螢光漂白布の白度測定法の検討*

川 村 一 夫**

(昭和41年4月13日受理)

若 槻 篤 男

森 田 脩 司

→ 摘 要 ←

目 的

螢光漂白布の白度測定法の確立。

成 果

螢光エネルギー分布を特定波長選定の観点より解析してつぎの実験式を確立した。

$$W_F = Y (2 R_{\max} + 2 R_{420} + R_{\max-40}) \dots\dots\dots (2)$$

ただしYは視感反射率、 $R_{\max}$ 、 R_{420} 、 $R_{\max-40}$ はそれぞれ主波長420 m μ 、主波長より40 m μ 短波長側における反射率を表わす。

(2)式の視感白度との一致性は良く種々の試料間への普遍性も高く螢光漂白物の白度表示式としての適用性は優れている。

1. ま え が き

螢光染料の発達に伴い螢光漂白物の白度の管理が問題となって来た。しかし螢光漂白物の白度を物理的に表示する方法は未だ体系づけられておらず¹⁾ $R_{\max}$ を用いる簡便法、Hunterの色度を展開させた方法、福田の式、 β 値、Z値を用いる方法はいずれも適用範囲が限定され、必ずしも普遍的ではない。Ciba社ではWhite scaleなるものを作製し視感判定に基づく白度表示を行っているが未だ実用の域には達していないようだ。

螢光白度式の確立にとってもっとも大きな問題点となるのは螢光エネルギー分布の特性(濃度消光、主波長移行、近紫外外部反射率低下)をいかに視感白度と関連づけるかであり、これには理論式の確立は不可能と見られる。ここに特定波長選定の観点より螢光エネルギー分布の解析を行ない実験的に螢光白度式の確立を検討することにした。

2. 分 光 々 度 計

螢光エネルギー分布とは光源の可視部を遮断し紫外部のみを試料に照射したとき440 m μ 近辺に主波長を有する左右対称の山形分光分布を示すのが普通である。本

研究に用いた分光々度計(日立EPU-2A型分光々度計付属螢光反射装置FR-1)は第1図のような光学系をもつ。これによると可視光成分による試料素材の反射

Xe; キセノン ランプ
P; プリズム
M; 反射鏡
S; スリット

(第1図) FR-1の光学系

エネルギーが螢光エネルギーに合成され第2図のような分光エネルギー分布を示すこととなる。日立EPU-2A型は水晶光学系を使用した分光々度計(200~1200 m μ)で入射光スリットと射出スリットは別々になっており、プリズムも比較的大きく、スリット長を有効に使用できる長所がある。光度計メータ指示は直読式でこれは零位方

* Method of measuring fabric whiteness treated by fluorescent whitening.

** K. Kawamura, A. Wakatsuki, Member, and S. Morita. 東邦レーヨン株式会社 繊維加工研究所

試料; Uvitex ALN による ベスロン 漂白布
(第2図) FR-1 による蛍光エネルギー分布形態

式と比べて簡便であるが直線性にやや問題があるとされているものである。われわれはこれを用いて有効波長幅 $5.0\text{ m}\mu$, 波長間隔 $5.0\text{ m}\mu$ 単位の測定条件にて実験した。

3. 蛍光エネルギー分布の特性

蛍光エネルギー分布は第2図で明らかなように $430\sim 450\text{ m}\mu$ に蛍光反射主波長を有し、濃度消光、主波長移行、近紫外域反射率低下などの特性を伴い、これらが蛍光白度式の確立に困難性をもたらしている。

3.1 最大反射率と白度の関係

蛍光エネルギー分布は $420\text{ m}\mu$ 以下の反射率がいちじるしく低く、 $420\sim 450\text{ m}\mu$ に最大反射率 ($R_{\max}$) を有し、その後、長波長側に向って反射率が急減し、ある一定値に落ち着く分布形態を示す。

最大反射率は蛍光染料の染色濃度および視感白度とはほぼ正相関にあり、 $R_{\max}$ 値による白度表示が簡便的に用いられているのもこのためである。しかし染色濃度が増大するとオーバーダイニングとなり、 $R_{\max}$ の増大とは逆に視感白度は低下に向かう。さらに染色濃度が増大すると、いわゆる濃度消光現象を起こし $R_{\max}$, 視感白度

(第1表) $R_{\max}$ 値と白度の関係

染色濃度 (PH 2)	視・順 [*]	$R_{\max}$	計・順 [*]
0.2 % o.w.f	2	146.2	5
0.5	1	161.9	3
1.0	3	164.2	2
1.5	4	164.9	1
2.0	5	152.1	4

注) 試料; Uvitex ALN による ベスロン 漂白布

^{*} 視・順; 視感白度順位
計・順; 計算値順位

は共に低下するが、この場合濃度消光前に比して $R_{\max}$ 値は視感白度よりいくぶん高くなる関係にある (第1表)。

また蛍光染料および繊維素材の種類が異なる場合にも、 $R_{\max}$ と視感白度とは必ずしも正相関にあるわけではなく (第2表)、これより $R_{\max}$ 値による白度表示法は適用範囲が限定され普通性に乏しいものであるといえることができる。

(第2表) $R_{\max}$ と白度の関係

素材・組織	染料	視・順	$R_{\max}$	計・順
綿・ブロード	Whitex BF	1	156.0	2
アロン・トロ	Tinopal AN	2	168.0	1
東邦ポリノジック・モスリン	イルミナール BS	3	144.6	4
東邦ポリノジック・トロ	Mikephor BA	4	153.0	3
ベスロン・モスリン	Daitophor AN	5	134.4	6
ベスロン・トロ	Daitophor AN	6	138.0	5

3.2 主波長と白度の関係

漂白物の発する蛍光の色相 (蛍光色相) は紫外部に吸収を持つ発蛍光団の種類に基づいて生ずるもので、最大吸収波長、蛍光反射主波長、蛍光色相は互いに相関関係にある。

市販蛍光染料の紫外吸収スペクトルにおける最大吸収波長はほとんど $330\sim 380\text{ m}\mu$ 内にあり、これ以外に主波長のあるものは人間の眼に対して増白作用が感じられないとされている。紫外最大吸収波長と蛍光エネルギー分布の主波長とはほぼ同順の関係にあり、長波長側に向かって黄、赤、青、緑と蛍光色相が変化するようである (第3表)。

一方、一般に蛍光漂白の場合、限界染色濃度に達する

(第3表) 蛍光色相と主波長の関係

染料名	蛍光色相	$\lambda_{A\max}$ [*] ($\text{m}\mu$)	$\lambda_{R\max}$ [*] ($\text{m}\mu$)
Leucophor RG	赤	330	425
Tinopal BV	赤	335	430
Whitex BO	青	340	435
イルミナール BBS	青	340	435
Leucophor B	青	340	440
カヤホール 3BS	青	350	440
Tinopal GS	緑	360	445

注) ^{*} $\lambda_{A\max}$; 最大吸収波長 (溶液)
 $\lambda_{R\max}$; 最大反射波長 (漂白布)

と漂白布色相が緑味を帯びるようになり、濃度消光を伴って主波長が長波長側に移行する。これは蛍光色相とは異なる着色による色相違いの問題である。

蛍光白度式の確立には、こうした色相を分光学的に捕え、これを視感白度と関連づけることが必要で、これがもっとも困難な問題点となってくる。

3.3 近紫外外部反射率低下特性と白度

蛍光エネルギー分布の一つの特性として主波長から 400 mμ 近辺にかけての急激な反射率の低下があげられる(第2図)。

これは染色濃度の増大に伴う近紫外域での励起吸収と漂白布のイエローイングに基づく吸収とが増大することによるためのもので染色濃度と反射率は完全な逆相関を示す。このことより近紫外域の反射率 $R_{\max-40}$ を $R_{\max}$ 値に加味することはオーバダイニングおよび濃度消光にて着色した試料の白度を高く評価することなく、これを視感白度と相関づけて捕えるために有効であると考えられる(第4表)。

(第4表) $R_{\max}$ と $R_{\max-40}$ の関係

染色濃度	視順	$R_{\max}$	$R_{\max-40}$
0.2% o.w.f	5	121.9	19.2
0.5	2	136.1	16.4
1.0	1	144.0	11.8
1.5	3	146.5	9.2
2.0	4	149.3	7.1

注) 試料; Mikawhite AT による ベスロン 漂白布

3.4 R_{420} と白度の関係

蛍光エネルギー分布は 420 mμ 近辺にてほぼ一定の反射エネルギーレベルを呈することが認められる。

第3、4図から考察されることは、蛍光エネルギー分布

(第3図) R_{420} の分光学的特性

- a; ベスロン Mikawhite AT
b; ベスロン Daitophor AN
c; ベスロン Uvitex ALN
d; アロン Tinopal AT
e; アロン Tinopal AT
f; 東邦ポリノジック カヤホール AB
g; 東邦ポリノジック カヤホール RCS
h; 東邦ポリノジック カヤホール S

(第4図) R_{423} の分光学的特性

は 420 mμ に等反射エネルギー点(反射率約 130%)があり、これを境界として長、短波長の反射率がほぼ対称的に分布することである。分光学的にみて 420 mμ は青紫色スペクトルの主波長に近接した波長であり、 R_{420} による一波長法が白度評価の一つの目安として採用されていること、および青紫色と黄色とは補色関係にあり、Hunter 色度計ではこれを b 軸で捕え b 値による白度測定法が検討されていること、などはいずれも人間の白さに対する感覚が、 R_{420} との相関が強いことを示すものである。

繊維素材あるいは蛍光染料の違った場合には(第4図)、比較的 R_{420} の差が大きく視感白度との相関性が良いことより、白度式の普遍性化を目的に主波長に準ずる波長として 420 mμ を選定して好ましいといえる。

4. 蛍光白度式の確立

以上述べて来たように、蛍光エネルギー分布には種々の特性に伴い、これを重価座標法など、理論的解析によって白度式を確立することは困難である。われわれは特定波長選定の観点より、主波長、420 mμ、主波長より 40 mμ 短波長の三波長を選定し、かかる波長における反射率に係数を決定してつぎの実験式を仮定した。

$$W_F = 2R_{\max} + 2R_{420} + R_{\max-40} \dots\dots\dots(1)$$

(1) 式の適用特性についてつぎに述べる。

(1) 式は同種繊維素材の場合はオーバダイニング、

(第5表) (1) 式の適用例

組 織	一 対 比 較 (パネル 15人)								評 価 点	視 順	W_F (1)	計 順
	1	2	3	4	5	6	7	8				
モ ス リ ン	12	1	2						20	1	590.1	1
モ ス リ ン	1	9	2	3					37	2	587.3	2
ト ロ ビ カ ル	2	2	6	4	1				45	3	583.1	3
ト ロ ビ カ ル		1	4	3	6	1			62	4	568.4	4
ト ロ ビ カ ル		2	1	5	7				64	5	565.6	5
モ ス リ ン					1	13	1		90	6	527.8	6
ト ロ ビ カ ル						1	13	1	105	7	511.0	7
ト ロ ビ カ ル							1	14	119	8	485.8	8

注) 試料; Mikephor WS によるアロン漂白布

(第6表) 原布色相差のある試料への(1)式適用例

素 材 ・ 組 織	染 料	色 味	視 順	W_F (1)	計 順
ア ロ ン ・ ト ロ	カヤホール WN	基 準 白	1	513.8	2
ア ロ ン ・ ト ロ	カヤホール WN	基 準 白	2	508.9	3
東邦ポリノジック・モス	Uvitex CF	赤	3	514.5	1
ベスロン・トロ	Daitophor AN	青	4	506.8	5
ベスロン・トロ	Daitophor AN	青	5	502.6	6
綿 ・ プ ロ ード	イルミナル BBS	赤	6	507.5	4

濃度消光試料を含め、その白度を視感白度との相関性において良くこれを表示することができる(第5表)。

しかし(1)式を色味の異なる試料間に適用した場合、一般につぎの傾向がみられる。

- i) 赤味白をやや高く評価する。
- ii) 青味白をやや低く評価する。

(第7表) 蛍光色相差のある試料への(1)式適用例

染 料	蛍光色相	視順	W_F (1)	計順
カヤホール AB	青	1	364.7	2
Mikephor BA	赤	2	366.0	1
Mikephor BI	青	3	345.9	4
Whitex BB	青	4	344.4	5
Leucophor RG	黄	5	353.8	3

人間の色感覚および色知覚は心理的な問題であり、これを一義的に定義づけるのは不可能であるが、白さという心理量を物理量で表示する場合、青味は白さを増す要因として、逆に赤味は減ずる要因として一般に白度式にとり入れられている。視感判定においても、こうした傾向が認められ、前記(1)式の一般的傾向は視感白度との相関性を低下さす特性といえる。

色味違いは

- i) 原布色相差によるもの(第6表)。
- ii) 蛍光色相差によるもの(第7表)。

の2つに分類できる。

このうち原布色相の場合は、(1)式に可視部長波長域の要因を加味することにより補正可能と考えられ、わ

(第8表) 原布色相と R_{700} , Y の関係

素 材 ・ 組 織	染 料	色 味	視 順	W_F (1)	計 順	R_{700}	Y
*M・ブロード	不 明	基準白	1	479.5	3	83.5	0.845
M・モスリン	Uvitex CF	基準白	2	474.6	5	82.5	0.840
ベスロン・トロ	Mikawhite AT	黄	3	475.3	4	83.0	0.834
ベスロン・トロ	Uvitex ALN	黄	4	472.5	6	81.0	0.823
綿・ブロード	Mikephor BA	赤	5	486.5	1	87.0	0.742
アロン・トロ	Whitex WS	赤	6	481.6	2	86.5	0.738

注) * M: 東邦ポリノジック

れわれはこれを R_{700} 、視感反射率 Y の面から検討した (第8表)。

視感反射率 Y は肉眼に感ずる物体面の明るさを示すもので (1) 式の補正に用いて有効で、ここに Y の係数を検討しこれを (1) 式に乗じて (2) 式とした。

$$W_F = Y (2 R_{\max} + 2 R_{420} + R_{\max} - 40) \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式により普遍性は向上し異種素材試料間 (第9表)、酸化漂白剤併用蛍光同時漂白および露光、洗濯などによる褪色布試料間 (第10表) などへの適用性も向上した。

第9表において $R_{\max}$ にもっとも大きく関係するのは蛍光染料濃度であり、 Y に対しては日光照射時間、ネオシロックス濃度がそれであるといえる。露光処理によ

る白度の低下の場合にも a) 蛍光染料の崩壊による蛍光強度の減少、b) 日焼け着色、の2原因が考えられ、a) は $R_{\max}$ にて b) は Y においてそれぞれ捕えられることとなる。

なお視感反射率 Y の測定値は測定器の光学系の差により多少異なるが、 Y 値が蛍光強度に影響されない測定器の選定が望まれる。

第5図より EPU-2A 形による測定が好ましいが、実験では測定法の簡便なことより色差計 CD-118 型 (光音精器製) による測定値を採用した。

蛍光色相に差のある試料間に (1) 式を適用した場合にも、とくに試料間の $R_{\max}$ が近似した値のときは前記一般傾向 i), ii) が認められる。これは3.2で

(第9表) 各種素材漂白布の $W_F(2)$ と視感判定の一致性

素 材 ・ 組 織	螢 光 染 料	視 感 判 定 (パネル10名)															評価点	W _F (2)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
綿 ・ プ ロ ー ド	Uvitex CF	10															10	537.3	
ベ ス ロ ン / 綿 ・ メ リ ヤ ス	不 明		9		1												22	522.3	
ボ リ ノ ジ ッ ク / 綿 ・ プ ロ ー ド	イルミナール BM			8	1			1									35	510.3	
ベ ス ロ ン ・ モ ス リ ン	Daitophor AN		1	1	5	1	1			1							45	506.1	
ベ ス ロ ン ・ ト ロ	Mikawhite AT				1	6	3										52	493.0	
ボ リ ノ ジ ッ ク ・ シ ャ ー チ ン グ	イルミナール BSN				2		4	2	2								62	481.8*	
ア ロ ン ・ ト ロ ビ カ ル	Tinopal AN			1		3	2	1	1		1	1					66	484.0*	
ア ロ ン ・ ト ロ ビ カ ル	不 明							4	4	1	1						79	480.7	
ボ リ ノ ジ ッ ク / 綿 ・ プ ロ ー ド	Leucophor RG									1	6	2	1				93	470.4	
ベ ス ロ ン ・ シ ャ ー キ ン グ	Uvitex ALN							2		2	5		1				94	461.0	
ベ ス ロ ン ・ ト ロ ビ カ ル	Daitophor AN								2				5	1	1	1	110	452.4	
ア ロ ン ・ ト ロ ビ カ ル	不 明											1	2	7			116	450.5	
ボ リ ノ ジ ッ ク ・ モ ス リ ン	Tinopal BG												1	1	3	5	132	430.5	
ベ ス ロ ン ・ ト ロ ビ カ ル	Daitophor AN														5	1	4	139	428.1
綿 ・ プ ロ ー ド	Whitex BO														1	3	6	145	412.3

注) *印: F検定で有意差なし

(第10表) 種々条件下でのベスロン漂白布 W_F の (2) と視感白度との一致性

染料濃度	ネオシロックス濃度	日光照射時間	視 順	$R_{\max}$	Y	$W_F(2)$	計 順
0.5% o.w.f	3.0% o.w.f	0	1	131.0	85.5	460.0	1
1.0	8.0	2	2	136.0	84.4	459.7	2
1.0	5.0	2	3	136.0	84.1	455.1	3
1.0	3.0	2	4	134.0	84.0	452.1	4
0.2	8.0	0	5	116.0	85.1	431.0	5
1.0	8.0	5	6	127.0	83.7	429.0	6
1.0	5.0	5	7	126.0	83.9	427.6	7
0.2	5.0	0	8	115.0	84.8	426.7	8
1.0	3.0	5	9	123.0	83.4	416.4	9
0.2	3.0	0	10	112.0	84.7	415.7	10

注) 染料; Mikawhite AT 酸化漂白剤; ネオシロックス (NaClO_2 25%)

(第5図) 各種測定法によるY値の比較

述べたことより説明されるが、420 mμ に近いものほど、つまり青より赤、赤より黄が高く評価されることとなる。これを補正するには420 mμ を固定せず第2選定波長は主波長を基準として移動性をもたせることが考えられるが、このことは式を根元的に変える結果となり好ましくない。結局、蛍光色相別の補正係数の決定によらねばならぬ今後の問題にしたい。なお実際に蛍光色相差を感じる場合は極めて少なく、 $W_F(2)$ 値400以下では蛍光色相というよりオーバダイニングによる着色が多く、 $W_F(2)$ 値500位になると R_{max} 値間の差も大となり、(2)式適用性が良くなることを実験的に把握している。

5. 適用性の確認

各種漂白布の白度を福田式、 R_{max} 値、Hunter 色度

計 b 値、 $\alpha\beta$ 系 β 値、 Z 値、(2)式により表示し、視感白度との一致性を Spearman の順位相関係数 (r_s) より計算し、(2)式の蛍光白度式としての適用特性を確認した。ただし福田式、 β 値、 Z 値はFR-1による蛍光エネルギー分布をC光源用30選定波長解析法にて計算したものである。

第11, 12表は素材、組織、染料、酸化漂白剤濃度、PHなどの異なる試料群への適用例であるが、(2)式の視感白度との一致性は良いといえる。とくに(2)式が他式と異なる点は第13表で明らかに示されているが、蛍光強度の増大に伴い、 R_{max} と R_{max-40} とは逆相関にあることより、 R_{max-40} 項を組み入れた(2)式のオーバダイニングおよび濃度消光試料への適用性が一段と優れている点があげられる。しかしこの場合、オーバダイニング試料をやや高く評価する一般的傾向がある。これはオーバダイニングと共に試料は緑味を帯びて主波長が長波長側に移行し、これによる R_{max-40} の増大が原因とみられるが、他に本実験の場合Y値をCD-118にて測定したため、 R_{max} の増大に伴うY値の増大が影響していることも考えられる。

6. あとがき

(2)式は蛍光エネルギー分布の特性に対処して特定波長選定の観点から確立した実験式であるが、視感白度との相関性は良く、蛍光白度式としてはほぼ実用できると考えている。ただ蛍光色相が異なる漂白物においては、蛍

(第11表) 各種漂白布への(2)式の適用性

試料	No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	r_s
福田式	1.630	1.576	1.537	1.460	1.536	1.406	1.376	1.321	1.447	1.375	0.890
R_{max}	159.2	150.2	145.6	130.4	136.4	134.2	126.0	121.8	132.4	123.6	0.842
b	-5.61	-4.85	-5.24	-3.44	-2.32	-3.49	-2.16	-2.84	-3.28	-1.50	0.818
$\beta \times 10^3$	-3.54	-3.25	-3.06	-2.66	-3.07	-2.41	-2.25	-1.97	-2.61	-2.32	0.830
Z	1.484	1.396	1.444	1.317	1.415	1.368	1.285	1.284	1.367	1.310	0.758
$W_F(2)$	522.8	516.1	492.6	470.2	452.5	434.9	431.8	447.7	426.2	418.5	0.964

注) 視感白度順位は10名のパネルによる一対比較にて決定した
試料番号と視感白度順位は同順である
試料; ベスロンモスリンを下記条件にて蛍光漂白したもの

試料	染料 (% o.w.f)	ネオシロックス	PH	試料	染料 (% o.w.f)	ネオシロックス	PH
No. 1	Uvitex ALN 0.5	5.0 % o.w.f	2	No. 6	Uvitex ALN 0.5	8.0 % o.w.f	4.5
2	Uvitex ALN 0.2	5.0	2	7	Uvitex ALN 0.2	8.0	4.5
3	Mikawhite AT 1.0	5.0	2	8	Mikawhite AT 0.2	5.0	2
4	Mikawhite AT 0.5	2.0	2	9	Uvitex ALN 0.5	5.0	4.5
5	Mikawhite AT 1.0	8.0	4.5	10	Mikawhite AT 0.5	8.0	4.5

(第12表) 各種漂白布への(2)式の適用性

試料	No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	r_s
福田式	1.754	1.729	1.893	1.679	1.684	1.843	1.570	1.593	1.559	1.398	0.793
R_{max}	156.0	150.2	168.0	139.8	15.0	164.4	134.4	138.0	134.0	120.0	0.763
b	-6.06	-6.50	-5.10	-5.29	-3.45	-5.01	-4.59	-4.05	-1.26	+0.15	0.903
$\beta \times 10^2$	-3.86	-3.77	-4.61	-3.48	-3.56	-4.36	-2.93	-3.16	-2.94	-2.09	0.769
Z	1.516	1.482	1.589	1.379	1.468	1.542	1.386	1.337	1.354	1.250	0.733
$W_F(2)$	575.4	573.3	545.3	537.6	529.0	522.3	517.2	512.1	515.6	457.7	0.987

注) 試料番号と視感白度順位は同順
試料明細は下記のとおり

試料	素材・組織	染料	試料	素材・組織	染料
No. 1	綿・ブロード	イルミナル BBS	No. 6	アロン・トロ	カヤホール WN
2	綿・ブロード	Leucophor B	7	ベスロン・モスリン	Uvitex ALN
3	アロン・トロ	カヤホール WN	8	ベスロン・トロ	Mikawhite AT
4	M・モスリン	Whitex BO	9	M・トロ	Tinopal AN
5	M・モスリン	Tinopal BV	10	ベスロン・モス	Daitophor AN

(第13表) 各種漂白布への(2)式の適用性

試料	No. 1	2	3	4	5	r_s
福田式	1.776	1.537	1.792	1.782	1.838	-0.800
R_{max}	164.0	149.6	165.6	164.0	159.6	0.050
$\beta \times 10^2$	-4.26	-3.09	-4.32	-4.29	-4.58	-0.800
Z	1.452	1.340	1.518	1.520	1.514	-0.600
$W_F(2)$	550.8	501.3	519.8	498.6	465.0	0.900

注) 試料番号と視感白度順位は同順
試料明細

No. 1	Uvitex ALN 0.5%	ネオシロックス 4 cc/l
2	"	0.2
3	"	1.0
4	"	1.5
5	"	2.0

光強度の等しい場合は赤色蛍光を青色蛍光より高く評価し、視感白度との一致性が悪くなる。これに対する補正

はきわめてむずかしく、結局、色相別補正係数の決定によらねばならないと思うがこの点残された問題である。

最後に(2)式の主波長を440 mμと固定し、これを無蛍光白色物の白度式(2')

$$W = Y(2R_{440} + 2R_{420} + R_{400})$$

.....(2')

とすると、(2')式は(2)式との関連より蛍光増白度の相対的な測定に適用できることを付記し結言とする。

参考文献

- 1) 住友化学パンフレット; No. 12, 7
- 2) 福田 保; 色の測定と応用, 237, 日刊工業(1962)
- 3) Ciba monthly; 70号
- 4) 八木, 吉田, 太幡; 蛍光, 南江堂(1960)