
総 説

調節負荷とドライアイ

－関係の可能性について－

梶田 雅義*, 高橋奈々子*, 高橋 文男**

*梶田眼科, **(株)ニコン・エシロール 研究開発

Dry-Eye and Accommodative Stress － Possibility of Their Relationship －

Masayoshi Kajita, M.D. *, Nanako Takahashi* and Fumio Takahashi**

*Kajita Eye Clinic, **Nikon Essilor Co.,Ltd

最近,ドライアイ患者が増加しているといわれているが,近視過矯正の眼鏡・コンタクトレンズ装用者や video display terminal (VDT) 作業者のドライアイには調節負荷が関与している可能性がある。眼の疲れを感じている VDT 作業者に累進屈折力レンズ眼鏡を常用させたところ,涙液分泌量に変化が観察された。累進屈折力レンズを使用する前に,シルマーテストで 8mm 未満であった全例で涙液分泌量の増加を認めた。ドライアイ診療においても適正な屈折矯正の知識が必要である。 (視覚の科学 25: 40-45, 2004)

キーワード:ドライアイ, 眼精疲労, Video display terminal (VDT) 作業, 調節, 累進屈折力レンズ

It is said that the number of dry-eye patients who wear over-corrective glasses or contact lenses have been recently increasing, and there is a possibility of any relationship between dry-eye and accommodative stress. Soon after VDT (video display terminal) workers who felt eye's fatigue started to wear progressive powered lens glasses, some changes were observed in their tear secretion. In every subject whose Schirmer test result was less than 8 mm before wearing the glasses, the tear secretion was increased significantly. Knowledge about refraction and correction is needed for a practitioner who examine the dry-eye patients.

(Jpn J Vis Sci 25: 40-45, 2004)

Key Words: Dry-eye, Asthenopia, Video display terminal (VDT) work, Accommodation, Progressive powered lens

1. はじめに

コンタクトレンズ(以下 CL)装用者や video display terminal (以下 VDT) 作業者を中心に,ドライアイ患者が増加している。これらのドライアイは,分泌減少によるものではなく,蒸発亢進によるものが多いと報告されている。確かに,CL装用者でもティアメニスカスは十分にあるのに,CL表面では涙液が瞬時に蒸発する様子が観察されることがある。ドライ

アイを訴える CL 装用者では,ほとんどが近視過矯正の状態であること,およびドライアイを訴える VDT 作業者では遠方視力が良好な矯正状態で作業していることが多いことに気付いた。これらのドライアイは調節負荷になんらかの関係があることが予測される。

眼の疲れを訴えている VDT 作業者に,累進屈折力レンズの常用を勧めることによって作業中の調節負荷を軽減した場合の涙液分泌量の変化を観察することにした。

別刷請求先: 108-0023 東京都港区芝浦 3-6-3 協栄ビル 4F 梶田眼科 梶田雅義
(2004年12月6日受理)

Reprint requests to: Masayoshi Kajita Kajita Eye Clinic
3-6-3-4F Shibaura, Minato-ku, Tokyo 108-0023, Japan
(Received and accepted December 6, 2004)

2. 対象および方法

日常の業務でVDT作業が多く、眼の疲れを自覚しているボランティア20名（男性11名、女性9名）を対象に選んだ。対象の年齢は25～47歳に分布しており、平均年齢は35.3歳であった。対象の球面屈折値は-0.75～-8.00Dに分布しており、平均値は -3.58 ± 1.48 Dであった（図1）。対象の円柱屈折値は0.00～3.00Dであり、平均値は -1.15 ± 0.81 Dであった（図2）。

処方レンズにはニコン・エシロール社製ソルテスI（加入度数-1.00Dの近々累進屈折力レンズ）を用いることにした。通常のソルテスの処方では、近用度数を決定し、それに対して遠用度数をマイナス加入度数として処方するが、この試験では通常の処方方法とは異なった方法で行った。すなわち、処方レンズ度数の決定は、執筆者が自ら両眼同時雲霧法¹⁾を行い、遠用矯正度数を求め、その値から-1.00Dを減じた値をソルテスの処方近用度数と定め、遠用加入度数には一定値の-1.00Dを用いた。結局、遠用矯正度数+1.0Dを近用度数と設定して、加入度数-1.00DのソルテスIを処方した。作業中を含め日

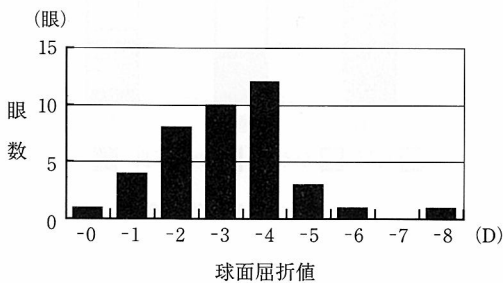


図1 対象の球面屈折値の分布

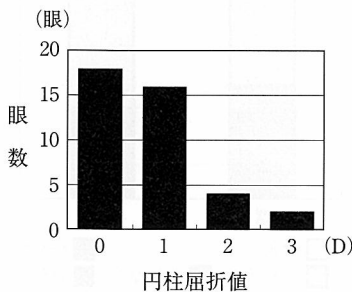


図2 対象の円柱屈折値の分布

常生活で、この眼鏡を装着してもらった。

調査は眼鏡処方時と装着開始4週後に、シルマーテストI法による涙液分泌機能の測定を行った。あわせて、眼鏡処方時と装着開始4週後に、オートレフラクトメータを用いた他覚的屈折値、調節機能解析装置²⁾（ニデック社製AA-1）を用いた調節反応量、調節微動の高周波成分³⁾出現頻度（以下HFC値）の測定を行った。調節反応量は調節負荷が+0.5～-3.0Dの範囲で検出された最高屈折値と最低屈折値の差で示し、HFC値は記録中の最低屈折値から-0.75Dの範囲に屈折値が位置するときの調節微動高周波成分出現頻度の平均値で示した。また眼鏡装着開始日、装着開始後1週目および4週目に、眼鏡の装着感と眼の疲れに関するアンケート調査も行った。

3. 結果

涙液量はシルマーテストI法で、22mm以上を過剰、22mm未満8mm以上を適正、8mm未満を過少として評価した。眼鏡装着開始前には過剰14眼、適正15眼、過少9眼であったが、装着開始4週目では過剰14眼、適正18眼、過少6眼であり（図3）、平均値は装着開始前 16.9 ± 9.5 mm、装着開始4週後 17.9 ± 9.4 mmであった。全対象で統計学的な検定を行った場合には、有意な変化はなかった（ $p=0.51$ ）が、装着前に過剰分泌を呈していた14眼を除いて統計処理を行うと、平均値は装着開始前 10.8 ± 5.5 mmから、装着開始4週後 16.3 ± 7.6 mmへと有意に増加していた（ $p<0.01$ ）。

眼鏡装着開始4週後の他覚的屈折値は眼鏡使用前に比べて、近視化13眼、不変10眼、遠視化17眼であ

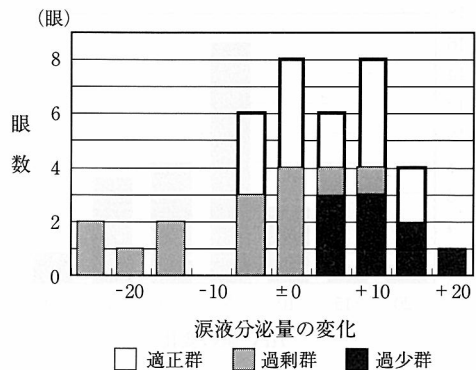


図3 処方眼鏡装着前に対する4週後の涙液量の変化

り (図4), 平均値は $+0.05 \pm 0.31$ D であった。遠視化したものが若干多かったが, 統計学的な有意差はなかった。

4 週後の調節反応量の変化では, 増加17眼, 不変

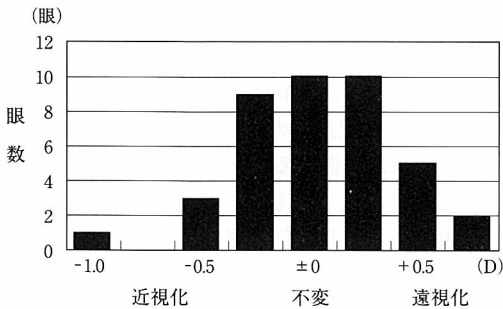


図4 処方眼鏡装用前に対する4週後の屈折値の変化

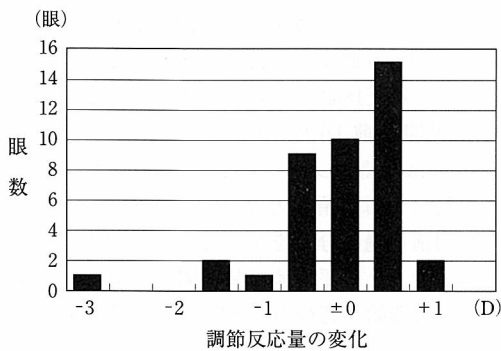


図5 処方眼鏡装用前に対する4週後の調節反応量の変化

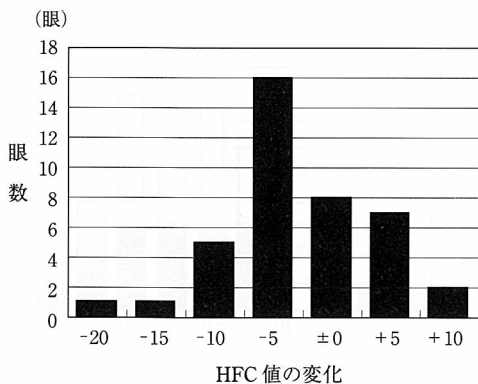


図6 処方眼鏡装用前に対する4週後の高周波成分出現頻度 (HFC値) の変化

10眼, 減少13眼であり (図5), 平均値は装用開始前の 1.75 ± 0.87 D から4 週後の 1.51 ± 0.71 D へと減少したが, 統計学的には調節反応量の低下があったとはいえなかった ($p=0.06$)。

HFC 値の変化は, 減少23眼, 不変8眼, 増加9眼であり (図6), 平均値は装用前の 50.1 ± 7.5 から, 装用開始4 週後の 47.6 ± 6.7 へと統計学的にも有意に減少した ($p=0.01$)。

眼鏡の装用感に関するアンケートでは, 初日, 1 週後, 4 週後と良好に感じる対象が増加していたが, 4 週後にもなお不良と感じていたものも1例あった (図7)。また眼の疲れに関する4 週後のアンケートでは, 疲れがかなり良くなった1名, 良くなった11名, 変わらない5名, 悪くなった3名であった。1 週後と4 週後の間にほとんど差はなかった (図8)。

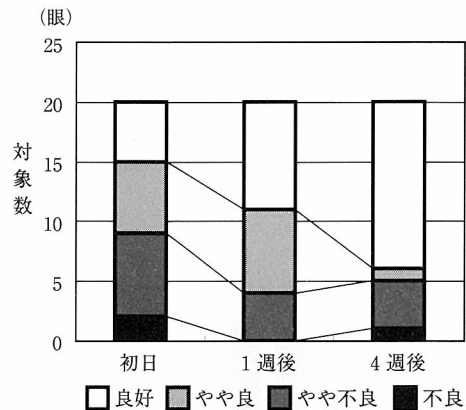


図7 処方眼鏡の装用感

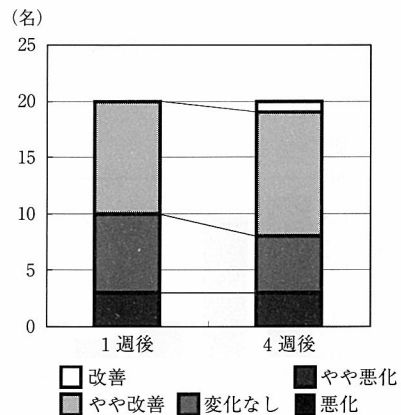


図8 処方眼鏡装用後の疲労感の変化

4. 考 按

VDT 作業で眼疲労感や眼の乾燥感を訴える例は多く、IT 眼症（テクノストレス眼症、VDT 症候群）あるいは単にドライアイと診断されて、対症療法だけ施されている症例に多く遭遇する。このような症例では眼鏡が不適切であるために起こっていると考えられるものも多く含まれており、作業に適した眼鏡度数に調整することで、眼疲労感やドライアイ症状が消退する例も少なくない。また、CL 着用者でのドライアイは、ティアメニスカスでみる涙液量は十分にあるのに、CL 表面は乾いていることが多い。ときには瞬目直後に下方から上方に向かって、レンズ表面が乾燥してゆく様子が観察されることもある。蒸発亢進型のドライアイと診断されるが、このような症例の多くは近視過矯正の状態になっており、過矯正を是正することで、ドライアイ症状が消退することも多く経験している。このような臨床経験を実証するために、今回の調査を企画した。

今回処方した眼鏡レンズのデザインは VDT 作業者に開発された近々累進屈折力レンズで、通常の遠近両用累進屈折力レンズに比べて、遠用部の面積は若干狭いが、近用部の面積は広く、中間距離に相当

する部分は極度に狭い（図9）。着用した感じでは、近用部の面積は広く、遠用部が若干狭いという印象がある。VDT 作業が多い人では、近用部が広い方が、作業時に快適な視界が得られることを考慮して、このデザインを採用した。

眼鏡の装着感に関するアンケート結果と涙液量の変化の関係では、シルマー試験紙の刺激のために初回の検査では過剰に涙液が分泌されていた例も含まれることを勘案し、初回の涙液分泌量が22mm以上を過剰群、22mm未満8mm以上を適正群、8mm未満を過少群の3群に分けて分析した。過剰群では4週間後には減少していた例が多かったが、適正値を下回ることにはなかった（表1）。これは、予測どおり、初回の検査ではシルマー試験紙の刺激によって反応性分泌が促進されていたものが、2回目には検査慣れのために刺激を感じ難くなっていったものと考えられる。適正群と過少群では4週後の涙液量は増加しており、とくに、過少群の全例で増加を認めた。また、眼の疲れに関するアンケート結果と涙液量の変化でも、過剰群では不規則であったが、適正群および過少群ではアンケート結果に関係なく、涙液量の増加を認めた（表2）。これらのことは、累進屈折力レンズを使用することによって、近方視時にかかる毛様体筋への負担が軽減し、自律神経になんらかの変化が生じて^{4,5)}、涙液分泌を正常化したことを示唆する。日常の診療で経験する近視過矯正のCL着用者や作業に適さない矯正状態のVDT作業で生じているドライアイが、適正な矯正状態に変更することで改善することと相関した。

4 週後の眼鏡の装着感と眼の疲れ症状のアンケート結果を比較すると（表3）、良好な装着感が得られた例に疲れの改善が得られており、装着感が不良であった例では疲れの症状が悪化していた。装着感の良好な眼鏡は眼精疲労にも直接関係していることが

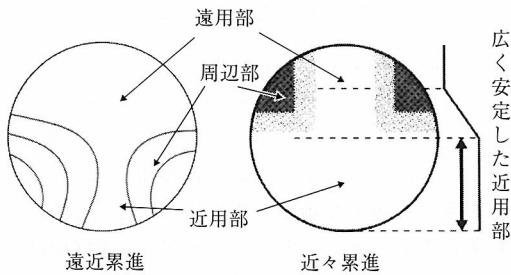


図9 累進屈折力レンズのデザインの比較

表1 アンケートAと涙液分泌量の変化

回答	過 剰		適 正		過 少	
	眼数	涙液量の変化	眼数	涙液量の変化	眼数	涙液量の変化
1	7	-8.7±8.6	10	+2.6±4.7	9	+8.4±5.4
2	2	+3.5	0	-	0	-
3	4	-9.3±12.5	4	+4.0±5.7	0	-
4	1	±0.0	1	+12.0	0	-

単位：mm

表2 アンケートBと涙液分泌量の変化

回答	過剰		適正		過少	
	眼数	涙液量の変化	眼数	涙液量の変化	眼数	涙液量の変化
1	1	-15.0	1	±0.0	0	-
2	8	-4.9±9.8	5	+3.8±4.4	7	+7.9±5.9
3	2	+1.5±2.1	6	+3.8±6.4	2	+10.5
4	3	-13.3±11.6	3	+4.0	0	-
5	0	-	0	-	0	-

単位：mm

表3 アンケートAとBの関係

		B				
A	回答	1	2	3	4	5
	1	1	10	3		
	2		1			
	3			2	2	
	4				1	

対象数

アンケートA：眼鏡の装用感
 (1. 良好 2. やや良好 3. やや不良 4. 不良)
 アンケートB：眼の疲れ
 (1. 改善 2. やや改善 3. 不変 4. やや悪化 5. 悪化)

表4 アンケートAとHFC値

回答	対象眼数	HFC値の変化平均
1	28	-2.94±0.26
2	2	-1.11
3	8	-1.96±6.46
4	2	-0.06

わかる。装用感に関するアンケートとHFC値の変化との関係では、装用感に関係なくHFC値は減少しているものの、装用感が良好であった対象では、装用感が不良であった例に比べて、4週後のHFC値が大きく減少していることがわかる(表4)。累進屈折力レンズで良好な装用感が得られた例では、日常生活で毛様体筋の過剰な緊張が軽減されるようになったことが示唆される。また、眼の疲れに関するアンケートとHFC値の変化との関係では、疲れが改善した例は疲れが改善しなかった例に比べて、4週後のHFC値の減少の程度が大きいことがわかる(表5)。このことはHFC値の変化が自覚的な症状とよく相関

表5 アンケートBとHFC値

回答	対象人数(名)	HFC値の変化平均
1	1	-1.00
2	11	-4.35±5.22
3	5	+0.92±5.57
4	3	-2.00±7.51
5	0	-

し、疲れの他覚的な指標として利用可能であること⁶⁾、およびHFC値の減少は疲労の改善を意味することを示唆する。ドライアイという現象のみを観察するのではなく、視機能の変化が自律神経系にどのようにかわり、涙液の分泌量や性状をどのように変化させていくのかを究明する必要がある。

5. おわりに

最近、眼精疲労を訴える患者が多くなっていることは、環境に適した屈折矯正がなされていない対応側の問題が大きいと考える。ドライアイも増加しているといわれているが、過矯正近視眼や未矯正の遠視眼に多く、適正な矯正を提供することで改善する例も多い現実を考えると、ドライアイ症例が増加しているのではなく、適切な矯正を提供されないことによって増加させられている、いわゆる医原病の可能性も否定できない。すべての屈折矯正は視力値だけではなく、眼生理学を考慮して快適ビジョンを提供されるべきである⁷⁾。今回の調査結果から、累進屈折力レンズがVDT作業の多い現代人の常用眼鏡として望ましい一つの矯正手段であることが示唆されたが、20例中5例も装用感に不良を訴え、そのうち3例の疲労感を増悪させたことは、累進屈折力レンズのデザインの更なる改良と処方技術の向上が必要であることを痛感した。

文 献

- 1) 梶田雅義, 山田文子他: 両眼同時雲霧法の評価. 視覚の科学 20: 11-14, 1999.
 - 2) 鈴木説子, 梶田雅義, 加藤桂一郎: 調節微動の高周波成分による調節機能の評価. 視覚の科学 22: 93-97, 2001.
 - 3) Winn B, Pugh JR, Gilmartin B, & Owens H: The frequency characteristics of accommodative microfluctuations for central and peripheral zones of the human crystalline lens. Vision Research 30: 1093-1099, 1990.
 - 4) 木下 茂: IT眼症の捉え方. 日本の眼科 74: 859-861, 2003.
 - 5) 木下 茂: 調節障害の病態と治療. 日眼会誌 98: 1256-1268, 1994.
 - 6) 梶田雅義, 伊藤由美子他: 調節疲労と調節微動. 視覚の科学 17: 66-71, 1996.
 - 7) 梶田雅義: 近用専用と遠近両用眼鏡の処方. 眼科診療プラクティス 49: 36-40, 1999.
-

原 著

半自動診断機能をもつ視野計の研究

— 疾患の進行程度 —

鈴木 尚人

(株)ニデック 医療事業部

Research of Perimeter Having Function of Semiautomatic Diagnosis

— Progressive Degree of Glaucoma —

Naoto Suzuki

Medical Div., NIDEK CO., LTD.

緑内障などの眼科診断に適した静的視野計ソフトの開発を行うために、今後の視野計測に有効なアルゴリズムを提案する。一番普及率の高い Humphrey 視野計の指標の一つであるトータル偏差確率プロットを用い、ファジィ理論と多変量解析を用いて統計学的に半自動診断を行う。診断には緑内障と正常眼のトータル偏差プロットを判別分析し、両群の平均値からの距離を有病確率として設定する。設定した有病確率の有効である可能性を評価するため、進行度、collaborative initial glaucoma treatment study (CIGTS)、グループパターンの3項目において比較を行った。相関係数は進行度 (0.455) でやや相関が得られたが、CIGTS (0.286) でほとんど相関がなかった。また、グループパターンはやや相関がある視野領域と、相関がない領域が存在した。(視覚の科学 25: 46-50, 2004)

キーワード：半自動診断、視野計、判別分析、ファジィ理論、進行度

This paper suggests the semiautomatic diagnosis for calculating the probability of the total deviation plots by the algorithm using the fuzzy theory and the multivariate analysis. Algorithm of glaucoma diagnosis calculates the total deviation plots of glaucoma eyes and them of normal eyes by using the discriminant analysis, and supposes that the distance from the average of both groups is the glaucoma probability. To evaluate the effective probability of the supposed glaucoma probability, we compared the glaucoma probability in terms of the progressive degree, CIGTS and the group pattern. The correlation coefficients were the progressive degree (0.455) and CIGTS (0.286). The glaucoma probability was correlated a little with the progressive degree, but that was not correlated at all with CIGTS. On the other hand, the existence of correlations between the group patterns was dependent on the area of the visual field.

(Jpn J Vis Sci 25: 46-50, 2004)

Key Words: Semiautomatic diagnosis, Perimeter, Discriminant analysis, Fuzzy theory, Progressive degree

1. 緒 言

緑内障などの検査に通常使用される視野計のソフトにファジィ理論を用いた半自動診断機能を応用し、

診断を支援するためのアルゴリズムを提案した¹⁾。医師の意見を反映させる方法はメンバシップ関数^{2, 3)} (ファジィ理論で用いられる確率関数) の変数を医師に変更させることにより行う。このメンバシップ関

別刷請求先：443-0038 蒲郡市拾石町前浜 34-14 (株)ニデック 医療事業部 診断機器グループ
診断機器開発チーム 鈴木尚人

(2004年8月12日受理)

Reprint requests to: Naoto Suzuki Product Development, Ophthalmol, Diagnosis Group, Medical Div., NIDEK CO., LTD. 34-14 Maehama, Hiroishi-cho, Gamagori, 443-0038, Japan
(Received and accepted August 12, 2004)

数は本来、ファジィアルゴリズム作成者の主観や好みを反映できるという利点⁹⁾がある。医師も診断においては結局のところ、主観で決定を下しているため⁹⁾、メンバシップ関数と医師の診断の利点を最大限に生かし、メンバシップ関数の決定を一部医師本人に決定させるアルゴリズムにすることを提案した。アルゴリズムの有効性を評価するため、アルゴリズムに設定した有病確率¹⁾と疾患の進行度との比較を行う。

2. 方法

本研究で提案したアルゴリズムで求めた有病確率¹⁾の有効性を評価するため、トータル偏差確率⁹⁾（以下TD確率）などの視野計データを用いて緑内障の進行度を判定するのに利用されている代表的な3種類の指標、1)「疾患の進行度の判定⁷⁾」、2)「collaborative initial glaucoma treatment study⁸⁾（以下 CIGTS）」、3)「グループごとの評価」（網膜神経線維の走行方向に沿って、各視標点をグループに分けてあらわした指標）を用いる。有病確率と1)～3)の緑内障進行度の相関を示し、本研究で提案したアルゴリズムおよび有病確率の有効性を示す。相関関係を示すために、1)～3)と有病確率との回帰直線を求め、その傾きおよび相関係数で有効性を評価する。なお、視野データは緑内障94眼で、全症例に対し、ハンフリー視野計の30-2閾値検査を行ったデータを用いた。

1) 疾患の進行度の判定⁷⁾

緑内障の症状は欠損部位（暗点部位）に影響され⁹⁾、固視点近傍（視野の中心部）がとくに重要である。このことを念頭においた臨床判断の一つの分類¹⁰⁾を用いて、本研究で提案した有病確率の有効性を評価する。この分類は症状の進行度により、下記のように3段階に分けられている。

(1) 早期欠損

早期欠損は i)～iv) の基準をすべて満たす。

- i) 平均偏差（以下 MD¹¹⁾）は -6 dB よりも大きい。
- ii) 上下視野 30° での検査点（74点）のうち、TD 確率 5% 未満の個数が 17 点以下である。
- iii) TD 確率 1% 未満の個数が 10 点以下である。
- iv) 視野の中心 5° 以内には 15 dB 以下の検査点がない。

(2) 中等度欠損

早期欠損とするには i)～iv) の一つ以上の基準をこえるが、重度欠損の基準は満たさない。

(3) 重度欠損

v)～ix) の基準をどれか一つ以上を満たす。

v) MD が -12 dB よりも小さい。

vi) TD 確率 5% 未満の個数が 38 点以上ある。

vii) TD 確率 1% 未満の個数が 21 点以上ある。

viii) 視野中心 5° の範囲に感度が 0 dB の検査点がある。

ix) 視野中心 5° の範囲に 15 dB 以下の検査点が上半視野にも、下半視野にもある。

2) CIGTS⁸⁾

長期に及ぶ緑内障治療研究および視野障害の進行度を評価した指標^{12, 13)}が報告されている。CIGTS は本研究と同様に TD 確率を視野障害の進行の評価に使用している。そのため、有病確率の有効性を示すのに用いる。CIGTS は TD 確率を各々 5% 未満：1, 2% 未満：2, 1% 未満：3, 0.5% 未満：4 と点数化し、点数の合計を症状進行の指標としている。視標点数は 74 点あるため、最大数 296 (=4×74) になる。また CIGTS では症状進行の度合いを 20 段階に設定しているため、合計を 14.8 (=296/20) で割った値を CIGTS 値として用いた。

3) グループごとの評価

各視標点を網膜神経線維の走行方向に沿ってグループにまとめ^{14, 15)}、各グループの TD 確率の個数を視野症状の進行度評価に利用している^{16, 17)}。有病確率の有効性を評価するため、各グループ別に 5% 未満、1% 未満の TD 確率の総数を求め、有病確率との相関係数を求めた。

3. 結果

1) 疾患の進行度の判定⁷⁾

図 1 は進行度と有病確率の分布をあらわす。早期：1, 中等度：2, 重度：3 と点数化し (2.66±0.67, 平均値±標準偏差), 以下のように回帰直線および相関係数を求めた。

回帰直線	相関係数	p 値(有意水準)
$y=0.0256x+0.0824$	0.455	4.00×10^{-6}

進行度は相関係数が 0.455 となり、やや相関があることを示した。p 値(有意水準) = $4.00 \times 10^{-6} < 0.05$ となり、回帰直線式は有意水準 5% での有効性を示した。また、上記 i)～ix) の基準に使われた MD, TD 確率の個数, 視野中心 5° 範囲の最低輝度と有病確率との比較を行った。

図 2 は MD と有病確率の分布をあらわす。MD は値が低いほど重症であることをあらわす。混乱を避けるため、図の縦軸の上が - で、下が + としてあら

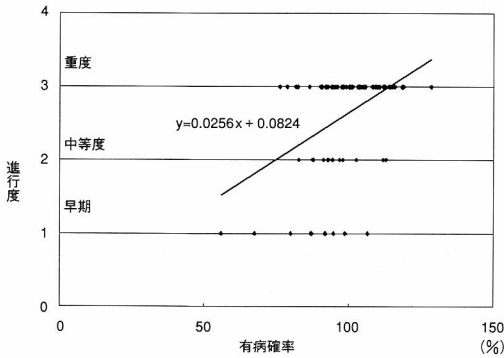


図1 有病確率と進行度の分布

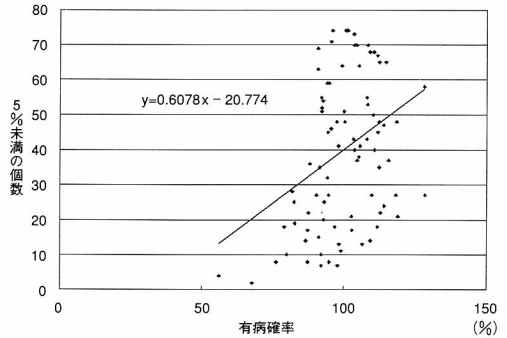


図3 有病確率とTD 確率5%未満の個数分布

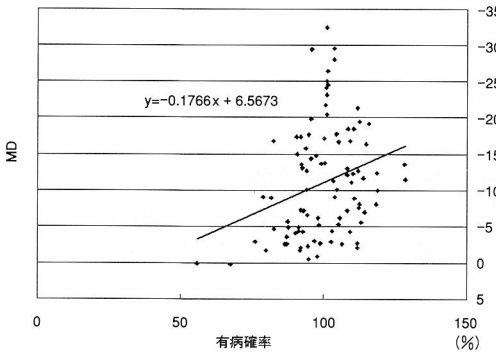


図2 有病確率とMDの分布

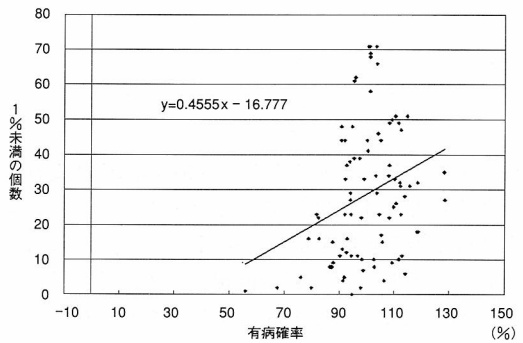


図4 有病確率と1%未満の個数分布

わした。MDの値は+0.18～-32 dB (-11.1 ± 7.79 dB, 平均値 ± 標準偏差)となった。また、回帰直線および相関係数を求めると以下となった。

回帰直線	相関係数	p 値(有意水準)
$y = -0.176x + 6.57$	0.270	8.38×10^{-3}

回帰直線の傾きが-である理由はMDの値が低いほど重症をあらわすためである。相関係数は0.270となり、この数値から判断すると、ほとんど相関がなかった。またp値 = $8.38 \times 10^{-3} < 0.05$ となった。

図3はTD 確率5%未満(5%, 2%, 1%, 0.5%を含む)の個数を合計した値と有病確率の分布をあらわした。個数は2～74個(40.0 ± 22.3個, 平均値 ± 標準偏差)であった。回帰直線および相関係数を求めると以下となった。

回帰直線	相関係数	p 値(有意水準)
$y = 0.608x - 20.8$	0.325	1.38×10^{-3}

相関係数が0.325となり、やや相関があった。p値 = $1.38 \times 10^{-3} < 0.05$ となり、有意水準5%で回帰直線式の有効性を示した。

図4はTD 確率1%未満(1%, 0.5%を含む)の個数の合計と有病確率の分布をあらわした。個数は1～71個(28.8 ± 20.5個, 平均値 ± 標準偏差)であった。回帰直線および相関係数を求めると以下となる。

回帰直線	相関係数	p 値(有意水準)
$y = 0.455x - 16.8$	0.264	1.00×10^{-2}

相関係数は0.264となり、この数値から判断するとほとんど相関がなかった。また、p値 = $1.00 \times 10^{-2} < 0.05$ となった。

図5は中心5°の範囲の最低輝度と有病確率の分布をあらわす。上半視野の輝度値は0～35 dB(10.0 ± 12.8 dB, 平均値 ± 標準偏差)であった。

下半視野の輝度値は0～34 dB(17.5 ± 14.5 dB, 平均値 ± 標準偏差)である。

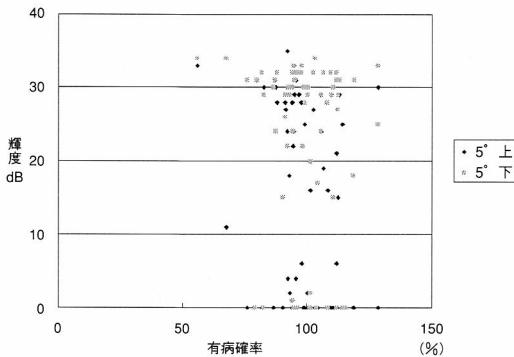


図5 有病確率と視野中心5°範囲の最低輝度

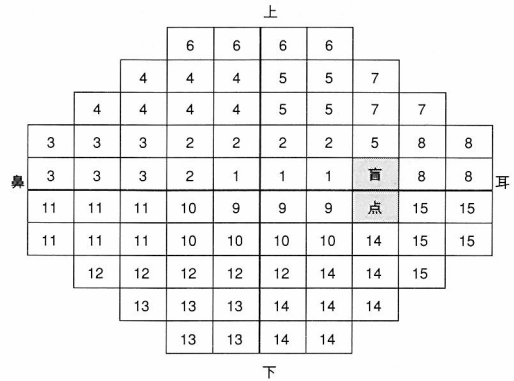


図7 グループの分布

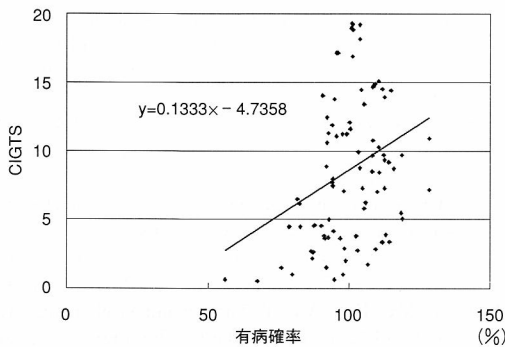


図6 有病確率とCIGTS値の分布

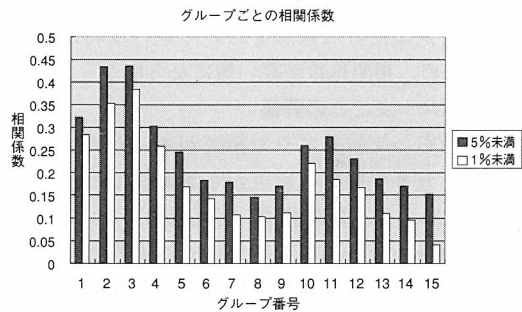


図8 有病確率とTD確率の個数の相関

2) CIGTS®

図6はCIGTS値と有病確率の分布を示す。CIGTS値は0.6~19.3 (8.59±5.56, 平均値±標準偏差)であった。回帰直線および相関係数を求めると以下となる。

回帰直線	相関係数	p値(有意水準)
$y=0.133x-4.74$	0.286	5.18×10^{-3}

相関係数は0.286となり、この数値から判断するとほとんど相関がなかった。またp値= $5.18 \times 10^{-3} < 0.05$ となった。

3) グループごとの評価

図7は評価に用いたグループを示す。図中の数値はグループに付けられた番号(グループ番号)を示し、グループ番号の同じ視標位置が同グループである。

図8はグループごとのTD確率の個数と有病確率の相関係数を示す。図8より、周辺部を除く上下半視野の盲点から鼻側までの部分でやや相関があり、耳側と下半視野の水平線部でほとんど相関がないという結果が出た。

4. 考 按

1) 疾患の進行度の判定

有病確率の有効性を評価するために、Hodappら¹⁰⁾が提唱した進行度判定基準である i) 平均偏差MD, ii) TD確率(5%未満および1%未満)の個数, iii) 視野中心5°内の最低輝度値を用いて行った。進行度の相関係数は0.455とやや相関が得られた。i)~iii)の項目のうち、5%TD確率(0.325)のみにやや相関がみられたが、MD(0.27)および1%TD確率(0.264)はほとんど相関がみられなかった。その原因はi)~iii)の各項目が各視標点位置を反映していないからである。例えば、i) MDは視野全体の平均的な欠損(視野感度低下)を示すため、-4.00dBのMDは全視野で4dBの感度低下をあらわす場合もあるし、視野の半分領域で8dB、1/4領域で16dBの感度低下をあらわす場合もある。ii) TD確率の総数は視野中心に5個ある場合と、周辺部に5個ある場合で同じになる。iii)は中心部のみの輝度であるので、周辺部に感度低下があってもなくても変わらない。医師は視野

データをみて診断する場合、視野感度低下のある場所を意識する。そのため、各視標点位置を区別した進行度判定基準が必要である。本研究で示した判別分析式は係数 a_i と各視標点の TD 確率の積をすべて足し算した式なので、各視標位置に重点をおいた進行度評価基準として使用できる。

2) CIGTS

CIGTS は確率プロットを 1～4 に点数化し、その合計点数から症状の進行度合いを設定している。有病確率との相関係数は 0.286 となり、この数値から判断するとほとんど相関がないという結果が出た。この理由として、CIGTS 値は例えば TD 確率 1% 未満が中心部に 5 個ある場合と周辺部に 5 個ある場合で同じ値となる。CIGTS 値は「疾患の進行度の判定」と同様に視標位置に重点をおいた進行度判定基準ではないため、相関係数が高い値にならなかった。

3) グループごとの評価

有病確率と比較してやや相関があったのは「周辺部を除く上下半視野の盲点から鼻側までの部分」であったため、24-2 閾値検査（中心 24°）や中心 10°での検査を行い、今後調査していくつもりである。ただ、下半視野の水平線部ではほとんど相関がなかったので注意が必要である。

4) まとめ

半自動診断機能をもつ視野計ソフトを開発するため、診断の基準とするために設定した有病確率を疾患の進行度評価として利用されている 3 項目と比較を行った。比較により判別分析を用いたアルゴリズムの有効性は否定できないが、今後更に検証を進めていく必要がある。

文 献

- 1) 鈴木尚人：半自動診断機能をもつ視野計の研究－ファジィ医療診断におけるアルゴリズム－, 視覚の科学 24: 125-131, 2003.
- 2) 坂和正敏：ファジィ理論の基礎と応用, 2-29, 森北出版, 東京, 1989.
- 3) 電気学会編：あいまいとファジィーその計測と制御－, 1-20, オーム社, 東京, 1991.
- 4) 日本ファジィ学会編：講座ファジィ11 ファジィ医療診断, 213-217, 日刊工業新聞社, 東京, 1994.
- 5) 永田 啓：コンピュータによる視野異常評価の可能性, あたらしい眼科 11: 995-1000, 1994.
- 6) 鶴木一彦：ハンフリー視野におけるトータル偏差とパターン偏差, *Frontiers in Glaucoma* 2: 98-99, 2001.
- 7) 北澤克明, 山本哲也訳：緑内障診療のための自動静的視野計測, 114-115, 医学書院, 東京, 2001.
- 8) Musch DC, Lichter PR et al: The collaborative initial glaucoma treatment study, study design and methods and baseline characteristics of enrolled patients. *Ophthalmology* 106: 653-662, 1999.
- 9) 山本哲也：緑内障視野障害の特色, 本田孔士編, 眼科診療プラクティス28, 視野のすべて, 10-15, 文光堂, 東京, 1997.
- 10) Hodapp E, Parrish RK & Anderson DR: *Clinical Decision in Glaucoma*. 52, CV Mosby, St Louis, 1993.
- 11) 河野吉喜, 山本哲也：視野検査の評価 静的視野の解釈－ハンフリー視野計を中心に, *臨眼* 50 (増): 53-56, 1996.
- 12) Leske MC, Heijl A et al: Early manifest glaucoma trial design and baseline data. *Ophthalmology* 106: 2144-2153, 1999.
- 13) Gaasterland DE, Ederer F et al: Advanced glaucoma intervention study 2. Visual field test scoring and reliability. *Ophthalmology* 101: 1445-1455, 1994.
- 14) Mahdavi KN, Brigatti L et al: Comparison of methods to detect visual field progression in glaucoma. *Ophthalmology* 104: 1228-1236, 1997.
- 15) Anton A, Yamagishi N et al: Mapping structural to functional damage in glaucoma with standard automated perimetry and confocal scanning laser ophthalmoscopy. *Am J Ophthalmol* 125: 436-446, 1998.
- 16) Suzuki Y, Araie M et al: Sectorization of the central 30° visual field in glaucoma. *Ophthalmology* 100: 69-75, 1993.
- 17) 鈴木康之：視野のセクター解析, *神眼* 15: 258-263, 1998.

眼鏡レンズの解説

レンズ特性とその選択について

川村 隆之

(株)那須ニコン プロダクション 1

The Properties of Lens and Selection of Itself

Takashi Kawamura

Nasu Nikon Co., Ltd Production 1

眼鏡レンズの材料において、重要な特性は、「屈折率」、「アッペ数」、「比重」の3要素である。眼鏡レンズとして望まれる特性を、屈折率がもたらす影響、アッペ数の意義、比重がもたらす影響をもとに示す。近年の高屈折率プラスチック材料についてその特徴に触れ、眼鏡レンズの選択方法を材料の観点から示す。

(視覚の科学 25: 51-56, 2004)

キーワード：眼鏡レンズ、材料、屈折率、アッペ数、比重

We usually define materials for ophthalmic lenses using three key-properties: refractive index, Abbe number and specific gravity. The importance of these properties for ophthalmic lenses, the recent development of high refractive lens and the selection of ophthalmic lens based on material properties are explained.

(Jpn J Vis Sci 25: 51-56, 2004)

Key Words: Ophthalmic lens, Material, Refractive index, Abbe number, Specific gravity

1. はじめに

眼鏡レンズは、屈折補正用、保護（安全）用またはファッション用として使われている。なかでも屈折補正用眼鏡レンズは、40歳を過ぎると、程度の差こそあれ誰もが世話になる生活必需品である。現在、眼鏡レンズに用いられている材料は、無機ガラスとプラスチックがある。無機ガラスは、屈折率1.90までの製品が販売されており、耐擦傷性、耐熱性およびフォトクロミックの耐久性などにおいてプラスチックより優れているものの、その用途範囲は限られてきている。プラスチックは、その軽量性・耐衝撃性・易加工性・易染色性の特徴を有し、表面処理技術の進歩と合わせて年々比率が高まり、日本においては、90%以上の屈折補正用眼鏡レンズがすでにプラスチックといわれている。眼鏡レンズの長い歴史のなかで、近年のプラスチックの急速な普及は軽さ

への要求が切実であったことを物語っている。また、高屈折率プラスチック材料の普及は、軽さのほかに薄さへの要求も強かったという結果であろう。

眼鏡レンズは、レンズ1枚で構成された製品であるがゆえに、その材料のいわゆる屈折率・アッペ数・比重の特性が、その製品を特徴付ける。本稿は、近年、目覚ましく進歩しているプラスチックレンズに焦点をあて、屈折率・アッペ数・比重と選択の考え方について概説する。

2. プラスチックレンズの製造方法

簡単にプラスチックレンズの製造方法を示す(図1)。プラスチックレンズの製造工程は、ガラスレンズの場合と異なり、母型によるキャスト法と呼ばれる方法がとられているため、プラスチックレンズの品質は従来のガラスレンズ以上に製造方法に依存する。その影響は、面精度、度数精度にとどまら

別刷請求先：321-0611 栃木県那須郡烏山町大字興野1956-3 (株)那須ニコン プロダクション 1 川村隆之
(2004年7月27日受理)

Reprint requests to: Takashi Kawamura Nasu Nikon Co., Ltd Production 1
1956-3 Kyono, Karasuyama-cho, Nasu-gun, Tochigi 321-0611, Japan
(Received and accepted July 27, 2004)

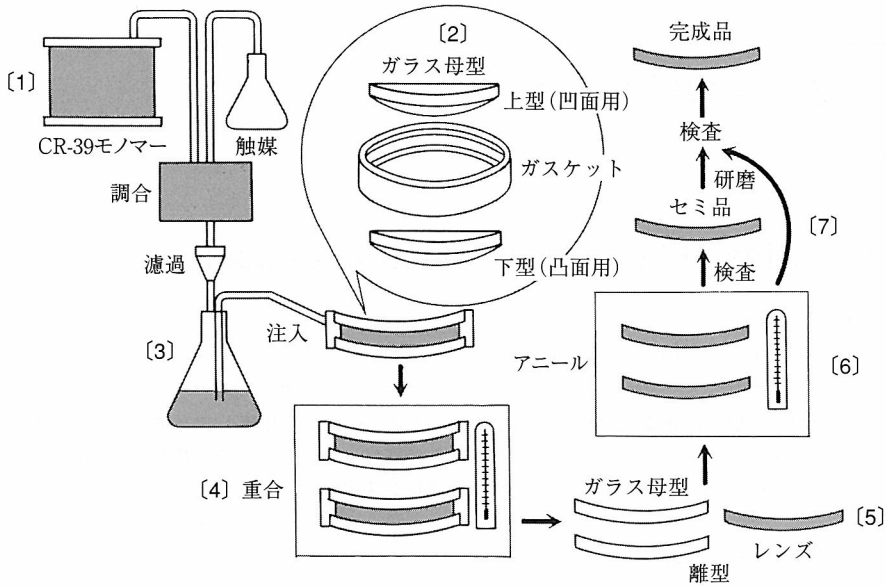


図1 プラスチックレンズの製造方法

ず、染色の際のバラツキ、経年変化など、非常に広範囲に及ぶ。

- 1) 一般的な原材料である CR-39[®] (脚註参照) モノマーは、無色透明の液体である。これに、触媒と紫外線吸収剤を加える。調合された材料は、よく攪拌された後、非常に目の細かいフィルターでろ過される。
- 2) 母型には、ガラスを化学強化処理されたものが使用される。これは、母型が破損したり、傷付くのを防止するためである。母型の表面は忠実に転写されるので、一般ガラスと同様に、高精度に研磨されている。
- 3) ガラス母型は、樹脂製のガスケットと呼ばれるシール材で保持され、できた空間に、調合された原料が注入される。ガスケットは、レンズの厚さを定め、液漏れを防止する。
- 4) 母型に注入された原料を電気炉内で重合し、硬化させる。この重合条件が非常に重要である。例えば、CR-39[®] を液体から重合し、硬化させると、約14%も体積が小さくなってしまう。こう

した性質がある一方で、レンズ内部を均一に保ち、光学面の面精度を保つ必要がある。また、重合が不十分だと経年変化や染色の際のバラツキの原因になる。こうしたことから、重合工程は精密なコントロールの下に、約12~24時間もかけて行う。

- 5) 重合が完了し固体となったレンズは、型からはがされる。
- 6) 重合時に生じた内部ひずみを取り除くために、再びレンズを加熱する。これがアニール工程である。
- 7) これでレンズは完成する。

3. 屈折率・アッペ数・比重

屈折補正用眼鏡レンズは、生活の成熟化に伴い、本来の屈折補正機能に加えてファッション性、快適性を志向される傾向が強くなってきた。したがって、レンズの薄肉化、軽量化が強く求められている。

1) 屈折率

レンズ重量は (式1) で示される。

$$\text{レンズ重量} = \text{レンズ体積} \times \text{比重} \dots\dots\dots (式1)$$

軽量化のため、レンズ体積を小さくする手段として材料の屈折率が着目される。

図2において、レンズの屈折力と厚み (d)、屈折率 (n) との関係を示す (式2, 3)。

脚註) CR-39[®]: 1942年 PPG社 (米) で開発されたモノマーアリルジグリコールカーボネート (ADC) 樹脂
 屈折率 1.50
 屈折補正用プラスチックレンズのなかで最も標準的な材料

$$D = kD_1 + D_2 \dots\dots\dots (式 2)$$

$$D_1 = \frac{n-1}{r_1}, D_2 = \frac{1-n}{r_2} \dots\dots\dots (式 3)$$

ここで、

$$k = \frac{1}{1 - \frac{d}{n} D_1} \text{ : 形状係数}$$

- D : 屈折力 (D>0 : 凸レンズ, D<0 : 凹レンズ)
- D₁, D₂ : レンズ第1面, 第2面の面屈折力
- n : 材料の屈折率
- d : レンズの厚み
- r₁, r₂ : レンズ第1面, 第2面の曲率半径

屈折力は、レンズの曲率半径、厚み（設計）と屈折率（材料）にのみ依存していることがわかる。

具体的に計算すると、

n = 1.50 でレンズ第1面4カーブの曲率半径 r₁ (mm) は、(式3) より r₁ = 125 (mm), n = 1.70 でレンズ第1面4カーブは、r₁ = 175 (mm) と、高屈折率材料の方が湾曲を小さくすることができる。レンズ第2面についても同様の効果があるため、レンズ形状は緩やかなカーブになり、中心肉厚と周辺肉厚の差を小さくすることができる。

また、球面レンズでは、縁厚は(式4)であらわされ、

$$t = d + \left(r_2 - \sqrt{r_2^2 - h^2} \right) - \left(r_1 - \sqrt{r_1^2 - h^2} \right) \dots\dots (式 4)$$

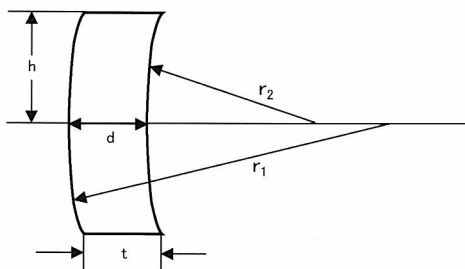


図2 レンズ断面

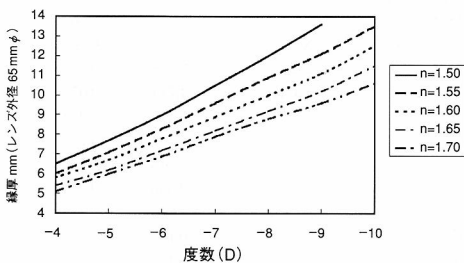


図3 レンズの縁厚と度数との関係

一般にレンズの縁厚と度数の間には図3に示す関係があり、とくに強度のレンズでは縁が厚くなり、屈折率の効果がみてとれる。

結局、高屈折率材料の直接の効果は、同じ屈折力を得るのに曲率半径を大きくできることにある(図4)。

その恩恵として、レンズの体積を小さくすることが可能である(図5)。

眼鏡レンズとして、できるだけ高屈折率材料を選べば、薄く軽いレンズを入手することができる。

屈折率と化学構造を関連付ける基礎となるのは、Lorentz-Lorenz 式である。

詳細は、文献²⁾に譲るが、

$$R = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4}{3} \pi \times N \times \alpha \dots\dots\dots (式 5)$$

$$R = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \times V = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \times \frac{M}{P} = \frac{4}{3} \pi \times \alpha \times N_A \dots\dots (式 6)$$

$$n = \sqrt{\frac{1 + \frac{2[R]}{V}}{1 - \frac{[R]}{V}}} \dots\dots\dots (式 7)$$

ここで、

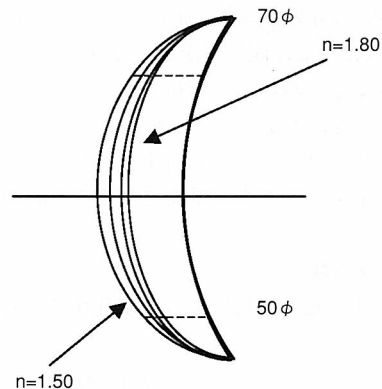


図4 材料の屈折率とレンズ断面

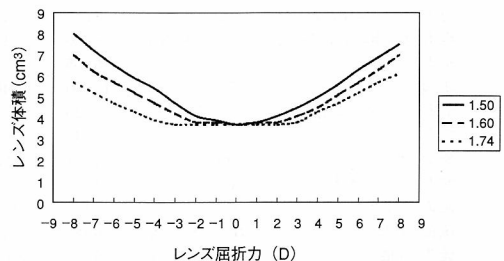


図5 材料の屈折率とレンズ体積

- n : 屈折率
- a : 分極率
- N : 1 cm³中の分子数
- [R] : 分子屈折
- V : 分子容
- N_A : アボガドロ数
- M : 分子量
- ρ : 比重

屈折率は、分子屈折と分子容に支配されて、分子屈折は、原子屈折(表1)の和で求めることが可能である。

したがって、屈折率は、原子屈折、分子量、密度からおおよそ計算することが可能である。

今までこのような原理を背景に、プラスチック材料の高屈折率化の手段として、分子構造中に、原子屈折の大きいフッ素以外のハロゲン原子、芳香族環、硫黄原子を導入する方法が採用されてきた。

一方、屈折率は、レンズ面の反射率に影響を及ぼす。

光が、空気から屈折率 n のレンズに垂直入射した際の、レンズ表面反射率 R は(式8)であらわされる。

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \dots\dots\dots (式8)$$

表面反射率は、屈折率に依存していることがわかる。具体的に計算すると、屈折率 1.50 で 4.0%、屈折率 1.70 で 6.7% と、屈折率が高くなると表面反射率が高くなる事がわかる。屈折率が高くなると、結果として光の透過性を失うこととなる。

これを補うために、高屈折率材料では、反射防止コートを実施することがより重要であるが、詳細は、成書に譲る。

2) アッペ数

屈折率は、光の波長によって変化する。その関係

は Sellmeier の式であらわされる。

$$n = a + \frac{b}{(\lambda^2 + c)} - d\lambda^2 \dots\dots\dots (式9)$$

ここで、

a, b, c, d : 係数

一般的に、屈折率は波長依存性があり、長波長ほど小さくなる。

二つの平面が交わったプリズムに入射した白色光が通過して曲げられた際、屈折率が波長によって異なるため、波長によって少しずつ方向が変わり、種々の色のスペクトルに分かれる現象がある。これを分散という。

分散は、アッペ数 (ν_e) で示されることが多く、この値が大きいほど分散が小さいことを示す(図6)。

$$\nu_e = \frac{(n_e - 1)}{(n_F - n_C)} \dots\dots\dots (式10)$$

ここで、

n_F, n_e, n_C : フラウンホーファー線の F' 線 (480 nm), e 線 (546 nm), C' 線 (644 nm) に対する屈折率

レンズは、縁の方ほど頂角の大きいプリズムの集まりと考えることが可能で、プリズムと同じように

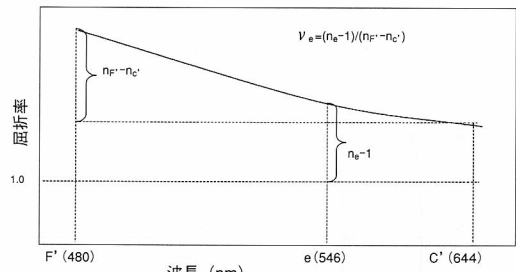


図6 アッペ数の定義

表1 原子屈折と結合様式による補正項および原子分散

結合様式	記号	原子屈折 [R] _e	分散 [R] _F - [R] _C	結合様式	記号	原子屈折 [R] _e	分散 [R] _F - [R] _C
水素	-H	1.100	0.023	窒素 (N-オキシミド)	(O)-N-(C)	3.901	0.167
塩素(アルキル基に結合)	-Cl	5.967	0.107	窒素(Schiff塩基型)	(C)-N=(C)	4.10	0.16
塩素(カルボニル基に結合)	(-C=O)-Cl	6.336	0.131	窒素(ヒドラゾン)	N-N=(C)	3.46	0.19
臭素	-Br	8.865	0.211	炭素	>C<	2.418	0.025
ヨウ素	-I	13.900	0.482	メチレン基	-CH ₂ -	4.711	0.072
酸素(ヒドロキシル基)	-O-(H)	5.525	0.006	シアノ基	-CN	5.415	0.083
酸素(エーテル)	>O	1.643	0.012	イソシアノ基	-CN	6.136	0.129
酸素(カルボニル基)	=O	2.211	0.057	二重結合		1.733	0.138
酸素(過酸化水素)	-O ₂ -	4.035	0.052	三重結合		2.336	0.114
硫黄(2価)	(C)-S ^{II} -(C)	7.80	0.22	五員環		0.04	-
硫黄(4価)	(C)-S ^{VI} -(C)	6.38	0.14	七員環		-0.10	-
硫黄(6価)	(C)-S ^{VI} -(C)	5.34	-0.02	八員環		-0.47	-
				十五員環		-0.62	-

異なる波長の光は分散し、焦点の位置は色によって違ってくる。またその影響は、中心部より周辺部を通過する光の方が大きい。このような光の分散に起因する相違を色収差という。

例えば、凸レンズを通して白地にある太い黒線を見ると、中心部では違和感がないが、周辺部では、黒線像の外側の境に赤、内側の境に青がにじみ出て見える。これは、黒線との境界の白地からくる光が分散し、青色光が赤色光よりも強く屈折し、青色の像の方が大きいためである。

また、色収差の量はプリズムの頂角の大きさにほぼ比例するから、プリズム度数の大きなレンズの場合は、物体の縁がより色付いて見える。それゆえ、屈折補正用のプリズムは、左右の目に折半して半分程度のプリズムをかけるなどの対処も必要である。

先に述べたとおり、アッペ数についても計算が可能である(表1)。

$$v_e = \frac{6n_e}{(n_e^2 + 2)(n_e + 1)} \times \frac{[R]}{[\Delta R]} \dots\dots\dots (式11)$$

$$[\Delta R] \equiv [R]_F - [R]_C \dots\dots\dots (式12)$$

屈折率が高まれば、屈折率で表現される右辺の値が減少し、アッペ数は低下することがわかる。眼鏡レンズは1枚でのみ構成されているがゆえに、色収差を考慮すると、できるだけアッペ数の大きな材料を選択することが望ましい。したがって、高屈折率でかつ高アッペ数(低分散)な材料が望まれるが、原理的にその両立は難しい。

そのなかでも、硫黄成分を含むプラスチックは原子屈折も高く、分散も比較的小さいことから、硫黄成分をうまく含有させることが、屈折率とアッペ数のバランスをとる数少ない手段といえる。

3) 比重

レンズ重量を小さくできる方法として、レンズ体積を小さくするほかに、材料の比重を小さくすることが挙げられる。

現在までに実用化された主な眼鏡レンズ材料の屈折率、アッペ数、比重を示す(表2, 3, 図7)。

高屈折率無機ガラスの比重が、屈折率に比例して増加するのに比べて、高屈折率プラスチックでは屈折率が高くなっても比重の値はそれほど増加せず、勾配が緩やかなことがわかる。屈折率がほぼ同じプラスチックと無機ガラスを比重で比較すると、屈折率1.50でその比は0.52となり、同度数であればガラスレンズに比べて約48%軽量化できる。

無機ガラスの場合、比重と屈折率が互いに比例関係にあるので、屈折率によりレンズを薄くできたとしても軽量化の効果が小さかった。また、プラスチックへの過渡期も、低屈折率材料だけであったため、レンズ体積の不満を解消できるものではなかった。

最近では、屈折率1.74、アッペ数33、比重1.46という硫黄成分を含有させた超高屈折率プラスチックが実用化され、その両立が図られている。

高屈折率プラスチックにより、より軽量化が可能となったため、眼鏡レンズとしては高屈折率で低比重な材料が更に望まれる。

表2 屈折率によるプラスチックの分類

分類	屈折率範囲	素材名	屈折率 n_e	アッペ数 v_e	比重	備考
超高屈折率	$1.65 \leq n_e$	エビスルフィド系樹脂	1.74	33	1.46	MR-174
		エビスルフィド系樹脂	1.70	36	1.41	IU-20
		チオオウレタン系樹脂	1.67	32	1.35	MR-7
高屈折率	$1.58 \leq n_e < 1.65$	チオオウレタン系樹脂	1.60	42	1.30	MR-8
		チオオウレタン系樹脂	1.60	36	1.32	MR-6
		(ポリエステル)メタクリレート	1.60	32	1.37	TS-26
		PC	1.59	31	1.20	Panlite
中屈折率	$1.55 \leq n_e < 1.58$	(ウレタン)メタクリレート	1.56	41	1.17	K-23
		(エポキシ)メタクリレート	1.56	40	1.19	MCR-50
		ジアリルカーボネート	1.56	37	1.23	HIRI
		DAP系樹脂	1.55	40	1.27	NK-55
低屈折率	$n_e < 1.55$	ウレタン系樹脂	1.53	43	1.11	TRIVEX
		(ウレタン)メタクリレート	1.51	58	1.12	MCR-10
		メタクリレート	1.51	47	0.99	K-55
		ADC	1.50	58	1.32	CR-39
		ジアリルカーボネート	1.50	60	1.27	CR-607
		PMMA	1.49	58	1.18	ポリメタクリル酸メチル

PC：ポリカーボネート、DAP：ジアリルフタレート、ADC：アリルジグリコールカーボネート、PMMA：ポリメチルメタクリレート

表3³⁾ 屈折率による無機ガラスの分類

分類	屈折率範囲	屈折率 n_e 例	アッペ数 v_e	比重	備考
超高屈折率	$1.80 \leq n_e$	1.900	28.0	3.77	プリント
		1.892	31.0	3.97	
		1.835	31.5	3.59	
		1.806	32.8	3.47	
		1.800	35.0	3.50	
高屈折率	$1.70 \leq n_e < 1.80$	1.702	40.2	2.99	プリント
		1.701	43.0	3.16	
中屈折率	$1.55 \leq n_e < 1.70$	1.605	40.8	2.57	プリント
		1.600	42.5	2.58	
低屈折率	$n_e < 1.55$	1.525	59.0	2.54	クラウン

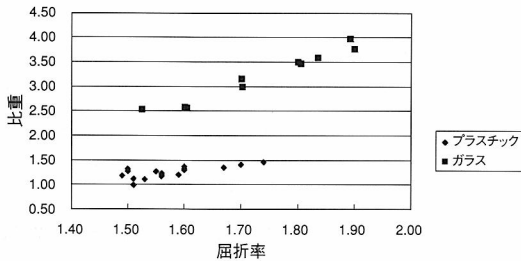


図7 眼鏡レンズ材料の屈折率と比重

4. レンズ材料と選択について

以上のように、眼鏡レンズの材料としては、高屈折率、高アッペ数で低比重な材料が最も望ましいことがわかる。しかし表2からもわかるように、現実的には、材料の屈折率が高くなるにつれてアッペ数は小さく、比重は大きくなる。また、反射防止コートがなければ反射率が増加することは紛れもない事実である。

したがって、レンズの厚さがあまり気にならない弱度～中度の度数では低屈折率～高屈折率の材料を、レンズの厚さが気になる中度～強度の度数では高屈折率～超高屈折率の材料から選択することが最も賢い材料選択といえよう。

5. おわりに

眼鏡レンズの薄肉化、軽量化という観点で、材料の屈折率・アッペ数・比重の選択の考え方をまとめた。

眼鏡レンズ材料としては、上記3特性のほかにも、機械的、物理的、化学的特性も要求されることは当然であり、実用化・商品化には、更にコストの問題も絡んでくる。

提案される多くの材料のなかで、種々のバランスを保ち、なんらかの特徴をもつ材料のみが実用化・商品化されている。

その特徴もよく理解し、用途に合わせて材料選定を行うべきである。

薄肉化・軽量化の要求が続く限り、今後とも種々の材料が提案されると思われる。硫黄の導入でバランスをとりながらどこまで屈折率を上げることができるか、また、公開特許などで出はじめている硫黄以外（有機ゲルマニウム）の手段が実用化されるのか、興味のあるところである。

今後の材料開発の進展を期待したい。

参考文献

- 井出文雄：ここまできた透明樹脂. 12-24, 222, (株)工業調査会, 東京, 2001.
- 笹川勝好：眼鏡レンズ用プラスチック材料. 熱硬化性樹脂 15: 185-194, 1994.
- 高橋文男：軽い眼鏡の動向. あたらしい眼科 19: 173-178, 2002.