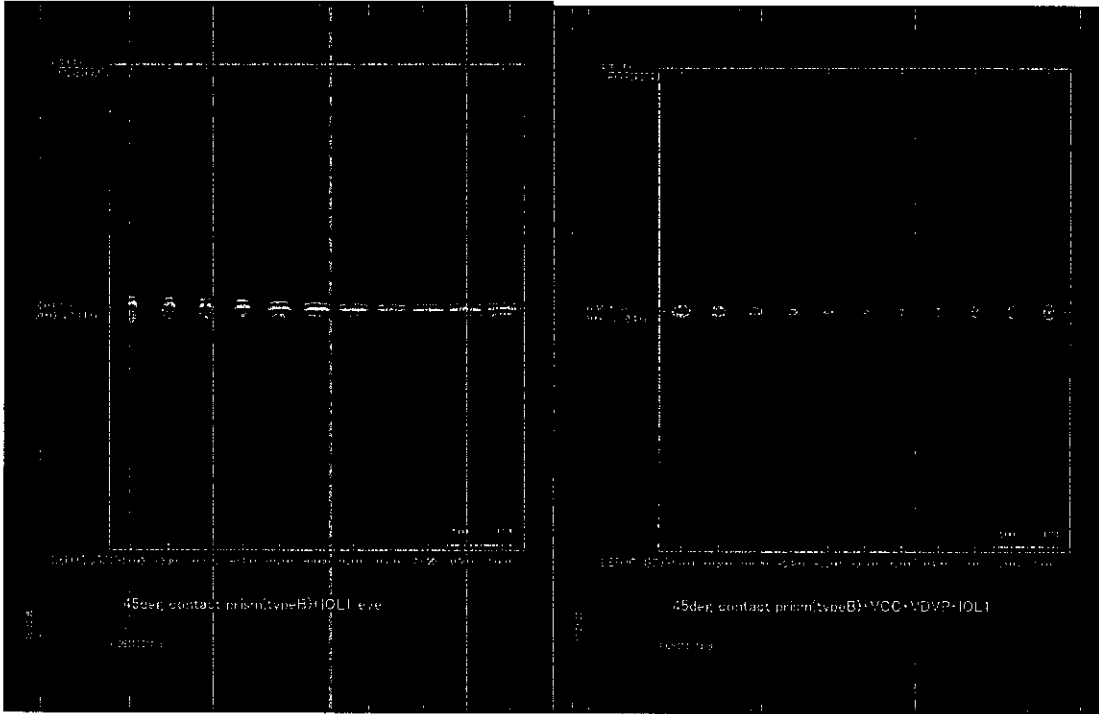
(3-1) 観察倍率：4.3x



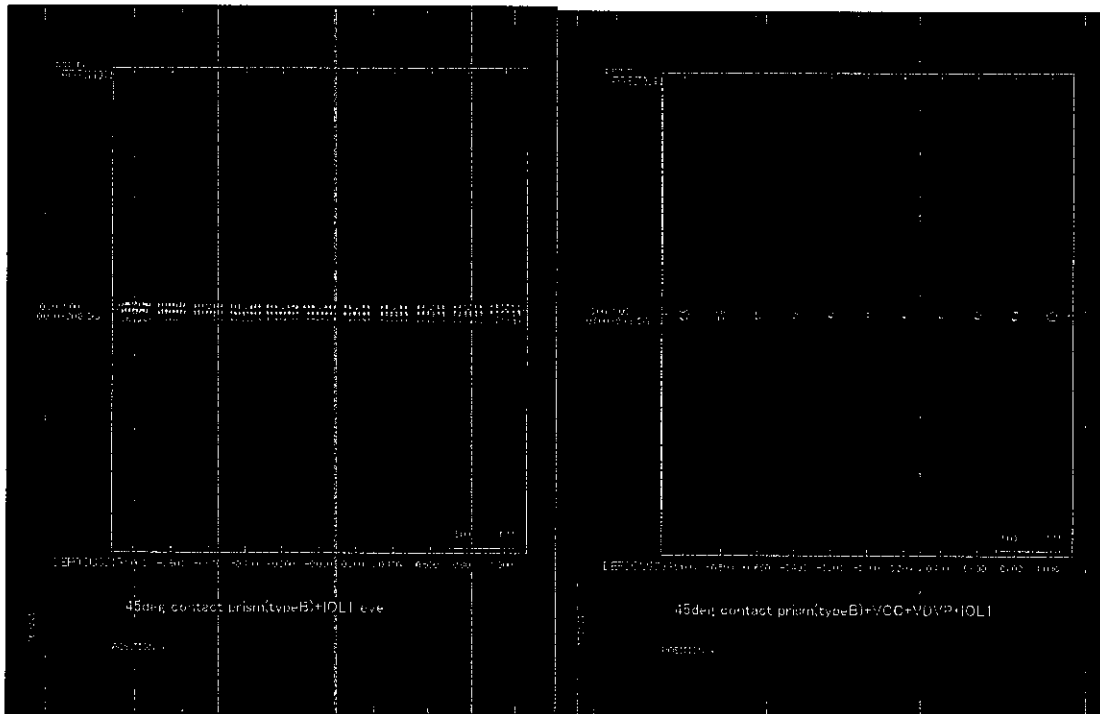
(3-2) 観察倍率：6.3x



(3-3) 觀察倍率 : 10.6 x



(3-4) 觀察倍率 : 16.9 x



(3-5) 観察倍率：21.2x

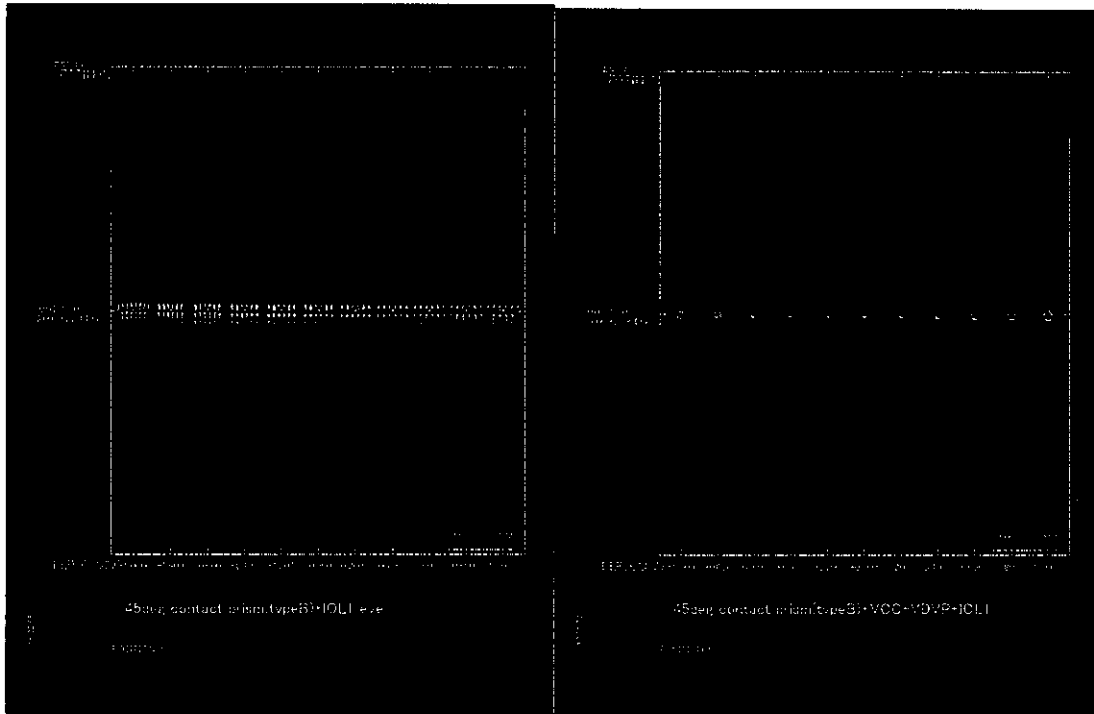


図4 MTF : C線

上図は通常の顕微鏡観察系、下図は可変円柱レンズおよび可変色分散プリズムにより補正した顕微鏡観察系のシュミレーション結果を示す。

(4-1) 観察倍率 : 4.3x

