婦人靴下の撰別作業室の照明と 混合光源の演色性の評価

正会員 松田宗太郎* 正会員 浦田利夫* 正会員 水野秀夫**

Lighting A Women's Stocking's Color-Matching Workshop
and

An Evaluation of Color Rendering Properties of Mixed Light Sources.

By Sotaro Matsuda (Member) and Toshio Urata (Member), Hideo Mizuno (Member)
(Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. 5th Business Dept.)

ABSTRACT

Color rendition of light source is very important factor in a lighting design for inspection of textile goods. This thesis describes examination and its theoretical consideration, which the writers made at Ayabe Factory of Gunze Spinning Company in relation to proper light source in the sorting work-shop for matching colors of stockings for women.

According to the examination, the most proper light source for sorting work of fresh-colored women's stockings is mixed light sources. Combinations of such light sources are :

- (1) (FL-40D-DL) + (FL-40W-DL) + (IL-100) × 2
40W, De laxe Daylight 40W, De laxe White 2 of 100W, incandescent lamp
- (2) (FL-40D) + (IL-100) × 1
40W, Daylight 1 of 100W, Incandescent lamp

The goods inspected by these mixed light sources were inspected again by day light from north-side window at noon and no inspection mistakes were almost found out.

Finally it was concluded, as the results of theoretical consideration in comparing these mixed light sources with standard light source, that the most proper combination of light sources is a system of the above (2).

内 容 梗 概

繊維製品の検査照明には光源の演色性が極めて重要である。本論文は郡是製糸株式会社綾部本工場における婦人靴下の色合せのための撰別作業室の適性光源につき、筆者等の行った実験およびその理論的考察を述べたものである。

すなわち肌色の婦人靴下の撰別作業に最適光源は本実験では混合光源によるものであり、その組合せは、

- ① (FL-40D-DL) + (FL-40W-DL) + (IL-100) × 2
40W天然昼光色 40W天然白色 100W白熱電球 2 個
- ② (FL-40D) + (IL-100) × 1
40W昼光色 100W白熱電球 1 個

という結果を得た。

これ等の混合光源により検査した品を、再び正午の北窓光により検査したが、検査ミスはほとんど皆無であった。

しかしてこの混合光源を標準光源と比較して理論的考察を行った結果は②の組合せによるものが最適ということになった。

は し が き

戦後、けい光灯は異常な勢で進歩発展し、世は正にけい光灯時代といった感がある。これはけい光灯の持つ幾多の特徴がしからしむる処であるが、なかんづく、能率(Lm/W)の良いことが大いに影響しているものと考え

* 松下電器産業株式会社 第5事業部、照明技術課。

** 松下電子工業株式会社 蛍光灯部、技術課

られる。すなわち、一応経済的限界に来ていた白熱電球による照度が容易に増大できたためであろう。

かくして照明の量的問題が解決して来ると、人類の欲求は更に盡きるところを知らず、従来全く問題にされなかった演色性が重要視されいわゆる光の量のみならず、光の質に対する要求が強まってきた。

その一例として、今回郡是製糸綾部本工場に於ては、

ナイロン婦人靴下の製造の際、その検査工程中、左右の靴下の色合せの作業が従来は演色性の関係で屋間のみに行われていたのであるが、自然光によるといえどもなおかつ四季天候にある程度影響され、必ずしも満足な効果を挙げていなかったことに鑑み、これを改良し理想的な人工光線の下で作業を実施し、以って能率の向上と品質の均一化を図るということが強く要望されるに至った。

このため、昭和29年4月末より綾部本工場に於て種々の実験を行い、ほぼ満足すべき結果を得たが、さらにその理論的裏付けにつき研究したところ、実際の実験を確証づける成績を得た。

その後もなお引き続き研究中であるが、ここに中間報告として研究の概要を御紹介する。

1. 郡是製糸KKナイロン靴下検査室における演色性の実験

A 実験月日 昭和29年4月26日

B 実験目的

婦人用ナイロン靴下の検査については、従来は晴天の日の屋間にのみ行っていたが、雨天の日及び夜間の作業が可能のような光源を得ると同時に、各種光源の演色性の理論的評価値を測定し、検査の根拠としたいというのがその目的である。

C 実験方法

現在人工光源においても最も自然光に近いものを得るには、より優れた天然色型けい光灯を製作することと、各種の光源より混合するいわゆる Mixing Illumination Method とが考えられる。

天然色型けい光灯は、現在わが国および米国においても研究、発達の上にあるが、日進月歩ではあるが極めて高度の演色性を要求される時は現在の天然白色または天然昼光色のみの使用では満足できない模様である。従って今回は、電球と各種けい光灯の混合照明を主体として実験を行った。

D 実験の状況

(a) 検査台の平均照度が 250 lx になるよう光源の高さを調節し、第1表の如き組合せによりナイロン靴下を照明し左右の靴下の色合せ検査を行った。

なお、この検査員は従来屋間の検査に熟練している女子作業員5名を採用した。

(b) 以上の結果から最も演色性のよい光源は

天昼(40W)+天白(40W)+100W電球2ヶ

天昼(40W)+天白(40W)

昼光(40W)+100電球

ということになったが、この光源の下で検査したものと、屋間検査したものととの差を調べるために、この光

源の下で靴下を検査し、翌日屋間自然光の下(晴天、北向の窓際、午前9時および12時)で同様検査を行った結果

天昼(40W)+天白(40W)+100W電球2ヶ

昼光色(40W)+100W電球

が第2表のごとく非常に優秀な結果を収めた。

第 1 表

	最も検査し易い (4点)	検査し易い (3点)	少々検査し難い (2点)	全く検査し難い (1点)	評価点数
屋 光 色	(人)	(人)	(人)	(人)	(点)
昼光色(40W)+100W電球		3	2		13
天然昼光色(40W)		1	3	1	10
天昼(40W)+60W電球		1	3	1	10
天昼(40W)+天白(40W)		3	2		13
天昼(40W)+天白(40W)+100W電球		2	2	1	11
天昼(40W)+天白(40W)+100Wサンマー電球		1	3	1	10
天白(40W)+天昼(40W)+100W2ヶ		5			15
温白(20W)+天昼(40W)	1	1	2	1	12
天昼(40W)+温白(20W)+60W電球		2	1	2	10
昼光(40W)+温白(20W)		2	2	1	11
昼光(40W)+温白(20W)+60W電球		1	3	1	8

註 (1) 電球は全部フロスト電球を使用。

(2) 温白色けい光灯のみは20W、他のけい光灯はいずれも40Wである。

(3) 検査台の平均照度は 250 lx である。

第 2 表

	検査数	合格数	合格率
天昼(40W)+天白(40W)+100W電球2ヶ	(足) 20	(足) 20	(%) 100
天昼(40W)+天白(40W)	20	13	65
昼光(40W)+100W電球	50	47	94

以上のごとくであるが、この実験に対する理論的評価として次のごとき考察を行った。

2. 前記の実験に対する理論的考察

A けい光灯の色票に対する効果の計算

各光源の演色性の良否を判別する方法には、従来は同時比較といって未知色票と既知色票の両色票を同時に調査測定する方法で、この方法は演色性というものがさほど問題にならなかった時代の方法で、所謂人間の眼の

色順応という点が考慮に入れておらなかった。然し現在では本格的な演色性の研究の進歩により、眼の色順応も考慮に入れられ、(1)継時比較法(記憶等色法)(2)両眼視等法等、実際に調べる方法が発表されているが、ここでは、東、森²⁾両氏が行った色票のずれを量的に表示する方法を引用し実際に測色計算を行ってみた。

第1図 昼光色および天然昼光色けい
光灯の分光エネルギー分布図

第2図 天然白色および混合光源の
エネルギー分布図

これには代表的な各色票の分光反射率と各光源のスペクトル分布曲線から測色計算を行って標準光源との差を比較するもので、標準光源としては昼光色けい光灯に関しては平均昼光を用いるのが当然であるが、こゝでは平

均昼光に非常に近いC光源を採用し、白色けい光灯においては4500°K Black Body Radiatorを用いる事にした。色物の試料としては、実在する色を広く蔽うものとして色票を用いることにしそこで“標準色名法による色票”²⁾の内、赤(R)、黄赤(YR)、黄(Y)、黄緑(GY)、緑(G)、青緑(BG)、青(B)、青紫(PB)、紫(P)、赤紫(RP)の純色、10色相を採用した。この分光反射率は分光器で測定したもので、第3図、第4図、第5図がその値である。

第3図 試料色票の分光反射率分布

第4図 試料色票の分光反射率分布

第5図 試料色票の分光反射率分布

測色計算は上記の分光反射率曲線，スペクトル三刺激値 $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 各光源のエネルギー分布図の波長を $10\text{m}\mu$ の等波長間隔に分割して行う $10\text{m}\mu$ 等波長間隔法²⁾を用いた。

なお，水銀線スペクトルによる部分は，各線スペクトル波長について別に計算して加え合せた。

E_λ 分光エネルギー値

ρ_λ 分光反射率 (JIS 規格完全反射面 MgO を 100%とする)

$\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$ スペクトル三刺激値

E_i 輝線スペクトルにおける分光エネルギー値

ρ_i 輝線スペクトルにおける分光反射率

$\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$ 輝線スペクトルにおける三刺激値

$$X = \sum_1^n E_i \bar{x}_i \rho_i + \int_{380}^{780} E_\lambda \bar{x}_\lambda \rho_\lambda d\lambda \quad x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$Y = \sum_1^n E_i \bar{y}_i \rho_i + \int_{380}^{780} E_\lambda \bar{y}_\lambda \rho_\lambda d\lambda \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$Z = \sum_1^n E_i \bar{z}_i \rho_i + \int_{380}^{780} E_\lambda \bar{z}_\lambda \rho_\lambda d\lambda \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

以上のようにして算出された色度は，反射率を改良マッセル系に換算し等感覚差の座標に直して色ずれの大きさを示した。

屋光色系としては，普通屋光色，天然屋光色による色票の色度，すなわ x, y ちの値を C 光源の色度 (x, y) との値と比較した図が第 6 図でこの色度を Munsell Notation¹⁾に換算し，明度 (Value) のずれを示したのが第 7 図である。また第 8 図は C 光源からの色相，彩度のずれを示したものである。

第 6 図 屋光色 (6,500°K) 光源で照明した時の色の色度

第 7 図 色票の明度ずれ

第 8 図 色票の色相彩度の変化

同様に白色系の光源については 4,500°K Black Body Radiator と比較した値を示すと第 9~11 図のようになる。

B 計算結果

以上の計算結果を全般的に見て 下記の事項が上げられる。

I 普通屋光色けい光灯の演色性

1. 赤 (R) の色相は光源と比較してほとんど差はないが，彩度および明度が下がっている。
2. 黄赤 (YR) の色票は黄 (Y) の方にかたよっているが，彩度はほとんど C 光源の彩度の値と変わらない。
3. 黄赤 (YR)，黄 (Y) の明度は上っている。

4. 黄(Y)の色相は緑黄(GY)の方に偏っており、彩度も若干上っている。
5. 緑黄(GY)の彩度は若干上っているが、色相はほとんどC光源と変わらない。
6. 緑黄(GY)の明度は下っている。
7. 緑(G)の色相は光源と大差はないが彩度は若干上っている。
8. 青緑(BG)、青(B)の色相は緑(G)、紫赤(PR)の方に偏っている。又明度及び彩度が下っている。
9. 紫青(PB)の色相はほとんど変わらないが、彩度は上っている。
10. 紫(P)の彩度はC光源に比較してほとんど差はないが、色相が紫青(PB)に偏っている。

第9図 白色(4,500°K)光源で照明した時の色票の色度

第 10 図 色票の明度ずれ

11. 紫赤(PR)の色相は紫(P)の方へ引かれており、彩度および明度は下っている。

第 11 図 色票の色相彩度の変化

Ⅱ 天然白色，天然昼光色けい光灯の演色性

1. 天然色けい光灯では、白色および昼光色けい光灯の色票のずれを非常に良く改善している。しかしまだ充分満足できるとはいえない。
- (イ) 天然白色けい光灯では第2図からも解るように深赤色の部分のみが改良されたのではなく、全波長帯にわたって改良されているため、全般的に色票のずれが少い。然し緑(G)から紫青(PR)までの色票の明度が他の色票に比較して若干ずれが大きい。
2. 天然昼光色けい光灯は天然白色けい光灯に比較して深赤色部分のエネルギーが僅か少ないが、青系統の部分天然白色より多いため、全般的に色票のずれが少ない。
- (イ) 天然白色に比較して深赤色部のエネルギーが僅か少ないため、赤(R)の明度が若干下っている。然し天然昼光色は緑(G)から赤紫(RP)までの色相、彩度および明度がC光源と比較して差が少ない。

Ⅲ 混合光源の演色性

1. 天然白色+天然昼光色+電球(100W) 2ヶ
- (イ) 赤(R)の色票に関しては天然昼光色よりも標準光に近いが、天然白色と比較すると若干明度が高い方にずれている。
- (ロ) 緑から赤紫までの色票の明度は天然白色より標準光源に近い。
2. 昼光色+100W電球(1ヶ)

この混合光源は以上の五つの光源中最も演色性の優秀な光源である。

(i) 天然白色および天然昼光色では、特に黄色(Y)および緑(G)から(P)紫までの明度を低下させているが、この混合光源は標準光源とほとんど差がない程度に改善している。

(ii) 前記の混合光源(天白+天屋+100W電球(2ケ)で青(B)の色相が青紫(BP)に偏っているのを完全に補正している。

(iii) 赤系の補正が天然色けい光灯より十分であるため、標準光源に一段と近づいている。

(iv) 全色票の色相、彩度、明度のずれの量は以上の五つの光源中最も少なく、標準光源に一番近い。

以上計算結果を前掲照明学界誌、東、森両氏の論文と比較して見ると一応同種の製品ではあるが製造条件に差があるため分光エネルギーが多少異って現われている。しかし厳密な測色計算結果を正確に各々の色票について検討してみると差は認められるが、全般的な結果は同じく現在の段階では優秀な演色性をもつ光源としては、昼光色+100W電球になっている。

3. 結 論

以上の感覚的な実験において、第1次では天然昼光色+天然白色+100W電球2ケが最も演色性良好で、昼光色+100W電球1ケが第3位程度となったが、第2次では昼光色+100W電球が第2位となり、さらに最後の厳重な測色計算からは昼光色+100W電球が最も優秀な結果を得るに至っている。これらの変化の原因として次の事項が考えられる。

- 1 実験回数および対象人員が若干少なかったこと。
- 2 実験者は相当同作業に熟練した者であるが肉眼でこの二光源の演色性の良否を判断することができないこと。

等が考えられる。なお最後に付加したいことは、この昼光色電球が他の光源を使用する場合の器具より、照明設計的に非常に有利であることで、ナイロン靴下の色ずれの量は昼光色+100W電球の場合と、+天然白色天然昼光色+100W電球の場合とでは実験、測色計算共にさほどの差はなく、どちらの光源を使用しても大きな検査上の差は出ないものと考えられる。

しかし実際に大きな検査場へ取付ける場合は、経済的で照度分布状況の良い検査し易い光源でなければならない。従って40W 2灯用の器具に天然白色、天然昼光色を取付けて(100Wの電球は拡照型反射笠付で別に取付ける)。照明するよりも40W 1灯用の器具(昼光色+100W電球)を用い器具台数を2倍にして照度分布をより均一にした方が、実際の大きな検査場としては適当であると考えられる。

別図は器具配置を示すものである。

いずれにせよ、近時けい光灯の演色性がやかましくいわれる折柄、その実用的立場と、その研究の立場との両者から研究し得たことが、業界の進展に何等かの参考ともなれば幸甚である。

4. 実 施 例

36m×9mの検査室に前述の如き演色性を有する全般照明を試みた。光源の配置及び照度分布を別図に示す。

この設備の効果については、目下調査表を作成し調査

第 3 表 各光源で色票を照した場合のマンセル記号

色 票 \ 光 源	C 光 源	4500°K Blcak body	昼光色+電球 (100W)	天然昼光色+天然白色 (100W) 電球	天 然 白 色	天然昼光色	昼 光 色
R	6 R 3.8/14.1	8 R 4.0/16.0	7.5 R 3.95/15.8	6.5 R 3.8/16.2	6 R 3.9/14.5	6 R 3.6/13.0	6.5 R 3.3/9.2
Y R	4 YR 5.6/13.7	3 YR 5.9/15.3	3.5 YR 5.9/16.4	4.5 YR 5.8/16.6	2.5 YR 5.7/15.8	4 YR 5.6/15.1	7 YR 5.7/12.8
Y	5 Y 7.7/11.4	3 Y 7.9/13.8	3.8 Y 7.85/13.8	4.5 Y 7.8/13.9	4.5 Y 7.8/13.3	6 Y 7.8/12.1	8.5 Y 7.8/13.8
G Y	6 GY 6.3/9.4	4 GR 6.2/9.5	3.5 GY 6.2/9.5	4.5 GY 6.2/8.6	3.8 GY 6.2/10.6	6 GY 6.3/11.1	6.5 GY 6.2/10.5
G	3 G 4.7/9.0	2 G 4.5/9.2	1 G 4.4/7.8	3 G 4.3/8.4	3 G 4.3/6.5	4 G 4.5/10.8	3 G 4.6/9.8
B G	7 BG 3.7/8.3	2 BG 3.6/8.0	2.5 BG 3.5/7.6	3.8 BG 3.4/9.6	1 BG 3.4/5.9	9 BG 3.6/8.0	9 BG 3.5/6.5
B	2 PB 3.1/8.5	8 B 2.9/5.5	9 B 2.8/6.0	1 PB 2.5/12.0	2.5 PB 2.8/6.4	9 B 2.9/8.8	4.5 PB 3.0/9.0
P B	8 PB 2.2/11.2	10 PB 2.0/12.0	1 P 1.9/11.2	8 PB 1.8/5.6	8.5 PB 1.8/12.6	7 PB 2.1/12.8	8.5 PB 2.0/14.3
P	3 P 2.3/14.0	9 P 2.2/10.4	8.5 P 2.1/9.8	9.7 P 2.05/12.3	6.5 P 2.05/11.8	2.5 P 2.2/13.4	1 P 2.1/13.5
R P	4 RP 3.1/12.3	8.5 RP 3.1/11.1	7.2 RP 3.05/11.7	9.8 RP 3.0/12.8	6 R P 3.0/9.0	4 R P 2.9/11.0	9.5 P 2.7/11.0

中であるが、今迄の調査の状況を見ると非常に好評である。

この研究を行うに当り、神戸大学工学部品川教授、郡是製糸綾部本工場馬場工場長、井上工務課長、吉野施設課長、米井主任より御指導御援助を頂いたことを厚く感謝すると共に諸賢の御批判をお願いする次第である。

(昭29-10-11受付)

文 献

1. S. M. Newhall, D. Nickerson, D. B. Judd : J. O.S.A. **33**, 385 (1943)
2. 東, 森氏 : 照学誌 (昭27-8)
3. 色彩科学協会 : 「標準色名」 (昭26)
4. B. Boast : Illumination Engineering Warren, 2 ed Ed (1953)

第 4 表 各光源の x, y 及び色温度との関係

光 源 色 票	C 光源		4500°K Black body		昼光色+電球		天然白色+天然 昼光色+電球		天然白色		天然昼光色		昼 光 色	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
R	0.590	0.310	0.629	0.314	0.625	0.325	0.635	0.332	0.615	0.325	0.566	0.296	0.531	0.326
Y R	0.556	0.412	0.574	0.408	0.560	0.425	0.555	0.435	0.543	0.435	0.545	0.376	0.526	0.434
Y	0.461	0.476	0.487	0.475	0.487	0.483	0.502	0.485	0.495	0.467	0.489	0.487	0.445	0.495
G Y	0.376	0.521	0.409	0.514	0.395	0.523	0.425	0.536	0.415	0.530	0.365	0.506	0.376	0.545
G	0.256	0.450	0.278	0.498	0.301	0.506	0.312	0.465	0.317	0.445	0.263	0.476	0.249	0.475
B G	0.170	0.300	0.191	0.369	0.208	0.352	0.220	0.365	0.240	0.340	0.195	0.306	0.191	0.320
B	0.178	0.186	0.190	0.235	0.175	0.224	0.210	0.185	0.220	0.213	0.186	0.169	0.188	0.165
P B	0.191	0.100	0.220	0.139	0.235	0.125	0.175	0.133	0.185	0.110	0.183	0.085	0.221	0.100
P	0.256	0.126	0.315	0.168	0.330	0.170	0.335	0.153	0.295	0.135	0.274	0.086	0.256	0.075
R P	0.409	0.097	0.478	0.253	0.460	0.232	0.475	0.245	0.447	0.220	0.414	0.174	0.375	0.151
色 温 度	6500°K		4500°K		4500°K		4500°K		4500°K		6500°K		6500°K

別図 40W 1 灯用反射笠付 F 421 (等照度曲線は初光束の場合を示す)