

測光・放射標準（光の標準）－精密計測と関連技術

Photometry and Radiometry – precision measurements and relevant technologies

産総研 ○雨宮 邦招

AIST, °Kuniaki Amemiya

E-mail: k.amemiya@aist.go.jp

国際単位系 (SI) の 7 つの基本単位のうち、光度の単位、カンデラ cd は唯一、人間の感覚量に基づいている。歴史的には、標準ろうそくの水平方向の光の強さに基づき単位を定めたこと (1860 年～) に端を発し、白金凝固点においた空洞黒体炉を光度の標準光源とした時代 (1948 年～) を経て、現在 (1979 年～) では、光源の分光放射強度に、人間の視細胞の応答スペクトル (分光視感効率) に関する重み付けをして、光度 cd の量を現示している。光度は専門用語では「測光量」と呼ばれる分類になり、測光量は、照明の明るさ (光束 $\text{lm} = \text{cd sr}$) や、ディスプレイの輝度 (cd m^{-2}) などを正しく評価する上で不可欠な測定量である。

2018 年 11 月の第 26 回国際度量衡総会 (CGPM) で採択された SI の新定義 (2019 年 5 月 20 日より施行) では、kg, A, K, mol の 4 基本単位について、普遍的な物理定数に基づいたものに改定されることになったため、大きくクローズアップされた。一方、他の 3 つの基本単位 s, m, cd の定義も、本質的には等価な内容を保ちつつ、主役を物理定数とした表現に改められている。このうち、カンデラ cd の新定義では、「 540×10^{12} Hz (波長約 555 nm) の単色放射に対する視感効果度 K_{cd} の数値を 683 lm W^{-1} ($= \text{cd sr W}^{-1}$) と定めることで設定する」という表現になった。光の放射束 (パワー) の単位 W は、 $W = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-3}$ であるから、光度の単位は、質量、長さ、時間の単位を通じて、プランク定数 h 、光速 c 、 ^{133}Cs 原子の超微細構造遷移の周波数 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ という定数にも結び付くことになる。したがって、測光量の単位の実現は、放射束 (光パワー) をいかに精確に、物理定数に基づいて測定できるかが鍵となる。

光パワーを絶対計測するには、入射光を光吸収体で全て熱に変えて温度上昇を測定し、抵抗ジュール発熱と比較して電氣的パワーに等価換算する方法 (電力置換法) を用いる。このため光パワー標準器は、センサ部の精確な熱等価性、及び温度外乱に対する安定性が不可欠であり、詳細な熱設計が必要である。また、幅広い波長で 100 % 近い吸収率を有する光吸収体も必要になる。熱等価性については極低温放射計やカロリーメータと呼ばれる装置を用いることで、高い光吸収率は空洞型光吸収体のほか、近年では様々なナノ光学的材料等で実現されており、現在では光パワーを 0.1 % 以下の不確かさで絶対計測することが可能である。

本講演では、こうした測光・放射標準の背景、及びその精密計測技術の紹介とともに、最近の関連技術の話題についても触れたい。

謝辞：本講演の内容の一部は、量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所の 越川 博 氏、八巻 徹也 氏のご協力の下、JSPS 科研費 18K11940 (平成 30～32 年度) の助成、及び、東京大学大学院工学系研究科原子力専攻が推進する原子力機構・量研施設利用共同研究制度の支援を受けて得られた成果を含む。また、産業技術総合研究所 物理計測標準研究部門で測光・放射標準に従事している方々には、話題提供にご協力いただいた。ここに感謝の意を表す。