放射束の絶対測定とその国際比較

専門会員 大場 信英* 専門会員 伊藤 和喜* 正会員 羽生 光宏*

The Absolute Measurement of Radiant Flux
and Its International ComparisonNobuhide Ooba, (Fellow Member), Kazuki Ito (Fellow Member)
and Mitsuhiro Habu (Member)

ABSTRACT

For the purpose of confirming the agreement between the national radiometric scales, an international comparison of radiant flux measurement has been carried out since 1965 by eight participating national laboratories, including the Electrotechnical Laboratory (ETL) of Japan.

The National Physical Laboratory of England prepared a number of incandescent standard lamps and sent them to all participants, who measured the irradiance of the lamps under specified conditions and compared the values with each other.

The measurement at the ETL was made by absolute radiometers, which were based on a principle of measuring the d-c electric power that was substituted for the incident radiant flux. The substitution was achieved by equalizing the temperature rise of the radiometer disk, which was caused by electric heating, to the temperature rise caused by absorption of radiation. The temperature was detected as the change in electric resistance of a thin platinum wire which was attached to the disk.

The result of the comparison showed that the ETL value coincided with the mean value of all the participants within 0.1%, whereas the maximum spread of their values was 2.3%.

The paper gives firstly an outline of the international comparison, and then a description of the measurement at the ETL, including the construction and characteristics of the radiometer and auxiliary apparatus, measuring procedure and the results.

1. 緒 言

測光標準を放射束測定に基づいて設定しようという考えが、英国物理研究所 (NPL) により表明されて以来、この実現に対する試みが測光標準の研究を行なっている各国の研究所の関心をひくようになった。日本においても現在の白金点黒体による測光標準に代わりうるものとして、1960 年から放射束絶対測定法による測光標準の設定の研究が始められた。

一方 NPL では、この方法の基本である放射束測定が国際的にどの程度の一致で実行できるかを知るために、測光標準の研究を行なっている各国立研究間での放射束測定の国際比較を行なうことを提案した。国際度量衡委員会測光諮問委員会ではこの提案の実行を決議し、NPL を中心として一定条件の下で、放射束測定を行なうことになり 1965 年に実行に移された。

このころ日本では、電気試験所において白金線ボロメータ方式による絶対放射計が作られ、絶対測定法による放射束測定の研究が進行しており、放射束標準の確立

* 電気試験所

が急がれていた。そこで前記国際比較への参加決定と同時に放射束標準の確立と、放射束測定の国際比較の二つの測定が併行して実施されることになった。このような状況からこの二つの測定は同一時系列の中で行なわれ、その測定内容も光源の種類と幾何学的配置が異なる以外は、まったく同様な方法で行なわれた。そこで本文では放射束標準の確立に関する研究については他²⁾にゆずり、国際比較の測定を対象として、放射束絶対測定の方法およびその結果について記述する。

2. 国際比較の実行方法

2.1 概 要

測光諮問委員会の決定に基づいたこの国際比較には、8カ国の国立研究所が参加することになり、これらの各研究所の同意のもとに、NPL が Pilot Laboratory となって、標準電球による放射照度の絶対値を測定して比較する方法が採用された。NPL では3個の標準電球と長波長赤外域カット用のガラスフィルタ1枚を一組としたものを参加各国立研究所の数だけ用意して、これを各研究所に送付し規定条件のもとで放射照度を測定させたのち返送させる。そしてこの各組について NPL では送付前と返送後に同様な条件で測定を行ない、電球の変化をチェックするとともに、この測定値を媒介として各国の測定値の相互関係を求めて比較する。

このような方法によって測定が開始されることになり、電気試験所には1965年4月に3個の電球と1枚のガラスフィルタのセットが到着し、つづいて測定条件を規定した明細書が送付された。次にこれらの内容をしるす。

2.2 標準電球およびガラスフィルタ

標準電球は、ドイツ Osram 社製の光度標準用ガス入りタングステン電球 Wi41/G であり、分布温度約 2,700°K で点灯し測定する。この電球は図1に示すよ

図1 国際比較用標準電球
(a) 後側 (b) 側面

うにバルブの測光側は、フィラメント前面のほぼ正方形の部分を除いて大部分が黒く塗っており、バルブによるフィラメントの像や反射による光は測定されないように

なっている。フィラメントは直線状のものをじくざぐに単平面内にはってあり、測光軸に直角な方向からはその面が見えるようになっている。測光は口金を下にしてフィラメント面を鉛直にした場合に、この面の中心を通る法線で行なう。NPL では口金下部に円筒を取り付け、その側面に電流および電圧用の端子を各2本ずつ設けており、底面は平らな黄銅板でこれを水平面上におけば、フィラメントが鉛直に保持されるように調節した。

表1は3個の電球の点灯電流のデータで、測定された

表1 標準電球の点灯電流

ランプ No.	点灯電流 (A)	測定電圧 (V)
1487	5,650	27.8
1488	5,583	29.2
1490	5,741	28.8

端子電圧とともに NPL より示されたものである。ガラスフィルタは 77×77×3mm の大きさで、電球から出る長波長放射をカットして大気中の水蒸気や炭酸ガスの吸収に基づく放射照度の変化の影響を軽減するためのものであり、測定中は電球と検出器間の光路にそう入使用される。このフィルタについては詳しいデータは与えられなかったので、分光透過率を測定した結果図2のよう

図2 ガラスフィルタの赤外分光透過率

な曲線が得られた。したがって電球の分光エネルギー分布と、このフィルタの分光透過率を考慮すれば、2.7μをこえる波長域での水蒸気と、炭酸ガスによる吸収の影響は、かなり小さくなることがわかる。

2.3 測定光学系の配置と測定の条件

放射照度測定のための光学系は図3のようにする。測

図3 規定された配置

光軸 $0-0'$ は、電球フィラメント面の中心を通る法線と一致する。放射照度の測定位置はフィラメントから前方 1 m の光軸上で、検出器受光面の大きさは、NPL では直径 6 mm の円形であったが、この位置での放射照度の均一差は良好なので、NPL のものと少しは異なってもさしつかえない。ガラスフィルタは光源と検出器の中間に、ガラス面中心を通る法線が水平面内にあって、光軸と 22.5° の傾きで交わるようにそう入する。また、検出器の光源を見込む角を制限するために、検出器から 60 cm の光軸上に直径 38 mm の円形絞りを置く。さらに背景から余分な放射がはいらないように、電球の後方には 0.5 m 以上離れた所に黒幕または類似のものをおく。

電球は、電流端子 I_1, I_2 を通して一定電流で点灯して 10 分経過後に放射束の測定を開始し、 V_1, V_2 の電圧端子から点灯中に電圧を測定する。点灯は直流により行なうが、点滅をくり返すごとに極性を反転して、放射束の継時的な減少を軽減する。このため端子には添字 1, 2 により極性を表示してある。電球の放射が周囲の温度および空気の対流によりどのように変化するかは不明なので、温度は 20°C 付近で一定—NPL では $(20 \pm 1^\circ\text{C})$ —に保ち、空気の流れは自然対流の状態に保って測定する。湿度の変化は放射照度に影響を与えるので、適当な補正を行なうために放射照度測定時の値を記録する。炭酸ガスによる吸収は空気中での濃度が通常の場合の数倍以上にならないかぎり大きなものではないから無視する。

以上の条件において放射照度を測定し、その値とともに点灯中の電球電圧および湿度の値を記録する。測定方法については各研究所の任意であるが、その内容を知らせること、また測定条件が上記と異なる場合はそれを明記する。

3. 電気試験所の放射束測定法とその装置

3.1 放射束絶対測定の原理

上記のように測定の条件が明確になったので、電気試

図 4 放射照度測定系

験所では、現有の測定装置についてその条件にそうべく一部の調整を行なって、絶対測定法による放射照度の測定を行なうことになった。ここにその測定法の原理と測定装置のおもなものについて述べる。

絶対測定法による放射束測定については、すでに紹介されているので¹⁾³⁾⁴⁾⁵⁾ 詳細は省略し、ここではその原理について簡単に示す。図 4 にこの測定系の概略を示す。絶対放射計 BM は図 5 に示すように白金線ボロメータであり、被測定放射束の入射による温度上昇によって抵抗増加 Δr を生じる。この値を測定し、次に放射束はシャ断し、バイアス電流を増加して電力の増加により温度上昇をさせ、 Δr の抵抗増加を生ぜしめる。すなわち初めの放射束による加熱を電力による加熱で置換するこ

図 5 絶対放射計の構造

とになり、この電力増加を測定すれば、その値が放射束の値に対応することになり、吸収した放射束の大きさが求められる。この測定では放射束による加熱が電力による加熱で正しく置換されるかどうかが重要であり、さらに放射に対する吸収率の値、および吸収率の波長に関する一様性が問題になるが、これらについては後述する。

3.2 測定装置

3.2.1 絶対放射計

図 5 に放射束測定に使用する白金線ボロメータ方式の絶対放射計を示す¹⁾⁵⁾。構造は直径 10 mm、厚さ 0.02 mm の銀円板をベースとし、その上に絶縁層を介して太さ $22 \mu\text{m}$ の白金線約 50 cm (電気抵抗約 100Ω) を二重うず巻き形に接着し、この上に絶縁ワニス(ニスを)を薄く塗って乾燥したのち、さらにその上に金黒を蒸着法⁶⁾で付着させたものである。この受光板を主要部とし、これを 2 本の細い絹糸で図 6 のように黄銅リングに支持し、その上の端子板と白金線の両端とを太さ 0.1 mm、長さ約 10 mm の金線の導線 3 本で接続した。

応答度は、放射吸収率と全体の熱的特性により定まるものであるが、製作した絶対放射計の一つについて性能を示すと次のとおりである。

抵抗値 127.4Ω

応答時間 約 55 秒

応答度 208 Ω/W

放射吸収率 0.995

これについて入射放射束と抵抗値の関係をみると、500 μW の入射に対して抵抗変化は約 0.1 Ω であり、温度上昇は約 0.2 deg であった。またバイアス電流と抵抗値の関係は図 6 のようになっている。

図 6 絶対放射計の電流、抵抗特性
(注) バイアス電流 2.5 mA のときの抵抗を基準にして変化分を%で示した。

この放射計の受光面は直径約 10 mm の円形であるが、その形は不整であるから、面積を正確に定めることは困難である。そこで放射照度を求めるには受光面の直前に直径約 9 mm の面積が正確にわかっている円形絞りを置き(図 4 の S_0)、この面への入射放射束を測定するようにした。この絞りはその前後に直径約 10 mm の円形絞りを伴っていて、これらで放射のシールドをした 3 枚構成のものであり、この S_0 が放射を受けて生ずる温度上昇は非常にわずかなもの(絶対放射計 BM の温度上昇は約 0.2°C であり、 S_0 は BM に比べて熱容量ははるかに大きい)であるから、ここからの二次放射は無視できる。開口面積は後述する測光的方法で測定した。

3.2.2 恒温そう

放射測定の場合、絶対放射計の温度上昇が 0.2 deg であると、これを 0.1 % の細かさで測定するには放射計自体に 2×10^{-4} deg の温度の安定性が要求される。そのために恒温そうを製作してその中で動作させることにした。

恒温そうは二重の箱から成り、初めは内箱の外壁で ± 0.01 deg の温度制御をしてそれ以上は内箱の熱容量により変化を吸収する方法を試みたが、良好な結果は得られなかった。そこで内部での温度制御をやめ、恒温そう外部の室内空気の精密な温度調節を行ない、恒温そうの断熱効果と熱容量とにより、放射計の温度の安定化を行なうことにした。

恒温そうの構造を図 7 に示す。外箱はその内外両面に厚さ 3 mm のアルミ板を張り、熱放射の反射を良くし、ま

図 7 恒温そうの構造

た全面にわたり等温を保つようにした。アルミ板の間にはモルタルブレンと木材の層を作り断熱効果を良くした。内箱は厚さ 24 mm のアルミ鋳物である。外箱、内箱共に内部への放射計のセットにつごうがよいように、背面が開けられるようになっている。

放射は、内外両箱を貫通する円筒の中を通して放射計にはいる。円筒の内側には放射の反射および空気の対流を妨げるように多数のパッフルがそう入されている。シャッタは内側に銀ブロックを取り付けて熱容量、熱伝導度を大きくし、外箱のアルミ板と熱的な接触を良くして電球の放射による温度上昇を極力防いでいる。放射計からの導線は箱に貫通孔を設けて引き出しているが、この部分の断熱にも配慮を行なった。

使用に際しては、周囲温度は常に $(20 \pm 0.15)^\circ C$ に保持する。放射計は恒温そう内部にセットされた後でもなお温度が刻々と変化し、抵抗値がドリフトする。測定にあたってはこのドリフトが十分小さくなるまで放置するが、それでもドリフトが入射放射束による抵抗変化量の数%にも達する場合がある。

しかし多くの場合、ドリフトは時間に対しほぼ一定の割合なので、等しい時間間隔で数回の測定を行ない、最初と最後の測定の読みから各回の測定時におけるドリフトを推定してその読みから差し引き、それらの平均を取ることによって、ほぼ完全にその影響から逃れることができた。

3.2.3 絶対放射計の抵抗および電流の測定装置

電気抵抗は三導線方式により、特にこの目的で製作した Wheatstone ブリッジを用いて $10^{-5} \Omega$ まで測定し、放射計の電流は、ブリッジの平衡時に標準抵抗器と精密電位差計とを用いて測定したブリッジ電流の 1/2 として求められる。図 8 にこれらの回路を示す。電源は 6 V の蓄電池で、これと直列にはいった可変抵抗器によりブリッジ電流が細かく調節される。

ブリッジは比例辺が 500 Ω の等辺ブリッジで、加減辺の抵抗は 10 Ω 以上のステップがプラグ式、1 Ω から 0.001 Ω までのステップがそれぞれダイヤル・ノッチ式、

図 8 ブリッジ回路

$r_1=1.4$, $r_2=1.75$, $r_3=2.25$, $r_4=3.0$, $r_5=4.2$,
 $r_6=6.3$, $r_7=10.5$, $r_8=21.0$, $r_9=63.0$, $r_{10}=\infty$

0.0001 Ω および 0.00001 Ω の桁は摺動線式となっていて、最小目盛まで良好に動作する。

白金線抵抗体からは一端から 1 本、他端から 2 本、計 3 本の抵抗値が互いに等しい導線が出ていて、ブリッジに図のように接続されている。a と b の導線の抵抗値は相殺されて、白金線の抵抗値だけが加減辺の読みとして表わされる。

ブリッジの平衡の検出は、実際の測定に用いたブリッジ電流 5 mA に対して、 $1 \times 10^{-5} \Omega$ の抵抗変化を検出するのに通常の検流計では感度が不十分なため、サーモリレー式の増幅器を併用した。

3.2.4 その他の装置

電球の電流および電圧は、精密直流電位差計により測定する。放射照度測定位置と電球のフィラメント面の間の距離はスケールとカセットメータを用いて決定し、一定の位置を定めておいて容易にセットできるようにした。室温、湿度はそれぞれ水銀温度計および乾湿計で測定し記録した。

4. 放射照度の測定

放射照度の決定にあたっては、放射束測定のほかに受光面積の測定、放射吸収率の測定、電球と受光面間の距離の測定が必要である。この最後のものは特に述べる必要もないので省略し、その他について次に述べる。

4.1 受光面積の測定

受光面限定絞り S_0 の開口は、製作技術の点で真円とはみなせなかったし、また開口の縁における反射による迷放射が放射計にはいることも考慮しなければならないので、幾何学的に直径を測って面積を計算で求めるの

は誤差を生じさせる原因となる。そこで面積既知の標準開口と測光的方法により面積を比較測定する方法を取った。標準開口としては、測光の一次標準器である白金点黒体の絞りとして用いられる直径 20 mm と、25 mm の 2 個のものを使用した。この面積は測長から計算で求めたものであるが、直径がこの程度大きければ上述の誤差は無視できることが確かめられている。

図 9 はこの測定系を示すもので、標準絞りが光路中に

図 9 受光面積測定系

ある場合の測光器の読み R_s に対する、被測定絞りが光路中にある場合の読み R_o の比を測定すれば、後者の面積 A_o は、前者の面積 A_s から

$$A_o = A_s \times R_o / R_s$$

として求められる。この測定法によれば、標準絞りの縁における反射による迷放射は無視できる程度に小さいとみて、被測定絞りの縁での反射による迷放射は、放射照度の計算の際に消去されることになる。

電球と絞りとの距離を 1 m および 1.4 m の二とおりにし、また標準絞りを二とおり用いて行なった計四とおりの測定で得られた結果は 0.1 % 以内の差で一致した。また図 9 の積分球を用いる方法のほかに、絞りの後にレンズを置き、厚いオパールガラス上に光源の像を結ばせ、その後に光電管を置いて、拡散透過光を比較測定する方法も用いたが、その結果も上と 0.1 % 以内の差で一致した。こうして絞りの面積は 0.6341 cm² と決定された。

4.2 放射吸収率の測定

受光面の金黒層の放射吸収率 α は、実際には反射率 ρ を測定して $\alpha = 1 - \rho$ の関係から求める。 ρ の測定はまず 0—45° のラジアンズファクタを測定し、次にゴニオフォトメータで反射の配光曲線を測定し、この両者の値から全反射放射束を計算し、入射放射束に対する比を計算した。

ラジアンズファクタの測定には、放射源に分布温度約 2,700 °K の白熱電球、検出器に Kipp 社のモル形サーモモバイルを用いて MgO 煙着面を標準とし、これと比較して測定した。MgO 煙着面の 0—45° のラジアンズファクタは 1 に近く、また金黒のそれは 0.005 程度であるから、測定された比そのままをラジアンズファクタとみて計算した反射率を 1 から引いて、吸収率としてもその誤差率は無視できる程度に小さい。

配光曲線の測定は、400～750 nm において 50 nm ごとに単色放射に対する曲線を描かせ、配光の波長に対する依存性を調べた。その結果、依存性はほとんど認められなかったため、赤外域でも可視域と同一の配光であると見てこの曲線を計算に用いた。この際、 0° 入射であるから $\pm 10^\circ$ の範囲では配光測定ができなかったため、この範囲外の曲線を延長して仮想曲線を作り、これによって計算したが、これによる誤差率も無視できる程度に小さい。

反射率測定は金黒層を付着させた試料板および絶対放射計の各個について行なったが、いずれも 0.005 に近い値が得られた。したがって吸収率 α の値として 0.995 を用いることと決定した。

4.3 金黒層の熱抵抗による置換の誤差の見積り

放射束を電力で置換する場合に、放射による加熱は金黒層の表面から行なわれるが、電気的加熱は金黒層より内側の白金線から行なわれるという相違がある。前者の場合には、金黒層表面の温度は金黒層の熱抵抗のため白金線部分の温度より高くなっている。電気的加熱の場合に、この白金線部分の温度を放射による加熱のときと同一にして置換するのであるから、金黒層の表面温度は放射による加熱のときよりも低く、したがってより小さな放射束と等価になり誤差を生ずる。

いま、金黒層の両面間の熱抵抗を R_s^* 、金黒層の表面から外部への二次放射および空気への熱伝導による周囲への熱放散経路の熱抵抗を R_a^* とすると、表面で吸収された放射束のうち $R_s^*/(R_s^*+R_a^*)$ だけが電力で置換されることになり、 $R_s^*/(R_s^*+R_a^*)$ だけの過小評価が生ずる。もし R_s^* が R_a^* に比して十分に小さいときはこれは無視できるのであるが、Gillham⁷⁾ や Blevin ら⁸⁾ の R_s^* の測定結果によれば、筆者らの製法すなわち 1 mmHg の N_2 ガス中で蒸着する方法による金黒については 0.1 % より小さい過小評価であって、無視できることが示されている。Blevin らによればこの金黒の R_s^* は $0.5 \text{ deg. W}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ より小さく、また空気中で使用される放射計受光面の R_a^* は $1,000 \text{ deg. W}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ の程度であるという。筆者らはこれらの値を特に測定しなかったため、この過小評価に対する補正は行なわなかった。

一方、金黒層以外の部分にも、厚さ方向の熱抵抗は存在するが、これは十分に小さくてその影響は無視できる。絶対放射計 No. 9 についてこれを確かめるために、表裏両面に金黒層を付着させ、放射を表からあるいは裏からそれぞれ入射させる二通りの測定を行ない、その結果を比較してみたが、有意差は認められなかった。

4.4 放射束の電力による置換測定

実際の測定にあたって、放射の吸収による抵抗増加分

を Δr としたとき、次に電力を増加して置換をするのにちょうど Δr の抵抗増加を生ずるように供給電流を調節することは、ドリフトがあるため不可能である。そこであらかじめ放射計の電流と抵抗との関係の求めておき(図6)、抵抗増加 Δr を生ずるような電流の概略値をこれから決めて、その電流を流したときの実際の抵抗増加 ΔR を測定する。 ΔR は Δr に近いから、 Δr を生ずるに必要な電力 P は、 ΔR を生ずるに要した電力 P' から

$$P = P'(\Delta r / \Delta R)$$

として得られる。

このようにして測定を始める前に、 20°C 、湿度(50 $\pm$ 5)%に空調された実験室内で、前日中に絶対放射計を恒温器内にセットしてバイアス電流 2.5 mA を流し、他の測定装置も準備して安定化させる。測定の順序と方法は次のとおりである(図10参照)。

図10 置換測定プロセスのモデル

(1) 放射による抵抗変化の測定

(a) ブリッジ電流を 5 mA (バイアス電流 2.5 mA) にして、シャッタ S を閉じたまま抵抗値を測定し、そのドリフトを監視する。ドリフトが十分小さくなってから電球を点灯し、10 分経過して安定となつてからシャッタを開き測定を行なう。このとき放射計の抵抗増加に伴いブリッジ電流が減少するが、直列的可変抵抗を加減して常に 5 mA 一定に保つようにする。

(b) シャッタを閉じたまま抵抗値 R_0 を測定し、その値を時刻とともに記録する。その後直ちにシャッタを開く。

(c) 5 分経過後の抵抗値 R を測定し、シャッタを閉じる。

(d) 5 分経過後の抵抗値 R_0 を再び測定し、シャッタを開く。

以下同様な測定をくり返し、 R_0 と R のそれぞれの平均値 $\bar{R}_0$ および $\bar{R}$ を求めて、 $\Delta r = \bar{R} - \bar{R}_0$ を得る。

(2) 電力による置換測定

この期間中シャッタは閉じたままとする。

(a) 図6の $I-R$ 曲線から Δr に対応するブリッジ電流 I を求める。

(b) ブリッジ電流 5 mA (I_0 とする) に対する抵抗値 R'_0 を測定し、時刻とともに記録してすぐにブリッジ電流を I にする。

(c) 5 分経過後抵抗値 R' を測定して、ブリッジ電流 I_0 をに戻す。

(d) 5 分経過後の抵抗値 R'_0 を前と同様に測定する。以下同様に(1)の場合と同一回数測定する。

以上の測定から

$$\Delta R = \overline{R'} - \overline{R'_0}$$

を求める。

4.5 放射照度の計算

これまでの測定データから放射照度は、次のように計算する。

(1) Δr を生ずるために要したパワー P

$$P' = \left(\frac{I}{2}\right)^2 \times \overline{R'} - \left(\frac{I_0}{2}\right)^2 \times \overline{R'_0}$$

$$P = \left(\frac{\Delta r}{\Delta R}\right) P'$$

(2) 吸収放射束 Φ_a

抵抗変化分 Δr は、実際には吸収放射束だけによるものではなく、絶対放射計の抵抗値が放射の入射しない場合に比して Δr だけ増加しているために、バイアス電流による供給電力は $(I_0/2)^2 \times \Delta r$ だけ増加していたのであるから、その分だけ差引いたものが吸収放射束になる。すなわち

$$\Phi_a = P - \left(\frac{I_0}{2}\right)^2 \times \Delta r$$

(3) 放射照度

受光面に入射した放射束 Φ は、吸収放射束 Φ_a を吸収率 α で除したもので

$$\Phi = \Phi_a / \alpha$$

放射照度 E_e は Φ を受光面積 A で除して

$$E_e = \Phi / A$$

として得られる。

5. 測定結果

以上の方法で図 4 に示した配置により 3 個の標準電球について、それぞれに 4 個の絶対放射計を用いて測定し、放射照度を求めた結果を表 2 に示す。3 個の電球のうちで No. 1488 は測定期間中に端子電圧および放射束の急変を生じ、その後測定中の安定性が悪く、放射照度の値の偏差が最大であった。その原因はこの型の電球はフィラメントがアンカに溶接されていないため、その部分の接触状態の変化によるものと考えられる。また絶対放射計 No. 8 による測定値はすべて平均より低くなっているが、この現象はこの測定の場合だけに現われたも

表 2 放射照度の測定値

ランプ No.	指 定 電流値 (A)	測 定 電 圧 (V)	絶 対 放射計 No.	入 射 放射束 (μ W)	放射照度 (μ W/cm ²)	放射照度 平均値 (μ W/cm ²)	平均か らの偏 差 (%)
1487	5,650	27.81	8	518.2	817.2	817.4	-0.02
			9	517.8	816.6		-0.10
			5	519.0	818.5		+0.14
			10	518.2	817.2		-0.02
1488	5,583	29.28	8	529.4	834.9	838.0	-0.37
			9	532.7	840.1		+0.25
			5	529.9	835.5		-0.30
			10	533.6	841.5		+0.42
1490	5,741	28.92	8	539.2	850.3	852.4	-0.25
			9	539.8	851.3		-0.13
			5	540.8	852.9		+0.06
			10	542.3	855.2		+0.33

ので、特に有意な差があるとは考えられない。種々の誤差の原因についての考察、および実際に得られた測定値からの推定では、正確さ、精密さはそれぞれ約±0.3% であるといえる。

表 2 の値には大気中での放射の吸収に関する補正を行っていないが、測定時の湿度を記録することにより水蒸気による吸収に対する補正を可能にしてある。

こうして測定を終了した電球群とフィルタのセットは 1966 年 4 月に NPL に返送され、表のデータは同年 6 月に NPL に報告された。NPL ではこのセットに対して再測定を行ない、さらに他の研究所から返送されたものについても再測定して、1967 年 2 月に参加 8 カ国の測定結果の比較を行なった。その際水蒸気による吸収に関しては、次式に従って測定値に補正を加えて水蒸気分圧 7 torr の場合に換算した値と比較している。すなわち水蒸気分圧 P torr の場合の吸収率 α_h (%) は

$$\alpha_h = 0.6 \sqrt{P}$$

電気試験所の測定は 20°C、50% で行なわれたから、水蒸気分圧は 8.8 torr であり、7 torr の場合に対し α_h の差は 0.2% である。

このようにして得られた国際比較の結果を表 3 に示す。平均に対する偏差は DAMW と NBS が 1% をこえており、このばらつきは白金黒体標準器に関する測定に比べるとやや大きい。

表 3 国際比較の結果

参加研究所 (国)	平均に対 する比	参加研究所 (国)	平均に対 する比
NPL (英)	1.004	NSL (オーストラリア)	0.998
PTB (西独)	0.997	NBS (アメリカ)	0.989
DAMW (東独)	1.012	IMM (ソ連)	0.994
ETL (日本)	1.001		
NRC (カナダ)	1.004	平 均	1.000

6. 結 言

絶対測定法による全放射束の測定が, 上記のように電気試験所においてボロメータ方式の絶対放射計で行なわれ, その確度は初めての放射束測定の国際比較において良好なことが実証され, 電気試験所における全放射照度の標準が国際的な基盤の上に確立されたといえる。これによって, 本来の目的である測光単位の設定に対して放射測定技術の面での見通しが明らかになったので, 現在はその方面での努力が続けられている。一方測光単位とは別に放射測定は現在その重要性が改めて認識され, 精密測定への期待は大きなものがある。ことに分光放射標準の確立に関する要望は強く, 現在それにこたえようとの気運が国際的にも動きは始めている。このような状況の中でわれわれは, さらにこの分野における研究を進めてその実現に努力しつつある。

終わりにあたり, 放射束絶対測定の研究について貴重な示唆を与えられ, 終始ご指導と激励をいただいた元電気試験所長, 現東京大学教授中路幸謙博士および電気試

験所応用部長吉江清博士に深く感謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 大場信英: 伊藤和喜: 昭 40 電気四学会連大 No. 1274
- (2) 大場信英: 電試研報 印刷中
- (3) 大場信英: 照学誌 46 (昭37) 160
- (4) 大場信英・伊藤和喜: 昭 40 電気四学会連大 No. 1273
- (5) M. Eppley and A. Karoli: J. Opt. Soc. Amer. 47 (1957) 748
- (6) L. Harris and R. T. McGinnies: J. Opt. Soc. Amer. 38 (1948) 582
- (7) E. J. Gillham: Proc. Roy. Soc. A, 269 (1962) 249
- (8) W. R. Blevin and W. J. Brown: Metrologia 4 (1966) 139

(受付 1968 年 3 月 2 日 再受付 1968 年 4 月 17 日)