

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）

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など（*1）

2012年5月18日改訂

※本稿は、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）に引き続いて実施した測定結果をまとめたものである。参考にあたっては、天文教育普及研究会 Web ページ内に掲載されている、「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）」（*2）を併せて参照いただきたい。

<中間報告1の補足解説>

中間報告1のろうそくのすすをつけた溶接のカバーガラス板の「非常に濃いスス」について、300～600nm で 0.001～0.003%の測定値が得られているが、これは見かけ上のもので、分光光度計 Solid Spec-3700 の測定精度である 0.002%以下と考えられる。

可視光域（380～780nm）での測定精度は波長によるが、以下の通り 10 万分の 2 程度である。

0.0021%±0.00010%（300～880nm）

0.0085%±0.0011%（930～1400nm）

※880nm～930nm については、測定値の変動が大きく十分な精度がでないため除いている。

なお、「非常に薄いスス」、「中間の濃さ」のグラフは、300nm 付近で透過率が急激に低下しているが、これは、ガラスが紫外線を良く吸収する特性を示している。

可視光域（380～780nm）について、より高精度で測定する必要のある一部のサンプルには、分光放射輝度計を使用した。以下のシステムで、1 千万分の 1（濃度 D7）以上の精度で測定できる。

分光放射輝度計：Spectra Scan PR-705 、レンズ MACRO-SPECT MS55

光 源：ASAHI SPECTRA MAX-302（キセノンランプ）

なお、今回の測定結果は、1 回ずつの実施であるから、すべての性能を示したり、保証したりするものではないことを付記する。

（*1）齋藤 泉、安藤享平、大川拓也、大西浩次、小野智子、篠原秀雄、高橋 淳、松尾 厚
奥野 勉（労働安全衛生研究所）

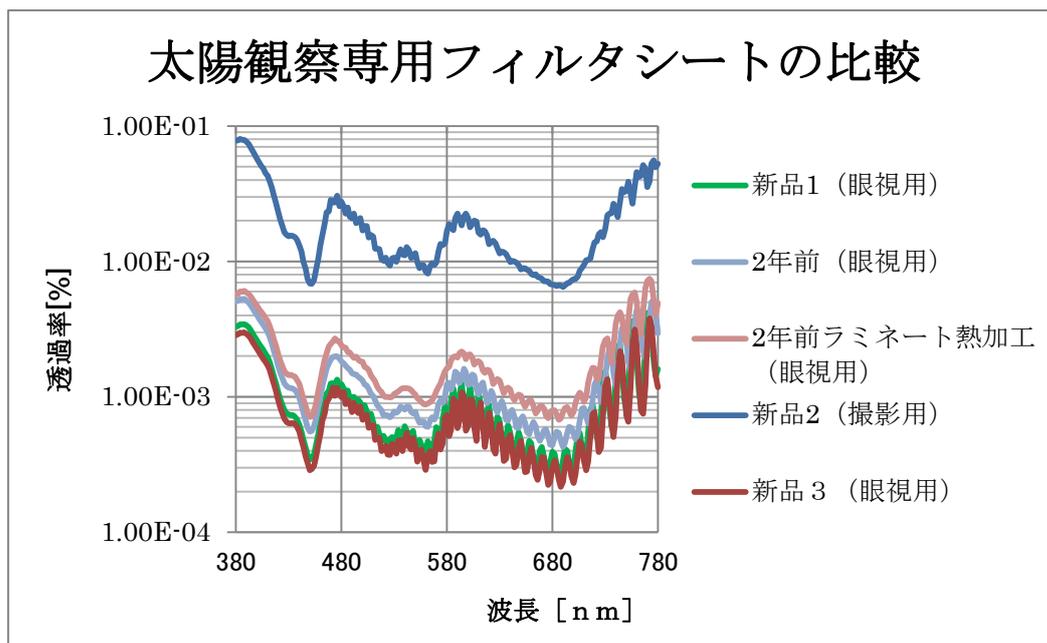
（*2）太陽観察における代用品の透過率測定結果について（中間報告1）（2012年2月28日）

<http://tenkyo.net/iya/eclipse/glass2.pdf>

<太陽観察専用フィルターシートの測定結果>

太陽観察専用フィルターシートは、濃度の異なる眼視用 (D5) と撮影用 (D3.8) があるが、自作の日食メガネや望遠鏡・双眼鏡の対物側につける減光フィルタとして使われることが多い。薄いシート状の製品のため、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ようである。しかし、販売メーカーは、熱加工やラミネート加工による性能低下の可能性や危険性を明記している。

以下の図「太陽観察専用フィルターシートの比較」に測定結果を示す。



2年前に購入した眼視用のシートを常温で2年間クリアファイルに保存したサンプルは、今年2月に購入した新品と比較して、透過率が52%増加していた。また、常温で2年間クリアファイルに保存し、ラミネート熱加工を施したサンプルは、今年2月に購入した新品と比較して、透過率が108%増加していた。さらに、常温で2年間クリアファイルに保存しラミネート熱加工を施したサンプルは、常温で2年間クリアファイルに保存したサンプルに比べて、透過率が37%増加していた。

つまり、常温での2年間の保管やラミネート熱加工による劣化の可能性が示された。

ところが、今年2月に別なルートで購入した2種のサンプルを開封直後に測定すると、約17%の透過率の違いが見られた。これらを濃度Dであらわすと5.0及び5.1となり、眼視用の性能5.0とほぼ一致している。この測定値の差は、測定誤差やロットの違い及び「小さな穴」の影響などが考えられる。

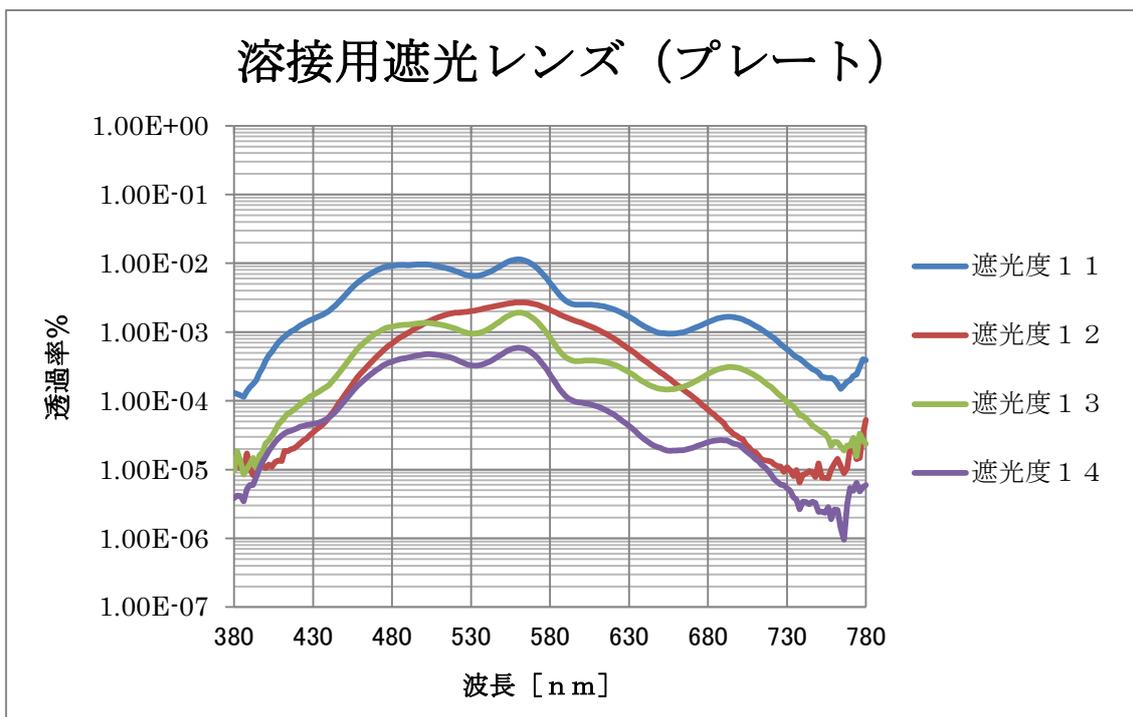
実際の日食観察に使用したもの、未使用でも潮風や風雨にさらされたサンプルの劣化は激しく、肉眼でも濃淡のムラが容易に確認でき、測定値のバラつきも大きい。最も透過率の高いものは、D4.3で通常の約5倍もの透過率に相当する。

ちなみに、撮影用の濃度Dは3.7で、説明書の性能「3.8」相当をほぼ満たしている。ま

た、販売メーカーの Web には、このシートに寿命があることも明記されている。

<溶接用遮光レンズ（プレート）の測定結果>

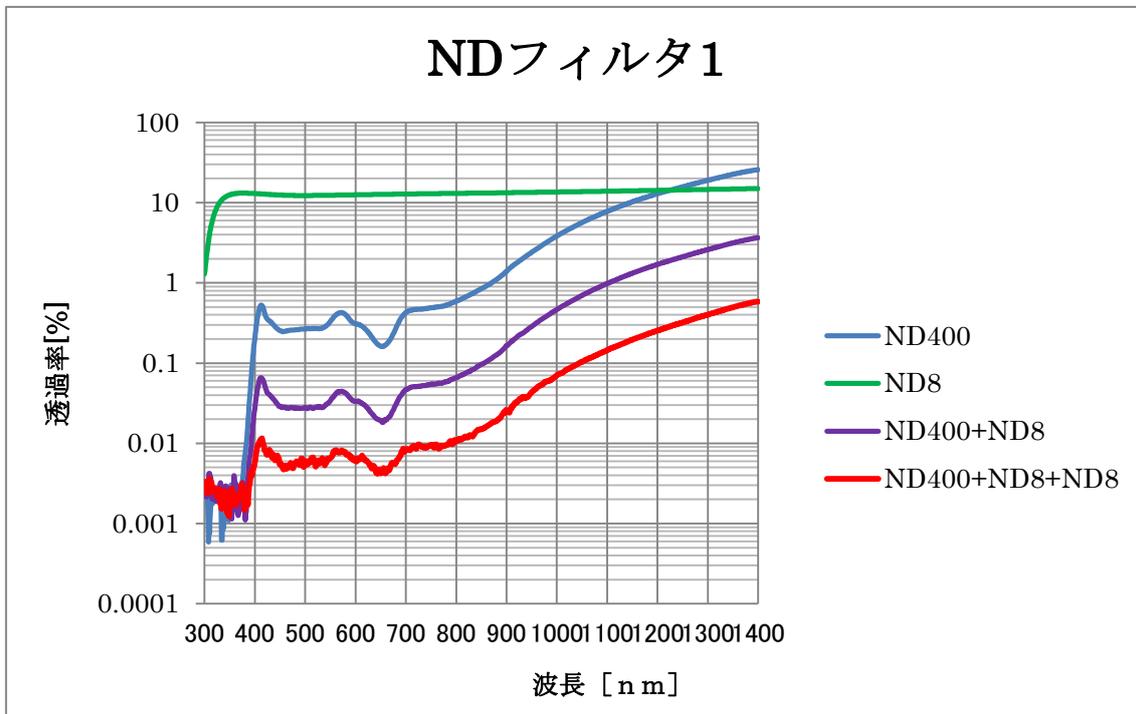
溶接用遮光レンズ（プレート）は、代用品として最有力候補である。日本には、太陽観察用の規格が存在しないため、太陽観察用遮光板の遮光度は 13 番が使われることが多いようである。某販売メーカーの遮光度 1 1 ～ 1 4 の透過率を測定し、可視光域（380～780nm）の視感透過率を求めた。その結果は、それぞれの遮光度番号の表示どおりとなった。



しかし、前述のものにパッケージデザインがよく似た他のメーカーの製品では、表示通りの遮光度番号の性能でないものも見受けられたので、注意する必要がある。

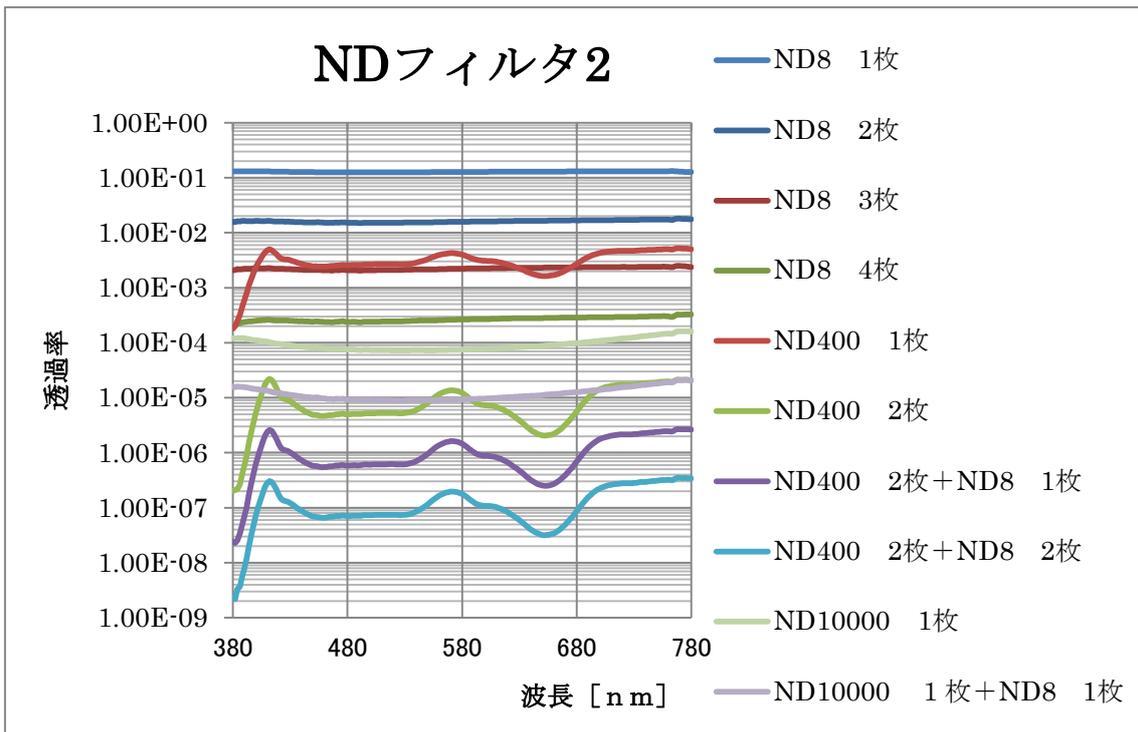
<写真撮影用 ND フィルタの測定結果>

写真撮影用 ND フィルタの透過率を「ND フィルタ 1～3」の各図に示す。



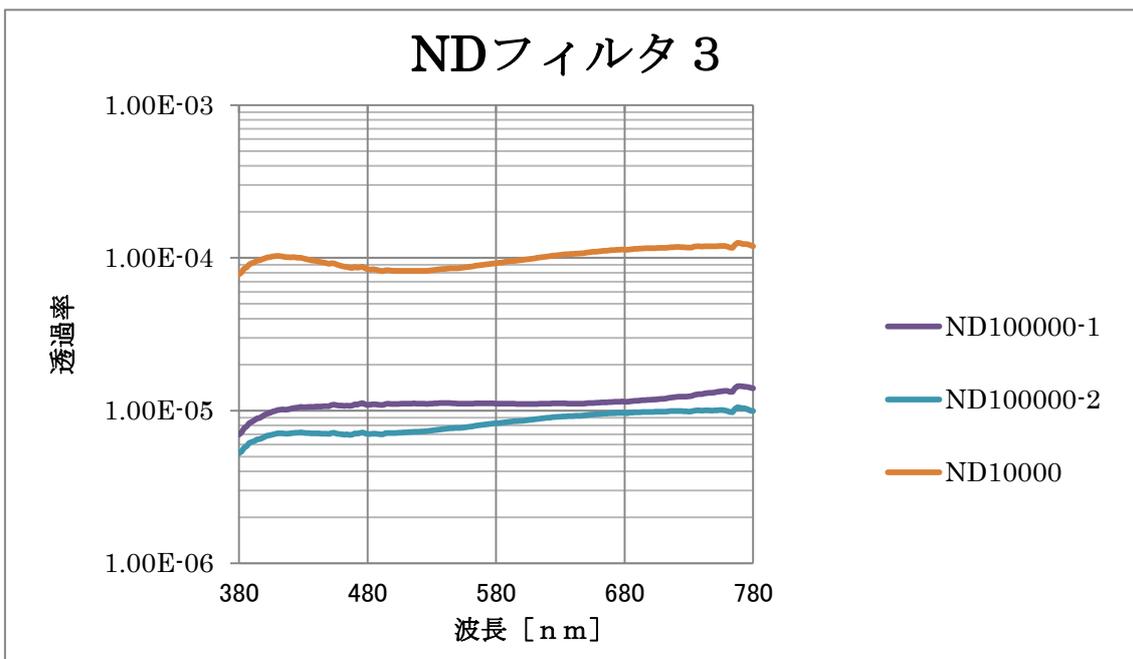
図「ND フィルタ 1」では、ND8 がほぼフラットな透過率を示しているが、ND400 は近赤外が急激に上昇するので、眩しくなくとも、長時間撮影のためにファインダーを覗いていると、眼の熱障害を起こす危険性がある。

可視光域について、より高精度で測定したものが、次の図「ND フィルタ 2」である。



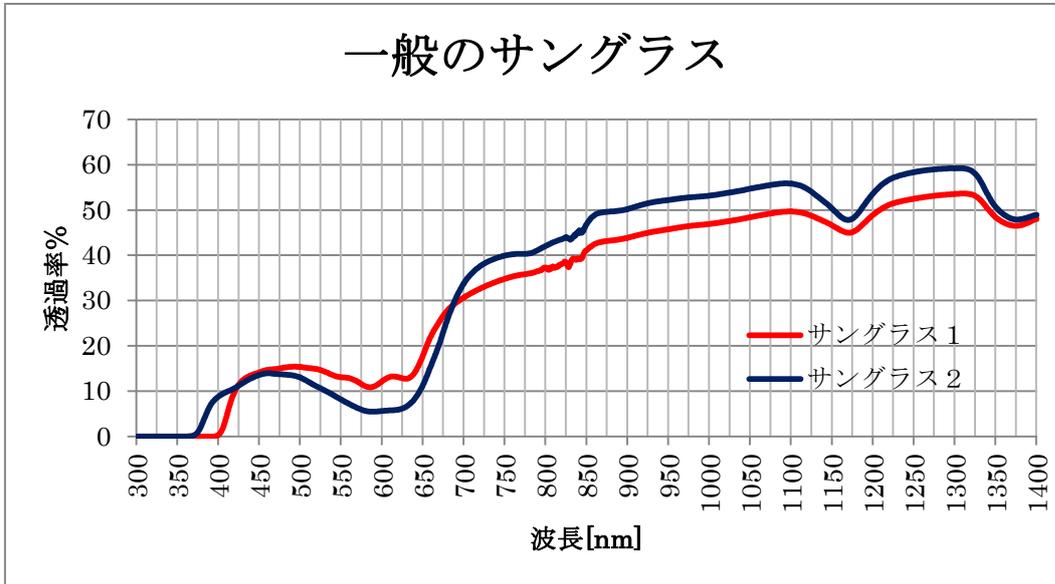
ND フィルタは、枚数を重ねるほど、測定値と計算値のずれが大きくなる傾向があった。

図「ND フィルタ3」にND10000とND100000の透過率を示す。3種類ともほぼフラットな透過率を示している。



<一般のサングラスの測定結果>

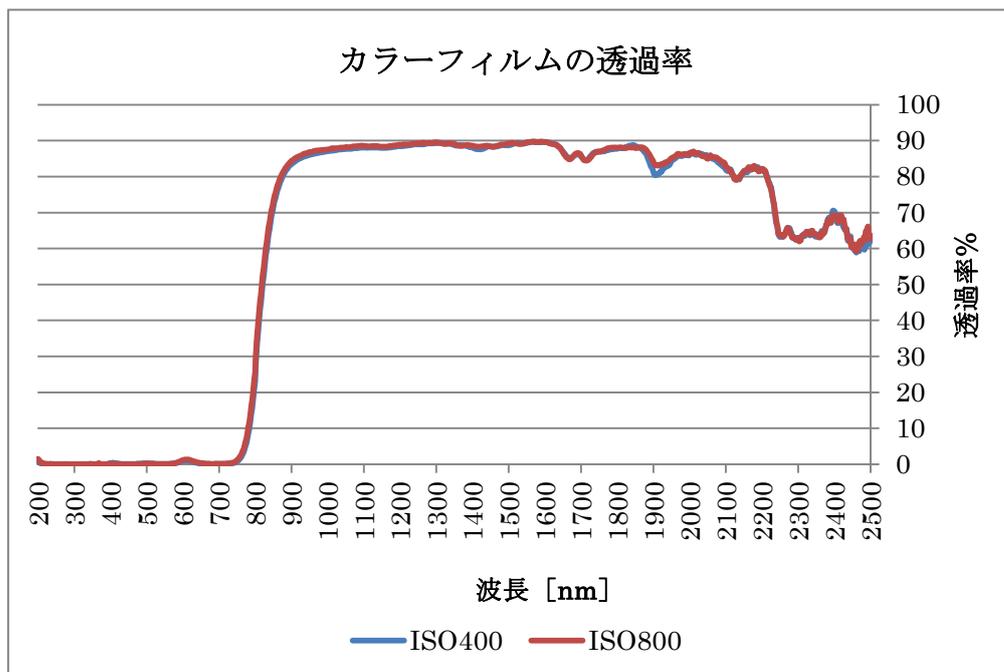
一般のサングラスの透過率を図「一般のサングラス」に示す。



2種類とも形のよく似たグラフを示し、しかも可視光、赤外とも非常に高い透過率を示し、従来から言われているように、大変危険であることがわかった。

<カラー（ネガ）フィルムの測定結果>

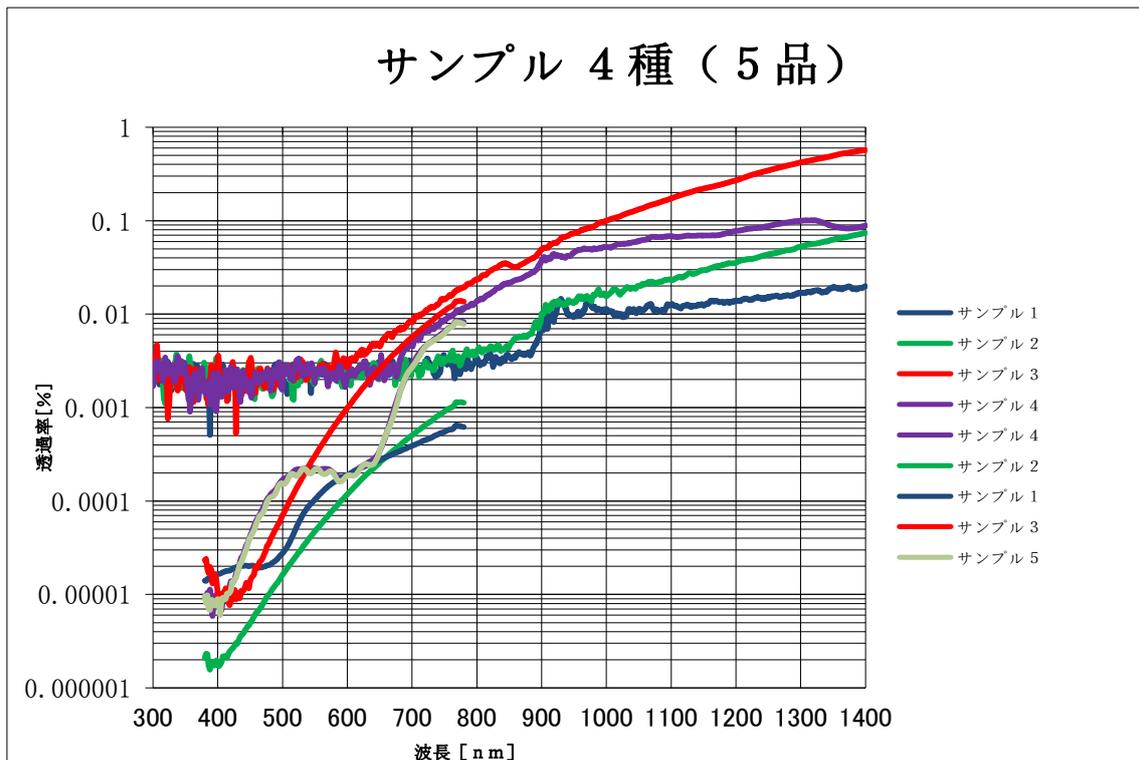
カラー（ネガ）フィルムの透過率を図「カラーフィルムの透過率」に示す。



黒く露光したカラーネガフィルムの端の部分は、可視光はほとんど通さないが、赤外線はよく通し、大変危険であることがわかった。

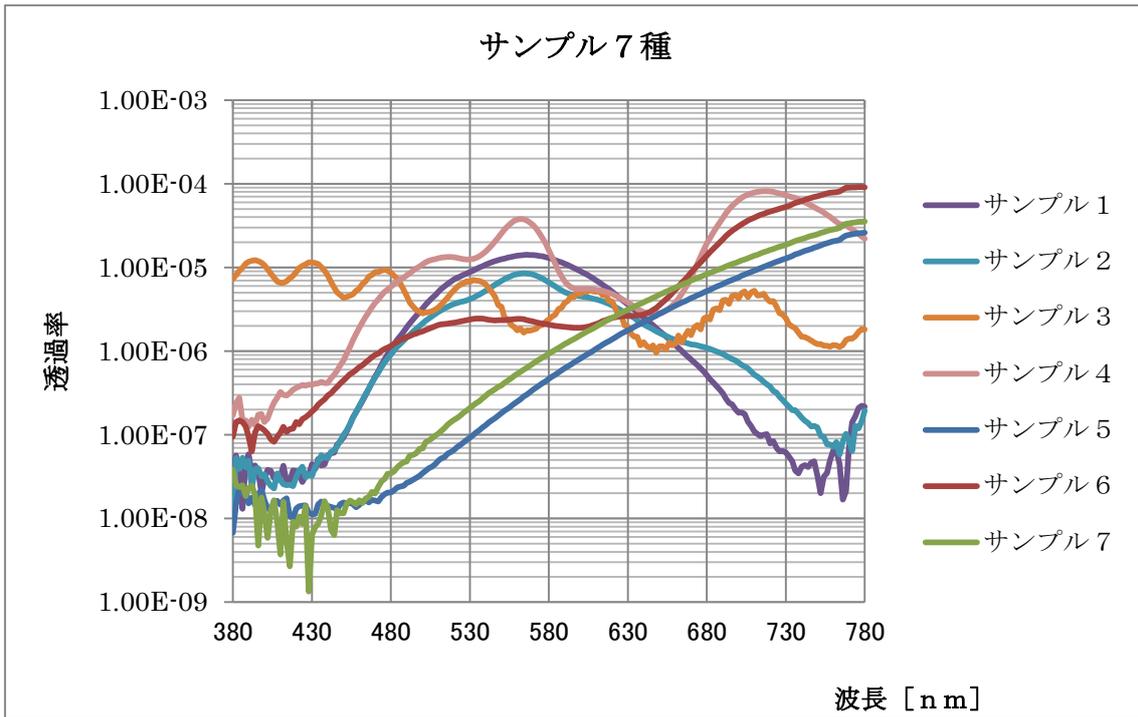
<各「日食グラス」類の測定結果>

各「日食グラス」類のサンプル1～5の透過率を図「サンプル4種（5品）」に示す。



なおサンプル4は、サンプル5と同種であるが、2年前に購入したもので、ほとんど透過率の性能は変わらなかった。(視感透過率で6%の増加が見られるが、ロットの違いや測定誤差などを考えると、劣化しているとはまでは言えない。)

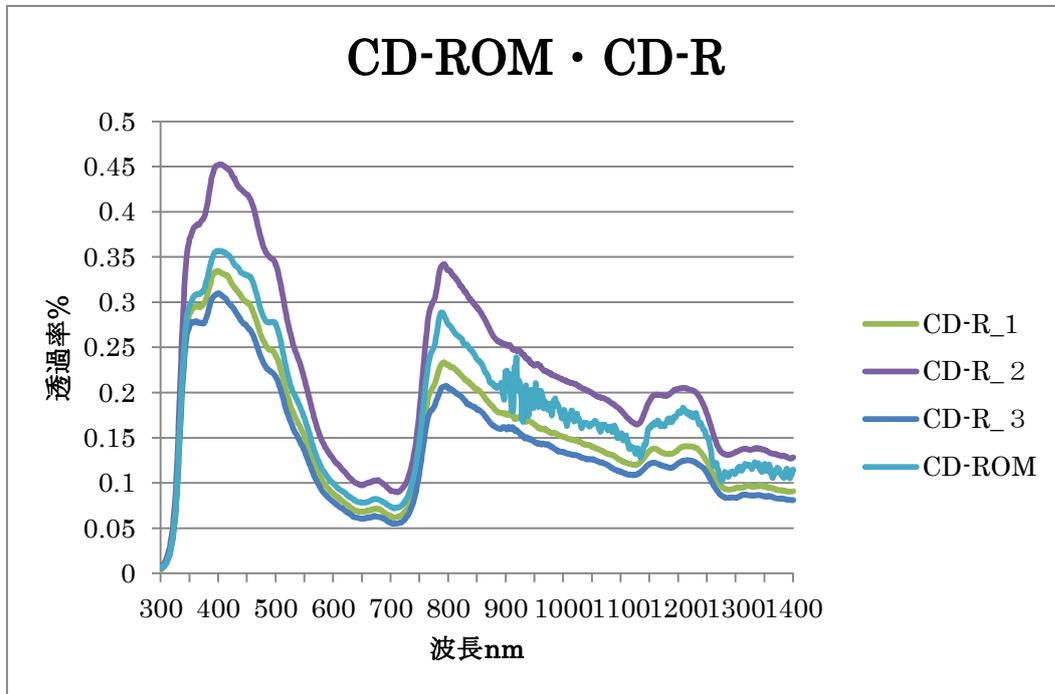
また、別なサンプル1～7の透過率を次の図「サンプル7種」に示す。



可視光の目安を 0.003%以下とすると、概ね満たしている。

<DVD 及び CD 類の測定結果>

DVD 及び CD 類の透過率を図「CD-ROM・CD-R」に示す。



個体差が大きいと考えられるサンプルだが、測定したものは、明らかに蛍光灯などの光が透けて見える。透過率が高く非常に危険である。

JIS 規格や欧州規格の可視光域については、波長ごとの透過率ではなく、視感透過率で表されている。JIS 規格の視感透過率等の求め方、標準イルミナント A・比視感度を【参考資料】に記す。

【参考資料】

JIS 規格 遮光保護具 (T8141:2003)

1) 分光光度計による方法

- 1.1) 紫外部試験 分光光度計を用いて波長 313nm 及び 365nm における透過率を測定する。
- 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

T_v : 視感透過率

$$T(\lambda) = \frac{P_{\lambda}}{Pe_{\lambda}}$$

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

- 1.3) 近赤外部試験 分光光度計を用いて波長域 780~1300nm の分光透過率を測定し、次の式によって計算する。

T_{NIR} : 近赤外透過率

$$T_{NIR} = \frac{1}{520} \int_{780nm}^{1300nm} T(\lambda) d\lambda$$

2) 標準イルミナント A ・ 比視感度

波長 λ	標準イルミナント A Pe_{λ}	標準比視感度 $V(\lambda)$
380	9.7951	3.90000E-05
381	10.0096	4.29573E-05
382	10.2273	4.69146E-05
383	10.4481	5.20455E-05
384	10.6722	5.71764E-05
385	10.8996	6.47603E-05
386	11.1302	7.23442E-05
387	11.3640	9.61721E-05

388	11.6012	1.20000E-04
389	11.8416	1.20000E-04
390	12.0853	1.20000E-04
391	12.3324	1.35746E-04
392	12.5828	1.51492E-04
393	12.8366	1.71654E-04
394	13.0938	1.91816E-04
395	13.3543	2.19361E-04
396	13.6182	2.46907E-04
397	13.8855	2.82713E-04
398	14.1563	3.18520E-04
399	14.4304	3.57260E-04
400	14.7080	3.96000E-04
401	14.9891	4.34512E-04
402	15.2736	4.73024E-04
403	15.5616	5.22621E-04
404	15.8530	5.72219E-04
405	16.1480	6.48389E-04
406	16.4464	7.24560E-04
407	16.7484	7.24560E-04
408	17.0538	7.24560E-04
409	17.3628	9.67280E-04
410	17.6753	1.21000E-03
411	17.9913	1.37038E-03
412	18.3108	1.53075E-03
413	18.6339	1.73304E-03
414	18.9605	1.93532E-03
415	19.2907	2.19506E-03
416	19.6244	2.45480E-03
417	19.9617	2.78630E-03
418	20.3026	3.11780E-03
419	20.6470	3.55890E-03
420	20.9950	4.00000E-03
421	21.3465	4.57966E-03
422	21.7016	5.15932E-03
423	22.0603	5.85274E-03

424	22.4225	6.54616E-03
425	22.7883	7.31633E-03
426	23.1577	8.08651E-03
427	23.5307	8.92709E-03
428	23.9072	9.76768E-03
429	24.2873	1.06838E-02
430	24.6709	1.16000E-02
431	25.0581	1.25914E-02
432	25.4489	1.35827E-02
433	25.8432	1.46489E-02
434	26.2411	1.57151E-02
435	26.6425	1.68612E-02
436	27.0475	1.80074E-02
437	27.4560	1.92306E-02
438	27.8681	2.04539E-02
439	28.2836	2.17270E-02
440	28.7027	2.30000E-02
441	29.1253	2.43051E-02
442	29.5515	2.56102E-02
443	29.9811	2.69807E-02
444	30.4142	2.83513E-02
445	30.8508	2.98310E-02
446	31.2909	3.13108E-02
447	31.7345	3.29160E-02
448	32.1815	3.45211E-02
449	32.6320	3.62606E-02
450	33.0859	3.80000E-02
451	33.5432	3.98840E-02
452	34.0040	4.17680E-02
453	34.4682	4.38053E-02
454	34.9358	4.58427E-02
455	35.4068	4.80432E-02
456	35.8811	5.02437E-02
457	36.3588	5.26121E-02
458	36.8399	5.49806E-02
459	37.3243	5.74903E-02

460	37.8121	6.00000E-02
461	38.3031	6.26388E-02
462	38.7975	6.52775E-02
463	39.2951	6.80943E-02
464	39.7960	7.09111E-02
465	40.3002	7.39635E-02
466	40.8076	7.70160E-02
467	41.3182	8.03414E-02
468	41.8320	8.36668E-02
469	42.3491	8.73234E-02
470	42.8693	9.09800E-02
471	43.3926	9.50129E-02
472	43.9192	9.90458E-02
473	44.4488	1.03465E-01
474	44.9816	1.07885E-01
475	45.5174	1.12708E-01
476	46.0563	1.17532E-01
477	46.5983	1.22762E-01
478	47.1433	1.27993E-01
479	47.6913	1.33506E-01
480	48.2423	1.39020E-01
481	48.7963	1.44745E-01
482	49.3533	1.50469E-01
483	49.9132	1.56594E-01
484	50.4760	1.62718E-01
485	51.0418	1.69480E-01
486	51.6104	1.76243E-01
487	52.1818	1.83758E-01
488	52.7561	1.91274E-01
489	53.3332	1.99647E-01
490	53.9132	2.08020E-01
491	54.4958	2.17377E-01
492	55.0813	2.26735E-01
493	55.6694	2.37108E-01
494	56.2603	2.47481E-01
495	56.8539	2.58833E-01

496	57.4501	2.70185E-01
497	58.0489	2.82618E-01
498	58.6504	2.95051E-01
499	59.2545	3.09025E-01
500	59.8611	3.23000E-01
501	60.4703	3.38843E-01
502	61.0820	3.54686E-01
503	61.6962	3.71987E-01
504	62.3128	3.89288E-01
505	62.9320	4.07459E-01
506	63.5535	4.25630E-01
507	64.1775	4.44512E-01
508	64.8038	4.63394E-01
509	65.4325	4.83197E-01
510	66.0635	5.03000E-01
511	66.6968	5.23756E-01
512	67.3324	5.44512E-01
513	67.9702	5.65739E-01
514	68.6102	5.86965E-01
515	69.2525	6.08155E-01
516	69.8969	6.29346E-01
517	70.5435	6.50110E-01
518	71.1922	6.70875E-01
519	71.8430	6.90438E-01
520	72.4959	7.10000E-01
521	73.1508	7.27732E-01
522	73.8077	7.45464E-01
523	74.4666	7.61650E-01
524	75.1275	7.77837E-01
525	75.7903	7.92974E-01
526	76.4551	8.08110E-01
527	77.1217	8.22209E-01
528	77.7902	8.36307E-01
529	78.4605	8.49153E-01
530	79.1326	8.62000E-01
531	79.8065	8.73481E-01

532	80.4821	8.84962E-01
533	81.1595	8.95203E-01
534	81.8386	9.05443E-01
535	82.5193	9.14589E-01
536	83.2017	9.23734E-01
537	83.8856	9.31828E-01
538	84.5712	9.39923E-01
539	85.2584	9.46961E-01
540	85.9470	9.54000E-01
541	86.6372	9.60004E-01
542	87.3288	9.66007E-01
543	88.0219	9.71015E-01
544	88.7165	9.76023E-01
545	89.4124	9.80057E-01
546	90.1097	9.84092E-01
547	90.8083	9.87203E-01
548	91.5082	9.90313E-01
549	92.2095	9.92631E-01
550	92.9120	9.94950E-01
551	93.6157	9.96524E-01
552	94.3206	9.98098E-01
553	95.0267	9.98923E-01
554	95.7339	9.99748E-01
555	96.4423	9.99802E-01
556	97.1518	9.99857E-01
557	97.8623	9.99091E-01
558	98.5739	9.98326E-01
559	99.2864	9.96663E-01
560	100.0000	9.95000E-01
561	100.7150	9.92371E-01
562	101.4300	9.89743E-01
563	102.1460	9.86233E-01
564	102.8640	9.82724E-01
565	103.5820	9.78404E-01
566	104.3010	9.74084E-01
567	105.0200	9.68970E-01

568	105.7410	9.63857E-01
569	106.4620	9.57928E-01
570	107.1840	9.52000E-01
571	107.9060	9.45250E-01
572	108.6300	9.38499E-01
573	109.3540	9.30978E-01
574	110.0780	9.23458E-01
575	110.8030	9.15232E-01
576	111.5290	9.07006E-01
577	112.2550	8.98106E-01
578	112.9820	8.89205E-01
579	113.7090	8.79602E-01
580	114.4360	8.70000E-01
581	115.1640	8.59696E-01
582	115.8930	8.49392E-01
583	116.6220	8.38487E-01
584	117.3510	8.27581E-01
585	118.0800	8.16188E-01
586	118.8100	8.04795E-01
587	119.5400	7.92993E-01
588	120.2700	7.81192E-01
589	121.0010	7.69096E-01
590	121.7310	7.57000E-01
591	122.4620	7.44711E-01
592	123.1930	7.32422E-01
593	123.9240	7.19959E-01
594	124.6550	7.07497E-01
595	125.3860	6.94858E-01
596	126.1180	6.82219E-01
597	126.8490	6.69447E-01
598	127.5800	6.56674E-01
599	128.3120	6.43837E-01
600	129.0430	6.31000E-01
601	129.7740	6.18157E-01
602	130.5050	6.05314E-01
603	131.2360	5.92476E-01

604	131.9660	5.79638E-01
605	132.6970	5.66800E-01
606	133.4270	5.53961E-01
607	134.1570	5.41157E-01
608	134.8870	5.28353E-01
609	135.6170	5.15676E-01
610	136.3460	5.03000E-01
611	137.0750	4.90515E-01
612	137.8040	4.78030E-01
613	138.5320	4.65717E-01
614	139.2600	4.53403E-01
615	139.9880	4.41242E-01
616	140.7150	4.29080E-01
617	141.4410	4.17056E-01
618	142.1670	4.05032E-01
619	142.8930	3.93016E-01
620	143.6180	3.81000E-01
621	144.3430	3.68914E-01
622	145.0670	3.56827E-01
623	145.7900	3.44822E-01
624	146.5130	3.32818E-01
625	147.2350	3.21078E-01
626	147.9570	3.09338E-01
627	148.6780	2.97966E-01
628	149.3980	2.86594E-01
629	150.1170	2.75797E-01
630	150.8360	2.65000E-01
631	151.5540	2.54945E-01
632	152.2710	2.44890E-01
633	152.9880	2.35471E-01
634	153.7040	2.26053E-01
635	154.4180	2.17107E-01
636	155.1320	2.08162E-01
637	155.8450	1.99658E-01
638	156.5580	1.91155E-01
639	157.2690	1.83078E-01

640	157.9790	1.75000E-01
641	158.6890	1.67323E-01
642	159.3970	1.59646E-01
643	160.1040	1.52386E-01
644	160.8110	1.45126E-01
645	161.5160	1.38313E-01
646	162.2210	1.31500E-01
647	162.9240	1.25140E-01
648	163.6260	1.18779E-01
649	164.3270	1.12890E-01
650	165.0280	1.07000E-01
651	165.7260	1.01594E-01
652	166.4240	9.61886E-02
653	167.1210	9.12267E-02
654	167.8160	8.62649E-02
655	168.5100	8.16927E-02
656	169.2030	7.71206E-02
657	169.8950	7.29154E-02
658	170.5860	6.87101E-02
659	171.2750	6.48550E-02
660	171.9630	6.10000E-02
661	172.6500	5.74775E-02
662	173.3350	5.39550E-02
663	174.0190	5.07523E-02
664	174.7020	4.75497E-02
665	175.3830	4.46542E-02
666	176.0630	4.17587E-02
667	176.7410	3.91613E-02
668	177.4190	3.65638E-02
669	178.0940	3.42819E-02
670	178.7690	3.20000E-02
671	179.4410	3.00383E-02
672	180.1130	2.80766E-02
673	180.7830	2.63923E-02
674	181.4510	2.47081E-02
675	182.1180	2.32544E-02

676	182.7830	2.18008E-02
677	183.4470	2.05409E-02
678	184.1090	1.92811E-02
679	184.7700	1.81405E-02
680	185.4290	1.70000E-02
681	186.0870	1.59186E-02
682	186.7430	1.48372E-02
683	187.3970	1.38360E-02
684	188.0500	1.28348E-02
685	188.7010	1.19515E-02
686	189.3500	1.10683E-02
687	189.9980	1.03008E-02
688	190.6440	9.53331E-03
689	191.2880	8.87166E-03
690	191.9310	8.21000E-03
691	192.5720	7.64771E-03
692	193.2110	7.08542E-03
693	193.8490	6.61195E-03
694	194.4840	6.13849E-03
695	195.1180	5.74077E-03
696	195.7500	5.34306E-03
697	196.3810	5.00973E-03
698	197.0090	4.67640E-03
699	197.6360	4.38920E-03
700	198.2610	4.10200E-03
701	198.8840	3.84555E-03
702	199.5060	3.58910E-03
703	200.1250	3.36160E-03
704	200.7430	3.13409E-03
705	201.3590	2.93612E-03
706	201.9720	2.73814E-03
707	202.5840	2.56569E-03
708	203.1950	2.39324E-03
709	203.8030	2.24212E-03
710	204.4090	2.09100E-03
711	205.0130	1.95779E-03

712	205.6160	1.82458E-03
713	206.2160	1.70738E-03
714	206.8150	1.59019E-03
715	207.4110	1.48734E-03
716	208.0060	1.38450E-03
717	208.5990	1.29429E-03
718	209.1890	1.20409E-03
719	209.7780	1.12555E-03
720	210.3650	1.04700E-03
721	210.9490	9.79054E-04
722	211.5320	9.11109E-04
723	212.1120	8.52174E-04
724	212.6910	7.93238E-04
725	213.2680	7.41661E-04
726	213.8420	6.90083E-04
727	214.4150	6.44789E-04
728	214.9850	5.99496E-04
729	215.5530	5.59748E-04
730	216.1200	5.20000E-04
731	216.6840	4.85026E-04
732	217.2460	4.50053E-04
733	217.8060	4.19386E-04
734	218.3640	3.88718E-04
735	218.9200	3.62051E-04
736	219.4730	3.35384E-04
737	220.0250	3.12275E-04
738	220.5740	2.89166E-04
739	221.1220	2.69183E-04
740	221.6670	2.49200E-04
741	222.2100	2.31943E-04
742	222.7510	2.14686E-04
743	223.2900	1.99867E-04
744	223.8260	1.85048E-04
745	224.3610	1.72413E-04
746	224.8930	1.59778E-04
747	225.4230	1.49040E-04

748	225.9510	1.38302E-04
749	226.4770	1.29151E-04
750	227.0000	1.20000E-04
751	227.5220	1.12161E-04
752	228.0410	1.04322E-04
753	228.5580	9.75841E-05
754	229.0730	9.08459E-05
755	229.5850	8.49963E-05
756	230.0960	7.91467E-05
757	230.6040	7.40313E-05
758	231.1100	6.89160E-05
759	231.6140	6.44580E-05
760	232.1150	6.00000E-05
761	232.6150	5.61128E-05
762	233.1120	5.22256E-05
763	233.6060	4.88365E-05
764	234.0990	4.54475E-05
765	234.5890	4.25043E-05
766	235.0780	3.95610E-05
767	235.5640	3.70049E-05
768	236.0470	3.44487E-05
769	236.5290	3.22243E-05
770	237.0080	3.00000E-05
771	237.4850	2.80568E-05
772	237.9590	2.61136E-05
773	238.4320	2.44191E-05
774	238.9020	2.27246E-05
775	239.3700	2.12516E-05
776	239.8360	1.97786E-05
777	240.2990	1.84977E-05
778	240.7600	1.72169E-05
779	241.2190	1.61034E-05
780	241.6750	1.49900E-05