

# 促進耐候(光)性試験の歴史と発展(4)

前号より続く

須賀 茂雄  
木村 哲也

## 1. 太陽エネルギー(3)

前号まで、規格を中心に、太陽の分光放射照度・減衰の要素等について記述した。

当社は促進耐候試験機のメーカーとして、東京・新宿の本社屋上で太陽の放射照度を1967年以来連続して測定し、その結果を紫外部・可視部・赤外部の3波長域別に月別の結果としてテクニカルニュースにまとめている。又、太陽の分光放射照度の測定も行っているが、実際の太陽の

分光放射照度は規格と比較してどうなっているのだろうか。表10は晴れた日の太陽について、2005年4月15日に南中時刻近くの、①太陽直射方向での直達光+拡散光、②南面35°方向の直達光+拡散光、③水平面(0°)方向の太陽の分光放射照度を測定した結果である。

その日の太陽の南中時刻は11時41分、その時の太陽高度は64.1°である。各測定時刻は若干異なるが、受光器の向きを変えて測定し、400nmまでは10nm毎の波長域、2500nmまでは100nm毎の波長域の放射照度を表にまとめた。図10に各条件で測定した分光放射照度分布を示す。

表10. 晴天時の屋外太陽の分光放射照度

測定場所 スガ試験機(株) 本社屋上(北緯35°42' 東経135°41')  
測定日 2005.4.15 天候: 晴れ

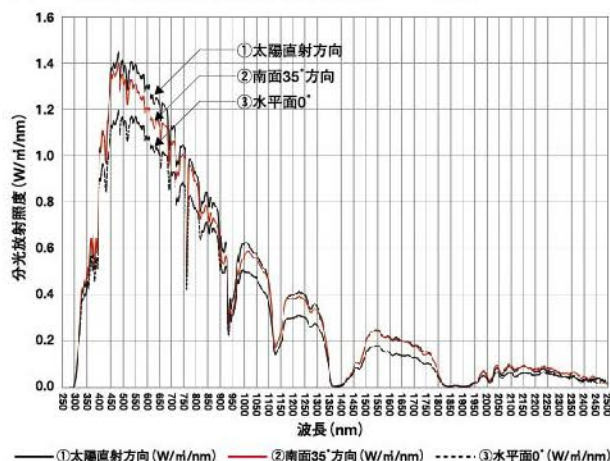
測定条件	①太陽直射(直達+拡散)	②南面35°(直達+拡散)	③水平面(直達+拡散)
測定時刻	11時43分	11時39分	11時36分
太陽高度(°)	64.1	64.1	64.1
太陽方位(°)	西1.1	東1.2	東2.9

波長 (nm)	①太陽直射 (W/m <sup>2</sup> /10nm)	①太陽直射 (W/m <sup>2</sup> /100nm)	②南面35° (W/m <sup>2</sup> /10nm)	②南面35° (W/m <sup>2</sup> /100nm)	③水平面0° (W/m <sup>2</sup> /10nm)	③水平面0° (W/m <sup>2</sup> /100nm)
~280	0.0000		0.0000		0.0000	
~290	0.0002		0.0000		0.0000	
~300	0.0252	0.0254	0.0236	0.0236	0.0214	0.0214
~310	0.4622		0.4780		0.4296	
~320	1.7268		1.7927		1.6032	
~330	3.2217		3.3278		2.9654	
~340	4.1460		4.2776		3.7943	
~350	4.4363		4.5576		4.0289	
~360	4.8311		4.9559		4.3681	
~370	5.7003		5.8477		5.1347	
~380	6.0207		6.1552		5.3947	
~390	5.6582		5.7596		5.0304	
~400	6.6985	42.9018	6.7685	43.9206	5.8931	38.6424
~500		124.6654		122.7332		104.7461
~600		135.1952		127.1606		112.7027
~700		121.0050		112.3061		100.2258
~800		97.0704		93.0066		81.0978
~900		80.1782		74.5764		67.9292
~1000		51.3772		45.9602		42.5536
~1100		56.1762		53.9569		45.4040
~1200		30.9457		30.4226		24.2798
~1300		38.1301		36.1897		28.9026
~1400		12.9622		12.7262		10.4398
~1500		7.8533		7.9200		6.3397
~1600		23.0015		22.6972		16.5477
~1700		20.0713		19.6328		13.8456
~1800		14.4482		13.8481		9.8695
~1900		0.9618		1.1898		1.0510
~2000		2.6424		3.0210		2.3270
~2100		6.2211		7.1406		4.7595
~2200		8.0689		8.3859		5.6292
~2300		6.9808		7.9320		5.6983
~2400		4.1249		5.6425		3.9308
~2500		2.6653		3.4108		3.1138
300~400		42.9018		43.9206		38.6424
400~700		380.8655		362.1999		317.6747
700~2500		463.8794		447.6596		373.7188
300~2500		887.6467		853.7802		730.0359

紫外部・可視部・赤外部の比率(%)

300~400	4.83	5.14	5.29
400~700	42.91	42.42	43.51
700~2500	52.26	52.43	51.19

図10. 太陽の分光放射照度 測定角度による比較



表・図からも分かるように、

- (1) ③水平面の放射照度は、①太陽の直射方向、②南面35°の放射照度と比較して、全体として15%から18%低い。
- (2) 300~400nmの紫外部の全体に対する比は、②南面35°③水平面と比較して、①太陽直射方向の比は低い。

これらのことから、太陽からの直射光と天空からの拡散光はその分光放射照度分布が異なっていることが分かる。地球の地軸が23.5°太陽に対して傾いているため、見かけ上太陽は北緯23.5°から南緯23.5°の間を1年かけて移動する。四季により太陽の高度は変化するのはこのためで、地域により日射量の変化があり、日本の場合、夏場は冬場より太陽の高度が高く、水平面では日射量が大きく、そのため暑く感じるとともに、太陽の持つ紫外線により日焼けしやすくなる。

前号の規格とスガ試験機(株)での実測の紫外部・可視部・赤外部毎の放射照度、その比率を表11にまとめた。

図11にその分光放射照度分布を示す。実測値はASTM G 173-03 Direct+Circumsolarの規格に極めて近い値になっているが、全波長域に対する紫外部の比率は高めになっている。

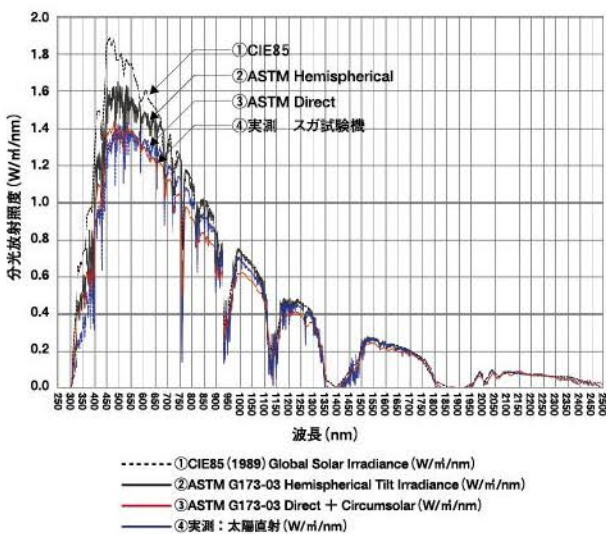
表11. 規格と実測の波長別の放射照度とその比率 \*1)\*2)

Wavelength (nm)	①CIE85 Global Solar Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	②ASTM G173-03 Hemispherical Tilt Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	③ASTM G173-03 Direct + Circumsolar (W/m <sup>2</sup> )	④実測 太陽直射 (W/m <sup>2</sup> )	⑤南面35° (W/m <sup>2</sup> )	⑥水平面0° (W/m <sup>2</sup> )
300~400	74.56	46.10	30.52	42.90	43.92	38.64
400~700	485.73	429.82	374.82	380.87	362.20	317.67
700~2500	530.11	517.25	487.55	463.88	447.66	373.72
300~2500	1090.40	993.17	892.89	887.65	853.78	730.04

紫外部・可視部・赤外部の比率(%)

300~400	6.8	4.6	3.4	4.8	5.1	5.3
400~700	44.5	43.3	42.0	42.9	42.4	43.5
700~2500	48.6	52.1	54.6	52.3	52.4	51.2
300~2500	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

図11. 太陽の分光放射照度の実測と規格値の比較 \*1)\*2)



当然のことながら、①CIEと②ASTM Hemispherical Tilt irradianceの規格に対して、④実測値は低めになっている。今回の測定点が、緯度約35°の東京・新宿のような都心で測定した結果が影響していると思われる。

天気は常に一樣ではなく、晴れの日もあれば、曇りの日もある。晴れの日と曇りの日の比較を表12・図12に示す。太陽の分光放射照度分布は雲の状態、太陽の高度・方向により異なるがこの曇りの日の放射照度は、ほぼ同時期の晴れた日に比べ、南面45°の測定結果を比較すると、放射照度は少なく、晴れの日比の11.3%、2500nmまでの全体では7.0%となっている。晴れの日比に比べ、曇りの日は、紫外部の比率が高く、赤外部の比率が小さくなっており、大気中の水の影響で赤外部のエネルギーが吸収されているためと思う。

表12. 晴天日・曇天日の太陽の分光放射照度測定比較結果

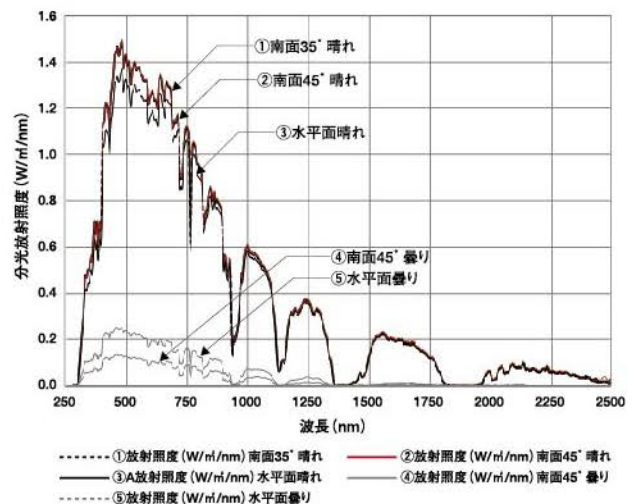
測定場所 スガ試験機(株) 本社屋上(北緯35°42' 東経135°41')

測定日	2004年7月2日			2004年7月5日	
天候	晴れ			曇り	
周囲温度・湿度	31°C 39%rh			27°C 78%rh	
南中時刻	11:45			11:45	
南中太陽高度	77.4°			77.5°	
測定時刻	11時43分	11時51分	11時55分	11時28分	11時34分
太陽高度	77.0°	77.3°	77.1°	76.5°	76.8°
太陽方位	東13.5°	東2.2°	西6.2°	東17.6°	東11.8°
波長 (nm)	①放射照度 (W/m <sup>2</sup> ) 南面35°	②放射照度 (W/m <sup>2</sup> ) 南面45°	③放射照度 (W/m <sup>2</sup> ) 水平面	④放射照度 (W/m <sup>2</sup> ) 南面45°	⑤放射照度 (W/m <sup>2</sup> ) 水平面
300~400	49.25	49.07	43.83	5.55	10.21
400~700	392.14	393.28	363.80	34.25	62.67
700~2500	420.91	428.11	404.92	21.28	41.65
300~2500	862.30	870.46	812.55	61.08	114.53

紫外部・可視部・赤外部の比率(%)

300~400	5.7	5.6	5.4	9.1	8.9
400~700	45.5	45.2	44.8	56.1	54.7
700~2500	48.8	49.2	49.8	34.8	36.4

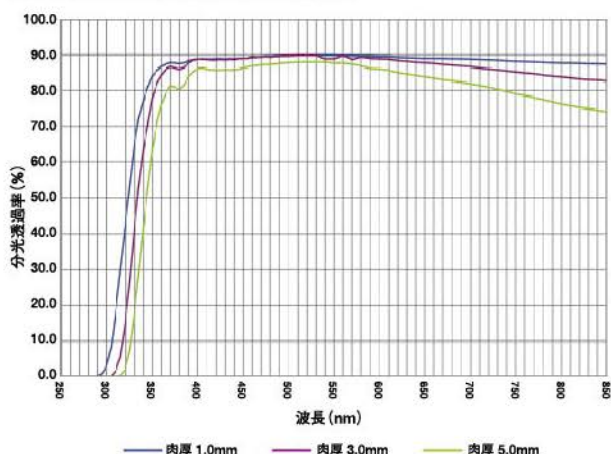
図12. 晴天日・曇天日の太陽の分光放射照度比較





太陽の分光放射照度について屋外の太陽の分光放射照度と同様に、屋内の太陽の分光放射照度分布も重要である。屋外における太陽の分光放射照度と窓越しの屋内における太陽の分光放射照度は異なる。一般に使用される窓ガラスの分光透過率を図13に示す。板厚により分光透過率は異なるが、短波長側の波長が遮断され、特に皮膚の紅班を起こすUV-B (280~315nm) の波長域より短い波長の光 (315nm) が遮断される。屋内で使用される製品・材料の光劣化を考える上でも、屋内の太陽の分光放射照度もきわめて重要である。

図13. 窓ガラスの分光透過率(実測)



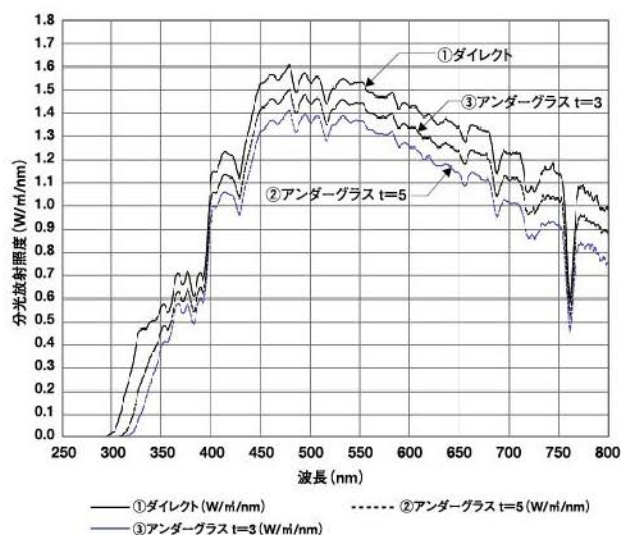
屋内と屋外の分光放射照度の比較を行うため、太陽の分光放射照度測定を、通常の窓ガラス(ソーダ板ガラス)を受光器の直前に入れない場合(屋外に相当)と入れた場合(屋内に相当、窓ガラスの厚み:5mm, 3mm)について測定した。その結果を表13・図14に示す。図から分かるように、紫外部の立ち上がり波長がかなり長波長側に移動している。又、ガラスの厚みが厚くなれば、さらに長波長側に移動する。色つきの硝子であれば、硝子の透過率により、遮断される光の分光放射照度は変化する。室内に入射する太陽からのエネルギーは、用いているガラスにより変化するの、ガラスを選択する時は、その分光透過率が極めて重要である。最近の自動車の窓ガラスはいろいろ用いられているが、窓ガラスを閉めている時は窓ガラスにより遮断されている光も、窓を開けている時には中まで入り込むということに注意しておくべき。

表13. ダイレクトと窓ガラス越しの太陽の分光放射照度

測定条件：スガ試験機(株)屋上に分光放射照度測定器を設置  
南面45度方向に固定して測定(直射光+拡散光)  
測定日：1993年4月26日 天候：晴れ  
太陽南中時刻・高度：11:39 67.8°

測定条件	①ダイレクト AM11:32	②アンダーグラス(t=5) AM11:25	③アンダーグラス(t=3) AM11:29			
太陽高度	67.8°	67.6°	67.7°			
太陽方位	175.6°	171.1°	173.7°			
波長 (nm)	①ダイレクト (W/m <sup>2</sup> /10nm)	①ダイレクト (W/m <sup>2</sup> /10nm)	②アンダー グラス(t=5) (W/m <sup>2</sup> /10nm)	③アンダー グラス(t=3) (W/m <sup>2</sup> /10nm)	④アンダー グラス(t=3) (W/m <sup>2</sup> /10nm)	
~280	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
~290	0.00003		0.00000		0.00000	
~300	0.07317	0.07320	0.00000	0.00000	0.00000	
~310	0.55337		0.00323		0.01948	
~320	2.04126		0.08741		0.33355	
~330	3.92448		0.55469		1.56817	
~340	4.79508		1.72193		2.96738	
~350	5.19400		3.08585		3.99462	
~360	5.60197		4.15561		4.75942	
~370	6.67837		5.40577		5.90653	
~380	6.87198		5.53661		6.11549	
~390	6.57417		5.40102		5.90614	
~400	8.16683	50.40152	7.02050	32.97261	7.46244	39.03323
~500		140.28175		122.11576		130.40528
~600		149.66446		133.24802		140.70218
~700		132.97408		113.59710		122.73871
~800		106.38310		84.95929		95.71749
400~700		422.92029		368.96088		393.84616
280~800		579.77810		486.89278		528.59688
紫外部の 可視部に対する割合(%)		0.119		0.089		0.099

図14. 太陽の分光放射照度分布 (ダイレクトとアンダーグラスの比較)



それでは、太陽の光が部屋の中にどれくらい入り込むのであろうか。

家の内部の明るさについて、外部からの光をいかに利用するかという点で、照明器具を含めて重要である。

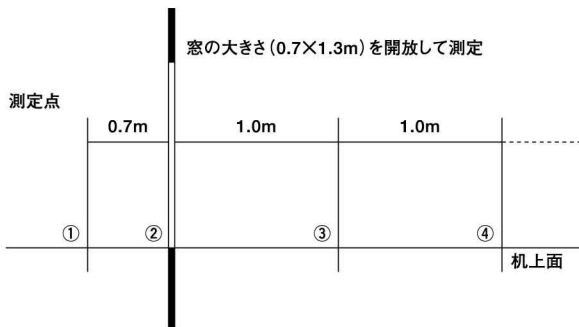
季節、時間、天候により違いはあるが、窓に近い場所ほど太陽の光の影響が大きい。

一例として、窓を開けたままで窓からの太陽光の紫外部・可視部・赤外部の放射照度の測定結果を、表14-1,2図15-1,2に示す。窓の大きさにもよるが、水平方向・垂直方向で異なっている。測定結果では窓から2m入ると屋外からの影響は少なくなるという結果であった。

太陽の分光放射照度を測定することは重要であるが、時々

表14. 室内の太陽照度の測定結果

測定機器：スガ試験機(株)製積算照度計 PH-11-U、V、IT  
 波長範囲：紫外部 300～400nm  
 可視部 400～700nm  
 赤外部 700～1200nm  
 測定日：昭和56年7月9日 11時15分～12時10分まで2分間隔で測定  
 測定条件：机上面において、水平および垂直方向  
 窓の方向に向けて、測定(測定点①～④の4ヶ所)



1. 水平面の放射照度(単位:W/m<sup>2</sup>)

測定波長域	窓からの距離(m)			
	-0.7	0.0	1.0	2.0
紫外部	46.1	8.8	1.0	0.0
可視部	365.9	51.3	6.8	0.0
赤外部	271.6	28.8	4.1	0.0
合計	683.6	88.9	11.9	0.0

注：室内2.0mの点は2分間では放射照度が小さくて計測できなかった。

2. 垂直面の放射照度(単位:W/m<sup>2</sup>)

測定波長域	窓からの距離(m)			
	-0.7	0.0	1.0	2.0
紫外部	16.7	9.8	3.9	0.9
可視部	109.4	61.6	23.9	6.8
赤外部	70.0	37.0	12.3	4.1
合計	196.1	108.4	40.1	11.8

刻々そのエネルギーは変化しており、全体量として考える場合は、波長域別の放射照度にまとめて比較した方が物質の劣化を考えやすい。

今回は耐候試験に関係のある世界の気候・日本の気候を含め、太陽の放射照度を波長別に測定する放射照度計の測定結果を元に1日毎の日射量、年間の日射量についてまとめてみようと思う。

図15-1. 窓越しの室内の太陽の放射照度(水平面)

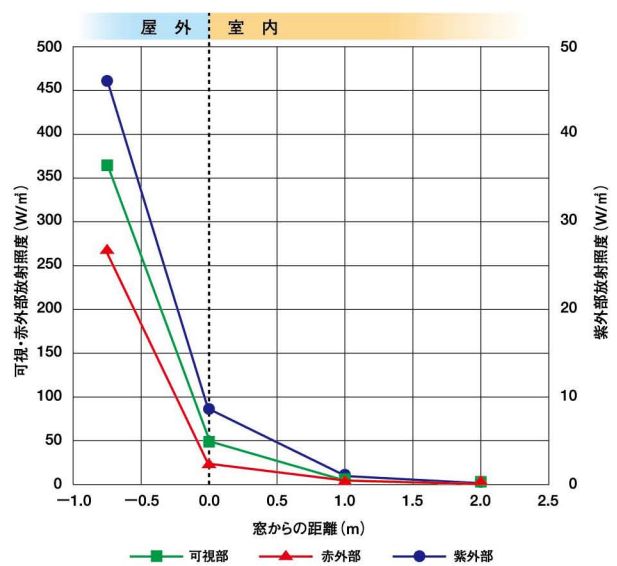
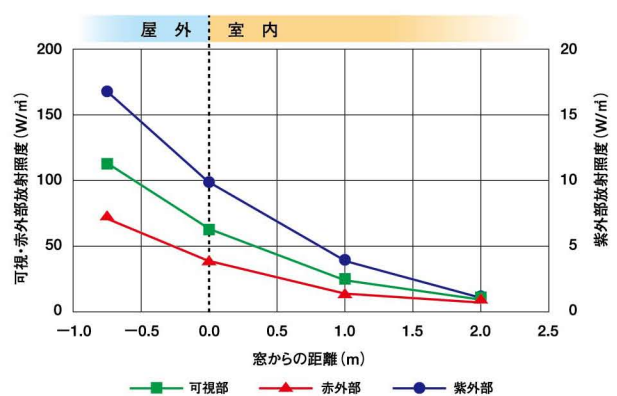


図15-2. 窓越しの室内の太陽の放射照度(垂直面)



【参考文献】

- \*1) TECHNICAL REPORT SOLAR SPECTRAL IRRADIANCE  
Publ No CIE 85 1st Edition 1989
- \*2) ASTM G 173-03 Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiance : Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface