放射熱標準用新型黒体炉 (第三報)

正会員 上 瀧 致 孝*

On a Compensation Type Black-Body Furnace

(Part 3)

By Munetaka Jotaki (Member)
(Electrotechnical Laboratory)

ABSTRACT

This report is discription on the trial production of compensation type black-body furnace, on which we discussed theoretcally in part 1 and part 2, and experimentnl verifications of the realization of blackness in it and the methods of discrimination for the blackness.

By these experiments, it was known that compensation type black-body furnace can be so useful pratically as industrial radiation standard.

1. 緒 言

先に二回にわたり¹⁾²⁾, 黒体炉の新方式として補償型黒体炉をあげ, その黒さの判別法について理論的に検討してきたが, 今回はこれらの理論にもとづいて補償型黒体炉を試作し若干の実験をおこなったので簡単に報告する。

2. 補償型黒体炉の構造

強力な放射エネルギーがとり出せてしかも充分満足すべき精度をもつ黒体炉を比較的簡単に実測するために, これまで検討してきた結果を活用して次の四項に則り黒体炉を試作することにした。

- (1) 黒体炉の形は短筒, 大口径の円筒型として充分に下きな放射エネルギーがとり出せること。
- (2) したがって黒体炉は補償型黒体炉の操作を原則とする。
- (3) 黒体炉の放射源である炉底から炉口の外までその放射熱の通路には一切窓ガラス類を用いない。
- (4) 黒体炉の黒さの判別は炉底に装置してある黒白二

物質からの輝きまたは全放射の区別によることとする。

この構造の概要は第1図に示すようなもので通常のものよりずっと口が大きい。最高使用温度は1200°Cとしている。図のような砲弾型のアルミナ管にカンタル A₁ 丸線とリボン線を前部, 後部の二つにわけてまいていた。丸線の方は口附近における edge cooling の熱的な補償と補償型黒体炉の操作のための補償部とをかねている。これは斜面にもまくために丸線(2mmφ)を用いたが, 壁面に対する負荷密度を大きくするため線間を2mmにつめた。

後部は壁面の温度分布をなるべく一様にするためリボン線(6mm×0.5mm)を3mmの間隔でまきつけた。底部と底部附近の温度を一様にするため, 矢張り入れ子を設けたが, 従来の黒体炉のようにこれだけが黒体を形成するとして考えないので, 入子には全く絞った部分がない。そして前二回で述べたとほり, 純鉄の丸棒をくりぬいてこしらえた。入れ子の底には十字の細い溝を第2図のように切ってその溝の中にはマグネシアの粉末をつめた。

第1図 補償型黒体炉 (小型)

第2図 入れ子の底

* 電気試験所

このマグネシアはマグネシウムをたいてその煙をあつめただけのものであるが、はげやすいので溝を梯形に切ってその中に粉をつめた。面倒なので一度手軽に細いアルミナ管を入れ子の底にはりつけたことがあったが、側面におけるアルミナ管の反射やアルミナ管が底の温度と異ってくるなどの理由のために、白線の境界線が輝いて黒白が完全にはなかなか消えなかった。

もっとも炉底の面だけではなく炉底の附近一帯がほんとうに黒体の条件を満足しておればこの場合でも黒白が消えるわけであるが、普通の操作ごとに炉口が広い黒体炉でそこまでもってゆくことはなかなかむずかしいし、ここでは底面だけが黒体放射をしていればよいのでまたその必要もない。ともかくこの炉ではマグネシアの面と入子の底の鉄の面とは同一面になっている。鉄の入れ子を入れることは鉄の熱伝導のためにこまかい温度むらをなくすることができるが、あまり長くして炉口までもってくると、かえって炉端からの冷却を助長して温度が上りにくいし、かつ温度勾配も全体として大きくなる。入れ子の厚さは鉄の酸化皮膜をつくる関係上充分厚くみて 5 mm とした。また入れ子がかぶらないアルミナ管の内面はすべて純鉄のメタリコンをほどこしている。

底の温度は黒体炉の黒体の温度を決定するもっとも重要な要素であるので、従来のように円筒面部分からの熱の伝達によって加熱するのでなく、底のうらにカンタル線を渦まき状にまいた加熱線で加熱する。実際、大きな口の短い炉で、円筒部分からだけの熱伝達で炉底の温度を充分にあげることは不可能に近い。この場合のうずまきは線を内側に密に外側に疎になるようにしてまかねばならない。

熱線の電力の調節には、円筒部分の加熱には数 kW のトランスやレギュレーターを用いるが、底部の電力調節は 1 kW のスライダックで充分である。

また炉底には白金-白金ロジウム熱電対を用い、電位差計で熱起電力を測定し温度を測定する。

さてこの炉の寸法で l を計算すると、炉口から炉底まで 215 mm、炉口の半径 17.25 mm であるので

$$l = \frac{215.0}{17.25} = 12.4$$

となり、これでも相当に大きい。炉壁全体が均一温度であれば充分に黒体でありうるわけであるが、炉口の方の冷却は如何にしてもさけられぬし、多少の温度むらは除去できないので、実際上は補償型の操作によらねばならない。したがっていま edge cooling のために炉口から 20 mm 程度は無いに等しいとして無視すると l は $215.0 - 20.0 = 195.0$ となり、黒体としての炉の口も 20 mm だけ後退することになり、設計図から径も 39.1 mm に

ひろがるので

$$l = \frac{195.0}{19.55} = 9.97 \approx 10$$

となる。補償部からの固有照度係数を

$$K_2 = 0.05$$

として、もし補償部を炉口の方（冷却端の 20 mm だけは除いて）にとると補償部の長さは前にも述べた次の式から 117.3 mm となる。すなわち、 $l = 10$ なら円筒面からの固有照度係数は 0.99 であるから、補償部ではないところの固有照度係数は

$$K_1 = 0.99 - 0.05 = 0.94 = \frac{F^2}{1 + F^2}$$

これから $l = 4$

したがって補償部の長さは $10 - 4 = 6$

$$19.55 \times 6 = 117.3 \text{ (mm)}$$

となる。

実験用の小型炉とは別に、広角の放射面を得る目的で

第3図 補償型黒体炉（大型炉）

第3図に示すような大型の炉をもつかった、これは放射面の温度が 1000 °C ほどでありであるが、熱容量が非常に大きく完全に安定するまでは長い時間かかるので、外側の砲弾型のボビンのほかに入子自身にも発熱体をまきつけている。入子は 5 mm の厚さの図のような寸法の鉄の入子であるが、小型炉の場合同様、底の面に十字の溝を切ってマグネシア粉をつめている。また入子の底には別

第4図 補償型黒体炉と放射熱測定装置

に発熱体を配しているが、これは後述するように温度分布を均一にするため、下部ほど密になるようにしている。

炉口から底までの長さをとって l を計算すると

$$l = \frac{660 \text{ mm}}{66 \text{ mm}} = 10$$

となり、矢張り小型炉と同じようになる。炉底放射面の温度測定には白金—白金ロジウム熱電対をとりつけている。

大型炉、小型炉ともに放射測定の際には専用のオプティカルベンチの上に水冷式ダイヤフラム、サーモパイルなどをせて測定するが、これらのものの位置は自由に細かに調整できるようになっている。第4図の写真はこれら放射熱標準装置の全体を示している。

3. 黒体炉の熱的特性

黒体炉を実際に操作するにあたって、黒体炉の黒さに直接に関係のあるなしにかかわらず、一応その熱的特性を調べておく必要がある。とりわけ、黒体炉の炉内の温度分布は黒さに直接関係するのでこれを知ることは一応必要である。ただし補償型黒体炉の場合には前報告で述べたように、黒体炉間の温度分布を詳細に知らなければ黒体炉として使用できないというほどの必要性はないが補償型黒体炉の試作にあたって重要な参考項目として炉内の温度分布をもとめてみる。

3.1 黒体炉の所要電力と平衡温度および時定数

第5図 補償型黒体炉の電力

第6図 炉の冷却曲線と時定数および蓄熱量の決定

小型の補償型黒体炉について各部および全体の所要電力と炉底温度との関係は第5図に示すようである。大方は円筒部の熱源の如何によって支配され、炉底電源は炉底の温度のむらをのぞくためとこまかい炉底温度の調節にだけ使われる程度である。平衡温度に達してから電源を切り、自然冷却による温度降下から、この炉の時定数を求めてみると、第6図によって3時

間10分(約3時間)となる。次に因みに第6図からこの炉の蓄熱量を計算してみる。これは黒体炉の運転そのものには別段重要なことではないが、その計算法が一般工業窯炉の蓄熱損失の計算法に利用して漸新でありかつ非常に簡便な方法と考えられるものである。

この方法は炉内面または炉外面の温度曲線と熱放散曲線とは温度降下中平行しているとの考え方³⁾に根ざしている。したがってスイッチを切って外表面の温度が下りはじめるまでの放熱は

$$Q_1 = \int_0^{0.5} 0.438 dt = 0.219 \text{ kWh}$$

放熱をはじめると、第6図の曲線の性質から

$$Q_2 = \int_{0.5}^{\infty} 0.5e^{-\frac{1}{3.167}t} dt = 1.35 \text{ kWh}$$

したがって全放熱量すなわち蓄熱量は

$$Q = Q_1 + Q_2 = 157 \text{ kWh}$$

となる。この方法は黒体炉などよりも電力費そのものが生産費に直接関係すると思はれる工業窯炉の蓄熱量の決定に利用できる。そして連続操業炉では蓄熱量を大きくして保温を充分にした方が得であるが、間けつ式炉では保温を薄くしても蓄熱量を小さくしておいた方が得であると考えられる⁴⁾。

第7図 補償型黒体炉壁温度分布図(1)

第8図 補償型黒体炉壁温度分布図(2)

第9図 補償型黒体炉壁温度分布図(3)

次に各温度において黒体状態になったときの補償型黒体炉の温度分布を図示すると第7図、第8図、第9図の

ようになる。このように炉内壁温度は通常の黒体炉に比べて不均一であるが、これで前記のように、また後述するように充分黒体炉とみなすことができる。円筒部分は一般に炉底温度より若干高いいわゆる補償型黒体炉になっている。

上下の温度は炉口附近で大きく開いてくるのは schlieren 写真で説明した⁵⁾通りであるが、しかし炉内温度が高いほど比較的上下温度の開きは少く、炉内温度が低いほど開きは大きい。高い温度では壁間相互の熱交換は放射によって促進され、上下温度は割に近づくが低い温度では対流が圧倒的となるので気流のちがひによって上下の温度がちがってくる。すなわち以前にも述べたように新しい冷い空気を下から吸込み上から吐くので炉口になるほど上壁の温度が下壁の温度より高くなる。しかし炉の口の方と奥の方の温度開きは同じ理由から低い温度の方がかえって少いようになる。

4. 補償型黒体炉と従来の黒体炉との実験的比較

補償型黒体炉が簡単な操作で従来の黒体炉に比べて同等以上の性能をもつことは理論的に充分説明できたが、実験的に立証できれば一層安心である。しかしもとより設備の不足、資材の窮乏のためその精度においてとうてい実験は理論におよぶべくもないが、若干の測定によってでき得る限り実証的なものを把むため、従来の黒体炉と補償型黒体炉との黒さをサーモパイルを用いて実験的に比較することにした。

まづ手始めに補償型黒体炉と金属熔融型の黒体炉とを比較することにした。補償型黒体炉が横型であるので、この金属熔融型の黒体炉も横型にすることを考え、大小二個のるつぽを重ねてその中間に熔融金属を入れて、それを横にした形で使用することをこころみだが、実際に

第10図 熔融金属型黒体炉

これは最も普通のもので、サーモパイルを炉の上からのぞかせて測定することにした。

しかし、この場合、炉からの全放射をサーモパイルに受けるために途中にガラスなどをおかないので、上昇気

流のためにサーモパイルが悪影響を受けるおそれがある。そこで以前に述べたように炉上に、ノズルできわめて薄い層の間だけ風を送って上昇気流をふき払ってその影響をなくすようにした。

熔融金属には銅、アンチモン、亜鉛を選んだ。銅を選んだのは経済的理由から金を選ぶことができず、銅がもっとも金点に近い凝固点をもつ手頃な金属であるからである。第11図(a)、(b)、(c)はこれらの金属が融解または凝固するときの温度の昇降の状態を示すが、一般に凝固のときの方が、融解のときよりも明確な定点を示している。銅とアンチモンの場合には内側のるつぽに

第11図 熔融金属型黒体炉の融解並びに凝固 (a) 銅の場合

第11図 熔融金属型黒体炉の融解並びに凝固 (b) アンチモンの場合

第11図 熔融金属型黒体炉の融解並びに凝固 (c) 亜鉛の場合

炉内の温度分布は炉の内管が充分深く熔融金属の中に入っているし、縦型炉であるので以前にも述べたように炉内の空気が自然によく攪拌されるなどの理由で第12図に示すようにきわめて一様になっている。したがって温度分布から言うと炉は充分黒いが、金属面自体が炉底に露出するのは黒さの上で非常に不利で若干不安であるので、アンチモンの場合には浸出した酸化物の上に砂糖をやいて薄く浮かして放射測定をおこなった。

このようにして熔融金属による定点式の黒体炉からの

第12図 熔融金属型黒体炉円壁温度分布

第1表 放射測定による黒体炉の黒さの比較 (I)
(a) 実測値

	温度 °K	実測値	K の 値
熔融金属型黒体炉	692.6	0.02593	2.057×10^{-4}
	903.5	0.07688	
	1396.3	0.3995	
補償型黒体炉	692.6	0.02584	2.091×10^{-4}
	903.5	0.07670	
	1296.3	0.3321	

(b) 熔融金属型黒体炉を標準としたときの補償型黒体炉の黒さの比較

温度 °K	比
692.6	0.9803
903.5	0.9814
1296.3	0.9791

放射をサーモパイルで測定してから補償型黒体炉をこれらの測定の場合とできるだけ近い温度の黒体放射と思はれる状態に、前記の方法により調整してから放射測定をおこなひ、両者を比較すると第1表のようになった。両者の場合

の炉底とサーモパイル受熱板との距離および角度をなるべく同じようにして測定した実際の値が表の (a) でこれらの値を同一温度、同一の照度係数 K に換算して相互に比較したのが (b) である。このように 2% 程度縦型炉の方が高い値を示す。これは後になってわかったことであるから、別に報告したように⁷⁾、サーモパイル自身が下向きか、水平向きかによって 2% 程度感度がちがうからである。

したがってこれを見込むとほぼ相等しいふれをもっていることになる。このような状態なので折角熔融金属型黒体炉をつくってこれと補償型黒体炉とを比較したのに結果的にはいづらか未だ釈然としないものがある。そこで、次に第13図に示すような従来よく使用されるところの白金線を発熱体とした小型の円筒型黒体炉と比較することにした。

この方は熔融金属型の黒体炉とちがって定点にしばらく

第13図 白金リボン抵抗式炉体黒

れず、任意の温度が選べるが、それだけに炉壁の温度を均一にすることが非常にむずかしい。殊に 30 cm 程度の全炉長で内径が 4 cm 以上になると上下の温度むらを取り除くことがきわめて困難になる。炉の軸に沿った方の温度むらは線のまき方で相当に均一にできるが、上下のむらは炉内の空気の流れによるものであるから炉内の空気をぬいてしまわぬかぎり、実際には処置がない。炉内の温度むらを測定するのに炉壁の温度を測定せず、炉心に沿って熱電対を動かして温度を測っている例を多くみるが、実際には熱電対の熱接点は炉内のほうぼうの壁から放射をうけるので、それでは単に炉心の各点における熱電対の熱接点の温度を測定しているにすぎないようには思はれる。それでここでは熱電対の熱接点を炉壁に充分接触させて温度むらをみた。

第14図 白金リボン抵抗式黒体炉温度分布

この場合には熱接点の発散率が炉壁のそれと等しいが、それ以下ならばほぼその壁の場所の温度を忠実に測っていることになる。第14図はこの白金抵抗線の黒体炉の炉内壁温度分布をとったのであるが、数回のまきなおしや、また内壁のおくの方に第13図のように鉄管をおいたりしたので温度分布は必要の範囲だけ充分に一様である得ようになった。そこで先に述べたように放射測定をおこなってみると第2表の (a), (b) のようになる。(a) は実際の測定値。(b) は温度、サーモパイルと炉底間の固有照度係数などを補償型の炉のそれと合せて比較し

第2表 放射測定による黒体炉の黒さの比較 (Ⅱ)
(a) 実測値

炉 種	温度 °K	実測値	K の 値
白金リボン黒体炉	682.3	0.002240	0.1914×10 ⁻⁴
	903.9	0.007051	
	1343.3	0.03505	
補償型黒体炉	692.6	0.02583	2.091×10 ⁻⁴
	903.5	0.07670	
	1296.4	0.3321	

(b) 白金リボン黒体炉を標準としたときの補償型黒体の黒さの比較

温度 °K	比
692.6	0.9974
903.5	0.9974
1296.3	1.0000

たもので、この場合には、両者は割によく合っている。第1表 (b) 第2表 (b) でみるような測定のばらつきはサーモパイルなどの測定の精度によるもので、この研究の設備の現状では致し方ない。

理論ほどに充分な精度を証拠立てることはできないが以上の三点で比較検討して補償型黒体炉が先に述べた操作で充分黒体炉として役立つことが一応実験的にもたしかめられたように思われる。

5. 判別の精度

かねて提案してきた判別法で補償型黒体炉が従来の黒体炉と同様等以上の黒さをもつことは実験的にも大凡了解できたが、その判別の精度が実際にはどの程度になるか検討してみたい。

5.1 単色放射の場合

Optical Pyrometer のような輝き温度計を目盛定めする場合には黒体炉を用いるとするとそれはその温度計に定められた波長の単色放射において黒体になって居れば充分である。したがって以前に述べたように温度計に特定の波長で炉底においた黒白面が消えれば厳密に黒体炉とみなすことができるが、その判別の目安となる黒白の差 γ と黒体からのずれ δ とは前に示したように

$$\varepsilon = \frac{(1-\varepsilon_\lambda)\gamma}{\varepsilon_\lambda - \varepsilon_\lambda' - (1-\varepsilon_\lambda)\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

であらわされる。ここで δ , γ は放射エネルギーの比の形であるから温度になおして考えることにする。 γ , δ ともに微量であると考えられる場合

$$\gamma = \frac{R_B - R_A}{R_A} \doteq \frac{dJ_\lambda}{J_\lambda}, \quad \delta = \frac{R_A - R_0}{R_0} = \frac{\delta J_\lambda}{J_\lambda}$$

としよう。 γ の方の分母の J_λ は厳密には $\varepsilon_\lambda J_\lambda + (1-\varepsilon_\lambda)k\lambda'$ であって J_λ ではないが、この場合 J_λ としてもほとんど計算に影響はない。ところで

$$J_\lambda = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$$

だから両辺の対数をとって

$$\log_e J_\lambda = -\frac{C_2}{\lambda T} + \log_e C_1 \lambda^{-5}$$

これを T について微分すると

$$\frac{dJ_\lambda}{J_\lambda} = \frac{C_2}{\lambda} \frac{dT}{T^2} \dots\dots\dots(2)$$

となる。そこで白と黒の温度差を ΔT , 黒側の温度と底の真の温度との差を δT とすると、(1)と(2)とから

$$\delta T = \frac{(1-\varepsilon_\lambda)\Delta T}{\varepsilon_\lambda - \varepsilon_\lambda' - (1-\varepsilon)\frac{C_2}{\lambda}} \frac{dT}{T^2}$$

すなわち
$$\frac{\delta T}{1-\varepsilon_\lambda} \doteq \frac{\Delta T}{\varepsilon - \varepsilon'}$$

いま人の眼で黒白を見分けるのに 900 °C 程度で、控え目にみても 1 deg. の差があれば充分黒白の区別がつくので $\Delta T = 1 \text{ deg.}$ とすると、前例のように $\varepsilon_\lambda = 0.95$, $\varepsilon_\lambda' = 0.2$ をとって

$$\delta T = 0.067 \text{ deg}$$

ε_λ の値がそれほど大きくなくて $\varepsilon_\lambda = 0.8$ としても

$$\delta T = 0.33 \text{ deg}$$

となり、黒白の差を人の眼でみて充分黒体の判定がつくことになる。 ΔT , δT が比較的大きな場合には、白または黒の輝き温度を S とすると

$$C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda S}} = \varepsilon_\lambda C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} + (1-\varepsilon_\lambda) K C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T'}}$$

これから

$$S = -\frac{C_2}{\lambda} \frac{1}{\log_e \left\{ \varepsilon_\lambda e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} + (1-\varepsilon_\lambda) K e^{\frac{C_2}{\lambda T'}} \right\}}$$

この式で $T = 1173 \text{ }^\circ\text{K}$ として T' にいろいろな値をとって白、黒の輝き温度を計算し、 ΔT , δT を算出すると第3表のようになる。

第3表 黒さの判別の精度 (単色放射の場合) 第4表 黒さの判別の精度 (全放射の場合)

T' °K	ΔT deg.	δT deg.	T' °K	γ %	δ %
1250	59.6	6.4	965.2	10	2.335
1200	20.2	1.6		5	1.129
1193	14.8	1.1		0	-0.050
1183	6.9	0.53		-5	-1.200
1163	-7.8	-0.48		-10	-2.325
1153	-15.0	-0.88	955.0	10	2.360
1133	-36.7	-1.9		5	1.141
1100	-48.4	-2.3		0	-0.050
				-5	-1.213
				-10	-2.349

$T = 1173 \text{ }^\circ\text{K}, \lambda = 0.65 \mu, \quad K = 0.99, \varepsilon_\lambda = \varepsilon + t/\lambda,$
 $K = 0.99, \varepsilon = 0.95, \varepsilon' = 0.2 \quad a = 0.9692, b = 291$

ε_λ が大きいので $T' - T$ が相当に高くなっても δ はそれほど大きくはならぬ。 $\delta = 0$ のときの $T' - T$ の値は ε_λ には無関係であったが、少しでもその値からずれると ε_λ が大きいほどその影響は少く δ の値は小さくてすむすなわち補償型黒体炉ではこの意味でも ε_λ が大きい

第15図 黒さの判別の精度
(単色全放射の場合)

Pyrometer での測定が 900 °C 前後で $\pm 5 \text{ deg}$ のばらつきをもつことを考慮に入るとこの程度でも傾向として充分に理論の正しさを裏書していることを知る。(そして実際に眼で黒白を判定することは Optical Pyrometer のよみの精度よりはるかに高い。)

5.2 全放射の場合

全放射で灰色体の場合は以前にも述べた通りであるが、炉底に酸化鉄のような選択放射体を用いた場合に δ と γ の関係は単に $\varepsilon, \varepsilon'$ だけをパラメータとせず K, T など入りこんで次の式であらわされる。

$$\delta = (1 - \gamma)(K - 1) - \frac{0.5323b(K - 1)}{T} + \left\{ 4(1 - a)K - \frac{1.597bK}{T} \right\} \times (1 - K) \left\{ \gamma(a + \frac{0.5323b}{T}) + (a - a') + \frac{0.5323(b - b')}{T} \right\} + \gamma K - 4K \left\{ \gamma \left\{ (1 - \gamma) - 0.3993 \frac{b}{T} \right\} (a - a') - 0.3993 \frac{b - b'}{T} \right\}$$

T の値に $T = 965.2 \text{ °K}$, 955.0 °K の二つの値をとり、 $K = 0.99$, $a = 0.9692$, $b = -291$, $a' = 0.2$, $b' = 0$ とし

て γ と δ との関係は算出すると第4表のようになる。50 deg 程度の T の値のちがいはほとんど影響されず、第16図では γ と δ とは同じ曲線であらわされる。そしてこの曲線は前述し

第16図 黒さの判別の精度 γ と δ
(全放射の場合)

た灰色体の場合同様にほとんど直線状である。図の×印

は 965 °K と 955 °K の二通りの温度で実測した値であるが、サーモパイルの精度が低いために多少ばらつくが、大体においてこの曲線の上に乗っている。

6. 結論

以上の実験から次のような結論が考えられる。

- (1) 補償型黒体炉は通常の黒体炉より簡単に調節実現できて、しかも通常の黒体炉の黒さと同等以上の黒さをもつことができる。
- (2) 黒体炉の黒さの判別には炉底に黒白2物質を相互にまたは同時において、その2物質からの全放射または輝きが一致したときをもって黒体とみなしてよい。この方法は判別の精度の方が目盛定めの精度より高いから、黒体炉で目盛定めしようとするレーザー自体で判別しても充分目盛定めできる。

以上述べたほかに判別法の相互の関係などについてすでに実験し、新に検討したものが残されているが、一回の報告には頁数の上でまとめかねるので次の機会に譲って発表したい。

終りにこの研究に日頃御教示をたまわっている尾本先生をはじめ田治米氏、および電気試験所の中路部長、百田課長にまた実際にいろいろ協力された山田、高久両君に深甚なる謝意を表します。(31-8-30受付)

参考文献

- 1) 上滝: 照明学会誌 37 7 249~249
- 2) 上滝: " 38 8 339~345
- 3) Beuken: Elektro-wärme Technik 49~53
- 4) 上滝: 熱管理 6 12 20~24
- 5) 上滝, 高久, 山田: 電気試験所彙報 20 4 49~53
- 6) 上滝, 高久, 山田: 電気試験所彙報 20 9