

日食の安全な観察をめざして ～日食の安全な観察推進 WG の活動報告～

齋藤 泉^{1,3}、安藤享平¹、大川拓也^{1,3}、大西浩次^{1,3}、小野智子¹、
篠原秀雄^{1,3}、高橋 淳¹、松尾 厚^{1,3}、奥野 勉²

¹天文教育普及研究会 日食の安全な観察推進ワーキンググループ

²労働安全衛生総合研究所、³2012 年金環日食日本委員会

1. はじめに

日食は、宇宙で起こる事象を実感できる素晴らしい現象である。しかし実際の日食の観察では、太陽光の適切な遮光を怠ると日食網膜症などの目の障害を発症する危険性がある。これらは小さな子供ほど危険性が高く、観察の指導には細心の注意が必要である[1]。

日食以外の通常の太陽の観察は、小学校6年、中学校3年、高等学校の地学基礎、地学などでも実施されている。しかし、現在の日本には太陽観察グラスの規格は無く[2]、安全性をチェックするシステムも残念ながら存在しない。そのため、太陽観察のグラス等の安全性が気かりである。

「天文教育普及研究会 日食の安全な観察推進ワーキンググループ」（以下、日食観察 WG とする）は、日食観察方法の検証のために、太陽観察グラスなどの性能（透過率）の調査を行ってきた[3][4][5]。そこで、本稿では、その調査結果の概要ならびに活動について報告する。測定の詳細については、国立天文台報に投稿中なのでそれを参照して欲しい[6]。なお、ここでは太陽を観察するための遮光板や、いわゆる「日食メガネ」などを、「太陽観察グラス」と総称する。

2. 2009年皆既日食における活動

日食観察 WG の発足（2009 年）以前、メンバーの多くは、当会の世界天文年プロジェ

クト WG の太陽フィルタ測定チームのメンバーとして活躍した。この活動は、2009 年の皆既日食の観望の安全性を高めることを目指し、世界天文年日本委員会推奨の日食グラス等、複数の太陽観察グラスの透過率を測定し、その安全性を検証した[7]。日食後、同チームは、眼の障害についてウェブ上で調査を行い、14 件の症例を得た。これらはすべて、太陽観察グラスの誤った使用や、下敷き等の適切でない代用品の使用による症状であった[8]。

3. 日食観察 WG の活動：2012 年金環日食に向けて

2012 年 5 月 21 日早朝に、日本国内では 25 年ぶりとなる金環日食があった。この日食では、九州南部、四国の大部分、本州の紀伊半島から関東付近にかけて、日本の人口の約 3 分の 2 が住む地域が金環帯に入った[9]。多くの人が日食を観察できる機会であったため、眼の障害発生は、2009 年の規模を大きく越え、数千人の規模になるのではないかと危惧された。そこで、2009 年 11 月に、太陽フィルタ測定チームのメンバーが中心となって日食観察 WG を立ち上げた。

3.1 他の組織と連携した活動

日食観察 WG は、太陽観察グラスの透過率測定のほかに、他の組織と連携して次のような活動を行った。

- (1) 一般向けの「日食観察時の危険を回避するための予備知識(第1版)」[10]を、2012年金環日食日本委員会(以下、日食委員会とする)とともに作成した。この文書は、当研究会のウェブページ等で公開し、周知に努めた。
- (2) 日本眼科学会及び日本眼科医会と協力し、学校向けに作成した観察の手引書『日食を安全に観察するために』[11]を作成した。この文書は、文部科学省に提供し、また当会のウェブページ等でも公開した。さらに、日本眼科学会などと「日食観察における目の安全性の啓発ポスター」も作成し、眼科医をはじめ天文コミュニティにも配布した[12]。
- (3) 日本天文学会 2012 年春季年会の記者発表「金環日食を迎え撃つ」において、大西が日食委員会として発表した。大川と齋藤も同席してサポートし、それぞれ口頭発表を行った[9][13][14]。
- (4) 2012 年 5 月 11 日の文部科学省での緊急記者会見に、日食委員会の大西、大川、齋藤の3名が参加した。齋藤は、前日にウェブ上での販売が確認された可視光透過率 20%の表示がある製品について「明らかに不適切な透過率の製品」として報告した(図 1)。また、同省での 5 月 17 日の記者会見でも、当会の嶺重会長が、安全な観察や日食観察 WG 等の活動について報告した。なお当会の別のワーキンググループである「金環日食調査 WG」の状況も報告された。



図 1 文部科学省での緊急記者会見

- (5) 3 回のシンポジウムの開催(日食委員会主催)[15]、テレビや新聞などのマスメディアへの情報提供などを通じて、日食の安全な観察方法の普及に努めた。特に、可視光のブルーライト(440nm 付近)の強い光による短時間観察の危険性が認識されてきた[16]ので、2012 年の金環日食に向けては、日食委員会と協力し、この周知にも力を注いだ。

3.2 太陽観察グラスの透過率の測定

我々は、国立天文台先端技術センターの施設利用プロジェクトによりオプトショップの機器(島津製作所製の分光光度計 Solid Spec-3700、図 2)を使用し、紫外から近赤外の波長域(300nm~1400nm)において透過率の測定を行なった[6]。また、サンプル表面の状態については、顕微鏡 MM-40 (Nikon) を使って観察や撮影を行った。

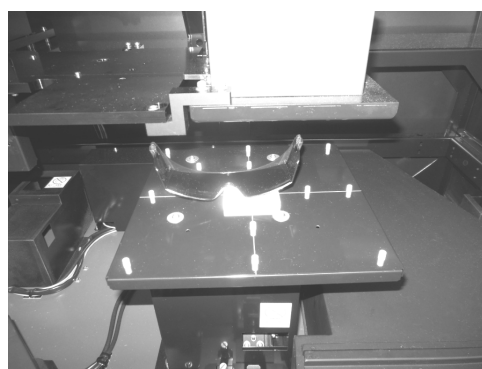


図 2 分光光度計 SolidSpec-3700 の試料室

太陽観察グラスは透過率が可視領域で 10 万分の 1 と極めて小さく、透過率の測定限界に近い。そこで、原点の調整や適切な測定パラメータの選択など、測定手順の確立のための試験測定を行い、測定精度を上げた。2011 年 10 月から実際の測定を開始し、市販品 34 点と代用品 49 点、計 83 種類のサンプルについて、総計 336 回の測定を行った。また、製品の劣化についても検討した。

さらに、1 千万分の 1（濃度 D7）以上の高い精度が必要なものについては、可視域で広いダイナミックレンジを持つ機器（労働安全衛生総合研究所の分光放射輝度計 Spectra Scan PR705 と、光源のキセノンランプ ASAHI SPECTRA MAX-302）を用いて測定を行った（図 3）。なお、濃度 D と透過率 T は、 $D = -\log_{10}(T)$ の関係がある。



図 3 分光放射輝度計(左)と光源(右)

4. 測定結果の概要

4.1 市販の太陽観察グラスの透過率

図 4 は、市販の太陽観察グラスの可視光域の透過率を示す。グラフの横軸は測定波長 λ [nm]、縦軸は透過率 T [%] である。可視光で 0.003% 以下、近赤外で 3% 以下の透過率を安全性の目安[2]と考えると、可視光から近赤外域までおおむね安全なレベルであることが判る。ところが、金環日食の 11 日前に存在が確認された太陽観察グラス(図 5)は、透過率が非常に高く室内の蛍光灯がはっきり見えるほど危険性の高い製品であった（この危険性の高い製品への対応は、5 節を参照されたい）。

なお、溶接用遮光プレートなどの規格に用いられている可視光の透過率は、目の分光感度を考慮した視感透過率と呼ばれるものである。この計算方法（JIS 規格の抜粋）は、本稿末尾の付録として示した。

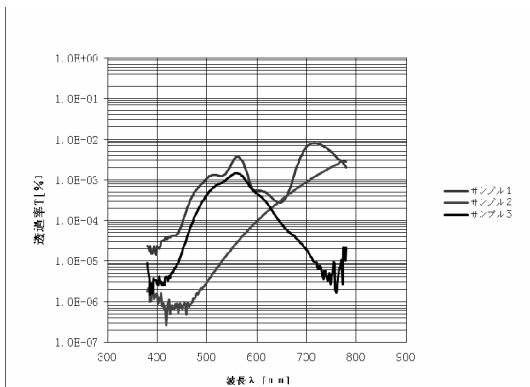


図 4 太陽観察グラスの透過率

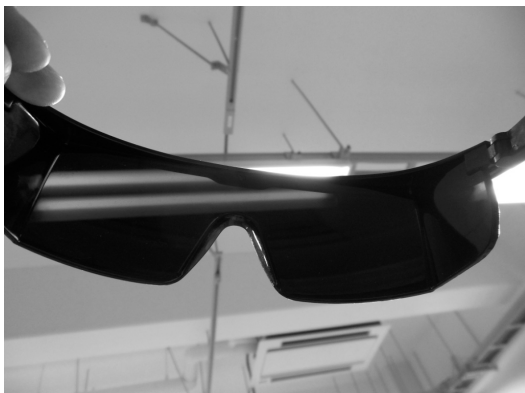


図 5 蛍光灯のよく見える太陽観察グラス

4.2 太陽観察フィルタシート(BAADER Astro Solar Film)の透過率及び劣化について

このシートは、高い遮光性能を持ち、非常に薄くハサミで簡単に切れるなど加工がしやすい。このため、紙などをフレームにして手製の日食グラスにしたり、望遠鏡・双眼鏡の対物側につける減光フィルタとして広く使われている（図 6）。

加工のしやすさは、傷がつきやすいことを意味する。このため、開封の際に包装の接合面にシートが触れないようにするなど、細心の注意を払う必要がある。実際、未使用のものでも 50 倍の顕微鏡で下から光をあてると、図 7 の円で囲んだ部分のように、所々小さな

窪みが確認できるものもあった。このシートは、破れや表面のキズなどを防ぐ目的でラミネート熱加工されることも多いが、ラミネート熱加工したものには、丸い形をした気泡の他に、形の違う数種類のキズのようなものも認められた。なお、販売メーカーは、このような加工をした場合の性能を保証していない。

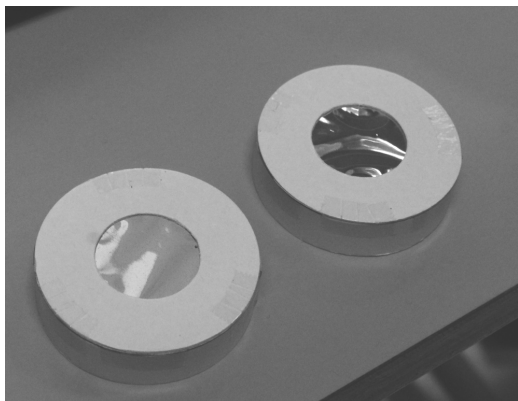


図 6 太陽観察フィルタシートを双眼鏡用に加工（塩田和生氏提供）



図 7 太陽観察フィルタシート表面の顕微鏡画像(50倍)

販売メーカーのウェブページには、このシートに寿命があることが明記されている。使用環境や保管状態により劣化が早まることが考えられるので、使用する前に明るい蛍光灯などにかざして、穴やムラの無いことをルー

ペ等で確認する必要がある。また、濃度の異なる眼視用(D5)と撮影用(D3.8)があるので、購入時には注意が必要である。

(1) 2年間常温保管及びラミネート熱加工の透過率への影響

2年間常温保存したシートは、新品を開封したものとは比べ、透過率が高かった。また、2年間常温保存したサンプルを使いラミネート熱加工の影響を調べた結果、劣化の可能性が示された[6]。

(2) 潮風や風雨の透過率への影響

実際の海上で潮風や風雨にさらされたサンプルの劣化は激しく、図8のように光を当てると、肉眼でも濃淡のムラが容易に確認できた。また、測定値のバラつきも大きく、新品と比べかなり高い透過率を示した(図9)。

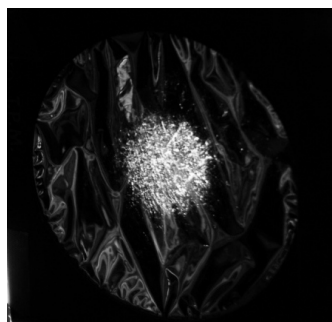


図 8 海上で潮風や風雨にさらされた太陽観察フィルタシート

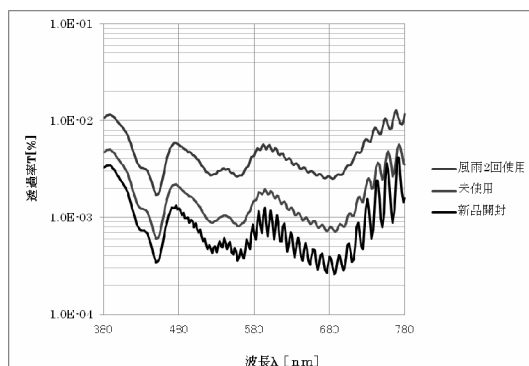


図 9 太陽観察フィルタシートの透過率

4.3 写真撮影用 ND フィルタの透過率

写真撮影時に減光するための ND フィルタは、様々な種類(濃度)が市販されている。ND400 は可視光域では表示どおり 400 分の 1 に減光しているが、太陽を観察するには明らかに減光不足である。

一般に写真撮影用 ND フィルタは、濃いものであっても近赤外域の透過率が急激に上昇するため、肉眼での太陽観察に用いると危険である。撮影時にファインダーを覗いていると眼の熱障害を起こす危険性もある。

4.4 代用品の透過率

(1) CD-ROM、CD-R

CD-ROM や CD-R は、その溝との位置関係により透過率も変化する。また、個体によるばらつきが大きい、いずれも高い透過率を示し、大変危険であることがわかった。

(2) ロウソクのスをつけたガラス板

ロウソクのスをつけたガラス板(図 10)で減光する方法は、以前はよく使われた。実際、数十年前の新聞には、大きく写真が掲載されていた。今回はガラス板にスを付着させてみたが、ガラスを何度も炎の上で動かしてスを重ねて付着する必要がある。そのため、濃さに必ずムラができた。安全な濃さに、かつ均一にスを付着させることは非常に困難であった。特に眼に見えない赤外域で、透過率が 3% 以下に抑えるようスの濃さを調整することは、ほとんど不可能と思われた。また、付着させた面にほんの僅かに触れるだけでも、簡単にスが落ちてしまうという危険性もあった。

(3) 溶接用遮光プレート(レンズ)

溶接用遮光プレート(図 11)は、代用品として最有力候補であり、市販の太陽観察グラスの中には、このプレートを組み込んでいるものも見受けられた。遮光度番号の大きなもの

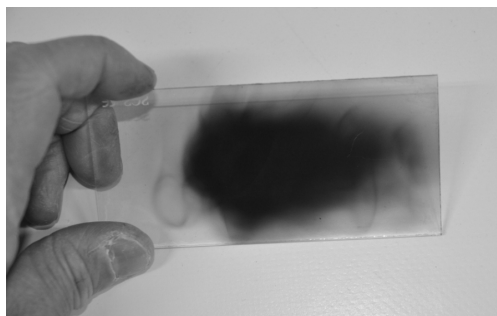


図 10 ロウソクのスを付けたガラス板

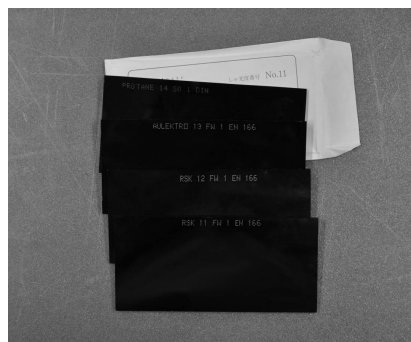


図 11 溶接用遮光プレート(遮光度 11~14)

のほど透過率が低い。前述のように、日本には太陽観察グラスの規格が存在しないが、太陽の観察には、遮光度 13 番が適当とされることが多いようである。遮光度 11 と 13 の溶接用プレートの測定結果を図 12 に示す。

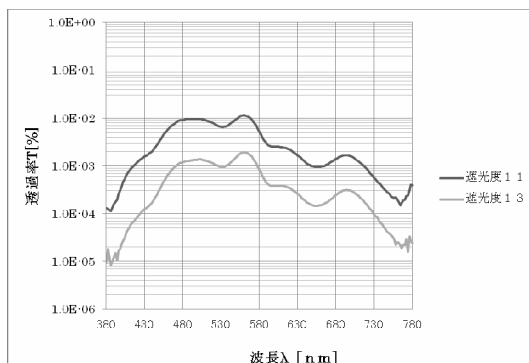


図 12 溶接用遮光プレート(遮光度 11・13)の透過率

透過率がやや高い遮光度 11 のプレートで蛍光灯を見ると、蛍光灯の棒状に光っている部分がほんの僅かに見える(図 13 左、但し印刷では見えないかもしれない)。このプレートで実際に太陽を観察すると、とても眩しく感じられ、危険であると言える¹。

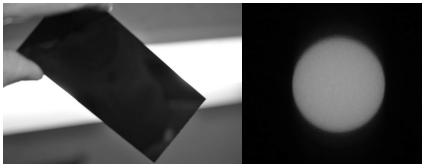


図 13 遮光プレート(遮光度 11)を通して見た蛍光灯(左)、溶接用遮光プレート(遮光度 13)を通して見た太陽(右)

遮光度 12 は概ね安全の目安を満たすが、遮光度 13 (図 13 右) か遮光度 14 のプレートの方が眩しさを感じず、落ち着いて見られる。今回測定した各遮光プレートの視感透過率は、表示された遮光度番号ごとの性能であり、問題はなかった。しかし、某メーカーの遮光プレートは、そのパッケージデザインは、通常の製品に良く似ていたものの、表示されていた規格を満たさないものであった。このような例があるので、注意が必要である。

なお、遮光度 11 より濃いものはホームセンターの店頭などには置かれていないことが多く、溶接関連製品を扱う専門店で購入することになる(実は、前述の規格を満たさないプレートも専門店で購入した製品だった)。

(4) 一般のサングラスとカラーフィルム

太陽観察用ではない一般のサングラスや感光・現像したカラーネガフィルムは、可視光や赤外線の減光が不十分であり大変危険なこ

とが確認できた。

(5) X線フィルム・印刷用リスフィルム

天文ファンなどの間で使われてきた感光・現像した X 線フィルムは、撮影装置のデジタル化により入手しづらくなっている。今回は、3 種類の X 線フィルムと印刷用リスフィルムを測定した。現像のムラなども考慮すると市販の製品よりも危険性は高いと考えられる。

(6) モノクロネガフィルム

今回測定した、感光・現像済みのモノクロネガフィルムを 2 枚重ねたものは、十分な遮光性能があり太陽観察に使用できそうだった。しかし、フィルムの現像方法によるばらつきなども考慮すると、市販の製品のように安全性を保証することはできないだろう。

(7) 下敷き(赤色、緑色)

暗記等に使われる半透明の赤色や緑色の下敷きは、透過率が大変高く危険である。黒い下敷きの中には、太陽を見ることを前提に作られた安全性の高いものもあるが、これについては下敷きというよりも太陽観察グラスに分類されるべきものであろう。



図 14 透過率を測定したお菓子の袋のパッケージの外側(左)と内側(右)

(8) 偏光グラスやお菓子の袋等

3D 映画が見られる偏光グラスも、大変危険であることがわかった。また、あるウェブ

¹ 見え具合には個人差がある。しかし、眩しいという感覚は危険信号であるから、眩しければ、すぐに観察を中止すべきである。

上で話題となったお菓子の袋(図 14)についても測定を行った。これらの袋は銀色のパッケージで比較的光を通さないが、太陽観察に十分な減光は得られなかった。特に、文字などのプリント部分では中身のお菓子が確認できるなど、透過率が非常に高く危険である。

5. 不適切な透過率の製品への対応

金環日食の 11 日前に確認された危険性の高い太陽観察グラス(図 5)の実物は、なかなか入手できなかった。測定が出来なかったので危険性が立証できず、発見翌日の文部科学省での緊急記者会見で、製品名や販売メーカー等を公表できなかった。この製品の使用による障害発生を回避するため、消費者庁とも協議を重ね、15 日に販売中止、16 日から製品回収に至ることができた。5 月 17 日には日食観察 WG でも透過率の測定を行うことができ、その結果は、消費者庁側の結果と一致した。さらに日食観察 WG をはじめ、日食委員会、国立天文台、文部科学省など多方面からの強い要請を行い、18 日にやっと製品名や販売元等の公表が実現した[17][18]。この一週間、太陽観察グラスへの不信が募り、全国の天文台や科学館、販売メーカーなどに問い合わせが殺到するなど混乱が続いたが[19]、この発表により事態は収束へと向かった。

6. おわりに

我々は太陽観察グラス及びその代用品の透過率を測定し、市販品の安全性や代用品の危険性などを確かめ、本誌やウェブページなどで公開してきた。金環日食当日は天候に恵まれない地域もあったが、全国的に日食観察が行われ、その報告が本誌にも掲載された。眼科の受診者も当初の予想を下回る千人あまりで、症状も軽い人が多く、子どもの割合が少なかった[20]。

今後、太陽観察を安全に行えるように、また、太陽観察グラスの規格制定に向けて、我々の活動が貢献できることを願いたい。

謝 辞

最後に、測定に関する様々なアドバイスをいただいた国立天文台先端技術センターの三ツ井健司氏、また、測定サンプルを提供してくださった多くの方々に感謝する。

文 献

- [1] 日本天文協議会・日本眼科学会・日本眼科医会(2011)『2012 年 5 月 21 日の金環日食に関する要望書—多くの児童・生徒や市民に安全に日食を観察してもらうために—』, 2011 年 12 月 15 日付け 文部科学大臣あて。
- [2] 松尾 厚他(2012)『日食を安全に観察するため～遮光フィルタの規格など～』, 天文教育 2012 年 3 月号, 11.
- [3] 齋藤 泉他(2012)『日食を安全に観察するため～透過率測定の間接報告～』, 天文教育 2012 年 3 月号, 15.
- [4] 齋藤 泉他(2012)『太陽観察における代用品の透過率測定結果について(中間報告 1)』, <http://tenkyo.net/iya/eclipse/glass2.pdf>
- [5] 齋藤 泉他(2012)『太陽観察における代用品の透過率測定結果について(中間報告 2)』, <http://tenkyo.net/iya/eclipse/glass3.pdf>
- [6] 齋藤 泉他(2013)『太陽観察グラスの透過率測定』, 国立天文台報(投稿中)。
- [7] 大西浩次他(2009)『太陽観察用各種フィルタ類およびその代用品の透過率測定』, <http://tenkyo.net/iya/eclipse/glass1.pdf>
- [8] 尾花 明他(2011)『2009 年皆既日食による眼障害の発生状況』, 日本眼科学会雑誌, 115(7): 589.
- [9] 齋藤 泉他(2012)『2012 年金環日食の日本での見え方と人口分布』, 日本天文学会

- 2012 年春季年会講演予稿集, Y25a, 330.
- [10] 2012年金環日食日本委員会・天文教育普及研究会・日食の安全な観察推進ワーキンググループ(2011)『日食観察時の危険を回避するための予備知識(第1版)』,
http://www.solar2012.jp/hazard/safety_guide_ver1.pdf
- [11] 日本天文協議会・日本眼科学会・日本眼科医会(2012)『学校向け資料 日食を安全に観察するために』,
http://www.solar2012.jp/hazard/safety_for_school_201202.pdf
- [12] 大西浩次他(2012)『2012 年金環日食委員会の活動』, 天文教育 2012 年 3 月号, 4.
- [13] 大西浩次他(2012)『2012 年金環日食日本委員会の活動』, 日本天文学会 2012 年春季年会講演予稿集, Y24a, 329.
- [14] 大川拓也他(2012)『2012 年金環日食日本委員会による日食観察方法の広報活動』, 日本天文学会 2012 年春季年会講演予稿集, Y26a, 330.
- [15] 2012 年金環日食日本委員会(2012)『第1回～3回金環日食シンポジウム』,
<http://www.solar2012.jp/symposium.html>
- [16] Okuno, T. (2008) 'Hazards of solar blue light', Applied Optics, 47(16): 2988.
- [17] 齋藤 泉他(2012)『日食の安全な観察推進WGについて』, 第26回天文教育研究会集録, 92.
- [18] 日食観察グラスの使用についての注意喚起(製品の確認結果)
http://www.caa.go.jp/safety/pdf/120518kouhyou_2_1.pdf
- [19] 縣 秀彦(2012)『金環日食(2012年5月21日)への取り組みとその成果についての考察』, 日本サイエンスコミュニケーション協会誌, 1(1):68.
- [20] 財団法人日本眼科学会, 2012年5月21日

金環日食による眼障害症例調査の最終報告
<http://www.nichigan.or.jp/news/043.jsp>

齋藤 泉

【付録】

JIS規格や欧州規格の可視光域の透過特性は、波長ごとの透過率ではなく、可視の波長域で積分した視感透過率 T_v で表される。JIS規格の視感透過率の求め方を記す。

JIS 遮光保護具 (JIS T8141:2003)

1) 分光光度計による方法

1.2) 可視部試験 分光光度計を用いて波長域 380～780nm の分光透過率を測定し、次の式によって計算する。

$T(\lambda)$: 試験フィルタの分光透過率

$V(\lambda)$: 2 度視野における明所標準比視感度

Pe_λ : 標準イルミナント A (※) の分光分布

※筆者注: 透過率の測定時に使用する標準光源のこと

T_v : 視感透過率(%)

$$T_v(\%) = \frac{\int_{380nm}^{780nm} Pe_\lambda T(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} Pe_\lambda V(\lambda) d\lambda} \times 100$$