

# 促進耐候(光)性試験の歴史と発展(2)

須賀 茂雄  
木村 哲也

## 1. 太陽エネルギー(2-1)

太陽エネルギー(Solar energy)は太陽から太陽光として地球に到達するエネルギーを指す。

地球上の大気や水の流れや温度に影響し、多くの再生可能エネルギーや生物の生命活動の源になっている。また、古くから照明や暖房、農業などに利用されてきた。

太陽は黒体と考えられる。黒体とはJIS Z 8120光学用語では、「波長、入射方向、偏光のいずれにもかかわりなく、入射するあらゆる放射を完全に吸収する理想的な熱放射体」と定義している。

黒体とは定義にもあるように外部からのあらゆる光を吸収する放射体で、放射していない状態では表面は全て光を吸収するために黒く見える。身近な例ではタングステンランプがその一例である。タングステンランプは発光していない時は目にはフィラメントは「黒」に見え全ての入射光を吸収するが、電気を流し、高温で放射した時にはその光は赤い色に見える。太陽も同様に全ての光を吸収するが、太陽内部で水素の核融合によりヘリウムを生成しているため、その巨大なエネルギーを放出し、放射密度は $6.24 \times 10^7 \text{W/m}^2$  120~10,000nmに渡る広い放射エネルギーを放射している。黒体はプランクの放射則により、分光放射輝度を波長及び温度の関数として求めることができる。プランクの放射則は下記の式で与えられる。

$$L_{e,\lambda}(\lambda, T) = (c_1/\pi) \lambda^{-5} [\exp(c_2/\lambda T) - 1]^{-1}$$

$L_e$  : 放射輝度

$\lambda$  : 真空の波長

$T$  : 黒体の熱力学的温度(K)

$$c_1 = 2\pi hc^2$$

$$= (3.74177107 \pm 0.00000029) \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$$

$$c_2 = hc/k$$

$$= (1.4387752 \pm 0.0000025) \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$$

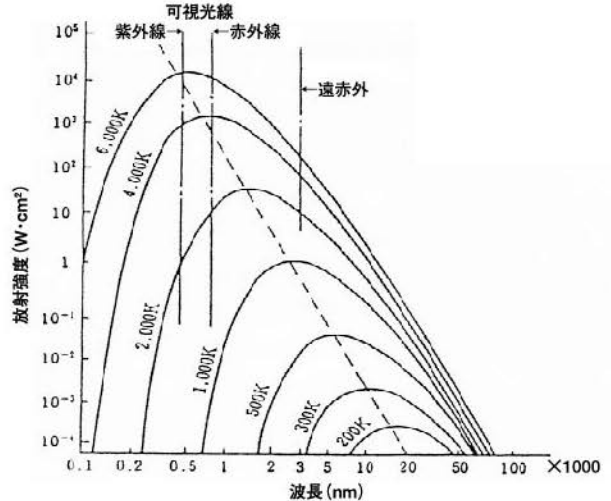
$h$  : プランク定数

$c$  : 真空中における光の速さ

$k$  : ボルツマン定数

図1に各温度における波長と分光放射輝度の関係を示す。図1から判るように温度が大きくなるほど分光放射輝度の最大強度は短波長側に移動する。温度 $T$ と放射される電磁波の最大強度の波長との間には、Wienの法則と呼ばれる関係があり、温度が増大するほど電磁波の最大強度( $\lambda_{max}$ )は短波長側に移動する。表1に温度と放射さ

図1. 黒体の各温度における波長と分光放射輝度



れる電磁波の最大強度の表を、図2にそのグラフを示す。

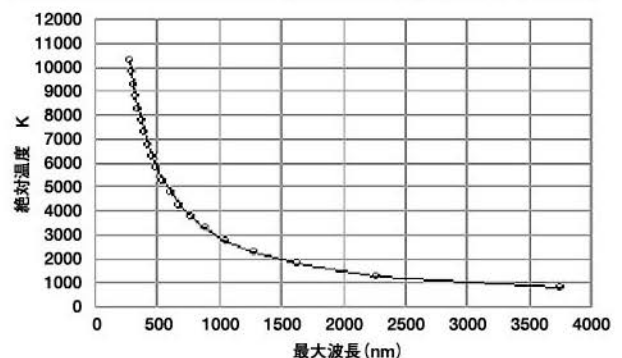
太陽の絶対温度は5,762 Kであるから、分光放射輝度の最大値は460nm付近にある。

太陽は地球の109倍の半径を持ち、表面から常時 $6.24 \times 10^7 \text{W/m}^2$ のエネルギーを常時放出している。地球上での法線面放射密度は $1.367 \pm 0.007 \text{kW/m}^2$ でこれを太陽定数と呼んでいる。(法線面照度で約143,000lx)。

表1. 黒体放射における温度 $T$ と放射される電磁波の最大強度の波長

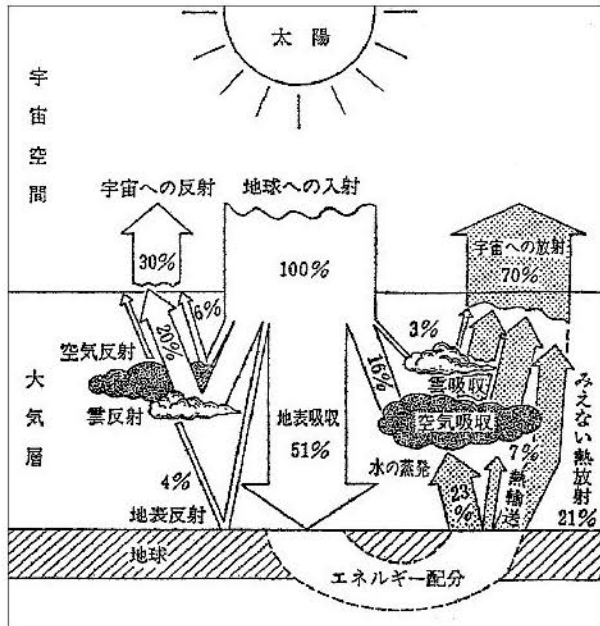
摂氏温度 (°C)	絶対温度 (K)	$\lambda_{max}$ (nm)
500	773	3752
1000	1273	2278
1500	1773	1636
2000	2273	1276
2500	2773	1046
3000	3273	886
3500	3773	769
4000	4273	679
4500	4773	608
5000	5273	550
5500	5779	502
6000	6273	462
6500	6773	428
7000	7273	399
7500	7773	373
8000	8273	351
8500	8773	331
9000	9273	313
9500	9773	297
10000	10273	282

図2. 黒体放射における温度 $T$ と放射される電磁波の最大強度の波長



惑星—地球へ入射した太陽エネルギーの30%は地球—大気系によって宇宙空間へ反射される。惑星反射率( $\rho_p$ : planetary albedo)の約70%は主として対流圏内に浮かんでいる雲に、20%は大気槽内の空気分子に、残り10%は地球表面の反射に起因している。反射による損失分を除いた70%が大気圏内に入射するが、約1/3は空気分子、エアゾル、雲などによって吸収され、地表面に到達する太陽エネルギーは最初の約半分である。太陽エネルギーに含まれる特に紫外部のエネルギーは全体量からみると少ないが、光合成などの有益な面とこの世の物質を劣化させる性質を持つ。図3に地球—大気系における太陽エネルギーの配分と循環を示す。

図3. 地球—大気系における太陽エネルギーの配分と循環



太陽の放射は電磁波の一種である光が持つエネルギーを持っている。光エネルギーは光に含まれる光子の数と光の周波数(波長)により決まる。光子の持つエネルギーはその振動数により決まり、次の式で与えられる。

$$E = h\nu = h \cdot (c/\lambda)$$

- $E$  : エネルギー
- $h$  : プランク定数  $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
- $\nu$  : 振動数
- $c$  : 光の速さ  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$
- $\lambda$  : 波長

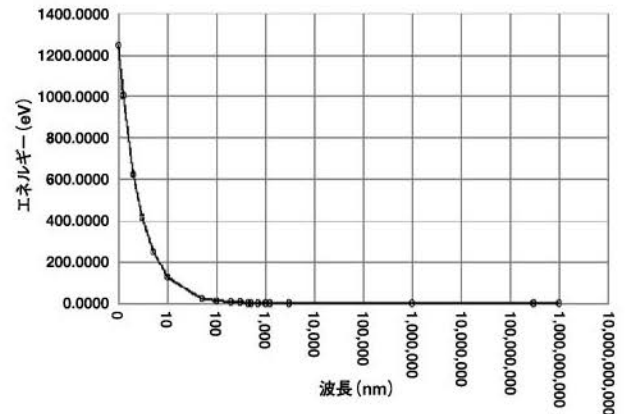
エネルギーと振動数・波長の関係を表2・図4に示す。図からも判かるように、波長が短い光ほどそのエネルギーは大きい。物質の劣化に短波長側の光の影響が大きい

表2. エネルギーと振動数・波長の関係

波長 $\lambda$ (nm)	振動数 $\nu$ (Hz)	エネルギー (eV)	備考
1000000000	3.00E+08	0.0000	1m
300000000	1.00E+09	0.0000	1GHz
1000000	3.00E+11	0.0012	
3000	1.00E+14	0.4144	
1240	2.419E+14	1.0025	
1000	3.00E+14	1.2431	1 $\mu\text{m}$
700	4.286E+14	1.7759	赤
500	6.00E+14	2.4863	緑
450	6.667E+14	2.7625	青
300	1.00E+15	4.1438	
200	1.50E+15	6.2156	
100	3.00E+15	12.4313	
50	6.00E+15	24.8625	
10	3.00E+16	124.3125	
5	6.00E+16	248.6250	
3	1.00E+17	414.3750	
2	1.50E+17	621.5625	
1.24	2.419E+17	1002.5202	
1	3.00E+17	1243.1250	

$$1\text{eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

図4. エネルギーと振動数・波長の関係



のはそのためであると考えられる。太陽の放射エネルギーは大気を通して地表に到達する。上記に記述したように太陽光は大気中を通過中に、大気分子による吸収や大気分子や微粒子による散乱を受け、減衰されて地表に到達する。

図5に地表面での太陽の分光放射照度を示す。地表面の太陽の分光放射照度分布は、オゾン、水、酸素、炭酸ガス等の吸収により、紫外部、赤外部に吸収帯を持った分光放射照度分布となる。

太陽の分光放射照度は、時々刻々変化するので、一意的に決めることは難しいが、国際照明委員会(CIE)やASTM等で規格化されている。

CIEは、CIE Publication 20 (1972)としてR.Schulzeが1951年に提出したデータが公的なものとして最初に規定している。各波長域と放射照度、全放射に対する比率

が記載されており、400nmまでの放射照度が68W/m<sup>2</sup>、3,000nmまでの放射照度が1,120W/m<sup>2</sup>とされている。続いて1989年にCIE Publication No.85 1st Edition (TC-17)として、新たな勧告を行った。大気圏外の分光放射照度を始め、いろいろな条件で規定されているが、地表での分光放射照度分布としてよく用いられているのは、Table4 Global solar spectral irradiance at sea levelの表である。この時の条件は、Relative air mass=1.0、water vapour content=1.42cm precipitable water (PW)、Ozone content=0.34cmSTP、spectral optical depth of aerosol extinction=0.1at 0.5μm、

ground reflectance=0.2で2,450nmまでの総エネルギーは1,090.40W/m<sup>2</sup>、この内400nmまでの紫外部の放射照度は74.56W/m<sup>2</sup>と記載されている。この数値が最近まで用いられていた太陽の分光放射照度である。Table 1~8まであり、大気圏外、直達光、拡散光を含む全光等の数値が上記の条件を変えて記載されている。表3にTable 4 Global solar spectral irradiance at sea levelの表を、図6にその分光放射照度分布を記す。最近の太陽の分光放射照度の規格値や太陽の分光放射照度測定時の減衰要素等については、次号で詳細について述べたいと思う。

図5. 太陽の分光放射照度

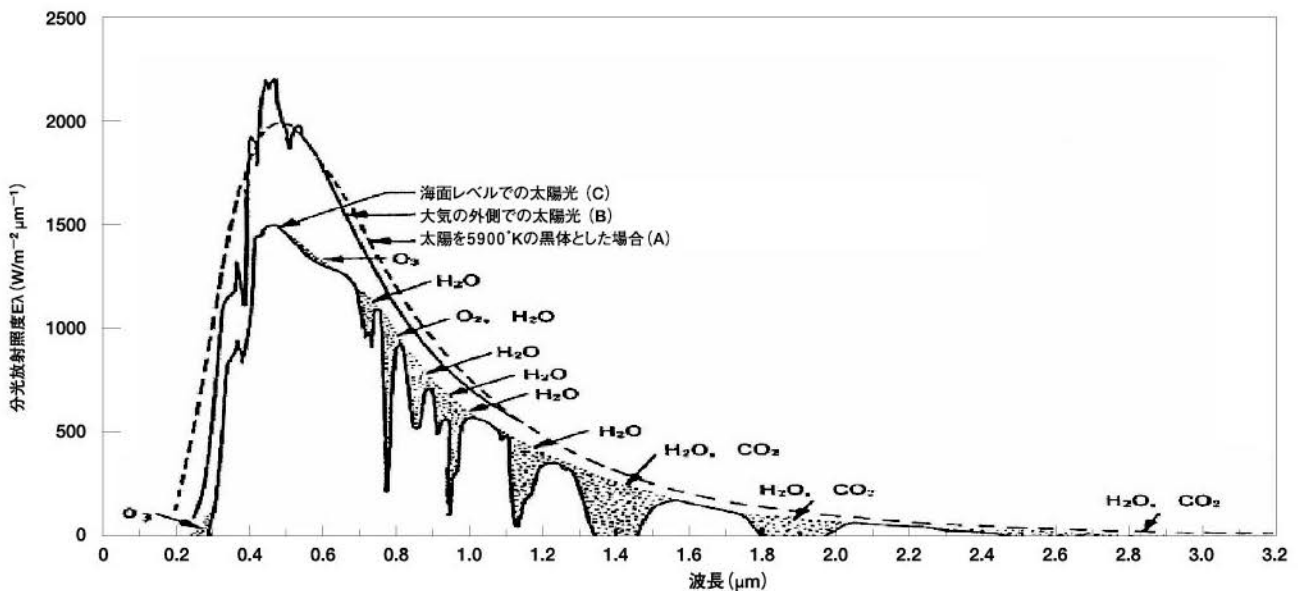


図6. CIE 85 Table4 の太陽の分光放射照度分布

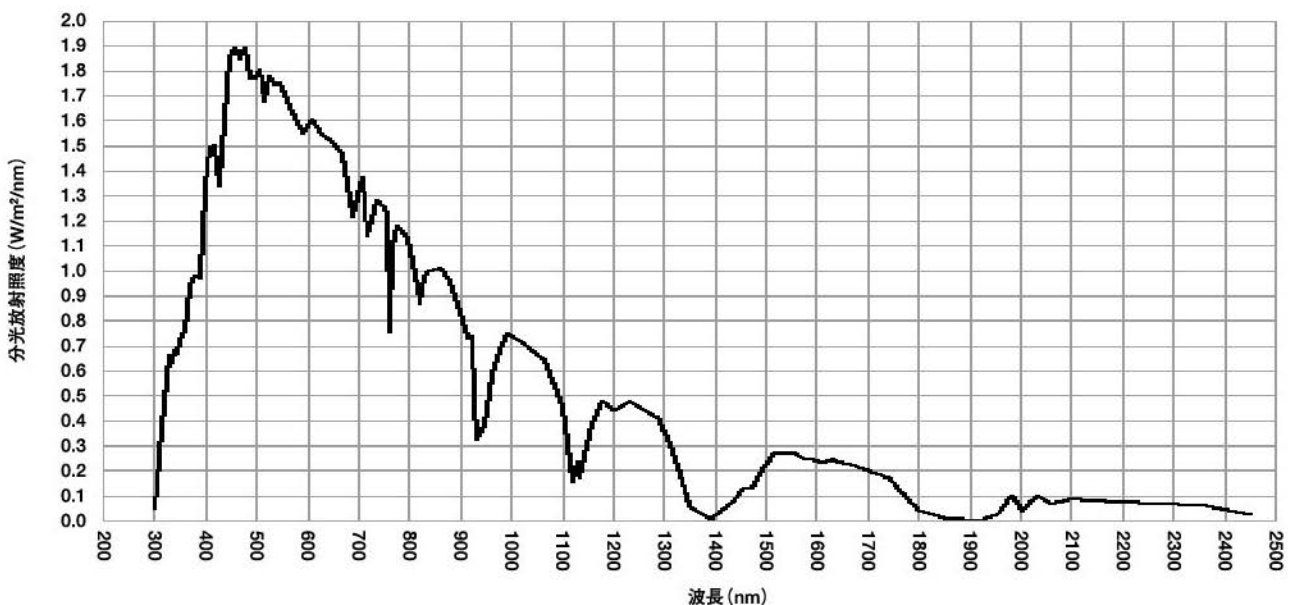


表3. CIE 85 Table4 Global solar spectral irradiance at sea level

CIE 85 の太陽光の分光放射照度

波長 (nm)	CIE85 分光放射照度 (W/m <sup>2</sup> /nm)	CIE85 波長域別放射照度 (W/m <sup>2</sup> )	波長 (nm)	CIE85 分光放射照度 (W/m <sup>2</sup> /nm)	CIE85 波長域別放射照度 (W/m <sup>2</sup> )
305.0	0.0470	0.24	880.0	0.9570	760.35
310.0	0.1325	0.90	905.0	0.7970	774.29
315.0	0.2583	2.19	915.0	0.7297	781.63
320.0	0.3747	4.06	925.0	0.7318	787.23
325.0	0.4663	6.39	930.0	0.4771	790.11
330.0	0.6600	9.69	937.0	0.3267	793.00
335.0	0.6271	12.83	948.0	0.3810	798.36
340.0	0.6793	16.23	965.0	0.5801	807.64
345.0	0.6690	19.57	980.0	0.6764	817.18
350.0	0.7230	24.99	993.5	0.7480	839.65
360.0	0.7514	32.51	1040.0	0.6850	865.89
370.0	0.9355	41.86	1070.0	0.6338	884.94
380.0	0.9759	51.62	1100.0	0.4529	896.19
390.0	0.9648	61.27	1120.0	0.1507	898.43
400.0	1.3290	74.56	1130.0	0.2350	900.46
410.0	1.4921	89.48	1137.0	0.1693	903.07
420.0	1.4994	104.47	1161.0	0.3766	911.15
430.0	1.3379	117.85	1180.0	0.4749	920.41
440.0	1.6038	133.89	1200.0	0.4415	932.64
450.0	1.8557	152.45	1235.0	0.4775	954.24
460.0	1.8890	171.34	1290.0	0.4183	971.98
470.0	1.8476	189.82	1320.0	0.2756	980.26
480.0	1.8876	208.69	1350.0	0.0520	982.20
490.0	1.7695	226.39	1395.0	0.0043	982.40
500.0	1.7696	244.08	1442.5	0.0782	985.07
510.0	1.8020	262.10	1462.5	0.1296	987.28
520.0	1.6783	278.88	1477.0	0.1291	989.47
530.0	1.7714	296.60	1497.0	0.2012	993.77
540.0	1.7403	314.00	1520.0	0.2684	999.49
550.0	1.7472	340.21	1539.0	0.2716	1004.62
570.0	1.6544	373.30	1558.0	0.2707	1009.88
590.0	1.5489	404.20	1578.0	0.2457	1014.16
610.0	1.6026	436.17	1592.0	0.2454	1018.06
630.0	1.5414	467.07	1610.0	0.2315	1022.41
650.0	1.5123	497.39	1630.0	0.2421	1026.75
670.0	1.4609	526.68	1646.0	0.2326	1032.32
690.0	1.2147	550.98	1678.0	0.2183	1042.63
710.0	1.3705	570.17	1740.0	0.1734	1053.24
718.0	1.1367	578.35	1800.0	0.0418	1055.74
724.4	1.1610	591.01	1860.0	0.0042	1055.99
740.0	1.2799	608.92	1920.0	0.0028	1056.14
752.5	1.2473	619.96	1960.0	0.0292	1027.11
757.5	1.2267	626.16	1985.0	0.0955	1059.27
762.5	0.7509	629.87	2005.0	0.0349	1060.11
767.5	1.0957	639.46	2035.0	0.1002	1063.13
780.0	1.1733	658.53	2065.0	0.0653	1065.29
800.0	1.1252	678.78	2100.0	0.0881	1068.90
816.0	0.9304	689.81	2148.0	0.0804	1072.80
823.7	0.8714	696.60	2198.0	0.0707	1077.11
831.5	0.9716	704.52	2270.0	0.0680	1082.67
840.0	0.9994	718.81	2360.0	0.0612	1088.21
860.0	1.0074	738.91	2450.0	0.0244	1090.40

【用語解説】

光とは

- JIS Z 8120「光学用語」では下記のように定義している。
- a) 目に入って視感覚を起こすことができる放射、可視放射ともいう。
  - b) 紫外放射から赤外放射までの波長範囲に含まれる放射。
  - c) 視覚系に生じる明るさ及び色の知覚・感覚。

放射とは

- JIS Z 8120「光学用語」では下記のように定義している。
- a) 電磁波(又は光子)によるエネルギーの放出又は伝搬。
  - b) これらの電磁波(又は光子)

放射とは

光の計測マニュアル(社団法人 照明学会編)では下記のように記載している。

電磁波または量子の形でのエネルギーの伝達、あるいは伝達されるエネルギーそのものをいう。したがって最も広い意味では放送用の電波から、いわゆる電離性放射線までが含まれる。

放射輝度とは

JIS Z 8120「光学用語」では下記のように定義している。

放射が伝わる経路上の断面(発生面及び到達面を含む)の単位面積当たり、かつ、経路方向の単位立体角当たりの放射束。(量記号:  $L_e$  単位:  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ )

(輝度と混同のおそれがない時は添え字「e」は省略してよい。

惑星反射率 (planetary albedo) とは

アルベド(albedo)とは、任意の面に入射した太陽エネルギーに対する、その面が反射した太陽エネルギーの割合。惑星の場合、各所で異なる場合はその平均値で表す。

【参考文献】

- 1) 太陽エネルギー利用ハンドブック  
日本太陽エネルギー学会
- 2) TECHNICAL REPORT  
SOLAR SPECTRAL IRRADIANCE  
Publ N° CIE 85 1st Edition 1989
- 3) JIS Z 8120 光学用語
- 4) Wikipedia フリー百科事典
- 5) 図解 宇宙工学概論 (岩崎信夫著) 丸善プレネット

— 次号に続く —