屋内照明設備における光束減退の 問題の理論的研究

エルンスト・ウィティヒ (故) ドラゴ・マタノビッチ

専門会員 黒沢 凉之助*

A Theoretical Study of the Problem Presented by Depreciation of the Luminous Flux in Interior Lighting Installations

By Ernst Wittig, † Drago Matanović and Rionoske Krossawa

ABSTRACT

The illumination level in an interior lighting installation is not constant but gradually drops from its initial highest value, in the lapse of time, due to the influence of several factors. The authors picked up and studied theoretically, among others, four factors as following: lamp depreciation, dust accumulation on the luminaires, dust and dirt deposition on the room surfaces and lamp failure. For studying the former two factors, exponential relations with respect to time were assumed, while a linear relation was also taken for a simpler approximation.

Some economic problems were solved: comparison between individual and group replacement of lamps, decision on the lamps replacement period, decision on the luminaires cleaning period, etc. Graphical methods and simple practical formulas were presented.

Conclusions from the studies on the second and third factors as above agree with those formerly given by P. Moon and D.E. Spencer and by R.N. Edwards jr.

Note:

This paper is published also in LUX, No. 28 (1964) p. 161 in French, in Lichttechnik, 17, 3 (1965) 27A in German and in IES Monograph No. 9 (Sept., 1965) in English. This study was carried out by the authors on behalf of the CIE Expert Committee E-3.1.1.1.

1. 保守率の定義

人工照明された室内において、ある点の照度または平均照度は一定なものではない。新しい設備の初期には最高で時間がたつと、いろいろな要因の影響でだんだん減る。平均照度 E または作業面にくる光束 F の、初期の値 E_0 または F_0 への比が保守率 v といわれ、これは1より小さい数である。

この率は、照明設備を設計するときたいせつな意味をもつ。そのわけは、設備の使用途中、ある定まった時期の終わりでもなお得られる照度や光束に比べると初期値

は問題にならないからである。それゆえ、ある設備を計画するとき、室の特定の状態や寸法に応じ、所要照度を得るに要する光束に、 $1/v$ を掛けたのが初期の値である。

2. 最小保守率と平均保守率

これについて、一定の値を決めることはできない。なぜなら相当に変化あるいろいろな要因が、照度や光束の減退に働くからである。保守率を考える時期にも関連がある。たとえば、これを用いて点灯期間中に起こり得る絶対的な最低照度 $E_{\min}$ を表わすこともできる。これは最小保守率 $v_{\min}$ である。しかし、点灯期間中の平均照度を表わすようにし、実際の照度が最初はこれより大きく、のちにはこれより小さくなるようにしてもよく、次

* 埼玉大学理工学部。当時は東京芝浦電気中央研究所。
他の2氏については追記を参照。

のように書かれる：

$$E_{\text{med}} = \frac{1}{T} \int_0^T E(t) dt. \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $E(t)$ は時刻 t における室の平均照度で、 T はこの場合に考えに入れなければならない全点灯時間である。これは平均保守率 v_{med} と呼ばれる。これは

$$v_{\text{med}} = E_{\text{med}}/E_0. \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 E_0 は施設が新しいときの平均照度である。施設についての計算は、次の場合にすることがよい：

1—新しいとき、すなわち照明器具は新しいときの状態で、ランプは 100 時間点灯したとき

2—ランプ光束が寿命中の平均光束に等しく、設備は作動中に予想される平均の状態にあるとき

保守率は第二の場合の照度が第一の場合の照度に対する比と定義される（もちろん、照度を光束に置きかえ $v_{\text{med}} = F_{\text{med}}/F_0$ としてもよい）。

2.1 ランプの劣化に対する保守率 v_a

一般にランプの光束は点灯時間に伴って減少する。点灯の初めあるいは点灯後 100 時間のとき最大で、寿命の終わりのとき最小である。寿命や、光束減退の割合や、時間特性はランプの種類、たとえば電球、高圧水銀ランプ、けい光ランプなどにより異なり、同じ型のランプでも製造の公差による個々の特性やバラツキ、点灯状態の違いにもよるし、製造者による違いはいうまでもない。

2.1.1 点滅の繰り返しの影響

けい光ランプについて注意しなければならないことは、あまりしばしば点滅すると、寿命や光束減退が不利な影響を受けるので、有効な寿命が点灯回数あるいは点灯 1 回当たりの点灯時間に依存することである。そのほか、電球などでは光束が点滅の影響を受けないが、水銀タングステンランプだけは、しばしば点滅すると、寿命が縮み、光束減退も正常点灯すなわち 1 回の点灯で 3 時間以上つけるときよりはひどくなる。

2.1.2 ランプ交換の方法

たいていのというか、多くのランプを用いた照明設備において、この設備が使用を開始された瞬間およびその後のある期間は、どのランプも寿命と光束減退について同じ特性をもつであろう。しかしながら個々のランプがつかなくなるのは、一般には、相異なるとき、すなわち平均寿命より前だったり後だったりするから、点灯時間が長くなると新しいランプと新しくないランプとが、すなわち光束の違うものがあるようになる。もっともこれはどのランプもつかなくなり次第、新しいものと取り換える場合のことである（個別交換）。

大きな設備で、特にランプ交換に相当の時間と費用とを要する場合、たとえば高天井工場、面積の広い施設、はしごや足場を使うと生産が妨げられたり中断されたり

するところなどでは、施設中のランプ全部あるいは少なくともその一部のランプ全数を、定格平均寿命がくる前に取り換えるほうが、一般にはつごうよくかつ経済的である（集団交換）。

2.1.2.1 個別交換

個々のランプを切れたたばに取り換えていると、時がたつにつれ、古さ、したがって光束の異なるランプが施設全体に分布して、ほとんど定常な状態になる。ランプの数が増せば、このような分布はだんだん一樣になる。この場合重要な役割をするのは、同じ型の多数のランプから統計的に求められ、全数への割合として表わされたところの、個々のランプの現実の寿命を示す曲線（いわ

第 1 図 けい光ランプの寿命の確率曲線

ゆるガウスの確率曲線。第 1 図）である。とりわけ、この曲線はランプ製造の質の目安でもある。製造が均一であればあるほど、大体の定格寿命より前に切れるランプは少なくなる。生残率曲線はある点灯時間以後に残っているランプの数の割合を示すものである（第 2 図）。

第 2 図 けい光ランプの生残率曲線

施設内の、これら、寿命の異なるランプの平均光束は寿命、すなわち、一般に定格平均寿命 T としてだけ知られる寿命の関数としての光束減退から求められる（第 3 図）。生残率曲線が正当なものとしたら、ランプによっては、定格寿命後も、初めのロットあるいはその次のロットに属するランプの最後のものが、ほぼ定格寿命の 2 倍すなわち $2T$ だけたって切れるまで残るものもあることを考慮に入れなければならない。推定による光束減退曲線（第 3、4 図）は、それゆえ、時刻 T を越え時刻 $2T$ まで補外されなければならない。この延長部分は光

第 3 図 けい光ランプの光束減退

第 4 図 高圧水銀ランプの光束減退

束減退が指数法則に従うという仮定に基づいてよい。時刻 t における光束は

$$F(t) = F_0(\gamma + \beta \exp(-t/\tau)) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに F_0 は初光束, τ は光束減退の時定数, β は無限に長い時間の減退によって失われる光束の初期値への割合で, γ は $1 - \beta$.*

もしも F_1 = 時刻 t_1 における光束,
 F_2 = 時刻 $t_2 = 2t_1$ における光束,

また,

$$a = (1 - F_2/F_0)/(1 - F_1/F_0) \quad \dots\dots\dots(4)$$

とすれば, 次のことが証明できる (付録 1):

$$\exp(t_1/\tau) = 1/(a-1), \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\beta = (1 - \gamma)/(2 - a) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$t \rightarrow \infty$ のときの光束はほぼ $2T$ のときのそれととれるから, 定格寿命の 2 倍のときまだ得られる光束は,

$$t_1 = T/2, \quad t_2 = T$$

における光束を測定値および曲線の延長からとれば容易に求められる。

全施設の総ランプの平均光束は, それゆえ, 次の式から得られる:

$$F_{\text{med}} = \frac{1}{2T} \int_0^{2T} F(t) dt \quad \dots\dots\dots(7)$$

個別交換の場合, ランプの劣化に対する保守率は次の式から得られる:

* けい光ランプについては文献 (2) をも見よ。

$$v_a = \frac{F_{\text{med}}}{F_0} = \gamma + \frac{\beta\tau}{2T} (1 - \exp(-2T/\tau)) \quad \dots\dots\dots(8)$$

2.1.2.2 集 団 交 換

大規模な照明施設や工場で, ランプ交換のためはしごや足場を立てると仕事のじゃまになるところでは, 一つ一つのランプを切れるたびに切り換えるのは適当でない。かような場合, 集団交換が推奨される。この方法では, 施設の全体またはその一部のランプを, 定格寿命より前, たとえ使える状態であっても新しいものと切り換える (早期に切れてしまった少数のランプは, 必要なら初期の一团からとった, ほぼ同じくらい使われたランプに取り換える)。

早期には, 切れても決して取り換えない場合, 時刻 t で, なおついているランプの数 $n(t)$ は第 2 図から求められ, ランプが古くなったための光束減退あるいはこの時刻における現実の光束 $F(t)$ は適当な曲線 (たとえば第 3 または 4 図) から求められる (経済時刻 $t_{\text{e min}}$ すなわち, それ以後は個別交換より集団交換のほうがいいという時刻については 5.1 を見よ)。

集団交換を行なうとき, 点灯時間によるランプの劣化に対する最小保守率は

$$v_{a \text{ min}} = (F(t)/F_0)l(t) \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここに, $l(t) = n(t)/n$ は時刻 t でまだついているランプの数が施設内のランプの総数に対する比である。 $l(t)$ は第 2 図から求まる (2.4 をも見よ)。

1.2 で推奨された平均保守率 $v_{a \text{ med}}$ については, ランプ光束の減退と, ついているランプの数の減少とを考慮しなければならない。この二つとも時間 t に依存するから

$$v_{a \text{ med}} = \frac{1}{t} \int_0^t l(t) dt \cdot \frac{1}{Q_0} \int_0^t F(t) dt \\ = \left\{ \gamma + \frac{\beta\tau}{t} (1 - \exp(-t/\tau)) \right\} \frac{1}{t} \int_0^t l(t) dt \quad \dots\dots\dots(10)$$

2.2 ランプや照明器具のよごれに対する保守率 v_d

光束や照度が時間とともに, 初期値から減退するもう一つの理由は, ランプや器具へのちりやよごれの集積である。これは, ランプの劣化が現実点灯している間だけ起こるに対し, 実際, 総時間にわたる連続的な経過である。よごれの程度は一般に, ランプが点灯しているときのほうが, 消えているときよりも大きい。しかし実用上平均照度がよごれのため一様に減退すると仮定する。

ランプや器具へちりが積もるための光束減退は, 合理的と思われる程度の精密さで, 時間の指数関数として表わされる。

$$F_v = F_0 \beta (1 - \exp(-t/\tau)) \quad \dots\dots\dots(11)$$

ここに, F_v は時刻 t における損失光束, F_0 は初期の光束, β は無限に長い時間のちりよごれのため失われる

光束の初期値への比, τ はよごれによる減退過程の時定数. $\gamma=1-\beta$ とすると時刻 t において得られる光束は次の式から求められる:

$$F(t) = F_0 - F_v = F_0(\gamma + \beta \exp(-t/\tau)) \dots\dots\dots(12)$$

これより最小保守率が計算できる. 時刻 t において

$$v_{d \min} = F(t)/F_0 = \gamma + \beta \exp(-t/\tau) \dots\dots\dots(13)$$

t までの間の平均光束は

$$F_{\text{med}} = \frac{1}{t} \cdot F_0 \int_0^t (\gamma + \beta \exp(-t/\tau)) dt$$

t までの間のよごれによる平均保守率 (1.2 でいわれた) は

$$v_{d \text{ med}} = F_{\text{med}}/F_0 = \frac{\gamma t + \beta \tau (1 - \exp(-t/\tau))}{t} \dots\dots\dots(14)$$

定数 β , γ , τ はよごれによる光束の減退率曲線 (たとえば測定から求められた) から, またはこの曲線上, 同じ時間間隔だけ離れた二つの測定点から計算できる.

$$\exp(t_1/\tau) = 1/(a-1),$$

ここに, $a = (1-v_2)/(1-v_1)$,

$$\beta = (1-v_1)/(2-a) = (1-v_1)/(1 - \exp(-t/\tau)),$$

$$\gamma = 1 - \beta,$$

第 5 図 ちりの集積による器具の光束減退

また v_2 , v_1 は, それぞれ時刻 t_2 , t_1 においてよごれによる減退率で, $t_2=2t_1$ (付録 1 と第 5 図参照).

2.3 室内面のよごれその他に対する保守率 v_w

天井, 壁, 床のよごれによる反射率の減少の影響も, また全時間に依存し, かつ室内に存在したまたは発生するちりの種類と性質とによる. けれども減少率が作業面の照度に及ぼす影響は, 室の状態および光が室内に分布する様子によって変わる. 直接照明の場合, 作業面の照度は, 天井がひどくよごれてもほとんど減らないが, 壁がよごれると, 比較的小きな狭い室ではいくらか減り方が多く, 大きな広い室ではあまり減らない. 一方, 間接照明では, 作業面の照度は壁や天井がよごれると著しく変わる. しかし室内面の反射率は減るばかりではなく, たとえば小麦粉やセメントなどのような明るい色のごみがあると, 施設が新しかったときの初期反射率に比べ増しさえする.

室内面の反射率の変化による光束の時間的変化は, 2.2 におけるように, 合理的精密さをもって指数関数で表わされる. これらの変数を, 天井, 壁, 床の, いわゆる相互反射成分のおおのについて決定し, これら成分を作業面上の直射光束に加えるのが最もいい. 真の直射成分が室内面のよごれによる変動を受けないのは当然である.

F_u を作業面上の全光束, F_d を作業面上の直射光束, F_i を天井, 壁, 床から反射して作業面に来る光束とすると

$$F_u = F_d + F_i = F_d + \sum_1^n u_n F_n \dots\dots\dots(15)$$

ここに, u_n は面 n の部分照明率で, F_n は灯器から面 n へ直射する光束である.

面 n の反射率の, 初期値を ρ_{n0} , よごれて最も悪い条件のもとでの値を $\rho_{n \min}$, 点灯時間 T の間の平均状態での値を $\rho_{n \text{ med}}$ とすると

$$\rho_{n \min} = \rho_{n0}(\gamma + \beta \exp(-T/\tau)) \dots\dots\dots(16)$$

$$\begin{aligned} \rho_{n \text{ med}} &= \frac{\rho_{n0}}{T} \int_0^T (\gamma + \beta \exp(-t/\tau)) dt \\ &= \rho_{n0} \left(\gamma + \frac{\beta \tau}{T} \exp(-T/\tau) \right) \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

ここに, β , γ , τ はよごれる過程の定数である. n 個の面のよごれが最もひどい場合だけを考慮しての最小全光束は

$$F_{n \min} = F_d + \sum_1^n u_{n \min} F_n \dots\dots\dots(18)$$

ここに, $u_{n \min}$ は面 1 から面 n まで, どの面も T 時間後に反射率 $\rho_{n \min}$ になったときの, 面 n の部分照明率である. 点灯時間 T の間の平均状態のもとでの, よごれによる平均全光束は

$$F_{u \text{ med}} = F_d + \sum_1^n u_{n \text{ med}} F_n \dots\dots\dots(19)$$

ここに, $u_{n \text{ med}}$ は面 1 から面 n まで, どの面も T 時間中の平均反射率 $\rho_{n \text{ med}}$ になったときの, 面 n の部分照明率である.

それゆえ, 室内面のよごれによる部分保守率は, 最小条件のもとでは

$$v_{w \min} = \frac{F_d + \sum_1^n u_{n \min} F_n}{F_d + \sum_1^n u_{n0} F_n} \dots\dots\dots(20)$$

ここに, u_{n0} は初期における面 n の部分照明率である. 平均状態における部分保守率は

$$v_{w \text{ med}} = \frac{F_d + \sum_1^n u_{n \text{ med}} F_n}{F_d + \sum_1^n u_{n0} F_n} \dots\dots\dots(21)$$

実用上は、こんな部分保守率 v_w を計算するより、天井、壁、床の最小または平均反射率を用いて平均照度またはこれに相応する光束を求めたほうが、容易かつ便利である。

2.4 つかないランプに対する保守率 v_f

2.1, 2.2, 2.3 で扱ったランプの老化、ランプや器具のよごれ、室内面のよごれに対する保守率の場合、いつも施設内の総ランプが点灯し、これが切れればすぐ交換されると仮定した。しかし集団交換の場合(2.1.2.2), 大施設においては少数のランプが早く、すなわちこれらランプが属する集団の交換時期よりも前に切れ、全数が交換されるまではそのまま置かれる。2.1.2.2 において集団交換の場合の最小および平均の保守率を計算するとき、すでにこの早期断線ランプの数を考慮した。けれども同じように個々のランプがすぐには交換されない場合、断線に対する保守率は、最小にせよ平均にせよ、計算に含まれなければならない。

最小保守率 $v_{f \min}$ は、ランプが切れて、残っているランプの総数が落ち着く最小の値 $l_{\min}$ ととるべきである。

平均値は

$$v_{f \text{ med}} = \frac{1}{t} \int_0^t l(t) dt \quad \dots\dots\dots (22)$$

より、または近似的に

$$v_{f \text{ med}} = \frac{l_{\min} + 1}{2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

より求められる。ここにランプの断線は、 t までの全期間にわたり一定した割合で起こると仮定する。

3. 全 保 守 率 v

照明施設の平均照度——2. で推奨された平均点灯状態においてでも、また最小値としてでも——を得るに要する光束を求めるため、期待される平均照度または最小照度に相応する光束に、損失分だけを増しておかなければならない。損失分は次のことによる：

- 時間に伴うランプの劣化 (2.1),
- ランプや器具のよごれ (2.2),
- 室内面のよごれ (2.3),
- ランプの断線 (2.4),

長い間の点灯後の最小照度に基づくか、施設の平均点灯状態 (2. で推奨された) に基づくかにより、求められた光束に

$$1/v_{\min} \quad \text{か} \quad 1/v_{\text{med}}$$

かを掛ける。ここに

$$v_{\min} = v_a \min \times v_d \min \times v_w \min \times v_f \min, \dots\dots\dots (24)$$

$$v_{\text{med}} = v_a \text{ med} \times v_d \text{ med} \times v_w \text{ med} \times v_f \text{ med}, \dots\dots\dots (25)$$

4. 照明施設の点灯状態に影響する他の要因

保守率を求めるとき、光源や器具の光束に働く影響で考えに入れられないものが、ほかにもたくさんある。これらは、たとえば、電圧の変動による光束の変化、または、けい光灯の場合、周囲温度が正常な室温からはずれるためのそれを含む。これらの要因はランプや器具の型によって支配される。電球や水銀灯では周囲温度の影響はほとんどわからない。しかしこの要因は、けい光灯には重大な役割を演じ、しかも器具の型によって変わる。たとえば開放形けい光灯器具での影響は、全密閉形器具のそれとは異なる。電球の光束は電圧によって著しく変わるが、放電灯やけい光灯への電圧の影響は小さく、かつ点灯装置の型にもよる。

それゆえ、これらの影響を器具の保守率に含ませることは、しきたりにもなっていないし、得策でもない。電圧の影響はランプ光束を決めるときに考えに入れられ、温度の影響は器具を選ぶときに考えに入れられる。

5. 経 済 上 の 問 題

保守率に結びついた問題は、まだいくつかある：ランプの個別交換と集団交換との、どちらがつごうのよい方法かという経済的問題や、ランプ、器具、また室内面の最も経済的な掃除の時期である。

5.1 ランプの個別交換と集団交換

個別、集団交換のどちらが経済的か、それから、後の場合、最も好ましい交換時期はという問題は、まず賃金に依存するが、またランプの定格寿命、その価格、点灯時間と光束減退との関係、生残率曲線の形、なお電力料金にも依存し、しかもこれらの要因は場合によって変わる。ランプの劣化や断線による光束減退または照度低下をどこまで許すかも、また考えに入れなければならない。

それゆえ、電力とランプ交換とに対する総経常費を、個別、集団両交換について計算し、かつ後者ではランプの断線率が異なるに従い、異なる点灯時間 t についてしよう。個別、集団両交換の費用が等しいような点灯時間 t を求めることはできる。ということは、この瞬間 $t_{\min}$ からのち、集団交換のほうが個別交換よりも経済的になるというのである。

この時期は、次の式から図計算で求められる(付録 2)。

$$\int_0^t l(t) dt = t(c_1 + c_2) \{ \gamma 2T + \beta \tau (1 - \exp(-2T/\tau)) \} \\ / [2(TrP + c_1 + c_2) \{ \gamma t + \beta \tau (1 - \exp(-t/\tau)) \} \\ - trP \{ 2\gamma T + \beta \tau (1 - \exp(-2T/\tau)) \}] \quad \dots\dots\dots (26)$$

ここに、 $l(t)$ = 時刻 t において、まだついているランプの数の全ランプ数 n への比 (第 2 図参照)。

T : ランプの定格寿命 [h],

r : 電力料金 [通貨単位/kWh],

P : ランプ 1 灯当たり消費電力 [kW],

c_1 : ランプの単価,

c_2 : 個別交換のとき, ランプ 1 灯当たりの賃金,

c_3 : 集団交換のとき, ランプ 1 灯当たりの賃金,

τ : 光束減退の時定数,

β, γ : 光束減退経過における定数.

る光束でわかる:

$$F(\infty) = \gamma F_0 \quad (27)$$

よごれの集積が, ごくわずかな室で, 直接照明の場合, 掃除はしないでもいいことがある. しかしよごれがいくらかひどいと思われるなら, ランプと器具とは, 定期的に, 系統的に掃除しなければならない. さもないと照度は低下し, もう役に立たないほどになってしまう.

掃除の時期は, たとえば, ある決められた最小値 (よごれによって支配されるところの) で $v_{d \min}$ の, はっきりした値に相当するものに依存できる. この場合の時間間隔は

$$t = \tau \{ \ln \beta - \ln (v_{d \min} - \gamma) \}. \quad (28)$$

しかし, こうしないで, 最も経済的な掃除間隔を, よごれのため吸収される光束に要する電力費と, 器具清掃費とを考へに入れて定めてもいい. 2 回の掃除間の最適間隔 t_{opt} は, こうして

$$t_{opt} = \frac{ec}{Prq\beta} + (3-e)\tau$$

$$= \frac{2.72c}{Prq\beta} + 0.28\tau. \quad (29)$$

ここに, c : 器具 1 個当たり清掃費 [通貨単位],

P : 器具 1 個当たり消費電力 [kW],

r : 電力料金 [通貨単位/kWh],

q : 毎日の点灯時間の割合,

β, γ : よごれる過程の定数 (付録 3).

第 6 図 個別交換か集団交換かを定める時期の計算 (40W けい光ランプ)

第 7 図 個別交換か集団交換かを定める時期の計算 (250W 水銀ランプ)

例として, 個別, 集団両交換の費用が等しくなる時刻 $t_{e \min}$ を 40 W けい光灯 (第 6 図) と 250 W 水銀灯 (第 7 図) について計算してある. ここで曲線 1 は式 (26) の左辺, 2 は右辺, 3 は近似計算するため右辺を変形したものである.

5.2 最適掃除時期

もしも, ランプも器具も掃除しないなら, 十分長い期間がたってからの点灯状態は, そのときなお存在してい

第 8 図 経済的掃除間隔の図式決定

計算を簡単にするため, よごれによる光束の時間に対する減退を指数曲線ではなく直線であると仮定してもいい. よごれかたがいくらか少ないか遅いなら, ランプと器具との清掃の経済的間隔は近似的に

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{2c}{Prqg}}, \quad (30)$$

あるいは, ちりの積もりかたがひどい場合には, この経済間隔は

$$t_{opt} = -\frac{c}{Pqr} + \sqrt{\frac{c^2}{P^2q^2r^2} + \frac{2c}{Prqg}}, \quad (31)$$

によって定めたほうがいい. ここに g は, よごれによる単位時間当たりの光束減少の割合である (付録 3a).

付 録 1.

時間に伴うランプの劣化やよごれによる光束減退につき実測による曲線の近似としての指数曲線の時定数 τ および β , γ の計算

時刻 t において枯化またはよごれにより失われている光束は

$$F_v = F_0 \beta (1 - \exp(-t/\tau)). \quad \dots\dots\dots (32)$$

ここに, F_0 は初光束, τ は時定数, β は初光束 F_0 のうち, 枯化またはよごれのため, 無限に長い時間のうち失われる光束の割合である。それゆえ時刻 t において, なお得られる光束は

$$F(t) = F_0 - F_v = F_0 \{1 - \beta(1 - \exp(-t/\tau))\}. \quad \dots\dots\dots (33)$$

$\beta + \gamma = 1$ とすると, 時刻 t における保守率 (枯化またはよごれによる) は

$$v(t) = F(t)/F_0 = \gamma + \beta \exp(-t/\tau). \quad \dots\dots\dots (34)$$

時間に伴う光束減退が測定されるか, またはこの曲線で時刻 t_1 および $t_2 = 2t_1$ における値がわかれば

$$v_1 = \gamma + \beta \exp(-t_1/\tau),$$

$$v_2 = \gamma + \beta \exp(-t_2/\tau)$$

から

$$a = \frac{1-v_2}{1-v_1} = \frac{1-\exp(-t_2/\tau)}{1-\exp(-t_1/\tau)}, \quad \dots\dots\dots (35)$$

これを変形して $t_2 = 2t_1$ に注意し

$$(\exp(t_1/\tau))^2 - \frac{a}{a-1} \exp(t_1/\tau) + \frac{1}{a-1} = 0,$$

$$\therefore \exp(t_1/\tau) = \frac{a \pm (a-2)}{2(a-1)},$$

これは 1 に等しくはないから

$$\exp(t_1/\tau) = \frac{1}{a-1}. \quad \dots\dots\dots (36)$$

なお

$$1 - v_1 = \beta(1 - \exp(-t_1/\tau))$$

などから

$$\beta = \frac{1-v_1}{1-\exp(-t_1/\tau)} = \frac{1-v_1}{2-a} = \frac{1-v_2}{1-\exp(-t_2/\tau)},$$

$$\gamma = 1 - \beta = \frac{1+v_1-a}{2-a}.$$

指数式の近似をためすため, 時定数 τ と定数 β , γ とを, 次の 2 曲線について, 曲線上の 2 点から求めた:

(a) 水銀灯の劣化による光束減退 (第 4 図)

(b) 器具のよごれによる光束減退 (第 5 図)

(a) の曲線は計算値と比較されたもので, かつ得られた値からさきへ定格寿命の 2 倍まで延ばされたものである。(b) では, 計算値を単に測定値と比較しただけである。どちらも, ずれはほんのわずかである。

付 録 2.

個別交換と集団交換との費用の比較および集団交換のときの経済的最小時期の決定

記号:

$Q(2T)$: 定格寿命の 2 倍のときまでに, ランプ 1 個から出る総光量 [lm h],

$Q(t)$: 時間 t までにランプ 1 個から出る光量 [lm h],

F_0 : ランプ 1 個の初光束 (100 h 後),

$F(t)$: 時刻 t におけるランプ 1 個の光束 [lm],

β , γ : ランプの劣化を示す関数の定数,

τ : この関数の時定数,

r : 電力料金 [通貨単位/kWh],

P : ランプ 1 個の消費電力 [kW],

c_1 : ランプの単価,

c_2 : 個別交換に対する 1 灯当たり賃金,

c_3 : 集団交換に対する 1 灯当たり賃金,

n : この照明設備の総灯数,

$l(t)$: 時刻 t においてなおついている灯数の, 施設の総灯数への比。

個別交換と集団交換との費用が等しくなる時刻 $t_{0 \min}$ を求めよう。この時刻より前では個別交換のほうが経済的, これより後では集団交換のほうが経済的である。

費用はランプの電力費と交換の賃金とよりなる。光出力だけでなく, ついているランプの数も (集団交換の場合は) 時間 t で変わるから, これらの費用も, 時間 t の経過とともに生じる光量 [lm h] に関係づけるのがつづうがいい。

A. 個 別 交 換

ランプの中には定格寿命の 2 倍ももつがあるから, この時間 $2T$ と, この間に得られる光量 $Q(2T)$ とを考えるべきである。

(a) 光量当たり電力費

$$k_1' = \frac{nrP \times 2T}{Q(2T)} = \frac{nrP \times 2T}{\int_0^{2T} F(t) dt}$$

(b) 光量当たりランプ交換費

$$k_2' = \frac{2n(c_1 + c_2)}{Q(2T)} = \frac{2n(c_1 + c_2)}{\int_0^{2T} F(t) dt}$$

B. 集 団 交 換

この場合は, ランプの光出力が時間 t とともに減り (第 3, 4 図), なおこの時間中にランプが一つずつ, つかなくなる (生残率曲線, 第 2 図) ことを考えに入れなければならない。それで, 時刻 t においてはわずか $l(t)n$ 個だけしかついでいない。

(a) 光量当たり電力費

$$k_1'' = \frac{nrPt \int_0^t l(t) dt}{Q(t)t} = \frac{tnrP \int_0^t l(t) dt}{\int_0^t F(t) dt \int_0^t l(t) dt}$$

$$= \frac{tnrP}{\int_0^t F(t) dt}$$

(b) 光量当たりランプ交換費

$$k_2'' = \frac{n(c_1+c_3)t}{Q(t) \int_0^t l(t) dt} = \frac{n(c_1+c_3)t}{\int_0^t F(t) dt \int_0^t l(t) dt}$$

集団交換に対する最小経済時間 $t_{e \min}$ は、場合 **A**, **B** の費用が等しくなるという条件で定められる。すなわち

$$k_1' + k_2' = k_1'' + k_2'',$$

したがって

$$\frac{2TnrP + 2n(c_1+c_3)}{\int_0^{2T} F(t) dt} = \frac{tnrP}{\int_0^t F(t) dt} + \frac{tn(c_1+c_3)}{\int_0^t F(t) dt \int_0^t l(t) dt},$$

$$\int_0^t l(t) dt = t(c_1+c_3) \int_0^{2T} F(t) dt$$

$$\left/ \left\{ 2(TrP + c_1+c_3) \int_0^t F(t) dt - trP \int_0^{2T} F(t) dt \right\} \right. \dots \dots \dots (37)$$

付録 1. に示すように、 $F(t)$ を指数関数で置き換えてもいいから

$$\int_0^t F(t) dt = F_0 \{ \gamma t + \beta \tau (1 - \exp(-t/\tau)) \},$$

$$\therefore \int_0^t l(t) dt = t(c_1+c_3) \{ 2\gamma T + \beta \tau (1 - \exp(-2T/\tau)) \}$$

$$\left/ [2(TrP + c_1+c_3) \{ \gamma t + \beta \tau (1 - \exp(-t/\tau)) \} - trP \{ 2\gamma T + \beta \tau (1 - \exp(-2T/\tau)) \}] \right. \dots \dots (38)$$

この式は図計算で解ける。時間 t の関数として $\int_0^t l(t) dt$ を第 2 図の曲線から求め、また右辺を計算し、両方を t の関数として曲線にえがく。それらの交点が $t_{e \min}$ を与える。第 6 図には 40 W けい光灯の、また第 7 図には 250 W 水銀灯の例がある。計算は集団交換の場合の賃金の式において、 $l(t)$ の曲線を直線で置き換えれば、いくらか簡単になる。分母の $(\int_0^t l(t) dt)/t$ は $(l(t)+1)/2$ と書かれる。 $t_{e \min}$ を決める式は

$$\int_0^t l(t) dt = \frac{(l(t)+1) \int_0^t F(t) dt}{rP \int_0^{2T} F(t) dt} (rPT + c_1+c_3) - \frac{c_1+c_3}{rP}$$

$$= \frac{(l(t)+1)(TrP + c_1+c_3) \{ \gamma t + \beta \tau (1 - \exp(-t/\tau)) \}}{rP \{ 2\gamma T + \beta \tau (1 - \exp(-2T/\tau)) \}}$$

$$- \frac{c_1+c_3}{rP} \dots \dots \dots (39)$$

この式も第 6, 7 図にかいてある。見られるとおり、これらの計算方法のどちらも、結果のずれはたいしたことない。もちろん、ずれはランプの断線 (第 1 図, ラン

プ寿命のガウス確率曲線) の、ばらつきが広い場合や、生残率曲線 (第 2 図) が滑らかまたは平らな場合、いくらか大きくなる。

付 録 3.

ランプや器具の清掃の、最も経済的な時期の決定

記号:

- c : 器具 1 個当たりの清掃費,
- q : ランプをつけている時間の割合,
- r : 電力料金 [通貨単位/kWh],
- P : 1 灯当たりの消費電力 [kW],
- β : よごれの集積の定数 (付録 1 を見よ),
- τ : よごれの集積の時定数 (付録 1 を見よ).

掃除をしないと、ランプ光束 F_0 の一部は時間 t とともに失われる。これは次の式で表わされる:

$$Fv = F_0 \beta (1 - \exp(-t/\tau)) \dots \dots \dots (40)$$

時間 t のうちに失われる光の量は

$$Qv = Fvtq$$

$$= F_0 q \beta \int_0^t (1 - \exp(-t/\tau)) dt$$

$$Qv = F_0 q \beta \{ t - \tau (1 - \exp(-t/\tau)) \} \dots \dots \dots (41)$$

時間 t の間に、つくられる光の量は

$$Q_0 = F_0 qt$$

それゆえ、 Q_0 に対する損失の割合は

$$\frac{Qv}{Q_0} = \beta \left\{ 1 - \frac{\tau}{t} (1 - \exp(-t/\tau)) \right\} \dots \dots \dots (42)$$

失われた光量の代価は

$$K_1 = rPqt\beta \left\{ 1 - \frac{\tau}{t} (1 - \exp(-t/\tau)) \right\},$$

あるいは単位点灯時間当たりの費用は

$$k_1 = \frac{K_1}{qt} = rP\beta \left\{ 1 - \frac{\tau}{t} (1 - \exp(-t/\tau)) \right\} \dots \dots (43)$$

これらに、器具 1 台当たりの掃除費を加えなければならぬ; 単位点灯時間当たり、この費用は

$$k_2 = c/qt.$$

単位点灯時間当りの、損失光量と器具掃除との総費用は次の式で計算される:

$$k = k_1 + k_2 = rP\beta \left\{ 1 - \frac{\tau}{t} (1 - \exp(-t/\tau)) \right\} + \frac{c}{qt} \dots \dots (44)$$

器具掃除の最もつごうのいい時間間隔 t_{opt} は

$$\frac{dk}{dt} = rP\beta \left\{ \frac{\tau}{t^2} (1 - \exp(-t/\tau)) - \frac{1}{t} \exp(-t/\tau) \right\} - \frac{c}{qt^2} = 0$$

から求められる。これを書き換えて

$$\frac{c}{qrP\beta\tau} = 1 - \exp(-t/\tau) - \frac{t}{\tau} \exp(-t/\tau) \dots \dots (45)$$

指数関数 $1 - \exp(-t/\tau) - t/\tau \exp(-t/\tau)$ を t/τ に対し

てえがけば (第 8 図), 最適掃除間隔 t_{opt} は, 特段の場合に c, g, r, P, β, τ がわかり, この曲線から求められる. 曲線は $t/\tau=1$ の点で方向を代える. ここでは

$$c/qrP\beta\tau=(e-2)/e.$$

この関数 $1-\exp(-t/\tau)- (t/\tau)\exp(-t/\tau)$ の接線の傾きは

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \frac{dy}{dx} = \exp(-t/\tau) - \exp(-t/\tau) + \frac{t}{\tau} \exp(-t/\tau) \\ &= \tau \exp(t/\tau)\end{aligned}$$

で, 変曲点では $t/\tau=1$ ゆえ $\tan \alpha=1/e$.

変曲点における接線の式は

$$\frac{c}{qrP\beta\tau} \frac{e-2}{e} = \frac{1}{e},$$

$$\frac{ec}{qrP\beta} = \left(\frac{t}{\tau} - 1 + e - 2 \right) \tau = t - \tau(3-e).$$

接線が曲線にはほぼ一致する範囲, すなわち

$$0.1 < c/qrP\beta\tau < 0.5$$

では, 最適掃除間隔として

$$t_{\text{opt}} = \frac{ec}{qrP\beta} + \tau(3-e) = \frac{2.72c}{qrP\beta} + 0.28\tau. \dots\dots(46)$$

付 録 3a

ランプ, 器具の最適掃除間隔の近似計算

記号は付録 3 のものに, よごれによる単位時間当たり光束減退の割合 g を加える.

ランプ, 器具の最も経済的な掃除間隔の簡易計算法として, 光束が, ちりやよごれの積もるため, 時間に対し直線的に減るものとする. それで t 時間内の平均光束は

$$F_{\text{med}} = F_0(1-gt/2). \dots\dots\dots(47)$$

この間に 1 回掃除するとしての総照明費は

$$C = rPqt + c$$

それゆえ, 単位光束当たり照明費は

$$k = \frac{C}{F_0(1-gt/2)t} = \frac{rPqt + c}{F_0(1-gt/2)t}. \dots\dots\dots(48)$$

k を t について微分して 0 に等しいとおくと

$$\begin{aligned}\frac{rPqg}{2} t^2 + cgt - c &= 0, \\ t^2 + \frac{2c}{rPq} t - \frac{2c}{rPqg} &= 0. \dots\dots\dots(49)\end{aligned}$$

よごれかたがわずかでどの場合, 第 2 項を無視でき

$$t_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2c}{rPqg}}. \dots\dots\dots(50)$$

よごれかたがはげしいときは, 式全体を考え

$$t_{\text{opt}} = -\frac{c}{rPq} + \sqrt{\frac{2c}{rPqg}}.$$

参 考 文 献

- (1) J. Kilian : Zur Frage der Lebensdauer elektrischer Lampen. Elin-Zeitschr. III (1951), H. 4.
- (2) E.F. Lowtry : The physical basis of some aspects of fluorescent lamp behavior. Illum. Engng. 47 (1952) 639~647.
- (3) E. Wittig : Einzel- oder Gruppenauswechslung von Lampen? Lichttechnik 15, 10 (1963) 511~514.
- (4) R.N. Edwards jr. : Maintenance factors for interior lighting. Illum. Engng. 56 (1961) 355~364.
- (5) D. Matanović : Ein Beitrag zur Bestimmung des optimalen Zeitabstandes der Reinigung von Beleuchtungsanlagen. Lichttechnik 11, 7 (1959) 382~384.
- (6) P. Moon and D.E. Spencer : Lighting Design, Chapter 7 (1948).
- (7) M. Christensen : A method for determining minimum cost of relamping. Illum. Engng. 57 (1962) 712~717.
- (8) W.S. Till and M.E. Haskin jr. : Relamping programs. Illum. Engng. 51 (1956) 277~290.

訳 者 の 追 記 1.

1. 解 題

1958 年, CIE E-3.1.1.1 委員会で研究分担を決めようというところ, 私はけい光ランプの最経済的交換時間に関する論文¹⁾を委員長 J. Dourgnon 氏へ送った. これが機縁となつたらしく, 当時ドイツ国ジエメンス社の Ernst Wittig 氏と私とに保守の問題が割り当てられた.

以後, おもにウィティヒ氏が, これまでの研究を取りまとめ, これにユーゴスラビア国リュウブリヤナ大学の Drago Matanović 教授の研究²⁾や, アメリカ, ウェスティングハウス社の R.N. Edwards, Jr. 氏の研究をも³⁾採り入れ, 委員会への報告書が完成した.

割り当てられたとはいえ, さほどの寄与もなかった私の名を入れてウィティヒ氏が連名の原稿を送ってきたので驚いた. しかしご好意に甘え, さらにマタノビッチ氏の名も加えるよう提案して容れられた.

この報告書はウィン会議に提出され, 100 部印刷されて E-3.1.1.1 の集まりに報告され, ドゥルニオン委員長, ナンボン理事 (いずれもフランス) はこれを Note d'information として発表すべく受け付けたよし. そのうち Scope Committee の D. Vermeulen 委員長 (オ

ランダ)が、CIEの刊行物は、照明の基礎や光の測定に関係ある人か、実務家を目標とすべきであるが、この論文はそのどちらにも当たらないからとの理由で発表を拒否し、照明技術雑誌への投稿を勧めた。

ウィティヒ氏はイギリスの *Light and Lighting* へ寄稿の準備を進めるとのことであったが、一方、ドゥルニオン氏のご好意で、まず *Lux* にのり⁴⁾これは概要が納谷氏によって紹介されている⁵⁾。私も前々から本学会雑誌にのせる義務を感じていたが、訳筆が進まないうちウィティヒ氏からドイツでの発表の別刷を贈られた⁶⁾。マタノビッチ氏の発表も期待していたが、残念なことに同氏は昨年4月17日60歳で急死された。ウィティヒ氏も昨年春、停年退職、コンサルタントを自営されることとなった。さびしさを感じる次第である。

さらにこの追記執筆中、イギリス照明学会の G. F. Cole 氏のご好意によりモノグラフにのり⁷⁾、それをウィティヒ氏より贈られ、11月13日に受け取った。

2. 注 (以下、行のはじめの数字は本文の章節)

1.

Maintenance factor を、ここでは保守率とする。照明用語の JIS 原案では第2案として維持率もっているが、訳者は字が簡単なほうをとる。記号は、米英では *M* であり、訳者もこれを常用しているが、ここでは原文のまま *v* (<Verminderungs faktor. もっとも CIE E-3.1.1.1 の勧告案でも *v* を使う。)としておく。日本では、むしろ減光補償率のほうが一般的であり、数値では単に逆数関係にあるだけだから、どちらでもよく、いまさら改める要もなさそうに見えようが、外国ではすでに30年も前からこれになっているので、国際性の点から同調すべきものと考えられ、むしろ遅きをうらみたい。

実はそれだけでなく、訳者の見るところでは、減光補償率は単にランプの減光やよごれによる照度低下を見越して、3割か5割ぐらい余裕をとっておくぐらいのことであったのを、保守率には、これらの要因による照度低下を的確につかみ、これだけ補正するという考えがはいっている。

さらに進んで本文にあるよう、保守作業の計画を経済計算に基づいて立て、許容し得る減光の程度をはっきり定めて設計計算に取り入れるのである。掛け算と割り算との違いだけではない。割り算は掛け算に比べて、筆算ではやっかいになるが、計算尺ですら変わりはない。

なおここで光束を *F* としたが、これは日本の慣用に従ったもので原文ではドイツ流に Φ を用いている。これを時間 *t* の関数と考えたとき、*t* を原文では足字にしているが、関数式の書き方に改めた。他も同様。

原文では式に番号をつけてないが、便宜上、通し番号

をつけた。また指数関数は印刷のつごうを考え、原文の *e* のベキ形式を *exp* 記号に改めた。その他、細かな変更をしたことを、お許し願っておく。

2.1

原文では *ageing* という言葉をランプが古くなって暗くなる意味に使っている。訳者は、この言葉は意識的に点灯して初期の不安定な状態を経過させることと解釈していたので、ウィティヒ氏にその旨を書き送った。同氏はスティブンス氏らの意見でも同氏のほうが正しいと返事してきたので、ここではそれに従った。エージング (JIS 案) とか枯化とかいわず、劣化あるいは単に光束減退としておいたが、老化としたところもある。

2.1.1

短時間で点滅を繰り返すことの影響は、現在のけい光ランプについては問題になるまい。

2.1.2.1

放電灯がつかなくなることを、切れるとか断線とかいうのはおかしいが、使いたれていて、よくわかるから、やはりこう呼ぼう。原文では *fail* とか *burn out* とかいつている。

第2図中、原文では *mortality* とあるのを生存率とした。第3, 4図は、日本語ではよく働程曲線 (*performance curve*) と呼ばれるが、原文に *depreciation curve* とあり、このほうが意味がはっきりするので用いた。

2.2

ここに出てくる β , γ , τ は前のと物理的の意味は違うが、式の中での数学的役割が同じなので、同じ文字を使っている。この論文ではこの三つの文字は、点灯時間によるランプ光束の変化、よごれによる光束の減退の二つの場合に使い分けられている。

2.3

この節は追記文献 (6) で修正したとのウィティヒ氏のご注意があったので、修正文によっている。

なお、これは理論的な取り扱いで、実用上はエドワーズ氏が氏の論文の末尾にいうよう、よごれによって劣化した反射率を照明率の表に入れて求めるほうが便利である。

2.4

つかないランプ……、原文では *maintenance factor covering lamp failure* とある。

5.1

この数値例がドイツでの経済条件によるものであることにご注意。

付録 3., 3a.

t という時間が、ランプの光束減退について考えるときは点灯する延べ時間であり、これは当然であるが、掃除時期の場合には暦の上の経過時間としたほうがわかり

やすい。よごれかたが点か減かで違うはずだが、それは無視する。電力費のほうは点灯時間だけについて計算すればいいから qt から求める。このアイディアはマタノビッチ氏から出たらしいが、訳者の方法では⁹⁾、もっと大づかみに t を月単位ぐらいにとり、1 カ月当たりの照明費 (掃除費を除いて) がいくらとしていたので、 q に相当するものは見掛けでは隠れてしまった。ムーンの方法は、減光を指数関数で表わした点はマタノビッチと同じく、点灯費を月単位にした点は訳者と同じ考えで、したがって q は隠れている。

参考文献について

この目録はドイツ版によったもので最も文献が多い。イギリス版では (1) と (3) とがない。なお (5) の内容はこの本文に取り入れているが、これより前ユーゴ国内で発表されている——Tehnika rasvjetе (Die Beleuchtungstechnik), Zagreb, 1948, 132~135.

マタノビッチの解法には上記付録 3. のほかに

$$S = Prqt + c$$

とし、この S を qt 時間中に得られる光量すなわち

$$Q_0 - Q_v = F_0 q \{ \gamma t + \beta \tau (1 - \exp(-t/\tau)) \}$$

で割ったものを極小にするよう t を求めたものがある。これでは式 (45) の右辺の分子に $1 - \beta(1 - \exp(-t/\tau))$ が掛かって来、 t_{opt} は少し小さくなり、計算はずっとめんどうになる。

3. 資 料

実際の計算に役立ちそうなデータを添付しておく。

3.1 ランプの光束減退

(1) ウィティヒによるもの⁹⁾

種 類	寿 命 (h)	寿命最終時の 減退光束(%)	個別交換における 平均減退光束(%)
真 空 電 球	1,000	12~15	6~8
ガ ス 入 電 球	1,000	10~12	5~6
水 銀 ランプ	5,000	25	15
けい光水銀ランプ	5,000	30	20
混合水銀ランプ	3,000	20	10
けい光ランプ	7,500	28	20

(2) エドワーズ⁸⁾

1,000 W 電球 (1,000 h 寿命) で、寿命の 70% のとき、初光束に対し 80~90%、1,500 W では 70%。

水銀ランプ H33-1 では経済寿命 10,000 h、平均光束約 14,700 lm で、経済寿命中の平均が初光束の 90%、H1 では 7,000 h、13,700 lm で 78%。

3.2 光源、器具のよごれ

(1) 日本国有鉄道 (25/X'56 鉄道施設照明委員会に東京鉄道管理局電力課より報告) 鉄道電化協会

上野駅階段, FL-40 W 裸で毎日 20 時間点灯

日	照度初期値に対し	ランプの減光 による分	よごれによる分
30	0.87	0.89	0.97
60	81	87	93
90	76	85	89
120	72	84	86

(注) これは下のウィティヒ氏のものと同く合う。

東京駅コンコース, FL-40 W プラスティックカバー付で毎日 22 h 点灯。

日	照度初期値に対し	ランプの減光 による分	よごれによる分
10	0.79	0.91	0.87
20	77	91	85
40	62	88	70

(2) ウィティヒ氏⁸⁾

基礎実験による値 (12カ月間)

器具の配光	室内面のよごれによる分		光源、器具のよごれによる分	
	よごれが少 ない場合	よごれがひ どい場合	よごれが少 ない場合	よごれがひ どい場合
直 接 型	0.99	0.97	0.99	0.73
半 直 接 型	97	90	96	68
全 般 拡 散 型	95	80	92	60
半 間 接 型	92	75	90	58
間 接 型	90	72	86	55

室内照明の保守率 (12カ月間)

DIN 5035 もこれを引用。事務室、工場の現場での測定結果もこれと一致。

	電球、混合 水銀ランプ		水銀ランプ		けい光水銀ラ ンプ、けい光ラ ンプ	
	よごれが少 ない	よごれが 多い	よごれが少 ない	よごれが 多い	よごれが少 ない	よごれが 多い
直 接 型	0.85	0.6	0.8	0.6	0.75	0.55
半 直 接 型 ~ 半 間 接 型	75	4	7	4	7	35
間 接 型	70	35	65	35	6	3

この結果から、3 カ月、6 カ月の分を出すには、

$$v(6) = 0.33 + 0.67v(12),$$

$$v(3) = 0.65 + 0.35v(12).$$

(3) 訳者の結果

旧マツダ研究所建家 2 階廊下の柱に小箱を取り付けた。これは約 10 cm 立方の木箱で、上、横、下および斜 45° の面を有し、ここに乳白プラスチック板をはる。内部に電球を入れて放置し、日を決めて、板面の輝度を測る。上と上 45° との 2 面についてはデータが出たが、他の面はよごれが少なくデータが取れなかった。大掃除や引越しがあったため試験は中絶した。

月	上 向 き 面		上 45° 向 き 面	
	v	β	v	β
1	0.947	(0.487)	0.921	0.728
4	691	838	695	(.827)
7.7	528	805	622	646
平 均		.822		687

これから時定数 $\tau=8.7$ を得る。光の吸収が20ヵ月で10倍になる。これは意外にもウィティヒ氏の測定とよく合っている。

3.3 保守費の一例

これも旧マツダ研究所での例である (30/XI/60)。

この建家2, 3階に FL-40 W 2 灯用金属製反射がさで照明されていた。これを外部業者に請負わせ, 5日かかりで, 修理, 清掃, ランプ交換を行なった。

器具は一つ一つ取りはずし, かさ, ランプは石けん水で洗い, 点検して不良のものは交換した。

(1) 器具総数	232 個
清掃したもの	229 個
取り換えたもの (安定器不良)	3 個
ランプ交換 (暗い, 黒化, 不点等)	150 本
点灯管交換 (始動時間長し, 不点)	100 本
ブルスイッチ交換 (破損)	20 個

(2) 作業人員 4人×5日 延べ 20人
(1日 600円の電工ということになっていた)

(3) 保守費 (請負総額) 24,000 円

ただし石けん, たわし, ぞうきんなどは業者持ち。

以上により器具1個当たり約100円。また所要時間は1個当たり約40分であった。

これと不良のため補充した品物の価格とが照明費にはいる。

追記の引用文献

- (1) 黒沢：けい光照明施設における光源交換時間と減光補償率について (英文) 照学誌 40-9(1956) 377~379.
- (2) 本文文献 (5)
- (3) 同じく (4)
- (4) E. Wittig, R. Krossawa et D. Matanović : Étude théorique de la maintenance en éclairage intérieur. Lux, No. 28 (1964) 161~
- (5) 納谷嘉信：照明経済, 電気公論 (1965, 1) 160~166.
- (6) R. Krossawa, D. Matanović und E. Wittig : Theoretische Untersuchungen über die Lichtstromabnahme in Innenraum-Belichtungsanlagen. Lichttechnik, 17-3 (1965) 27A~31A.
- (7) IES Monograph No. 9 (Sept. 1965) 1~19. このモノグラフには, もう一つ A. R. Bean, R. H. Simons 両氏によるルーバの透過率, 反射率についての論文がのっている。
- (8) 黒沢：照明経済の諸問題とその考え方, 照学誌 40-9 (1956) 367~371.

- (9) E. Wittig : Über die Abnahme der Beleuchtungsstärke in Innenräumen im Laufe der Betriebszeit. Lichttechnik, 9-4 (1957) 183~186.

追記 2.

編集委員会で査読後の結論のなかに, 次のような意見があり, これは雑誌にのってから読者の中からも出ようと予想されますので, あらかじめお答えいたしておきます:

1. ランプの劣化による光束減退の式(3)と, ランプや器具のよごれによる光束減退の式 (11) がありますが, 実際に測定されるのはランプの劣化とランプや器具のよごれによる光束減退ですから, この両者を合わせた光束減退の式と式 (3) から, よごれによる光束減退の常数を導く方法を加えていただいたらよいと思います。

お答え ごもっともなご意見と存じます。これを実行するには, ランプの劣化による分と, よごれによる分とを分離させなければならず, それには適当な時期によごれをとってランプの劣化の分だけを測るという方法も考えられますが, そのときよごれに対する実測は終わってしまいます。かように現実の困難もありますし, また現実の設備では, これを実施するのもむずかしいことがあるでしょう。

これは新しい一つの問題をご提起になったわけで, 私もう考えたいと存じますが, どなたかご研究になる方はありますか?

2. ランプの個別交換と集団交換の経済的比較はルーメン当たりの経費で両者の等しくなる時期が定められており, これで結構ですが, 総経費ではどのようになるかを説明程度で付加していただけますれば結構 と思います。

お答え これもごもっともと存じます。しかし総経費のことは, この論文の主題範囲外ですし, あとから追加しようとしたしましても, “原価要素” が出そろってませんので, できかねます。総経費の計算や比較は, 小堀富次雄氏や伊東孝氏が, よくお書きになってます。

なおここで思い出しましたが, ウィティヒ氏の原稿を見せられたとき, 個別交換と集団交換との選択の問題が理論的に解決できたと感じたことです。けい光照明の金科玉条的存在たる Amick 氏の本でもここはまだ不十分でしたから。

レフェリーの方に感謝しつつ。 (17/I '66 黒沢)

(受付 1965年11月26日)