

# CIE 85:1989 の廃止と CIE 241:2020 の発行(1)

\*喜多英雄

促進耐候性試験規格の中で、太陽光の基準として長年用いられてきた CIE 85 が 2020 年に廃止され、新たに CIE 241 が発行された。本技術レポートは、CIE 241 新規発行までの経緯、CIE 85 からの改正点について 3 回に分けて解説するものである。

## 1. 初めに

製品は、使用環境により劣化する。劣化の因子は、温度や機械的な負荷から、腐食性ガスなど様々である。その中で、主要な劣化因子に太陽放射エネルギーがある。

太陽放射エネルギーは電磁波であり、短波長側は約 290nm の紫外域から、長波長側は 2500nm 以上の赤外域まで地上に到達する。しかし、この太陽放射は常に一定というわけではなく、季節、時間による太陽高度の変化や大気の状態により常に変化し、南中時でも、夏と冬では強度も違う(図 1)。また大気中のガスや微細な粒子であるエアロゾルによっても変化する。

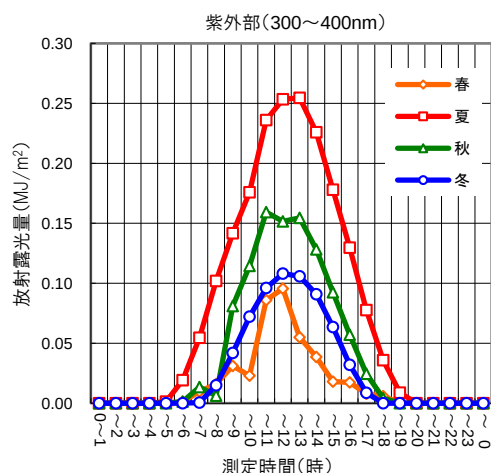


図 1 春夏秋冬/晴天時の放射露光量の測定結果の一例

製品寿命予測のための耐候性試験、環境試験や、建築物等の熱収支計算、太陽電池の評価や設計など太陽放射は、いろいろな規格・試験方法に関係する。各国、各使用者で同じ条件の試験をするためには、目標となる光源の指標が必要で、太陽からの熱計算をするときに、各自で違う太陽放射を使うと計算結果が違ってくる。

これらの試験方法や計算方法には、明確な基準となる太

陽放射の基準のベンチマークが必要となる。そのために CIE 国際照明委員会は、これらの産業分野でベンチマークとなるような、太陽放射の基準の技術報告書を発行して来た。

## 2. 歴史

古くは、1972 年に CIE から技術報告書として CIE 20 “RECOMMENDATION FOR THE INTEGRATED IRRADIANCE AND THE SPECTRAL DISTRIBUTION OF SIMULATED SOLAR RADIATION FOR TESTING PURPOSES”という太陽放射の基準的な分光分布が発行され、その後、1989 年に CIE 85 として“SOLAR SPECTRAL IRRADIANCE”が発行された(図 2)。

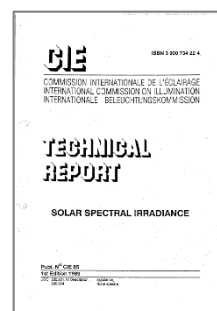


図 2 CIE85:1989 SOLAR SPECTRAL IRRADIANCE

この CIE 85 には、大気圏外の外部到達太陽放射と、24 種の異なる条件の地表での太陽放射が示されている。

このうち Table 4 が海拔 0m で特定の条件下、AM1.0(太陽が垂直上方にある)の時の太陽放射の分光放射照度であり、各種耐候試験の基準となってきた。ここでいう各種耐候試験とは、プラスチックの試験方法の ISO 4892 シリーズ、塗料・塗膜の ISO 16474 シリーズ、電気電子製品の IEC 60068-2-5 などであり、これらの試験方法のベンチマークである太陽放射は、CIE 85 Table 4 が参照されている

表 1 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) | CIE 85 分光放射照度 (W/m <sup>2</sup> /nm) | CIE 85 波長域別放射照度 (W/m <sup>2</sup> ) | 波長 (nm) | CIE 85 分光放射照度 (W/m <sup>2</sup> /nm) | CIE 85 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                             |

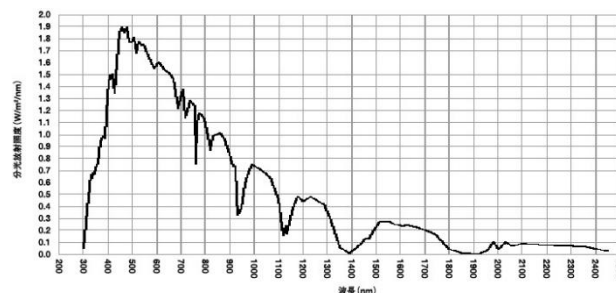


図 3 CIE 85 Table4 の太陽の分光放射照度分布

(表 1、図 3)。しかしこの CIE 85 は発行されてから多くの年数が経過し、計算の基となる外部到達太陽放射や、計算式である太陽放射モデルの更新が必要となった。また記載されている分光放射照度も 305 nm からしかデータがなく、より短波長のデータが要求された。さらに波長間隔が等間隔ではないため、各種計算で使いにくいという問題があり、波長間隔を等間隔で短くする要求があった。

CIE の第 2 部会の技術委員会 TC2-17 は、CIE 85 を作成した委員会で、1989 年の発行後も 2000 年代に入りこれらの問題点を改善するため、改正案を議論する目的で活動を再開した。しかし TC2-17 は、議論をしていく途中で委員長が継続不可能のため不在となり、また 5 か国以上の専門家が必要となる 4 か国しか参加しておらず、さらに審議の長期化などの CIE の制度上問題があり 2015 年 7 月に閉会となった。

CIE の第 2 部会は重要である CIE 85 の改正を再開するため、TC2-17 のメンバーであったスガウェザリング技術振興財団理事長 須賀茂雄に再開の検討を依頼し、2017 年 3 月に須賀を委員長とし、CIE の第 2 部会に TC2-88 が新設された。この委員会の中で改正が議論され、2020 年 9 月に CIE 241 “RECOMMENDED REFERENCE SOLAR SPECTRA FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS”が発行された。

主な改正点は、現在では再計算することはできないほど非常に古い計算式の太陽モデルである Bird model から、SMARTS 2.9.5 へ変更したことである。また外部到達太陽放射の更新を行い、使用者に条件を変更して再計算が可能のように、太陽モデルの各パラメーターの開示を行っている(表 2)。また波長範囲と間隔は、従来の CIE 85 では

分光放射照度が 305nm から始まり、350nm までは 5nm 間隔、350～550nm は 10nm、550～710nm は 20nm、それ以上は不定間隔で非常に使いにくいデータだったが、CIE 241 では本文中には 290～3990nm まで 5nm 間隔で分光放射照度が記載され、CIE のウェブサイトからは 1nm 間隔の分光放射照度データをダウンロードできる(表 3)。

表 2 CIE 241 と CIE 85 の主な変更点の比較(1)

|              | CIE 241:2020                    | CIE 85:1989       |
|--------------|---------------------------------|-------------------|
| 太陽モデル        | SMARTS 2.9.5<br>(Free software) | Bird model (1983) |
| 外部到達<br>太陽放射 | Gueymard, C. A.<br>(2004)       | Wehrli, C. (1985) |
| パラメーター       | 計算に必要なパラメーターすべて記載               | 主要な物のみ記載          |

表 3 CIE 241 と CIE 85 の主な変更点の比較(2)

|          | CIE 241:2020   |                                   | CIE 85:1989                                                              |
|----------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|          | 5nm 間隔(本文)     | 1nm 間隔<br>(CIE のウェブサイト)           |                                                                          |
| 波長<br>間隔 | 290-3990nm:5nm | 290-1699nm:1nm<br>1700-3990nm:5nm | 305-350nm:5nm<br>350-550nm:10nm<br>550-710nm:20nm<br>710-2450nm:不定<br>間隔 |

## 3. 太陽放射のモデル化

CIE 241 では、SMARTS 2.9.5 という太陽放射モデルで分光放射照度が計算されている。この SMARTS は、Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine の略であり、アメリカの国立再生可能エネルギー研究所 NREL (National Renewable Energy Laboratory)によって作られ、誰でも無料でダウンロードすることができる

(<https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/smarts.html>)。

この SMARTS 2.9.5 モデルでは、太陽から放射され地球の大気圏外である成層圏に入射する前の外部到達太陽放射(ETTR)が、計算のスタートになる(図 4、5)。CIE 241 では Gueymard の ETTR が使われている。使われている分光放射照度データは、280～400nm は 0.5nm 間隔、400～1700nm は 1nm 間隔、1705～4000nm は 5nm 間隔である。したがって CIE 241 の分光放射照度データはこの ETTR の波長範囲以外は計算不可能であり、最小の

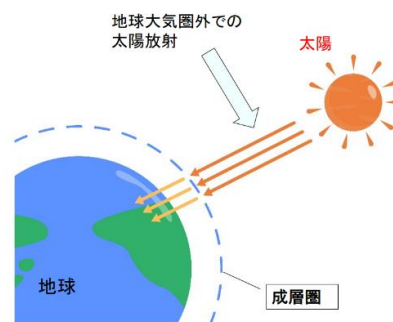


図 4 外部到達太陽放射(ETTR)の概念図

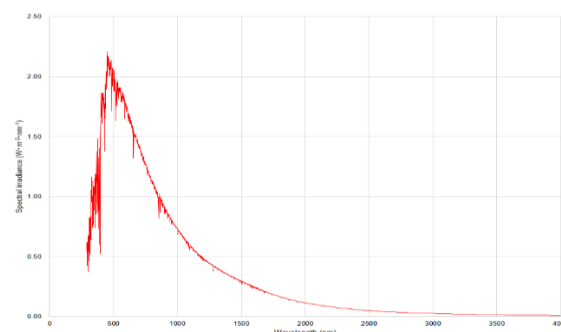
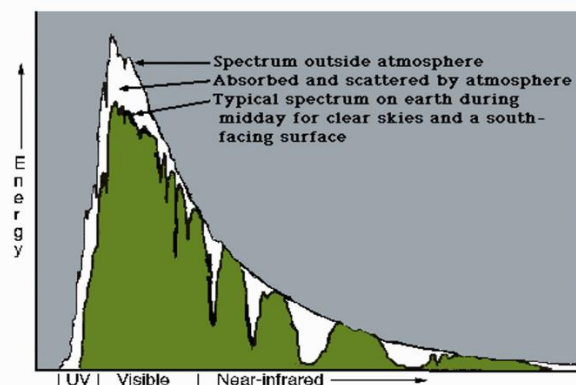


図 5 外部到達太陽放射(ETTR)の分光放射照度分布

波長間隔もこれらの値になる。

SMARTS では、ETTR にエアロゾルによる光線散乱、オゾン、ガス、水蒸気などによる吸収を波長の関数として掛け合わせる。地表からの高度により、各種の大気成分は濃度が異なり、これら各種大気成分ごとに、地表までの吸収量が積分計算される。主にオゾンにより紫外域の放射が吸収され、水、二酸化炭素、メタン、窒素や亜酸化窒素などにより、赤外域の放射が吸収される。各種大気成分は、このように波長により異なる吸収をし、地表での太陽放射は、大気成分により減衰していく(図 6)。《次号に続く》



Daryl R. Myers, Current Solar Spectral Distribution Models and Standards, 第 55・56 回スガウェザリング学術講演会

図 6 各種大気成分による減衰