

平成 2 7 年 6 月 8 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750016

研究課題名(和文) 平編布における視覚的表面粗さ感の計測と設計に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Measurement and Design of Visual Surface Roughness of Plain Knitted Fabrics

研究代表者

若子 倫菜 (WAKAKO, Lina)

金沢大学・機械工学系・助教

研究者番号：30505748

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、平編布の表面粗さ感を計測、評価する方法を確立し、表面粗さ感と物理的設計値(原糸・編目構造、色彩)とを対応づけるデータベースを構築することを目的とした。

平編布の表面粗さ感(SR)は $SR = -13.6(D \times A) - 2.5(L^*_{max} - L^*_{min}) / (L^*_{max} + L^*_{min}) + 1.7$ によって計測、評価できる。ただし、D：見かけ糸太さ、A：1ループあたりの面積、L*：平編布、背景のL*値とする。薄手のタイツ類に用いられる一般的な平編布の表面粗さ感については、本実験の計測データと提案する計測・評価式によっておおよそ説明できる。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this study are to develop the evaluation method of the visual surface roughness of plain knitted fabric on the bare skin, and to create the data base of the relationship between the visual surface roughness and the design values of knitting.

The visual surface roughness was estimated by the following equation: $-13.6(D \times A) - 2.5(L^*_{max} - L^*_{min}) / (L^*_{max} + L^*_{min}) + 1.7$ where the D was the apparent yarn width, the A was the area in a loop, and the L* was the lightness of the plain knitted fabric or the bare skin. In the typical plain knitted fabrics which are used for thin tights, the visual surface roughness is estimated by the samples data and the evaluation method.

研究分野：繊維工学、感性工学 (繊維、繊維集合体に関連する感覚、感性の計測)

キーワード：表面粗さ感 編布 視覚 計測 設計

1. 研究開始当初の背景

タイツやパンティストッキングなどの靴下類製造業は、日本における貴重な産業の一つである。しかしながら、中国や韓国などの東南アジア製製品が品質の向上、流行に対する素早いレスポンス、低価格などにより大量に輸入、消費され、国内靴下類製造業は前例をみないほどの厳しい状況に追い詰められている。一方で、靴下類製造業界では、「繊維製品の品質と性能に対する日本人の要求は世界で最も厳しい」というのが定説であり、日本人の消費者ニーズに応えうる靴下類を開発・生産できる技術は、国内消費の向上のみならず海外展開への核になることから、靴下類製造業界の活性化のために緊急かつ重要な課題である。

近年 20 代～40 代の日本人女性において、着心地（被服圧、保温性など）やファッション性（外観）を求めてカラータイツやレギンス、パンティストッキングなどのタイツ類に注目が集まっている。タイツ類の外観について日本人女性にアンケート調査を行った結果、着装時における表面粗さ感を重要視していることがわかった[1]。

布地の表面性状に対する感覚・感性に関する研究動向を以下に示す。代表的なものは、布地のつや感や光沢感の評価に関する研究である。素材や繊維組織の種類、色彩などがそれぞれに異なる試料布に対する官能評価結果と試料布の特徴との相互関係をまとめたものである。また、布地の光反射特性（輝度分布特性）に関する研究も報告されている。3次元変角機構をもつ光度計やCCD素子を用いて試料布表面の微小領域における反射光の強さや分布パターンなどを測定し、その統計量と官能評価結果との相互関係をまとめたものである。これらの研究成果をまとめると、布地の表面性状に由来する光学的な特性とつや感、光沢感との関係を表すものである。一方で、表面粗さ感も布地の表面性状に由来するものであるが、つや感や光沢感との違いあるいは相互関係は明確にされていない。また、既存の布製品に対するつや感、光沢感の評価を目的とした消費科学的な検討にとどまっており、平編布を形成する原糸の種類や太さ、色彩、編の基本組織などの物理的設計値と表面粗さ感との関係を明らかにすることが課題として残されている。

物体表面の粗さ（テクスチャ）とその視知覚において、ある光学的パターンがテクスチャとして視知覚される要件は多数の基本要素が存在することであり、基本要素の大きさ、形状、コントラスト、配列型などが関係していることが報告されている。申請者は、タイツ類すなわち丸平編布における基本要素は編目に対応し、編目の構造やサイズ、編目を形成する糸の種類、見かけの太さ、色彩などが表面粗さ感と関係していると考えた。予備実験として、原糸や編目の構造がそれぞれに異なる試料編布に対する官能評価を行った

結果、やはり表面粗さ感との間に高い相関があることがわかった。そこで、平編布に関する物理的設計値、視知覚に係る物理的特徴量（輝度分布特性）ならびに表面粗さ感との関係をより詳細に検討することが重要であると考えた。この研究が進めば、平編布の表面粗さ感の計測・評価だけでなく、望む表面粗さ感をもつ平編布の設計・製造が可能になると考え、本研究課題の提案に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1) 平編布の表面粗さ感を適切に計測、評価する方法の確立と、(2) 表面粗さ感と物理的設計値とを対応づけるデータベースの構築である。

一般に、タイツ類の丸平編布の設計には、原糸の種類、番手、編目構造、編目密度（単位長さあたりの編目数）の設定が必要である。そこで次の2項目を明らかにする。

原糸の構造（原糸の種類、織度、見かけ太さ）や編目の構造（単純な平編、交編、密度）が表面粗さ感におよぼす影響

同一の原糸・編目構造の平編布において色彩だけが異なるとき、色彩が表面粗さ感におよぼす影響

また、人が平編布の表面性状を視知覚する際には、輝度分布におけるコントラスト、空間周波数などが関係していると言われていることから、『平編布の物理的設計値と視知覚に係る物理的特性値（輝度分布特性）との関係』と、『視知覚に係る物理的特性値（輝度分布特性）と表面粗さ感（感覚・感性）との関係』を検討することが必要である。これら2つの関係を考慮しながら上記、を明らかにすることによって、物理的設計値（原糸の種類、番手、編目構造、編目密度（単位長さあたりの編目数））をパラメータにもつ表面粗さ感との関係式が求まる。これによって本課題の目的を達成できる。

3. 研究の方法

(1) 表面粗さ感の計測（官能評価実験）に必要な評価用語の収集、選定

まず、文献調査、評価者のもつ印象の調査などから平編布の外観評価に係る評価用語を収集する。ついで、表面粗さ感を評価するために最適な評価用語を選定するために、収集した評価用語を用いた視感評価と因子分析を行う。

(2) 視知覚に係る物理的特性値（輝度分布特性）の計測に必要な画像明度と輝度との校正式の算出

グレースケールチャート（MURAKAMI COLOR RESEARCH LABORATORY GS-5）の画像撮影と輝度測定を行い、画像明度と輝度との回帰式を求めて校正式を得る。

(3) 表面粗さ感に関する官能評価実験

官能評価は、SD法を用いて-2～+2の5段

階評価にて実施した。また、蛍光灯（DURO-TEST 社製 TRUE-LITE，色温度 5500K）を照明に用いて試料正面近傍における照度を $400 \pm 10 \text{ lx}$ に調整した暗室内にて行った。実験試料の平編布は、20～30 歳代日本人女性の平均的膝囲と類似した周囲長をもつ長さ 30cm の円筒に装着させて評価者に提示した。円筒表面の色彩は $L^*=76.1$ ， $a^*=6.7$ ， $b^*=26.7$ （測色は NIPPON DENSHOKU INDUSTRIES NF333 による）であり、平均的な日本人女性の肌色と類似したものである。官能評価実験における検討項目は次の 3 つである。

評価者と提示試料との観察距離についての調査

観察距離は 0.6m，1.5m，1.8m，2.2m，2.5m の 5 段階に設定した。実験試料は、シングルカバード系、ウーリー系、コンジュゲート系のゾッキタイプ 24 種類と、カバード系とレギュラーナイロン系との交編タイプ 3 種類の合計 27 種類の未染色のものとした。評価者は 20～30 歳代日本人女性 50 名とした。

原系の種類や編目構造の違いと表面粗さ感についての調査

観察距離は 1.5m とした。実験試料は、シングルカバード系、ウーリー系、コンジュゲート系のゾッキタイプ 9 種類と、カバード系とレギュラーナイロン系との交編タイプ 3 種類の合計 12 種類の未染色のものとした。評価者は 20～30 歳代日本人女性 50 名とした。

色彩と表面粗さ感についての調査

観察距離は 1.5m とした。実験試料は、シングルカバード系のゾッキタイプ 3 種類とし、色彩は未染色、明・ページ、中・ページ、暗・ページの 4 種類からなる 10 種類とした。評価者は 20～30 歳代日本人女性 13 名とした。

なお、実験試料の原系の種類、織度、編目構造や色彩は、薄手のタイツ類に用いられる一般的な平編布の範囲を網羅するものである。

(4) 物理的設計値の測定

測定項目は見かけ糸太さ、編目密度および色彩とした。見かけ糸太さと編目密度は、提示試料と同一の伸長率に伸長させた平編布を、デジタルカメラ（Nikon D90）を用いて撮影し、編布画像を解析することによって測定した。編目密度は 1 試料につき 5 回測定した平均値とし、見かけ糸太さは 1 試料につき 50 回測定した平均値とした。色彩は、分光色差計（NIPPON DENSHOKU INDUSTRIES NF333）を用いて、試料編布を複数枚重ねて測定光が試料を透過しないように注意して測定した。

4. 研究成果

(1) 表面粗さ感の計測（官能評価実験）に必要な評価用語の収集、選定

まず、文献や評価者の平編布外観に対する印象の調査などから外観評価に関係する評価用語を 31 語収集した。ついで、5 種類の代表的な丸平編布（カバード系、ウーリー系、コンジュゲート系のゾッキタイプ 3 種類と、カバード系とレギュラーナイロン系との交編タイプ 2 種類）を実験試料とする官能評価の結果を因子分析したところ、表面粗さ感の因子が抽出されるとともに、表面粗さ感を評価するために最適な評価用語が「きめが細かい（きめが粗い）」であることがわかった。

(2) 視知覚に関係する物理的特性値（輝度分布特性）の計測ための画像明度・輝度校正式の算出

画像明度(x)と輝度(y)との回帰式を求めた結果、 $y = 5.3e^{0.018x}$ ($R^2=0.99$) で表わされることがわかった。本校正式によって明度分布画像を輝度分布に変換できる。

(3) 表面粗さ感に関する官能評価実験 評価者と提示試料との観察距離

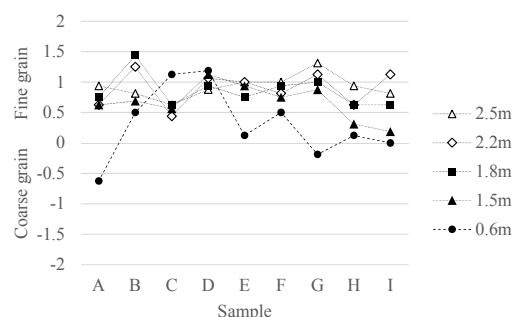


Fig.1 観察距離による「きめが細かい」評価の差異

Fig.1 は 9 種類の試料の表面粗さ感評価における観察距離の影響を表す。観察距離 0.6m での評価がその他の観察距離での評価とは異なっている。観察距離 1.5m～2.5m では、観察距離による評価の大きな差は見られない。分散分析の結果、観察距離 0.6m での評価は観察距離 1.5m～2.5m での評価との間に有意な差がある ($P<0.01$) ことがわかった。表面粗さ感を微細に評価するためには、短い観察距離を適宜設定する必要があることを示すものである。一方で、外観の美しさにおける 1 因子としての表面粗さ感の評価に最適と感じる観察距離について評価者を対象に調査したところ 1.5～1.8m であった。したがって、平編布の表面粗さ感評価における観察距離は 1.5m～1.8m に設定することが望ましいことがわかった。

-1 原系の種類や編目構造の違いと表面粗さ感

Table 1 は 12 種類の試料の物理的設計値の測定結果を表す。試料によって物理的設計値

に様々な違いがあることがわかる．表面粗さ感との関係を検討するために，物体の表面粗さについて次のように考察した．一般的に，物体の表面粗さは，物体断面の輪郭曲線における最大山高さと最大谷深さとの差の大きさ，およびある最大山高さ位置と隣接する最大山高さ位置との差の大きさによって評価される．これらの特性値は，丸平編布の着装脚部において，糸の断面を円形と仮定すると，見かけの糸太さ（D）と1ループあたりの面積（A）とにそれぞれ対応する．見かけ糸太さ（D）が小さいほどきめが細かく，1ループ

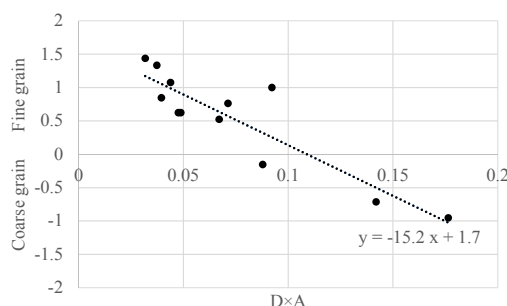


Fig.2 表面粗さ感と特性パラメータとの関係

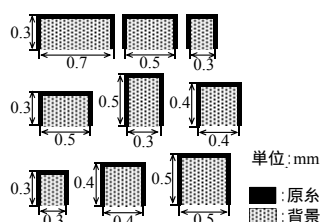


Fig.3 各種伸長条件での編目構造（半ループ）の模式図

Table 1 実験試料の物理的設計値

	Samples						
	Z18D	Z20D	Z25D	Z26D	Z	Z36D	Z40D
Width (D) [mm]	0.119	0.117	0.083	0.116	0.113	0.185	0.115
Density [loops/inch]							
Course	26.1	25.4	25.4	31.4	23.9	27.4	25.4
Wale	97.1	84.7	84.7	83.3	57.0	77.2	84.7
Area (A) [mm ²]	0.370	0.417	0.383	0.340	0.594	0.476	0.415

Width: Apparent yarn width, Area: Area in a loop

	Samples							
	UK1		UK2		UK30D		ZC	ZW
	CY	Ny	CY	Ny	CY	Ny		
Width (D) [mm]	0.180	0.084	0.141	0.089	0.131	0.075	0.089	0.141
Density [loops/inch]								
Course	27.0		25.5		25.4		29.4	28.1
Wale	27.9		28.3		42.3		64.0	60.6
Area (A) [mm ²]	0.980		1.007		0.703		0.420	0.506

Width: Apparent yarn width, Area: Area in a loop, CY: Covered yarn, Ny: Nylon yarn

Table 2 実験試料の色彩値

	Samples									
	Z18D				Z26D				Z36D	
	Un	L	M	D	Un	L	M	D	Un	L
L*	90.3	60.9	48.7	31.8	94.2	68.3	57.7	41.1	94.8	71.3
a*	-1.8	10.1	12.4	10.4	-0.5	8.1	10.2	9.0	-0.7	7.9
b*	4.2	21.7	25.2	15.8	2.0	17.7	24.5	16.5	2.1	16.9
C(L*)	0.14	0.02	0.11	0.27	0.12	0.08	0.19	0.38	0.14	0.00

Un: Undyed, L: Light beige, M: Medium beige, D: Dark beige,

C(L*): Contrast = (L*_{max} - L*_{min}) / (L*_{max} + L*_{min})

プあたりの面積（A）が小さいほどきめが細かいということになる．そこで，平編布の表面粗さ感を表す特性パラメータとして DxA を提案する．表面粗さ感パラメータと表面粗さ感との対応関係を検証するために回帰分析を行った．その結果，表面粗さ感（SR）は $SR = -15.2(D \times A) + 1.7$ の関係式で表わされ，決定係数 0.81，表面粗さ感パラメータおよび定数項の両変数において有意（ $P < 0.01$ ）であることがわかった．以後，DxA を表面粗さ感パラメータと呼ぶこととする．

-2 原糸の種類や編目構造の微小な差異と表面粗さ感

編目構造は平編布の伸長条件によっても様々な変化することから，微小な編目構造の差異も含めた表面粗さ感パラメータを検討した．Fig. 3 は編目構造の微小な差異を半ループ（ニードルループ部あるいはシンカルループ部）について模式的に表した図である．これらの微小な編目構造の差異についての官能評価結果を分散分析したところ，試料間には有意な差が見られなかった．伸長条件によって変化する程度の微小な編目構造の差異，すなわち，表面粗さ感パラメータの値が 0.025 ~ 0.050 の範囲では，表面粗さ感には大きな影響をおよぼさないことがわかった．Table 1 に示した 12 種類の試料と併せて表面粗さ感パラメータと表面粗さ感との対応関係を求めた結果，表面粗さ感（SR）は $SR = -13.3(D \times A) + 1.4$ の関係式で表わされ，決定係数 0.74，表面粗さ感パラメータおよび定数項の両変数において有意（ $P < 0.01$ ）であった．したがって，未染色平編布の表面粗さ感は，物理的設計値を用いた表面粗さ感パラメータ DxA によって計測，評価できることがわかった．

色彩と表面粗さ感

Table 2 は 10 種類の実験試料の測色結果を表す．試料によって色彩に明確な違いがあることがわかる．表面粗さ感との関係を検討するために，物体の視知覚について次のように考察した．一般的に，物体の幅や領域の視知覚には明暗のコントラストが深く関係しているといわれている[2, 3]．そこで，色彩値において明暗を表す代表的な L* 値に着目し，L* 値を用いたコントラスト $C(L^*) = (L^*_{\max} - L^*_{\min}) / (L^*_{\max} + L^*_{\min})$ を色彩の特性パラメータ（以後，色彩因子パラメータと呼ぶことにする）として提案する．色彩因子および表面粗さ感パラメータと表面粗さ感との対応関係を検証するために回帰分析を行った．その結果，表面粗さ感（SR）は $SR = -13.6(D \times A) - 2.5 C(L^*) + 1.7$ の関係式で表わされ，決定係数 0.64，色彩因子および表面粗さ感パラメータならびに定数項の全ての変数において有意（ $P < 0.05$ ）であることがわかった．したがって，平編布の表面粗さ感は，物理的設計値を用いた表面粗さ感パラメータ DxA と色彩因

子パラメータ $(L^*_{\max}-L^*_{\min})/(L^*_{\max}+L^*_{\min})$ によって計測，評価できることがわかった．

(5) 視知覚に関係する物理的特性値（輝度分布特性）との関係

丸平編布を着装した脚部の表面粗さといった細かな観察対象や観察対象の詳細の弁別には，明暗のコントラストやその空間周波数が影響しているといわれている[3]．平編布を観察しているときの視覚情報は，糸領域の輝度と背景（素肌）領域の輝度とが周期的に分布したものである．提示試料の輝度分布におけるコントラストや空間周波数を調査するために，画像明度・輝度校正式を用いて提示試料の明度分布画像を輝度分布画像に変換し，解析した．その結果，観察距離を1.5mとするとき，見かけ糸太さが最大である提示試料の正面において130.8[cycles/視角度(cpd)]であった．この周期特性は，コントラストの大きさに関係なくほとんど弁別できない視覚情報であることがわかった．したがって，観察距離1.5m～1.8mでの平編布の表面粗さ感評価では，見かけ糸太さや1ループあたりの面積の大きさなどを弁別して評価しているのではなく，これらの細かな構造が集合して構成する提示試料全体としての輝度分布におけるなんらかの特徴を視知覚して評価しているものと推察された．

(6) まとめ

本研究課題では，平編布の表面粗さ感を適切に計測，評価する方法を確立し，表面粗さ感と物理的設計値（原糸・編目構造，色彩）とを対応づけるデータベースを構築することを目的として，物理的設計値の計測や官能評価などを行った．その結果は次の通りである．

丸平編布の表面粗さ感（きめが細かい，SR）は， $SR = -13.6(D \times A) - 2.5(L^*_{\max} - L^*_{\min}) / (L^*_{\max} + L^*_{\min}) + 1.7$ によって計測，評価できる．ただし，D：見かけ糸太さ，A：1ループあたりの面積， L^* ：平編布，背景の L^* 値とする．

薄手のタイツ類に用いられる一般的な丸平編布の表面粗さ感については，本実験で得た物理的設計値データと提案する計測・評価式によっておおよそ説明できる．

本研究成果は，平編布における視覚的な表面粗さ感という主観的でとらえどころのない対象について定量的な計測・評価を可能にするものである．特に，薄手のタイツ類の設計に必要な原糸の繊維，編目構造，編目密度，色彩をパラメータにもつ表面粗さ感の計測・評価式は，望む表面粗さ感を表現できる平編布の設計値を決定できるものである．従来の既存の布製品に対する消費科学的な研究成果では得られなかった成果であり，非常に独創性が高いといえる．本研究の成果は，世界で最も厳しいと言われる日本人女性の

消費者ニーズに応え得るタイツ類を開発・生産できる技術に直結するものであり，日本の繊維産業の活性化において意義深いものと考えられる．

<引用文献>

[1] 若子倫菜，喜成年泰，下川智嗣，パンティストッキング着脚部の審美性評価における美しさ因子と視感の分析，繊維学会予稿集，Vol.66，No.1（2011）

[2] 日本色彩学会，東京大学出版会，新編 色彩科学ハンドブック（第3版），pp.464-466（2011）

[3] 日本視覚学会，朝倉書店，視覚情報処理ハンドブック，pp.191-196（2011）

5．主な発表論文等

（研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

Wakako L.，Kinari T.，Shimokawa T.，A Primary Study on Aesthetic Properties of Pantyhose Fabric，Proceedings of the 43rd Textile Research Symposium at Hotel Chateau on the Park，査読無，2014.12，（in press）

Wakako L.，Yoshikawa H.，Kinari T.，Shimokawa T.，Evaluation of Aesthetic Properties of Pantyhose by Using Leg Model，Proceedings of the 42nd Textile Research Symposium at Mt. Fuji，査読無，2013.8，pp.189-191

〔学会発表〕（計5件）

若子倫菜，岩淵匠平，喜成年泰，下川智嗣，明度差分布の算出によるパンティストッキング審美性評価方法，繊維学会，2015年年次大会，2015.6.10-6.12，「タワーホール船堀（東京都江戸川区）」

若子倫菜，喜成年泰，下川智嗣，パンティストッキングの審美性計測・評価システムのための基礎的研究，日本感性工学会，第16回大会，2014.9.4-9.6，「中央大学 後楽園キャンパス（東京都文京区）」

吉川英輝，若子倫菜，喜成年泰，下川智嗣，円錐型脚部モデルにおけるパンティストッキングの審美性の推測，日本繊維機械学会，北陸支部研究発表会，2013.12.6，「金沢大学 角間キャンパス（石川県金沢市）」

若子倫菜，喜成年泰，下川智嗣，パンティストッキング着脚部における視覚的表面粗さ感の評価方法に関する基礎

的研究，繊維学会，2013 年年次大会，
2013.6.12-6.14，「タワーホール船堀（東京都江戸川区）」

吉川英輝，大久保翔，若子倫菜，喜成年
泰，下川智嗣，脚部マネキンを用いたパ
ンティストッキングの審美性評価方法
の開発 - 円筒脚部モデルを用いた審美
性評価方法の検討 - ，日本繊維機械学会，
第 66 回 年年次大会，2013.5.31-6.1，「大
阪科学技術センター（大阪府大阪市）」

〔その他〕

ホームページ等

<http://mechs.ms.t.kanazawa-u.ac.jp/~sense/study.html>

6．研究組織

(1) 研究代表者

若子 倫菜（WAKAKO，Lina）

金沢大学・理工研究域機械工学系・助教

研究者番号：30505748